

forstaudvalget

Beretning nr. 198

H. HOLSTENER-JØRGENSEN:

JORDBUNDSFYSISKE UNDERSØGELSER
I DANSKE BØGEBEVOKSNINGER

PHYSICAL SOIL-INVESTIGATIONS
IN DANISH BEECH-STANDS

(Særtryk af Det forstlige Forsøgsvæsen i Danmark,
XXV, 1958)

Bd. XVII, H. 1: Nr. 145. CARL MAR: MÖLLER: Untersuchungen über Laubmenge, Stoffverlust und Stoffproduktion des Waldes. (Undersøgelse over Løvmængde, Stoftab og Stofproduktion i Skov). Dansk Resumé. S. 1. — **H. 2:** Nr. 150. C. MUHLE LARSEN: Experiments with softwood cuttings of forest trees (Forsøg med urteagtige Stiklinger af Skovtræer). Meddelelse Nr. 18 fra Skovtræerfærdningen, Arboretet, Hørsholm. S. 289.

Bd. XVIII, H. 1: Nr. 149. C. H. BORNEBUSCH og H. A. HENRIKSEN: Bøgens Vedmassefaktorer, 1. Del: Formtalsbestemmelse ved Hjælp af Standardtabeller for mindre Bevoksninger af Bøg, (Form factor calculation by means of standard tables for small stands of beech). S. 1. — **H. 2:** Nr. 157. MATHIAS THOMSEN, N. FABRI TIUS BUCHWALD og POUL A. HAUBERG: Angreb af *Cryptococcus fagi*, *Nectria galligena* og andre Parasiter paa Bøg i Danmark 1939—43. (Attack of *Cryptococcus fagi*, *Nectria galligena* and other parasites on beech in Denmark 1939—43). S. 97. **H. 3:** Nr. 158. E. C. L. LØFTING: Rødgranplantagernes Foryngelse i de jydskede Hedeegne. 1. Del: Foryngelsesproblemerne. (Regeneration of Norway Spruce in the Danish heath regions. 1' part: The problems of the regeneration). S. 327.

Bd. XIX, H. 1: Nr. 152. C. H. BORNEBUSCH: Bøgeskovens Behandling paa Boller Skovdistrikt. (Le traitement appliqué par E. Moldenhawer à la forêt de hêtres du domaine forestière de Boller), S. 1. — Nr. 153. F. KRARUP: Langsom Bøgeselvforyngelse. (Régénération naturelle lente d'un peuplement de hêtre). S. 81. — **H. 2:** Nr. 154. CARL MAR: MÖLLER: Mycorrhizae and nitrogen assimilation (Mycorrhizer og Kvælstofassimilation) S. 105. — **H. 3:** Nr. 155. C. H. BORNEBUSCH: Egeprøveflader i Nordsjælland. (Places d'essai de chêne au nordest de Seeland). S. 205. Nr. 156. C. A. JØRGENSEN og CECIL TRESCHOW: Om Bekæmpelse af Rodfordærveren (*Fomes annosus* (FR.) CKE) ved Fladrodplantning og ved Kalk- og Fosfertilskud. (On the control of root- and butt-rot, caused by *Fomes annosus* (FR.) CKE by superficial planting and by the application of lime and phosphate). S. 253. **H. 4:** Nr. 159. IB THULIN: Beskadigelser af Douglasgran (*Pseudotsuga taxifolia*) i Danmark i Vinteren 1946—47. (Damage to Douglasfir (*Pseudotsuga taxifolia*) in Denmark in the winter of 1946—47). S. 285. **H. 5:** Nr. 160. MOGENS ANDERSEN: Form factor investigations and yield tables for Japanese larch in Denmark. (Formtal og tilvækst for japansk lærk). S. 331.

Bd. XX, H. 1: Nr. 151. E. C. L. LØFTING: Danmarks skovfyrrproblem. (Scots pine problems on the heaths and dunes of Denmark) s. 1. — **H. 2:** Nr. 161. JUST HOLTEN: Kulturmåder i Danmarks gamle skovegne 1950. (Methods of Establishment on Old Woodland Sites in Denmark 1950). S. 111. — **H. 3:** Nr. 162. E. OKSBJERG: Rødgranplantagernes foryngelse i de jydskede hedeegne. (Regeneration of Norway spruce plantations on the heaths of Jutland). S. 165. — Nr. 163. H. A. HENRIKSEN: Dimensionsklassefordeling for Bøg. (Allocation to diameter classes for beech). S. 229. — **H. 4:** Nr. 164. J. A. LØVENGREEN: Udhugning i bøg i Danmark siden 1900, statistisk belyst og teoretisk bedømt. (Thinning of beech in Denmark since 1900, illustrated

**JORDBUNDSFYSISKE UNDERSØGELSER
I DANSKE BØGEBEVOKSNINGER**

**PHYSICAL SOIL-INVESTIGATIONS
IN DANISH BEECH-STANDS**

AF

H. HOLSTENER-JØRGENSEN

INDHOLDSFORTEGNELSE

	Side
Forord.	
I. Indledende afsnit om jordvandet	99
1. Jordbundsfysiske teorier om jordvandet	99
2. Jordvand og plantevækst	104
3. Kriterier for udvælgelse af analysemetoder	111
II. Beskrivelse af analysemetoder og fejlbedømmelse	115
1. Arbejdsmetoder i marken	115
2. Arbejdsmetoder i laboratoriet	117
3. Fejl på analyserne	124
III. Beskrivelse af de enkelte lokaliteter	130
IV. Jordbundsteoretiske resultater	139
1. Korrelationen mellem de jordbundsfaktorer, som er målt	139
2. Jordbundsfaktorerens konstans	156
3. Iagttagelser	163
V. Rodundersøgelser	165
VI. Tilvækstens afhængighed af vandkapaciteten	168
1. Indledning	168
2. Korrelationen mellem boniteten og vandkapaciteten	170
3. Korrelationen mellem tilvæksten i aldersgrupper og vandkapaciteten	175
4. Korrelationen mellem alderskorrigerede tilvækster og vandkapaciteten	181
5. Hvilke horisonter har størst betydning for træernes vandforsyning?	186
6. Grundvands indflydelse på væksten	187
7. Sideværts vandbevægelses indflydelse på tilvæksten ..	191
VII. Diskussion af resultaterne	193
1. Korrelation og årsagssammenhæng	193
2. Tilvækstbestemmelsens begrænsende indflydelse på sik- kerheden ved opgørelse af forstlige forsøg	194
3. Om tilvækstbudgettering i praksis	195
4. Jordbundsplejes praktiske betydning	198
5. Hugststyrkens indflydelse på tilvæksten	198
6. Overensstemmelsen mellem den foreliggende undersø- gelse og undersøgelser over nedbørens indflydelse på bøgens vækst	199
Slutning	202
Resumé på dansk	205
<i>English summary</i>	213
Litteraturliste	221

FORORD.

Jordbundslæren er støttevidenskab for jorddyrkningen, og dens opgave må være at søge metoder, der kan karakterisere jordens dyrkningsværdi for de forskellige grene af jorddyrkningen (land-, have- og skovbrug). Fra forstlig side kan man med rette hævde, at den forstlige jordbundslære skylder praksis anvendelige resultater, idet den forstlige jordbundslæres forskere endnu ikke som land- og havebrugets kan stille simple analysemetoder til rådighed, som kan give praksis brugbare svar på spørgsmål f. eks. om gødningsproblemer. En gennemgang af litteraturen, der danner den forstlige jordbundslære, er såre mistrøstig, hvis man vil hente støtte for en ren konsultativ virksomhed. Det viser sig da også, at de lærde er højst uenige. Forfatteren har f. eks. på forskellige studierejser studeret „extremt gleiartigen Böden“ i Tyskland og hos erfarne og højt agtede professorer fået vidt forskellige råd om træartsvalget på sådanne jorder. En meddeler, at jordbundstypen udarter ved fortsat dyrkning af rødgran. Den eneste træart, som kan redde sådanne jorder fra hurtig (1 omdrift rødgran) total forsumpning er eg. En anden hævder lige så kategorisk, at selvfølgelig kan man dyrke eg, men uden noget forsvarligt økonomisk udbytte. Vil man have skov på økonomisk basis, må man dyrke rødgran, og der er ingen fare for yderligere jordbundsforringelse, så lidt som eg vil kunne give nogen egentlig jordbundsforbedring.

Den undersøgelse, som fremlægges i det følgende, er et forsøg på at nå til en anvendelig karakterisering af vore jorders vandforsyningsforhold og den indflydelse, de har på væksten. Undersøgelserne er begyndt på Forsøgsvæsenets bølgeprøveflader, fordi der på disse er gode oplysninger om tilvæksten over længere perioder. Undersøgelserne fortsætter stadig, både på bøgelokaliteter og under andre træarter. Det har imidlertid vist sig, at de

undersøgte prøveflader kommer til at danne en særlig gruppe indenfor det samlede materiale, netop i kraft af den gode tilvækst-opgørelse. Denne særstilling gør det rimeligt at publicere undersøgelserne på prøvefladerne på nuværende tidspunkt.

Før og under arbejdet har jeg haft megen glæde af lejlighedsvis at diskutere metodiske spørgsmål med professor *Aslyng Skovrider J. A. Løvengreen* var fungerende forstander på Forsøgsvæsenet, da undersøgelserne blev planlagt og påbegyndt, og har vist mandsmod og -hjerte til at give mig frie hænder ved apparaturindkøb på et tidspunkt, hvor mangt og meget endnu var uklart for mig. Forstander, dr. *E. Holmsgaard* har fulgt arbejdet med stor interesse og givet saltvandsindsprøjtninger, når foretagendet var ved at gå i stå. Afdelingsleder *H. A. Henriksen* har hjulpet mig omhyggeligt til rette med tilvækstmaterialet og tålmodigt diskuteret problemer, som er opstået under udarbejdelsen af manuskriptet. Forsøgsassistent *H. C. Olsen* har været mig til stor hjælp ved udvælgelsen af de statistiske metoder, som er taget i brug. Jeg er alle de herrer meget taknemmelig for deres hjælpsomhed, tålmodighed og venlighed.

Frk. *E. K. Andreassen* har igennem længere tid været knyttet til laboratoriet og udfører med stor omhu en ikke ubetydelig del af de fysiske analyser. Der er her en kærkommen lejlighed til at takke for omhyggeligt arbejde.

I. INDLEDENDE AFSNIT OM JORDVANDET.

1. *Jordbundsphysiske teorier om jordvandet.*

I daglig tale deler man jordvandet i følgende klasser:

1. *Frit vand*, der findes i grove porer og spalter, og som er i bevægelse mod grundvandsspejlet under indflydelse af tyngdekraften.

2. *Kapillært vand*, der er bundet til jordens enkeltpartikler ved adsorptionskræfter. Det ligger som en tykkere eller tyndere film om partiklerne og bevæger sig i vædskeform fra steder med tyk film (små, vandbindende kræfter) til steder med tyndere film (større vandbindende kræfter). Planternes vandoptagelse sker overvejende fra denne del af jordvandet.

3. *Hygroskopisk vand*, der *dels* er adsorptivt bundet til jordpartiklerne som en tynd film (*Kramer* (1949) angiver, at tykkelsen ligger omkring 15—20 molekyler), *dels* er kemisk bundet som krystalvand. Til denne del kan man også henregne det vand, som er indlejret mellem lagene i lerkolloidernes gitter (*Grim* 1953), og som kun kan fjernes ved høje temperaturer.

4. *Vanddamp* i jordluften.

Imidlertid er det ikke muligt at definere overgangen mellem de enkelte klasser skarpt. Det frie vand vil sive ned med aftagende hastighed, og overgangen mellem frit vand og kapillært vand er derfor flydende. Efter *Kramer* (1949) er hygroskopisk vand undertiden defineret som den vandmængde, jorden indeholder, når den ved længere tids henstand er kommet i balance med vandmættet luft. *Kramer* noterer, at hvis jorden står i meget lang tid under sådanne betingelser, vil den blive vandmættet, det vil sige, at den indeholder lige så meget vand, som hvis den var i direkte forbindelse med en fri vandoverflade.

Det må i denne forbindelse bemærkes, at det 0-punkt, man normalt anvender ved bestemmelse af jords vandindhold, findes ved tørring ved 105° C, til jordprøven har nået en konstant vægt. Samtidig må det noteres, at en tørring ved 105° medfører, at tørringsprocessen er delvis irreversibel. Herved forstås, at jorden ved fornyet fugtning ikke vil kunne optage så store vandmængder som før tørringen. Problemet hører ind under de såkaldte hysteresisfænomener (se f. eks. *Schofield* 1938). En del af forklaringen kan ligge i, at vand, som er indlejret mellem lerkolloidernes gitterlag, fordampes ved tørringen. Herved kommer gitterlagene tættere til hinanden, og nye vandmolekyler kan ikke trænge ind ved opfugtning. Hysteresisfænomener optræder iøvrigt altid ved fugtning og afvanding af jordprøver og kan formentlig ikke altid tilskrives en langsomt reversibel afgivelse af gittervand. Det må antages, at hysteresis også forekommer i bevoksede jorder. Problemet skal ikke behandles nærmere her. Det er kun berørt for at understrege nødvendigheden af, at hvis man vil undersøge naturlige jorders fugtighedsforhold, så må udgangspunktet være den fugtige jord og ikke prøver, som først tørres og derefter fugtes op.

Vandet i jorden er under påvirkning af mange forskellige kræfter. De vigtigste er følgende:

1. Tyngdekraften
2. Adhæisionskræfter
3. Overfladespændinger
4. Osmotiske kræfter
5. Hydrostatiske kræfter.

Resultanten af de kræfter, som virker på vandet, er afgørende for, om vandet er i ro (resultanten = 0) eller i bevægelse. En analyse af alle enkeltkræfterne og en påfølgende syntese af resultaterne er vanskelig. Hvis man vil gøre sig håb om at bearbejde jordvandsproblemet med praktisk sigte, må man derfor søge en forenkling.

Jordbundsfysikerne fremstiller i nyere tid de vandbindende kræfter i jorden i en energifunktion (*Edlefson og Anderson*, 1943). Man arbejder med begrebet „fri energi“. Som 0-punkt anvendes en fri vandoverflade svarende til jord, som er helt vandmættet. En umættet jord vil altid kunne optage vand fra et

„mættet“ system, og den „frie energi“ for vandet i et umættet system er derfor mindre end 0, d. v. s. at værdierne er negative. Såfremt man ser bort fra de osmotiske kræfter, kan de øvrige kræfter samles under begrebet „*moisture tension*“ (Kramer 1949). „*Tension*“ er det tryk (eller sug), som skal til for at fjerne vand fra en given jordprøve. Trykket kan måles i cm vandsøjle eller atmosfære. Richards og Weaver (1944) har påvist, at jordprøver fra aride områder har „fri energiværdier“, der er dobbelt så store som „*moisture-tension*“-værdierne (regnet numerisk!). Det skyldes, at jorder i aride områder har en høj koncentration af ioner i jordvæsken, fordi der ikke som under vore klimabetingelser sker en udvaskning af ioner. Det er ensbetydende med, at der er store osmotiske kræfter i jord-vædske systemet, og der skal derfor dobbelt så store tryk (eller sug) til for at fjerne vand fra en given jordprøve med et kendt vandindhold, som hvis de osmotiske kræfter havde været uden betydning. Noget tilsvarende kendes mig bekendt ikke fra skov- og landbrugsjorder i humide områder. Havebrugsjorder falder uden for disse betragtninger, fordi man ofte ved gødskning øger jordvandets saltkoncentration stærkt. Ved behandling af skovjorders og landbrugsjorders vandforhold er det da også almindeligt at bruge målinger af „*moisture tension*“ (se f. eks. Richard 1953a).

„*Tension*“ eller undertrykket i jorden måles som nævnt i cm vandsøjle. Af pædagogiske grunde kan det være praktisk at analogisere til kapillærfysikken. Hvis man måler et givet undertryk i jorden, kan det målte tryk sidestilles med det tryk, som skal til for at tømme kapillærer med en given diameter. Den diameter, som man finder på denne måde, kaldes ækvivalensdiameteren (Richard 1953 a). Stighøjden i kapillæret er udtryk for det tryk, som skal til for at overvinde kapillærkraften. Forsøg har vist, at følgende formel gælder for kapillærer:

$$(I) \quad T = \frac{r \cdot h \cdot d \cdot g}{2} \text{ hvor,}$$

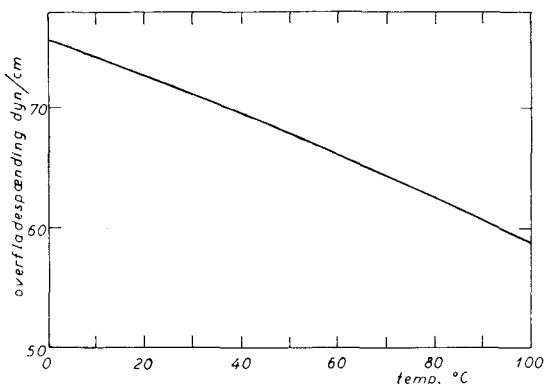
T = vandets overfladespænding målt som dyn/cm

r = kapillærdiameter målt i cm

h = stighøjden målt i cm

d = vægtfylden af vædsken i g/cm³

g = tyngdeacceleration i cm/sec².



Figur 1: Sammenhæng mellem vandets overfladespænding (dyn/cm) og temperaturen (°C) efter „Handbook of Chemistry and Physics“.
 Fig 1: Correlation between the surface tension of water (dyn/cm) and temperature (°C) from “Handbook of Chemistry and Physics”.

I figur 1 er overfladespændingen for vand lagt op over temperaturen fra 0° C til 100° C efter tal offentliggjort i Handbook of Chemistry and Physics. Ved at omgruppere formlen når vi til følgende:

$$(II) \quad 2r = \frac{4 \times T}{h \cdot d \cdot g}$$

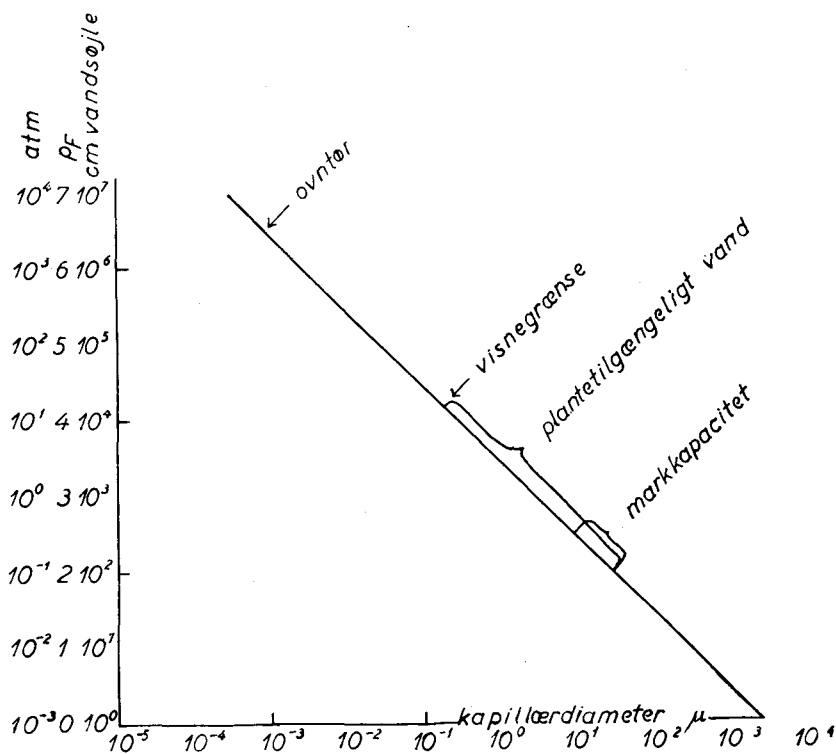
Ved laboratoriearbejde her i landet kan man regne med, at $T = 72,8$ dyn/cm (temperatur 20° C), $d = 1,00$ og $g = 982$ dyn/cm/sec².

Indsættes disse tal i formlen II, får man

$$(III) \quad 2r = \frac{0,296}{h} \text{ cm}$$

Som det fremgår af figur 1 og formel (I), har temperaturen indflydelse på den kraft, jordvandet er bundet med. Med et givet vandindhold i en jord med en given porefordeling, vil vandet være fastere bundet, jo lavere temperaturen er.

Figur 2 viser i logaritmisk oplægning sammenhængen mellem kræfter (ordinaten) og kapillærdiametre i μ ($1 \mu = 0.001$ mm). Ordinaten er inddelt i tre måleenheder — 1) cm vand-søjle, 2) atmosfærer og 3) pF. De to første er umiddelbart forståelige, den tredje er meget anvendt i litteraturen om jordfug-



Figur 2: Sammenhængen mellem ækvivalensdiametre for jordens porer og den vandbindende kraft i jorden.

Fig. 2: Correlation between equivalence diameters of soil pores and the water-binding force in the soil.

tighed og er derfor taget med. Schofield (1935) har foreslået denne måleenhed og definerer den som følger: „the pF is the logarithm of Buckingham's potential. By analogy with Sorenson's acidity-scale the symbol p indicates its logarithmic character, while the symbol F is intended to remind us that by defining pF as the logarithm of the height in cm of the water-column needed to give the suction in question, we are really using the logarithm of a free-energy difference measured on a gravity-scale“.

Efter definitionen skulle pF være logaritmen til den „fri energi“ målt i cm vandsøjle. I praksis bliver pF dog anvendt som måleenhed ved måling af „moisture tension“.

De rent teoretiske og noget summariske vurderinger i det foregående kan sammenfattes som følger:

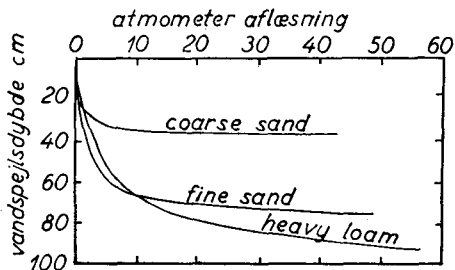
For undersøgelser af jordvandsforholdene *med praktisk sigte* kan man under vore klimabetingelser antage, at målinger på grundlag af „moisture-tension“ begrebet giver anvendelige resultater. Jordbundens porer kan analogiseres med kapillærer, og vand, der er bundet med forskellig kraft i jord-vand-systemet, kan deles i grupper efter porestørrelse. Porestørrelsen måles ved ækvivalensdiametre, som beregnes af *formel III*.

Et eksempel kan belyse dette nærmere: Når en vandmættet jordprøve udsættes for et sug på $\frac{1}{10}$ atm. = 100 cm vandsøjle, vil alle porer med ækvivalensdiametre større end $30 \mu \left(\frac{0,296}{100} \text{ cm} \right)$ tømmes for vand.

Til slut: Analogien, som er anvendt ovenfor, skal ikke på nogen måde betragtes som led i en bevisførelse, thi: *Analogy may be used to clarify a point, but should not be used as evidence in an argument (Curtis and Clark, 1950).*

2. Jordvand og plantevækst.

Planterne henter en væsentlig del af det vand, som forbruges ved transpirationen, fra jordvandet. Hvorvidt de kan få dækket deres vandbehov, afhænger til enhver tid af, hvor store de vandbindende kræfter er i rodrummet. Mange forskere har i tidens løb beskæftiget sig med, hvorledes sammenhængen er mellem vandoptagelsesmuligheder og vandbindende kræfter i rodrummet. I det følgende gennemgås et repræsentativt udsnit af den meget omfattende litteratur.



Figur 3: Jordartens indflydelse på, hvor dybt grundvandspejlet kan sænkes ved fordampning fra jordoverfladen (Keen 1928).

Fig. 3: The influence of texture class on how deeply the water-table may be lowered by evaporation from the soil surface (Keen 1928).

vandspejlsdybde cm = depth to water-table
atmometer aflæsning = atmometer readings

Keen (1928) har eksperimentelt undersøgt grundvandsbevægelserne i jord i kar, hvor der er mulighed for fri fordampning fra jordoverfladen. Undersøgelserne omfattede tre jordarter og strakte sig over 3 år (1920—23, hvor 1921 var meget tør). *Figur 3* viser sammenhængen mellem vandspejlsænkningen og opsummerede atmometer aflæsninger.*) Kurverne dækker et område svarende til 6—7 måneders tørkeperiode. Det fremgår, at vandspejlsænkningen først sker hurtigt og derefter med aftagende hastighed. *I praksis betyder det, at når grundvandspejlet er sænket til en bestemt, for jordarten karakteristisk dybde, (Coarse sand ca. 35 cm, Heavy loam 80—90 cm) under dybeste rod, vil vandhævningshastigheden være for ringe til, at grundvandet har nogen reel betydning for planternes vandforsyning.* Disse resultater stemmer med forskellige iagttagelser, som er gjort ved Forsøgsvæsenet (upublicerede data).

Veihmeyer (1927) har undersøgt, hvorledes vandet fordeler sig fra en fugtig jordprøve til to tørre jordprøver, der er placeret henholdsvis over og under den fugtige prøve. Den fugtige prøve havde ved forsøgets begyndelse et vandindhold svarende til mark-kapaciteten (se side 112), medens de tørre prøver havde et vandindhold svarende til visnegrænsen (se nedenfor). Prøverne var hver især ca. 60 cm høje (24 inches). Efter 140 dages forløb viste det sig, at fugtighedsforholdene ikke havde „udjævnet“ sig. Der kunne påvises en stigning i vandindholdet ca. 25 cm op og ca. 25 cm ned i de tørre prøver. Stigningen i vandindholdet var størst nær den indskudte fugtige prøve og aftagende med afstanden fra denne. Det er værd at notere sig, at i intet af forsøgene var bevægelser op og ned forskellige. Med den anvendte teknik ser det ud til, at vandbevægelsen for vand, der er bundet med så store kræfter som i forsøget (kapillært vand), er upåvirket af tyngdekraften. Endvidere fremgår det af afhandlingen, at hvis man bedømmer vandbevægelsen efter farveændringer i den tørre jord, så viser disse en vandring, der er betydeligt mindre end den sande vandring (gennemgående 7—12 cm). I flere tilfælde synes vandringen nedad at være størst ved en sådan okulær bedømmelse, hvilket er i modstrid med de faktiske forhold.

*) Et atmometer er en porøs, vandfyldt lercelle, som er forsynet med måleglas, så fordampningen fra cellen kan måles for kortere eller længere tidsrum.

Sekera (1938) har ved eksperimenter med solsikke ment at kunne opdele jordvandet i følgende grupper:

1) let bevægeligt vand i porer med ækvivalensdiametre $> 30 \mu$, 2) normalt bevægeligt vand (i porer mellem 3 og 30μ), 3) trægt bevægeligt vand (porer $< 3 \mu$).

Ifølge undersøgelsen giver „let bevægeligt vand“, der hurtigt kan dræne bort, ingen dagdepression i transpirationen, og *Sekera* mener, at vandforbruget kan betegnes som luxurierende. „Normalt bevægeligt vand“ giver dagdepression i transpirationen og er den vigtigste del af vandforrådet. „Trægt bevægeligt vand“ giver vedvarende transpirationshemning.

Kramer (1949 s. 60 ff.) har refereret en stor del af den engelsksprogede litteratur om samme emne. Litteraturen kan deles i to grupper:

1) en gruppe, som repræsenterer undersøgelser, der har vist, at vandets tilgængelighed er lige god helt ned til visnegrænsen,

2) en anden gruppe, der repræsenterer undersøgelser, som har vist, at vandet har en faldende tilgængelighed med stigende vandbindingskraft hos jorden.

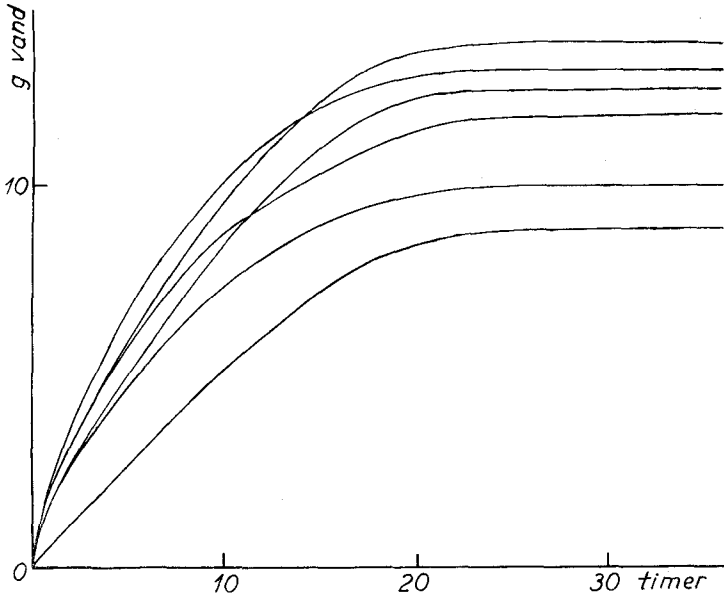
Briggs og Shantz (1912) definerede *visnegrænsen* som det vandindhold, hvor jorden ikke længere kan levere tilstrækkelig store vandmængder til, at planterne kan opretholde saftspændingen.

Richard (1953a) mener ud fra sine eksperimenter og på basis af enkelte litteraturangivelser at kunne fastslå, at skovtræer (unge planter) har samme visnegrænse som andre kulturplanter (efter *Briggs og Shantz*, 1912). Dertil må bemærkes, at hans publicerede værdier for rødel (kimplanter) og fyr (Föhren, toårige) ligger lavere end for test-planterne (dværgsolsikke, som anvendes almindeligt i den art forsøg). Forskellene er dog ikke signifikante.

Stone og Fowells (1955) har undersøgt dugs indflydelse på *Pinus ponderosa's* (kimplanter) mulighed for at overleve, når jorden er udtørret til visnegrænsen for dværgsolsikker. Solsikken har samtidig været anvendt til udtørring af jorden. Solsikkerne visnede ved et vandindhold i den anvendte jord på ca. 1,2 %. Fyrreplanter, som ikke var beduggede, levede i yderligere 21 dage, og jordens endelige vandindhold var ca. 0,8 %. Beduggede

fyrreplanter levede i ca. 41 dage, og jordens slutvandindhold var ca. 0,9 %.

Forfatterne konkluderer: 1) at dug er en vigtig faktor i langvarige tørkeperioder, 2) at *P. ponderosa* har en anden aktuel „visnegrænse“ end solsikker, og 3) at spørgsmålet om hvorvidt dugtilførselen betyder en nedadgående vandbevægelse i planterne



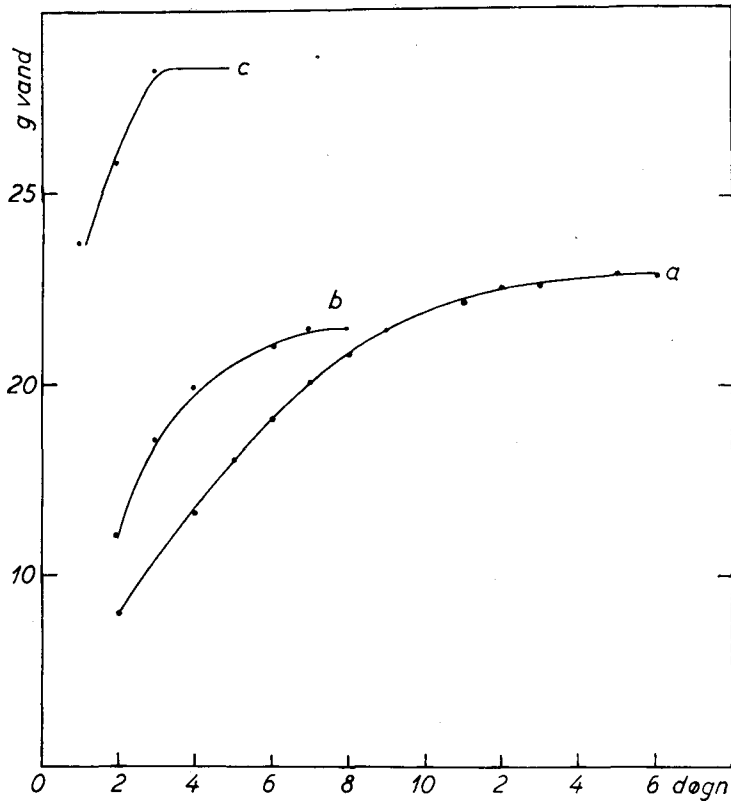
Figur 4: Afvandingskurver for 6 jordprøver fra mættet tilstand til balance ved 1/10 atm.

Fig. 4: Dehydration curves for 6 soil samples from saturated condition to balance at 1/10 atmospheric pressure.
timer = hours; g vand = g water.

og eventuelt afgivelse af vand til jorden ikke kan bevares af forøgene. (Se også Fowells og Kirk, 1945).

Der er ikke i forbindelse med den foreliggende undersøgelse gennemført forsøg på linie med dem, som kort er refereret ovenfor. Nogle af de tal, som er indsamlet i forbindelse med det løbende analysearbejde, kan dog sikkert belyse problemstillingen yderligere.

Figur 4 viser afvandingskurverne for 6 jordprøver fra vandmættet tilstand til balance ved 1/10 atmosfæres sug. Afvandingskurverne er summationskurver, det vil sige, at går man ind i



Figur 5: Dele af afvandningskurver for tre jordarter ved afvanding fra mættet tilstand til balance ved 15 atm. — a = muld fra morænelokaliteter. b = mineraljord fra morænelokaliteter. c = sand fra hede- og klitområder.

Fig. 5: Sections of dehydration curves for three texture classes at dehydration from saturated condition to balance at 15 atm. a = mull from moraine localities. b = mineral soil from moraine localities. c = sand from outwashed plains and dune areas.

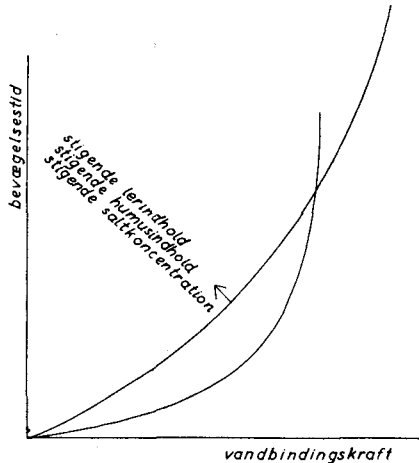
g vand = g water; døgn = days.

koordinatsystemet for tiden (abscessen), er den tilhørende ordinat den samlede vandmængde, som jordprøven har afgivet, fra analysen er startet. Kurverne viser, at vandafgivelsen bliver mindre og mindre, jo nærmere man kommer balancetilstanden. Balancen nås i løbet af ca. 18 timer.

I figur 5 er afvandningskurver lagt op for prøver, der ved 15 atm's overtryk afvandes fra vandmættet tilstand til balance ved 15 atm's overtryk. Kurve a er for 40 stærkt humøse jordprøver,

idet det er muldprøver fra de bølgeprøveflader, som beretningen omhandler. *b* vedrører 40 mineralske, mere eller mindre lerede jordprøver, der også er hentet fra bølgeprøvefladerne. *Kurve c* er baseret på 40 stærkt sandede prøver fra hede- og klitlokaliteter.

Disse kurver viser ligeledes, at vandafgivelsen aftager, jo nærmere man kommer balancetilstanden. De tre jordarter når



Figur 6: Principkurver over jordarters evne til at udjævne vanddeficit i planterødders umiddelbare omgivelser (bevægelsestid) som funktion af vandbindingskraften.

Fig. 6: Principle curves for the ability of texture classes to equalize water deficiency in the immediate surroundings of plant roots (bevægelsestid) as a function of the water-binding force (vandbindingskraft).

stigende lerindhold = clay content increasing
 stigende humusindhold = humus content increasing
 stigende saltkoncentration = ionconcentration increasing

balancetilstanden i rækkefølgen *c — b — a*, og omkring balancetilstanden frigøres der meget forskellige jordvandsmængder ($a > b > c$). (Se også *Richards og Weaver, 1944*).

Hvilke konklusioner kan man nu drage på basis af ovenstående?

Meget løst bundet vand er fuldt ud plantetilgængeligt. Det gælder i første række grundvand. Samtidig må det dog påpeges, at denne del af jordvandet måske ikke udnyttes så økonomisk som fastere bundet vand (*Sekera*). Endelig vil grundvand udenfor den egentlige rodzone kun bidrage lidt til træernes vandforbrug. (*Keen*).

For vand, som er bundet noget fastere, er meningerne delte (*Kramer*). Efter forfatterens mening beror det formentlig på, at de forskellige forskere har arbejdet med forskellige jordarter i deres forsøg. I *figur 6* er de vandmængder, som forskellige jordarter kan stille til rådighed ved vekslende vandbindende kræfter, gengivet i et par principkurver. Den tid, som det f. eks. tager for 1 g vand at bevæge sig 1 cm indenfor jord-vandsystemet, stiger, når vandbindingskraften stiger. Hver jordart har sin karakteristiske kurveform. Stigende lerindhold, humusindhold og/eller saltkoncentration betyder, at der i en tidsenhed kan stilles stigende vandmængder til rådighed for planterne, når de vandbindende kræfter er store.

Det er klart, at hvis man arbejder med meget sandede jorder, så vil man (jfr. kurverne) let få det indtryk, at vandet er lige let tilgængeligt for planterne i hele området fra vandmættet tilstand til det vandindhold, hvor der sker en tørrevisning. Arbejder man imidlertid med lerede eller humøse jordprøver, vil man komme til det resultat, at planterne får stigende depression i deres transpiration med stigende vandbindende kræfter i rodrummet.

*Man kan altså ikke vente, at der er almengyldige regler om jordvandets værdi for planterne som funktion af den kraft, vandet er bundet med. Sekera's forslag om en opdeling af jordvandet i „normalt bevægeligt“ og „trægt bevægeligt“ er derfor teoretisk lige så dårligt begrundet som udsagn om, at alt jordvandet over visnegrænseindholdet er lige let plantetilgængeligt (*Kramer* gruppe 1).*

På denne baggrund må det også fremhæves, at man ikke kan fastslå, at visnegrænsen nås ved en veldefineret vandbindende kraft i jorden. Efter *figur 6* må man vente, at visnegrænsen på en leret jord ligger ved en større vandbindende kraft end på en sandjord. Om det er eksperimentelt påvist, kan forfatteren ikke oplyse.

Det fremgår også af den refererede litteratur, at visnegrænsen er forskellig fra planteart til planteart trods nogle forfatteres formodning om det modsatte. Det afhænger formentlig af de enkelte plantearters kutikulære fordampning, om man finder en højere eller en lavere visnegrænse.

Det må i denne forbindelse understreges, at undersøgelser af plantearters visnegrænse må ske under veldefinerede og re-

producerbare forsøgsbetingelser (temperatur og luftfugtighed). Det er ikke uden betydning specielt for skovtræer, om man arbejder i skudstrækningsperioder, eller i perioder hvor væksten er afsluttet. I skudstrækningsperioder vil planterne antagelig visne ved højere jordvandindhold end i andre perioder.

Lad mig til slut fremhæve, at når der ovenfor tales om at bevæge 1 g vand 1 cm, så er det en forgrovet fremstilling. Potentialudjævninger, som svarer til, at brøkdeler af 1 g vand bevæges over en meget kort strækning, vil være tilstrækkelige til, at planterne kan dække deres vandforbrug i meget lange perioder subsidiært overleve lange tørkeperioder.

3. Kriterier for udvælgelse af analysemetoder.

De vurderinger, som er foretaget i det foregående, må være afgørende for valget af analysemetoder, når man vil søge en sammenhæng mellem vækstydelser og fysiske jordbundsfaktorer.

Det fremgår, at den korrekte behandling af jordvandproblemerne vil være at bestemme de enkelte jordprøvers vandindhold ved vekslende vandbindingskræfter. De fundne værdier kan oplægges som kurver (*Richard* (1953a) taler om „sorptionskurver“). Det er imidlertid meget vanskeligt at behandle et sådant materiale med henblik på en relation til praksis. Fastlæggelse af kurver for mange forskellige prøveflader vil desuden give et meget betydeligt og kostbart arbejde med analyserne, idet et jordbundshul pr. flade kun kan dækkes ved gennemsnitlig 5 å 6 jordprøver.

Vil man gøre sig håb om at få bearbejdet et nogenlunde repræsentativt antal bevoksninger, og håber man yderligere på af sin møjle at nå et resultat, som kan udnyttes i praksis, så må der gennemføres en kraftig nedskæring af kravene om analysearbejdets „videnskabelighed“.

Den simpleste udvej er at bestemme jordens samlede kapacitet for antaget plantetilgængeligt vand. Det vil sige, at det søges oplyst, hvor store vandmængder jorden kan indeholde, når frit vand er sivet bort til grundvandet, og herfra trækkes jordens vandindhold ved visnegrænsen. Differensen kan man kalde: *jordens maksimale plantetilgængelige vandkapacitet*.

Hele problemet indsnævres derved til bestemmelse af grænseværdierne for den maksimale plantetilgængelige vandkapacitet.

Valget af *visnegrænsen* er lettest. Ovenfor er det vist, at nogle skovtræer har en anden aktuel visnegrænse end de testplanter, der normalt anvendes. På den anden side skal visnegrænsen forskydes meget, før jordens vandindhold ændres væsentligt, når de vandbindende kræfter er af størrelsesordenen 15 atm. Selvom bøgens visnegrænse skulle ligge ved f. eks. en vandbindende kraft i jorden på 20 atmosfærer, medens testplanterne visner ved en kraft på 15 atmosfærer, så giver det kun en ringe forøgelse af den plantetilgængelige vandkapacitet for bøg i forhold til testplanterne. Forøgelsen har desuden kun relativt ringe betydning for tørstofproduktionen, idet planterne, når jorden er udtørret til visnegrænsen, kun har en ringe assimilation.

Ved valget af visnegrænsen er det langt snarere af betydning, at man anvender en grænse, som i forvejen bruges i udstrakt grad. Herved skabes der en bedre mulighed for sammenligning af flere forskeres resultater. I praksis har man lagt sig fast ved en vandbindende kraft i jorden på 15 atmosfærer (pF 4,2). Denne værdi anvendes her i landet ved undersøgelser af landbrugsjorder (se bl. a. *Aslyng*, 1955). Ved undersøgelsen af bølgeprøvefladerne er denne værdi derfor også brugt.

Valget af den øvre grænse for jordens plantetilgængelige vandindhold er vanskeligere. Stort set har man hidtil arbejdet med tre forskellige grænseværdier:

1) Balance ved $1/10$ atmosfæres sug eller overtryk (pF 2) er foreslået af *Sekera* (1938). Den anvendes her i landet af landbrugets jordbundsforskere (*Aslyng*, 1955).

2) *Naturlig markkapacitet* (engelsk: field capacity, tysk: Feldkapazität). Det er jordens vandindhold (fri dræning til et dybtliggende grundvandspejl forudsat), når alt vand, som kan bevæges af tyngdekraften, er sivet bort. Kapaciteten kan bestemmes ved, at man udtager jordprøver 3—6 dage efter tøjbrud eller en meget kraftig nedbør. *Colman* (1947) har vist, at man med god tilnærmelse kan bestemme størrelsen i laboratoriet ved at bringe jordprøver i balance ved 345 cm vandsøjles over- eller undertryk (pF 2,5).

3) *Moisture equivalent* (*Briggs og McLane*, 1907) anvendes meget i Nordamerika. Det er jordens vandindhold, efter at den vandmættede jordprøve har været centrifugeret en bestemt tid med en hastighed, der giver en centrifugalkraft på $1,000 \times$ jor-

dens tyngdekraft. *Piper* (1950) angiver, at forskellige forskere har anvendt forskellige centrifugeringstider (40 eller 30 minutter). *Browning* (1941) har undersøgt sammenhængen mellem moisture-equivalent (m.e.) og markkapaciteten (f.c.) for jorder i West Virginia. Det viste sig, at der ikke var nogen generel sammenhæng. Når $m.e. = 21\%$ var $\frac{f.c.}{m.e.} = 1$. For jorder med $m.e. < 21\%$ var $\frac{f.c.}{m.e.} > 1$, og for $m.e. > 21\%$ var $\frac{f.c.}{m.e.} < 1$.

Disse resultater stemmer godt overens med *figur 6*. I lerede og/eller humøse prøver ($m.e. > 21\%$) skal der anvendes en længere centrifugeringstid for at nå den sande markkapacitetsbalance. Det omvendte gælder for sandede jorder.

Disse tre grænseværdier er som nævnt meget anvendte. Det må dog antages, at man med tiden går helt bort fra den sidstnævnte, fordi den ikke er i rigtig god overensstemmelse med den øjeblikkelige viden om jordbundsphysikken i naturligt lejrede jorder.

Den mest naturnære metode er bestemmelse af den naturlige markkapacitet. Anvendelse af denne metode er imidlertid teknisk vanskelig. På svære jorder vil man kun kunne tage prøver i det sene efterår eller det tidlige forår, og kun når vejrguderne lader en nogenlunde lang tør periode følge efter den nedbør eller snesmeltning, som sikrer fuld mætning af jorden. Det vil ikke være praktisk muligt at gennemføre større undersøgelser på et sådant grundlag.

Den bedste løsning er en laboratoriemetode, som så nær som muligt giver de samme resultater som den naturnære metode. Ovennævnte arbejde af *Colman* (1947) taler for anvendelse af en laboratoriebalance ved pF 2,5 (over- eller undertryk på 345 cm vandsøjle). *Richard* (1953a og b) går ind for den samme værdi.

Der er dog visse ting, som taler for, at balance ved 100 cm vandsøjle (pF 2) giver en bedre tilnærmelse til naturlige forhold på de jorder, som falder ind under den undersøgelse, som nærværende beretning omhandler:

1) På relativt svære jorder, som der her er tale om, har den nedadgående vandstrøm kun en ringe hastighed. I vækstperioden vil derfor en del vand, som er i bevægelse mod grundvandet, kunne udnyttes af planterne.

2) Markkapacitetsbalancen forudsætter naturligt veldrænedede jorder med et dybtliggende grundvandspejl. Danske morænejorder er sjældent naturligt veldrænedede. Profilbeskrivelserne (se side 130) viser, at størstedelen af de undersøgte lokaliteter enten er under indflydelse af et mere eller mindre højtliggende grundvandspejl, eller har mere eller mindre tætlejrede horisonter, som antagelig giver stuvningsvand (tysk: staunässe).

Disse argumenter og den kendsgerning, at landbruget i forvejen anvender pF 2 som grænse, har ført til, at forfatteren også har anvendt denne grænse.

Ved den foreliggende undersøgelse er jordens (maksimale) *plantetilgængelige vandkapacitet* herefter defineret som:

Differensen mellem jordens vandindhold ved 1/10 atmosfæres sug og 15 atmosfærers overtryk.

1/10 atmosfære = 100 cm vandsøjle = pF 2,0

15 atmosfærer = 15000 cm vandsøjle = pF 4,2

pF 2,0 = ækvivalensdiameter 30 μ

pF 4,2 = ækvivalensdiameter 0,2 μ

II. BESKRIVELSE AF ANALYSEMETODER OG FEJLBEDØMMELSE.

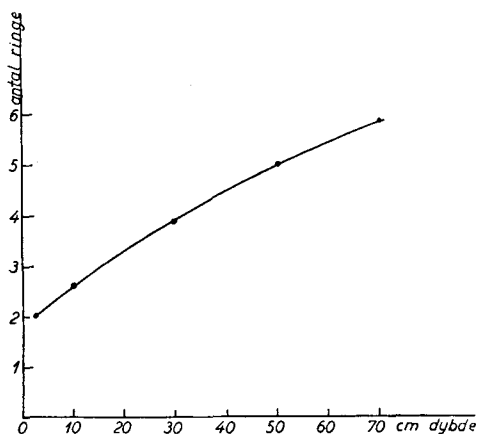
1. Arbejdsmetoder i marken.

1) På hver prøveflade blev gravet et jordbundshul ca. midt på fladen og i $\frac{2}{3}$ -kroneradius' afstand fra et træ, som skønsvis var et middeltræ. På den væg, som vendte mod træet, blev profilbeskrivelsen gennemført og alle jordprøver og prøverne til rodundersøgelsen udtaget.

2) *Prøver i naturlig lejring* er udtaget i ringe af rustfrit stål. Ringene er ca. 5,4 cm høje med en indvendig diameter på 48,9 mm, hvilket giver et rumindhold på 100 cm³. Eftermåling af et tilfældigt udvalg af ringene viser, at rumindholdet svinger mellem 99 cm³ og 101 cm³. Indenfor materialet vil variationen give en tilfældig fejl, som reduceres ved beregningerne for den enkelte profil. Ringene er skærpede i den ene ende og nummererede. I hver profil udtoges 2 prøver i dybden 0—5,4 cm ved forsigtigt at banke to ringe lodret ned. Disse prøver indgår overalt i beretningen som en bestemmelse med deres middelværdi. De øvrige prøver udtoges med ringe, som blev banket vandret ind i profilvæggen. Der er i alle tilfælde udtaget prøver til 70 cm's dybde. Antallet af prøver pr. profil har vekslet lidt i løbet af undersøgelsesperioden. Minimalt er der udtaget 5 prøver ned gennem profilvæggen, flest i profilens øvre humøse del, hvor jorden er mest uensartet, færre i større dybde, hvor jorden er mere ensartet.

I figur 7 er afbildet det gennemsnitlige antal prøver (ordinaten), som er udtaget over den på abscissen angivne dybde.

Ringene transporteres i en speciel fordampningstæt kasse. Den består af to møbelplader, der er beklædt med hård gummi. Prøverne placeres på den ene, og den anden fungerer som låg. Med bøjler, som er fastspændt på den nedre plade, spændes pladerne sammen ved hjælp af fløjskruer (gevind i bøjlerne), der træder på små messingplader indfældet i låget.



Figur 7: Det gennemsnitlige antal prøver i naturlig lejring (antal ringe), som er udtaget over en vis dybde.

Fig. 7: Average number of samples in natural deposits (antal ringe) taken to a certain depth (cm dybde).

I hvert hul er der desuden udtaget *prøver i løs lejring*. Humuslaget er repræsenteret ved 15 tilfældige stik fordelt over hele prøvefladen. I jordbundshullet er der udtaget en blandingsprøve fra hver af de øvrige horisonter. Undertiden er en horisont repræsenteret ved to prøver, en fra horisontens øvre del og en fra horisontens nedre del.

3) På en del af prøvefladerne er der udtaget en jordsøjle med kvadratisk tværsnit (20×20 cm) til fuld synlig roddybde. Søjlen er transporteret adskilt i lag med en tykkelse på mellem 10 og 20 cm. (Se videre side 165).

4) Endelig er der gennemført en fuldstændig florabeskrivelse ved frekvensbestemmelse (*Bornebusch* 1923). Metodisk er der arbejdet lidt anderledes end ved tidligere prøvefladebeskrivelser ved forsøgsvæsenet. Ringen (størrelse $1/10$ m² — se iøvrigt *Bornebusch* 1923) er placeret under skridtning, således at der er et stik i alle kvadrathjørner i et hypotetisk (indskridtet) kvadratnet med sidelængden 4 m. Det er gjort for at undgå subjektive kast i særlig iøjnefaldende klynger af planter. Florabeskrivelserne indgår iøvrigt ikke i deres helhed i beretningen. Her bliver kun anvendt de konstaterede frekvenser af planter, som erfaringsmæssigt indikerer kvælstoffrigørelse.

2. Arbejdsmetoder i laboratoriet.

Jordbundsanalyser.

a. Poreforhold

a. Prøver i naturlig lejring.

I de fleste tilfælde er prøvernes aktuelle vandindhold bestemt i laboratoriet ved en vejning (*vægt a* = jord + ring) før den videre behandling. Prøverne er derefter stillet til „vandmætning“ i et døgn, idet de er anbragt i en ekssikkator med vand, så de nederste 5 mm af ringen var under vand. Til bestemmelse af vandindholdet er foretaget en vejning (*vægt b*), før prøverne er overført til en „Ground-cell“ (*Richards* 1944). Det er en flad porcelæns celle med tud i siden. Cellens overside (flade) er af porøst porcelæn; resten er udvendig glaseret. Røret forsynes med en plastikslinge, der er 1,20 m lang. Før anvendelsen mættes porerne i porcelænsfladen med vand ved at ligge i blød 1 døgn. Hele cellen og slangen fyldes med vand. Slangen hænger ned i et glas med vand. Når cellens overflade er 100 cm over vandoverfladen i glasset, er vandet i cellens porer under et sug på 100 cm vandsøjle. Jordprøver, som anbringes i kontakt med cellen, vil indstille sig ved en balance, hvor vandet er bundet med samme kraft som i porcelæns porerne. For at undgå tilslæmning af porcelæns porerne er der indskudt et stykke hårdt filterpapir (små porer) mellem jordprøverne og porcelænsfladen. Filterpapiret giver samtidig mulighed for at konstatere, at kontakten porcelænsflade — jordprøve har været i orden, idet kontaktfladerne mellem jord og filterpapir aftegner sig ved en tydelig farvning af papiret. Cellen kan tage 20 prøver ad gangen. *Figur 4* viste nogle afvandingskurver for præliminære prøver. Figuren viser, at balance (indenfor „vejegrænserne“ $\pm 0,05$ g) er indtrådt efter ca. 1 døgn forløb. Lejlighedsvis er det kontrolleret, at det slår til, ved at lade prøver gennemgå behandling 2 døgn og veje såvel efter 1. som efter 2. døgn. Der er i intet tilfælde konstateret større afvigelser, end at disse har været mindre end vejefejlen. De første analyser er gennemført på et hjemmebygget apparatur, som arbejdede efter samme princip. Det bestod af porcelænsplader, som med shellak var fæstnet lufttæt til et glaskar med rør i siden. Hver plade kunne kun tage 1 prøve, og forbindelsen glas — shellak var så skrøbelig, at cellerne ofte lækkede, hvorfor et stort antal analyser måtte

laves om gang på gang. Under selve analysen holdes celle og prøver dækket med plastik for at undgå evaporation fra prøverne under analysen. Efter 1 døgn vejes prøverne (*vægt c*) og tørres i 2 døgn ved 105° C. Under tørringen ligger ringen med prøven ned, så fordampning kan ske fra begge endeflader. Derefter vejes prøverne (*vægt d*) og tages ud af ringen. Ringens vægt (*vægt e*) bestemmes. Prøven knuses og dens fastmasse, eller om man vil — totale porevolumen ($100 \text{ cm}^3 \div \text{jordmassens rumvægt}$) bestemmes pyknometrisk, idet luftindholdet fjernes ved lang tids sugning med vandluftpumpe.

De størrelser, som interesserer, er følgende:

- 1) *Aktuelt vandindhold* = $a - d$
- 2) *Vandindhold ved mætning* = $b - d$
- 3) *Vandindhold ved 1/10 atm.* = $c - d$
- 4) *Rumvægten* = $d - e$
- 5) *Totalporevolumen*

β. Prøver i løs lejrning.

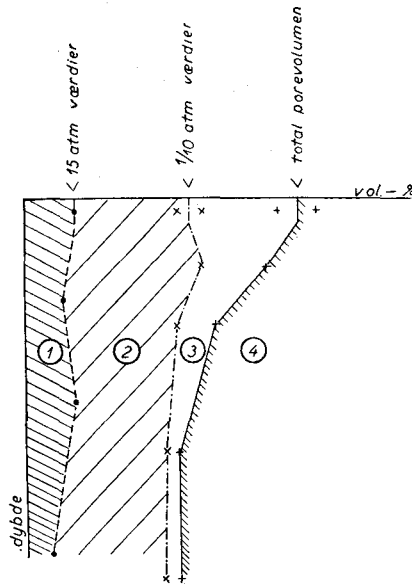
Vandindholdet ved balance ved 15 atmosfærers overtryk er bestemt i et apparat af samme konstruktion, som anvendt af *Aslyng* (1952):

Apparatet består af et trykkammer med et membranfilter (hjemmelavet af 4 % kolloidium, jfr. *Aslyng* (1952)), som hviler på et messingnet, så der er mulighed for vandbevægelse mellem membranen og trykkamrets bund. Membranen tillader vand, men ikke luft at passere ved de anvendte tryk. Luft, som er opløst i vandet, vil dog gå igennem samtidig med dette, og da luftens opløselighed stiger med trykket, vil der være mere luft opløst i vandet i trykkamret, end det kan opløse ved atmosfæretrykket under membranen. Der kan derfor altid ses luftfrigørelse i det afgivne vand. Jordprøverne anbringes på membranen, mættes med vand, trykkamret lukkes, og der sættes 15 atmosfærers overtryk på. En udløbsstuds midt i karrets bund sikrer, at der er trykforskel mellem membranens over- og underside, og at det gennempresede vand kan opsamles i en kolbe, som vejes periodisk til kontrol af, hvornår balance er opnået.

Apparatet er konstrueret af *Richards* (1947). Det af *Aslyng* (og os) anvendte apparat afviger noget fra den mest formålstjenlige konstruktion (se også (*Richard* (1953b)), der har fortrinlige „arbejdstegninger“). Vort apparat kræver temmelig lang tid,

før balancetilstanden er opnået (jfr. figur 5), medens den bedre konstruktion (Richard 1953b) giver balance i løbet af ca. 36 timer. Prisforskellen mellem konstruktionerne taler for den simple konstruktion, og vi har lige så lidt som *Aslyng* (1952) konstateret manglende kontakt mellem membran og jordprøver. Med hensyn til tegninger og lignende henvises til *Aslyng* (1952).

Til analysen anvendes lufttørrede og sigtede (kornskel 2 mm) prøver. Der er anvendt gummiringe med en diameter på ca. 35 mm og en højde på ca. 20 mm. Ringene fyldes med den tørre jord. Efter vandmætning fylder jorden gennemsnitlig ca. $\frac{2}{3}$ af ringen. Apparatet kan tage 40 prøver, men der gennemføres altid dobbeltanalyser, det vil sige, at hver fyldning giver analyser af



Figur 8: Et eksempel på grafisk oplægning af resultaterne af analyserne til bestemmelse af jordvandsforholdene. Ved beregningerne repræsenterer areal (1) den ikke-plantetilgængelige vandmængde. Areal (2) repræsenterer den plantetilgængelige vandkapacitet. Areal (3) repræsenterer den minimale luftkapacitet, forudsat at grundvandspejlet ligger mindst 1 m under undersøgelsesdybden. Areal (4) repræsenterer jordens faste masse.

Fig. 8: An example of graphical plotting of results of analyses for the determination of soil water conditions. In the calculations area (1) represents the nonplant-accessible amount of water. Area (2) represents the plant-available water-capacity. Area (3) represents the minimum air capacity provided that the water-table lies at least 1 m beneath the depth under investigation. Area (4) represents the solid mass of the soil.

20 prøver. Omregning af de fundne vægtprocenter sker på basis af den rumvægt, som findes for de naturligt lejrede prøver.

Beregning af plantetilgængelige vandkapaciteter foretages på følgende måde:

De fundne værdier lægges op i et diagram på millimeterpapir, som vist i *figur 8*. Punkterne forbindes med linier, og det er derefter muligt at beregne arealerne mellem de enkelte kurver. Arealet mellem ordinataksen og første kurve, som på figuren er betegnet (1), svarer til den ikke-plantetilgængelige vandmængde, jorden indeholder. Areal (2) svarer til den antaget maksimale plantetilgængelige vandmængde. Areal (3) svarer til den antaget minimale luftkapacitet under forudsætning af, at grundvandspejlet ligger mindst 1 m under det nederste punkt, som man lader indgå i beregningen. Areal (4) svarer til jordpartiklernes volumen. Ved beregningen af vandkapaciteterne må der indgå en prøve, der ligger under den dybde, hvortil man beregner kapaciteten. *Figur 4* viser det gennemsnitlige antal prøver (40 profiler), som er over den angivne dybde. Ved beregningerne indgår der f. eks. gennemsnitlig 7 prøver (6 + 1) ved beregning af den plantetilgængelige vandkapacitet til 70 cm's dybde.

Den plantetilgængelige vandkapacitet angives i mm nedbør.

b. *pH* er bestemt i de lufttørre prøver ved anvendelse af de gængse metoder (elektrometrisk måling med glaselektrode). Der er bestemt *pH* såvel i vandig som i 1 normal KCl-opslemning.

c. *Næringsindholdet* er undersøgt på Hedeselskabets laboratorium efter gængse metoder. Følgende størrelser, der er udtryk for antaget plantetilgængelige næringsmængder, er bestemt:

Kaliumtallet, T_K (*Damsgaard-Sørensen, 1941*)

Fosforsyretallet, F_t (*Bondorff, 1950*)

Fosfattallet, F_H (*Møller og Mogensen, 1951*)

d. *Mekaniske analyser* er gennemført efter den af *Tovborg-Jensen og Kjær (1948)* publicerede metode, efter at alt organisk stof forinden er brændt bort med brintoverilte (se *Aslyng, 1952*).

Analyseresultaterne er afbildet som summationskurver (finhedskaraktistikker) i et dobbeltlogaritmisk koordinatsystem. *Figur 13, 14, 25 og 26* er eksempler på sådanne finhedskaraktistikker. Finhedskaraktistikkerne er en god måde at publicere resultater af mekaniske analyser på, idet summationskurverne

hurtigt giver en oversigt over karakteristiske forskelle mellem analyseresultaterne. Man kan desuden differentiere kurverne og finde indholdet af partikler i forskellige kornstørrelsesklasser.

For den foreliggende beretning har de mekaniske analyser ikke synderlig interesse, og forfatteren har derfor nøjedes med at give en indekssværdi for den mekaniske sammensætning af mineraljorden i forbindelse med beskrivelserne af de enkelte profiler (side 210). Sådanne indekssværdier anvendes i praksis ved de jordbundsbeskrivelser, som gennemføres i forbindelse med planrevisioner (*Grøn*, 1945).

Henriksen (1958) har anvendt klasser, som benyttes af amerikanske (og schweiziske) jordbundsforskere. En given prøves placering i dette system finder man ved at gå ind i et triangeldiagram. Indgangsværdierne er sand (2,0—0,05 mm), silt (0,05—0,002 mm) og ler (< 0,002 mm). Forfatteren mener imidlertid, at dels har danske jorder en sådan mekanisk sammensætning, at de klasser, som er baseret på siltindholdet, sjældent findes her i landet, dels er det ikke muligt i praksis at sondre så mange klasser, som det nævnte triangeldiagram angiver.

Morænejorder kan sikkert bedst inddeles i klasser alene på basis af lerindholdet. Det foreslås derfor, at danske skovjorder inddeles i følgende klasser efter lerindhold:

Sand (s):	lerindhold < 2,5 %
Svagt leret sand (sls):	2,5 % < lerindhold < 5 %
Leret sand (ls):	5 % < lerindhold < 10 %
Sandet ler (sl):	10 % < lerindhold < 20 %
Svagt sandet ler (ssl):	20 % < lerindhold < 40 %
Ler (l):	40 % < lerindhold

Klasserne er de samme, som er angivet af *Grøn* (1945), og i praksis dækker de erfaringsmæssigt over det lerindhold, som afsløres ved at gnide og rulle prøver mellem fingrene (*Grøn l.c.*). Det må dog understreges, at der skal meget stor praktisk erfaring til, hvis der ikke skal blive store spredninger på de resultater, man får ved fingerprøver i forhold til regulære mekaniske analyser.

Ved de enkelte klasser er anført nogle bogstavbetegnelser i parentes. Disse er anvendt som betegnelse for klasserne ved profilbeskrivelserne (side 210 ff.).

Tabel 1.

Table 1.

Prøve- flade	Al- ders- gruppe	Måle- peri- odens udløb	Alder ved peri- odens udløb	Højde mellem tyn- ding	Boni- tet efter CM: M	Totalmassestilvækst m ³ pr. ha og år			10-års periode		20-års periode	
						10 års pe- riode	grafisk korri- geret	20-års pe- riode	Ant. hugst- mell- rum årlg.	Pe- rio- de- rum årlg.	Ant. hugst- mell- rum årlg.	Pe- rio- de- rum årlg.
Sample plot	Treat- ment group	Expiry of mensur. period	Age at expiry of mensur. period	Height bet. thin- nings m	Site class acc. to Møller 1933	Total volume increment in m ³ per hectare and year			10-year period		20-year period	
						10-year period	graph.ly cor- rected	20-year period	Num- ber of thin- ning years intervals	Length of thin- ning years intervals	Num- ber of thin- ning years intervals	Length of thin- ning years intervals
LN		1955	39	20,2	0	19,6	14,4	—	2	8	—	—
DM		1953	71	24,2	1,7	18,2	14,3	17,3	3	12	5	20
DL		1953	71	24,3	1,7	18,6	14,6	17,3	3	12	5	20
DF	I	1951	81	29,2	0,9	17,9	14,9	17,9	2	9	4	17
R		1951	81	29,0	1,0	16,1	13,4	16,5	2	10	5	22
Q		1951	81	28,8	1,1	15,5	12,9	16,0	2	11	4	21
DV ₁		1953	83	28,5	1,2	19,0	16,0	18,8	2	11	3	15
DV ₂		1953	83	27,8	1,4	20,7	17,5	21,4	2	11	3	15
BL		1952	102	27,8	2,1	12,4	12,6	13,4	2	11	4	19
K		1952	104	32,3	1,0	14,1	14,5	14,1	2	10	4	23
DD		1955	108	24,0	3,1	10,5	11,1	11,2	3	12	6	24
DC	II	1955	108	25,1	2,9	12,3	13,0	11,4	2	12	5	24
DB		1952	109	32,7	1,0	13,5	14,3	13,2	2	10	5	21
DA		1952	109	32,7	1,0	17,3	18,3	15,6	2	10	5	21
CN		1953	110	29,7	1,8	13,2	14,1	13,6	3	13	5	23
M		1952	133	32,9	1,1	13,7	15,3	13,2	2	10	4	23
X		1952	137	34,1	0,9	12,9	14,5	12,7	2	10	4	23
CB		1952	146	31,9	1,4	9,9	11,3	10,0	1	9	2	18
DI	III	1951	152	35,3	0,6	14,3	16,3	14,5	2	9	4	20
A		1952	153	32,8	1,2	18,2	20,7	17,1	2	14	4	22
DE _x		1952	159	30,0	1,9	11,0	12,5	—	2	6	—	—
DE		1952	159	33,4	1,1	10,7	12,2	10,7	3	10	5	23
DS		1951	89	29,7	1,2	22,9	20,4	22,7	2	12	4	21

Tilvækststopgørelsen:

Der er ikke gennemført nogen selvstændig træmåling. Træmålingsdataene er hentet fra Forsøgsvæsenets løbende målinger. *Tabel 1* giver en oversigt over de anvendte data: a) Udløb

Tabel 1 (fortsat).
Table 1 (continued).

Prøveflade	Aldersgruppe	N-værdier	Grundflade m ²	Plantetilgængelig vandkapacitet mm								Gennemsnitlig nedbør mm	
				0-70 cm	0-60 cm	0-50 cm	0-40 cm	0-30 cm	0-20 cm	0-10 cm	0-5 cm	10-års periode	20-års periode
Sample plot	Treatment group	N-values	Basal area m ²	Plant-available water-capacity mm								Average rainfall mm	
											10-year period	20-year period	
LN		27,8	19	125	115	102	87	69	50	28	14	230	—
DM		17,7	23	118	104	94	80	65	46	25	13	230	214
DL		29,1	22	156	136	114	91	70	49	28	10	230	214
DF	I	16,2	21	133	119	102	83	63	42	21	11	245	236
R		16,1	21	115	98	82	65	46	28	12	6	256	248
Q		9,8	25	102	89	75	62	49	34	16	8	253	249
DV ₁		6,0	21	137	120	103	85	66	46	25	14	231	220
DV ₂		—	45	143	127	108	88	66	50	22	11	231	220
BL		40,1	21	108	94	79	64	49	30	13	7	244	243
K		15,3	26	124	109	94	77	61	43	23	12	233	213
DD		14,0	22	85	71	58	46	34	23	6	1	249	258
DC	II	3,2	22	114	99	82	64	45	27	10	5	249	258
DB		0,5	25	126	111	94	75	55	44	23	11	261	253
DA		0,5	43	152	137	121	103	81	54	24	13	261	253
CN		10,0	21	97	89	81	69	54	38	16	8	240	245
M		—	26	137	122	103	92	73	52	26	12	233	213
X		12,3	27	127	114	100	84	68	52	30	15	233	213
CB		0,4	29	115	108	97	80	60	38	17	8	236	246
DI	III	28,6	28	148	131	110	95	74	52	28	14	246	257
A		26,9	24	152	131	110	88	65	42	22	11	226	223
DE _x		1,8	43	121	101	84	66	49	34	14	7	217	—
DE		14,6	27	124	107	82	74	56	38	20	10	233	213
DS		12,6	32	122	—	—	75	—	—	—	—	224	222

af den anvendte undersøgelsesperiode, b) Højden ved periodens udløb, som er aflæst på aldershøjdekurver på basis af mellemtyndingshøjderne, c) Den gennemsnitlige tilvækst i en periode på omtrent 10 år og en omtrent 20 år lang periode. Periodernes

længde og antallet af målemellemrum er ligeledes angivet. Tabellen indeholder desuden en kolonne med angivelse af den rå potentielle højdebonitet (*Møller, 1933*).

Nedbørstal er opgjort på basis af *Meteorologisk Instituts månedsoversigter*. For hver prøveflade er nedbøren på en nærliggende station summeret for månederne *maj, juni, juli* og *august* (*Holmsgaard, 1955*). Dette er gjort for hvert af årene, som indgår i tilvækstoppørelsen. De enkelte års nedbørssum er summeret for de to tilvækstperioder og middelnedbørssummen i hver af tilvækstperioderne er beregnet (Tabel 1).

Florasammenstillingerne, som ikke er taget med i beretningen, er foretaget på samme måde, som tidligere af *Bornebusch (1923)*. *Kriso (1952)* har foreslået en metode til kvantitativ bedømmelse af en lokalitets vand- og næringsforhold på basis af en statistisk florabeskrivelse. De enkelte planter får vægt efter deres forekomst, og vægten henføres til de kolonner, der dækker over plantens antagne optimale krav til vand, pH og næring. Oplysningerne hentes fra *Oberdorfers (1949)* flora. Summen af enkeltkolonnernes vægte divideres med hovedsummen af de anvendte vægte. For hver lokalitet får man på denne måde oplysninger (procentale) om lokaliteternes vand- og ernæringsforhold. Lægges procenterne op i histogrammer, kan man let sammenligne forskellige lokaliteter. Her er anvendt en modificeret form af denne metode. Frekvenserne er multipliceret med 2, og disse tal er anvendt som vægte. Planter med frekvensen 0 (forekomst på arealet men i intet tilfælde i stikkene) er tillagt vægten 1. Planterne er derefter slået op i *Oberdorfers* flora (1949), og det er noteret, hvilke af dem *Oberdorfer* tillægger indikatorværdi overfor kvælstof (NH_4^+ såvel som NO_3^+). Vægtene for disse er summeret og divideret med summen af alle planternes vægte og multipliceret med 100 til en procentværdi for hver lokalitet. Disse N-værdier er anført i *tabel 1*.

3. Fejl på analyserne.

For at få et begreb om sikkerheden på det materiale, som er bearbejdet, er det nødvendigt at gennemføre analyser specielt med henblik på en sådan fejlbedømmelse. De fejl, som kan forekomme, er følgende:

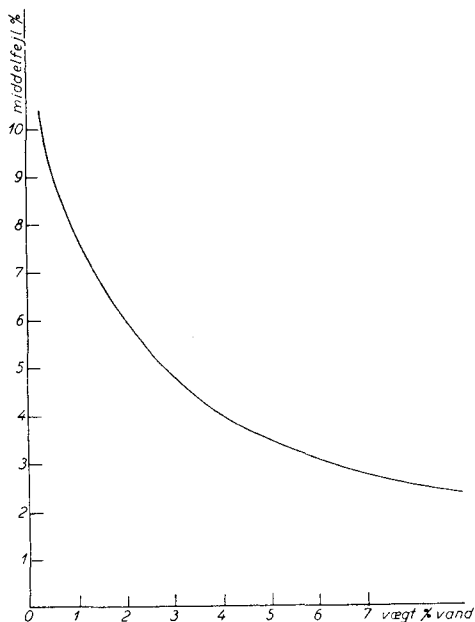
- 1) *Systematiske afvigelser*, der skyldes, at udtagelsesmetodikken eller selve analysen giver resultater, som afviger ensidigt fra de sande værdier.
- 2) *Arbejdsfejl i laboratoriet*, der forårsages af alle de små overvejende tilfældige afvigelser, som nødvendigvis forekommer i laboratoriet.
- 3) *Repræsentationsfejl*, hvorved der i denne undersøgelse er tænkt på sådanne fejl, som skyldes, at prøveudtagningen på en prøveflade ikke i tilstrækkelig høj grad dækker de faktiske forhold på prøvefladen.

Prøverne udtaget i naturlig lejring er behæftet med en *ensidig fejl* som følge af, at prøverne ved udtagningen sammentrykkes noget ved gnidningen mellem rørets sider og jordprøven. Størrelsen af en sådan fejl kunne måske have været bedømt ved sammenlignende analyser af forsigtigt udtagne klumper af jord og prøver udtaget i ringe. En sådan undersøgelse er imidlertid teknisk vanskelig og usikker. Den kræver, at jorden har en vis minimal sammenhængningskraft, hvilket kun er tilfældet på forholdsvis svære jorder. Af denne grund er en sådan undersøgelse undladt. *Figur 23* og *24* (side 155) giver en mulighed for at forudsige ensidighedens fortegn. Sammentrykning giver en større rumvægt og dermed et mindre totalt porevolumen (*figur 23*) og sandsynligvis en mindre 1/10 atm.-værdi (*figur 24*). De fundne værdier er altså med stor sandsynlighed lidt for små.

Arbejdsfejlen i laboratoriet er uden betydning for de prøver, som er udtaget i naturlig lejring. Forudsat, at den tilstræbte balancetilstand virkelig nås (lejlighedsvis kontrol, jfr. side 117), er den af tilfældig natur (vejefejl f. eks.).

Det totale porevolumen bestemmes ved pyknometri efter tørring ved 105° C. Tørringen medfører en irreversibel vandafgang og en deraf følgende irreversibel skrumpning af lerkolloiderne. Teoretisk giver metoden lidt for store totale porevolumina. Forholdet er ikke nærmere undersøgt.

15 atm.-værdierne er i laboratoriet behæftet med en vis tilfældig arbejdsfejl. Undersøgelser viser, at den relative middelfejl stiger med faldende 15 atmosfære-værdi. I *figur 9* er den relative middelfejl på enkeltbestemmelserne lagt op over 15 atmosfære-værdierne. Kurven viser, hvilke omtrentlige maksimale fejl man må regne med.



Figur 9: Den relative middelfejl på laboratoriebestemmelserne af 15 atm.-værdierne som funktion af 15 atm.-værdierne.

Fig. 9: The relative mean error (middelfejl %) on laboratory determinations of 15-atm. values as a function of 15-atm. values (vægt % vand).

Om 15 atmosfære-værdierne skal yderligere bemærkes, at *Aslyng* (1952) har vist, at naturligt lejrede prøver har lidt større 15 atmosfære-værdier end sigtede. Lufttørring nedsætter 15 atmosfære-værdierne noget i forhold til værdier bestemt på naturligt fugtige prøver. Med den anvendte analyseteknik får man altså lidt for lave værdier. Denne teknik er imidlertid almindeligt anvendt, og den ensidige „fejl“ er efter *Aslyng* uden praktisk betydning. Det bemærkes, at ensidigheden går i den „rigtige retning“ ved analyse af skovjorder, fordi skovtræer antagelig har en noget lavere visnegrænse end andre afgrøder (lavere vandindhold eller højere tryk — jfr. side 107).

Repræsentationsfejlen på de enkelte størrelser er uden interesse for fremlægningsresultaterne. I denne forbindelse har man mere brug for at kende størrelsesordenen af repræsentationsfejlen på de beregnede værdier (plantetilgængelig vandkapacitet).

Tabel 2. Plantetilgængelig vandkapacitet (mm) beregnet til forskellig dybde.
2 huller på hver prøveflade.

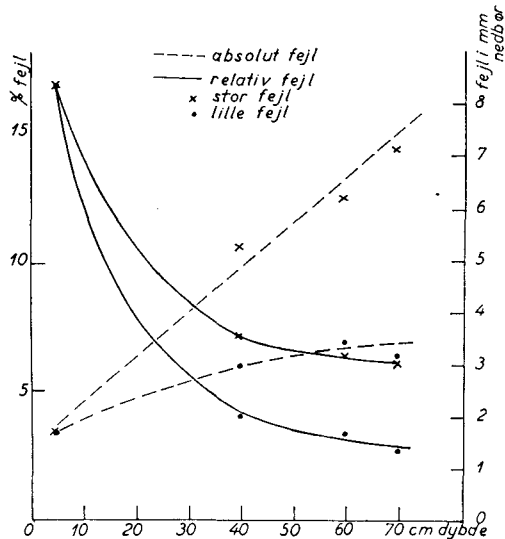
Table 2. Plant available watercapacity (mm) calculated to varying depths
2 soil pits on each sample plot.

Beregningsdybde Depth of calculation	0-70 cm		0-60 cm		0-40 cm		0-5 cm		Bemærkninger Remarks
<i>Prøveflade</i> <i>Sample plot</i>									
DR	103	103	93	90	68	67	11	10	Gruppe A: Ensartede prøveflader bedømt ud fra flora og terræn Group A: Uniform sample plots evaluated on the basis of flora and terrain
Q	102	101	88	89	65	62	5	6	
M	134	140	125	118	94	91	13	12	
DD	88	82	73	70	44	47	1	1	
DC	112	116	101	96	65	64	4	4	
DS	121	123	107	105	73	78	10	16	
DF	139	137	122	114	84	82	11	10	
DE	125	123	105	110	69	78	10	11	
DI	154	142	124	139	86	105	15	13	Gruppe B: Flora- og/eller terræn- forskelle giver mistanke om, at prøvefladerne er uensartede Group B: Differences in flora and/or terrain raise suspicion that sample plots are not uniform
K	117	130	101	116	84	71	11	12	
X	119	135	121	108	79	89	14	17	
DEx	110	132	92	110	69	64	6	13	
Middel- fejl på enkelt bestem- melser- ne	lille (A)	3,2 mm 2,6 %	3,4 mm 3,2 %		3,0 mm 4,0 %		1,60 mm 16,3 %		
	stor (A + B)	7,1 mm 6,0 %	6,5 mm 6,2 %		5,2 mm 7,1 %		1,63 mm 16,7 %		
Standard error on single deter- minations	small (A)								
	great (A + B)								

Tabel 2 giver en oversigt over de prøveflader, hvor der er undersøgt to jordbundshuller. Materialet er delt i to grupper:

A) prøveflader, som efter alt at dømme har ensartede jordbundsforhold,

B) prøveflader, hvor flora og terræn sandsynliggør, at jordbunden (og tilvækstbetingelserne) ikke er ensartede.



Figur 10: Fejlen på bestemmelsen af de plantetilgængelige vandkapaciteter som funktion af beregningsdybden. Den „lille fejl“ findes for den del af materialet, som har ensartede jordbundsforhold. Den „store fejl“ fremkommer, når der indregnes flader med uensartede jordbundsforhold.

Fig. 10: Error on the determination of plant-available water-capacities as a function of depth of calculation (cm dybde). The „lille fejl“ is found for that part of the plots which have uniform soil conditions. The „stor fejl“ appears where plots with heterogeneous soil conditions have been included in the calculations.

(relativ fejl = relative error; absolut fejl = absolute error)

Den absolutte fejl og den relative fejl ved beregning af den plantetilgængelige vandmængde til forskellige dybder er beregnet, dels for gruppe A) og dels for grupperne under eet.

I figur 10 er fejlene lagt op over beregningsdybderne. Ved beregning af vandkapaciteten til stor dybde (70 cm) er fejlen af en størrelsesorden, som kan tolereres ved undersøgelser med praktisk sigte. Når den relative fejl stiger med faldende beregningsdybde, skyldes det i nogen grad, at der indgår færre prøver i beregningen (figur 7). Samtidig er den egentlige arealspredning større i de øvre lag (humøse med stor biologisk aktivitet) end i dybere lag.

I det foreliggende materiale er der taget hensyn til den større spredning i overjorden, idet prøvernes antal er størst i de øvre horisonter (jfr. figur 7). Det kan dog ikke afgøres, om der er taget tilstrækkeligt hensyn.

Konklusion: Bedømmelsen af fejlen viser, at det er muligt med stor sikkerhed at foretage sammenlignende bestemmelse af jordens plantetilgængelige vandkapacitet på forskellige lokaliteter.

Fejl på tilvækstopgørelsen.

Det er ikke muligt at foretage nogen eksakt bedømmelse af fejlen på tilvækstopgørelsen.

Til grund for opgørelserne ligger:

- a) *Grundflademålinger*, som er foretaget ved korsvis klupning ved afsat målestedsmærke. Træerne er nummererede og bogføres enkeltvis (ingen stamtalsfejl!). De anvendte kluppe har været vel justerede, og målepersonalet er øvet.
- b) *Højdemålinger*, som er gennemført med nøjagtige redskaber, i de seneste år *Løvengreens* højdemåler. Kontrol på højdekurverne har man ved, at højden måles på et betydeligt antal fældede træer.
- c) et stort antal løbende *formtalsmålinger* for hver enkelt prøveflade.

Standarden ligger betydeligt over den træmåling, der gennemføres som almindelig praksis. Tilvækstopgørelserne er baseret på mindst to hugstmellemrum (*tabel 1*). Sikkerheden på tilvækstopgørelsen stiger med antallet af hugstmellemrum.

Efter mundtlig meddelelse fra afdelingsleder *H. A. Henriksen* kan man skønne, at middelfejlen på tilvækstopgørelsen ligger under $\pm 2-3\%$ for de lange perioder. *Det må dog understreges, at der er tale om et skøn.*

Holmsgaard (1955 — side 138) påpeger, at nedbøren kan variere stærkt — selv indenfor korte afstande. Ved opgørelsen er der for hver lokalitet anvendt en nærliggende station for nedbørmåling. Om denne station virkelig er repræsentativ for prøvefladen, er det ikke muligt at udtale sig om. Det må bl. a. understreges, at det formentlig ikke er ligegyldigt, hvor stationen er beliggende i forhold til prøvefladen (retning og højde over havet). På forhånd må det antages, at samvariationen mellem nedbøren på en prøveflade og den nærmestliggende station ikke er så god, som man kunne ønske.

III. BESKRIVELSE AF DE ENKELTE LOKALITETER.

I det følgende gennemgås de enkelte prøveflader ganske kort med angivelse af beliggenhed, anlægsår med mere. Det omtales, hvilke 4 arter af bundfloraen, der har størst frekvens, og for hver prøveflade gennemgås en jordbundsprofil. Hvor der er gravet mere end et hul, er anvendt det hul, som ved markarbejdet har fået nr. 1. I *tabel 1* er der givet en oversigt over træmålingsdata og vandforsyningsforhold, og i *tabel 8*, som findes bag i beretningen, er de vigtigste jordbundskemiske data samlet. Angivelser af mineraljordens mekaniske sammensætning findes ligeledes i *tabel 8* (se også side 121).

Hvor intet andet er anført, er der tale om bøg af dansk herkomst. Aldersfordelingen fremgår af *tabel 1* og er nærmere behandlet på side 168.

Prøvefladernes regionale fordeling ses af den efterfølgende oversigt. De er beliggende i 6 hovedområder: *Gribskov, Odsherred, Lolland-Falster, Sydfyn, Sønderjyllands østkyst* og *Roldskov*. De må derfor antages at være repræsentative for hele det danske moræneområde, og følgelig må det være tilladt at slutte, at undersøgelsens resultater er af generel værdi.

De enkelte bevoksningers rå potentielle højdebonitet ved slutningen af den anvendte iagttagelsesperiode er ligeledes opført i *tabel 1*. (Se også omtalen af bonitetsforholdene på side 171).

En stor del af prøvefladerne har tidligere været beskrevet af *Bornebusch* (1923).

Prøveflade LN: Krenkerup distrikt, Hestehaven. Anlagt efterår 1946, areal 0,36 ha. Terrænet er helt jævnt. Flora 24/6-1953: Bukkar (87), skovsyre (84), krybende læbeløs (75) og skovviol (34). Jordbundsprofil d. 21/11-1952:

1 cm løv fra dette år.

0—25 cm: humuspræget brunjord

25—74 cm: svagt humuspræget brunjord med svage reduktionszoner

74—85 cm: blågrå reduktionszone (glei*)

85—90? cm: for tiden tør og meget fast (leralsagtig).

Der var ikke på undersøgelsesdagen grundvand indenfor den dybde, der er gravet til. Profilen viser imidlertid, at grundvandet i forårstiden står ca. 25 cm under jordoverfladen.

Prøveflade DM. Halsted Kloster distrikt, Torrig skov. Anlagt 1936, areal 0,39 ha. Ungarnsk bøg. Terræn helt jævnt. Flora d. 25/6-1953: Bukkar (51), enblomstret flitteraks (39), hindbær (27) og alm. gedeblad (26).

Jordbundsprofil d. 20/11-1952.

1 cm løv, heraf en del fra 1951

0— 7 cm: muld

7— 22 cm: humuspræget brunjord

22—105 cm: gleihorisont

105—120? cm: tæt lejret (leralagtig) horisont, kalkholdig.

Der kom ikke grundvand i hullet. Grundvandet står i forårstiden formentlig så højt som til ca. 22 cm under jordoverfladen.

Prøveflade DL: Halsted kloster distrikt, Kastager skov. Anlagt 1936, areal 0,27 ha. Ungarnsk bøg. Terræn helt jævnt. Flora d. 25/6-1953: Bukkar (96), brombær (83), stinkende storkenæb (34) og skovsyre (31).

Jordbundsprofil d. 20/11-1952:

1 cm løv, heraf en del fra 1951

0— 5 cm: muld

5— 20 cm: humuspræget brunjord

20— 70 cm: gleihorisont

70—110? cm: tæt lejret, for tiden hård (leralagtig), kalkholdig horisont.

Der kom ikke grundvand i hullet. Grundvandet står i foråret formentlig ca. 20 cm under jordoverfladen.

Prøveflade DF: Sandbjerg distrikt, Storskov, anlagt 1922. Areal 0,20 ha. Terræn helt jævnt. Flora d. 19/6-1956: Hvid anemone (100), skovsyre (34), enblomstret flitteraks (28) og vorterod (24).

*) Glei er betegnelsen for de reduktioner, som skyldes permanent grundvand (blåler) eller temporært grundvand. Når grundvandet synker (p. gr. af træernes vandforbrug), trænger ilt ned i jorden og ilter divalente jernioner til trivalente jern-iltforbindelser omkring de luftførende kanaler (regnormegange, rodkanaler, naturlige strukturelle spalter), hvorved profilen bliver flammert af røde forbindelser af trivalent jern med ilt og grå forbindelser af divalent jern. Når grundvandets dybeste stand er den grå til gråblå farve (reduktion) overvejende. De røde farver bliver mere fremherskende, jo nærmere man kommer grænsen for grundvandets højeste stand. Organiske forbindelser, som er opløst i grundvandet, spiller en stor rolle for reduktionen.

Jordbundsprofil d. 8/5 1956 (hul 1):

2 cm løv årgang 1955 og lidt af årgang 1954

0— 3 cm: muld

3— 20 cm: humuspræget brunjord

20— 31 cm: overgangzone med meget svag glei

31— 68 cm: rødbrun, leret overjord med svag glei

68—115 cm: horisont med tiltagende glei

115—145? cm: lys (reduceret) underjord.

Grundvand er ikke iagttaget. Profilen tyder på, at der lejlighedsvis (meget fugtige år) kan optræde vandmætning op til omkring 30 cm fra jordoverfladen. Højeste „normale“ grundvandstand synes at være ca. 70 cm fra jordoverfladen.

Prøveflade R: Københavns distrikt, Geel Skov, anlagt 1887. Areal 0,21 ha. Terræn helt jævnt. Prøvefladens nordlige halvdel med tæt ær-opvækst med gejl vækst og en højde af ca. 4 m. Den sydlige halvdel med mere spredt opvækst (aftagende plantetal og højde mod syd). Arealet med noget forblæst bund i den sydligste ende, tiltagende i den smalle, sydlige bræmme udenfor prøvefladen, som grænser op til et mindre kulturareal syd for prøvefladen. Flora d. 18/6-1952: Bukkar (96), skovsyre (80), hvid anemone (45) og enblomstret flitteraks (20).

Jordbundsprofil d. 18/6-1952:

2 cm løv fra 1951 med mange regnormeekskrementer.

0—1,5 cm: muld

1,5— 50 cm: brunjord

50—120? cm: underjord præget af svag glei

Grundvand ikke iagttaget. Det må antages, at det undtagelsesvis i korte perioder står så højt som 50 cm under jordoverfladen.

Prøveflade Q: Jægersborg distrikt, Jægersborg Hegn. Anlagt 1882. Areal 0,31 ha. Terræn svagt bølget med svagt fald mod syd. Flora d. 11/9-1952: Skovsyre (100), bukkar (17), skovhejre (10) og hindbær (10).

Jordbundsprofil d. 21/8-1952:

1— 2 cm løv

0— 4 cm: noget degraderet muld

4— 38 cm: lys, gråbrun „leral“ med svage rustpletter (gleiagtig*)

38—100? cm: brun skørler med god struktur.

Prøveflade DV: Krenkerup skovdistrikt, Fruemosen. Anlagt 1938. Areal 0,18 ha. Terræn jævnt. Flora d. 24/6-1953: Skovsyre (99), bukkar (92), skovviol (44) og hvid anemone (22).

*) Den velitede underjord viser, at der ikke er tale om ægte glei, men en gleiagtig dannelse, som antages at være forårsaget af, at leralen virker vandstandsende og tidvis medfører ansamling af temporært grundvand i og over leralen. Manganforbindelser spiller en stor rolle ved gleiagtige dannelser. Den typiske gleiagtige horisont indeholder koncretioner med højt manganindhold.

Jordbundsprofil d. 18/11-1952:

- 1 cm løv, hvoraf lidt er fra 1951
 - 0— 4 cm: muld
 - 4— 46 cm: brunjord
 - 46— 90 cm: overgangshorizont, svagt præget af glei, noget fast lejret
 - 90—125 cm: leralagtigt lag med svag gleidannelse
 - 125—? cm: lys, gul, leret horisont med kalk. Svag gleidannelse.
- Der er ikke truffet grundvand i hullet, men profilbeskrivelsen giver holdepunkt for en antagelse om, at der periodisk er højtstående grundvand. Rodundersøgelsen viser, at der i dybden er temmelig mange døde rødder.

Prøveflade DV₂: Krenkerup skovdistrikt, Fruemosen. Anlagt 1938. Areal 0,18 ha. Terræn jævnt. Prøvefladen er en „urskovsparcel“. Floraen er ikke analyseret, da den er meget dårligt udviklet, formentlig som følge af lysmangel. Arterne er dog de samme som på DV₁.

Jordbundsprofil d. 18/11-1952:

- 1,5 cm løv
 - 0— 6 cm: muld
 - 6— 62 cm: brunjord, der er mørkere end på DV₁
 - 62— 95 cm: fortættet horisont (leral) med svag glei
 - 95—110? cm: mørkere ler (skørler), med svag glei.
- Heller ikke her er der konstateret grundvand, men profilbeskrivelsen støtter en antagelse om, at det periodisk står højt. Der er også her mange døde rødder i dybden.

Prøveflade BL: Nødebo distrikt. Anlagt 1894. Areal 0,29 ha. Prøvefladen ligger overvejende på svagt bølget terræn. Den østlige ende ligger ned ad en stejl østhælde. Bunden er forblæst. Florabeskrivelse d. 12/9-1952: Kugleakset star (49), bølget bunke (37), skovsyre (35) og håret frytle (19).

Jordbundsprofil d. 12/9-1952:

- Alt løv blæst bort
 - 0— 3 cm: muldet mor
 - 3— 8 cm: humøs overjord med blegsandskarakter
 - 8—35 cm: stenet, gulbrun overjord
 - 35—40 cm: overgangshorizont
 - 40—85? cm: meget hård leral (gleiagtig).
- Leralens hårdhed illustreres bedst ved, at det trods 4 timers arbejde med hakke kun var muligt at komme de nævnte 45 cm ned i den.

Prøveflade K: Odsherreds distrikt, Grønnehave skov. Anlagt 1873. Areal 0,34 ha. Noget grupperet opvækst af ær med enkelte hyld, som gennemgående er sluttet (ca. 5 m høj). Terrænet falder svagt mod øst. Opvækstens karakter er sådan, at der måske burde gives tillæg for dens tilvækst ved tilvækstundersøgelsen. Det er dog ikke gjort. Flora d. 12/6-1956: Hvid anemone (97), enblomstret

flitteraks (44), bukkar (25) og skovsyre (18). Floraen er meget yppig. Prøvefladens østlige halvdel synes noget bedre end den vestlige halvdel.

Jordbundsprofil d. 12/6-1956:

5 cm løv i god omsætning

0— 5 cm: muld

5— 21 cm: muldet brunjord

21— 61 cm: rødbrun brunjord

61— 92 cm: leralagtig horisont, svagt gleiagtig

92—120? cm: skørler med en del sten.

Der er intet, som tyder på højtstående grundvand i undersøgelsesdybden.

Prøveflade DD: Buderupholm distrikt, Rold Skov. Anlagt 1907, areal 0,24 ha. Terrænet falder noget mod sydøst. Bunden er forblæst. Flora d. 13/7-1955: Skovsyre (85), hølget bunke (21), læge-ærenpris (15) og kugleakset star (14).

Jordbundsprofil d. 7/10-1954:

Løvlaget blæst bort

0— 3 cm: muldet mor

3— 8 cm: svagt humøst, blegsandsagtigt lag

8— 50 cm: gulbrun overjord, som bliver fastere nedad

50—150? cm: tæt lejret horisont, tilsyneladende med ægte glei i den øvre del.

I dybden er horisonten bedre iltet.

Der er ikke truffet grundvand, men det kan ikke afgøres, om den tilsyneladende ægte glei fra 50 cm's dybde og et stykke ned i profilen skyldes tidvis stagnerende vand, som bæres af den tæt lejrede horisont, eller egentligt grundvand.

Prøveflade DC: Buderupholm distrikt, Rold skov. Anlagt 1907. Areal 0,60 ha. Terrænet falder svagt mod nord. Bunden er ved at blive forblæst p. gr. af en tidligere renafdrift s-v for arealet og en renafdrift 1954—55 øst for arealet. Flora d. 13/7-1955: Skovsyre (88), tredelt egebregne (19), kugleakset star (2) og skovviol (3).

Jordbundsprofil d. 7/10-1954:

ca. 1,5 cm løv

0— 2 cm: muld, pletvis muldet mor

2— 6 cm: humøst, blegsandagtigt lag

6— 50 cm: gulbrun overjord

50— 70 cm: leralagtigt lag, svagt gleiagtigt

70—150 cm: horisont med gleifænomener i øvre del, nedad bedre iltningstilstand.

Det kan heller ikke her afgøres, om der er egentligt grundvand, eller om de nævnte gleifænomener udelukkende skyldes, at temporært grundvand periodisk bæres af leralen.

Prøveflade DB: Brahetrolleborg distrikt, Bremerhave. Anlagt 1902. Areal 0,16 ha. Terræn jævnt. Umiddelbart syd for prøvefladen er

der åben mark. Flora d. 11/7-1955: Enblomstret flitteraks (72), bukkar (71), skovsyre (69) og gul barsvælg (50).

Jordbundsprofil d. 7/12-1954:

- 1 cm løv
- 0— 4 cm: muld
- 4—10 cm: humøs brunjord
- 10—45 cm: brunjord, der nedad er gleipræget
- 45—90 cm: tæt lejret horisont med udpræget glei.

Grundvandstand efter et par timer 73 cm under jordoverfladen.

Prøveflade DA: Brahetrolleborg distrikt, Bremerhave. Anlagt 1902. Areal 0,10 ha. Prøvefladen ligger på en nogenlunde jævn bakkeknoled. Umiddelbart udenfor prøvefladen falder terrænet, mod vest stærkt. Det jordbundshul nr. 3, som er omtalt i beretningen, er beliggende på vestskråningen, hvor jorden er gruset. Flora d. 11/7-1955: Hvid anemone (44), gul barsvælg (24), skovsyre (12) og bukkar (10).

Jordbundsprofil d. 7/12-1954:

- 2 cm løv
- 0— 4 cm: muld
- 4— 28 cm: brunjord, opad humøs, nedad med glei
- 28—110? cm: gleihorisont.

Grundvand efter 2 timers forløb 95 cm under jordoverfladen.

Prøveflade CN: Nødebo distrikt, Grib skov. Anlagt 1899. Areal 0,20 ha. Terræn med fald mod øst. Nord for arealet en renafdrift, som kan gøre, at bunden er noget forblæst. Flora d. 19/6-1952: Skovsyre (91), mosebunke (57), kugleakset star (14) og bølget bunke (12).

Jordbundsprofil d. 19/6-1952:

- 0— 3 cm: Sammenfiltet løvlag nedad med karakter som fibrøs mor
- 3— 8 cm: sort, muldet mor
- 8— 43 cm: gulbrun overjord
- 43—100? cm: leralagtigt, temmelig hårdt lag med glei.

Grundvandet er ikke nået, men profilen tyder på, at der er højtstående grundvand eller i hvert fald temporært grundvand båret af leralen.

Prøveflade M: Odsherred distrikt, Stokkebjerg skov. Anlagt 1873. Areal 0,27 ha. Terræn stærkt bølget. De to huller, som er gravet, skulle være repræsentative for arealet. Analyserne viser, at hullerne er ensartede, men det hul, som er gravet i et lavtliggende parti, viser grundvand (jfr. profilbeskrivelsen). I jordbundshullet på prøvefladens højereliggende parti, blev der ikke nået grundvand. Der er ikke gennemført florabeskrivelser. Der er en del opvækst. Det er ikke skønnet nødvendigt at korrigere tilvæksten på prøvefladen for opvækstens tilvækst.

Jordbundsprofil d. 11/6-1956:

- 5 cm løv
- 0— 2 cm: muld
- 2— 7 cm: humøs brunjord
- 7— 17 cm: lysere brunjord
- 17— 49 cm: overgangshorisont med svag glei
- 49—125? cm: gleihorisont.

Grundvandet blev truffet i 130 cm's dybde. Det kan ikke afgøres, om der ikke er en vis sideværts vandbevægelse til og fra dette jordbundshul. Det højereliggende hul tyder ikke på noget sådant. Dette har de samme horisonter men mindre tydelig gleiddannelse.

Prøveflade X: Odsherred distrikt, Stokkebjerg skov. Anlagt 1852. Areal 0,26 ha. Terrænet skråner svagt mod syd-øst. Der er gravet to jordbundshuller, dels på den højere liggende del, dels på den lavere liggende del. I den lavere liggende del synes grundvandet tidvis at stå indtil 60 cm under jordoverfladen. I den højere liggende del spores grundvandspåvirkning i større dybde, jfr. nedenstående profilbeskrivelse. Vækstvilkårene synes at være bedst på den lavest liggende halvdel af prøvefladen, når man skønner ud fra den tætte bølgeopvækst (ca. 3 m høj), som findes på arealet. Der er ikke korrigeret for opvækstens tilvækst ved tilvækststopgørelsen. Flora d. 11/6-1956: Bukkar (40), skovsyre (87), hvid anemone (30) og almindelig gedeblad (17).

Jordbundsprofil d. 11/6-1956:

- 2 cm løv
- 0— 6 cm: muld
- 6— 52 cm: brunjord
- 52— 80 cm: overgangshorisont med svag gleiddannelse i dybden
- 80—125? cm: glei.

Efter forfatterens skøn er højeste grundvandstand omkring 80 cm under jordoverfladen i denne profil.

Prøveflade CB: Kronborg distrikt, Horserød hegn. Anlagt 1895. Areal 0,36 ha. Terrænet fladt. Bunden er noget forblæst. Flora d. 27/6-1956: Bølget bunke (95), hvid anemone (11), skov-star (9) og skovsyre (6).

Jordbundsprofil d. 27/6-1956:

- 0— 3 cm: Filtet mor, gennemvævet af rødder af bølget bunke.
- 3— 5 cm: humusrigt, blegsandagtigt lag
- 5— 37 cm: rødbrun horisont med brunjordskarakter
- 37— 48 cm: overgangshorisont
- 48—150? cm: hård leral, gleiagtig.

Prøveflade DI: Sønderborg distrikt, Skelde Kobbelskov. Anlagt 1891. Areal 0,50 ha. Terrænet falder meget svagt mod vest. Umiddelbart syd for prøvefladen falder det noget stærkere mod syd. Floraen tyder på nogen forskel i vækstbetingelserne, idet den vestlige halvdel har en meget tæt hindbær- og brombærvegetation, som

ikke findes på den østlige halvdel. Der er på hele arealet spredt, krukke opvækst af ask og ær. Flora d. 19/6-1956: Hvid anemone (100), skovsyre (81), lund-fladstjerne (80) og miliegræs (65).

Jordbundsprofil d. 7/5-1956 (i den østlige halvdel):

- 2 cm løv
- 0— 3 cm: muld
- 3— 17 cm: humøs brunjord
- 17— 47 cm: gulbrun, skør overjord
- 47— 86 cm: fortættet horisont med svag gleidannelse
- 86—123 cm: mere grå horisont, svag glei
- 123—170? cm: lagvis sandet og leret horisont med svag glei.

Grundvand ikke truffet. Det kan ikke med sikkerhed afgøres, om prøvefladen er grundvandspåvirket, men profilen tyder på, at der tidvis er vandmætning helt op til 47 cm under jordoverfladen.

Prøveflade A: Falsters statsskovdistrikt, Kohaven. Anlagt 1871. Areal 0,27 ha. Terræn fladt. Der er på prøvefladen en tæt underskov overvejende af bøg, som har været tyndet et par (nogle?) gange. Ved måling af en prøveflade på 400 m² er der fremskaffet målemateriale til en korrektion for undervækstens tilvækst, idet underskoven her har en sådan karakter, at en korrektion skønnes at være nødvendig. Flora d. 23/6-1953: Bukkar (92), enblomstret flitteraks (71), krybende læbeløs (62) og hvid anemone (13).

Jordbundsprofil d. 19/11-1952:

- 1 cm løst løv
- 1 cm noget sammenhængende ældre løv
- 0— 5 cm: muld
- 5— 23 cm: brunjord, nederst med svag glei
- 23— 83 cm: glei-horisont
- 83—132? cm: tættere lejret horisont med glei.

Grundvand ved undersøgelsen i 120 cm's dybde. Højeste grundvandstand er formentlig ca. 23 cm under jordoverfladen.

Prøveflade DE_x: Odsherred distrikt, Kongsøre skov. Anlagt 1946 som supplement til prøveflade DE. Areal 0,15 ha. Terrænet falder temmelig stærkt mod syd-vest. Flora d. 13/6-1956: skovsyre (78), miliegræs (69), enblomstret flitteraks (34) og hvid anemone (34).

Jordbundsprofil d. 13/6-1956:

- 0— 1 cm: mos
- 1— 2 cm: muldagtig mor
- 2— 10 cm: svagt humøs brunjord
- 10— 28 cm: rødbrun overjord
- 28— 98 cm: horisont med svag gleidannelse
- 98—125? cm: skørler.

Profilen er fra prøvefladens højtliggende del og tyder ikke på egentligt grundvand i undersøgelsesdybden. På den lavere liggende del synes der derimod periodisk at være grundvand så højt som 65 cm under jordoverfladen.

Prøveflade DE: Odsherred distrikt, Kongsøre skov. Anlagt 1866. Areal 0,31 ha. Terrænet falder mod syd-øst. Flora d. 13/6-1956. Hvid anemone (100), bukkar (92), enblomstret flitteraks (9) og skovsyre (51).

Jordbundsprofil d. 13/6-1956:

2 cm løv
 0— 3 cm: muld
 3— 18 cm: svagt humøvs brunjord
 18—125? cm: skørler med en del sten. Enkelte svagt reducerede pletter.

Denne profil viser heller ikke klart, om der er egentligt grundvand. De svagt reducerede pletter kan stamme fra tidvis stagnerende vand.

Prøveflade DS: Ravnholt distrikt, Yderste Tveløkke. Anlagt 1903. Areal 0,17 ha. Prøvefladen har stærkt fald mod vest. På side 191 er der gjort nærmere rede for, hvad det betyder for vandforsyningen. Flora d. 12/7-1955: Lund-rapgræs (41), mose-bunke (25), skovsyre (46) og skovstar (12).

Jordbundsprofil d. 8/12-1954:

2 cm løv
 0— 4 cm: muld
 4— 13 cm: humøvs brunjord
 13— 34 cm: svagt humøvs horisont med svage reduktionspletter
 34—100 cm: rødbrun, leret horisont, svage reduktionspletter.

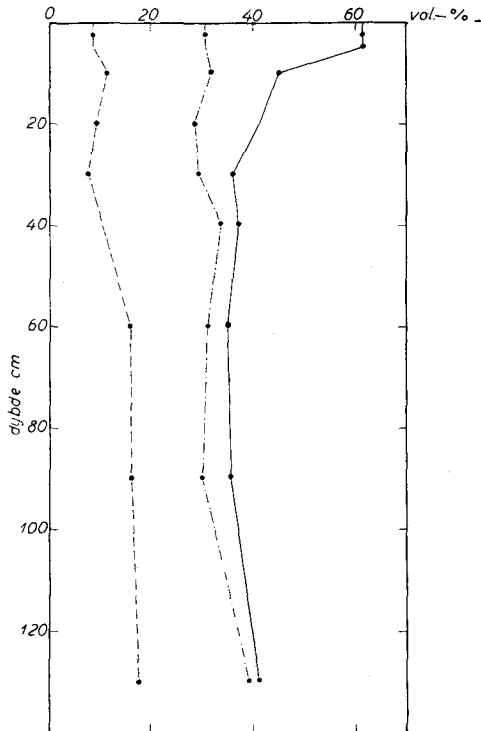
Grundvand trængte ind i hullet med stor hastighed i 100 cm's dybde. Vandindtrængningen skete såvel fra bunden (det normale) som fra siderne mod det højere liggende terræn.

IV. JORDBUNDSTEORETISKE RESULTATER.

1. Korrelationen mellem de jordbundsfaktorer, som er målt.

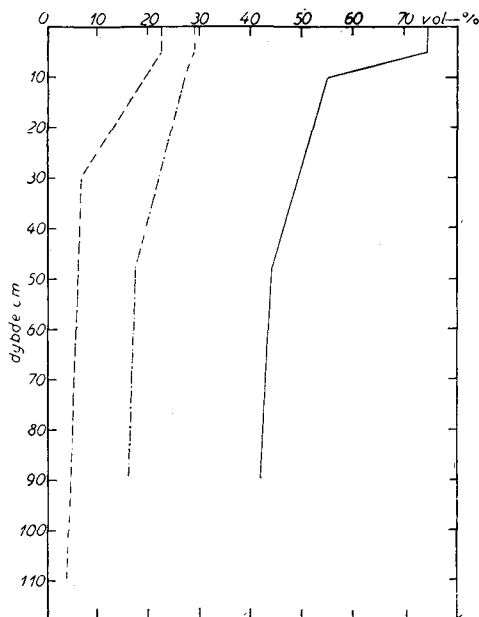
a. Almindelig redegørelse.

Den følgende fremstilling skal tjene forståelsen af hvilke faktorer, der influerer på jordens plantetilgængelige vandkapacitet. Det er nærliggende i denne forbindelse at vurdere, om en enkelt faktor har en så afgørende indflydelse på vandforholdene,



Figur 11: Porestørrelsefordelingen på prøveflade DF, hul 1 (jfr. figur 8).

Fig. 11: Pore size distribution on sample plot DF, soil pit 1 (cf. Fig. 8).



Figur 12: Porestørrelsefordelingen på prøveflade DA, suppleringshullet (jfr. figur 8).

Fig. 12: Pore size distribution on sample plot DA, supplementary soil pit (cf. Fig. 8).

at man ved måling af denne enkeltfaktor tilstrækkelig godt kan karakterisere jordens dyrkningsværdi. Ved en sådan vurdering må det overvejes, om en kvantitativ analyse af enkeltfaktoren er så stor en tidsmæssig lettelse, at det vil være økonomisk mere forsvarligt at anvende en sådan faktor ved fortsat arbejde.

Fremstillingen falder naturligt i en serie underafsnit i tilknytning til figurer. En nærmere gennemgang af den meget omfattende og spredte litteratur om emnet synes ikke at være særlig formålstjenlig, og der skal derfor kun henvises til nogle få værker, overvejende af håndbogs karakter, hvor nøglen til litteraturen findes for dem, som måtte være specielt interesseret. Her er navnlig tænkt på værker af *Aaltonen* (1948), *Ramann* (1911), *Laatsch* (1954) og *Kramer* (1949).

Figur 11 viser analyseværdierne vedrørende poreforholdene for det ene af de to huller på prøveflade *DF* (Sandbjerg skov) (jfr. figur 8). *Figur 12* viser det samme for et hul, som er gravet umiddelbart udenfor prøveflade *DA* (Brahetrolleborg). *DF*-pro-

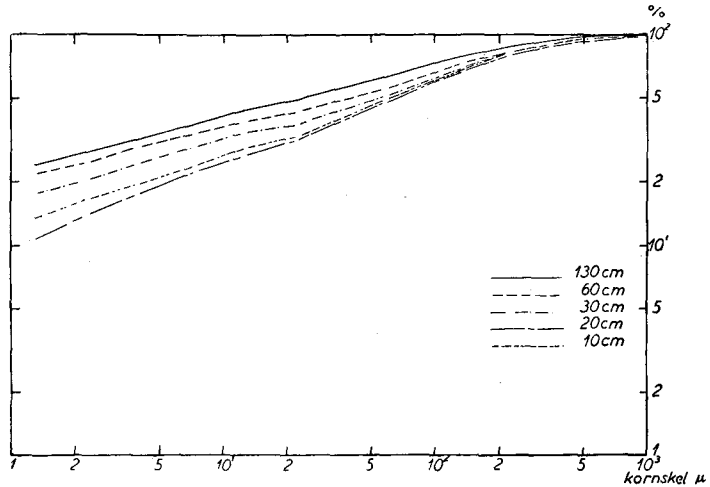
filen repræsenterer de mere lerede lokaliteter blandt dem, som indgår i materialet, medens DA-profilen er taget med for at belyse forholdene under bøg på en sandet lokalitet uden stærk podsolering. Profilbeskrivelserne for de to profiler er følgende:

DF, hul I	dybde	pH					15 atm.		Tekstur
		H ₂ O	KCl	TK	Ft	FH			
1 cm løv omsætning 3—2									
0— 3 : muld degradering 3	0—3	4,9	4,0	9,4	1,5	4,9			
3— 20 : humøs brunjord	5	5,2	4,2	5,2	1,2	2,0	8,9	sl	
	10	5,1	3,9	4,1	1,2	1,7	8,1	sl	
	20	5,4	4,0	2,8	1,0	1,0	6,0	sl	
— 31 : overgangszone, svagt marmoreret (glei)	30	6,2	4,6	4,8	1,1	0,7	7,6	sl	
— 68 : rødbrun overjord, svagt marmoreret	60	6,3	5,0	6,4	4,3	1,0	9,3	ssl	
—115 : rødbrun overjord, nedad lysere, svagt marmoreret til marmoreret	90	7,2	5,5	6,0	6,0	3,3	9,3	ssl	
—145 : lys, marmoreret rødder til 150+ cm	130	7,8	5,6	7,1	8,7	8,4	10,7	ssl	

DA, hul II	dybde	pH					15 atm.		Tekstur
		H ₂ O	KCl	TK	Ft	FH			
1 cm løv omsætning 3									
0— 1 : tynd mor									
— 13 : humøs, degraderet brunjord	2—5	3,8	2,9	9,6	3,3	13,1	34,2	sl	
—100 : stenet, gulbrun overjord	30	4,4	4,0	1,0	1,5	2,4	4,7	ls	
—110+ : grå, fast lejret underjord	110	4,6	4,4	0,8	6,3	4,9	2,4	ls	

Hele profilen stærkt stenet. Der er ikke foretaget korrektion af analyseresultaterne for stenindholdet.

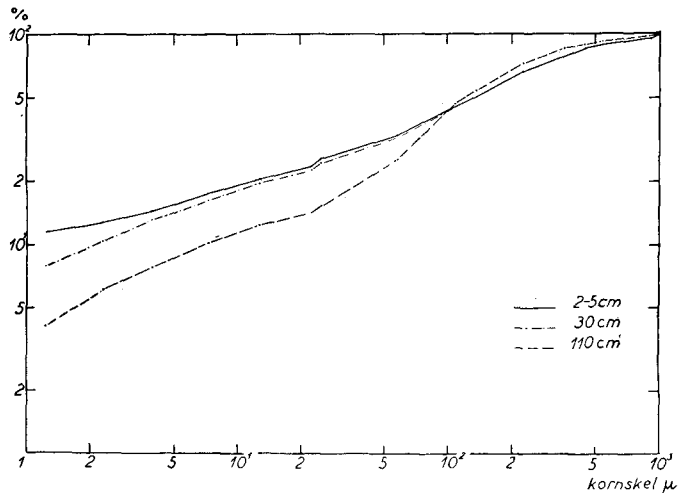
I figur 13 gives finhedskarakteristikkerne (dobbellogaritmisk) for prøver fra DF og i figur 14 for DA. På grundlag af profilbeskrivelserne, med de dér oplyste værdier for fosfor- og kaliumindhold, og de fire gengivne figurer, kan man danne sig en hypotetisk mening om samvariationen mellem forskellige af de målte faktorer. Desuden kan der drages visse mere generelle slutninger, som har almindelig skovdyrknings-biologisk interesse.



Figur 13: Finhedskarakteristikker i forskellig dybde på prøveflade DF, hul 1.

Fig. 13: Particle-size characteristics at varying depths on sample plot DF, hole 1.

Figur 11 viser, at „luftkapaciteten“, hvorved forstås indholdet af porer større end 30μ , er størst i mulden, hvor den biologiske aktivitet (af orme og andre strukturforbedrende dyrearter) er størst. Ned gennem profilen finder man først faldende



Figur 14: Finhedskarakteristikker i forskellig dybde på prøveflade DA, suppleringshullet.

Fig. 14: Particle-size characteristics at varying depths on sample plot DA, supplementary hole.

(til ca. 40 cm's dybde) og derefter konstant grovporeandel. Det bemærkes, at værdierne her ikke er ekstremt lave. Indenfor materialet findes i flere tilfælde endnu lavere værdier. Forløbet er sideløbende med den biologiske aktivitet, som man i store træk kan tillægge de enkelte horisonter, og følger profilens indhold af humusstoffer, som dog ikke er bestemt ved analyse. *Figur 23*, side 155, viser, at totalporevolumenet er snævert korreleret med rumvægten, sådan at lille rumvægt svarer til stort porevolumen. I profilen svarer det til, at rumvægten stiger ned gennem profilen til en bestemt dybde, hvorefter den er nogenlunde konstant. Den plantetilgængelige vandkapacitet er i det foreliggende tilfælde noget større i de øvre horisonter end i de dybereliggende. Vandindholdet ved visnegrænsen stiger svagt ned gennem profilen i overensstemmelse med det stigende lerindhold og den stigende rumvægt.

Figur 12 viser de samme hovedtræk som *figur 11*. På den sandede lokalitet er indholdet af grovporer dog betydeligt større i de dybe lag. Heraf kan man slutte, at dræningsbetingelserne er ulige bedre. Påfaldende er det også, at den relativt godartede mor har et meget højt vandindhold ved visnegrænsen og et forholdsvis lavt vandindhold ved 1/10 atmosfære-balancen. Det indebærer, at morens plantetilgængelige vandmængde er lav efter de anvendte analysemetoder. Den plantetilgængelige vandmængde er iøvrigt lav i hele profilen. *DF* (fig. 11) har en beregnet vandkapacitet til 70 cm på 137 mm nedbør, *DA*-profilen derimod kun 79 mm nedbør.

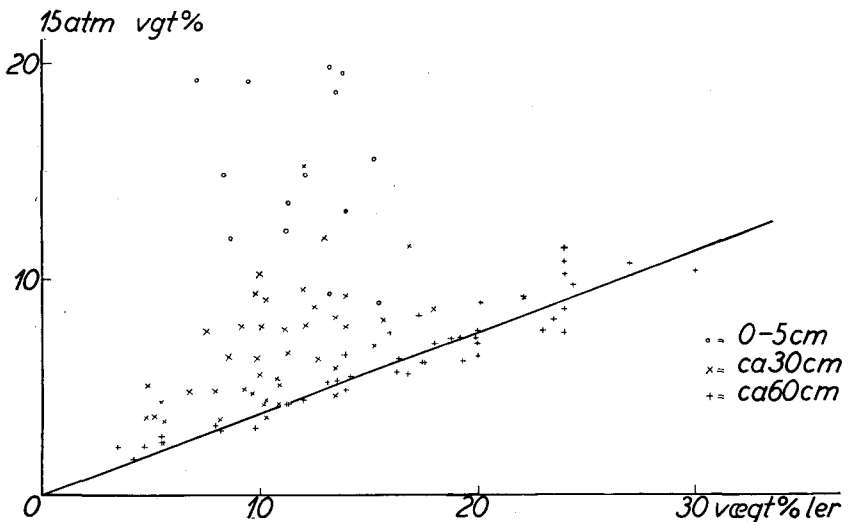
Profilbeskrivelserne viser indholdet af fosfor og kalium i de horisonter, hvor der er udtaget prøver til denne analyse. Det ses, at den mest lerede profil (*DF*) indeholder de største mængder af de angivne stoffer. Endvidere fremgår det, at indholdet i moren (*DA*) er højt. Det må dog erindres, at analyseværdierne er på vægtbasis, og den høje værdi vil derfor blive reduceret noget ved overgang fra vægtenhed til rumenhed, som giver bedre udtryk for den plantetilgængelige næringsmængde.

De forskelle, som er trukket frem i det foregående, genfinder man indenfor materialet, når man foretager parvise sammenligninger af profildataene. De er altså udtryk for, at der er en vis korrelation mellem de målte jordbundsfaktorer. Det er nogle af disse korrelationer, som belyses nærmere i det følgende ved hjælp af en række figurer.

b. 15 atm.-værdier og humus-ler-indhold.

I figur 15 er 15 atmosfære-værdierne for en del af materialet lagt op over de tilsvarende prøvers procentiske lerindhold. For at overskueligheden ikke skal gå tabt, er det kun et repræsentativt udsnit, der er anvendt. Ved forskellige signaturer er der skelnet mellem a) stærkt humøse prøver, (0—5 cm's dybde), b) svagt humøse prøver (10—30 cm's dybde) og c) ikke-humøse prøver (dybde > 30 cm). Udjævningslinien svarer til de dybeste, ikke humøse prøver.

Det fremgår, at de stærkt humøse prøver alle har værdier, som falder over udjævningslinien. Hvor højt de falder over udjævningslinien afhænger af deres humusindhold. *Aslyng* (1952) har sammenlignet 15 atm.-værdierne for jordprøver med prøvernes kolloidale overflade bestemt ved deres kationbindende overflade. Humus har en stor kolloidal overflade, ligesom lerkolloider og de humøse prøvers beliggenhed i diagrammet er direkte udtryk for deres humusindhold.



Figur 15: Sammenhængen mellem 15 atm.-værdier og mineraljordens lerindhold for forskellige dybder. 0—5 cm er stærkt humøse (muldede) prøver. Prøverne fra 30 cm's dybde har ligeledes en mindre humusindblanding (brunjord), medens prøver fra 60 cm's dybde er mineralske.

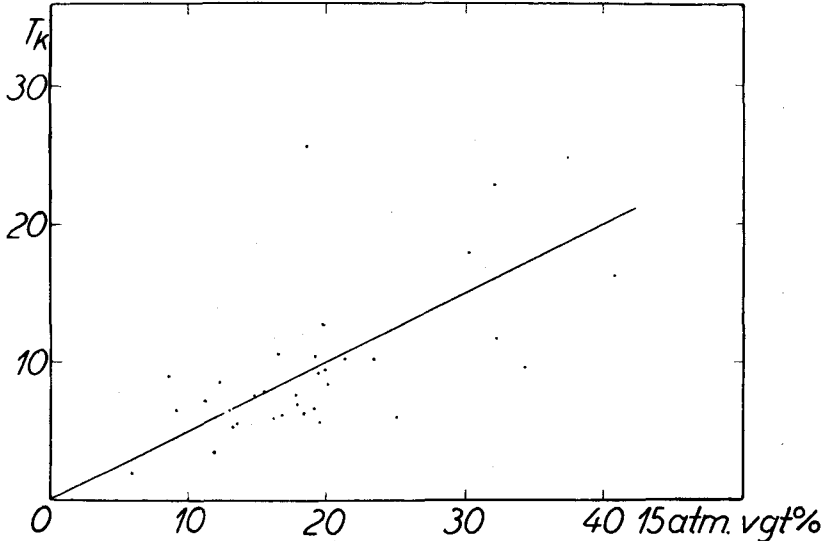
Fig. 15: Correlation between 15-atm. values and the clay content (vægt % ler) of mineral soil for varying depths. 0—5 cm are very humous samples (mull). Samples from 30 cm depth likewise have admixture of humus (brown earth), whereas samples from 60 cm depth are mineral.

For de svagt humøse prøver gælder, at deres mindre humusindhold giver dem en lavere beliggenhed i diagrammet. De ligger dog overvejende over udjævningslinien (5 % af antallet under).

Mellem de ikke-humøse prøver og 15 atmosfære-værdierne er der en høj korrelation. 15 atmosfære-værdierne er en god indikator for lerindholdet i jordens dybere lag (jfr. *Aslyng* 1952). Såfremt man er interesseret i jordens mekaniske sammensætning, får man derfor ved bestemmelse af 15 atmosfære-værdier en betydelig mere eksakt viden om denne end ved de stadig anvendte fingerprøver (jfr. *Grøn* 1945).

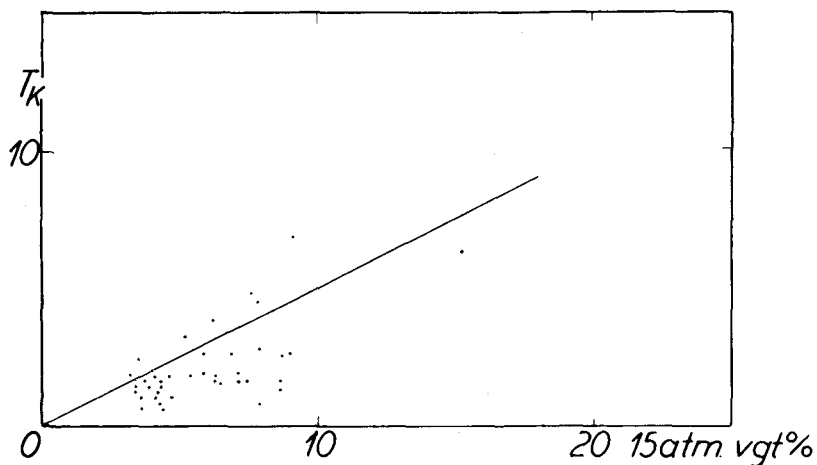
c. 15 atm.-værdier og kaliumindhold.

15 atmosfære-værdiernes korrelation med jordens fladebindende evne gør det sandsynligt, at de i et vist omfang fortæller noget om jordens indhold af fladebundne næringsioner (K, Ca, Mg, Cu m. fl.). *Figur 16 a, b og c* viser sammenhængen mellem 15 atm.-værdierne og T_K i 3 horisonter for hele materialet. *Figur 16a* er for øvre humøse prøver, *figur 16b* for prøver fra 30 cm's dybde og *figur 16c* for prøver fra ca. 70 cm's dybde. I hver af del-



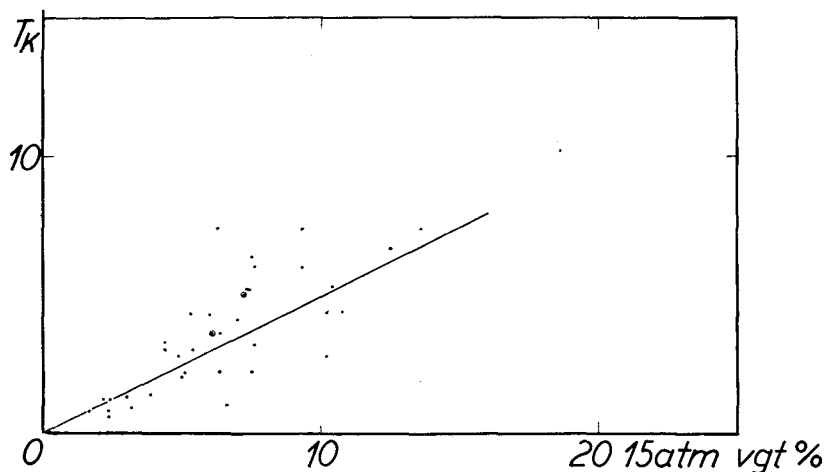
Figur 16a: Jordens indhold af fladebunden kalium (T_K) som funktion af 15 atm.-værdierne for stærkt humøse prøver (0—5 cm's dybde).

Fig. 16 a: The soil's content of exchangeable potassium (T_K) as a function of 15-atm. values for very humous samples (0—5 cm depth).



Figur 16b: Jordens indhold af fladebunden kalium (T_K) som funktion af 15 atm.-værdierne for svagt humøse prøver (30 cm's dybde).

Fig. 16 b: The soil's content of exchangeable potassium (T_K) as a function of 15-atm. values for faintly humous samples (30 cm depth).



Figur 16c: Jordens indhold af fladebunden kalium (T_K) som funktion af 15 atm.-værdierne for underjordsprøver (60 cm's dybde).

Fig. 16 c: The soil's content of exchangeable potassium (T_K) as a function of 15-atm. values for subsoil samples (60 cm depth).

figurerne er indlagt en linie gennem 0-punktet og med samme hældning. *Figur 16a* viser, at 41 % af punkterne falder over den tænkte udjævningslinie (14 af 34). I *figur 16b* falder kun 20 % af punkterne over linien (8 af 40), medens i *figur 16c* 64 % falder over (25 af 39).

Hvis man med *Aslyng* (1952) kan slutte, at 15 atm.-værdierne er snævert korreleret med den totale ionbytningskapacitet i alle profilens horisonter, så fremgår det af figurerne, at den kationbindende flade i underjorden er bedst besat med kaliumioner. Derefter følger det øvre humøse lag (overvejende muld og enkelte godartede mortyper). I underjorden kan man antage, at der er balance mellem den kaliummængde, som frigøres ved forvitring, og den mængde, som bortføres ved udvaskning (*Holstener-Jørgensen* 1957). For det øverste humøse lag, hvor man altid finder høje T_K -værdier, ser man undertiden fremført, at de er tegn på, at der sker en kaliumophobning. Hvert år tilføres der betydelige mængder kaliumioner med nedfaldent løv*) til det øvre jordlag, og det kunne tænkes, at der langtidigt ville ske en opkobning af kaliumioner i dette lag. Det er imidlertid ikke tilfældet. Man synes at have overset, at de høje T_K -værdier er koblet med en i forhold til profilens mekaniske sammensætning høj fladebindende evne, som skyldes de organiske stoffer. Det ser ud til, at planterne (bøg + bundflora) henter en forholdsvis større del af deres kalium fra 30 cm's dybde end fra laget 0—5 cm. Hypotesen er i overensstemmelse med, at man i frugtavlen i høj grad har opmærksomheden rettet mod en forbindelse mellem frugtudbytte og kalital i dybden 20—60 cm (*Dalbro* 1957).

Der er også en forbindelse til de rodundersøgelser, som gennemgås senere i nærværende beretning (side 165). Den største K-optagelse sker i horisonter, hvor rodintensiteten er stor (*figur 28*, side 166). Hele problemet fortjener en nærmere undersøgelse, hvor der navnlig må lægges vægt på at fastslå sammenhængen

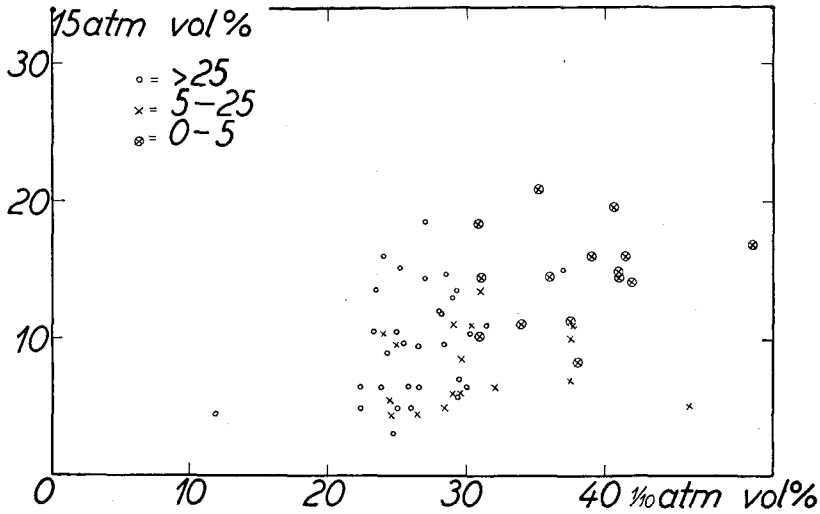
*) Løvet's kaliumindhold er vandopløseligt (se f. eks. *Tamm* 1953) og udvaskes allerede delvis, medens løvet sidder på træerne. En stor del af løvet's kaliumindhold er derfor under vore klimaforhold udvasket med nedbøren og bundet i jordens øverste lag allerede i det sene efterår. Kaliumkredsløbet er altså i modsætning til kvælstofkredsløbet uafhængigt af den biologiske omsætning af løvet. Som et kuriosum kan det nævnes, at man som følge af udvaskning kan se svære kaliummangelsymptomer på ribsblade i regnrige sensomre.

mellem T_K i de enkelte horisonter og de samme horisonters ionbytningskapacitet, samt mere indgående studier af kaliumionernes vandring i profilen. Sådanne undersøgelser er så meget mere påkrævede, som de har en afgørende betydning for forståelsen af, hvor megen vægt man kan tillægge igangværende og afsluttede gødningsforsøg. Optagelsen af kaliumioner kan tænkes at være afhængig af, hvor stor en del af den bindende flade, der er besat med ioner. Det er muligt (efter forfatterens mening sandsynligt), at jo større en del af fladen der er besat med kaliumioner, des lettere sker optagelsen af kaliumioner. I så fald er det ikke sikkert, at man finder et måleligt udslag for tilførsel af en vis mængde K-ioner til overfladen. En sådan overfladisk tilførsel er den almindeligt praktiserede form for K-gødsning. Disse ioner kommer til en horisont, hvor fladebindingsevnen er stor og optagelsesintensiteten forholdsvis lille. Måske ville man få stærkt forøgede udslag ved at bringe K-ionerne ned i en horisont, hvor fladebindingsevnen er mindre og optagelsesintensiteten større. Skovbrugets problemstilling ligner i den henseende frugtavlens (jfr. *Dalbro* 1957).

d. 15 atm.-værdier og beregnede plantetilgængelige vandkapaciteter.

I figur 17 er 15 atm.-værdierne i volumenprocent sammenlignet med de samme prøvers indhold af vand ved balance ved 1/10 atm. Det er kun en mindre del af materialet, som er anvendeligt til en sådan sammenligning, når man kun vil benytte prøver, som er udtaget i samme dybde.

I figuren er der skelnet mellem prøver fra forskellig dybde ved at give disse forskellig signatur. Punkterne ligger som tre punktsværme, der griber noget ind over hinanden. Med faldende humusindhold er der, alt andet lige, faldende vandindhold ved 1/10-atm.-balance. Iøvrigt er der en meget stor spredning, som godtgør, at der ikke er meget håb om, at fuldstændig analyse til bestemmelse af plantetilgængelig vandkapacitet med fordel kan erstattes af simple analyser. Der er en tendens til, at punktsværmen kan udjævnes med en ret linie. Ved en sådan udjævning ville man, som ventet, finde en stigende plantetilgængelig vandkapacitet med stigende 15 atm.-værdier. Det svarer til *stigende vandkapacitet for stigende lerindhold og/eller stigende humusindhold*. Det er muligt, at sammenhængen kunne gøres bedre ved



Figur 17: Sammenhængen mellem 15 atm.-værdier (volumen %) og 1/10 atm.-værdier (volumen %) i forskellig dybde.

Fig. 17: Correlation between 15-atm. values (volume percentage) and 1/10-atm. values (volume percentage) at varying depths.

forskellige beregningsmæssige korrektioner (korrektion for rumvægt, korrektion for dybde i profilen eller andre), men det er sandsynligt, at det nødvendige antal analyser (humusbestemmelse, mekanisk analyse m. fl.) vil være så tidsrøvende, at den direkte analyse vil være den mest fordelagtige. Sagen er derfor ikke fulgt yderligere op.

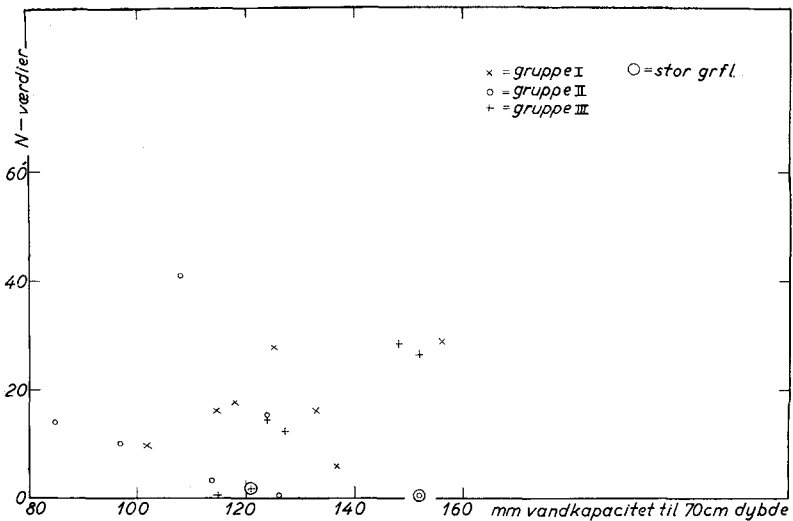
e. Profilernes indhold af plantetilgængelige næringsstoffer.

Kalium: Uden yderligere dokumentation end de nærmest foregående figurer (11—17) er det klart, at alt andet lige vil en profil have stigende indhold af formodet plantetilgængelig kalium (T_K -værdier) med stigende plantetilgængelig vandkapacitet til en bestemt dybde. Det fremlagte figurmateriale viser, at der er en betydelig spredning i materialet.

Fosfor: *Figurerne 11 og 12 sammenholdt med de øvrige oplysninger om de to profiler (side 141) indikerer, at profilernes indhold af antaget plantetilgængelige fosforforbindelser (F_I - og F_H -værdier) stiger med stigende vandkapacitet. Parvis sammenligning af andre profiler (jfr. profilbeskrivelserne side 130 og tabel 8) viser i mange tilfælde det samme forløb, men det er ikke*

muligt på fyldestgørende måde at fastslå, at der eksisterer en sammenhæng mellem vandkapacitet og tilgængelige fosforforbindelser. En eventuel sammenhæng er i hvert fald behæftet med meget store spredninger.

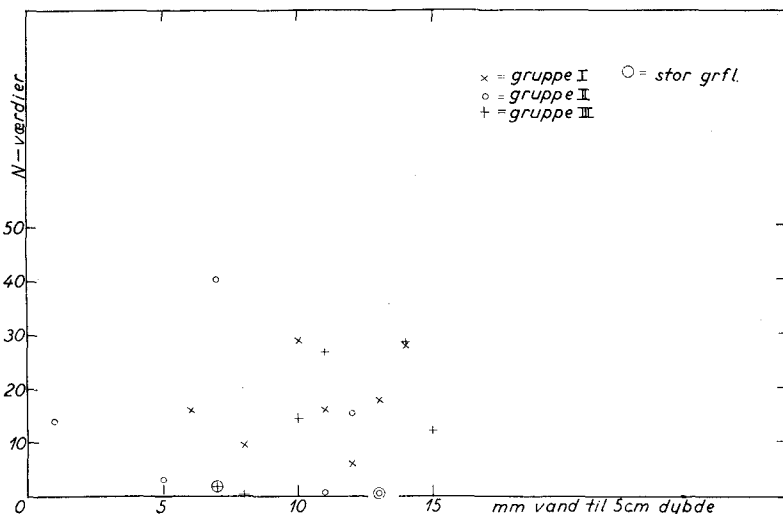
Kvælstof: I forbindelse med forelæggelsen af arbejdsmetoderne er der gjort rede for bestemmelsen af nogle specielle kvælstofindikatorværdier baseret på floraundersøgelserne. I *tabel 1* er disse N-værdier anført. *Figur 18* viser sammenhørende værdier af den plantetilgængelige vandkapacitet til 70 cm's dybde og N-værdier. Tidligere undersøgelser har vist, at floratilstanden afhænger af bevoksningsalder og hugststyrke (*Holstener-Jørgensen 1956*). Sammenhørende værdier er derfor afsat med forskellig signatur efter, hvilken af de tre aldersgrupper (se *tabel 1*) prøvefladen hører til. Med stigende hugststyrke bliver en bevoksnings grundflade mindre. Prøvefladernes mellemtyndingsgrundflade (afrundet til hele m²) for den sidste iagttagelsesperiode før 1953 er angivet i *tabel 1*. Kun tre af prøvefladerne har meget høj grundflade, og de to, som indgår i *figur 18*, er udskilt ved en



Figur 18: Kvælstofindikatorplanters relative frekvens (N-værdier) lagt op over den plantetilgængelige vandkapacitet til 70 cm's dybde. Grupperne svarer til aldersgrupperne i *tabel 1*. Flader med høj grundflade er fremhævet med særlig signatur.

Fig. 18: Relative frequency of nitrogen indicator plants (N values) superimposed on plant-available water-capacity to 70 cm depth. The groups (gruppe) correspond to the age groups in Table 1. Plots with a great basal area (stor grfl.) are marked with a special sign.

særlig signatur. Der synes ikke at være nogen udpræget sammenhæng mellem N-værdier og plantetilgængelige vandkapaciteter. For gruppe I (de yngste prøveflader) og III (de ældste prøveflader) kan man øjne en tendens til stigende N-værdi for stigende vandkapacitet, men gruppe II trækker snarest den modsatte vej. Dette er dog ikke ensbetydende med, at kvælstofforsyningen ikke samvarierer med vandforsyningen. N-værdierne har ikke nødvendigvis noget med kvælstofforsyningen at gøre.



Figur 19: N-værdierne lagt op over den plantetilgængelige vandkapacitet til 5 cm's dybde (jfr. figur 18). Flader med høj grundflade er fremhævet.

Fig. 19: N values superimposed on plant-available water-capacity to 5 cm depth (cf. Fig. 18). Plots with a great basal area are specially marked.

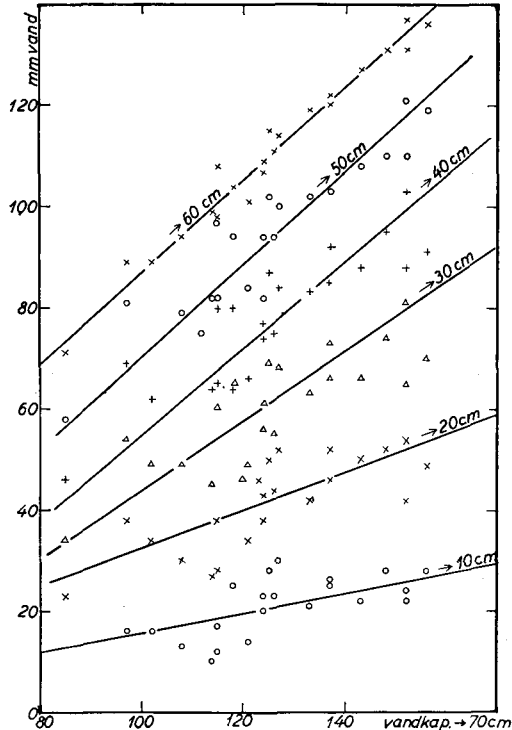
Man vil måske indvende, at floratilstanden bedre afspejler forholdene i de øverste jordlag, eller med andre ord, at sammenligning af floratilstand og jordbunds faktorer til en dybde af 70 cm stiller for store krav til floraens indikatorværdi. Figur 19 viser, at sammenhængen ikke er bedre mellem N-værdier og de øverste 5 cm's fysiske tilstand.

Konklusion: Så vidt man kan skønne ud fra det foreliggende materiale, er det sandsynligt, at en høj plantetilgængelig vandkapacitet er koblet med store mængder plantetilgængelig kalium og mindre sikkert med store mængder plantetilgængelig fosfor.

Kvælstof kan der ikke siges noget om på basis af det foreliggende analysemateriale. Spredningen på samvariationen mellem næring og vandkapacitet i jorden er dog så stor, at den sammenhæng, der senere i beretningen påvises mellem tilvækst og jordvand (side 168 ff.), overvejende må tilskrives variationen i jordvand fra prøveflade til prøveflade, og ikke variationen i næringsfaktorerne.

f. Samvariationen mellem vandkapaciteter beregnet til forskellig dybde.

Der tales undertiden om skovjordens *arkitektur* (Burger, 1922), hvormed man mener, at der under skov ofte er stabile jordbundsforhold med god struktur til stor dybde. Det må altså ventes, at der er en vis mulighed for at beskrive (analysere) skovjord alene på basis af de øvre horisonter, fordi tilstanden i

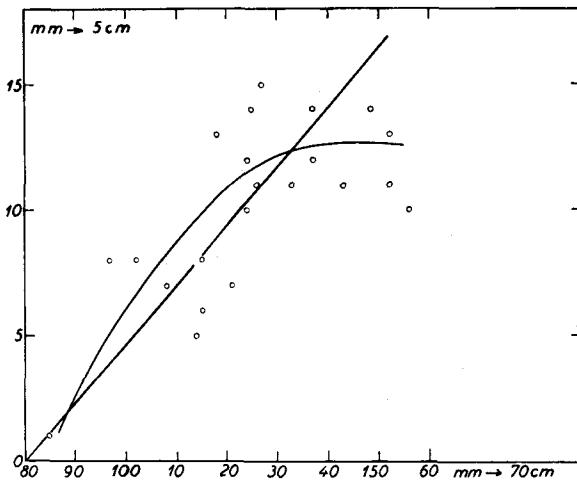


Figur 20: Sammenhængen mellem vandkapacitet til 70 cm's dybde (abszissen) og vandkapaciteterne beregnet til 60 cm, 50 cm, ...

Fig. 20. Correlation between water-capacity to 70 cm depth (abscissa) and water-capacities calculated to 60 cm, 50 cm, etc.

overfladelagene præger de dybere lag (eller præges af). Hvis dette er rigtigt, vil det lette prøveudtagningen, ikke mindst en repræsentativ prøveudtagning, i marken ganske betydeligt. Til belysning af disse muligheder gennemgås i det følgende et par figurer.

I *figur 20* er de plantetilgængelige vandkapaciteter beregnet til 70 cm's dybde sammenlignet med kapaciteterne beregnet til dybder mellem 60 cm og 10 cm.



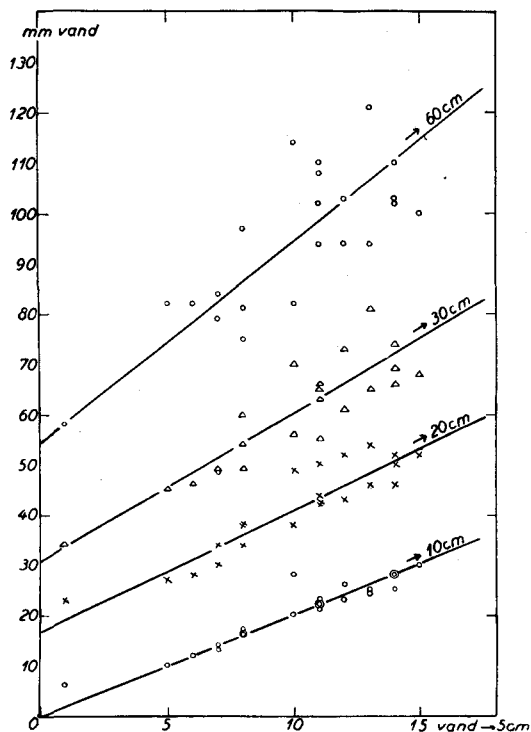
Figur 21: Sammenhængen mellem vandkapaciteten til 70 cm (mm → 70 cm) og vandkapaciteten til 5 cm (mm → 5 cm).

Fig. 21: Correlation between water-capacity to 70 cm (mm → 70 cm) and water-capacity to 5 cm (mm → 5 cm).

Figur 21 viser kapaciteten i de øvre 5 cm sammenlignet med kapaciteten beregnet til 70 cm, og endelig viser *figur 22* kapaciteterne til 5 cm sammenlignet med de beregnede kapaciteter til dybderne 10—50 cm.

På alle figurerne er der indlagt rette udjævningslinier for lettere at kunne bedømme spredningen. De nedre punktsværme i *figur 20* bør, som det er antydnet ved kurven i *figur 21*, udjævnnes ved kurver.

Figurerne viser, at såfremt man f. eks. søger vandkapaciteten til 70 cm, så repræsenterer vandkapaciteten til en hvilken som helst mindre dybde denne dårligere, jo højere man går op i profilen. Det må dog ikke glemmes, at figurerne gælder for nær-



Figur 22: Sammenhængen mellem vandkapaciteten til 5 cm's dybde (vand → 5 cm) og vandkapaciteten beregnet til 10 cm, 20 cm, 30 cm og 60 cm.

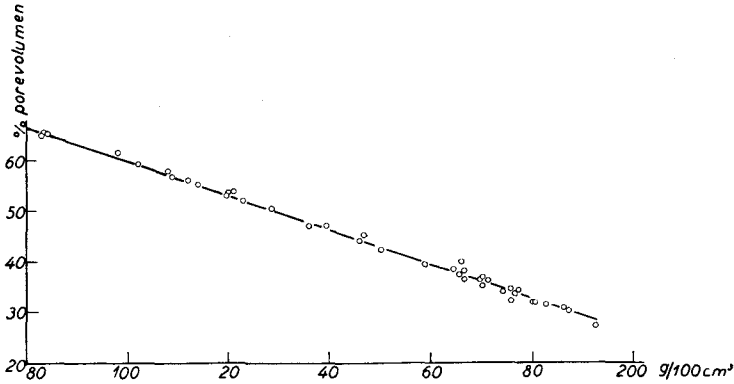
Fig. 22: Correlation between water-capacity to 5 cm depth (vand → 5 cm) and water-capacity calculated to 10 cm, 20 cm, 30 cm and 60 cm.

værende materiale, det vil sige, at udtagelsesmetodikken (repræsentationsfejlen) influerer stærkt på spredningen (jfr. side 128).

Figur 21 viser, at man tilsyneladende med stigende vandkapacitet beregnet til 70 cm's dybde når en øvre grænse for de øverste horisonTERS vandkapacitet. Det gælder først og fremmest den humøse muld (kurven på *figur 21*), men også for brunjordens øverste lag (de nedre punktsværme på *figur 20*). Det indikerer, at der er visse grænser for, hvor godt prøver fra de øvre horisonTER kan repræsentere dybere lag.

g. Det totale porevolumens afhængighed af rumvægten.

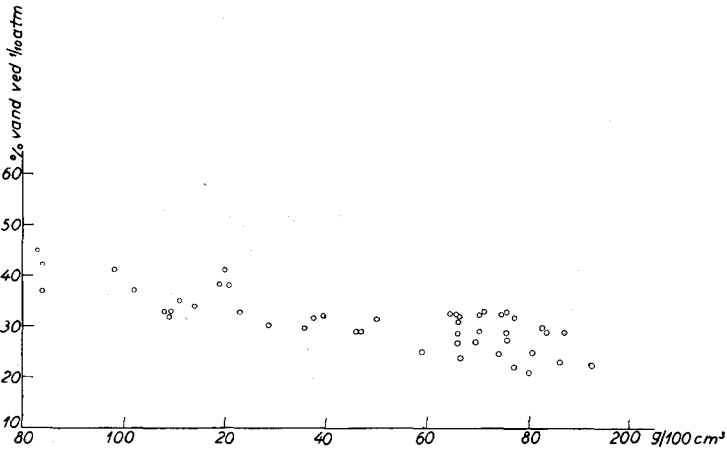
Figur 23 viser, at der er en meget snæver retliniet korrelation mellem det totale porevolumen og rumvægten. En stigning på



Figur 23: Sammenhængen mellem rumvægt ($\text{g}/100 \text{ cm}^3$) og totalt porevolumen.

Fig. 23: Correlation between volume weight ($\text{g}/100 \text{ cm}^3$) and total pore volume (% porevolumen).

10 g i rumvægt svarer til et fald på 7 % i totalporevolumen. For oversigtens skyld er der kun taget værdier med for 8 profiler. Rumvægten fortæller i praksis tilstrækkelig godt, hvad det totale porevolumen er, og ved forsøgsvæsenet er vi, foreløbig ved undersøgelser af jordbunden under bøg på moræne, helt holdt op med de meget tidsrøvende bestemmelser af det totale porevolumen ved pyknometri.



Figur 24: Sammenhængen mellem rumvægten ($\text{g}/100 \text{ cm}^3$) og vandindhold ved balance ved $1/10 \text{ atm.}$'s sug.

Fig. 24: Correlation between volume weight ($\text{g}/100 \text{ cm}^3$) and water content at balance at $1/10\text{-atm.}$ suction.

I figur 24 er vandindholdet ved balance ved 1/10 atm. (ordinaten) lagt op over rumvægten. Der er også her en klar sammenhæng, men spredningen er stor. Det kan dog fastslås, at alt andet lige falder vandindholdet med stigende rumvægt. 10 g's stigning i rumvægt svarer til ca. 4 %'s fald i vandindholdet.

2. Jordbundsfactorernes konstans.

Det er af stor betydning at vide, om de forskellige jordbunds-faktorer kan påvirkes i gunstig eller ugunstig retning ved drifts-dispositioner, såsom træartsskifte, ændret hugststyrke, jordbundsbearbejdning, afvandingsforanstaltninger m.m.. Hvis en eller anden driftsdisposition påvirker en eller flere jordbunds-faktorer i ugunstig retning, må det overvejes, om driftsindgrebet er forbundet med en så stor direkte eller indirekte økonomisk gevinst, at det kan opveje et tab i jordens dyrkningsværdi.

Under arbejdet med indsamling af materiale til undersøgelsen dukkede der en mulighed op for at se, hvad det betyder, at vinden får adgang til skovbunden, så man i stedet for en god muld-tilstand i løbet af kort tid får „forblæst bund“.

Prøveflade DA (Brahetrolleborg) ligger udsat for påvirkning af vestenvind ca. 40 m fra en ret åben skovrand. Som følge heraf er bunden flere steder forblæst lige omkring træerne, hvor den forblæste bund altid begynder. I tabel 3 er sammenstillet nogle analysetal for 4 overfladeprøver udtaget på arealet. To prøver (nr. 1 og 2) er udtaget, hvor jordbundsforholdene endnu er gode, henholdsvis 120 cm (nr. 1) og 90 cm (nr. 2) fra et træ. De to andre prøver er udtaget ved det samme træ indenfor det forblæste område. Prøve 3 er taget 60 cm øst for træet (læsiden) og prøve 4 30 cm vest for træet (luvsiden). Alle afstande er regnet fra stammecentrum. Prøverne repræsenterer dybden 0—5,4 cm. Det ses af tabellen, at det totale porevolumen i det forblæste parti er gået 17 % ned svarende til, at rumvægten er steget godt 40 %. Vandindholdet ved balance ved 1/10 atm. er steget 3 %, og vandindholdet ved visnegrænsen er samtidig steget 110 %, således at den plantetilgængelige vandmængde er gået 75 % ned i det forblæste parti. Tallene illustrerer, at der sker radikale ændringer i jordens fysiske tilstand, når vinden får indpas. Tallene siger kun noget om de øverste 5 cm af jorden, og man kunne tænke sig, at tilstanden i de dybere lag er så stabil, at der ikke sker nogen ændring af dem. Det er vanskeligt at undersøge dette

Tabel 3. Forblæst bunds indvirken på jordens fysiske struktur i de øverste 5 cm.
 Table 3. Influence of draught on physical structure of soil in uppermost 5 cm.

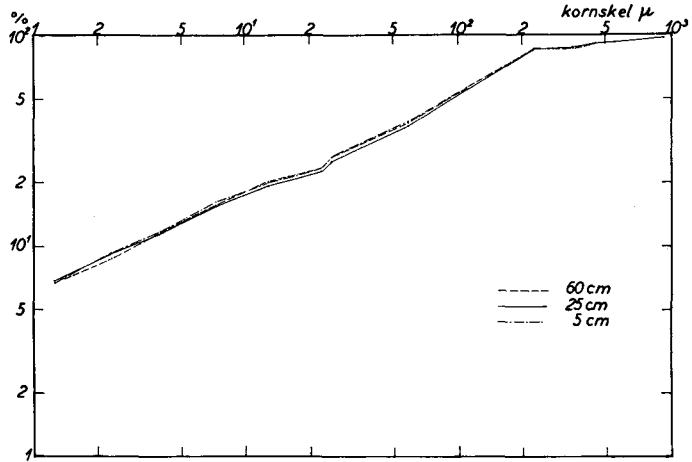
	Totalpore- volumen vol. 0/0	Vand- indhold v. 1/10 atm. vol. 0/0	Rum- vægt g/100 cm ³	Vægt 0/0 vand v. 15 atm.	Rum- fang 0/0 v. 15 atm.	Plante- tilgængeligt vand vol. 0/0
	Total pore volume Percentage by volume	Water con- tent at 1/10 atm. Percentage by volume	Volume weight	Weight per- centage of water at 15 atm.	Volume percentage of water at 15 atm.	Plant- available water, vo- lume percent.
1. normalt løvfald <i>Normal litter accumulation</i>	66,6	33,8	80,7	19,8	16,0	17,8
2. normalt løvfald <i>Normal litter accumulation</i>	65,7	37,2	82,7		16,4	20,8
middel <i>average</i>	66,1	35,5	81,7		16,2	19,3
3. 60 cm øst for træ <i>60 cm east of tree (litter blown away)</i>	54,6	38,8	115,5	29,7	34,3	4,5
4. 30 cm vest for træ <i>30 cm west of tree (litter blown away)</i>	55,0	38,5	114,0		33,9	4,6
middel <i>average</i>	54,8	38,7	114,8		34,1	4,6
% op (+) eller ned- gang (÷) i forhold til normal	÷ 17,1	+ 9,0	+ 40,5	+ 50,0	+ 110	÷ 75
<i>Percentage of increase (+) or decrease (÷) relative to normal</i>						

spørgsmål, idet man for at få det ordentligt belyst må følge et areal i en længere årrække med et stort antal målinger.

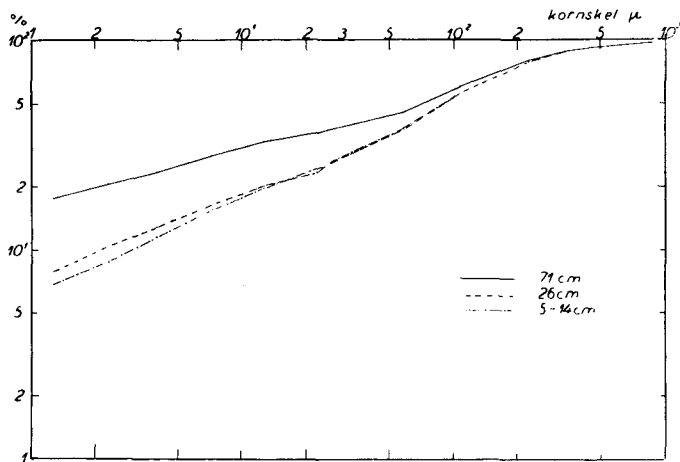
En enkelt iagttagelse i forbindelse med undersøgelsen af prøveflade R (Geel skov) kan dog give forestilling om, i hvilken retning forskydningen sker. I den sydligste grænse af prøvefladen er jordbunden noget forblæst og forbrændt.

Det kan ikke med nogen sikkerhed siges, hvor lang tid denne bundtilstand har været om at dannes. Allerede *Bornebusch's* (1923) florabeskrivelser viser, at bunden har været forblæst. Fremstillingen må derfor tages med det forbehold, at jordbundsudviklingen navnlig i dybden måske er 30 år om at nå dertil, hvor den er nået ved den her publicerede undersøgelse.

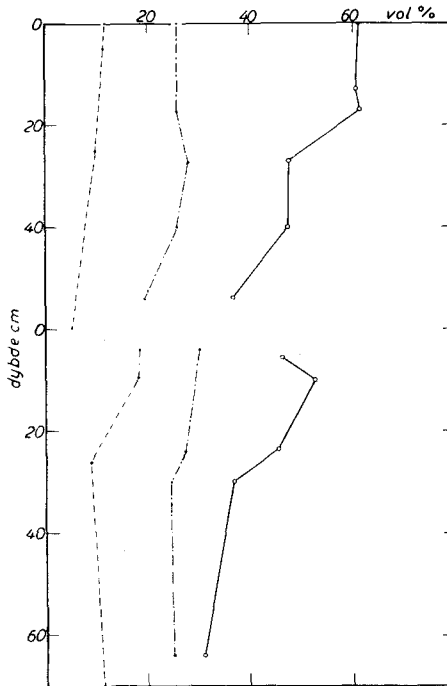
For at få belyst forskellen mellem den gode muldtilstand på størstedelen af prøvefladen og den dårlige tilstand i den sydligste



Figur 25: Finhedskarakteristikker for jordprøver fra prøveflade R.
 Fig. 25: Particle-size characteristics for soil samples from sample plot R.



Figur 26: Finhedskarakteristikker for jordprøver fra supplerings-
 hulllet ved prøveflade R.
 Fig. 26: Particle-size characteristics for soil samples from the supple-
 mentary soil pit at sample plot R.



Figur 27: Øverst pore størrelsesfordelingen i hullet på prøveflade R. Nederst pore størrelsesfordelingen i suppleringshullet ved prøveflade R (jfr. figur 8).

Fig. 27: Top, pore size distribution in the soil pit on sample plot R. Bottom, pore size distribution in the supplementary soil pit on sample plot R (cf. Fig. 8).

ende blev der ved undersøgelsen gravet et hul umiddelbart syd for prøvefladen. Profilbeskrivelsen for hullet på selve prøvefladen findes side 132.

Suppleringshullet blev beskrevet som følger:

pletvis 2 cm løv

0— 2 cm: tyndt, sandet, moragtigt lag

— 37 cm: lys overjord, øverst nogen humusnedlemning

—100+ cm: lys, fast lejret underjord.

Figur 25 viser finhedskarakteristikker for hovedhullet (hul 1) og figur 26 for suppleringshullet (hul 2). Hullerne er i de øvre lag meget nær ens. I dybden er hul 2 betydelig mere leret (hul 1 lerindhold i 60 cm's dybde: 8,2 %, hul 2 i 70 cm's dybde: 20,0 %).

Der er altså ikke umiddelbart grund til at forvente lavere plante-tilgængelig vandkapacitet i hul 2 end i hul 1 (jfr. side 143).

Figur 27 viser poreforholdene i de to profiler, hul 1 øverst og hul 2 nederst. Figuren viser ganske de samme forskydninger ned gennem profilen, som *tabel 3* viser for de øverste 5 cm på de forblæste partier på prøveflade DA. Beregnes vandkapaciteten til 40 cm's dybde for de to profiler, finder man:

hul 1 (muld)	: 65 mm
hul 2 (forblæst bund)	: 52 mm
<hr/>	
differens	: 13 mm
procentisk nedgang	: 20 %

Man må erindre, at sammenligningen er komparativ, så man skal være yderst forsigtig med at drage vidtrækkende konklusioner. Nedgangen på 20 % er dog stor i forhold til de procentiske fejl, som de to enkeltbestemmelser er behæftede med. *Figur 10* viste, at den sandsynlige fejl på enkeltbestemmelserne er ca. ± 4 %, hvilket giver en fejl på differensen på $\pm \sqrt{4^2 + 4^2} = \pm \sqrt{32} = \pm 5,7$ %. Differensen er altså 3,5 gange så stor som middelfejlen på differensen. Selv hvis man regner med den store fejl i *figur 10*, er differensen dobbelt så stor som middelfejlen på differensen ($\pm \sqrt{7^2 + 7^2} = \pm 9,9$ %). Bedømt på grundlag af resten af materialet er der da med stor sikkerhed forskel mellem de to huller, og med støtte i *figur 25* og *26* er det rimeligt at antage, at forskellen skyldes, at sol og vind har fået indpas på arealet omkring hul 2.

På side 175 ff. er korrelationen mellem målt tilvækst og plante-tilgængelig vandkapacitet belyst. *Figur 34* viser regressionslinien for sammenhængen mellem vandkapacitet til 40 cm's dybde og den gennemsnitlige årlige tilvækst i en 10-årsperiode for prøveflader af aldersgruppe I (tabel 1), hvorunder prøveflade R hører. Undlader man at tage hensyn til fejlgrænserne, finder man, at 13 mm's nedgang i vandkapaciteten betyder en årlig tilvækstnedgang på 1,85 m³ (totalmasse). Denne tilvækstnedgang er betinget af de ændrede jordbundsforhold. Størrelsesordenen af tilvækstnedgangen må i praksis ikke alene betragtes på m³-basis. Bevoksninger i de aldre, hvor vinden kan gøre størst skade på jordbunden, har som regel en betydelig værditilvækst, så den økonomiske betydning af, at man sørger for læ i skoven er endnu større end tabet i massetilvækst indicerer.

Ved ovenstående vurdering er der kun taget hensyn til den indflydelse, forskydningen af den målte jordbunds faktor har på tilvæksten. Vinden influerer imidlertid også på anden måde på vækstbetingelserne.

Woelfle (1937) har vist, at vindstyrken ved jordoverfladen er op til 50 % større under fritstående træer og de yderste træer i en bevoksningsrand end på friland. Forklaringen synes at være den, at luftmasserne delvis presses ind under kronetaget og derfor får en større hastighed. Det må erindres, at vindhastigheden stiger med afstanden fra jordoverfladen og altså er højere i kronehøjde på frit felt end ved jordoverfladen. Det medvirker til en yderligere øgelse af hastigheden ved jordoverfladen, at luftmasser med stor hastighed i kronetagshøjde presses ind under kronetaget.

Woelfle understreger med rette, at fordampningen fra jordoverfladen derfor bliver større end på friland. Det kan i sig selv være medvirkende til den konstaterede fysiske ændring, og det betyder yderligere, at der bliver mindre jordvand til rådighed for planterne. Formentlig er den forblæste bund desuden i stand til at afgive mere vand ved fordampning end god muld. *Keen's* arbejde (1928), som er resumeret i forbindelse med *figur 3*, antyder, at fordampningsbetingelserne bliver „bedre“, når de grove porers procentiske andel af porevolumenet falder, og noget sådant sker netop ved overgang fra muld til forblæst bund (*tabel 3*). Hvor meget dette betyder, er det ikke muligt at skønne over. Efter *Aslyng og Kristensen's* (1953) undersøgelser over fordampning fra harvet og tromlet jord, som kan sammenlignes med muld og forblæst bund, ser det ud til, at forskellen under deres forsøgsbetingelser ikke er særlig stor, men dog målelig.

Jordens indhold af næringsstoffer vedligeholdes i skovbruget ved, at næringsstofferne føres fra jorden over træet og med løvet tilbage til jorden igen. Kun små mængder bortføres med høsten af veddele, og disse erstattes ved forvitring og tilførsel udefra, (kvælstof tilføres f. eks. dels med nedbøren, dels ved at luftkvælstof bindes af forskellige organismer i jordbunden). De store mængder næringsstof, som årligt er i cirkulation, er nødvendige for vedligeholdelsen af jordens produktionsevne, og det vil derfor langtids virke katastrofalt, hvis de bortføres fra en lokalitet ved, at løvet blæser bort. Her behøver man blot at erindre om produktionsnedgangen i mellemeuropæiske skove

som følge af, at løvet er blevet fjernet til foder og strøelse (se f. eks. *Dengler* 1944). *P. E. Müller* (1877) har også meget malende beskrevet disse forhold.

Efter et andet af *Müllers* arbejder (1879) sammenholdt med arbejder af *Romell* (1935), *Oksbjerg* (1957) og *Holten* (1956) må det antages, at en mordannelse kan indledes og vedligeholdes på følgende måde: Når løvet fjernes (blæser bort), bliver jordbundstilstanden forblæst bund med en tynd mor. Efterhånden søger bøgerødderne op til overfladen, hvor de danner et tæt rod-filt, som synes at være en stærkt medvirkende årsag til, at mordannelsen i en bevoksning ofte fortsætter, efter at der er retableret gode læforhold. Mortilstanden er ensbetydende med, at der bliver en dårlig kvælstofbalance, som i sig selv er medvirkende til at accelerere mordannelsen, selv om læforholdene kommer i orden og den årlige tilførsel af organisk stof påny bliver tilstrækkelig stor til at betinge en muldtilstand.

Sammenfattende må man antage, at skovjordens gode fysiske tilstand er betinget af, at de biologiske forhold holdes i orden. Fjernelse af løv fører til en begyndende mordannelse, der medfører for lav kvælstoftilførsel til bevoksningen (*Romell* 1935). De øvrige næringsstoffer vil muligvis stadig i lang tid være til rådighed i tilstrækkelige mængder (*Müller* 1877). Der er en betydelig træghed ved tilbagevenden fra mortilstand til muldtilstand (*Müller* 1879, *Oksbjerg* 1957), som kan medføre, at man, hvis man ønsker muldtilstand, må foretage renafdrift, fuldbearbejdning og nykultur (*Müller* 1879).

Udover det allerede fremførte må det antages, at vindpåvirkningen også medfører en forøget transpiration hos skovtræerne og bundfloraen (*Holmsgaard* 1955).

Konklusion.

Nedgangen i jordens plantetilgængelige vandkapacitet, som indiceres af de fremlagte tal, betyder i sig selv en tilvækstnedgang, men vindpåvirkning har på en række andre punkter så megen indflydelse på vækstbetingelserne, at den jugerede tilvækstnedgang kun er en del af den totale tilvækstnedgang. Der er vægtige grunde til at antage, at den ugunstige faktorfor skydning stabiliserer sig, så en tilbagevenden til de oprindelige gode tilstande er en meget træg proces. Det må derfor understreges, at det er af stor betydning at skabe og bevare gode læforhold i skoven.

3. Iagttagelser.

Under laboratoriarbejdet såvel som under arbejdet i marken er der gjort en del iagttagelser, som det ikke har været muligt, enten af rent tekniske grunde eller af mangel på tid, at få belyst ved videregående, eksperimentelle undersøgelser. Af praktisk interesse synes navnlig sammenlignende undersøgelser af jordfugtigheden i marken og i laboratoriet at være, og i det følgende skal nogle af disse iagttagelser derfor gennemgås.

Ved undersøgelser i marken får man ofte det indtryk, at en jord er meget tør eller relativt fugtig. Iagttagelser af den art er man tilbøjelig til at sætte i forbindelse med jordens evne til at stille vand til rådighed for væksten. Iagttagelserne har størst betydning, når der i længere tid har været en tørkeperiode.

Man kunne tænke sig, at man ved hjælp af sådanne iagttagelser kunne inddele lokaliteter i f. eks. tørre og fugtige på basis af en okulær bedømmelse, alt efter om man mente, at jorden var udtørret til visnegrænsen eller ej. Efter forfatterens skøn er en sådan okulær bedømmelse imidlertid ikke mulig.

Iagttagelser af jordprøver, der i laboratoriet er udtørret til balance ved 15 atm.-tryk, viser, at en praktisk bedømmelse af jords udtørringsgrad er overordentlig vanskelig. Sandjorder uden humusindhold virker i balancetilstanden støvtørre og er ikke sammenhængende. Ikke desto mindre indeholder de stadig et par procent vand, hvoraf en del er tilgængeligt for i hvert fald visse skovtræarter (se f. eks. *Stone og Fowells* (1955)). Med stigende lerindhold bliver prøverne ved balancetilstanden mere og mere sammenhængende. Samtidig med at sammenhængskraften stiger, sker der en stadig stigende skrumpning af prøverne. En prøve med et lerindhold på ca. 20 % vil, efter at balancetilstanden er nået, være skrumpet betragteligt og føles som en udtørret hård lerklump, som kun vanskeligt kan brydes itu. Dens vandindhold er mellem 7 og 8 vægtprocent, og der vil stadig være så meget vand, at skovtræer kan overleve en længere tørkeperiode (jfr. *figur 6* med tilhørende tekst).

En tilblanding af humus øger sammenhængskraften hos sandede prøver og mindsker sammenhængskraften og skrumpningen ved lerede prøver. Det er mit indtryk, at man normalt vil anse humøse prøver i balance ved 15 atm. for at have et højere (mere plantetilgængeligt) vandindhold, end de i virkeligheden har. I praksis betyder det, at man i mange tilfælde

vil skønne, at en humøs jordprøve endnu ikke er udtørret til visnegrænsen, selvom den i virkeligheden er udtørret under den 15 atm.'s grænse, som bestemmes i laboratoriet. Som det fremgår af figur 6 med tilhørende tekst, er det, at en humøs jordprøve er udtørret under 15 atm.-grænsen, ikke ensbetydende med, at planter og navnlig skovtræer vil visne. Netop en humøs og/eller leret jord kan stadig levere tilstrækkeligt vand til, at plantearter med ringe kutikulær fordampning vil kunne overleve en længere tørkeperiode.

Det må dog samtidig understreges, at skovtræer (og andre træer og buske) i delvis modsætning til urteagtige planter periodisk kan være særlig følsomme overfor tørke, f. eks. har de i skudstrækningsperioder en forholdsvis høj kutikulær fordampning.

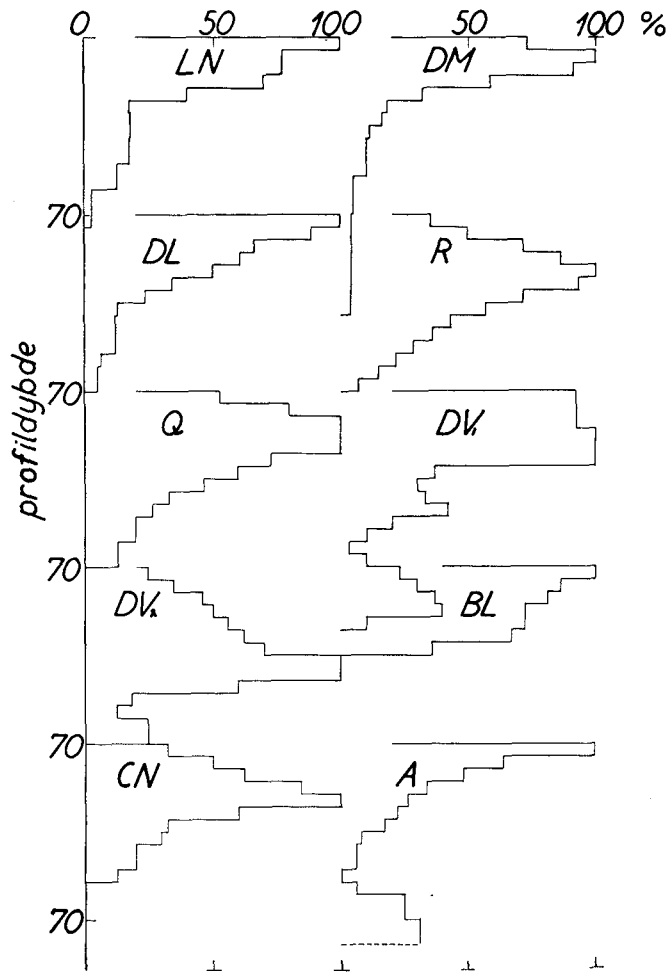
V. RODUNDERSØGELSER.

Grosskopf (1950) har publiceret en metode til sammenlignende bestemmelse af finrodsintensiteten i forskellige bevoksninger. Ved finrødder forstår han alle rødder mindre end 2,0 mm. Metoden er i korthed følgende:

I mellemfladen, hvorved forstås et sted midt mellem to træer, udtages en jordsøjle med tværsnit 20×20 cm². Denne søjle deles i passende lag, og rødderne sorteres ud i laboratoriet. Rødderne deles i diameterklasser, og længderne måles. For de mindste klasser gennemføres kun længdemåling af en repræsentativ del, og ved vejning bestemmes længden i hele klassen. *Grosskopf* tillægger derefter den samlede længde af finrødder i de enkelte horisonter økologisk betydning for næringsstofkredsløbet, og for hvor godt rodrummet udnyttes. Der er dog grund til at understrege, at der, som metoden er fremlagt, er regnet med forskellige forudsætninger, som kan indskrænke værdien af undersøgelserne, hvis de ikke slår til.

1) For det første regnes der med, at længden af finrødderne i en horisont samtidig er udtryk for, i hvor høj grad træerne udnytter denne horisont. Det forudsætter imidlertid, at 1 m finrod har lige stor evne til at opsuge vand og næringsstoffer i de forskellige horisonter, eller med andre ord, at der f. eks. er lige mange rodspidser pr. længdeenhed i alle horisonter. Det er imidlertid ikke tilfældet efter mit skøn. Det ser ud til, at antallet af rodspidser pr. længdeenhed er størst i overfladen og aftager i dybden.

2) For det andet regnes der med, at intensiteten målt i mellemfladen afspejler hele fladens rodintensitet. Målinger, som er gennemført ved forsøgsvæsenet i anden forbindelse, viser imidlertid, at rodintensiteten f. eks. for rødgran falder i de dybeste lag, jo længere man fjerner sig fra et træ i en bevoksning. Det gør den også i de øvre horisonter, men relativt meget langsommere. Hvis metoden skal anvendes i større udstrækning, må der



Figur 28: Den relative finrodsintensitet (rødder med diameter < 1,5 mm) på en del af prøvefladerne (se ivotrigt teksten).

Fig. 28: The relative fine-root intensity (roots of diameter < 1.5 mm) on part of the sample plots (see further the text).
 profildybde = depth in cm.

gennemføres en nøjere undersøgelse af, om det er muligt at ud-tage prøver, som er virkelig repræsentative.

3) Under visse jordbundsforhold kan man iagttagge en meget uensartet intensitet. Ofte er der således dybe lommer og spalter i en leral med meget stor rodintensitet, medens der få cm derfra overhovedet ikke findes en rod.

Trods disse indskrænkninger er metoden taget i brug ved undersøgelsen af en del af prøvefladerne, uden at der først er foretaget nødvendige, men meget tidsrøvende metodiske undersøgelser. Løbende undersøgelser lader sig ikke udnytte til korrektion her.

Metoden er anvendt uden at ændre *Grosskopf's* metodik væsentligt. Udtagningen af jordsøjlen er sket i $\frac{2}{3}$ af kroneradius' afstand fra et middeltræs stammebasis. Rødderne er sorteret ud med hånden. I stedet for at anvende 2 mm's diameter som klasse-skel er anvendt 1,5 mm. Finrods-mængderne er summeret til den dybde, som ved udtagningen har vist sig at være fuld rod-dybde på udtagningsstedet. Den summationskurve, som man får frem på denne måde, er derefter differentieret for at finde finrods-længden i lag på 5 cm's tykkelse, og disse længder er afbildet i diagrammer.

I figur 28 er resultaterne for de prøveflader, hvor undersøgelsen er gennemført, afbildet. For oversigtens skyld er det gjort i relative tal, idet længden er sat til 100 i det 5 cm lag, som havde den største samlede finrods-længde.

Figurerne viser, at den største rodintensitet i alle tilfælde, undtagen DV₂, ligger et sted mellem 0 og 30 cm's dybde, og til den samme dybde finder man en meget stor del af hele rodmængden i den undersøgte søjle. Videre ses det, at den totale rod-dybde på undersøgelsesstederne svinger mellem 35 og 110 cm. I gennemsnit ligger den omkring 70 cm's dybde. Nogle af diagrammerne viser den største rodintensitet i de øverste 5 cm (LN, DL, DV₁, BL og A), de øvrige i en større dybde (DV₂ således fra 35—45 cm). Det er ikke muligt på det foreliggende grundlag at give en udtømmende forklaring på alle disse detaljer. De viser kun, at rodudviklingen er højst forskellig på forskellige lokaliteter, og at en nærmere undersøgelse af rodudviklingen sikkert kan give interessante resultater.

Det væsentlige ved undersøgelsen skal imidlertid heller ikke være, om denne eller hin lille detalje kan forklares, eller om der kan opstilles et fuldgældigt regnskab for repræsentations- og arbejdsfejl. Undersøgelsen giver, sin ufuldkommenhed til trods, et indtryk af, hvor man skal søge forklaringen på et par af de ting, som de egentlige jordbundsundersøgelser viser.

VI. TILVÆKSTENS AFHÆNGIGHED AF VANDKAPACITETEN.

1. *Indledning.*

Det samlede vandforbrug til produktion af 1 g tørstof andrager hos landplanter under vore klimaforhold 350—700 g vand (*Jensen 1943*). Denne vandmængde forbruges hovedsagelig til transpiration. Vandoptagelsen sker overvejende fra jorden, og det er derfor nærliggende at søge oplyst, hvor store mængder vand jorden kan opmagasinere i plantetilgængelig tilstand, og hvor meget vandkapaciteten influerer på tørstofproduktionen. Indtil en vis grænse må tørstofproduktionen stige med stigende vandkapacitet. Kun hvis jordvandmængden, som er til rådighed ved forårsmætning, er stor, og der falder tilstrækkelig store mængder nedbør på de rigtige tidspunkter i vækstperioden, vil bevoksninger fuldt ud kunne få dækket deres vandbehov.

Holmsgaard (1955) har undersøgt sammenhængen mellem tilvækst (årringsbredde) og nedbøren i tilvækstperioden på forskellige bøgelokaliteter. I intet tilfælde synes de undersøgte bøgebevoksninger at have haft så rigelige vandmængder til rådighed, at de ikke har reageret på yderligere nedbør. Det må derfor antages, at det vil være muligt at påvise en snæver samvariation mellem tilvækst og vandkapacitet.

Oversigten over de enkelte prøveflader (side 130 og *tabel 1*) viser, at de enkelte bevoksninger har meget forskellige aldre. Den yngste er på opgørelsestidspunktet 38 år, medens den ældste er 159 år. Nu ved man, at totalmassetilvæksten målt i m³ er aldersafhængig. Det fremgår af alle tilvækstoversigter (se f. eks. *Møller 1933* og *figur 38*). En direkte sammenligning af de målte vandkapaciteter med de tilvækster, som er målt på de enkelte prøveflader, er altså ikke mulig. Tilvæksten må korrigeres for aldersafhængigheden. Det kan gøres på følgende tre måder:

- 1) Man antager normalt, at højdeboniteten er et godt udtryk for tilvækstmulighederne i en bevoksning. Højdeboniteten kan, når man kender bevoksningens alder og middelhøjde, slås op i en bonitetstabel, bedst ved grafisk interpolation (*Møller* 1933). Boniteten kan direkte sammenlignes med vandkapaciteten.
- 2) Materialet kan opdeles i aldersgrupper. Indenfor tilstrækkeligt snævre aldersgrupper er alderens indflydelse ringe, og tilvæksterne indenfor gruppen kan sammenlignes med vandkapaciteterne.
- 3) Endelig kan man korrigere de målte tilvækster bedst muligt for aldersafhængigheden og sammenligne de korrigerede tilvækster med vandkapaciteterne. En sådan korrektion har den fordel, at man ligesom ved anvendelse af højdeboniteten kan behandle hele materialet under ét.

Alle tre metoder er gennemarbejdet. De supplerer stort set hinanden, men giver hver for sig aspekter, som er nødvendige for en forståelse af problemstillingen. Det er derfor foretrukket at publicere hele bearbejdelsen af stoffet. De enkelte led af bearbejdningen gennemgås i det følgende uden mange kommentarer, og til slut gøres resultaterne til genstand for en samlet diskussion i et særskilt afsnit.

Ved bearbejdningen er der ved bedømmelse af sikkerheden på de fundne korrelationer beregnet korrelationskoefficienter. I de fleste tilfælde er anvendt *Spearmanns* rangkorrelationskoefficient (*Graf og Henning* 1953), og kun i enkelte tilfælde er anvendt lineære korrelationskoefficienter (*Graf og Henning* 1953).

Korrelationskoefficienterne er fejlbehæftede, og deres signifikans kan bedømmes på forskellig måde. For ikke at belaste fremstillingen med en tør opremsning af t-værdier og sandsynlighedsgrænser, er det foretrukket at forsyne hver korrelationskoefficient med et indeks, som angiver, hvor mange iagttagelsespar, der indgår i beregningen af den. Ved hjælp af *figur 47*, side 209, kan de enkelte koefficienters signifikans bedømmes.

Fremgangsmåden kan belyses ved følgende eksempler: I *figur 29* indgår 22 iagttagelsespar. Rangkorrelationskoefficienten er: $r_{22} = 0,43$. Ved at gå ind for 22 iagttagelsespar i *figur 47*

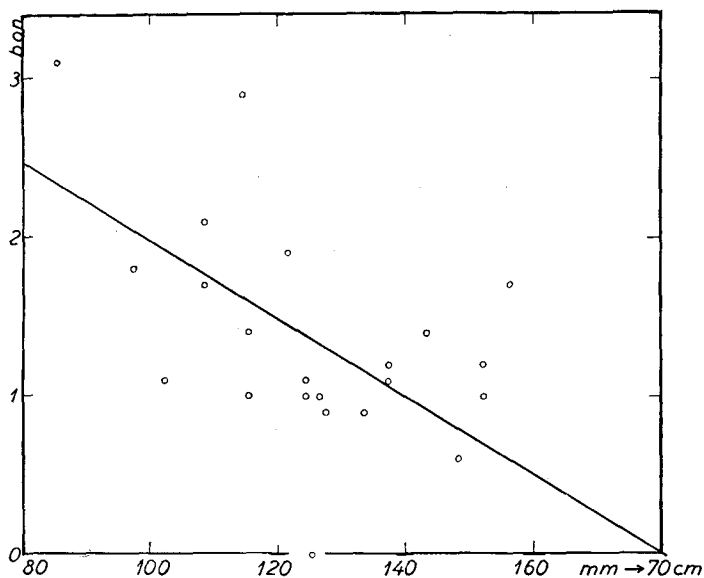
finder man, at en korrelationskoefficient på 0,43 ligger over kurven for 95 %'s sandsynlighed. $r_{22} = 0,43$ er følgelig signifikant forskellig fra 0 med lidt mere end 95 %'s sandsynlighed. Materialet til *figur 40* er korreleret med rangkorrelationskoefficienten $r_{22} = 0,86$, som efter *figur 47* er signifikant forskellig fra 0 med mere end 99,9 %'s sandsynlighed.

2. Korrelationen mellem højdeboniteten og jordens vandkapacitet.

Tabel 1 giver en oversigt over de anvendte data:

1) Højdeboniteterne (efter *Møller 1933*), 2) vandkapaciteterne til 70 cm's dybde og 40 cm's dybde og 3) nedbøren i 10- og 20-årsperioderne.

Det må understreges, at den potentielle højdebonitet ikke altid kan antages at være et godt udtryk for tilvækstmulighederne på en lokalitet.

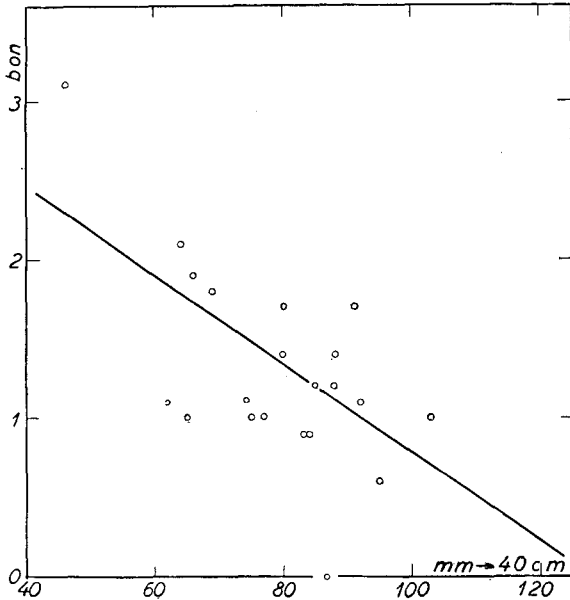


Figur 29: Sammenhængen mellem højdebonitet (bon) og plantetilgængelig vandkapacitet til 70 cm's dybde (mm → 70 cm).

Fig. 29: Correlation between site class (bon) and plant-available water-capacity to 70 cm depth (mm → 70 cm).

Site class I ∞ height 32 m at 100 years.

„ „ II ∞ „ 28 „ „ „ „ .



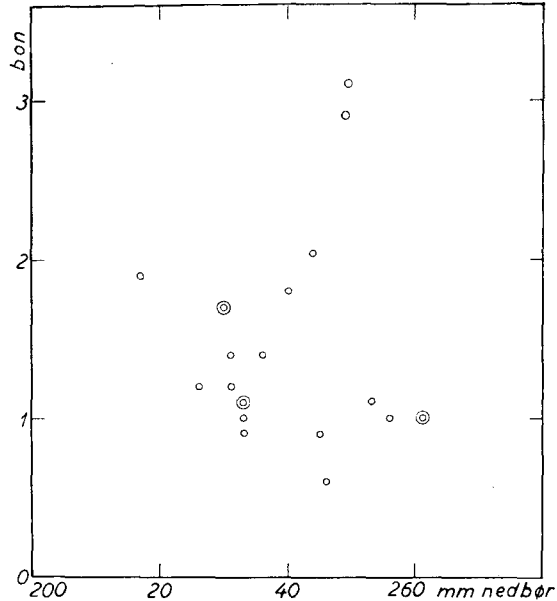
Figur 30: Sammenhængen mellem højdebonitet (bon) og plantetilgængelig vandkapacitet til 40 cm's dybde (mm → 40 cm).

Fig. 30: Correlation between site class (bon) and plant-available water-capacity to 40 cm depth (mm → 40 cm). See also Fig. 29.

Møller (1933) har foreslået at anvende aktuel bonitet i stedet for potentiel bonitet ud fra den betragtning, at højdetilvæksten over en længere periode kan ændre sig betydeligt.

Figur 2 hos Møller og Nielsen (1953) viser, at højdeforløbet på forsøgsvæsenets bølgeprøveflader afviger meget fra det højdeforløb, som måtte ventes efter de bonitetsvise tilvækstoversigter. Prøvefladerne har gennemgående en meget større højdetilvækst end forudsat i tilvækstoversigterne. Der er desuden en tendens til, at de dårligste boniteter har de stærkest stigende højdekurver. Alt i alt er det imidlertid vanskeligt at korrigere for løbende bonitetsændringer, og forfatteren har foretrukket kun at gennemføre beregninger på basis af den rå potentielle højdebonitet.

I figur 29 er højdeboniteterne lagt op over de tilsvarende plantetilgængelige vandkapaciteter beregnet til 70 cm's dybde. Der er en klar tendens til stigende bonitet for stigende vandkapacitet. Samvariationens styrke kan bedømmes på grundlag af rangkorrelationskoefficienten, som i det foreliggende tilfælde er $r_{22} = 0,43$. I diagrammet er indlagt en udjævningslinie baseret



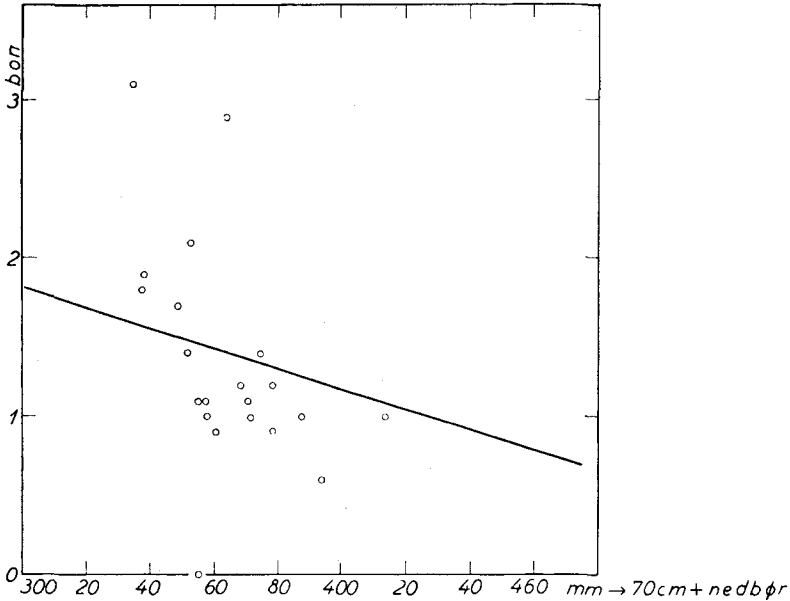
Figur 31: Højdeboniteten (bon) lagt op over den gennemsnitlige nedbør i vækstperioden i 10-års tilvækstperioden (mm nedbør).

Fig. 31: Site class (bon) superimposed on the average rainfall during the period of growth in the 10-year increment period (mm nedbør). See also Fig. 29.

på beregning af to tyngdepunkter under forudsætning af, at vandkapaciteten er uafhængig variabel og boniteten afhængig variabel. Denne linie giver en stigning på 1 bonitetsgrad for hver 43 mm's stigning i den plantetilgængelige vandkapacitet.

Figur 30 viser korrelationen mellem højdeboniteten og den beregnede vandkapacitet til 40 cm's dybde. Rangkorrelationskoefficienten er her $r_{22} = 0,45$. Udjævningslinien gennem de to tyngdepunkter (boniteten afhængig variabel) viser en stigning på 1 bonitetsgrad for hver 36 mm's stigning i vandkapaciteten.

Der er altså korrelation mellem højdeboniteten og den plantetilgængelige vandkapacitet. Hvis man forudsætter, at den fundne korrelation er udtryk for vækstens afhængighed af den jordvandmængde, som står til rådighed i vækstperioden, er det rimeligt at antage, at nedbøren i vækstperioden også influerer på væksten. Den samlede vandmængde, som en bevoksning disponerer over i vækstperioden, består dels af forårsvandmængden i jorden, dels af nedbøren i vækstperioden, så længe den sidste ikke

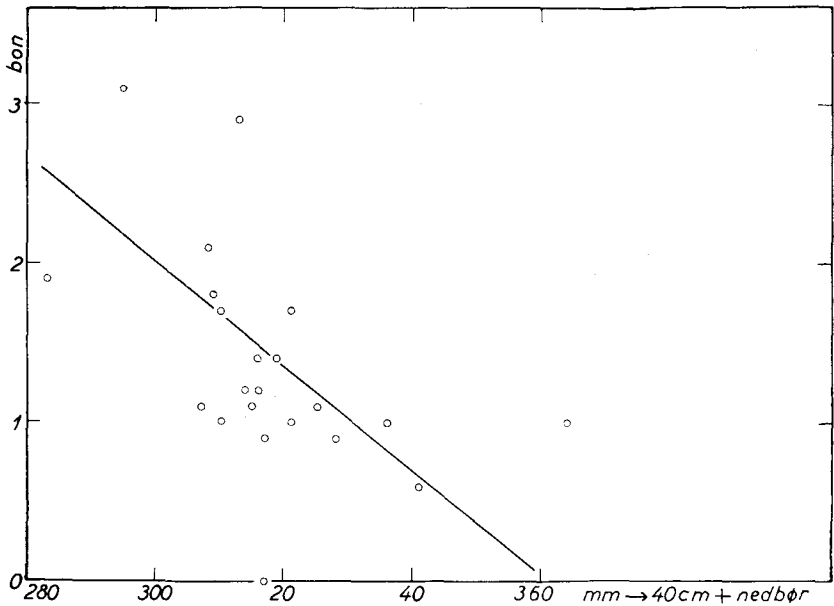


Figur 32: Sammenhængen mellem højdeboniteten (bon) og den plantetilgængelige vandkapacitet til 70 cm's dybde + gennemsnitsnedbøren i vækstperioden over 10 år (mm \rightarrow 70 cm + nedbør).

Fig. 32: Correlation between site class (bon) and the plant-available water-capacity to 70 cm depth + the average rainfall during the period of growth during 10 years (mm \rightarrow 70 cm + nedbør). See also Fig. 29.

bliver så stor, at jordmagasinet ikke kan optage den, hvorved en del af nedbøren kan sive gennem rodrummet. Denne forudsætning er dog antagelig altid opfyldt på de jorder, der her er tale om. Det er altså rimeligt at antage, at væksten (højdeboniteten) er korreleret med summen af nedbøren i vækstperioden og jordens plantetilgængelige vandkapacitet.

Højdeboniteten er udtryk for de gennemsnitlige vækstvilkår i hele bevoksningens levetid. Man må derfor vente, højdeboniteten er korreleret med vækstperiodens gennemsnitsnedbør i hele levetiden. Da det imidlertid er gennemsnitsnedbøren i 10-årsperioden, som anvendes i beretningen, er det fundet rimeligt også at anvende denne ved undersøgelsen af bonitetens afhængighed af vandforholdene. Det må dog understreges, at rangkorrelationskoefficienten for korrelationen mellem gennemsnitsnedbøren i 10-årsperioden og gennemsnitsnedbøren i 20-årsperioden „kun“ er på 0,79.



Figur 33: Sammenhængen mellem højdeboniteten (bon) og den plantetilgængelige vandkapacitet til 40 cm's dybde + gennemsnitsnedbøren i vækstperioden over 10 år (mm → 40 cm + nedbør).

Fig. 33: Correlation between site class (bon) and the plant-available water-capacity to 40 cm depth + the average rainfall during the period of growth during 10 years (mm → 40 cm + nedbør). See also Fig. 29.

Figur 31 viser, at der ikke er nogen klar sammenhæng mellem højdeboniteten og vækstperiodens gennemsnitlige nedbør i den 10-årsperiode, som ligger lige forud for opgørelsestidspunktet. For meget store materialer kan man vente en sådan sammenhæng, idet alle andre faktorer, som influerer på væksten, så kan være ligeligt repræsenterede i de enkelte nedbørsområder. Når der ikke her er nogen korrelation, kan man altså kun slutte, at materialet formentlig er for lille.

I figur 32 er højdeboniteterne lagt op over den plantetilgængelige vandkapacitet til 70 cm's dybde + nedbøren. Rangkorrelationskoefficienten er $r_{22} = 0,51$. Korrelationen mellem bonitet og vandkapacitet + nedbør synes altså at være bedre end korrelationen mellem bonitet og vandkapacitet. Forskellen er dog ikke signifikant. Der er på figuren indlagt en udjævningslinie gennem to tyngdepunkter, som er beregnet med boniteten som afhængig variabel. På basis af denne skal der 170 mm's stigning i vandmængden til for at give en bonitetsstigning på 1 bonitetsgrad.

Figur 33 viser korrelationen mellem højdeboniteterne og den plantetilgængelige vandkapacitet til 40 cm's dybde + nedbøren i vækstperioden. Den beregnede rangkorrelationskoefficient er $r_{22} = 0,65$. Den indlagte udjævningslinie viser, at 30 mm's stigning i den vandmængde, som står til rådighed i vækstperioden, svarer til en stigning i højdeboniteten på 1 bonitetsgrad. Her er korrelationen mellem bonitet og vandkapacitet + nedbør en hel del bedre end mellem bonitet og vandkapacitet ($r_{22} = 0,65$ mod $r_{22} = 0,45$). Forskellen er dog ikke signifikant på 95 % niveauet.

3. Korrelationen mellem tilvæksten i aldersgrupper og vandkapaciteten.

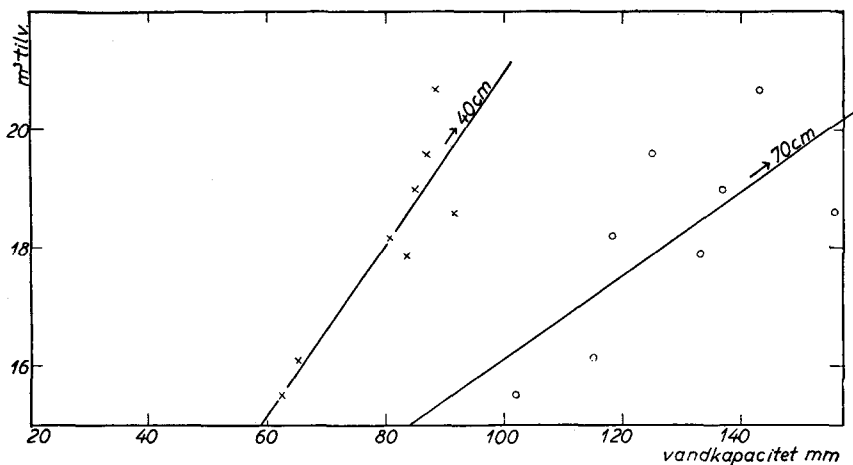
De undersøgte prøveflader er opdelt i tre grupper efter alderen på opgørelsestidspunktet. Gruppeinddelingen fremgår af *tabel 1*, side 122. I *figur 34* er den yngste gruppes, i *figur 35* den mellemste gruppes og i *figur 36* den ældste gruppes tilvækster (m^3 totalmasse gennemsnitligt i 10 år) lagt op over de beregnede vandkapaciteter til såvel 70 cm's dybde som 40 cm's dybde.

Figur 37a og *b* viser de beregnede korrelationskoefficienter for korrelationerne mellem tilvæksterne i 10-årsperioderne og vandkapaciteterne beregnet til forskellig dybde for de tre grupper. Korrelationskoefficienterne er i dette tilfælde lineære korrelationskoefficienter (*Graf og Henning 1953*).

Figur 36a viser for de to yngste aldersgrupper, at korrelationskoefficienterne er højest, når vandkapaciteterne beregnes til en dybde af 30—40 cm. For den ældste gruppe finder man derimod de bedste korrelationskoefficienter, når vandkapaciteterne beregnes til 70 cm's dybde. Ved alle andre beregningsdybder er koefficienterne dårligere. Det må understreges, at forskellen mellem de enkelte koefficienter ikke er signifikant.

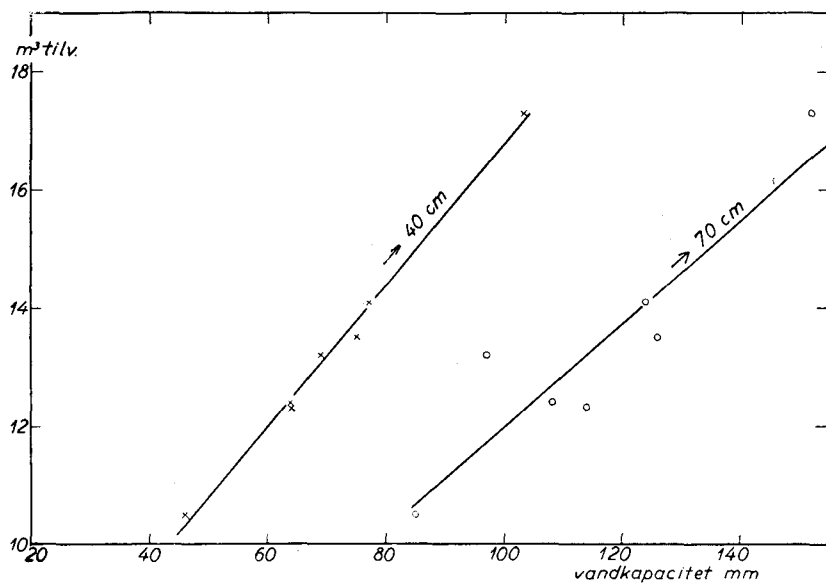
Det store fald i korrelationskoefficienterne for prøvefladerne i gruppe III er så påfaldende, at det er nødvendigt at overveje, om der er en forklaring på det, selvom forskellene ikke er statistisk sikre. Det er nærliggende at antage, at *prøveflade A* influerer på materialets sikkerhed. *Figur 36* viser, at prøvefladen har en meget høj tilvækst i forhold til den plantetilgængelige vandkapacitet beregnet til 40 cm's dybde.

Ved omtalen af de enkelte prøveflader (side 137) er det noteret, at på prøveflade A's tilvækst er sammensat af to komponenter



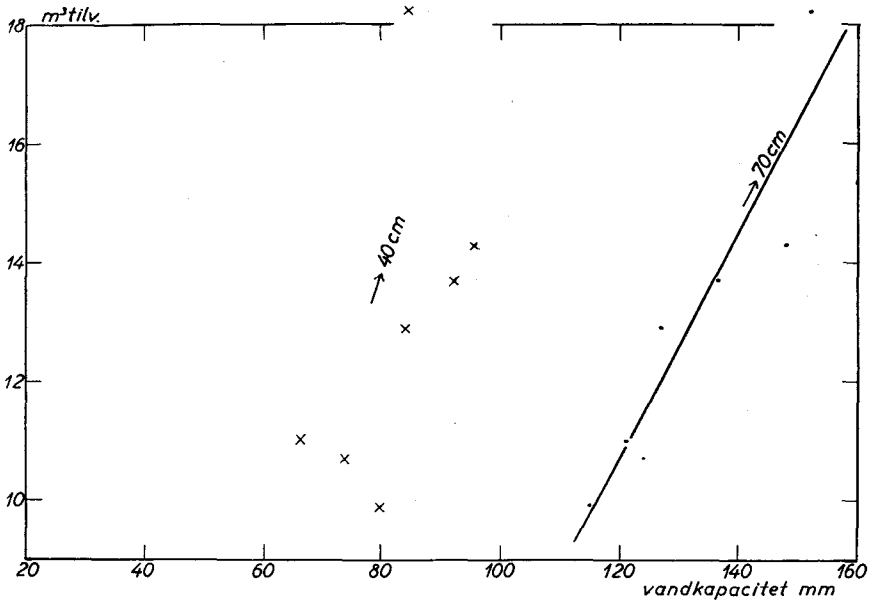
Figur 34: Tilvæksten i 10-års perioden (m^3 tilv.) lagt op over den plantetilgængelige vandkapacitet (vandkapacitet mm) til 70 cm's dybde (\rightarrow 70 cm) og til 40 cm's dybde (\rightarrow 40 cm) for prøvefladerne i aldersgruppe I (se tabel 1, side 122).

Fig. 34: Increment in the 10-year period (m^3 tilv.) superimposed on the plant-available water-capacity (vandkapacitet mm) to 70 cm depth (\rightarrow 70 cm) and to 40 cm depth (\rightarrow 40 cm) for the sample plots in Age Group I (see Table 1).



Figur 35: Samme som figur 34, men for aldersgruppe II (se tabel 1).

Fig. 35: Same as Fig. 34, but for Age Group II (see Table 1).



Figur 36: Samme som figur 34, men for aldersgruppe III (se tabel 1).

Fig. 36: Same as Fig. 34, but for Age Group III (see Table 1).

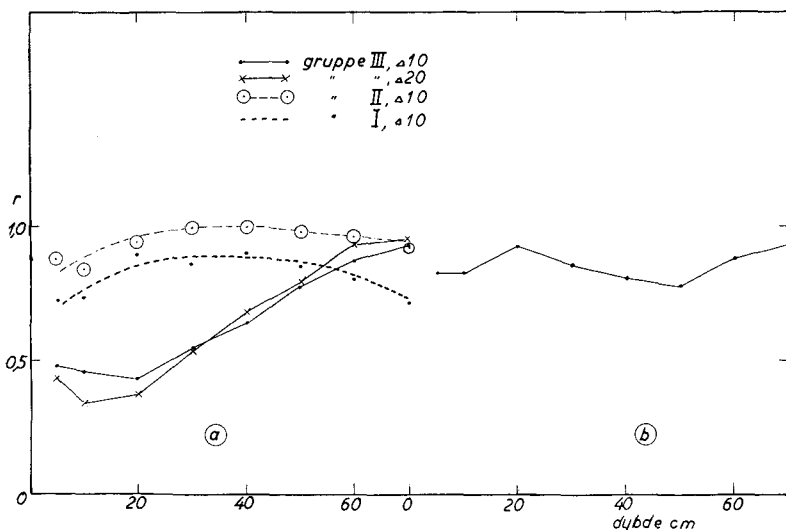
- 1) Den målte tilvækst på de gamle træer og
- 2) en skønnet tilvækst på den efterhånden temmelig store selvsåede opvækst.

Til støtte for skønnet under punkt 2 blev der den 21. 1. 1954 målt en prøveflade på 400 m² (forstkandidat *J. Lundberg* og forvalter *V. Madsen*). Prøvefladen lå sådan, at jordbundshullet, som tidligere var gravet, lå midt i prøvefladen.

Pr. ha gav målingen følgende resultat:

2875 stammer — højde i middelstammegrundflade 7,1 m — diameter i middelstammegrundflade 5,3 cm — grundflade 6,3 m² — totalmasse 38,5 m³ (formtal 0,86).

Det er ikke muligt at oplyse, hvor mange gange der har været hugget i undervæksten, og følgelig heller ikke muligt at opgøre undervækstens tilvækst eksakt. Forfatteren har derfor foretrukket at skønne tilvæksten og har anslået den til 6,8 m³ pr. år. Det er klart, at disse 6,8 m³ egentlig ikke uden videre kan lægges til overskovens tilvækst på grund af tilvækstens aldersafhængighed. På grund af skønnets usikkerhed mener forfatteren imidlertid, at omhyggelige omregninger med eliminering af alders-



Figur 37: Korrelationskoefficienter (r) for korrelationen mellem tilvæksten i 10-års perioden ($\Delta 10$) eller 20-års perioden ($\Delta 20$) og vandkapaciteten til forskellige dybder (dybde cm) for de tre aldersgrupper (se tabel 1).

- (a) = alle prøvefladerne
 (b) = aldersgruppe III efter udskydning af prøveflade A.

Fig. 37: Correlation coefficients (r) for the correlation between the increment in the 10-year period ($\Delta 10$) or the 20-year period ($\Delta 20$) and water-capacities to varying depths (dybde cm) for the three age groups (see Table 1);

- (a) = all sample plots
 (b) = Age Group III after omission of sample plot A.

forskellen vil være illusoriske, og det er foretrukket at lade prøveflade A indgå som regnestørrelse med summen af de to årlige tilvækster. Herved kommer prøvefladen indirekte til at virke som illustration til en senere i afhandlingen opstillet hypotese om, at tilvækststopgørelsens nøjagtighed oftest vil være en stærkt begrænsende faktor for, hvor langt man i øjeblikket kan komme ved undersøgelse af skovdyrkningsproblemer (side 194).

Til yderligere belysning af, at inddragelse af prøveflade A i materialet giver en forøget spredning, er det prøvet at beregne korrelationskoefficienterne for den ældste gruppe, efter at prøveflade A er skudt ud. I figur 37b er disse lagt op over beregningsdybden for vandkapaciteten. Ved at udskyde prøveflade A får man et lignende forløb af korrelationskoefficienterne som for de

to yngste aldersgrupper. Der kan altså ikke være megen tvivl om, at *prøveflade A* indfører en forøget spredning i materialet.

Figur 37a og b viser, at korrelationen mellem målt tilvækst og plantetilgængelig vandkapacitet er bedst i den mellemste aldersgruppe. Det er i og for sig, hvad man måtte vente. Det fremgår af *tabel 1*, at den mellemste aldersgruppe repræsenterer en enkelt aldersklasse, medens de to andre grupper har en betydelig aldersvariation. I den ældste gruppe kommer hertil, at mange af *prøvefladerne* har en mere eller mindre tæt undervækst. Kun for *prøveflade A* er det forsøgt at korrigere for undervækstens tilvækst, som det er vist nedenfor uden noget synderligt godt resultat. Tilvækstens aldersafhængighed er altså bedst elimineret i gruppe II.

Til trods for, at antallet af prøveflader er lille i gruppen, synes det berettiget at konkludere, at når netop gruppe II viser en meget høj korrelation mellem tilvækst og vandkapacitet, så er det udtryk for, at der ved en sikker tilvækstoppgørelse er en meget snæver korrelation mellem tilvæksten og jordens plantetilgængelige vandkapacitet.

Der er i det foregående udelukkende arbejdet med den gennemsnitlige tilvækst i 10-årsperioden. Det er tidligere anført, at denne tilvækst formentlig bedst afspejler sammenhængen mellem tilvækst og vandkapacitet, fordi de eventuelle, korttidige ændringer i vandkapaciteten herved er bedst elimineret. Beregning af korrelationskoefficienterne for korrelationen: *tilvækst i 20-årsperiode — målt vandkapacitet*, viser da også, at de gennemgående er lavere end, når man benytter tilvæksten i 10-årsperioderne. *Tabel 4* giver en oversigt over korrelationskoefficienterne.

Tabel 4. Oversigt over forskellige korrelationskoefficienter.

Table 4. Survey of different correlation coefficients.

	Vandkapacitet beregnet til 70 cm's dybde			
	Aldersgruppe			
	I	II	III	III - prfl. A
	<i>Water-capacity calculated to 70 cm depth</i>			
	<i>Age Group</i>			
	<i>I</i>	<i>II</i>	<i>III</i>	<i>III - Sample plot A</i>
Tilvækst i 10 års periode	0,71	0,92	0,93	0,93
<i>Increment in 10-year period</i>				
Tilvækst i 20 års periode	0,59	0,75	0,95	0,95
<i>Increment in 20-year period</i>				

Der er desuden beregnet korrelationskoefficienter for korrelationerne i de enkelte aldersgrupper mellem 10-årstilvækster og vandkapaciteter + gennemsnitsnedbøren i den anvendte tilvækstperiode.

Disse er lavere end korrelationskoefficienterne for korrelationerne mellem tilvækst og vandkapacitet. Størrelsesordenen er for eksempel:

For korrelationen mellem vandkapaciteten beregnet til 40 cm's dybde og 10-årstilvæksten i gruppe II er korrelationskoefficienten 0,98. Korrelationen mellem samme vandkapacitet + 10-årsperiodens gennemsnitlige nedbør har derimod kun korrelationskoefficienten 0,89.

I intet af de ovenfor gennemgåede tilfælde er forskellen mellem korrelationskoefficienterne signifikant.

Ved beregning af regressionsligninger for de tre aldersgrupper (vandkapaciteten uafhængig variabel) finder man, at 10 mm's stigning i vandkapaciteten til 70 cm's dybde giver følgende tilvækststigninger:

Gruppe I	(middelalder 73 år):	0,7 m ³
Gruppe II	(,, 107 år):	0,9 m ³
Gruppe III	(,, 148 år):	1,9 m ³

Tabel 5.
Table 5.

Gruppe	Regressionskoefficient b	Middelfejl på b på mb	Differenser	Middelfejl på differenserne mdiff
Group	Regression coefficient b	Standard error of b mb	Differences	Standard error of differences mdiff
I	0,071	± 0,03	II—I = 0,017	0,033
II	0,088	± 0,017	III—II = 0,100	0,037
III	0,188	± 0,03	III—I = 0,117	0,043

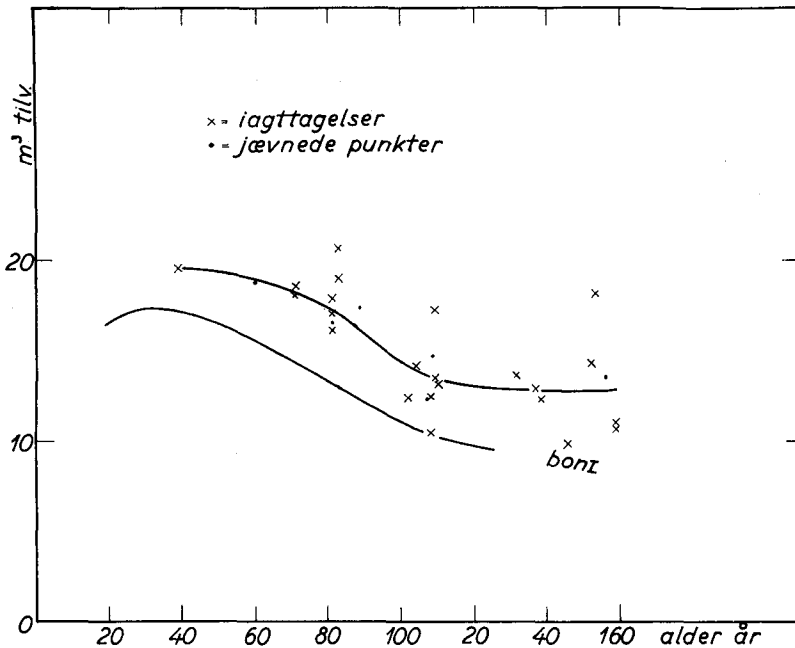
Sammenhængen mellem tilvækst og vandkapacitet kan udtrykkes i en regressionsligning af formen: $y = a + bx$, hvor y er tilvæksten og x vandkapaciteten. Regressionsliniens hældning er bestemt af regressionskoefficienten b. Tabel 5 viser regressionskoefficienterne for de tre aldersgrupper, middelfejlene på regressionskoefficienterne og middelfejlene på differenserne

mellem regressionskoefficienterne. Et t-test viser, at de to sidste differenser er signifikante på 98 %'s niveauet.

Materialet tyder derfor på, at tilvækstens stigning for stigende vandkapacitet er større i gamle bevoksninger (omkring 150 år) end i yngre bevoksninger (omkring eller yngre end 100 år). Kun efter undersøgelse af et større materiale kan man dog have tillid til denne aldersbetingede forskel.

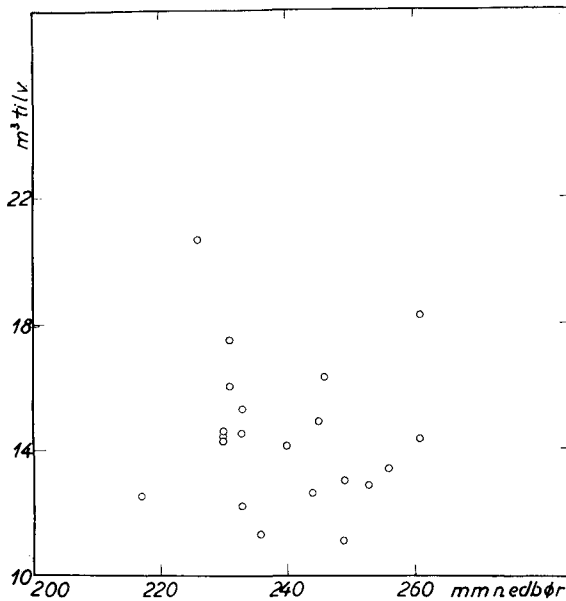
4. Korrelationen mellem alderskorrigerede tilvækster og vandkapaciteten.

Ovenstående fremstilling af sammenhængen mellem tilvækst og vandkapacitet er ikke helt tilfredsstillende, fordi materialet er spaltet op i så mange grupper, at antallet af iagttagelser i de enkelte grupper er lille. Det er derfor rimeligt også at forsøge en elimination af aldersafhængigheden på hele materialet. Her-



Figur 38: Totalmassetilvæksten (m^3 tilv.) i tiårsperioden lagt op over alderen. Til sammenligning er indlagt en kurve for bonitet I efter Møller (1933).

Fig. 38: The total volume increment (m^3 tilv.) in the 10-year period superimposed on age. By comparison a curve has been inserted for site class I, after Møller (1933).



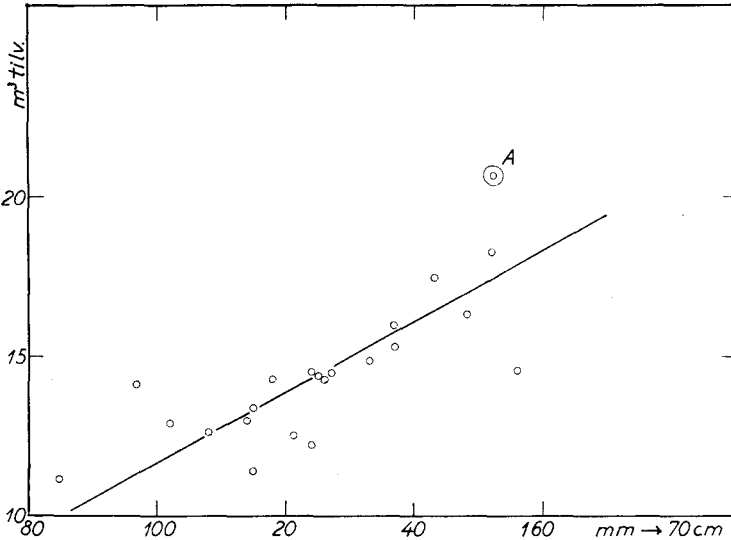
Figur 39: Udjævnet totalmasse­tilvækst (m^3 tilv.) lagt op over den gennemsnitlige nedbør i vækstperioden i 10-års tilvækstperioden (mm nedbør).

Fig. 39: Age-corrected total volume increment (m^3 tilv.) superimposed on the average rainfall during the period of growth in the 10-year increment period (mm nedbør).

ved kommer man til at arbejde med et større antal iagttagelser, og samtidig får man mulighed for at sammenligne resultaterne af behandlingen på højdebonitetsbasis med resultaterne af bearbejdning på tilvækstbasis.

I figur 38 er den gennemsnitlige årlige tilvækst i tiårsperioden afbildet som funktion af alderen. Iagttagelserne er udjævnet grafisk, og de anvendte tyngdepunkter er ligeledes afbildet i diagrammet. Desuden er indlagt en kurve, som viser den løbende årlige totalmasse­tilvækst for bonitet 1 (Møller 1933).

Forskellen mellem tilvæksten efter tilvækstoversigternes bonitet 1 og tilvæksterne på forsøgsvæsenets prøveflader er lidt mindre, end de to kurver giver udtryk for. Kurven for forsøgsvæsenets prøveflader skal ved sammenligning forskydes 5 år mod ordinataksen, fordi der af beregningstekniske grunde her som overalt i beretningen er anvendt prøvefladernes aldre ved iagttagelsesperiodens slutning.



Figur 40: Udjævnnet totalmassestiltvækst (m^3 tilv.) lagt op over den plantetilgængelige vandkapacitet til 70 cm's dybde ($mm \rightarrow 70$ cm). Prøveflade A er fremhævet i diagrammet.

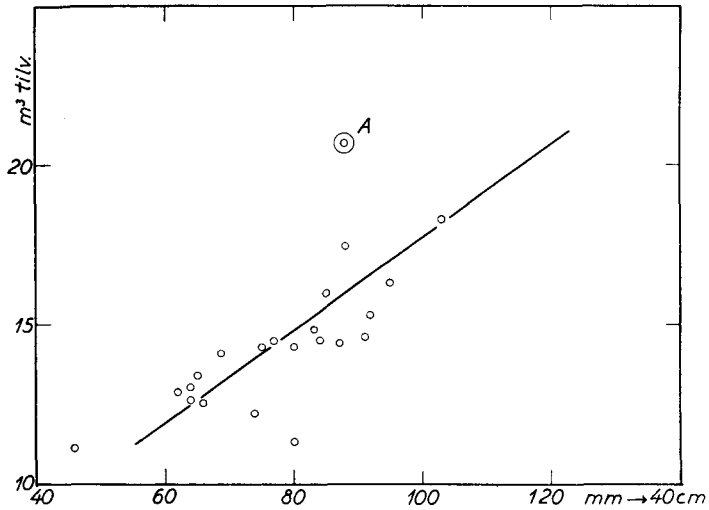
Fig. 40: Age-corrected total volume increment (m^3 tilv.) superimposed on the plant-available water-capacity to 70 cm depth ($mm \rightarrow 70$ cm). Sample plot A is specially marked in the diagram.

Ved hjælp af udjævningskurven er alle de målte tiltvækster korrigeret til alderen 100 år. De korrigerede tiltvækster findes i tabel 1.

Korrektionen er foretaget på den måde, at der på basis af udjævningskurven for alle aldre er udregnet, hvor stor tiltvæksten er i procent af tiltvæksten ved 100 år. De enkelte prøvefladers tiltvækst er derefter ført frem eller tilbage til alderen 100 år ved at dividere den målte tiltvækst med procenttallet.

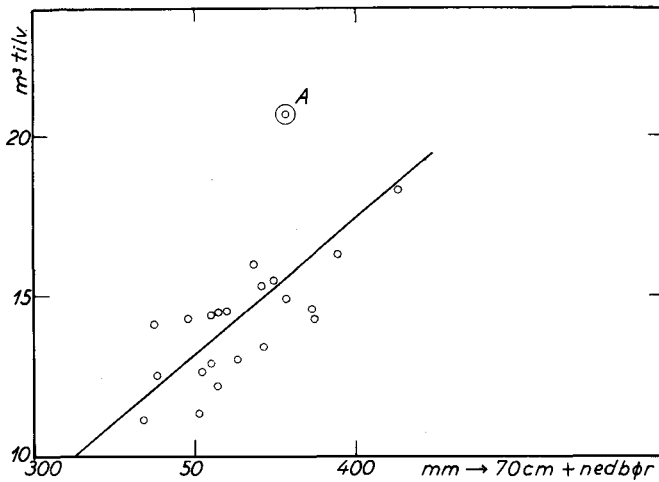
Under gennemgangen af korrelationen mellem bonitet og vandkapacitet er det fremført, at hvis materialet repræsenterer flere nedbørsområder, og antallet af iagttagelser er stort, så må der kunne påvises en korrelation mellem vækstydelse og nedbør i vækstperioden. Figur 39 viser, at der ikke eksisterer en sådan korrelation i det indsamlede materiale.

I figur 40 er de korrigerede tiltvækster for hele materialet lagt op over den plantetilgængelige vandkapacitet beregnet til 70 cm's dybde. Rangkorrelationskoefficienten bliver $r_{22} = 0,86$. Udjævningslinjen, som er indtegnet, går gennem to tyngdepunkter be-



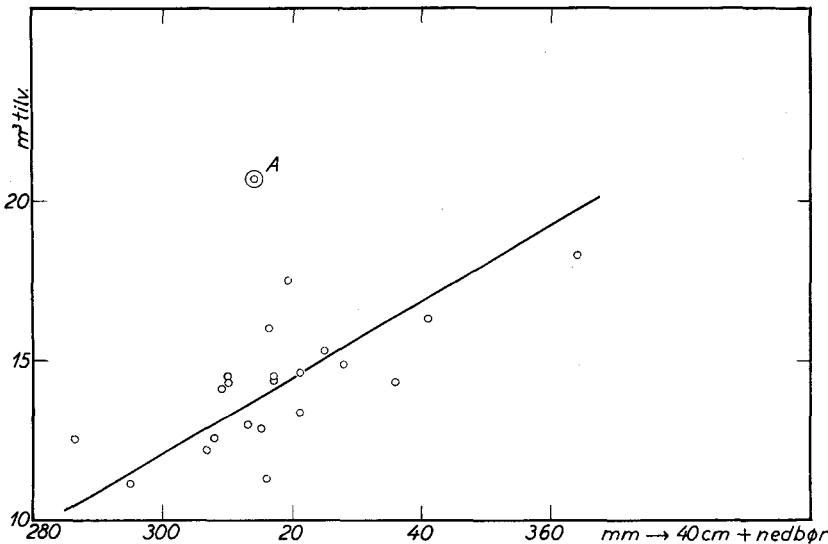
Figur 41: Udjævnet totalmasseilvækst (m^3 tilv.) lagt op over den plantetilgængelige vandkapacitet til 40 cm's dybde ($mm \rightarrow 40\text{ cm}$). Prøveflade A fremhævet.

Fig. 41: Age-corrected total volume increment (m^3 tilv.) superimposed on the plant-available water-capacity to 40 cm depth ($mm \rightarrow 40\text{ cm}$). Sample plot A specially marked.



Figur 42: Sammenhængen mellem udjævnet totalmasseilvækst (m^3 tilv.) og vandkapaciteten til 70 cm's dybde + 10-års middelnedbøren i vækstperioden ($mm \rightarrow 70\text{ cm} + \text{nedbør}$). Prøveflade A fremhævet.

Fig. 42: Correlation between age-corrected total volume increment (m^3 tilv.) and water-capacity to 70 cm depth + mean 10-year rainfall during the period of growth ($mm \rightarrow 70\text{ cm} + \text{nedbør}$). Sample plot A specially marked.



Figur 43: Sammenhængen mellem udjævnet totalmassestilvækst (m^3 tilv.) og vandkapacitet til 40 cm's dybde + 10 års middelnedbør i vækstperioden (mm \rightarrow 40 cm + nedbør). Prøveflade A fremhævet.

Fig. 43: Correlation between age-corrected total volume increment (m^3 tilv.) and water-capacity to 40 cm depth + mean 10-year rainfall during the period of growth (mm \rightarrow 40 cm + nedbør). Sample plot A specially marked.

regnet med vandkapaciteten som uafhængig variabel. Udjævningslinien viser, at en stigning på 9 mm i vandkapaciteten giver en tilvækststigning på $1 m^3$.

Figur 41 viser sammenhængen mellem vandkapaciteten beregnet til 40 cm's dybde og de grafisk korrigerede tilvækster. Rangkorrelationskoefficienten er her $r_{22} = 0,85$, og udjævningslinien viser, at 6,5 mm's stigning i vandkapaciteten svarer til en tilvækststigning på $1 m^3$.

Prøveflade A er fremhævet med en særlig signatur såvel i figur 40 som i figur 41. Som man kunne vente, falder prøvefladen godt ind i materialet i figur 40. I figur 41 bevirker prøveflade A derimod en øget spredning.

Figurerne 42 og 43 viser korrelationerne, når nedbøren indregnes. I begge disse figurer ligger prøveflade A uden for de ventelige spredningsbælter om udjævningslinien. Rangkorrelationskoefficienten for korrelationen mellem udjævnede tilvækster og den plantetilgængelige vandkapacitet til 70 cm's dybde +

nedbøren i vækstperioden er $r_{22} = 0,74$. En stigning på 11,5 mm i vandfaktoren modsvarer af en stigning i tilvæksten på 1 m³. For korrelationen mellem vandkapaciteten til 40 cm's dybde og tilvæksten er rangkorrelationskoefficienten $r_{22} = 0,65$. Her svarer 8 mm's stigning i vandfaktoren til en tilvækststigning på 1 m³. Ved beregningen af tyngdepunkter og dermed udjævningsliniens hældning er *prøveflade A* udskudt i *figur 42*.

Heller ikke i dette tilfælde giver indregning af nedbøren en bedre korrelation. I begge tilfælde (*fig. 42* og *43*) er korrelationskoefficienterne lidt lavere end uden indregning af nedbøren.

5. Hvilke horisonter har størst betydning for træernes vandforsyning.

Under gennemgangen af de jordbundsteoretiske resultater er det vist, at der er en god samvariation mellem vandkapaciteterne beregnet til forskellige dybder. Det er antagelig denne samvariation, som slår igennem i materialet således, at det tilsyneladende er ligegyldigt, om vandkapaciteterne beregnes til 70 cm's dybde eller til en vilkårlig dybde mindre end 70 cm. *Figur 37a* og *b* viser, at korrelationskoefficienterne for korrelationen mellem tilvækst og vandkapacitet i praksis er lige gode for alle dybder. Det samme fremgår af alle de øvrige figurpar, som er baseret på korrelationen mellem bonitet eller grafisk udjævnet tilvækst og vandkapaciteter til 70 cm og 40 cm.

Ved hjælp af de værdier for vandkapaciteter til forskellig dybde, som findes i *tabel 1*, kan man ved differensdannelse udregne vandkapaciteten for lagene 0—10 cm, 10—20 cm, ---, 60—70 cm. Beregnes rangkorrelationskoefficienterne mellem grafisk udjævnet tilvækst og disse vandkapaciteter, kommer man til det resultat, som er gengivet i *tabel 6*.

Tabel 6. Korrelationskoefficienter (r_{22}) for korrelationen grafisk korrigeret tilvækst/vandkapacitet i de angivne dybder.

Table 6. Correlation coefficients (r_{22}) for the correlation, graphically corrected increment/water-capacity at the depths stated.

Dybde cm Depth, cm	0—10	10—20	20—30	30—40	40—50	50—60	60—70
r_{22}	0,65	0,69	0,57	0,67	0,48	0,45	0,37

Korrelationskoefficienterne falder i to grupper, de er lavest for dybderne 40—70 cm, højest for dybderne 0—40 cm. Forskellen mellem laveste og højeste korrelationskoefficient (0,37—0,69) er *ikke* fuldt signifikant, men tyder dog på, at de øverste 40 cm betyder mest for vandhusholdningen og næringsbalancen.

Det er nærliggende at betragte rækken på baggrund af rodundersøgelsernes resultater (side 165). De viste, at den største rodintensitet findes i de øvre 40 cm af jorden. Yderligere er det nævnt, at antallet af rodspidser pr. længdeenhed synes at være størst for rødderne i de øvre lag. Der er altså skellig grund til at regne med, at den største opugning af vand og næringsstoffer sker i de øvre 40 cm. Rodundersøgelserne tyder følgelig også på, at det er tilstanden i disse 40 cm (vandkapacitet, næringsindhold), som har den største betydning for væksten.

6. Grundvands indflydelse på væksten.

Profilbeskrivelserne viser, at en del prøveflader har højtstående grundvand, andre har mere eller mindre fortættede horisonter, som må antages at hindre fri dræning. Man kunne derfor vente en betydelig større spredning (dårligere korrelation) på sammenhængen mellem tilvækst og vandkapacitet, end der er fundet. Det er almindeligt antaget, at højtstående grundvand har en negativ indflydelse på væksten, idet jorder med højtstående grundvand antages at være fysiologisk fladgrundede. Omvendt antages jorder med et dybtliggende grundvandspejl, som rødderne kan nå, at være gunstige for væksten, idet grundvandet kan bidrage til træernes vandforsyning.

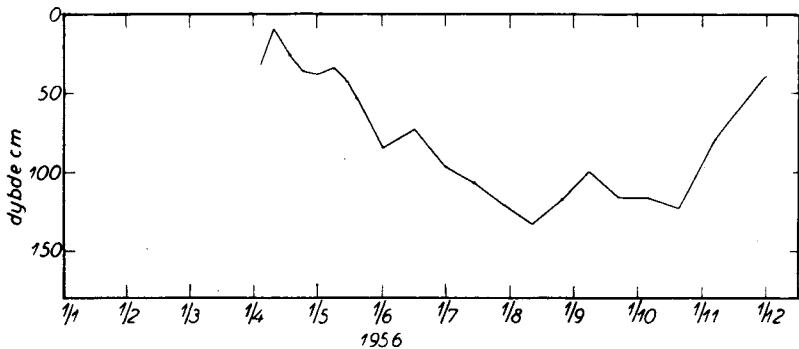
Grundvand (frit vand) udnyttes dog antagelig ikke så økonomisk af planterne som vand, der er bundet med større kræfter. Vandforbruget er måske i nogen grad luksurierende (*Sekera* 1938).

For jorder, som udnyttes til landbrug, angiver *Laatsch* (1954), at grundvandets optimale afstand fra jordoverfladen er ca. 1,0 m på sandjorder, ca. 1,50 m på mellemsvære jorder og ca. 2 m på svære jorder.

Det fremlagte materiale giver ikke nogen sikre oplysninger om, hvad grundvandets betydning er for bøgens vækst. Det er dog ikke ensbetydende med, at grundvandet ingen indflydelse har under vore jordbundsforhold.

Ved den foreliggende undersøgelse er det navnlig spørgsmålet om grundvandets skadelige indflydelse, som er af interesse, og problemet skal derfor gennemgås lidt nærmere ud fra et forstligt synspunkt.

Skovtræer kan i hvileperioder udmærket tolerere højtstående grundvand. Såvel eg som bøg og rødgran har rødder langt ned under grundvandspejlet på morænejorder med periodisk højtstående grundvand. Målinger på Bregentved har vist, at bøg og rødgran har rødder til en dybde af ca. 1,15 m, medens eg har



Figur 44: Grundvandspejlsvingninger i en del af året 1956 på en bøgelokalitet med højtstående grundvand. Ganneskov, Bregentved skovdistrikt.

Fig. 44: Water-table fluctuations for part of the year 1956 on a beech locality with high water-table. Ganneskov, Bregentved.
dybde cm = cm depth.

rødder til i hvert fald 1,75 m. På de undersøgte lokaliteter er højeste grundvandstand ca. 0,30 m under jordoverfladen.

Når vækstperioden begynder, sænkes grundvandspejlet i løbet af nogle måneder til noget under den største konstaterede roddybde (se figur 44). Det må antages, at rødderne bliver aktive, efterhånden som jordtemperaturen stiger (jfr. Ladefoged 1939). Temperaturen stiger først i de øvre jordlag, hvor der ikke er grundvand, som hindrer, at der er tilstrækkelig ilt til, at rødderne kan respirere (aktiviteten proportional med rodrespirationen). Rødderne i dette lag udnytter en del af grundvandet via den kapillære hævnning. Herved sænkes grundvandspejlet lidt, og rødder, som har været noget under det højeste grundvandspejl, kan nu få tilstrækkelig ilttilgang til aktivitet med deraf følgende rodrespiration, når temperaturen stiger. Successivt

sænkes på denne måde grundvandspejlet af de rødder, som ligger lidt over det, og derefter sættes nye rødder ved temperaturstigningen igang med deres aktivitet, indtil den på hver lokalitet normale dybeste grundvandstand er nået.

Hvor dybt grundvandet kan sænkes, afhænger i praksis af, hvor dybt træerne er i stand til at følge efter grundvandet. Flere faktorer kan tænkes at spille en rolle i denne forbindelse.

1) På morænejorder bliver de grove porers andel af det totale porevolumen mindre ned gennem profilen (se *figur 11*). Det er muligt, at den iltmængde, som kan trænge ned til stor dybde gennem et reduceret poresystem, er for ringe til, at rodvækst kan vedligeholdes. (Nedtrængningen sker overvejende ved diffusion).

2) En anden og mere nærliggende mulighed er, at det er forskellen mellem den hastighed, hvormed grundvandet sænkes, og den hastighed, hvormed temperaturstigningen trænger ned i jorden, som influerer på, hvor dybt rødderne kan trænge ned. På svære grundvandnære jorder er der en forsinkelse i jordtemperaturens stigning i forhold til lufttemperaturens (*Ramann 1911*). Det er sandsynligt, at grundvandet falder hurtigere, end varmen trænger ned i de øvre lag. Dermed er betingelserne i orden for en kraftig rodaktivitet i de øvre horisonter. På et eller andet sted i profilen vil temperaturstigningen komme før grundvandsænkningen, og dermed er man kommet over i en fase, hvor rødderne vil „drukne“ i tilstedeværende grundvand, fordi deres hviletilstand afbrydes, uden at der er tilstrækkelig store iltmængder til rodrespiration.

Ovenstående kan ifølge sagens natur kun betragtes som hypoteser. Hypotese 2) støttes af en del amerikanske undersøgelser af, hvad en oversvømmelse betyder for planterens levemuligheder (se *Curtis og Clark 1950*):

Skovtræer kan normalt tåle en vinteroversvømmelse, medens en oversvømmelse i vækstperioden medfører, at træerne går ud. Antagelig kvæles rodsystemet på denne årstid, fordi røddernes respiration er meget livlig. *Iltmangel kan altså tolereres af rødderne, når de er i hvile, men ikke i vækstperioden.*

Hypotese 2) støttes også af nogle iagttagelser under markarbejdet. Ved rodundersøgelsen på prøvefladerne A, DV₁, DV₂ og LN viste det sig, at der i den nederste del af profilerne var en

meget stor procentdel døde rødder på vidt forskellige trin af omsætning. Ved udsorteringen af rødder blev der stræbt efter kun at medtage levende rødder til målingerne. Det er dog sandsynligt, at en del døde rødder er smuttet med ved målingen, og heri ligger vel forklaringen på de „sekundære“ rodetager, som ses i rodprofilerne for prøveflade A, DV₁ og DV₂ (*figur 28*), idet netop disse sekundære rodetager er sammenfaldende med den store koncentration af døde rødder. Det er nu en logisk følge af, hvad der er fremført ovenfor, at hvis man i en længere nedbørsperiode under væksten får så megen nedbør, at der kan sive vand til grundvandet, så vil grundvandet kunne stige så højt, at levende, stærkt respirerende rødder kan kvæles.

I en tidligere artikel har forfatteren påvist, at man kan få en grundvandstigning (*Holstener-Jørgensen 1956*) i tilslutning til en rigelig nedbør. Den stigning, som blev påvist i den pågældende artikel, forekom i en ikke særlig regnrig sommerperiode (september 1955), og man kan vente betydelig større stigninger i somre med større nedbør. De døde rødder, som er iagttaget på ovennævnte prøveflader, stammer sikkert fra flere fugtige somre. Omsætningen af døde rødder foregår langsomt i den store dybde og under de givne betingelser, nemlig lange perioder med fuld vandmætning uden ilttilgang. De store, døde rodmasser er altså ikke udtryk for, at der engang har været en meget stor rodintensitet. Rodintensiteten har altid været ret lav, men periodisk dræbes rødderne og erstattes året efter eller måske samme år af nye rødder.

I den nævnte artikel er det nævnt, at vi erfaringsmæssigt ved, at 1 mm nedbør kan give grundvandstigninger på 2 cm på jorder af den undersøgte type. Denne stigning lyder sikkert utrolig i de fleste praktikers øren og kræver derfor lidt nærmere forklaring.

Lad os se på en jordprøve i naturlig lejring fra prøveflade DF, hul 1 (*figur 11*). En jordprøve fra 130 cm's dybde indeholder ved fuld laboratoriemætning (se afsnittet om arbejdsmetoder) 39,9 cm³ vand pr. 100 cm³ jord. Ved 1/10 atmosfærebalance indeholder den 30,9 cm³ vand. Det totale porevolumen er efter laboratoriebestemmelsen 41,0 cm³ pr. 100 cm³. Den sidste størrelse er formentlig lidt for stor på grund af den anvendte teknik. Prøven har ved 1/10 atmosfære-balancen det samme vandindhold, som hvis den var i balance med et grundvandspejl i 1 m's

dybde. Hvis man nu til et sådant balancesystem tilføjer 1 mm vand 1 m over grundvandspejlet, så vil der, hvis den påfølgende potentialudjævning ned igennem profilen til grundvandspejlet medfører en proportional stigning i jordens vandindhold, ske en stigning i grundvandspejlet på lidt over 9 cm. Trækker man nemlig fra det totale porevolumen (41,0 %), den del af dette, som er fyldt ved laboratiemætning (39,9 %), får man den del, som yderligere kan fyldes (1,1 %), hvilket svarer til, at der i et jordlag på 10 cm kan sidde yderligere 1,1 mm nedbør, før alle porer er helt fyldte.

De erfaringstal, som der opereres med i den nævnte afhandling, er altså relativt lave i forhold til de teoretisk mulige værdier. Det hænger formentlig sammen med, at iagttagelserne, som erfaringstallene er baseret på, er periodiske (ugentlige) og derfor kun tilfældigt sker på det „optimale“ tidspunkt efter en nedbør.

Såvel erfaringstallene som de teoretisk mulige værdier understreger, at der er sandsynlighed for, at der med få års mellemrum kan komme kritiske „underjordiske“ oversvømmelser på svære jorder med højtstående grundvand.

7. Sideværts vandbevægelses indflydelse på væksten.

I undersøgelsen indgår endnu en prøveflade, nemlig *prøveflade DS* på Ravnholt. Den er holdt helt uden for behandlingen af materialet, fordi den dyrkningsmæssigt afviger fra resten af prøvefladerne. Den ligger på en vesthælde umiddelbart nedenfor et større, fladt terræn, som er landbrugsjord (20 m til marken), og ovenfor et mindre nord-sydgående moseareal. På forhånd må man vente, at der er en betydelig underjordisk, sideværts vandbevægelse ned over prøvefladen fra det højtliggende, flade opland mod øst. En sådan vandbevægelse medfører, at træerne har betydeligt større vandmængder til rådighed her end på nogen af de øvrige prøveflader.

Den 8/12 1954 blev der gravet 3 jordbundshuller på prøvefladen, der er ca. 72 m lang og ca. 25 m bred med længderetningen på tværs af faldet. Profilbeskrivelserne for et hul findes i den samlede oversigt over prøvefladerne. Det er karakteristisk, at der allerede i 1 m's dybde trængte vand ind i to af hullerne med så stor hastighed, at hullerne ikke kunne graves dybere. Vandets indtrængen skete såvel fra bunden som fra siden mod det højere terræn, medens det normale er, at vandet på grundvandnære

jorder trænger langsomt ind i et jordbundshul fra bunden. Profilbeskrivelserne viser endvidere, at medens man normalt har tydelige og i dybden relativt, stærkt tiltagende reduktionsfænomener, så er profilerne her forbavsende rødbrune til stor dybde, hvilket tyder på en livlig sideværts bevægelse af iltholdigt vand.

Den sideværts vandbevægelse har da også betinget en usædvanlig høj tilvækst på denne prøveflade. *Tabel 1* viser, at vandkapaciteten til 70 cm er 122 mm (for de tre huller 121, 121 og 123 mm) og til 40 cm — 75 mm. *Figur 34* viser, at vandkapaciteten til 70 cm giver stor sandsynlighed for en tilvækst på omkring 17,6 m³. Med en vandkapacitet på 75 mm til 40 cm's dybde kunne man efter *figur 34* vente en tilvækst på 17,4 m³. Prøvefladens tilvækst ligger imidlertid på 22,9 m³ i 10-årsperioden, det vil sige, at tilvæksten er omkring 30 % større end ventet

$$\left(\frac{22,9 - 17,5}{17,5} \cdot 100 \right).$$

Den store mertilvækst må overvejende tilskrives de ekstraordinært gode vandforsyningsforhold på stedet. Det må dog nævnes, at det vel er sandsynligt, at det tilstrømmende vand foruden at være iltrigt indeholder en del næringsstoffer, som også gør lokaliteten mere frugtbar.

VII. DISKUSSION AF RESULTATERNE.

1. *Korrelation og årsagssammenhæng.*

I det foregående er det påvist, at der er en *snæver* sammenhæng mellem væksten af bøg og jordens plantetilgængelige vandkapacitet. Nu behøver en sådan sammenhæng imidlertid ikke at være udtryk for en årsagssammenhæng. Det er tidligere i beretningen fremført, at der er en vis sammenhæng mellem vandkapaciteten og jordens indhold af antaget plantetilgængelig kalium. Samtidig er det med et par eksempler vist, at flader med en høj vandkapacitet ofte også har relativt store mængder antaget plantetilgængeligt fosfor. Høj vandkapacitet er altså sandsynligvis koblet med et højt næringsstofniveau, og bestemmelse af den plantetilgængelige vandkapacitet er derfor en bestemmelse såvel af jordens vandforsyningsmuligheder som af dens evne til at stille mere eller mindre rigelige næringsstofmængder til rådighed for væksten. Sammenhængene mellem tilvæksten og jordens indhold af næringsstoffer er dog løse i det foreliggende materiale.

Holmsgaard (1955) har, som tidligere berørt, vist, at for store materialer er der en udtalt korrelation mellem nedbørsmængderne i vækstperioden og tilvæksten hos bøg her i landet. Det taler for, at vand er en minimumsfaktor for bøgens vækst.

Forskellige ældre gødningsforsøg i bøg, som er anlagt af *Weis*, har i intet tilfælde givet sikre udslag. Forsøgenes negative resultater er ikke publicerede, så det er vanskeligt at vurdere disse forsøg. På det foreliggende grundlag må man dog konkludere, at det ikke ser ud til, at noget næringsstof er i udtalt minimum på størstedelen af de danske bøgelokaliteter.

Der er derfor gode grunde til at antage, at korrelationen mellem totalmassetilvæksten hos bøg og jordens plantetilgængelige vandkapacitet først og fremmest skyldes, at ændringer i vandkapaciteten giver ændringer i vandforsyningsmulighederne og dermed tilvækstmulighederne.

2. Tilvækstbestemmelsens begrænsende indflydelse på sikkerheden ved opgørelse af forstlige forsøg.

De vigtigste af de korrelationskoefficienter, som er nævnt i det foregående, er samlet i *tabel 7* for at lette overblikket ved den følgende diskussion.

Det viser sig (se *tabel 7*), at korrelationen mellem plante-tilgængelig vandkapacitet og tilvækst på de enkelte prøveflader bliver mere eller mindre tilfredsstillende alt efter hvilken metode, man benytter til tilvækstopgørelsen. Den dårligste korrelation finder man, når man bruger højdeboniteten som udtryk for tilvæksten. Den bedste korrelation findes ved den bedst mulige tilvækstopgørelse, det vil sige ved at arbejde med totalmasse-tilvæksten for en snæver aldersgruppe (aldersgruppe II).

Tabel 7. Oversigt over korrelationskoefficienter.

Table 7. Survey of correlation coefficients.

	Vand- kap. > 70 cm	Vand- kap. > 40 cm	Nedbør + vand > 70 cm	Nedbør + vand > 40 cm	Vand- kap. > 5 cm	Bon.	Bemærkninger
	Water- capacity > 70 cm	Water- capacity > 40 cm	Rainfall- + water- capacity > 70 cm	Rainfall- + water- capacity > 40 cm	Water- capacity > 5 cm	Site class	Remarks
Hele matr. bon. <i>All plots, site class</i>	0,43	0,45	0,51	0,65			Rangkorrelat. <i>Rank corr.</i>
Gruppe I	0,71	0,90					} Lineær korrelation <i>Linear cor- relation</i>
” II	0,92	0,98					
” III	0,93	0,64					
” III ÷ A	0,93	0,80					
<i>Group</i>							
Grafisk korr. tilv. hele matr. <i>Graphically corr. incr. all plots</i>	0,86	0,85	0,74	0,65	0,69	0,44	} Rang- korrelation <i>Rank corr.</i>
” ÷ A					0,73		

Ved undersøgelser i skoven af jordbundsforholdenes eller klimaets indflydelse på væksten er man i almindelighed henvist til at undersøge „flyvende prøveflader“, og tilvækstbestemmelserne bliver behæftet med en betydelig usikkerhed. Det er hævet over enhver tvivl, at mange „udslag“ også ved eksperimentelle undersøgelser (gødningsforsøg, dyrkningsforsøg med arter og sorter) kan skjule sig indenfor den spredning, som man indfører

i resultaterne af en undersøgelse ved at anvende usikre tilvækst-opgørelser.

På den anden side er det en økonomisk og arbejdsmæssig belastning af et forsøgsprogram, at en tilstrækkelig sikker tilvækstopgørelse kun kan nås ved at arbejde med lange tilvækstperioder. Hertil kommer, at mange faktorer, som påvirker tilvæksten, kan ændre sig i tilvækstperioden. Den plantetilgængelige vandkapacitet kan således ændre sig betydeligt, som det er vist i kapitlet om faktorernes konstans. Det medfører, at mange faktorer må undersøges mere end én gang for at have relation til den tilvækst, man finder på grundlag af f. eks. 3 målinger i en 10-årsperiode.

Det helt ideelle er selvsagt ligetidig måling af de faktorer, som man vil undersøge. Det indebærer, at *man må erkende, at metodiske undersøgelser af, hvorledes man bedst muligt opgør tilvæksten (helst i nettotørstofproduktion) er en nødvendig forskning, idet vi, efterhånden som skovbrugets produkter bliver mere værdifulde, hurtigt når en grænse, hvor forskningsfremskridt betinges af en sikker tilvækstopgørelse.*

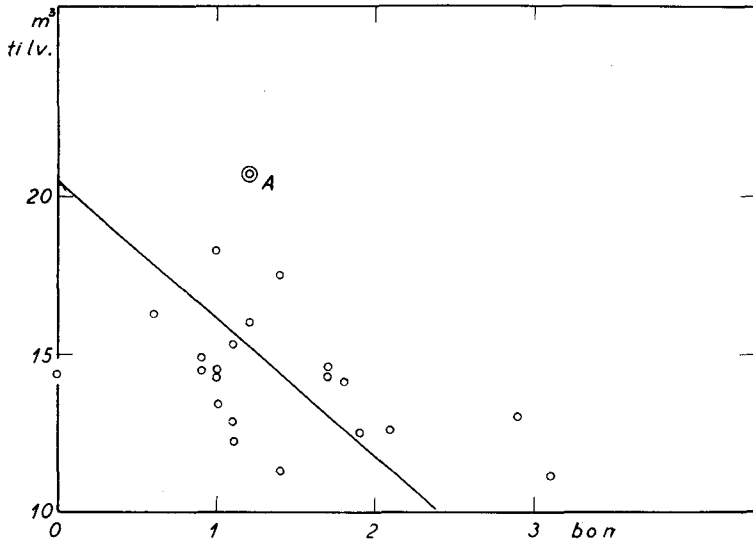
3. Om tilvækstbudgettering i praksis.

Ved driftsplanlægninger anvender man her i landet tilvækstbudgettering på grundlag af en højdebonitering (Grøn 1945). Det har en vis interesse at anvende en lignende fremgangsmåde på det foreliggende materiale.

I figur 45 er den grafisk udjævnede tilvækst lagt op over boniteten. Rangkorrelationskoefficienten er $r_{22} = 0,44$, og 1 bonitetsgrad svarer til ca. 4,4 m³ totalmasse tilvækst. Denne korrelation er altså ikke så lidt dårligere end korrelationen mellem grafisk udjævnet tilvækst og plantetilgængelig vandkapacitet i jorden på de enkelte prøveflader (jfr. tabel 7).

Korrelationen mellem den plantetilgængelige vandkapacitet i de øverste 5 cm og den grafisk korrigerede tilvækst er vist i figur 46. Rangkorrelationskoefficienterne er $r_{22} = 0,69$, og hvis man udskyder prøveflade A, er $r_{21} = 0,73$.

I det foreliggende tilfælde får man altså en lidt bedre tilvækstbestemmelse på basis af en vandkapacitetsbestemmelse i de øvre 5 cm end på basis af højdeboniteten. Højdemåling kan selvfølgelig ikke undlades, da den er nødvendig af hensyn til masseopgørelsen.



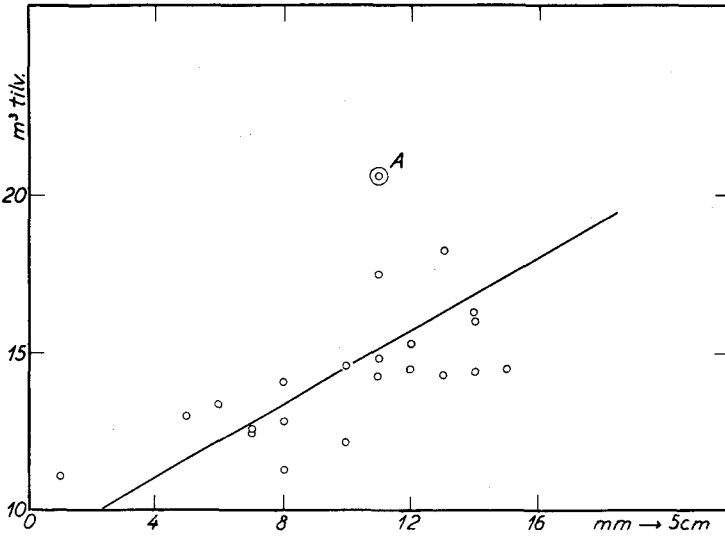
Figur 45: Sammenhængen mellem højdeboniteten (*bon*) og de udjævnedede totalmasse­tilvækster (m^3 tilv.).

*Fig. 45: Correlation between site class (*bon*) and age-corrected total volume increments (m^3 tilv.) See also Fig. 29.*

Det er interessant, fordi det i praksis absolut vil være overkommeligt at gennemføre jordbundsanalyser, hvis man kan nøjes med analyse af de øverste jordlag. Samtidig er det muligt og overkommeligt at indskrænke repræsentationsfejlen betydeligt ved at øge antallet af prøver i de øvre lag. Det er tænkeligt, at korrelationen i *figur 46* havde været endnu bedre, hvis repræsentationsfejlen havde været mindre.

Det kan indvendes, at man ved anvendelse af bonitetsoversigter til tilvækstbudgettering ikke altid bruger den potentielle højdebonitet (*Møller 1933*), men ofte søger at lempe sig igennem til en bedre budgettering ved at benytte „den aktuelle bonitet“ (*Møller 1933*). Forfatteren har ikke ment, at det var nogen god udvej i det foreliggende tilfælde. De prøveflader, som indgår i materialet, har gennemgående et meget utypisk højdeforløb bedømt efter tilvækstoversigterne (se f. eks. *figur 2* hos *Møller og Nielsen 1953*).

I denne forbindelse må der også peges på, at det er muligt, at vi indenfor vore grænser kan udskille flere vækstområder, som kun kan dækkes gennem en række lokaltilvækstoversigter (*Henriksen 1957*). Spørgsmålet om tilvækstoversigters almen­gyld-



Figur 46: Udjævnede totalmasse­til­væk­ster (m^3 tilv.) lagt op over vand­ka­pa­ci­te­ten i de øvre 5 cm ($mm \rightarrow 5$ cm). Prøve­flade A frem­hævet.

Fig. 46: Age-corrected total volume increments (m^3 tilv.) superimposed on water-capacity in the uppermost 5 cm ($mm \rightarrow 5$ cm). Sample plot A specially marked.

dighed har været debatteret livligt bl. a. i Tyskland (Assmann 1955 f. eks.), og det er sandsynligt, at den store jord­bunds­va­ria­tion, vi har i Danmark, aktualiserer spørgsmålet hos os også. Det er således rimeligt at antage, at der her i landet findes områder (lerjorder med højtstående grundvand?), hvor højde­til­væk­sten har en relativt ringe andel i masse­til­væk­sten. En til­vækst­bud­get­te­ring på grundlag af højde­boni­te­ten vil i sådanne områder give for lavt ansatte masse­til­væk­ster. Omvendt findes der sikkert områder (dybgrundede moræner af mere sandet karakter?), hvor højde­til­væk­sten har en forholdsvis stor andel i masse­til­væk­sten.

Det er vel sandsynligt, at det bl. a. er en manglende generel sammenhæng mellem masse­til­vækst og højde­boni­te­ten, som slår igennem i det foreliggende materiale. Følgen er, som det er vist ovenfor, at selv en forholdsvis ekstensiv jord­bunds­ana­lyse er et bedre grundlag for til­vækst­bud­get­te­ring end en højde­boni­te­ring.

Det foreliggende grundlag er dog for spinkelt til, at det allerede nu kan anbefales praksis at få foretaget fysiske jord­bunds­ana­lyser i høge­be­vo­ks­ninger.

4. *Jordbundsplejens praktiske betydning.*

Undersøgelsen af, i hvor høj grad jordens poreforhold er konstante, viste, at hvis vinden får indpas i en bevoksning, og bunden bliver forblæst, så sker der formentlig i løbet af ret kort tid en radikal ændring i de fysiske jordbundsforhold. Denne del af undersøgelsen er som resten af undersøgelsen komparativ og derfor behæftet med alle de usikkerheder, som komparative undersøgelser altid er behæftet med. Det ser dog ud til, at de fysiske ændringer i jordbunden alene kan betyde en årlig tilvækstnedgang på 1,8 m³. Herudover må det forventes, at der sker en yderligere tilvækstnedgang af ukendt størrelse på grund af kvælstofmangel og forøget transpiration. Det er derfor af stor betydning, at man skaber det bedst mulige læ i løvtræbevoksninger. Det er så meget mere vigtigt, som en „korttidig“ forsyndelse kan give lang tids eftervirkning, fordi den dårlige tilstand synes at stabilisere sig.

Den bedste fysiske tilstand finder man på muldlokaliteter. Undersøgelsen giver derfor også et bidrag til løsning af problemet: *Muld eller mor, hvad er det bedste?* Følelsesmæssigt har vel ingen været i tvivl om, at man må foretrække muldtilstand. Der er dog intet bevis for, at det vil være berettiget at ændre en naturlig mor (nåletræsmor) til muld og forvente, at den økonomiske indsats vil modsvares af et tilsvarende forøget udbytte. Hvor mortilstanden derimod er sekundær, er der dog vist ingen tvivl om, at indgreb, som fører moren tilbage til den oprindelige muldtilstand, vil være økonomisk forsvarlige, forudsat at man ved driftsindgrebene i nabobevoksningerne sikrer sig, at der skabes betingelser for at bevare muldtilstanden (læ).

5. *Hugststyrkens indflydelse på tilvæksten.*

I de seneste år har spørgsmålet om hugststyrkens indflydelse på tilvæksten været livligt debatteret i fagpressen såvel her i landet som i det sydlige udland. Nøglen til litteraturen om dette emne finder man i et par af de seneste danske artikler (*Holmsgaard* 1956 og *Henriksen* 1952). Der skal ikke her gøres noget forsøg på at give en patentløsning på problemet. Når nogle mener, at stærk hugst (lille grundflade) giver en lavere tilvækst end en svag hugst (stor grundflade), så er det givet, at problemet kun kan løses gennem en hel serie hugstforsøg. Fremtiden

må vise, om sådanne hugstforsøg kan bringe afgørende beviser for, at der for enhver lokalitet findes en „kritisk grundflade“, som ikke må underskrides, hvis man vil bevare optimal tilvækst.

Eksperimenter kræver dels et stort antal gentagelser, dels at jordens frugtbarhed er nogenlunde ensartet på forsøgsarealet. Jo mere uensartet jordbunden er, des større må antallet af gentagelser være, hvis man vil gøre sig håb om, at et eventuelt udslag ikke skal skjule sig under de fejl, som måleresultaterne er behæftede med.

Der indgår i materialet til nærværende beretning 3 „hugstforsøg“, nemlig prøvefladerne DV_1 og DV_2 , prøvefladerne DA og DB prøvefladerne DE og DE_x . For to af de tre parceller er vandkapaciteten størst i den svagt huggede parcel ($DA > DB$ og $DV_2 > DV_1$ (se *tabel 1*)). I disse to tilfælde er det altså muligt at forklare en del af forskellen i tilvækst ($DA > DB$ og $DV_2 > DV_1$, jfr. *tabel 1*) ved forskelle i jordbundsforholdene. Forskellene i vandkapacitet kan være forårsaget af hugststyrkeforskelle, men under alle omstændigheder understreger resultaterne, at eksperimenter til undersøgelse af hugststyrkens indflydelse på tilvæksten må være vel tilrettelagte. Kun hvis sådanne forsøg har flere gentagelser, vil en middeltalsdannelse kunne sikre mod jordbundsforskelle. Det må dog bemærkes, at der antagelig kan slækkes på kravet om gentagelser, når parcellernes begyndelsestilstand undersøges nøje.

6. *Overensstemmelsen mellem den foreliggende undersøgelse og undersøgelser over nedbørens indflydelse på bøgens vækst.*

Det fremgår, at nedbørens indflydelse på tilvæksten vanskeligt kan erkendes i det foreliggende materiale. I så godt som alle tilfælde finder man en lidt dårligere korrelationskoefficient ved at summere nedbøren i vækstperioden og den plantetilgængelige vandkapacitet og sammenligne denne størrelse med tilvæksten. Det er fremhævet, at forskellen mellem de fundne korrelationskoefficienter ikke i noget tilfælde er signifikant. I langt de fleste tilfælde er forskellen helt betydningsløs.

Imidlertid måtte man vente, at nedbørens indflydelse på tilvæksten kunne måles, idet *Holmsgaard* (1955) har fundet en god samvariation mellem nedbør og tilvækst hos bøg. Det er derfor nærliggende at konkludere, at der er noget galt med det ind-

samlede materiale og den beregningsmæssige behandling af det. Der kan være flere grunde til, at nedbørens indflydelse på tilvæksten ikke slår igennem i materialet. Nogle af disse er følgende:

- 1) Som tidligere nævnt er nedbøren usikkert bestemt, fordi de anvendte stationer ligger ret langt fra de undersøgte lokaliteter. Modsætningsvis er vandkapaciteten bestemt sikkert, og man forøger derfor spredningen ved at samarbejde de to størrelser.
- 2) Nedbørsvariationen i materialet er i modsætning til variationen i vandkapacitet relativt ringe. 10-årsnedbøren varierer fra 217 til 261 mm eller ca. 18 %, mens vandkapaciteten til 70 cm's dybde varierer fra 85 til 156 mm eller ca. 62 %.
- 3) De fire måneder, *maj*, *juni*, *juli* og *august*, har fået samme vægt ved nedbørsopgørelsen. *Holmsgaard* (1955) har imidlertid vist, at *majs* og *augusts* nedbør influerer mindre på væksten end *junis* og *julis*.
- 4) Der er regnet med, at 1 mm nedbør har samme betydning for tilvæksten som 1 mm vandkapacitet, hvilket ikke behøver at være tilfældet.

Der er således flere forhold, som taler for, at man ikke kan vente nogen særlig god nedbørsafhængighed i det foreliggende materiale.

En anden ting er, at når bøgens vækst er så afhængig af vandtilførselen, som tilfældet er, så må man forvente, at der er en nogenlunde overensstemmelse mellem de her fremlagte resultater og *Holmsgaards* resultater.

Holmsgaard har på basis af sine undersøgelser opstillet følgende formel:

$$I_{10} = \div 25 + 1,25 P_{10},$$

„hvor

I_{10} = gennemsnitlig tilvækst i en 10-års periode udtrykt i procent af den gennemsnitlige tilvækst for perioden 1900—1949,

P_{10} = gennemsnitlig maj + juni + juli-nedbør i samme 10-års periode udtrykt i procent af denne størrelses gennemsnit for perioden 1900—1949“ (*Holmsgaard* 1955).

Gennemsnittet af de nedbørstal, som *Holmsgaard* har anvendt ved opstilling af formlen, er 166 mm. 10 mm mindre nedbør svarer til 6 %'s nedgang i nedbørstallet i ovennævnte formel, og det giver 7,5 %'s nedgang i tilvæksten. Ved 100 år har bølgebevoksningerne i mit materiale en tilvækst af størrelsesordenen 14 m³ totalmasse årlig. Det vil efter *Holmsgaards* formel sige, at en nedgang på 10 mm nedbør svarer til en tilvækstnedgang på ca. 1 m³ (7,5 % af 14 m³). *Denne tilvækstvariation stemmer meget smukt med mine resultater. Figur 40* viser således, at en stigning på 9 mm i vandkapaciteten beregnet til 70 cm's dybde giver en tilvækststigning på 1 m³.

Når de to forskellige undersøgelser supplerer hinanden så godt, er konklusionen, som drages på basis af dem begge, så meget sikrere:

Vandforsyningen er af den største betydning for bøgens produktion.

SLUTNING.

Mange læsere savner sikkert en fremstilling af, hvordan de fremlagte resultater harmonerer med andre undersøgelser her i landet og i udlandet. Såvidt det er forfatteren bekendt, er der ikke tidligere foretaget sammenlignende undersøgelser af tilvækst- og vandforsyningsforhold under anvendelse af analysemetoder som dem, der er taget i brug i denne beretning.

Der foreligger efterhånden et meget betydeligt antal undersøgelser af sammenhængen mellem boniteten og forskellige jordbundsfaktorer. Af jordbundsfaktorer er bl. a. anvendt kornstørrelsesforholdene i forskellige horisonter, „moisture equivalent“ m. fl. og desuden profiltypen, de forskellige horisonters mægtighed m. m. *Aaltonen* (1948) har gennemgået en del af den litteratur, som forelå før 1948, og interesserede læsere henvises til dette værk. En mere omfattende sammenstilling af amerikanske undersøgelser er foretaget af *Coile* (1952).

Det er et særdeles broget billede, man får, når man gennemgår litteraturen. Det fremgår f. eks. af *Aaltonens* gennemgang, at det er meget vanskeligt at drage almengyldige konklusioner om de enkelte fysiske faktorerers virkning på væksten. Jævnside med undersøgelser, som har vist, at der for en træart er en korrelation mellem vækst og f. eks. lerindhold, finder man undersøgelser, der viser, at en sådan sammenhæng ikke eksisterer for andre træarter og i andre lande.

En kritisk vurdering af de foreliggende undersøgelser er vanskelig i øjeblikket, og det er endnu vanskeligere at vurdere den foreliggende undersøgelse på baggrund af litteraturen. Den korrelation, som er fundet, er dog snævrere end hovedparten af de korrelationer, som er påvist af andre forfattere for andre træarter. Det ser altså ud til, at de anvendte analysemetoder bedre beskriver forholdene i naturen end tidligere anvendte metoder.

En endelig vurdering af mulighederne for at anvende laboratoriemetoder i praktisk skovbrug kan dog først gennemføres, når metoderne er gennemprøvet på et større materiale. Egentlig praktisk betydning kan metoderne desuden kun få, hvis de kan bruges uden ændring for andre træarter. En sådan afprøvning er påbegyndt.

Det er i forordet berørt, at f. eks. landbruget har en del, overvejende kemiske, analysemetoder, som efterhånden i meget stort omfang anvendes i praksis. I det omfang, de nævnte metoder kan bedømmes ved korrelationsregning, ser det ikke ud til, at den sikkerhed, en diagnose har, når den baseres på kemisk jordbundsanalyse, er større end den sikkerhed, som er fundet her i beretningen. *Møller og Mogensen* (1951) har publiceret nogle korrelationskoefficienter for korrelationen mellem merudbytte i markforsøg og bestemmelser af plantetilgængelige fosforsyremængder i jorden i de samme forsøg. Korrelationsberegningerne er gennemført for flere forskellige analysemetoder. Lad mig nøjes med kort at nævne, at korrelationskoefficienterne gennemgående er mindre end 0,70 — gennemsnitlig omkring 0,60. Kun for en række flerårige forsøg findes for en metode korrelationskoefficienter så høje som 0,83. Det må være berettiget at sammenligne ovennævnte korrelationskoefficient på 0,60 med de koefficienter, som er fundet her på 0,83—0,85 for korrelationen mellem vandkapacitet og grafisk udjævnet tilvækst (*tabel 7*). Den største af de koefficienter, som findes i *Møller og Mogensens* materiale, 0,83, vedrører langtidige forsøg og sammenlignes formentlig bedst med den korrelationskoefficient, som er fundet i mit materiale ved den sikreste tilvækstopgørelse, det vil sige korrelationskoefficienten på 0,98 for korrelationen mellem vandkapacitet og tilvækst i aldersgruppe II. Det ser altså ud til, at bestemmelserne af plantetilgængelige vandkapaciteter giver sikrere udsagn om jordens ydeevne i bølgebevoksninger end kemiske fosforsyrebestemmelser gør det for landbrugsforhold.

Denne udlægning er selvsagt lidt tendentiøs. En landmand vil ikke nøjes med at vide noget om fosforsyre, men får samtidig undersøgt sin jord for plantetilgængelig kalium og andre stoffer. Fosforsyrebestemmelserne er derfor kun en del af helheden.

Til slut skal det fremhæves endnu engang, at vandkapaciteterne i et vist omfang er korrelerede med jordens indhold af

plantenæringsstoffer. Som tidligere omtalt betyder det, at korrelationen mellem tilvækst og vandkapacitet ikke nødvendigvis udelukkende er tegn på, at det er vandforsyningen, som bestemmer tilvækstens størrelse. En del af korrelationen kan skyldes, at jordens indhold af næringsstoffer også præger tilvækstmulighederne. På den anden side må der advares mod at fæste lid til udsagn, der er baseret på en korrelation mellem jordens indhold af næringsstoffer og tilvækst. Kun hvis det gennem analyser er sikret, at det ikke i virkeligheden er vandforsyningsforholdene, som giver korrelationen, kan man med nogen ret slutte, at jordens næringsstofindhold er af afgørende betydning for væksten i det pågældende materiale. I sidste instans må enhver korrelation imidlertid afprøves gennem eksperimenter d. v. s. vandingsforsøg eller gødningsforsøg.

RESUMÉ.

Hulrummene mellem jordens faste bestanddele danner et poresystem, som kan sidestilles med kapillærer. Under vore jordbunds- og klimabetingelser spiller osmotiske kræfter ingen rolle i jord-vandsystemet, idet saltkoncentrationen er meget lav. Det er derfor muligt at måle de vandbindende kræfter på basis af det såkaldte moisture-tensionbegreb.

Tension er det tryk eller sug, som skal til for at få en jordprøve til at begynde at afgive vand. Det måles normalt i cm vandsøjle, atmosfærer eller pF-enheder, hvor pF er logaritmen til trykket i cm vandsøjle.

Forskellige undersøgelser har vist, at det ikke entydigt er den vandbindende kraft i jord-vandsystemet, som er afgørende for, hvor store vandmængder planterne kan optage. Det er i denne forbindelse navnlig af interesse, at vandindholdet ved visnegrænsen er bundet med forskellig kraft fra jordart til jordart. Visnegrænsevandindholdet er defineret som det vandindhold, hvor jorden ikke længere kan levere tilstrækkelig store vandmængder til, at planterne kan opretholde saftspændingen, d. v. s. at de visner. I praksis kan planterne opretholde livet ved tørkegrænsen i længere tid på lerede og/eller humøse jorder end på sandede jorder.

Man antager normalt, at de fleste kulturplanter dør ved tørkevisning, når jordvandet er bundet med kræfter, der er større end eller lig med 15 atmosfærer. For visse skovtræer er det imidlertid påvist, at de kan overvinde større vandbindende kræfter end andre kulturplanter. Antagelig gælder dette for flere af vore skovtræer.

Forholdet spiller ingen praktisk rolle, idet de vandmængder, som frigøres ved en kraftændring fra f. eks. 15 atmosfærer til 20 atmosfærer, er små og uden reel indflydelse på tørstofproduktionen. For praksis har det den interesse, at unge skovtræplanter vil kunne overleve længere tørkeperioder end kulturer af urteagtige planter. Det må dog antages, at skovtræer i skudstrækningsperioder kan nærme sig de urteagtige planter i tørkefølsomhed.

Antagelig er jordvandet ikke lige let tilgængeligt for planterne i hele området mellem visnegrænsevandindholdet og jordens vandindhold, når den indeholder den maksimale naturlige vandmængde. Ved undersøgelser med praktisk sigte er det imidlertid den mest nærliggende udvej at søge oplysning om tørstofproduktionens afhængighed af jordens totale plantetilgængelige vandkapacitet. En opdeling af det plantetilgængelige jordvand i 2 eller flere fraktioner efter dets værdi for planterne vil nemlig give et stærkt forøget analysearbejde, og de grænser, man må vælge, er sikkert ikke de samme fra jordart til jordart.

Ved den foreliggende undersøgelse er jordens plantetilgængelige vandkapacitet defineret som:

Differensen mellem jordens vandindhold ved balance ved 1/10 atmosfæres sug og jordens vandindhold ved balance ved 15 atmosfærers overtryk.

Måleenheden er mm for at lette analogislutninger til de meteorologiske måleenheder.

Dobbeltanalyser fra en del af prøvefladerne viser, at den plantetilgængelige vandkapacitet bestemmes med stor sikkerhed med den anvendte metodik. På prøveflader, der er ensartede bedømt ud fra flora- og terrænforhold, er vandkapaciteten til 40—70 cm's dybde bestemt med en middelfejl på enkeltbestemmelsen, som er af størrelsesordenen 3—5 %. Denne sikkerhed er af samme størrelsesorden som sikkerheden på en god tilvækst-opgørelse, som man har den på faste prøveflader.

Den plantetilgængelige vandkapacitet er korreleret med jordens indhold af plantetilgængelig kalium (T_K) og formentlig med dens indhold af plantetilgængelig fosfor (F_t og F_H). Vandkapaciteten er desuden korreleret med jordens lerindhold og dens indhold af humusstoffer. Alle disse korrelationer er dog svage, og dels er der derfor ikke basis for at foreslå en forenklet

analysemetode, dels er der stor sandsynlighed for, at den fundne korrelation mellem tilvækst og vandkapacitet virkelig er udtryk for en årsagssammenhæng og ikke en „falsk“ korrelation, der i virkeligheden skyldes, at væksten er afhængig af næringsstofniveauet.

Der er som allerede antydnet en særdeles god korrelation mellem jordens vandkapacitet og bøgens tilvækst målt i m³ totalmasse. Korrelationskoefficienterne for den retliniede korrelation er 0,80—0,85.

Samvariationen er bedst, når vandkapaciteten sammenholdes med tilvæksten for bevoksninger, der er meget nær ensaldrende. For en gruppe af prøvefladerne, hvis aldre kun varierer mellem 102 og 109 år, er korrelationskoefficienterne af størrelsesordenen 0,92—0,98.

Korrelationen mellem plantetilgængelig vandkapacitet og potentiel højdebonitet er ikke særlig tilfredsstillende. Det falder godt i tråd med denne realitet, at man får en sikrere tilvækstbudgettering på basis af en så ekstensiv undersøgelse af vandkapaciteten som en bestemmelse af denne i de øverste 5 cm af jorden end ved at budgettere tilvæksten på basis af højdeboniteten. Denne sidste metode er den, der anvendes ved driftsplanrevisioner.

Vandkapaciteten til 70 cm's dybde varierer indenfor materialet mellem 85 mm og 156 mm. Beregnes den til 40 cm's dybde, varierer den mellem 46 mm og 103 mm. I gennemsnit for hele materialet finder man en tilvækststigning i 100-årig bøg på 1 m³, når vandkapaciteten stiger 6,5 mm i dybden 0—40 cm eller 9 mm i dybden 0—70 cm.

I det foreliggende materiale er det ikke muligt at påvise nogen sammenhæng mellem tilvæksten og den gennemsnitlige nedbør i vækstperioden i de iagttagelsesperioder, som er anvendt. Der er derfor heller ikke en bedre korrelation mellem tilvæksten og den plantetilgængelige vandkapacitet + nedbøren i vækstperioden end mellem tilvæksten og vandkapaciteten. Den førstnævnte er snarest lidt dårligere.

Det er dog ikke ensbetydende med, at nedbøren ingen indflydelse har på tilvæksten. Det kan kun tages som udtryk for, at nedbørsvariationen er for lille i det indsamlede materiale.

Der er da også en god overensstemmelse med undersøgelser af *Holmsgaard* (1955) af nedbørens indflydelse på tilvæksten

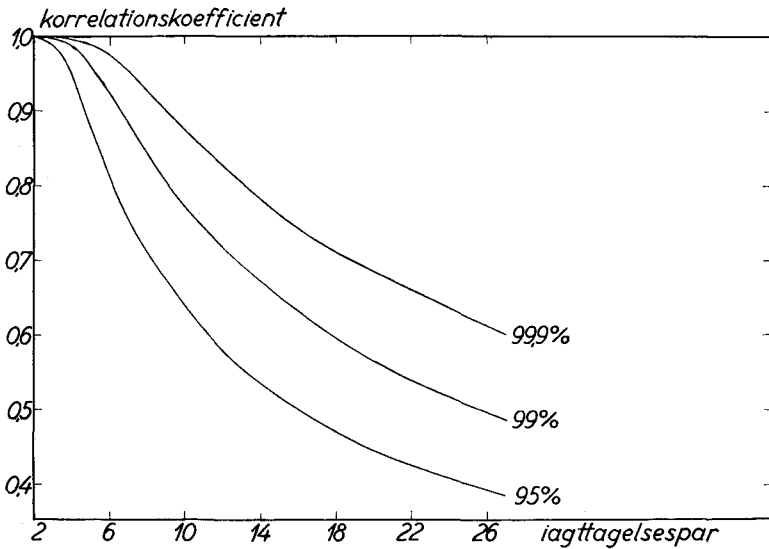
hos bøg. *Holmsgaard* finder, at 10 mm nedbør i vækstperioden (maj, juni, juli) modsvares af en tilvækst på 1 m^3 . For vandkapaciteten svarer som nævnt 9 mm i dybden 0—70 cm til 1 m^3 tilvækst.

Det ser ud til, at der er en vis basis for at antage, at det er de øverste 40 cm af jorden, der har den største betydning for bøgens vandforsyning. En sådan antagelse støttes af den kendsgerning, at bøgen har en meget væsentlig del af sit rodsystem i de øvre 40 cm.

Det må dog i denne forbindelse understreges, at den gamle tale om „skovjordens arkitektur“ har bund i virkeligheden, idet der er en god korrelation mellem vandkapaciteten i forskellig dybde på de enkelte lokaliteter. Dette forhold gør det vanskeligt at få et entydigt billede frem af de enkelte horisonTERS betydning for bøgens vækst.

Der synes ikke at være nogen sikker relation mellem vækstydelse og grundvand indenfor rodrummet. Iagttagelser tyder dog på, at grundvand på morænejorder nærmest må betragtes som „skadeligt“. Den mest nærliggende forklaring på, at der på et par af prøvefladerne er konstateret en ophobning af døde rødder i 60 cm's dybde, er nemlig, at rødderne er blevet kvalt ved en stigning af grundvandet i vækstperioden på grund af en stor sommernedbør.

Det er af stor interesse at vide, om jordbundsfaktorerne er nogenlunde konstante, eller om de let kan ændres i gunstig eller ugunstig retning ved driftsindgreb. Så vidt det kan skønnes ud fra en rent komparativ undersøgelse af forblæst bund, ser det ud til, at når vinden får indpas i bølgebevoksninger, sker der en betydelig nedgang i den plantetilgængelige vandkapacitet. Det kan ikke afgøres, hvor hurtigt ændringerne sker, men ud fra almindeligt praktisk kendskab til denne jordbundstype må det antages, at de sker i løbet af ganske få år. Det tilvækststab, der er en følge af nedgangen i vandkapaciteten, er af størrelsesordenen $1,85\text{ m}^3$ i 80-årige bølgebevoksninger. Da også andre faktorer influerer på tilvækstbetingelserne (forøget transpiration, forøget fordampning fra jordoverfladen), er den nævnte tilvækstnedgang kun en del af den samlede tilvækstnedgang, som kan ventes, når vinden får indpas i en bølgebevoksning. Det er derfor af stor betydning, at man stræber efter at skabe og bevare gode læforhold i skoven.



Figur 47: Kurver til bedømmelse af korrelationskoefficienters sikkerhed, når antallet af iagttagelsespar er kendt. (Efter Graf og Henning, 1953).

Fig. 47: Curves for evaluation of the significance of correlation coefficients when the number of observations (iagttagelsespar) is known. (After Graf & Henning, 1953).

For en enkelt prøveflade er det sandsynligt, at der er en meget stærk sideværts vandbevægelse under jordoverfladen på den skråning, som prøvefladen ligger på. Denne prøveflade har derfor også en meget højere tilvækst, end man skulle vente efter jordens vandkapacitet.

Sammenligner man de opnåede resultater med resultaterne af landbrugets analysemetoder, ser det ud til, at man bedre kan beskrive vækstbetingelserne for bøg på moræne ved vandkapacitetsbestemmelser, end landbruget er i stand til at beskrive den plantetilgængelige fosformængde i jorden og dennes indflydelse på merudbyttet i gødningsforsøg. Det må med andre ord antages, at det i en ikke al for fjern fremtid vil være muligt at stille værdifulde analysemetoder til rådighed for skovbrugets praksis.

Tabel 8. Oversigt over nogle målte jordbundsfaktorer fra de enkelte prøveflader.

Table 8. Survey of some measured soil factors from the individual sample plots.

Prøve- flade	Prøve i dybde cm	H ₂ O	pH	KCl	Kalium- tal TK	Fosfor- syretal F _t	Fosfat- tal FH	15 atm- værdi vægt %	Tekstur
Sample plot	Sample at depth cm	H ₂ O	pH	KCl	Potas- sium figure T _K	Phos- phoric acid figure F _t	Phos- phate figure F _H	15 atm. value, per cent	Texture
LN	6—15	5.73	4.00	2.8	1.5	1.9	8.61	sl	
	40—50	6.8	5.23	4.3	2.1	0.5	9.28	ssl	
	75	7.9	6.6	5.3	10.7	11.1	10.41	ssl	
	87	8.3	7.6	2.5	0.5	6.6	5.00	ssl	
DM	13	4.85	3.52	1.9	0.7	0.6	5.91	sl	
	55	5.43	3.51	6.7	0.6	0.4	10.63	ssl	
	115	8.6	6.9	3.2	7.0	3.4	7.58	ssl	
DL	0— 5	5.75	4.33	6.5	1.9	2.7	9.32	sl	
	5—20	4.86	3.79	3.8	1.6	1.6	6.25	sl	
	45	5.65	3.97	3.0	1.3	0.4	5.97	sl	
	108	8.4	7.0	2.2	5.2	4.5	7.50	ssl	
DF	0— 3	4.90	4.00	9.4	1.5	4.9	—	—	
	5	5.15	4.18	5.2	1.2	2.0	8.90	sl	
	10	5.10	3.93	4.1	1.2	1.7	8.05	sl	
	20	5.36	4.00	2.8	1.0	1.0	6.00	sl	
	30	6.21	4.60	4.8	1.1	0.7	7.60	sl	
	60	6.31	5.02	6.4	4.3	1.0	9.25	ssl	
	90	7.23	5.45	6.0	6.0	3.3	9.30	ssl	
	130	7.80	5.60	7.1	8.7	8.4	10.65	ssl	
R	0—10	4.87	3.81	3.4	6.5	16.6	11.88	ls	
	20—30	4.45	3.64	1.6	6.4	14.8	7.38	ls	
	60	4.62	4.14	1.3	6.4	14.4	3.02	ls	
Q	0— 4	4.53	3.55	6.6	3.9	10.8	19.07	ls	
	10	4.35	3.60	2.7	2.3	4.2	9.52	sl	
	30	4.43	3.83	1.5	2.2	3.2	6.50	sl	
	55	5.52	4.27	1.7	1.9	1.6	3.47	ls	
	85	5.90	4.38	4.4	1.8	1.5	10.17	ssl	
DV ₁	0— 4	4.77	3.72	5.5	1.7	3.9	13.53	sl	
	30	4.51	3.72	1.2	2.0	2.8	4.20	sl	
	100	6.01	4.22	2.8	1.5	1.6	4.88	sl	
	130	8.4	7.0	2.8	2.7	4.0	11.38	ssl	
DV ₂	0— 4	4.50	3.30	8.5	4.5	13.2	12.16	sl	
	30	4.30	3.57	1.8	1.4	3.2	5.39	sl	
	70	4.70	3.70	3.3	1.3	1.3	4.42	sl	
	100	5.65	3.90	5.2	1.6	1.6	8.14	ssl	

(fortsættes — continued)

Tabel 8 — fortsat.
Table 8 — continued.

Prøve- flade	Prøve i dybde cm	pH		Kalium- tal TK	Fosfor- syretal Ft	Fosfat- tal FH	15 atm- værdi vægt 0/0.	Tekstur	
Sample plot	Sample at depth cm	H ₂ O	pH	KCl	Potas- sium figure TK	Phos- phoric acid figure Ft	Phos- phate figure FH	15 atm- value, per cent	Texture
BL	0— 3	4.00	3.13	6.0	0.9	3.4	25.03	ls	
	10	4.08	3.22	1.9	0.6	1.0	10.96	ls	
	20	4.57	3.91	0.9	1.0	0.6	7.63	ls	
	30	4.67	4.10	1.9	1.8	1.6	7.10	sl	
	50	5.42	4.12	0.9	3.6	1.8	3.16	ls	
K	5—10	5.26	4.30	8.9	4.8	9.4	8.55	—	
	10	5.15	4.03	4.5	4.8	9.4	7.8	ls	
	40	4.95	3.90	1.8	2.5	2.4	3.75	ls	
	70	6.19	4.74	1.2	2.9	2.4	2.35	ls	
	90	6.33	4.50	4.5	2.6	1.0	5.95	sl	
	120	6.34	4.49	4.3	2.6	1.0	6.15	sl	
DD	0— 3	4.01	3.05	16.2	2.9	11.3	40.8	—	
	12	4.37	3.87	1.2	0.7	1.0	4.57	ls	
	30	4.56	4.30	0.6	2.3	4.3	3.58	s/s	
	100	4.65	3.78	3.0	4.2	7.2	4.37	sl	
DC	2—3½	5.08	4.15	10.2	2.5	7.8	23.4	—	
	18	4.30	3.55	1.4	0.5	1.4	3.44	ls	
	70	4.75	4.40	0.6	3.8	6.9	2.42	ls	
	120	4.91	3.96	2.8	6.0	10.3	4.87	sl	
DB	2— 4	5.51	4.63	25.6	2.6	7.6	18.55	ls	
	30	4.41	3.76	1.8	0.7	1.0	4.6	ls	
	75	4.44	3.40	4.1	2.3	3.6	7.0	ls	
DA	2— 5	4.55	3.80	12.7	3.2	10.6	19.8	sl	
	25	4.48	3.94	2.4	4.3	4.3	3.5	ls	
	50	4.60	3.39	4.3	5.5	6.8	6.05	sl	
	90	4.83	3.44	3.6	7.0	5.3	6.1	sl	
CN	3— 9	4.33	3.42	5.9	0.9	1.9	16.15	sl	
	10—15	4.52	3.71	2.9	0.5	0.4	9.21	sl	
	32	4.53	3.97	1.6	1.0	1.0	8.55	sl	
	55	5.23	3.81	4.4	2.0	3.2	10.82	ssl	
M	5— 7	4.29	3.38	6.9	1.5	4.3	17.9	—	
	10	4.20	3.34	2.2	0.7	1.0	7.8	ls	
	20	4.15	3.43	1.0	0.5	0.8	3.6	ls	
	40	4.40	3.65	1.0	0.4	0.8	2.75	ls	
	80	6.23	4.30	3.0	0.8	0.4	5.4	sl	
	120	7.60	6.40	1.2	5.3	3.0	2.25	s/s	

(fortsættes — continued)

Tabel 8 — fortsat.
Table 8 — continued.

Prøve- flade	Prøve i dybde cm	pH		Kalium- tal TK	Fosfor- syretal Ft	Fosfat- tal FH	15 atm- værdi vægt %	Tekstur	
Sample plot	Sample at depth cm	H ₂ O	pH	KCl	Potas- sium figure TK	Phos- phoric acid figure Ft	Phos- phate figure FH	15 atm. value, per cent	Texture
X	2— 8	4.92	4.10	6.2	1.9	4.9	18.3	—	
	15	4.60	3.70	2.0	0.7	1.3	9.0	sl	
	30	4.62	3.84	0.8	0.7	1.0	7.85	sl	
	50	5.25	4.05	2.0	0.7	1.3	7.5	sl	
	70	6.50	4.70	2.8	1.7	1.6	10.2	sl	
	90	7.27	5.03	3.6	8.5	2.4	8.3	sl	
CB	0— 5	3.84	3.00	9.2	2.9	10.0	19.4	ls	
	10	4.00	3.28	1.2	1.5	2.8	4.81	ls	
	20	4.21	3.70	1.0	2.2	4.0	4.65	ls	
	30	4.45	3.92	1.0	3.7	7.4	4.1	ls	
	40	4.56	4.15	0.8	4.4	7.5	3.3	ls	
	60	4.65	4.20	0.8	3.9	6.0	2.55	ls	
	90	5.20	3.80	3.6	3.4	5.3	6.05	sl	
	120	5.59	3.90	3.4	6.3	6.3	5.6	sl	
DI	0— 5	4.58	3.60	9.9	2.1	6.0	—	—	
	5	4.18	3.39	4.5	1.4	3.0	10.8	sl	
	15	4.20	3.30	2.8	1.4	2.0	7.85	sl	
	35	4.49	3.60	3.6	1.2	2.0	6.80	sl	
	80	5.07	3.70	4.3	2.2	5.4	6.00	sl	
	120	5.51	3.72	3.4	4.9	4.3	4.15	ls	
	160	8.13	6.60	3.4	9.0	8.2	5.15	sl	
A	0— 5	4.98	4.09	5.6	1.1	2.7	13.09	sl	
	25	4.58	3.71	1.6	0.6	0.4	3.71	sl	
	90	8.2	7.3	2.2	7.2	3.0	6.96	sl	
DE _x	0— 5	4.39	3.43	22.8	2.2	7.9	32.05	sl	
	10	3.99	3.40	2.0	0.8	0.7	4.15	sl	
	30	4.33	3.69	2.0	2.3	1.7	4.0	ssl	
	60	5.20	3.53	5.7	1.5	1.4	8.05	ssl	
	90	5.15	3.33	5.2	3.0	1.7	7.35	ssl	
	120	5.65	3.50	5.4	4.8	3.3	7.55	ssl	
DE	2— 5	5.26	4.32	15.2	1.7	5.0	22.1	sl	
	10	4.65	3.65	4.8	1.4	1.7	11.85	sl	
	25	4.52	3.45	2.6	1.7	1.4	5.85	ssl	
	50	4.90	3.44	7.6	1.7	1.4	5.3	ssl	
	80	5.39	3.60	6.7	2.5	2.0	12.5	ssl	
	120	5.81	3.97	7.2	5.2	2.0	6.5	ssl	
DS	2— 5	4.86	3.85	7.6	2.0	4.3	14.75	sl	
	10	5.42	4.40	3.8	1.5	2.6	8.20	sl	
	30	5.50	4.40	6.9	1.1	0.3	9.1	ssl	
	75	6.68	5.33	5.2	5.8	1.7	7.30	sl	

SUMMARY

The chief purpose of soil science is to develop methods enabling a characterization of the cultivation value of the soil to the various branches of soil cultivation (agriculture, horticulture and silviculture). The present study is an attempt at characterizing the water supply conditions of moraine soils and the influence of these conditions on the production of the beech. The study has been undertaken on the permanent sample plots of the Danish Forest Experiment Station, where the increment has been studied by careful measurements of trees over a fairly long period of time.

I. *Introductory section on soil water.*

1. In common parlance soil water is classified as follows (*Kramer 1949*):

1. *Gravitational water* in movement towards the ground water;
2. *Capillary water*, from which plants draw the bulk of their water;
3. *Hygroscopic water*, and
4. *Water vapour* in the soil atmosphere.

There are no sharp boundaries between these classes, and theoretically soil water conditions are best described by the energy function proposed by *Edlefson and Anderson (1943)*.

In humid areas where osmotic forces play no part in the soil-water system, water conditions are adequately described by measurements according to the moisture-tension concept.

Tension is the pressure or suction that goes to make a given soil sample begin to give off water. It is measured in cm water column, atmospheric pressure or pF-units (*Schofield 1935*). The pores of the soil may be analogized by capillaries, and water bound by varying forces in the soil-water system may be divided into groups according to pore size. The pore size can be measured by equivalence diameters calculable from the formula $2r = \frac{0.296}{h}$ cm, where h is the water-binding force in cm water column (Fig. 2).

On the basis of works by *Keen (1928)*, *Veihmeyer (1927)*, *Richards and Weaver (1944)*, as well as of *Figs. 4 & 5*, it must be assumed that it is not solely the water-binding force in the soil-water system that determines how large quantities of water the plants are able to absorb (*Fig. 6*). In this connection it is of special interest

that the water content at the permanent wilting point is bound with a force different from soil to soil. The water content at the permanent wilting point is defined as that water content where the soil is no longer able to supply sufficiently large quantities of water for the plants to maintain the turgor, i.e. they wilt (*Briggs and Shantz 1912*). In practice plants are able to subsist at the wilting point for longer periods on clayey and/or humous soils than on sandy soils (cf. *Fig. 6*).

It is normally assumed that most of the cultivated plants die from drought wilting when the soil water is bound with forces greater than or equal to a pressure of 15 atmospheres. Works by *Fowells and Kirk (1945)*, and by *Stone and Fowells (1955)* show that some species of forest trees are able to overcome considerably greater water-binding forces than is the test plant, dwarf sunflower. It must be assumed that the same holds good of other species of forest trees.

In practice this plays no role because the amounts of water liberated by an alteration of force from a pressure of, say 15 atmospheres, to 20 atmospheres are small and do not affect the production of dry matter. However, it must be assumed that young forest tree plants will be able to survive longer periods of drought than are cultures of herbaceous plants. Forest trees approach herbaceous plants as to drought sensitivity in periods of shoot elongation and to these periods the above does not apply.

Soil water is not equally available to plants in the whole range between the permanent wilting point and field capacity. For studies with practical ends in view, however, it comes most natural to seek information on the dependence of dry matter production on the total plant-available soil water. The fact is that a division of the plant-available soil water into two or more fractions according to its value to the plants entails a heavily increased analytical work, and the demarcation lines one must choose are hardly the same from soil to soil (cf. *Fig. 6*).

3. In the present study the *plant-available water-capacity* is defined as:

The difference between field capacity at balance at a suction of 1/10 atmosphere = pF 2 and the permanent wilting percentage at balance at an excess pressure of 15 atmospheres = pF 4.2.

The unit of measurement is mm to facilitate analogisms to meteorological units of measurements.

II. *Description of analytical methods and error evaluation.*

1. On each sample plot a soil-pit has been dug. *Fig. 7* shows how many samples have been taken in natural deposits. Each sample is of 100 cm³. From the soil pit also samples in loose deposits have been taken.

2. On samples in natural deposits have been determined: 1) water content at sampling; 2) water content at pF 2 (ground-cell according to *Richards 1944*); 3) volume weight; and 4) the total pore volume. On samples taken in loose deposits, determination has been made of

water content at pF 4.2 in a pressure-membrane apparatus according to *Richards* (1947).

Fig. 8 shows how the analytical results are plotted graphically. The plant-available amount of water is represented by area (2) and can be calculated stepwise for the entire depth under investigation.

In addition to the above-mentioned analyses, a mechanical analysis has been made according to the pipette method (*Tovborg-Jensen and Kjær*, 1948); pH determination has been made by mensuration with a glass electrode. Plant-accessible potassium has been determined by the method indicated by *Damsgaard-Sørensen* (1941), and plant-accessible phosphorus by both the method indicated by *Bondorff* (1950) and by that indicated by *Møller and Mogensen* (1951) (F_t and F_H).

The statement of increment is based on current mensurations by the Forest Experiment Station. The annual total volume increment has been stated for the immediately preceding period of about 10 years, as well as for the immediately preceding period of about 20 years. The site class of the individual stands has been interpolated into *Møller's* (1933) yield tables. Attention is called to the fact that the site class system is arranged such that site class I has a height at 100 years of 32 m, site class II = 28 m, and so on.

For each sample plot the mean annual rainfall in the growth period (May, June, July and August, cf. *Holmsgaard* (1955)), has been stated for the increment periods employed.

On the basis of flora investigations by frequency determinations (*Bornebusch*, 1923), N-indicator values have been calculated for each sample plot according to the same method as that used by *Kriso* (1952).

The results have been assembled in *Tables 1* and *8* (pages 122 and 210).

3. The error evaluation is concentrated on an evaluation of the degree of accuracy with which the plant-available water-capacity can be determined on the individual sample plots in two soil pits. It appears from *Table 2* and *Fig. 10* that if the sample plots are uniformly evaluated on the basis of flora and terrain conditions, the water-capacity for depths of 40 cm or more can be determined with a mean error less than ± 5.0 %.

The increment determination must be supposed to be encumbered with a mean error of the order of magnitude $\pm 2-3$ %.

III. Description of the individual localities.

The sample plots represent the whole of the Danish moraine area. As far as the soil is concerned, the plots are characterized by the fact that a great proportion of them are subject to the influence of ground-water (glei soils) or temporary groundwater (glei-like soils or pseudo-glei). The age distribution appears from *Table I*. It should be emphasized that the sample plots have a very untypical height increment course seen in relation to the Danish yield tables.

Fig. 2 in the work by *Møller and Nielsen (1953)* shows that the sample plots have generally a better height increment than supposed in the yield tables.

IV. Results relating to theoretical aspects of soil science.

1. The data show that broadly there is a correlation between the plant-available water-capacity and texture. With increasing clay content and increasing humus content there is increasing water-capacity. However, the dispersion is very great.

Likewise there is a faint, positive correlation between water-capacity and the content of plant-accessible potassium (T_K) and plant-accessible phosphorus (F_t and F_H), whereas there is no demonstrable correlation between water-capacity and N-values.

Figs. 16a, b and c show the dependence of T_K on the exchange capacity in the soil expressed by the 15-atm. values (cf. *Aslyng, 1952*). If one can conclude with *Aslyng* that the 15-atm. values are intimately correlated with the total cation exchange capacity in all the horizons of the profile, then the figures show that the cation-exchanging surface is best provided with K ions in the subsoil, next follow the upper humous layers. It therefore looks as though the beech draws a relatively greater proportion of the K consumption from 30 cm depth than from the other layers. In the cultivation of beech forests the approach to the problem is consequently very similar to that found by *Dalbro (1957)* in fruit growing. A solution of a possibly occurring K-problem must be based on an investigation of potassium figures at 20—60 cm depth and not at 0—20 cm depth.

Figs. 20 and 22 show that there is a fairly intimate correlation between water-capacities calculated to varying depths. Hence it is legitimate to talk about the *architectonics* of forest soil (*Burger, 1922*), whereby is understood that beneath a forest there are stable soil conditions of a good structure to a great depth. This involves that the condition of forest soil to a certain extent can be described solely on the basis of the condition of the upper layers. *Fig. 21* shows that there is an upper limit to the ability of surface layers to represent deeper layers. With increasing water-capacity calculated to 70 cm depth the share of upper layers in the total water-capacity becomes less.

The total pore volume is so intimately correlated to volume weight that it is advisable to determine the total pore volume on the basis of volume weight (*Fig. 23*) and omit the laborious pykometric determination.

The field capacity at pF 2 is also positively correlated to volume weight (*Fig. 24*) but the dispersion is appreciable.

2. Investigation of windaffected topsoil shows that the plant-available water-capacity in the uppermost 5 cm has been reduced by 75 % in the windaffected parts measured in relation to the parts with mull (*Table 3*). In another locality where some of the area has been windaffected for a number of years, the plant-available water-capacity

to 40 cm depth is 65 mm on the good mull and 52 mm on the wind-affected soil. As the soil is somewhat more clayey in the area with windaffected soil (*Fig. 26*) than in the good portion (*Fig. 25*), one would expect a lower water-capacity in the latter place. The assumed reduction in water-capacity is 13 mm, or about 20 %. The difference between the two holes is significant (cf. *Fig. 10*). The difference in water-capacity involves for an about 80-year-old beech an increment difference of 1.8 m³ annually (*Fig. 34*). Windaffected soil is often the introduction to the formation of a thick mor (*Müller 1879*) and the condition exhibits a certain reluctance to the return to mull. *Müller* demonstrates that it may often be necessary to undertake clear-cutting in order to get out of the vicious circle. It is therefore appropriate to stress that it is of great importance to create and maintain good shelter conditions in the forest. This is all the more imperative because the estimated increment decrease is only part of the total increment decrease, seeing that wind action in several other points affects the increment conditions (cf. *Woelfle, 1937, and Holmsgaard, 1955*).

3. On the basis of laboratory observations it is emphasized that it is not possible ocularly to estimate the degree of desiccation of soils in nature with a view to classification of water supply conditions of soils.

V. *Root investigations.*

To get an idea of the vertical distribution of the roots, an investigation has been made according to the method published by *Grosskopf (1950)*. The relative length of fine roots (diameter < 1.5 mm) in the soil profiles investigated is depicted in *Fig. 28*. Without going into details one may say that the bulk of fine roots are found in 0—40 cm depth in the localities under examination using the methods stated. The explanation why apparently the greatest potassium absorption takes place from the horizons at 30 cm depth (*Figs. 16a, b and c*) may therefore be found in the root distribution. The same applies to the explanation why it looks as though the water-capacity in the uppermost 40 cm is of the greatest importance to the trees (cf. below).

VI. *Dependence of increment on field capacity.*

1. Water is of great importance to the increment of beech (cf. *Holmsgaard, 1955*), and there are therefore ample reasons to suppose that there exists a demonstrable correlation between the plant-available water-capacity and the increment of beech.

The great age dispersion in the data makes it necessary that the increment be corrected for dependence on age. To achieve this, three methods have been used:

1. Site class has been compared with water-capacity.
2. The data are divided into three age groups and increments in these groups are compared with water-capacity.

3. Increments are corrected for age dependence and the corrected increments are compared with water-capacity.

For the analysis of data have been used *Spearman's* rank-correlation coefficient (*Graf & Henning, 1953*) and in a few cases linear correlation coefficients (*Graf & Henning, 1953*). The coefficients are provided with a subindex indicating the number of observations. Their significance can be evaluated by means of *Fig. 47* (page 209).

2. The site class is correlated to water-capacity by rank-correlation coefficients of the order of magnitude 0.43—0.45 (*Fig. 29*: $r_{22} = 0.43$; *Fig. 30*: $r_{22} = 0.45$). It takes about 40 mm increase in the water-capacity to obtain an increase of 1 site class degree (= height increase of 4 m at 100 years). If the mean annual rainfall of a 10-year period is taken into account for the period of growth, one finds rank-correlation coefficients of $r_{22} = 0.51$ (*Fig. 32*) and $r_{22} = 0.65$ (*Fig. 33*).

3. For the age groups (see *Table 1* page 122) and *Figs. 34, 35* and *36*) there is, despite the scarcity of the data, a good correlation between total volume increment and water-capacity. *Fig. 37* gives a survey of the correlation coefficients (linear) for the correlation between increment and water-capacity calculated at varying depths. Curve *b* in the figure shows that a correction for the increment of undergrowth on sample plot A has not been very successful. Plot A is the only plot where any correction has been made. If this sample plot is omitted from *Group III* one obtains correlation coefficients independent of the depth to which the water-capacity is calculated (cf. the course for *Groups I and II*). On the basis of *Fig. 37* and the age statements in *Table 1* it is concluded that the best correlation between water-capacity and increment is found where the statement of increment is as certain as possible (*Group II* with slight age variation). There is reason to emphasize that the certainty of increment statement affects the certainty of test results and investigations. By way of example, this appears from the fact that sample plot A, where an uncertain correction has been made for the increment of the undergrowth, gives an increased dispersion, and from the fact that site class as an expression of increment gives increased dispersion.

The survey of regression coefficients (*Table 5*) for the three groups shows that the coefficient of *Group III* (old stands) is significantly different from those of the other two groups. The increase in increment for greater water supply is thus greater in this group. No logical explanation can be given of this, and it is not possible to generalize until the matter has been subjected to further tests.

4. In *Fig. 38* the mean annual increment in the 10-year period is superimposed on age. The smoothed curve is used for age correction of the increment ascertained (see *Table 1*).

Figs. 40, 41, 42 and *43* show the correlations between corrected increment and water-capacity, and water-capacity + 10 years' mean annual precipitation.

Table 7 shows the rank-correlation coefficients (r_{22} or by omission of sample plot A: r_{21}). An increase of 9 mm in the water-capacity to 70 cm (6.5 mm to 40 cm) gives an increment increase of 1 m³. The correlations found are highly significant.

5. *Table 6* shows that there is a better correlation between increment and water-capacity in 10 cm layers from 0—40 cm depth than from 40—70 cm depth. The correlation coefficients, however, are not significantly different. Root examinations showed that the bulk of fine roots are found from 0—40 cm depth. Despite the lacking significance it yet looks as though the depth of 0—40 cm is of greater importance than deeper layers.

6. No influence is seen to exist on the increment caused by a high water-table. Sometimes there will be a rise in the water-table during the period of growth owing to great intensity of rainfall, and this may presumably cause root death (cf. the mention of flooding by *Curtis & Clark*, 1950). On sample plots A, DV₁, DV₂ and LN root examinations showed a heavy concentration of dead roots at 50—60 cm depth ("secondary" root storeys in *Fig. 28*) which may be due to drowning during the period of growth.

7. Sample plot DS was kept outside when the data were prepared because it is situated on a fairly steep west-facing slope. Profile examinations showed that there was a distinct lateral movement of water on the sample plot. The water-capacity is calculated at 122 mm (0—70 cm), which conditions an increment of 17.4 m³ annually (*Fig. 34*). The increment has been 22,9 m³/hectare and year, or 30 % in excess of expectation. The excess increment must be attributed solely to the lateral movement of water.

VII. Discussion.

1. The demonstrated correlation between increment and water-capacity need not be an expression of a causality. Part of the correlation may be due to the faint correlation between water-capacity and nutrient content. Since fertilizer trials on beech have had no demonstrable effects, and since *Holmsgaard's* (1955) investigations have shown that the increment of beech is much dependent upon rainfall, there is ample reason to believe that the correlation demonstrated is actually due to varying water supply.

2. Methodical investigations of the best possible way of stating the increment of stands (preferably in terms of net dry-matter production) become increasingly necessary as the value of forest products rises (cf. VI, 3).

3. In practice increment is often forecast on the basis of site class. The correlation between site class and corrected increment (*Fig. 45*) has $r_{22} = 0.44$, whilst the correlation between water-capacity from 0—5 cm and corrected increment (*Fig. 46*) has the correlation coefficient $r_{22} = 0.69$ (by omission of sample plot A: $r_{21} = 0.73$). Though

there is no significant difference between the correlation coefficients they still suggest that water-capacity determinations, even when extensive (0—5 cm), enable a slightly more certain increment forecast than does forecasting on the basis of site class. $r_{22} = 0.44$ (Fig. 45) is significantly different from $r_{22} = 0.85$ (see e.g. Figs. 40 and 41) at the 98 % level.

4. In the present data there is no correlation between increment and precipitation (Fig. 31 and Fig. 39). This must presumably be attributed to the fact that information on rainfall is less certain than are soil analyses, and to the fact that the data investigated have a relatively small variation in precipitation. Such an assumption is supported by the circumstance that *Holmsgaard* (1955) with great certainty has demonstrated such a correlation. It appears that there really is very good agreement between *Holmsgaard's* and the present investigations. *Holmsgaard* (1955, p. 190) sets up the following formula:

$I_{10} = -25 + 1.25 P_{10}$ (correlation coefficient $r = + 0.75$),
 “where I_{10} = mean increment in a 10-year period expressed in per cent of the mean increment for the period 1900—1949,

P_{10} = mean May + June + July rainfall in the same 10-year period expressed in per cent of the average of this quantity for the period 1900—1949”.

According to the formula, rainfall fluctuations of 10 mm will give increment fluctuations of about 1 m³. Fig. 40 shows that an increase of 9 mm in the water-capacity to 70 cm depth gives an increment increase of 1 m³. There is thus a very good agreement.

5. The correlations found between water-capacity and increment are equally good or, if anything, a little better than those found in Danish agriculture between increased yield and the phosphate condition of the soil in long-term phosphate fertilizer trials (*Møller & Mogensen*, 1951). *Møller* and *Mogensen* indicate correlation coefficients of the order of magnitude 0.60, which is comparable to the correlation coefficients in the present report of the order of magnitude 0.85—0.86.

In conclusion it is stressed that care should be exercised in trusting correlations between growth and nutrient content in the soil, unless it has been established that they are not in actual fact due to a variation in the water-capacity. In the last resort any correlation must be tested by field trials.

LITTERATURFORTEGNELSE.

- Aaltonen, V. T.*, 1948: Boden und Wald. Berlin.
- Aslyng, H. C.*, 1952: Characterization of soils. Årsskr. Vet.-Landbohøjsk.
- Aslyng, H. C. og K. J. Kristensen*, 1953: Investigations on the water balance in danish agriculture. Årsskr. Vet.-Landbohøjsk.
- Aslyng, H. C.*, 1955: Marskjordens fysiske og kemiske tilstand. Tidsskrift for Planteavl, København, 59.
- Assmann, E.*, 1955: Die Bedeutung des „erweiterten Eichhorn'schen Gesetzes“ für die Konstruktion von Fichten - Ertragstafeln. Forstwiss. Cbl. 74.
- Bondorff, K. A.*, 1950: Studier over jordens fosforsyreindhold. Tidsskrift for Planteavl, København, 54.
- Bornebusch, C. H.*, 1923: Skovbundsstudier. Forstl. Forsøgsv. Danm. 8.
- Briggs, L. J. og J. W. McLane*, 1907: The moisture equivalent of soils. U.S. Dept. Agr. Bur. Soils Bull. 45.
- Briggs, L. J. og H. L. Shantz*, 1912: The wilting coefficient for different plants and its indirect determination. U.S. Dept. Agr. Bur. Plant. Indus. Bull. 230.
- Browning, G. M.*, 1941: Relations of field capacity to moisture equivalent in soils of West Virginia. Soil Sci. 52.
- Burger, H.*, 1922: Physikalische Eigenschaften der Wald- und Freilandböden. Mitt. schweiz. Anst. forstl. Versuchsw., 13.
- Coile, T. S.*, 1952: Soil and the growth of forests. Advances in agronomy, 4.
- Colman, E. A.*, 1947: A laboratory procedure for determining the field capacity of soils. Soil. Sci., 63.
- Curtis, O. F. og D. G. Clark*, 1950: An introduction to plant physiologi. New York.
- Dalbro, S.*, 1957: Jordbundsanalyser i frugtplantager. Tidsskrift for Planteavl, København, 61.
- Damsgaard-Sørensen, P.*, 1941: Kationombytning i Jorden. Tidsskrift for Planteavl, København, 46.
- Dengler, A.*, 1944: Waldbau. 3. Auflage. Berlin.
- Edlefson, N. E. og A. B. C. Anderson*, 1943: Thermodynamics of soil moisture. Hilgardia, U.S.A., 15.
- Fowells, H. A. og B. M. Kirk*, 1945: Availability of soil moisture to ponderosa pine. J. For., 43.
- Graf, U. og H.-J. Henning*, 1953: Formeln und Tabellen der mathematischen Statistik. Berlin.

- Grim, R. E.*, 1953: Clay mineralogi. New York.
- Grosskopf, W.*, 1950: Bestimmung der charakteristischen Feinwurzelintensitäten in ungünstigen Waldbodenprofilen und ihre ökologische Auswertung. Mitt. Bundesanst. Forst- u. Holzw., no. 11.
- Grøn, A. Howard*, 1945: Skovbrugets Driftsøkonomi, 3. afsnit: Skovbrugets Driftsregistrering og -budgettering. København.
- Henriksen, H. A.*, 1952: Hugststyrke og produktion. Dansk Skovfor­enings Tidsskr., 37.
- , 1956: Generelle tilvækstoversigter og deres anvendelighed under varierende skovbehandling og naturforhold. Foredrag i foredragsholderens referat. Dansk Skovforen. Tidsskr., 41, s. 350—53.
- , 1958: Sitkagranens vækst og sundhedstilstand i Danmark. Forstl. Forsøgsv. Danm., 24.
- Holmsgaard, E.*, 1955: Åringsanalyser af danske skovtræer. Forstl. Forsøgsv. Danm., 22.
- , 1956: Kommentarer til nogle tyske og svenske hugstforsøg i rødgran. Dansk Skovforen. Tidsskr., 41.
- Holstener-Jørgensen, H.*, 1956a: Floraundersøgelser i Mølleskoven. 3. beretning. Forstl. Forsøgsv. Danm., 22.
- , 1956b: Nedbøren og grundvandet. Dansk Skovforen. Tidsskr., 41.
- , 1957: Danske skov- og plantagejorders mineralogiske sammensætning. Medd. norske Skogforsøksv., 14.
- Holten, N.*, 1956: Erindringer om Danmarks Skove og Skovbrug. Dansk Skovforen. Tidsskr., 41.
- Jensen, P. Boysen*, 1943: Plantefysiologi. 2. udgave. København.
- Jensen, S. Tovborg og Betsy Kjær*, 1948: Undersøgelser over kornstørrelsesfordelingen i en række danske kalk- og mergelprøver. Årsskr. Vet.-Landbohøjsk.
- Keen, B. A.*, 1928: The limited role of capillarity in supplying water to plant roots. Proc. First Int. Congr. Soil. Sci.
- Kramer, P. J.*, 1949: Plant and soil-water relationships. New York.
- Kriso, K.*, 1952: Die Ableitung von Standortspektren aus Vegetationsaufnahmen und ihre Anwendung als standortsdiagnostische Hilfsmittel. Forstwiss. Cbl., 71.
- Laatsch, W.*, 1954: Dynamik der mitteleuropäischen Mineralböden. 3. Auflage, Dresden.
- Ladefoged, K.*, 1939: Untersuchungen über die Periodizität im Ausbruch und Längenwachstum der Wurzeln bei einigen unserer gewöhnlichsten Waldbäume. Forstl. Forsøgsv. Danm., 16.
- Møller, J. og T. Mogensen*, 1951: Metode til bestemmelse af den mobiliserbare fosforsyre i jordbunden. Hedeselskabets Tidsskr., 72.
- Møller, C. M.*, 1933: Boniteringstabeller og bonitetsvise Tilvækstoversigter for Bøg, Eg og Rødgran i Danmark. Dansk Skovforen. Tidsskr., 18.

- Møller, C. M. og J. Nielsen*, 1953: Afprøvning af de bonitetsvise tilvækstoversigter af 1933 for bøg, eg og rødgran i Danmark. Dansk Skovforen. Tidsskr., 38.
- Müller, P. E.*, 1877: Nyere Bidrag til Skovdyrkningens Theori. II. Løv-faldets Betydning for Jordbundens Rigdom på Plantenæring. Tidsskrift for Skovbrug, 2.
- , 1879: Studier over Skovjord som Bidrag til Skovdyrkningens Theori. I. Om Bøgemuld og Bøgemor paa Sand og Ler. Tidsskrift for Skovbrug, 3.
- Oberdorfer, E.*, 1949: Pflanzensoziologische Exkursionsflora für Südwestdeutschland. Ludwigsburg.
- Oksbjerg, E.*, 1957: Rødgranens og nogle andre træarters jordbundsdannelse på fattig jord. Forstl. Forsøgsv. Danm., 23.
- Piper, C. S.*, 1950: Soil and plant analysis. Adelaide.
- Ramann, E.*, 1911: Bodenkunde. 3. Auflage, Berlin.
- Richard, F.*, 1953a: Über die Verwertbarkeit des Bodenwassers durch die Pflanze. Mitt. schweiz. Anst. forstl. Versuchsw., 29.
- Richard, F. og J. Beda*, 1953b: Methoden zur Bestimmung der Wasserbindung under der Porengrößen in natürlich gelagerten Waldböden. Mitt. schweiz. Anst. forstl. Versuchsw., 29.
- Richards, L. A. og L. R. Weaver*, 1944: Moisture retention by some irrigated soils as related to soil moisture tension. Journal of Agricultural Research, 69.
- Richards, L. A.*, 1947: Pressure-membrane apparatus — construction and use. Agricultural Engineering, 28.
- Romell, L. G.*, 1935: Ecological problems of the humus layer in the forest. Mem. Cornell agric. Exp. Sta., 170.
- Schofield, R. K.*, 1935: The pF of the water in soil. Trans. 3. d. int. Congr. Soil. Sci., 2.
- , 1938: Pore-size distribution as revealed by the dependence of suction (pF) on moisture content. Trans. of the first commission of the international Society of Soil Science Vol. A.
- Sekera, F.*, 1938: Statik und Dynamik des Bodenwassers. Bodenkunde und Pflanzenernährung. 6.
- Stone, E. C. og H. A. Fowells*, 1955: Survival value of dew under laboratory conditions with *Pinus ponderosa*. Forest Science, 1.
- Tamm, C. O.*, 1953: Growth, yield and nutrition in carpets of a forest moss (*Hylocomium splendens*). Medd. Skogsforskn. Inst., Stockh., 43.
- Veihmeyer, F. J.*, 1927: Some factors affecting the irrigation requirements of deciduous orchards. Hilgardia, U.S.A., 2.
- Woelfle, M.*, 1937: Verhagerungserscheinungen. Forstwiss. Cbl., 59. Handbook of Chemistry and Physics. 33. udgave, 1951. U.S.A.
- Det danske meteorologiske Institut: Maanedsoversigt over Vejrforholdene.

statistically and assessed theoretically). S. 271. — **H. 5.:** Nr. 165. J. A. LØVENGREEN: Analyse af en afsluttet prøveflade i rødgran. (Analysis of a completed Sample Plot in Norway Spruce). S. 355. — Nr. 166. H. A. HENRIKSEN: Bemærkninger til udhugningsforsøget i bøg i Århus kommunes skove. (Revision d'une expérience de coupes d'éclaircis de hêtre dans les forêts de la municipalité de Århus). S. 373. — Nr. 167. H. A. HENRIKSEN: Et udhugningsforsøg i ung bøg. (Durchforstungsversuch in jungem Buchen-Bestand). S. 387. — Nr. 168. H. A. HENRIKSEN: Et udhugningsforsøg i sitkagran. (Durchforstungsversuch in einem Bestand von Sitka-Fichten). S. 403.

Bd. XXI, H. 1: Nr. 169. C. H. BORNEBUSCH †: Nørholm Hede. Tredje beretning. (Lande de Nørholm. Troisième rapport). S. 1 — Nr. 170. NIELS HAARLØV og BRODER BEIER PETERSEN: Temperaturmålinger i bark og ved af Sitkagran. (Measurements of temperature in bark and wood of *Picea sitchensis*). S. 43. — **H. 2:** Nr. 171. DAVID FOG and ARNE JENSEN: General volume table for beech in Denmark. (Almindelig masse-tabel for bøg i Danmark). S. 93. — Nr. 172. H. A. HENRIKSEN: Die Holzmasse der Buche. (Bøgens vedmasse). S. 139. — Nr. 173. H. A. HENRIKSEN og ERIK JØRGENSEN: Rodfordærverangreb i relation til udhugningsgrad. En undersøgelse på eksperimentelt grundlag. (Fomes annosus attack in relation to grade of thinning. An investigation on the basis of experiments). S. 215. — **H. 3:** Nr. 174. CARL MAR: MÖLLER, D. MÜLLER & JØRGEN NIELSEN: Loss of branches in European Beech. S. 253. — Nr. 175. CARL MAR: MÖLLER, D. MÜLLER & JØRGEN NIELSEN: Respiration in stem and branches of Beech. S. 273. — Nr. 176. D. MÜLLER: Die Atmung der Buchenblätter. S. 303. — Nr. 177. D. MÜLLER: Die Blätter und Kurztriebe der Buche. S. 319. — Nr. 178. CARL MAR: MÖLLER, D. MÜLLER & JØRGEN NIELSEN: Graphic presentation of dry matter production of European Beech. S. 327. — **H. 4:** Nr. 179. E. C. L. LØFTING: Danmarks ædelgranproblem. (Denmark's Silver Fir Problem). S. 337. — Nr. 180. V. GØHRN, H. A. HENRIKSEN og B. BEIER PETERSEN: Iagttagelser over *Hylesinus* (*Dendroctonus*) *micans*. (Observations of *Hylesinus* (*Dendroctonus*) *micans* Kug.). S. 383. — Nr. 181. BENT SØEGAARD: Fem søskendebestøvninger i europæisk lærk. (Controlled Pollination of Five Sister Trees of European Larch). S. 435. — Nr. 182. K. BRANDT: Proveniensenforsøg med skovfyr m. v. i Jørgensens plantage, Djursland. (Provenance Experiments with Scots Pine etc. in Jørgensen's Plantation, Djursland). S. 449.

Bd. XXII, H. 1: Nr. 183. ERIK HOLMSGAARD: Årringsanalyse af danske skovtræer. (Tree-Ring Analyses of Danish Forest Trees). S. 1. — **H. 2:** Nr. 184. H. HOLSTENER-JØRGENSEN: Floraundersøgelser i Mølleskoven. 3. beretning. (The Flora in Mølleskoven Forest. Third Report). S. 247. — Nr. 185. BRODER BEIER PETERSEN: Bladhvepsen *Lygaeonematus abietinus* Christ som skadedyr på rødgran i Sønderjylland. (*Lygaeonematus abietinus* Christ as a Pest on Norway Spruce in South Jutland). S. 275.

Bd. XXIII, H. 1: Nr. 186. V. GØHRN: Proveniensenforsøg med lærk. (Provenance Experiments with Larch). S. 1. — **H. 2:** Nr. 187.

E. OKSBJERG: Rødgranens og nogle andre nåletræers jordbundsdannelse på fattig jord. (Soil Formation by Norway Spruce in Plantations on Heath, with Comments on Soil Formation by other Tree Species on poor Soil). S. 125. — **H. 3:** Nr. 188. H. A. HENRIKSEN: Forsøgsvæsenets prøveflader i Abies-arter. (Sample Plots of Abies Species). S. 281 — Nr. 189. J. LUNDBERG: Proveniensforsøg med douglasgran. (Provenance Experiments with Douglas Fir). S. 345. — Nr. 190. H. BRYNDUM: Et hugst-forsøg i eg. (A Thinning Experiment in Oak). S. 371. —

Bd. XXIV, H. 1: Nr. 191. H. A. HENRIKSEN: Sitkagranens vækst og sundhedstilstand i Danmark. (The Increment and Health Condition of Sitka Spruce in Denmark). S. 1.

Bd. XXV, H. 1: Nr. 192. C. TRESCHOW: Forsøg med rødgranracers resistens overfor angreb af *Fomes annosus* (Fr.) Cke. (Experiments for Determining the Resistance of Norway Spruce Races to *Fomes annosus* Attack). S. 1. — Nr. 193. C. TRESCHOW: Forsøg over jordbehandlings indflydelse på rødgranbevoksningers resistens overfor angreb af *Fomes annosus*. (Investigation of the Effect of Soil Cultivation on the Resistance of Norway Spruce Stands to Attack of *Fomes annosus*). S. 25. — Nr. 194. B. BEIER PETERSEN and B. SØEGAARD: Studies on Resistance to Attacks of *Chermes Cooleyi* (Gill.) on *Pseudotsuga taxifolia* (Poir.) Britt. (Undersøgelser over resistens mod angreb af *Chermes cooleyi* (Gill.) hos *Pseudotsuga taxifolia* (Poir.) Britt.). S. 35. — Nr. 195. BRODER BEIER PETERSEN: Bladhvepsen *Lygaeonematus abietinus* Christ. 2. Fortsatte bekæmpelsesforsøg og disses indvirkning på parasiteringen af larvestadiet. (The Saw-fly *Lygaeonematus abietinus* Christ. 2. Continued Control Experiments and their Effect on the Parasitism of the Laval Stage). S. 47. — Nr. 196. FR. PALUDAN og JOHS. RAFN: P. E. Müllers gødningsforsøg i rødgran i Gludsted plantage. Tilvækstforhold og trametesangreb. (P. E. Müllers Experiments with Fertilizers applied to Norway Spruce (*Picea abies*) in Gludsted plantation. Increment and *Fomes annosus* Attack). S. 63. — Nr. 197. A. YDE-ANDERSEN: Kærneråd i rødgran forårsaget af honningsvampen (*Armillaria mellea* (Vahl) Quél.) (Buttrot in Norway Spruce caused by the Honey Fungus (*Armillaria mellea* (Vahl) Quél)). S. 79. — **H. 2:** Nr. 198. H. HOLSTENER-JØRGENSEN: Jordbundsfysiske undersøgelser i danske bøgebevoksninger. (Physical Soil-Investigations in Danish Beech-Stands). S. 93. —

DET FORSTLIGE FORSØGSVÆSEN I DANMARK

udgives ved den forstlige forsøgskommission under redaktion af forstanderen, i hæfter sædvanlig på 5–10 ark, der udsendes fra Statens forstlige Forsøgsvæsen, Møllevangen, Springforbi. Ca. 25 ark (400 sider) udgør et bind. Prisen pr. bind er 10 kr., for skovbrugsstuderende dog 5 kr., der tages ved postgiro samtidig med udsendelsen af 1ste hæfte.

Fortegnelse over indholdet af bd. I–X, 1905–1930, beretninger nr. 1–95 og nr. 97, findes i slutningen af 10de bind og af bind XI–XX, 1930–1951, beretninger nr. 96 og 98–168, i slutningen af 20de bind. Disse fortegnelser tilsendes gratis ved henvendelse til forsøgsvæsenet.

Fortegnelse over indholdet af bd. XVII–XXV er anført på omslaget.