

Beretning nr. 199

H. HOLSTENER-JØRGENSEN:

UNDERSØGELSER AF RODSYSTEMER
HOS EG, BØG OG RØDGRAN PÅ
GRUNDEVANDPÅVIRKET MORÆNEJORD
MED ET BIDRAG TIL BELYSNING AF
BEVOKSNINGERNES VANDFORBRUG

(INVESTIGATIONS OF ROOT SYSTEMS OF OAK,
BEECH AND NORWAY SPRUCE ON GROUND-
WATER-AFFECTED MORaine SOILS WITH
A CONTRIBUTION TO ELUCIDATION
OF EVAPOTRANSPIRATION OF STANDS)

(Særtryk af Det forstlige Forsøgsvæsen i Danmark,
XXV, 1959)

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 jyske 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 Bøgeselvfor yngelse. (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 Rodfødærveren (*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 skovfyrproblem. (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 jyske 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 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:

**UNDERSØGELSER
AF RODSYSTEMER HOS EG,
BØG OG RØDGRAN
PÅ GRUNDVANDPÅVIRKET
MORÆNEJORD**

**MED ET BIDRAG TIL
BELYSNING AF BEVOKSNINGERNES
VANDFORBRUG**

**INVESTIGATIONS
OF ROOT SYSTEMS OF OAK, BEECH AND NORWAY SPRUCE
ON GROUNDWATER-AFFECTED MORaine SOILS
WITH A CONTRIBUTION TO
ELUCIDATION OF EVAPOTRANSPIRATION OF STANDS**

AF

H. HOLSTENER-JØRGENSEN

INDHOLDSFORTEGNELSE

I. INDLEDNING	227
II. LOKALITETEN	228
III. ANALYSEMETODER	229
a. Indmåling m. m.	229
b. Træmåling	229
c. Grundvandmålinger	230
d. Jordbundsundersøgelserne	230
e. Opskyllningen af rodsystemerne	231
IV. OVERSIGT OVER JORDBUNDSANALYSERNE	233
a. Profilbeskrivelserne	233
b. Kornstørrelsesforhold	235
c. Kemiske analyser	235
d. Poreforhold	240
e. Sammenfatning vedrørende jordbundsforholdene	243
V. GRUNDVANDMÅLINGERNE	244
a. Resultaternes tydning	244
b. Relationen til bevoksningernes aktuelle vandforbrug	249
c. Træarternes forskellige påvirkning af grundvandstanden .	254
d. Lokaliteternes sammenlignelighed	256
VI. RESULTATERNE AF ROD- OG TRÆMÅLING	257
a. Træmålingen	257
b. Almindelig beskrivelse af rodsystemerne	259
1. Egen	259
2. Bøgen	261
3. Rødgranen	264
c. Træernes rodlængder	266
1. Fejlen på længdebestemmelser af de tyndeste rødder .	266
2. De enkelte træers rodlængde	266
d. Træernes rodmasse	270
e. Top/rod-forhold på massebasis	272
f. Rodmassens tørvægt	273
g. Rodsammenvoksninger	279
h. Rodtætheden på prøvefladerne	280
VII. SLUTBEMÆRKNINGER	284
VIII. ENGLISH SUMMARY	286
LITTERATURLISTE	288

I. INDLEDNING.

Formålet med den foreliggende undersøgelse har været at få et billede af rodsystemernes størrelse hos træarterne, bøg, eg og rødgran på grundvandnære lokaliteter på Bregentved.

Der er undersøgt tre rodsystemer, og det er klart, at hvor repræsentative træerne end er, så kan der ikke drages vidtrækkende biologiske konklusioner på basis af så lille et materiale. Hertil kræves, at undersøgelsen udstrækkes til flere jordbundstyper, forskellige aldersklasser og forskellige driftsformer.

Ved udarbejdelsen af beretningen er der derfor først og fremmest lagt vægt på at fremlægge det indsamlede materiale i en overskuelig form og at dokumentere, i hvor høj grad sammenligningsmulighederne mellem de tre prøveflader er antagelige.

Der er i beretningen kun få litteraturhenvisninger. Det skyldes ikke, at der ikke findes en righoldig litteratur om rodundersøgelser. Det gør der, men denne litteratur er meget uegal. Hovedparten af de rodundersøgelser, som er gennemført i skov, betjener sig af rent deskriptive metoder. Den foreliggende undersøgelse bryder med dette princip, og det er forsøgt at nå til reelle, kvantitative mål. Det er ikke første gang, at noget sådant er forsøgt. Meget omfattende undersøgelser er på forbilledlig vis gennemført i de senere år i Finland.

Da man i de få værker, der er henvist til, vil finde henvisninger til så godt som hele den foreliggende litteratur om rodundersøgelser, er det fundet rimeligt at udelade en indgående behandling af den samme litteratur her i beretningen. Herfor taler også, at de resultater, som fremlægges, i følge sagens natur kun kan betragtes som foreløbige. Ad åre bliver det forhåbentligt muligt at udvide materialet, så der kan gives et mere afrundet og sikrere billede af rodforholdene hos forskellige træarter under danske forhold.

Den foreliggende undersøgelse er startet på initiativ af forstinspektør *T. Jagd*, som forud havde afprøvet den anvendte skylle-

teknik. Jeg er forstinspektøren megen tak skyldig, dels for initiativet som sådan, dels fordi han beredvilligt gik ind for, at undersøgelsen foruden eg måtte omfatte træarterne rødgran og bøg. Ved stor imødekommenhed fra såvel forstinspektøren som Bregentved gods har der stået kvalificeret medhjælp til rådighed ved hele markarbejdet, ligesom forstinspektøren har sørget for den mere mekaniske bistand i form af sprøjtemateriel og betjeningsmandskab til dette.

II. LOKALITETEN.

Kravet til de prøveflader, hvorpå undersøgelsen skulle gennemføres, var følgende:

1) Fladerne skulle have ensartede jordbundsforhold med højtstående grundvand.

2) Prøvefladerne (eg, bøg og rødgran) skulle være repræsentative for disse træarter, som de behandles på Bregentved.

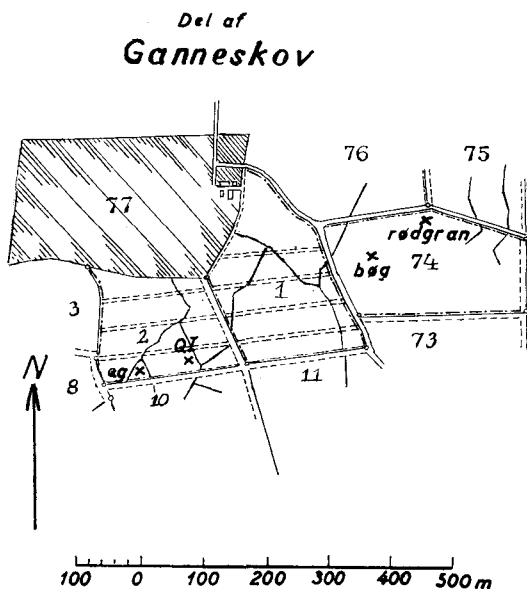


Fig. 1. Oversigt over en del af Ganneskov med de tre prøveflader indkroket.

Fig. 1. Map of part of the Ganneskov with the three sample plots marked in.

bøg = beech; rødgran = norway spruce; eg = oak.

3) De tre prøveflader skulle så vidt muligt tillade sammenligning af de tre træarter (alders- og dimensionsmæssigt).

4) Endelig måtte hver enkelt prøveflade ligge sådan i forhold til vandførende grøfter, at der i disse kunne opstemmes tilstrækkelig meget vand til opskylning af rodsystemerne. Desuden måtte der være mulighed for bortledning af det benyttede skyllevand, uden at der skulle graves alt for lange og dybe, nye grøfter.

Prøvefladerne er udvalgt ved okulær bedømmelse af forholdene i marken. Deres indbyrdes beliggenhed fremgår af *figur 1*.

Det højtstående grundvand tillod ikke en dyberegående jordbundsundersøgelse i tilslutning til arealudvælgelsen, og da selve rodundersøgelsen skulle gennemføres i samme forår, er jordbundsundersøgelserne først foretaget efter den egentlige rodundersøgelse.

III. ANALYSEMETODER.

a. Indmåling m. m.

Hver af de tre prøveflader er lagt sådan, at det træ, hvis rodsystem skulle tages op, stod midt i prøvefladen. Træet er udvalgt sådan, at det var repræsentativt for den pågældende bevoksning. Prøvefladen blev opmålt omhyggeligt. Alle træer blev nummereret, og deres plads på prøvefladen blev indmålt. Desuden blev der foretaget et fladenivellement på hver af prøvefladerne. De tre nivellementsnet blev dog ikke knyttet sammen. Endelig blev prøvetræets kroneprojektion samt nabotræernes kroneprojektioner mod prøvetræet indmålt.

b. Træmåling.

Alle træer i 1. etage er korsvis klippet, medens alle undervækstræer over 3 cm er enkeltklippet med vekslende klupretning. Der er målt højder på så mange træer, at bevoksningens højdekurve (diameter uafhængig variabel) har kunnet fastlægges for såvel overetage som underetage. Prøvetræet er fældet og metersektioneret og grenmassen vejjet, således at prøvetræets totalmasse er nøjagtigt bestemt. For bevoksningen er anvendt formtal bestemt gennem en årrække af Forsøgsvæsenet for lignende bevoksninger.

c. *Grundvandmålinger.*

På hver af prøvefladerne er lavet tre grundvandbrønde til registrering af grundvandsvingningerne. Brøndene består af en boret skakt (tallerkenbor med diameter 10 cm), og de er foroven sikret mod sammenskridning og -frysning med et cementmufferør, som hænger i muffen. Afstanden fra rørets overkant til grundvandspejlet måles periodisk med tommestok i cm. Periodelængden var i det første år 1 uge, derefter 14 dage. Brøndene er fulgt med målinger fra 4/7-1955 til 22/3-1958. De registrerede svingninger i grundvandspejlet spænder derfor over så lang en periode, at talmaterialet viser noget lokalitetstypisk.

d. *Jordbundsundersøgelserne.*

Formålet med jordbundsundersøgelserne har været:

- 1) at konstatere i hvor høj grad de tre lokaliteter er sammenlignelige,
- 2) at tilvejebringe et så fyldigt analysemateriale, at det senere kan skønnes, hvor store dele af dansk skovbrug den gennemførte undersøgelse er repræsentativ for.

Til dækning af disse formål er følgende undersøgelser foretaget:

Jordens tekstur i de forskellige horisonter er bestemt ved pipetteanalyse med natriumpyrofosfat som dispergator (*Touborg Jensen og Kjær 1948*).

Totalt porevolumen, vandindhold ved pF 2 og vandindhold ved pF 4,2 (visnegrænsen) er bestemt på jordprøver i naturlig lejring (*Holstener-Jørgensen 1958*).

Jordens indhold af ombytteligt kalium udtrykt ved T_k (*Damsgaard-Sørensen 1941*) er bestemt på Hedeselskabets laboratorium. Det samme gælder F_t (*Bondorff 1950*), der er udtryk for jordens indhold af svovlsyreopløselige fosforforbindelser, og F_H (*Møller og Mogensen 1951*), der bestemmes ved ionbytning.

Hydrogenionkoncentration såvel i vandig opslemning som i en opslemning i 1.0 n-kaliumklorid er bestemt ved måling med glaselektrode.

Jordbundsundersøgelsen er gennemført i to huller på hver af prøvefladerne. Prøveudtagningen er foretaget d. 11. og 12. oktober 1955. I forbindelse med gravningen af hullerne er profilerne beskrevet.

e. Opskyllningen af rodsystemerne.

Teknikken ved optagelsen af rodsystemerne er som nævnt først afprøvet af forstinspektør *Jagd*. Optagningen skete, efter at prøvetræet var fældet. En talje blev anbragt i et treben, som opstilledes lige over stødet. En svær kæde førtes ind under stødet og hægtedes på taljekrogen. Forinden blev der gravet en forbindelsesgrøft fra stødet til det eksisterende grøftesystem. Derefter blev jorden sprøjtet væk med en brandslange. Når der skønsvis var fjernet tilstrækkelig meget jord, forsøgte det at hæve stødet lidt med taljen, dog ikke mere end at der ikke skete noget „rodbrud“. Ved således skiftevis at sprøjte og forsigtigt at hæve rodsystemerne lykkedes det at få taget rodsystemerne op, så de var meget nær intakte. Der blev under hele arbejdet ført kontrol med, at der ikke skyllede rødder bort, og at der ikke ved hævingen med taljen skete rodbrud, hvorved vertikale rødder gik tabt. *Figurerne 2 og 3* viser lidt af, hvordan arbejdet foregik.

Efter at rodsystemerne var taget op, blev der indmålt en del lange, horisontale rødder. Desuden blev rodsystemerne fotograferede i forskellige vinkler.

Derefter blev de enkelte rodsystemer parteret og sammenhørende rodlængder og roddiametre (skydelære) målt. Ved opmålingen var fremgangsmåden lidt forskellig fra træ til træ:

1) *Egen*: Med nulpunkt i stødfladens centrum indlagdes et nordret, horisontalt koordinatsystem. Rødderne fra de enkelte kvadranter opmålte for sig. Stødkernen blev ligeledes delt efter koordinataksene ved snit på en rundsav. Stykket fra hver kvadrant opdelt yderligere ved et antal snit, så delstykkerne kunne gå i et xylometer og rumfanget bestemmes.

2) *Bøgen*: Opmålingen er sket efter samme retningslinier som ved egen. Derudover er der med centrum i støddet indlagt cirkler med radier 1, 2, 3 og 4 m. Ved opmålingen er rødderne fra de enkelte kvadranter og cirkelsnit holdt adskilte.

3) *Rødgranen*: Ved rødgranen har fremgangsmåden været den samme som ved bøgen (cirkler med radier 1, 2 og 3 m). Fraktioneringen er dog her gået et skridt videre, idet horisontale rødder og vertikale rødder er holdt adskilte.

Det fremgår, at målemetoden er blevet mere gradueret i den orden, træerne er anført. Dette må ses som et udtryk for, at det



Fig. 2. Detaille fra arbejdet med opskylning af egens rodsystem.
Fig. 2. Detail showing the root system of oak being washed out.



Fig. 3. Detaille fra arbejdet med opskylning af egens rodsystem.
Fig. 3. Detail showing the root system of oak being washed out.

i den anførte orden har været praktisk overkommeligt at foretage en sådan graduering.

Ved målearbejdet er kun de groveste rødder målt på stedet. Hovedmassen af rødder med diametre mindre end 3 mm er taget med hjem i laboratoriet. Her er alle rødder før målingen omhyggeligt blødt op i vand tilsat lidt natriumalkylsulfat for at sikre, at et eventuelt tørresvind er ophævet. Alle rødder med diametre større end 1,5 mm er målt direkte. Sorteringen i diameterklasser for diametre mindre end 2,5 mm er sket i et hakmål, større rødders diametre er målt med skydelære.

Af rødder med diametre mellem 0 og 1,5 mm er for hver træart målt et antal repræsentative portioner, hver på ca. 2 m. Efter tørring er vægten bestemt, således at rodlængden i hovedportionen har kunnet bestemmes ved vejning.

Ved alle målingerne er antallet af rodsammenvoksninger noteret.

IV. OVERSIGT OVER JORDBUNDSANALYSERNE.

a. Profilbeskrivelserne.

Som nævnt er der gravet to jordbundshuller på hver af prøvefladerne. Der er lavet en fuldstændig profilbeskrivelse i hvert af hullerne. Da profilerne på den enkelte prøveflade ligner hinanden, gengives her kun beskrivelsen fra et hul på hver flade. Afvigelser mellem hullerne er noteret.

Profilbeskrivelsen for *egeprøvefladen* d. 11/10-1955, hul 1:

- 0— 30 cm: Tørvelag, som er muldagtigt. Tykkelsen varierer fra 25—35 cm.
- 30— 37 cm: Leret glei-horisont. Præget af humus.
- 37— 42 cm: Leret glei-horisont.
- 42— 50 cm: Glei-horisont, som er mere leret end den overliggende.
- 50— 68 cm: Fast lejret finsand med glei.
- 68—112 cm: Lagdelt horisont, sand veksler med lerede lag. I dybden bliver sandkomponenten overvejende. Horisontale rødder iagttages i de lerede lag. Glei-fænomenernes karakter veksler med lagenes tekstur.
- 112—124 cm: Grovere sandlag med sten.
- 124—170 cm?: Blåler.

Tørvelagets tykkelse veksler, det samme gælder de beskrevne sandlags tykkelser og indbyrdes placering. Horisontbeskrivelsen viser i overensstemmelse med grundvandmålingerne (se side 245), at højeste grundvandstand ligger ca. 30 cm under jordoverfladen, medens dybeste grundvandstand ligger under undersøgelsesdybden.

Profilbeskrivelse på *bøgeprøvefladen* d. 10/10-1955, hul 1:

- 0 — 0,5 cm: Løv.
- 0,5— 2,5 cm: Muld.
- 2,5—15 cm: Humøs, muldet brunjord med svag gleidannelse nederst.
- 15 —80 cm: Ret fast horisont med gleifænomener. Horisonten er leret med enkelte sandlinser (største udstrækning 15 cm).
Horisonten er på undersøgelsesdagen ret tør og noget leralagtig.
- 80 —160 cm?: Gleihorisont, som på undersøgelsesdagen virker løsere lejret, antagelig fordi den er fugtigere.

Grundvandet er nået i begge huller. Profilen viser, at højeste grundvandstand er ca. 15 cm under jordoverfladen (jfr. grundvandmålingerne side 245). Jordbunden er her meget mere ensartet end på egeprøvefladen.

Profilbeskrivelse på *rødgranprøvefladen* d. 11/10-1955, hul 1:

- 0— 1 cm: Mosser og nåle.
- 1— 16 cm: Brunjord, øverst muldet.
- 16— 50 cm: Ret fast leret horisont med gleifænomener. Horisonten er på undersøgelsesdagen tør og noget leralagtig.
- 50—160 cm?: Gleihorisont, der på undersøgelsesdagen virker løsere lejret, antagelig fordi den er fugtigere.

Grundvandet er nået i begge huller. Højeste grundvandstand synes at ligge 16 cm under jordoverfladen (jfr. grundvandmålingerne side 246). Jordbunden er ensartet og ligner meget bøgeprøvefladens.

Vurderet på basis af profilbeskrivelserne ser det ud til, at jordbundsforholdene på *bøgeprøvefladen* og på *rødgranprøvefladen* i høj grad er sammenlignelige. Egeprøvefladen har der-

imod afvigende jordbundsforhold. Det gælder såvel i de øvre lag (tørv) som i dybden (vekslende tekstur). Grundvandforholdene er derimod efter profilerne at dømme ens på de tre prøveflader.

Endelig må det understreges, som det også vil fremgå af de følgende analyseresultater, at jordbundsforholdene er ensartede på bølgeprøvefladen og rødgranprøvefladen, medens de veksler over korte afstande på egeprøvefladen.

b. Kornstørrelsesforhold.

Resultaterne af de mekaniske analyser er samlet i *tabel 1*. Talmaterialet viser det samme som profilbeskrivelserne.

Bølgeprøvefladen og rødgranprøvefladen ligger på samme jordart, en moræneaflejring med et lerindhold på ca. 21 %. Variationerne er små såvel horisontalt (indenfor den enkelte flade og fladerne imellem) som vertikalt. De to flader er derfor i høj grad sammenlignelige.

Egeprøvefladen afviger derimod stærkt fra de to andre prøveflader. Dels har den gennemgående et mindre lerindhold, dels fremgår det med al tydelighed, at jorden er lagdelt med stærkt vekslende lerindhold i de forskellige lag. Tallene fra de to jordbundshuller illustrerer ligeledes, at der er ret store variationer indenfor små afstande.

c. Kemiske analyser.

I *tabel 1* er p_H -værdierne anført. Disse skal ikke kommenteres udover, at de viser, at kalkgrænsen på alle tre prøveflader ligger forholdsvis højt. Ved kalkgrænsen forstås den dybde i profilen, hvor jorden bruser, når der tilsættes 10 % saltsyre. Over grænsen er jorden udvasket for calciumkarbonat, under denne er der stadig frit calciumkarbonat, som kan bruse med syren.

Når jorden indeholder calciumkarbonat, vil p_H -værdierne i vandig opslæmning være større end 7,0. Kalkgrænsen ligger på alle prøvefladerne i ca. 50 cm's dybde. Dybden svinger noget, men ikke mere, end at de tre flader på dette punkt har ensartede og sammenlignelige jordbundsforhold.

I *tabel 1* er endvidere opført analyseværdierne T_K , F_H og F_t . Disse lader sig imidlertid ikke sammenligne direkte uden en rumvægtskorrektion, fordi analyserne er på vægtbasis. Ved hjælp af

Tabel 1.

Træ- art	Hul	Dybde cm	pH		Kalium- tal TK	Fosfor- syretal Ft	Fosfat- tal FH
			H ₂ O	KCl			
<i>Tree species</i>	<i>Pit</i>	<i>Depth cm</i>			<i>Potassium figure</i>	<i>Phos- phate- figure</i>	<i>Phos- phate- figure</i>
Eg	1	0—5	4.33	3.52	50.0	7.5	31.0
		15	3.90	2.90	13.9	3.6	11.0
		33	5.20	4.11	1.4	2.7	2.6
		45	6.09	4.76	2.9	7.0	4.8
		60	7.95	6.40	3.6	7.4	3.4
		80	7.85	6.50	3.8	7.5	4.5
		100	7.77	6.52	2.4	7.1	2.7
		117	7.78	6.46	2.7	7.5	1.9
		150	7.90	6.82	6.2	8.2	4.5
		2	0—5	3.86	3.02	29.8	6.3
	15		4.01	2.86	12.0	2.6	8.0
	35		5.24	4.00	2.4	2.9	1.6
	43		5.93	4.45	3.8	4.8	1.5
	55		7.75	6.13	3.8	8.3	4.0
	75		7.90	6.52	3.6	7.5	4.0
	88		8.20	6.51	4.1	7.6	3.4
	105	8.00	6.76	6.0	8.7	5.4	
150	7.76	6.68	6.9	8.6	3.4		
Bøg	1	0—5	4.57	3.67	7.5	2.4	4.0
		10	6.34	5.40	2.4	2.4	2.7
		20	6.50	5.28	3.4	1.7	0.7
		35	6.77	5.61	3.8	2.4	0.4
		60	6.81	5.49	4.3	6.3	1.6
		110	7.74	6.60	4.9	8.3	4.0
		150	7.74	6.72	5.7	7.9	3.7
	2	0—5	6.61	5.33	4.0	2.2	4.0
		10	5.74	4.59	2.4	1.5	2.7
		20	6.50	5.50	3.0	1.2	0.7
		30	6.86	5.51	3.8	0.6	0.4
		50	6.90	5.65	4.7	1.7	0.4
		90	7.60	6.45	4.8	8.0	4.4
		150	7.90	6.70	4.5	7.6	4.0
		Rødgran	1	0—5	4.94	4.01	5.7
10	5.34			4.13	2.0	1.7	2.3
20	5.84			4.57	2.0	1.6	1.0
35	6.89			5.29	5.0	3.0	1.0
60	7.70			5.57	5.3	6.8	4.3
80	7.49			5.62	5.7	7.0	4.3
140	7.83			5.80	5.7	10.7	7.8
2	0—5		4.18	3.20	6.4	1.7	4.6
	10		4.41	3.40	2.2	1.1	1.7
	25		5.66	3.86	4.1	0.9	1.0
	50		7.30	5.75	5.7	7.2	4.3
	80		8.29	6.72	4.1	8.3	4.6
	100		8.50	6.90	4.3	8.3	5.0
	150		8.25	6.90	4.3	8.6	5.3

Table 1.

Mekanisk analyse % korn i klassen				15 atm- værdi vægt	Rum- vægt	Rumvægtskorrigeret		
0-2 μ	2-20 μ	20-200 μ	200- 2000 μ	%	g/100 cm ³	Kalium- tal TK	Fosfor- syretal Fi	Fosfat- tal FH
Mechanical analysis per cent grains in the class				15 atm. value weight per centage	Volume weight	Volume-weight corrected		
						Potassium figure	Phos- phate- figure	Phos- phate- figure
—	—	—	—	110.0	19.0	9.5	1.4	5.9
—	—	—	—	95.0	22.5	3.2	0.8	2.5
13.0	55.0	29.0	3	34.2	77	1.1	2.1	2.0
24.0	16.5	58.5	1	10.0	167	4.8	13.2	8.0
15.2	12.0	61.8	11	5.4	166	6.0	12.3	5.6
14.9	12.3	62.8	10	5.4	166	6.3	12.5	7.5
7.1	4.4	66.5	22	2.3	169	4.1	12.0	4.6
6.7	4.3	29.0	60	2.8	177	4.8	13.3	3.4
22.0	22.8	36.2	19	7.3	192	11.9	15.7	8.6
—	—	—	—	95.8	17.7	5.3	1.1	3.8
—	—	—	—	82.2	22.3	2.7	0.6	1.8
13.4	34.6	41.0	11	17.5	100	2.4	2.9	1.6
20.8	28.2	48.0	3	10.7	167	6.3	8.0	2.5
14.0	11.5	69.5	5	5.4	168	6.4	13.9	6.7
12.1	10.9	66.0	11	4.3	174	6.3	13.1	7.0
15.0	19.0	32.0	34	6.6	186	7.6	14.1	6.3
21.3	26.7	32.0	20	7.7	185	11.1	16.1	10.0
20.8	23.7	36.5	19	6.4	183	12.6	15.7	6.2
23.6	17.9	38.5	20	22.3	81.0	6.1	1.9	3.2
22.5	16.0	41.5	20	15.9	111	2.6	2.6	3.0
22.9	15.6	40.0	21.5	9.3	155	5.3	2.6	1.1
23.6	16.4	40.0	20	9.0	181	6.9	4.3	0.7
23.0	17.5	39.5	20	8.4	183	7.9	11.5	2.9
21.8	19.2	39.0	20	11.0	180	8.8	14.9	7.2
21.7	21.8	41.5	15	6.7	188	10.7	14.9	7.0
23.8	18.0	43.2	15	25.3	69.0	2.8	1.5	2.8
23.5	18.3	43.2	15	15.2	109	2.6	1.6	2.9
19.5	18.0	44.5	18	9.7	154	4.6	1.8	1.1
25.0	17.2	42.8	15	9.2	167	6.3	1.0	0.7
20.7	14.8	43.5	21	7.0	175	8.2	3.0	0.7
19.5	20.0	42.5	18	8.4	176	8.4	14.1	7.7
21.2	20.9	39.9	18	7.3	178	8.0	13.5	7.1
20.1	18.4	44.5	17	20.6	84.0	4.8	1.7	3.4
22.0	14.2	44.8	19	16.0	106	2.1	1.8	2.4
21.5	13.7	43.8	21	9.5	162	3.2	2.6	1.6
22.5	18.3	38.2	21	9.9	170	8.5	5.1	1.7
21.0	17.0	41.0	21	8.5	179	9.5	12.2	7.7
21.5	17.0	43.5	18	8.2	181	10.3	12.7	7.3
21.0	16.5	41.5	21	7.9	177	10.1	18.9	13.8
9.0	25.6	45.4	20	10.7	67.0	4.3	1.1	3.1
17.8	18.2	44.0	20	9.0	121	2.7	1.3	2.1
22.4	15.7	42.9	19	9.0	169	6.9	1.5	1.7
24.2	18.8	39.0	18	9.6	173	9.9	12.5	7.4
21.0	21.8	38.2	19	7.2	184	7.5	15.3	8.5
21.8	22.2	36.0	20	7.2	182	7.8	15.1	9.1
19.6	20.4	42.0	18	6.8	186	8.0	16.0	9.9

de enkelte prøvers rumvægt, som også er anført i tabellen, er beregnet korrigerede T_K , F_H og F_t .

Materialet er taget med i sin helhed, fordi det illustrerer, hvor vanskeligt det er at vurdere jordbundsanalyser, når disse ikke er foretaget på rumfangsbasis. Både når det drejer sig om jordvand og om plantenæringsstoffer gælder det, at planterne med deres rodsystem står i forbindelse med et vist rumfang jord, og at det er indholdet af vand eller næringsstoffer pr. rumfangsenhed, der er af betydning for væksten på en lokalitet.

Tallene viser, at rumvægtskorrektionen er vigtigst i de øverste ca. 40 cm af jorden. Rumvægtskorrektionen er desto vigtigere, jo mere humøs jorden er. I tørvelaget på egeprøvefladen med den ringe rumvægt finder man således meget høje kalital og højt fosforindhold, uden at der er tale om særlig høje værdier pr. rumfangsenhed.

For at lette oversigten er de rumvægtskorrigerede analyseværdier afbildet i *figur 4*. Der er nogen variation mellem de enkelte huller på hver af prøvefladerne. I det store og hele ser det dog ud til, at de tre prøveflader er sammenlignelige. Indenfor undersøgelsesdybden indeholder de seks profiler meget nær samme mængde af de to næringsstoffer, som analyseværdierne er udtryk for.

Der er grund til yderligere at fremhæve et par ting, som fremgår af det indsamlede materiale.

Ser man på T_K -værdierne (*figur 4* og *tabel 1*) viser de, at de øverste 5 cm af jorden indeholder større kaliummængder end lagene lige under. Derefter stiger kaliumindholdet igen, og det største kaliumindhold findes i de dybeste lag. Forholdet er behandlet i en tidligere beretning (*Holstener-Jørgensen 1958*). Også i det her fremlagte materiale ser det ud til, som tidligere hævdet, at træerne (*uanset træart, medens der tidligere kun har været tale om bøg*) optager den største kaliummængde i dybden fra 10 til ca. 40 cm. I større dybde synes der at være en balancetilstand svarende til, at der årligt udvaskes lige så meget kalium, som der frigøres ved forvitring. I de øverste 5 cm er kaliumindholdet noget større, antagelig som følge af, at der årligt tilføres store kaliummængder med nedfaldent løv. Kaliummængden er dog mindre end i underjorden.

Det ses videre, at ganske tilsvarende forhold gør sig gældende for jordens indhold af fosfor. Der må dog i denne forbindelse

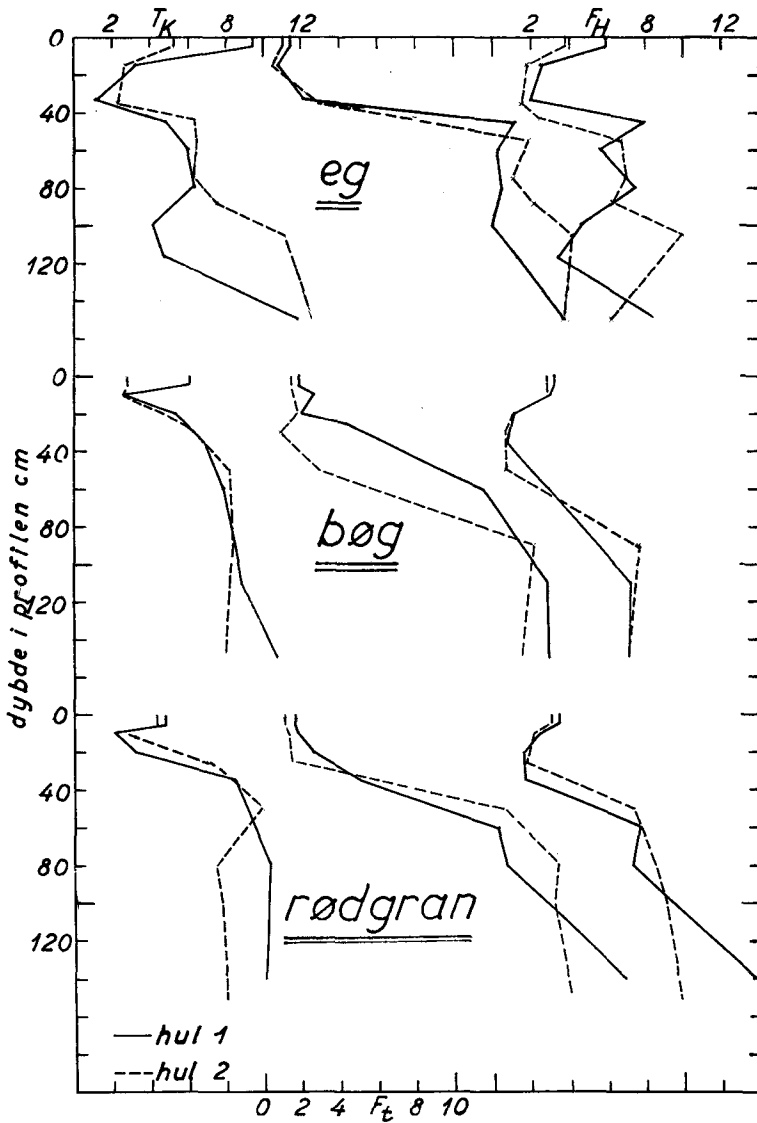


Fig. 4. Grafisk afbildning af de rumvægtskorrigerede T_K , F_t og F_H -værdier i forskellig dybde på de tre prøveflader. De to jordbundshuller på hver prøveflade er afbildet med hver sin signatur. Skalaen for F_t findes nederst på figuren.

Fig. 4. Diagram of the volume-weight corrected potassium figure (T_K), plant-accessible phosphorus (F_t and F_H) at varying depths on the three sample plots. The two soil pits on each sample plot have been given separate signs. The scale for F_t is at the bottom of the figure.

(eg = oak; bøg = beech; rødgran = Norway spruce;
 T_K = potassium figure; F_t and F_H = phosphorus figure).

erindres om, at såvel F_t som F_H ikke fortæller noget om den organisk bundne fosforfraktion.

Endelig skal der lige peges på en ret væsentlig forskel mellem de to analysemetoder til bestemmelse af jordens fosforindhold. F_t er bestemt ved ekstraktion med stærk svovlsyre. Det medfører, at kalciumfosfater, der anses for at være vanskeligt tilgængelige for planterne, opløses og bestemmes med. I modsætning hertil er F_H bestemt ved ionbytning, hvorved der ikke sker nogen opløsning af fældede fosfater i reaktionstiden, (*Møller og Mogensen 1951*). Forskellen manifesterer sig i det fremlagte materiale ved, at F_t stiger stærkt, så snart man i profilen passerer kalkgrænsen. F_H stiger mindre stærkt.

Det fremførte skal ikke tages som forsvar for den ene eller anden af de to metoder. Resultaterne viser blot, at der er en forskel mellem dem. Forskellen betinges af metodernes forskelligt hårde indgreb, men begge metoderne er kun tilnærmelser til de processer i naturen, som de søger at efterligne.

Sammenfattende må det siges, at så vidt man efter de gennemførte analyser kan skønne, er de tre prøvefladers jordbund sammenlignelige i kemisk henseende.

d. Poreforhold.

Resultaterne af analyserne vedrørende poreforholdene på de tre prøveflader er afbildet i *figurerne 5 a og b, 6 a og b og 7 a og b*.

Det fremgår direkte ved betragtning af de tre figurpar, at indenfor den enkelte prøveflade er forholdene nogenlunde ensartede. Den største afvigelse forekommer mellem figurparret for egeprøvefladen. Endvidere ses det, at medens figurerne for bølge-

T a b e l 2. Oversigt over plantetilgængelige vandkapaciteter i mm til 70 cm's dybde for de 6 undersøgte jordbundsprofiler.

Table 2. Survey of plant-accessible water capacities in mm to 70 cm depth for the 6 soil profiles investigated.

	Eg <i>Oak</i>	Bøg <i>Beech</i>	Rødgran <i>Norway Spruce</i>
Vandkapacitet hul 1 <i>Water Capacity, pit 1</i>	204	100	105
” ” 2	156	100	115
Middel <i>Mean</i>	180	100	110

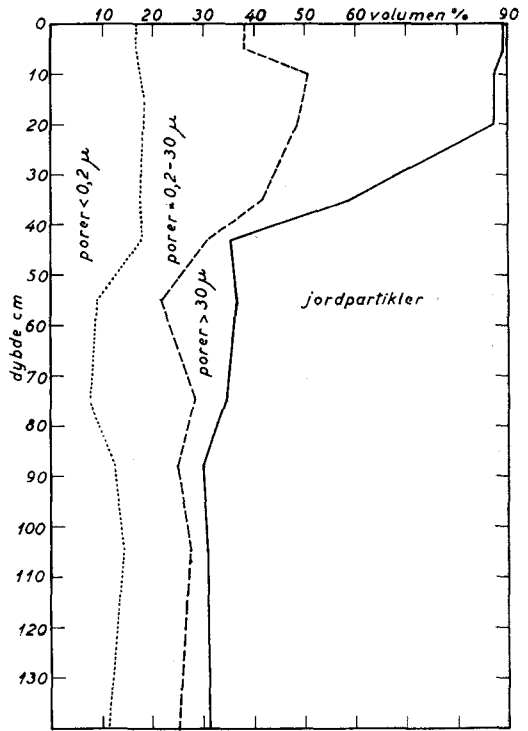
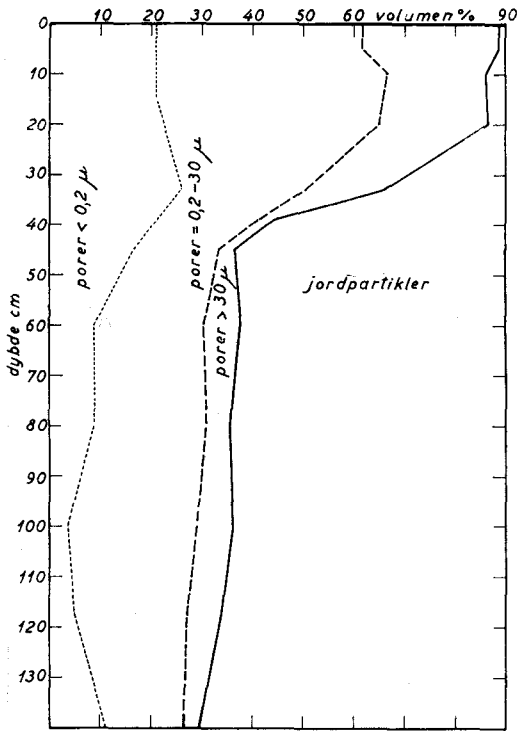


Fig. 5 a og b. Poreforhold i hul 1 og hul 2 på egeprøvefladen.
 Fig. 5 a & b. Pore size distribution in pit 1 and pit 2 on the oak sample plot.

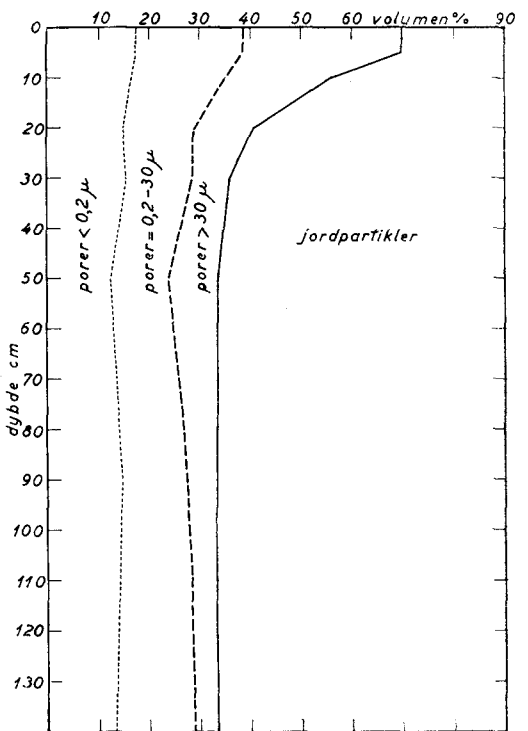
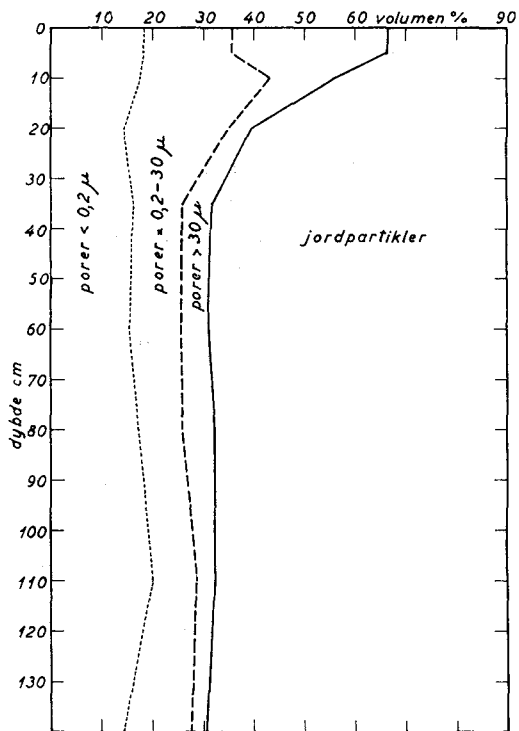


Fig. 6 a og b. Poreforhold i hul 1 og hul 2 på bøgeprøvefladen.
 Fig. 6 a & b. Pore size distribution in pit 1 and pit 2 on the beech sample plot.

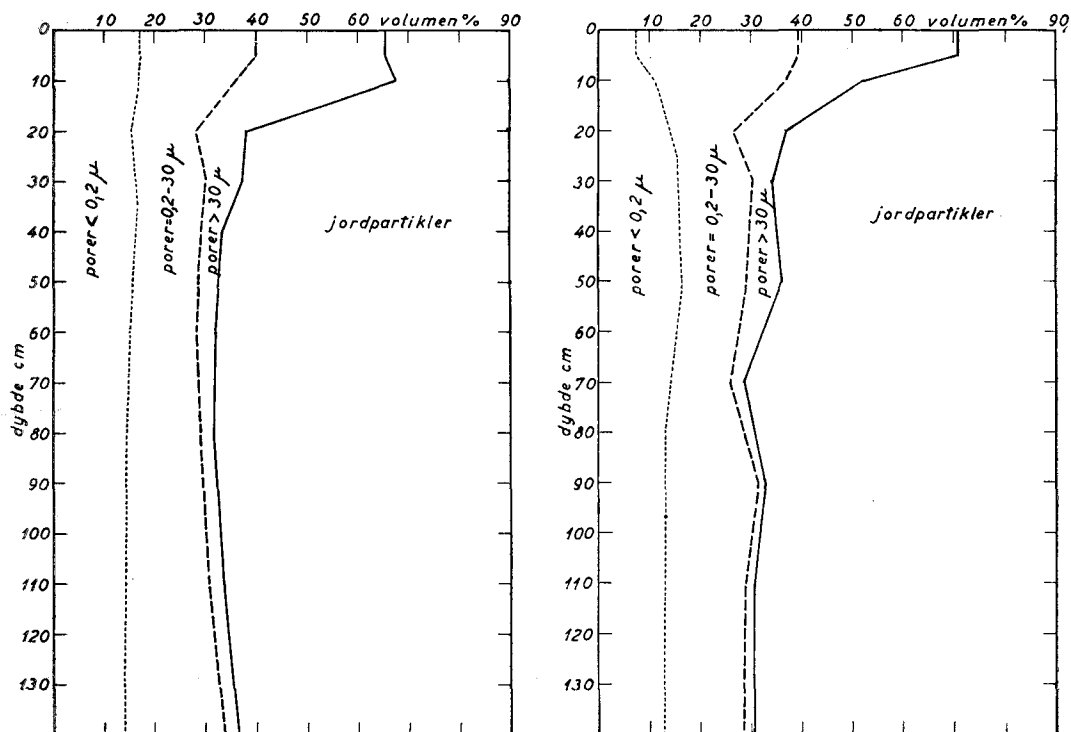


Fig. 7 a og b. Poreforhold i hul 1 og hul 2 på rødgranprøvefladen.
 Fig. 7 a & b. Pore size distribution in pit 1 and pit 2 on the Norway spruce sample plot.

prøvefladen og rødgranprøvefladen er meget nær ens, afviger egeprøvefladens figurpar ganske væsentligt fra disse.

Sammenligningen kan udvides ved, at man sammenligner de plantetilgængelige vandkapaciteter for de seks profiler (vedr. definition, beregning m. m. se *Holstener-Jørgensen* 1958). I *tabel 2* (side 240) er samlet en oversigt over de beregnede vandkapaciteter til 70 cm's dybde.

Tallene i tabellen viser følgende:

- 1) Den fundne variation er på bøge- og rødgranprøvefladerne af en sådan størrelsesorden, at den falder inden for den tilfældige analysefejl (jfr. *Holstener-Jørgensen* 1958). For hver af disse prøveflader får man følgelig bekræftet, at jordbunden er ensartet.

- 2) Variationen på egeprøvefladen er derimod så stor, at den ikke kan forklares ved analysefejl. Tallene bekræfter, at jordbunden er varierende på denne prøveflade.
- 3) Den tilsyneladende forskel mellem bøge- og rødgranprøvefladen er ikke statistisk sikker. Efter det foreliggende materiale må det antages, at de to prøveflader uden videre kan sammenlignes.
- 4) Egeprøvefladen har derimod en større vandkapacitet end de to andre prøveflader. Det bekræftes altså, at egeprøvefladen ikke ubetinget kan sammenlignes med disse (jfr. profilbeskrivelserne og resultatet af de mekaniske analyser).
- 5) Endelig må det fremhæves, selv om det falder lidt uden for beretningens rammer, at intet tyder på, at rødgranen i det foreliggende tilfælde har „ødelagt“ den tidligere løvtræbunds gode struktur. Noget sådant er navnlig blevet fremhævet fra mellemeuropæisk side (se f. eks. *Krauss og medarbejdere* 1939). I det foreliggende tilfælde er vandkapaciteten i det mindste ikke formindsket i forhold til vandkapaciteten under bøg.

e. Sammenfatning vedrørende jordbundsforholdene.

I det foregående er resultaterne af nogle jordbundsanalyser gennemgået. De viser, når man kort skal rekapitulere dem:

1) Bøgeprøvefladen og rødgranprøvefladen må antages fuldt ud at kunne sammenlignes.

2) Egeprøvefladens jordbund synes ikke at afvige synderligt fra de to andre prøvefladers jordbund i kemisk henseende. De fysiske jordbunds faktorer på egeprøvefladen er derimod temmelig meget forskellige fra de to andre prøvefladers.

3) Det er bemærkelsesværdigt, at med samme mekaniske sammensætning (fast jordbunds faktor) er der ikke i det foreliggende tilfælde nogen forskel at spore i de variable jordbunds faktorer mellem bøgeprøvefladen og rødgranprøvefladen. Jordens indhold af plantetilgængelige næringsstoffer (*figur 4 og tabel 1*) er meget nær ens, og poreforholdene er måske lidt bedre på rødgranprøvefladen (*figur 6 og 7 og tabel 2*). Det må antages, at der er tale om 1. generation rødgran på løvtræbund, og efter mellemeuropæiske publikationer (*Krauss og medarbejdere* 1939)

kunne man vente, at de variable jordbundsfaktorer hurtigt ville forringes under rødgran. På den givne lokalitet og med den givne skovbehandling synes det ikke at være tilfældet.

En understregning af dette synes så meget mere påkrævet, som *Oksbjerg* (1957) har fremsat den formodning, at man kunne vente en ugunstig udvikling under rødgran på svære, basiske jorder.

4) Endelig er der gjort opmærksom på, at træerne synes at optage hovedparten af de nødvendige kaliumioner og fosforforbindelser i de øverste ca. 40 cm (*figur 4*). Det er tidligere påvist ret sikkert for kalium og bøg (*Holstener-Jørgensen* 1958). Her fremgår det, at det ligeledes synes at gælde for eg og rødgran og også for fosforforbindelser.

V. GRUNDVANDMÅLINGERNE.

a. Resultaternes tydning.

Grundvandstanden er registreret periodisk på de tre prøveflader. I *figurerne 8, 9 og 10* er resultaterne af disse målinger afbildet. Abscissen er årets måneder, og disse er med hensigt forskudt sådan, at et måleår begynder den 1. april og slutter i det påfølgende år den 31. marts. Herved får man en bedre oversigt over sammenhængen mellem træernes vandforbrug og grundvandsvingningerne.

Hver af *figurerne* viser svingningerne i en brønd på hver flade i de tre år, arealerne er fulgt med målinger. På *figur 10* er indlagt den daglige nedbør i månederne april-december i året 1956. Nedbørssøjlerne kan sammenholdes med den stiplede grundvandskurve for året 1956/57. *Figuren* viser følgende:

Grundvandets højeste „stabile“ stand synes på *rødgranfladen* at ligge omtrent i 50 cm's dybde. Ganske vist har alle kurverne flere toppe over denne dybde fra midten af december til henimod udgangen af marts. På denne årstid er vegetationens vandforbrug ringe, og alligevel falder vandstanden ret hurtigt til ca. 50 cm's dybde. Registrerede vandstande over de anførte 50 cm kommer efter en stor nedbør eller en tøjvsperiode efter et snefald, og det påfølgende fald må antages at hænge sammen med en sideværts bortdræning til det eksisterende grøftesystem. Mulighederne for en sådan sideværts vandbevægelse i lagene

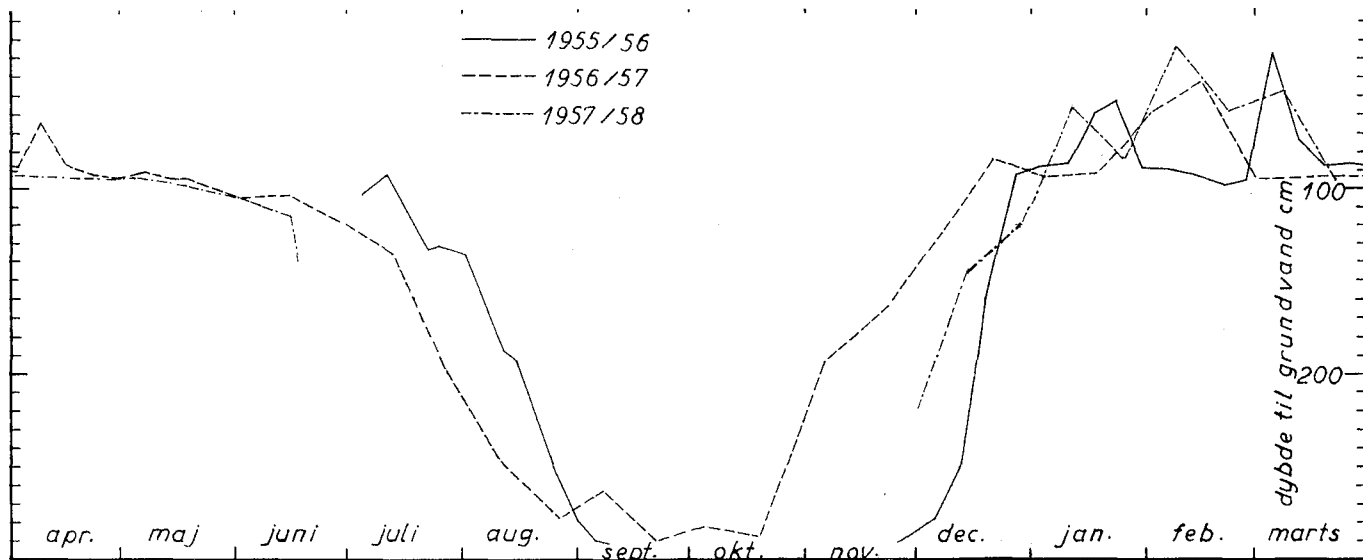


Fig. 8. Grundvandsvingningerne på egeprøvefladen.
 Fig. 8. Water table fluctuations on the oak sample plot.

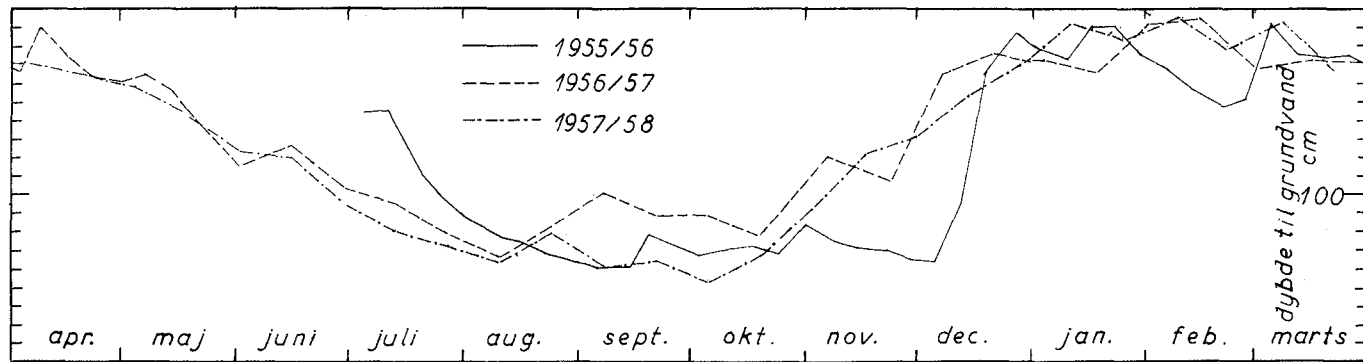


Fig. 9. Grundvandsvingninger på bøgeprøvefladen.
 Fig. 9. Water table fluctuations on the beech sample plot.
 (dybde til grundvand = depth to ground water).

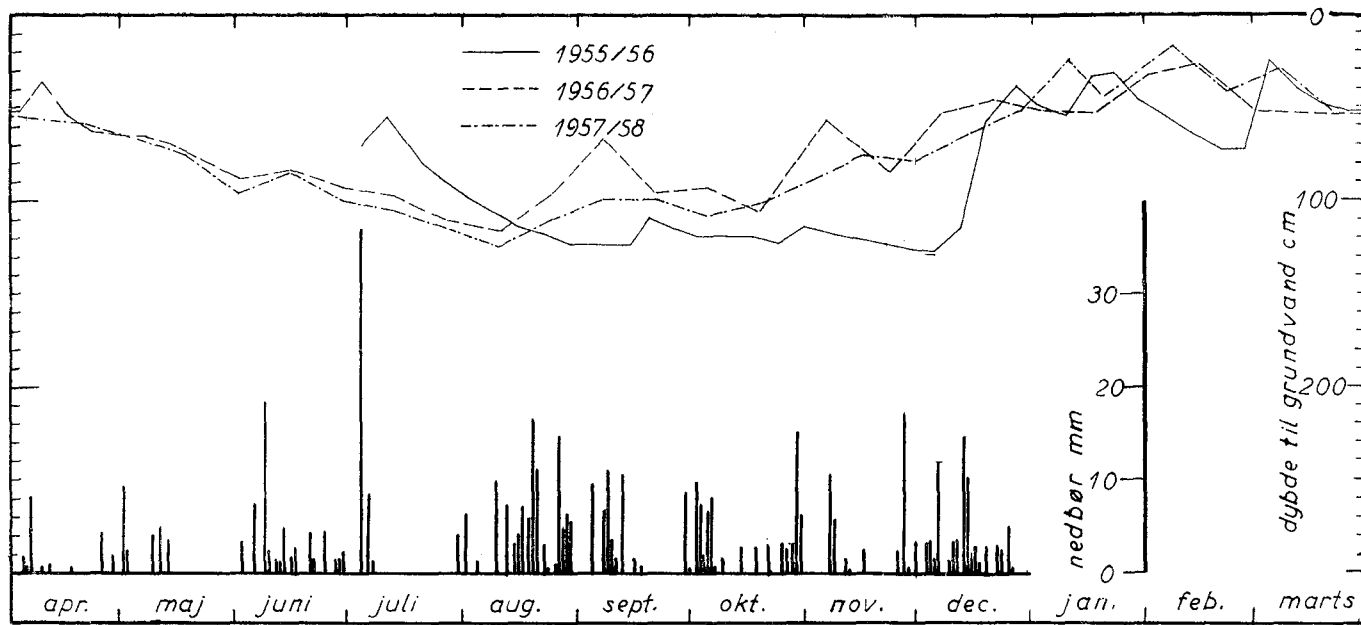


Fig. 10. Grundvandsvingningerne på rødgranprøvefladen. Den daglige nedbør i en del af året 1956 er indlagt som søjler.

Fig. 10. Water table fluctuations on the Norway spruce sample plot. The daily rainfall in part of the year 1956 is marked in as columns. (dybde til grundvand = depth to ground water; nedbør = rainfall).

over 50 cm's dybde er gode, idet man her har et stort antal grove porer (se *figur 7 a og b*). Erfaringerne fra endnu upublicerede afvandingsforsøg på en lignende jordbund understøtter denne antagelse. Lagene, der ligger dybere end 50 cm, har derimod en struktur, som ikke muliggør en sådan sideværts vandbevægelse. I de omtalte afvandingsforsøg har det vist sig, at grundvandet, når det befinder sig i lag med en struktur som den fundne (*figur 7 a og b*), er helt upåvirket af grøfter, når disse ligger i afstande større end 5 m fra iagttagelsespunktet. Med andre ord: Forskelle i grundvandspejlhøjder vil i praksis ikke udlignes i en jord, som den, der her er tale om, hvis udjævningen skal ske over større afstande end ca. 5 m.

Det indebærer, at højden af grundvandspejlet, når det ligger under 50 cm's dybde, alene er udtryk for balancen mellem træernes vandforbrug og den nedbør, som falder på arealet. Der sker da også det, at når rødgranerne for alvor begynder at bruge vand, synker grundvandet successivt, indtil det når en vis dybde, og her holder det sig nogenlunde konstant gennem den egentlige vækstperiode.

Denne maksimale dybde er 125 cm under jordoverfladen.

Den maksimale dybde er bestemt af følgende faktorer:

- 1) Den dybde, rødgranernes rødder når ned til.
- 2) Den kapilære hævningshøjde i jorden.
- 3) Den kapillære hævningshastighed i jorden.

Rodundersøgelserne (se det følgende) viste, at rødgranen i middel har rødder til 91 cm's dybde (største målte roddeybde 102 cm). I korthed gælder følgende relationer vedrørende kapillær hævning fra et grundvandspejl: Den mulige stighøjde er på lerjorder stor, men stighastigheden er lille. I sandjorder er stighastigheden stor og stighøjden forholdsvis lille (se iøvrigt nærmere hos *Holstener-Jørgensen 1958*).

I praksis synes resultatanten af stighøjde og stighastighed på den jordbund, som der her er tale om, at være af størrelsesordenen 20—30 cm. Når grundvandet ligger dybere end disse 20—30 cm under de dybeste rodspidser, vil træerne ikke mere kunne udnytte grundvandet.

På bølgeprøvefladen er forholdet det samme, idet største grundvandybde her er 140 cm under jordoverfladen og roddeybden ca. 115 cm.

På egeprøvefladen er iagttaget rødder til 175 cm's dybde. Grundvandspejlet har i 1955 og 1957 ligget under boreddybden (290 cm), og i 1956 i en dybde af 290 cm. Forholdene er altså her anderledes, hvilket vel delvis kan forklares ved teksturforskellen.

Figur 10 viser, at grundvandkurven ikke er retliniet gennem resten af vækstperioden, når den største dybde er nået. Der er stadige svingninger, og disses størrelse varierer fra år til år. Også dette forhold har en nærliggende forklaring.

Træerne kan udnytte betydelige vandmængder i rodrummet. Efter *figur 7* og *tabel 2* har jorden under rødgranen i de øverste 70 cm en plantetilgængelig vandkapacitet på 110 mm. Vandkapaciteten i hele rodrummet (ca. 100 cm) er lidt større. Ser man bort fra grundvandspejlets tilstedeværelse for ikke at komplicere sagen for meget, kan man forestille sig, at der sker følgende:

I en periode uden nedbør tømmer træerne efterhånden rodrummet for dets plantetilgængelige vandmængder. Når der påny kommer regn, fyldes jorden oven fra op til vandkapaciteten. Der vil ikke ske nedsivning til grundvandet, hvis hele nedbøren forbruges til at fylde jorden over grundvandet til vandkapaciteten.*)

Efter en længere tørkeperiode vil rodrummet være næsten udtømt for vand, og kun en meget stor nedbør vil give en grundvandstigning. Af det ovenfor anførte følger også, at når træerne er ophørt med at transpirere, vil nedbøren påny mætte jorden op til markkapaciteten, og grundvandet vil stige.

Holder vi os stadig til *figur 10*, ser vi, at målematerialet fuldt ud bekræfter det fremførte. Det skal især fremhæves, at der er en sammenhæng mellem nedbør og registrerede grundvandstigninger. Store stigninger er således registreret d. 7/9, d. 6/11 og 7/12 1956 og mindre stigninger d. 15/6, d. 5/10 og d. 21/12 1956, i alle de nævnte tilfælde i forbindelse med en nedbørsperiode.

Henriksen (1958) har påvist, at grundvandet stiger i Tranum plantage i en sitkagranbevoksning, når nedbøren i en enkelt nedbørsperiode overstiger ca. 10 mm. Der er her tale om en sandjord med ringe vandkapacitet. Det vil sige, at der kun er ringe vandmængder at optage for træerne, og selv efter længere tørkeperio-

*) Det bør nævnes, at nyere undersøgelser af *Tamm* og *Troedsson* (1957) antyder, at denne forenkede fremstilling teoretisk ikke er fuldt bæredygtig. Under visse betingelser synes vandet at følge grove porer (regnormegange f. eks.) uden at mætte den omliggende jord til markkapaciteten. I praksis har dette dog mindre betydning.

der skal en nedbør kun erstatte små, forbrugte jordvandmængder, før der siver vand til grundvandet.

Da vandkapaciteten på rødgranprøvefladen i Ganneskov er meget større end i Tranum, skal der også meget større vandmængder til at erstatte forbrugt jordvand. Den 4. juli 1956 faldt 37 mm og den 6.-7. juli yderligere 10 mm regn, som ikke har givet en grundvandstigning ved målingen d. 13. juli, selv om der faldt temmelig meget nedbør i juni (se *fig. 10*).

Passarge (1954) har publiceret målinger, som viser tilsvarende variationer.

b. Relationen til bevoksningernes aktuelle vandforbrug.

Det er ovenfor anført, at når grundvandstanden på rødgranprøvefladen ligger mere end 50 cm under jordoverfladen, så er vandspejlshøjden betinget af balancen mellem bevoksningens vandforbrug og den nedbør, som kommer.

Denne antagelse støttes af erfaringerne fra målinger på lignende lokaliteter.

Hvis det er rigtigt, har man på lokaliteter af denne type mulighed for at bestemme bevoksningens *aktuelle vandforbrug*.

I korthed skal det nævnes, at man i nyere tid overvejende betragter planternes vandforbrug fra en fysisk synsvinkel. Der skal ikke her gøres rede for disse ideers udvikling og fremlægges dokumentation for deres relevans. En kortfattet fremstilling af sagen er givet af *Aslyng* (1957). Afgrødernes vandforbrug er efter disse ideer en funktion af indstråling, luftens mætningsdeficit, vindhastighed m. m., og det er muligt at opstille empiriske formler baseret på de nævnte data, som regionalt stemmer godt overens med resultaterne af eksperimenter. Ved hjælp af disse formler kan man finde det *potentielle vandforbrug*, det vil sige det vandforbrug en afgrøde har, hvis man ved vanding sørger for, at planterne hele tiden har optimale vandforsyningsforhold. Hvis man ikke kunstigt sørger for optimale vandforsyningsmuligheder, kan en afgrøde i kortere eller længere perioder være underforsynet med vand og lukke sine spalteaåbninger. Under vore klimabetingelser vil afgrøderne så godt som hvert år tidvis være underforsynet med vand på alle lokaliteter. Dette viser sig blandt andet ved, at vore skovtræers tilvækst er stærkt nedbørsafhængig (*Holmgård* 1955), og ved at bøgens tilvækst er stærkt korreleret med jordens plantetilgængelige vandkapacitet (*Holste-*

ner-Jørgensen 1958). Afgrødernes forbrug i de enkelte år kaldes det *aktuelle vandforbrug*, og det er normalt mindre end det *potentielle*.

I det foreliggende tilfælde er der gode muligheder for at bestemme de aktuelle vandforbrug i de tre undersøgte bevoksninger for de to år (1956 og 1957), hvor grundvandmålingerne er fuldstændige. Før vækstperioden, eller rettere forbrugsperioden, begynder, er jorden vandmættet, og grundvandet har sin højeste, „stabile“ stand. I løbet af forbrugsperioden tømmes jorden delvis for vand i rodrummet, og nedbøren forbruges ligeledes helt. Når forbrugsperioden slutter, vil jordmagasinet påny fyldes. Fyldningen er færdig, når grundvandspejlet i det sene efterår påny når sin højeste „stabile“ stand. Det bør måske gentages, at jordmagasinet fyldes ovenfra, det vil sige, at grundvandet først stiger, når de overliggende jordlag er fyldt til deres naturlige vandkapacitet.

Det må herefter antages, at den forbrugte vandmængde (aktuelt vandforbrug) netop er den nedbørsmængde, som er faldet i perioden fra dagen for sidste registrerede højeste „stabile“ vandstand i foråret til dagen for første registrerede højeste „stabile“ vandstand efter vækstperioden.

Den højeste „stabile“ vandstand er efter figur 8, 9 og 10 følgende på de tre prøveflader:

Eg:	95	cm	under	jordoverfladen
Bøg:	30	„	„	„
Rødgran:	50	„	„	„

Resultaterne af sådanne beregninger er samlet i tabel 3. Lad det med det samme være sagt, at det er et lille materiale. Det er lidt hasard at forsøge at kommentere det. Kommentarerne må derfor tages med alle mulige forbehold, og løbende iagttagelser på flere lokaliteter må vise, om de foreløbige konklusioner virkelige er holdbare.

Først *tabellens* angivelser af „forbrugsperioden“. Ordet sættes i citationstegn, fordi kun forårsdatoerne er rigtige. De angiver, hvornår grundvandspejlet påvirkes af et forbrug. Slutdatoerne er derimod forsinkede, idet de angiver, hvornår jordmagasinet er fyldt op, efter at forbruget i nogen tid er ophørt.

For egebevoksningen fremgår det, at der sker noget i begge år lige efter den 20. maj. Det stemmer i og for sig meget godt

Tabel 3. Oversigt over beregnet vandforbrug på de tre prøveflader.
 Table 3. Survey of computed evapotranspiration on the three sample plots.

Forbrugt vandmængde i mm nedbør						
Eg	Periode	Bøg	Periode	Rødgran	Periode	
<i>Evapotranspiration in mm rainfall</i>						
<i>Oak</i>	<i>Period</i>	<i>Beech</i>	<i>Period</i>	<i>Norway spruce</i>	<i>Period</i>	
1955	?	?—26/12	?	?—20/12	?	?—22/12
1956	455	25/5—16/12	481	19/4—14/12	471	15/4—13/12
1957	398	21/5— 4/1	417	10/4—28/12	469	28/2—28/12
Middel <i>Mean</i>	427	(22/5—26/12)	449	(15/4—21/12)	470	(23/3—21/12)

med, hvad man ville vente. På det tidspunkt vil egeskoven formentlig normalt begynde at bruge vand, idet det falder sammen med løvbruddet. *Petersen* (1919) angiver, at egen i Landbohøjskoleens have gennemsnitlig har været fuldt udsprunget d. 29. maj i en 20-årig iagttagelsesperiode.

På den anden side vil bundfloraen og undervæksten være begyndt at bruge vand længe før denne dato. Nu må det imidlertid erindres, at højeste „stabile“ grundvandstand ligger ret dybt (95 cm) på denne prøveflade. Det er ensbetydende med, at de øverste jordlag kan tømmes for tilgængeligt vand, uden at grundvandspejlet sænkes. Det er netop i disse øvre lag, at bundflora og undervækst har hovedparten af deres rødder.

Egene, og i denne forbindelse først og fremmest overetage-træerne, har dybtgående rodsystemer og vil påvirke grundvandspejlet, så snart de begynder at bruge vand. Datoen for forbrugsperiodens begyndelse må altså sættes i forbindelse med overetagens vandforbrug. Det medfører, at man for denne prøveflade må antage, at plantesamfundets (overetage + underetage + bundflora) vandforbrug er noget større end de beregnede værdier.

Det kan kun blive gæsteri, hvis man vil forsøge at skønne, hvor meget større det er. Man vil måske ikke ramme meget ved siden af, hvis man skønner, at vandforbrugene på egeprøvefladen og på bølgeprøvefladen er meget nær lige store, idet floraudviklingen er ligetidig.

Vandforbruget på bølgeprøvefladen ligger sikrere. Her er den højeste stabile grundvandstand i 30 cm's dybde, og det må

antages, at bundvegetationens vandforbrug påvirker grundvandspejlet. Forbrugsperiodens begyndelse (midten af april) falder godt sammen med det tidspunkt, hvor bundfloraen normalt begynder at røre på sig. *Petersen* (1919) angiver, at bøgen i Landbohøjskolens have i gennemsnit (20 år) er fuldt udsprunget d. 15. maj. *Figur 9* viser, at grundvandet falder stærkere i maj end i april, det vil sige på det tidspunkt, hvor bøgen begynder at påvirke vandspejlet. Alt i alt må det antages, at for bøgen er de beregnede aktuelle vandforbrug meget nær de sande aktuelle vandforbrug i undersøgelsesårene.

På rødgranprøvefladen viser det sig, i modsætning til, hvad tilfældet er for bøg og eg, at datoen for forbrugsperiodens begyndelse er meget forskellig i de to undersøgelsesår. I 1956 er forbruget begyndt d. 15/4, i 1957 derimod d. 28/2. Nu må det imidlertid erindres, at rødgranen som stedsegrøn er i stand til at transpirere i milde senvinterperioder. Netop senvinteren 1957 var usædvanlig mild, og man måtte vente, som tilfældet altså var, at rødgranen begyndte transpirationen meget tidligt. Hermed understøttes hypotesen om, at grundvandsvingningerne afspejler en bevoksningens aktuelle vandforbrug.

De iagttagelser, som er gjort på de tre prøveflader antyder altså:

- 1) Bevoksninger af eg og bøg med deres undervækst og bundflora synes at have lige store aktuelle vandforbrug på samme lokalitet. Forbruget har været af størrelsesordenen 450 mm.
- 2) Rødgranbevoksninger har, da de er stedsegrønne, langtidigt et noget større aktuelt vandforbrug. I undersøgelsesperioden har det på denne lokalitet været på 470 mm årligt.

Det er ovenfor nævnt, at man i nyere tid med held har opstillet formler baseret på klimadata til beregning af den „potentielle“ fordampning fra bevokset jord. Det er ligeledes nævnt, at sådanne formler har vist sig at have en god, regional gyldighed. *Aslyng* (1954) har benyttet en engelsk formel (*Penman*) til beregning af den potentielle fordampning i Danmark i et klimatisk normalår. I *figur 11* er *Aslyngs* beregnede værdier oplagt grafisk.

Kun en enkelt ting i figuren skal forklares nærmere. I november, december og januar er den beregnede fordampning negativ. *Aslyng* forklarer dette med, at der ikke i den anvendte formel er taget hensyn til opvarmningen af jorden (binding af indstrå-

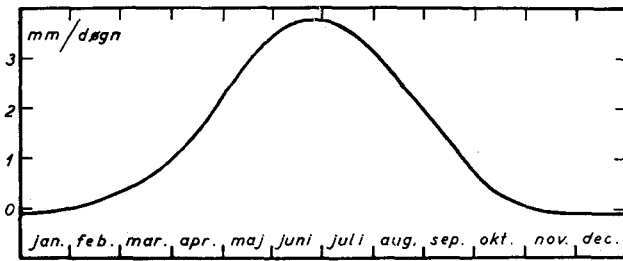


Fig. 11. Potentiel fordampning fra bevokset jord i Danmark (efter Aslyng 1954).

Fig. 11. Potential evaporation from soil with growing vegetation in Denmark (after Aslyng 1954).
(døgn = days).

lingsenergi) i sommermånederne og afkølingen i vintermånederne. Ved indregning af denne størrelse bliver den samlede fordampning ca. 30 mm mindre i sommerhalvåret og ca. 30 mm større i vinterhalvåret. Herved elimineres de negative vinterverdier. Samtidig peger *Aslyng* dog på, at der i vinterhalvåret kan ske en betydelig fortætning ved jordoverfladen, som ikke registreres ved nedbørsmålinger. Her kan for skovbruget tilføjes, at skovtræbevoksninger „filtrerer“ tåge, så man under en bevoksning kan registrere en betydelig nedbør på tågedage, hvor meteorologerne ikke registrerer nedbør. Netop de omtalte måneder har her i landet en stor tågehyppighed.

Figur 11 kan bidrage til en nærmere forståelse af *figur 10*. Den store nedbør de første dage i juli (47 mm), som fulgte efter temmelig mange nedbørsdage i juni (ialt 60 mm), gav, som nævnt, ingen grundvandstigning. I resten af juli faldt der ingen nedbør udover 4,2 mm den 30. Nedbørsperioden fra den 9. august og frem (69 mm) giver næsten 20 cm grundvandstigning fra d. 10. august til d. 24. august. Der er nogen indikation for, at det store daglige vandforbrug i juni-juli (*figur 11* viser ca. 3,7 mm daglig), medfører, at der i disse måneder skal en større nedbør til, før noget siver til grundvandet, end i august, hvor det daglige vandforbrug er mindre (*figur 11* viser ca. 2,5 mm daglig). Langtidige iagttagelser af grundvandsvingninger vil sikkert kunne bidrage til en afprøvning af, om de formler, der er grundlaget for *figur 11*, er anvendelige, når der er tale om skovtræbevoksninger.

Hvis det viser sig, at der er en vej frem ved sådanne ret simple „fysiske metoder“, vil meget være nået, idet man så vil kunne

komme uden om de hidtil anvendte metoder, hvor man har betjent sig af transpirationsmålinger, målinger af interception m. m. De materialer, som er indsamlet ad denne vej, er meget vanskelige at bearbejde objektivt, og såvel målearbejdet som arbejdet med bearbejdningen er særdeles tidsrøvende.

Lad mig til slut fremhæve, at fra alle tre prøveflader er der hvert af undersøgelsesårene en afstrømningsperiode, nemlig fra jorden i december påny er vandfyldt, og til forbruget begynder i foråret. Selv rødgranen bruger ikke hele årsnedbøren (jfr. *Holstener-Jørgensen* 1955 og 1956).

c. Træarternes forskellige påvirkning af grundvandstanden.

Det er foran fremhævet, at bølgeprøvefladen og rødgranprøvefladen er beliggende på samme jordbund, såvidt det kan bedømmes ud fra de gennemførte analyser. På egeprøvefladen er jordbunden derimod af en anden beskaffenhed. Undersøgelsen kan altså give nogenlunde sammenlignelige oplysninger om bøggs og rødgrans påvirkning af grundvandstanden, medens resultaterne af målingerne på egeprøvefladen står alene.

Tabel 4. Oversigt over grundvandsvingningerne på de tre prøveflader.

Table 4. Survey of water-table fluctuations on the three sample plots.

	Eg <i>Oak</i>	Bøg <i>Beech</i>	Rødgran <i>Norway spruce</i>
Højeste „stabile“ grundvandstand, cm <i>Highest water table, cm</i>	95	30	50
Dybste grundvandstand, <i>Lowest water table, cm</i>	ca. 300	145	125
Differens, <i>Difference, cm</i>	205	115	75
Konstateret roddebyde, <i>Ascertained root depth, cm</i>	175	115	91

Tabel 4 giver en oversigt over de største grundvandsvingninger og største roddebyde på de tre arealer. Dybeste grundvandstand på egeprøvefladen er baseret på skøn, idet boret, som benyttes ved etableringen af målebrøndene, kun rækker 290 cm ned, og vandstanden har i 1955 og 1957 ligget under boredybden. I 1956 har vandstanden kunnet måles hele året. På bølge- og

rødgranprøvefladen har dybeste vandstand i 1955 og 1957 ligget 5—10 cm dybere end i 1956, og det er derfor skønnet, at det samme har været tilfældet på egeprøvefladen.

Det er allerede i forrige afsnit omtalt, at der er god overensstemmelse mellem dybeste vandstand og roddeybden på bøge- og rødgranprøvefladen. Af *tabel 4* ser man, at differensen mellem højeste og laveste vandstand er større for bøg end for rødgran. Da disse to prøveflader er sammenlignelige, er det berettiget at konkludere, at *bøg er i stand til at sænke grundvandspejlet dybere i vækstperioden end rødgran.*

Hermed viser grundvandmålingerne samtidig, at *bøgen på grundvandpåvirkede jorder har et rodsystem, der søger noget dybere ned end rødgranen* (jfr. også de konstaterede roddeybder i *tabel 4*).

Forskellen mellem de to træarter er af størrelsesordenen 20—40 cm.

På egeprøvefladen er grundvandsvingningerne ca. 200 cm, og det peger i retning af, at denne træart endnu bedre tåler højtstående grundvand. Dette er en almindelig praktisk erfaring, men den kan ikke bekræftes fuldt ud af det foreliggende materiale, fordi jordbundsforskellighederne er for store.

Største konstaterede roddeybde er 175 cm, hvilket ligeledes stemmer med almindelig praktisk erfaring om, at træarten har et dyberegående rodsystem end bøg og rødgran. Også i denne forbindelse nedsætter jordbundsforskellene imidlertid iagttagelsens beviskraft.

Endelig skal det fremhæves, at der er en meget væsentlig forskel i den hastighed, hvormed grundvandet sænkes på egeprøvefladen i forhold til de to andre prøveflader. *Figur 9* og *10* viser, at grundvandkurverne på bøgeprøvefladen og på rødgranprøvefladen ligner hinanden meget. Grundvandsænkningen sker nogenlunde jævnt i løbet af 3—4 måneder.

På egeprøvefladen (*figur 8*) sker den væsentligste del af sænkningen derimod meget hurtigt. I 1955 sker hovedsænkningen således fra 11/7 til 5/9 (6 uger), i 1956 fra 13/7 til 26/8 (6 uger) og i 1957 fra 15/6 til 29/6 (2 uger). I gennemsnit bliver det 5 uger, men iagttagelsen fra 1957 bør måske i denne forbindelse tillægges større vægt.

Denne betydeligt større sækningshastighed kan selvfølgelig være jordbundsbedinget. Den peger dog også i retning af, at egens

dybtgående rødder har større „effektivitet“ end bøgens og rødgranens. Det kan skyldes, at den absolutte rodintensitet i dybe horisonter er større i egebevoksninger end i bevoksninger af de to andre træarter. Det kan imidlertid også skyldes, at de dybtgående rødder hos eg er mere virksomme end de dybtgående rødder hos bøg og rødgran.

d. Lokalteternes sammenlignelighed.

En af hovedbetingelserne for, at de tre prøveflader er sammenlignelige, er, at højeste grundvandstand er den samme på alle tre prøveflader. Ved højeste grundvandstand forstås ligesom ovenfor højeste „stabile“ grundvandstand. I *figurerne 8, 9 og 10* er grundvandkurverne lagt op for een af målebrøndene på hver prøveflade. Højeste stabile grundvandstand er imidlertid ikke den samme for alle tre målebrønde på den enkelte prøveflade (terrænforskelle). Den størrelse, som interesserer ved en vurdering af prøvefladernes sammenlignelighed, er den gennemsnitlige højeste stabile grundvandstand for hver af prøvefladerne. For de tre målebrønde på de enkelte prøveflader er værdierne følgende:

Egeprøvefladen:	99 cm, 87 cm og 95 cm ∞ i middel 94 cm ± 3,5 cm
Bøgeprøvefladen:	77 „ , 30 „ , 48 „ ∞ „ , 52 „ ± 11 „
Rødgranprøvefladen:	60 „ , 50 „ , 50 „ ∞ „ , 53 „ ± 3,3 „

Sammenligning af grundvandkurverne for tre huller på samme prøveflade viser, at kurverne er parallelle med en højdeforskel, som svarer helt til forskellen mellem de tre hullers højeste stabile grundvandstand. Det er altså tilladeligt at danne middeltal, som det er gjort ovenfor.

Der er en signifikant forskel mellem egeprøvefladen og hver af de to andre prøveflader, medens forskellen mellem disse ikke er signifikant. Den påviste forskel er i nøje overensstemmelse med den forskel i poreforholdene, som er vist i *figurerne 5 a og b, 6 a og b og 7 a og b*.

Også med hensyn til grundvandforholdene adskiller egeprøvefladen sig fra de to andre prøveflader.

VI. RESULTATERNE AF ROD- OG TRÆMÅLING.

a. Træmålingen.

Figurerne 12, 13 og 14 viser bevoksningskort for hver af de tre prøveflader. Kroneprojektionerne for prøvetræerne er indtegnet helt, og der er desuden indtegnet så meget af kroneprojektionerne for nabotræerne, at man får en forestilling om, hvordan prøvetræernes stilling har været i bevoksningen.

Tabel 5 giver en oversigt over træmålingsresultaterne. Fra denne tabel skal fremhæves, at de udvalgte prøvetræers brysthøjdediametre ligger meget nær op ad diameteren i middelstammegrundfladen for bevoksningernes overetage.

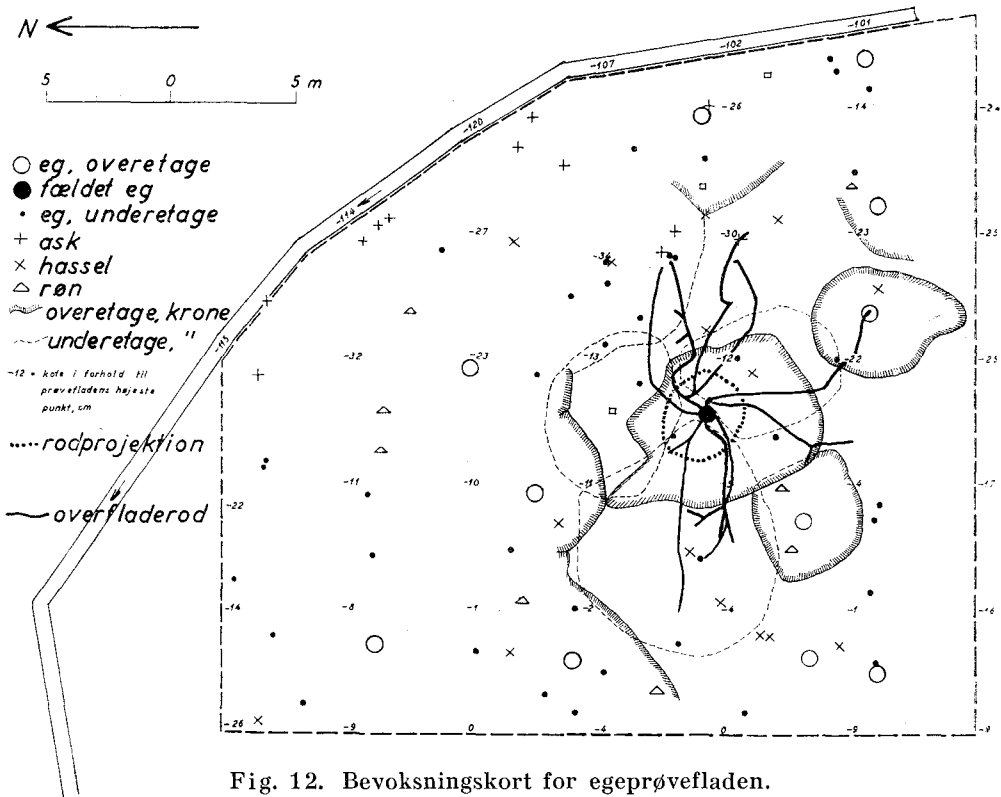


Fig. 12. Bevoksningskort for egeprøvefladen.

Fig. 12. Stand map of the oak sample plot.

(eg, overetage = overstorey oak; eg, underetage = understorey oak; røn = mountain ash; fældet eg = sampled oak; ask = ash; hassel = hazel; overetage, krone = overstorey crown; underetage, krone = understorey crown; kote = contour line; rodprojektion = root projection; overfladerod = horizontal surface-root.

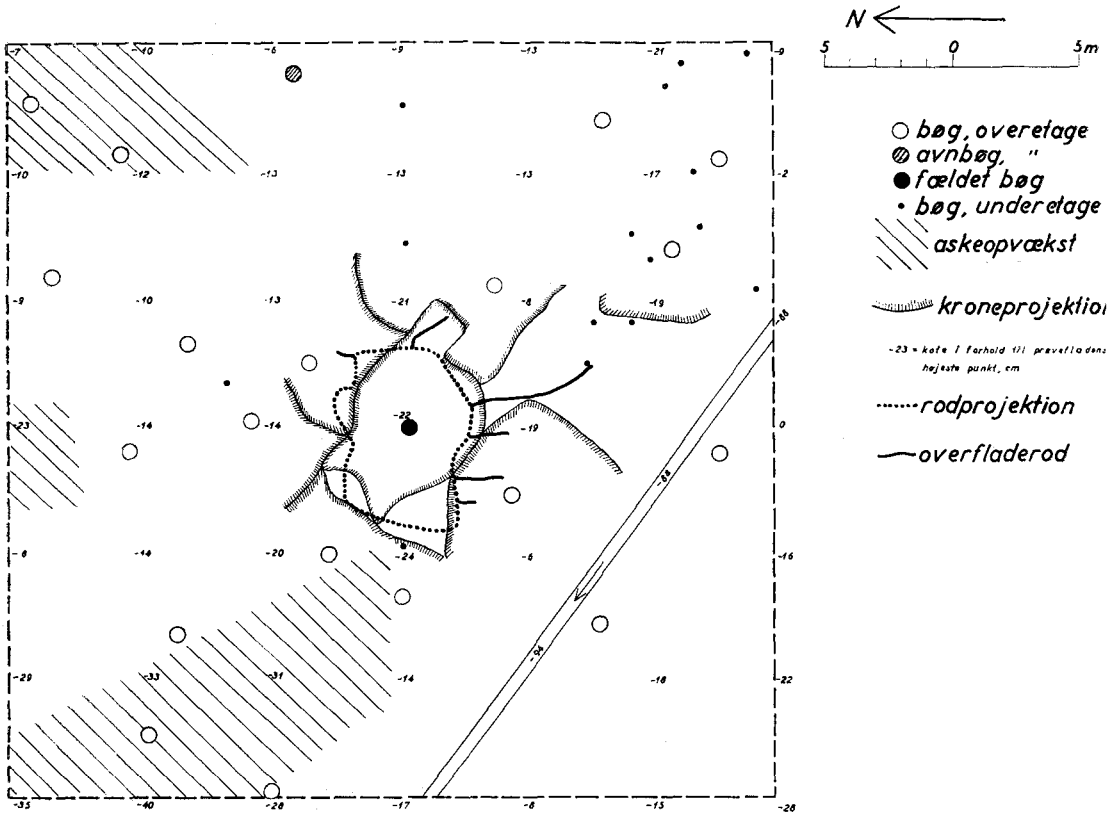


Fig. 13. Bevoksningskort for bøgeprøvefladen.
 Fig. 13. Stand map of the beech sample plot.
 (Signs same as for Fig. 12).

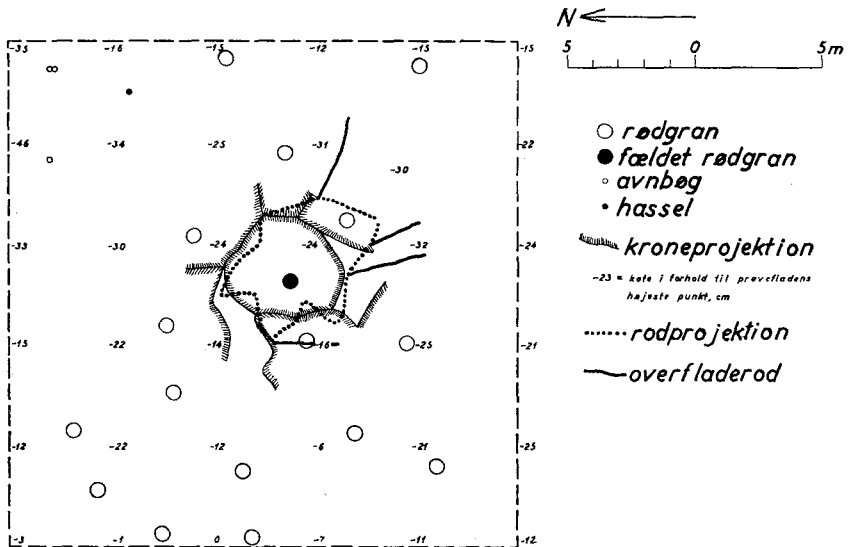


Fig. 14. Bevoksningskort for rødgranprøvefladen.
 Fig. 14. Stand map of the Norway spruce sample plot.
 (Signs same as for Fig. 12).

Tabel 5. Oversigt over træmålingsresultaterne.
Table 5. Survey of tree mensuration results.

Træart	Prøve- flades areal	Stam- tal pr. ha	Diam. i middel stamme grundfl.	Prøve- træs diam.	Middel- højde	Grund- flade pr. ha	Masse pr. ha)	Prøve- træs masse	Alder i stød- højde
<i>Tree species</i>	m ²		cm	cm	m	m ²	m ³	m ³	år
	<i>Sample plot area</i>	<i>Number of stems per hectare</i>	<i>Mean dia- meter</i>	<i>Sample tree dia- meter</i>	<i>Mean height</i>	<i>Basal area per hectare</i>	<i>Volume per hectare)</i>	<i>Sample tree volume</i>	<i>Age at stump height years</i>
Eg, overetage <i>Overstory oak</i>	748	187	31.5	30.9	20.6	14.6	201	1.052	48—49
underet. <i>Understory oak</i>		1309	7.6		8.9	5.9	37		
Σ		1496				20.5	238		
Bøg, overetage <i>Overstory beech</i>	900	233	34.8	35.1	23.8	22.2	316	1.114	63—64
underet. <i>Understory beech</i>		167	5.7		4.5	0.4	1.8		
Σ		400				22.6	318		
Rdgr., overetage <i>Overstory N. spr.</i>	400	425	28.9	27.6	23.1	28.0	332	0.713	44—45
underet. <i>Understory N. spr.</i>		175	7.5		7.2	0.8	3.9		
Σ		600				28.8	336		

*) For løvtræerne totalmasse, for rødgran stammemasse.

*) for hardwood, total volume; for Norway spruce, stem volume.

På det foreliggende grundlag må det være berettiget at antage, at de udvalgte prøvetræer virkelig er repræsentative for bevoksningerne, og der er derfor grund til at antage, at rodsystemerne hos prøvetræerne er repræsentative for bevoksningerne.

b. Almindelig beskrivelse af rodsystemerne.

Med støtte i nogle fotografier, som er taget under markarbejdet, gives der i det følgende en kortfattet beskrivelse af de tre prøvetræers rodsystemer.

1. *Egens rodsystem: Figur 15* viser et snit gennem rodsystemet. Det er et typisk hjerterodsysteem, hvor pæleroden er bevaret som en kraftig centralrod. Billedet viser, at der fra pæleroden udgår nogle kraftige horisontalrødder i ca. 45 cm's dybde (55 cm efter landmålerstokken, men der skal trækkes fra for stødhøjde). Disse rødder har mange sammenvoksninger med de skråt, nedgående rødder af det egentlige hjerterodsysteem. Dannelsen af

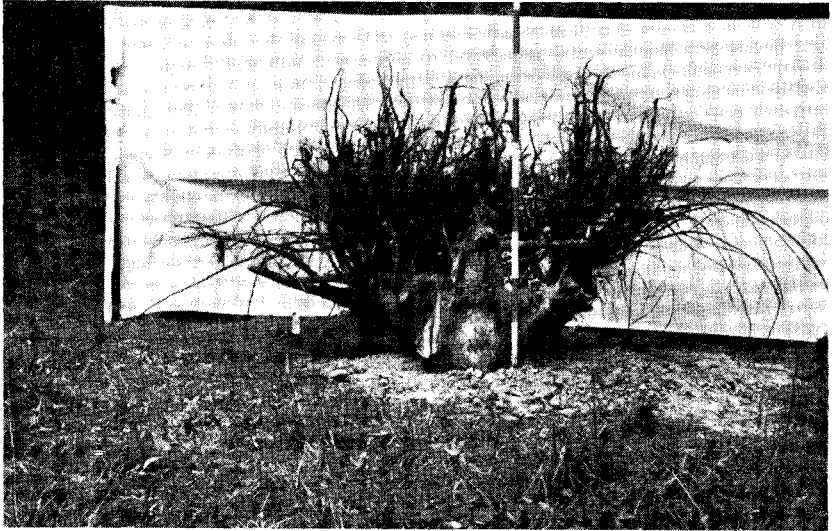


Fig. 15. Egens rodsystem efter at halvdelen af rødderne er fjernet, så man har et vertikalt snit gennem rodsystemets centrale del.

Fig. 15. Root system of oak after half of the roots have been removed so that a vertical section through the central part of the root system is obtained.

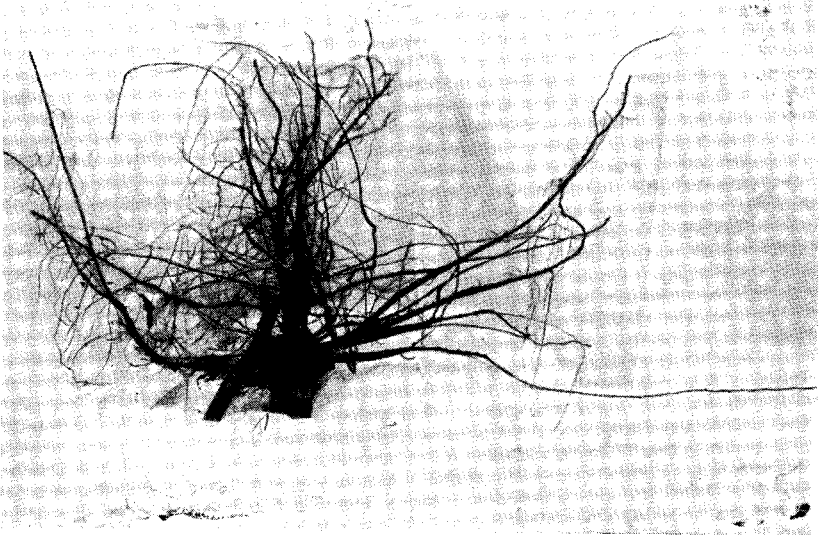


Fig. 16. Undervæksteg, hvis rodsystem er ved at antage hjerterodkarakter. $D_{1,3} = 7,2$ cm.

Fig. 16. Undergrowth oak, the root system of which is about to assume heartroot character. $D_{1,3} = 7.2$ cm.

særligt kraftige siderødder på pæleroden er sket på det sted i profilen, hvor næringsindholdet stiger stærkt (se *figur 4*). Det leder tanken hen på den almindelige iagttagelse, at rødder forgrener sig kraftigt, når de kommer til et næringsrigt område i jorden (*Kramer 1949*).

Det fremgår ikke af fotografiet, at der ved siden af det egentlige hjerterodsystem findes enkelte tynde, overfladiske rødder af anselig længde og med få forgreninger. De stråler nogenlunde retliniet ud fra egen. En enkelt af disse havde en længde på 7,6 m. De vigtigste af disse rødder er indtegnet på *figur 12*.

Egen angives normalt at have et pælerodsystem. Det fremgår af *figur 15*, at denne eg sandsynligvis oprindeligt har haft et sådant system, som med tiden har udviklet sig til et hjerterodsystem. *Hilf (1927)* har beskrevet en lignende udvikling hos bøg.

Under arbejdet med opskylning af egerodsystemet måtte et par af undervækstegene skylles op for at give arbejdsplads. *Figur 16* viser rodsystemet af den største og mest vækstlige af disse ($d_{1,3} = 7,2$ cm). Der er en tendens til opløsning af det oprindelige pælerodsystem i et hjerterodsystem. I *figur 17* er vist rodsystemet af den mindste og mindst vækstlige undervækst-eg ($d_{1,3} = 5,7$ cm). Den har bevaret det oprindelige pælerodsystem.

De to eges rodsystemer giver grundlag for en hypotese om, at „omformningen“ af rodsystemerne i bevoksningen er begyndt på et tidspunkt, da bevoksningens træer havde diametre af størrelsesordenen 5—6 cm. De uvækstlige ege i underetagen har jo antagelig stået helt i stampe fra den dag, da de fra at være medherskende træer gled ned og blev beherskede. De afspejler formentlig bevoksningstilstanden på det tidspunkt, da de selv var medherskende. Efter de bonitetsvise tilvækstoversigter for eg (*Møller 1933*) vil eg af bonitet I have nået en diameter på 5—6 cm ved ca. 20 års alder, og der er altså visse holdepunkter for at antage, at det er i denne alder, at pælerodsystemet transformeres til et hjerterodsystem under de betingelser, som hersker på egeprøvefladen.

2. *Bøgens rodsystem*: *Figur 18* viser bøgens rodsystem. Landmålerstokkene med 20 cm felter muliggør en vurdering af dimensionerne. Bøgen har et meget tæt net af horisontale overfladerødder med en masse overvejende lodrette sænkerødder. De lodrette rødders intensitet aftager fra stødmidte bort fra støddet. Hele rodnettet er sammenvævet af en mængde rodsammenvoks-

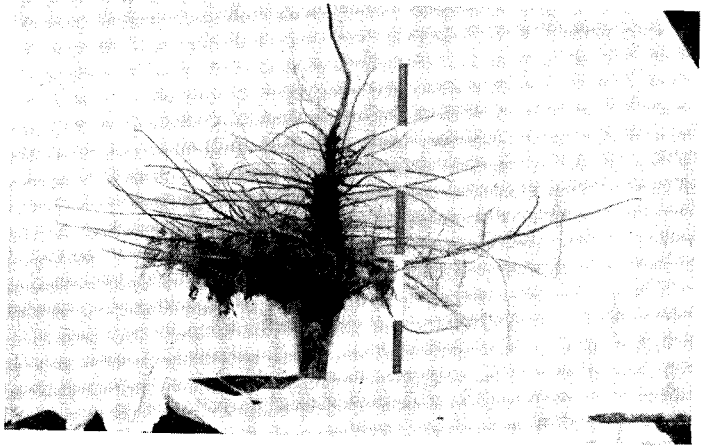


Fig. 17. Undervæksteg, som endnu har bevaret pælerodsystemet.
 $D_{1,3} = 5,7$ cm.

Fig. 17. Undergrowth oak still having retained the tap root system.
 $D_{1,3} = 5.7$ cm.

ninger. Projektionen af rodsystemet på jordoverfladens plan er indtegnet på figur 13.

Et snit gennem bøgens rodsystem viste, at bøgen sandsynligvis oprindelig har haft et hjerterodsystem. Desværre er det ikke lykkedes at tage et teknisk anvendeligt fotografi, som kan de-

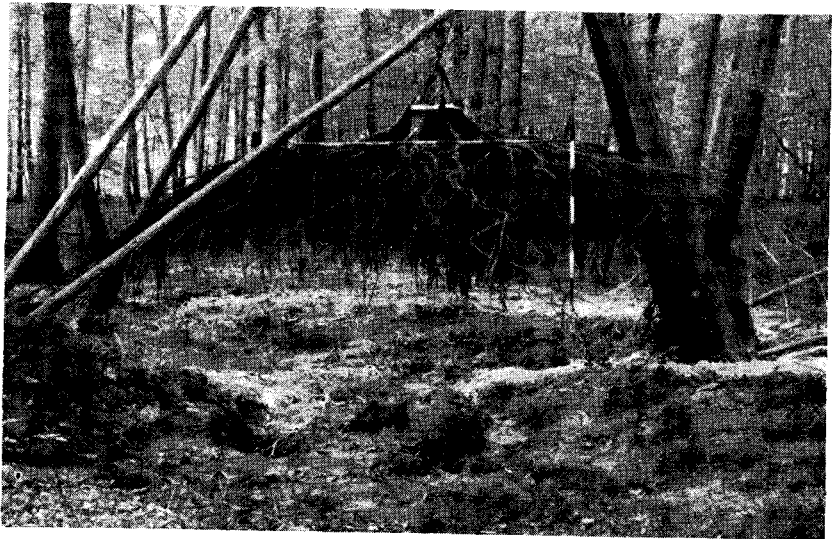


Fig. 18. Bøgens rodsystem set fra syd.

Fig. 18. The root system of beech seen from the south.

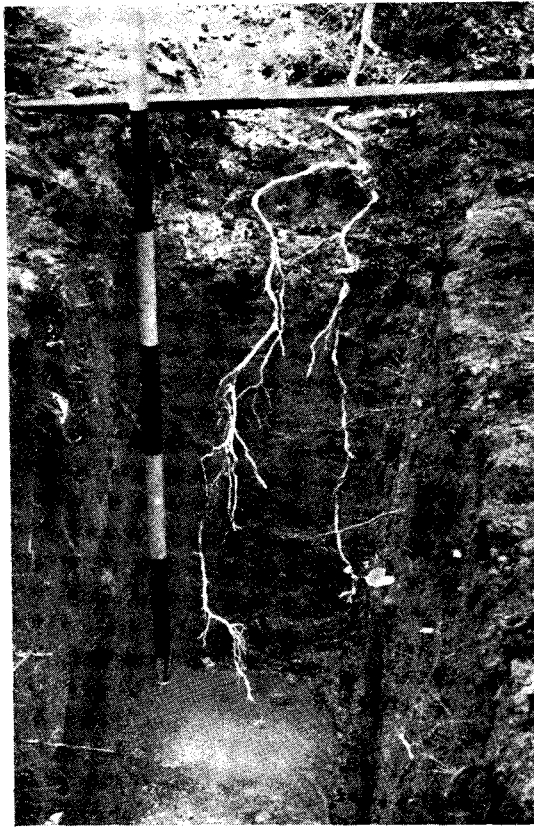


Fig. 19. Horizontal bøgerod, der i en afstand af 4,26 m fra træet søger ned i jorden. Grundvandet skimtes i bunden af hullet. Grundvandsdybde d. 14/6 = 68 cm, røddybde = 131 cm.

Fig. 19. Horizontal beech root which at a distance of 4.26 m from the tree is striking deeper into the ground. The ground water is seen faintly at the bottom of the pit.

Depth to water table on June 14 = 68 cm; root depth = 131 cm.

monstrere det. *Hilf* (1927) har undersøgt rodsystemer af bøg og fundet, at ganske unge bøgeplanter har pælerod, som med tiden opløses i et hjerterodsystem. På lokaliteter som den, der her er undersøgt, udvikler det sig videre til et fladrodsystem med sænkere fra horisontale overfladiske rødder. På Bregentved var det ikke muligt at erkende den oprindelige pælerod.

Endelig skal det bemærkes, at mange af de fladt-strygende rødder et stykke fra træet bøjer om og søger ned i jorden. I *figur 19* er vist et eksempel herpå. Det er en vandret rod, der først



Fig. 20. Rødgranens rodsystem efter at 3 sektioner er fjernet. Der resterer kun den nordøstlige sektion, og af denne er yderligere alle rødder mere end 2 m fra træet fjernet. Pilen peger på en rodsammenvoksning mellem prøvetræet og et nabotræ, som er fældet for en del år siden.

Fig. 20. Root system of Norway spruce after 3 sections have been removed. There remains only the north-eastern section and from this, additionally, all roots more than 2 m from the tree have been removed. The arrow points at a rootgraft between the sample tree and a neighbouring tree which was cut several years ago.

søger ned langt fra træet (4,26 m). Grundvanddybden og roddybden er angivet i figurteksten.

3. *Rødgranens rodsystem:* Figur 20 viser et snit gennem rødgranens rodsystem og figur 21 hele rodsystemet. Landmålerstokkene muliggør skøn over størrelsesforholdene. Rodsystemet er indkroket på figur 14.

Figureerne viser, at det er et fladrodsystem af lignende karakter som bøgens. På figur 20 kan man se den næsten rudimentære taprod midt under støddet. Man ser videre, hvorledes de overfladiske, horisontale rødder sender sænkere ned, der ofte ender i en duskformet rod. Yderst til venstre i billedet ses en levende rodtå fra et forlængst hugget nabotræ. Roden fra dette træ er vokset sammen med prøvetræet. Pilen, som er indtegnet, peger på sammenvoksningensstedet.

For fuldstændighedens skyld skal det understreges, at prøvetræet efter alt at dømme var fuldstændig sundt. Intet snit gen-



Fig. 21. Rødgranens rodsystem før nogen af rødderne er fjernet.
 Fig. 21. The root system of Norway spruce before any roots are removed.

nem støddet i forbindelse med xylometermålingerne viste noget tegn på dybtliggende råd. Også alle rødder viste sig ved rodsnitene at være sunde. Når det fremhæves så stærkt, at træet og dets rodsystem var sundt, er det på baggrund af meddelelser om vanskeligt erkendbare angreb af *Armillaria mellea* (Yde-Ander-
 sen 1958). Prøvetræet repræsenterer sund rødgran på den pågældende lokalitet.

Sammenfatning om de tre rodsystemer.

Bøgens og rødgranens rodsystemer ligner hinanden meget, de er fladrodsystemer, medens egens rodsystem er et hjerterodsystem. Hvis det trods visse jordbundsforskelle er tilladeligt at sammenligne de tre prøveflader, så ser det ud til, at egen reagerer på kårene (grundvandet) ved, at pælerodsystemet med tiden bliver til et hjerterodsystem. Bøgen starter vel med en pælerod (Hilf 1927), men får ret tidligt et hjerterodsystem, der efterhånden antager form af et fladrodsystem. Rødgranen anses for altid at have fladrod. Dens rodsystem er dog ikke mere ekstremt fladt end bøgens under de givne betingelser.

c. Træernes rodlængder.

1. Fejlen på længdebestemmelsen af de tynde rødder.

Det er ovenfor nævnt, at alle rødder med diametre større end 1,5 mm er længdemålt. For rødder med diametre mindre end 1,5 mm er længderne bestemt ved at måle repræsentative portioner. Efter tørring og vejning af såvel disse som af hovedportionen er hovedportionens længde bestemt på basis af vægten pr. længdeenhed.

Fejlen på længdemåling og klupning er formentlig så lille, at den er uden betydning for de enkelte resultater. Den fejl, man indfører ved kun at måle repræsentative portioner af de små rødder, kan imidlertid blive betydelig. Det har derfor været nødvendigt at undersøge dens størrelse og gøre antallet af målte portioner så stort, at der kan dannes et middeltal med en rimelig middelfejl ($< \pm 5\%$).

For *egen* er der lavet ialt 50 bestemmelser. Middeltallet af disse giver en vægt på 0,536 g/m med en middelfejl på $\pm 0,0189$ g (d. v. s. 3,5 %).

For *bøgen* er gennemført 55 bestemmelser, som gav middelværdien $0,490 \pm 0,0109$ g/m ($\pm 2,2\%$).

For *rødgranen* gennemførtes 36 bestemmelser, som gav en middelværdi på $0,334 \pm 0,0146$ g/m ($\pm 4,4\%$).

2. De enkelte træers rodlængde.

I *tabellerne 6, 7 og 8* er resultaterne af længdemålingerne af de enkelte rodsystemer samlet. Af pladshensyn er der her kun skelnet mellem rodlængderne i de enkelte hovedsektioner, og samtidig er flere diametre slået sammen til diameterklasser. I alle tabellerne forekommer en vandret kolonne, der er betegnet „*undefineret*“. Det drejer sig om rødder, som er blevet revet løs under optagningen og ikke bagefter har kunnet henføres til en af sektionerne.

Sidst i hver af tabellerne er en lodret kolonne, som viser forholdet mellem rodlængderne i de enkelte sektioner.

For *egen* (*tabel 6*) viser det sig, at rodlængden er størst i nordøst-sektionen og mindst i nordvest-sektionen. Tænker man sig rodsystemet lagt ind i et retvinklet koordinatsystem med støddet i nul-punktet og akserne pegende mod verdenshjørnerne, ser man, at de største rodmængder findes i modstående kvadranter (nord-øst og syd-vest). Det vil sige, at rodsystemet er noget

Tabel 6. Oversigt over målte rodlængder hos egen.
 Table 6. Survey of measured root lengths of oak.

Diameter- klasse, mm	0- 1.5	1.5- 2.5	2.5- 5.5	5.5- 10.5	10.5- 20.5	20.5- 40.5	>40.5	Sum	Relativ rodlængde i sektion
Diameter class	rodlængde i m Root lengths (m)							Sum	Relative root length
Sektion Section									
Syd-øst South-East	617.8	102.6	83.5	46.8	27.8	13.3	2.19	894.0	81
Syd-vest South-West	668.8	136.4	106.6	53.7	33.8	15.3	3.32	1017.9	92
Nord-øst North-East	766.4	122.6	119.0	48.1	27.0	14.5	2.78	1100.4	100
Nord-vest North-West	600.1	94.9	96.4	57.7	29.2	11.1	2.57	892.0	81
udefineret Undefined	32.9	7.8	1.5	0.7	0.9	0.4	0.16	44.4	
Sum	2686.0	464.3	407.0	207.0	118.7	54.6	11.0	3948.6	

sammentrykt. Denne „sammentrykning“ fremgår ikke særlig klart af rodkageprojektionen, som er indkroket på figur 12.

Bøgens (tabel 7) rodsystem er ligeledes noget „sammentrykt“ med de største rodlængder i sektion syd-øst og sektion nord-vest. I dette tilfælde er det i tydelig overensstemmelse med figur 13, hvor bøgens rodkageprojektion er indkroket.

Tabel 7. Oversigt over målte rodlængder hos bøg.
 Table 7. Survey of measured root lengths of beech.

Diameter- klasse, mm	0- 1.5	1.5- 2.5	2.5- 5.5	5.5- 10.5	10.5- 20.5	20.5- 40.5	>40.5	Sum	Relativ rodlængde i sektion
Diameter class	rodlængde i m Root lengths (m)							Sum	Relative root length
Sektion Section									
Syd-øst South-East	2178.1	358.7	249.3	112.7	52.9	31.1	5.5	2988.3	100
Syd-vest South-West	1945.8	312.1	227.0	89.5	45.2	21.8	3.0	2644.4	89
Nord-øst North-East	1516.3	249.8	245.7	71.4	40.2	16.3	1.8	2141.5	72
Nord-vest North-West	2257.1	351.4	234.4	77.8	52.2	15.3	1.7	2989.9	100
udefineret Undefined	21.2	4.3	4.5	1.7	1.9	1.8	0.6	36.0	
Sum	7918.5	1276.3	960.9	353.1	192.4	86.3	12.6	10800.1	

Tabel 8. Oversigt over målte rodlængder hos rødgranen.
 Table 8. Survey of measured root lengths of Norway spruce.

Diameter- klasse, mm	0- 1.5	1.5- 2.5	2.5- 5.5	5.5- 10.5	10.5- 20.5	20.5- 40.5	>40.5	Sum	Relativ rodlængde i sektion
<i>Diameter class</i>									<i>Relative root length</i>
<i>Sektion Section</i>									
	rodlængde i m								
	<i>Root lengths (m)</i>								
Syd-øst <i>South-East</i>	663.5	92.0	68.0	28.2	11.9	8.0	3.5	875.1	100
Syd-vest <i>South-West</i>	360.2	59.3	35.4	15.9	10.3	5.6	3.0	489.7	58
Nord-øst <i>North-East</i>	688.4	80.9	51.8	11.6	6.8	5.0	4.1	848.6	97
Nord-vest <i>North-West</i>	518.4	69.2	51.7	30.6	12.3	6.9	2.8	691.9	79
undefineret <i>Undefined</i>	192.5	26.2	4.2	—	—	—	—	222.9	
Sum	2423.0	327.6	211.1	86.3	41.3	25.5	13.4	3128.2	

Rødgranen (tabel 8) har derimod en større udvikling af den ene halvdel af rodsystemet. Tabellens tal viser, at rodlængderne er størst i to nabosektioner (syd-øst og nord-øst). Det er ligeledes i nogenlunde god overensstemmelse med det, som kan ses af rodkageprojektionen på figur 14.

Skævhederne i rodsystemernes udvikling er det naturligt at sætte i forbindelse med tidligere og nutidige bevoksningsforhold. I lighed med, at to træer kan stå så tæt, at de gensidigt trykker hinandens krone med deraf følgende udvikling af kronen til de sider, hvor der er frit kronerum, må rodsystemerne kunne påvirke hinanden.

En ensidig udvikling kan dog muligvis startes på et meget tidligt tidspunkt (plantningstidspunktet). Kalela (1954) har således påvist, at så godt som alle frøtræer i fyrreselvåninger og ligeledes fyr i sluttede bevoksninger har ekscentriske rodsystemer. Det er tænkeligt, at det er lignende, foreløbig ikke fuldt erkendte årsager, der er skyld i den ekscentriske udvikling af rødgranens rodsystem. Det må dog også bemærkes, at rødgranens rodsystem er bedst udviklet i læsiden, idet den fremherskende vindretning er vest. Den mulighed foreligger altså også, at det hos rødgranen er en reaktion på klimaforholdene.

I tabel 9 er givet en oversigt over overetagens samlede rodlængde i km/ha på de tre prøveflader. Rodlængderne er udregnet

Tabel 9. Oversigt over overetagens beregnede rodlængder i km pr. ha på de tre prøveflader.

Table 9. Survey of overstory's computed root lengths in km per hectare on the three sample plots.

Diameter- klasse, mm	0- 1.5	1.5- 2.5	2.5- 5.5	5.5- 10.5	10.5- 20.5	20.5- 40.5	>40.5	Sum	Relativ
Diameter class (mm)									Relative
Eg Oak	503	86.9	76.1	38.8	22.2	10.2	2.06	739	29
Bøg Beech	1850	298	224	82.5	44.9	20.1	2.94	2520	100
Rødgran Norway spruce	1030	139	89.8	36.7	17.6	10.8	5.7	1330	53

ved at multiplicere prøvetræernes rodlængder med stamtallet pr. ha på hver af prøvefladerne. Den sidste lodrette kolonne viser, at der er en betydelig forskel mellem den samlede rodlængde pr. ha for de tre træarter. Den største rodintensitet har bøgen, derefter følger rødgranen og sidst egen. Dette forhold siger selvsagt ikke noget om, hvorvidt den ene eller den anden træart bedst udnytter vækstbetingelserne på den givne jordbund.

Kalela (1949) har undersøgt rodintensitetens afhængighed af alderen i rødgranbevoksninger af *Myrtillus* type. Udtrykt som m rødder pr. m² finder han følgende (1949, side 25):

alder, år						
10	30	50	70	90	110	130
m rødder/m ²						
99	238	333	401	436	443	421

Indtil ca. 70 års alder er der stigende rodintensitet, og derefter er den nogenlunde konstant. Vil man sammenligne *Kalela's* tal med dem, der er fremlagt her i beretningen, er det rimeligst at se bort fra alderen, fordi klimaforskellen mellem Finland og Danmark giver en langsommere udvikling af rødgranen i Finland. For en moden, sluttet finsk bevoksning (ældre end 70 år) kan man antagelig i Finland regne med, at en rodintensitet på ca. 430 m/m² eller 4300 km pr. ha er typisk. Dette tal er ca. 3 gange så stort som de 1330 km pr. ha, som er beregnet på Bregentved. Klimaforskelle, forskelle i jordbund, forskelle i driftsform og også forskelle i undersøgelsesmetodik udelukker en objektiv diskussion af årsagen til denne betydelige forskel. Det

er dog rimeligt at pege på, at tallene viser, at den finske undersøgelse ikke uden en indgående afprøvning kan have mere end periferisk værdi under danske betingelser. Heri ligger en værdifuld erkendelse, som man ofte ser bort fra: *Kun få biologiske undersøgelser har mere end en begrænset lokal gyldighed.*

d. Træernes rodmasse.

På basis af længde- og diametermålingerne kan man beregne det enkelte træs rodmasse (volumen). Resultaterne af sådanne beregninger er samlet i *tabellerne 10, 11 og 12.*

Rodmassen er beregnet for diametertrin på 1 mm, og de beregnede rodmasser er derefter summeret for de diameterklasser, som er anført i tabelhovederne. Ligesom i tabellerne for rodlængder er der i disse tabeller en rubrik for summen af de egentlige rødder og en for den relative rodmasse i de enkelte sektioner. Den sidste kolonne i tabellerne vedrører stødkernen, d. v. s. støddets underjordiske del, hvis masse er bestemt ved xylometermåling.

Det fremgår af tabellerne, at de relative masser i de enkelte sektioner afviger noget fra de relative rodlængder. Sammenholdes de relative masser med rodprojektionerne (*figur 12, 13 og 14*), ser man, at de relative masser incl. de relative rodlængder stemmer med den forestilling om rodintensiteten i de enkelte

Tabel 10. Oversigt over de målte rødders masse i l hos egen.
Table 10. Survey of the volume of measured roots (in litres) of oak.

Diameter- klasse, mm	0- 1.5	1.5- 2.5	2.5- 5.5	5.5- 10.5	10.5- 20.5	20.5- 40.5	>40.5	Sum	Rela- tiv	Stød- kerne
<i>Diameter class (mm)</i>									<i>Rela- tive</i>	<i>Stump core</i>
<i>Sektion Section</i>										
Syd-øst <i>South-East</i>	0.485	0.322	0.880	2.190	4.907	7.697	4.409	20.890	80	27.0
Syd-vest <i>South-West</i>	0.525	0.429	1.230	2.494	5.975	8.711	6.722	26.086	100	30.0
Nord-øst <i>North East</i>	0.602	0.385	1.323	2.237	4.778	9.012	5.285	23.622	91	25.0
Nord-vest <i>North-West</i>	0.471	0.298	1.149	2.921	5.160	6.971	4.457	21.427	82	25.0
Udefin. <i>Undefined</i>	0.026	0.025	0.015	0.033	0.161	0.206	0.380	0.846		—
Sum	2.109	1.459	4.597	9.875	20.981	32.597	21.253	92.871		107.0

Tabel 11. Oversigt over de målte rødders masse i l hos bøgen.
Table 11. Survey of the volume of measured roots (in litres) of beech.

Diameter- klasse, mm	0- 1.5	1.5- 2.5	2.5- 5.5	5.5- 10.5	10.5- 20.5	20.5- 40.5	>40.5	Sum	Rela- tive	Stød- tiv kerne
<i>Diameter class (mm)</i>										<i>Stump core</i>
Sektion Section										
Syd-øst <i>South-East</i>	1.711	1.127	2.705	4.747	9.352	18.836	16.808	55.286	100	43.0
Syd-vest <i>South-West</i>	1.528	0.981	2.488	3.590	7.987	14.740	15.982	47.296	85	42.5
Nord-øst <i>North-East</i>	1.191	0.785	2.591	2.907	7.109	10.583	3.793	28.959	52	48.0
Nord-vest <i>North-West</i>	1.773	1.104	2.583	3.121	9.232	8.477	6.436	32.726	59	28.5
Udefin. <i>Undefined</i>	0.017	0.013	0.056	0.061	0.343	1.434	1.595	3.519		—
Sum	6.220	4.010	10.423	14.426	34.023	54.070	44.614	167.786		162.0

sektioner, som man får af projektionerne. *Tabellerne 10, 11 og 12* sammenholdt med *tabellerne 6, 7 og 8* viser, at forskellen mellem de relative tal skyldes, at ved en beregning på basis af rodlængderne får de tyndeste rødder (0—1,5 mm) størst vægt, medens tykkere rødder får større vægt ved beregningen på basis af masserne. Massetallene giver i højere grad indtryk af ekscentricitet af rodsystemerne end længdemålene. Relativtallene antyder, at ekscentriciteten er større hos bøgen og rødgranen end hos egen.

Tabel 12. Oversigt over de målte rødders masse i l hos rødgranen.
Table 12. Survey of the volume of measured roots (in litres) of Norway spruce.

Diameter- klasse, mm	0- 1.5	1.5- 2.5	2.5- 5.5	5.5- 10.5	10.5- 20.5	20.5- 40.5	>40.5	Sum	Rela- tive	Stød- tiv kerne
<i>Diameter class (mm)</i>										<i>Stump core</i>
Sektion Section										
Syd-øst <i>South-East</i>	0.521	0.289	0.716	1.358	2.103	5.830	23.476	34.293	82	20.0
Syd-vest <i>South-West</i>	0.283	0.186	0.383	0.723	1.811	3.870	16.960	24.216	59	16.0
Nord-øst <i>North-East</i>	0.541	0.254	0.543	0.570	1.209	2.916	35.230	41.263	100	17.5
Nord-vest <i>North-West</i>	0.407	0.217	0.557	1.408	2.165	4.284	11.328	20.366	49	22.0
Udefin. <i>Undefined</i>	0.151	0.082	0.030	—	—	—	—	0.263		—
Sum	1.903	1.028	2.229	4.059	7.288	16.900	86.994	120.401		75.5

Tabel 13. Oversigt over overetagens beregnede rodmasse i m³ pr. ha hos de tre træarter.

Table 13. Survey of overstory's computed root volume in m³ per hectare of the three tree species.

Diameter- klasse, mm	0- 1.5	1.5- 2.5	2.5- 5.5	5.5- 10.5	10.5- 20.5	20.5- 40.5	>40.5	Sum	Rel.	Stød- kerne	Total- sum under- jordisk masse	Re- la- tiv
<i>Diameter class (mm)</i>									<i>Stump core</i>	<i>Sum total un- derground volume</i>	<i>Rela- tive volume</i>	
Eg Oak	0.394	0.273	0.86	1.85	3.92	6.10	3.99	17.4	(33)	20.0	37.4	45
Bøg Beech	1.45	0.94	2.44	3.36	7.94	12.6	10.4	39.1	(76)	37.8	76.9	92
Rød- gran Norway spruce	0.810	0.437	0.948	1.73	3.10	7.19	37.0	51.3	(100)	32.1	83.4	100

Tabel 13 viser, hvorledes rodmassen (m³/ha) er på de tre prøveflader. Beregningen er sket ved multiplikation af de tre træers rodmasse med stamtallet pr. ha på de tre prøveflader, og tallene vedrører således kun overetagen. Det er af interesse at sammenligne de relative tal i tabellens sidste kolonne med de tilsvarende tal i tabel 9 (rodlængderne i km pr. ha). Egen har i begge tilfælde sidstepladsen, medens bøgen og rødgranen bytter pladser i de to tabeller. Bøgen har den største samlede rodlængde pr. ha, men rødgranen har den største rodmasse. Det skyldes, at rødgranen har en forholdsvis stor andel af rødder med tykkelser større end 40,5 mm.

e. Top/rod-forhold på massebasis.

Ved mange plantefysiologiske undersøgelser lægges stor vægt på bestemmelsen af planters top/rod-forhold og dettes afhængighed f. eks. af tilgangen af næringsstoffer, ændringer i belyningsstyrke m. m. I mere praktisk betonedede forsøg har man interesseret sig for top/rod-forholdet hos planteskoleplanter, og hvorledes overlevelsesmulighederne efter udplantning på kulturpladser afhænger af dette forhold. Det er fælles for undersøgelser af denne art, at top/rod-forholdet bestemmes ved vejninger. En sådan fremgangsmåde har ikke været mulig ved den foreliggende undersøgelse. På den anden side er det af interesse at se, hvor-

Table 14. Oversigt over de tre træarters top/rod-forhold på massebasis.

Table 14. Survey of top/root ratio on volume basis for the three species.

Træart	Masse af egtl. rødder l	Masse af stødkerne l	Total under- jordisk masse l	Overjordisk masse*) l	Top/rod
Species	Volume of roots proper	Volume of stump core	Total under- ground volume	Above-ground volume	Top/root
Eg <i>Oak</i>	92.87	107.0	200	1052	5.3
Bøg <i>Beech</i>	167.79	162.0	330	1114	3.4
Rødgran <i>Norway spruce</i>	120.40	75.5	196	713	3.6

*) Ved rødgran stammemasse.

*) for Norway spruce, stem volume.

dan forholdet omtrentligt ligger for træer i den alder, som der her er tale om. Massetallene for rødderne og for træernes overjordiske dele giver mulighed for en beregning på massebasis.

Resultater af disse beregninger er vist i *tabel 14*. Tallene skal ikke kommenteres nærmere, det skal kun fremhæves, at egen har det højeste forhold, bøgen det laveste. Da der for rødgranen er tale om stammemasse, må man erindre, at det forholdstal, som man egentlig bør regne med ved en sammenligning, må forskydes noget i retning mod tallet for eg, når man tager hensyn til grenmassen.

f. Rodmassens tørvægt.

Det er af nogen interesse at vide, hvor store tørstofmængder i rodved og rodbark, der er skjult under jordoverfladen. For at få bestemt tørstofmængden er der gennemført en mindre specialundersøgelse, som gennemgås nærmere i det følgende.

Metode: Fra hvert af de undersøgte rodsystemer er der udtaget stykker med varierende diameter. Diametervariationen fremgår af *figur 22*. Med stor omhu er der udskåret stykker på så nær 10 cm's længde som muligt. Stykkerne er klippet korsvis og er derefter tørret til konstant vægt ved 105° C. Tørvægten er bestemt. Stykkerne blev omhyggeligt afbarket, og tørvægten af såvel barken som vedlegemet bestemtes efter fornyet tørring. Ved oplægning i et dobbeltlogaritmisk koordinatsystem viste det

sig, at der var en retliniet sammenhæng mellem diameteren og såvel den totale rodvægt som barkvægten. Det vil sige, at sammenhængen mellem roddiameteren på bark og henholdsvis den totale rodvægt pr. m og barkvægten pr. m dækkes af følgende formel:

$$\log p = a + b \log d \quad (\text{I})$$

$$\text{eller} \quad p = d^b \cdot \text{antilog } a, \quad (\text{II})$$

hvor p er rodvægten, eller rodbarkvægten i g pr. m, a og b er konstanter, og d er roddiameteren i mm på bark.

I er formelen for en ret linie (regressionslinie), medens II er en eksponentialkurve.

I det følgende gives en oversigt over de beregnede regressionsligninger og deres signifikans (*Mather* 1951). I *figurerne* 22 og 23 er iagttagelserne og regressionslinierne afbildet grafisk.

Egen: For korrelationen mellem roddiameter og total rodvægt er den beregnede regressionsligning:

$$\log p = 0,06 + 1,700 \cdot \log d.$$

Den lineære korrelationskoefficient er $r = 0,98$, der er højt signifikant.

Middelfejlen på regressionskoefficienten er $m_b = \pm 0,12$.

For korrelationen mellem roddiameter og vægt af rodbark er den beregnede regressionsligning:

$$\log p = -0,15 + 1,21 \cdot \log d,$$

med korrelationskoefficienten $r = 0,99$ og middelfejlen på regressionskoefficienten $m_b = \pm 0,06$. De beregnede koefficienter er højt signifikante.

Bøgen: Regressionen roddiameter — total rodvægt har følgende regressionsligning:

$$\log p = -0,26 + 1,94 \cdot \log d \text{ med } r = 0,99 \text{ og } m_b = \pm 0,029.$$

Der er meget høj signifikans.

Regressionen roddiameter — rodbarkvægt har ligningen:

$$\log p = -0,55 + 1,49 \cdot \log d, \text{ med } r = 0,99 \text{ og } m_b = \pm 0,09.$$

Der er også her meget høj signifikans.

Rødgranen: Regressionsligningen for regressionen roddiameter — total rodvægt er:

$$\log p = -0,49 + 2,10 \cdot \log d, \text{ med } r = 0,99 \text{ og } m_b = \pm 0,38.$$

For regressionen roddiameter — rodbarkvægt er:

$$\log p = -0,45 + 1,50 \cdot \log d, \text{ med } r = 0,98 \text{ og } m_b = \pm 0,124.$$

I begge tilfælde er der meget høj signifikans.

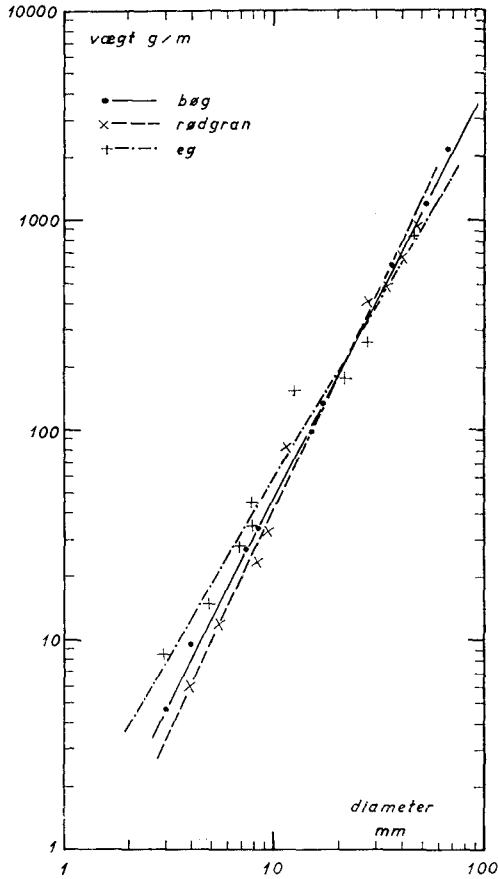


Fig. 22. Sammenhængen mellem roddiameter på bark og total rodvægt i g pr. m.

Fig. 22. Correlation between root diameter on bark and total weight of roots in g per m.
(vægt g/m = weight g/m).

Ved at betragte figur 22, hvor de tre regressioner: roddiameter på bark/total rodvægt er afbildet, ser man, at regressionslinierne skærer hinanden ved en roddiameter på ca. 25 mm. Ved diametre mindre end 25 mm er rodvægtrelationerne:

$$\text{eg} > \text{bøg} > \text{rødgran}.$$

Ved diametre større end 25 mm er relationerne:

$$\text{rødgran} > \text{bøg} > \text{eg}.$$

Det må dog bemærkes, at forskellene mellem regressionskoefficienterne *ikke* er signifikant forskellige fra 0.

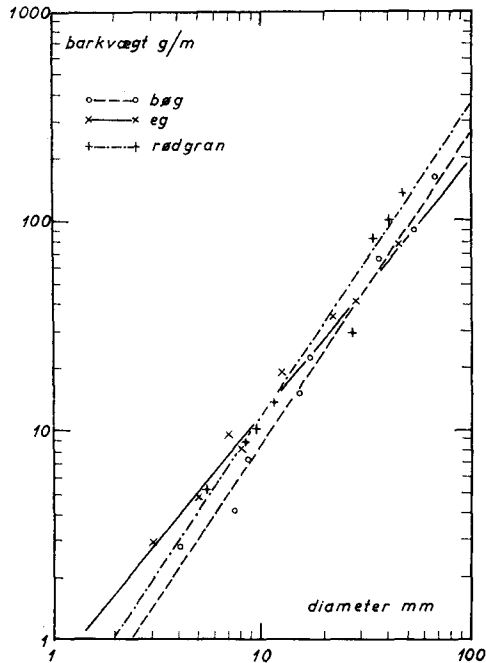


Fig. 23. Sammenhængen mellem roddiameter på bark og barkvægt i g pr. m.

Fig. 23. Correlation between root diameter on bark and weight of bark in g per m.

(barkvægt g/m = weight of bark g/m).

Figur 23, som er en afbildning af regressionerne: roddiameter på bark/barkvægt, viser, at linierne for bøg og rødgran er meget nær parallelle, medens regressionslinien for eg skærer de to andre. Der er heller ikke her tale om signifikante forskelle.

Regressionsligningerne er benyttet til en beregning af, hvor stor vægten af de målte rodsystemer er. Beregningerne er gennemført for alle diametertrin (1 mm), og derefter er der summeret op for større diameterklasser. For de tyndeste rødder (diameter 0—1,5 mm) er totalvægten pr. løbende m rod kendt i forvejen, idet disse vægte er benyttet ved beregningen af rod-længderne. Ved at indsætte vægten pr. løbende m i formelen for regressionen roddiameter/total rodvægt, er der beregnet middeldiameter for diameterklassen 0—1,5 mm for de tre træer.

De fundne middeldiameter blev:

Eg: 0,6389 mm
 Bøg: 0,9427 mm
 Rødgran: 1,015 mm.

Disse middeldiameterer er derefter indsat i formlerne for regressionserne roddiameter/rodbarkvægt, hvorved rodbarkvægten er fundet.

Rodvægtene for de enkelte træer er ikke taget med her. De er brugt til at beregne overetagens rodvægt pr. ha på de tre prøveflader, idet rodvægten for enkelttræerne er multipliceret med stamtallet pr. ha. Disse beregnede værdier er samlet i *tabel 15*.

T a b e l 15. Oversigt over den beregnede vægt af overetagens rodsystem på de tre prøveflader.
 Stødkerner er ikke medregnet.

T a b l e 15. Survey of computed weight of overstory's root system on the three sample plots. Stump cores not included.

Træart	Roddel	Diameterklasse mm							Sum	Bark ⁰ / ₁₀₀ af total rodvægt	Relativ rodvægt
		0-1.5	1.5-2.5	2.5-5.5	5.5-10.5	10.5-20.5	20.5-40.5	>40.5			
Species	Root portion	Diameter class (mm)							Bark percentage of total root weight	Relative root weight	
Eg Oak	Rodved kg/ha Root wood	62	182	572	1135	2156	2917	1653	8677		
	Rodbark kg/ha Root bark	207	142	264	324	416	396	162	1911	18.0	33
	Σ rodvægt kg/ha Root weight	269	324	836	1459	2572	3313	1815	10588		
Bøg Beech	Rodved kg/ha Root wood	428	390	1125	1824	3960	6198	4172	18097		
	Rodbark kg/ha Root bark	476	235	433	467	707	794	338	3450	16.0	68
	Σ rodvægt kg/ha Root weight	904	625	1558	2291	4667	6992	4510	21547		
Rød- gran Nor- way spruce	Rodved kg/ha Root wood	—	30	53	227	601	1310	3562	22513	28236	
	Rodbark kg/ha Root bark	374	140	220	277	361	595	1629	3596	11,3	100
	Σ rodvægt kg/ha Root weight	344	193	447	878	1671	4157	24142	31832		

Når der i *tabel 15* optræder en negativ rodvedvægt i diameterklassen 0—1,5 mm for rødgran, skyldes det, at regressionsligningen trods den stramme korrelation ikke fuldt ud dækker. Netop de tynde rødder havde det sikkert været vigtigt at få repræsenteret ved undersøgelsen, men det var ikke teknisk gennemførligt. Skævheden er dog uden betydning for den samlede vurdering.

Det fremgår af *tabel 15*, at der er stor forskel på rodvægtene pr. ha. På egeprøvefladen er den samlede rodvægt henved 11 t. På bøgeprøvefladen er der ca. 22 t og på rødgranprøvefladen ca. 32 t rødder.

T a b e l 16. Oversigt over rodlængder km/ha, rodmasser/ha og rodvægte/ha på de tre prøveflader (eksklusive stødkerner).

T a b l e 16. Survey of root lengths km/hectare, root volumes/hectare, and root weights/hectare on the three sample plots, not including stump cores.

Træart	Rod- længde km/ha	Relativ rod- længde	Rod- masse m ³ /ha	Relativ rod- masse	Rod- vægt t/ha	Relativ rod- vægt	Over jord pr. ha	Relativ masse
<i>Species</i>	<i>Root length</i>	<i>Relative root length</i>	<i>Root volume</i>	<i>Relative root volume</i>	<i>Root weight</i>	<i>Relative root weight</i>	<i>Above ground per hectare</i>	<i>Relative volume</i>
Eg <i>Oak</i>	739	29	17.4	33	10.6	33	201	60
Bøg <i>Beech</i>	2520	100	39.1	76	21.5	68	316	95
Rødgran <i>Norway spruce</i>	1330	53	51.3	100	31.8	100	332	100

I *tabel 16* er givet en oversigt over de vigtigste af de mål, som er samlet i de foregående tabeller. Det er i denne forbindelse relationerne mellem træarterne, som interesserer. Det fremgår, at der er den største samlede rodlængde på bøgeprøvefladen, derefter følger rødgranprøvefladen og egeprøvefladen. Både når det gælder rodmasse og rodvægt, er forholdet lidt ændret. Her er ordenen i begge tilfælde fra den højeste til den laveste: rødgran — bøg — eg.

Endelig skal opmærksomheden henledes på, at rodbarkens andel af den samlede rodvægt (*tabel 15*) er størst på egeprøvefladen og mindst på rødgranprøvefladen.

g. Rodsammenvoksninger.

Yli-Vakkuri (1953) har beskæftiget sig meget indgående med rodsammenvoksninger mellem træer i skovfyrbevoksninger. Der er i hans afhandling givet en særdeles god oversigt over litteraturen om rodsammenvoksninger. Interesserede læsere henvises derfor til denne afhandling, som er en god introduktion til problemerne om rodsammenvoksninger.

Ved den foreliggende undersøgelse er der fundet et levende stød med rodforbindelse til bølgeprøvetræet. Afstanden fra prøve-træet var 1,08 m. Ved rødgranen var der ligeledes en rodsammenvoksning mellem et tidligere hugget træ og prøve-træet. Med hensyn til rødgranen henvises iøvrigt til *figur 20* og den tilhørende tekst. Ved egen er der ikke fundet rodforbindelser til andre træer og stød.

De rodforbindelser mellem to træer, som er fundet her i undersøgelsen, giver altså ikke grund til omfattende kommentarer. Indenfor det enkelte træ er der derimod optalt temmelig mange rodsammenvoksninger. I *egerodsystemet* blev der optalt 112 rodsammenvoksninger, i *bøgerodsystemet* 757 sammenvoksninger og i *rødgranrodssystemet* 27 sammenvoksninger. Der er altså betydelige forskelle mellem de tre træer.

Man må tænke sig, at chancen for, at der sker en rodsammenvoksning, er større, jo større rodtætheden i en bevoksning er. Eksistensen af en sådan korrelation synes at fremgå af *Yli-Vakkuri's* undersøgelse (1953), idet han viser, at levende stubbe findes i størst antal nær stående træer.

For bøgen og rødgranen er rodtætheden i m/m^2 i forskellig afstand fra træerne beregnet (se nedenfor). Optællingen af rodsammenvoksninger er foretaget afsnitsvis i lighed med længdemålingen. Dermed er det muligt at sammenligne sammenvoksningernes antal i de enkelte afsnit med rodtætheden i de samme afsnit.

Figur 24 viser antallet af sammenvoksninger pr. m^2 som funktion af rodlængden pr. m^2 . Der er selvfølgelig grænser for, hvor stor vægt man kan lægge på en sammenhæng, der kun er baseret på 3—4 iagttagelser, men man får dog et fingerpeg om, i hvilken retning tendensen går. Bedømt på grundlag af figuren må det antages, at bøgen er betydelig mere villig til at danne rodsammenvoksninger end rødgranen. For eksempel vil der ved

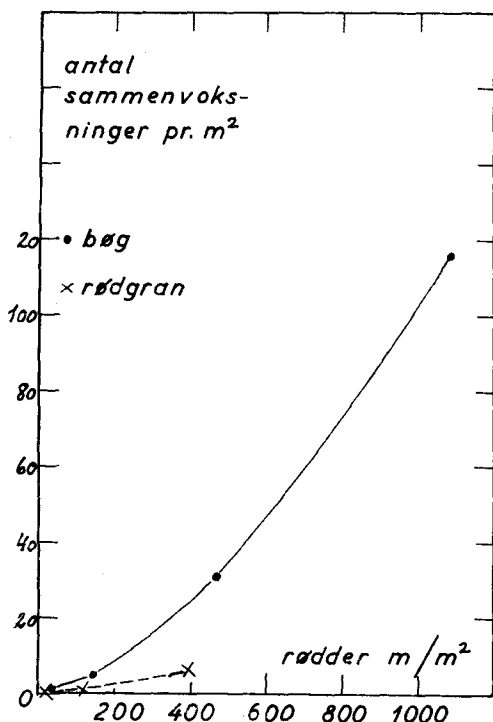


Fig. 24. Sammenhængen mellem rodtætheden (m/m^2) og antal rodsammenvoksninger hos bøgen og rødgranen.

Fig. 24. Correlation between root density (m/m^2) and number of rootgrafts in beech and Norway spruce.

(antal sammenvoksninger pr. m^2 = number of rootgrafts per m^2 ; rødder m/m^2 = roots m/m^2 ; bøg = beech; rødgran = Norway spruce).

en rodtæthed på 300 m/m^2 hos bøg være ca. 16 sammenvoksninger pr. m^2 , medens rødgranen kun har knap 4 pr. m^2 . Det drejer sig i disse tilfælde om sammenvoksninger inden for det enkelte træ, men man kan antagelig med nogen ret slutte, at chancen for rodsammenvoksninger mellem to træer på lignende måde er afhængig af rodtætheden i de to rodsystemers fællesområde.

h. Rodtætheden på prøvefladerne.

Egeprøvefladen: Den undersøgte prøveflade er på 748 m^2 , og der er 14 overretagetræer. Hvert af overretagetræerne har altså et krone- og rodtrum, som projiceret på et vandret plan er 53,4 m^2 . Kroneprojektionerne på figur 12 viser, at der er enkelte huller i

kronetaget, og rodprojektioner på samme figur viser, at hovedparten af rodsystemet har en betydelig mindre projektion end kronen. Beregnet på basis af de nævnte 53,4 m² pr. træ er rod-tætheden 74 m/m² for overetagen. Nu er overetagens produktion jo ikke udtryk for den samlede tørstofproduktion på arealet, men i det foreliggende tilfælde er den i hvert fald udtryk for den egentlige forstlige produktion. Optagelsen af vand og næringsstoffer er i høj grad afhængig af rodtætheden i rodrummet. Hovedparten af den plantetilgængelige vandmængde i jorden kan indenfor overskuelige tidsrum kun bevæges over korte afstande (*Holstener-Jørgensen* 1958). Hvis jordvandet skal udnyttes fuldt ud i produktionen, må hele rodrummet derfor være fyldt med rødder. Det samme gælder for alle vigtige plantenæringsstoffer, idet nitrater og en del fosfater følger jordvandet, medens de øvrige stoffer for en stor del er fladebundne til jordkolloiderne (ammoniumioner, kaliumioner, kalciumioner m. fl. og i et vist omfang fosforforbindelser).

Det er et åbent spørgsmål, om den forstlige produktion på arealet kan øges ved underplantning eller mindsket hugststyrke.

Bøgeprøvefladen: Prøvefladen har et areal på 900 m² med 21 træer, det vil sige, at hvert træ disponerer over et projiceret krone- og rodtrum på 42,9 m². Rodundersøgelserne på bøgeprøvefladen er gennemført sådan, at rodtætheden pr. m² i forskellig afstand fra træet kan beregnes. *Figur 25* viser rodintensiteten målt som m rødder pr. m² i forskellig afstand fra prøvetræet. Det fremgår, at rodintensiteten er højst forskellig på prøvefladen, eller med andre ord, at der er grund til at antage, at rodrummet ligesom på egeprøvefladen udnyttes højst forskelligt fra sted til sted på prøvefladen. Det er tænkeligt, at en lavere hugststyrke kunne give en bedre udnyttelse af lokaliteten og en højere tørstofproduktion.

Figur 25 kan også belyse et andet problem. Det er en praktisk erfaring, at der er visse foryngelsesvanskeligheder på en jordbund af den type, som der her er tale om. På det flade, temmelig lavtliggende terræn er der stor fare for nattefrost. Jordbunden med det højtstående grundvand får en ondartet og yppig græsvegetation (mosebunke m. fl.), så snart der ved en lysstilling eller renafdrift skabes tilstrækkelig gode vækstbetingelser for græsserne. En medvirkende årsag hertil kan det være, at renafdrift og også lysstilling hæver dybeste grundvandstand betyde-

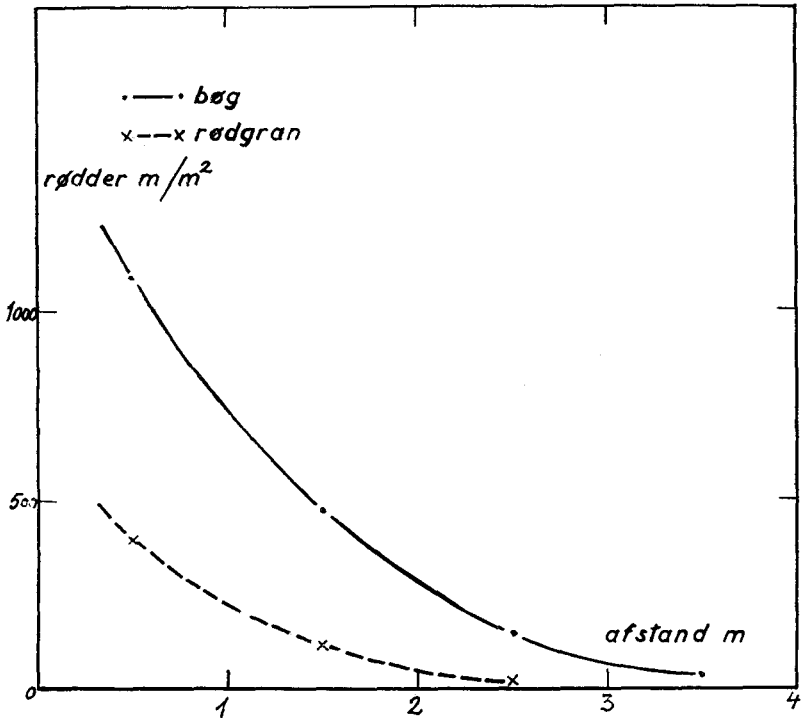


Fig. 25. Rodintensiteten målt som m rødder pr. m² i forskellig afstand fra bøgen og rødgranen.

Fig. 25. Root intensity measured as m roots per m² at varying distances from beech and Norway spruce.

(rødder m/m² = roots m/m²; bøg = beech; rødgran = Norway spruce; afstand m = distance from sampled tree m).

ligt. I et igangværende forsøg på lignende jordbund, som står for at blive publiceret, har renafdrift givet en stigning af dybeste grundvandstand på ca. 2 m og en temmelig svag lysstilling en stigning på ca. 1 m (Holstener-Jørgensen 1959).

Alle disse forhold gør, at man i praksis ofte ønsker at arbejde med skærmforyngelser. Imidlertid får man som regel et betydeligt „rodtryk“ omkring overstanderne. At det går sådan, er let forståeligt, når man ser på rodfordelingen omkring træerne (figur 25). Der må nødvendigvis komme en kraftig rodkonkurrence i området lige omkring overstanderne, hvor rodintensiteten er meget stor. Ved en mere omfattende undersøgelse af rodfordelingen i foryngelsesbevoksninger kunne man sikkert få et empirisk materiale til belysning af, ved hvilken rodtæthed foryngel-

se vil lykkes. *Kalela* (1954) har gennemført en sådan undersøgelse i skovfyrbevoksninger og fundet, at den kritiske rodintensitet er 200 m/m^2 . Denne rodmængde findes i hans materiale i ca. 3,5 m's afstand fra frøtræerne. En kultur vil altså i almindelighed blive vellykket på de dele af kulturfladen, som ligger mere end 3,5 m fra nærmeste frøtræ.

En tilsvarende undersøgelse kunne sikkert med noget held gennemføres på foryngelsesflader med bølgeoverstandere på grundvandnære jorder. Sandsynligvis medfører den grundvandstigning, der følger efter hugstindgrebene i forbindelse med foryngelsen, dog en omlejring af rodsystemerne, således at resultaterne af en sådan undersøgelse bliver mindre eentydige end *Kalela's*.

Rødgranprøvefladen: Tilsvarende betragtninger som dem, der er fremført for egen og navnlig for bøgen, kan føres i marken for denne prøveflade. Det skal i denne forbindelse kun fremhæves, at betragtninger vedrørende rodkonkurrence i bølgebevoksninger og -foryngelser ikke umiddelbart kan overføres til rødgran. *Figur 25* viser, at der som hos bøgen er en god sammenhæng mellem rodintensiteten (m rødder/m^2) og afstanden fra træet. Værdierne ligger dog hos rødgranen betydeligt lavere end hos bøgen. Dette er i overensstemmelse med *tabel 9*, der viser en meget klar forskel i samlet rodlængde pr. ha hos de to træarter.

Ved målingerne af rødgranens rodsystem er der, som tidligere nævnt, anvendt den mest differentierede fremgangsmåde. I de enkelte sektioner er der skelnet mellem horisontale rødder og vertikale rødder. Det er derfor muligt at vise, at antallet af vertikale rødder falder såvel absolut som relativt, jo længere man fjerner sig fra træet. *Tabel 17* giver en oversigt over denne sammenhæng. Det fremgår, at i en afstand af 2 m fra træet forekommer der kun horisontale rødder. Det ses endvidere, at der relativt er flest vertikale rødder med diametre fra 2,5 mm til 20,5 mm lige ved træet. Det er klart, at man ved ekstensive rodundersøgelser i jordbundshuller skal være yderst forsigtig med at drage generelle slutninger. Et jordbundshul lige ved træet vil således give indtryk af, at der er relativt mange dybtgående rødder og i det hele taget en meget stor rodintensitet. Graver man derimod i 2 m's afstand, vil man få et helt andet indtryk. Dels er rodintensiteten her meget lavere, dels er rødderne her overvejende overfladiske, og der er kun få dybtgående rødder.

Table 17. Forholdet mellem vertikale og horisontale rødder ved stigende afstand fra træet indenfor de forskellige diameterklasser hos rødgran.

Table 17. The ratio of vertical to horizontal roots at increasing distances from tree within the various diameter classes of Norway spruce.

Afstand fra træ, m	Diameterklasse, mm						
Distance from tree, m	0.0-1.5	1.5-2.5	2.5-5.5	5.5-10.5	10.5-20.5	20.5-40.5	> 40.5
	Diameterclass, mm						
0 — 1	6.0	6.0	14.6	18.3	17.4	6.4	0.40
1 — 2	1.2	1.4	1.3	1.2	0.96	0.33	0.68
> 2	0	0	0	0	0	—	—

Hvis det havde været muligt at gennemføre en lige så differentieret undersøgelse for bøgen, ville man have fået et ganske lignende talmateriale. Der er derfor grund til at udvide den tidligere argumentation vedrørende udnyttelsen af jorden på prøvefladerne. Denne var knyttet til en opgørelse af rodintensiteten målt som m rødder/m² i forskellig afstand fra træerne. Den opgjorte rodintensitet dækker over såvel horisontale som vertikale rødder. *Table 17* viser, at umiddelbart under træet og nær ved det har de vertikale rødder en betydelig andel i den samlede rodintensitet. Når man fjerner sig fra træet, bliver deres andel stadig mindre, og i 2 m's afstand er der udelukkende overfladiske horisontale rødder.

Lige omkring træerne udnyttes jorden altså til stor dybde, lidt længere fra træet udnyttes underjorden dårligere, medens de øverste få cm af jorden fortsat udnyttes fuldt ud. Midt mellem to træer udnyttes de dybere lag slet ikke, medens de øverste cm af jorden udnyttes temmelig ekstensivt.

VII. SLUTBEMÆRKNINGER.

Der er i det foregående gjort rede for resultaterne af nogle rodundersøgelser på 3 glejjer. Fremstillingen falder i tre hovedafsnit:

1) Jordbundsundersøgelserne, som er tilrettelagt sådan, at de viser mest muligt om prøvefladernes sammenlignelighed. Så vidt det kan skønnes, er to af prøvefladerne, bøge- og rødgranfladen, fuldt ud sammenlignelige, medens egefladen ikke helt ud lader sig sammenligne med de to andre.

2) En undersøgelse af grundvandforholdene, der har vist, at bøge- og rødgranfladen er sammenlignelige, medens egefladen

også i denne henseende er anderledes, idet højeste grundvandstand ligger væsentligt dybere end på de to andre prøveflader. Grundvandundersøgelserne har videre dannet basis for konklusioner om de tre træarters vandforbrug og om deres påvirkning af grundvandstanden. Vurderingerne af vandforbruget munder ud i, at det må antages, at vegetationen på egeprøvefladen og vegetationen på bølgeprøvefladen har meget nær samme vandforbrug, nemlig ca. 450 mm pr. år, medens rødgranen som stedsegrøn over en længere årrække bruger noget mere, nemlig ca. 470 mm. I løbet af vækstperioden sænker de tre træarter grundvandet ulige meget: egen ca. 205 cm, bøgen ca. 115 cm og rødgranen ca. 75 cm, i overensstemmelse med rækkevidden af deres dybtgående rødder.

3) Den egentlige rodundersøgelse har vist, at de tre træarter har væsensforskellige rodsystemer. Egen har et hjerterosystem, medens bøgen og rødgranen har fladrosystemer. Undersøgelser på egeprøvefladen af nogle undervækstege sandsynliggør, at omformningen af det oprindelige pælerodsysteem begynder på et tidligt tidspunkt i bevoksningens liv.

Der er i tabellarisk form fremlagt materiale til belysning af rodsystemernes konformitet og rodlængderne, rodmasserne og rodvægtene pr. ha. Materialet viser, at der er visse karakteristiske forskelle mellem de tre træarter. Det viser dog også, at ingen af træarterne under de givne betingelser (hugststyrke m. m.) udnytter rodrummet fuldt ud. Kun hugststyrkeforsøg (alle tre træarter) og underplantningsforsøg (egebevoksningen) kan belyse, om en større bevoksningstæthed vil give en øget tørstofproduktion.

Endelig er der grund til at understrege, at efter de jordbundsanalyser, som er foretaget, er de væsentligste jordbunds faktorer lige så „gode“ under rødgran som under bøg. Rødgranen har altså ikke ødelagt den oprindelige løvtræbund.

Det fremlagte materiale er lille, og alle konklusionerne er derfor beheftet med en vis usikkerhed. Der er dog så store forskelle mellem de tre træarters rodforhold, at det berettiger til at drage visse konklusioner trods materialets lidenhed. Det turde endvidere være klart, at rodundersøgelser i større målestok måske vil kunne bidrage til forståelse og løsning af visse skovdykningsproblemer.

VIII. ENGLISH SUMMARY.

1. The purpose of the investigation was to get a picture of the size of the root systems in closed stands of beech, oak and Norway spruce on moraine soil with a high water table.

2. The investigation was performed on a mid-Zealand moraine plain.

3. Three sample plots were established (*Fig. 1*). The tree mensuration results for the sample plots and the three sample trees are listed in *Table 1*. *Figs. 12, 13* and *14* show stand maps of the sample plots. *The three sample trees*, one of each plot, must be assumed to be representative of the overstory on the sample plots. After cutting of sample trees, the root systems were washed out (*Figs. 2 & 3*) and all roots calipered and length-measured. On each sample plot were established three groundwater wells which were followed with measurements (at 14 days' interval) from May 1955 to March 1958. On each sample plot the soil was examined in two soil pits.

4. Soil analyses showed that the texture class is the same on the beech and the Norway spruce sample plots (*Table 1*), where the clay content is about 21 percent. On the oak sample plot the texture is varying, clayey layers are alternating with more sandy ones. Judging from the chemical analysis, the three sample plots are uniform as regards the nutrient content of the soil (*Table 1* and *Fig. 4*). The pore size distribution in the soil (*Figs. 5 a & b, 6 a & b, 7 a & b*) is uniform on the beech and Norway spruce plots, where the plant-accessible water capacity to 70 cm depth is 100 and 110 mm, respectively (*Table 2*), whilst the oak sample plot has a higher water capacity (180 mm).

5. Ground water measurements (*Figs. 8, 9 & 10*) show that the highest, "stable" water table, which is the ground water level where no draining off to ditches occurs is alike on the beech and the Norway spruce plots (50 cm), whereas it lies deeper on the oak sample plot (95 cm). During its growing season the oak lowers the water table by 205 cm, the beech 115 cm and the Norway spruce 75 cm (*Table 4*). When the highest stable water table is known, it is possible to compute the evapotranspiration of the stands. Evapotranspiration is the rainfall occurring in the period from the point when the ground water in spring passes its maximum stable level and is on the down grade, till in autumn it again reaches its maximum stable level. *Table 3* summarizes such computations. Evapotranspiration in the beech stand, in the two years when measurements have been fully undertaken, has been 449 mm, in the Norway spruce stand 470 mm. If Norway spruce consumes more it is due to the fact that in a mild late winter (1957) it begins to transpire very early. Evapotranspiration in the oak stand cannot be computed with absolute certainty because the highest stable water table lies so deep (95 cm) that the ground flora is able to con-

sume the soil water in the surface layers without the ground water being affected by capillary rise.

On the beech and Norway spruce plots, lowering of the water table during the period of growth occurs in the course of 3 or 4 months (Figs. 9 & 10); on the oak sample plot, on the other hand, in the course of 2—6 weeks. Whether this faster lowering is specific for the oak (more numerous deep-going roots, possibly of greater activity than those of beech and Norway spruce) cannot be decided. The difference may be conditioned by the soil.

6. The oak (Fig. 15) has a heartroot system, but had originally a tap root. On the basis of Figs. 16 & 17 it must be assumed that the tap root system developed into a heartroot system when the stand had a mean diameter of 5—6 cm (about 20 years); the undergrowth oaks probably reflecting conditions at the time when they were co-dominant trees. The beech has a flatroot system (Fig. 18), as has the Norway spruce (Fig. 21).

Measurements of the three root systems show that the overstories of oak, beech, and Norway spruce stands, respectively, have approximately 739, 2520 and 1330 km roots computed on a hectare basis (Table 9). The corresponding root volume is 17.4, 39.1 and 51.3 m³ per hectare (Table 13). Table 14 shows the top/root ratio on a volume basis for the three species. By means of Figs. 22 & 23, which show the regressions: root diameter on bark/total root weight and root diameter on bark/root bark weight, the weight of the overstory root-system has been computed for the three sample plots (Table 15). From Table 16, which summarizes the root measurements, it appears that the order as regards root length of the three tree species is:

beech > Norway spruce > oak.

For root volume, root weight and above-ground volume per hectare the order is:

Norway spruce > beech > oak.

As regards the individual tree species there was a very large number of rootgrafts within the sample tree itself (oak, 112; beech, 757; Norway spruce, 27). For beech and Norway spruce Fig. 24 shows the correlation between the number of rootgrafts and the root intensity measured as m roots per m² soil surface. The beech appears to be more willing to form grafts than the Norway spruce.

Root density varies greatly inside the individual sample plot. Fig. 25 shows the root density in m/m² at varying distances from the beech and the Norway spruce sample trees. Fig. 12 shows that the projected area covered by the root system of oak constitutes only a small proportion of the projected area covered by the crown. Table 17 shows that with increasing distance from the sample tree there is a decreasing proportion of deep roots from Norway spruce. Since the soil water and the most important plant nutrients do not move

over appreciable distances in the soil it may be concluded that the root space is utilized very dissimilarly in stands like those investigated. It is an open question whether underplanting, lighter thinning etc. giving a more closed stand and better utilization of the root space, will also result in greater production per unit area.

Fig. 25 gives an explanation of the fact that on moraine soils with a high water table there is a serious root competition at regeneration under shelterwood-cut beeches. Near the shelter trees there is a great root concentration which excludes the subsistence of plants. Only at a fairly great distance from the shelter trees can the root concentration be expected to be so small that the reproduction can thrive.

7. Based on the information about texture (constant soil factor, see *Table 1*), about conditions of soil chemistry (*Table 1* and *Fig. 4*) and on pore size distribution (*Figs. 6 & 7*), in which connection the plant-accessible water capacity is of special interest, it is concluded that the soil condition under Norway spruce (1st generation after hardwood trees) is just as good as under beech. Hence no *soil deterioration* due to change-over to Norway spruce cultivation is demonstrable on these soils.

LITTERATURLISTE.

- Aslyng, H. C.*, 1954: Jordens vandbalance. Nordisk jordbruksforskning, 36. Stockholm.
- , 1957: Kulturteknik I. København.
- Bondorff, K. A.*, 1950: Studier over jordens fosforsyreindhold. Tidsskrift for Planteavl, København, 54.
- Damsgaard-Sørensen, P.*, 1941: Kationombytning i Jorden. Tidsskrift for Planteavl, København, 46.
- Henriksen, H. A.*, 1958: Sitkagranens vækst og sundhedstilstand i Danmark. Forstl. Forsøgsv. Danm., 24.
- Hilf, H. H.*, 1927: Studien über die Wurzelausbreitung von Fichte, Buche und Kiefer. Diss. Hannover.
- Holmsgaard, E.*, 1955: Arringsanalyser af danske skovtræer. Forstl. Forsøgsv. Danm., 22.
- Holstener-Jørgensen, H.*, 1955: Vandets bevægelse i jorden. Dansk Skovforen. Tidsskr., 30.
- , 1956: Nedbøren og grundvandet. Dansk Skovforen. Tidsskr., 41.
- , 1958: Jordbundsfysiske undersøgelser i danske bøgebevoksninger. Forstl. Forsøgsv., Danm., 25.
- , 1959: Skærmstillings og renafdrifts indflydelse på grundvandsstanden på leret moræne. Forstl. Forsøgsv. Danm., 25.
- Jensen, S. Tovborg og Betsy Kjær*, 1948: Undersøgelser over kornstørrelsesfordelingen i en række danske kalk- og mergelprøver. Aarsskr. Vet.- og Landbohøjskolen.

- Kalela, E. K.*, 1949: On the horizontal roots in pine and spruce stand I. *Acta Forestalia Fennica* 57, 2.
- , 1954: Über die Wurzelverhältnisse der Kiefern-samenbäume und -baumbestände. *Acta Forestalia Fennica*, 61, 28.
- Kramer, P. J.*, 1949: Plant and soil-water relationships. New York.
- Krauss, G.* og medarbejdere, 1930: Standortsgemässe Durchführung der Abkehr von der Fichtenwirtschaft im nordwestsächsischen Niederland. *Tharandter Forstliches Jahrbuch*, 90.
- Mather, K.*, 1951: Statistical analysis in biology. 4. udgave. London.
- Møller, J.* og *T. Mogensen*, 1951: Metode til bestemmelse af den mobiliserbare fosforsyre i jordbunden. *Hedeselskabets Tidsskr.*, 72.
- Oksbjerg, E.*, 1957: Rødgranens og nogle andre træarters jordbundsdannelse på fattig jord. *Forstl. Forsøgsv. Danm.*, 23.
- Passarge, H.*, 1954: Örtliche Beobachtungen über jahreszeitliche Schwankungen des Grundwasserstandes. *Archiv für Forstwesen*, 3.
- Petersen, O. G.*, 1919: Forstbotanik. 2. udgave, København.
- Tamm, C. O.* og *T. Troedsson*, 1957: A new method for the study of water movement in soil. *Geologiska Föreningens i Stockholm Förhandlingar*. 79.
- Yde-Andersen, A.*, 1958: Kærneråd i rødgran forårsaget af honning-svampen (*Armillaria mellea* (Vahl) Quel.). *Forstl. Forsøgsv. Danm.*, 25.
- Yli-Vakkuri, P.*, 1953: Untersuchungen über organische Wurzelverbindungen zwischen Bäumen in Kiefernbeständen. *Acta Forestalia Fennica*, 60, hft. 3.

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: Proveniensforsøg 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: Årtingsanalyser 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: Proveniensforsøg 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 rød-granracers 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 jordbehandlingens indflydelse på rødgranbevoksnings 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. SØGAARD: 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) Qué.) (Buttrot in Norway Spruce caused by the Honey Fungus (*Armillaria mellea* (Vahl) Qué.). S. 79. — **H. 2:** Nr. 198. H. HOLSTENER-JØRGENSEN: Jordbundsfysiske undersøgelser i danske bøgebevoksninger. (Physical Soil-Investigations in Danish Beech-Stands). S. 93. — **H. 3:** Nr. 199. H. HOLSTENER-JØRGENSEN: Undersøgelser af rodsystemer hos eg, bøg og rødgran på grundvandpåvirket morænejord med et bidrag til belysning af bevoksningernes vandforbrug. (Investigations of Root Systems of Oak, Beech and Norway Spruce on Groundwater-Affected Moraine Soils with a Contribution to Elucidation of Evapotranspiration of Stands). S. 225. — Nr. 200. H. HOLSTENER-JØRGENSEN: Skærmstillings og renafdrifts indflydelse på grundvandstanden på leret moræne. (Influence of Shelterwood-Cutting and Clear-Cutting on Groundwater-Table on a Fine-Textured Moraine Soil). S. 291. —

DET FORSTLIGE FORSØG SVÆSEN 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. XVIII—XXV er anført på omslaget.