



Statens
Planteavlsforsøg

Planteværnscentret
Administration
Lottenborgvej 2 - DK-2800 Lyngby

Beretning nr. S 1827

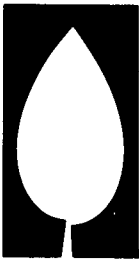
Rodvækst i forskellige jordtyper

Root growth in different soil types

Annette Andersen
Statens Forsøgsstation
Højer

Tidsskrift for Planteavls Specialserie

København 1986



Statens
Planteavlsvforsøg

Beretning nr. S 1827

Rodvækst i forskellige jordtyper

Root growth in different soil types

Annette Andersen
Statens Forsøgsstation
Højer

Tidsskrift for Planteavlsv Specialserie

København 1986

<u>Indholdsfortegnelse</u>	<u>side</u>
1. Resumé	4
2. Summary	5
3. Indledning	6
4. Rodvækst	6
4.1. Metodik	6
4.1.1. Forsøgsarealer	6
4.1.2. Prøvetagningsudstyr	8
4.1.3. Prøveudtagning	10
4.1.4. Metoder til bestemmelse af rodlængde	10
4.1.5. Rodvægt	12
4.2. Forsøgsoversigt	13
4.3. Resultater og diskussion	14
4.3.1. Rodlængde ved skæringsmetoden	14
4.3.2. Rodlængde i forhold til planteantal	20
4.3.3. Sammenligning af metoder til rodlængdebestemmelse	21
4.3.4. Variation på rodlængden	23
4.3.5. Nødvendigt antal prøver	23
4.3.6. Rodtørvægt og kvælstofindhold	24
4.3.7. Rodfinhed	24
4.4. Konklusion	25
5. Toppens vækst samt rod/top-forhold	26
5.1. Metodik	26
5.2. Resultater og diskussion	27
5.3. Rod/top-forhold	28
5.4. Konklusion	30
6. Jordtyper. Profilbeskrivelse ved jordfysiske og -kemiske parametre ...	31
6.1. Metodik	31
6.2. Resultater	32
6.2.1. Tekstur	32
6.2.2. Porestørrelsesfordeling	33
6.2.3. Volumenvægt	35
6.2.4. Penetreringsmodstand	36
6.2.5. Luftdiffusion	37
6.2.6. Jordkemi	37
6.3. Relationer til rodvækst	37
6.4. Konklusion	41
7. Vandforhold	42
7.1. Metodik	42
7.2. Nedbør	42
7.3. Resultater og diskussion	43
7.3.1. Vandindhold i jorden	43
7.3.2. Evapotranspiration	46
7.3.3. Tension	47
7.3.4. Vandskellets beliggenhed	48
7.3.5. Tilgængelig vandmængde	50
7.4. Relationer til rodvækst	51
7.5. Konklusion	55
8. Jordtemperatur	56
8.1. Metodik	56
8.2. Resultater og diskussion	56
8.3. Relationer til rodvækst	57
8.4. Konklusion	58
9. Erkendtlighed	58
10. Litteratur	59
Bilag 1-29	62

1. Resumé

På 3 sandjorde og 3 lerjorde er rodudviklingen hos græs og korn forsøgt sat i relation til de overjordiske plantedele, de jordfysiske og -kemiske forhold samt vandoptagelsen.

Der var store forskelle i rodudviklingen hos vårbyg, som dels kan tilskrives jordtypeforskelle, og dels klimatiske forhold. Usikkerheden på rodlængdebestemmelsen var uafhængig af jordtypen. Den var størst for byg og størst i de dybere jordlag.

For byg og hvede sås, at jo større lerindholdet i jorden var, desto tyndere var rødderne. Der var ingen generel tendens i ændring af rodfinhed med dybden.

På sandjord var rod/top-forholdet større end på lerjord, både hvad angik tørstof- og kvælstofindhold. Der var tegn på rodvæksthæmmende effekt ved volumenvægt af jord større end 1,8 g pr. cm³, ved penetreringsmodstand større end 3 MPa, ved relativ luftdiffusivitet ved markkapacitet mindre end 3 %/oo, ved pH mindre end 4,0 og ved et kalciumindhold på mindre end 20 mg pr. 100 g jord.

Set i forhold til rodlængden var den udnyttede procentdel af den tilgængelige vandmængde størst på den grovsandede jord. Tensionmålinger viste i flere tilfælde vandoptagelse fra jordlag med meget ringe eller slet ingen rodvækst, hvilket må forklares ved kapillær stigning. Den største registrerbare tension på 800 cm vandsøjle blev kun målt ved rodlængder på mere end 1 cm pr. cm³ jord. Ved denne rodlængde blev som gennemsnit for alle lokaliteter udnyttet 43 % af den reelt tilgængelige vandmængde. Denne procentdel halveres for hver gang, rodlængden formindskes med en faktor 10.

Nøgleord: Rødder, rodlængde, rodtørvægt, rodtykkelse, jordfysik, volumenvægt, penetreringsmodstand, luftdiffusion, pH, kalcium, jordkemi, tension, tilgængeligt vand, vandoptagelse, jordtemperatur, rod/top-forhold, vårbyg, vinterhvede, græs.

2. Summary

Root growth of grass and cereals was examined in sand and sandy loam soils. The purpose was to relate root growth with top growth, soil physical and chemical conditions and water uptake.

There were large differences in root development of spring barley, which could be ascribed to differences in soil type and climate.

The variance of root length was not correlated with soil type. It was largest for barley and increased with depth.

For spring barley and winter wheat it was found, that root thickness decreased with increasing clay content in soil, while there was no general change with depth.

Restrictive influence in root growth was indicated at soil bulk density larger than 1.8 g per cm^3 , penetration resistance larger than 3 MPa , relative gas diffusion less than $3 \text{ }^{\circ}/\text{oo}$, $\text{pH}(\text{CaCl})$ less than 4.0 and a Calcium content less than $20 \text{ mg per } 100 \text{ g soil}$.

On an average of all locations 43 per cent of the available soil water was utilized at a root length of $1 \text{ cm per cm}^3 \text{ soil}$. The percentage is halved each time root length is reduced by a factor 10 .

The maximum tension of $800 \text{ cm water column}$ was only measured at root lengths of more than $1 \text{ cm per cm}^3 \text{ soil}$.

Key words: Roots, root length, root dry weight, root thickness, methods, core break, soil bulk density, penetration resistance, gas diffusion, pH, Calcium, tension, available water, water uptake, soil temperature, root/top relation, spring barley, winter wheat, grass.

3. Indledning

Jordens egenskab som voksemedium for planterne varierer med jordtypen, hvilket fremgår ved en sammenligning af udbyttet på lerjord og grovsandet jord. Da langt den overvejende del af planternes vand- og næringsstofoptagelse sker via rødderne, må sådanne forskelle ses som resultat af et samspil mellem jordtypen og rodudviklingen. Ved jordtype forstås ofte jordens tekstur, men også jordens struktur og indhold af tilgængelige næringsstoffer og vandressourcer er vigtige aspekter ved karakterisering af jord.

Der er efterhånden udført mange undersøgelser over rodvækst og rodvækstens afhængighed af forskellige jordfysiske og -kemiske faktorer. De fleste af disse er laboratorieforsøg, hvor der oftest arbejdes med kimplanter, og hvor man tilstræber at undersøge effekten af en enkelt faktor. Under markforhold er der imidlertid altid mange faktorer, som sammen og hver for sig har effekt på rodvæksten. På den måde kan der ud fra laboratorieforsøg opstilles grænseværdier for rodvækst, som kan vise sig at være ugyldige under de naturlige vækstbetingelser i marken. Undersøgelser i marken har imidlertid også svagheder, idet de komplekse forhold vanskeliggør registreringen af den enkelte faktors betydning. Her kan klimaet - specielt nedbøren - desuden spille en afgørende rolle for rodudviklingen.

Målet med nærværende undersøgelse var at følge rodudviklingen igennem vækstsæsonen og at belyse de grundlæggende sammenhænge mellem jordtype og rodvækst for nogle almindelige afgrøder. Det forsøges herved at afdække eventuelle rodvæksthæmmende faktorer.

Et centralt aspekt er desuden jordens vandindhold og røddernes udnyttelse heraf, fordi man i dag betragter vandfaktoren som den hyppigste vækstbegrænsende faktor.

4. Rodvækst

4.1. Metodik

4.1.1. Forsøgsarealer

På hver lokalitet afsættes et prøvetagningsareal som skitseret i fig. 1. Et areal på ca. 250 m² giver 50 prøvefelter ved opdeling i 5 søjler af ca. 1,5 m bredde og 10 rækker af 2 m længde. (Ved Rønhave i 1982 var arealet dog større

4.1.2. Prøvetagningsudstyr

Til udtagning af jordprøver i naturlig lejring anvendes en stålcylander med indsats (fig. 2a), som beskrevet af *Bennetzen* (5). Indsatsen er gennemskåret på langs og kan tages ud og åbnes, således at jordprøven ligger blottet og kan skæres ud i stykker af f.eks. 10 cm længde (fig. 2b). Prøvens tværsnitsareal er $32,17 \text{ cm}^2$.

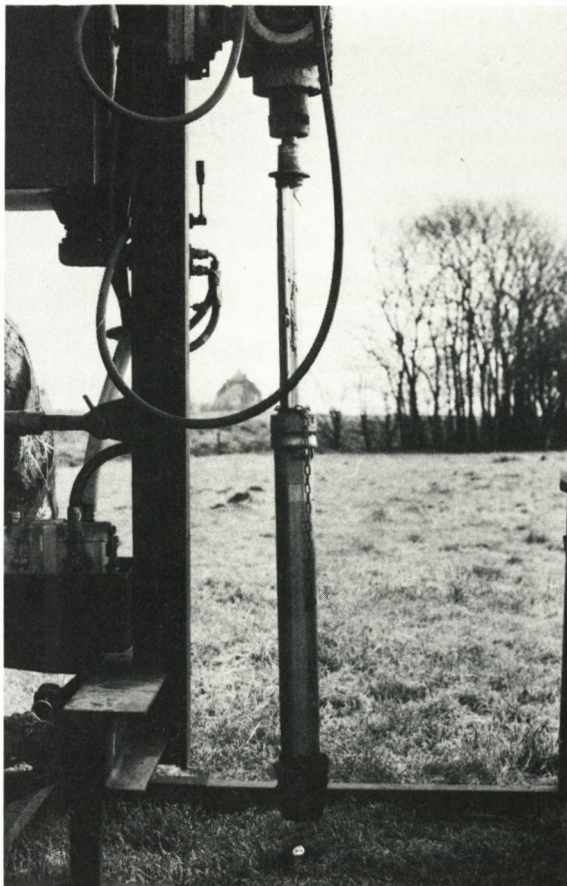


Fig. 2a

Rambuk med påmonteret stålcylander
til udtagning af jordprøver.

Cylinderen trykkes i jorden med en hydraulisk rambuk fremstillet af M. Fenger, specialmaskiner, "Skovgaarde", Kirke Søby, 5610 Assens (fig. 3). Rambukken er udstyret med dobbeltvirkende ventil for tryk- og trækcylander samt dobbeltvirkende ventil for slagværktøj, som er trukket af en oliemotor. Rambukken kan udøve et hydraulisk tryk på 175 kg pr. cm^2 , og slagværktøjet kan give 2500 slag pr. minut. Den her anvendte rambuk er specielt tilpasset formålet, idet der er påmonteret et jernstel, så den kan stå frit, en olietank med pumpe og en speciel trykflade, hvori cylinderens trykhoved fastgøres. I den aktuelle udformning kan rambukken transporteres på en lille lastbil med kran og tilkobles en vilkårlig traktors trepunktsophæng og kraftoverføring. Der kræves en forholdsvis stor traktor, da der er brug for ballast og stabilitet, især hvis jorden er hård.

Desuden er der fremstillet et arbejdsbord, som kan skubbes ind i rambukkens "fødder" og således transporteres sammen med rambukken.

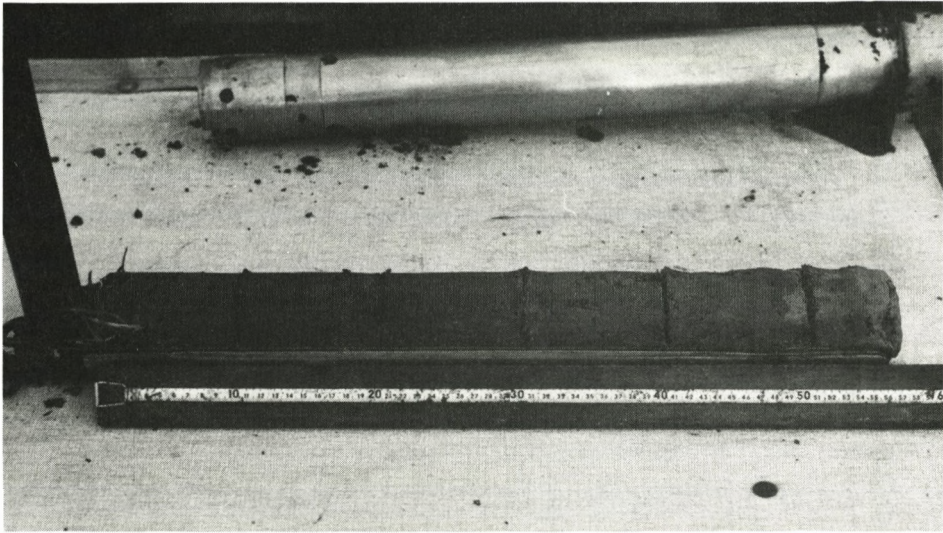


Fig. 2b

I baggrunden ses stålcyklinderen og i forgrunden "storkenæbbet" med jordprøven. Den øverste halvdel af indsatsen er vippet op, og jordprøven ligger blotet. Prøven er inddelt i stykker af 10 cm længde.



Fig. 3

Den hydrauliske rambuk presser cylindren i jorden. Arbejdsbord med værktøjskasse ses påmonteret.

4.1.3. Prøveudtagning

Før udtagning af jordprøver bliver planterne i en cirkel på $0,1 \text{ m}^2$ i prøvefeltet klippet af ved jordoverfladen.

Rodprøverne udtages i det afklippede felt, og der udtages ca. 55 cm jordsøjle ad gangen. I en blød, fugtig jord uden store sten fungerer systemet perfekt. En meget tør, hård eller stenet jord kan volde problemer, idet den nedtrykkede cylinder kan løfte traktoren. I sådanne tilfælde kan prøveudtagning ikke finde sted. Det er kun i hård jord nødvendigt at benytte slag. Årsagen er ofte sten, så prøven må kasseres. Hvis længden af jordsøjlen ikke svarer til boreddybden, skyldes det, enten at jorden ikke er fulgt med op, eller at jorden er presset sammen. I det første tilfælde, som kan forekomme i stiv ler eller meget tør sand, må prøven kasseres. I det andet tilfælde, som kan forekomme i lerjord, bliver der korigeret for sammentrykningen.

En væsentlig fejkilde ved denne udtagningsmetode er, at der efter udtagning af den øverste jordsøjle kan ske nedfald af jord fra oven og fra borehullets sider. Den nedfaldne jord vil herved udgøre det øverste af den næste jordsøjle; men da den næsten altid vil adskille sig ved farve eller konsistens, kan den i de fleste tilfælde fjernes.

4.1.4. Metoder til bestemmelse af rodlængde

Bestemmelse af rodlængde kan foregå på mange forskellige måder (6, 29). Den sikreste metode, som effektiviteten af andre metoder relateres til, består i udtagning af jordprøver, hvorfra rødderne skylles frie, og rodlængden måles. Metoden er ret tidskrævende.

Core-break metoden

Drew & Saker (7) har blandt andre beskrevet en hurtig metode til bestemmelse af rodlængden i felten. Metoden kaldes på engelsk "core-break" metoden. De finder, at metoden giver en rodlængde på 0,42 af den reelle - dog med store variationer mellem vækststadier og lokaliteter (0,23-0,71). Men de mener, at metoden egner sig til at måle den relative fordeling af rødder ned gennem jordprofilen.

Der udtages jordprøver af 10 cm længde, som ovenfor beskrevet. Disse brækkes med hænderne midt over. Nu tælles antallet af rodender på hver brudflade. N er middelværdien af disse to tal omregnet til antal rødder pr. cm^2 . Forudsat, at

rødderne er tilfældigt fordelt i jorden, er rodlængden, L , i cm rod pr. cm^3 jord:

$$L = 2 \cdot N$$

Rodskylning

Måling af rodlængde ved skæringsmetoden forudsætter, at rødderne er rensset for jord. Dette sker ved skylning med vand. Der er udviklet forskellige apparaturer, som mekanisk ved hjælp af vandstrømme skiller rødderne fra jorden (se f. eks. 6). Ingen af metoderne synes dog at være hurtigere eller medføre mindre spild af rødder, end når skylningen udføres med håndkraft, hvorfor denne metode er benyttet her.

Jordprøven, som opbevares i plasticpose i dybfryser, sættes til optøning i en spand vand. Meget lerede prøver anbringes i en 0,27 % natriumpyrofosfatopløsning, som virker dispergerende (29). Prøven hældes over på en sigte med maskevidde 0,5 mm og skylles grundigt igennem med en håndbruser. Herved renses prøven for de fine jordpartikler, mens sten, sand, rødder og andet organisk materiale bliver tilbage.

Hvilken maskestørrelse sigte der anvendes, vil være et kompromis mellem det i teorien mest ønskelige (så lille maskevidde som muligt) og det for praksis mest ønskelige (så stor maskevidde som muligt). Jo større maskevidden er, desto hurtigere og nemmere forløber skylningsprocessen.

Madsen (17) anbefaler en sigte med mindre maskevidde, da han finder et gennemsnitligt tab på 16 % af rodmassen ved brug af en 0,5 mm sigte. I nærværende undersøgelse sås ligeledes et stort vægtmæssigt tab af materiale gennem 0,5 mm sigten. En nærmere undersøgelse af dette materiale viste imidlertid, at det meste var døde rodstykker og andet organisk materiale. Med hensyn til rodlængden fandtes her et tab på i gennemsnit 4 % af rodlængden.

Materialet på sigten skylles atter over i spanden. Med bruseren fyldes der vand i spanden, så der sker en kraftig omrøring. Rødder og andet organisk materiale vil holde sig flydende og dekanteres over på en sigte med maskevidde 0,2 mm, som tilbageholder alle rødder (17). Skylning og dekantering gentages 3 gange, så alle rødder kommer med, og der kun er sand og sten tilbage i spanden. For at rationalisere arbejdsgangen, kan rodprøverne efter skylning atter nedfryses inden rodlængdemåling.

Skæringsmetoden

Materialet fra sigten skylles over i en klar plastbakke, hvor der i bunden er indtegnet et kvadratnet med kantlængden 1,27 cm, således at randene udgøres af "halve" kvadrater (fig. 4).

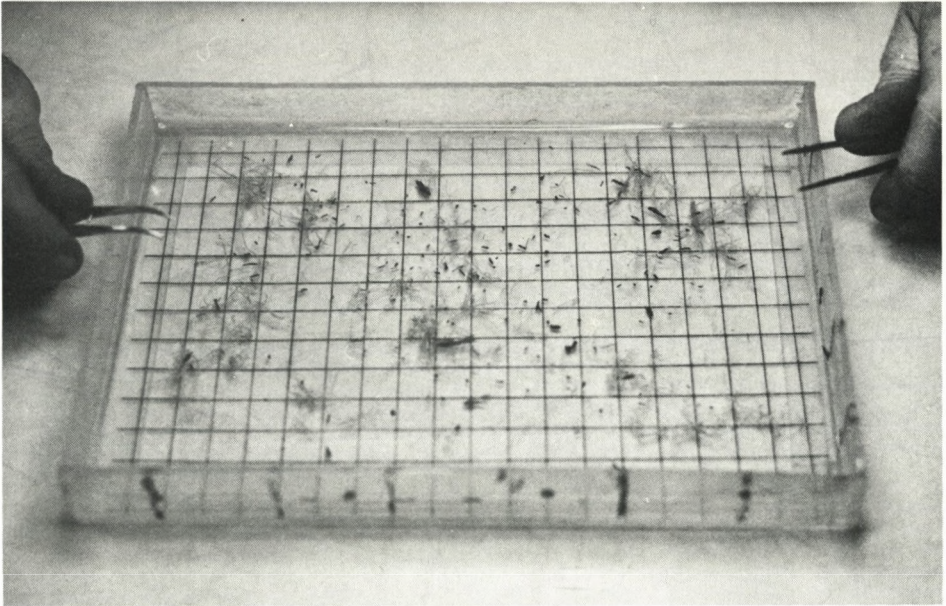


Fig. 4. Rødde i tællebakke med kvadratnet. Røddeerne er lyse.
Det mørke er gammelt organisk materiale.

Røddeerne spredes jævnt ud i bakken, og ved at tælle skæringer mellem rødde og linier fås rodslængden i cm.

Metoden bygger på følgende identitet (20):

$$R = \frac{\pi \cdot N \cdot A}{2 H} ,$$

hvor R er rodslængden, N antal skæringer mellem rødde og linier, A arealet af tællefladen, og H er den samlede længde af linierne.

Tællingerne foretages med det blotte øje eller gennem en luplampe. Hvis der er mange rødder i en prøve, tælles den i flere omgange, og man kan da nøjes med at tælle langs hver anden eller hver tredje linie og gange op. Tidligt på sæsonen tælles kun de nye, helt hvide, friske rødder; men senere tælles også lysebrune med, når det kan ses, at de hører til rodsystemet fra indeværende år.

4.1.5. Rodvægt

Ønskes rodvægten bestemt, sorteres alt andet organisk materiale bort med en pincet. Det kan være halm og især tidligt på sæsonen gamle døde rødder. Dette sorteringsarbejde er meget tidskrævende - især for de øverste jordlag.

Efter sortering lægges rødderne atter op på sigten til afdrypning, pakkes i et stykke papir og tørres i en varmeovn ved 80° C i et døgn. Herefter vejes rødderne på en analysevægt.

Flere prøver kan slås sammen og formales, så f.eks. kvælstofindholdet kan måles.

4.2. Forsøgsoversigt

I tabel 1 gives en oversigt over forsøgssteder, afgrøder og tidspunkter for prøvetagning.

En nærmere beskrivelse af teksten findes i afsnit 6.2.1. Alle steder er taget rodprøver i vårbyg, på sandjordene desuden i græs, og på to af lerjordene i vinterhvede.

Såning af vårbyg ved Borris og Askov blev i 1983 forsinket på grund af det meget våde forår.

I byg blev det tilstræbt at udtage prøver ca. en måned efter såning, lige efter skridning, en eller to gange derimellem samt ved høst. Prøverne i hvede blev udtaget nogenlunde samtidig med prøverne i byggen. I græs blev en prøve taget tidligt om foråret, og de øvrige prøver lige før hvert slæt. Udtagning af rodprøverne i byg ved høsttid ved Foulumgård og Askov måtte udsættes, da jorden var så udtørret, at boring var umulig. Det samme var tilfældet i hvede ved Askov og Roskilde og i græs ved Jyndevad (4. slæt) og Foulumgård (3. slæt).

Tabel 1. Oversigt over forsøgslokaliteter og afgrøder

=====

Forsøgsår, lokalitet, jordtype	Mark	Afgrøde	Art/sort	Dato f. såning	Dato for rodprøver
1983, Jynde vad JB 1, grovsand	Trekanten, Ø	1. års græs	Alm. rajgræs	Aug. 1982	5/5, 25/5, 29/6, 27/7, 17/10
1983, Jynde vad JB 3, grov lerbl. sand	Trekanten, V	Vårbyg	Mirjam	6/4	5/5, 26/5, 14/6, 4/7, 17/8
1983, Borris JB 4, fin lerbl. sand	2	3. års græs	Frøblanding	Forår 1981	28/4, 24/5, 28/6, 9/9, 18/10
1983, Borris JB 4, fin lerbl. sand	3	Vårbyg	Sune	21/4	24/5, 17/6, 5/7, 16/8
1984, Foulumgård JB 4, fin lerbl. sand	"Foulumgård"	Vårbyg	Ida	12/4	7/5, 28/5, 18/6, 24/9
1984, Foulumgård JB 4, fin lerbl. sand	"Mosegård"	2. års græs	Alm. rajgræs	26/4 1983	3/5, 28/5, 9/7, 23/10
1983, Askov JB 5, grov sandbl. ler	G4	Vinterhvede	Anja	19/9 1982	31/5, 15/6, 6/7, 22/9
1983, Askov JB 5, grov sandbl. ler	N6	Vårbyg	Gunhild	20/4	31/5, 15/6, 7/7, 23/9
1982, Rønhave JB 6, fin sandbl. ler	VI	Vårbyg	Aramir	31/3	28/4, 5/5, 12/5, 19/5, 26/5, 9/6, 16/6, 30/6, 4/8
1984, Roskilde JB 6, fin sandbl. ler	A13	Vårbyg	Ida	17/4	14/5, 29/5, 12/6, 26/6, 14/8
1984, Roskilde JB 6, fin sandbl. ler	A14	Vinterhvede	Kraka	23/9 1983	26/4, 14/5, 12/6, 26/9

4.3. Resultater og diskussion

4.3.1. Rodlængde ved skæringsmetoden

Tabel 2a-c viser rodlængderne målt ved skæringsmetoden. Hvert tal er gennemsnit af ca. 10 enkeltprøver. I nogle tilfælde lykkedes det ikke at udtage de planlagte 10 prøver på grund af vanskeligheder ved boringen.

Et 0 angiver, at der ikke var rødder i den pågældende prøve, mens et bart felt skyldes, at der ingen prøve er taget.

Spredningen på værdierne er ikke anført, men omtales i afsnit 4.3.4.

Udover rodlængden i de enkelte jordlag, L_V , på de forskellige prøvetagnings-tidspunkter er angivet den beregnede samlede rodlængde for hele profilen, L_A , i cm rod pr. cm^2 jordoverflade. I forbindelse med L_A er angivet usikkerheden, inden for hvilken den sande middelværdi med 95 % sikkerhed ligger (se afsnit 4.3.4. og 4.3.5.).

Tabel 2a. Rodlængde, L_V , cm rod pr. cm^3 jord (angivet for hvert 10 cm jordlag) og L_A , cm rod pr. cm^2 jordoverflade. Som usikkerhed er angivet 95 % konfidensinterval for L_A (beregnet ud fra CV-værdierne nederst i bilag 1).

Dybde, cm	Byg					Græs				
	5/5	26/5	14/6	4/7	17/8	5/5	25/5	29/6	27/7	17/10
<u>Jydevad 1983</u>										
0- 10	0,48	1,81	2,33	4,01	2,58	21,0	21,3	23,8	21,4	18,2
10- 20	0,25	1,13	3,02	4,63	3,58	9,56	11,7	10,2	9,16	7,81
20- 30	0,07	0,96	1,81	3,29	3,63	4,53	6,61	8,20	8,19	6,46
30- 40	0,02	0,17	0,20	0,47	0,13	0,72	0,62	2,06	2,71	2,38
40- 50	0,008	0,005	0,02	0,02	0,05	0,32	0,60	1,05	1,52	1,85
50- 60	0,006	0,007	0,02	0	0,02	0,13	0,31	0,39	0,94	1,40
60- 70			0,01				0,05	0,15	0,43	0,35
70- 80			0,006				0,003	0,07	0,17	0,12
80- 90			0,002				0,001	0	0,09	0,02
90-100			0				0	0	0,001	0,008
100-110			0							
L_A	8	41	74	124	100	363	411	459	446	386
Usikkerhed	±2	±12	±21	±36	±29	±57	±65	±72	±70	±61
Dybde, cm	Byg				Græs					
	24/5	17/6	5/7	16/8	28/4	24/5	28/6	9/9	18/10	
<u>Borris 1983</u>										
0- 10	1,44	3,50	3,00	3,48	12,9	15,4	17,8	15,6	13,4	
10- 20	0,76	1,48	1,82	1,18	4,14	5,20	6,30	4,88	4,31	
20- 30	0,32	0,82	1,01	1,01	3,18	4,79	4,60	3,87	2,75	
30- 40	0,16	0,56	0,59	1,23	1,78	2,70	3,47	2,24	2,44	
40- 50	0,16	0,73	0,54	0,98	1,75	1,26	3,87	1,99	1,97	
50- 60	0,06	0,34	0,16	0,37	1,16	0,83	2,34	1,73	1,38	
60- 70			0,09	0,06	0,61	0,48	1,44	1,07	0,39	
70- 80			0,007	0,05		0,40	0,15	2,69	0,28	
80- 90			0	0,007		0,24		0,72	0,04	
90-100				0,01		0,18			0,13	
L_A	29	74	72	83	255	315	400	348	271	
Usikkerhed	±7	±17	±17	±20	±38	±47	±60	±52	±41	

Tabel 2b. Rodlængde, L_V , cm rod pr. cm^3 jord (angivet for hvert 10 cm jordlag) og
 ===== L_A , cm rod pr. cm^2 jordoverflade. Som usikkerhed er angivet 95 % konfi-
 densinterval for L_A (beregnet ud fra CV-værdierne nederst i bilag 1).

Dybde, cm	Byg				Græs			
	7/5	28/5	18/6	24/9	3/5	28/5	9/7	23/10
<u>Foulumgård 1984</u>								
0- 10	1,45	4,92	5,30	4,24	17,3	19,8	25,0	25,4
10- 20	0,17	2,12	3,07	1,33	7,75	6,90	10,4	11,2
20- 30	0,02	0,68	2,72	1,17	5,64	5,66	7,61	6,05
30- 40	0,002	0,38	1,67	1,27	2,61	4,26	4,51	3,85
40- 50	0	0,13	1,97	2,19	1,92	3,30	5,18	3,49
50- 60	0	0,02	1,17	1,16	0,73	1,79	3,56	2,05
60- 70			0,31	0,40	0,23	0,79	2,23	1,25
70- 80			0,13	0,05	0,08	0,40	0,85	0,98
80- 90			0,05	0,02	0,07	0,08	0,33	0,71
90-100			0,01	0,008	0,02	0,009	0,07	0,10
100-110			0,005	0,002		0,008	0,01	0,06
110-120			0	0			0,005	0,05
120-130				0				0,002
130-140				0				0,02
140-150				0				0,03
150-160				0				0,003
160-170								0,004
L_A	16	83	164	118	363	430	598	553
Usikkerhed	±4	±19	±38	±27	±57	±68	±94	±87
Dybde, cm	Byg				Hvede			
	31/5	15/6	7/7	23/9	31/5	15/6	6/7	22/9
<u>Askov 1983</u>								
0- 10	0,81	1,98	1,86	1,85	5,56	5,42	6,34	4,06
10- 20	0,41	1,46	1,56	1,53	4,20	4,80	6,57	4,44
20- 30	0,17	0,63	0,92	1,07	2,78	2,27	3,00	3,54
30- 40	0,17	0,37	0,78	0,63	1,31	1,08	1,55	1,42
40- 50	0,22	0,33	0,63	0,43	1,01	0,66	1,22	0,95
50- 60	0,12	0,14	0,59	0,20	0,62	0,43	1,37	0,76
60- 70		0,07	0,31	0,04	0,36	0,24	0,57	0,48
70- 80		0,04	0,02	0,04	0,20	0,12	0,21	0,26
80- 90		0,02	0,008	0,02	0,09	0,05	0,08	0,11
90-100		0,007	0	0,002	0,01	0,02	0,04	0,04
100-110		0,01	0,003		0,007	0,01	0,001	
110-120		0,002			0,001	0,004	0	
L_A	19	51	67	58	162	151	209	161
Usikkerhed	±6	±15	±20	±17	±36	±33	±46	±36

Tabel 2c. Rodlængde, L_V , cm rod pr. cm^3 jord (angivet for hvert 10 cm jordlag) og L_A , cm rod pr. cm^2 jordoverflade. Som usikkerhed er angivet 95 % konfidensinterval for L_A (beregnet ud fra CV-værdierne nederst i bilag 1).

Dybde, cm	Byg								
	28/4	5/5	12/5	19/5	26/5	9/6	16/6	30/6	4/8
Rønhave 1982									
0- 10	0,27	0,81	0,98	1,99	3,00	5,39	4,70	7,91	7,17
10- 20	0,06	0,16	0,23	0,66	1,68	2,30	2,69	3,13	2,50
20- 30	0,02	0,05	0,05	0,17	0,79	1,03	1,34	1,58	1,19
30- 40	0	0,008	0,02	0,06	0,20	0,66	0,94	1,23	0,77
40- 50		0,001	0,004	0,03	0,11	0,65	1,00	1,35	0,79
50- 60		0	0	0,03	0,06	0,40	0,90	1,02	0,68
60- 70		0	0	0,004	0,02	0,31	0,82	1,07	0,72
70- 80		0	0	0	0,01	0,20	0,63	1,08	0,79
80- 90		0	0	0	0,003	0,03	0,42	0,80	0,71
90-100		0	0	0	0	0,05	0,22	0,55	0,33
100-110							0,09	0,14	0,18
110-120							0	0,10	0,04
120-130							0	0	0
130-140							0	0	0
140-150								0	0
150-160									0
160-170									0
L_A	3	10	13	29	59	110	137	199	159
Usikkerhed	± 1	± 3	± 3	± 7	± 15	± 28	± 34	± 50	± 40
Dybde, cm	Byg				Hvede				
	14/5	29/5	12/6	26/6	14/8	26/4	14/5	12/6	26/9
Roskilde 1984									
0- 10	2,24	7,83	10,2	15,2	6,75	7,44	8,35	13,5	8,42
10- 20	0,43	2,63	3,40	5,38	3,29	3,93	4,92	5,98	3,83
20- 30	0,73	0,89	1,64	2,14	2,33	1,90	3,15	2,51	2,63
30- 40	0,17	0,14	1,02	1,12	1,09	1,28	2,18	2,50	1,72
40- 50	0,008	0,06	0,72	0,99	0,80	1,27	2,10	2,32	1,60
50- 60	0,005	0,009	0,22	0,83	0,72	0,94	1,59	2,30	1,35
60- 70		0	0,06	0,32	0,63	0,84	1,44	2,10	1,47
70- 80			0,05	0,12	0,59	0,57	0,91	2,08	1,50
80- 90			0,03	0,07	0,41	0,19	0,49	0,82	1,53
90-100			0,03	0,06	0,39	0,02	0,06	0,60	1,04
100-110			0,01	0,06	0,23		0,02	0,32	0,48
110-120			0	0,04	0,18			0,25	0,29
120-130					0,03				0,41
130-140					0,006				0,16
140-150					0,002				0,003
150-160					0				0,005
L_A	28	116	174	263	175	184	252	322	264
Usikkerhed	± 6	± 26	± 40	± 60	± 40	± 33	± 45	± 58	± 47

L_A for byg og tilhørende spredning er desuden illustreret i fig. 5. Generelt gælder, at rodlængden stiger indtil omkring skridning, og at rodlængden ved høst er noget mindre end ved skridning. De stiplede linier for Foulumgård og Askov skyldes, at de sidste rodprøver ikke er taget ved høst, men sidst i september måned.

Fælles for Jyndeved, Borris og Askov var, at undersøgelsen foregik det samme år, 1983, som var præget af et meget vådt forår og ved Borris og Askov deraf følgende sen såning. Også perioden efter såning var regnfuld, og der blev alle tre steder eftergødsket med 33-40 kg N.

Rodudviklingen har øjensynlig været dårlig - ringest ved Askov og bedst ved Jyndeved. Normalt ville man ud fra teksten forvente det modsatte billede.

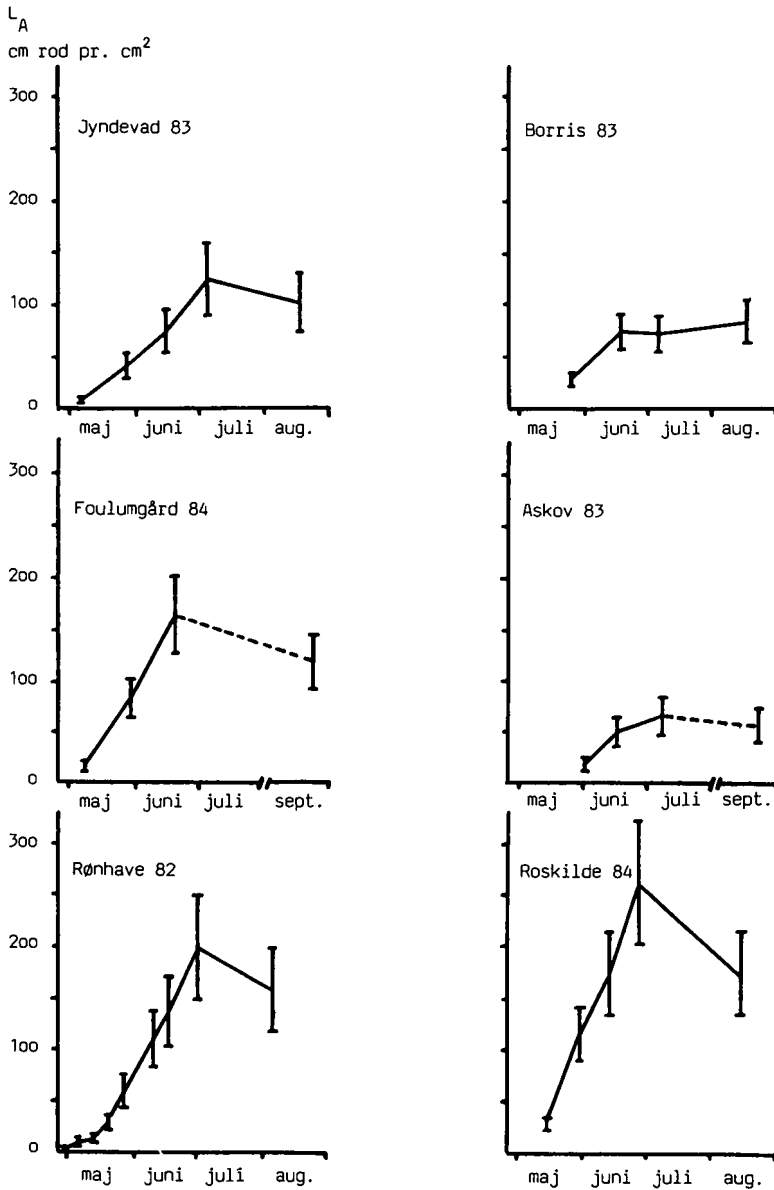
Den største rodlængde for byg blev målt ved Roskilde: 263 cm rod pr. cm^2 jordoverflade. Rodtilvæksten i perioden fra såning til skridning i byg var:

Jyndeved	: 1,4 cm rod pr. cm^2 jordoverflade pr. dag
Borris	: 1,0 cm rod pr. cm^2 jordoverflade pr. dag
Foulumgård	: 2,4 cm rod pr. cm^2 jordoverflade pr. dag
Askov	: 0,9 cm rod pr. cm^2 jordoverflade pr. dag
Rønhave	: 2,2 cm rod pr. cm^2 jordoverflade pr. dag
Roskilde	: 3,8 cm rod pr. cm^2 jordoverflade pr. dag

I perioden fra den 12. til den 26. juni var rodtilvæksten i byg ved Roskilde 6,4 cm rod pr. cm^2 jordoverflade pr. dag.

Allerede ved første prøvetagning i græs var rodnettet veludviklet (tab. 2a og 2b). Rodlængden forøgedes til og med 2. slæt, ved Jyndeved med 26 %, ved Borris med 57 % og ved Foulumgård med 65 %. Herefter aftog rodlængden - mindst ved Foulumgård. Her fandtes den største rodlængde under græs, 598 cm pr. cm^2 jordoverflade, mens den ringeste rodudvikling var ved Borris.

I hvede var der også kraftige rodnet allerede ved første prøvetagning. Rodlængden forøgedes dog indtil skridning med hhv. 29 og 75 % ved Askov og Roskilde. Den største rodlængde på 322 cm rod pr. cm^2 jordoverflade blev målt ved Roskilde (tab. 2c). I perioden fra den 24.04. til den 14.05. var rodtilvæksten her på 3,8 cm rod pr. cm^2 jordoverflade pr. dag. Den største målte tilvækst ved Askov var på 2,8 cm pr. cm^2 pr. dag og blev målt i perioden fra den 15.06. til den 06.07.



Figur 5

Den totale rod længde af byg, L_A , cm rod pr. cm^2 jordoverflade. For hver prøvetagning er angivet det interval, inden for hvilket den reelle værdi med 95 % sikkerhed vil ligge.

I tabel 3 er rodlængden inddelt efter logaritmisk skala. Denne inddeling anvendes også af *Madsen* (18), som angiver følgende benævnelser:

Mange rødder : $L_V > 1$ cm rod pr. cm^3 jord

Få rødder : $1 > L_V > 0,1$ cm rod pr. cm^3 jord

Meget få rødder: $0,1 > L_V > 0,01$ cm rod pr. cm^3 jord

Ingen rødder : $L_V < 0,01$ cm rod pr. cm^3 jord

0,1 cm rod pr. cm^3 jord sættes af *Madsen* (18) som grænse for udnyttelse af den tilgængelige vandmængde i jorden, således at der i jordlag med mindre rodlængde ikke vil ske nævneværdig vandoptagelse (se også afsnit 7.4.).

Tabel 3. Største dybde i cm, hvortil de anførte rodlængder er målt =====										
JB- nr.	Lokalitet og år	Rodlængde, L_V , cm rod pr. cm^3 jord								
		$L_V > 1,00$			$1,00 > L_V > 0,10$			$0,10 > L_V > 0,01$		
		Byg	Græs	Hvede	Byg	Græs	Hvede	Byg	Græs	Hvede
1	Jyndeved, 83	30	60		40	80		70	90	
4	Borris , 83	40	80		60	100(?)		100(?)		
4	Foulumg., 84	60	70		80	100		100	150	
5	Askov , 83	30		60	70		90	110		110
6	Rønhave , 82	80			110			120		
6	Roskilde, 84	40		100	120		140	130		140

4.3.2. Rodlængde i forhold til planteantal

Det kan forventes, at placeringen af rodprøverne i forhold til planterækkerne vil have stor betydning. En prøve taget midt ned i en række vil forventes at indeholde flere rødder end en prøve taget imellem rækkerne.

For at belyse om dette holder stik, blev det i de fleste rodprøver i byg ved Rønhave registreret, hvor mange planter der var i prøven. Disse prøver blev

taget tilfældigt inden for et 0,1 m² stort afklippet felt. En plante er i dette tilfælde den oprindelige kerne med stubben af de afklippede skud og tilhørende rødder.

I tabel 4 er anført den gennemsnitlige rodlængde i 0-10 cm dybde, da den største forskel - om nogen - findes her.

Det fremgår, at der ikke er nogen entydig sammenhæng mellem antallet af planter og rodlængde i prøven. Ved de første prøvetagninger ses en tendens til øget rodlængde med øget planteantal. Forskellene er imidlertid små og statistisk usikre. (Der er udført parvis t-test.) Det kan derfor anses som forsvarligt at udtage prøverne tilfældigt.

Tabel 4. Gennemsnitlig rodlængde i cm rod pr. cm³ jord i 0-10 cm dybde for prøver ===== med det anførte antal planter. Værdier ud for samme dato, som ikke har samme indeksbogstav er signifikant forskellige (P = 0,05). Rønhave, 1982

Dato	Antal planter i prøven							
	0	1	2	3	4	5	6	7
05.05.	0,37 ^a	0,40 ^{ab}	0,45 ^{ab}	1,32 ^b	1,47 ^b	1,04 ^b		
12.05.	0,78 ^a	1,69 ^b			1,01 ^a			
19.05.	1,31 ^a	3,03 ^{ab}	2,62 ^b	1,97 ^{ab}	3,12 ^{ab}			
26.05.	2,36 ^a	4,80 ^a			3,73 ^a			
09.06.	6,77 ^{ab}	4,13 ^a	3,35 ^a	3,71 ^a			3,97 ^a	10,54 ^b
16.06.	5,47 ^a	2,71 ^b	6,78 ^{ab}	4,63 ^{ab}				
30.06.	5,88 ^a	8,26 ^a	9,77 ^a					
04.08.	5,95 ^a	9,04 ^a	5,92 ^a					

4.3.3. Sammenligning af metoder til rodlængdebestemmelse

"Core-break" metoden (se afsnit 4.1.4.) blev benyttet ved alle prøvetagninger (undtagen den første) i byg ved Rønhave, 1982. Rodlængden blev desuden bestemt ved skæringsmetoden i laboratoriet. Forholdet mellem de to sæt resultater ses i tabel 5.

Tabel 5. Forholdet imellem rodlængden målt i marken (core-break) og rodlængden
===== målt i laboratoriet. Rønhave, byg, 1982.

Dybde cm	Dato							
	05.05.	12.05.	19.05.	26.05.	09.06.	16.06.	30.06.	04.08.
0- 10	0,39	0,36	0,38	0,34	0,23	0,27	0,16	0,17
10- 20	0,31	0,38	0,42	0,21	0,22	0,20	0,21	0,24
20- 30	0,92	1,04	0,56	0,32	0,34	0,31	0,22	0,27
30- 40	2,00	1,63	0,83	0,39	0,25	0,27	0,23	0,33
40- 50	0,00	0,00	1,49	0,44	0,18	0,28	0,16	0,23
50- 60			1,32	0,79	0,24	0,23	0,17	0,24
60 -70			10,36	1,35	0,15	0,17	0,13	0,09
70- 80				2,21	0,51	0,14	0,07	0,05
80- 90				0,00	1,33	0,14	0,11	0,08
90-100					1,22	0,16	0,04	0,00
100-110						0,17	0,02	0,02
110-120							0,04	0,00
Hele profilen	0,40	0,38	0,41	0,29	0,23	0,24	0,16	0,18

Næsten alle "core-break" værdierne adskiller sig signifikant fra rodlængderne målt efter udvaskning, og forholdet mellem de to sæt resultater varierer betydeligt imellem de forskellige jordlag på samme tidspunkt og imellem samme jordlag på forskellige tidspunkter. "Core-break" metodens effektivitet aftager i nogen grad med tiden og dermed med øget rodlængde. Det ser ud til, at denne metode ikke kan registrere rodlængder større end 1,3 cm rod pr. cm³ jord. Det skyldes antagelig, at der ved så store rodlængder vil være en forholdsvis stor mængde fine rødder (en høj grad af forgrening), som er svære at se i den ujævne overflade.

Det må konkluderes, at "core-break" metoden ikke egner sig til egentlige rodstudier, idet der ikke findes nogen konstant korrelation mellem de herved opnåede resultater og den reelle rodlængde. Da effektiviteten både ændres med dybden og med tiden, egner metoden sig heller ikke til at måle den relative fordeling af rødderne i dybden eller den tidsmæssige rodudvikling. Metoden giver højst en idé om, hvor dybt der findes rødder. Desuden er den uanvendelig i sandjord.

4.3.4. Variation på rodlængden

Ved enhver prøvetagning er det naturligvis ønskeligt at tage så mange prøver som muligt, fordi sikkerheden på gennemsnittet stiger med prøveantallet.

I bilag 1 er anført den gennemsnitlige variationskoefficient (spredningen i procent af middelværdien) for hvert sted, hver afgrøde og hver dybde. I alle tilfælde ses, at variationen på gennemsnittet øges stærkt med dybden. Det hænger sammen med den ringe rodtæthed i de dybere jordlag og en mere ujævn fordeling af disse rødder.

Nederst i tabellen er angivet variationen på den totale rodlængde for hele profilen. Heraf fremgår det, at variationskoefficienten for en bestemt afgrøde ikke i væsentlig grad afhænger af jordtypen. Gennemsnittet for byg er 36 %, mens det for hvede er 28 % og for græs 22 %.

4.3.5. Nødvendigt antal prøver

Ud fra variationskoefficienterne kan det beregnes, hvor mange prøver der må udtages for at opnå en bestemt sikkerhed på resultatet. Hertil benyttes formelen (24):

$$n \geq \frac{t^2 \cdot CV^2}{d^2},$$

hvor n er antal prøver, t er t -værdien for $f = n-1$, CV er variationskoefficienten ($CV = \frac{s \cdot 100}{x}$), og d er den mulige afvigelse fra det reelle gennemsnit i procent heraf. Ved indsættelse af forskellige CV - og n -værdier kan der optegnes kurver svarende til forskellige d -værdier, se bilag 2.

Med en gennemsnitlig variationskoefficient på L_A for byg på 36 % kan der med 10 fællesprøver opnås en gennemsnitsværdi, som afviger mindre end 26 % fra den reelle. Tages kun 5 fællesprøver, er afvigelsen 45 %, mens en forøgelse af prøvetallet til 15 kun øger sikkerheden til 20 %. 10 fællesprøver forekommer derfor at være et rimeligt antal, når arbejdsindsatsen skal afvejes mod sikkerheden. Ønskes der en sikker bestemmelse af rodlængden i enkelte jordlag og specielt de dybere jordlag, kræves langt flere fællesprøver. Af tabel 6 ses, at den gennemsnitlige variationskoefficient i 50-60 cm dybde for byg er ca. 100 %. For at opnå en sikkerhed på 26 % som ovenfor, kræves der 60 fællesprøver i denne dybde.

4.3.6. Rodtørvægt og kvælstofindhold

Rodtørvægt blev målt ved alle 9 prøvetagninger ved Rønhave og ved en enkelt af prøvetagningerne (for byg omkring skridning) på de øvrige lokaliteter. De målte rodmasser er vist i bilag 3. Nederst ses kvælstofindholdet i vægtprocent. Nitratindholdet blev også målt, men var i alle tilfælde mindre end eller lig med 0,01 vægtprocent, hvilket svarer til måleusikkerheden.

Rodmassen under byg omkring skridning varierer fra ca. 10 hkg pr. ha ved Borris, Askov og Rønhave til 35,2 hkg pr. ha ved Jydevad. Herimellem ligger Roskilde med 16,6 hkg pr. ha og Foulumgård med 23,9 hkg pr. ha. Der er ingen entydig sammenhæng med f.eks. teksturen. Massen af hvederødderne er større, 42,0 hkg pr. ha ved Roskilde og 51,0 hkg pr. ha ved Askov. Den største rodmasse fandtes dog under græs ved Borris: 61,8 hkg pr. ha.

Kvælstofprocenten i bygrødderne viser heller ingen afhængighed af jordtypen. Den varierer inden for et ret snævert område - 1,5-1,8 vægtprocent - undtagen for Rønhave, som adskiller sig fra de øvrige ved et kvælstofindhold på over 2 vægtprocent.

Kvælstofindholdet i hvederødderne er forholdsvis lavt og kun halvt så stort ved Roskilde som ved Askov. Også i græsrødder er kvælstofindholdet lavt; det varierer fra 1,0 % ved Jydevad til 1,5 % ved Borris.

4.3.7. Rodfinhed

Rodfinheden eller rodtykkelsen er forholdet imellem rodvægt og rodlængde. Rodfinheden i mg tørvægt pr. cm rodlængde er anført i bilag 4. Høje værdier er udtryk for tykke rødder, mens lave værdier er udtryk for relativt tynde rødder.

I nogle tilfælde ses forholdsvis høje værdier i de øverste 20 cm, hvilket svarer til en øget forgrening, efterhånden som rødderne vokser nedad. Det er dog ikke generelt, idet nogle profiler har en næsten konstant rodfinhed hele vejen ned. I de allerdybeste jordlag kan der ses meget høje værdier, men da der her er stor usikkerhed, og der ligger så lille et rodmateriale til grund herfor, giver det ikke anledning til vidtrækkende konklusioner. Det kan dog nævnes, at fortykkede rødder kan være forårsaget af forringede vækstbetingelser i jorden.

Bygs gennemsnitlige rodfinhed for hele profilen er for Borris, Foulumgård og Askov ca. 0,15 mg pr. cm rod. I den grovsandede jord ved Jydevad var rodfinheden 0,28 mg pr. cm rod, og på de to fine sandblandede lerjorde, Rønhave og Roskilde, var rodfinheden kun ca. 0,06 mg pr. cm rod. Forudsat, at volumenvægten for rødde er ca. 1 g pr. cm³, svarer det til en gennemsnitlig rodtykkelse (diameter) på ca. 0,2 mm ved Jydevad og ca. 0,1 mm ved Rønhave og Roskilde. Det ser altså ud til, at der er en effekt af jordtypen på rodtykkelsen. Jo mere leret jorden er, desto tyndere er rødde. Det samme forhold ses for hvedes vedkommende. Græsrødde i 1. og 2. års græs ved hhv. Jydevad og Foulumgård har nogenlunde samme tykkelse, mens 3. års græsrødde ved Borris er noget tykkere - især i 0-10 cm dybde.

Af værdierne for Rønhave ses, at rodfinheden kun ændres lidt igennem vækstsæsonen. Den er, som man vil forvente, størst i begyndelsen af vækstperioden (de primære rødde er meget kraftige), men aftager hurtigt til en ret stabil størrelse, som er gældende resten af sæsonen.

4.4. Konklusion

Den beskrevne metode til udtagning af rodprøver er anvendelig, men giver problemer i hård, tør eller meget stenet jord.

Ved bestemmelse af rodlængde i marken ("core-break" metoden) underestimeres rodtætheden i varierende grad med tidspunkt og dybde. Metoden er derfor uegnet til kvantitativ rodlængdebestemmelse.

Ved sammenligning mellem jordtyper og forsøgssteder kunne det forventes, at såvel sort som forsøgsår (klimatiske faktorer) ville have stor indflydelse. For rodlængdens vedkommende ses for byg en effekt af forsøgsår i form af dårlig rodudvikling ved Borris og Askov i 1983, mens der ikke synes at være nogen effekt på rodfinheden. Der er heller ingen tegn på, at sorten har væsentlig betydning. Tværtimod ses god overensstemmelse imellem forskellige sorter på sammenlignelige jordtyper, mens der ses store forskelle i rodudviklingen hos samme sort (og endda i samme år) på forskellige jordtyper.

Rodlængden under byg og hvede øgedes generelt indtil omkring skridning, hvorefter den aftog noget indtil høst. I græs forøgedes rodlængden indtil 2. slæt, hvorefter den atter aftog.

Rodudviklingen i byg var ringest ved Askov. Borris, Jyndeved, Foulumgård og Rønhave havde i nævnte rækkefølge øget rodudvikling, mens den største rodlængde målt ved Roskilde: 263 cm rod pr. cm^2 jordoverflade.

Rodtilvæksten i perioden fra såning til skridning varierede imellem 0,9 cm rod pr. cm^2 jordoverflade pr. dag ved Askov til 3,8 cm pr. dag ved Roskilde. I en 14-dages periode i juli var rodtilvæksten ved Roskilde 6,4 cm rod pr. cm^2 jordoverflade pr. dag.

I græs fandtes den største rodlængde ved Foulumgård: 598 cm pr. cm^2 jordoverflade. Den ringeste rodudvikling sås ved Borris, mens Jyndeved lå derimellem.

I vinterhvede ved Askov og Roskilde var rodudviklingen god allerede i det tidlige forår. Den største rodlængde målt ved Roskilde: 322 cm rod pr. cm^2 jordoverflade. Den største målte rodtilvækst her var 3,8 cm rod pr. cm^2 pr. dag.

Især i de dybere jordlag var der stor usikkerhed på rodlængden. Variationskoefficienten for L_A (cm rod pr. cm^2 jordoverflade) i en bestemt afgrøde var ikke afhængig af jordtypen. Gennemsnitsværdien for byg var 36 %, for hvede 28 % og for græs 22 %.

For byg og hvede gælder, at jo mere leret jorden er, desto tyndere er rødderne. Det samme sås ikke for græs.

Rodfinheden af byg varierede fra 0,28 mg pr. cm ved Jyndeved til 0,06 mg pr. cm ved Roskilde som gennemsnit for hele profilen.

Der var ingen generel tendens i ændring af rodfinhed med dybden.

For kvælstofprocenten i rødderne fandtes ingen sammenhæng med teksturen. Kvælstofindholdet i bygrødder omkring skridning var 1,5-2,2 vægt %.

5. Toppens vækst samt rod/top-forhold

5.1. Metodik

Før udtagning af jordprøver bliver planterne i en cirkel på $0,1 \text{ m}^2$ i prøvefeltet klippet af ved overfladen. Der bliver således plantemateriale fra $10 \times 0,1 \text{ m}^2$ ved hver prøvetagning.

Planterne tørres ved 80°C i et døgn inden vejning. Herefter formales de og analyseres for indhold af totalkvælstof og nitrat,

5.2. Resultater og diskussion

I figurerne 6a og 6b er vist top-tørvægt og kvælstofkoncentration i hhv. byg og hvede.

I byg (fig. 6a) opnåedes den største tørvægt ved høst ved Rønhave: 128 hkg pr. ha. Herefter fulgte Roskilde med 119 hkg pr. ha og Foulumgård med 115 hkg pr. ha. Ved Askov var tørvægten ved høst 75 hkg pr. ha, ved Jyndeved 50 hkg pr. ha, og ved Borris opnåedes kun 38 hkg pr. ha. Det skal erindres, at 1983 var præget af et meget vådt forår med sen såning og stor risiko for udvaskning af det tilførte kvælstof i gødning.

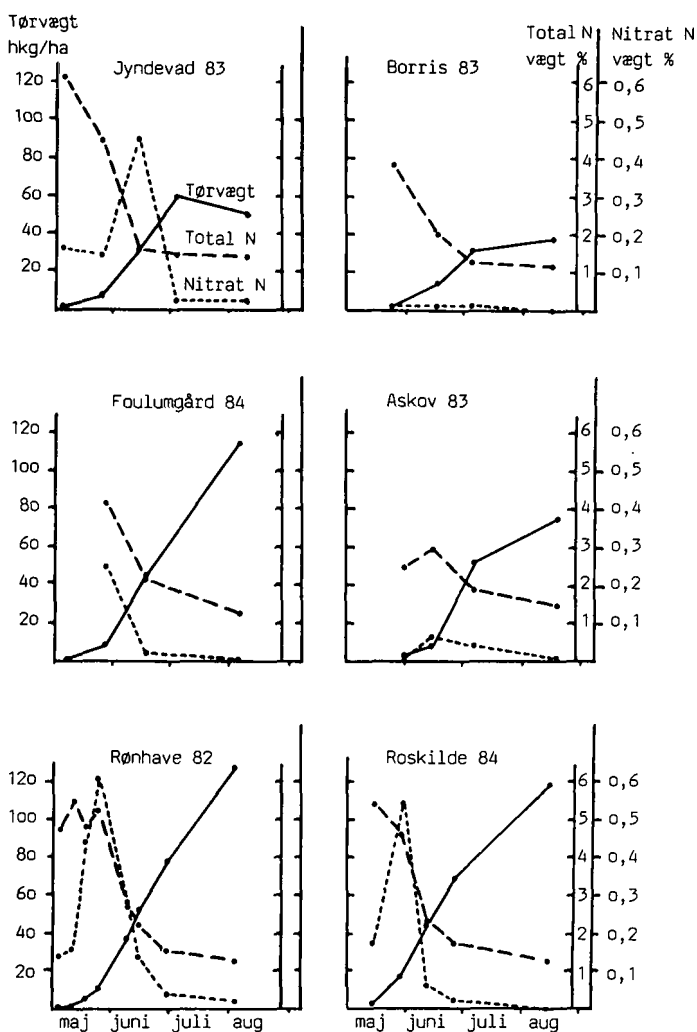


Fig. 6a

Tørvægt og kvælstofkoncentration i de overjordiske plantedele af byg.

Med hensyn til kvælstofindholdet ses der ved Askov en lav total-N-procent den 31. maj. Ellers forekommer det totale kvælstofindhold og ændringer heri at forløbe temmelig ens alle steder. Nitrat-kvælstof-indholdet når de fleste steder et maksimum - ca. 0,5 % - i begyndelsen af juni måned og falder straks derefter drastisk til meget lave værdier. Ved Askov er maksimumværdien under 0,1 %, mens nitrat-N-procenten ved Borris på alle tidspunkter er nær nul.

Lave nitratværdier kan være tegn på kvælstofmangel (30), hvilket sandsynligvis er medvirkende til de små udbytter ved Borris og Askov.

I hvede ses imidlertid også lave nitratkoncentrationer ved Roskilde (fig. 6b), hvor tørstofudbyttet blev usædvanlig stort: 212 hkg pr. ha. Ved Askov blev tørstofudbyttet i hvede 157 hkg pr. ha, men indholdet af kvælstof heri var 233 kg pr. ha mod kun 191 kg N pr. ha i planterne ved Roskilde.

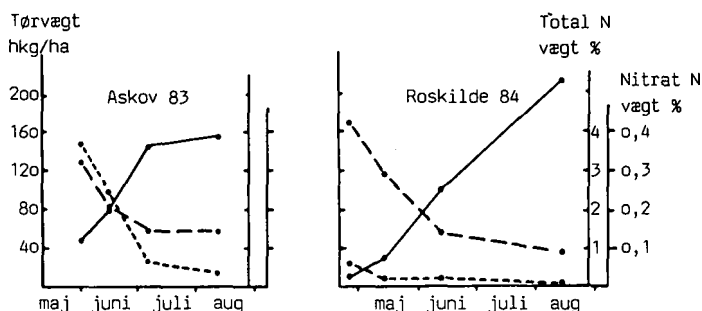


Fig. 6b. Tørsvægt og kvælstofkoncentration i de overjordiske plantedele af vinterhvede.

5.3. Rod/top-forhold

I tabel 6 er angivet rod/top-tørstofforholdene. For lerjordene udgør rodvægten af byg omkring skridning 20-24 % af toppens vægt. På sandjordene er rodmassen forholdsvis større: 35-59 % af toppens vægt. Ved Rønhave var rod/top-tørstofforholdet i byg en uge efter fremspiring 1,57. Det aftog gradvis igennem vækstsæsonen, og ved høst var forholdet 0,09.

Tabel 6. Rød/top-forhold samt kvælstof i rod og top

=====

Lokalitet og afgrøde	Dato	Rod/top- tørstof- forhold	kg N pr. ha				Rod/top- kvælstof- forhold
			i rod	i top	rod + top	tilført i gødning	
Jynde vad Mirjam-byg	04.07.83	0,59	56,4	84,8	141,2	133	0,66
Borris Sune-byg	05.07.83	0,35	19,6	38,7	58,3	150	0,51
Foulumgård Ida-byg	18.06.84	0,53	40,1	98,0	138,2	110	0,41
Askov Gunhild-byg	07.07.83	0,20	17,2	96,4	113,6	155	0,18
Røn have Aramir-byg	09.06.82	0,24	20,4	106,2	126,6	110	0,19
Roskilde Ida-byg	26.06.84	0,24	24,8	118,3	143,1	95	0,21
Jynde vad Alm. rajgræs	29.06.83	0,97	48,8	140,7	189,5	136	0,35
Borris Græsblanding	28.06.83	1,20	92,1	126,2	218,3	98	0,73
Foulumgård Alm. rajgræs	28.05.84	0,65	47,7	132,6	180,3	150	0,36
Askov Anja-hvede	06.07.83	0,35	73,5	218,1	291,6	200	0,34
Roskilde Kraka-hvede	12.06.83	0,42	29,8	138,5	168,3	120	0,22

For hvede udgør rødderne 35-42 % af toppens vægt, mens græsrøddernes vægt er 65-120 % af de overjordiske plantedele. Det skal hertil anføres, at der for græs er tale om et enkelt slæt og dermed kun ca. en fjerdedel af den totale overjordiske planteproduktion. Ved Jynde vad og Borris drejer det sig om 2. slæt og ved Foulumgård 1. slæt.

Af tabel 6 fremgår også, hvor stor en mængde kvælstof der findes i rod og top. For den totale mængde kvælstof optaget i byg ved skridning ses ingen jordtypeeffekt. Bemærk, at bygafgrøden ved Jynde vad har optaget lige så meget kvælstof som afgrøden ved Roskilde. Kun resultatet fra Borris falder helt ved siden af. Her var en meget dårlig afgrøde, som kun gav ca. 17 hkg kerne (se afsnit 5.2.).

Der er imidlertid stor forskel imellem jordtyperne med hensyn til, hvordan det optagne kvælstof er fordelt i top og rod. Rod/top-forholdet er størst på den grovsandede jord (0,66), lidt mindre på fin lerblandet sandjord (0,41-0,51) og mindst på lerjordene (0,18-0,21).

Andersen & Jensen (3) fandt ved Jyndevad i 1981 et rod/top-kvælstofforhold for Mirjam-byg omkring skridning på 0,36, mens der ud fra Nielsens (22) data for lerjord kan beregnes et rod/top-forhold for Welam byg på 0,21. Dette underbygger den bemærkelsesværdige forskel imellem jordtyperne. Da meget nær det samme rod/top-forhold er fundet for fire forskellige bygsorter på lerjord, og da et vidt forskelligt rod/top-forhold er fundet for samme sort i samme år på hhv. sandjord og lerjord, kan det fastslås, at de fundne forskelle ikke er sortsafhængige. At det samme rod/top-forhold er fundet på lerjord i fire forskellige år under vidt forskellige vækstbetingelser, er ligeledes tegn på en nær sammenhæng med jordtypen.

Rod/top-kvælstofforholdet for græs er ens ved Jyndevad og Foulumgård, mens det ved Borris er dobbelt så stort. Det kan hænge sammen med, at græsset her oprindeligt var en frøblanding, hvori der indgik hvidkløver. I foråret 1983 skønnedes bestanden overvejende at bestå af rajgræs og hvidkløver; men hvidkløveren forsvandt næsten totalt, da græsset blev kvælstofgødsket. Det er ikke utænkeligt, at hvidkløverrødderne alligevel er skyld i det høje rod/top-forhold ved Borris.

Forskellen imellem rod/top-forholdene for hvede ved Askov og Roskilde hænger sammen med den lave kvælstofprocent i hvederødderne ved Roskilde (se bilag 3). Muligvis er afgrøden her underforsynet med kvælstof (se også afsnit 5.2.).

5.4. Konklusion

På sandjord udgør rodmassen af byg 35-59 % af toppens tørvægt, mens den på lerjord udgør 20-24 %. Rod/top-forholdet aftager igennem hele vækstsæsonen. Omkring skridning findes på sandjord 29-40 % af det optagne kvælstof i rødderne, mens det på lerjord drejer sig om 15-17 %.

I græs udgør rodmassen 65-120 % af de overjordiske plantedeles tørvægt for et enkelt slæt. I alm. rajgræs var rod/top-kvælstofforholdet 0,35-0,36, mens det i en frøblanding med hvidkløver var 0,73.

I hvede udgør rodmassen 35-42 % af toppens tørvægt omkring skridning. Her findes 18-25 % af det optagne kvælstof i rødderne.

6. Jordtyper. Profilbeskrivelse ved jordfysiske og -kemiske parametre

6.1. Metodik

På hver forsøgslokalitet blev der foretaget en jordfysisk og -kemisk beskrivelse af en jordprofil.

Der blev gravet et hul (ca. 70 x 150 cm) så dybt som muligt. I den ene ende-væg blev der udtaget jordprøver fra oven af for hver 10 cm (i nogle tilfælde kun for hver 20 cm under 60 cm dybde).

Profilerne i Trekanten, "vest" ved Jydevad, mark 3 ved Borris samt "Mosegård" ved Foulumgård (tabel 1) er de samme profiler, som *Dissing Nielsen & Møberg* (21) har beskrevet.

Her blev der udtaget jordprøver i de naturlige jordlag, som ovennævnte inddelte profilen i. (Profilen fra "Mosegård" ved Foulumgård stammer ikke fra netop den mark, hvor græsvæksten blev undersøgt, men fra en nærliggende mark.)

I hvert jordlag blev der udtaget 10-14 jordprøver i 100 cm³ ringe i naturlig lejring. På 5-9 af disse blev der foretaget vandretentionsanalyse. De resterende 5 jordprøver blev afdrænet ved pF 2,0 og anvendt til bestemmelse af luftdiffusion og penetreringsmodstand. Desuden udtoges 5 jordprøver i 100 cm³ ringe til bestemmelse af tør volumenvægt og 2 store jordprøveæsker løs jord, hvoraf den ene blev anvendt i retentionsanalysen (v. pF 4,2), mens den anden blev anvendt til jordkemiske analyser.

Teksturanalyse samt alle kemiske analyser er udført ved Centrallaboratoriet, Forsøgsanlæg Foulum. Foruden tekstur blev der bestemt pH(CaCl), pH(H₂O), Cat, Pt, Al, Fe, C, NO₃⁻, NH₄⁺ og ombyttelige kationer.

De jordfysiske analyser er udført på laboratoriet ved Institut for Jordfysik og Jordbearbejdning, Højer. De anvendte metoder til vandretentionsanalyse og luftdiffusionsmåling er beskrevet af *Schjønning* (26, 27).

Penetreringsmodstanden giver et udtryk for jordens tæthed og måles ved pF 2,0 ved hjælp af et minipenetrometer, hvor 1-5 stålspyd (ved stor modstand 1, ved lille modstand 5) med en diameter på 2 mm og en tilspidsning på 30° automatisk trykkes ned i en 100 cm³ jordprøve udtaget i naturlig lejring og afdrænet ved pF 2,0. Hastigheden er 3 mm pr. minut. Modstanden registreres kontinuert under nedpresningen, men angives her kun som den aktuelle modstand i 8 mm dybde, idet trykket i en dybde svarende til fire gange penetrometerets diameter anvendes som standard (35).

6.2. Resultater

6.2.1. Tekstur

Tabel 1 giver en oversigt over forsøgslokaliteterne og de tilsvarende jordtypebetegnelser. Det ses heraf, at der i undersøgelsen er indgået tre sandjorde og tre lerjorde.

De undersøgte jordtyper må siges at være repræsentative for det dyrkede areal i Danmark. Ifølge Arealdatakontoret er 25 % af det dyrkede areal grovsandet jord (JB1), 28 % er lerblandet sandjord (JB3-4), og 26 % er sandblandet lerjord (JB5-6).

Bilag 5 giver et mere detaljeret billede af tekstrukturen på de forskellige lokaliteter. At der kun er en profil fra Rønhave, skyldes, at der her kun blev foretaget studier i en afgrøde, mens det samme forhold for Roskilde skyldes, at de to undersøgte afgrøder lå side om side, hvorfor det skønnedes, at en jordprofil gravet midt imellem de to arealer var tilstrækkeligt.

Af bilag 5 fremgår det, at det på samme lokalitet inden for forholdsvis kort afstand er muligt at støde på vidt forskellig tekstur under pløjelaget. Ved Jydevad nås således et kompakt stenlag i 120 cm dybde i den "østlige" profil, mens et tilsvarende lag først observeres i 170 cm dybde i "vest"-profilen. Her er tale om to naboarealer, og afstanden mellem profilerne er højst 30 m.

Jydevad-profilerne består i hovedsagen af grovsandet jord. I nogle lag overstiger lerindholdet 5 % med få decimaler og bør egentlig betegnes som grov lerblandet sandjord. Det gælder især den "vestlige" profil.

Ved Borris er jordtypen fin lerblandet sand. I mark 3 stiger lerindholdet med dybden, og fra 120 cm dybde er jordtypen fin sandblandet ler.

Profilen i mark 2 bærer præg af et større indhold af grovsand, idet lagene 0-10, 60-70, 130-140 og 140-150 cm er grov lerblandet sandjord, mens laget 50-60 cm endda må betegnes som grovsandet jord. Mellem 80 og 130 cm er der grov sandblandet lerjord.

Foulumgård-profilerne består begge af fin lerblandet sandjord oven på fin sandblandet lerjord. I "Mosegård"-profilen skifter jordtypen allerede ved 35 cm dybde, mens det i "Foulumgård"-profilen først sker ved 1 m dybde.

De to profiler fra Askov har som eneste fællestræk, at pløjelaget er grov sandblandet lerjord. Denne fortsætter i mark N6 til 40 cm, hvorunder der findes lerjord. Lagene 40-50, 60-70 og 70-80 cm er endda svær lerjord med over 25 % ler. I mark G4 findes under pløjelaget fra 20-40 cm grov lerblandet sandjord. Herunder er jordtypen atter grov sandblandet lerjord til 90 cm dybde. Fra 90

til 180 cm er jordtypen grov lerblandet sandjord. Her er altså tale om to vidt forskellige profiler, selv om afstanden imellem arealerne næppe overstiger 100 m.

Jordtypen ved både Rønhave og Roskilde er fin sandblandet lerjord, og fra ca. en halv meters dybde er der lerjord. Ved Roskilde findes der under 120 cm dybde et forholdsvis stort islæt af humus og kalk i jorden. Årsagen til, at Rønhave-profilen kun går til 130 cm, er, at der skete en kraftig fremsivning af vand, hvorved dybere aktivitet hindredes.

Et fælles fremtrædende træk for lerjordene er, at der er sket en lernedslemning fra pløjelaget til den underliggende jord.

6.2.2. Porestørrelsesfordeling

Bilag 6 illustrerer porestørrelsesfordelingen i de undersøgte profiler. Porerne er inddelt i fire klasser, som beskrevet af *Madsen* (18).

Grovporer er porer, der ikke er i stand til at tilbageholde vand ved en afdræning på 100 cm vandsøjle svarende til pF 2,0. *Madsen* finder, at pF 2,0 er et udmærket estimat for markkapacitet på de lerede jorde og sandede pløjelag, mens det er en kraftig undervurdering af de sandede underjorde. Det medfører, at en del af en sandet underjords plantetilgængelige vand kan findes i grovporerne.

Mellemporerne, som er vandfyldte ved markkapacitet, rummer det for planterne tilgængelige vand. De grove mellemporer tilbageholder vand ved en tension på mellem pF 2,0 og 3,0. Dette vand betegnes det lettilgængelige vand. Vandet i de fine mellemporer - svarende til en tension på mellem pF 3,0 og 4,2 - betegnes det sværttilgængelige vand. Hvis jorden er udtørret til under pF 3,0, kan der ikke ske en optimal planteproduktion, da jordens hydrauliske ledningsevne aftager med stigende tension.

Finporerne er en betegnelse for porer, der frigiver vand ved pF større end 4,2 (visnegrænsen). Dette vand kan ikke udnyttes af planterne.

Det totale porevolumen ligger generelt for alle jordene omkring 40 % med variationer fra 30 til 50 %, og der er generel tendens til aftagende porevolumen med dybden.

Sammenlignes bilag 5 og 6, ses en tæt sammenhæng mellem jordens indhold af ler (og humus) og mængden af finporer, hvilket *Hansen* (12) også fandt. Der ses også en vis sammenhæng mellem indholdet af grovsand og grovporer. Disse forhold fremgår også af *Schjønning's* nuancerede beskrivelse af porestørrelsesfordelingen i nogle danske jorde (28).

I bilag 6 viser en pludselig reduktion i porevolumen (grovpore-), at der er udviklet pløjesål i nogle af lerjordene. Ved Askov i mark N6 samt ved Roskilde ses en pløjesål i 20-30 cm dybde. Ved Rønhave er der et kompakt lag i 30-40 cm dybde.

Fra et dyrkningsmæssigt synspunkt er det mængden af mellemporer, som er mest interessant, idet de rummer den vandmængde, som jorden stiller til rådighed for planterne.

I tabel 7 er den tilgængelige vandmængde angivet som mm vand og summeret fra jordoverfladen.

Tabel 7. Tilgængeligt vand i jorden beregnet som forskellen imellem vandindholdet ===== ved pF 2,0 og pF 4,2. Vandmængderne er angivet i mm vand og summeret fra jordoverfladen

Til dyb- den cm	Jydevad		Borris		Foulumgård		Askov		Rønhave	Roskilde
	Trekanten "Vest"	"Øst"	Mark 3	Mark 2	"Foulum- gård"	"Mose- gård"	Mark N6	Mark G4	Mark IV	Mark 13-14
10	13,9	14,9	20,3	18,4	21,9	23,5	17,8	18,7	19,7	16,2
20	27,8	28,7	40,6	34,6	43,6	47,1	35,7	37,6	39,6	32,5
30	41,3	40,6	61,4	53,2	66,2	70,7	54,5	55,2	60,1	48,8
40	52,7	48,8	82,6	71,8	88,5	89,2	70,3	69,8	79,4	65,1
50	60,5	53,3	94,3	83,9	109,0	102,0	85,2	83,5	95,1	80,6
60	67,8	58,0	106,0	93,8	130,1	114,9	101,0	100,2	110,7	95,4
70	74,6	61,3	118,3	104,9	150,8	129,9	117,7	116,4	126,3	108,6
80	81,4	64,7	131,4	115,3	171,5	145,0	134,9	133,7	140,2	121,9
90	86,9	68,0	144,4	126,5	187,8	160,0	151,7	150,9	155,5	137,1
100	91,1	71,4	157,5	139,5	204,0	175,1	167,9	164,8	172,4	152,4
110	95,3	74,9	170,6	151,7	219,0	190,4	185,3	177,5	190,9	168,3
120	99,4	78,4	183,6	165,4	234,0	205,7	201,5	191,7	211,5	184,3
130	103,6		199,4	178,0	249,4	220,9	217,7	205,9	231,6	199,7
140	107,9		218,0	189,9	265,0	238,6	233,8	222,0		215,2
150	112,4		236,6	199,2	280,4	256,2	251,7	234,8		229,3
160	116,8		255,2		295,8	273,8	269,1	247,4		243,5
170	121,2		273,8			291,5	288,0	259,4		258,2
180						309,1	307,7	271,2		273,0

Sammenlignes den tilgængelige vandmængde til f.eks. 100 cm dybde for de forskellige jorde, ses, at den grovsandede jord ved Jyndevad rummer den mindste mængde, ca. 80 mm, mens den finsandede jord ved Foulumgård rummer mest, ca. 190 mm. Lerjordene ved Askov og Rønhave rummer ca. 170 mm, mens lerjorden ved Roskilde kun rummer ca. 150 mm svarende til den finsandede jord ved Borris.

Det må erindres, at definitionen på markkapacitet måske ikke er helt korrekt for sandede underjorde. Hvis man under pløjelaget regner pF 1,7 for svarende til markkapacitet, bliver den tilgængelige vandmængde til 100 cm dybde ved Jyndevad ca. 105 mm.

Hvor stor en vandmængde der i realiteten er til rådighed for planterne, vil naturligvis afhænge af roddybden. Disse forhold diskuteres i kapitel 7.

6.2.3. Volumenvægt

Jordens volumenvægt er et udtryk for jordens tæthed og kan f.eks. give fingerpeg om strukturskader i jorden. I bilag 7 er de målte volumenvægte afbildet. Variationsområdet er fra 1,3 til 1,9 g pr. cm^3 .

Ved Jyndevad er volumenvægten størst i de øverste jordlag (1,5-1,6). Den aftager til ca. 1,4 i 30-40 cm dybde; herunder stiger den en smule, men ændres kun lidt ned gennem profilen.

I mark 2 ved Borris er volumenvægten ligeledes lavest, ca. 1,4, i 30-40 cm dybde. Herunder øges den jævnt med dybden og indtil ca. 1 m dybde, hvor volumenvægten overstiger 1,8 g pr. cm^3 . I mark 3 ses samme tendens, men variationsbredden er mindre.

Ved Foulumgård er variationsområdet stort, idet volumenvægten er 1,3 g pr. cm^3 i de øverste jordlag og 1,9 g pr. cm^3 i de dybeste jordlag. Den største stigning i volumenvægt sker for "Mosegård"-profilen i 40-100 cm dybde og for "Foulumgård"-profilen i 80-100 cm dybde.

I mark G4 ved Askov stiger volumenvægten med dybden fra 1,3 i 0-10 cm dybde til 1,8 i 60-70 cm dybde. Herunder aftager den igen jævnt til en værdi på 1,6 i 180 cm dybde. Den laveste volumenvægt i mark N6 findes i 40-50 cm dybde, hvor den er 1,5 g pr. cm^3 , og fra ca. 60 cm ligger den ret konstant på 1,6 g pr. cm^3 . De øvrige dybder har volumenvægte derimellem. Der ses ingen pludselig forøgelse i volumenvægten i 20-30 cm dybde svarende til den formodede pløjesål.

Der ses derimod tegn på pløjesål ved Rønhave, hvor volumenvægten i 30-40 cm er 1,7 mod 1,5 i de tilstødende jordlag. Tilsvarende høje volumenvægte ses i 80-100 cm dybde, hvorunder volumenvægten atter aftager.

Også ved Roskilde ses en pløjesål antydnet ved et pludseligt spring i volumenvægt fra under 1,5 i 10-20 cm dybde til 1,6 g pr. cm^3 i 20-30 cm dybde. Volumenvægten aftager atter indtil ca. 50 cm dybde, hvorunder den stiger jævnt med dybden til 1,9 g pr. cm^3 i 180 cm dybde.

Da porøsiteten er afledet af volumenvægten, vil tendenser i disse parametre forventes at stemme overens.

6.2.4. Penetreringsmodstand

I bilag 8 er de målte modstande afbildet. Hvert punkt er gennemsnit af 5 jordprøver.

Penetreringsmodstanden vil i lighed med volumenvægten bl.a. være et udtryk for jordens tæthed. I princippet kan de nedtrængende spyd sidestilles med rødder, og penetreringsmodstanden er da et mål for den fysiske modstand, rødderne møder under deres fremvækst. Det tryk, et penetrometer må udøve for at trænge ned i en jord, er imidlertid 2-8 gange så stort som det tryk, en rodspids må udøve (35). Det skyldes dels, at roden er fleksibel under sin fremvækst, så den f.eks. kan følge sprækker og grovporer, og dels, at roden med sin tykkelsevækst i nogen grad selv er med til at løsne jorden foran rodspidsen og dermed fremme længdevæksten (1, 35).

Ved Jyndevad er penetreringsmodstanden gennemgående meget lav - især i underjorden. Kun i de øverste 30 cm af den østlige profil ses værdier større end 1 MegaPascal (MPa).

Ved Borris er den største værdi på 2,8 MPa målt i 100-110 cm dybde i mark 2, mens der i lagene 10-20 og 120-130 cm er målt modstande på hhv. 2,2 og 2,1 MPa. De øvrige prøver fra Borris viser i hovedtræk modstande fra 1 til 1,5 MPa.

Den største af alle målte værdier, 3,9 MPa, findes i 100-130 cm dybde i "Mosegård"-profilen ved Foulumgård. De øvrige målinger for denne profil ligger stort set mellem 1 og 2 MPa. I "Foulumgård"-profilen er der lave værdier indtil 90 cm dybde, hvor 2,3 MPa er målt. Herunder stiger modstanden til 3 MPa i 150 cm dybde. De lokalt høje værdier i 30-40 cm dybde kan måske være tegn på begyndende pløjesåldannelse.

Ved Askov ses også tegn på pløjesål i 20-30 cm i mark N6 og 10-30 cm i G4. Herunder falder penetreringsmodstanden, men stiger atter fra omkring 50 cm dyb-

de. Fra 1 m dybde er penetreringsmodstanden igen aftagende. Den største værdi fra Askov på 3,1 MPa ses i 90-100 cm dybde i mark G4.

Penetreringsmodstanden er gennemgående lav ved Rønhave, hvor højeste værdi er 2,0 MPa.

Roskilde-profilen afslører en pløjesål i 20-30 cm dybde. Ellers er modstandene lave indtil 60 cm dybde, hvorunder de ligger omkring 2 MPa. Største værdi på 2,5 MPa ses i 170 cm dybde.

6.2.5. Luftdiffusion

Luftdiffusionen eller den relative diffusivitet angives her som iltdiffusionskoefficienten i jorden (D_s) i promille af iltdiffusionskoefficienten i luft (D_0), se bilag 9.

Da luftdiffusionen er målt i jordprøver afdrænet ved pF 2,0, vil der være en positiv korrelation til grovporevolumen, mens der må forventes at være negative relationer til volumenvægt og penetreringsmodstand. Det ses også i nogen grad at være tilfældet.

Ved Jyndevad ses de største luftdiffusionsværdier: fra 16 og helt op til 140 ‰. Ved Borris ligger værdierne mellem 3 og 59 ‰, ved Foulumgård mellem 4 og 55 ‰, ved Askov mellem 2 og 29 ‰, ved Rønhave mellem 2 og 27 ‰ og ved Roskilde mellem 3 og 37 ‰. Igen ses tegn på pløjesål ved Askov mark N6 i 20-30 cm dybde og ved Roskilde i 20-30 cm.

6.2.6. Jordkemi

I bilagene 10-19 ses de målte jordkemiske parametre, som overlades til selvstudium.

6.3. Relationer til rodvækst

Det angives ofte som en forudsætning for rodvækst, at sandjord skal have et vist indhold af "rodledende" stof, som er en fælles betegnelse for ler og humus. *Ølsen* (23) har erfaret, at 6 % ler eller 2 % humus eller en kombination heraf er i stand til at gøre sand "rodledende", idet han antager, at humus har tre gange så stor "rodledende" effekt som ler. *Heinonen* (14) angiver, at sandjord skal indeholde mindst 3 % ler og 1 % humus, for at normal rodvækst er

mulig. Endelig finder *Heick* (13) ud fra karforsøg, at summen af ler og organisk stof ikke bør være mindre end 4-5 vægtprocent.

I den foreliggende undersøgelse blev der i den grovsandede jord ved Jydevad i den østlige profil fundet indhold af ler og humus på hhv. 4,5, 4,3, 3,6, 2,4 og 2,8 vægtprocent i dybderne 30-40, 40-50, 50-60, 60-80 og 80-100 cm. Græsafgrøden havde i de tilsvarende dybder rodlængder på op til 2,7, 1,8, 1,4, 0,4 og 0,02 cm rod pr. cm^3 jord. Mængden af "rodledende" stof ser derfor ikke ud til at have begrænset rodvæksten her.

Fig. 7 viser den største målte rodlængde i hvert jordlag for hver afgrøde og lokalitet. Ud fra disse værdier og de foran omtalte fysiske og kemiske parametre er tabellerne i bilagene 20-24 konstrueret. Rodlængderne er angivet som fire størrelsesklasser, mens de forskellige parametre er inddelt i passende intervaller. Tabellerne kan give fingerpeg om eventuel rodvæksthæmmende effekt ved høje eller lave parameterverdier. Imidlertid kan rodvæksten være begrænset pga. andre forhold end den aktuelle parameter, f.eks. vil den naturligt aftagende rodtæthed med dybden spille ind, idet parametrene ofte ændres i af- eller tiltagende retning med dybden. Hvis der derimod findes stor rodlængde i jordlag med specielt høje eller lave værdier, vil det være et bevis for, at rodvæksten ikke er hæmmet af den pågældende faktor.

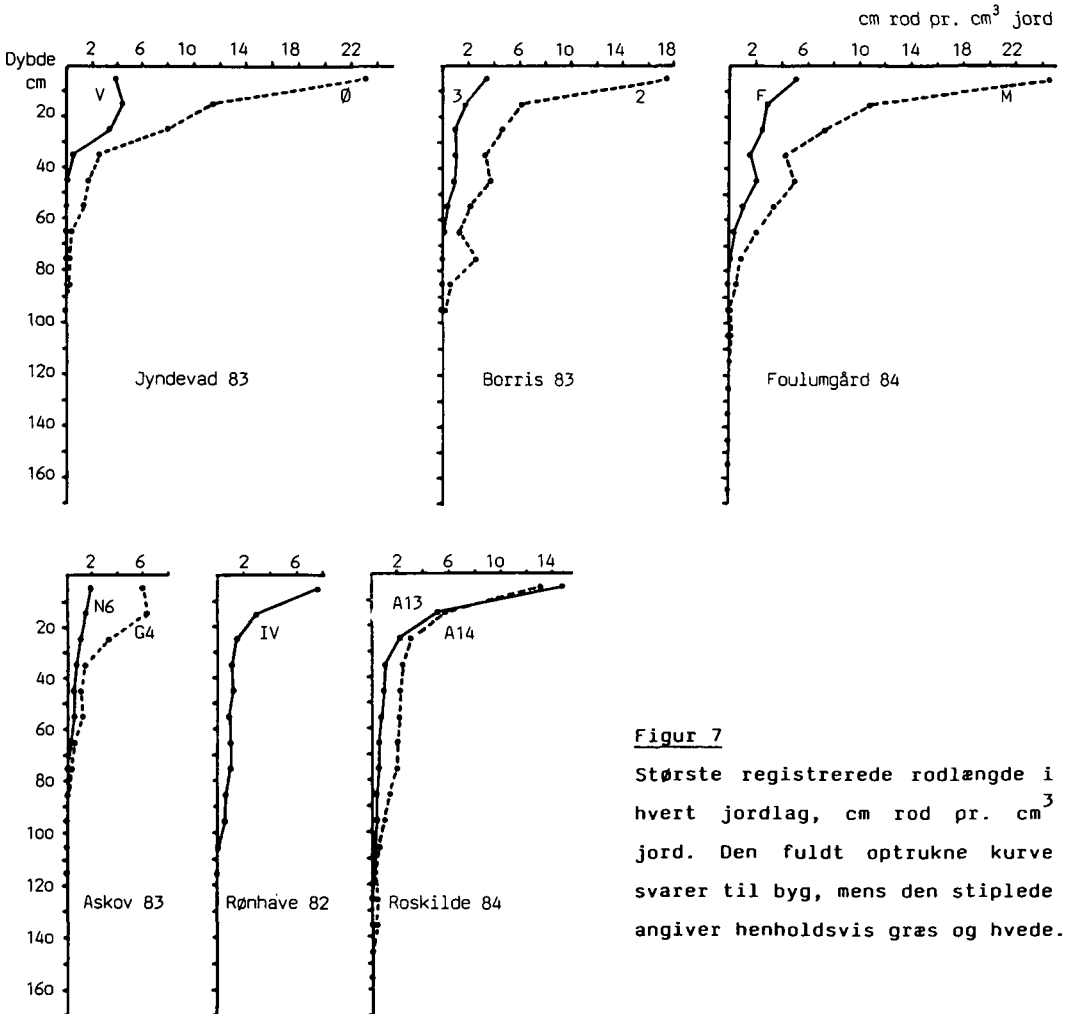
Bilag 20 omhandler jordtætheden. Generelt er der fundet rodlængder større end 1 cm rod pr. cm^3 jord ved volumenvægte på 1,3 til 1,68 g pr. cm^3 . Rodlængder på 0,1-1 cm er målt ved volumenvægte op til 1,82. Mindre rodlængder er målt ved volumenvægte op til 1,86. Det tyder på, at der generelt er en rodvæksthæmmende virkning ved volumenvægte på mere end ca. 1,8 g pr. cm^3 .

Tackett & Pearson (33) har blandt andre påvist volumenvægtens betydning for rodudviklingen. Hvor der ikke findes et naturligt grovporesystem, vil rodudviklingen hæmmes kraftigt ved volumenvægte over 1,6 g pr. cm^3 .

Den foreliggende undersøgelse har vist, at der under naturlige forhold sker betydelig rodvækst selv ved meget højere værdier, hvilket også er fundet af *Madsen* (19), som registrerede rodvækst i jordlag med volumenvægt op til 1,95 g pr. cm^3 .

I jordlag, hvor penetreringsmodstanden var større end 3 MPa (eller mindre end 0,2 MPa), blev der ikke fundet rodlængder større end 0,1 cm rod pr. cm^3 jord (bilag 21).

En øvre grænse på 3 MPa svarer nøjagtig til det, som *Idé et al.*(15) med henvisning til en række referencer fastslår, nemlig, at der sker en tydelig reduktion i rodvækst hos vore afgrøder ved værdier over 3 MPa. (Det må dog understreges, at penetreringsmødstanden i høj grad vil afhænge af spyddimensionerne.)



Figur 7

Største registrerede rod længde i hvert jordlag, cm rod pr. cm³ jord. Den fuldt optrukne kurve svarer til byg, mens den stiplede angiver henholdsvis græs og hvede.

Af bilag 22 ses, at der er målt rodlængder større end 1 cm rod pr. cm^3 jord i et interval af værdier for luftdiffusion fra 3 til 120. Ved diffusionskoefficienter under 3 er der målt mindre end 0,1 cm rod.

En diffusionskoefficient større end 3 synes derfor at være tilstrækkelig for en tilfredsstillende rodvækst. I litteraturen finder man angivet grænseværdier på mellem 5 og 20 (10, 32). Men under markforhold ser det altså ud til, at rødderne kan klare sig ved forholdsvis lave værdier.

Af de målte kemiske parametre omhandles her kun to, nemlig pH og Ca-indholdet i jord, da disse var de eneste, hvor en betydning for rodvæksten blev sandsynliggjort.

Kun ved pH-værdier over 4,6 er der målt mere end 1 cm rod pr. cm^3 jord (bilag 23). Men der er målt rodlængder større end 0,1 cm ved en pH-værdi på 4,0. Ved pH-værdier herunder er målt meget ringe rodvækst. I litteraturen finder man ofte angivet en grænse på $\text{pH}(\text{CaCl})$ 4,5 for uhemmet rodvækst. Ved pH-værdier mellem 4,0 og 4,5 antages rodvæksten især at være begrænset pga. høj aluminium-ionaktivitet, og ved endnu lavere pH skades rodvæksten direkte af den høje protonaktivitet (2, 9).

De foreliggende resultater kan tydes som en svag rodvæksthæmning ved $\text{pH} < 4,6$ og en stærk hæmning ved $\text{pH} < 4,0$.

Effekten af pH hænger nøje sammen med basemætningen og herunder specielt mængden af tilgængeligt kalcium (Ca). Et højt Ca-indhold i jordvæsken sænker pH-grænsen for rodvækst. Wind (36) fandt således ingen skadevirkning af H^+ på rodvækst ved $\text{pH} \geq 3,6$, mens der ved $\text{pH} < 3,4$ ikke var nogen rodvækst.

Ca indtager en særstilling blandt metalionerne, idet Ca ikke kan transporteres rundt i planten med phloemstrømmen og kun kan optages i de unge rødder. Der skal derfor være en tilstrækkelig mængde frie Ca-ioner ved rodoverfladen af de unge rødder i alle jordlag (8).

At røddernes vækst er relateret til vækstmediets Ca-indhold, er påvist af mange - bl.a. Emanuelsson (8), som også refererer en række andre undersøgelser. Generelt kan det siges, at forholdet imellem aktivitet af Ca-ioner og aktivitet af alle kationer bør være større end 0,15. Man kan ikke umiddelbart måle aktiviteten af Ca-ioner i jord; derimod kan Ca-tallet (Cat , mg Ca pr. 100 g jord) og Ca-mætningen ($[\text{Ca}^{++}]/\Sigma[\text{kationer}]$) måles. Emanuelsson (8) angiver på baggrund af data fra Vlamis (34), at Ca-mætningen bør være større end 25 % for at sikre udbyttene i opdyrkede jorde. Det vil imidlertid være en flydende grænse,

som afhænger af typen af jordkolloider og de dominerende kationer. Kalium skulle således være en af de værste, fordi den hæmmer Ca-optagelsen.

I nærværende undersøgelse er der ved Foulumgård målt over hhv. 1 og 0,1 cm rod pr. cm^3 jord ved en Ca-mætning på 13 % og 10 %. Her skyldes de lave Ca-mætningsprocenter imidlertid mange brintioner og ikke specielt lave ombyttelige Ca-værdier.

Med hensyn til jordens Ca-indhold ses af bilag 24, at der ved Cat < 20 ikke er målt rodlængder over 0,1 cm pr. cm^3 jord. Det indikerer, at en uhæmmet rod-vækst forudsætter, at der er mere end 20 mg Ca pr. 100 g jord.

6.4. Konklusion

De undersøgte jordtyper repræsenterede 3 sandjorde og 3 lerjorde (JB nr. 1, 3, 4, 5 og 6). Der kunne på samme lokalitet være store jordtypemæssige forskelle under pløjelaget.

I lerjordene sås lernedslemning fra pløjelaget til den underliggende jord.

Porevolumen var 30-50 %, og porestørrelsesfordelingen viste sammenhæng med tekturen. Den beregnede tilgængelige vandmængde til 1 meters dybde var ved Jyndevad ca. 80 mm, ved Borris og Roskilde ca. 150 mm, ved Askov og Rønhave ca. 170 mm og ved Foulumgård ca. 190 mm.

Der målt volumenvægte af jord på mellem 1,3 og 1,9 g pr. cm^3 .

Penetreringsmodstanden i jorden viste relation til jordens tæthed. Der blev målt modstande op til 3,9 MPa.

Luftdiffusion viste i nogen grad modsatte tendenser, og der målt ilt-diffusionskoefficienter på op til 140 ‰ af ilt-diffusionskoefficienten i luft.

Der sås tegn på pløjesål ved Roskilde i 20-30 cm dybde både i porestørrelsesfordeling, volumenvægt, penetreringsmodstand og luftdiffusion. Det samme var tilfældet for mark N6 ved Askov (på nær volumenvægten). Ved Rønhave sås der i volumenvægten tegn på pløjesåldannelse i 30-40 cm dybde.

Der var tegn på rodvæksthæmmende effekt ved volumenvægte over 1,8 g pr. cm^3 , ved penetreringsmodstand større end 3 MPa, ved luftdiffusion mindre end 3 ‰ , ved pH mindre end 4,0 og ved et Ca-indhold mindre end 20 mg pr. 100 g jord.

Der var ikke tydelige tegn på rodvæksthæmning i sandjord med et indhold af ler og humus ned til 2,4 vægtprocent.

7. Vandforhold

7.1. Metodik

Vandindholdet i jorden blev målt ved hjælp af neutronmoderingsmetoden, som bl.a. er beskrevet af Ølgård (37) og Saare (25).

Der blev tidligt om foråret nedsat aluminiumsrør, så der kunne måles til dybden 1,80 m. Der blev sat 4 rør i hver afgrøde; ved Jydevad og Borris dog kun 2 og kun til 1,40 m dybde. Vandindholdet måltet så ofte som muligt og i det mindste ved hver rodprøvetagning.

Til bestemmelse af tør volumenvægt i hver enkelt dybde blev der ved 1. måling foretaget både gamma- og neutronmålinger. De beregnede værdier for tør volumenvægt er anvendt som grundlag for valg af kalibreringsligninger ved beregning af jordens vandindhold med neutronmoderingsmetoden.

Jordens matriske vandpotential blev målt ved hjælp af tensiometre (af type II), som beskrevet af Bennetzen (5).

I hver afgrøde blev der anbragt to sæt tensiometre (i alt 24 stk.) i dybderne 10, 20, 30, 40, 50, 60, 80, 100, 120, 140, 160 og 180 cm, ved Jydevad og Borris dog kun ét sæt og kun til 140 cm dybde. Alle tensiometre blev aflæst ca. 1 gang om ugen samt tilset, repareret og efterfyldt efter behov.

7.2. Nedbør

I tabel 8 ses den månedlige nedbør til og med august måned for det aktuelle år på hver lokalitet. Desuden er beregnet nedbørssummen for maj, juni og juli måned, som er den periode, hvor planternes vandforbrug er størst. I forhold til den normale nedbør i samme periode for de respektive stationer har der været overskud af nedbør - på nær ved Foulumgård 1984. Det største nedbørsoverskud på 61 mm i vækstperioden ses ved Borris, og det mindste ved Rønhave på 19 mm. Ved Foulumgård var der et nedbørsunderskud på 54 mm.

Tabel 8. Nedbør de første 8 måneder af forsøgsårene (31).

=====

(Nedbør for Foulumgård er venligst opgivet fra Institut for Grovfoder, Foulumgård, mens normalnedbøren for samme er konstrueret af og opgivet fra Jordbrugsmeteorologisk Tjeneste, Foulum.)

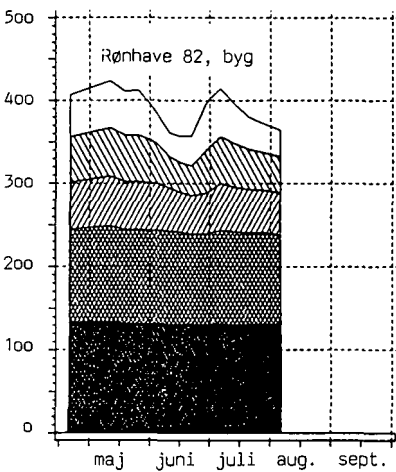
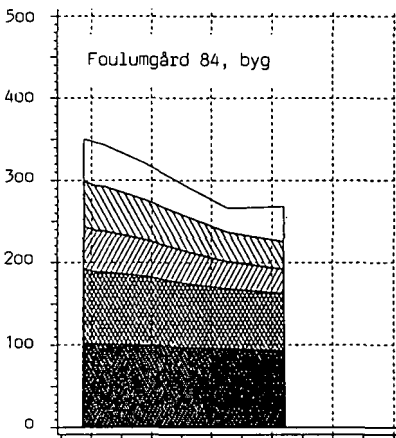
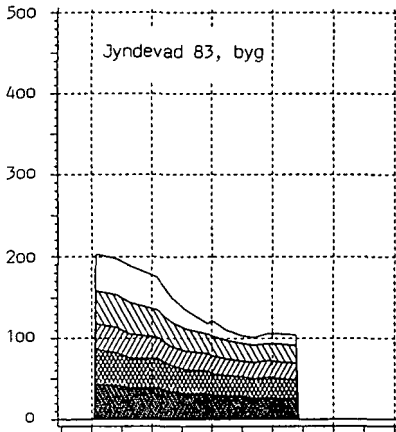
	Jyndevad 1983	Borris 1983	Foulumgård 1984	Askov 1983	Rønhave 1982	Roskilde 1984
Januar	75	96	-	113	67	58
Februar	31	24	-	29	16	20
Marts	97	81	-	90	48	14
April	77	64	-	86	19	13
Maj	154	169	10	168	62	38
Juni	36	31	64	29	106	120
Juli	23	28	40	12	33	23
August	6	16	42	6	79	35
Σ maj-juli	213	228	114	209	201	181
Σ maj-juli Normal (1931-60)	175	167	168	182	182	150
Differens	38	61	-54	27	19	31

7.3. Resultater og diskussion

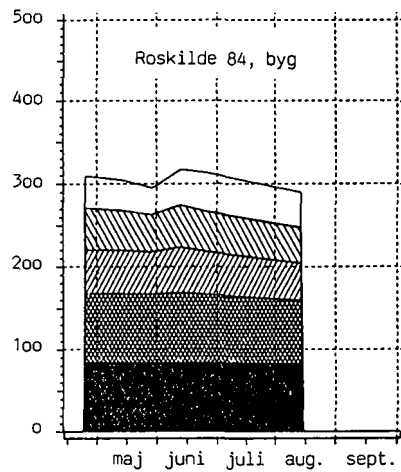
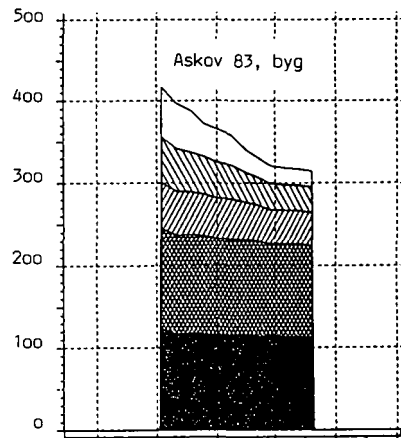
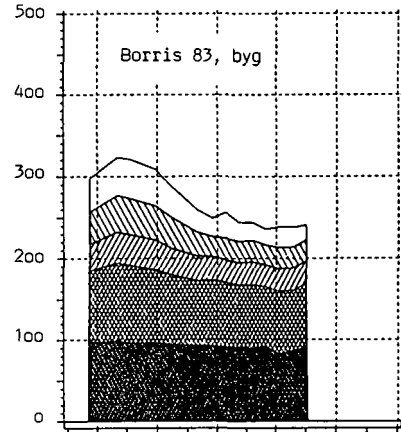
7.3.1. Vandindhold i jorden

I fig. 8 er afbildet de målte vandindhold i 0-140 cm dybde. Figuren giver, udover et mål for den samlede mængde vand i jorden og ændringer heri, også et indtryk af vandets fordeling i de forskellige jordlag, samt i hvilke jordlag der sker de største ændringer. Ændringer i det målte vandindhold er ikke blot resultat af røddernes vandoptagelse, men skyldes også afdræning af overskudsvand til dybere jordlag samt nedbør. Ved sammenligning af de forskellige lokaliteter skal det endvidere understreges, at der ikke er målt på de samme eller lige mange tidspunkter. Ved Jyndevad og Borris er der målt 14 og 17 gange i hhv. byg og græs; ved Foulumgård er der kun foretaget 7 målinger, ved Askov 12, ved Rønhave 15 og ved Roskilde 6 og 7 målinger i hhv. byg og hvede. Når der kun er foretaget få målinger som ved Foulumgård og Roskilde (pga. transportproblemer), kan det betyde, at der ikke er foretaget målinger i de mest tørre perioder.

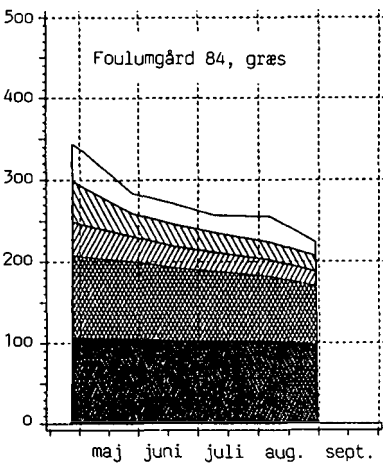
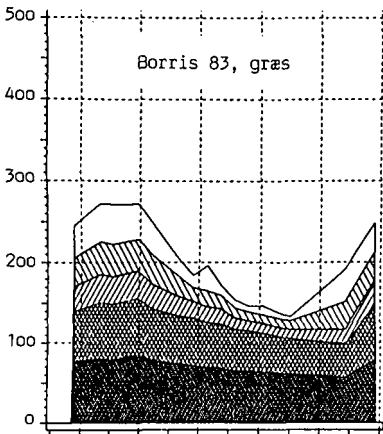
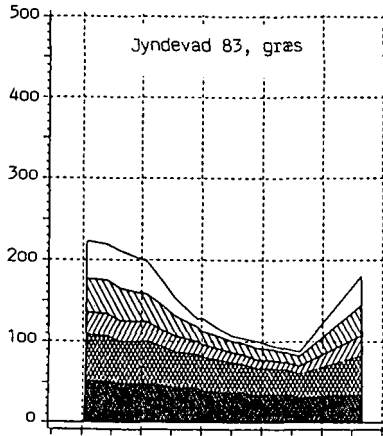
Vandindhold, mm



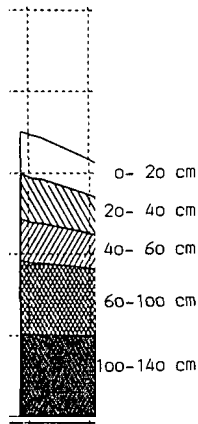
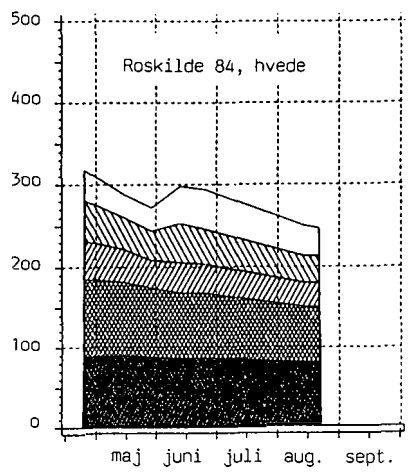
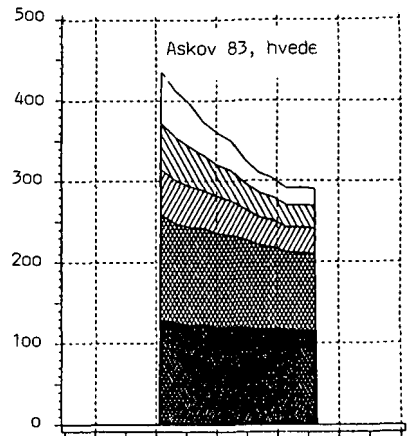
Vandindhold, mm



•Vandindhold, mm



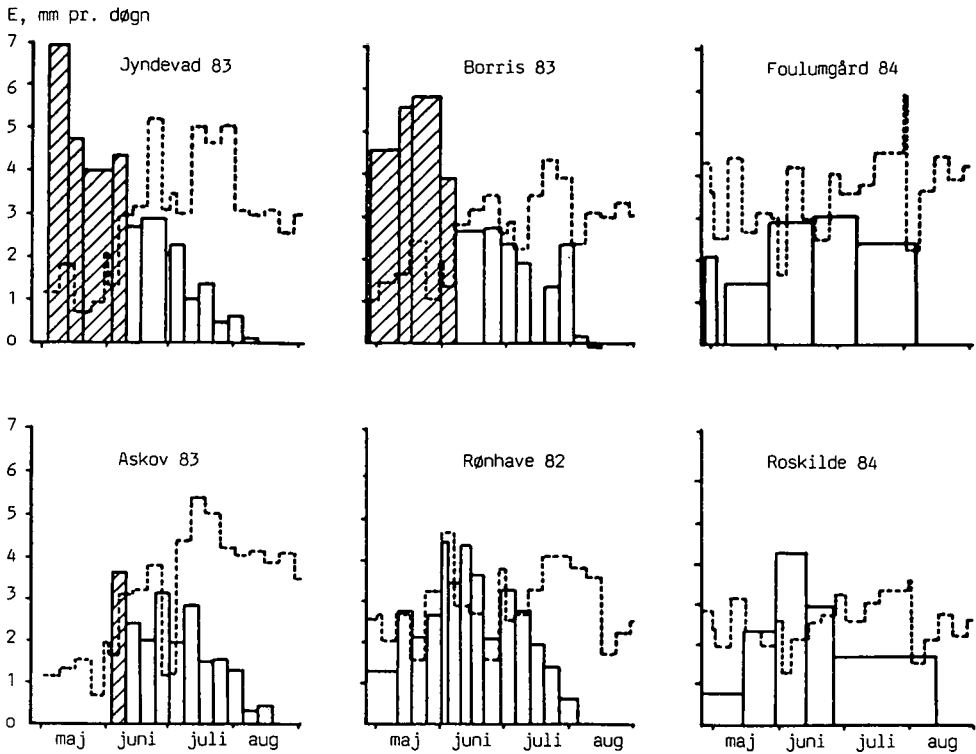
Vandindhold, mm

**Fig. 8**

Jordens vandindhold (mm)
til 140 cm dybde under byg,
græs og hvede.

7.3.2. Evapotranspiration

Et andet udtryk for planternes vandforsyningssituation fås ved sammenligning af den beregnede aktuelle (E_A) med den potentielle evapotranspiration (E_p). I fig. 9 er disse værdier afbildet for byg.



Figur 9

Evapotranspirationen, E , mm vand pr. døgn, i byg. Søjlerne angiver den aktuelle evapotranspiration, E_A , målt som nedbøren plus formindskelsen i vandindholdet i jorden i 0-140 cm dybde. Den stiplede linie angiver den potentielle evapotranspiration, E_p (31). Skraveringen angiver, at der i E_A er eller kan være indeholdt afdræning af overskudsvand.

Ved Jyndevad, Borris og Askov ses helt ind i juni måned 1983 effekten af det våde forår, idet de høje værdier for E_A her i virkeligheden må skyldes afstrømning af overskudsvand - altså nedadgående i stedet for opadgående vandbevægelse. Samtidig var E_p meget lav i maj måned dette år.

Beregnes E_A og E_p som månedsgennemsnit, findes, at forholdet E_A/E_p for juni måned i alle tilfælde er større end eller lig med 1,0. Ved Jyndevad og Askov er forholdet 1,0, ved Borris 1,1, ved Rønhave 1,2, ved Foulumgård 1,3 og ved Roskilde 1,6. Ved de tre førstnævnte skyldes en del af de høje E_A -værdier afstrømning, mens det ikke er tilfældet for de tre sidstnævnte. Her ser det ud til, at den aktuelle evapotranspiration i realiteten overstiger den potentielle.

For juli måned er de beregnede forhold 0,3 ved Jyndevad og Roskilde, 0,4 ved Borris og Askov og 0,5 ved Foulumgård og Rønhave.

7.3.3. Tension

I bilag 25 og 26 er afbildet nogle af de registrerede tensiometermålinger. For overskuelighedens skyld er der kun medtaget 5 måledybder for hver lokalitet og afgrøde. Bemærk, at det ikke er de samme dybder på hver delfigur. I hvert enkelt tilfælde er udvalgt de 5 dybder, som giver det mest dækkende billede af hele profilen.

Tensionen stiger med stigende udtørring af jorden. Den maksimale tension, som kan måles med de her anvendte tensiometre, er ca. 800 cm vandsøjle. Da 800 cm vandsøjle svarer til pF 2,9 ($pF = \log h$), dækker tensiometermålingerne altså kun hovedparten af den lettilgængelige vandmængde i jorden (se afsnit 6.2.2.).

Da pF 2,0 ($\sim$ 100 cm vandsøjle) normalt antages at svare til markkapacitet, betyder en målt værdi på 100 cm vandsøjle, at jorden her er afdrænet til markkapacitet. Lavere værdier indikerer kapillær forbindelse med grundvand eller nedadgående vandtransport, mens højere værdier indikerer, at rødderne udnytter vandet i det pågældende jordlag. I en sandet underjord vil markkapacitet nærmere svare til pF 1,7, som igen svarer til 50 cm vandsøjle (4). Her vil værdier større end 50 cm vandsøjle altså indicere, at der sker en vandoptagelse.

Generelt ses aftagende tension med dybden, bortset fra tilfælde, hvor kraftige regnbyger opfugter jorden ovenfra.

Ved Jyndevad ses i byg en forholdsvis stor vandoptagelse til ca. 60 cm dybde. I 80 cm lå de højeste værdier omkring 50 cm vandsøjle, svarende til markka-

pacitet. I græs er billedet forrykket 20 cm, idet rødderne her optager vand i 80 cm dybde.

Ved Borris ses i byg en tydelig vandoptagelse i 80 cm, mens de højeste værdier i 100 cm lå omkring 100 cm vandsøjle svarende til markkapacitet. I græs ses tegn på rodaktivitet helt nede i 140 cm dybde.

Ved Foulumgård er der i byg tegn på aktive rødder i 120 cm dybde, mens der i græs ses vandoptagelse helt nede fra 180 cm.

Ved Askov sker der i byg vandoptagelse i 100 cm dybde, mens der i hvede er tydelig vandoptagelse i 120 cm og svage tegn herpå i 140 cm.

Det temporære grundvand lå igennem hele vækstsæsonen i 1 m dybde ved Rønhave, og vandoptagelse var kun målelig til 80 cm dybde.

Ved Roskilde ser der ud til at være rodaktivitet helt ned i 160 cm under byg og i 180 cm (sandsynligvis endnu dybere) under hvede.

7.3.4. Vandskellets beliggenhed

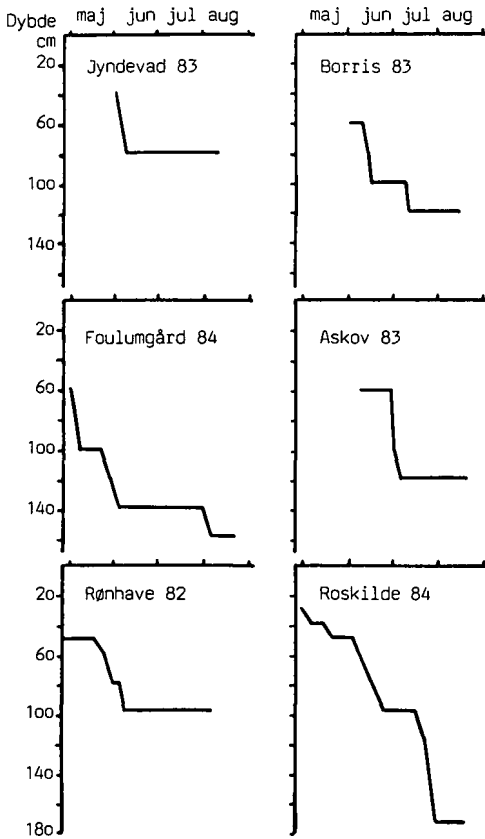
Ud fra tensiometermålingerne fås også et mål for det hydrauliske vandpotential. Det hydrauliske potential er lig med det matriske potential minus dybden i cm. Det hydrauliske vandpotential viser normalt aftagende (negative) værdier med dybden indtil en vis dybde, hvorfra værdierne atter bliver større. Den dybde, hvor det mindste potential måles, kaldes også vandskellet. Vandskellet kan siges at opdele jorden i to zoner. I zonen over vandskellet sker der opadgående vandbevægelse (som følge af evapotranspirationen), mens den underliggende zone er karakteriseret ved nedadgående vandbevægelse (afstrømning).

I fig. 10 a-c er afbildet vandskellets beliggenhed igennem vækstsæsonen.

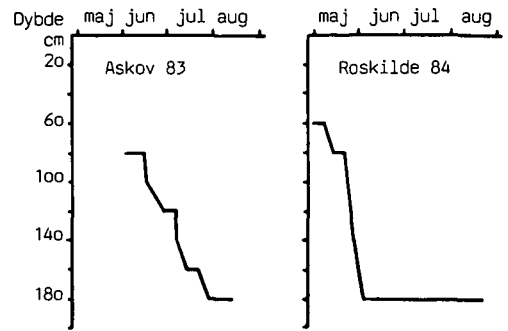
I perioder, hvor jorden indeholder overskudsvand, kan det være umuligt at definere et vandskel, fordi det hydrauliske potential kan være næsten konstant igennem hele profilen. Der kan også være flere "vandskel" i profilen, hvis der er vandstandsene jordlag, eller hvis en kraftig nedbør bevæger sig nedad i jorden. I figurerne er afsat det dybest erkendelige vandskel for et givet tidspunkt.

Vandskellet bevæger sig nedad i løbet af vækstperioden, efterhånden som jorden afdrænes og roddybden og dermed røddernes vandudnyttelse øges.

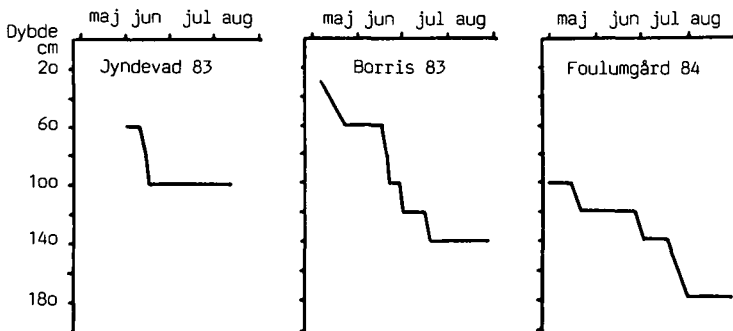
Det senest registrerede niveau svarer til eller er dybere end de i forrige afsnit omtalte dybder for røddernes vandoptagelse.



Figur 10a
Vandskellets beliggenhed
under byg



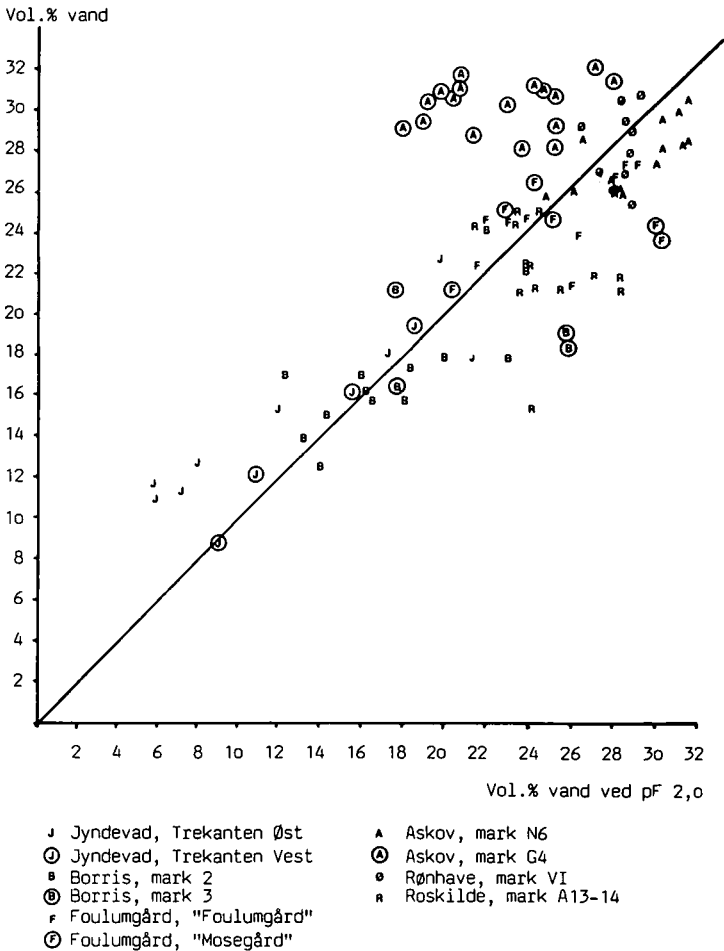
Figur 10b
Vandskellets beliggenhed under
vinterhvede



Figur 10c Vandskellets beliggenhed under græs

7.3.5. Tilgængelig vandmængde

I tabel 7 var anført de summerede tilgængelige vandmængder i profilerne, svarende til jordens vandindhold målt ved pF 2,0. Dette vandindhold benyttes ofte til markkapacitet, som skal være et udtryk for den mængde vand, jorden stiller til rådighed for planterne.



Figur 11

Vandindhold i jorden på det tidligste tidspunkt, hvor vandskellet ligger i eller under den aktuelle dybde i forhold til vandindhold målt ved pF 2,0. Den indtegnede linie har hældningen 1.

I fig. 11 kan vandindholdet i hver dybde målt ved pF 2,0 sammenlignes med et vandindhold, som blev målt i tilsvarende dybde på det tidligste tidspunkt, hvor vandskellet blev registreret i eller under denne dybde. En usikkerhed er, at allerede ved første registrering af et vandskel kan der være sket en relativ stor vandudnyttelse i det (de) øverste jordlag.

De største afvigelser mellem de to talsæt ses ved Askov i mark G4, hvor bestemmelse af vandindholdet ved pF 2,0 ser ud til at medføre en undervurdering af den tilgængelige vandmængde på 3-11 vol. %.

7.4. Relationer til rodvækst

Ved sammenligning af den ved tensiometermålingerne observerede vandoptagelse med de målte rodlængder (tabel 2) ses, at der ved Jyndevad (byg og græs), Borris (byg) og Askov (byg) er registreret rodaktivitet i jordlag, hvor der er fundet rodlængder større end ca. 0,01 cm rod pr. cm^3 jord.

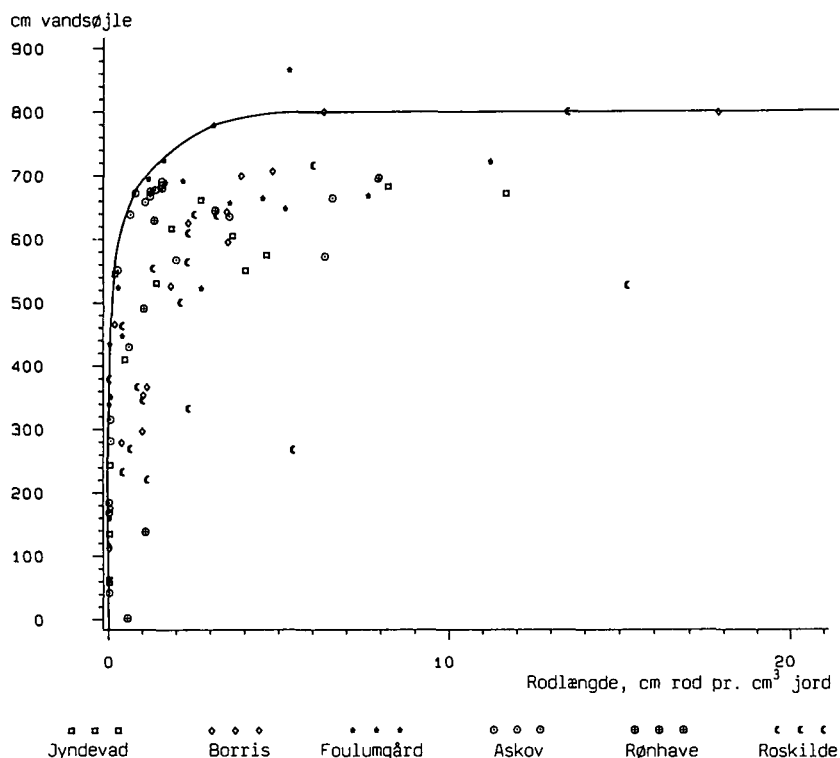
Ved Foulumgård er der i byg set en tydelig vandoptagelse i en dybde, hvor der ingen rødder er fundet. Det må skyldes kapillær stigning pga. vandoptagelse fra de overliggende jordlag. Kapillærstigning spiller antagelig også en rolle i græs samme sted, i hvede ved Askov samt i byg og hvede ved Roskilde.

Ved Rønhave ses det modsatte fænomen, at der ikke registreres vandoptagelse, selv om der er målt rodlængder på over 0,5 cm rod pr. cm^3 jord. Måske kan rødderne ikke fungere i den vandmættede jord, eller måske sker der vitterlig en vandoptagelse, som imidlertid ikke kan måles, da den omgående erstattes af tilstrømmende vandmængder.

I fig. 12 er for hvert jordlag afbildet den højeste registrerede tension og den største rodlængde.

Sammenhængen er af eksponentiel karakter.

Der er med hånden indlagt en optimumskurve. Ifølge denne kurve kan der ved rodlængder på 0,1 cm pr. cm^3 jord måles tension op til ca. 500 cm vandsøjle. Det er ensbetydende med, at disse rødder kan udnytte en mængde jordvand svarende til den, som frigives ved pF 2,7. Rodlængder på 0,5 cm pr. cm^3 jord kan udnytte den vandmængde, som afdrænes ved pF 2,8. Først ved rodlængder større end ca. 5 cm rod pr. cm^3 jord er målt den højest mulige tension, som svarer til pF 2,9.



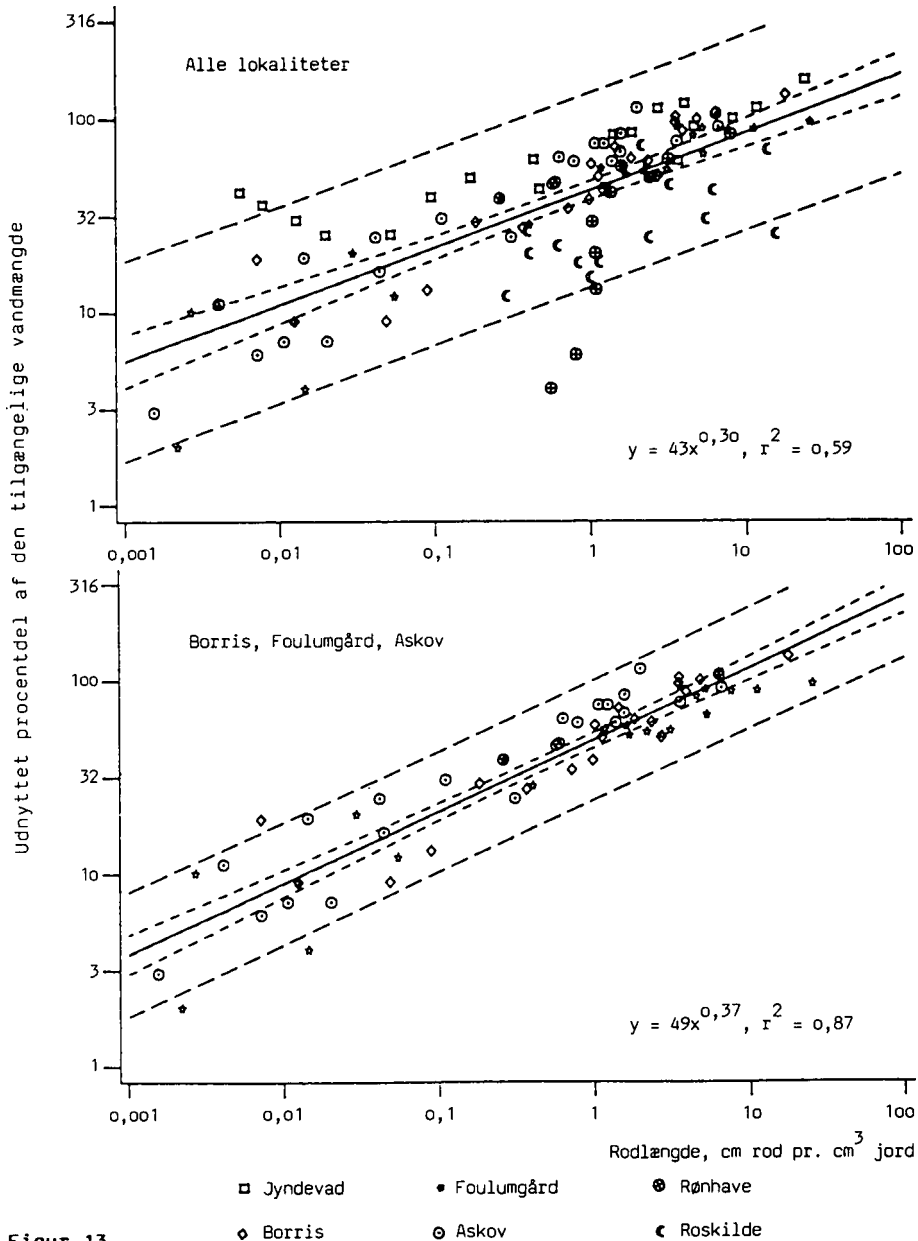
Figur 12 Den største registrerede tension, cm vandsøjle, som funktion af den største målte rødlængde, cm rod pr. cm³ jord, i det pågældende jordlag.

Fig. 13 samt bilag 27-29 viser vandudnyttelsesgraden i hvert jordlag som funktion af rødlængden. Den udnyttede procentdel af den tilgængelige vandmængde er her beregnet som:

$$\frac{V_S - V_F}{V_S - V_V} \cdot 100,$$

hvor V_S er vandindholdet på det tidligste tidspunkt, hvor vandskellet ligger i eller under den aktuelle dybde. V_V er vandindholdet målt ved pF 4,2, og V_F er det lavest målte vandindhold i samme dybde.

Begge akser er logaritmiske. Da det ser ud til, at lokaliteten er af større betydning for sammenhængen end afgrøden, er der udført en fælles lineær regression for de to afgrøder på samme lokalitet.



Figur 13

Udnyttet procentdel af den tilgængelige vandmængde som funktion af den største registrerede rodslængde i det pågældende jordlag. Regressionsligning og korrelationskoefficient er angivet for alle lokaliteter under et (øverst) samt for tre af disse (nederst). Den ved regressionen fundne lineære sammenhæng er indtegnet omgivet af 95 % konfidensinterval på gennemsnit (fint stiplet) samt på enkeltværdier (grovere stiplet).

I tabel 9 er anført vandudnyttelsesgraden for fire forskellige rodlængdeklasser - beregnet ud fra de i fig. 13 samt bilag 27-29 angivne regressionsligninger.

Tabel 9. Udnyttet procentdel af den tilgængelige vandmængde ved de anførte rodlængder beregnet ud fra de fundne relationer, se fig. 13 og bilag 27-29.

År	Lokalitet	Rodlængde, cm rod pr. cm ³ jord			
		10	1,0	0,1	0,01
1983	Jyndevad	107	69	45	28
1983	Borris	110	48	21	9
1984	Foulumgård	96	41	17	7
1983	Askov	148	59	23	9
1982	Rønhave	(200)	17	1	-
1984	Roskilde	45	28	17	11
Alle		86	43	22	11

Den grovsandede jord og de to mest lerede jorde afviger mest fra gennemsnittet. Ved Jyndevad ses klart den største grad af vandudnyttelse for rodlængder op til 1 cm pr. cm³ jord. Det må ses i sammenhæng med, at den tilgængelige vandmængde her er forholdsvis ringe.

Ved Rønhave ses den forholdsvis ringeste grad af vandudnyttelse for tilsvarende rodlængder, hvilket stemmer overens med tensiometermålingerne. Den høje værdi for 10 cm rod skal tages med stort forbehold, da der ikke er belæg for den stejle hældning af linien i bilag 29 for rodlængder større end 1 cm rod pr. cm³ jord. Det gennem hele vækstsæsonen højtliggende grundvand må være årsag til de atypiske forhold her.

Ved Roskilde ses en meget ringe vandudnyttelse ved rodlængder over 1 cm. Det kan hænge sammen med, at der her kun blev foretaget 6-7 målinger af jordens vandindhold igennem vækstsæsonen.

Som gennemsnit for alle steder sker der en fordobling af vandudnyttelsesgraden, hver gang rodlængden øges med en faktor 10.

De fundne vandudnyttelsesgrader forekommer lave, men må antages at være realistiske (især for de tre mindste rodklasser) i betragtning af, at der i gennemsnit faldt 20 mm nedbør over normalen i maj-juli måned. Denne mængde svarer nogenlunde til halvdelen af den tilgængelige vandmængde i pløjelaget og må derfor anses for ubetydelig i den store sammenhæng. Ved Foulumgård, hvor nedbøren var under normalen, var vandudnyttelsesgraden da heller ikke specielt stor.

7.5. Konklusion

Tensiometermålinger viste tegn på rodaktivitet i jordlag med rodlængder større end 0,01 cm rod pr. cm^3 jord ved Jyndevad samt i byg ved Borris og Askov.

Kapillær stigning er antagelig årsag til, at der i de øvrige tilfælde sås tegn på rodaktivitet ved meget mindre rodlængder. En undtagelse var Rønhave, hvor det højtliggende temporære grundvand måske er skyld i svigtende rodfunktion.

Tension større end hhv. 500 og 800 cm vandsøjle blev kun målt ved rodlængder større end 0,1 og 5 cm rod pr. cm^3 jord.

Den udnyttede procentdel af den reelt tilgængelige vandmængde var størst på den grovsandede jord.

Som gennemsnit for alle lokaliteter udnyttedes hhv. 86, 43, 22 og 11 % af den tilgængelige vandmængde ved rodlængder på 10, 1, 0,1 og 0,01 cm rod pr. cm^3 jord.

8. Jordtemperatur

8.1. Metodik

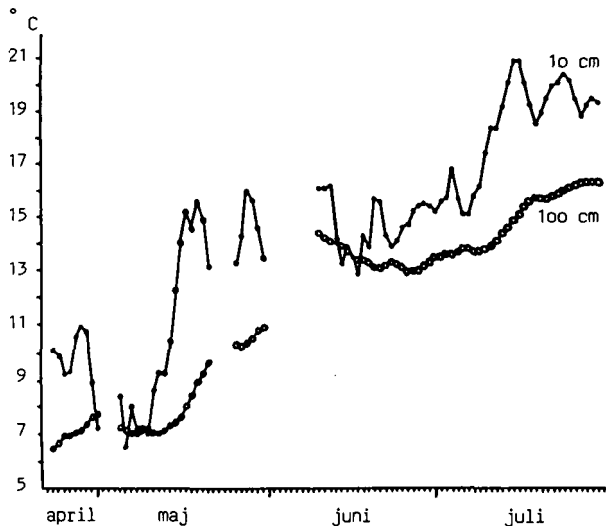
Ved Rønhave blev der i 1982 foruden de øvrige omtalte parametre også målt jordtemperatur. Det skete ved hjælp af en strømdrevet måler og tromleskriver (HONEYWELL).

Der blev gravet et hul til 100 cm dybde, og de 9 fungerende følere blev anbragt vandret ind i sidevæggen. To blev anbragt i 10 cm dybde og én i hver af dybderne 20, 30, 40, 50, 60, 80 og 100 cm. Temperaturen blev for hver føler registreret og aftegnet med jævne mellemrum ca. 36 gange pr. døgn.

8.2. Resultater og diskussion

Døgngennemsnittene er beregnet ud fra seks værdier pr. døgn, nemlig temperaturerne registreret omkring kl. 2.30, 6.30, 10.30, 14.30, 18.30 og 22.30. Disse gennemsnit afviger kun ubetydeligt fra det reelle gennemsnit (af de 36 målinger pr. døgn) og kun i de øverste 10 cm. Gennemsnittet kan således for de to 10 cm følere være 0,1° C større eller mindre end den reelle værdi.

Føleren i 80 cm kom efter kort tid ud af funktion.



Figur 14

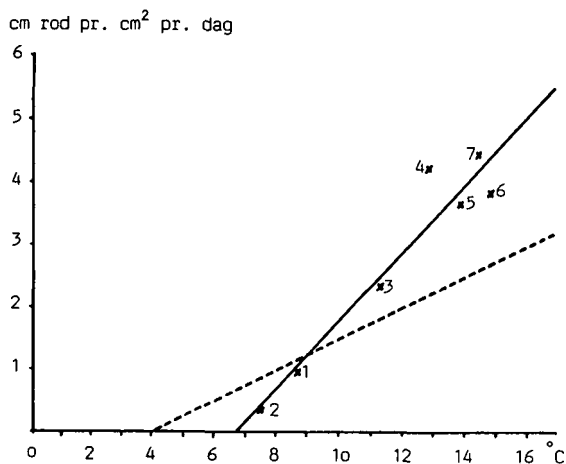
Jordtemperatur som døgngennemsnit i 10 og 100 cm dybde. Rønhave, byg, 1982.

I fig. 14 er vist døgngennemsnittene i 10 og 100 cm dybde. Manglende værdier skyldes, at måleren i tre perioder var ude af funktion.

Temperaturen er for det meste højest i 10 cm dybde (op til 7° højere end i 100 cm), men temperaturen er til gengæld meget ustabil her. På et enkelt døgn kan gennemsnitstemperaturen ændres op til 2° C i 10 cm dybde, mens den tilsvarende største ændring i 100 cm var 0,5° C.

8.3. Relationer til rodvækst

Et indtryk af rodvækstens afhængighed af jordtemperaturen kan fås ved at beregne rodtilvæksten pr. dag imellem prøvetagningerne og relatere denne til den gennemsnitlige døgntemperatur i samme periode. Da usikkerheden på rodlængdebestemmelsen er forholdsvis stor, er sammenhængen mellem rodtilvækst og temperatur for de enkelte 10 cm jordlag dårlig.



Figur 15

Rønhave, byg, 1982. Rodtilvækst, ΔL_A , cm rod pr. cm² jordoverflade pr. døgn, som funktion af den gennemsnitlige jordtemperatur i 10-50 cm dybde i den pågældende periode. Perioderne: 1 = 28.04.-05.05., 2 = 05.05.-12.05., 3 = 12.05.-19.05., 4 = 19.05.-26.05., 5 = 26.05.-09.06., 6 = 09.06.-16.06., 7 = 16.06.-30.06.

Den fuldt optrukne linie angiver sammenhængen fundet ved lineær regression: $y = 0,54x - 3,62$, $r^2 = 0,92$. Den stiplede linie er den af Jakobsen (11)

fundne sammenhæng mellem vækst af bygkimrødder og jordtemperatur.

I fig. 15 er derfor afsat rodtilvæksten for hele profilen (ændring i L_A) i cm rod pr. cm² jordoverflade pr. døgn. Temperaturen er beregnet som gennemsnit af døgngennemsnittene for 10, 20, 30, 40 og 50 cm dybde, da mere end 75 % af den totale rodlængde til ethvert tidspunkt findes over 50 cm dybde. Det kan

oplyses, at den herved beregnede temperatur afviger mindre end $0,2^{\circ}\text{C}$ fra temperaturen målt i 30 cm dybde.

Ved lineær regression findes rodtilvæksten:

$$\Delta L = 0,54 t - 3,62, r^2 = 0,92.$$

Den lineære sammenhæng er tydeligst for temperaturer under 13°C .

Denne ligning afviger fra den, som *Jakobsen* (11) angiver:

$$\Delta L = 0,25 t - 1,$$

som ved laboratorieforsøg er fundet gældende for den vertikale vækst af bygkimmrødder for $4^{\circ}\text{C} < t < 28^{\circ}\text{C}$.

Det skal imidlertid påpeges, at jordtemperaturen i nærværende undersøgelse er koblet med tiden og dermed også med planternes udvikling gennem de forskellige vækststadier og med ændringer i jordens vandindhold. Den her fundne sammenhæng imellem rodtilvækst og temperatur er derfor ikke entydig.

8.4. Konklusion

Der er ved Rønhave i 1982 fundet en mulig sammenhæng imellem rodtilvækst og jordtemperatur:

$$\Delta L = 0,54 t - 3,62,$$

hvor ΔL er cm rod pr. cm^2 jordoverflade pr. døgn, og t er gennemsnittet af døgn-temperaturerne i 10, 20, 30, 40 og 50 cm dybde.

For at påvise en sådan sammenhæng er det nødvendigt at tage hyppige rodprøver. Jordtemperaturen kan eventuelt måles i kun én dybde: 30 cm.

9. Erkendtlighed

Nærværende undersøgelse finansieredes af Landbrugets Samråd for Forskning og Forsøg.

Der skal her rettes en tak til alle de personer ved Statens Planteavlsvforsøg, som har medvirket og velvilligt gjort en indsats ved disse undersøgelser.

10. Litteratur

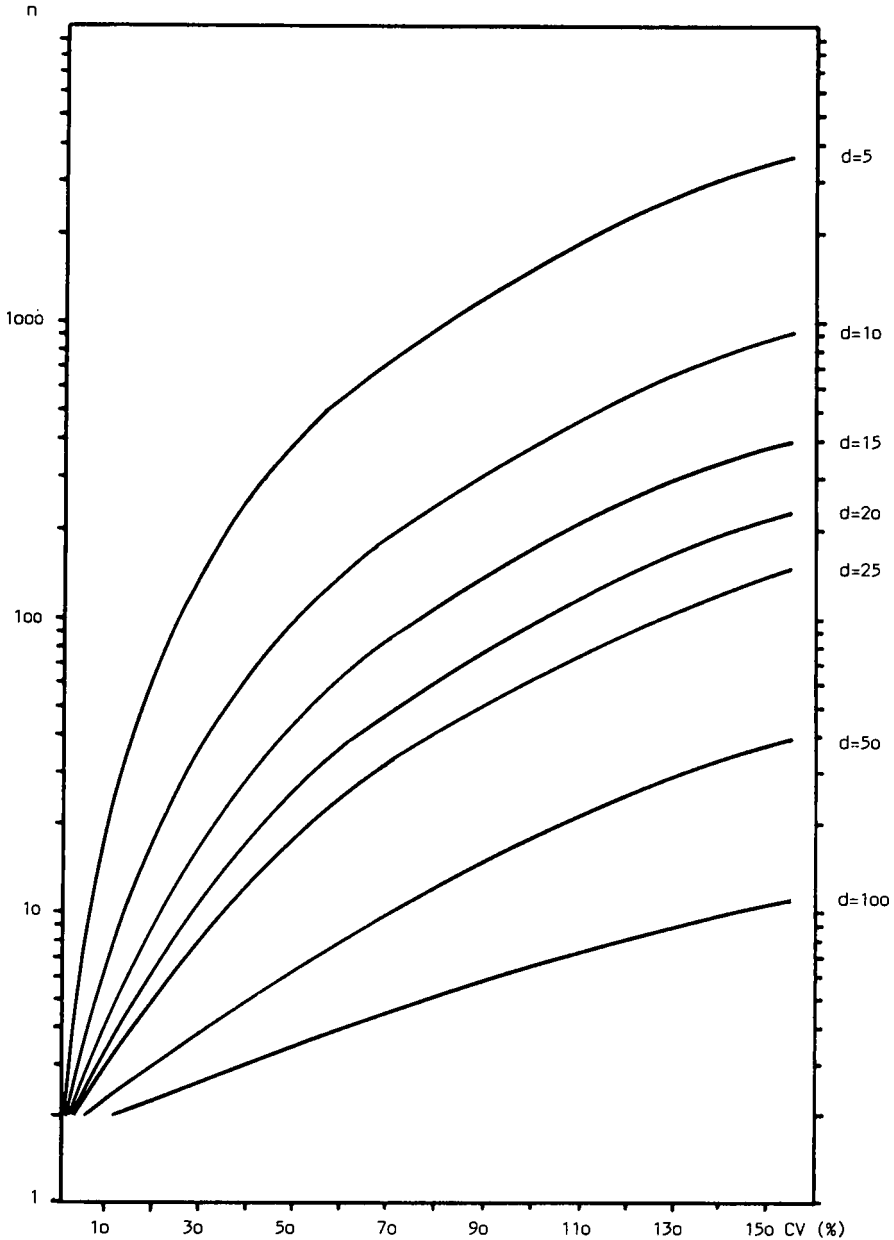
1. Abdalla, A. M., Hettiaratchi, D. R. P. & Reece, A. R. 1969. The mechanics of root growth in granular media. J. Agr. Eng. Res. 14, 236-248.
2. Adams, F. 1974. Soil Solution. In: The plant root and its environment. (Ed. E. W. Carson) University Press of Virginia, Charlottesville, 441-482.
3. Andersen, A. & Jensen, M. B. 1983. Jordbearbejdning og efterafgrøde ved bygdyrkning. 2. Bygplanternes morfologiske udvikling i relation til kvælstof. Tidsskr. Planteavl 87, 217-236.
4. Aslyng, H. C. 1976. Klima, jord og planter. DSR Forlag, Den kgl. Vet.- og Landbohøjskole. 368 pp.
5. Bennetzen, F. 1978. Vandbalance og kvælstofbalance ved optimal planteproduktion. 2. Teknik og metoder. Tidsskr. Planteavl 82, 173-189.
6. Böhm, W. 1979. Methods of studying Root Systems. Springer Verlag (Berlin, Heidelberg). 188 pp.
7. Drew, M. C. & Saker, L. R. 1980. Assessment of a rapid method, using soil cores, for estimating the amount and distribution of crop roots in the field. Plant and Soil 55, 297-305.
8. Emanuelsson, J. 1982. Rodvækst i relation til calcium forsyning. Den Kgl. Vet.- og Landbohøjskole. 122 pp.
9. Foy, C. D. 1974. Effects of aluminium on plant growth. In: The plant root and its environment. University Press of Virginia, Charlottesville, 601-642.
10. Grable, A. R. & Siemer, E. G. 1968. Effects of Bulk Density, Aggregate Size, and Soil Water Suction on Oxygen Diffusion, Redox Potentials, and Elongation of Corn Roots. Soil Sci. Soc. Am. Proc. 32, 180-187.
11. Hansen, G. K., Jakobsen, B. F. & Jensen, S. E. 1976. Simuleret planteproduktion. Hydroteknisk Laboratorium. Den kgl. Vet.- og Landbohøjskole (p. 3.20).
12. Hansen, L. 1976. Jordtyper ved Statens Forsøgsstationer. Tidsskr. Planteavl 80, 742-758.
13. Heick, J. 1972. Rodudvikling i sandjord i relation til jordfysiske forhold. Hydroteknisk Laboratorium. Den kgl. Vet.- og Landbohøjskole, 138 pp.
14. Heinonen, R. 1970. Soil management for improved moisture supply. Agricultural College of Sweden, Uppsala, 104 pp.
15. Ide, G., Hofman, G., Ossemerct, C. & Van Ruymbeke, M. 1984. Root-growth response of winter barley to subsoiling. Soil & Tillage Res. 4, 419-431.

16. Landbrugsministeriet 1976. Den danske jordklassificering, teknisk redegørelse. Sekretariatet for jordbundsklassificering, Landbrugsministeriet, Kbh. 88 pp.
17. Madsen, H. B. 1978. Bygs udvikling i relation til fysiske parametre i naturlig lejret jord. Tidsskr. Planteavl 82, 335-342.
18. Madsen, H. B. 1979. Jordbundskartering og bonitering belyst ved hjælp af jordens vandretention, bygs rodudvikling og simuleret planteproduktion. Folia Geographica Danica. TOM X. No. 5, 203 pp.
19. Madsen, H. B. 1983. Himmerlands jordbundsforhold. C. A. Reitzels forlag, Kbh., 329 pp.
20. Newman, E. J. 1966. A method of estimating the total length of root in a sample. J. Appl. Ecology 3, 139-146.
21. Nielsen, J. Dissing & Møberg, J. P. 1985. Klassificering af jordprofiler fra forsøgsstationer i Danmark. Tidsskr. Planteavl 89, 157-167.
22. Nielsen, N. E. 1980. Forløbet af rodudvikling, næringsstofoptagelse og stofproduktion hos byg dyrket på frugtbar morænelerjord. Medd. 1119. Den kgl. Vet.- og Landbohøjskole, 46 pp.
23. Olsen, M. 1958. Orienterende forsøg vedrørende jordens dybdebehandling. Hedeselskabets forskningsvirksomhed. Beretn. 3, 41 pp.
24. Rudemo, M. 1979. Statistik og sandsynlighedslære med biologiske anvendelser. Del 1: Grundbegreber. DSR Forlag, 251 pp.
25. Saare, E. 1963. Gammastråling for bestämning av volumvikt. Grundförbättring 16, 233-243.
26. Schjønning, P. 1985. Udstyr til afdræning af jordprøver for jordfysiske analyser. Tidsskr. Planteavl 89, 30. Beretning nr. S 1762, 25 pp.
27. Schjønning, P. 1985. En laboratoriemetode til måling af luftdiffusion i jord. Tidsskr. Planteavl 89, 132. Beretning nr. S 1773, 19 pp.
28. Schjønning, P. 1985. Porøsitetsforhold i landbrugsjord. I. Modeller og jordtypeforskelle. Tidsskr. Planteavl 89, 411-423.
29. Schuurman, J. J. & Goedewaagen, M. A. J. 1971. Methods for the examination of root systems and roots. Wageningen. 86 pp.
30. Sjöman, G. 1974. Nitrogen Status in Growing Cereals. Lantbrukshögskolan, Uppsala, 93 pp.
31. Statens Planteavlsforsøg 1983, 1984, 1985. Oversigt over de meteorologiske forhold på forsøgsstationerne 1982, 1983 og 1984.

32. *Stepniewski, W.* 1981. Oxygen diffusion and strength as related to soil compaction. II. Oxygen diffusion coefficient. Polish J. of Soil Sci. XIV, no. 1.
33. *Tackett, J. L. & Pearson, R. W.* 1964. Oxygen requirement of cotton seedling roots for penetration of compacted soil cores. Soil Sci. Soc. Am. Proc. 28, 600-605.
34. *Vlamiš, J.* 1949. Growth of lettuce and barley as influenced by degree of calcium saturation of soil. Soil Sci. 67, 453-466.
35. *Whiteley, G. M., Utomo, W. H. & Dexter, A. R.* 1981. A comparison of penetrometer pressures and the pressures exerted by roots. Plant and Soil 61, 351-364.
36. *Wind, G. P.* 1967. Root growth in acid soils. Neth. J. Agric. Sci. 15, 259-266.
37. *Ølgård, P. L.* 1965. On the theory of the neutronic method for measuring the water content in soil. Risø Report No. 98, 44 pp.

Bilag 1. Variationskoefficient ($CV = \frac{s}{\bar{x}} \cdot 100$) for rodlængden. Beregnet som gennemsnit af variationskoefficienterne ved hver enkelt prøvetagning. For bygs vedkommende er den største af disse dog udeladt ved beregningen, hvor der var mere end tre værdier.

Dybde, cm	Jyndevad		Borris		Foulumgård		Askov		Rønhave	Roskilde	
	Byg	Græs	Byg	Græs	Byg	Græs	Byg	Hvede	Byg	Byg	Hvede
0- 10	51	23	40	31	40	26	57	49	42	29	26
10- 20	55	30	32	26	38	33	47	40	40	45	37
20- 30	73	29	44	26	70	31	59	40	49	53	42
30- 40	192	63	82	45	55	32	57	37	59	63	43
40- 50	147	87	81	54	76	39	77	46	83	60	42
50- 60	179	123	116	72	92	68	92	71	49	89	47
60- 70	266	134	156	103	93	94	128	75	77	102	49
70- 80	300	193	161	95	155	95	191	93	81	129	60
80- 90	266	277	123	147	105	138	255	103	98	169	62
90-100		237	113	172	196	161	185	149	75	206	72
100-110					208	161	210	185	97	244	113
110-120						226	214	226	163	233	102
Hele profilen	41	22	33	21	32	22	42	31	35	32	25



Bilag 2 Antal fællesprøver, n , som ved de forskellige variationskoefficienter kræves for (med 95 % sikkerhed) at bestemme rodlængden ved en accepteret afvigelse på d % fra den sande middelværdi.

=====

Bilag 3. Tørvægt af rødder, g/o,1 m² (hkg/ha) og total-N, vægt%

=====

Dybde, cm	Jydevad 83		Borris 83		Foulumgård 84		Askov 83		Roskilde 84	
	Byg	Græs	Byg	Græs	Byg	Græs	Byg	Hvede	Byg	Hvede
	04.07.	29.06.	05.07.	28.06.	18.06.	28.05.	07.07.	06.07.	26.06.	12.06.
0- 10	10,4	30,7	5,13	45,0	11,6	17,9	3,75	16,3	10,8	26,5
10- 20	19,9	6,48	2,62	5,11	4,74	6,02	2,17	21,2	2,24	3,38
20- 30	4,72	5,64	1,56	3,58	2,70	4,27	1,28	6,99	1,08	1,90
30- 40	0,155	2,28	0,743	2,16	1,44	2,70	1,28	1,75	0,805	1,62
40- 50	0,009	1,08	0,600	2,37	1,56	2,56	1,08	1,58	0,606	2,08
50- 60	0	0,497	0,187	1,78	1,26	1,48	0,619	1,67	0,476	1,73
60- 70		0,193	0,065	1,67	0,323	0,528	0,221	0,842	0,258	1,52
70- 80		0,099	0,009	0,106	0,134	0,261	0,068	0,410	0,103	1,68
80- 90		0	0		0,053	0,143	0,019	0,168	0,106	0,640
90-100		0			0,028	0,062	0	0,103	0,044	0,550
100-110					0,025	0,019	0	0,016	0,056	0,242
110-120					0			0	0,022	0,165
Hele profilen	35,2	46,9	10,9	61,8	23,9	35,9	10,5	51,0	16,6	42,0
Total-N, vægt%	1,60	1,04	1,80	1,49	1,68	1,33	1,64	1,44	1,49	0,71

Dybde, cm

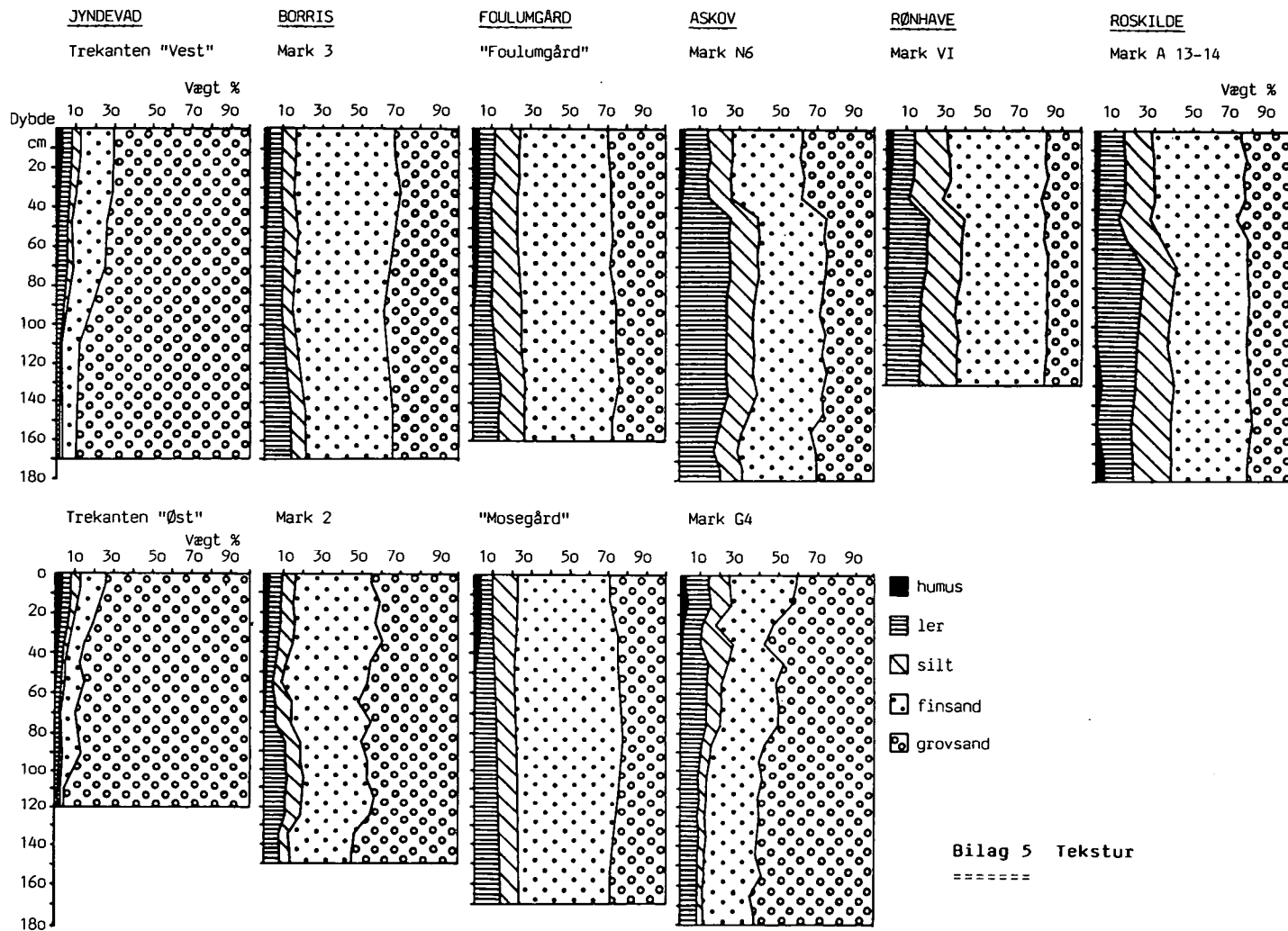
Rønhave, 82, byg

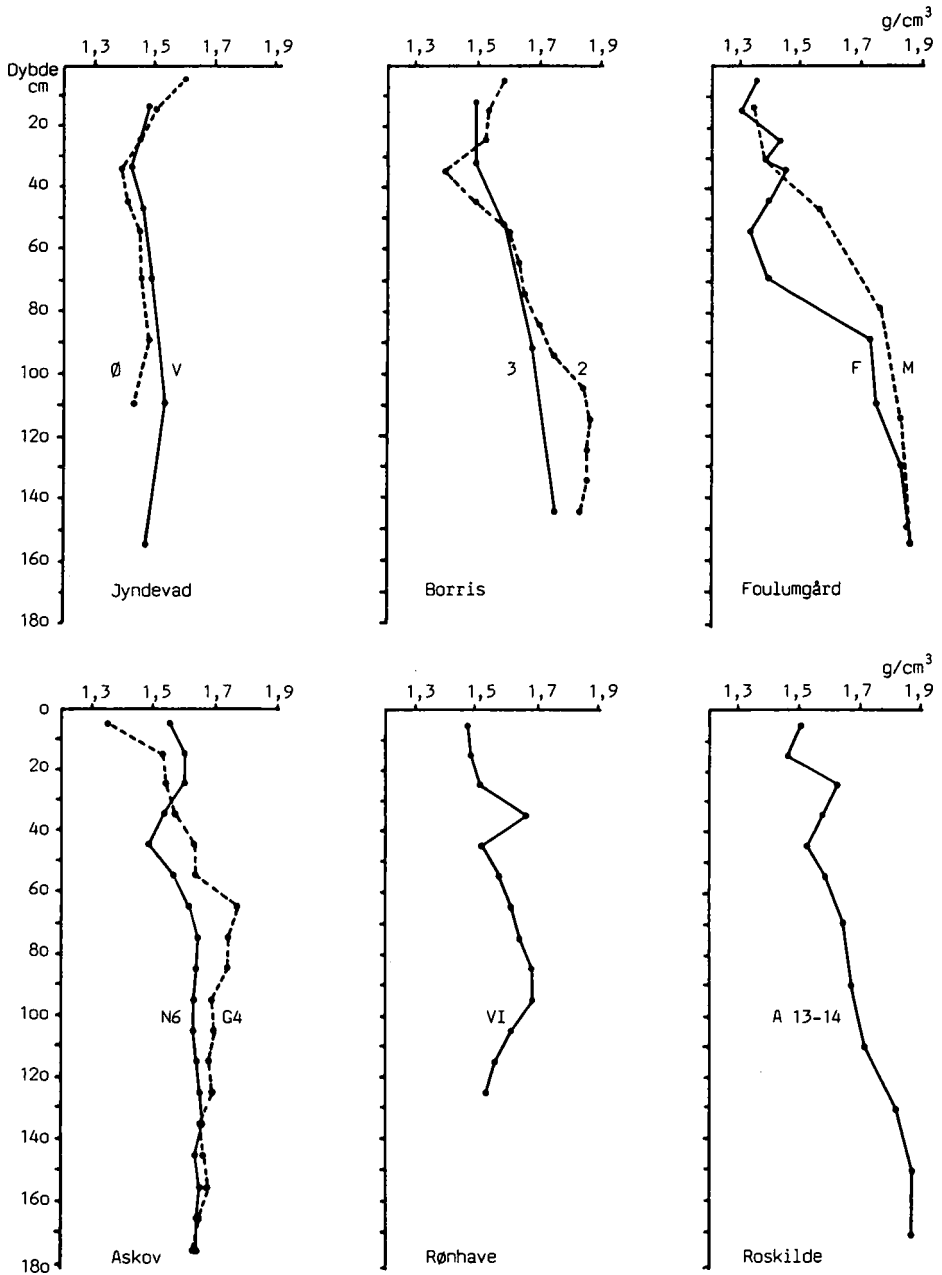
	28.04.	05.05.	12.05.	19.05.	26.05.	09.06.	16.06.	30.06.	04.08.
0- 10	0,333	0,763	0,754	1,48	2,40	4,57	4,39	4,81	5,47
10- 20	0,106	0,212	0,289	0,564	1,14	1,71	2,32	1,98	1,57
20- 30	0,023	0,106	0,105	0,219	0,650	0,904	1,33	1,18	0,957
30- 40		0,015	0,031	0,101	0,218	0,528	0,754	0,750	0,553
40- 50		0,002	0,007	0,059	0,118	0,494	0,684	0,898	0,542
50- 60				0,053	0,100	0,327	0,562	0,597	0,411
60- 70				0,008	0,027	0,227	0,465	0,617	0,459
70- 80					0,016	0,175	0,382	0,584	0,493
80- 90					0,004	0,033	0,274	0,486	0,422
90-100						0,038	0,129	0,235	0,205
100-110							0,038	0,053	0,144
110-120								0,051	0,093
Hele profilen	0,461	1,10	1,19	2,48	4,68	9,00	11,3	12,2	11,0
Total-N, vægt%	-	-	-	3,00	2,70	2,27	-	-	2,09

Bilag 4. Rodfinhed, mg pr. cm rod
 =====

Dybde, cm	Jydevad 83		Borris 83		Foulumgård 84		Askov 83		Roskilde 84	
	Byg 04.07.	Græs 29.06.	Byg 05.07.	Græs 28.06.	Byg 18.06.	Græs 28.05.	Byg 07.07.	Hvede 06.07.	Byg 26.06.	Hvede 12.06.
0- 10	0,26	0,13	0,17	0,25	0,22	0,09	0,20	0,26	0,07	0,20
10- 20	0,43	0,06	0,14	0,08	0,15	0,09	0,14	0,32	0,04	0,06
20- 30	0,14	0,07	0,15	0,08	0,10	0,08	0,14	0,23	0,05	0,08
30- 40	0,03	0,11	0,13	0,06	0,09	0,06	0,16	0,11	0,07	0,06
40- 50	0,04	0,10	0,11	0,06	0,08	0,08	0,17	0,13	0,06	0,09
50- 60		0,13	0,12	0,08	0,11	0,08	0,10	0,12	0,06	0,08
60- 70		0,13	0,07	0,12	0,11	0,07	0,07	0,15	0,08	0,07
70- 80		0,14	0,12	0,07	0,10	0,07	0,31	0,20	0,09	0,08
80- 90					0,11	0,18	0,23	0,22	0,08	0,08
90-100					0,24	0,67		0,29	0,09	0,09
100-110					0,47	0,23		2,67	0,06	0,07
110-120										0,07
Hele profilen	0,28	0,10	0,15	0,15	0,15	0,08	0,16	0,24	0,06	0,13

Dybde, cm	Rønhave, 82, byg								
	28.04.	05.05.	12.05.	19.05.	26.05.	09.06.	16.06.	30.06.	04.08.
0- 10	0,12	0,09	0,08	0,07	0,08	0,08	0,09	0,06	0,08
10- 20	0,18	0,13	0,13	0,09	0,07	0,07	0,09	0,06	0,06
20- 30	0,15	0,22	0,19	0,13	0,08	0,09	0,10	0,07	0,08
30- 40		0,18	0,16	0,17	0,10	0,08	0,08	0,06	0,07
40- 50		0,17	0,19	0,18	0,11	0,08	0,07	0,07	0,07
50- 60				0,20	0,18	0,08	0,06	0,06	0,06
60- 70				0,18	0,12	0,07	0,06	0,06	0,06
70- 80					0,12	0,09	0,06	0,05	0,06
80- 90					0,14	0,10	0,07	0,06	0,06
90-100						0,07	0,06	0,04	0,06
100-110							0,04	0,04	0,08
110-120								0,05	0,21
Hele profilen	0,13	0,11	0,09	0,08	0,08	0,08	0,08	0,06	0,07

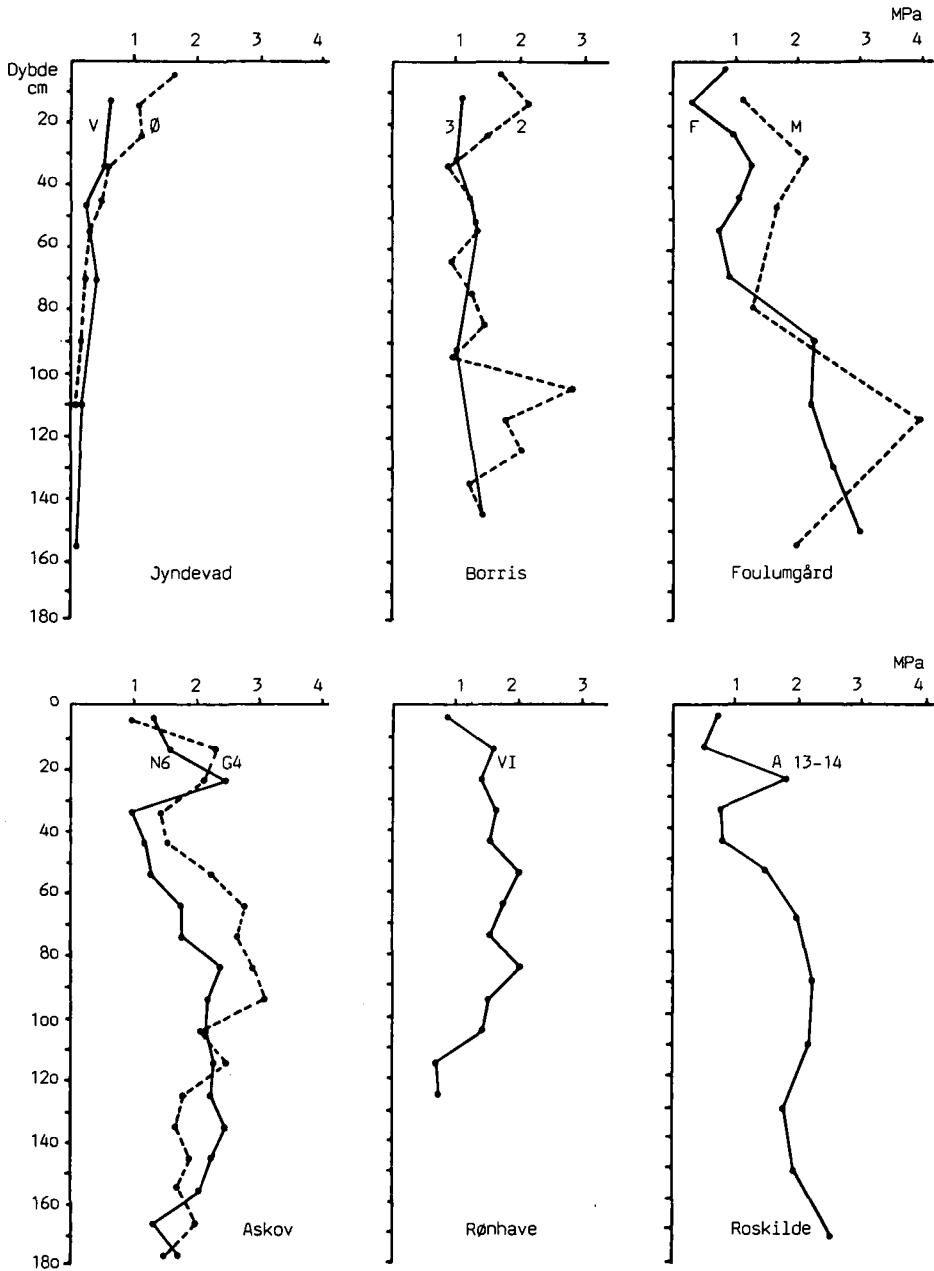




Bilag 7 Tør volumenvægt (g/cm^3).

=====

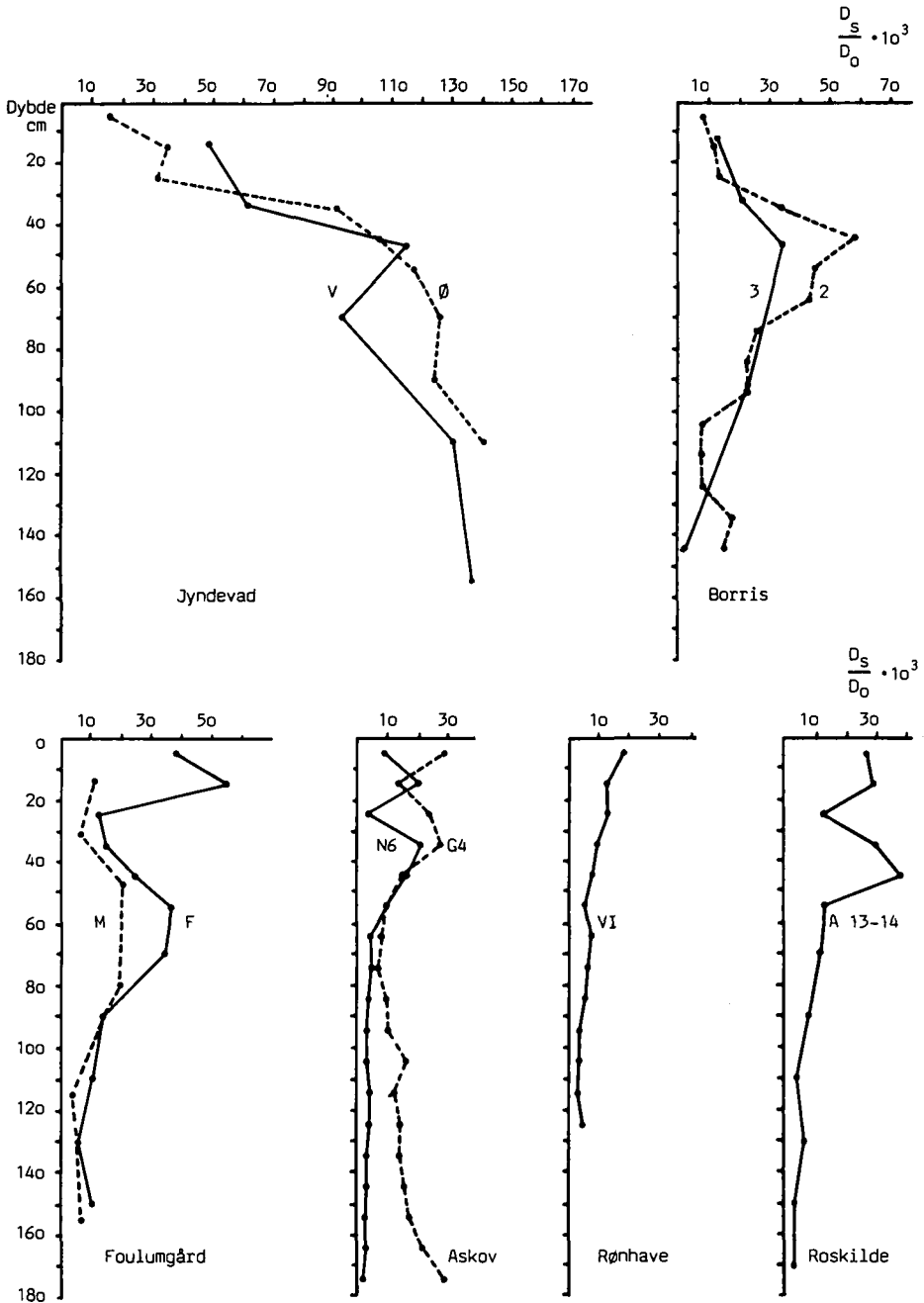
I figurer med 2 kurver svarer den fuldt optrukne til marken med vårbyg.



Bilag 8 Penetreringsmodstand.

=====

I figurer med 2 kurver svarer den fuldt optrukne til marken med vårbyg.



Bilag 9 Luftdiffusion. Iltediffusionskoefficienten i jorden i $\frac{0}{\infty}$ af iltediffusionskoefficienten i luft. I figurer med 2 kurver svarer den fuldt optrukne til marken med vårbyg.

Bilag 10. Jordkemiske parametre. Jydevad, trekanten "Øst", 4. maj 1983
 =====

Dybde, cm	pH (CaCl)	mg/100 g		mg/kg		mg/kg dithionitekstr.		CEC m.ækv. pr. 100 g				
		Cat	Pt	NO ₃ ⁻ -N	NH ₄ ⁺ -N	Al	Fe	H	Ca	Mg	K	Na
0- 10	6,1	133	4,3	18,1	12,8	1240	3790	5,3	6,93	0,20	0,22	0,05
10- 20	6,1	126	4,7	15,2	1,1	1160	3536	5,3	7,58	0,27	0,29	0,07
20- 30	6,2	124	3,9	2,2	0,6	1880	4321	5,0	7,13	0,20	0,24	0,04
30- 40	6,3	104	0,6	1,8	0,3	1980	3712	4,2	5,53	0,16	0,14	0,03
40- 50	6,2	76	1,2	1,8	0,2	1780	3333	3,7	3,66	0,11	0,09	0,02
50- 60	6,3	58	1,0	0,6	0,2	1580	3171	2,9	3,16	0,11	0,08	0,02
60- 80	6,2	43	0,8	0,6	0,2	1180	2407	2,3	1,89	0,07	0,07	0,01
80-100	6,3	43	0,6	0,6	0,2	1020	1902	1,7	2,12	0,07	0,10	0,02
100-120	6,3	26	0,3	0,4	0,2	1780	8780	1,2	1,19	0,04	0,07	0,01
120-140	6,3	48	0,6	0,4	0,4	840	1626	3,1	2,04	0,06	0,15	0,02

Bilag 11. Jordkemiske parametre. Jydevad, trekanten "Vest", 20. juni 1983

=====

Dybde, cm	pH (CaCl)	mg/100 g		mg/kg		mg/kg dithionitekstr.		CEC m.ækv. pr. 100 g				
		Cat	Pt	NO ₃ ⁻ -N	NH ₄ ⁺ -N	Al	Fe	H	Ca	Mg	K	Na
0- 28	6,1	125	5,2	0,4	1,7	1600	3650	5,0	7,09	0,37	0,11	0,05
28- 40	6,1	88	2,4	2,2	0,4	1860	3824	4,9	5,19	0,19	0,14	0,05
40- 55	5,9	53	2,0	1,9	0,2	2000	2744	4,8	2,69	0,09	0,09	0,03
55- 85	4,9	17	0,7	7,4	0,2	1740	4252	4,5	0,82	0,07	0,09	0,02
85-135	5,1	7	0,2	3,4	0,1	700	1814	1,9	0,25	0,02	0,03	0,01
135-175	4,8	6	0,2	2,3	0,1	540	1333	1,7	0,15	0,01	0,03	0,01

Bilag 12. Jordkemiske parametre. Borris, mark 2, 10. november 1983

=====

Dybde, cm	pH (CaCl)	mg/100 g		mg/kg		mg/kg dithionitekstr.		CEC m.ækv. pr. 100 g				
		Cat	Pt	NO ₃ ⁻ -N	NH ₄ ⁺ -N	Al	Fe	H	Ca	Mg	K	Na
0- 10	6,2	126	4,8	1,5	2,0	840	2389	3,9	6,59	0,51	0,27	0,05
10- 20	6,3	115	4,1	0,7	1,3	1000	2619	3,8	6,09	0,26	0,20	0,04
20- 30	6,1	108	4,4	0,5	0,8	1000	2602	4,0	5,84	0,14	0,18	0,04
30- 40	6,0	99	6,4	0,2	0,4	2120	4654	6,1	4,92	0,13	0,10	0,04
40- 50	5,7	68	3,5	0,2	0,3	1880	4019	5,3	3,27	0,09	0,08	0,03
50- 60	5,7	32	6,7	0,1	0,2	1220	1526	3,2	1,57	0,04	0,07	0,02
60- 70	5,7	27	0,4	0,1	0,2	1100	1298	3,4	1,42	0,04	0,08	0,03
70- 80	5,6	24	0,3	0,1	0,1	940	1246	3,1	1,22	0,04	0,09	0,03
80- 90	5,5	22	0,2	0,1	0,1	840	1000	2,5	1,15	0,05	0,10	0,02
90-100	5,0	25	0,3	0,2	0,1	520	1837	2,4	1,27	0,07	0,12	0,02
100-110	4,2	24	0,4	0,9	0,1	460	2553	3,7	1,27	0,09	0,11	0,03
110-120	4,1	20	0,4	1,0	0,1	320	2699	4,2	1,10	0,09	0,10	0,03
120-130	4,4	38	0,4	0,9	0,2	300	2777	3,4	1,90	0,21	0,11	0,11
130-140	4,2	17	0,6	0,9	0,3	260	2298	2,9	0,85	0,11	0,07	0,03
140-150	4,1	18	0,6	0,9	0,2	400	2380	3,1	0,95	0,13	0,07	0,03

Bilag 13. Jordkemiske parametre. Borris, mark 3, 22. juni 1983

=====

Dybde, cm	pH (CaCl)	mg/100 g		mg/kg		mg/kg dithionitekstr.		CEC m.ækv. pr. 100 g				
		Cat	Pt	NO_3^- -N	NH_4^+ -N	Al	Fe	H	Ca	Mg	K	Na
0- 25	6,3	132	3,9	0,8	1,1	1160	3950	4,3	7,49	0,18	0,35	0,04
25- 40	6,1	94	4,5	0,7	0,2	1700	4500	5,0	4,89	0,16	0,13	0,05
40- 65	5,7	68	1,5	9,6	0,3	1760	4475	5,1	3,24	0,13	0,10	0,05
65-120	4,4	35	0,2	6,2	0,2	560	2581	3,0	1,62	0,07	0,06	0,04
120-170	4,0	43	0,6	2,1	0,1	860	6444	5,1	2,05	0,40	0,10	0,03

Bilag 14. Jordkemiske parametre. Foulumgård, "Foulumgård", 6. april 1984

=====

Dybde, cm	pH (CaCl)	mg/100 g		mg/kg		mg/kg dithionitekstr.		CEC m.ækv. pr. 100 g				
		Cat	Pt	NO ₃ ⁻ -N	NH ₄ ⁺ -N	Al	Fe	H	Ca	Mg	K	Na
0- 10	5,3	119	3,7	4,32	2,65	2080	4450	8,5	5,84	0,27	0,27	0,06
10- 20	5,5	123	4,2	3,95	2,47	2160	4631	8,1	6,11	0,30	0,36	0,05
20- 30	5,7	135	3,5	3,33	1,72	2040	4523	7,8	6,69	0,28	0,36	0,05
30- 40	5,3	90	2,4	2,69	0,83	2200	4615	8,8	4,34	0,18	0,28	0,04
40- 50	4,9	51	3,9	1,86	0,60	2400	4724	13,2	2,50	0,11	0,20	0,02
50- 60	4,8	46	4,1	1,61	0,23	2600	4655	14,2	2,20	0,10	0,17	0,05
60- 80	4,8	31	4,0	3,33	0,74	2520	4418	14,0	1,55	0,07	0,13	0,03
80-100	4,7	19	1,4	2,81	0,26	1400	2645	5,2	1,00	0,06	0,09	0,02
100-120	4,3	35	1,1	2,55	0,33	760	3655	3,9	1,80	0,10	0,07	0,02
120-140	4,4	67	1,2	2,32	0,17	800	4807	4,1	3,34	0,28	0,11	0,04
140-160	6,2	100	1,2	2,40	0,30	680	4015	2,2	5,04	0,39	0,11	0,04

Bilag 15. Jordkemiske parametre. Foulumgård, "Mosegård", 23. juni 1983

=====

Dybde, cm	pH (CaCl)	mg/100 g		mg/kg		mg/kg dithionitekstr.		CEC m.ækv. pr. 100 g				
		Cat	Pt	NO ₃ ⁻ -N	NH ₄ ⁺ -N	Al	Fe	H	Ca	Mg	K	Na
0- 28	5,7	138	4,6	0,5	1,2	2000	4375	7,1	7,58	0,19	0,13	0,08
28- 35	5,7	118	2,1	1,4	0,6	2480	3875	8,4	6,29	0,13	0,16	0,07
35- 60	5,2	39	0,9	4,2	0,2	2060	2698	6,1	1,80	0,05	0,12	0,05
60-100	4,2	32	1,1	2,7	0,1	800	3500	4,6	1,52	0,10	0,16	0,03
100-130	4,4	59	1,2	2,1	0,2	560	3700	3,3	2,92	0,63	0,14	0,05
130-180	4,7	64	1,1	1,5	0,1	600	4275	2,8	3,24	1,69	0,15	0,05

Bilag 16. Jordkemiske parametre. Askov, mark N6, 31. oktober 1983

=====

Dybde, cm	pH (CaCl)	mg/100 g		mg/kg		mg/kg dithionitekstr.		CEC m.ækv. pr. 100 g				
		Cat	Pt	NO ₃ ⁻ -N	NH ₄ ⁺ -N	Al	Fe	H	Ca	Mg	K	Na
0- 10	6,6	168	3,4	1,3	2,1	1580	5960	5,3	9,08	0,23	0,26	0,08
10- 20	6,3	152	3,6	1,3	1,8	1620	5661	5,8	8,08	0,21	0,24	0,06
20- 30	6,3	128	3,3	1,1	1,2	1600	4826	5,6	6,99	0,17	0,23	0,06
30- 40	5,6	95	3,2	0,9	0,4	1700	5554	5,8	4,89	0,16	0,21	0,06
40- 50	4,6	124	2,1	1,4	0,3	1500	7171	7,9	6,59	0,26	0,29	0,07
50- 60	4,1	64	0,6	2,0	0,3	1480	7024	11,4	3,29	0,21	0,27	0,07
60- 70	4,0	52	0,7	3,3	0,2	1560	7171	11,8	2,57	0,21	0,27	0,05
70- 80	4,0	50	0,6	4,6	0,3	860	5561	11,7	2,42	0,24	0,26	0,05
80- 90	4,0	54	0,9	5,2	0,3	1040	6293	11,2	2,45	0,28	0,26	0,05
90-100	3,9	53	0,9	5,8	0,3	1260	6293	11,2	2,52	0,36	0,26	0,05
100-110	3,9	48	0,8	4,8	0,3	1260	6146	11,2	2,42	0,50	0,27	0,05
110-120	3,8	49	0,4	4,1	0,3	1020	6585	11,2	2,30	0,67	0,30	0,05
120-130	3,8	45	0,8	3,4	0,3	1100	6732	11,3	2,25	0,75	0,27	0,05
130-140	3,8	45	0,6	4,0	0,3	1300	6769	11,4	2,22	0,71	0,30	0,05
140-150	3,7	47	0,4	4,0	0,3	1140	6154	10,3	2,10	0,60	0,26	0,05
150-160	3,8	40	0,6	4,0	0,2	1000	5919	9,3	1,87	0,55	0,21	0,04
160-170	3,8	39	0,9	3,3	0,3	1000	6308	8,4	1,82	0,62	0,20	0,04
170-180	3,8	48	0,8	5,3	0,3	1060	6000	9,3	2,15	0,52	0,23	0,05

Bilag 17. Jordkemiske parametre. Askov, mark G4, 25. oktober 1983

=====

Dybde, cm	pH (CaCl)	mg/100 g		mg/kg		mg/kg dithionitekstr.		CEC m.ækv. pr. 100 g				
		Cat	Pt	NO ₃ ⁻ -N	NH ₄ ⁺ -N	Al	Fe	H	Ca	Mg	K	Na
0- 10	5,9	168	6,5	1,2	1,9	1460	4414	5,8	8,38	0,26	0,26	0,07
10- 20	5,9	153	6,5	1,2	1,6	1440	4377	6,1	8,18	0,25	0,17	0,06
20- 30	5,6	119	7,6	0,9	0,9	1560	4398	6,2	5,84	0,21	0,15	0,06
30- 40	5,6	95	8,8	0,7	0,5	1120	3782	4,7	4,99	0,19	0,17	0,05
40- 50	5,6	129	4,6	1,8	0,5	800	5699	3,5	6,34	0,59	0,34	0,07
50- 60	5,5	112	2,4	3,4	0,4	820	5818	3,1	5,69	1,00	0,38	0,05
60- 70	5,4	100	3,2	2,6	0,4	780	5367	2,9	4,82	0,72	0,36	0,05
70- 80	5,2	92	4,4	2,7	0,4	900	4577	3,2	4,47	1,00	0,42	0,05
80- 90	5,4	81	1,9	3,3	0,3	720	4465	<1,5	3,94	1,03	0,35	0,04
90-100	5,4	68	1,7	3,5	0,2	700	4224	<1,5	3,52	1,32	0,40	0,04
100-110	5,3	58	1,8	4,0	0,2	660	4224	<1,5	2,84	1,58	0,44	0,03
110-120	5,1	48	2,0	3,4	0,2	660	4430	2,5	2,50	1,81	0,53	0,03
120-130	5,0	38	1,9	2,6	0,2	600	4019	2,5	1,97	1,86	0,61	0,03
130-140	4,9	35	1,8	1,0	0,2	660	4075	2,6	1,80	2,12	0,82	0,05
140-150	4,9	24	1,4	0,6	0,2	480	3528	2,4	1,50	1,92	0,85	0,06
150-160	4,8	26	1,8	0,6	0,2	700	4133	2,3	1,35	1,73	0,89	0,07
160-170	4,8	24	1,5	0,4	0,2	460	4212	2,3	1,22	1,64	0,86	0,06
170-180	4,8	22	1,7	0,4	0,2	480	3462	2,1	1,15	1,58	0,92	0,07

Bilag 18. Jordkemiske parametre. Rønhave, mark VI, 1. oktober 1982

=====

Dybde, cm	pH (CaCl)	mg/100 g		mg/kg		mg/kg dithionitekstr.		CEC m.ækv. pr. 100 g				
		Cat	Pt	NO ₃ ⁻ -N	NH ₄ ⁺ -N	Al	Fe	H	Ca	Mg	K	Na
0- 10	6,6	207	5,6	2,6	1,5	700	5330	2,90	12,27	0,26	0,31	0,09
10- 20	6,6	209	5,1	7,4	1,2	720	4506	2,80	11,67	0,27	0,28	0,09
20- 30	6,2	166	2,3	5,4	0,9	820	6000	2,90	9,48	0,25	0,18	0,08
30- 40	6,2	129	1,1	3,3	0,5	680	6348	2,25	7,08	0,19	0,14	0,06
40- 50	6,2	245	0,3	2,4	0,5	1220	7304	2,60	14,17	0,76	0,25	0,12
50- 60	6,3	220	0,2	1,5	0,4	800	6000	2,35	12,77	0,76	0,26	0,12
60- 70	6,2	247	0,2	0,9	0,4	840	5534	2,20	12,57	0,74	0,28	0,12
70- 80	6,3	245	0,2	0,6	0,3	920	6000	1,90	12,47	0,75	0,31	0,11
80- 90	6,2	218	0,2	0,6	0,2	660	660	1,50	11,17	0,58	0,26	0,11
90-100	6,3	212	0,2	0,6	0,1	620	620	1,55	10,87	0,54	0,26	0,10
100-110	6,3	234	0,3	0,9	0,1	700	700	1,70	11,47	0,52	0,32	0,11
110-120	6,4	214	0,2	1,2	0,2	660	660	1,35	10,67	0,42	0,28	0,10
120-130	7,4	234	0,2	1,3	0,2	680	680	0,45	15,86	0,40	0,28	0,12

Bilag 19. Jordkemiske parametre. Roskilde, mark A 13, 12. april 1984

=====

Dybde, cm	pH (CaCl)	mg/100 g		mg/kg		mg/kg dithionitekstr.		CEC m.ækv. pr. 100 g				
		Cat	Pt	$\text{NO}_3^- \text{--N}$	$\text{NH}_4^+ \text{--N}$	Al	Fe	H	Ca	Mg	K	Na
0- 10	6,8	244	6,9	53,3	24,2	700	4406	1,7	13,57	0,27	0,25	0,07
10- 20	7,0	258	6,6	10,6	3,4	800	4553	1,4	14,07	0,68	0,30	0,10
20- 30	6,7	170	5,2	4,2	1,4	920	4759	2,3	10,13	0,21	0,22	0,09
30- 40	6,6	141	2,1	3,6	0,8	1060	4726	2,9	7,34	0,18	0,16	0,08
40- 50	6,5	107	1,3	3,3	0,6	880	4167	2,3	5,19	0,14	0,11	0,05
50- 60	6,5	140	0,9	4,9	1,3	840	5614	2,1	6,59	0,21	0,13	0,06
60- 80	6,3	208	0,4	6,2	0,4	1420	7955	2,8	9,98	0,23	0,20	0,11
80-100	5,9	198	0,4	6,6	0,2	1240	7358	2,5	9,98	0,21	0,18	0,12
100-120	6,2	202	0,3	5,3	0,2	980	6566	1,8	9,63	0,20	0,15	0,09
120-140	7,5	342	0,3	5,8	0,2	480	3895	<1,0	>20,00	0,69	0,10	0,08
140-160	7,5	340	0,3	4,7	0,3	480	3803	<1,0	>20,00	0,74	0,11	0,07
160-180	7,5	324	0,2	3,8	0,3	380	3455	<1,0	>20,00	0,57	0,09	0,07

Bilag 2o. Største registrerede rodlængde målt i jordlag med anførte jordtæthed

=====

Vol. vægt g/cm ³	Jydevad		Borris		Foulumgård		Askov		Rønhave	Roskilde	
	byg	græs	byg	græs	byg	græs	byg	hvede	byg	byg	hvede
1,29-1,3o					1						
1,31-1,32											
1,33-1,34					1	1					
1,35-1,36					1		1				
1,37-1,38						1					
1,39-1,4o		1		1	1						
1,41-1,42	2	1									
1,43-1,44					1						
1,45-1,46	3	1			1					1	1
1,47-1,48	1	3							1		
1,49-1,5o	3	1	1	1			2			1	1
1,51-1,52				1					1	2	1
1,53-1,54	4			1			2	1	4		
1,55-1,56						1	1		3		
1,57-1,58			2	1			2	1	1	1	1
1,59-1,6o		1		1			1				
1,61-1,62							2		1	1	1
1,63-1,64				1			3	1	1	2	1
1,65-1,66				1			3		1		
1,67-1,68			3				4		2	2	1
1,69-1,7o				2			3				
1,71-1,72										2	2
1,73-1,74					3		2				
1,75-1,76				2	4	2					
1,77-1,78							2				
1,79-1,8o											
1,81-1,82										3	2
1,83-1,84						3					
1,85-1,86						4				4	4
1,87-1,88											
1,89-1,9o											

1 = > 1 cm rod pr. cm³ jord

2 = o,1 - 1

3 = o,o1 - o,1

4 = o - o,o1

Bilag 21. Største registrerede røddlänge målt i jordlag med anførte penetrerings-
 =====
 modstand

MPa	Jydevad	Borris	Foulumgård	Askov	Rønhave	Roskilde
	byg græs	byg græs	byg græs	byg hvede	byg	byg hvede
0-0,20	3					
0,21-0,40	1		1			
0,41-0,60	2 1					1 1
0,61-0,80	1	1	1		3	1 1
0,81-1,00	3	1	1	2 1	1	
1,01-1,20	1	1 1	1 1	2		
1,21-1,40		2 1	1 2	1		
1,41-1,60		1		1 1	1	2 1
1,61-1,80	1		1	2	1	1 1
1,81-2,00			1 3			2 1
2,01-2,20				3 1	1	2 2
2,21-2,40			3 1	3 1		2 1
2,41-2,60				1 4		
2,61-2,80				2		
2,81-3,00				2		
3,01-3,20				3		
3,21-3,40						
3,41-3,60						
3,61-3,80						
3,81-4,00			3			

1 = > 1 cm rod pr. cm³ jord

2 = 0,1 - 1

3 = 0,01 - 0,1

4 = 0 - 0,01

Bilag 22. Største registrerede rod længde målt i jordlag med anførte luftdiffusion
=====

Ilt diff.hast. i ‰ af hast. i luft	Jydevad	Borris	Foulumgård	Askov	Rønhave	Roskilde
	byg græs	byg græs	byg græs	byg hvede	byg	byg hvede
1						
2					3	
3				1	2	4 4
4			2	3		2 2
5				2	1	
6					1	3 2
7			1	2	1	
8		1		2		2 1
9				1	1	
10				2 1		
11- 20	1	1 1	1 1	1 1	1	1 1
21- 30		1 1	1 1	2 1		1 1
31- 40	1	2 1	1			2 1
41- 50	1	1				
51- 60		1	1			
61- 70	2					
71- 80						
81- 90						
91-100	3 1					
101-110	1					
111-120	3 1					
121-130	4 2					
131-140						

1 = > 1 cm rod pr. cm³ jord

2 = 0,1 - 1

3 = 0,01 - 0,1

4 = 0 - 0,01

Bilag 23. Største registrerede rod længde målt i jordlag med anførte pH

=====

pH(CaCl)	Jydevad	Borris	Foulumgård	Askov	Rønhave	Roskilde
	byg græs	byg græs	byg græs	byg hvede	byg	byg hvede
3,5-3,6						
3,7-3,8				4		
3,9-4,0				2		
4,1-4,2			2	2		
4,3-4,4		3	4 3			
4,5-4,6				2		
4,7-4,8			1 4			
4,9-5,0	3	2	1			
5,1-5,2			1	2		
5,3-5,4			1	2		
5,5-5,6		1	1	2 1		
5,7-5,8		2 1	1 1			
5,9-6,0	3	1		1		2 1
6,1-6,2	1 1	1 1			1	2 2
6,3-6,4	1	1 1		1	1	2 1
6,5-6,6				1	1	1 1
6,7-6,8						1 1
6,9-7,0						1 1
7,1-7,2						
7,3-7,4						
7,5-7,6						3 2
7,7-7,8						
7,9-8,0						

1 = > 1 cm rod pr. cm³ jord

2 = 0,1 - 1

3 = 0,01 - 0,1

4 = 0 - 0,01

Bilag 24. Største registrerede rodlængde målt i jordlag med anførte Cat
=====

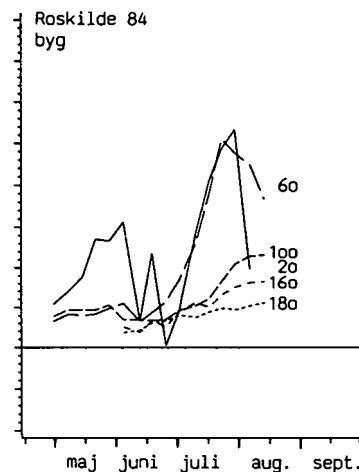
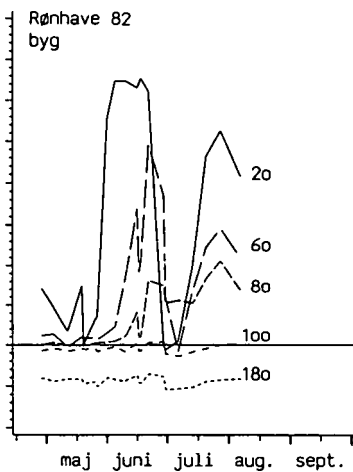
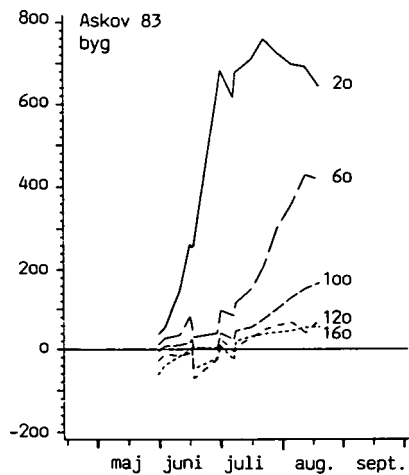
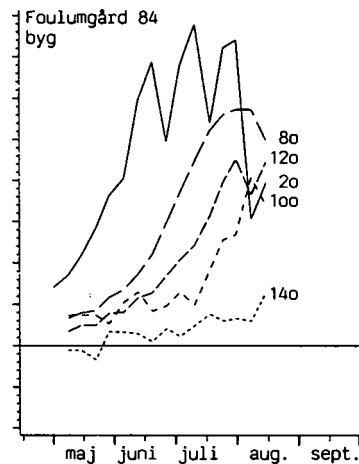
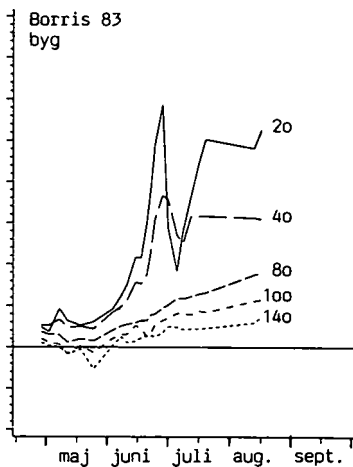
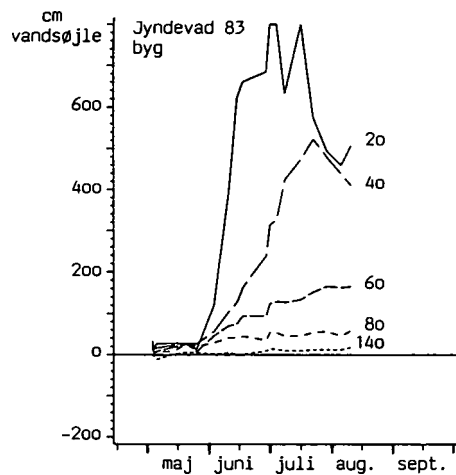
mg Ca pr. 100 g jord	Jydevad	Borris	Foulumgård	Askov	Rønhave	Roskilde
	byg græs	byg græs	byg græs	byg hvede	byg	byg hvede
1- 10	4					
11- 20	3		3			
21- 30		1				
31- 40		3 1	2 1			
41- 50	2		1	3 4		
51- 60	3 1		1 3	2 3		
61- 70		2 1	4	2 3		
71- 80	1					
81- 90	2		1	2		
91-100		1 1		2 1		
101-200	1 1	1 1	1 1	1 1	1	1 1
201-300					1	1 1
301-400						3 2

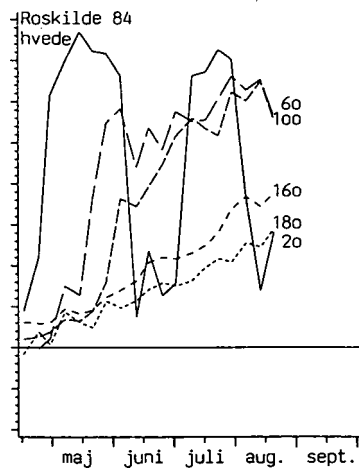
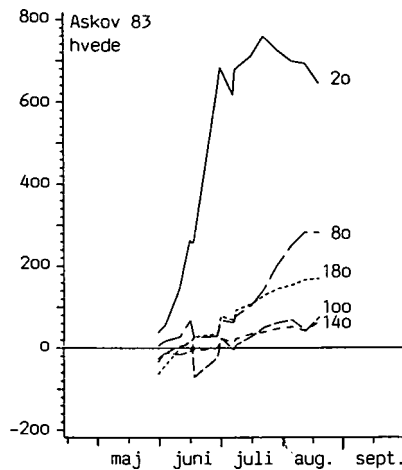
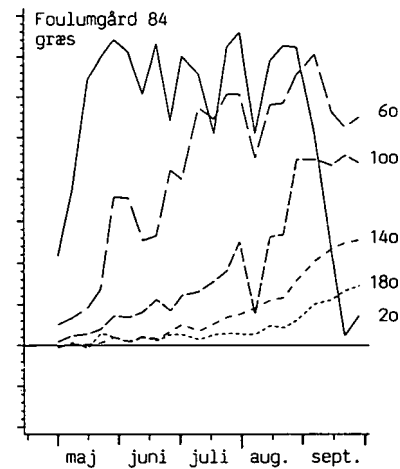
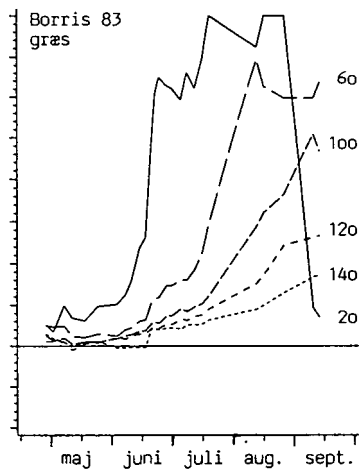
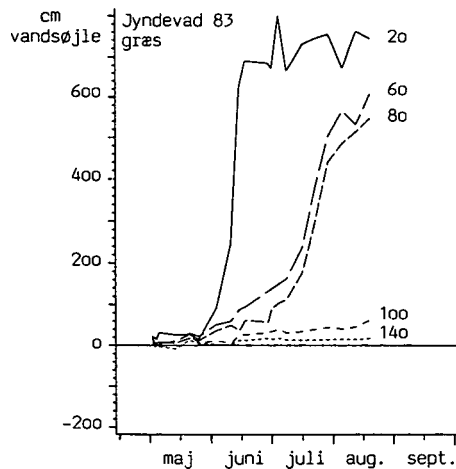
1 = > 1 cm rod pr. cm³ jord

2 = 0,1 - 1

3 = 0,01 - 0,1

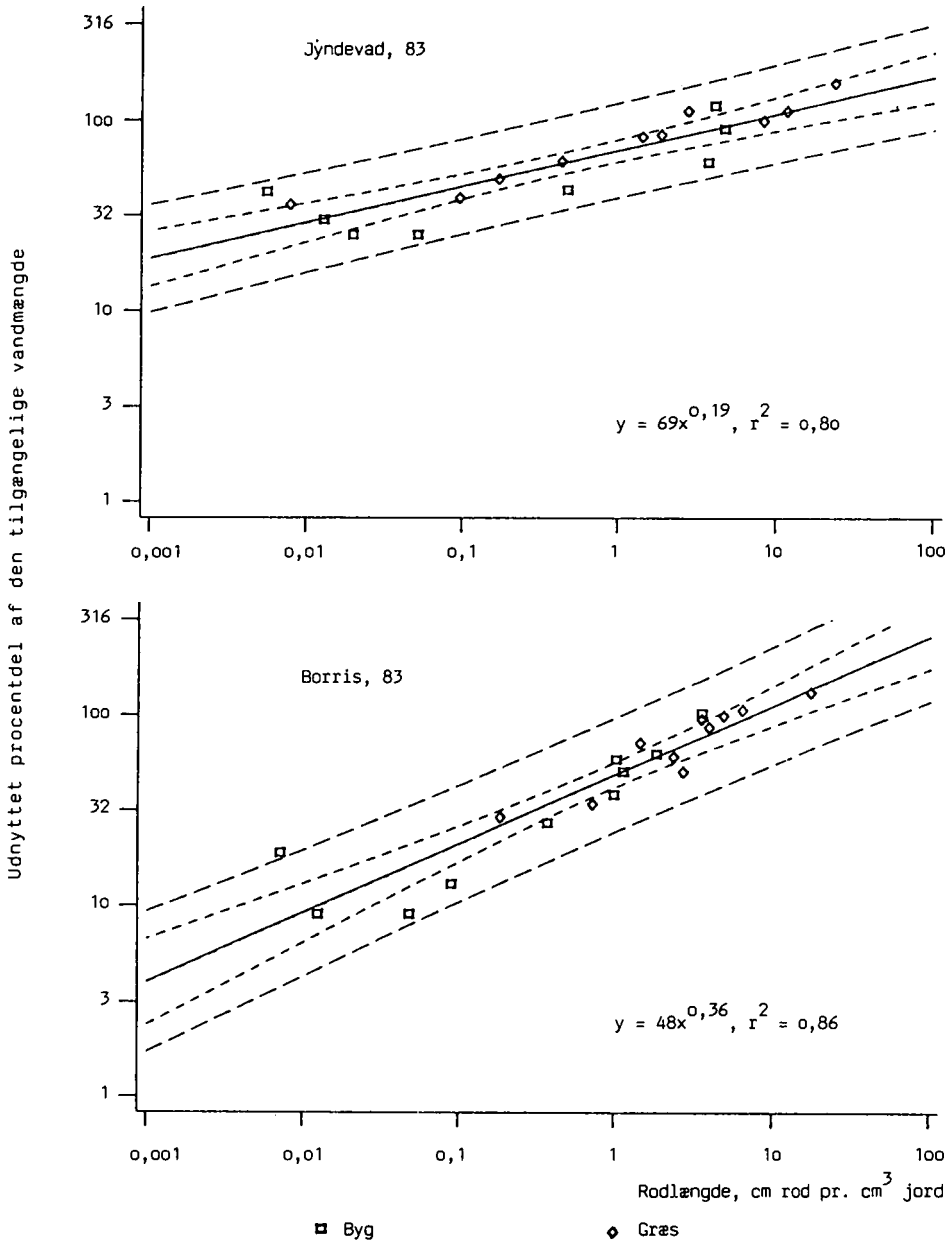
4 = 0 - 0,01





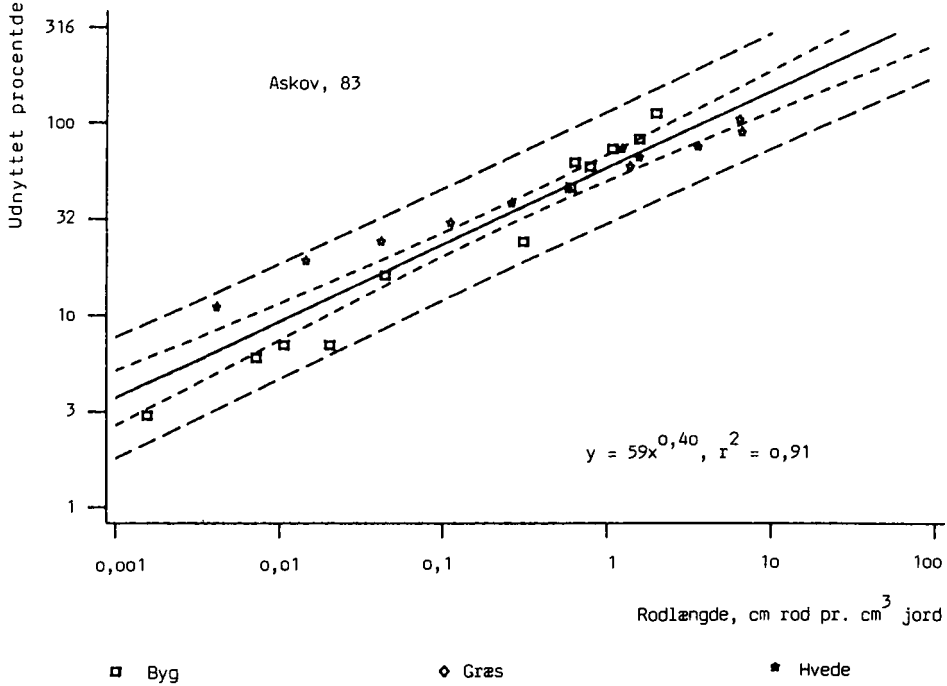
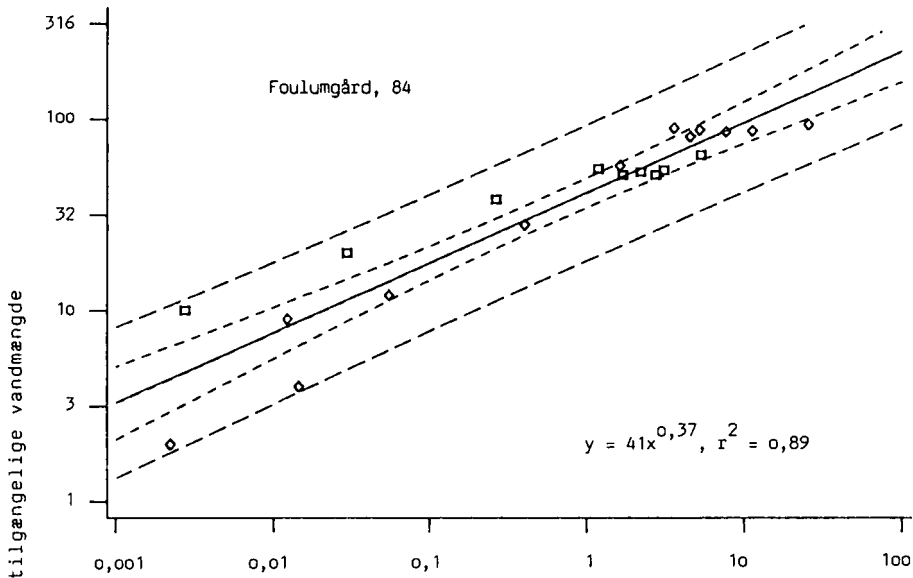
Bilag 25-26

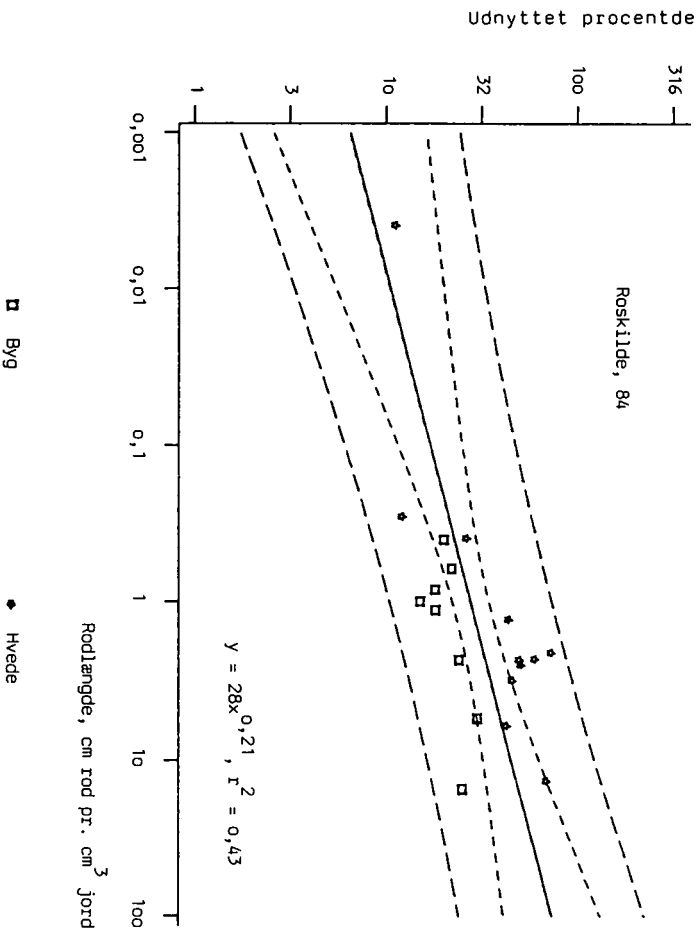
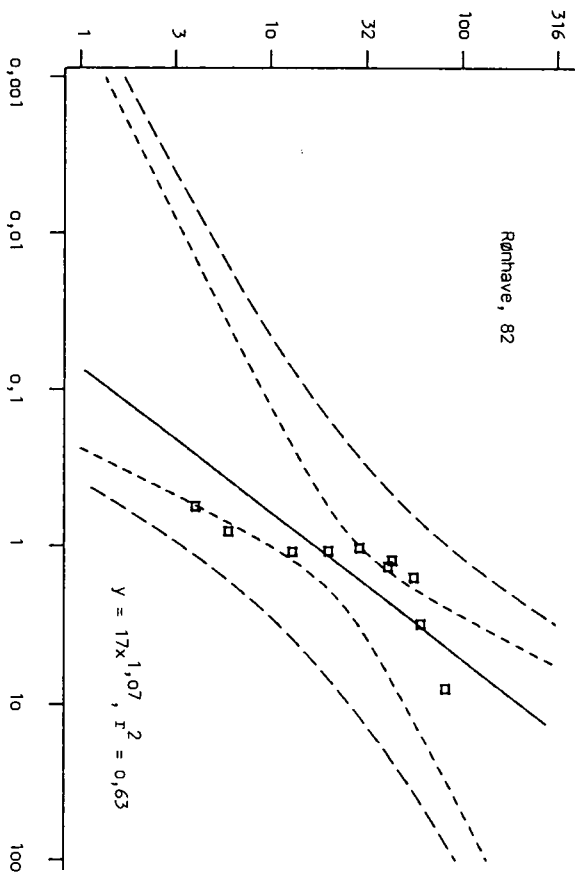
Tension (numerisk matrixpotential)
målt i forskellige dybder under
byg, græs og hvede igennem vækst-
sæsonen på de forskellige lokali-
teter.



Bilag 27-29

Udnyttet procentdel af den tilgængelige vandmængde som funktion af den største registrerede rodslængde i det pågældende jordlag. Regressionsligning og korrelationskoefficient er angivet for hver lokalitet. Den ved regressionen fundne lineære sammenhæng er indtegnet omgivet af 95 % konfidensinterval på gennemsnit (fint stiplet) samt på enkeltværdier (grovere stiplet).





Institutter m.v. under Statens Planteavlsforsøg

Sekretariatet

Statens Planteavlskontor, Kongevejen 83, 2800 Lyngby	(02) 85 50 57
Informationstjenesten, Lottenborgvej 2, 2800 Lyngby	(02) 87 53 27
Dataanalytisk Laboratorium, Lottenborgvej 24, 2800 Lyngby	(02) 87 06 31
Sekretariatet for Sortsafprøvning, Tystofte, 4230 Skælskør	(03) 59 61 41
Statens Bisygdomsnævn, Kongevejen 83, 2800 Lyngby	(02) 85 62 00
Jordbrugsmeteorologisk Tjeneste, Forsøgsanlæg Foulum, 8833 Ørum Sønderlyng	(06) 65 25 00

Landbrugscentret

Statens Forsøgsstation, Ledreborg Allé 100, 4000 Roskilde	(02) 36 18 11
Statens Forsøgsareal, Bornholm, Rønnevej 1, 3720 Åkirkeby	(03) 97 53 10
Statens Biavlsforsøg, Ledreborg Allé 100, 4000 Roskilde	(02) 36 18 11
Statens Forsøgsstation, Rønhave, 6400 Sønderborg	(04) 42 38 97
Statens Forsøgsstation, Tylstrup, 9380 Vestbjerg	(08) 26 13 99
Statens Forsøgsstation, Tystofte, 4230 Skælskør	(03) 59 61 41
Afdeling for Grovfoder, Forsøgsanlæg Foulum, 8833 Ørum Sønderlyng .	(06) 65 25 00
Statens Forsøgsstation, Borris, 6900 Skjern	(07) 36 62 33
Statens Forsøgsstation, Silstrup, 7700 Thisted	(07) 92 15 88
Statens Forsøgsstation, Askov, 6600 Vejen	(05) 36 02 77
Statens Forsøgsstation, Lundgård, 6600 Vejen	(05) 36 01 33
Statens Forsøgsstation, 6280 Højer	(04) 74 21 04
Afdeling for Kulturteknik, St. Jyndeved, 6360 Tinglev	(04) 64 83 16
Statens Planteavls-Laboratorium, Lottenborgvej 24, 2800 Lyngby	(02) 87 06 31
Centrallaboratoriet, Forsøgsanlæg Foulum, 8833 Ørum Sønderlyng . . .	(06) 65 25 00

Havebrugscentret

Institut for Grønsager, Kirstinebjergvej 6, 5792 Årslev	(09) 99 17 66
Institut for Væksthuskulturer, Kirstinebjergvej 10, 5792 Årslev	(09) 99 17 66
Institut for Frugt og Bær, Kirstinebjergvej 12, 5792 Årslev	(09) 99 17 66
Institut for Landskabsplanter, Hornum, 9600 Års	(08) 66 13 33

Planteværnscentret

Institut for Pesticider, Lottenborgvej 2, 2800 Lyngby	(02) 87 25 10
Institut for Plantepatologi, Lottenborgvej 2, 2800 Lyngby	(02) 87 25 10
Planteværnsafdelingen på »Godthåb«, Låsbyvej 18, 8660 Skanderborg .	(06) 52 08 77
Institut for Ukrudtsbekæmpelse, Flakkebjerg, 4200 Slagelse	(03) 58 63 00
Analyselaboratoriet for Pesticider, Flakkebjerg, 4200 Slagelse	(03) 58 63 00