

Jordbundsforhold og rodudvikling på Tylstrup forsøgsstation

Soil development and rootprofiles at Tylstrup agricultural research station

Henrik Breuning Madsen
Københavns Universitets Geografiske Institut¹⁾

Resumé

Fem profiler blev i perioden 19.–21. juli 1978 gravet på Tylstrup forsøgsstation for at undersøge samspillet mellem den jordbundsmæssige udvikling og rodprofilet hos byg og kartofler.

Der blev efter en grov profilbeskrivelse udtaget prøver med et bestemt volumen for hver ti cm ned gennem profilerne, og på disse prøver blev volumenvægt, pH (CaCl₂) og rodintensiteten bestemt. Der blev på hver byglokalitet bestemt et rodprofil, mens der blev bestemt to på hver kartoffellokalitet, nemlig et lige under planten og et andet mellem rækkerne. Der blev endvidere bestemt humusindhold, jordens teksturelle sammensætning og indholdet af frit jern og aluminium på udvalgte prøver.

Profilerne kunne deles i finsandede profiler og et svagt leret. De finsandede profiler viste sig at være svagt podsolerede ofte med tynde vandretliggende cementerede lag (placic horisonter) i en dybde af ½ til 1 meter. Disse horisonter, der var sammenkittet af jern- og aluminiumoxider, virkede rodstandsende og til dels vandstandsende, således at rodtybden blev lig dybden af de cementerede lag, og disse lag gav endvidere anledning til atypiske rodprofiler med i et enkelt tilfælde maximal rodintensitet lige over den cementerede horisont. Hvor disse horisonter ikke er udviklet, kan rodtybden blive over 120 cm.

I den lerede jord var der tydelige tegn på lernedslemning, og rodudviklingen blev stærkt hæmmet i ca. 80 cm dybde på grund af samspillet mellem høje volumenvægte og en veludviklet pladestruktur, der giver mange horisontale sprækker men kun få lodrette, hvor rødderne kan trænge ned. I alle profilerne var der tegn på vindaktivitet i de øverste dele af jorden, der derved fik et lidt højere grovsandsindhold, idet noget af det finere materiale var blæst væk.

Nøgleord: Jordbundsudvikling, rodudvikling.

Summary

At the Tylstrup Agricultural Research Station, North Jutland, five profiles have been investigated in order to elucidate the relationship between pedological development in soils and root growth in barley and potatoes.

The profiles were dug 19–21 July 1978, described, and then samples with a defined volume (420 cm³) were taken for each 10 cm down through the profiles. On these samples bulk densities, pH (CaCl₂), and root density were determined. For measuring root densities, the roots were first separated from solid matter by decanting, and thereafter the total root length was measured in a grid. For each barley test plot, one root profile was determined and two for each potato test plot, one under the plant and another between the rows. For selected samples, humus content, texture, and content of free iron- and aluminium oxides were determined.

¹⁾ Adresse: Haraldsgade 68, 2100 København Ø

Four of the five profiles consisted of fine sand, and one was slightly loamy. The first-mentioned ones proved to be weakly podzolized, often with thin, horizontal cemented layers (placic horizons) at a depth of 0.5–1 m. These horizons, cemented by iron and aluminium oxides, had a root-impeding effect and stopped to some degree the penetration of water with resulting atypical root profiles; in some profiles maximum root densities were found just above the cemented horizon. For soils without these horizons, root depths exceeding 120 cm were found.

In the loamy soil there was clear evidences of clay illuviation, and the combination of high bulk densities and a well-developed platy structure impeded root growth substantially at a depth of 80 cm because of the many horizontal cracks and few vertical ones. The upper layer of all profiles had been exposed to wind activity which had removed the finer material; the share of coarse sand was therefore a little higher in the topsoil.

Key words: Soil development, roots.

Indledning

Det har længe været kendt, at der er et tæt samspil mellem forskellige planters rodudvikling og jordbundens pedologiske udvikling, og f.eks. *Vetter* og *Sharafat* (1964) inddelte da også deres jordbundstyper i parabraunerde, braunerdepodsol, altmarsch og feucht-podsol, da de undersøgte forskellige kulturplanters rodudvikling i Slesvig-Holsten. Det er især jordbundskemiske og -fysiske faktorer som tekstur, struktur, volumenvægt, lagdeling og pH, der på veldrænede jorder har indflydelse på rodprofillets form og dybde, og disse faktorer er igen et produkt af udgangsmaterialet og dets jordbundsmæssige (pedologiske) udvikling. Det er f.eks. påvist, at udvaskningen af lerede morænejorder nær israndslinien har medført så lave pH-værdier i underjorden, at rodudviklingen hos byg stoppede inden 1 meters dybde, og det er endvidere påvist, at den ved udtørring/opvædning dannede struktur i lerjorder kan befordre en rodudvikling, hvor en sådan ud fra volumenvægt eller pct. luftfyldte porer ikke var forventelig.

Der har i de senere år været en stigende interesse for at få undersøgt sammenhængen mellem jordens tekstur og forskellige planters rodudvikling, især da det blev besluttet i 1976 at klassificere den danske landbrugsjord ud fra hovedsageligt tekturen, og de i denne beretning opnåede resultater for bygs rodudvikling vil da også senere indgå i en rapport, der omhandler bygs rodudvikling set i forhold til det danske teksturklassifikationssystem. Formålet med nærværende artikel

er at belyse den jordbundsmæssige udvikling, som jorderne på Tylstrup forsøgsstation har gennemgået, og hvilke konsekvenser det har fået for rodudviklingen hos byg og kartofler, og dermed på disse planters vandforsyning. Der vil derfor først blive en kort gennemgang af de vigtigste pedologiske processer, der foregår på danske jorder, hvorefter de egentlige undersøgelser vil blive beskrevet og diskuteret.

De vigtigste pedologiske processer på veldrænede jorder

Hovedparten af de danske jorder har igennem flere tusind år været udsat for de jordbundsdannende processer, idet de fleste danske jorder er udviklet på moræneaflejringer og smeltevandsaflejringer fra sidste istid, eller på endnu ældre aflejringer. Tylstrup er beliggende på en sandet yoldiaflade i Vendsyssel, der var havbund umiddelbart efter isens afsmeltning fra Danmark, men da landhævningen i det nordlige Danmark generelt er gået hurtigere end vandstandsstigningen efter istiden, hævedes yoldiafladen hurtigt over havniveau, og den har derfor også gennem mange tusind år (ca. 9000) været udsat for de jordbundsdannende processer. Disse har især været betinget af samspillet mellem klima, vegetation, udgangsmateriale, relief samt i den senere tid mennesket. Nogle af de væsentligste pedologiske udviklinger på veldrænede jorder skal her kort omtales.

Forsuring: Da det danske klima generelt er præget af nedbørsoverskud i hvert fald i store dele

af året, har jorderne været udsat for udvaskning til grundvandet af de på kolloiderne adsorberede baser (Ca, Mg, K, Na). Dette har medført et fald i jordens pH, hvilket kan have en uheldig indvirkning på planteproduktionen. Forsuringen kan til dels modvirkes ved kalkning, dog er dette ikke effektivt over for stærkt forsurede lerede underjorder, der igennem mange år kan bibeholde den lave pH med retarderet rodprofil til følge (H.B. Madsen, 1979).

Lervandring: Lernedslemning er en nedadrettet mekanisk bevægelse af lermineraller fra de øverste dele af jorden (ca. 50 cm) med efterfølgende aflejring i de nedenfor liggende lag. Leret tænkes transporteret af det nedsivende vand i grovporesystemet mellem aggregaterne, og det vil derfor ved aflejringen blive placeret på aggregaternes overflader, hvor det kan erkendes som et glat ofte lidt mørkere farvet lag (lerskind). Det sidste skyldes, at lerminerallerne afsættes orienteret med den brede side ind mod aggregatoverfladen.

Frigivelse af jern- og aluminiumoxider: I de øverste dele af jorden vil feldspatter og mørke mineraler som hornblende, augit og biotit være udsat for kemisk og fysisk forvitring, således at der frigives en del jern- og aluminiumoxider. Disse vil lægge sig omkring de faste bestanddele i jorden og farve dem gulbrune eller rødbrune ($\text{Fe}_2\text{O}_3 \cdot x\text{H}_2\text{O}$). Frigivelsen vil især finde sted i de øverste lag, og der vil være en jævn aftagning med dybden.

Podsolering: I stærkt udludede sandjorder vil jern og aluminium kunne blive kompleksbundet til humus og dermed blive gjort mobilt. Dette medfører, at det kan føres med det nedsivende vand ned i underjorden, hvor det i ca. en halv meters dybde udfældes som et allag. Dette lag vil øverst være sort på grund af et stort humusindhold, men længere nede blive det mere rødbrunt, da jern- og aluminiumoxider dominerer. Allaget vil ofte virke cementeret, idet jern- og aluminiumoxiderne kan binde sandskornene sammen. I de øverste lag vil sandskornene blive hvide, idet jernet er udvasket eller findes organisk bundet. Der findes mange jorder, der udviklingsmæssigt befinder sig mellem ikke podsolerede sandjorder

og stærkt udviklede podsoller, f.eks. findes jorder med afblegede sandskorn i dyrkningslaget, men uden egentlig aldannelser.

I forbindelse med podsoleringsprocessen kan der i underjorden dannes tynde (ca. 1 cm) vandretliggende, stærkt cementerede lag (placic horisonter), hvor jern- og aluminiumoxider sammenkitter sandskornene. Disse lag kan både virke vand- og rodstandsede, og i ekstreme tilfælde kan der udvikles sekundære grundvandsspejle over laget.

Metodik

Lokalisering og prøveudtagning

De i denne artikel omtalte profiler stammer alle fra Tylstrup forsøgsstation, hvor to af profilerne stammer fra mark A1, to fra mark F3 og et enkelt fra D2. På F3 og D2 markerne stod der byg, på A1 kartofler. Det ene kartoffelprofil blev gravet i den vandede del af parcel A1, det andet i den uvandede del. Jorderne var alle udviklet på veldrænet yoldiasand, hvis pløjelag teksturelt var finsand, dog var dele af underjorden i D2 leret. Profilerne blev gravet i perioden 19.–21. juli 1978, dvs. efter skridning, hvor man kan forvente den maksimale rodudvikling hos byg. Hullerne blev gravet til en dybde, hvor rodintensiteten tilnærmelsesvis var nul, eller til en dybde, således at den pedologiske udvikling kunne klarlægges. Der blev derefter lavet en grov profilbeskrivelse, således at repræsentative prøver til vurdering af den pedologiske udvikling kunne udtages. Til bestemmelse af rodprofilet hos byg blev der udtaget en prøve for hver 10 cm ned gennem profilet med en ring, hvis volumen var 420 cm^3 . Prøven fik dermed et veldefineret volumen, således at volumenvægten samt det aktuelle vand- og luftindhold kunne beregnes. I kartoffelmarkerne blev der benyttet samme prøveudtagningsprocedure som i bygmarkerne, dog blev der bestemt rodprofiler både lige under planten og mellem rækkerne. Rækkeafstanden var 75 cm, og der var tre planter pr. meter række. Da overfladen i en kartoffelmark er særdeles ujævn på grund af hypning, blev det besluttet at regne bunden mellem rækkerne som nulniveau ved dybdeangivelse af prøverne, ligesom det var nulniveau ved profilbeskrivelsen.

Umiddelbart efter prøveudtagelsen blev prøverne tørret ved 105°C, således at omdannelsen af rødderne blev hæmmet.

Profilbeskrivelse

Der kan vedrørende de efterfølgende profilbeskrivelser gives følgende kommentarer: Ap og A12 angiver de øverste humusholdige horisonter, medens A2 angiver en evt. udvaskningshorisont for ler, jern- og aluminiumoxider, der findes under de humusholdige horisonter. A3 og B1 angiver overgangshorisonter ned mod B2, der er akkumulationshorisont for ler, humus, jern- eller aluminiumoxider. B3 angiver overgangshorisonten mod udgangsmaterialet, der kaldes C. Der anvendes følgende suffix: p=pløjelag, t=lerophobning og x=massivt lag. Horisonternes tykkelse er angivet i cm fra overfladen, og teksturen er klassificeret efter det system, der anvendes ved Den danske Jordklassificering (*Teknisk redegørelse*, 1976). De ved farveangivelsen benyttede koder, f.eks. 10YR 3/2 refererer til *Munsell soil color charts*.

Profil F31 mark F3 NØ byg

Ap (0-25): brunt (7, 5YR 4/2) finsand; humusholdigt; ingen sten; svagt sur; overgang plan og klar.
A12 (25-43): som Ap dog stærkt sur; overgang plan og gradvis.
A3+B1 (43-65): blanding af brunt og brungult (7, 5YR 4/2 + 10 YR 6/6) finsand; humusfattigt; stenfrit; stærkt sur; overgang bølget og klar.
B2 (65-85): brungult (10YR 6/6) finsand; humusfattigt; ingen sten; stærkt sur; overgang plan og gradvis.
IIC (85-): olivengult (2,5YR 6/6) finsand med over 50% grov- + finsilt; humusfattigt; ingen sten; svagt sur.

Profil D2 mark D2 byg

Ap (0-25): meget mørkt gråbrunt (10YR 3/2) finsand; humusholdigt; ikke formbar og ikke klæbrig; ingen sten; svagt sur; overgang plan og klar.
A12 (25-55): mørkebrunt (10YR 4/3) finsand; humusholdigt; ingen sten, svagt med dybden stærkt sur; overgang plan og gradvis.
A2 (55-69): lyst olivenbrunt (2,5YR 5/4) fint lerblandet sand; humusfattigt; ingen sten; stærkt sur; overgang bølget og klar.
B2t (69-101): gulbrunt og meget blegt brunt (10 YR 5/6 + 10YR 7/4) fint sandblandet ler og fint lerblandet sand; humusfattigt; horisonten delt i partier med

lerskind og partier uden lerskind; pladestruktur; fragipan (B2tx) fra 70 til 90 cm; stærkt sur; overgang irregulær og klar.

B3t/C (101-): bleggult (2,5YR 7/4) fint sandblandet ler med partier af rent finsand; humusfattigt; pladestruktur hvor B3 er laminar; ingen sten; stærkt sur.

Profil F32 mark F3 NV byg

Ap (0-25): meget mørkt gråbrun (10YR 3/2) finsand; humusholdigt; ingen sten; svagt sur; overgang plan og klar.
A12 (25-40): brunt (10YR 5/3) finsand; humusfattigt; ingen sten; stærkt sur; overgang bølget og klar.
A3 (40-53): gulbrunt (10YR 5/6) finsand; humusfattigt; stærkt sur; ingen sten; overgang bølget og klar.
B2 (53-70): gulbrunt (10YR 5/6) finsand; humusfattigt; nederst i horisonten *placic horisont* med brittle struktur; ingen sten; stærkt sur; overgang mellem *placic horisont* og C-horisonten irregulær og klar.
C (70-): bleggult (2,5 YR 7/4) finsand; humusfattigt; ingen sten; stærkt sur.

Profil All mark A1 uvandede kartofler, Bintje;

8 cm høj hypning, der ikke er taget med i profilbeskrivelsen eller prøveudtagningen.
Ap (0-20): mørkt gråbrunt (10YR 4/2) finsand; humusholdigt; ingen sten; svagt sur; overgang plan og skarp.
B21 (20-36/41): mørkebrunt (10YR 3/3) finsand; humusfattigt; ingen sten; svagt sur; overgang bølget og gradvis.
B22 (36/41-62): gulbrunt (10YR 5/6) finsand; humusfattigt; ingen sten; svagt sur; overgang plan og klar.
B3 (62-75): meget lysebrunt (10YR 7/4) finsand; humusfattigt; ingen sten; flere brune svagt udviklede *placic horisonter* med brittle sturktur; svagt sur; overgang diffus.
C (75-): lysegråt (2,5YR 7/2) finsand; humusfattigt; ingen sten; svagt sur til stærkt sur; enkelte svagt udviklede *placic horisonter* med brittlestruktur.

Profil A12 mark A1 vandede kartofler, Bintje;

8 cm høj hypning, der er ikke medtaget i profilbeskrivelsen eller prøveudtagningen.
Ap (0-23): brunt (10YR 5/3) finsand; humusholdigt; ingen sten; svagt sur; overgang plan og klar.
B21 (23-30/38): gulbrunt (10YR 5/4) finsand; humusfattigt; ingen sten; svagt sur; overgang bølget og klar.
B22 (30/38-49): brungult (10YR 6/6) finsand; humusfattigt; ingen sten; svagt sur; overgang plan og gradvis.
B3 (49-60): meget blegt brunt (10YR 7/4) finsand; humusfattigt; ingen sten; svagt sur; overgang plan og skarp. Fra 58-60 cm *placic horisont*, der er stærkt brun (7,5YR 5/6) og med brittlestruktur.
C (60-): lysegråt (2,5YR 7/2) finsand, humusfattigt; ingen sten; svagt sur; enkelte rustrøde vertikale flammer.

Analyser

Kornstørrelsesanalyse. Prøvernes teksturelle sammensætning blev bestemt ved signering af de grovere fraktioner og ved anvendelse af hydro-mermetoden for de finere fraktioner.

Humus: Pct. humus blev bestemt ved hjælp af et Leco IR-12 kulstofbestemmelsesapparat.

pH blev bestemt med en glaselektrode i en opblanding af jord og 0,01M CaCl₂. Jord-væskeforholdet var 1/2,5.

Rodlængdebestemmelse. Rødderne blev udskilt fra jorden ved dekantering, efter at prøven var dispergeret i enten destilleret vand eller i en natriumpyrophosphatopløsning. Denne form for separation er mulig, fordi tørrede rødder er lettere end vand modsat jordens faste bestanddele. Rødderne blev dekanteret over gennem en sigte med maskevidden 177 μ . Denne tilbageholder omkring 99 pct. af rødderne, men lader vand, humuspartikler, ler og silt passere.

Længdebestemmelsen blev udført på et gridnet (Newman, 1966), der havde kantlængden 1,27 cm, og der blev kun bestemt længden af friske rødder, dvs. helt lyse eller lysebrune rødder, hvorimod mørkebrune og sorte rødder blev udeladt. Rødderne blev spredt tilfældigt ud over nettet, og antallet af skæringer mellem net og rødder blev bestemt. Ved den valgte kantlængde på nettet svarer en skæring til 1 cm rod. En nærmere beskrivelse af metoden findes i Madsen, 1978.

Ikke-silikatbundet jern og aluminium. Dette blev bestemt på prøver fra profil A12 som dithionit-citrat-opløseligt eller pyrophosphatopløseligt jern og aluminium.

Den førstnævnte metode er beskrevet i Møberg, 1973, og den går i princippet ud på at reducere jernet ved hjælp af natriumdithionit og derefter kompleksbinde det sammen med aluminium til citrationen, der er tilsat som natriumcitrat. Mængden af jern og aluminium bestemmes derefter ved atomabsorptionsspektrofotometri. Metoden anses især effektiv over for jern på grund af det reducerede miljø skabt af natriumdithioniten, og ved denne metode medtages både organisk bundet, amorft og krystallinsk jern og aluminium, men formodentligt ikke den totale mængde. L. Petersen (1976) fandt f.eks. betydeligt større

jern- og aluminiummængder ved ekstraktion med varm 20 pct. saltsyre i 8 timer end ved behandling med natriumdithionit og EDTA, 2Na. Den sidstnævnte metode er tilnærmelsesvis identisk med den ovenstående metode.

Undersøgelser af McKeague (1967) viste, at krystallinsk jern og aluminium kun i ringe grad var opløselig ved behandling i et døgn med 0,1M natriumpyrophosphat, det vil sige at hovedparten af det jern og aluminium, der bestemmes ved denne metode, er organisk bundet jern og aluminium. Proceduren er kort: 5 g jord tilsættes 200 ml 0,1M natriumpyrophosphat, og prøven rystes i 24 timer. Jern og aluminiumindholdet bestemmes derefter ved atomabsorptionsspektrofotometri.

Resultater

I nedenstående tabel 1 ses de forskellige jorders rodprofiler, tekstur, pH- og volumenvægtsvariation.

Der kan knyttes følgende generelle kommentarer til værdierne i tabel 1. Volumenvægtens betydning for rodudviklingen er påvist af Tackett & Pearson (1964), og hvor der ikke findes et naturligt grovporesystem, vil rodudviklingen hæmmes kraftigt ved volumenvægte over 1,6 g/cm³. Undersøgelser over pH's indvirkning på rodudviklingen har vist, at i naturligt jord hæmmes rodudviklingen stærkt, når pH falder til under 4 målt i CaCl₂, (H.B. Madsen, 1979). Endelig har Heick (1972), påvist ler og humus betydning for rodudviklingen og fundet, at jorden skal indeholde 2 pct. humus eller 6 pct. ler eller en kombination af dette, for at få en rimelig rodudvikling.

Rodintensiteterne i tabel 1 kan inddeles logaritmisk i følgende klasser:

I: mange > 1 cm rod/cm³ jord

II: få 1-0,1 cm rod/cm³ jord

III: meget få 0,1-0,01 cm rod/cm³ jord

IV: ingen rødder < 0,01 cm rod/cm³ jord

hvilket giver de nedenstående roddybder for de forskellige klasser i de fem undersøgte profiler (tabel 2).

Ved hjælp af den på Hydroteknisk Laboratorium udviklede simuleringsmodel Heimdal (G.K. Hansen, 1975), der beskriver vandforholdene i jord-plante-atmosfæresystemet, er det påvist ud

Tabel 1a. Variationer i rodintensitet, pH, vægtfylde, og tekstur i de undersøgte kartoffelmarker, Tylstrup 1978
Variations in root density, pH, bulk density, and texture in the investigated potato fields

Lokalitet	Under planten		pH (CaCl ₂)	Mellem planterne	
	rod cm/cm ³	vol. vægt		rod	vol. vægt
A 11					
uvandet					
0-10	2.37	1.21	5.2	4.05	1.32
10-20	0.77	1.58	5.4	1.64	1.53
20-30	1.04	1.45	5.2	1.41	1.45
30-40	1.69	1.38	5.1	2.28	1.38
40-50	3.53	1.39	5.1	2.60	1.42
50-60	1.66	1.45	4.9	1.24	1.48
60-70	0.74	1.52	5.0	0.59	1.53
70-80*)	0.29	1.52	5.0	0.31	1.60
80-90	0	1.58	5.0	+	1.56
90-100	+	1.56	5.1	0.02	1.57
A 12					
vandet					
0-10	1.42	0.99	5.4	5.54	1.12
10-20	1.24	1.35	5.3	1.65	1.39
20-30	1.65	1.39	5.5	0.97	1.39
30-40	0.44	1.33	5.5	1.62	1.42
40-50	0.72	1.36	5.4	0.52	1.49
50-60**)	0.80	1.47	5.6	0.39	1.55
60-70	0.04	1.52	5.7	0.05	1.54
70-80	0.03	1.50	5.7	+	1.49

Rækkeafstand 75 cm. 3 planter pr. m.

*) fra 75 cm placic horisonter.

**) fra 58-60 cm placic horisont.

	Tekstur (μ)					humus %
	<2	2-20	20-63	63-200	200-2000	
A 11						
(10-20)	3	4	20	65	16	2.3
(50-60)	4	3	12	66	13	1.1
(100-110)	1	0	5	93	0	0.2
A 12						
(10-20)	2	4	9	73	9	2.3
(40-50)	2	2	9	87	1	0.7
(80-90)	1	2	22	70	4	0.2

Tabel 1b. Variationer i rodintensitet, pH, vægtfylde, og tekstur i de undersøgte bygmarker, Tylstrup 1978
Variations in root density, pH, bulk density, and texture in the investigated barley fields

		Rod	pH	Vol.		Tekstur (μ)			
		cm rod	(CaCl ₂)	vægt	ler	f. silt	g. silt	f. sand	g. sand
		cm ³ jord		g/cm ³	<2	2-20	20-63	63-200	200-2000
<i>F 31</i>									
Ap	(0-10)	5.4	5.0	1.24					
Ap	(10-20)	3.6	5.3	1.25	3	6	16	64	9
Ap+A12	(20-30)	3.7	4.8	1.34					
A12	(30-40)	4.9	4.4	1.35					
A3+ B1	(40-50)	4.7	4.5	1.27					
A3+ B1	(50-60)	5.5	4.5	1.27					
B1+B2	(60-70)	5.9	4.5	1.23					
B2	(70-80)	6.5	4.6	1.27	4	5	21	63	6
B2+ C1	(80-90)	3.4	4.8	1.36					
C1	(90-100)	1.3	4.9	1.46					
C1	(100-110)	0.96	5.1	1.46	4	12	41	40	3
C1	(110-120)	0.25	5.1	1.52					
<i>F 32</i>									
Ap	(0-10)	4.9	5.2	1.35					
Ap	(10-20)	4.1	5.4	1.33	2	6	15	64	10
Ap+A12	(20-30)	1.5	5.0	1.35					
A12	(30-40)	3.1	4.7	1.33					
A3	(40-50)	4.9	4.5	1.32					
A3+ B2	(50-60)	5.3	4.5	1.31	4	4	18	65	9
B2*)	(60-70)	5.4	4.7	1.41					
C	(70-80)	0.07	4.8	1.53					
C	(80-90)	0	4.8	1.51					
C	(90-100)	0	4.9	1.54	1	1	17	80	1
<i>D 2</i>									
Ap	(0-10)	10.3	5.4	1.18					
Ap	(10-20)	2.1	5.1	1.37	3	7	15	62	10
Ap+A12	(20-30)	2.3	5.2	1.38					
A12	(30-40)	4.4	5.2	1.32					
A12	(40-50)	8.3	4.7	1.20					
A12+A2	(50-60)	4.0	4.5	1.36	7	13	21	48	10
A2	(60-70)	3.3	4.3	1.57					
B2tx	(70-80)	1.2	4.4	1.65	12	13	23	45	7
B2tx	(80-90)	0.19	4.4	1.70					
B2t	(90-100)	0.05	4.2	1.72					
B3t+C	(100-110)	0.03	4.2	1.69	11	9	27	47	6
B3t+C	(110-120)	0	4.3	1.73					

*) placic horisont fra 68-70.

Tabel 2. Dybder (cm) for forskellige rodintensiteter
Depth in cm for three different root densities (many: >1
cm/cm³, few: 1-0.1 cm/cm³, very few: 0.1-0.01 cm/cm³)

	F31	F32	D2	All	UV	A12	V
				U.P.	M.P.	U.P.	M.P.
mange	100	70	80	60	60	30	40
få	>120	70	90	80	80	60	60
meget få	?	80	110	80	80	80	70

fra 14 profilstudier, at den plantetilgængelige vandmængde i jorden målt i mm vand bør udregnes til dybden for 0,1 cm rod/cm³ jord (H.B. Madsen, 1979). Dvs. at rodtybden for få rødder er et mål for den effektive rodtybde. Der kan dog ved atypiske rodprofiler opstå visse fejl ved anvendelse af denne grænse som mål for den effektive rodtybde, hvorfor den skal tages med visse forbehold.

Diskussion

Jordbundsprofilerne kan efter teksten indeles i to grupper, idet jorderne i markerne A og F er finsandede i hele profilet dybde, medens profilet i mark D generelt har et større lerindhold. For alle profiler gælder dog, at grovsandsindholdet er størst i det øverste lag, hvilket også var tilfældet i det af L. Hansen (1976), undersøgte profil på Tylstrup forsøgsstation. Det store grovsandsindhold skyldes sandsynligvis vindens virke, der har omløjet de øverste lag og fjernet noget af det finere materiale.

Sandjorderne: Betragtes profilbeskrivelserne af de fire sandjorder ses, at i tre af dem er der udviklet tynde placic horisonter inden for en halv til en meters dybde, og sammenholdes dette med konstateringen af afblegede sandkorn i pløjelaget på visse af lokaliteterne, kan det tyde på en vis podsolering. For at få klarlagt dette, er jern- og aluminiumvariationen ned gennem profil A12 blevet undersøgt, og i tabel 3 ses det natriumdithionitcitratopløselige og natrium-pyrophosphatopløselige jern og aluminium i de forskellige horisonter.

Det bemærkes, at i Ap-horisonten er der betydeligt mindre jern og aluminium end i B2-hori-

Tabel 3. Dithionit-citrat- og pyrophosphatopløseligt jern og aluminium for profil A12, mark A1
Soluble iron- and aluminium in dithionitecitrate and in pyrophosphate for profile A12, field A1

	Al %		Fe %	
	dith-ci.	pyro	dith-ci.	pyro
Ap	1.18	0.88	2.49	1.07
B21	2.79	3.38	3.35	2.55
B22	2.27	2.42	2.47	1.31
B3	1.15	0.97	0.91	0.32
placic	3.24	2.74	5.10	2.30
C	1.00	0.68	1.80	0.34

sonthen, der sandsynligvis har fået en del af sit høje jern- og aluminiumindhold fra Ap. Der er fra B21-horisonten et jævnt fald i jern- og aluminiumindholdet ned mod C-horisonten, dog er der et lokalt maximum i det to cm tykke, cementerede lag, der ligger i 60 cm dybde, og et lokalt minimum for jernet i B3. Det er det høje indhold af jern og aluminium, der sammenkitter sandkornene i det cementerede lag, og derved ikke alene gør det rodstandsede men også tildels vandstandsede. Det sidste ses bl.a. af det lave jernindhold i B3, der sandsynligvis skyldes et temporært sekundært grundvandspejl. Dette opstår oven på det cementerede lag om vinteren, hvor der er et stort nedbørsoverskud, og det kan reducere jernet ($Fe^{3+} \rightarrow Fe^{2+}$) og derved gøre det mobilt. Da denne samme iltning/reduktionsproces ikke forekommer hos aluminium, opstår der ikke der et lokalt minimum i B3. Man må ud fra tabel 3 helt klart konkludere, at jorden er podsoleret omend kun i ringe grad, men dog stærkt nok til at få udviklet placic horisonter, hvilket kan have stor edaphologisk betydning.

Man bemærker endvidere, at de to ekstraktionsmetoder er tilnærmelsesvis lige effektive over for aluminium, hvorimod dithionit-citratmetoden er betydeligt mere effektiv over for jern end pyrophosphaten. Det bemærkes endvidere, at der er mindst forskel mellem de to metoder i B21, og den stiger derfra med dybden. Dette skyldes formodentlig, at en mindre og mindre del af jernet og aluminiumen er organisk bundet med forøget dybde.

Betragtes rodprofilerne i de fire jorder set i forhold til den ovenstående profiludvikling ses, at de cementerede lag effektivt stopper rodudviklingen i relativ ringe dybde. Derimod har F31, der er det eneste af sandjordsprofilerne uden placic horisonter, en særdeles dyb og kraftig rodudvikling, hvilket måske nok kan undre set i forhold til de af Heick (1972) opstillede krav for ler- og humusindholdet. Den dybe rodudvikling kan dog muligvis forklares ud fra jordens lave volumenvægt i hele profilet samt, at hovedparten af sandet er finsand. Skal den plantetilgængelige vandmængde udregnes i dette profil, må den effektive roddybde sættes til i hvert fald 120 cm, medens den effektive roddybde i de andre profiler udelukkende er bestemt af dybden af det cementerede lag. På grund af de cementerede lag kan rodprofilet antage atypiske former, hvilket især er tydeligt i F32, hvor de største rodintensiteter findes lige over det rodstandsede lag; den samme tendens ses i A12 med forøget rodintensitet lige over det cementerede lag.

Ved at sammenligne den plantetilgængelige vandmængde i de to bygprofiler i mark F3 kan man få en ide om, hvilken betydning det cementerede lag har for vandforsyningen til planterne. L. Hansen (1976) undersøgte porestørrelsesfordelingen på et profil fra Tylstrup forsøgsstation og fandt i fire dybder følgende vol.pct. middelporer 22,2, 18,4, 16,5 og 25, hvilket i gennemsnit giver 20,5 vol.pct. Middelporerne er de porer i jorden, som tilbageholder det plantetilgængelige vand. Anvendes 20,5 vol.pct. som den plantetilgængelige vandmængde i de to bygprofiler med forskellig roddybde, kan det beregnes at profilet med det cementerede lag vil indeholde over 100 mm mindre tilgængeligt vand end profilet uden placic horisont; en vandmængde, der kan holde planten igang i mere end 30 dage, idet den gennemsnitlige potentielle fordampning i vækstsæsonen er ca. 3 mm pr. dag.

Betragtes rodprofilerne under kartoflerne ses, at roddybden udelukkende er betinget af de cementerede lag. Dette giver anledning til lidt atypiske rodprofiler, således at sammenligningen af rodudviklingen i en vandet og uvandet mark bliver sløret, hvilket også er tilfældet ved sammen-

ligningen af rodintensiteterne under og mellem planterne. Ud fra det spinkle materiale kan man dog se, at rodintensiteterne generelt er større i det uvandede parcel end i det vandede, og at rodintensiteten i den øverste del af profilet er størst mellem rækkerne, medens det omvendte er tilfældet i de dybere lag. Om dette er et generelt billede eller en tilfældighed kan kun flere undersøgelser afklare.

Lerjorden: Profilet i mark D2 er betydeligt mere leret end de andre undersøgte jorder, og den har derfor gennemgået en anden pedologisk udvikling. Profilet er øverst præget af et ca. 50 cm tykt formodentligt vindpålejret lag, derefter følger et egentligt udvaskningslag (A2), hvorfra der er vandret ler, og i ca. 70 cm's dybde kommer lerakkumulationshorisonten (B2t), hvor der stedvis findes tydelige lerskind. Denne horisont er øverst særdeles kompakt, hvilket skyldes den høje volumenvægt sammenholdt med en veludviklet pladestruktur; det sidste skyldes udgangsmaterialets primærstruktur (lagdelt, vandaflejret sediment). Under den egentlige lerakkumulationshorisont kommer en overgangshorisont mod udgangsmaterialet, som der ikke blev gravet helt ned til. Der var ikke i dette profil noget tegn på dannelse eller begyndende dannelse af en placic horisont.

Rodprofilet set i forhold til jordbundsudviklingen viser, at rodudviklingen er tilfredsstillende i A-horisonterne, hvorimod rodudviklingen går i stå øverst i B2t-horisonten, hvilket utvivlsomt skyldes den høje volumenvægt sammenholdt med pladestrukturen. Den høje volumenvægt tillader kun, at rødderne går gennem laget, såfremt de følger det naturlige sprækkesystem mellem aggregaterne, og da pladestrukturen hovedsageligt danner vandretliggende sprækkesystemer med kun få lodretgående sprækker, må rodudviklingen naturligt hæmmes. Såfremt volumenvægten og strukturen ikke havde virket hæmmende, ville en roddybde på 150 cm have været forventelig, og en effektiv roddybde på omkring 110 cm havde ikke været utænkelig. I det aktuelle tilfælde må man nok antage den effektive roddybde til at være 80 cm.

Der var ikke i nogen af de fem undersøgte pro-

filer tegn på en så kraftig forsuring, at pH skulle virke hæmmende på rodudviklingen. Dette skyldes sandsynlig kalkning sammenholdt med den relativt lerfattige underjord.

Konklusion

Man kan generelt konkludere, at de finsandede jorder på Tylstrup forsøgsstation har været udsat for en svag podsolering, der har medført bevægelse af jern- og aluminiumoxider fra A-horisonten og ned i B-horisonten, hvor der kan opstå tynde, cementerede lag (placic horisonter). Disse lag virker rodstandsede og til dels vandstandsede, hvilket har stor betydning for planternes vandforsyning, og det blev f.eks. beregnet, at der var over 100 mm mere tilgængeligt vand til bygproduktion i en jord uden placic horisont end i en med placic horisont i en dybde af 70 cm. Såfremt der ikke var udviklet cementerede lag i profilet, kunne bygrødderne gå dybere ned end 120 cm. Den mere lerholdige jord viste tydelige tegn på lernedslemning, og profilet viste endvidere, at høje volumenvægte sammen med en veludviklet pladestruktur hindrede rodudviklingen. Der var ikke i nogen af profilerne tegn på, at lave pH-værdier skulle virke hæmmende på rodudviklingen.

Erkendtlighed

Forfatteren vil gerne takke stud.scient. *Bjarne Holm Jacobsen* for deltagelse ved prøveudtagningen.

Litteratur

- Hansen, G.K.* (1975): A Dynamic Continuous Simulation Model of Water State and Transportation in the Soil-plant-atmosphere System. *Acta. Agric. Scand.* 25, 129-149.
- Hansen, L.* (1976): Jordtyper ved statens forsøgsstationer. *Tidsskr. Planteavl* 80, 742-758.
- Heick, J.* (1972): Rodudvikling i sandjord i relation til fysiske faktorer. Lic. afhandling, Hydroteknisk Lab., KVL.
- Madsen, H.B.* (1978): Bygs rodudvikling i relation til fysiske parametre i naturlig lejret jord. *Tidsskr. Planteavl* 82, 335-342.
- Madsen, H.B.* (1979): Jordbundskartering og bonitering belyst ved hjælp af jordens vandretention, bygs rodudvikling og simuleret planteproduktion. *Folia Geografica Danica TOM X*, no. 5.
- McKeague, J.A.* (1967): An evaluation of O, I M pyrophosphate and pyrophosphate-dithionite in comparison with oxalate as extractants of the accumulation products in podzols and some other soils. *Canadian Journ. Soil Sci.* 47, 95-99.
- Munsell soil color charts* (1954): Munsell color comp. inc. Baltimore.
- Møberg, J.P.* (1973): Øvelsesvejledning i jordbundslære II. DSR.
- Newman, E.I.* (1966): A method of estimating the total length of root in a sample. *Journ. Appl. Ecology* 3, 139-146.
- Petersen, L.* (1976): Podzols and podzolization. *Disputats*, DSR.
- 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.
- Teknisk Redegørelse* (1976): Den danske Jordklassificering, Landbrugsministeriet.
- Vetter, H. & Scharafat, S.* (1964): Die Wurzelverbreitung landwirtschaftlicher Kulturpflanzen im Unterboden. *Acker und Pflanzenbau* 120, 275-297.

Manuskript modtaget den 28. maj 1979.