

HENRIK BREUNING MADSEN

HIMMERLANDS JORDBUNDSFORHOLD

Et regionalt studie omhandlende jordbundsudvikling,
-klassifikation, afgrøders rodudvikling
og jordens plantetilgængelige vandmængde



KØBENHAVN
C. A. REITZELS FORLAG
ROSENDAHLS BOGTRYKKERI

1983

FOLIA GEOGRAPHICA DANICA . TOM. XVI

HENRIK BREUNING MADSEN

HIMMERLANDS JORDBUNDSFORHOLD

Et regionalt studie omhandlende jordbundsudvikling,
-klassifikation, afgrøders rodudvikling
og jordens plantetilgængelige vandmængde



**KØBENHAVN
C. A. REITZELS FORLAG
ROSENDAHLS BOGTRYKKERI
1983**

"Denne afhandling er af det naturvidenskabelige fakultet ved Københavns Universitet antaget til offentligt at forsvares for den naturvidenskabelige doktorgrad".
København, den 8. februar 1983.

Hans Jørgen Hansen
dekan

Kort og kortudsnit s. 5, 74, 95, 106, 114, 131 og 141 er reproduceret med Geodætisk Instituts tilladelse (A3o2/83). Copyright.

INDHOLDSFORTEGNELSE

Indledning	1
Kapitel 1: Himmerlands naturforhold	4
Det glaciële landskab	4
Det marine forland	7
Klimaforhold	9
Palæoklima	9
Nedbørsunderskud og -overskud	11
Jordens fugtighedsforhold og temperaturforhold	13
Opdyrkningen af Himmerland	13
Kapitel 2: Generelle betragtninger over jordens pedologiske udvikling	16
Jordbundsudviklingen på danske jorde	18
Kapitel 3: Prøveudtagning og analyser til studier over de himmerland-	
ske jordes pedologiske udvikling	22
Profilbeskrivelse	23
Eksterne karakteristika	24
Interne karakteristika	24
Prøveudtagning	34
Analyser	35
Tekstur	35
Organisk stof	37
Kalkbestemmelse	38
pH-bestemmelse	38
Bestemmelse af kornstørrelsesfordelingen inden for lerfraktionen	38
Ikke silikatbundet jern og aluminium	39
Jordens ombyttelige baser	40
Jordens ombyttelige sure kationer	41
Jordens CEC-værdi	41
Jordens totale nitrogenindhold	42
Bestemmelse af jordens vandretention	42
Kapitel 4: Klassifikation af Himmerlands jorde	44
Udenlandske klassifikationssystemer	45
Opbygning af et profilklassifikationssystem	47
Inddeling af jordene på ordensniveau	50
Definition af de enkelte jordtyper på ordensniveau	52
Inddeling af jordene på gruppeniveau	55
Definition af de enkelte jordtyper på gruppeniveau	57
Inddeling af jordene på serieniveau	67
Definition af profilkarakteristika	68
Inddeling af jordene på faseniveau	70
Klassifikation af begravede jorde	71
Klassifikationssystemet i numerisk form	71
Sammenfattende betragtninger	71
Kapitel 5: Den pedologiske udvikling i flyvesandsområder tilknyttet	
det glaciële landskab	73
Profilbeskrivelser	75
Analyseresultater og diskussion	78

Sammenfattende bemærkninger	85
Kapitel 6: Den pedologiske udvikling på lerfattigt udgangsmateriale i det glaciale landskab	94
Rønhøj Plantage	94
Profilbeskrivelser	95
Resultater og diskussion	98
Rold Skov	104
Profilbeskrivelser	105
Resultater og diskussion	107
Lundgård Skov	113
Profilbeskrivelser	113
Resultater og diskussion	116
Samlede betragtninger over den pedologiske udvikling i glaciogene sandede aflejringer	123
Kapitel 7: Den pedologiske udvikling på lerholdige sedimenter og kalkklippe i det glaciale landskab	130
Dragsgård Skov	130
Profilbeskrivelser	131
Resultater og diskussion	134
Sønderskov	141
Profilbeskrivelser	142
Resultater og diskussion	145
Den pedologiske udvikling på kalkholdigt udgangsmateriale	157
Profilbeskrivelser	157
Resultater og diskussion	158
Samlede betragtninger over den pedologiske udvikling i lerholdige aflejringer eller på kalkholdig klippe i det glaciale landskab	159
Kapitel 8: Jordbundsudviklingen på det marine forland	164
Den pedologiske udvikling på sandede marine aflejringer	164
Profilbeskrivelser	165
Resultater og diskussion	169
Den pedologiske udvikling på lerede marine aflejringer	173
Profilbeskrivelser	173
Resultater og diskussion	174
Den pedologiske udvikling i æolisk sand på det marine forland	176
Profilbeskrivelser	177
Resultater og diskussion	177
Samlede betragtninger vedrørende den pedologiske udvikling på det marine forland	179
Kapitel 9: Den regionale fordeling af jordbundstyperne i Himmerland og udbredelsen af potentielt svovlsure jorde	182
Udbredelsen af sulfidholdige potentielt svovlsure jorde i Himmerland	185
Prøveudtagning	186
Analyser	187
Resultater og diskussion	189
Kapitel 10: Afgrøders rodudvikling i relation til jordtyperne i Himmerland	195
Generelle betragtninger over planternes rodudvikling i relation	

til jordbundsforholdene	196
Teksturens indflydelse på rodudviklingen	196
Strukturens og volumenvægtens indflydelse på rodudviklingen	198
Rodudviklingen set i forhold til pH i underjorden	199
Metoder til bestemmelse af rodprofiler	200
Prøveudtagning og analyser	204
Bestemmelse af rodindholdet	207
Separering af rødder og jord	207
Længdebestemmelse	208
Resultater og diskussion	209
Rodudviklingen på lerfattige ikke kolluviale jorde i det glacielle landskab	211
Græs	220
Byg	221
Havre, hvede, rug	224
Kartofler	225
Samlede betragtninger over rodudviklingen på lerfattige ikke kolluviale jorde	226
Rodudviklingen på kolluviale lerfattige jorde i det glacielle landskab	227
Rodudviklingen i lerholdige jorde i det glacielle landskab	231
Diskussion	237
Samlede betragtninger over rodudviklingen i lerholdige jorde	239
Rodudviklingen i kalkholdigt udgangsmateriale	240
Rodudviklingen i blandede sedimenter i det glacielle landskab	245
Rodudviklingen i jorde på det marine forland	247
Vurdering af gennemsnitlige rodtybder for forskellige afgrøder	252
Kapitel 11: De dyrkede jordes vandretention og plantetilgængelige vandindhold	257
Generelle betragtninger over jordens vandindhold	257
Markkapacitet	258
Visnegrænse	260
Plantetilgængeligt vand	261
Effektiv rodtybde	263
Beskrivelse af den aktuelle undersøgelse	266
Porestørrelsesfordeling og plantetilgængeligt vand på lerfattige jorde i det glacielle landskab	268
Porestørrelsesfordeling og plantetilgængeligt vand i lerholdige jorde i det glacielle landskab	271
Porestørrelsesfordeling og plantetilgængeligt vand i profiler på det marine forland	274
Den plantetilgængelige vandmængde udregnet på basis af jordens vandretention og den effektive rodtybde	275
Summary	279
Litteratur	303
Appendix	325

INDLEDNING.

Der blev i 1976-80 udført en landsomfattende kortlægning af landbrugsjorden med særlig vægt lagt på jordens tekstur. Denne kortlægning blev udført af Landbrugsministeriets Arealdatakontor og omfattede omkring 40000 teksturanalyser. Landbrugsjorden blev ud fra pløjelagets tekstur inddelt i 12 jordbundstyper, der på de udarbejdede kort er slået sammen til 8 farvekoder. Alle analyseresultater blev lagret på datafiler, ligesom kortgrænser og prøveudtagningssteder. De sidstnævnte blev digitaliseret med reference til UTM-koordinatsystemet.

De udarbejdede kort er i vid udstrækning anvendt i planlægningen af det åbne land, fx som beregningsgrundlag for landbrugets vandingsbehov og for nitrogenudvaskningen fra landbrugsområder.

I forbindelse med den videre udnyttelse og udbygning af jordklassificeringen har det vist sig formålstjeneligt at få fremskaffet et nøjere kendskab til de forskellige jordtypers pedologiske udvikling, deres vandretention og dræningstilstand, samt til afgrødernes rodudvikling i relation til jordtypen. Dette vil forbedre beregningsgrundlaget for vurderingen af landbrugets vandingsbehov. Da Landbrugsministeriets Arealdatakontor (ADK) i 1980 skulle udbygge teksturklassificeringen i Himmerland, blev der derfor aftalt et forskningsprojekt mellem Landbrugsministeriet og Geografisk Centralinstitut Københavns Universitet (KUGI) vedrørende Himmerlands jordbundsforhold. Projektet omfattede:

- En undersøgelse af jordbundsudviklingen i relation til tekstur og landskabstype og på basis af denne udviklingen af et feltorienteret jordbundsklassifikationssystem.
- Udvikling af et numerisk system til lagring af profilbeskrivelser på datafiler.
- Bestemmelse af afgrøders rodudvikling på forskellige jordtyper og jordtypernes rodzonekapacitet.
- Udvikling af en metode til bestemmelse af potentielt svovlsure jordes udbredelse.

Til belysning af ovennævnte punkter blev der i 1980-81 foretaget omkring 130 detaljerede profilbeskrivelser, og der blev opboret prøver fra omkring 275 lavbundslokaliteter.

Jordenes pedologiske udvikling beskrives og diskuteres hovedsageligt ud fra studier i skove, hvor profilerne er mest intakte, medens jordtypernes rodzonekapacitet og afgrødernes rodudvikling er undersøgt på dyrket jord. Med udgangspunkt i FAO's "Guideline for Soil Profile Description" sammenholdt med profilstudierne er der udviklet et numerisk profilbeskrivelsessystem, der helt er tilpasset danske forhold. Dette system er senere anvendt ved jordbundsstudier tilknyttet DONG's hovedtransmissionsledning (jordprofilundersøgelsen), hvor systemet har fået sin endelige udformning.

På baggrund af profilstudierne sammenholdt med tidligere undersøgelser er der udviklet et feltorienteret jordbundsclassifikationssystem baseret på danske jorde. Formålet med dette system er, at det skal være muligt at klassificere danske jorde direkte i felten, d.v.s., at systemet skal være opbygget på basis af let observerbare stabile karakterertræk ved profilen. Systemet skal endvidere være opbygget, så man kan søge på enkeltkomponenter, når klassifikationerne i numerisk form er indlæst på datafiler. Det opstillede system er testet og færdigudviklet gennem flere tusind klassifikationer i traceen ved DONG's hovedtransmissionsledning.

Sammenhængen mellem jordtype, vandretention og afgrøders rodudvikling er undersøgt for senere at danne basis for en model til beregning af landbrugsgets vandingsbehov. De opnåede vandretentionsdata danner idag grundlaget for de regressionsligninger, der anvendes i landbrugsplanlægningen, ligesom rodbestemmelserne indgår som et vigtigt datamateriale i vurderingen af afgrødernes effektive rodtybde.

Endelig skal nævnes, at okkerforurening i forbindelse med dræning, der især er konstateret i Jylland, har givet anledning til et metodestudium vedrørende fastlæggelse af pyritholdige potentielt svovlsure jorde i Himmerland. Resultaterne af denne undersøgelse, der senere har dannet udgangspunkt for en fastlæggelse af potentielt svovlsure jorde i hele Jylland, er kort beskrevet.

Det er i denne afhandling forsøgt, på baggrund af resultaterne fra de ovennævnte undersøgelser, at give en sammenfattende regional beskrivelse af Himmerlands jordbundsforhold både hvad angår jordbundsudviklingen og den dyrkningsmæssige værdi bedømt ud fra vandfaktoren.

Udarbejdelsen af denne afhandling har ikke kunnet lade sig gøre uden velvillig bistand fra mange sider. Først vil jeg rette en tak til sekretariatsleder Fl. Duus Mathiesen (ADK), med hvem jeg har ført flere givtige diskussioner vedrørende EDB og jordklassificering. I forbindelse med feltarbejdet har de lokale landbrugskonsulenter været inddraget i udpegningen af egnede lokaliteter, ligesom et stort antal studerende har deltaget ved profilstudierne og i de efterfølgende rodtællinger. Størstedelen af analyserne er blevet udført ved Statens Planteavls-Laboratorium i Vejle, med hvem der har været et godt og frugtbart samarbejde.

I forbindelse med datalagring og EDB-behandling har jeg haft et nært og lærerigt samarbejde med lic.scient. S.W. Platou og I. Munk fra ADK. Det udarbejdede manuskript er indlæst på ADK's tekstbehandlingssystem, og i denne forbindelse skal en særlig tak rettes til assistent Joan Dahm Nielsen (ADK), der har udført et stort arbejde. Alle figurer er rentegnet af assistent Hanne Lehd (ADK) eller tegner John Jönson (KUGI), medens de engelske

oversættelser er udført af korrespondent Kirsten Winther (KUGI).

Jeg har i forbindelse med udarbejdelsen af afhandlingen ført mange givtige faglige diskussioner med kollegaer, og i denne forbindelse skal jeg især rette en speciel tak til professor N. Kingo Jacobsen (KUGI), dr. agro. Leif Petersen (KVL), cand.scient. Bjarne Holm Jakobsen (ADK) og cand.scient. Niels H. Jensen (ADK). Jeg vil endvidere rette en tak til min hustru Ann-Sofi Breuning-Madsen for den støtte hun har givet mig både under feltarbejdet og i den senere bearbejdningsfase.

Til sidst vil jeg rette en tak til Landbrugsministeriet, der har financieret størstedelen af undersøgelsen, og der skal ligeledes rettes en tak til Statens naturvidenskabelige Forskningsråd og Statens jordbrugs- og veterinærvidenskabelige Forskningsråd for støtte.

Henrik Breuning Madsen

April 1983



KAPITEL 1

HIMMERLANDS NATURFORHOLD

Himmerland, der har et samlet areal på omkring 255000 ha, er beliggende i den nordlige del af Jylland. Området er mod øst afgrænset af Kattegat, mod nord og vest af Limfjorden og mod syd af åerne Lerkenfeld Å, Simested Å og Skals Å samt af Mariager Fjord, fig. 1. Under den sidste istid lå Himmerland NØ for hovedstilstandslinien, og alle de i denne afhandling beskrevne jordbundsprofiler er derfor udviklet på udgangsmaterialer, der generelt er yngre end ca. 15000 år med undtagelse af de få og spredte lokaliteter, hvor prækvartæret når helt op til overfladen. Det vil i disse tilfælde hovedsageligt dreje sig om kalk fra Senon eller Danien.

Himmerland kan inddeles i to vidt forskellige landskabstyper, nemlig det højtliggende overvejende glacialt prægede landskab og det nedenfor liggende marine forland, der er opstået siden littorinatransgressionen i stenalderen. På fig. 2 ses en grov inddeling af Himmerland i landskabstyper konstrueret overvejende på basis af jordbundskort og landskabskort udarbejdet af Bornebusch & Milthers (1935), Schou (1949) og Smed (1979). Det højtliggende ikke marint prægede landskab er inddelt i lerede og sandede moræneområder, randmoræneområder og dødislandskaber samt større tunnel- og smeltvandssdale og indsander. Det marint prægede landskab er opdelt i marine forlande og i klitlandskaber.

Det glaciale landskab

Det glaciale landskab ligger som et stort knudret skjold omkranset over store strækninger af marint forland. Moræneskjoldet, der er gennemskåret af store markante dale, har sine højeste punkter i et samlet højtliggende område, der strækker sig fra Mariager Fjord, mod nord over Rold Skov og næsten helt op til Nibe Bredning. Blandt de højeste punkter i dette område, der generelt ligger over 50 m DNN, kan nævnes Rold Bavnehøj med 114 m og Tinghøj ved Doense med 112 m. Landskabets niveauer aftager fra højderyggen og ud mod moræneskjoldets kanter, og især i Vesthimmerland findes større relativt lavtliggende moræneområder. Ser man bort fra de markant nedskårne dalsystemer, der gennemskærer store dele af Himmerland, må man under et karakterisere det glaciale landskab som storbakket og relativt relieffattigt formodentligt afsat under en langsomt fremadskridende is (Milthers 1948). Dødislandskaber findes enkelte steder i landsdelen som fx nordvest for Farsø i Vesthimmerland samt omkring Svenstrup, Skørping og syd for Rold Skov i Østhimmerland.

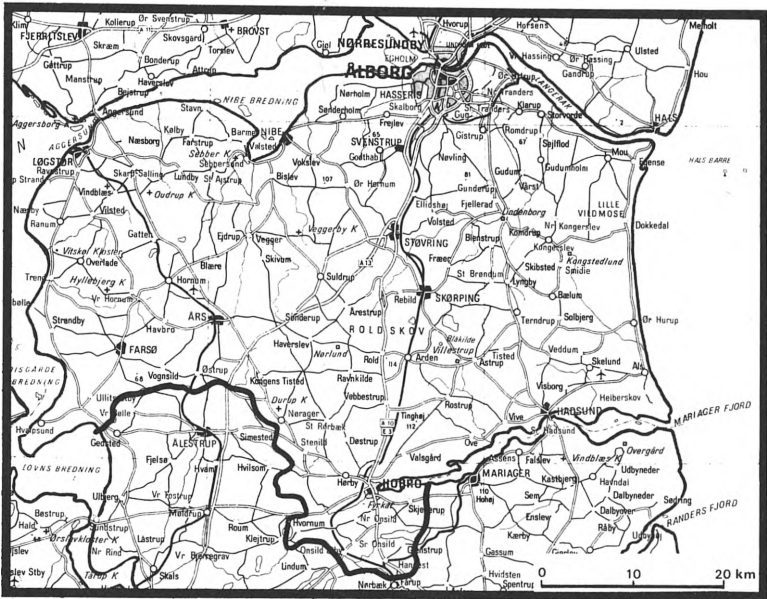


Fig. 1: Topografisk kort over Himmerland.

Topographic map of Himmerland.

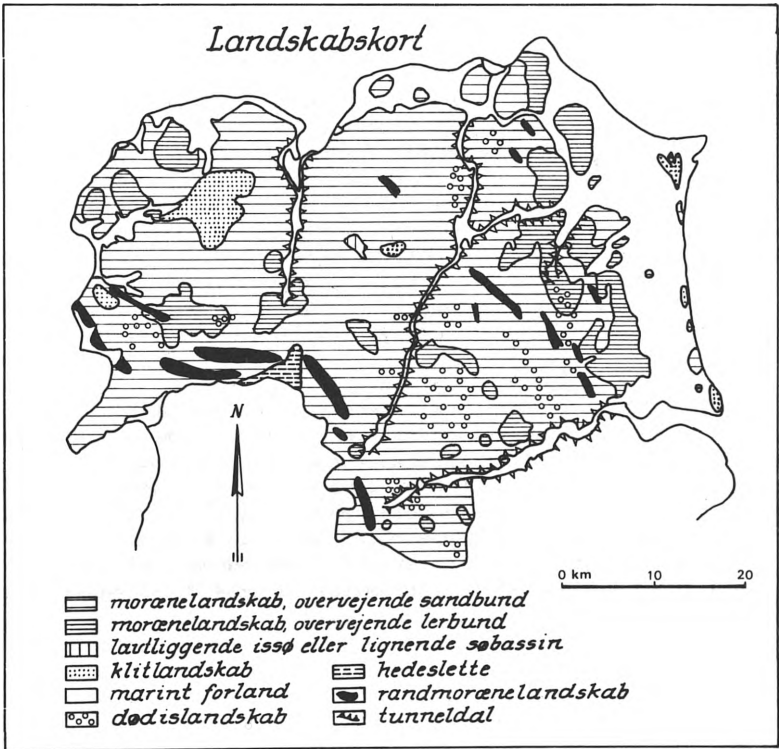


Fig. 2: Landskabskort over Himmerland.

Map showing the different landscapes in Himmerland.

Der findes i Himmerland tegn på flere israndslinier, hvoraf hovedparten i Østhimmerland har en mere nord-sydgående retning end dem i Vesthimmerland (Milthers 1948). De af Milthers angivne israndslinier har senere været udsat for en del revision, fx af Gripp (1966). Dette arbejde er dog senere imødegået af Andersen (1967). Gry (1979) påpegede ud fra studier af bakkerens indre opbygning, at den israndslinie, Milthers havde lagt ved Outrup, sandsynligvis har en anden dannelseshistorie. I forbindelse med randmorænestrøget omkring Haverslev - Grynderup er der vest derfor dannet en hedeslet-teagtig flade, hvor Lerkenfeld A i dag har sit øvre løb. I Vesthimmerland findes en del velafrundede kuppelformede bakker, der ofte er stærkt furede sandsynligvis på grund af vanderosion. Disse bakker er efter Gry (1979) hovedsagelig kames eller andre sandede eller grusede bakker, eller også er de drumlins eller drumlinoide kalkbakker. Kalken ligger i Vesthimmerland især højt i området omkring Løgstør og ned til omkring Bjørnsholm Ådal. I dette område ligger kalken generelt inden for de øverste fem meter af jordskorpen, hvilket også er tilfældet over store områder inden for firkanten Bælum-Rold-Nibe-Alborg i Østhimmerland. Kalken i Østhimmerland er af senon oprindelse, medens den i Vesthimmerland enten kan være fra danien eller senon. I områder, hvor kalken ligger nær overfladen, kan der optræde karstfænomener (Mathiasen 1920), og fx omkring Rold Skov og ved Oplev lige vest derfor finder man et stort antal jordfaldshuller.

Som før nævnt er Himmerland gennemskåret af en del markante dale, hvoraf en del er tunneldale. De største tunneldalsystemer er Lindenberg Ådal, Halkær Ådal og Mariager Fjord-Onsild Ådal. Hovedparten af tunneldalsystemerne var havtransgrederede under littorinatransgressionen i stenalderen, hvorfor de i dag fremstår som relativt brede og fladbundede ådale på grund af tykke sedimentdækker fra stenalderhavet. Tunneldalene har derved mistet det ujævne bundprofil, der ellers karakteriserer disse daltyper. Foruden tunneldalene findes der mange mere almindeligt udviklede ådalsystemer såsom Binderup Ådal, Vidkær Ådal og Sønderup Ådal. Disse ådale vil ofte, hvor de ikke har været havtransgrederet, være relativt smalle og til tider dybt nedskåret i morænelandskabet, fx ligger Sønderup Ådal på visse strækninger over 50 meter lavere end det omkransende morænelandskab. Det samme er også ofte tilfældet for tunneldalene, og man finder ved Rold Skov, at Lindenberg Ådal ligger 80 meter lavere end de tilstødende bakker. De store hældninger omkring de dybt nedskårne dale har naturligvis givet anledning til vanderosion især umiddelbart efter isens bortsmeltning, hvor et sammenhængende plantedække endnu ikke var etableret. Resultaterne af denne form for erosion kan blandt andet erkendes som tørdale i siderne af ådalene eller som falske bakker. De sidstnævnte findes især omkring Rebild, og hvor Lindenberg A ændrer løbsretning ved Støvring.

Efter isens bortsmeltning har ikke alene vandet, men også vinden påvirket glaciallandskabets udformning, og større indsander som fx omkring Rønhøj og ved Trend er dannet. Disse indsander er formodentlig opstået enten umiddelbart efter isens bortsmeltning, hvor området var uden vegetationsdække, eller også i forbindelse med den senere opdyrkning og dermed skovrydning i området. Jernalderen synes i denne forbindelse at være en periode, hvor vinderosion (muldflugt) har været stærkt fremtrædende, hvilket er påvist af Bahnson (1972) ud fra glødetabsbestemmelse og C-14 datering af højmosetørv på Djursland.

Den tekstoreile sammensætning og regionale udbredelse af de forskellige sedimenttyper i det glacialprægede landskab kan bedømmes ud fra Bornebusch og Milthers jordbundskort over Danmark i 1:500000 (Bornebusch & Milthers 1935) samt ud fra overfladeteksturanalyserne fra klassificeringen af landbrugsjorden i Nordjyllands Amt (Mathiesen 1975). Der findes ikke en samlet detaljeret geologisk kortlægning af området, hvilket ellers er tilfældet for andre dele af landet. Indtil videre er kun Løgstørbladet (Gry 1979) udarbejdet. Derudover er der i området kun udført sporadiske studier. Ud fra de ovennævnte arbejder må man konstatere, at hovedparten af det glacielle landskab i Himmerland består af sandet till eller andre sandede glaciogene aflejringer, og kun enkelte steder findes leret till over større arealer. Dette er bl. a. tilfældet i Østhimmerland på overgangen mellem glaciallandskabet og det marine forland fra Visborg i syd og til Limfjorden i nord. Endvidere findes et smalt SØ-NV gående bælte fra Ove ved Mariager Fjord til nord for Farsø i Vesthimmerland, hvor der pletvis findes leret till, ligesom der findes områder omkring Løgstør med en mere leret tekstur. Sammenlignes disse områder fra Bornebusch og Milthers jordbundskort med teksturanalyserne fra klassificeringen af landbrugsjorden i Nordjyllands Amt, ses, at kun moræneområderne i Østhimmerland har lerrige top lag, medens de øvrige lokaliteters top lag er sandede. Dette kan enten skyldes en stærk lernedslerning fra de øverste lag, sammenholdt med at udgangsmaterialet ikke har været særligt leret, eller også at den lerede till har fået et tyndt dæklag af sand. I dalsystemerne mellem bakkerne dominerer jorde med tykke tørvelag, hovedsagelig af lavmosekarakter. Blandt de største tørveprægede områder i det glacielle landskab er lavningen mellem Ars og Farsø, hvor Trend A har sit udspring. Issøaflejringer er fundet enkelte steder; fx har Gry (1979) fundet, at bakken omkring Tolstrup i Nordvesthimmerland er opbygget af issedimenter, ligesom der syd for Rold Skov findes større områder præget af disse aflejrings typer. Selv de steder, hvor kalken ligger højt, vil den normalt være dækket af et tyndt lag till eller andre glaciogene aflejringer, ofte ikke tykkere end pløjelaget. På disse lokaliteter kan man ofte finde tynde lerede lag lige over kalken, der kan tænkes opstået som residual, når kalken er opløst og udvasket.

Det marine forland

I stenalderen blev de lavereliggende dele af Himmerland transgrederet af havet, littorinatrangressionen, der sandsynligvis kan opdeles i flere transgressions-, regressions- eller stilstandsperioder (Iversen 1937). Havet udskilte derved visse partier af den nordlige og østlige del af glaciallandskabet i en række øer såsom moræneknuden ved Nørholm vest for Ålborg og moræneknuderne ved Sejlflod, Gudumlund, Smidie, Skelund, Als og Dokkedal (Mulbjerg) i Østhimmerland. Havet trængte endvidere højt op i tunnel- og smeltevandssdalene, således at de fremstod som langstrakte smalle fjorde. Den øvre marine grænse i Lindenborg Ådal findes helt oppe i nærheden af Gravlev ved Rold Skov, i Halkær Ådal lidt nord for Ars og i Bjørnsholm Å/Herredsbækdalen et godt stykke øst for Vildsted. Nørrekær øst for Løgstør var på daværende tidspunkt en stor lavvandet bugt, der nåede helt op til omkring Brårup. Stenalderhavet har eroderet kraftigt i de omkransende moræneknuder, og man kan i dag se stejle fossile kystklinter op til flere kilometer fra den nuværende kystlinje som fx ved Marbjerg i Nørrekær samt ved Kongerslev, Smidie og Mulbjerg i Østhimmerland. Koterne for den øvre marine grænse for stenalderhavet er beskrevet ud fra strandvoldenes niveauer af

Mertz (1924). Mertz fandt, at de højeste marine grænser for stenalderhavet i Himmerland lå ved Mulbjerg og Nørholm med koter på mellem 7 og 8 m DNN, og at der er en tendens til aftagende niveau af strandvoldssystemerne, jo længere man bevæger sig mod syd eller vest for den nordøstlige del af Himmerland. Ydermere blev det konstateret, at der var en del lokalvariationer i koten for den øvre marine grænse beliggenhed formodentlig betinget af vindens frie stræk, kystens udformning og beliggenhed i forhold til de fremherskende vindretninger. Jessen (1920) beskriver hele det marine forland i Himmerland og finder blandt andet strandvoldssystemer opbygget ud fra og mellem de moræneknuder, der som øer har ligget uden for den egentlige kystlinie i stenalderen. Af tydelige fossile strandvolde kan blandt mange nævnes strandvoldssystemerne ved Mou, strandvolden ved Sebbesund og den store strandvold ved Aggersund, der adskiller Nørrekær fra Vesterkær.

I forbindelse med littorinatransgressionen er der blevet afsat store sedimentmængder i de havtransgrederede områder, således at landskabets oprindelige relief er udvisket, og områderne fremstår som flader. I de snævre dale, hvor energipåvirkningen fra havet har været relativ ringe, består aflejringerne hovedsagelig af gytje og tørv, der kan være op til flere meter tykke. Gytjerne vil hovedsagelig være olivengrønne minerogent prægede gytjer, ligesom der også findes områder med udprægede kalkgytjer såsom den nedre del af Bjørnsholm Ådal. I de mere åbne bugter som fx Nørrekær, eller i laguner dannet bag lokale strandvolde, vil man ofte finde forskellige former for finkornede mineralske aflejringer. såsom forlandsklæg eller bas-sinklæg, d.v.s. typer, der generelt svarer til dem, der er beskrevet for Tøndermarsken (Jacobsen 1964). I de områder, hvor energipåvirkningen fra havet har været stor, er der overvejende afsat fin- eller mellemkornet sand, dog kan visse strandvoldssystemer være grovsandede eller endog grusede. Hovedparten af det østlige marine forland, bortset fra området omkring Storvorde, består overvejende af sandede aflejringer, hvilket også er tilfældet for det brede marine forland vest for Ålborg. En stor del af de marine sedimenter indeholder skaller af blandt andet østers, og på visse lokaliteter findes direkte skalbanker. Det er især gytje- og klæglagene, der indeholder store mængder skaller, men de findes dog også vidt udbredt i sandaflejringerne. Tørvelagene er derimod generelt uden skaller.

Siden stenalderhavets tilbagetrækning fra de øvre marine grænser er dele af det marine forlands former blevet modificeret af vindens virke. Dette er fx tilfældet ved Helberskov syd for Als, hvor der er opstået et tydeligt klitlandskab, men også omkring Mou findes områder, der er præget af æolisk aktivitet. Der er endvidere siden havets tilbagetrækning foregået en mosedannelse på visse dele af det marine forland. Den største mose, Lille Vildmose, der ligger på det brede østlige marine forland, er en udpræget højmosse, hvis dannelse muligvis kan tilskrives det ringe fald på forlandet sammenholdt med strandvoldssystemerne øst for mosen mellem moræneknuderne ved Als og Dokkedal (Jessen 1920). Den nordlige del af Lille Vildmose er i dag delvis afgravet, medens den sydlige del endnu er uberørt. Bortset fra Lille Vildmose finder man hovedparten af de tørveprægede strøg oppe i de tidligere fjorde, der i dag fremstår som brede fladbundede ådale.

Klimaforhold

Himmerland er efter Köppen (1936) beliggende i det varmtempererede nedbørs-klimat Cfb, d.v.s. i et område med nedbør på alle tider af året og med mere end fire måneder, der har en gennemsnitstemperatur på over 10° C. Gennemsnitstemperaturen i området er på årsbasis mellem 7 og 8° C for perioden 1931-60. Den varmeste måned juli ligger på omkring 16° C, medens temperaturen i den koldeste måned februar ligger omkring frysepunktet. Gennemsnitstemperaturen i vækstperioden maj til oktober er omkring 13° C i hele området. Der synes ikke at være større regionale forskelle i middeltemperaturen inden for Himmerlands grænser, og de største forskelle skal sandsynligvis findes omkring de dybt nedskårne dale med udpræget lokalklima, eller mellem kyststationer og indlandsstationer.

Da Himmerlands klima generelt er præget af vestlige vinde ofte med tilhørende cyklonpassager, er en stor del af den nedbør, der falder, frontnedbør. De topografiske forhold i regionen med den nord-sydgående højderyg fra Mariager Fjord til Nibe Bredning må dog også give anledning til en del orografisk betinget nedbør, og dermed mulighed for at dele af regionen ligger i regnlæ. Foruden disse former for nedbør falder der også en del regn i forbindelse med torden. Den samlede gennemsnitlige årlige nedbørsmængde i regionen ligger på mellem 550 mm og 750 mm, højest ved Skørping på højderyggen og lavest på den østlige marine flade. Hovedparten af nedbøren falder normalt i den sidste halvdel af sommeren og om efteråret, medens de laveste nedbørsmængder på månedsbasis forekommer om foråret. Nedbørsmængden i vækstsæsonen maj til oktober var i perioden 1931-60 på mellem 300 mm og 450 mm, igen lavest på det østlige marine forland.

For at få et indtryk af den regionale fordeling af årsnedbøren er den gennemsnitlige årsnedbør i perioden 1961-70 udregnet for 16 målestationer i Himmerland eller i dets umiddelbare nærhed, fig. 3. Fig. 3 viser, at det østlige marine forland ligger i regnlæ bag det glaciale landskab; fx er den gennemsnitlige årsnedbør ved Lovns på det marine forland omkring 200 mm lavere end ved Skørping på højderyggen. I det glaciale landskab findes de regnrigeste områder på højderyggen og i det nordvestlige Himmerland, medens der generelt falder lidt mindre nedbør i den sydlige del af Himmerland samt umiddelbart øst for højderyggen. Dette fordelingsmønster kan delvis forklares ud fra vindretningerne under cyklonpassagerne, selv om lokale forhold til dels kan sløre billedet. Den lave nedbørsmængde i det glaciale landskab umiddelbart øst for højderyggen skyldes sandsynligvis, at området ligger i regnlæ bag højderyggen ligesom det østlige marine forland.

Palæoklima

For tolkning af jordens pedologiske udvikling er det ikke altid nok kun at have kendskab til det nuværende klima, men det er også nødvendigt at have et vist kendskab til palæoklimaet, hvilket i det aktuelle tilfælde især vil være klimaforholdene inden for de sidste ca. 12000 år, d.v.s. tiden efter isens bortsmeltning. Ud fra pollenanalyser sammenholdt med C-14 dateringer er det muligt at få et indblik i vegetationssammensætningen og dennes ændring siden istiden, og derigennem få et indirekte mål for de fremherskende klimaforhold.

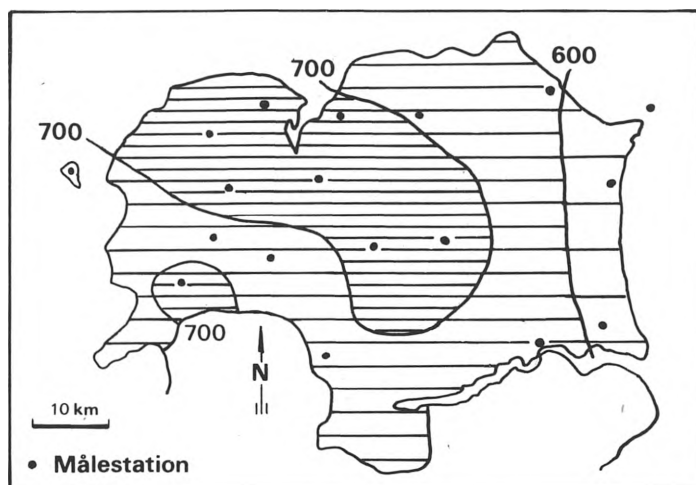


Fig.3: Den årlige nedbørsmængde i Himmerland angivet i mm for perioden 1961-70. Meteorologisk Årbog 1961-70.

Map of the annual precipitation in Himmerland 1961-70, stated in mm. Source: Meteorologisk Årbog 1961-70.

I seneglacialtiden har det fremherskende klima været polarklima, dryastiderne, kun afbrudt af to korte varmeperioder, Bølling og Allerød. Der har i denne periode sandsynligvis været udbredt permafrost i Himmerland, og periglaciales processer har medført dannelsen af fx solifluktslober, kryotur-bationer, iskiler og polygonjorde; fænomener der ofte har sat sig blivende spor i jordbundsprofilerne. Dette er påvist i Danmark af Svensson (1963, 1976), der fandt polygonjorde og fossile iskiler i vestjyske jorde. Der er endvidere teorier fremme om, at de fragipans, man i dag finder i jordbundsprofilerne, stammer fra denne periode, idet fragipans tænkes dannet ved sammenpresning af jordlaget over permafrostlaget, når overfladen fryser om efteråret.

På basis af de dominerende plantesamfund igennem postglacialtiden, der begyndte ved isens bortsmeltning fra de midtsvenske randmoræner for ca. 10000 år siden (Nilsson 1970), må man antage, at Danmark generelt har ligget i den humide tempererede klimazone. Det er derfor sandsynligt, at alle jorde har været udsat for kontinuert udvaskning, siden deres pedologiske udvikling påbegyndtes, idet der årligt har været perioder med gennemsvivende vand til grundvandet. Kalken er derfor ofte udvasket i de øverste meter af jorden, og man må formode, at de dominerende pedologiske processer på vel-drænede jorde har været tilnærmelsesvis de samme igennem hele postglacialtiden, d.v.s. en udvikling med lernedslemninger på lerede jorde og podzoler-ing på sandede jorde. Det er dog ikke sandsynligt, at processerne er foregået med samme hastighed i alle perioder. Det er bl. a. tænkeligt, at podzoler-ingen af sandjordene ikke har været så fremherskende i egeblandings-

skovens tid, idet løvet fra disse træer ikke i samme grad som fra fyr, gran og bøg danner basis for opbygning af det fornødne morlag og dermed til dannelsen af organiske syrer, der kan kompleksbinde jern og aluminium. Dette er fx påvist af Larsen (1971), der i Tykskov Krat fandt en tydelig accelererende podzolering under en 66-årig rødgransbevoksning set i.f.t. den oprindelige egebevoksning. Ud fra lagserier, der viser tilgroninger af moser med ellekrat efterfulgt af forsumpninger, må man antage, at der har været tørre og fugtige perioder siden postglaciertidens begyndelse. Disse perioder må også have haft en vis indflydelse på jordbundsudviklingen, idet graden af podzolering delvis er afhængig af nedbørsoverskuddet. De gleypræg, som man ofte finder i de lerede jordes B og C horisonter, kan også tænkes i visse tilfælde at være fossile og betinget af tidligere tiders mere humide klima.

Nedbørsunderskud og -overskud

Det kan være nyttigt i forbindelse med regionale jordbundsstudier at have kendskab til forholdet mellem den potentielle fordampning og nedbøren på månedsbasis, således at eventuelle perioder i løbet af året med nedbørsunderskud eller -overskud kan fastsættes. Jordens pedologiske udvikling er meget tæt knyttet til, hvorvidt der i løbet af året er en vekslen mellem nedbørsoverskud og -underskud, eller om der konstant er det ene eller det andet. I områder med konstant nedbørsunderskud opstår der ofte saltjorde, medens områder med nedbørsoverskud får udvasket saltene. I regioner med konstant nedbørsoverskud antages det ofte (Soil Survey Staff 1975), at lernedslemning kun sjældent vil forekomme, idet jordene ofte ikke har en veludviklet struktur modsat i de regioner, hvor der er vekslende perioder med nedbørsoverskud og -underskud. Lernedslemninger i stærkt humide områder er dog fx beskrevet af Langhor & Van Vliet (1979), der fandt jorde med lernedslemning i Ardennerne og af McKeague et al (1972), der beskrev en jord med lernedslemning udviklet i det perhumide Nova Scotia. I et notat (L. Petersen 1976b) angående podzoldannelsen i Danmark anvendes blandt andet nedbørsoverskuddet som indikator for graden af podzolering, således at stærkt udviklede podzoler findes på bestemte udgangsmaterialer i områder med stort nedbørsoverskud. Det er endvidere klart, at størrelsen og længden af perioder med henholdsvis nedbørsoverskud eller -underskud kan have stor betydning ved edaphologiske jordbundsstudier, fx i forbindelse med beregning af vandingsbehov.

I Himmerland er den potentielle fordampning E_p bestemt på Institut for Landskabsplanter ved Hornum. Målingerne påbegyndtes i 1956, og de er foretaget hvert år siden i perioden april til november. E_p er bestemt ud fra fordampning fra en fri vandoverflade med en fordampningsmåler HL 315, og de foreløbige resultater på månedsbasis er publiceret i Aslyng & Hansen (1960), Aslyng & Stendal (1965) og Gregersen & Knudsen (1980). For at kunne bestemme et eventuelt nedbørsoverskud eller -underskud er der i tilknytning til fordampningsmålingerne foretaget nedbørsmålinger ved jordoverfladen i perioden april til november. For at kunne vurdere vandbalancen på årsbasis er det nødvendigt også at kende E_p og nedbøren (N) i perioden december til marts. Den potentielle fordampning er i denne periode beregnet ud fra Penmans ligning (Kristensen 1979) til at være omkring 6 mm i december, 7 mm i januar, 9 mm i februar og 26 mm i marts. Nedbøren i disse måneder er bestemt ved Institut for Landskabsplanter ved Hornum, disse med en regnmåler i

ca. 1,5 meters højde. Resultaterne fra disse målinger kan ikke umiddelbart anvendes, idet de registrerede nedbørsmængder er underestimerede i forhold til målingerne ved jordoverfladen. Dette skyldes især de aerodynamiske forhold omkring regnmåleren over jorden, der medfører, at en del af nedbøren blæses uden om måleren. Allerup & Madsen (1980) har opstillet korrektionstabeller på månedsbasis for nedbørsmålere, der står helt frit, delvis i læ og helt i læ. Der er ud fra dette arbejde tale om en underestimering af nedbøren på mellem 10 og 25%, størst om vinteren. Ved at anvende korrektionstabellen for en regnmåler, der står delvis i læ, fås sandsynligvis i det aktuelle tilfælde de bedst sammenlignelige resultater med dem ved jordoverfladen. Den gennemsnitlige aktuelle fordampning E_a er udregnet af Gregersen & Knudsen (1980) for afgrøderne græs og vårsæd. Resultaterne er opgivet på månedsbasis, april til november, for perioden 1957-76. I Tabel 1 ses den gennemsnitlige potentielle fordampning og nedbør for perioden 1964-77 samt den beregnede aktuelle fordampning for uvandet græs i perioden 1957-76. E_a er i tabel 1 sat lig E_p i vintermånederne december til marts.

Tabel 1: Den gennemsnitlige nedbør og potentielle fordampning i perioden 1964-77 samt den beregnede aktuelle fordampning for uvandet græs i perioden 1957-76.

The average precipitation (N) and potential evaporation (E_p) for the period 1964-77, and the calculated actual evaporation for non-irrigated grass (E_a) for the period 1957-76.

	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	TOTAL
E_p (mm)	(7)	(9)	(26)	43	74	87	92	75	43	22	9	(6)	493
E_a (mm)	(5)	(5)	(20)	45	62	58	55	52	38	23	12	(5)	380
N (mm)	64	38	43	48	49	51	67	47	65	67	88	74	701

Tabel 1 viser, at den potentielle fordampning E_p overstiger den gennemsnitlige nedbørsmængde i perioden maj til august, medens det i de øvrige måneder er omvendt. Den samlede gennemsnitlige potentielle fordampning på årsbasis er 493 mm, hvilket er relativt lavt. Dette kan muligvis skyldes, at fordampningsmåleren ikke er opstillet optimalt. På basis af de månedlige gennemsnitsværdier for N og E_p ses, at nedbørsunderskuddet i perioden maj til august andrager 114 mm. Det vil dog være mere rimeligt at udregne nedbørsunderskuddet for de enkelte år og tage et gennemsnit af disse, hvilket giver et nedbørsunderskud på omkring 140 mm for perioden 1964-77. Det er især i midten af 1970'erne at store nedbørsunderskud er fremkommet.

Den gennemsnitlige vandmængde, der årligt siver gennem jordprofilerne til grundvandet, vil efter tabel 1 være lidt over 300 mm for græsmarker, nemlig $N - E_a$. Dette er under forudsætning af, at der kan ses bort fra overfladeafstrømning.

Jordens fugtigheds- og temperaturforhold

I nogle af de nyere jordklassificeringssystemer som fx det amerikanske system (Soil Survey Staff 1975) indgår jordens fugtigheds- og temperaturforhold i klassifikationen, idet de har stor betydning for jordens dyrkningsmæssige værdi, ligesom de har stor betydning for de pedologiske processer, der foregår i de øverste meter af jordskorpen. Temperaturforholdene indgår i det amerikanske system allerede på order-niveau, idet alfisols og ultisols blandt andet adskilles ved en jordtemperatur på 8° C, der er grænsen mellem et mesic og frigidt temperature regime. Fugtighedsforholdene indgår allerede på suborder-niveau, bl. a. ved underinddeling af alfisols i a-qualfs, ustalfs, udalfs og xeralfs.

Ud fra tabel 1 er det muligt at henføre de himmerlandske jorde til de soil moisture regimes, der er defineret i Soil Survey Staff (1975). De veldrænedes lokaliteter vil have et udic soil moisture regime med en kort udtørningsperiode om sommeren og en lang periode om efteråret og vinteren med udvaskning. De lavtliggende dårligt drænedes lokaliteter vil derimod have et aquic soil moisture regime med vandmætning i dele af året og uden egentlig udtørring på noget tidspunkt af året.

Soil temperature regimes er efter Soil Survey Staff defineret ud fra den gennemsnitlige jordtemperatur og dennes årssamplitude i 50 cms dybde. Den gennemsnitlige jordtemperatur på årsbasis er tæt knyttet til den gennemsnitlige årstemperatur for luften, dog vil den gennemsnitlige årstemperatur for profilen normalt ligge noget højere end den tilsvarende temperatur for luften. Soil Survey Staff påpeger, at for store dele af USA kan man få den gennemsnitlige årstemperatur for profilen ved at addere 1 grad C til årsmiddelværdien for luften. Anvendes denne regel i Himmerland, vil man ud fra den årlige gennemsnitstemperatur i perioden 1931-60 få, at hele området vil have et mesic soil temperature regime. Området ligger dog lige på grænsen til et frigidt temperature regime, hvilket er ret så væsentligt i forbindelse med klassificering af Himmerlands jorde efter Soil Survey Staff (1975), idet sure lerjorde med argilliske horisonter ved et frigidt soil temperature regime vil være alfisols, medens de ved et mesic soil temperature regime vil være ultisols.

Opdyrkningen af Himmerland

Kendskabet til den historiske udvikling i opdyrkningen af et område kan have stor interesse i forbindelse med studier af jordens pedologiske udvikling, idet opdyrkningen af jorden ofte vil ændre de naturgivne forudsætninger for jordbundsudviklingen. Her tænkes fx på gødskning og kalkning, der kompenserer for tabet af jordens baser og andre plantenæringsstoffer ved udvaskning, det vil sige, at jordens pH og næringsstofindhold holdes kunstigt oppe. Dette medfører, at sandjorde ikke podzoleres i samme takt som før, idet podzolprocessen kun synes at forløbe under sure forhold. Pløjning af jorden medfører også store ændringer i jordbundsprofilen. Således bliver et eventuelt morlag blandet med de øverste dele af mineraljorden, og pedologisk betingede horisonter inden for de øverste 30 cm af profilen sammenblandes og udviskes. Endelig har den store dræningsaktivitet inden for de sidste par hundrede år medført, at store lavbundsområder er inddraget i det normale rotationssystem. Dette har bevirket, at eventuelle

tørvelag er helt eller delvis bortiljet, og at mineral jorden derunder er påbegyndt en pedologisk udvikling, der minder om den, en relativ veldrænet jord har gennemgået. Kendskabet til et områdes opdyrkningshistorie vil endvidere kunne danne basis for tolkning af visse profilers alder, fx hænger dannelsen af indsander ofte sammen med perioder, hvor der er foregået en intens opdyrkning af de lettere jorde, hvilket blandt andet skulle være tilfældet i jernalderen. Foruden at give anledning til dannelse af indsander gennem fjernelse af vegetationsdækket har opdyrkingen af landet også givet anledning til en del vanderosion, hvor landskabet er kuperet. Man finder derfor ofte tykke dækker af kolluvium ved foden af bakkerne med en ofte metertyk Al horisont.

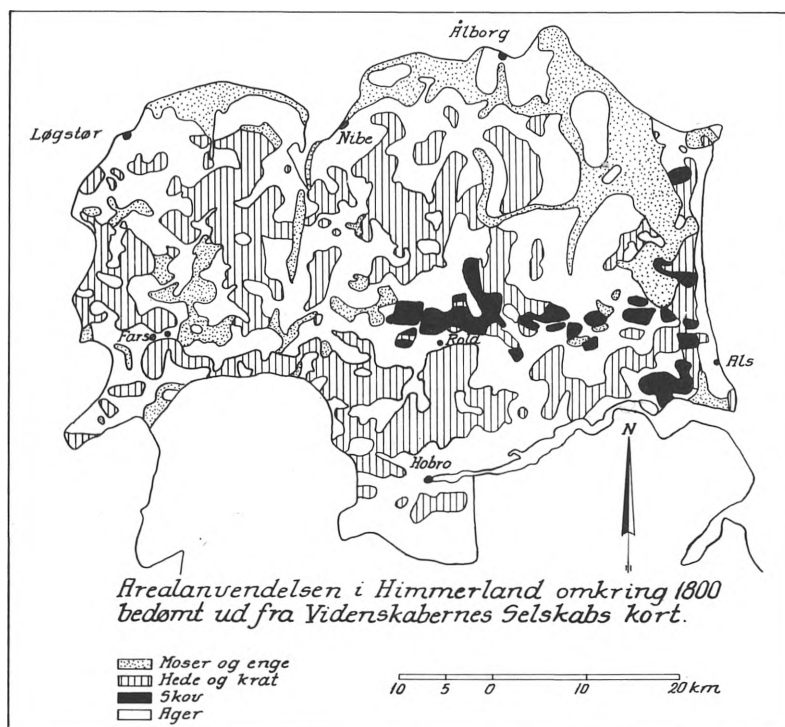


Fig. 4: Arealfordelingen i Himmerland i begyndelsen af det 19. århundrede.

The land-use pattern in Himmerland at the beginning of the 19th century.

Hvornår den egentlige opdyrkning og dermed rydning af skoven tog fat i Himmerland vides ikke med sikkerhed, men bedømt ud fra pollendiagrammer (Iversen 1973) har den sandsynligvis taget sin begyndelse for omkring 5000 år siden. Der har i den første tid sandsynligvis været tale om en eller anden form for svedjebrug uden anden form for gødsning end de næringsstoffer,

der er blevet frigjort ved afbrænding af vegetationen. Der er formodentlig ikke sket voldsomme ændringer i jordprofilerne ved denne dyrkningsform, idet redskaberne har været for ringe til at påvirke jordlagene i nævneværdig grad. Dette har derimod været tilfældet i jernalderen, hvor en speciel dyrkningsteknik har medført opbygning af skel- eller digevolde (Hatt 1949). Spor af disse agerkomplekser, der kan dække arealer på over 100 ha, kan ses mange steder i Himmerland, hvor de blandt andet er erkendt ud fra flyfotos (Jeanson 1963, Newcomb 1971 og Sørensen 1976). Sidstnævnte har angivet op mod 100 lokaliteter i Himmerland og påvist, at agerkompleksernes fremtoning på flyfotos er afhængig af jordbundstypen, fx fremstod skelvoldene lyse på sandjordene (podzoler), medens de var mørke i områder med brunjorde. Der findes endnu i dag områder med intakte skelvolde som ved Vindblæs, men hovedparten er i dag pløjet væk, dog kan mange stadig erkendes ud fra flyfotos. Store dele af Himmerland må på basis af de fundne skelvolde antages at have været opdyrket på et eller andet tidspunkt i jernalderen. Opbygningen af skelvolde, der kan være meterbrede og over 30 cm høje, viser endvidere, at jordene må have været dyrket i længere perioder. Dette må have medført en kraftig udpining af især sandjordene, der har en lav bufferkapacitet, og dette sammenholdt med muldflugt, der på dette tidspunkt har været ret udbredt, har bevirket, at store landområder er blevet opgivet som landbrugsjord. Mange af disse udpinte sandjordsarealer sprang i lyng, og de er først igen i nyere tid inddraget som landbrugsland. Det er sandsynligt, at disse opgivne områder siden jernalderen har været udsat for en kraftig podzoleringsproces, idet jordenes kemiske tilstand samt vegetationsdækket vil fremme denne proces.

På basis af ovenstående er det sandsynligt, at store dele af Himmerland har ligget hen som heder eller overdrev gennem hovedparten af middelalderen, og så sent som i begyndelsen af 1800-tallet har op mod halvdelen af landsdelens areal været udenfor det normale rotationssystem, fig. 4. Siden da er hovedparten af hederne enten opdyrket eller tilplantet med nåletræer; kun i Nordvesthimmerland findes endnu i dag større hedestrækninger i det glacielle landskab nemlig omkring Lundby og Ovdrup heder. På det marine forland findes endnu en stor samlet hedestrækning på den sydlige del af Lille Vildmose. Vådbundsarealerne er også væsentlig formindsket siden begyndelsen af 1800-tallet, fx er store dele af det marine forland blevet drænet, så det i dag indgår som normalt landbrugsland.

KAPITEL 2

GENERELLE BETRAGTNINGER OVER JORDENS PEDOLOGISKE UDVIKLING

Ved en jords pedologiske udvikling forstås de ændringer, der er sket i de øverste meter af jordskorpens på grund af de jordbundsbyggende faktorer. Disse er af Jenny (1941) sammenfattet i følgende formel:

$$J = f(K, O, U, R, T),$$

hvor K=klima, O=flora og fauna, U=udgangsmateriale, R=relief og T=tid. Foruden disse komponenter kan der medtages M=menneskets påvirkning, hvilket blandt andet er blevet diskuteret i kapitel 1. De enkelte komponenter i Jennys formel vil i det næste kort blive kommenteret i relation til jordbundsudviklingen på danske jorde. Derefter vil der blive en kort gennemgang af de jordbundsudviklinger, de sandede og lerholdige jorde kan tænkes at gennemløbe i Danmark.

Klima: De vigtigste klimatiske parametre, der bør omtales for forståelsen af den pedologiske udvikling i Himmerland, er uden tvivl forholdet mellem nedbør og fordampning samt temperaturen. Dette er allerede omtalt i kapitel 1, men det kan kort resumeres, at i perioder med nedbørsoverskud vil der ske en opløsning og udvaskning af et eventuelt kalciumkarbonatindhold i profilen, og jordens ombyttelige baser vil blive udvasket. Det er i disse perioder, at der foregår nedslemning af ler og nedføring af jern-aluminium-humuskomplekser. Perioderne med nedbørsunderskud og dermed udtørring af jorden vil give anledning til strukturdannelse i profilen. Denne strukturdannelse menes at fremme lernedslemningen i de fugtige perioder.

Lufttemperaturen, der er stærkt korreleret med jordtemperaturen, er en anden klimatisk faktor, der spiller en væsentlig rolle ved jordens pedologiske udvikling, idet jordvandets kemiske aktivitet er stærkt korreleret med dets temperatur.

Flora og Fauna: Arten og mængden af organismer i jordbunden har stor betydning for omsætningen af dødt plantemateriale til humus samt dets opblanding med de øverste dele af mineraljorden. Humus er i denne afhandling defineret som organisk stof, der er så nedbrudt, at dets oprindelse ikke umiddelbart kan erkendes. Under danske forhold dannes der i basiske, neutrale eller svagt sure pH-områder normalt muld, der er karakteriseret ved en hurtig omsætning af det organiske materiale og en total opblanding af dette med de øverste dele af mineraljorden. Mikroorganismene består under disse forhold hovedsagelig af bakterier og actinomyceter, og en stor ormeaktivitet sørger for en opblanding af humusstofferne med mineraljorden. Under sure pH-forhold dannes normalt mor. Omdannelsen af det døde plantemateriale går væsentlig langsommere ved mordannelse end ved mulddannelse, og en manglende ormeaktivitet medfører, at kun ringe mængder humus opblandes

med mineraljorden. De dominerende mikroorganismer under disse pH-forhold vil være svampe og bakterier (Jensen 1965). Da omdannelsen af det organiske materiale går særdeles langsomt, dannes der ovenpå mineral jorden et litter-, fermentations- og humuslag, der repræsenterer dødt plantemateriale på forskellige omdannelsesstrin. I litterlaget findes bladene endnu helt uomsatte, i fermentationslaget vil bladene være af varierende omsætning, medens humuslaget repræsenterer helt omsatte planterester. Muld- og mordan-nelsen er foruden pH-forholdene også i vid udstrækning afhængig af arten af det plantemateriale, der skal omdannes. Meget tyder på, at nedbrydningen af egeløv går betydelig lettere (hurtigere) end for gran- og fyrrenåle, hvorfor der oftere sker en mordan-nelse under sidstnævnte beplantninger.

Nedbrydningen og humificeringen af det organiske materiale har stor betydning for jordens pedologiske udvikling, fx synes podzoldannelsen kun at forløbe under et mordække. Dette skyldes sandsynligvis, at visse organiske syrer, der opstår i forbindelse med mordan-nelsen, er i stand til at kompleksbinde jern og aluminium i de øvre jordlag, således at det bliver mobilt (L. Petersen 1976a).

Udgangsmaterialet: Der er generelt en stærk sammenhæng mellem den pedologiske udvikling og udgangsmaterialet. Betragter man den pedologiske udvikling på teksturelt forskellige sedimenter under humide tempererede betingelser, finder man, at der ofte er en mere eller mindre fremskreden podzolerung i de sandede aflejringer, hvilket kun i specielle tilfælde forekommer i lerholdigt udgangsmateriale. Derimod er den dominerende proces på lerholdigt udgangsmateriale lernedslemning.

Udgangsmaterialets kemiske sammensætning spiller ligesom tekturen en væsentlig rolle i forbindelse med den pedologiske udvikling, fx vil et stort kalkindhold i en leret till forsinke lervandringen ned gennem profilen, idet jorden i lang tid kan bibeholde en høj basemætningsgrad, der igen betinger en stærk struktur. Marint influerede lerholdige jorde må efter en sænkning af grundvandsspejlet forventes at gennemløbe en lidt anden pedologisk udvikling end lerjorde udviklet i moræner, idet de førstnævnte har et højt indhold af natrium på adsorptionskomplekserne, der kan give svære strukturproblemer. I sandede sedimenter kan den jordbundskemiske tilstand også influere på jordens pedologiske udvikling, fx har Duchaufour & Souchier (1978) vist, at udgangsmaterialer med et højt indhold af jern ikke podzolerer i samme grad som jorde med et lavt indhold af jern.

Relief: Milne (1935) fandt ud fra jordbundsstudier i tropen en stærk sammenhæng mellem profiludviklingen og terrænet, catenabegrebet. På de højereliggende dele af skråningerne fandtes generelt røde tropejorde, ferralsols, medens lavningerne bestod af sorte bomuldsjorde, vertisols. I det humide tempererede klima findes lignende topografisk betingede jordbundsfor-skelle, de såkaldte toposekvenser. Mange toposekvenser i det nordvestlige Europa fremtræder også som dræningssekvenser, idet jordbundstyperne for foden af bakkerne ofte er præget af højtstående grundvand, således at gley- og tørvejorde dominerer i lavningerne, medens lessivejorde eller podzoljorde er hovedtyperne på de højereliggende dele. De steder, hvor grundvands-spejlet ligger så dybt, at selv jordene for foden af bakkerne er veldræ-nede, vil jordbundsfor-skelle på skråningerne ofte være knyttet til den jord-erosion, der foregår i forbindelse med dyrkning af jorden. Dette har visse steder medført dannelsen af tykke relativt stenfrie kolluvier for foden af

skrænterne. Foruden den nyere jorderosion har relieffet i senglacialtiden givet anledning til dannelsen af solifluktslober og kryoturbationer etc., således at jordbundsudviklingen på lavereliggende dele af terrænet i visse tilfælde næsten udelukkende foregår i solifluktsmateriale, medens jordbundsudviklingen på de højereliggende partier foregår i fx leret till. Disse fænomener er formodentlig mest udbredte vest for hovedstilstandslinien.

Tid: Den tid, der medgår for at få udviklet en moden jordbundsprofil, afhænger især af de foran nævnte faktorer nemlig klimaet, vegetationen, relieffet og udgangsmaterialets kemiske og fysiske sammensætning. Dannelsen af lerede Bt horisonter i det danske morænelandskab viser, at denne proces visse steder foregår særdeles langsomt, og mange jorde har endnu ikke nået dette udviklingstrin selv efter at have været udsat for de jordbundsdannende processer i mere end 12000 år. Dette kan muligvis skyldes forskelle i udgangsmaterialets kalkindhold, profilernes placering i terrænet samt deres indre dræning. Det tidsrum, der er nødvendigt for dannelsen af en moden podzol, kan i Himmerland vurderes ud fra podzolerne dannet oven på de højryggede agre, der formodes at stamme fra jernalderen; d.v.s. at det har taget mindre end 2000 år at få udviklet en moden podzol i dette område. Chandler (1942) viser ud fra studier omkring Medenhall gletscheren i Alaska, at det vil tage 1000-1500 år at få udviklet en moden podzolprofil, et tidsrum der også angives af Tamm (1920). Det behøver dog ikke at tage så lang tid at få udviklet de første sikre kendetegn på podzoldannelsen. Cromton (1952) omtaler dannelsen af en "ironpan" med en ovenoverliggende bleg-horizont udviklet inden for de sidste 100 år i en tidligere pløjet jord, og Muir (1934) omtaler en begyndende podzolering i en forholdsvis nyplantet plantage, hvor der tidligere var planteskole. Paton et al (1976) mener endog at have fundet sikre tegn på podzoldannelse efter kun 9 år på et sediment i Østaustralien.

Menneskets indflydelse: Menneskets indflydelse på jordbundsudviklingen er allerede delvis beskrevet i kapitel 1, og der kan derfor kort summeres, at menneskets påvirkning af jordbunden gennem pløjning, dræning, gødskning og kalkning både kan svække og styrke en eventuel pedologisk udvikling.

Jordbundsudviklingen på danske jorde

Den pedologiske udvikling, et veldrænet lerholdigt eller sandet sediment kan tænkes at følge under danske forhold, er illustreret på fig. 5 og 6. De skitserede udviklinger bygger på et arbejde af Ameryckx (1960) sammenholdt med resultaterne fra tidligere danske pedologiske studier og de indhøstede erfaringer fra jordbundsundersøgelserne i Himmerland. Visse jorde vil gennemløbe eller har gennemløbet de skitserede udviklinger; andre vil muligvis af forskellige årsager stoppe et eller andet sted i udviklingsrækken. Profilerne i fig. 5 og 6 er navngivet efter klassifikationssystemet beskrevet i kapitel 4, men i den efterfølgende tekst er navnene på hovedtyperne også angivet efter Kubiëna (1953), FAO/Unesco (1974) og Soil Survey Staff (1975).

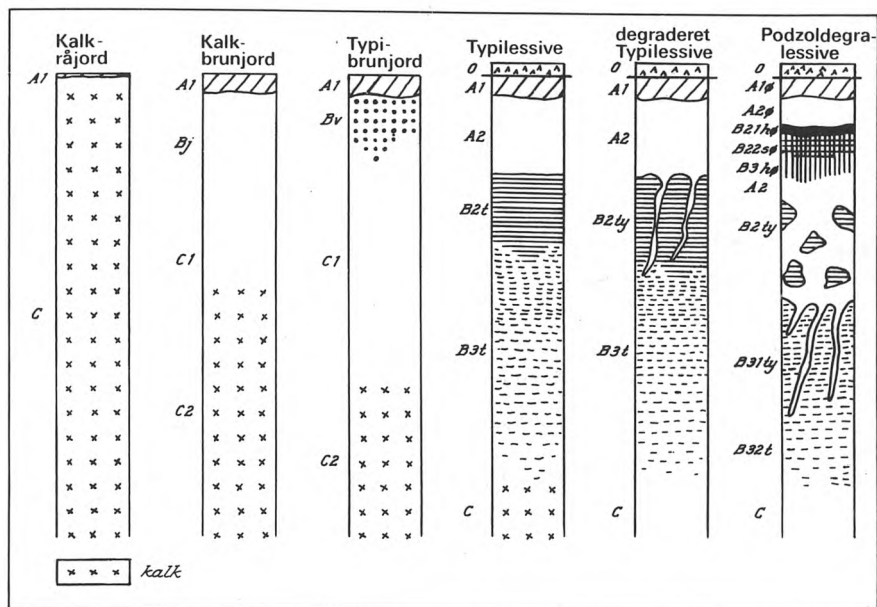


Fig. 5: En skematisk fremstilling af den pedologiske udvikling som en kalkholdig leret till kan tænkes at gennemløbe under danske forhold.

Schematic diagram showing the pedological development of a calcareous clayey till under Danish conditions.

På et kalkholdigt lerrigt sediment som en leret till vil der efter aflejringen teoretisk set først dannes en AC jord, d.v.s. en jord med en humusholdig horisont hvilende direkte på det pedologisk uforstyrrede sediment. Den biologiske aktivitet vil dog hurtigt medføre dannelsen af en strukturel B horisont, der med tiden kan blive farvet mere brun end den underliggende C horisont på grund af frigivelse af jern(hydr)oxider ved forvitring af primærsilikater. Den årlige gennemvaskning af profilerne medfører, at kalkfronten langsomt flyttes ned gennem profilen, og de øverste dele af profilen bliver forsuret. Visse, især østdanske lerede tilis, synes i dag ikke at været kommet længere i udviklingsrækken. Madsen (1975) og Lindgren (1974) har ved respektivt Karlstrup Kalkbrud og Rørrende Gård ved Tåstrup beskrevet profiler af denne type, der efter Kubiëna (1953) betegnes brunjord, efter FAO (1974) cambisol og efter Soil Survey Staff (1975) Inceptisol. Faizy (1973) har ved studier af den pedologiske udvikling på bakkeømråner også fundet jorde, der formodentlig er på dette udviklingstrin.

Gennem den stadige udvaskning af profilerne og gennem udviklingen af en veldefineret struktur under A1 horisonten, opstår der ofte de rette betingelser for en lervandring fra de øverste dele af profilen med efterfølgende dannelse af en argillisk (lerakkumulations) horisont. Denne jordbundstype, der sandsynligvis er den mest udbredte i det lerede danske morænelandskab, er blandt andet beskrevet af Fobian (1966), Holstener-Jørgensen (1973), Madsen (1979) og Dalsgaard et al (1981). I begyndelsen vil basemætningsgraden inden for de øverste 1.5 meter af profilen endnu visse steder være høj selv uden jordbrugskalkning, men med tiden vil udvaskningen bevirke, at profilerne bliver stærkt forsurede i de øverste meter, hvilket fx kan have uheldige edaphologiske følger. Jorde med lernedslemning benævnes efter Kubiena parabrunjorde. De baserige jorde med lernedslemning benævnes efter FAO luvisols og efter Soil Survey Staff alfisols. De stærkt forsurede hedder henholdsvis acrisols og ultisols. De stærkt forsurede lerede tills findes formentlig især vidt udbredt på bakkeøerne og i det yngre morænelandskab nær hovedstilsstandslinien. Jakobsen (1981) beskrev blandt andet nogle af disse typer på en bakkeø nær Tønder. I denne undersøgelse fandtes også polypedoner, hvor der oven på de stærkt lerede horisonter var tegn på brunjordsdannelse i de lerfattige øvre lag, der muligvis var solifluktsmateriale.

Et senere udviklingstrin af jordtyperne med en lerakkumulationshorisont er en begyndende degradering (nedbrydning) af denne, således at aggregatoverfladerne i Bt horisonten i stedet for at være dækket med lerskind fremtræder med afblegede silt- eller finsandsbelægninger. Bt horisonten i disse profiler fremtræder derfor med en mængde mere eller mindre lodretgående afblegede tunger, der kan være flere cm brede. I ekstreme tilfælde kan Bt horisonten tilnærmelsesvis helt nedbrydes, og/eller der kan i den eluviale horisont udvikles en podzol. Jorde med degraderede Bt horisonter er i Danmark indtil videre kun fundet enkelte steder, og de er fx beskrevet i Madsen & Jakobsen (1980). Jordtypen vil efter FAO betegnes podzoluvisol.

Udviklingen på sandjorde, fig. 6, begynder principielt på samme måde som for lerjordene med dannelsen af en humusholdig horisont på det ellers ikke videre pedologisk prægede sediment. Det næste trin i udviklingen kan være dannelsen af en farvet B horisont, hvis genese skyldes frigivelse af sesquioxider ved silikatforvitring. Direkte ud fra AC jorden eller ud fra den ovennævnte jordtype med en farvet B horisont kan der tænkes udviklet forskellige former for podzolerede sandjorde, der i Danmark generelt ender op med en Typipodzol, d.v.s. en jord, der både har en veludviklet humusal (Bh) og en veludviklet ofte cementeret jernal (Bs). Efter FAO vil denne jordtype betegnes orthic podzol og efter Soil Survey Staff orthod.

Nogle af de stærkt udviklede Typipodzoler i Danmark synes i dag at være udsat for en viderudvikling (degradering) af især Bs horisonterne, således at disse mere eller mindre gennemskæres af lyse tunger af A2-materiale omkranset af sort Bh-materiale.

Der findes mange mellemformer mellem de ikke podzolerede sandjorde med en farvet B horisont og de stærkt udviklede podzoler, fx findes typer med veludviklede blegsandslag men uden egentlig aldannelse. Disse forskelle i profiludviklingen kan bl.a. skyldes forskelle i vegetationsdækket, i den gennemsnitlige vandmængde, i profilens jernindhold og i dræningstilstanden.

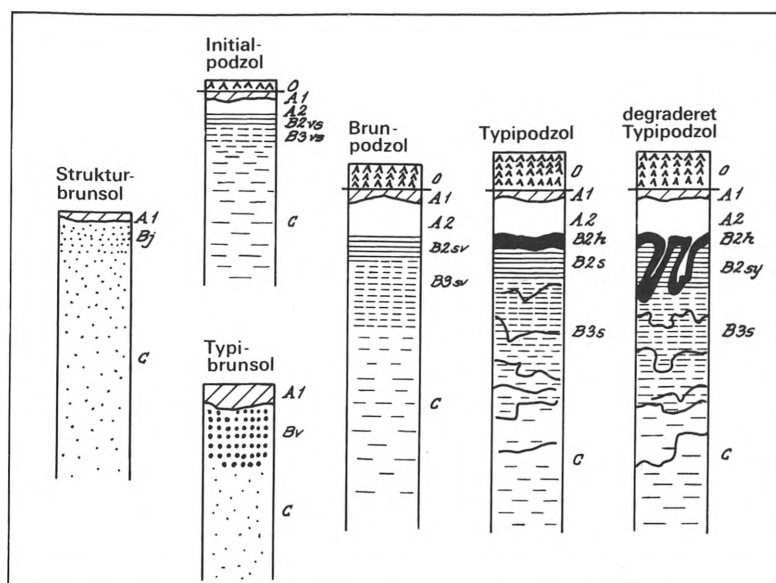


Fig. 6: En skematisk fremstilling af den pedologiske udvikling et sandet udgangsmateriale kan tænkes at gennemløbe under danske forhold.

Schematic diagram showing the pedological development in sandy parent material under Danish conditions.

Studier over den pedologiske udvikling på sandjorde i Danmark kan føres helt tilbage til Müller (1879, 1884 og 1924) samt Weis (1929 og 1932). Af nyere dato kan nævnes Møberg (1979), der undersøgte lermineralogien i relation til profiludviklingen i to podzoler, og Nørnberg (1978), der beskrev jordbundsudviklingen på sandede sedimenter af varierende alder i Vendsyssel. Nørnberg fandt ved denne undersøgelse ligesom Aaltonen (1935, 1939), at der var en tendens til, at den øvre grænse for podzol B horisonten ligger højere oppe i profilen med stigende alder. Endelig skal nævnes L. Petersen (1976a), der i sin disputats om podzoler og podzoldannelse søgte at klarlægge podzoleringsprocessen ud fra profilstudier og laboratorieforsøg.

KAPITEL 3

PRØVEUDTAGNING OG ANALYSER TIL STUDIER OVER DE HIMMERLANDSKE JORDES PEDOLOGISKE UDVIKLING

Et af hovedformålene med denne afhandling er at beskrive og diskutere jordenes pedologiske udvikling inden for forskellige landskabselementer i Himmerland og at opbygge et profilklassifikationssystem velegnet til feltstudier i Danmark. Kendskab til jordbundsudviklingen og prøveudtagning i relation til denne er ikke alene af videnskabelig pedologisk interesse, men det kan også have en mere praktisk betydning ved fx mængdeberegninger af forskellige art i rodzonen. Her tænkes fx på beregning af forskellige områders vandingsbehov, hvor profiludviklingen i høj grad kan påvirke jordens vandretention samt muligheden for rodudvikling.

For at få klarlagt den pedologiske udvikling inden for forskellige landskabselementer i Himmerland blev der i perioden maj til juli 1980 undersøgt 100 profiler. Da det giver størst udbytte at studere jordbundsudviklingen, hvor lagfølgen i profilerne er mindst påvirket af menneskelig indflydelse, blev omkring 40 af profilerne gravet under skov, og det er hovedsageligt ud fra disse profiler, at jordenes pedologiske udvikling vil blive vurderet. De resterende profiler blev gravet på dyrket jord for at studere samspillet mellem jordtyper og kulturplanternes rodudvikling og vandforsyning, hvilket diskuteres nærmere i kapitel 10 og 11. Der blev i november 1981 udtaget prøver fra 29 profiler i Himmerland til vandretentionsbestemmelse. Otte af disse profiler blev gravet i skove eller på heder, medens de øvrige blev gravet på dyrket jord. Det er i overvejende grad vandretentionsdata fra denne undersøgelse, der anvendes i afhandlingen.

De skove og plantager, hvori jordbundsundersøgelserne er foretaget, blev udvalgt hovedsageligt på grundlag af jordsbundskortene over Nordjyllands Amt og områdets geologi. Jordbundsudviklingen blev både studeret under løv- og nåletræer. I de enkelte skove blev jordbundsprofilerne, hvor det var hensigtsmæssigt, lagt som toposekvenser som fx i Strandby-Farsø Kommuneplantage, Lundgård Skov, Rønhøj Plantage, Sønderskov og Dragsgård Skov. I mange tilfælde dannede disse toposekvenser også dræningssekvenser med gley- eller tørveprægede typer i bunden. På fig. 7 ses den geografiske placering af de skove, i hvilke der er foretaget pedologiske studier.

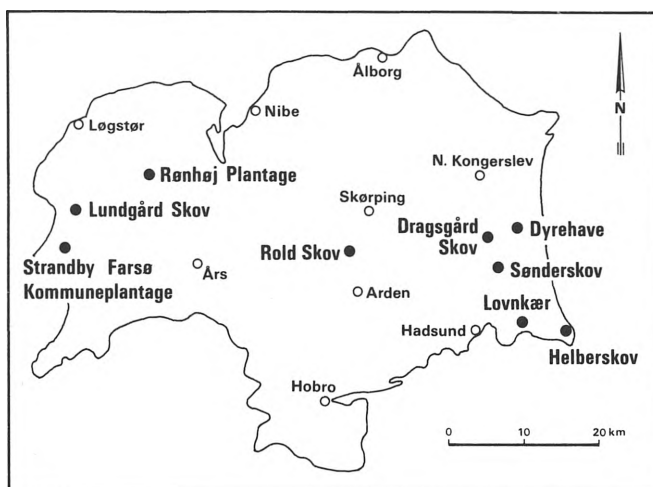


Fig. 7: Den geografiske placering af de skove i hvilke der blev foretaget pedologiske undersøgelser.

The location of the forests in which pedological investigations were made.

På de udvalgte lokaliteter blev profilerne gravet til en dybde på mellem 1 og 2 meter, dog kunne et højtliggende grundvandsspejl medføre, at gravningen sluttede før.

Profilbeskrivelse

Profilbeskrivelsen er delt op i eksterne og interne karakteristika, hvor de eksterne karakteristika omhandler de ikke horisontspecifikke oplysninger, medens de interne karakteristika direkte omhandler de enkelte horisonter. De enkelte horisonter blev beskrevet efter et system, der i princippet bygger på FAO's "Guidelines for Soil Profile Description", men som på langt de fleste områder er tilpasset danske forhold. Store afvigelser findes fx i horisontbetegnelserne, materialeangivelsen, geologi- og gleybetegnelsen samt grovporebeskrivelsen, men også i beskrivelsen af en lang række andre karaktertræk er der foretaget større eller mindre tilpasninger. Profilbeskrivelsen er opbygget således, at variationen inden for de forskellige karakteristika er kvantificeret efter et talsystem, således at det er muligt at lagre profilbeskrivelserne på EDB. Talangivelserne for de forskellige karakteristika ses af de næste sider, dog bør det lige nævnes, at 0 kun anvendes, såfremt et karakteristikum ikke forekommer, og at 9 kun anvendes, såfremt man ikke har kunnet eller ikke har ønsket at beskrive et karakteristikum. Efter de principper og inddelinger, der beskrives i det efterfølgende, er der oprettet en profildatabase ved Landbrugsministeriet Arealdatakontoret.

EKSTERNE KARAKTERISTIKA:

Forud for den egentlige profilbeskrivelse noteres lokalitetens navn, dato for profilgravningen samt stedets beliggenhed ved UTM-koordinater og områdets kote. Desuden noteres profildybden, højden af et eventuelt grundvandspejl, terrænformen, relieffet, vegetationen og prøveudtagerens navn. Endeligt noteres profilens dræningsklasse efter nedenstående tabel 2.

Tabel 2: Inddeling af jordene i dræningsklasser.

Drainage classes for the different soils.

- 1: meget veldrænet jord, d.v.s. jorde uden gleypræg inden for de øverste 120 cm af profilen.
- 2: veldrænet jord, d.v.s. sandjorde uden egentligt gleypræg inden for de øverste 120 cm af profilen, dog er der svage tegn på temporær vandstuvning i dele af profilen som fx lige over et allag. Lerjorde med svagt pseudogleypræg (overvejende pletter på brunlig bund) inden for de øverste 120 cm af profilen eller med tydeligt pseudogleypræg mellem 80 og 120 cm.
- 3: moderat veldrænet jord, d.v.s. sandjorde med tydeligt gleypræg eller andre tegn på grundvandspåvirkning mellem 80 og 120 cms dybde eller tydelige tegn på temporær vandstuvning i dele af profilen, som fx i forbindelse med placiske horisonter. Lerjorde med stærkt udviklet pseudogley inden 80 cms dybde fx i Bt eller A2.
- 4: imperfekt drænet jord, d.v.s. jorde med et af følgende karakteristika :
Cr horisont mellem 80 og 120 cms dybde, grundvandsgley mellem overfladen og 80 cms dybde, humusrig eller en under 10 cm tyk tørvet A horisont, grundvand i de fleste år mellem 50 og 100 cms dybde om sommeren.
- 5: meget imperfekt drænet jord, d.v.s. jorde med Cr horisonten inden for de øverste 80 cm af profilen eller med konstant grundvandspejl mellem 50 cm og overfladen de fleste år, eller med over 10 cm tørv ovenpå mineraljorden.

INTERNE KARAKTERISTIKA:

Horisontinddelingen bygger på følgende betragtninger. O angiver organiske lag udviklet oven på mineraljorden. Der vil hovedsagelig være tale om tørv- eller mordannelse. L angiver gytjelag. A angiver de øverste humusholdige horisonter samt alle eluviale lag. B angiver de illuviale lag, der un-

der normale forhold vil ligge under de eluviale lag. Endvidere anvendes B for farvede eller strukturelt betingede horisonter under en humusfarvet A horisont, d.v.s. at B i disse tilfælde ikke er illuvial. C anvendes for den del af profilen, der ligger så dybt, at de pedologiske processer, på nær gleydannelse, kun i yderst ringe grad eller slet ikke har præget sedimentet. R angiver faste sammenkittede bjergarter, som fx granit, sandsten eller kalkbjergarter.

Efter bogstavsbetegnelsen angives for A og B horisonterne med et tal, om horisonten er en overgangshorisont eller den typiske horisont. A1 er den øverste humusfarvede horisont, A2 den egentlige eluviale horisont under A1, og A3 er en overgangshorisont mod B horisonten, dog er den mest præget af de eluviale processer. B1 er en overgangshorisont mod den egentlige B horisont, der benævnes B2. B3 er en overgangshorisont mod C. Der kan yderligere underinddeles ved at sætte et nyt tal efter det første, fx A11 og A12. For O, L, C og R horisonter foretages en løbende nummerering, d.v.s. stigende talværdi med dybden. Endelig kan der til allersidst tilføjes små bogstaver, der angiver, hvad der kvalificerer horisonten.

Der er indtil videre defineret følgende suffix:

- a) Velomsat organisk materiale. Anvendes kun ved O horisonter, der er betinget af højtstående grundvand.
- e) Delvis omsat organisk materiale. Anvendes kun ved O horisonter, der er betinget af højtstående grundvand.
- i) Ikke omsat organisk materiale. Anvendes kun ved O horisonter, der er betinget af højtstående grundvand.
- l) Ikke omsat organisk materiale. Anvendes kun ved O horisonter, der ikke er betinget af højtstående grundvand. Litterlaget.
- f) Delvist omsat organisk materiale. Anvendes kun ved O horisonter, der ikke er betinget af højtstående grundvand. Fermentationslaget.
- h) Humusberiget horisont. Anvendes ved O horisonter til angivelse af humuslaget i morlaget. Ved A horisonter angiver det et humusindhold på mellem 7 og 20%, og i B horisonter anvendes det til at angive humusakkumulationshorisonten i en podzol.
- p) Anvendes til angivelse af pløjelag.
- j) Strukturel B horisont fremkommet ved, at udgangsmaterialets struktur er forandret p.g.a. den biologiske aktivitet i jorden.
- v) Farvet B horisont lige under A1. Horisonten er fremkommet ved en frigivelse af sesquioxider ved forvitring af primærsilikater in situ.
- t) Lerakkumulationshorisont fremkommet ved lernedslemning. Anvendes kun ved B horisonter.

- s) Sesquioxidberiget B horisont fremkommet ved podzolering.
- y) Degradet B horisont. Anvendes ved Bt eller Bs horisonter, der er gennemskåret af dybe tunger af A2 materiale.
- d) Båndet horisont. Anvendes ved B eller C horisonter, der er tydeligt båndet p.g.a. den pedologiske udvikling.
- g) Pseudogleypræget horisont. Anvendes ved A, B eller C horisonter, der er tydeligt præget af vandstuvning af det nedsivende vand.
- o) Grundvandsgley i A,B eller C horisonter - overvejende oxiderede zone.
- r) Grundvandsgley i A,B eller C horisonter - overvejende reducerede zone.
- n) Bleghorisont, d.v.s. en meget lys B eller C horisont.
- x) Fragipan, d.v.s. A, B eller C horisont, der er meget kompakt.
- k) Placisk horisont, d.v.s. en tynd stærkt cementeret horisont ofte dannet i forbindelse med podzoludvikling.
- q) Anvendes udelukkende til angivelse af ikke kalkholdige gytjer.
- c) Stærkt kalkholdigt materiale fx kalkgytjer eller kalkklippe.
- ø) Dobbeltprofiludvikling i samme profil. Udvikles fx en podzol i A horisonten til en jord med lernedslemning, tilføjes ø til alle podzolhorisonter.
- b) Begravet horisont. Dette suffix tilsættes alle horisonter i en profil, ovenpå hvilken nyt materiale er aflejret, og som ikke er indarbejdet i profilen.

Suffixerne kan sættes sammen, fx betyder B22tg, at horisonten både er lerberiget ved lessivering og er pseudogleypræget. Notationerne sv og vs angiver stadier mellem en tydelig aldannelse og en forbrunet B horisont, det vil sige en svagt udviklet podzol. Ved lithologiske diskontinuiteter, hvorved forstås ændringer i sedimentets geologiske oprindelse eller bare markante ikke pedologisk betingede teksturelle skift, anvendes romertal før den egentlige horisontbetegnelse, fx IIB22tx.

Farven angives ud fra Munsell Soil Color Charts og jordens fugtigheds-tilstand. Våd jord er jord med et vandindhold over markkapacitet, fugtig jord er jord med et vandindhold fra markkapacitet og ned til vandindholdet ved visnegrænsen. Tør jord er jord med et vandindhold ved visnegrænsen eller tørrere. Den samme inddeling af jordene på grundlag af vandindhold anvendes ved angivelsen af jordens konsistens. Har horisonten flere farver angives først farven for matrixen, derefter pletfarven. Farvepletternes antal, form, størrelse og kontrast samt grænse angives som vist nedenfor. I de tilfælde, hvor farveforskelle skyldes en sammenblanding af to horisonter, ligestilles de to farveangivelser ved at udelade pletbeskrivelsen. Farvepletterne beskrives efter følgende nøgle:

Antal :

- 1: mindre end 2%
- 2: 2 til 20%
- 3: mere end 20%

Form :

- 1: afrundet
- 2: kantet
- 3: lodret stribet
- 4: vandret stribet
- 5: broget

Størrelse el. tykkelse:

- 1: mindre end 5 mm
- 2: 5-15 mm
- 3: større end 15 mm

Kontrast :

- 1: svag
- 2: tydelig
- 3: fremtrædende

Grænse :

- 1: knivskarp
- 2: mindre end 2 mm
- 3 : mere end 2 mm

Teksturinddelingen for mineral jorde, der defineres som jorde med under 20% organisk materiale, er foretaget efter teksturdiagrammet fig. 8.

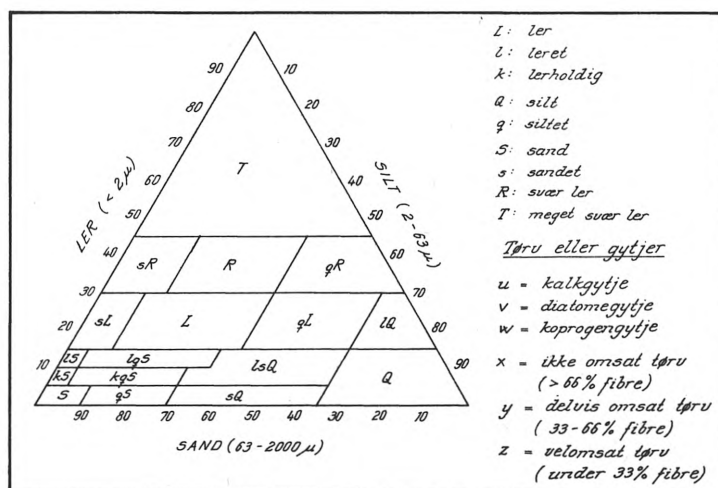


Fig. 8: Det anvendte system til materialebeskrivelse.

The system used for describing the texture.

Ler er i dette system defineret som partikler mindre end 2μ , silt er defineret som partikler mellem 2 og 63μ , og sand er defineret som partikler mellem 63 og 2000μ . Disse grænser svarer rimeligt overens med de definitioner, der anvendes i det tyske system (Scheffer og Schachtschabel 1976) og i det engelske system (Hodgson 1976). Derimod afviger det en del fra det i Danmark officielt anvendte system (Mathiesen et al 1976), der definerer siltfraktionen fra 2 til 20μ . Grunden til, at siltfraktionen er udvidet i.f.t. det eksisterende teksturklassificeringssystem, er det ønskelige i at få et bredere og mere nuanceret spektrum af teksturklasser for danske jorde. Inddelingen af klasserne i teksturdiagrammet er udarbejdet på grundlag af teksturanalyser udført på forskellige geologiske dannelser som moræne-, smeltevands-, issø-, marsk-, littorina- og yoldiaaflejringer. Grænsen mellem de forskellige klasser er generelt trukket, hvor punkttæthederne var ringe, således at sedimentet med samme genese falder inden for de samme klasser. Derved bliver systemet velegnet til feltbrug, idet jordbundsundersøgeren med relativ stor sikkerhed i marken kan klassificere jordens tekstur. Stærkt sandede sedimente kan endvidere underinddeles i fin-, mellem- og grovsand, og er grusindholdet over 10% , men under 50% , beskrives sedimenterne som grusede. Er grusindholdet over 50% , betegnes sedimentet grus.

De organiske jorde inddeles efter morfologi og genese. Tørveaflejringerne karakteriseres efter fiberindholdet i 3 klasser, medens gytterne inddeles efter, om de hovedsageligt er opbygget af kalk, diatomeskaller eller koprogent materiale, se fig. 8. Gytjeangivelsen er ofte efterfulgt af en teksturbetegnelse fx W(Q).

Mængden af **organisk stof** beskrives efter nedenstående inddeling. Pløjelag vil efter dette skema normalt ligge i klasse 2, medens de underliggende horisonter på nær alerne vil ligge i klasse 1. Klasse 3 og 4 er normalt knyttet til lavbundsjord eller morlag.

- | | |
|-------------------|--------------------------|
| 1: humusfattig | <1% organisk materiale |
| 2: humusholdig | 1-7% organisk materiale |
| 3: humusrig | 7-20% organisk materiale |
| 4: meget humusrig | >20% organisk materiale |

Strukturen beskrives med hensyn til styrke, størrelse og type, såfremt det er muligt. Styrken vurderes ud fra, hvor let og hvor veldefineret en stor klump jord falder ud i aggregater, og typen vurderes ud fra aggregaternes form. Der anvendes følgende inddelinger:

- Grad (styrke):
- 1: strukturløs
 - 2: meget svag
 - 3: svag
 - 4: moderat
 - 5: moderat stærk
 - 6: stærk
 - 7: massiv

- Størrelse :
- 1: meget fin
 - 2: fin
 - 3: medium

- 4: grov
- 5: meget grov

Type :

- 1: plade
- 2: prismatisk
- 3: kolumnar
- 4: angular
- 5: subangular
- 6: granular
- 7: krumme

Konsistensen beskriver sedimentets sammenhængskræfter alt efter fugtighedsforholdene. Der anvendes følgende inddeling, hvor der ved våd jord gives to karakteristika, medens der ved tør og fugtig jord kun gives et karakteristikum:

Våd :

- 1: ikke klæbrig
- 2: svagt klæbrig
- 3: klæbrig
- 4: meget klæbrig

- 1: ikke plastisk
- 2: svagt plastisk
- 3: plastisk
- 4: meget plastisk

Fugtig :

- 1: løs
- 2: meget sprød
- 3 : sprød
- 4: fast
- 5: meget fast
- 6: ekstrem fast

Tør :

- 1: løs
- 2: blød
- 3: lidt hård
- 4: hård
- 5: meget hård
- 6: ekstrem hård

Belægninger af 1er, humus, opløselige salte og mangan beskrives med hensyn til dækningsgrad, tykkelse, type og lokalisering. Der er ikke ved inddelingen fastsat eksakte størrelser, hvorfor differentieringen i høj grad afhænger af individuelle skøn. Der anvendes følgende inddeling:

Dækningsgrad :

- 1: få pletter
- 2: plettet
- 3: kontinuert

Tykkelse :

- 1: tynd
- 2: moderat tyk
- 3: tyk

Type :

- 1: lermineraler + (sesquioxider)
- 2: lermineraler + (sesquioxider og humus)
- 3: sorte manganholdige belægninger
- 4: opløselige salte
- 5: humus

Lokalisering:

- 1: rod- og ormegange
- 2: rod- og ormegange samt aggregatoverflader
- 3: aggregatoverflader
- 4: mellem eller omkring sandskorn

Cementeringer i jorden beskrives med hensyn til styrke, kontinuitet, tykkelse og type. Styrken angiver, hvor stærkt jorden er sammenkittet, hvilket sammenholdt med kontinuiteten af laget kan have stor betydning for rodudviklingen og vandnedsivningen. Der anvendes følgende inddelinger:

Styrke :

- 0: fraværende
- 1: svagt cementeret
- 2: stærkt cementeret
- 3: meget stærk cementeret

Kontinuitet :

- 1: kontinuert
- 2: diskontinuert, mere end 50% cementeret
- 3: diskontinuert, mindre end 50% cementeret

Tykkelse :

- 1: mindre end 1 cm
- 2: 1 til 10 cm
- 3: mere end 10 cm

Type :

- 1: al-lag
- 2: placisk horisont
- 3: myremalm
- 4: kalk
- 5 : andet

Grovporer i jorden beskrives med hensyn til antal, tykkelse, type og kontinuitet. Grovporer er defineret som porer med en diameter på over 1 mm. En beskrivelse af grovporesystemet giver et indblik i den biologiske aktivitet i jorden. I Soil Taxonomy (Soil Survey Staff 1975) kaldes fx horisonter med mange grovporer, der er belagt med nedslemmet materiale fra Al, for "agric horizons". Disse er især hyppige i lerholdige jorde, der igennem længere tid har været opdyrket. Der anvendes følgende inddeling:

Antal :

0: ingen

1: 1-10/dm²

2: 10-40/dm²

3: mere end 40/dm

Type :

1: orme- og rodgange

2: andet

Stenindholdet beskrives med hensyn til mængde, størrelse, form, type og forvitringstilstand. Mængden af sten kan have stor betydning for profiludviklingen og de edaphologiske kår. Ikke alene nedsætter et stort stenindhold mængden af tilgængeligt vand, men det kan også, hvor det danner stenpanser, virke hindrende for rodnedtrængningen. Størrelsen, formen og typen af stenene kan bidrage til tolkningen af sedimentets oprindelse, medens typen og forvitringstilstanden kan angive skjulte næringsstofreserver i jorden, der er under langsom frigivelse. Der anvendes følgende inddeling:

Forekomst :

1: mindre end 5 vol%

2: 5-15 vol%

3: 15-40 vol%

4: 40-80 vol%

5: mere end 80 vol%

Størrelse :

1: 0,2-7,5 cm

2: 7,5-25 cm

3: større end 25 cm

Form :

1: overvejende kantede

2: overvejende afrundede

3: overvejende flade

4: blanding

Type :

1: flint

2: krystalinske bjergarter

3: sedimentære bjergarter

4: kalk

5: blandede - kalk

6: blandede + kalk

Tilstand :

1: uforvitrede

2: forvitrede

3: stærkt forvitrede

4: blanding

Mineralnoder beskrives med hensyn til mængde, størrelse, hårdhed, form og type. Dannelsen af mineralnoder hænger i danske jorde ofte sammen med temporært dårlige dræningsbetingelser, hvor især mangan- og jernsammenkittede noder dannes. Blume (1968) mener i denne forbindelse, at noder ofte dannes, hvor der opstår kortvarigt temporært grundvand, fx på overgangen mellem A2 og B2t i lerholdige jorde. Dette fænomen er konstateret i nogle af de himmerlandske jorde udviklet på leret till. Der anvendes følgende inddeling :

Forekomst :

- 0: ingen
- 1: under 5 vol%
- 2: 5-15 vol%
- 3: 15-40 vol%
- 4: 40-80 vol%
- 5: over 80 vol%

Størrelse :

- 1: diameter mindre end 1 cm
- 2: diameter større end 1 cm

Hårdhed :

- 1: blød
- 2: hård

Form :

- 1: afrundet
- 2: irregulær
- 3: angulær

Type :

- 1: Fe-ox. & hydrox.
- 2: Mn-ox & hydrox.
- 3: blanding af 1 og 2
- 4: andet

Gleypræg vurderes efter en syvskala. Der lægges i vurderingen af gleypræget mere vægt på dettes fremtoning i profilvæggen end på dets dannelsesmåde, d.v.s. om det er pseudogley, stuvningsgley eller grundvandsgley. Der anvendes følgende inddeling:

0: intet gleypræg

- 1: våde afblegede farver
- 2: pletter på brunlig eller gullig bund
- 3: grålige siirer på brunlig bund
- 4: pletter på grålig eller blålig bund
- 5: få eller ingen pletter på grålig eller blålig bund
- 6: horisontalt stribet gleypræg

Pans beskrives med hensyn til kontinuitet, struktur og type. Pans er efter denne beskrivelsesnøgle stærkt sammenpakkede lag, der ikke er cementerede, idet disse beskrives under cementeringer. De mest almindeligt forekommende pans i Danmark vil derfor være pløjesåler og fragipans. Der anvendes følgende inddeling:

Kontinuitet :

- 1: kontinuert
- 2: lidt diskontinuert
- 3: meget diskontinuert

Struktur :

- 1: massiv
- 2: plade
- 3: prismatisk
- 4: kolumnar
- 5: angular blocky
- 6: subangular blocky

Type :

- 1: fragipan
- 2: pløjesål
- 3: andet

Karbonatindholdet beskrives med hensyn til mængde og type efter følgende inddeling:

Mængde :

- 0: ikke kalkholdig
- 1: svagt kalkholdig
- 2: kalkholdig
- 3: stærkt kalkholdig
- 4: jordbrugskalket

Type :

- 1: pulver
- 2: noder
- 3: skaller

Horisonternes **geologiske oprindelse** beskrives efter følgende skala:

- 1: istidsaflejringer
- 2: ferskvandsaflejringer (ikke recente)
- 3: issøaflejringer
- 4: recente ferskvandsaflejringer
- 5: postglaciale marine aflejringer
- 6: yoldiaaflejringer
- 7: vindaflejringer
- 8: krystallinske bjergarter
- 10: kalkbjergarter
- 11: prækvarter sedimentære bjergarter
- 12: kolluvium

Rodindholdet vurderes efter mængden og diameteren af rødderne. Mængdeangivelsen bygger på et subjektivt skøn, dog kan man generelt sige, at utallige rødder indebærer, at jorden er helt infiltreret i rødder, således at der er tale om en rodmåtte. Den øverste del af A horisonten på en kornmark vil normalt have et rodindhold svarende til hyppige. Der anvendes følgende inddeling :

Antal :

0: ingen

1: meget få

2: få

3: alm. forekommende

4: hyppige

5: meget hyppige

6: utallige

Rodstørrelser :

1: diameter mindre end 2 mm

2: diameter mellem 2 og 5 mm

3: diameter større end 5 mm

4: rødder af størrelsen 1 og 2

5: rødder af størrelsen 1, 2 og 3

6: rødder af størrelsen 1 og 3

7: rødder af størrelsen 2 og 3

Ved profilbeskrivelserne i kapitel 5, 6, 7 og 8 slås rodantal 3 og 4 sammen under benævnelsen mange rødder, medens rodantal 5 og 6 slås sammen under benævnelsen særdeles mange rødder.

Horisontovergangen beskrives med hensyn til tydelighed og grænsetopografi. Der anvendes følgende inddeling:

Grænsebredde:

1: under 2 cm

2: 2-5 cm

3: 5-12 cm

4: over 12 cm

Grænsetopografi :

1: plan

2: bølget

3: irregulær

4: brudt

Prøveudtagning

Efter profilbeskrivelsen blev der udtaget prøver fra de forskellige horisonter til jordbundsfysiske og -kemiske bestemmelser. Prøver til bestemmelse af jordens vandretention blev udtaget i ringe, således at jordens naturlige lejring bibeholdtes. Ringenes volumen var omkring 100 cm³, og der blev normalt udtaget 3 ringe fra hver horisont. Ved prøveudtagningen blev ringene presset lodret ned i jorden fra en vandretliggende flade, der fremkom ved at grave ind i profilvæggen. Prøverne blev skåret til i felten, således at de passede til ringenes volumen, hvorefter de blev emballeret ved at sætte plastiklåg på enderne af ringen. Til de øvrige analyser inklusiv vandbestemmelsen ved pF4.2 blev der anvendt ikke naturligt lejret jord. Til disse analyser blev der normalt udtaget omkring 450 cm³ jord, der blev opbevaret i landbrugsministeriets jordprøveæsker.

Analyser

Tekstur :

Hydrometermetoden blev anvendt til bestemmelse af kornstørrelser mindre end eller lig 20μ . Sigtning blev anvendt til bestemmelse af kornstørrelser over 63μ , og kornstørrelsesfraktionen mellem 20 og 63μ blev bestemt som differencen mellem resultaterne fra sigtningen og hydrometeranalysen. Prøver med over 10% organisk materiale blev ikke analyseret for tekstur, medens prøver med mellem 5 og 10% organisk materiale blev forbehandlet med brintoverilte inden teksturanalysen. Grusindholdet blev kun bestemt, såfremt det oversteg 10% af den mængde prøve, der var mindre end 2 cm. Der blev ved teksturanalysen anvendt følgende maskevidder på sigterne: 63μ , 125μ , 200μ , 500μ og 2000μ . Grunden til, at 200μ blev foretrukket frem for den mere naturlige 250μ var, at 200μ anvendes som grænsen mellem fin- og grovsand i den allerede eksisterende teksturklassificering af danske jorde. Hydrometermetoden blev foretrukket fremfor Andreasens pipettemetode af tidsmæssige årsager. Der er dog efter L. Hansen (1961) stor overensstemmelse mellem de to analysemetoder. Der vil i det efterfølgende blive anvendt følgende betegnelser for kornstørrelsesfraktionerne:

$<2\mu$	= ler
2- 20μ	= finsilt
20- 63μ	= grovsilt
63- 200μ	= finsand
200- 2000μ	= grovsand

Det er forventeligt, at der kan opstå visse unøjagtigheder i teksturbestemmelsen af især prøver fra A1 horisonterne. Dette skyldes, at det organiske materiale ikke fjernes inden sigtningen og slemningen, før det overstiger 5 vægt% af prøven. For at undersøge det organiske materials indflydelse på bestemmelsen af ler ($<2\mu$) og finsilt ($2-20\mu$) er der foretaget sammenligninger mellem prøver, der var forbehandlet med brintoverilte og prøver, hvor det organiske materiale ikke var fjernet. Resultaterne for 18 prøver udtaget i A1 horisonter ses af fig. 9, hvor 1er- og finsiltprocenten er sammenlignet for de to analysemetoder.

Fig. 9 viser, at der er en underestimering af lerprocenten og en overestimering af finsiltprocenten ved at undlade at bortilte det organiske stof inden analysens start i hydrometeret. Underestimeringen af lerprocenten ligger generelt på mellem 1 og 2 procent, men enkelte prøver har særdeles store afvigelser. Grunden til den store ensidige forskel mellem de to metoder skyldes formentlig især humusens sammenkittende virkning på lerpartiklerne, således at visse lerpartikler er aggregeret og bliver registreret som finsilt. Der er ikke en udpræget sammenhæng mellem mængden af organisk stof i prøven og størrelsen af afvigelsen mellem de to metoder. Dette skyldes sandsynligvis, at det i høj grad er humusens evne til at aggregere jorden, der spiller en rolle for afvigelsens størrelse. Derved kommer humustypen til at spille en stor rolle for afvigelsens størrelse. Man kan dog heller ikke se bort fra, at brintoverilten kan virke dispergerende på visse aggregerede partikler.

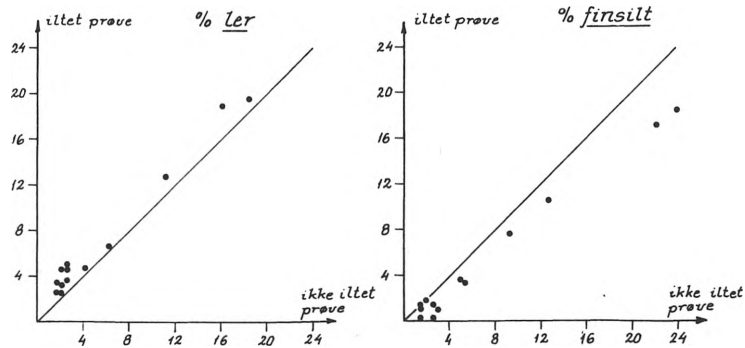


Fig. 9 :

Sammenligning af %ler og %finsilt i prøver fra AI. Prøverne er i det ene tilfælde forbehandlet med H_2O_2 i det andet tilfælde ubehandlet.

Comparison of %clay and %fine silt in samples from AI. In one case the samples were treated with H_2O_2 (Y-axis) in the other case the samples were untreated (x-axis).

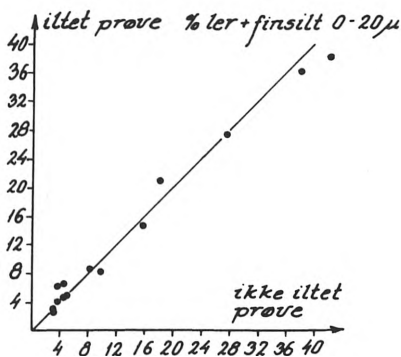


Fig. 10:

Sammenligning af ler + finsilt i prøver fra AI. Prøverne er i det ene tilfælde forbehandlet med H_2O_2 i det andet tilfælde ubehandlet.

Comparison of %clay + fine silt in samples from AI. In one case the samples were treated with H_2O_2 (y-axis) in the other case the samples were untreated (x-axis).

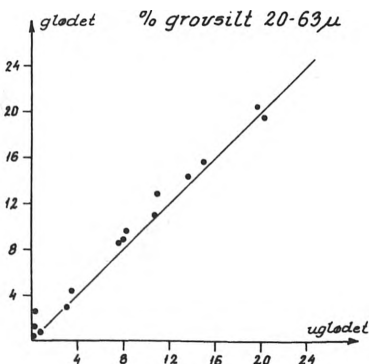


Fig. 11:

Sammenligning af %grovsilt i prøver fra AI, hvor det organiske stof i sandfraktionerne i det ene tilfælde er fjernet ved glødning og i det andet tilfælde ikke.

Comparison of %coarse silt in samples from AI. In one case the organic matter was removed from the sand fractions by ignition (y-axis) in the other case the samples were untreated (x-axis).

Sammenlignes summen af 1er og finsilt ved de to metoder, ses af fig. 10, at punkterne grupperer sig mere ligeligt omkring 45 grader linien, hvilket bekræfter teorien om, at noget af leret er aggregeret til finsiltstørrelse, såfremt prøven ikke er forbehandlet med brintoverilte. De påpegede forskelle mellem de to analysemetoder ved 1er- og finsiltbestemmelsen er formodentlig størst i prøver fra A1 horisonterne samt fra enkelte B horisonter, idet humusprocenten i de øvrige prøver er særdeles lav, og derfor ikke spiller nogen videre rolle.

Indholdet af organisk stof har også en vis indflydelse på mængdefordelingen mellem sandfraktionerne og grovsilt, idet ikke alt det organiske stof vaskes igennem sigterne. D.v.s. at en vis del af det organiske stof bliver liggende på sigterne og vejes med som sand. Da grovsilt beregnes som et residual, når sandfraktionerne, finsilt og leret er bestemt, vil humusmængderne på sigterne medføre en tilsvarende nedgang i mængden af grovsilt, der endog i visse tilfælde derved kan blive negativ. I disse tilfælde sættes % grovsilt skønsmæssigt til $1/2 \times \% \text{ finsilt}$, såfremt denne ikke overstiger 2%. En deraf kommende tilvækst i den samlede procentuelle angivelse af tekturen udjævnes forholdsvist på sandfraktionerne, der på grund af humusindholdet på sigterne er overestimeret. Ved at sammenligne teksturanalyser, hvor det organiske stof i det ene tilfælde fjernes fra sandfraktionerne ved glødning, og i det andet tilfælde ikke fjernes fra sandfraktionerne, kan det organiske stofs indflydelse på grovsiltfraktionen bestemmes. Fig. 11 viser, at mængden af grovsilt forøges svagt, såfremt det organiske stof fjernes fra sigterne. Som ved bestemmelsen af 1er og finsilt spiller humusen kun en væsentlig rolle ved grovsiltbestemmelsen i A1 horisonterne samt i visse humusholdige B horisonter.

Indhold af organisk stof:

Bestemmelsen af jordens indhold af organisk stof blev udført på et Leco IR-12 kulstofbestemmelseapparat (Tabatabai og Bremner 1970). Metoden, der bestemmer det totale kulstofindhold i jorden, er som følger: Der afvejes alt efter mængden af organisk stof 0.1 til 0.5 g jord i en engangsdigel, hvorefter der tilsættes 1 g jernaccelerator og 1.5 g kobberaccelerator. Prøven anbringes i Lecoapparatets forbrændingskammer, der ved hjælp af en induktionsspiral i løbet af få sekunder opvarmer diglen til ca. 1650° C. Gennem forbrændingskammeret ledes en konstant strøm af rensset ilt, der foruden at fremme forbrændingen tillige leder de udviklede gasser til en målecelle, hvor indholdet af CO₂ måles ved lysabsorption i det infrarøde område. Under forudsætning af kendskab til prøvernes karbonatindhold, og at mineralpartiklerne ikke i deres krystalopbygning indeholder væsentlige mængder kulstof, kan prøvernes indhold af organisk stof beregnes under den antagelse, at kulstofindholdet udgør 58 vægt% af det organiske stof.

I de tilfælde, hvor prøvernes indhold af organisk stof overstiger 12%, bestemmes dette som glødetab. I disse tilfælde afvejes 5 g oventør jord (105° C), der i en digel foraskes i 3 timer ved 550° C.

Kalkbestemmelse:

såfremt prøverne bruser ved tilsætning af 4N saltsyre, undersøges disse for karbonat-C efter den metode, der er beskrevet i Teknisk redegørelse (Mathiesen 1976). Den er som følger: 0.2 til 5.0 g jord overføres til en flaske, hvor der tilsættes 1 g ferroklorid og 25 ml 4N saltsyre. Den udviklede kuldioxid føres over i et forlag med 50 ml 0.1N bariumhydroxid tilsat 2.5 g bariumklorid. Overskuddet af bariumhydroxid titreres med 0.1N saltsyre med phenolftalein som indikator. På basis af titreringsresultatet beregnes indholdet af karbonat-C, der igen kan omregnes til Calciumcarbonat under forudsætning af, at det er den eneste carbonatform, der findes i jorden. Dette vil normalt være tilfældet i danske højbundslande, hvorimod forskellige andre carbonater kan gøre bestemmelsen usikker i lavbundslande.

Metoden til kalkbestemmelse kræver en relativ grundig knusning af prøven, idet reaktionstiden ellers bliver for lang. Dette er især aktuelt på jorde indeholdende kalkskaller eller hårde kalkklumper.

pH-bestemmelse:

pH bestemmes potentiometrisk med en glaselektrode i en opslæmning af jord og 0.01M CaCl_2 og i en opslæmning af jord og demineraliseret vand. Jordvæskeforholdet er i begge tilfælde 1:2.5, fx 10 g jord og 25 ml demineraliseret vand.

Bestemmelse af kornstørrelsesfordelingen i lerfraktionen:

Ved de normale procedurer til bestemmelse af kornstørrelsesfordelingen såsom Andreasens pipettemetode og hydromettermetoden er det ikke muligt at bestemme kornstørrelser under ca. 1μ på grund af de Brownske bevægelser. Da det i forbindelse med studier af lernedslemninger er ønskeligt at have kendskab til kornstørrelsesfordelingen ned til omkring 0.2μ , er det nødvendigt at anvende andre metoder. En metode til bestemmelse af kornstørrelsesfordelingen i lerfraktionen er centrifugering, og denne metode er anvendt i det aktuelle tilfælde. Der anvendtes en centrifuge, som skitseret på fig. 12.

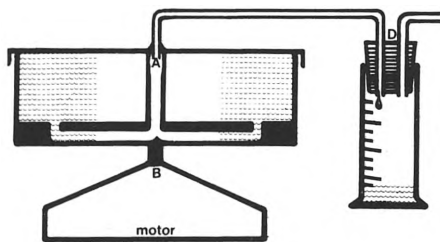


Fig. 12: Snit gennem centrifugen der anvendtes til bestemmelse af kornstørrelser ned til 0.2μ .

Schematic drawing of the centrifuge used for determination of grain sizes down to 0.2μ .

Centrifugen består af en motor, hvorpå der er placeret en flad cylindrisk beholder, der kan rotere om akse AB. I en bestemt konstant afstand fra beholderens centrum er der boret huller, hvor igennem prøverne kan blive suget ud af beholderen op gennem et rørsystem til A og videre over i beholderen D. Under centrifugeringen vil opslemningen stille sig som vist på fig.

12. Modsat fx i Andreasenpipetten, hvor partiklerne er udsat for en konstant kraftpåvirkning, vil partiklerne ved denne metode blive udsat for større og større kraftpåvirkning under analysen, jo længere de kommer fra centrum. Dette komplicerer udregningsarbejdet en del, især hvis der også udtages flere prøver fra den samme opslemning, således at "faldvejen" ændres under analysen. Yderligere oplysninger om centrifugen, den nedenstående procedures reproducerbarhed samt beregningsopgørelsen findes i Slater & Cohen (1962).

Procedure: En jordprøve svarende til 3-4 g under 30μ dispergeres i 0,002M natriumpyrophosphat og dekanteres, således at der kun findes materiale under 30μ tilbage. Dette spædes op med 0,002M natriumpyrophosphat til 1810 ml, hvilket giver opslemningen en koncentration af faste partikler på ca. 0.2%. Opslemningen hældes over i centrifugen, der startes og hurtigt når op på 480 omdrejninger i minuttet. Der udtages en 50 ml prøve efter 1 min. 37 sek. og 25 ml prøver efter 6 min. 10 sek., 24 min. 0 sek., 93 min. 30 sek. og 363 min. 30 sek., hvilket ved 22°C giver kornstørrelserne 2.85μ , 1.42μ , 0.71μ , 0.34μ og 0.18μ . De udtagne prøver rystes, og en delprøve på 20 ml udtages med pipette. Disse sættes til inddampning ligesom en prøve på 20 ml af natriumpyrophosphatopløsningen. Inddampningsresten fra sidstnævnte subtraheres fra de øvrige, således at vægten af det opslemmede materiale kan bestemmes. Vægtene omsættes til materiale under den tilsvarende kornstørrelse ved hjælp af forskellige formler, hvor mængden af materiale i de efterfølgende klasser medtages i bestemte forhold. Da dette af naturlige årsager ikke kan lade sig gøre for den sidste fraktion, kan der opstå en vis usikkerhed på denne fraktion.

Ikke silikatbundet jern og aluminium:

Der er udviklet mange metoder til bestemmelse af ikke silikatbundet jern og aluminium, hvilket L. Petersen (1976a) blandt andet gør rede for i sit disputatsarbejde. I de fleste metoder anvendes relativt svage ekstraktionsmidler, der antages at opløse det ikke silikatbundne jern og aluminium, men kun har ringe eller ingen opløsningsevne over for det gitterbundne jern og aluminium. L. Petersen (1976a) anvendte selv to ekstraktionsmetoder, nemlig behandling af prøverne i 8 timer med varm 20% saltsyre og behandling af prøverne med EDTA, 2Na ved 80°C .

I det aktuelle tilfælde blev der anvendt to ekstraktionsmetoder, der er anbefalet af Soil Conservation Service (1972). Resultaterne af disse analyser bruges blandt andet til at bestemme, om B horisonterne i sandjorde er spodiske, d.v.s. om jordene skal henføres til spodosols eller til en anden orden.

Dithionitcitratopløseligt jern og aluminium:

Denne metode går i princippet ud på at reducere jernet til divalent jern ved hjælp af natriumdithionit og derefter kompleksbinde jernet sammen med aluminiumen til citrationen, der er tilsat som natriumcitrat. Mængden af jern og aluminium bestemmes derefter ved atomabsorbtionsspektrofotometri (AAS). Proceduren er følgende: Der afvejes 5 g jord, der overføres til en ca. 250 ml rysteflaske. Der tilsættes 100 ml dithionitcitratreagens, og prøverne rystes natten over, hvorefter de centrifugeres. Jern- og aluminiumindholdet måles ved AAS på den klare væske. Det tilsatte dithionitcitratreagens er fremstillet på følgende måde: 20 g natriumdithionit og 200 g natriumcitrat føres over i en 1000 ml målekolbe, der fyldes til mærket med vand.

Metoden anses især for at være effektiv over for jern på grund af det reducerende miljø skabt af natriumdithionitten. Ved den anvendte procedure medtages både organisk bundet, amorf og krystallinsk jern og aluminium, men formodentlig ikke den totale mængde. L. Petersen (1976a) fandt fx betydeligt større mængder jern og aluminium ved ekstraktion med varm 20% saltsyre i 8 timer end ved behandling med natriumdithionit og EDTA, 2Na. Sidstnævnte metode svarer nærmest til den i dette arbejde anvendte metode.

Natriumpyrophosphatopløseligt jern og aluminium:

Der blev anvendt følgende fremgangsmåde: Der afvejes 5 g jord, der overføres til en 500 ml rysteflaske. Der tilsættes 200 ml 0,1M natriumpyrophosphat, og prøven rystes natten over. Derefter centrifugeres prøven, og jern og aluminium bestemmes på den klare væske ved AAS. Da det kan være problematisk at få bundfældet suspensionen, er det nødvendigt at tilsætte et flokkuleringsmiddel i en sådan mængde, at opløsningen efter centrifugeringen bliver klar. I det aktuelle tilfælde tilsættes Bozefloc i en sådan mængde, at det udgjorde 0.5% af opløsningen. Da Bozeflocen gør opslemningen viskøs, viste det sig nødvendigt at bestemme aluminiumindholdet på flamme-løs AAS.

McKeague (1967) undersøgte forskellige ekstraktionsmetoders anvendelighed ved bestemmelsen af ikke silikatbundet jern og aluminium og fandt, at amorf og krystallinsk jern ikke blev opløst i nævneværdig grad i 0.1M natriumpyrophosphat ved rystning natten over, hvorimod det organisk bundne jern gik i opløsning. Natriumpyrophosphatmetoden bliver derfor anvendt ved diagnostisering af spodiske horisonter (Soil Survey Staff 1975), hvor en stor del af jernet og aluminiumen vil være bundet i organiske forbindelser.

Jordens ombyttelige baser:

De ombyttelige baser består i de danske jorde i langt overvejende grad af Ca og i noget mindre mængder af Mg, K, og Na. Desuden forekommer også en række metalioner som Mn, Cu og Zn i ombyttelig form, men mængden heraf er normalt så ringe set i forhold til de fire førstnævnte, at man kan se bort fra dem i mængdemæssige betragtninger over jordens baser. I denne afhandling bestemmes derfor kun Ca, Mg, K og Na, og summen af disse angiver de totale ombyttelige baser i jorden.

De ombyttelige metalioner kan ekstraheres fra jorden ved gentagne behandlinger af jorden på et sugefilter med en saltopløsning som ekstraktionsmid-

del eller ved gentagne centrifugeringer af prøven opslemmet i en saltopløsning. Ved begge metoder bestemmes indholdet af Ca, Mg, K og Na på ekstrakterne. I det aktuelle tilfælde blev der benyttet følgende procedure: 50 g jord afvejes og overføres til en 500 ml rysteflaske, hvor der tilsættes 200 ml 1M NH_4Ac . Prøven rystes i 2 timer, hvorefter opslemningen overføres på et sugefilter. Rysteflasken skylles med 1M NH_4Ac , hvor skyllevæsken overføres på filtret. Jorden udvaskes herefter med ialt 300 ml 1M NH_4Ac fordelt på 12 portioner. Det samlede filtrat opsamles, og der fyldes op til 500 ml med 1M NH_4Ac . Til bestemmelse af K og Na udtages 20 ml af filtratet, og der tilsættes 5 ml LiCl -opløsning. Derefter bestemmes K og Na i et flammefotometer (FES). Den anvendte LiCl -opløsning består af 15.27 g LiCl opløst i 500 ml vand. Til bestemmelse af Ca og Mg overføres 20 ml af ammoniumekstrakten til en 100 ml målekolbe. Der tilsættes 5 ml LaCl_3 -opløsning, og kolben fyldes til mærket med vand. Ca og Mg bestemmes derefter ved AAS, dog bestemmes Ca ikke i prøver med over 0.1% kalk. Den anvendte 6500 ppm LaCl_3 -opløsning er fremkommet på følgende måde: 87.0 g $\text{LaCl}_3 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ tilsættes 50 ml 2N HNO_3 og 50 ml vand i et 400 ml bægerglas.

Jordens ombyttelige sure kationer:

Jordens sure ombyttelige kationer H, Al og Fe bestemmes efter Pipers metode (Borggaard et al 1979). Analysen er kun udført på prøver, der indeholder mindre end 0.1% Calciumcarbonat. Der blev ved analysen anvendt to stødpudeopløsninger, hvor stødpude 1 (pH 8.33) bestod af 41.73 g m-nitrophenol opløst i 5 l 0.030N $\text{Ca}(\text{OH})_2$, og stødpude 2 (pH 8.16) bestod af 41.73 g m-nitrophenol opløst i 5 l 0.025N $\text{Ca}(\text{OH})_2$. Der blev anvendt følgende procedure: To lige store portioner jord på mellem 0.25 og 5 g afvejes i hver sin plastikflaske, og der tilsættes 50 ml af stødpude 1 til den ene og 50 ml stødpude 2 til den anden plastikflaske. Flaskerne rystes natten over, hvorefter opslemningerne titreres potentiometrisk med 0.05N saltsyre til pH 5 eller til ækvivalenspunktet. Derefter udtages 25 ml af hver af de to stødpudeopløsninger, hvortil der tilsættes 15 ml vand, og der titreres efter samme procedure som ovenfor. Ud fra titreringskurverne beregnes mængden af sure ombyttelige ioner. Nærmere oplysninger om teorien bag analysen og beregningsproceduren kan hentes i Borggaard et al (1979).

Jordens CEC-værdi:

På ikke kalkholdige jorde beregnes jordens CEC-værdi ved at addere jordens ombyttelige baser og sure ioner. På kalkholdige jorde (over 0.1% CaCO_3) bestemmes jordens CEC-værdi efter følgende procedure: 10 g jord afvejes i et centrifugeglas, hvortil der sættes 30 ml 1M natriumacetat med pH 8.2. Prøven omrystes i ca. 5 min., hvorefter den centrifugeres. Den klare væske dekanteres fra og bortkastes. Processen gentages 4 gange. Derefter vaskes prøven adskillige gange med 30 ml ethanol, hvor ethanolen efter hver centrifugering bortkastes. Prøven vaskes derefter 5 gange med 30 ml 1M ammoniumacetat, hvor den klare væske efter hver centrifugering dekanteres over i en 200 ml målekolbe. Målekolben fyldes til sidst til mærket med 1M ammoniumacetat. Na-indholdet bestemmes derefter ved FES.

Grunden til, at det ikke er muligt at anvende den førstnævnte fremgangsmåde til bestemmelse af CEC-værdien på kalkholdig jord er, at det ikke er muligt

at bestemme det ombyttelige calcium på kalkholdige jorde. Derfor anvendes ovenstående procedure, hvor man først udelukkende mætter adsorptionskomplekserne med natrium ved vaskning med 1M natriumacetat; derpå fjernes overskuddet af natrium ved vaskning med ethanol, og endelig uddrives natriumen fra adsorptionskomplekserne med 1M ammoniumacetat. Jordens CEC-værdi bliver derved bestemt ved pH 8,2.

Jordens totale nitrogenindhold:

Jordens totale nitrogenindhold blev bestemt ved bortiltning af det organiske stof ved vådforbrænding og derefter ved titrering at bestemme den udviklede ammoniakmængde. Til analysen anvendtes en Kjel-Foss Automatic, model 16210, og der blev kort beskrevet anvendt følgende procedure, hvor alle tilsætninger foregår automatisk. Til en 500 ml flaske tilsættes 3 Kjel-tabletter, der hver indeholder 5 g K_2SO_4 og 0.25 g HgO . Derefter tilsættes samtidigt 10 ml brintoverilte og 12-15 ml 96-98% svovlsyre, en afvejnet prøve på ca. 5 g anbringes i flasken, og låget lukkes. Derefter opvarmes prøven i 3 minutter ved $390^\circ C$ og derefter 3 minutter ved $420^\circ C$, hvorpå flasken med indhold afkøles. Efter afkøling tilsættes 100 ml vand, hvorpå der tilsættes $NaOH-Na_2S_2O_3$ i overskud. Den udviklede ammoniak destilleres over i en 200 ml kolbe indeholdende 50 ml indikatoropløsning, der fortløbende titreres automatisk med svovlsyre. Denne metode er særdeles tidsbesparende i forhold til den tidligere anvendte Kjeldahlanalyse, idet det kun tager ca. 12 min. at analysere en prøve.

Bestemmelse af jordens vandretention:

Der blev på de udtagne prøver fra november 1981 anvendt følgende procedure til bestemmelse af jordens vandretention:

I laboratoriet blev prøverne vejjet, således at det aktuelle vandindhold senere kunne bestemmes. Derefter blev prøverne opfugtet på "vandbad" med en vandstand på ca. 1 cm under prøvens overkant. Opfugtningen varede mindst natten over eller længere. Derefter bestemtes vandindholdet ved pF1.0 ved at placere prøverne på en keramisk blok og lade dem afdræne mindst natten over ved en hængende vandsøjle. Vandindholdet ved pF1.5, pF2.0, pF2.5 og pF3.0 blev derefter bestemt på ringprøverne i et trykmembranapparat ved overtryk. De tre prøver fra samme horisont blev placeret på hver sin plade, og de blev opvædet inden hver afdrænings begyndelse ved at henstå i en time med en vandstand på ca. 1 cm over pladerne. Der blev anvendt følgende afdræningstider: 1 døgn, 3 døgn, 6 døgn og 10 døgn. Efter afdræning ved 1 atm. overtryk blev prøverne tørret ved $105^\circ C$ og derefter vejjet. Foruden vandindholdet ved de forskellige tensioner blev volumenvægten beregnet, ligesom porøsiteten blev beregnet under forudsætning af, at de mineralske partikler har en reel massefylde på $2.65 g/cm^3$, og det organiske stof har en reel massefylde på $1.3 g/cm^3$. Vandindholdet ved pF4.2 blev bestemt på ikke naturlig lejret jord, der efter sigtning gennem en 2 mm sigte placeredes i 1 cm høje ringe på en keramisk plade. Prøverne blev fugtet op natten over, hvorefter de henstod i mindst to uger i et trykmembranapparat ved et overtryk på 15 atm. Derefter blev prøverne vejjet, tørret ved $105^\circ C$ og derefter igen vejjet.

Der blev på de udtagne prøver fra sommeren 1980 anvendt følgende procedure til bestemmelse af jordens vandretention:

I laboratoriet blev prøverne vejjet og derefter opfugtet. Vandindholdet ved pF1.0 og pF1.5 blev bestemt på sandbade med hængende vandsøjler, og vandindholdet ved pF2.0 blev bestemt på keramiske plader med hængende vandsøjler. Vandindholdet ved pF2.5 og pF2.9 blev bestemt på keramiske plader ved undertryk dannet med en pumpe. Derefter fulgtes samme procedure som beskrevet ovenfor. Vandindholdet ved pF4.2 blev bestemt ud fra jordens tekstur og humusindhold samt ud fra ringprøvernes volumenvægt. Der blev anvendt følgende formel af L. Hansen (1976):

$$\text{vægt\% vand ved pF4.2} = 0.37 \cdot \text{ler} + 0.73 \cdot \text{humus} + 0.63$$

KAPITEL 4

KLASSIFIKATION AF HIMMERLANDS JORDE

Ved en klassifikation af et områdes jordbundsforhold inddeles jordene i forskellige klasser ud fra kriterier som horisontfølge, tekstur, humusindhold, dræningstilstand m.v. De anvendte kriterier bestemmes af formålet med undersøgelsen samt de i området forekomne jordes fysiske og kemiske egenskaber.

De fleste jordbundsklassifikationssystemer er udviklet til kortlægning af bestemte områders jordbundsforhold, og ofte således at områdets egnethed til planteproduktion kan vurderes. De fleste nyere klassifikationssystemer er opbygget hierarkisk omkring jordprofilens horisontfølge og horisonternes jordbundsfysiske og -kemiske karakteristika, hvilket er i modsætning til de ældre systemer, der opererede med jorde udviklet i forskellige klimazoner og vegetationszoner, de såkaldte zonale, intrazonale og azonale jorde. Mange af de jordbundskaraktistika, der anvendes i de nyere klassifikationssystemer, kan direkte bruges til vurdering af jordenes dyrkningsegnethed, medens andre indirekte angiver jordens fysiske og kemiske tilstand. Man kan fx ud af betegnelsen placisk podzol læse, at det er en jord, der er relativt sandet, og at den har en rod- og vandstandsende horisont i ringe dybde, hvilket kan have negativ edaphologisk virkning. Endelig vil jorden i naturlig tilstand være stærkt sur. Der vil ved udvælgelsen af de parametre, der skal indgå i klassifikationen, ofte blive lagt vægt på, at de er let bestemmelige i felten, at de er reproducerbare, og at de er stabile, d.v.s. ikke ændrer sig væsentlig inden for en længere årrække.

De simpleste klassifikationssystemer er de systemer, der kun bygger på en enkelt parameter såsom tekturen. Man må dog konstatere, at sådanne systemer ofte ikke på tilfredsstillende måde beskriver de fremherskende kemiske og fysiske forhold i jorden, der fx har indflydelse på dyrkningsegnetheden. Dette skyldes, at dyrkningsegnetheden afhænger af så vidt forskellige faktorer som jordens dræningstilstand, jordens porestørrelsesfordeling, næringsstofindholdet, pH, jordens egnethed for rodudvikling og luftsiftet i profilen.

Et direkte eller indirekte indtryk af de ovennævnte faktorer kan fås gennem en beskrivelse og klassificering af profilens horisontopbygning. Der er ikke i Danmark udviklet større regionale systemer til klassifikation af jordbunden på basis af profiludviklingen modsat mange andre lande. Ved detaljerede profilstudier ledsaget af forskriftmæssige laboratoriebestemmelser kan de danske jorde klassificeres efter internationale systemer som fx FAO (1974) og Soil Survey Staff (1975). Derimod er disse systemer ofte ikke anvendelige ved profilstudier i felten uden ledsagende analyser, ligesom de

ikke altid beskriver de ønskede karaktertræk ved profilen. I disse tilfælde vil det være rimeligt at anvende specielt udviklede feltorienterede profilklassifikationssystemer, der bygger på relevante og let erkendelige karaktertræk ved profilen.

Det i dette kapitel beskrevne profilklassifikationssystem er et forsøg på at få udviklet et sådant feltorienteret klassifikationssystem byggende på danske jorde. Alle profiler i de efterfølgende kapitler vil blive klassificeret efter dette system. Profiler til beskrivelse af jordens pedologiske udvikling i forskellige udgangsmaterialer vil ligeledes blive klassificeret efter Soil Taxonomy (Soil Survey Staff 1975).

I det efterfølgende vil der først blive en kort omtale af udenlandske klassifikationssystemer, derefter en omtale af principperne for opbygningen af et profilklassifikationssystem ud fra danske jorde efterfulgt af definitioner for de forskellige jordbundstyper i dette system.

Udenlandske klassifikationssystemer

Der er i tidens løb udviklet en del jordbundsklassifikationssystemer, hvoraf de fleste har national karakter. De vil dog ofte med en vis tilpasning kunne anvendes i andre lande med tilnærmelsesvis samme naturgivne forudsætninger for jordbundsdannelsen. I Rusland udviklede Dokuchayev omkring århundredskiftet det første egentlige pedologiske jordbundsklassifikationssystem. I dette system var hovedinddelingen af jordene bestemt af klima og vegetation. Jordene kan efter dette system naturligt inddeles i tre hovedgrupper, der kan beskrives på følgende måde:

- 1) Almindelige jorde; d.v.s. veldrænede veludviklede jorde, hvis udvikling hovedsagelig er betinget af klima og vegetation.
- 2) Overgangsjorde ; d.v.s. jorde, hvor andre faktorer som fx udgangsmateriale præger jordbundsdannelsen stærkt.
- 3) Specielle jorde; d.v.s. jorde, der generelt er meget svagt udviklede.

Principperne bag dette system blev i mange lande grundlaget for udviklingen af jordbundsklassifikationssystemer i den første halvdel af 1900-tallet. Disse systemer er dog i dag ofte forladt og erstattet med hierarkisk opbyggede systemer, der beskriver specifikke karaktertræk ved profilen. Det mest anvendte system i Sovjetunionen i dag (Rozov & Ivanova 1967) følger dog stadig i overvejende grad Dokuchayevs principper. Systemet er inddelt i flere niveauer omhandlende:

- 1) Egenskaber ved jorden og dennes omgivelser, såsom klima, fugtighedsforhold, forvitringstilstand og den biologiske aktivitet i jorden.
- 2) Jordens dræningstilstand.
- 3) Biologiske, kemiske og fysiske karakteristika ved jorden, såsom base-mætning, typen af ombyttelige baser, det organiske materiales sammensætning og tilstedeværelsen af opløselige salte.

I USA udvikledes i første halvdel af 1900-tallet jordbundsklassifikations-systemer, der som de russiske havde klima og vegetation som styrende parametre (Hilgard 1906, Marbut 1928 og Baldwin et al 1938). Disse systemer arbejdede med begreber som zonale, intrazonale og azonale jorde, der har meget tilfælles med den tredeling, der findes i Dokuchayevs system. Siden da er der i USA udviklet et jordbundsklassifikationssystem (Soil Survey Staff 1960 & 1975), der i overvejende grad bygger på kemiske og fysiske karakteristika ved profilen. Derved fås et mere eksakt klassifikationssystem end de tidligere, idet det mere er profilens nuværende tilstand end dens genetiske udvikling, der beskrives. Systemet, der benævnes Soil Taxonomy, er et hierarkisk opbygget system i 7 niveauer, nemlig order, suborder, great group, subgroup, family, serie og phase. Der er ialt 10 orders inddelt på basis af diagnostiske horisonter eller kendetegn ved profilen, der tydeligt viser de dominerende pedologiske processer. Inddelingen af jordene på subderniveau er forskellig for de forskellige orders, men den sker ofte på basis af jordtemperaturen og dennes variation gennem året (soil temperature regimes), fugtighedsforholdene og disses variation gennem året (soil moisture regimes), karakteristika ved de diagnostiske horisonter og udgangsmaterialets sammensætning. Da dette system er en kraftig revision af de tidligere amerikanske systemer, er alle gamle jordbundsnavne forladt og udskiftet med andre betegnelser. Systemet er særdeles anvendeligt mange steder udenfor USA's grænser og kan også anvendes i Danmark, dog må man konstatere, at dets grænser for jordtemperaturen ligger uheldigt for danske forhold, og at dets inddeling af epipedoner på basis af basemætningsgraden endvidere kan give ikke stabile forskelle på order-niveau på dyrkede jorde. Disse forhold kan give problemer ved anvendelsen af systemet på danske jorde.

I England udviklede Avery et al. (1973) et hierarkisk system i fire niveauer. Dette system, der kun er udviklet for England og Wales, anvender i højere grad end Soil Survey Staff (1975) karakteristika, der let kan måles eller visuelt bestemmes i felten.

Kubiëna (1953) udviklede i Mellemeuropa et jordbundsklassifikationssystem, der på mange måder brød med de tidligere systemer, idet dette system hovedsageligt blev opbygget på morfologiske karakteristika ved profilen, og ikke medtog begreber som zonale, intrazonale og azonale jorde. Kubiëna inddelte jordene efter dræningstilstanden i tre klasser nemlig subaquatiske, semi-terrestriske og terrestriske jorde. Den videre inddeling af profilerne byggede på horisontfølgen og horisonternes egenskaber som fx indholdet og typen af det organiske stof. Mückenhausen (1962 & 1977) har siden fulgt Kubiënas arbejde op og videreudviklet systemet.

I det hollandske system (de Bakker & Schelling 1966) inddeles jordene på de højere niveauer hierarkisk i orders, suborders, groups og subgroups. Der opereres med 5 orders, nemlig Veengronden (tørvejorde), podzolgronden, brikgronden (jorde med lernedslemning), eerdgronden (jorde med en veludviklet Al horisont), og vaaggronden (svagt udviklede jorde). Da Holland kan inddeles i to forskellige landskabstyper, hvor jordene teksturelt set er meget forskellige, anvendes der i det hollandske system to systemer til beskrivelse af jordens kornstørrelsesfordeling, alt efter i hvilket udgangsmateriale profilen er udviklet.

Til sidst skal FAO's klassifikationssystem kort omtales (FAO/Unesco 1974). Dette system er hovedsageligt opbygget for at fremstille et verdensjord-

bundskort i 1:5000000. Det har derfor ikke været nødvendigt at udarbejde et så detaljeret system, som man finder i mange lande. Der er derfor i FAO's system kun defineret 106 soil units fordelt på 26 hovedgrupper til beskrivelse af alverdens jorde. Selve opbygningen af systemet minder en del om det amerikanske (Soil Survey Staff 1975), idet der også i FAO's system opereres med begrebet diagnostiske horisonter. Der er i definitionerne af disse horisonter stor lighed mellem de to systemer. Derimod bibeholder FAO en stor del af de gamle jordbundsbetegnelser, såsom podzols, rendzinas og chernozems, medens andre som brunjorde, parabrunjorde og "red yellow podzolic soils" har fået helt nye navne. På FAO's jordbundskort findes der efter jordbundstypen en beskrivelse af jordens tekstur efter en tredelt skala, hvorefter landskabets hældning ligeledes beskrives efter en tredelt skala.

Opbygning af et profilklassifikationssystem specielt tilpasset danske jorde

Det på de efterfølgende sider beskrevne profilklassifikationssystem bygger på flere hundrede gennemanalyserede profiler, hvoraf de 100 er fra Himmerland, samt på et stort antal feltobservationer. Systemet, der skal kunne anvendes direkte i felten, er testet og videreudviklet i 1981 og 1982 ved jordbundsstudier langs DONG's hovedtransmissionsledning fra Frøslev til Egtved og fra Egtved til Nyborg. På disse strækninger er systemet anvendt til klassifikation af jorden for hver ca. 25 m. Det er igennem dette arbejde, at systemet har fået sin nuværende form.

Formålet med klassifikationssystemet er at få samlet profiler med samme jordbundsegenskaber i grupper, der især med hensyn til dyrkningsegenskaber og pedologisk udvikling er ens. Det er i denne forbindelse væsentligt at få udskilt jorde med samme naturlige dræningstilstand, at få udskilt jorde med tilnærmelsesvis det samme humusindhold og tekstursammensætning ned gennem profilen, og at få udskilt jorde med tilnærmelsesvis samme horisontsekvens, således at fx jorde med rod- og vandstandsene lag udskilles. Det er væsentligt, at de anvendte parametre ved klassifikationen er forholdsvis stabile som fx gleypræg, tekstur og horisontfølgen, således at klassifikationen ikke hurtigt bliver uaktuel. Det er derfor ikke fundet rimeligt at anvende fx basemætningsgraden eller pH i overjorden i klassifikationen, idet gødskning og kalkning er vidt udbredt på de danske marker. Dog anvendes pH (CaCl_2) i en meters dybde på laveste niveau i klassifikationen, idet lave pH-værdier på lerholdige jorde i denne dybde kan være relativt stabile trods kalkning af pløjelaget, og at disse lag med lave pH-værdier kan virke hæmmende på rodudviklingen.

Profilklassifikationssystemet er et hierarkisk opbygget system på 4 niveauer, nemlig orden, gruppe, serie og fase, og i tabel 3 ses en skematisk fremstilling af de tre øverste niveauer. Inddelingen af jordene sker på basis af diagnostiske horisonter, profilkarakteristika eller andre relativt stabile faktorer ved profilen. Navngivningen af jordene bygger delvis på lånte ord fra andre klassifikationssystemer som det tyske, franske, amerikanske og FAO og delvis på nye danske betegnelser, der billedligt dækker de beskrevne fænomener.

Klassifikationssystemet må betragtes som et åbent system, d.v.s. at enkelt-karaktertræk normalt ikke ekskluderer hinanden. Dette gør systemet meget anvendeligt til punktklassifikationer og til EDB-behandling, fx til søgning på bestemte karaktertræk ved profilerne. Derimod er systemet umiddelbart for detaljeret til kortlægninger, hvor grænsedragninger skal foretages, ligesom detaljerigdommen kan give anledning til lange og indviklede navne. Den hierarkiske opbygning af systemet, foruden at det er et åbent system, gør det muligt at stoppe klassifikationen på forskellige niveauer eller at udelade delkomponenter inden for de enkelte niveauer, såfremt disse ikke ønskes bestemt eller ikke kan bestemmes. Denne fleksibilitet gør det muligt at arbejde med systemet på forskellige detaljeringsniveauer.

Profilklassifikationssystemet beskriver hovedsagelig horisontfølgen i de øverste 120 cm af jorden, og alle diagnostiske horisonter eller profilkarakteristika inden for denne dybde medtages i klassifikationen. Visse diagnostiske horisonter kan dog ligge dybere i fx jorde med tykke Al horisonter. Da den pedologiske og edaphologiske betydning af visse karaktertræk ved profilen er afhængig af, i hvilken dybde under terræn de findes, er de øverste 120 cm af profilen underinddelt i tre 40 cm intervaller, således at profilkaraktertræk kan indgå med forskellig vægt i klassifikationen, alt efter i hvilken af de tre intervaller de begynder eller når ned til. Tages som eksempel en podzoleret jord med grundvandsgley i forskellig dybde vil følgende navnekombination kunne forekomme :

Podzolbrungley: grundvandsgley begyndende inden 40 cms dybde.

Gleytypipodzol: grundvandsgley begyndende mellem 40 og 80 cms dybde.

gleyet Typipodzol: grundvandsgley begyndende mellem 80 og 120 cms dybde.

I det efterfølgende vil der komme en uddybning af de karakteristika, der kvalificerer jordene på de forskellige niveauer, de diagnostiske horisonter og de anvendte profilkarakteristika defineres, og de forskellige jordbundstyper beskrives.

Tabel 3 (se næste side): Skematisk gengivelse af det udarbejdede jordbundsklassifikationssystem på orden-, gruppe- og serieniveau med talangivelser til lagring af klassifikationerne i en database. De i tabellen opstillede definitioner er ikke fuldt dækkende. De komplette definitioner findes i teksten.

A schematic presentation of the elaborated soil classification system at order-, group- and series level.

SERIE	GRUPPE			ORDEN
	3 GRUPPENIVEAU	2 GRUPPENIVEAU	1 GRUPPENIVEAU	
01 kolluvial Al: 40-80 cm tyk		11 Gley 12 Stuvningsgley 13 Pseudogley	1 Typi 2 Bleg 6 Kalk 7 Rendzin 8 Ranker	01 råjord "Regosol" Al < 2 cm ingen diagnostisk B horisont på nær Rj
02 humusfattig Al: < 1% organisk materiale		11 Gley 12 Stuvningsgley 13 Pseudogley	1 Typi 2 Blandings 6 Kalk 7 Rendzin 8 Ranker	02 blegsol "Arenosol" 2 cm < Al < 80 cm under Al blege farver
03 humus Al: 7-20% organisk materiale		11 Gley 12 Stuvningsgley 13 Pseudogley	1 Typi 2 Struktur 3 Blandings 6 Kalk 7 Rendzin 8 Ranker	03 brunsol "Arenosol" 2 cm < Al < 80 cm sandet brun jord uden Bh eller Bs horisont
04 histisk tørvelag 10-40 cm tyk				
05 entic Al < 10 cm tyk		11 Gley 12 Stuvningsgley 13 Pseudogley	1 Typi 2 Struktur 3 Blandings 6 Kalk 7 Rendzin 8 Ranker	04 brunjord "Cambisol" 2 cm < Al < 80 cm leret brun jord uden Pt horisont
06 mor morlag > 10 cm tyk				
07 gleyet 08 stuvningsgleyet 09 pseudogley		11 Gley 12 Stuvningsgley 13 Pseudogley	1 Typi 2 Blandings 3 Rånd 4 Degra 6 Kalk 7 Rendzin 8 Ranker	05 lessivejord "Luvisol" "Acrisol" Al < 80 cm jord med Bt horisont
10 bleg bleg underjord				
11 degraderet degraderet Bt eller Bs				
12 fragi fragipan		11 Gley 12 Stuvningsgley 13 Pseudogley	1 Typi 2 Humus 3 Sesqui 4 Brun 5 Initial 7 Rendzin 8 Ranker	06 podzol "Podzol" Al < 80 cm jord med Bs eller Bh horisont
13 placisk placisk horisont				
14 hårdnet cementeret lag		11 Gley 12 Stuvningsgley 13 Pseudogley	1 Typi 26 Podzol 25 Lessive 6 Kalk 7 Rendzin 8 Ranker	07 kolluvial- jord Al > 80 cm
15 natrisk højt indhold af omb. natrium				
16 kalkholdig svagt kalkholdige lag	6 Kalk		1 Typi 26 Podzol 25 Lessive 7 Rendzin 8 Ranker	08 stuvnings- gleyjord "Gleysol" stuvningsgley indenfor de øverste 40 cm
17 rendzin 18 ranker				
31-39 navn på orden + lignende	6 Kalk	22 Bleg 25 Lessive 26 Podzol	1 Typi 2 Våd 3 Brun 4 Kolluvial 7 Rendzin 8 Ranker	09 gleyjord "Gleysol" grundvands- gley indenfor de øverste 40 cm
41-52 top + navn på orden				
61-72 sub + navn på orden	6 Kalk	7 Rendzin 8 Ranker 25 Lessive 26 Podzol	1 Fibri 2 Hemi 3 Sapri 4 Kopro 5 Blandings	10 histosol "Histosol" tørvelag (> 20% organisk materiale) mere end 40 cm tyk
	23 Brun 22 Bleg 25 Lessive 26 Podzol	11 Gley	1 Typi 2 Sedi 3 Blandings	11 rendzina "Rendzina" > 30% CaCO ₃ normalt indenfor de øverste 40 cm
		11 Gley	1 Typi 2 Kolluvial 3 Litho 21 Råjords 22 Bleg 23 Brun 26 Podzol 25 Lessive	12 ranker "Lithosol" "Rankers" kalkfri klippe normalt indenfor de øverste 40 cm

IKKE-HYDROMORFE JORDE

HYDROMORFE JORDE

TYNDE JORDE

Gruppeniveau

1 - 5: Speciel horisontfølge indenfor ordenen.

6 - 8: Kalk= 5-30% CaCO₃, rendzin ≥ 30 % CaCO₃, ranker = kalkfri klippe. Alle tre horisonter begynder indenfor de øverste 80 cm af profilen.

11 - 13: Grundvandsgley eller stuvningsgley begynder imellem 40 og 80 cms dybde eller pseudogley begynder imellem 0 og 80 cms dybde.

21 - 26: Tilstedeværelse af andre diagnostiske horisonter, som kunne have klassificeret jorden på ordensniveau.

Serieniveau

7 - 9: Grundvandsgley, stuvningsgley og pseudogley begynder imellem 80 og 120 cms dybde.

10 - 16: Horisont begyndende indenfor de øverste 120 cm af jorden.

17 - 18: Rendzin ≥ 30 % CaCO₃, ranker = kalkfri klippe. De to horisonter begynder imellem 80 og 120 cms dybde.

31 - 39: Svag pedologisk udvikling uden dannelse af diagnostisk horisont.

41 - 72: Begravet jord. Den dybeste jord, som begynder indenfor de øverste 60 cm, klassificerer profilen på ordensniveau.

Den anden jord beskrives på serieniveau med top eller sub foran ordensnavnet.

INDELING AF JORDENE PÅ ORDENSNIVEAU

Jordene er ialt inddelt i 12 ordner ud fra tilstedeværelsen eller fraværet af diagnostiske horisonter. De 12 ordner kan naturligt inddeles i tre brede kategorier, nemlig:

- a) Dybe ikke hydromorfe jorde, d.v.s. jorde generelt uden grundvandsgley, stuvningsgley, fast klippe eller stærkt kalkholdigt materiale inden for de øverste 40 cm af profilen.
- b) Dybe hydromorfe jorde, d.v.s. jorde med grundvandsgley eller stuvningsgley inden for de øverste 40 cm af profilen og uden fast klippe eller stærkt kalkholdigt materiale inden for de øverste 40 cm af profilen.
- c) Ikke dybe jorde, d.v.s. jorde med fast klippe eller stærkt kalkholdigt materiale generelt liggende inden for de øverste 40 cm af profilen.

De 12 ordner er angivet nedenfor, hvor navnet i parentes angiver den tilsvarende dominerende jordtype efter FAO (1974):

Dybe ikke hydromorfe jorde:	1) råjord	(Regosol)
	2) blegsol	(Regosol, Arenosol)
	3) brunsol	(Arenosol)
	4) brunjord	(Cambisol)
	5) lessivejord	(Luvisol, Acrisol)
	6) podzol	(Podzol)
	7) kolluvialjord	()
Dybe hydromorfe jorde:	8) stuvningsgleyjord	(Gleysol)
	9) gleyjord	(Gleysol)
	10) histosol	(Histosol)
Ikke dybe jorde :	11) rendzina	(Rendzina)
	12) ranker	(Lithosol)

Der er ialt defineret 15 diagnostiske horisonter til kvalifikation af jordene på ordensniveau. Disse er som følger:

- a) diagnostisk tynd Al horisont: Al horisont mindre end 2 cm tyk. Anvendes til udskillelse af råjorde.
- b) diagnostisk tyk Al horisont: Al horisont over 80 cm tyk. Anvendes til at udskille kolluvialjorde.
- c) diagnostisk bleghorisont (Cn): Lyst lag begyndende inden 10 cm under Al. Laget er på over 40 cms tykkelse, og det er ikke en A2 horisont. Horisontens farve vil generelt have en value og chroma på enten 6/1, 7/1, 7/2, 7/3, 8/1, 8/2, 8/3 eller 8/4 i fugtig tilstand. Anvendes især til udskillelse af blegsoler.
- d) diagnostisk strukturel B horisont (Bj): En over 10 cm tyk horisont lige under Al, hvor den oprindelige lejring er stærkt forstyrret p.g.a. pedologiske og biologiske processer.

Anvendes især til udskillelse af brunsoler og brunjorde.

- e) diagnostisk farvet B horisont (Bv): En over 10 cm tyk horisont lige under A1, der er stærkere farvet end de underliggende horisonter p.g.a. frigivelse af sesquioxider ved forvitring. I homogent sediment vil %Al i Bv >%Al i C og %Al i A1 >%Al i Bv.

Anvendes især til udskillelse af brunsoler fra brunjorde.

- f) diagnostisk sandet horisont. Horisont lige under A1. Horisonten er mindst 40 cm tyk, og den når i hvert fald ned til 80 cms dybde, og den har en dominerende tekstur på under 8% 1er og under 30% silt.

Anvendes især til udskillelse af brunsoler og brunjorde.

- g) diagnostisk humus B horisont (Bh): En over 1 cm tyk sort humusberiget horisont, der er fremkommet ved nedføring af humusstoffer fra A1 ved en podzoleringsproces. Farven vil i fugtig tilstand være sort eller meget mørk grå i henhold til Munsell soil color charts.

Anvendes til udskillelse af podzoler.

- h) diagnostisk rød sesquioxid B horisont (Bs): En over 10 cm tyk ikke sortfarvet sesquioxidberiget horisont, der er fremkommet ved nedføring af sesquioxider sammen med humusstoffer fra A horisonten. Bs horisonten er enten cementeret eller også har den farver med hue 5YR eller rødere i henhold til Munsell soil color charts. På homogent sediment vil %Al i Bs >%Al i C og A2.

Anvendes til udskillelse af podzoler.

- i) diagnostisk brun sesquioxid B horisont (Bsv, Bvs): En over 10 cm tyk ikke sortfarvet sesquioxidberiget horisont, der er fremkommet ved nedføring af sesquioxider sammen med humusstoffer fra A horisonten. Bsv eller Bvs horisonten er ikke cementeret, og den vil have farver i fugtig tilstand, der har hue 7,5YR eller brunere i henhold til Munsell soil color charts.

Anvendes til udskillelse af podzoler.

- j) diagnostisk lerakkumulationshorisont (Bt): En over 10 cm tyk lerberiget horisont, der er fremkommet ved nedslemning af 1er fra ovenoverliggende horisonter. Er udgangsmaterialet homogent, og er Bt horisonten ikke båndet, skal følgende krav være opfyldt:

- 1) Er %ler i A2 eller A1 under 15, skal der være 3 absolutte %ler mere i B2t end i A2 eller A1.
- 2) Er %ler i A2 eller A1 mellem 15 og 40, skal der være 1,2 gange så meget 1er i B2t som i A2 eller A1.
- 3) Er %ler i A2 eller A1 over 40, skal der være 8 absolutte %ler mere i B2t end i A2 eller A1.

Er udgangsmaterialet inhomogent, må man ud fra profilen vurdere om ovennævnte krav er opfyldt. Dette kan fx gøres ud fra lerskind på ag-
gregatoverfladerne eller ler-humusbelægnings- eller -udfyldninger i orme- og rodgange.

- k) diagnostisk stuvningsgleyhorisont: En enten over 10 cm tyk stærkt gley-præget horisont begyndende inden for de øverste 40 cm af profilen, der hviler på et relativt tyndt vandstandsende lag som fx placisk horisont eller også en over 10 cm tyk overfladevandsbetinget Cr horisont begyndende inden for de øverste 40 cm af profilen i fx jorde med Bt horisonter. Der er normalt en abrupt ændring i dræningsbetingelserne på hver sin side af det vandstandsende lag, således at dræningsbetingelserne er væsentlig bedre under det vandstandsende lag. Anvendes især til udskillelse af stuvningsgleyjorde.
- l) diagnostisk gleyhorisont (Bo, Bor, Bro, Br, Co, Cor, Cro, Cr): En horisont med tydeligt præg af grundvandsgley, hvis øvre grænse ligger inden for de øverste 40 cm af jorden. Horisonten vil ofte fremstå med ferri(-hydr)oxider omkring rodgangene, eller den kan være helt lys p.g.a., at jernet er lateralt skyllet væk. Cr vil være blålig eller grå uden nævneværdige røde pletter. Anvendes til udskillelse af gleyjorde.
- m) diagnostisk histisk horisont: En horisont med over 20% organisk materiale, der har en samlet tykkelse på over 40 cm inden for de øverste 80 cm under det organiske lags øvre grænse. Anvendes til udskillelse af histosoler.
- n) diagnostisk rendzinhorisont: Kalksten eller kalkholdigt materiale begyndende inden for de øverste 80 cm af jorden, og hvor følgende krav er opfyldt :
- Der er mere end 30% CaCO_3 i de øverste 10 cm af den diagnostiske horisont.
 - Over halvdelen af de øverste 80 cm af den diagnostiske horisont indeholder over 30% CaCO_3 .
- o) diagnostisk rankerhorisont: kalkfri klippe begyndende inden for de øverste 80 cm af jorden.

Beskrivelse og definition af de enkelte jordtyper på ordensniveau

Råjorde

Råjorde er svagt udviklede jorde på løse sedimenter. Den svage udvikling skyldes normalt enten, at sedimentet er nyligt aflejret eller, at der har været en kraftig erosion i profilen. Råjorde defineres som jorde med en $\text{Al} + \text{A}_2$ horisont på under 2 cms tykkelse, og der må ikke findes nogen diagnostiske horisonter eller karakteristika i jorden, der kan kvalificere denne til en anden orden på nær en diagnostisk bleghorisont, en diagnostisk sandet horisont eller en diagnostisk B_j horisont.

Blegsoler

Blegsoler er meget lyse jorde. Disse vil ofte være meget unge jorde udviklet på fx flyvesand. Blegsoler defineres som jorde med en Al horisont mellem 2 og 80 cm tyk og med en diagnostisk bleghorisont. Der må ikke i profilen være en diagnostisk histisk horisont, diagnostiske gleyhorisonter eller højtstående klippe eller kalkholdigt materiale, der kan kvalificere profilen som ranker eller rendzina. Derimod kan profilen indeholde alle typer af B horisonter, såfremt disse slutter inden 10 cm under Al. Af diagnostiske B horisonter må profilen kun indeholde en Bj horisont.

Brunsoler

Brunsoler er jorde udviklet på sandet materiale, der har under 8% ler og under 30% silt. I brunsoler skal der findes en diagnostisk sandet horisont. Jordene har en Al horisont på mellem 2 og 80 cm, såfremt der under Al kommer en diagnostisk Bj eller C horisont, og Al horisonten ligger mellem 0 og 80 cm, såfremt der under Al kommer en diagnostisk Bv horisont. Der må ikke under Al findes afbleget sand, der kan kvalificere jorden som blegsol. I en brunsol findes ingen hvide korn i Al betinget af podzolering og ingen A2 horisont, undtagen hvis profilen indeholder en ikke diagnostisk podzol B horisont. Af diagnostiske B horisonter findes kun Bj og Bv horisonter; men tilstedeværelsen af en diagnostisk B horisont er ingen nødvendighed for at kvalificere en profil som brunsol. Der findes ingen diagnostiske horisonter eller karakteristika ved profilen, der kan kvalificere jorden til en anden orden, som fx højtliggende kalkholdigt materiale, højtliggende klippe, højtliggende grundvandsgley eller stuvningsgley eller en diagnostisk histisk horisont.

Brun jorde

Brunjorde er jorde udviklet på sedimenter, der generelt enten har over 8% ler og/eller over 30% silt. Der er derfor ingen diagnostisk sandet horisont i denne jordtype, ligesom der ikke findes en diagnostisk bleghorisont. Af diagnostiske B horisonter må der kun findes Bj eller Bv horisonter. Al horisonten skal være mellem 2 og 80 cm tyk, såfremt der under denne enten kommer en diagnostisk Bj horisont eller en C horisont, hvorimod Al blot skal være under 80 cm tyk, såfremt der er en diagnostisk Bv horisont. Der må ikke findes andre diagnostiske karakteristika, der kan kvalificere jorden til en anden orden, d.v.s. ingen diagnostisk bleghorisont, højtliggende kalk eller klippe, intet stuvningsgley eller grundvandsgley inden for de øverste 40 cm af profilen og ingen diagnostisk histisk horisont.

Lessivejorde

Lessivejorde er jorde med en Al horisont på under 80 cms tykkelse og med en diagnostisk lerakkumulationshorisont, der ikke er sammenfaldende med en diagnostisk Bh, Bs, Bsv eller Bvs horisont. Der er ikke højtliggende klippe eller kalkholdige aflejringer, der kan kvalificere jorden som rendzina eller ranker, og der er ikke grundvandsgley eller stuvningsgley inden for de øverste 40 cm af jorden, der kan kvalificere denne som stuvningsgleyjord

eller gleyjord, og der er ikke en diagnostisk histisk horisont, der kan kvalificere jorden som histosol.

Podzoler

Podzoler er jorde med en Al horisont på under 80 cms tykkelse og med en diagnostisk humus B horisont eller sesquioxid B horisont. Podzolen er ikke udviklet i en A2 horisont tilhørende en lessive. Der er ikke højtliggende klippe eller kalkholdige aflejringer, der kan kvalificere jorden som rendzina eller ranker, og der er ikke grundvandsgley eller stuvningsgley inden for de øverste 40 cm af jorden, der kan kvalificere jorden som stuvningsgleyjord eller gleyjord, og der er ikke en diagnostisk histisk horisont, der kan kvalificere jorden som histosol.

Kolluvialjorde

Kolluvialjorde er alle jorde med en Al horisont på over 80 cms tykkelse og som ikke har hydromorfe karaktertræk inden for de øverste 40 cm af jorden, der kan kvalificere denne som stuvningsgleyjord eller gleyjord, eller som i de øverste dele af jorden har så højt organisk indhold, at det kan kvalificere jorden som histosol. Kolluvialjorde vil normalt være dannet i lavninger i terrænet som følge af nedskyllet humusholdigt materiale fra de omkringliggende højere partier eller også ved gentagne påflyvninger af fx sand, æolisk kolluvium.

Stuvningsgleyjorde

Stuvningsgleyjorde er jorde med en diagnostisk stuvningsgleyhorisont begyndende inden for de øverste 40 cm af profilen. Profilen må ikke indeholde højtliggende klippe eller kalkholdige aflejringer, der kan kvalificere jorden som rendzina eller ranker, eller en diagnostisk histisk horisont.

Gleyjorde

Gleyjorde er jorde med grundvandsgley inden for de øverste 40 cm af jorden eller jorde, hvor Al horisonten er tydeligt præget af grundvand fx gennem en forøgelse af denne horisonts indhold af organisk materiale. Tykkelsen af en eventuel histisk horisont i profilen må ikke overstige 40 cm inden for de øverste 80 cm af profilen, og profilen indeholder ikke højtstående kalkklippe eller stærkt kalkholdigt materiale, der kan kvalificere jorden som rendzina, eller højtstående klippe, der kan kvalificere jorden som ranker.

Histosoler

Histosoler er alle jorde med en diagnostisk histisk horisont betinget af dårlig dræning.

Rendzinaer

Rendzinaer er jorde med højtstående kalkklippe eller stærkt kalkholdigt materiale, der opfylder kravene til en diagnostisk rendzinhorisont. Den maksimale tykkelse for det ovenliggende sediment med under 30% kalk er for rendzinaer 80 cm. Er Al horisonten under 30 cm tyk, må den maksimale dybde af den kalkfattige mineraljord ikke overstige 40 cm. Er Al horisonten tykkere end 30 cm, må den kalkfattige mineraljord under denne ikke overstige 10 cm.

Ranker

Rankere er jorde med højtliggende klippegrund, der ikke består af kalk. Den maksimale tykkelse af løst sediment er 80 cm. Er Al tyndere end 30 cm, må mineral jorden ikke overstige 40 cm. Er Al over 30 cm tyk, må mineral jorden under Al ikke overstige 10 cms tykkelse.

INDELING AF JORDENE PÅ GRUPPENIVEAU

Profilerne bliver på gruppeniveau inddelt på basis af:

- a) horisontfølgen
- b) Al horisontens tykkelse
- c) dybden ned til klippe eller stærkt kalkholdigt materiale
- d) horisonternes farve
- e) jordens tekstur og det organiske materiales omsætningsgrad
- f) dybden ned til horisont med grundvandsgley, pseudogley eller stuvningsgley.

Navngivningen på gruppeniveau foretages ved at sætte op til tre betegnelser foran navngivningen på ordensniveauet, således at første gruppebetegnelse står længst til højre og derved nærmest ordensbetegnelsen. Navnene samskrives, og der begyndes altid med stort bogstav, fx Gleytypipodzol. Gley og typi er i dette tilfælde klassifikationen på gruppeniveau, således at typi er første gruppebetegnelse, og gley er anden gruppebetegnelse.

Der kan for de fleste dybe ikke hydromorfe jorde gives tre betegnelser på gruppeniveau, og de er for de fleste jorde inddelt på følgende måde:

- a) karakteristik af horisontfølgen (1. gruppebetegnelse)
- b) karakteristik af grundvandsgley, stuvningsgley eller pseudogley (2. gruppebetegnelse)
- c) karakteristik af dobbeltprofiludvikling i samme jord (3. gruppebetegnelse)

Ved karakteristikken af horisontfølgen lægges der fx vægt på, om horisontfølgen er den typiske for ordenen, om profilen tekstorelt set er homogen,

om farven på horisonten opfylder visse betingelser, og om der er stærkt kalkholdige lag eller klippe i de øverste 80 cm af profilen. Podzoler inddeles fx på basis af horisontfølgen i Typipodzoler, der både har en tydelig B2h og B2s horisont, i Humuspodzoler, der kun har en veludviklet Bh horisont, i Sesquipodzoler, der mangler Bh horisonten, men har en rødbrun eller cementeret B2s horisont og i Brunpodzoler, der mangler Bh horisonten, og hvor B horisonten kun er brun eller mørkebrun. Endvidere vil højtstående stærkt kalkholdige lag eller klippe medføre, at podzolen klassificeres som Rendzinpodzol eller Rankerpodzol, og tynde podzoler klassificeres som Initialpodzoler.

Foran karakteristikken af horisontfølgen beskrives normalt profilens dræningstilstand, såfremt der er hydromorfe karakteristika inden for bestemte dybder i profilen. Er der begyndende grundvandsgley eller stuvningsgley imellem 40 og 80 cms dybde skrives gley eller stuvningsgley foran karakteristikken af horisontfølgen, d.v.s. at der ved gleybenævnelsen er underforstået grundvandsgley. Er der begyndende pseudogleydannelse inden for de øverste 80 cm af jorden, skrives pseudogley foran karakteristikken af horisontfølgen. Ved pseudogley forstås en overfladevandsbetinget marmorering af profilen, der ikke opfylder kravene til stuvningsgley (se punkt k under diagnostiske horisonter). Er der både grundvandsgley og pseudogley inden for de ovennævnte grænser, anvendes kun benævnelsen gley. Ligger gleyprægenes overgrænser over eller under de ovennævnte grænser, karakteriserer disse profilerne på respektivt ordens- og serieniveau, og der foretages ingen beskrivelse af dræningstilstanden på gruppeniveau. Et eksempel på en profil, hvor dræningstilstanden indgår på gruppeniveau, kan fx være Gleytypipodzol, d.v.s. en podzol med både Bh og Bs horisont, og hvor der samtidig er grundvandsgley begyndende imellem 40 og 80 cms dybde.

Den tredje karakteristik på gruppeniveau anvendes til at beskrive dobbeltprofiludviklinger i samme udgangsmateriale, d.v.s. at der er foregået to pedologiske processer med dannelse af diagnostiske B horisonter inden for samme profil. Som eksempel på dette kan nævnes podzoludvikling i en A2 horisont tilhørende en lessivejord, d.v.s. en jord med lernedslerning. Der er altså ikke tale om en profiludvikling i et sediment, der er pålagt en fuldt udviklet profil, som det fx ofte vil være tilfældet på flyvesandsjorde. Da disse jorde med dobbeltprofiludvikling er forholdsvis sjældne, er det sjældent, at der anvendes tre karakteristika på gruppeniveau. Som eksempel på en sådan profil kan nævnes Podzolphypodgleytypilessive, hvor der i en lessivejord findes tydeligt pseudogleypræg inden for de øverste 80 cm af jorden, og hvor der i A2 horisonten tilhørende lessivejorden er udviklet en podzol.

For de dybe hydromorfe jorde anvendes også op til tre betegnelser på gruppeniveau på nær for stuvningsgleyjorde, der på grund af manglende feltobservationer indtil videre kun er ufuldstændigt klassificeret på gruppeniveau. For gleyjorde anvendes den første gruppebetegnelse til beskrivelse af dybden under terræn for de stærkt reducerede horisonter, Al horisontens tykkelse og humusindhold samt tilstedeværelsen af klippe og stærkt kalkholdigt materiale, medens anden gruppebetegnelse anvendes til at beskrive andre tydelige pedologiske udviklinger i profilen, fx podzoler eller lessivering. Den tredje gruppebetegnelse anvendes til at udskille kalkholdige ikke rendzinagtige gleyjorde. Ved histosolerne (tørvejorde) anvendes første gruppebetegnelse til at beskrive det organiske materials omsætningsgrad,

den anden gruppebetegnelse anvendes til at beskrive pedologiske udviklinger i profilen samt tilstedeværelsen af højtstående klippe eller stærkt kalkholdigt materiale, medens den tredje gruppebetegnelse anvendes til at udskille kalkholdige ikke rendzinagtige histosoler.

For de ikke dybe jorde har rendzinaer tre gruppebetegnelser, medens rankere indtil videre kun har 2 gruppebetegnelser. Den første gruppebetegnelse for rendzinaer omhandler den diagnostiske rendzinhorisonts tilstand, medens anden gruppebetegnelse beskriver et eventuelt gleypræg eller andre hydromorfe karaktertræk inden for de øverste 80 cm af jorden. Den tredje gruppebetegnelse beskriver jordlagene over det stærkt kalkholdige materiale. For rankere beskriver første gruppebetegnelse sedimentdækkets tykkelse og horisontfølge, medens anden gruppebetegnelse beskriver tydelige hydromorfe karakteristika ved profilen.

Beskrivelse og definition af de enkelte jordtyper på gruppeniveau

Ved beskrivelse af jordtyperne på gruppeniveau defineres først typerne på første gruppeniveau og derefter typerne på andet og tredje gruppeniveau, hvis sådanne forekommer. Ved definition af jordene defineres først den typiske profil ud fra et sæt punkter, der skal være opfyldte. Ud fra disse punkter defineres derefter de øvrige typer på de tre gruppeniveauer. De punkter, der skal være opfyldt, sættes i parentes med + foran, de punkter, der ikke må være opfyldt, sættes i parentes med - foran, medens de punkter, der både kan være opfyldt og ikke opfyldt, sættes i parentes med ! foran.

Råjorde

Første gruppeniveau

1A) Typiråjord: (A1+A2)-C, hvor følgende karakteristika er opfyldt:

- a) C horisonten er ikke en diagnostisk bleg-horisont.
- b) Profilen indeholder ikke lag med over 5% CaCO_3 , der har en samlet tykkelse på over 40 cm inden for de øverste 120 cm af profilen.
- c) Der findes ingen diagnostisk rendzinhorisont.
- d) Der findes ingen diagnostisk rankerhorisont.
- e) Der er intet gleypræg inden for de øverste 80 cm af profilen.

1B) Blegråjord: (A)-Cn +(b,c,d,e),-(a)

1C) Kalkråjord: (A)-Cc +(c,d,e),-(b),!(a)

1D) Rendzinråjord: (A)-(R) +(d,e),-(c),!(a,b)

1E) Rankerråjord: (A)-R +(e),-(d),!(a,b,c)

Andet gruppeniveau

Hvis punkt e ikke er opfyldt, skrives enten gley, stuvningsgley eller pseudogley foran navnet på første gruppeniveau.

1BA) Gleyblegråjord : (A)-Cn-Cno +(b,c,d)(a,e)

1AC) Pseudogleytypiråjord : (A)-C-Cg +(a,b,c,d),-(e)

Tredie gruppeniveau

Der er ikke defineret nogen jordtype på dette niveau.

BlegsolerFørste gruppeniveau

2A) Typiblegsole: Al-(Bjn)-Cn, hvor følgende karakteristika er opfyldt:

- a) Der er sammenlagt mindre end 20 cm ikke blegt materiale inden for de øverste 120 cm af profilen.
- b) Profilen indeholder ikke kalkholdige lag (> 5% CaCO₃) med en samlet tykkelse på over 40 cm inden for de øverste 120 cm af profilen.
- c) Der findes ingen diagnostisk rendzinhorisont.
- d) Der findes ingen diagnostisk rankerhorisont.
- e) Der er intet gleypræg inden for de øverste 80 cm af profilen.

2B) Blandingsblegsole: Al-(Bjn)-Cn-C +(b,c,d,e),-(a)

2C) Kalkblegsole: Al-(Bjn)-Cn +(c,d,e),-(b),!(a)

2D) Rendzinblegsole: Al-(Bjn)-Cn-(R) +(d,e),-(c),! (a,b)

2E) Rankerblegsole: Al-(Bjn)-Cn-R +(e),-(d),!(a,b,c)

Andet gruppeniveau

Hvis punkt e ikke er opfyldt skrives gley, stuvningsgley eller pseudogley foran betegnelsen på første gruppeniveau, fx:

2AA) Gleytypiblegsole : A-Bnj-Cn-Cno +(a,b,c,d) ,-(e)

2CA) Gleykalkblegsole : A-Bnj-Cn-Cno +(c,d),-(b,e),!(a)

Tredie gruppeniveau

Der er ikke defineret nogen jordtype på dette niveau.

Brunsoler

Første gruppeniveau

3A) Typibrunsol: Al-Bv-C, hvor følgende karakteristika er opfyldt:

- a) Profilen har en diagnostisk farvet B horisont, der når ned under 30 cms dybde.
- b) Den sandede diagnostiske horisont når ned til 120 cms dybde.
- c) Profilen har ikke kalkholdige lag ($> 5\%$ CaCO_3) med en samlet tykkelse på over 40 cm inden for de øverste 120 cm af profilen.
- d) Profilen har ingen diagnostisk rendzin-horisont.
- e) Der er ingen diagnostisk rankerhorisont.
- f) Der er intet gleypræg inden for de øverste 80 cm af profilen.

3B) Strukturbrunsol: Al-(Bj)-C +(b,c,d,e,f),-(a)

3C) Blandingsbrunsol: Al-(Bv,j)-C-IIc +(c,d,e,f),-(b),!(a)

3D) Kalkbrunsol : Al-(Bv,j)-C-(IIc) +(d,e,f),-(c),!(a,b)

3E) Rendzinbrunsol:Al-(Bv,j)-C-(R) +(e,f),-(b,d),!(a,c)

3F) Rankerbrunsol: Al-(Bv,j)-C-R +(f),-(b,e),!(a,c,d)

Andet gruppeniveau

3BA) Gleystrukturbrunsol : A-Bj-C-Co +(b,c,d,e),-(a,f)

3CC) Pseudogleyblandingsbrunsol : A-(Bj,v)-Cg-IIc
+(c,d,e), -(b,f),!(a)

Tredie gruppeniveau

Der er ikke defineret nogen jordtype på dette niveau.

Brunjorde

Første gruppeniveau

4A) Typibrunjord : Al-Bv-C, hvor følgende karakteristika er opfyldt:

- a) Profilen har en diagnostisk farvet B horisont, der når ned under 30 cms dybde.
- b) Der er ikke lag med en samlet tykkelse på over 10 cm inden for de øverste 120 cm af profilen, hvor lerindholdet er under 8% og siltindholdet er under 30%.
- c) Profilen har ikke kalkholdige lag ($> 5\%$ CaCO_3) med en samlet tykkelse på over 40 cm inden for de øverste 120 cm af profilen.

- d) Profilen har ingen diagnostisk rendzinhorisont.
- e) Der er ingen diagnostisk rankerhorisont.
- f) Der er intet gleypræg inden for de øverste 80 cm af profilen.

4B) Strukturbrunjord : Al-(Bj)-C +(b,c,d,e,f) ,-(a)
 4C) Blandingsbrunjord : Al-(Bv,j)-C-IIIC + (c,d,e,f) ,-(b) ,!(a)
 4D) Kalkbrunjord : Al-B(j) (v)-C-(IIIC) +(d,e,f) ,-(c) ,!(a,b)
 4E) Rendzinbrunjord : Al-(Bv,j)-C-(R) +(e,f) ,-(d) ,!(a,b,c)
 4F) Rankerbrunjord : Al-(Bv,j)-C-R +(f) ,-(e) ,!(a,b,c,d)

Andet gruppeniveau

Hvis punkt f ikke er opfyldt skrives gley, stuvningsgley eller pseudogley foran navnet på første gruppeniveau.

4AC) Pseudogleytypibrunjord : A-Bv-Cg +(a,b,c,d,e) ,-(f)
 4DA) Gleykalkbrunjord : A-Bv-Co + (d,e) ,-(c,f) ,!(a,b)

Tredie gruppeniveau

Der er ikke defineret nogen jordtype på dette niveau.

Lessivejorde

Første gruppeniveau

5A) Typilessive: Al-(A2)-Bt-C, hvor følgende karakteristika er opfyldt:

- a) Profilen er udviklet i et relativt homogent udgangsmateriale, d.v.s. at der ikke er geogenetisk betingede markante teksturelle ændringer i profilen.
- b) Lerakkumulationen i B2t horisonten er i overvejende grad ikke båndet.
- c) De øverste 20 cm af B2t horisonten må ikke være så degraderet, at over halvdelen af horisonten består af A2 materiale.
- d) Profilen har ikke kalkholdige lag (> 5% CaCO₃) med en samlet tykkelse på over 40 cm inden for de øverste 120 cm af profilen.
- e) Der er ingen diagnostisk rendzinhorisont.
- f) Der er ingen diagnostisk rankerhorisont.
- g) Der er intet gleypræg inden for de øverste 80 cm af profilen.
- h) Der er ingen dobbeltprofiludvikling i profilen, der har betinget dannelse af andre diagnostiske B horisonter.

- 5B) Blandingslessive: Al-A2-Bt-IIC +(b,c,d,e,f,g,h),-(a)
 5C) Båndlessive: Al-A2-Btd-C +(c,d,e,f,g,h),-(b),!(a)
 5D) Degralessive: Al-A2-Bty-C +(d,e,f,g,h),-(c),!(a,b)
 5E) Kalklessive: Al-A2-Bt-C +(e,f,g,h),-(d),!(a,b,c)
 5F) Rendzinlessive: Al-A2-Bt-(C)-(R) +(f,g,h),-(e),!(a,b,c,d)
 5G) Rankerlessive: Al-A2-Bt-(C)-R +(g,h)(f),!(a,b,c,d,e)

Andet gruppeniveau

Hvis punkt g ikke er opfyldt skrives gley, stuvningsgley eller pseudogley foran navnet på første gruppeniveau, fx:

- 5AA) Glytypilessive : Al-A2-Bto-Co +(a,b,c,d,e,f,h),-(g)
5DC) Pseudogleydegralessive : Al-A2g-Btg-Cq + (d,e,f,h),-(c,g) !(a,b)

Tredie gruppeniveau

Hvis punkt h ikke er opfyldt på grund af udviklingen af en podzol, brunjord eller brunsol i lessive A2 horisonten, beskrives dette på tredje gruppeniveau. Podzol, brunjord eller brunsol skrives foran navnet på andet gruppeniveau eller på første gruppeniveau alt efter om der er gleypræg inden for de øverste 80 cm af jorden eller ej.

- 5C3) Brunsolbåndlessive : Alø-Bvø-A2-Btd-C + (c,d,e,f,g) ,-(b,h) ,!(a)
5DC6) Podzolphseudogleydegradlessive : Alø-A2ø-Bsø-A2-Bty-C
+(d,e,f)-(c,g,h),!(a,b)

Podzoler

Første gruppeniveau

6A) Typipodzol: Al-(A2)-Bh-Bs-C, hvor følgende karakteristika er opfyldt:

- a) Profilen har en diagnostisk Bh horisont.
- b) Profilen har enten en diagnostisk Bs, Bsv eller Bvs horisont.
- c) Den diagnostiske Bh horisont er tyndere end de øvrige B horisonter tilsammen.
- d) Overgangen til C horisonten ligger dybere end 30 cm under terræn.
- e) Der er ingen diagnostisk rendzinhorisont.
- f) Der er ingen diagnostisk rankerhorisont.
- g) Der er intet gleypræg inden for de øverste 80 cm af profilen.
- h) Der er ingen dobbeltprofiludvikling, der har betinget dannelsen af andre diagnostiske B horisonter.

- 6B) Humuspodzol: Al-(A2)-Bh-(Bs)-C +(a,d,e,f,g,h),-(c),!(b)
6C) Sesquipodzol: Al-(A2)-Bs-C +(b,d,e,f,g,h),-(a)

- 6D) Brunpodzol: Al-(A2)-Bvs-Bsv-C +(b,d,e,f,g,h),-(a)
(brun diagnostisk sesquioxid B horisont)
- 6E) Initialpodzol: Al-(A2)-B (h,s,vs,sv)-C
+(e,f,g,h)+(a og/eller b),-(d),!(a eller b)
- 6F) Rendzinpodzol: Al-(A2)-(Bh)-Bs-C-(R) +(f,g,h)+(a eller b),-(e),!(a,b,d)
- 6G) Rankerpodzol: Al-(A2)-(Bh)-Bs-R +(g,h)+(a eller b),-(f),!(a,b,c,d)

Andet gruppeniveau

Hvis punkt g ikke er opfyldt skrives gley, stuvningsgley eller pseudogley foran navnet på første gruppeniveau, fx:

- 6AA) Gleytypipodzol : Al-(A2)-Bh-Bs-Co +(a,b,c,d,e,f,h),-(g)
- 6DA) Gleybrunpodzol : Al-(A2)-Bsv-Co +(b,c,d,e,f,h),-(a,g)

Tredie gruppeniveau

Hvis punkt h ikke er opfyldt fx på grund af udviklingen af en lessive B horisont i samme dybde som podzol B horisonten, beskrives dette på tredie gruppeniveau, fx:

- 6A5) Lessivetyipodzol : Al-(A2)-Bh-Bst-C +(a,b,c,d,e,f,g),-(h)
- 6D5) Lessivebrunpodzol : Al-(A2)-Bsvt-C + (b,c,d,e,f,g),-(a,h)

Kolluvialjorde

Første gruppeniveau

7A) Typikolluvialjord : Al-(Bj,v)-C, hvor følgende karakteristika er opfyldt :

- a) Al er over 120 cm tyk.
- b) Er Al mellem 80 cm og 120 cm tyk, må der ikke under Al findes en Bt horisont.
- c) Er Al mellem 80 cm og 120 cm tyk, må der ikke under Al findes en Bh, Bs, Bsv eller Bvs horisont.
- d) Profilen har ikke kalkholdige lag (> 5% CaCO₃) med en samlet tykkelse på over 40 cm inden for de øverste 120 cm af profilen.
- e) Er Al mellem 80 cm og 120 cm tyk, må der ikke under Al findes kalkklippe eller kalkholdigt materiale (>30% CaCO₃, >10 cm tykt), med mindre der er over 10 cm B eller C materiale mellem Al og det stærkt kalkholdige materiale.
- f) Er Al mellem 80 cm og 120 cm tyk, må der under Al ikke findes kalkfri klippe, med mindre der er over 10 cm B eller C materiale mellem Al og den kalkfrie klippe.

- g) Der er ikke gley inden for de øverste 80 cm af profilen.

7B) Lessivekolluvialjord : Al-(A2)-Bt-C + (c,d,e,f,g) ,-(a,b)
 7C) Podzolkolluvialjord : Al-(A2)-Bh-Bs-C +(d,e,f,g) ,-(a,c) ,(b)
 7D) Kalkkolluvialjord : Al-C + (e,f,g) ,-(d) ,(a,b,c)
 7E) Rendzinkolluvialjord : Al-(B)-(R) +(f,g) ,-(a,e) ,(b,c,d)
 7F) Rankerkolluvialjord : Al-(B)-R + (g) ,-(a,f) ,(b,c,d,e)

Andet gruppeniveau

Hvis punkt g ikke er opfyldt skrives gley, stuvningsgley eller pseudogley foran navnet på første gruppeniveau, fx:

7AA) Gleytypikolluvialjord : All-Al2o-Co +(a,d) eller (b,c,d,e,f) ,-(g)

Tredie gruppeniveau

Der er ikke defineret nogen jordtype på dette niveau.

Stuvningsgleyjorde

Første gruppeniveau

8A) Typistuvningsgley: Alg-Cg-C, hvor følgende karakteristika er opfyldt:

- Der er ingen diagnostisk podzol B horisont i profilen.
- Der er ingen diagnostisk lessive B horisont i profilen.
- Profilen har ikke kalkholdige lag (>5% CaCO₃) med en samlet tykkelse på over 40 cm inden for de øverste 120 cm af profilen.
- Profilen har ingen diagnostisk rendzinhorisont.
- Der er ingen diagnostisk rankerhorisont.

8B) Podzolstuvningsgley : Alg-A2g-Bsvg-Cg-C +(b,c,d,e) ,-(a)
 8C) Lessivestuvningsgley : Alg-A2g-Btg-C +(c,d,e) ,-(b) ,(a)
 8D) Rendzinstuvningsgley : Alg-Cg-C-(R) +(e) ,-(d) ,(a,b,c)
 8E) Rankerstuvningsgley : Alg-Cg-C-R +(c) ,-(e) ,(a,b,d)

Andet gruppeniveau

Der er ikke defineret nogen jordtype på dette niveau.

Tredie gruppeniveau

Hvis punkt c ikke er opfyldt på nær for Rendzinstuvningsgley skrives kalk foran navnet på første gruppeniveau, fx:

8CA) Kalklessivestuvningsgley : Alg-A2g-Btg-C +(d,e),-(b,c),!(a)

Gleyjorde

Første gruppeniveau

9A) Typigley: Al(h)-(Bo)-Co-Cr, hvor følgende karakteristika er opfyldt:

- a) Profilen indeholder enten en Cr horisont begyndende mellem 80 og 120 cms dybde og/eller et humøst profilkarakteristikum.
- b) Profilen indeholder ikke et histisk profilkarakteristikum, og Cr horisonten begynder ikke inden for de øverste 80 cm af profilen.
- c) Al horisonten er under 80 cm tyk.
- d) Der er ikke kalkholdige lag ($> 5\% \text{ CaCO}_3$) med en samlet tykkelse på over 40 cm inden for de øverste 120 cm af profilen.
- e) Der er ingen diagnostisk rendzinhorisont.
- f) Der er ingen diagnostisk rankerhorisont.
- g) Der forekommer ikke diagnostiske Bt, Bh, Bs, Bsv eller Bvs horisonter i profilen, ligesom der ikke forekommer nogen diagnostisk bleghorisont.

9B) vådgley : (O)-Alo-(Bo)-Cr +(c,d,e,f,g),-(b),!(a)

9C) Brungley : Alo-(Bo)-Co +(b,c,d,e,f,g),-(a)

9D) Kolluvialgley : Alo-Co,r +(d,f,g),-(c),!(a,b,e)

9E) Rendzingley : Alo-Co,r-(R) +(c,f,g),-(e),!(a,b,d)

9F) Rankergley : Alo-Co,r-R +(c,d,g),-(f),!(a,b,e)

Andet gruppeniveau

Hvis punkt g ikke er opfyldt på grund af tilstedeværelsen af en diagnostisk podzol B horisont, lessive B horisont eller bleghorisont, skrives podzol, lessive eller bleg foran navnet på første gruppeniveau, fx:

9A6) Podzoltypigley : Alo-A2o-Bso-Co-Cr + (a,b,c,d,e,f),-(g)

9D2) Blegkolluvialgley : Al-Cno +(d,f),-(c,g),!(a,b,e)

Tredie gruppeniveau

Hvis punkt d ikke er opfyldt, beskrives dette på tredie gruppeniveau med termen kalk, fx:

9AA) Kalktypigley : Al(h)-(Bo)-Co-Cr +(a,b,c,e,f,g),-(d)

9A5A) Kalklessivetypigley : Alo-A2o-Bto-Co +(a,b,c,e,f),-(d,g)

Histosoler

Første gruppeniveau

10A) Fibrihistosol: Oi-Co,r, hvor følgende karakteristika er opfyldt:

- a) Over 75% af den diagnostiske histiske horisont består af ringe omsat tørvemateriale (> 66% fibre).
- b) Der er ikke kalkholdige lag (>5% CaCO_3) med en samlet tykkelse på over 40 cm inden for de øverste 120 cm af profilen.
- c) Der er ingen diagnostisk rendzinhorisont.
- d) Der er ingen diagnostisk rankerhorisont.
- e) Der er ingen diagnostisk podzol B horisont eller lessive B horisont i profilen.

10B) Hemihistosol : Oe-Co,r +(b,c,d,e),-(a)
Mere end 75% af den diagnostiske histiske horisont består af delvis omsat tørv.
(mellem 33% og 66% fibre)

10C) Saprihistosol : Oa-Co,r +(b,c,d,e),-(a)
Mere end 75% af den diagnostiske histiske horisont består af meget omsat tørv.
(< 33% fibre)

10D) Koprohistosol : L-Co,r + (b, c, d, e) , - (a)
Mere end 75% af den diagnostiske histiske horisont består af gytje.

10E) Blandingshistosol : 0-Co,r +(b,c,d,e),-(a)
Ingen tørve- eller gytjetyper udgør over 75% af den diagnostiske histiske horisont.

Andet gruppeniveau

Hvis punkt c,d og e ikke er opfyldt, beskrives dette på andet gruppeniveau, fx:

10AA) Rendzinfibrihistosol : Oi-Co-(R) + (a,d),-(c),!(b,e)

10AB) Rankerfibrihistosol : Oi-Co-R + (a,b) ,-(d),!(c,e)

10AC) Podzolfibrihistosol : Oi-A2o-Bso-Co +(a,b,c,d),-(e)

10AD) Lessivefibrihistosol : Oi-A2o-Bto-Co + (a,b,c,d) ,-(e)

Tredie gruppeniveau

Hvis punkt b ikke er opfyldt på nær for histosoler med rendzin på første gruppeniveau, beskrives dette på tredie gruppeniveau ved at skrive kalk for- an første eller anden gruppebetegnelse, fx:

10ADE) Kalklessivefibrihistosol : Oi-A2o-Bto-Co +(a,c,d),-(b,e)

10AE) Kalkfibrihistosol : Oi-Co + (a,c,d,e) ,-(b)

Rendzinaer

Første gruppeniveau

11A) Typirendzina: Al-(B)-R, hvor følgende karakteristika er opfyldt:

- a) Den diagnostiske rendzinhorisont består hovedsagelig eller helt af kalkklippe.
- b) Den diagnostiske rendzinhorisont har kontinuert over 30% CaCO_3 i de øverste 40 cm.
- c) Mineraljorden mellem Al og den diagnostiske rendzinhorisont er ikke tykkere end 10 cm.
- d) Der er ikke tydelige hydromorfe karakteristika i lag med en samlet tykkelse på over 10 cm inden for de øverste 80 cm af profilen.

11B) Sedirendzina : A-C +(b,c,d) ,-(a)
Den diagnostiske rendzinhorisont er en løs sedimentær aflejring.

11C) Blandingsrendzina : A-C-R +(c,d),-(b),!(a)

Andet gruppeniveau

Hvis punkt d ikke er opfyldt, beskrives dette på andet gruppeniveau med termen gley, fx:

11AE) Gleytypirendzina : Alo-Co-(R) +(a,b,c),-(d)

Tredie gruppeniveau

Hvis punkt c ikke er opfyldt, beskrives jordbundsudviklingen i mineraljorden mellem Al og det stærkt kalkholdige lag på tredie gruppeniveau, fx:

11AA) Bruntypirendzina : Al-(Bv,j)-R +(a,b,d),-(c)
I et ikke blegt materiale er der maksimalt udviklet en farvet eller strukturel B horisont.

11AB) Blegtypirendzina : Al-Bn-R +(a,b,d),-(c)
Mineraljorden under Al er bleg.

11AC) Podzoltypirendzina : Al-A2-Bs-C-R +(a,b,d),-(c)
I mineraljorden under Al findes en podzol B horisont.

11AD) Lessivtypirendzina : Al-A2-Bt-R +(a,b,d),-(c)
I mineraljorden under Al findes en lessive B horisont.

Rankere

Første gruppeniveau

12A) Typiranker: Al-(BC)-R, hvor følgende karakteristika er opfyldt:

- a) Al + (BC) er over 10 cm tyk.
- b) Al + (A₂,B,C) er under 40 cm tyk.
- c) (A₂,B,C) er under 10 cm tyk.
- d) Der er ikke gleypræg i sedimentdækket i en afstand på mere end 5 cm fra R horisonten.

12B) Kolluvialranker : Al-R +(a,c,d), -(b)

12C) Lithoranker : Al-R +(b,c,d), -(a)

12D) Råjordsranker : (Al)-C-R + (a,b,d), -(c)
En råjord er udviklet i mineraljorden.

12E) Blegranker : Al-Cn-R +(a,b,d), -(c)

Mineraljorden er bleg.

12F) Brunranker : Al-Bv,j-C-R + (a,b,d), -(c)

Der er udviklet en brunjord eller en brunsol i mineraljorden.

12G) Podzolranker : Al-A₂-BS-C-R +(a,b,d), -(c)

Der er udviklet en podzol B horisont i mineraljorden.

12H) Lessiveranker : Al-A₂-Bt-C-R +(a,b,d), -(c)

En lessive B horisont er udviklet i mineraljorden.

Andet gruppeniveau

Hvis punkt d ikke er opfyldt, skrives gley foran navnet på første gruppeniveau, fx:

12HA) Gleylessiveranker : Al-A₂o-Bto-R + (a,b), -(c,d)

Tredie gruppeniveau

Der er ikke defineret nogen jordtype på dette niveau.

INDELING AF JORDENE PÅ SERIENIVEAU

Ved inddeling af jordene på serieniveau anvendes profilkarakteristika, der enten beskriver tilstedeværelsen af visse horisonter inden for givne dybder eller også forskellige horisonTERS jordbundskemiske og -fysiske tilstand. Indeholder en profil ingen af de nedenstående profilkarakteristika, stoppes navngivningen på gruppeniveau. Er der flere profilkarakteristika ved en profil, sættes navnene efter hinanden foran gruppenavnet. Alle navne på serieniveau begynder med lille bogstav, og en jord klassificeret på serieniveau kan fx være placisk gleyet Typipodzol, hvor placisk og gleyet er navn-

givningen på serieniveau. Der er teoretisk ingen begrænsning for antallet af termer på serieniveau, og de nedenfor angivne profilkarakteristika kan til enhver tid suppleres med nye. Indgår der på ordensniveauet eller på gruppeniveauet en beskrivelse af en karakter ved profilen, som også kunne opfylde et profilkarakteristikum, udelades denne på serieniveauet, som fx termerne degraderet og kalkholdig.

Profilkarakteristika, der beskriver AI eller O horisonten:

- a) kolluvialt profilkarakteristikum: AI horisont på mellem 40 og 80 cms tykkelse.
- b) humusfattigt profilkarakteristikum: En over 10 cm tyk AI horisont med under 1% organisk stof som gennemsnit i alle 10 cm intervaller inden for AI.
- c) humøst profilkarakteristikum: En over 10 cm tyk AI horisont med mellem 7% og 20% organisk materiale som gennemsnit i et 10 cm interval inden for AI horisonten.
- d) histisk profilkarakteristikum: O horisont på mellem 10 og 40 cms tykkelse.
- e) entic profilkarakteristikum: En under 10 cm tyk AI horisont.
- f) mor profilkarakteristikum: Et over 10 cm tykt morlag, hvor fermentationslaget og humuslaget tilsammen er over 6 cm tykt.

Profilkarakteristika, der beskriver dræningstilstanden:

- g) gleyet profilkarakteristikum: Grundvandsgley begyndende mellem 80 og 120 cm under terræn.
- h) stuvningsgleyet profilkarakteristikum: Stuvningsgley begyndende mellem 80 og 120 cm under terræn.
- i) pseudogleyet profilkarakteristikum: Pseudogley begyndende mellem 80 og 120 cm under terræn.

Profilkarakteristika, der i overvejende grad beskriver horisonter under AI

- j) bleget profilkarakteristikum: En profil med over 40 cm blegt materiale inden for de øverste 120 cm af profilen, og som ikke kvalificerer jorden som blegsol. Ved blegt materiale forstås materiale med de farver, der er angivet under diagnostisk bleghorisont.

- k) degraderet profilkarakteristikum: Bt eller Bs horisonter, der er mere eller mindre gennemskåret af ofte lodretgående tunger af A2 materiale.
- l) fragi profilkarakteristikum: En over 10 cm tyk fragipan (hårdt sammenpresset lag) begyndende inden for de øverste 120 cm af profilen.
- m) placisk profilkarakteristikum: Placisk horisont (tynd stærkt cementeret horisont) begyndende inden for de øverste 120 cm af profilen.
- n) hærdnet profilkarakteristikum: Et over 10 cm tykt kontinuert moderat til stærkt cementeret lag, hvis øvre grænse findes inden for de øverste 120 cm af jorden.
- o) natrisk profilkarakteristikum: En over 10 cm tyk horisont inden for de øverste 120 cm af jorden, hvor ombytteligt natrium udgør over 15% af CEC-værdien.
- p) kalkholdigt profilkarakteristikum: Jordlag med en samlet tykkelse på over 10 cm inden for de øverste 120 cm af jorden, og som har over 1% CaCO_3 , der ikke er jordbrugskalk. Kalkindholdets størrelse og placering i profilen må ikke kunne kvalificere jorden som rendzin på noget niveau i klassifikationssystemet eller som kalk på gruppeniveau.
- q) rendzin profilkarakteristikum: Kalksten eller kalkholdig horisont begyndende mellem 80 og 120 cms dybde, og hvor følgende krav er opfyldt:
 - Der er mere end 30% CaCO_3 i de øverste 10 cm af horisonten.
 - Over halvdelen af de øverste 80 cm af horisonten indeholder over 30% CaCO_3 .
- r) ranker profilkarakteristikum: Kalkfri klippe, der begynder mellem 80 og 120 cms dybde.
- s) ordensnavn + agtig, fx lessiveagtig: Dette profilkarakteristikum anvendes, hvor to pedologiske udviklinger, der kunne kvalificere profilen på ordensniveau, er foregået, men hvor den ene af udviklingerne er så svag, at der ikke er udviklet en diagnostisk horisont. Antages fx en brunjord at have svage tegn på lernedslemning, kan profilen fx klassificeres som lessiveagtig Typibrunjord, ligesom en under 10 cm tyk Bvs horisont kan kvalificere jorden som en podzolagtig Strukturbrunsol.

Profilkarakteristika, der beskriver dobbeltprofiludviklinger

- u) top + ordensnavn profilkarakteristikum, fx topråjord eller topbrunsol: Dette profilkarakteristikum anvendes ved dobbeltprofiler, hvor profilerne er udviklet uafhængigt af hinanden i to i hvert fald tidsmæssigt forskellige sedimentter, som fx hvor en profil udviklet i flyvesand overlejrer en profil udviklet i leret till. Er den øvre profil over 10 cm tyk, og begynder den underliggende profil inden 60 cms dybde, angives det øvre profils ordensnavn på serieniveau med topbenævnelser foran. Er der udviklet flere profiler i det øvre sedimentdække i forbindelse med fx flere påflyvninger, angives den stærkest udviklede profils ordensnavn på serieniveau. Den begravede profil, der begynder inden 60

cms dybde, kvalificerer jorden på ordensniveau. Er en lessivejord fx overlejret af 50 cm flyvesand, i hvilken der er udviklet en podzol, vil jorden blive klassificeret som fx toppodzol Pseudogletypilessive.

- v) sub + ordensnavn profilkarakteristikum, fx subpodzol Typibrunsol: Dette profilkarakteristikum anvendes ved dobbeltprofiler, hvor profilerne er udviklet uafhængigt af hinanden i to forskellige sedimenter eller på samme sedimenttype, men da aflejret på vidt forskellige tidspunkter. Er den øvre profil udviklet på et sedimentdække, der er over 60 cm tykt, kvalificerer denne jorden på ordensniveau, medens den underliggende profil, der begynder mellem 60 og 120 cms dybde, kvalificerer jorden på serieniveau med benævnelsen sub foran denne profils ordensnavn. Overlejrer en brunsol udviklet i et 70 cm tykt sedimentdække en Typilessive, vil jorden fx blive klassificeret som sublessive Strukturbrunsol.

INDELING AF JORDENE PÅ FASENIVEAU

Ved inddeling af jordene på faseniveau anvendes jordens pH målt i omkring 1 meters dybde og den dominerende tekstur i dybden 0-40 cm og 80-120 cm. Der er ikke som på de 3 andre niveauer en egentlig navngivning af profilen på faseniveauet, idet tekstur- og pH-forhold angives til højre for selve profilnavnet. Den dominerende tekstur i 0-40 cm og 80-120 cm angives efter den inddeling, der er anvendt på teksturdiagrammet, fig. 8. Teksturen i 0-40 cm angives først, og er teksturklassen den samme i 80-120 cms dybde, angives teksturen kun med et navn. I histosoler beskrives teksturen kun i 80-120 cms dybde, idet navngivningen af histosoler på gruppeniveau angiver tørvetypen i de øverste lag. Er tørvelaget tykkere end 80 cm, men tyndere end 100 cm, angives teksturen i den underliggende mineraljord; er tørvelaget tykkere end 100 cm, karakteriseres tørvelaget fra 80 cm og ned til maksimalt 120 cms dybde. I rendzinaer angives kun teksturen af mineraljorden inden for de øverste 40 cm af jorden.

Efter teksturbetegnelsen angives jordens pH målt i ca. 1 meters dybde efter nedenstående tabel 4.

Tabel 4: Beskrivelse af pH i ca. 1 meters dybde.

Description of pH in a depth of 1 metre.

pH (CaCl ₂)	2-3 = meget stærkt sur
	3-4 = stærkt sur
	4-5 = sur
	5-6 = svagt sur
	6-7 = neutral
	7-8 = basisk
	8-9 = stærkt basisk

En fuldstændig beskrivelse af en jordbundsprofil kan da være følgende:

placisk Typipodzol; sand/siltet sand, sur
 Fibrihistosol; 1er, svagt sur
 pseudogleyet Podzoltypilessive; leret siltet sand/ler, sur.

Klassifikation af begravede jorde

Begravede jorde beskrives generelt som angivet under serieniveau med top- eller subbetegnelsen. For jorde uden humøse eller histiske toplag kan betegnelsen topkolluvial ikke forekomme, idet en kolluvial Al horisont på mellem 40 og 80 cms tykkelse kvalificerer jorden på serieniveau med betegnelsen kolluvial. I jorde med humøse eller histiske toplag, hvorover der findes en Al horisont med væsentligt mindre organisk stof, anvendes betegnelsen topkolluvial, såfremt den kolluviale humusfattigere Al er mellem 10 og 80 cm tyk.

Ved klassifikation af de begravede profiler på gruppeniveau anvendes overfladen for den profil, der kvalificerer jorden på ordensniveau, som referenceflade ved navngivningen. Ved begravede jorde kan gleybetegnelsen altså angive grundvandsgley inden for et andet interval end det, der er gældende for ikke begravede jorde.

Klassifikationssystemet i numerisk form

Det er, som vist i tabel 3, muligt at angive klassifikationerne i numerisk form, og som eksempel på dette kan nævnes:

histisk vådgley	4 - 0,0,2	- 9
Lessivebrunpodzol	0 -25,0,4	- 6
humøs Kalktypigley	3 - 6,0,1	- 9

Lagringen af klassifikationerne i en database i numerisk form gør det muligt let at søge efter profiler med specielle karaktertræk. Jorde med fragipans findes fx ved at søge på 12 på serieniveau, medens alle profiler med tørvelag over 10 cm tykke findes ved at søge på 10 på ordensniveau og på 4 på serieniveau.

Sammenfattende betragtninger over det opstillede klassifikationssystem

Det i dette afsnit opstillede klassifikationssystem er et hierarkisk opbygget system, som bygger på profilegenskaber, der i overvejende grad er bestemmelige i felten. Systemet består på nuværende tidspunkt af fire niveauer nemlig orden, gruppe, serie og fase, og i tabel 3 ses en oversigt over inddelingen af de forskellige jorde. Der er ialt opstillet 12 ordner ind-delt på basis af tilstedeværelsen eller fraværet af diagnostiske horison-ter.

Underinddelingen af ordnerne på gruppeniveau sker hovedsagelig på basis af horisontfølgen, Al horisontens tykkelse, dybden under terræn for gleyprægts, klippens eller det stærkt kalkholdige materiales begyndelse, udgangsmaterialets farve og sedimentets tekstur og farve i relation til den pedologiske uddvikling. Navngivningen af jorde på gruppeniveau omfatter for de fleste ordner op til 3 termer, nemlig første, anden og tredje gruppebetegnelse. Ved beskrivelse af profilerne på gruppeniveau vil der altid forekomme en term fra første gruppebetegnelse, medens der ikke behøver at være karakteristika ved profilen, der medfører, at termer fra anden og tredje gruppebetegnelse indgår i klassifikationen. Gruppebetegnelserne samskrives med ordensbetegnelsen, således at profilen klassificeret på gruppeniveau får et samlet navn. Alle navne på gruppeniveau skrives med stort, hvorved de let kan skelnes fra betegnelserne på serieniveau.

Inddelingen af jordene på serieniveau sker på basis af en række profilkarakteristika som fx tilstedeværelsen af fragipans, placiske horisonter, natriumholdige horisonter, gleypræg i de dybere lag etc. Mange af disse profilkarakteristika har stor edaphologisk betydning; fx virker placiske horisonter og cementerede horisonter hæmmende på rodudviklingen. Navngivningen på serieniveau sker ved, at profilkarakteristika begyndende med lille bogstav skrives som enkeltord foran gruppebetegnelsen. Alle profilkarakteristika, der forekommer i en profil, medtages i beskrivelsen, d.v.s. at der kan stå flere enkeltord foran gruppebetegnelsen. På faseniveau beskrives jordens tekstur og pH i bestemte dybder, og disse betegnelser skrives til højre for profilnavnet.

Da profilklassifikationssystemet endnu kun bygger på omkring 800 gennemanalyserede profiler samt en del feltklassifikationer, er det tænkeligt, at der i fremtiden vil blive foretaget ændringer i systemet, når yderligere jordbundsundersøgelser er foretaget. Her kan nævnes, at underinddelingen af stuvningsgleyjorde og rankere på gruppeniveau er mangelfuld og muligvis bør revideres, når et større observationsmateriale foreligger, og at jorde med højtliggende placiske horisonter muligvis burde udskilles som en orden for sig. Underinddelingen af gleyjorde kan i visse tilfælde være problematisk på grund af vanskeligheder med den præcise fastlæggelse af Cr horisonten, og den opstillede skelnen mellem pseudogley, stuvningsgley og grundvands-gley kan ligeledes være problematisk i visse jorde, hvorfor bedre kriterier for denne skelnen bør udarbejdes. Grænsen mellem kalk og rendzin på 30% CaCO_3 vil sandsynligvis blive ændret og hævet til i hvert fald 40%, idet en del kalkholdige moræner, der ønskes beskrevet med termen kalk på gruppeniveau, indeholder omkring 30% CaCO_3 lige under kalkfronten. I det opstillede system er der ikke udarbejdet en klassifikation af sulfidholdige potentielt svovlsure jorde (se kapitel 9), hvilket muligvis bør gøres, ligesom myremalm bør indarbejdes på serieniveau.

KAPITEL 5

DEN PEDOLOGISKE UDVIKLING I FLYVESANDSOMRÅDER TILKNYTTET DET GLACIALE LANDSKAB

Som beskrevet i kap. 1 findes der inden for det glacialle landskab områder, der efter sidste istid er blevet stærkt præget af æolisk aktivitet. Den geografiske placering af de større indsander i Himmerland ses på fig. 2. Den pedologiske udvikling i disse flyvesandsområder er i det aktuelle tilfælde undersøgt ved profilstudier i Strandby-Farsø Kommuneplantage, der er beliggende i SV-Himmerland nogle kilometer NV for Farsø by. Områdets nærmere geografiske beliggenhed ses af fig. 7, og på fig. 13 ses de topografiske forhold i området samt profilernes placering.

Strandby-Farsø Kommuneplantage er beliggende i tæt tilknytning til det randmorænestrøg, der fra Gøttrup Bjerge strækker sig mod VNV. Hovedparten af plantagen er derfor præget af relativt høje bakker, der visse steder er stærkt furede på grund af vanderosion. Kun i det sydvestlige hjørne af Strandby-Farsø Kommuneplantage afløses det bakkede landskab af en flade, sandsynligvis en del af en smeltevandsslette. Denne udspringer lige syd for Trend Skov, løber først mod SØ og derefter mod SV syd om Strandby og ud i Limfjorden. Foruden denne dal gennemskæres plantagen i nordsydgående retning af en tunneldal med de karakteristiske trug og tærskler, der i dag fx betinger Sjørup Sø og en række mindre søer og moser. Siden istiden er store dele af Strandby-Farsø Kommuneplantage blevet præget af æolisk aktivitet, hvilket især er tydeligt på og nær ved smeltevandssletten. Sammenligning af forskellige kort viser, at hovedparten af området var lyngklædt et stykke op i det 20. århundrede, inden størstedelen blev tilplantet med nåletræer.

De undersøgte profiler er beliggende i den vestlige del af plantagen på overgangen mellem smeltevandssletten og bakkesystemet. Alle profiler blev gravet i flyvesand, der sandsynligvis er omlejret sand fra smeltevandssletten. Flyvesandslaget er i undersøgelsesområdet normalt tyndt, og 3 ud af de 5 undersøgte profiler nåede ned i glaciogent sand. Profilernes placering i terrænet blev bestemt ud fra nogle indledende borer med et cylinderbor til 1 meters dybde. Da der ved disse borer blev fundet veldrænede podzoler på forskellige udviklingstrin, blev det besluttet, at der både skulle beskrives og udtages prøver fra meget svagt udviklede jorde og fra stærkt udviklede podzoler.

Profilbeskrivelser**SF1:** kolluvial Brunpodzol; sand, sur.

Soil Taxonomy: Typic Udipsamment.

Profilen er udviklet i flyvesand, der overlejrer vandaflejret sand.

Terrænkote: 26 m DNN; dræningsklasse: meget veldrænet; profildybde: 150 cm; vegetation: lyng og eng.

Al0+A20 (0-6):: rødgråt (5YR5/2t) sand; humusholdig; meget svag granularstruktur; blød; meget få sten; særdeles mange rødder af varierende størrelse; overgang klar og bølget.

Al (6-43) : mørk gulbrunt (10YR4/4f) sand; humusholdig med dybden humusfattig; meget svag granularstruktur; blød; meget få sten; mange rødder af varierende størrelse; overgang klar og plan.

B3vs (43-65) : brungult (10YR6/6f) siltet sand med tynde overvejende vandretgående mørkebrune bånd; humusfattig; meget svag pladestruktur ; meget sprød; meget få sten; få tynde rødder; overgang skarp og plan.

IIC1 (65-100) : meget blegbrunt (10YR7/3f) sand; humusfattig; strukturløs; løs; mange sten; meget få tynde rødder; overgang klar og plan.

IIC2 (100-) : lyst gulbrunt (10YR6/4f) sand; humusfattig; meget svag angularstruktur; meget sprød; meget få sten; ingen rødder.

SF2: toppodzol entic hærdnet Gleytypipodzol; sand/siltet sand, sur

Soil Taxonomy: Typic Haplohumod.

Profilen er udviklet i flyvesand, grundvand i 150 cms dybde.

Terrænkote: 17 m DNN; dræningsklasse: moderat veldrænet; profildybde: 160 cm; vegetation: lyng.

Olfh (5-0): mørkebrunt til sort morlag.

Al+A2 (0-7): gråt (5YR5/lt) sand med mange hvide sandskorn; humusrig; meget svag subangular blocky; blød; ingen sten; mange tynde rødder; overgang skarp og plan.

Bvs (7-17): brunt (7,5YR4/4t) sand; humusfattig; meget svag subangular blocky; blød; ingen sten; mange tynde rødder; overgang skarp og plan.

C (17-29): gulbrunt (10YR5/6t) sand; humusfattig; meget svag og subangular blocky; blød; ingen sten; mange tynde rødder; overgang skarp og plan.

Ohb (29-30) : sort meget humusrig gammel overflade.

Alb (30-35) : rødgult (5YR6/6t) sand med mange hvide sandskorn; humusrig; meget svag subangular blocky; meget sprød; ingen sten; få tynde rødde; overgang skarp og plan.

A2b (35-44) : lysgråt (5YR6/1f) sand; humusfattig; meget svag subangular blocky; meget sprød; ingen sten; få tynde rødde; overgang skarp og bølget.

B21hb (44-46): mørkt rødbrunt (5YR2/2f) sand; moderat pladestruktur; meget fast; kontinuert stærkt cementseret; ingen sten; få tynde rødde; overgang klar og brudt.

B22sb (46-59): mørkt rødbrunt (5YR3/3f) sand med mørkebrune overvejende vandretgående striber; humusholdig; moderat pladestruktur; sprød; kontinuert stærkt cementseret; ingen sten; meget få tynde rødde; overgang klar og bølget.

B3sdb(59-80): gulbrunt (10YR5/6f) sand med mørkebrune overvejende vandretgående striber; humusfattig; meget svag pladestruktur; meget sprød; ingen sten; meget få tynde rødde; overgang gradvis og plan.

B3sdb+Cldb

(80-106): lyst gulbrunt (2,5Y6/4f) sand med mørkebrune overvejende vandretgående striber; humusfattig; meget svag subangular blocky; meget sprød; ingen sten; meget få tynde rødde; overgang gradvis og bølget.

C2ob (106-121): lyst brungråt (2,5Y6/2v) siltet sand; humusfattig; meget svag subangular blocky; ikke klæbrig og svagt plastisk; ingen sten; meget få tynde rødde; overgang gradvis og bølget.

C3ob (121-) : lyst gulbrunt (2,5Y6/4v) sand.

SF3: entic Typiblegsoil; sand, sur.

Soil Taxonomy: Typic Udipsamment.

Profilen er udviklet i flyvesand, der overlejrer glaciogent sand.

Terrænkote: 15 m DNN; dræningsklasse: meget veldrænet; profildybde: 110 cm; vegetation: nåletræsplantage.

01 (1-0): brune fyrrenåle.

Al (0-5): lyst brungråt (10YR6/2t) sand; humusfattig; meget svag subangular blocky; løs; enkelte sten på overfladen ellers ingen sten; mange rødde af varierende størrelse; overgang skarp og irregulær.

Bjn+Cn (5-19): lyst gråt (2,5Y7/2f) sand med rustrøde pletter omkring rodgange; humusfattig; meget svag subangular blocky; meget sprød; ingen sten; mange rødder af varierende størrelse; overgang skarp og irregulær.

Cnd (19-95): hvidt (2,5Y8/2f) sand med enkelte overvejende vandretliggende bånd af formodentlig jern(hydr)-oxider; humusfattig; meget svag subangular blocky; meget sprød; ingen sten; meget få og tynde rødder indtil 50 cms dybde derefter ingen; overgang skarp og plan.

IIC (95-): brungult (10YR6/6f) sand; humusfattig; få sten.

SF4: entic Brunpodzol; sand, sur.
Soil Taxonomy: Entic Haplohumod.
Profilen er udviklet i flyvesand.
Terrænkote: 15 m; dræningsklasse: meget veldrænet;
profildybde: 110 cm; vegetation: nåletræsplantage.

Olfh (6-0): brunt morlag.

A2 (0-4): lyst gråt (5YR6/1f) sand; humusholdig; meget svag subangular blocky; meget sprød; ingen sten; mange rødder af varierende størrelser; overgang klar og bølget.

B2vs (4-13): gulbrunt (10YR5/8f) sand med enkelte lysere (10YR6/5) runde pletter; humusfattig; meget svag subangular blocky; sprød; ingen sten; mange rødder af varierende størrelse; overgang klar og irregulær.

B3vs (13-40): gulbrunt (10YR5/4f) sand; humusfattig; meget svag subangular blocky; meget sprød; ingen sten; meget få rødder; overgang klar og bølget.

C (40-): lyst gulbrunt (10YR6/4f) sand med en række gamle Al horisonter som bånd fra 58 cms dybde; humusfattig; meget svag subangular blocky; meget sprød; meget få rødder; ingen sten.

SF5: entic hærdnet Typipodzol; sand, sur.
Soil Taxonomy: Typic Haplohumod.
Profilen er udviklet i flyvesand, der hviler på glaciogent sand.
Terrænkote: 15 m DNN; dræningsklasse: meget veldrænet;
profildybde: 140 cm; vegetation: nåletræsplantage.

Olf (5-0): mørkebrunt morlag.

Cn (0-9): påføget lysegråt kvartssand

- Alhb (9-11): sort (10YR2/1f) sand med hvide kvartskorn; humusrig; meget svag subangular blocky; meget sprød; ingen sten; få rødder af varierende størrelse; overgang klar og plan.
- A2b (11-27): lyst gråt (5YR6/1f) sand; humusfattig; meget svag subangular blocky; sprød; ingen sten; meget få fine rødder; overgang skarp og plan.
- B21hb (27-31) :sort (5YR2/1f) sand; humusholdig; moderat pladestruktur; meget fast; svagt cementeret; ingen sten; vandretliggende rodmåtter imellem aggregaterne, der ender ved overgangen mellem B2h og B2s; overgang skarp og bølget.
- B22sb
(31-31/40) : rødsort (10R2/1f) sand med mange gule runde pletter; humusholdig; moderat pladestruktur; ekstrem hård; stærkt cementeret; ingen sten; ingen rødder; overgang skarp og brudt.
- B31sb
(31/40-53) :gulbrunt (10YR5/8f) sand med mange lyse runde pletter; humusfattig; svag subangular blocky; meget sprød til fast; pletvis svagt cementeret; ingen sten; ingen rødder; overgang klar og irregulær.
- B32sb(53-83): brunt (10YR4/3f) sand med mange lyse partier; humusfattig; meget svag subangular blocky; sprød eller meget sprød; pletvis svagt cementeret; ingen sten; ingen rødder; overgang skarp og plan.
- B32sb+Cb
(83-112): lyst gulbrunt (10YR6/4f) sand; humusfattig; meget svag subangular blocky; meget sprød; ingen sten; ingen rødder ; overgang skarp og plan.
- IICb (112-) : meget blegt brunt (10YR8/3f) sand; humusfattig; meget svag subangular blocky; få sten.

Analyseresultater og diskussion af profilernes pedologiske udvikling

I tabel 5 ses analyseresultaterne fra de fem beskrevne profiler, og på fig 14 ses en skematisk gengivelse af profilerne og deres placering i landskabet.

Af de 5 undersøgte profiler er en tydeligt præget af tidligere opdyrkning, medens de øvrige 4 aldrig har været opdyrket. Der vil i det efterfølgende først blive en diskussion af den tidligere opdyrkede profil, hvorefter de ikke tidligere opdyrkede profiler vil blive behandlet i rækkefølge efter udviklingsgraden.

Tabel 5: Analyseresultater fra de 5 undersøgte profiler i Strandby-Farsø Kommuneplantage.

Analytical results of the five investigated profiles in Strandby-Farsø Kommuneplantage. Dune-sand area in the glacial landscape.

		Tekstur u							OM	PH		CaCO ₃	Dith	citr.	Pyrophosph.	Ombytbaser mækv.				CEC	V	C/N		
		<2	2-20	20-63	63-125	125-200	200-500	500-2000		H ₂ O	CaCl ₂					Ca Mg K Na							m.ækv	0/0
SF1:	Al ₀ +A ₂₀ (0-6)	2	3	1	7	31	47	6	2.8	4.1	3.5	0	1.4	0.4										21
	Al(10—20)	-	-	-	-	-	-	-	1.5	4.6	4.1	0	1.7	1.3	-	-						-		
	Al(25-35)	3	3	3	10	29	43	8	0.6	4.8	4.4	0	1.3	0.6	-	-	0.05	0.01	0.01	0.01	5.3	2		
	B3vs(45-50)	-	-	-	-	-	-	-	0.2	4.6	4.3	0	2.2	0.9	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
	B3vs(60-65)	2	2	9	19	34	25	9	0.1	4.8	4.5	0	1.1	0.8	-	-	----				-	-	-	
SF2:	Al+A ₂ (0-7)	4	2	2	5	27	51	4	5.3	4.0	3.3	0	1.0	0.5	0.7	0.6	0.30	0.17	0.09	0.03	16.1	4	26	
	Bvs(7-17)	2	2	1	3	33	55	3	0.9	4.5	4.0	0	0.8	0.5	-	-	0.05	0.02	0.01	0.01	7.8	1	-	
	C(17-29)	-	-	-	-	-	-	-	0.5	5.0	4.4	0	0.5	0.5	0.2	0.5	-	-	-	-	-	-	-	
	Ohb(29-30)	-	-	-	-	-	-	-	24.4	4.9	4.0	0	-	-	-	-	0.19	0.16	0.13	0.12	70.8	<1	25	
	Alb(30-35)	-	-	-	-	-	-	-	5.6	4.5	3.9	0	0.3	1.1	-	-	0.10	0.04	0.03	0.02	19.8	1	30	
	A ₂ b(35-44)	2	2	0	5	30	51	9	0.9	4.7	4.0	0	0.2	0.3	0.1	0.3	0.02	0.00	0.01	0.01	4.4	<1	-	
	B ₂₂ sb(46-59)	3	2	1	4	31	53	4	1.7	5.0	4.3	0	1.5	1.8	1.2	1.8	0.07	0.02	0.01	0.01	13.9	<1	22	
	B ₃ sdb(59-80)	-	-	-	-	-	-	-	0.3	5.2	4.6	0	0.3	0.5	0.4	0.8	0.00	0.00	0.01	0.01	3.4	<1	-	
	B ₃ sdb+Clb(80-106)	2	2	1	10	44	37	4	0.2	5.3	4.7	0	0.2	0.6	0.3	0.7	-	-	-	-	-	-	-	
	C ₂ ob(106-121)	4	4	7	12	34	35	4	0.2	4.9	4.6	0	0.4	0.4	0.1	0.8	0.07	0.01	0.02	0.02	3.8	3	-	
	C ₃ ob(121-140)	-	-	-	-	-	-	-	<0.1	5.2	4.7	0	0.4	0.3	0.1	0.5	---				-	-	-	
SF3:	Al(0-5)								0.7	4.9	4.3	0	0.4	0.3	0.2	0.4	0.05	0.01	0.02	0.00	4.1	2	16	
	Bnj+Cn(5-19)	-	-	-	-	-	-	-	0.1	5.0	4.6	0	0.2	0.5	0.1	0.5	-	-	-	-	-	-	-	
	Cnd(19-95)	2	1	1	8	54	33	1	-	5.0	4.7	0	0.3	0.4	0.1	0.4	0.02	0.00	0.01	0.00	2.4	2	-	
SF4:	A ₂ (0-4)								2.0	4.1	3.4	0	0.6	0.3			0.25	0.09	0.04	0.01	7.2	5	23	
	B ₂ vs(4-13)	-	-	-	-	-	-	-	0.9	4.4	4.0	0	0.7	0.6	0.5	0.7	-	-	-	-	-	-	-	
	B ₃ vs(13-40)	1	2	1	1	25	65	5	0.3	5.0	4.6	0	0.5	0.5	0.2	0.6	-	-	-	-	-	-	-	
	C(40-50)	-	-	-	-	-	-	-	-	5.2	4.7	0	0.5	0.5	0.3	0.6	--				-	-	-	
SF5:	Alb(9-11)								7.3	4.0	3.2	0	0.2	0.5	0.2	0.6	0.05	0.06	0.05	0.04	16.5	1	38	
	A ₂ b(11-27)	2	2	1	3	23	55	13	1.0	4.5	3.7	0	0.1	0.2	-	-	0.05	0.01	0.01	0.01	3.9	2	-	
	B ₂₁ hb(27-31)	-	-	-	-	-	-	-	4.7	4.3	3.7	0	0.1	2.6	0.1	2.7	0.10	0.03	0.01	0.03	28.2	<1	25	
	B ₂₂ sb(31-40)	-	-	-	-	-	-	-	3.3	4.6	4.2	0	5.9	4.2	4.3	4.0	0.05	0.01	0.01	0.02	21.9	<1	-	
	B ₃₁ sb(40-53)	2	2	1	2	28	59	6	0.5	4.9	4.7	0	1.5	1.4	0.4	1.2	0.02	0.00	0.00	0.01	4.7	<1	-	
	B ₃₂ sb(53-83)	-	-	-	-	-	-	-	0.3	5.0	4.7	0	0.5	0.7	0.2	0.7	0.02	0.00	0.00	0.01	2.2	2	-	
	B ₃₂ sb+Cb(83-112)	2	1	1	4	36	52	4	0.1	5.0	4.8	0	0.3	0.5	0.2	0.5	0.02	0.00	0.01	0.01	3.1	1	-	

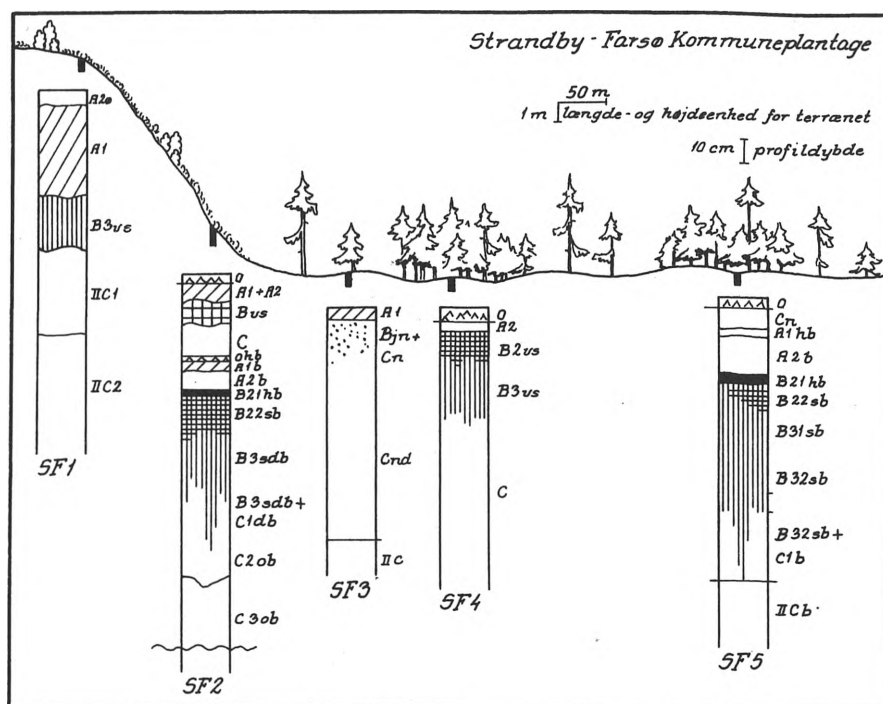


Fig. 14: Snit gennem landskabet med profilernes placering samt en skematisk fremstilling af profilernes horisontfølge.

Schematic diagram showing the five investigated profiles and their location in the landscape, Strandby-Farsø Kommuneplantage.

SF1 er beliggende i umiddelbar nærhed af Kragehøj. Profilen består hovedsagelig af sand, og kun i den nederste del af B3vs horisonten har jorden over 10% silt, d.v.s. siltet sand. Profilen formodes at bestå af 65 cm flyvesand, der overlejrer glaciogent sand. Denne formodning bygger på, at de øverste 65 cms teksturelle sammensætning er tilnærmelsesvis identisk med de øvrige stærkt flyvesandsprægede profiler. De underliggende horisonter IIC1 og IIC2 formodes ikke at være af æolisk oprindelse bl.a. på grund af et stort stenindhold samt vekslende lag af grovere og finere sand.

Profilen består af en initialpodzol udviklet i en gulbrun 43 cm tyk A1 horisont, hvorunder der kommer en båndet B3vs horisont udviklet i resten af flyvesandsaflejringen. Det underliggende glaciogene sand synes ikke at være påvirket af podzoleringsprocessen. Profilen bærer tydeligt præg af en tidligere opdyrkning, fx mangler B2vs horisonten under A1, hvilket sandsynligvis skyldes opløsning af B2vs i A1. Den tykke A1 horisont udviklet i en profil beliggende nær toppen af en bakke tyder på en tidligere opdyrkning, og horisonten kan i denne forbindelse da enten tænkes at være en plaggenhorisont (Pape 1970), eller også er den dannet ved successive påfygninger af

sand, der er pløjet ind i Al. Da Al horisonten har et relativt lavt humus- og phosphorindhold er det sandsynligvis det sidste, der er tilfældet for denne profil.

Betragtes variationen af dithionitcitratopløseligt jern og aluminium ned gennem profilen ses, at der er lokale maksima et stykke nede i Al og øverst i B3vs. Det lokale maksimum øverst i B3vs sammenholdt med den svagt bandede fremtoning af denne horisont tyder på, at jorden er svagt podzoleret med hele eller dele af Al som eluviallag. Grunden til, at hele Al ikke behøver at være eluvialhorisont for B3vs er, at de øverste dele af Al kan være så unge, at podzoleringsprocessen er foregået inden, og at dele af Al i dag indeholder den opløjede B2vs horisont. Efter at opdyrkningen af området er afsluttet, er der udviklet en initialpodzol øverst i Al, således at der i dag er udviklet en tynd, men tydelig A2 horisont. På fig. 15 ses den mest sandsynlige udvikling, profilen har gennemgået fra tiden lige før opdyrkningen.

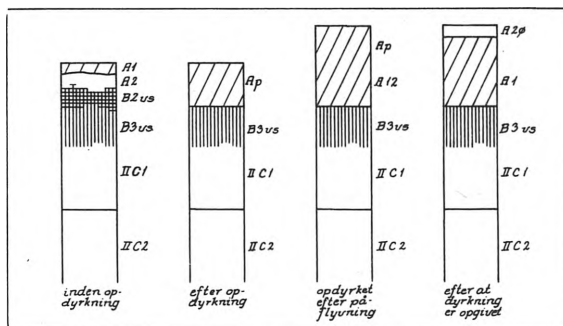


Fig. 15: Profiludviklingen i SF1 gennem tiden.

The profile development in SFI with time.

Profilen er i dag relativt stærkt udvasket med pH (CaCl_2) under 4 i det øverste lag stigende til lidt over 4 i de underliggende dele af flyvesandsdækket. Basemætningsgraden er derfor særdeles lav, og den er i den nederste del af Al bestemt til 2%.

Profilen er klassificeret som en kolluvial Brunpodzol p.g.a. B3vs horisonten og den kolluviale Al horisont. Den svagt udviklede podzol øverst i profilen er ikke så stærkt udviklet, at den indgår i klassifikationen af profilen. Man kan til det sidste bemærke, at en opdyrkning af jorden vil medføre, at hele initialpodzolen bortpløjes. Endelig kan det bemærkes, at B3vs horisonten visuelt er svagt udviklet, idet der kun øverst i denne er en svag forbruning af jorden, men til gengæld er der enkelte mørkebrune bånd i horisonten, der er typiske for podzoler. Profilen klassificeres efter Soil Taxonomy som Typic Udipsamment.

Den pedologisk svagest udviklede profil blandt de øvrige 4 profiler er SF3. Profilen består teksturelt set udelukkende af sand, og geologisk set består profilen af 95 cm lyst flyvesand hvilende på brungult glaciogent sand. Mineraljorden er inddelt i en 5 cm tyk humusfattig Al horisont efterfulgt af

en 14 cm tyk strukturel B horisont betinget af en stor rodintensitet med mange store rødder. Den strukturelle B horisont er opblandet med en del af den lyse C horisont, der fortsætter til 95 cms dybde, hvor der er en skarp og plan overgang til en brungul IIC horisont. C horisontens lyse farve skyldes sandsynligvis, at profilen er udviklet på indblæst A2 materiale fra nærliggende podzoloråder, idet man må se bort fra andre muligheder som indblæst strandsand eller en lateral fjernelse af jernet på grund af højtstående grundvand. Cn horisonten er tydelig båndet, idet der findes enkelte mere eller mindre vandretgående rustrøde bånd. Disse bånd kan tænkes dannet, hvor det nedsvivende vands nedtrængning hæmmes, hvorved visse jernforbindelser kan udfældes. Disse udfældninger kan bl.a. forekomme, hvor der er lejningsforskelle eller svage teksturforskelle betinget af ændrede vindhastigheder eller -retninger under aflejringen af sedimentet. Betragtes variationen af dithionitcitratopløseligt jern og aluminium ses, at der for jern er maksimum i A og for aluminium i Bj, og at de absolutte værdier er små, især sammenlignet med de senere beskrevne lerjordes. Der kan ikke ud fra variationen af dithionitcitratopløseligt jern og aluminium postuleres en begyndende podzolering, men de i marken visuelt konstaterede tynde rustrøde bånd i C horisonten kan muligvis indicere dette, ligesom summen af pyrophosphatopløseligt jern og aluminium udgør over 50% af det dithionitcitratopløselige jern og aluminium. Dette bruges i FAO (1974) som et af kriterierne for definitionen af en podzol B horisont. Dette er dog langt fra nok til at klassificere jorden som podzol. Profilen er stærkt udvasket med pH (CaCl_2) På mellem 4 og 5 og med en basemætningsgrad på ca. 2%. Da CEC værdien er lav, medfører dette, at der næsten ingen ombyttelige baser er i profilen.

Jorden klassificeres som en entic Typiblegsole på grund af tilstedeværelsen af en diagnostisk bleghorisont, og fordi Al horisonten er under 10 cm tyk. Den svage profiludvikling, den meget tynde O horisont samt sedimentets lyse farve tyder på, at jorden er relativ ung. Den vil sandsynligvis med tiden blive til en podzol, hvilket bl.a. den bandede C horisont vidner om, og det er endvidere sandsynligt, at profilen med tiden antager en mere brun farve i Cn grundet frigivelse af jern(hydr)oxider ved kemisk forvitring af primærsilikater. Profilen klassificeres efter Soil Taxonomy som Typic Udipsamment.

SF4, der er den næstsvagest udviklede profil, er udviklet på en lille klit, og flyvesandsdækket er så tykt, at det underliggende glaciogene sand ikke nås. Teksturelt set består jorden som de forrige profiler af sand. Profilen har under O horisonten, der er væsentlig tykkere end hos blegsole, en meget tynd Al horisont på under 1 cms tykkelse efterfulgt af en tydelig A2 horisont ned til 5 cms dybde. Derunder følger en Bvs horisont til 40 cms dybde, hvor C begynder. Variationen af dithionitcitratopløseligt jern og aluminium viser, at der er foregået en svag ophobning af især aluminium i B2vs, og at dette sandsynligvis stammer fra A2. Man må derfor konkludere, at der er foregået en svag podzolering af profilen. Profilen er stærkt udvasket, basemætningsgraden er lav og C/N-forholdet er relativt højt, hvilket er det forventlige billede for en podzoleret jord.

Jorden klassificeres som en entic Brunpodzol på grund af tilstedeværelsen af en diagnostisk Bvs horisont, samt at Al horisonten er under 10 cm tyk. Efter Soil Taxonomy er profilen en Entic Haplohumod.

De to sidste profiler er begge stærkt udviklede podzoler, der er overlejret af tynde yngre flyvesandsdækker.

SF2, der ligger langt nede ad den sydvendte skråning fra Kragehøj, består i hele profildybden af flyvesand. I modsætning til de øvrige undersøgte profiler i Strandby-Farsø Kommuneplantage bærer denne profil præg af grundvand fra omkring 1 meters dybde, hvilket sandsynligvis skyldes profilens placering nær foden af en skrænt. Profilen består teksturelt set overvejende af sand på nær de nederste lag, der har et siltindhold på over 10%. SF2 er en udpræget dobbeltprofil, idet der på et tidspunkt er aflejret ca. 30 cm sand ovenpå O horisonten i en fuldt udviklet podzol.

I de øverste 30 cm er der udviklet en Initialpodzol med en visuel tydelig A2, Bvs og C horisont. Betragtes variationerne i dithionitcitratopløseligt jern og aluminium ned gennem de tre horisonter ses, at de ikke i samme grad som feltobservationerne indikerer en podzoleringsproces, idet der hverken for jern eller aluminium er maksimum i Bvs. Det er i denne forbindelse bemærkelsesværdigt, at der optræder maksimum i jernindholdet i Al+A2, hvor sandskornene er afblegede og derfor fri for belægnings af jern(hydr)oxider. Den mest rimelige forklaring på dette må være, at næsten alt jernet er bundet komplekst til humusstofferne i horisonten. Det er ikke muligt ud fra analyseresultaterne at vurdere, om det større jernindhold i Bvs set i forhold til C er betinget af en podzoleringsproces eller om det skyldes en kemisk forvitring in situ af primærsilikater. Er det første tilfældet, kan det undre, at der stadig er maksimum af jern i Al+A2. Indtil yderligere dokumentation angående dette forhold foreligger, vil jorden blive klassificeret som Initialpodzol ud fra de visuelle kendetegn så som en tydelig A2 horisont, der ikke antages at være senere påføjet lyst materiale.

Den underliggende podzol, der begynder med et Oh lag mellem 29 og 30 cms dybde, er en fuldt udviklet podzol med veldefinerede Al, A2, Bh og Bs horisonter. Profilen er stærkt udvasket med basemætningsgrader på normalt under 1% og med C/N-forhold mellem 22 og 30, lavest i Bsb. Betragtes variationen i humus og dithionitcitratopløseligt jern og aluminium, ses det normale billede for stærkt udviklede podzoler, nemlig en humus-, jern- og aluminiumfattig A2 horisont og en stærkt beriget B horisont. B3s horisonten er endvidere præget af en del mørkebrune formodentlig jernholdige bånd, der er særdeles typiske for podzoler. B2s horisonten er stærkt marmoreret, idet der i denne horisont findes et utal af brunlige mere eller mindre cirkulære pletter (tredimensionalt kugleformede) i den ellers mørk rødbrune horisont. Disse pletter, der ofte findes i veludviklede podzoler, er undersøgt for dithionitcitratopløseligt jern og aluminium, tabel 6.

Tabel 6 viser, at der i de cirkulære pletter findes væsentligt mindre jern og aluminium end i det omkringliggende materiale. Om genesen af disse pletter kan kun gisnes, men da der er tale om væsentlig mindre mængder af både jern og aluminium, må man kunne se bort fra gleyprocesser. Mückenhausen (1977) mener, at dannelsen af disse kugleformede mindre berigede områder skyldes, at det nedsivende vand generelt løber udenom disse områder, og derfor afsætter større mængder af jern og aluminium mellem disse områder. Da denne tese ikke giver nogen forklaring på pletternes specielle form, synes den ikke at være helt dækkende.

Tabel 6: Dithionitcitratopløseligt jern og aluminium i og udenfor lysere cirkulære pletter i B2s horisonten i SF2.

Dithionitecitrate-soluble iron and aluminium within and outside brighter spots of the B2s horizon, SF2.

	Fe o/oo	Al o/oo
I pletter	0.39	0.15
Udenfor pletter	1.99	0.40

Det højtstående grundvand i C horisonten synes ikke at have nogen videre indflydelse på de øvre jordlags pedologiske udvikling, hvilket sandsynligvis skyldes den ringe kapillære stigning i sandet. Der er heller ingen tydelige tegn på en lateral fjernelse af jernet fra de grundvandsprægede horisonter vurderet ud fra en sammenligning med SF5, hvilket ellers kunne være forventeligt, da profilen er placeret på en skråning.

Profilen klassificeres som en toppodzol entic hærdnet Gleytypipodzol, hvor det er den nederste og stærkest udviklede podzol, der bestemmer navnet på gruppeniveau. Betegnelsen toppodzol skyldes tilstedeværelsen af en Initialpodzol ovenpå den stærkt udviklede podzol, entic skyldes den tynde Al horisont, medens hærdnet skyldes, at B22sb horisonten er cementseret. Gley på gruppeniveau skyldes, at gleypræget begynder mellem 40 og 80 cms dybde under den begravede jords overflade. Profilen klassificeres efter Soil Taxonomy som Typic Haplohumod.

SF5 minder på mange måder om SF2, fx er den overlejret af yngre flyvesandsdækker, og den har også en stærk marmorering af Bs horisonterne, uden at dette skyldes gleyprocesser. Profilen er udviklet i 112 cm flyvesand, der overlejrer glaciogent sand. Mineraljorden, der teksturelt set udelukkende er sand, består øverst af ca. 10 cm påføjet lyst sand, der er tilført af flere omgange. Under dette kommer en meget tynd Al horisont efterfulgt af en tyk veludviklet A2. Bh horisonten er i denne profil meget veludviklet, og under denne kommer en tynd stærkt cementseret B2s horisont efterfulgt af en B3s. Profilen er i de øverste horisonter stærkt sur, men med dybden stiger pH kendeligt. Basemætningsgraden for hele profilen er dog lav. Variationerne i dithionitcitratopløseligt jern og aluminium ned gennem profilen viser tydeligt, at jorden er stærkt podzoleret med maksimum for jern og aluminium i B horisonterne. Humus har endvidere et lokalt maksimum i Bh horisonten. Fordelingen af jern og aluminium mellem de forskellige B horisonter viser, at næsten alt jernet er koncentreret i Bs horisonterne, medens aluminiumindholdet er mere jævnt fordelt, dog med maksimum i B2s. Fordelingen af jern og aluminium inden for de forskellige typer af B horisonter synes at variere en del for forskellige undersøgelser. Guillet et al (1975) undersøgte fx 2 podzolprofiler og fandt i den ene jernmaksimum i Bh og i den anden jernmaksimum i Bs, medens der i begge tilfælde var maksimum for aluminium i Bs. L Petersen (1976a) fandt i 10 podzolprofiler, at der som

oftest var maksimum for $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_4$ -EDTA-opløseligt aluminium øverst i B horisonten, medens dette var mere diffust for $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_4$ -EDTA-opløseligt jern samt HCl-opløseligt aluminium og jern. De Kempe & Martel (1976) undersøgte forskellige podzoler i Appalacherne og fandt, at der under nåletræsvegetationen var mere pyrophosphat- og dithionitcitratbicarbonatopløseligt jern i B21s end i B22s horisonterne, medens der helt klart var maksimum for aluminium i B22s. Den samme fordeling blev fundet for pyrophosphatopløseligt jern og aluminium under løvskov, medens der under denne vegetation både var maksimum for dithionitcitratbicarbonatopløseligt jern og aluminium i B22s. Madsen (1979) fandt i 2 Typipodzoler udviklet i flyvesand i det ene tilfælde maksimum for dithionitcitratopløseligt jern og aluminium i B21h og i det andet tilfælde i B22s. Man kan ud fra de få ovennævnte eksempler se, at maksimum for jern og aluminium i en podzol kan variere for forskellige podzoler samt alt efter hvilket ekstraktionsmiddel, der anvendes.

SF5 må ud fra profilundersøgelsen klassificeres som entic hærddet Typipodzol. Grunden til, at det påføjede sand ovenpå A1 ikke influerer på klassifikationen er, at det er under 10 cm tykt. Efter Soil Taxonomy er profilen en Typic Haplohumud.

Sammenfattende bemærkninger

Man kan generelt sammenfatte, at den pedologiske udvikling i veldrænedes flyvesandsområder i det glacielle landskab går imod stærkt udviklede podzoler, d.v.s. Typipodzoler eller muligvis i specielle tilfælde, hvor jern- og aluminiumindholdet er lavt, Humuspodzoler. Det er dog langt fra alle profiler i et flyvesandsområde, der har nået dette stadium, idet der i perioder ofte forekommer omlejringer af sandet inden for disse områder, hvorved der kan dannes nye profiler (råjorde), der derefter påbegynder en udvikling henimod Typipodzoler. Den stadige omlejring af sandet medfører endvidere, at der ofte dannes profiler med flere podzoler ovenpå hinanden.

Det er som oftest ikke muligt præcist at angive alderen af de forskellige podzoler, der findes i flyvesandsområderne, idet det sædvanligvis er meget vanskeligt at tidsfæste aflejringerne. Det er dog muligt umiddelbart ved dobbeltpodzoler at få et relativt mål for profilernes aldre. Der er udviklet flere metoder til bestemmelse af den absolutte alder af podzolprofilerne som fx pollenbestemmelser, C 14 dateringer eller vurderinger af horisonttykkelsen og -følgen. Andersen (1979) anvendte fx pollenbestemmelsen til at tidsfæste podzoldannelsen i nogle jorde på Djursland, og Cruickshank & Cruickshank (1981) anvendte både pollenanalyser og C 14 dateringer i en undersøgelse af podzoludvikling i relation til vegetationshistorien i et område i Nordirland. En anden metode til vurdering af podzolernes alder er horisonttykkelser og -følger i profilerne. Tamm (1920) fandt fx, hovedsageligt ud fra podzoler udviklet på hævede havbunde ved den Bottniske Bugt, en generel forøgelse af A1 og A2 horisontens tykkelse med podzolens alder. Larsen (1971) har ud fra O. Tamms observationer fremstillet den på fig. 16 viste relation mellem A2 horisontens tykkelse og podzolens alder.

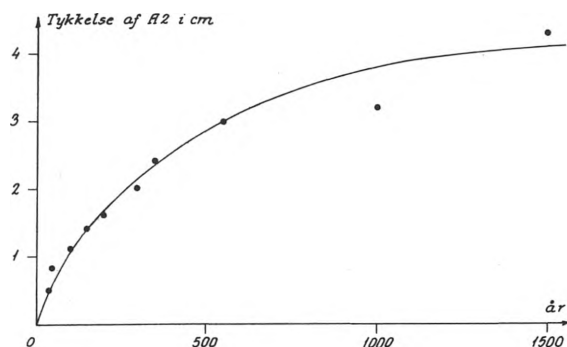


Fig. 16: Sammenhængen mellem A2 horisontens tykkelse og podzolens alder. Data fra Tamm (1920) og Larsen (1971)

The relationship between the thickness of the A2 horizon and the age of the podzol.

Det er dog ikke muligt at anvende denne relation på de himmerlandske jorde, idet de danske klimaforhold, udgangsmaterialet og vegetationssammensætningen ikke i det aktuelle tilfælde er identiske med det materiale, der ligger til grund for Tamms undersøgelser.

Larsen (1971) har på basis af resultater fra Tamm (1920), Chandler (1942) og Bloomfield (1954) opstillet en modenheds-tidsfunktion, der beskriver det tidsmæssige forløb for jordbundsudviklingen hen imod den modne podzolprofil, der i flyvesandsområder må forventes at være Typipodzolen. Den opstillede modenheds-tidsfunktion er en eksponentialfunktion, der indicerer en hurtig profiludvikling i begyndelsen, hvorefter profiludviklingen asymptotisk nærmer sig det modne profilstadium. Funktionen er som følger, hvor M er modenheden til tiden t , og b er en konstant større end 0.

$$M(t) = M(1 - e^{-bt}),$$

Ud fra studier i en 66-årig granplantage sammenholdt med et tilstødende egekrat beregnede J.B. Larsen ud fra ændringerne i humusindholdet i 10 cms dybde konstanten b til i det aktuelle tilfælde at være 0.012, hvilket medfører, at podzolprofilen tilnærmelsesvis vil nå sit modenhedsniveau (97%) efter 300 år. Dette resultat må dog tages med visse forbehold, idet der foruden (0,0) kun er bestemt et punkt på kurven, og det er endvidere ikke sikkert, at ændringen i humusindholdet i 10 cms dybde er det bedst valgte kriterium, når udregningen af konstanten b skal foretages. Antages J.B. Larsens udregninger for at være korrekte, må SF4 og Initialpodzolen i SF2 være noget yngre end 300 år.

Den pedologiske udvikling i flyvesandsjordene hen imod stærkt udviklede podzoler må især tillægges samspillet mellem det relativt kolde humide klima, der hersker i Danmark, det ofte karakteristiske vegetationsdække, der findes i flyvesandsområder og endelig udgangsmaterialets fysiske og kemiske sammensætning.

Det årlige nedbørsoverskud i området medfører, at jordene normalt er stærkt forsurede i de øvre jordlag med en tendens til svagt stigende pH med dybden. Basemætningsgraden er derfor lav, d.v.s. at de sure ombyttelige ioner dominerer på adsorptionskomplekserne. Fordelingen af de ombyttelige baser viser, at Ca er den dominerende ombyttelige base. Beregninger af de gennemsnitlige mækv. ombyttelige baser og basemætningsgraden for den øverste meter af profilerne SF2 og SF5 ses i tabel 7. Beregningerne er foretaget ved at gange de forskellige horisoners ombyttelige baser og basemætningsgrad med den brøkdel som horisontens tykkelse udgør af den øverste meter. Beregningerne er ikke udført for SF1 og SF4, idet mængden af ombyttelige baser er bestemt på for få horisonter, og beregningerne er ikke udført på SF3, da mængden af ombyttelige baser er meget lille, således at usikkerheden på resultatet bliver stor.

Tabel 7: Ombyttelige baser og basemætningsgraden som gennemsnit for den øverste meter i profilerne SF2 og SF5 i Strandby-Farsø Kommuneplantage.

Exch. bases, average values for the upper metre of profiles SF2 and SF5.

	mækv.				%				
	Ca	Mg	K	Na	Ca	Mg	K	Na	V%
SF2	0.057	0.025	0.018	0.013	50	22	16	12	1
SF5	0.034	0.010	0.010	0.015	49	15	15	22	1

Af tabel 7 ses, at Ca udgør omkring 50% af de ombyttelige baser, medens Na+K udgør omkring 30%, hvilket er meget set i forhold til de mere baserige jorde i det glacielle landskab. Dette er illustreret på fig. 17, hvor den procentuelle andel af Na+K set i forhold til de samlede ombyttelige baser er sat i relation til basemætningsgraden for alle undersøgte horisonter i det glacielle landskab. Der er ikke i undersøgelsen medtaget prøver fra dyrkede profiler, idet kalkningen af disse forskyder forholdet mellem de ombyttelige baser kraftigt, og profilerne på det marine forland er udeladt, idet det marine miljø i visse tilfælde betinger atypiske basesammensætninger, se SM1 kapitel 8. Fig. 17 viser, at der er en klar sammenhæng mellem kaliums og natriums procentvis andel af de samlede ombyttelige baser og basemætningsgraden, og at K+Na udgør en stor andel af de samlede ombyttelige baser ved lave basemætningsgrader. Dette kan muligvis skyldes, at nedbørens kemiske sammensætning (Jørgensen 1978) sammen med frigivne baser fra forvitringen af primærsilikater spiller en stor rolle for basesammensætningen i stærkt udludede jorde, medens disse to faktorer kun har ringe indflydelse på basesammensætningen i baserige jorde, hvor kalken eller det tidligere kalkindhold endnu præger sammensætningen af de ombyttelige baser.

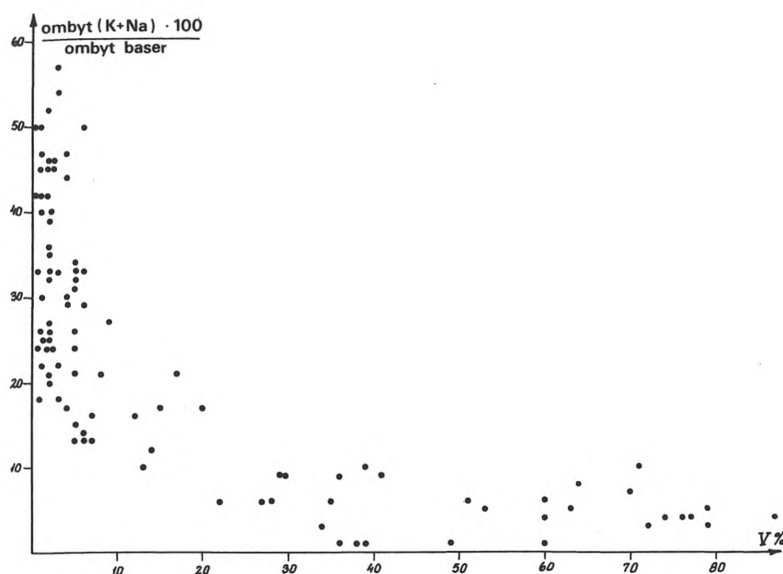


Fig. 17: Sammenhængen mellem K+Na's procentvise andel af de ombyttelige baser og basemætningsgraden for skovjorde udviklet i det glacial landskab.

The relationship between K + Na's percentage share of the exchangeable bases and the base saturation in forest soils developed in the glacial landscape.

Foruden en kraftig udvaskning af profilen synes også vegetationsdækket at spille en væsentlig rolle for podzoleringsprocessens forløb, idet der ved nedbrydningen af det organiske stof kan dannes humusforbindelser, der kompleksbinder jern og aluminium, og gør dette mobilt. Det organiske stofs betydning for mobiliseringen af jern og aluminium i jorden er vist i en lang række laboratorieforsøg, hvilket der fx er gjort detaljeret rede for af L. Petersen (1976a). Det er endvidere kendt, at ikke alle vegetationssamfunds nedbrydningsprodukter er lige velegnede til at kompleksbinde og mobilisere jern og aluminium i jorden. Det er i denne forbindelse en almindelig antagelse, at profiler under lyng, gran eller fyr podzolerer hurtigere og kraftigere end profiler under løvtræer, især eg. I Danmark er dette fx påvist af Larsen (1971), der fandt en tiltagende podzolering i en 66-årig granplantage set i forhold til et tilstødende egekrat på samme udgangsmateriale. Holmsgård et al (1961) fandt ved studier af jordbunden under rødgran, at morlaget normalt var tykkere under rødgran af anden generation end under rødgran af første generation, og at der var en meget svag tendens til, at jordene var stærkere podzolerede under rødgran af anden og tredje generation end under rødgran af første generation.

De sure forhold, der er fremherskende i flyvesandsjordene, medfører en langsom og ufuldstændig omsætning af det organiske materiale og en utilstrækkelig opblanding af dette i mineraljorden. Der udvikles derfor et mor-

lag oven på disse jorde. Den langsomme og ikke fuldstændige omdannelse af det organiske stof kan erkendes ud fra C/N-forholdet, der i disse jorde generelt er over 20, hvilket er det forventelige i podzoler. Kun blegsolen bryder dette billede, idet C/N-forholdet i denne jord er 16.

Den specielle fordeling af det organiske stof ned gennem Typipodzolerne medfører, at CEC-værdien og dermed mængden af ombyttelige baser varierer på en karakteristisk måde, således at der normalt er et lokalt maksimum for CEC og ombyttelige baser i B2 horisonten og som oftest i B21h. Humusalen bliver derved edaphologisk set bedre end det overliggende blegsandslag, og da Bh horisonten ydermere har en bedre vandretention end blegsandslaget, findes der ofte i B21h horisonten en tydelig forøgelse af rodintensiteten (Madsen 1979). Hvor B2 horisonten er cementeret, men med en tydelig pladestruktur, kan rødderne endda findes som rodmåtter i sprækkesystemerne mellem aggregaterne.

Medens de stærkt udviklede podzoler har tydeligt maksimum for jern og aluminium i B horisonten, hvor der også er lokalt maksimum for humus, synes dette forhold ikke altid at være gældende for de svagt udviklede Initialpodzoler og Brunpodzoler, hvor man stadig kan finde maksimumværdier for jern og aluminium i A. Dette kan forekomme selvom sandskornene er afbleget, og der er udviklet en tydelig A2, der ikke antages at være en senere påfygning. Afblegningen af sandskornene skyldes formodentligt, at jern og aluminium er bundet komplekst til humusstofferne i A1 og A2, og i en form der ikke umiddelbart synes at være mobil. Disse jorde klassificeres som podzoler ud fra deres visuelle fremtoning, selvom det nok er tvivlsomt, om der er foregået en egentlig podzoleringsproces.

Podzoler synes især at være udviklet i lerfattigt sandet materiale, selvom der senere i denne afhandling vil blive beskrevet en podzol med 12% ler i B horisonten. Det er dog ikke alle sandjorde, der bærer tydeligt præg af podzoler, hvilket fx kan skyldes eksterne forhold ved profilen som vegetationsdækket, alderen af profilen eller grundvandsspejlets beliggenhed, men det kan måske også skyldes forskellige forhold direkte ved profilen som fx jern- og aluminiumindholdet i jorden. Duchaufour og Souchier (1978) har fx ud fra profilstudier i Nordfrankrig fundet, at et højt jernindhold i jorden kan hindre eller hæmme podzoleringsprocessen. Dette stemmer godt overens med L. Petersen (1976a), der antager, at podzoleringsprocessen foregår ved, at polymere organiske forbindelser kompleksbinder jern og aluminium. Er jern- og aluminiumindholdet højt i profilen, vil disse polymere forbindelser genudfældes hurtigt, uden at der er foregået nogen nævneværdig transport af jern og aluminium ned i profilen.

Da de stærkest udviklede podzoler i Himmerland findes i flyvesandsområderne i det glacielle landskab, må man forvente, at disse jorde har et lavt indhold af dithionitcitratopløseligt jern og aluminium set i forhold til de øvrige jorde i det glacielle landskab. Dette er illustreret på fig. 18, der viser det gennemsnitlige dithionitcitratopløselige jern- og aluminiumindhold i den øverste meter af jorden for en række profiler udviklet i henholdsvis flyvesand, sandede og lerede glaciogene aflejringer og i det marine forland i Himmerland.

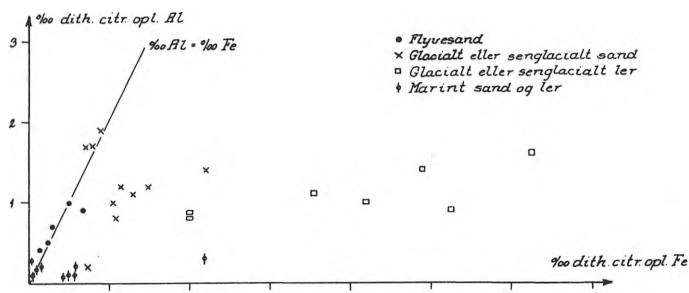


Fig. 18: Sammenhængen mellem det gennemsnitlige dithionit-citratopløselige jern og aluminium i den øverste meter af jorden og aflejringstypen.

The relationship between type of deposit and the average values of dithionitecitrate-soluble iron and aluminium within the upper metre of the soil.

Fig. 18 viser, at der i det anvendte talmateriale er størst spredning i det dithionitcitratopløselige jernindhold, hvor forskellen mellem de største og mindste værdier er på over 1%, medens spredningen i det dithionitcitratopløselige aluminium er mere beskeden, og hvor forskellen mellem den største og mindste værdi er under 0,2%. Dette skyldes blandt andet, at den anvendte metode er mere effektiv overfor jern end overfor aluminium. Der er en klar tendens til, at lerjordene indeholder væsentlig mere dithionitcitratopløseligt jern end flyvesandsjordene, medens de sandede glacielle jorde indtager en mellemstilling. De marine jorde synes derimod ikke at indeholde mere dithionitcitratopløseligt jern end flyvesandsjordene, hvilket muligvis kan skyldes, at de er relativt unge jorde, og at jernet er blevet vasket af sandskornene inden aflejringen. Fig. 18 viser desuden vedrørende dithionitcitratopløseligt aluminium, at der ingen forskel er mellem jordene udviklet på de sandede og lerede glaciogene aflejringer, medens der er en tendens til noget lavere indhold i flyvesandsområderne og et yderst ringe indhold i de marine jorde. Grunden til, at flyvesandsjordene har et ringere indhold af dithionitcitratopløseligt jern og aluminium end de øvrige jorde i det glacielle landskab er sandsynligvis, at flyvesandsområderne er relativt unge, og at de i en vis udstrækning er dannet af sammenblæst Al og A2-materiale fra de omkringliggende podzolerede glaciogene aflejringer.

Flyvesandsområderne i Himmerland vil som før omtalt normalt bestå af podzoler på forskellige udviklingstrin hen imod Typipodzolen. De steder inden for flyvesandsområderne, hvor grundvandet står højt, kan der dog forekomme andre jordbundstyper som fx gleyjorde, der i visse tilfælde kan være podzolerede, eller også kan der forekomme egentlige histosoler.

De relativt svagt podzolerede flyvesandsjorde har som oftest en særdeles god indre dræning betinget af jordens grovsandede tekstur sammenholdt med de ikke særligt stærkt udviklede horisonter. Den sandede tekstur medfører, at hovedparten af jordens porer er grovporer, hvilket bl.a. ses af fig. 19, der viser retentionskurverne fra en entic Typiblegsol SF3, en Strukturbrunsol i Østhimmerland, en Brunpodzol ved Gadbjerg nær Vejle og en Gleysesquipedzol nær Rønhøj Plantage.

Den store mængde grovporer, der ifølge fig. 19 findes i disse jorde, vil hurtigt kunne dræne et eventuelt nedbørsoverskud ud af profilen, uden at der opstår temporære grundvandsspejl i profilen. Da grovporesystemet ved markkapacitet vil være luftfyldt, vil disse jordtyper have et godt luftskifte, og der vil kun yderst sjældent forekomme anaerobe tilstande i profilen, på nær hvor der er højtstående grundvand. Mængden af mellemporer, der er et mål for den plantetilgængelige vandmængde, er ringe i disse jordtyper, og den vil som oftest være under 100 mm inden for den øverste meter af jorden. Dette er mindre end i de andre lerfattige jorde i det glacielle landskab. Der er ikke store forskelle i retentionskurvernes form og dermed i den plantetilgængelige vandmængde mellem A2, B og C horisonten, hvilket er særligt tydeligt ved Strukturbrunsolen og Brunpodzolen. Man kan af fig. 19 slutte, at den pedologiske udvikling ikke påvirker retentionskurvernes form væsentligt, så længe der er tale om blegsoler, brunsoler eller Brunpodzoler, idet retentionskurverne for B og C horisonterne i disse jorde er tilnærmelsesvis sammenfaldende. I Gleysesquipodzolen synes retentionskurven for den pedologisk stærkt udviklede B2 horisont at have et lidt andet forløb end B3 og C horisonterne, og således at den ikke alene ligger et godt stykke over kurverne for B3 og C, men også over retentionskurven for A2 horisonten. I både Brunpodzolen og i Gleysesquipodzolen ligger A2 horisontens retentionskurve ellers over B og C horisonterne, hvilket sandsynligvis skyldes et større humusindhold i A2 end i de omtalte horisonter.

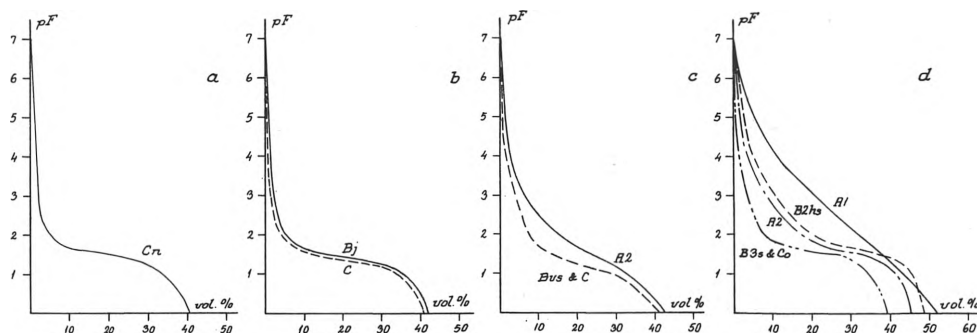


Fig. 19: Retentionskurver for fire profiler udviklet i flyvesand.

a) entic Typiblegsole; sand. Strandby-Farsø Kommuneplantage.

b) Strukturbrunsol; sand. Østhimmerland.

c) Brunpodzol; sand. Gadbjerg vest for Vejle.

d) Gleysesquipodzol; sand. Nær Rønhøj Plantage.

Grovporer = porøsiteten - vol% vand ved pF2.

Mellemporer = vol% vand ved pF2 - vol% vand ved pF4.2.

Finporer = vol% vand ved pF4.2 - vol% vand ved pF7.

Soil water retention curves for 4 poorly developed profiles in blown sand.

De stærkt udviklede podzoler så som hærdnede, placiske eller degraderede Typipodzoler kan på grund af de markante veludviklede horisonter udvise store forskelle i vandretentionen ned gennem profilen og dermed i de indre dræningsbetingelser. På fig. 20 ses udvalgte retentionskurver fra Typipodzoler udviklet i flyvesand. Den første profil er SF2, medens de to andre profiler stammer fra et flyvesandsområde vest for Vejle. Fig. 20 viser, at der er store forskelle mellem de forskellige horisoners vandretention i profilerne, hvilket næsten udelukkende må tilskrives jordens pedologiske udvikling. Man kan generelt sige, at A2 og C horisonernes vandretentionskurver minder om retentionskurverne fra de samme horisonter i Brunpodzolerne, d.v.s. at der er mange grovporer og få mellem- og finporer, medens B2 horisonernes retentionskurver har et noget andet forløb, således at der i disse horisonter er noget færre grovporer og en del flere mellem- og finporer end i de tilsvarende B2 horisonter i Brunpodzolerne. Typipodzoler med tykke veludviklede B2 horisonter kan derfor i visse tilfælde indeholde mere plantetilgængeligt vand end Brunpodzoler med samme tekstur.

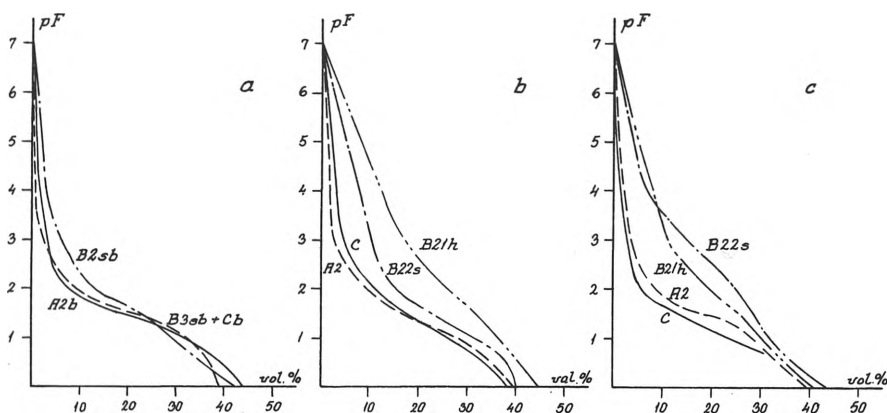


Fig. 20: Retentionskurver for tre Typipodzoler udviklet i flyvesand.
 a) toppodzol entic hærdnet Gleytypipodzol; sand/siltet sand.
 Strandby-Farsø Kommuneplantage.
 b) hærdnet Typipodzol; sand. Gadbjerg vest for Vejle.
 c) hærdnet Typipodzol; sand. Gadbjerg vest for Vejle.

Soil water retention curves for 3 Typipodzols developed in blown sand.

Den forholdsvis ringe mængde grovporer sammenholdt med en stærk cementering og pladestruktur i B2 horisonten kan i visse tilfælde hæmme nedrivningen af vandet, således at der opstår temporære grundvandsspejl oven på B2 horisonterne. Disse dræningsforhold kan fx betragtes om foråret og om vinteren i Sølsted grusgrav nord for Tønder. Der kan derved opstå hydromorfe karakteristika i A2 horisonten, men der opstår sjældent et egentligt gleypræg med rustrøde pletter på grund af podzoleringsprocessen. Det hydromorfe præg i forbindelse med udfældninger i jordprofilen vil især være tydeligt, hvor der er udviklet placiske horisonter. Disse udfældninger, hvis genese endnu ikke er fuld klarlagt (Soil Survey Staff 1975), forekommer især i podzole-

rede jorde, og de vil normalt både virke rod- og vandstandsende. Dette er fx påvist af Madsen (1980b), der fandt svage placiske horisonter udviklet i Brunpodzoler ved Tylstrup i Vendsyssel. Da der i jorde med placiske horisonter ofte vil være tydeligt gleypræg ovenpå den placiske horisont, vil disse jorde normalt blive klassificeret som Stuvningsgleytypipodzoler, Stuvningsgleybrunpodzoler, Podzolstuvningsgleyer eller Stuvningsgleyer, hvor podzoleringsprocessen i det sidste tilfælde enten ikke er foregået eller er udvisket på grund af det temporære grundvand. Da de placiske horisonter har stor indflydelse på profiludviklingen og de dyrkningsmæssige forhold, indgår tilstedeværelsen af placiske horisonter allerede på suborderniveau i Soil Survey Staff (1975) og placic Podzol er en af de 106 soil units i FAO (1974). I FitzPatrick (1971) indgår jorde med placiske horisonter endog som en selvstændig jordtype, nemlig placosols.

KAPITEL 6

DEN PEDOLOGISKE UDVIKLING PÅ LERFATTIGT UDGANGSMATERIALE I DET GLACIALE LANDSKAB

Den pedologiske udvikling på de sandede glaciogene aflejringer i Himmerland er blevet undersøgt i 3 skovområder, nemlig Rønhøj Plantage SØ for Oudrup, Rold Skov syd for Rebild og Lundgård Skov på skråningen ned mod Bjørnsholm Ådal ved Overlade i Vesthimmerland.

Hensigten med profilstudierne i de tre områder er især at belyse forskellen i den pedologiske udvikling set i relation til udgangsmaterialets lerprocent. Således repræsenterer profilerne i Rønhøj Plantage, der har omkring 5% 1er eller derunder i udgangsmaterialet, de mere sandede profiler i det glacielle landskab, medens nogle af profilerne fra Rold Skov og Lundgård Skov repræsenterer de mere lerholdige aflejringer med omkring 10% 1er i udgangsmaterialet .

Rønhøj Plantage

Rønhøj Plantage er beliggende på en stor veldefineret bakke, der er gennemfuret af vanderosion, og som i visse dele er stærkt præget af æolisk aktivitet. På fig. 21 ses et topografisk kort over området og profilernes placering. SR1 og SR2, der er højbundsjord, er udviklet i et område, der et stykke op i dette århundrede var lyngklædt, men som siden er tilplantet med nåletræer. De to lavtliggende profiler SR3 og SR4 er derimod udviklet i et område, der formodentligt altid eller næsten altid har været dækket med lavbundsvegetation. Profilerne er placeret i terrænet, så de danner en toposekvens.

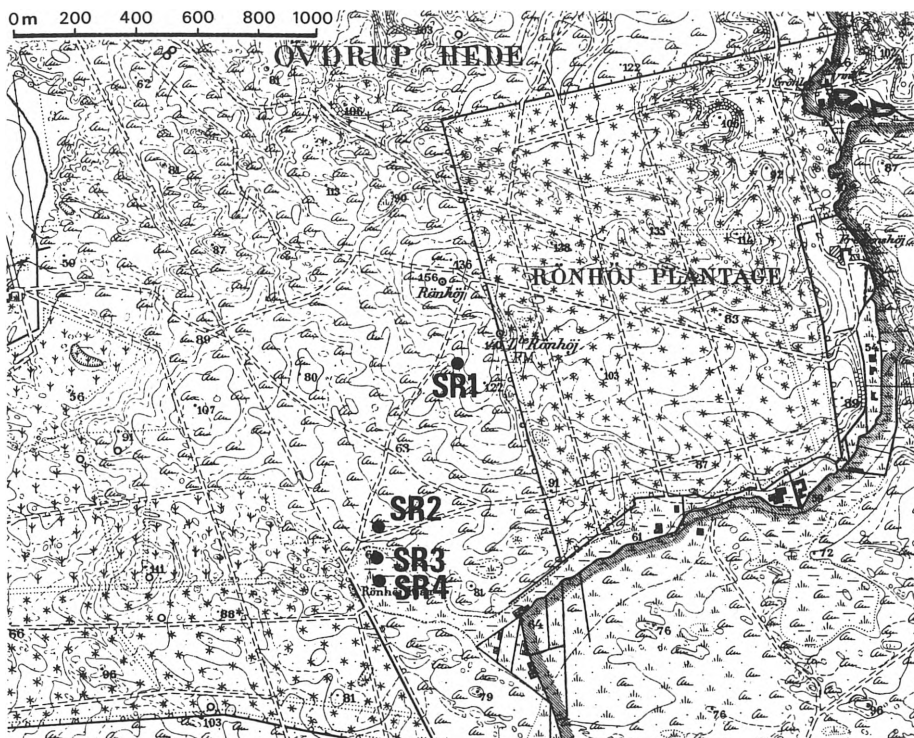


Fig. 21: Kort over de topografiske forhold omkring Rønhøj Plantage og profilernes geografiske placering.

Topographic map of Rønhøj Plantage and surroundings and the location of the investigated profiles.

Profilbeskrivelser

SR1: kolluvial Pseudogleyesquipedzol ; siltet sand, sur.
 Soil Taxonomy: Typic Haplohumud.
 Profilen er udviklet i glaciogent sand.
 Terrænkote: 35 m DNN; dræningsklasse: moderat veldrænet;
 profildybde: 160 cm; vegetation: nåletræsplantage.

Olf (8-0): mørkebrunt morlag.

A1+A2 (0-20): meget mørkegråt (10YR3/lf) siltet sand med mange hvide korn; humusholdig; meget svag granularstruktur; meget sprød; ingen sten; mange rødder; overgang klar og bølget.

Alb+A2b (20-45): brunt til mørkebrunt (7,5YR4/2f) siltet sand med

mange hvide korn; humusholdig; meget svag granularstruktur; meget sprød; ingen sten; mange rødder; overgang klar og bølget.

- B2sb (45-58): mørkt rødbrunt (5YR3/4f) siltet sand med en del gulbrune pletter; humusholdig; moderat pladestruktur; kontinuert svagt cementeret; ingen sten; mange rødder; overgang klar og plan.
- B3sb (58-71): brunt til mørkebrunt (10YR4/3f) siltet sand; humusholdig; svag subangular blocky; meget sprød; ingen sten; få rødder; overgang klar og plan.
- Cgb (71-): lyst gulbrunt (2,5Y6/4f) siltet sand med en del gulbrune pletter; humusfattig; svag subangular blocky; meget sprød; ingen sten; meget få rødder.

SR2: Sesquipodzol; siltet sand, sur.
 Soil Taxonomy: Typic Haplohumod.
 Profilen er udviklet i glaciogen sand.
 Terrænkote: 24 m DNN; dræningsklasse: meget veldrænet
 profildybde: 125 cm; vegetation: nåletræsplantage.

- Olf (6-0): mørkebrunt morlag.
- A1+A2 (0-15): meget mørkegråt (10YR3/1f) siltet sand med mange hvide korn; humusholdig; meget svag subangular blocky; sprød; meget få sten; mange rødder; overgang skarp og plan.
- B2s (15-38): mørkt rødbrunt (5YR3/3f) siltet sand med få runde gulbrune pletter; humusholdig; svag subangular blocky; sprød; visse partier svagt cementeret; få sten; få rødder; overgang klar og plan.
- B3s+C (38-54): stærkt brunt (7,5YR5/6f) siltet sand opblandet med gulbrunt C materiale; humusholdig; meget svag subangular blocky; meget sprød; mange sten; meget få rødder; overgang gradvis og bølget.
- C (54-): lyst gulbrunt (10YR6/4f) siltet sand; humusfattig; moderat pladestruktur; meget sprød; meget få sten; meget få rødder.

SR3: histic fragi Podzolvågley; siltet sand/lerholdigt siltet sand svagt sur.
 Soil Taxonomy: Humic Fragiaquept.
 Profilen er udviklet i glaciogen sand.
 Terrænkote: 20 m DNN; dræningsklasse: imperfekt drænet;
 profildybde: 135 cm; vegetation: lavbundsvegetation;
 grundvand: grundvand i 75 cm.

- Oa (0-10): brun tørv.

- Alh (10-35): sort (10YR2/1f) siltet sand med mange hvide korn; humusrig; svag angular; meget sprød; ingen sten; særdeles mange rødder; overgang skarp og plan.
- A2o (35-43): brunt til mørkebrunt (10YR4/3f) sand med en del sorte humusholdige partier; humusholdig; meget svag subangular blocky; meget sprød; ingen sten; mange rødder; overgang skarp og bølget.
- B2svo (43-62): rødbrunt (5YR4/4f) sand; humusholdig; meget svag subangular blocky; meget sprød; ingen sten; mange rødder; overgang klar og bølget.
- B3svo (62-72): brungult (10YR6/6f) sand med få rødbrune pletter; humusfattig; meget svag subangular blocky; meget sprød; ingen sten; mange rødder; overgang klar og plan.
- Clo (72-90): brungult (10YR6/6v) sand med få rødbrune pletter; humusfattig; meget svag subangular blocky; falsk grundvand nederst i horisonten betinget af den underliggende horisont; få sten; mange rødder; overgang klar og plan.
- IIC2rx (90-): olivengråt (5YR5/2v) lerholdigt siltet sand med meget få rustrøde pletter omkring rodgange; massiv; ikke klæbrig og ikke plastisk; fragipan der betinger et ovenliggende grundvand; ingen sten; meget få rødder.
- SR4:** histic fragi vådgley; hemic/siltet sand, svagt sur.
 Soil Taxonomy: Aerlic Fragiaquept.
 Profilen er udviklet i glaciogent sand.
 Terrænkote: 20 m DNN; dræningsklasse: imperfekt drænet
 profildybde: 110 cm; vegetation: lavbundsvegetation;
 grundvand: 90 cm.
- Oe (0-33): sort tørv.
- Alh (33-52): meget mørkegråt (10YR3/1f) siltet sand; humusrig; ingen sten; mange rødder; overgang klar og plan.
- B2vo (52-67): gulbrunt (10YR5/4f) sand; humusfattig; svag subangular blocky; meget sprød; meget få sten; få rødder; overgang klar og plan.
- B3vo (67-97): lyst gulbrunt (10YR6/4f) sand; humusfattig; svag subangular blocky; meget sprød; meget få sten; meget få rødder; overgang skarp og plan.
- Crx (97-): olivengråt (5Y5/2v) siltet sand med rustrøde ringe omkring få rodgange; humusfattig; massiv; vandstandsende; ingen sten; ingen rødder; grundvand omkring 90 cms dybde lige ovenpå Cr.

Resultater og diskussion af profilernes pedologiske udvikling

I tabel 8 ses analyseresultaterne, og på fig. 22 ses profilernes placering i toposekvensen samt en skematisk fremstilling af disse.

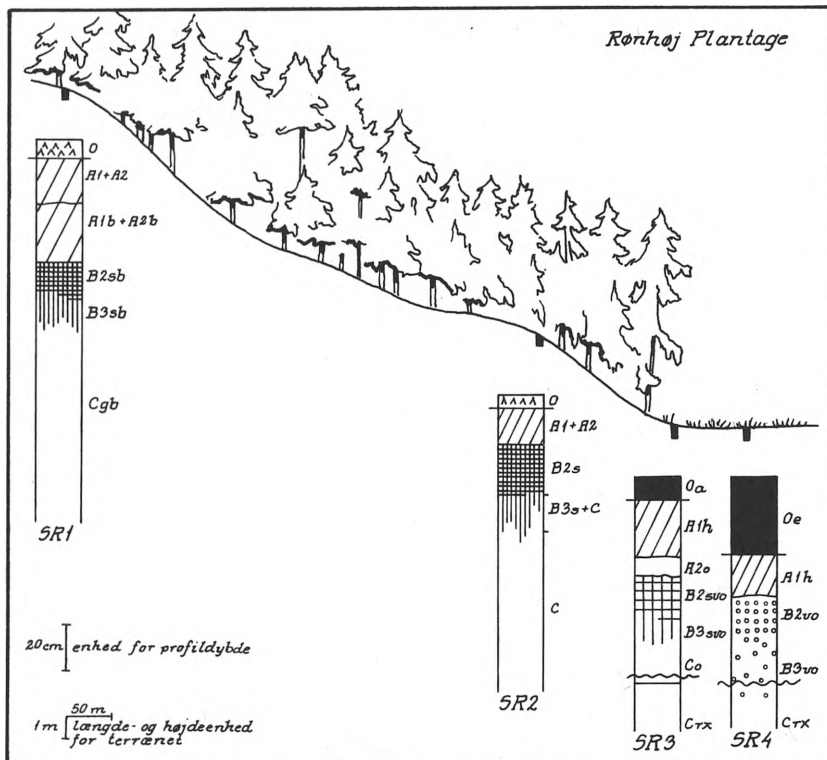


Fig. 22: Skematisk gengivelse af de undersøgte profiler og deres placering i toposekvensen i Rønhøj Plantage.

Schematic diagram showing the four investigated profiles and their location in the toposequence, Rønhøj Plantage.

SR1, der er beliggende nær toppen af Lille Rønhøj, formodes at være udviklet i glaciogen sand, der er relativt homogent med et lerindhold på omkring 5%. Profilen er en tydelig dobbeltprofil, idet der ovenpå den gamle overflade findes en sammenrodet A1 og A2 horisont, der sandsynligvis stammer fra plantningen af nåletræerne, hvor der mellem trærækkerne er blevet opløjet en mindre jordvold (balken). Under den menneskeskabte A1+A2 horisont findes en 25 cm tyk egentlig eluvialhorisont for de nedenfor liggende B horisonter, hvoraf den øverste, B2sb, er svagt cementeret. Der er ikke i Profilen tegn på dannelsen af en humus B horisont, ligesom der ikke er tegn på lervandringer i profilen bedømt ud fra lerindholdet i horisonterne.

Tabel 8: Analyseresultater fra de fire undersøgte profiler i Rønhøj Plantage.

Analytical results of the four investigated profiles in Rønhøj Plantage.
Glacial drift in the sandy part of the glacial landscape.

	Tekstur U							OM 0/0	pH		CaCO ₃ 0/0	Dith. citr.		Pyrophosph.		• Ombyt. baser mækv.				CEC mækv	V 0/0	C/N
	<2	2-20	20-63	63-125	125-200	200-500	500-2000		H ₂ O	CaCl ₂		Fe 0/00	Al 0/00	Fe 0/00	Al 0/00	Ca	Mg	K	Na			
SR1: Al+A2(0-20) Alb+A2b(20-45) B2sb(45-58) B3sb(58-71) Cgb(71-)	4	4	8	12	33	28	6	6.9	3.8	3.2	0	4.2	1.0	0.8	0.7	-	-	-	-	-	-	28
	5	8	7	16	35	23	3	3.1	4.2	3.8	0	2.6	1.0	2.0	1.4	0.05	0.04	0.03	0.05	21.6	1	29
	4	5	4	14	39	28	4	2.0	4.5	4.3	0	3.2	1.6	2.1	1.8	0.05	0.02	0.01	0.04	14.5	1	-
	3	5	5	15	37	29	5	1.1	4.6	4.4	0	1.6	1.2	1.0	1.9	0.00	0.01	0.01	0.03	8.1	1	-
	5	6	13	16	31	22	7	0.4	4.6	4.4	0	-	-	-	-	0.05	0.02	0.02	0.04	6.9	2	-
SR2: Al+A2(0-15) B2s(15-38) B3s+C(38-54) C(54-)	4	5	8	16	36	22	3	6.2	3.9	3.4	0	0.2	1.0	-	-	0.27	0.12	0.04	0.08	24.0	2	30
	5	5	8	15	32	25	7	3.0	4.2	4.0	0	3.3	2.3	-	-	0.10	0.04	0.03	0.08	22.3	i	-
	5	7	10	15	31	25	6	1.1	4.7	4.5	0	2.3	1.6	2.4	2.0	0.05	0.01	0.02	0.02	9.2	i	-
	5	6	11	14	33	25	6	0.4	4.8	4.5	0	1.5	2.1	0.6	1.4	0.05	0.01	0.02	0.03	6.2	2	-
SR3: Alh(10-35) A2o(35-43) B2SVO(43-62) B3svo(62-72) Cbo(72-90) IIC2x(90-)	3	4	8	10	35	29	2	8.9	5.6	5.1	0	0.2	0.2			12.6	0.44	0.07	0.10	36.7	36	11
	2	3	0	6	45	40	3	1.2	6.1	5.5	0	1.7	1.3	0.1	1.1	2.6	0.07	0.01	0.02	6.9	39	-
	2	2	1	5	45	41	3	1.1	6.3	5.7	0	3.0	3.3	0.1	1.1	2.9	0.08	0.01	0.02	8.0	38	-
	2	1	1	5	46	41	3	0.7	6.2	5.6	0	2.3	2.3	0.1	0.7	1.2	0.03	0.01	0.03	3.6	34	-
	2	1	1	6	42	42	6	0.4	6.3	5.7	0	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	2	1	1	6	42	42	6	0.4	6.3	5.7	0	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	7	1	9	16	46	16	5	0.2	6.1	5.4	0	1.3	1.6	0.1	0.1	3.0	0.22	0.09	0.03	4.6	74	-
SR4: Oe(0-33) Alh(33-52) B2vo(52-67) B3vo(67-97) IICrx(97-)			-	-	-	-	-	87.1	5.3	4.8	0	-	-	-	-	60.6	2.6	0.29	0.31	107.2	60	24
	4	3	8	23	35	16	1	10.0	5.9	5.3	0	0.9	1.8	0.8	3.2	-	-	-	-	-	-	15
	2	2	1	6	44	41	3	0.8	6.0	5.6	0	0.1	0.8	0.1	1.3	2.6	0.09	0.01	0.03	5.5	49	-
	2	1	1	10	46	33	7	0.3	6.0	5.6	0	0.1	0.3	0.1	0.3	1.3	0.07	0.01	0.03	2.0	72	-
	5	5	12	13	33	26	6	0.3	6.1	5.6	0	0.2	0.2	0.1	0.3	2.7	0.15	0.05	0.04	3.8	79	-

Eluvialhorisonten bærer tydeligt præg af, at der har været en vis sammenblanding af Alb og A2b horisonten, og det har derfor ikke været muligt at udskille Al og A2 ved prøveudtagningen. Under B horisonterne kommer C horisonten, der er præget af pseudogleyprocesser med tydelige afblegninger omkring rodgange og større sprækkesystemer i jorden.

Variationen af jern og aluminium ned gennem profilen viser, at der er maksimum for pyrophosphatopløseligt jern og aluminium samt for dithionitcitratopløseligt aluminium i Bs, medens der er maksimum for dithionitcitratopløseligt jern i A1+A2. Summen af det pyrophosphatopløselige jern og aluminium overstiger helt klart halvdelen af det dithionitcitratopløselige jern og aluminium i Bs, hvilket efter Soil Taxonomy indikerer en podzolerung af profilen. Man må dog konkludere på basis af variationen i dithionitcitratopløseligt jern og aluminium, den manglende Bh horisont i profilen og den svagt cementerede Bs horisont, at profilen ikke er så kraftigt podzoleret som Typipodzolerne i Strandby-Farsø Kommuneplantage. Profilerne virker dog væsentlig stærkere podzoleret end mange af de senere beskrevne Brunpodzoler, fx er B2s horisonten rødbrun og svagt cementeret, og den indeholder en del lysere overvejende runde pletter, der er karakteristiske for veludviklede podzoler, se kap. 5. Humusindholdet i B2s er relativt højt set i forhold til ikke podzolerede sandjordes humusprocent i samme dybde, hvilket også indikerer, at podzoludviklingen er forholdsvis stærk. Humusindholdet i B2s overstiger dog ikke humusindholdet i Alb og A2b, hvilket kan skyldes, at Al materialet dominerer denne blandingshorisont. Det høje humusindhold i balken set i forhold til de underliggende horisonter kan skyldes, at det tidligere morlag er blandet op i balken og siden omsat, hvilket en sammenligning af C/N-forholdene i de to A1+A2 horisonter vidner om.

Profilen er i de øverste horisonter stærkt sur med $\text{pH}(\text{CaCl}_2)$ under 4, men den stiger med dybden til over 4. Basemætningsgraden er derfor kun omkring 1%, og som ved profilerne i kap. 5 udgør K+Na en relativ stor del af de adsorberede baser.

Profilen klassificeres som en kolluvial Pseudogleysesquipodzol på grund af den svagt cementerede B2sb horisont og på grund af C horisontens pseudogleypreg, der begynder inden 80 cms dybde. Betegnelsen kolluvial anvendes, fordi det pålagte A1+A2 materiale sammen med den oprindelige A horisont er mellem 40 og 80 cm tyk. Efter Soil Taxonomy er profilen en Typic Haplohumod.

SR2, der er beliggende nær foden af skråningen fra Lille Rønhøj, er som SRI udviklet på homogent glaciogent sand med omkring 5% ler. Profilen består øverst af en 15 cm tyk eluvialhorisont, hvor Al og A2 ikke er tydeligt adskilt. Under eluvialhorisonten kommer B2s, der i 38 cms dybde går over i en blandingshorisont af B og C. I 54 cms dybde kommer den rene C horisont, der i modsætning til C horisonten i SRI ikke er præget af pseudogley. I blandingshorisonten og øverst i den rene C horisont fandtes en del vandretgående jern- og aluminiumberigede bånd, der er typiske for podzoler. Umiddelbart under disse bånd følte sandet "fedtet", hvilket enten kan skyldes en yderst svag lerakkumulation betinget af lervandring i profilen eller sedimentets geologiske oprindelse. Er det førstnævnte tilfældet, er lernedslemningen dog så svag, at den ikke påvirker horisontbetegnelserne i profilen eller klassifikationen af denne.

Variationen i dithionitcitratopløseligt jern og aluminium ned gennem profilen viser tydeligt tegn på podzolering, idet der er maksimum for både jern og aluminium i B2s. Humusindholdet i Bs er også relativt højt, selvom det overgås af humusindholdet i A1+A2. Profilen er stærkt udvasket, og basemætningsgraden ligger mellem 1 og 2% i horisonterne. Dette medfører, som ved de øvrige meget stærkt udvaskede jorde, at K+Na udgør en relativ stor andel af de ombyttelige baser, hvilket især er tydeligt for B og C horisonterne.

Profilen bliver på basis af horisontforløbet og B2 horisontens farve klassificeret som en Sesquipodzol. Efter Soil Taxonomy er den en Typic Haplohumod.

SR3 er beliggende i, men nær randen af Rønhøj Kær, der ligger for foden af skråningen fra Lille Rønhøj. Profilen, der er udviklet i glaciogent sand med omkring 2% ler, er stærkt præget af grundvandsgley fra i hvert fald en halv meters dybde. Det højtstående grundvand har medført dannelsen af et tyndt tørvelag og en humusrig Al horisont, der på grund af det relativt eutrofe miljø har et lavt C/N-forhold. Under Al findes en veldefineret A2o horisont, hvorunder der kommer en B2svo horisont. De efterfølgende horisonter B3svo, Co og IICrx er alle meget stærkt grundvandsprægede. I IICrx findes en veludviklet fragipan med en gennemsnitlig volumenvægt på 1,96 g/cm³. Denne virker stærkt vandstandsende, og der blev ved prøveudtagningen konstateret grundvand hvilende på dette lag.

Baggrunden for dannelsen af fragipans er endnu ikke helt afklaret, og der findes i dag to hovedteorier for disse horisonters dannelse. Den ene teori går ud på, at horisonterne er af pedogenetisk oprindelse betinget af forvittrings- og migrationsprocesser. Grossman et al (1959) og Crampton (1965) foreslog i denne forbindelse, at sesquioxider sammenbandt horisonten, Winters (1942) og Steinhardt & Franzmeier (1979) fandt at silicium sammenbandt horisonten, og endelig fandt Knox (1957), Iha & Cline (1963) og Vanderford & Shaffer (1966), at det var leret selv, der sammenbandt horisonten. Den anden teori går ud på, at det er periglaciale processer, der betinger dannelsen af fragipans. Fragipans dannes efter denne teori ved sammenpresning af det vandmættede materiale ovenover permafrostlaget, når de øverste jordlag om efteråret fryser. Dannelsen af islinser skulle i denne forbindelse forklare den pladestruktur, der ofte findes i fragipans. Denne teori er bl.a. beskrevet af FitzPatrick (1956), af Lozet & Herbillon (1971) og af Van Vliet & Langohr (1981). C.W. Petersen et al (1970) fandt ved studier af 254 jordprofiler i Pennsylvania, at fragipans forekom i både æoliske, fluviale, lacustrine, moræne og kolluviale aflejringer, og at der var en klar tendens til højere volumenvægte for fragipans i fluviale- og moræneaflejringer, medens dette ikke var tilfældet for fragipans udviklet i æoliske og lacustrine aflejringer. Det blev endvidere fundet, at hovedparten af fragipans udviklet i tills havde en teksturel sammensætning svarende til det skraverede område i fig. 23. Dette svarer godt overens med Soil Survey Staff (1951), der angiver, at fragipans i overvejende grad findes på sande eller siltede lerfattige jorde.

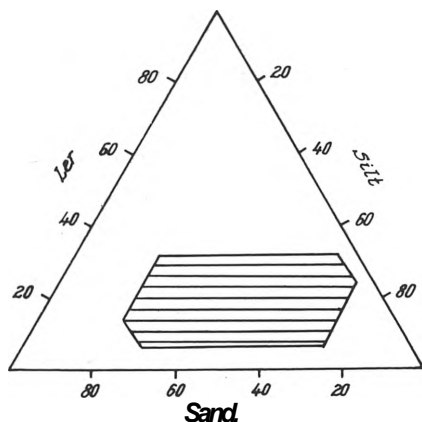


Fig. 23: Den teksturelle sammensætning af fragipans udviklet i glaciogene aflejringer. Efter C.W. Petersen et al (1970).

The textural composition of fragipans developed in glacial drifts. After C.W. Petersen et al (1970).

De mest veludviklede fragipans findes normalt på forholdsvis dårligt drænede jorde (Van Vliet & Langohr 1981), og dræningstilstanden synes også at have betydning for dybden til overgrænsen af en fragipan. C.W. Petersen et al (1970) fandt i denne forbindelse, at fragipans lå dybest i jorde med, hvad han betegner som "somewhat poorly drainage", medens fragipans lå højt oppe i profilerne, der enten var veldrænede eller meget dårligt drænede. Dette skyldes sandsynligvis, at udviklingen af en tydelig fragipan og dybden under terræn til denne hænger sammen med den mængde vand, der kan destilleres fra de underliggende horisonter og op til det øvre frosne lag.

En del af de i denne afhandling beskrevne fragipans formodes at være dannet ved periglaciale processer, idet de ikke virkede cementerede, men kun stærkt komprimerede. I andre tilfælde blev der dog fundet stærkt kompakte lag, der var svagt cementerede, og som derfor muligvis kan være dannet ad pedogenetisk vej.

I jorden over den stærkt udviklede fragipan i SR3 er der udviklet en tydelig podzol, bedømt ud fra den visuelle fremtoning og variationen i dithionitcitratopløseligt jern og aluminium. Profilen er dog ikke så stærkt udviklet, at der fremkommer et lokalt maksimum for humus i B2svo. Den visuelt tydelige podzolering af profilen er temmelig bemærkelsesværdig, idet C/N-forholdet i A1 er meget lavt sammenlignet med andre podzolerede jorde, samt at basemætningsgraden og pH er væsentligt højere, end man normalt finder i podzoler. Det er derfor spørgsmålet, om der er foregået en podzolering af profilen i traditionel forstand, eller om profilen ad anden vej har fået den karakteristiske horisontering. Betragtes i denne forbindelse variationen og mængden af pyrophosphatopløseligt jern og aluminium ned gennem pro-

filen ses, at B2sv horisonten ikke opfylder i hvert fald et af kravene til en spodisk horisont, nemlig at mængden af dithionitcitratopløseligt jern og aluminium ikke må overstige det dobbelte af mængden af pyrophosphatopløseligt jern og aluminium. Det er derfor tvivlsomt, om der er foregået en podzoleringsproces, hvor jern og aluminium udelukkende har været komplekst bundet til humusstoffer. Er dette ikke tilfældet, kan den karakteristiske horisontering fx tænkes opstået ved, at profilen har fået pålagt noget lyst sand ovenpå det mørkebrune sand. Dette er dog ikke videre sandsynligt, da der fx ikke er spor af en ældre overflade i profilen mellem det lyse og mørke sand. En anden teori er, at jern og aluminium kan være blevet nedvasket direkte som jern- og aluminium(hydr)oxider til B horisonten, d.v.s. i kolloidal form. Et sådant procesforløb er tidligere foreslået af fx Mattson (1933) og Mattson & Gustafsson (1934, 1935, 1937a og 1937b). Da podzolprocessen normalt kun foregår under sure forhold, kan det tænkes, at profilen tidligere under en lavere grundvandsstand har været stærkt udvasket og dermed podzoleret, hvorefter en forsumpning har dannet basis for opbygning af det tynde tørvelag, den humøse Al horisont og det kraftige basetilskud, der i dag har gjort profilen relativ eutrof. Den høje basemætningsgrad i profilen set i forhold til SR1 og SR2 skyldes sandsynligvis, at profilen er blevet beriget med baser gennem grundvandstilskud fra de tilstødende bakker, der formodentlig er kalkholdige i de dybereliggende lag. Fordelingen mellem de ombyttelige baser er derfor væsentlig forskellig fra den, man finder i stærkt udludede podzoler, idet Ca og Mg udgør over 95% af de ombyttelige baser. Dette forhold synes at være generelt for jorde, der ikke er stærkt udludede, og betragtes fig. 17 ses, at det for alle undersøgte horisonter i profiler under skov i det glacielle landskab gælder, at Ca+Mg udgør 90% eller derover af de samlede ombyttelige baser, såfremt basemætningsgraden er over 20%.

Profilen klassificeres som en histisk fragi Podzolvådgley på grund af det tynde tørvelag, den veludviklede fragipan inden for den øverste meter af jorden og den formodede podzolering med en veludviklet A2 og B2sv. Efter Soil Taxonomy er profilen en Humic Fragiaquept.

SR4, der er beliggende et stykke ude i Rønhøj Kær, består af 33 cm delvis omsat tørv med et kun ringe indhold af minerogent materiale. Under tørvlaget kommer en humusrig Al horisont, der hviler på en gulbrun B2vo, der farvemæssigt tydeligt kan adskilles fra den underliggende B3vo. I 97 cms dybde findes en fragipan, der som i SR3 virker vandstandsende, selvom den er knapt så veludviklet.

Betragtes indholdet af dithionitcitratopløseligt jern og aluminium, ses, at der ikke er tegn på podzolering af profilen. Dette er heller ikke forventeligt ud fra den høje basemætningsgrad og det lave C/N-forhold i Al horisonten. Den totale dithionitcitratopløselige jernmængde i profilens B og C horisonter er særdeles ringe, hvilket kan skyldes, at jernet lateralt er blevet skyllet ud af profilen. Selvom hovedparten af B horisontens jern er fjernet fra profilen, er der et tydeligt farveskift mellem B2 og B3, hvilket muligvis kan skyldes, at jernet i de to horisonter har forskellig krystallisationsform, samt at der er mere humus i B2 end i B3. Basemætningsgraden er i denne profil noget højere end i SR3, hvilket kan tilskrives, at profilen ligger ude i den centrale del af kæret, hvor der er bedre betingelser for akkumulation af baser. Som i SR3 dominerer Ca og Mg klart over Na+K.

Profilen klassificeres som en histisk fragi vådgley. Dette skyldes, at profilen har et 10 til 40 cm tykt øvre jordlag med over 20% organisk stof, og en fragipan inden for den øverste meter af profilen. Efter Soil Taxonomy er profilen en Aerice Fragiaquept.

Man kan vedrørende den pedologiske udvikling i Rønhøj Plantage konkludere, at de 4 undersøgte profiler danner en topohekvens, hvor de to øverstbeliggende jorde ikke er grundvandsprægede, medens de to nederste er under stærk indflydelse af grundvand. De to veldrænede profiler er veludviklede podzoler, Sesquipodzoler, hvoraf den ene har en svagt cementeret Bs horisont og pseudogley i C horisonten. Der er ikke i nogen af profilerne tydelige tegn på lernedslemning. Jordene er stærkt udvaskede, de har lave basemætningsgrader og C/N-forhold på omkring 30, hvilket er normalt for veludviklede podzoler. I modsætning til de lavereliggende profiler er der ikke i disse jorde udviklet fragipans. De to nederste profiler i toposekvensen er beliggende i Rønhøj Kær. Begge profiler har veludviklede fragipans inden for den øverste meter af jorden, der betinger dannelsen af grundvand. Det antages, at disse fragipans er dannet i senglacial tid ved kompression af jorden mellem permafrostlaget og den fra overfladen frosne jord, der fremkommer om efteråret. Profilerne er relativt baserige sandsynligvis betinget af baserigt grundvand, der kommer fra de tilstødende bakker. K og Na udgør en væsentlig mindre andel af de ombyttelige baser i disse jorde, end det er tilfældet i de stærkt udludede højere beliggende jorde. Dette skyldes sandsynligvis, som angivet ved beskrivelsen af jordbundsforholdene i kap. 5, at nedbørens kemi og basefrigivelsen ved forvitring af primærsilikater spiller en relativ stor rolle for basesammensætningen i stærkt udludede jorde, medens disse faktorer tilnærmelsesvis ingen indflydelse har på basesammensætningen i de ikke stærkt udludede jorde, fig. 17. I den mindst grundvandsprægede af de 2 profiler i Rønhøj Kær er der udviklet en histisk fragi Podzolvådgley, hvilket ikke er helt forventeligt ud fra basemætningsgraden og det meget lave C/N-forhold i Al. I den anden profil er der visuelt udviklet en horisontfølge, der kan lede tankerne hen på en brunsol, men det højtliggende grundvandsgley og det tynde tørvelag medfører, at jorden bliver klassificeret som en histisk fragi Vådgley. Det er bemærkelsesværdigt, at denne profils jernindhold er særdeles lavt, selvom der er udviklet en visuel tydelig Bv horisont. Det lave jernindhold i profilen antages at skyldes en lateral fjernelse med grundvandet, hvilket især er tydeligt for de to B horisonter, når forskellen mellem jern- og aluminiumindholdet inddrages i vurderingen. Den farveforskel, der på trods af det lave jernindhold findes mellem B2 og B3, antages at skyldes forskellige krystalformer for jernet samt den forskel, der findes i de to horisonters indhold af organisk stof.

Rold Skov

Rold Skov er beliggende på højderyggen, der strækker sig fra Mariager Fjord i syd og næsten op til Nibe Bredning i nord. Store dele af Rold Skov ligger i et stærkt kuperet terræn med mange stejle bakker, dybt nedskårne erosionsdale som St. Stendal og med en del falske bakker ud mod Lindensborg Ådal. Der er ialt undersøgt 4 profiler i dette skovområde, hvoraf to beskrives og diskuteres i denne afhandling. Profilerne er gravet syd for St. Stendal nær Troldeskov og i Fællesskov. Områdets topografiske forhold og profilernes

placering ses af fig. 24. Arealanvendelsen har i de sidste 300 år været skov, men skovdækningen strækker sig sandsynligvis flere hundrede år længe tilbage i tiden, og visse områder har muligvis aldrig været opdyrket. Den ene af de beskrevne profiler er forholdsvis veldrænet og ligger på en svagt hældende nordskråning, medens den anden profil er moderat veldrænet og ligger i bunden af en lille erosionsdal nær Troldekov. På fig. 25 ses en principskitse af de to profiler.

Profilbeskrivelser

SRol: entic degraderet fragi pseudogleyet Podzoltypilessive;

siltet sand/leret siltet sand, sur.

Soil Taxonomy: Ultic Fragiorthod.

Profilen er udviklet i sandet till.

Terrænkote: 83 m DNN; dræningsklasse: veldrænet;

profildybde: 110 cm, boret til 2 meter; vegetation: løvskov.

Olf (3-0): mørkebrunt morlag.

Alø (0-8): mørkegråt (10YR4/lt) siltet sand med mange hvide kvartskorn; humusholdig; meget svag subangular blocky; meget sprød; meget få sten; mange rødder; overgang klar og irregulær.

A2ø (8-20): lystgråt (10YR7/2t) siltet sand; humusfattig; meget svag subangular blocky; meget sprød; få sten; få rødder; overgang klar og irregulær.

B2svø (20-33):mørkebrunt (7,5YR4/4f) lerholdigt siltet sand, der i de øverste cm er (5YR5/3f); humusholdig; svag subangular blocky; sprød; pletvis stærkt cementeret; meget få sten; mange rødder; overgang gradvis og plan.

B3svø (33-50):stærkt brunt (7,5YR5/6f) siltet sand; humusfattig; svag subangular blocky; meget sprød; pletvis svagt cementeret ; meget få sten ; få rødder ; overgang klar og plan.

A2x (50-82): lyst gulbrunt (2,5Y6/4f) siltet sand; humusfattig; massiv; fragipan; få sten; meget få rødder; overgang gradvis og plan.

B2tgxy (82-):stærkt brunt (7,5YR5/6f) leret siltet sand med lysere og mere sandede aggregatoverflader; humusfattig; veludviklet fragipan; meget få sten; ingen rødder.

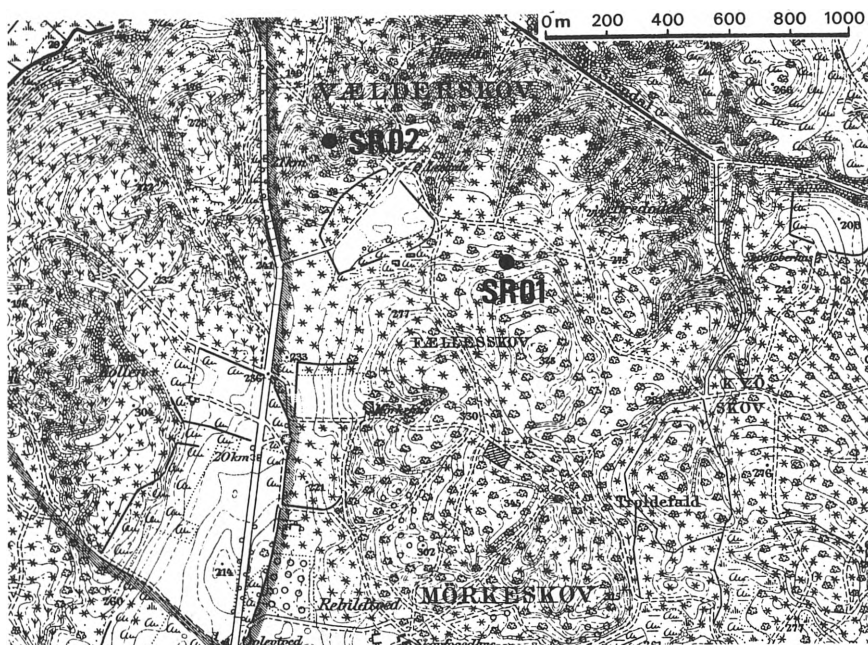


Fig. 24: Kort over de topografiske forhold i Rold Skov og profilernes geografiske placering.

Topographic map of Rold Skov and the location of the investigated profiles.

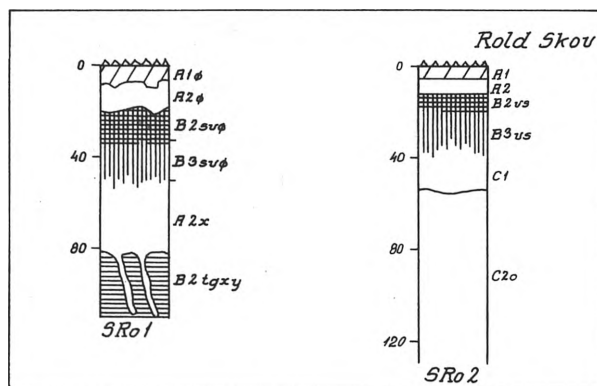


Fig. 25: Principskitse af de to undersøgte profiler i Rold Skov.

Schematic drawing of the two investigated profiles in Rold Skov.

SRo2: entic lessiveagtig GleybrunpodzoJ; siltet sand, sur.
 Soil Taxonomy: Entic Haplorthod.
 Profilen er udviklet i glaciogent sandet materiale.
 Terrænkote: 65 m DNN; dræningsklasse: imperfekt drænet;
 profildybde: 130 cm; vegetation: løvskov.

- Olf (2-0): mørkebrunt morlag.
- Al (0-5): mørkegråt (10YR4/lt) siltet sand; humusholdig; svag subangular blocky; meget sprød; meget få sten; mange rødder; overgang skarp og plan.
- A2 (5-11): lyst brungråt (10YR6/2t) siltet sand; humusholdig; meget svag subangular blocky; meget sprød; meget få sten; mange rødder; overgang skarp og plan.
- B2vs (11-18): gulbrunt (10YR5/6f) siltet sand; humusholdig; meget svag subangular blocky; meget sprød; meget få sten; mange rødder; overgang klar og bølget.
- B3vs (18-35): gulbrunt (10YR5/8f) sand; humusfattig; meget svag subangular blocky; meget sprød; meget få sten; få rødder; overgang klar og bølget.
- Cl (35-55): lyst gulbrunt (10YR6/4f) sand; humusfattig; meget svag subangular blocky; meget sprød; meget få sten; meget få rødder; overgang skarp og plan.
- C2o (55-): lyst gulbrunt (2,5Y6/4f) siltet sand med enkelte mørkebrune partier.

Resultater og diskussion af profilernes pedologiske udvikling

Analyseresultaterne fra de to profiler ses af tabel 9, og på basis af disse sammenholdt med profilbeskrivelserne kan der knyttes følgende kommentarer til de to profilers pedologiske udvikling.

SRo1, der er beliggende i Fællesskov, er udviklet i sandet till. Profilen er relativ kompliceret at tolke bedømt ud fra analyseresultaterne, men den formodes at have følgende horisonter. Øverst findes et 3 cm tykt morlag, hvorunder der kommer en tydelig Alø og A2ø, der overlejrer to Bvsø horisonter. Der er et tydeligt lermaksimum i B2vsø. Under Bø horisonterne kommer en A2 horisont, der sammen med de overliggende horisonter er eluvialhorisont til de underliggende lerholdige Bt horisonter. Profilen har været homogen teksturelt set umiddelbart efter sedimentets aflejring, og de store variationer i lerindholdet, der i dag findes ned gennem profilen, skyldes formodentlig en senere pedologisk nedslemning af ler. For at få et indtryk af homogeniteten af det sediment, hvori profilen er udviklet, er resultaterne fra teksturanalysen, tabel 9, omregnet forholdsmæssigt, så summen af silt + sand giver 100%. Resultatet af denne omregning ses i tabel 10.

H. Breuning Madsen

XVI

[illegible]

Tabel 10: Den procentvise fordeling af silt og sand i profil SRol, Rold Skov.

The percentage distribution of silt and sand in SRol, Rold Skov.

	2-20 μ	20-63 μ	63-125 μ	125-200 μ	200-500 μ	>500 μ
Alø	8	14	13	31	26	8
A2ø	9	15	13	29	26	8
B2svø	11	14	13	29	24	9
B3svø	9	8	11	29	31	12
A2x	9	11	13	30	28	9
B2tgx	10	10	12	29	30	9
B3tg	9	13	13	27	27	11

Tabel 10 viser, at variationerne i de forskellige kornstørrelser ned gennem profilen er beskedne, dog har B3svø en lidt mere grovsandet tekstur end de øvrige horisonter. Der er endvidere tendens til, at de øverste lag har en kende mere finsand end grovsand set i forhold til de dybereliggende lag, men generelt set må profilen karakteriseres som værende udviklet i et homogent udgangsmateriale. Det vil derfor være rimeligt at antage, at de store variationer i lerprocenten ned gennem profilen skyldes lervandring. Der er bedømt ud fra tabel 9 foregået en lerakkumulation to steder i profilen, nemlig i Bt horisonterne og i B2svø. Det vil være nærliggende at antage, at der først er sket en lernedslemning fra de øverste 82 cm af profilen til Bt horisonterne, hvorved der er opstået en lessivejord. Der er enten i forbindelse med lernedslemningen eller mere sandsynligt tidligere gennem periglaciale processer dannet en fragipan nederst i A2 og øverst i B2t. Teoriene for dannelsen af fragipans er diskuteret tidligere under profilerne fra Rønhøj Plantage. Der er siden dannelsen af Bt horisonterne begyndt en degradering af disse, og der findes i dag flere lervattede tunger, der strækker sig mere eller mindre lodret ned i B horisonten. Senere studier i området har vist, at B2t horisonten i umiddelbar nærhed af den undersøgte profil var næsten helt nedbrudt, så der kun fandtes enkelte små lerholdige klumper i en A2-matrix, og først i B3t fra omkring 120 cms dybde dominerede de lerholdige partier. Dannelsen af degraderede Bt horisonter vil blive diskuteret nærmere i kap. 7. De ved degraderingen fremkomne teksturelle forskelle betinger eller forstærker det pseudogleypræg, der især er tydeligt udviklet i B2t. Pseudogleypræget opstår ved, at vandet under nedsivningen i profilen hurtigt løber ned gennem de lervattede tunger og bremses, hvor disse ender. Derved opstår der periodisk et overfladevandsbetinget grundvand i profilen, der kan medføre en vandring af jern i divalent form fra tungerne og ind i de mere lerrige dele af Bt. Derved fremkommer den ofte fundne farvesammensætning i en degraderet Bt horisont, hvor tungerne er afblegede, omkranset af en mere rødbrun bræmme i det lerede materiale, hvis indre dele er brune eller gulbrune. Dannelsen og fremtoningen af pseudogley diskuteres nærmere i kapitel 7.

I den til Bt horisonten hørende A horisont, der strækker sig fra terrænoverfladen og til 82 cms dybde, er der foregået en podzolerung, hvilket ses i variationerne ned gennem profilen af dithionitcitratopløseligt jern og aluminium og af organisk stof. Selvom der er et markant lokalt maksimum for humus i B2, er der dog ikke visuelt udviklet en egentlig humus B horisont. I B horisonterne er der maksimum for dithionitcitratopløseligt jern i B2, medens det for dithionitcitratopløseligt aluminium ligger i B3. Denne fordeling mellem jern og aluminium, der findes i alle 4 undersøgte profiler i Rold Skov, tabel 11, er ikke fundet i hverken Strandby-Farsø Kommuneplantage eller Rønhøj Plantage, og den står også lidt i modsætning til de resultater, som L. Petersen (1976a) fandt ved studier af 10 danske podzoler. Den stemmer derimod godt overens med de af Guillet et al (1975) opnåede resultater for en typisk skovpodzol udviklet på kolluvium i Vogeserne. I dette arbejde påvistes ud fra detaljerede analyser og mængdeberegninger, at podzoleringsprocessen forløber forskellig under løvskov og hedevegetation. Under førstnævnte vegetationsdække kan der både ske en lernedslemning og en podzolerung til samme B horisont, og der vil generelt ikke være noget tab fra profilen af lerminerale eller deres nedbrydningsprodukter udtrykt som amorft Al_2O_3 . C/N-forholdet vil i denne podzoltype være lavere end i podzoler udviklet under hedevegetation og en forholdsvis hurtig omdannelse af det organiske stof medfører, at der ikke er markant ophobning af organisk stof noget sted i profilen. I podzoler under hedevegetation vil der normalt ikke forekomme lernedslemning, hvorimod der kan forekomme en nedbrydning af lerminerale direkte i A horisonterne. Der er endvidere tegn på et relativt stort tab af 1er eller disses nedbrydningsprodukter fra profilen. Der vil i disse profiler være en væsentlig langsommere omsætning af det organiske stof, og C/N-forholdet i disse jordes A horisonter er derfor generelt større end i skovpodzolerne.

Tabel 11: Fordelingen af dithionitcitratopløseligt jern og aluminium i B horisonterne i 4 profiler i Rold Skov.

The distribution of dithionitecitrate-soluble iron and aluminium in the B horizons for dif-

		Fe o/oo	Al O/OO
SRol	B2sv	9.5	1.6
	B3sv	2.7	1.7
SRo2	B2vs	4.1	1.1
	B3vs	2.8	1.5
SRo3	B2sv	4.9	3.6
	B3sv	1.5	6.0
SRo4	B2vs	3.3	1.2
	B3vs	1.3	1.9

Den af Guillet et al (1975) og Guillet (1972) påpegede lernedslemning i podzoler findes også i SRol, idet der er tydelige tegn på lerophobning i den øverste del af Bø horisonten.

I denne horisont er der 9% 1er, medens der kun er 2% i de overliggende A horisonter. Da de 3 øverste mineralske horisonter er meget homogene i silt- og sandfraktionerne og har veldefinerede og tydelige lagtykkelser, er det muligt at refordele leret mellem de 3 horisonter, således at horisonterne får lige meget 1er. Den derved opnåede lerprocent kan tænkes at være udgangspunktet for den senere lernedslemning. Udregningen giver 5% 1er, hvilket svarer fint til de to underliggende horisonter lerindhold. Man må derfor formode, at B2t horisonterne er dannet, inden lernedslemningen til B2svø er påbegyndt, og at næsten alt det 1er, der er nedslæmmet fra Alø og A2ø efter Bt horisonternes dannelse, er aflejret i B2svø.

Da det er muligt at refordele leret mellem Alø, A2ø og B2svø, så lerprocenten tilnærmelsesvis bliver den samme som i B3svø og A2, må profilen henregnes til skovpodzoltypen efter Guillet et al (1975). Dette understøttes også af det forholdsvis lave C/N-forhold i A horisonten og beligheden af det dithionitcitratopløselige jern- og aluminiummaksimum inden for B horisonten.

Det er ikke muligt ud fra analyseresultaterne at vurdere, hvorvidt lernedslemningsprocessen og podzoleringsprocessen er forløbet samtidigt eller forskudt i forhold til hinanden i lessivejordens A2 horisont. Guillet et al (1975) fremsatte den hypotese, at lernedslemningsprocessen og podzoleringsprocessen er forløbet samtidigt, dog således at lernedslemningen dominerer i begyndelsen, medens podzoleringsprocessen er den dominerende proces i slutningen. Lernedslemningen, der efter denne hypotese skal foregå i et relativt surt miljø, hvor lernedslemning traditionelt ikke anses for sandsynlig p.g.a. aluminiumionens stærkt flokkulerende evne, forklares ved, at visse humusforbindelser beskytter lerminerallerne mod flokkulering, eller også at aluminiumioner har dannet komplekser med mindre flokkulerende evne. Det er ikke muligt, som for podzolen udviklet i A2 horisonten til lessivejorden, at regne endnu længere tilbage og refordele leret mellem A og B horisonterne i den først udviklede lessivejord, da undergrænsen for B3t ikke blev nået, men løseligt anslået har udgangsmaterialet haft et lerindhold på omkring 10%. På fig. 26 er det formodede udviklingsforløb for profil SRol skitse-ret.

Profilen er stærkt udvasket med pH (CaCl_2) på under 4 i de øverste horisonter og med svag tendens til stigning 1 pH med dybden. Basemætningsgraden er derfor lav, men det er dog bemærkelsesværdigt, at den er over 10% i de øverste stærkt udvaskede horisonter.

Profilen klassificeres som en entic degraderet fragi pseudogley Podzoltypilessive, idet der er sket en dobbelt profiludvikling med en podzol udviklet i A2 horisonten i en lessive, der har en svagt degraderet Bt horisont med pseudogley og en veludviklet fragipan. Endvidere er Al horisonten under 10 cm tyk. Efter Soil Taxonomy klassificeres profilen som Ultic Fragiorthod. Det har været nødvendigt at konstruere betegnelsen Ultic til beskrivelse af Bt horisonter med basemætningsgrader på under 35%, idet det ellers ikke var muligt at klassificere profilen på subgroup niveau.

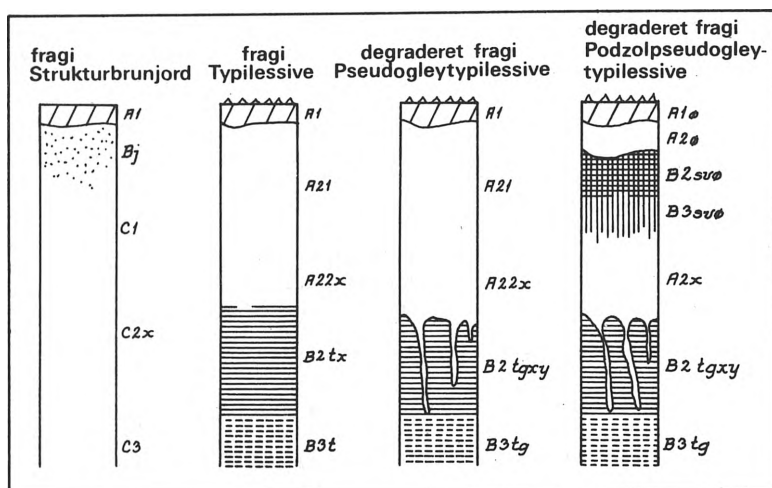


Fig. 26: Det formodede pedologiske udviklingsforløb for profil SRol.

The assumed pedological development for profile SRol, Rold Skov.

SRo2, der er beliggende nær bunden af en erosionsdal, er udviklet i glacio-gent sand. Profilen består øverst af et morlag, hvorunder der findes en vel udviklet og tydelig Al og A2 horisont, der overlejrer to Bvs horisonter. Allerede i en dybde af 35 cm kommer C horisonten, der fra 55 cms dybde er svagt præget af gleyprocesser. Disse er sandsynligvis grundvandsbetingede. Profilen er tydeligt podzoleret bedømt ud fra variationen i dithionitcitrat opløseligt og pyrophosphatopløseligt jern og aluminium. Derimod er der ingen humusophobning i B2vs set i forhold til A2, hvilket ellers ville være det forventelige. Fordelingen af jern og aluminium i B horisonten viser, at jernmaksimum ligger højere oppe i B horisonten end aluminiummaksimum, hvilket også blev fundet i SRol. Foruden podzoleringsen er der som i SRol foregået en lernedslemning fra Al og A2 til B2vs, og som ved SRol tyder det ikke på, at B3vs horisonten er blevet beriget ved lernedslemningen, d.v.s. at leret er afsat i en snæver zone. Lernedslemningen er dog ikke så stærk, at der er udviklet en diagnostisk Bt horisont, og lernedslemningen kan derfor ikke kvalificere jorden på gruppeniveau. Profilen er stærkt udvasket og har derfor lave basemætningsgrader. C/N-forholdet i Al er bemærkelsesværdigt lavt for en podzol.

Profilen klassificeres som en entic lessiveagtig Gleybrunpodzol, idet de dominerende pedologiske processer i profilen er podzoleringsen og gleydannelsen, hvorimod lernedslemningen i profilen ikke er så stærk, at den kan kvalificere jorden på gruppeniveau. Efter Soil Taxonomy klassificeres jorden som Entic Haplorthod.

Man kan om de to jorde i Rold Skov konkludere, at de er tydeligt podzolerede samtidig med, at der i profilerne er tegn på lernedslemning. I profil SRol synes lernedslemningen at være foregået i to omgange. Først er der udviklet en almindelig lessive jord med en dyb A2 horisont, og siden er der i forbindelse med podzoleringen i A2 horisonten foregået endnu en lernedslemning, hvor 1er fra podzol A horisonterne er aflejret øverst i podzol B horisonten. I profil SRo2 synes der kun at være foregået en lernedslemning i forbindelse med podzoleringen. Fordelingen af dithionitcitratopløseligt jern og aluminium i podzol B horisonterne viser, at jernmaksimum ligger højere oppe i profilen end aluminiummaksimum for de 4 undersøgte profiler i Rold Skov, tabel 11, hvilket efter Guillet et al (1975) er almindeligt for skovpodzoler i modsætning til hedepodzoler, hvor jern- og aluminiummaksimum normalt ligger i samme niveau. Dette stemmer godt overens med de resultater, der er opnået i Himmerland, idet podzolerne i Rold Skov må henregnes som typiske skovpodzoler, hvorimod profilerne fra Strandby Farsø Kommuneplantage og Rønhøj Plantage må henregnes som typiske hedepodzoler.

Jordbundskemisk er profilerne i Rold Skov stærkt udvaskede, og alle horisonterne har lave pH-værdier og basemætningsgrader. CEC-værdien varierer som for andre podzolerede jorde stærkt ned gennem profilen. I SRol er der maksimum for CEC i B2svø, hvor der både er akkumulation af 1er og humus.

Lundgård Skov

Den tredje og sidste lokalitet, hvor jordens pedologiske udvikling er studeret i glaciogen sand, er Lundgård Skov. Denne er beliggende ved Overlade i Vesthimmerland i et svagt kuperet morænelandskab. Hovedparten af skoven er beliggende på en ca. 700 m lang nordvendt skråning, der uden de voldsomme gradienter skråner ned mod den tidligere havtransgrederede Bjørnsholm Ådal. Geologisk set består Lundgård Skov i overvejende grad af glaciogen sand, men enkelte steder findes leret till. Området har i de sidste par hundrede år været skov, idet lokaliteten på alle eksisterende kort er udtegnet som skov. Der er ialt undersøgt 4 profiler i skoven, som danner en toposekvens, der ender ude i Bjørnsholm Ådal. På fig. 27 ses et kort over de topografiske forhold i området samt beliggenheden af de 3 gravede profiler, der gengives i denne afhandling.

Profilbeskrivelser

SL1: humøs Lessivetypigley; siltet sand/lerh. siltet sand, meget sur.
Soil Taxonomy: Typic Umbraqualf.
Terrænkote: 7 m DNN; dræningsklasse: imperfekt drænet;
profildybde: 140 cm; vegetation: løvskov.

Olf (2-0): mørkebrunt morlag.

Allh (0-17): sort (10R2/lf) siltet sand; humusrig; meget få sten; mange rødder; overgang klar og plan.

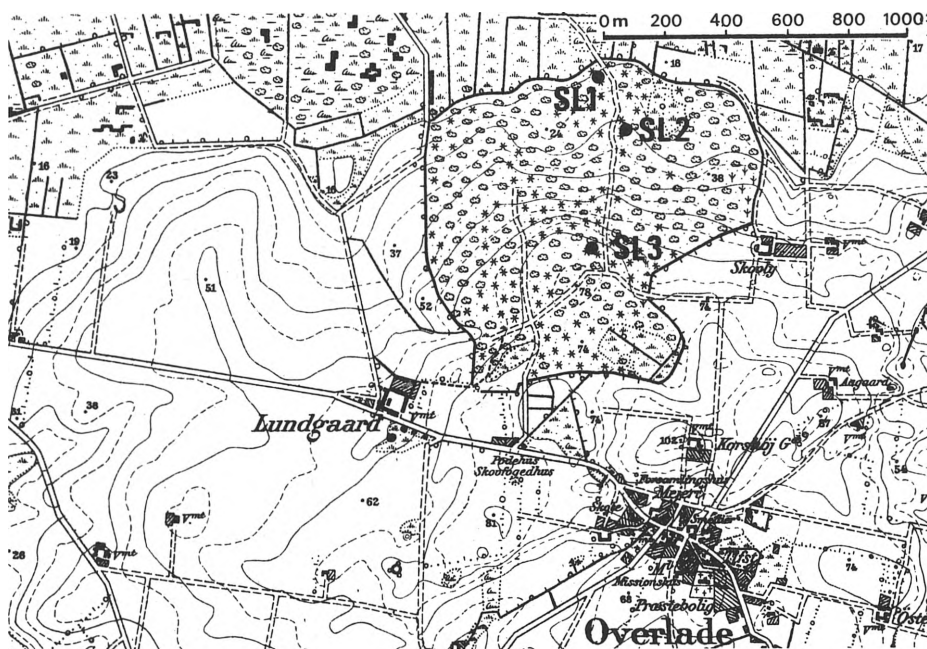


Fig. 27: Topografisk kort over Lundgård Skov med angivelse af profilernes placering.

Topographic map of Lundgård Skov and the location of the investigated profiles.

- A12 (17-34): mørkt rødbrunt (5YR2/2f) siltet sand; humusholdig; meget svag angular blocky; meget sprød; meget få sten; mange rødder; overgang klar og plan.
- A2o (34-57): mørkt gulbrunt (10YR4/4f) siltet sand med rødbrune pletter; humusfattig; svag angular blocky; meget sprød; meget få sten; få rødder; overgang plan og bølget.
- B2to (57-77): lyst olivengråt (5Y6/2f) leret siltet sand med rødbrune pletter; humusfattig; svag angular blocky; ikke formbar og ikke klæbrig; meget få sten; meget få rødder; overgang gradvis og plan.
- B3to (77-140): lyst olivengråt (5Y6/2v) leret siltet sand med rødbrune pletter; humusfattig; svag angular blocky; svagt formbar og ikke klæbrig; meget få sten; meget få rødder; overgang gradvis og plan.
- Cro (140-): lyst olivengråt (5Y6/2v) lerholdigt siltet sand med enkelte rødbrune pletter; humusfattig; meget svag angular blocky; ikke formbar og ikke klæbrig; meget

få sten; meget få rødder.

SL2: Pseudogleybrunpodzol; siltet sand, sur.

Soil Taxonomy: Entic Haplorthod.

Terrænkote: 11 m DNN; dræningsklasse: moderat veldrænet;

profildybde: 140 cm; vegetation: fældet skov.

A1lh (0-5): sort (5YR2/1f) siltet sand; humusrig; overgang klar og plan.

A12 (5-20): rødbrunt (5YR4/3f) siltet sand; humusholdig; ingen sten; særdeles mange rødder; overgang skarp og plan

B2vs (20-35): gulbrunt (10YR5/8f) siltet sand; humusholdig; svag granularstruktur; meget sprød; meget få sten; mange rødder; overgang gradvis og irregulær.

B3vs (35-65): lyst gulbrunt (10YR6/4f) siltet sand; humusfattig; meget svag subangular blocky; sprød; meget få sten; få rødder; overgang gradvis og bølget.

Cg (65-) : blegbrunt (10YR6/3f) siltet sand med rustrøde ringe omkring aflange afblegede partier; humusfattig; meget svag angular blocky; fast; meget få sten; ingen rødder.

SL3: kolluvial Pseudogleytypilessive; siltet sand/ler, sur.

Soil Taxonomy: Aquic Arenic Hapludalf.

Profilen er udviklet i glaciogent sand.

Terrænkote: 23 m DNN; dræningsklasse: moderat veldrænet;

profildybde: 140 cm; vegetation: løvskov.

Olf (4-0) : morlag

A11+A12 (0-61): brunt til mørkebrunt (10YR4/3f) siltet sand; humusholdig; svag granularstruktur; meget sprød; meget få sten; mange rødder.

A13 (61-65): brunt til mørkebrunt (10YR4/3f) siltet sand iblandet gulbrune (10YR5/4f) partier; humusfattig; meget svag subangular blocky; meget få sten; mange rødder.

A2g (65-97): lyst gulbrunt (10YR6/4f) siltet sand med en del rødbrune pletter; humusfattig; meget svag subangular blocky; meget sprød; meget få sten; få rødder.

B2tg (97-126): gulbrunt (10YR5/8f) 1er med en del mørkt gulbrune siirer og pletter; humusfattig; svag angular blocky; fast; meget få sten; meget få rødder.

B3to (126-) : gulbrunt (10YR5/4v) leret siltet sand med en del stærkt brune (7,5YR5/6v) pletter og lyse siirer; humusfattig; svag angular blocky; ikke klæbrig og ikke plastisk; meget få sten; meget få rødder.

Resultater og diskussion af profilernes pedologiske udvikling

I tabel 12 ses analyseresultaterne fra de 3 profiler i Lundgård Skov, og på fig. 28 ses en prinsipskitse af de undersøgte profiler. Der vil i det efterfølgende blive en diskussion af de enkelte profilers pedologiske udvikling.

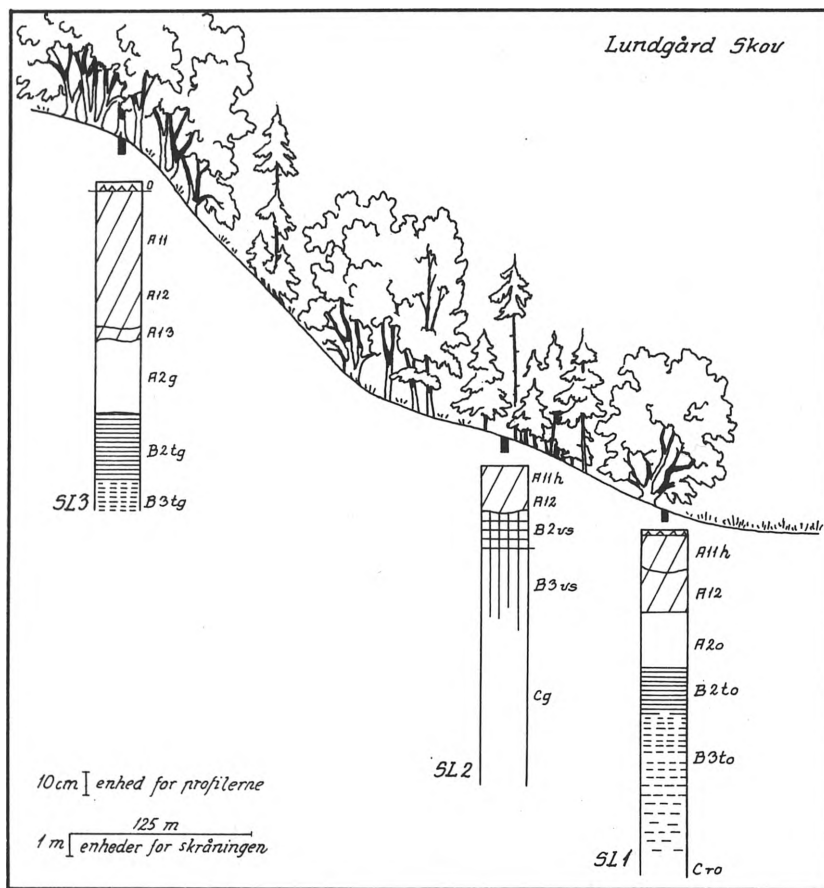


Fig. 28: Skematisk gengivelse af de undersøgte profiler og deres placering i toposekvensen i Lundgård Skov.

Schematic diagram showing the three investigated profiles and their location in the toposequence, Lundgård Skov.

Tabel 12: Analyseresultater fra de tre undersøgte profiler i Lundgård Skov.

Analytical results of the three investigated profiles in Lundgård Skov.
Glacial drift in the sandy part of the glacial landscape.

		Teksturu							OM 0/0	pH		CacO ₃ 0/0	Dith. citr. Fe 0/00 Al 0/00		Pyrophosph. Fe 0/00 Al 0/00		Ombyt.baser mækv.				CEC mækv	V 0/0	C/N
		<2	2-20	20-63	63-125	125-200	200-500	500-2000		H ₂ O	CaCl ₂		Fe 0/00	Al 0/00	Fe 0/00	Al 0/00	Ca	Mg	K	Na			
SL1:	Allh(0-17)								9.8	4.0	3.4	0	1.5	1.8	2.0	1.9	0.60	0.29	0.12	0.08	33.2	3	26
	A12(17-34)	5	7	10	14	30	25	5	4.5	4.4	3.3	0	2.1	3.2	-	-	0.30	0.08	0.08	0.04	30.5	2	18
	A2o(34-57)	3	6	7	11	32	31	9	0.6	4.8	4.4	0	1.5	0.8	0.8	0.9	0.07	0.02	0.06	0.02	4.7	4	-
	B2to(57-77)	11	5	8	10	31	28	7	0.3	4.5	3.3	0	4.2	0.7	-	-	0.20	0.12	0.11	0.04	8.6	5	-
	B3to(77-140)	12	6	9	10	28	27	8	0.1	4.9	3.8	0	2.0	0.3	0.8	0.3	1.6	1.4	0.17	0.12	9.3	36	-
	Cro(140-)	7	6	8	11	31	29	8	-	5.4	4.3	0	1.0	0.2	0.3	0.1	-	-	-	-	-	-	-
SL2:	Allh(0-5)			-	-	-	-	-	13.2	3.8	3.1	0			-	-	1.5	0.55	0.25	0.11	44.6	5	18
	A12(5-20)	4	6	7	11	35	29	6	2.4	4.1	3.4	0	1.9	0.5	-	-	0.27	0.15	0.09	0.06	11.9	5	14
	B2vs(20-35)	4	6	5	12	34	30	8	1.7	4.5	4.0	0	3.0	1.5	-	-	0.07	0.03	0.07	0.04	11.7	2	-
	B3vs(35-65)	2	6	7	12	36	30	7	0.3	4.9	4.5	0	1.2	0.8	-	-	0.05	0.01	0.02	0.01	3.6	2	-
	Cg(65-)	2	4	8	12	35	32	7	0.1	5.0	4.3	0	0.9	0.2	-	-	0.05	0.01	0.02	0.01	2.1	5	-
SL3:	All(0-45)	4	7	6	12	33	29	7	2.4	4.3	3.8	0	2.2	0.9			0.55	0.13	0.15	0.03	11.0	8	11
	A12(45-61)	-	-	-	-	-	-	-	1.0	4.7	4.1	0	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	11
	A2g(65-97)	4	6	8	11	31	31	9	0.2	4.6	4.2	0	2.1	0.5	-	-	0.12	0.03	0.04	0.02	3.4	6	-
	B2tg(97-126)	16	7	9	9	25	26	8	0.1	5.6	4.3	0	3.8	0.3	-	-	3.4	2.3	0.22	0.14	10.1	60	-
	B3to(126-)	12	5	8	10	28	28	9	0.1	6.1	4.7	0	2.9	0.3	-	-	3.4	1.7	0.17	0.22	7.9	70	-

SLI er beliggende nær foden af skråningen mod Bjørnsholm Ådal. Profilen består øverst foruden af et tyndt morlag af to A1 horisonter, hvoraf den øverste er humusrig. Derunder kommer en både grundvands- og pseudogleyet A2 horisont, der genetisk hører sammen med de underliggende pseudogley- og grundvandsgleyprægede Bt horisonter. I 140 cms dybde kommer C horisonten, i hvilken der overvejende hersker reducerede forhold.

Profilen bærer tydeligt præg af lernedslemning bedømt ud fra variationen af 1er ned gennem profilen. Da der ikke er observeret lerskind i Bt horisonten, hvilket ikke er usædvanligt på forholdsvis lerfattige jorde, hvor det nedslømmede 1er i stedet for lerskind kan danne broer mellem de enkelte sandskorn, vil det bestyrke teorien om lernedslemning, såfremt de procentvise andele af silt- og sandfraktionerne er konstante ned gennem profilen. Dette kan bedømmes, såfremt resultaterne fra teksturanalysen, tabel 12, omregnes forholdsmæssigt, således at summen af procentangivelserne for silt og sand giver 100%. Resultatet af dette ses i tabel 13.

Tabel 13: Den procentvise sammensætning af silt- og sandfraktionerne i SLI, Lundgård Skov.

The percentage distribution of silt and sand in SLI, Lundgård Skov.

	2-20 μ	20-63 μ	63-125 μ	125-200 μ	200-500 μ	500-2000 μ
All						
A12	8	11	15	33	27	6
A2o	6	7	12	33	32	10
B2to	6	9	11	34	32	8
B3to	7	10	11	33	30	9
Cro	6	9	12	33	31	9

Det bemærkes, at der er en god overensstemmelse i de enkelte klasser ned gennem profilen, og homogeniteten er især stor for A2, B og C horisonterne. A12 er en anelse finere teksturelt set, hvilket kan skyldes en stærkere kemisk og fysisk forvitring i A12 end i de underliggende horisonter eller en nedskylning af materiale fra skråningen. Da jorden er homogen i silt- og sandfraktionerne, er det rimeligt at antage, at de store lervariationer i profilen skyldes lervanding.

Da det ved en lernedslemning i overvejende grad er finler, der føres ned i profilen, vil man ved lernedslemning på homogent udgangsmateriale få en berigelse af finler i B horisonten (Kundler 1961). Man må derfor i SLI forvente en relativ berigelse af finler i de to B horisonter set i forhold til A horisonterne, og for at få bekræftet dette er finlerindholdet bestemt på prøver fra 4 horisonter i profilen, nemlig A2o, B2to, B3to og Cro. Tabel 14 viser finlerets procentuelle andel af det samlede lerindhold i disse 4 prøver samt i prøver udtaget fra to markprofiler, Mlb1 og Mlb5, der ligesom SLI er udviklet i et homogent sediment i det glacielle landskab. De to

sidstnævnte jordes tekstuelle sammensætning og andre jordbundskemiske og -fysiske karakteristika ses af tabel 41 i kapitel 10. Det bemærkes, at disse to profiler er noget mere lerholdige end SL1, at de er forholdsvis homogene i silt- og sandfraktionerne ned gennem profilen, og at de har en teksturelt veludviklet B horisont. I tabel 14 er finler defineret som partikler mindre end 0.26μ , og 1er er defineret som partikler mindre end 2.07μ . Disse to værdier er valgt, fordi mængden af materiale mindre end disse kornstørrelser kan bestemmes uden interpolation ved den anvendte analysemetodik, og fordi kornstørrelser mindre end 0.26μ ikke er bestemt særlig nøjagtigt ved den anvendte metode.

Tabel 14: Indholdet af finler ($< 0.26\mu$) i procent af det totale lerindhold ($< 2.07\mu$) for forskellige horisonter i 3 jorde med lernedslemning udviklet i homogent udgangsmateriale.

Fine clay's percentage share of total clay in different soils with clay illuviation.

	A2	B2t	B3t	C
SL1	23%	58%	72%	63%
MLbl	41%	53%	63%	-
MLb5	39%	49%	62%	

Tabel 14 viser, at A2 horisonten indeholder væsentlig mindre finler set i forhold til totaler end B horisonterne. Dette er især meget udtalt for SL1. Inden for B horisonterne viser tabel 14 endvidere, at B3t horisonterne indeholder mere finler set i forhold til totaler end B2t, og i SL1 indeholder C horisonten endog mere finler set i forhold til totaler end B2t. Denne variation i kornstørrelsen i lerfraktionen kan muligvis forklares ved, at B2t horisonten, p.g.a. dens beliggenhed lige under A horisonterne, både beriges med grovler og finler, medens B3t næsten kun modtager finler, da hovedparten af grovleret er blevet sigtet fra i B2t. En anden teori kan være, at B2 horisonten er svagt degraderet, hvorved noget af leret, og sandsynligvis i overvejende grad finler, er fjernet fra aggregatoverfladerne i B2t og genudfældet i B3t. Dette er muligvis tilfældet for MLb5, hvor enkelte af aggregatoverfladerne virker sandede.

Betragtes de samlede mængder grov- og finler, der er transporteret ned gennem SL1, kan man ud fra tabel 12 og tabel 14 opstille fig. 29, der viser forskellen i absolutte procenter for grovler og finler i A og B horisonten set i forhold til C horisontens grovler- og finlerindhold. Det er ikke muligt at refordele leret i fig. 29, så mangler og overskud fuldt ud opvejer hinanden, hvilket bl.a. kan skyldes kemisk forvitring af overjorden samt at nøjagtige mængdeberegninger kræver en tættere prøveudtagning, end den der er foretaget, og en mere nøjagtig teksturanalyse. Der er dog en god overensstemmelse mellem den mængde finler, der bedømt ud fra C horisontens fin-

lerindhold skulle være udvasket fra A2, og den mængde finler, der skulle være afsat i B. Derimod er der et lille overskud af grovler i Bt set i forhold til den grovlermængde, der skulle være udvasket fra A2 bedømt ud fra C horisontens grovlerindhold, men det ligger absolut inden for det acceptable. Selvom det altså ikke er muligt fuldt ud at refordere leret på fig.

29, kan man dog ud fra figuren slutte, at der har været en relativ beskeden afgang af grovler fra A horisonterne, og at en stor del af dette grovler er afsat i den forholdsvis tynde B2to. Der har derimod været en stor afgang af finler fra A horisonterne, og hovedparten af dette er aflejret i B3to, hvorimod kun en ringe mængde finler er afsat i B2to, selv under hensyntagen til denne horisonts ringe tykkelse. Dette tyder på, at B2to horisontens grovporesystem lader hovedparten af finler passere, medens det fanger de mere grove lerpartikler.

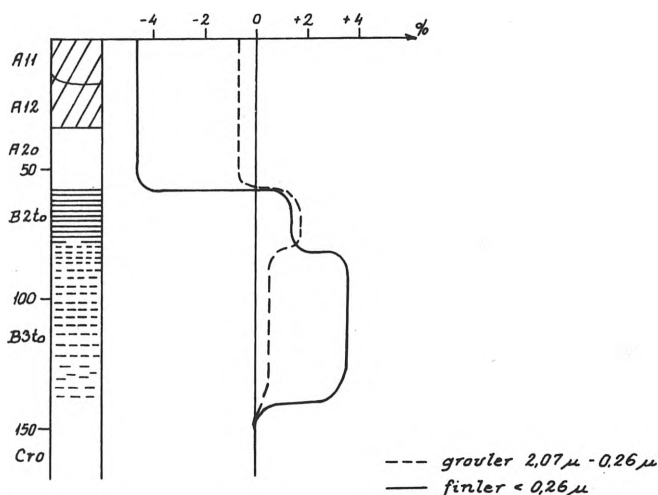


Fig. 29: Mængden af grov- og finler i A og B horisonten set i forhold til C horisontens grov- og finlersindhold i SL1, Lundgård Skov.

finler ($< 0.26\mu$)

grovler (mellem 2.07μ og 0.26μ).

Changes in coarse- and fine clay content of the A and B horizons in relation to that of the C horizon, SL1 Lundgård Skov.

fine clay ($< 0.26\mu$)

coarse clay (between 2.07μ and 0.26μ).

Den øverste del af A horisonten i SL1 er humusrig, hvilket formodentligt skyldes profilens dræningsforhold. Humusindholdet aftager jævnt ned gennem profilen, og sammenholdes dette med variationen i dithionitcitratopløseligt jern og aluminium, synes der ikke at være tegn på podzolering i profilen som fx ved SRol, Rold Skov. Profilen er stærkt forsuret i de øverste horisonter, og der er en tendens til mindre forsuret med dybden. Dette er især tydeligt, hvis man betragter variationen i pH målt i vand, medens den er

knap så tydelig for pH målt i CaCl₂. Basemætningsgraden følger mest tendensen for pH målt i vand, og i B₃to er basemætningsgraden oppe på 36%.

Profilen klassificeres som en humøs Lessivetypigley på grund af den markante lernedslemning, de humøse øverste 10 cm af jorden og det tydelige gleypræg umiddelbart under A₁. Efter Soil Taxonomy klassificeres jorden som Typic Umbraqualf.

SL2 er typeprofilen for den midterste del af skråningen, der er mere sandet end de øverste og nederste dele. Profilen består af to A₁ horisonter, hvoraf den øverste er humusrig, sandsynligvis betinget af en langsom omsætning af det organiske materiale. Under A₁ horisonterne kommer to svagt udviklede B_{vs} horisonter, inden man i 65 cms dybde når ned i en pseudogleypræget C horisont. Profilen er udviklet på et teksturelt set homogent materiale, og ud fra lervariationen i profilen, må man konkludere, at der ikke er foregået en lernedslemning. Der er derimod tegn på en svag podzolering i profilen, uden at der dog er dannet en egentlig A2 horisont. Dette kan skyldes, at der enten endnu er en rimelig biologisk aktivitet i jorden, der medfører en vis opblanding af A horisonterne, eller også at A₁ og A2 horisonterne er blevet blandet ved planeringen af plantagen. Det sidste er nok det mest sandsynlige, dog vidner de relativt lave C/N-forhold om en rimelig stor biologisk aktivitet. Profilen minder i teksturel sammensætning og pedologisk udvikling en del om SRI og 2 i Rønhøj Plantage, dog er B horisontens farve i SL2 mere gulbrun, og C/N-forholdet i A er noget lavere end i SRI og 2. Pseudogleypræget i C er ofte knyttet til gamle rodgange. Disse er i dag afbleget og omkranset af rødbrune bræmmer.

Profilen klassificeres som en Pseudogleybrunpodzol på grund af de svage tegn på podzolering og pseudogleypræget begyndende mellem 40 og 80 cms dybde. Efter Soil Taxonomy klassificeres jorden som Entic Haplorthod.

SL3 er beliggende på toppen af skråningen nær et af de højeste punkter i Lundgård Skov. Profilen, der formodentlig er udviklet i glaciøgent sand, har øverst en 65 cm tyk A₁ horisont, der har et gradvist aftagende humusindhold med dybden. A₁ horisonten kan naturligt inddeles i tre dele, nemlig en helt stenfri A₁₁, der når ned til 45 cm under terrænen, derunder en A₁₂, der indeholder få sten, og endelig en tynd A₁₃ på overgangen til A_{2g}. A_{2g} har tydeligt pseudogleypræg ligesom B_{2t} horisonten, der begynder i 97 cms dybde. Den underliggende B₃ horisont er derimod i overvejende grad præget af grundvandsgley. B_t horisonterne er ikke homogent beriget med ler, og lerakkumulationen synes kun at have fundet sted i bestemte partier af illuviallaget. Der blev kun enkelte steder fundet tegn på lerskind. At lerskindene ned gennem profilen sandsynligvis skyldes en pedologisk proces i et relativt homogent sediment fremfor forskelle i den geologiske aflejring, vidner ikke alene de i felten observerede lerskind om, men også den homogenitet, der findes i silt- og sandfraktionerne ned gennem profilen. Dette fremgår af tabel 15, hvor silt- og sandprocenterne i tabel 12 er omregnet forholdsmæssigt, så summen giver 100.

Det bemærkes, at homogeniteten, som ved SL1, især er stor mellem A₂ og B horisonterne, medens A₁₁ indeholder en kende mere finsand på bekostning af silt og grovsand.

Tabel 15: Den procentuelle fordeling af silt og sand ned gennem profil SL3, Lundgård Skov.

The percentage distribution of silt and sand in SL3, Lundgård Skov.

	2-20 μ	20-63 μ	63-125 μ	125-200 μ	200-500 μ	500-2000 μ
All	7	6	13	35	31	8
A2	6	9	11	32	32	10
B2tg	8	11	11	29	32	9
B3to	6	9	11	32	32	10

De humusholdige lag i jorden har overvejende karakter af muld, d.v.s. velomsat organisk stof med lavt C/N-forhold. Den tykke Al horisont er svær at tolke genetisk, idet placeringen nær toppen af skråningen næppe giver mulighed for dannelsen af et kolluvium i traditionel forstand. Det er heller ikke sandsynligt, at et æolisk kolluvium dannes inde midt i en skov, hvilket den teksturelle sammensætning heller ikke umiddelbart indikerer. Nogle af de mest sandsynlige dannelsesmåder, indtil videre undersøgelser er foretaget, må være, at dele af Al enten er menneskeskabt, hvilket kan være sket for mange hundrede år siden, eller også er Al opstået ved jordflydning i forbindelse med udjævning af et mikrorelief. En tredje mulighed er, at den biologiske aktivitet er eller har været så stor, at en tyk Al horisont er udviklet, som dem man finder i chernozems. Sidstnævnte mulighed er ikke videre troværdig, idet en så tyk Al horisont normalt end ikke udvikles på de veldrænede base- og lerrige skovjorde i Østdanmark.

Profilen er stærkt udvasket i de øverste horisonter med pH-værdier på omkring 4, men med dybden stiger pH stærkt, hvilket især er tydeligt for der i B3to når op på 6. Basemætningsgraden når i denne horisont op på 70%. De relativt høje basemætningsgrader, der findes i de nederste horisonter i SL1 og SL3, skyldes sandsynligvis, at udgangsmaterialet i disse jorde har været kalkholdigt, og at kalkindholdet siden er vasket ud i de øverste meter af jorden. Denne formodning bestyrkes af, at kalken ligger højt i området nord for Bjørnsholm Ådal (Gry 1979).

SL3 klassificeres som en kolluvial Pseudogleytypilessive p.g.a. den tydelige lernedslemning, pseudogleypræget, der begynder mellem 40 og 80 cms dybde, og den tykke Al horisont. Efter Soil Taxonomy klassificeres profilen som Aquic Arenic Hapludalf.

Man kan ud fra profilstudierne samt de supplerende borer i Lundgård Skov konkludere, at udgangsmaterialet i skoven hovedsageligt består af glacio-gent sand med varierende lerindhold. De tre beskrevne profiler viser, at toppen og bunden af den undersøgte skråning er en del mere lerrige end mellemstykket, og at udgangsmaterialet i hele profiludbyden har været homogent i alle tre profiler. I initialstadiet for profiludviklingen har lerindholdet i SL3 formodentligt ligget lige omkring 10%, i SL2 omkring 3% og for

SLI omkring 8%. I de 2 lerrigeste profiler har de dominerende pedologiske processer været udvaskning af et eventuelt kalkindhold, lernedslemning samt pseudogley- og gleyprægning af profilerne, medens det mere sandede profil er blevet svagt podzoleret.

Samlede betragtninger over den pedologiske udvikling i glaciogene sandede aflejringer i Himmerland

Den pedologiske udvikling i det sandede glaciøse landskab i Himmerland synes at følge to forskellige veje, alt efter om lerindholdet i udgangsmaterialet er højt eller lavt. Betragtes de undersøgte profiler fra Rønhøj Plantage, Rold Skov og Lundgård Skov, vil det være rimeligt at henføre SRI, 2, 3 og 4 samt SRo2 og SL2 til de sandede typer, medens SLLL1 og 3 samt SROl bør henregnes til de mere lerholdige typer.

Stærkt sandede jorde

De sandede jorde indeholder normalt 3 til 5% ler, 10 til 20% silt, og de har normalt et finsandindhold, der overstiger grovsandindholdet. Jordene er dermed en kende mere finkornede end flyvesandsjordene, se kap. 5. Den pedologiske udvikling på de stærkt sandede aflejringer går klart mod dannelsen af podzoler, såfremt profilen ikke er meget stærkt grundvandspræget. På grund af blandt andet små forskelle i sedimenternes fysiske og kemiske sammensætning, profilernes placering i terrænet og vegetationsdækket, fremtræder profilerne jordbundsphysisk og -kemisk dog ikke helt ens, hvilket både kan erkendes analytisk og visuelt. De undersøgte profiler kan inddeles i tre grupper på basis af dræningstilstanden og det dominerende vegetationsdække gennem de sidste 200 til 300 år, nemlig podzoler udviklet under overvejende hedevegetation, podzoler udviklet under overvejende løvskov og gleyjorde udviklet under lavbundsvegetation.

Som repræsentanter for den førstnævnte gruppe kan nævnes SRI og SR2, der er beliggende i et område, der var lyngklædt indtil dette århundrede, hvor det blev tilplantet med nåletræer. De to profiler er stærkt udviklede podzoler (Sesquipodzoler) med rødbrune svagt cementerede Bs horisonter, tydelige mørkebrune bånd i B3s samt de for podzoler karakteristiske runde gulbrune pletter i Bs. Der er tydelige jern- og aluminiumophobninger i Bs horisonterne, hvor der øverst også er tegn på markant humusophobning, uden at der dog er tale om egentlige Bh horisonter. Det manglende lokale maksimum for humus øverst i Bs skyldes, at A1 og A2 horisonterne er blandede, så det ikke har været muligt at udtage en prøve udelukkende fra A2. Der er ingen videre tegn på lervandring i profilerne. Man må på basis af de 100 undersøgte profiler samt 100 supplerende borer konstatere, at de to profiler repræsenterer nogle af de stærkest udviklede podzoler, man kan finde i glaciøgent sand i Himmerland. Dette er også at forvente, idet udgangsmaterialet er forholdsvis lerfattigt, og vegetationsdækket er tilnærmelsesvis ideelt for dannelsen af stærkt udviklede podzoler. Den stærke udvaskning af profilerne samt det specielle vegetationsdække har medført, at omdannelsen af det organiske stof går langsomt, og C/N-forholdet ligger helt oppe omkring 30. Dette er væsentligt højere end for skovpodzolerne og for gleyjordene, men på niveau med de stærkt udviklede podzoler på flyvesand, der også er udviklet under hedevegetation, hedepodzoler.

Som repræsentanter for skovpodzolerne kan nævnes SRo2 og SL2 samt podzolen udviklet i A2 i SRo1. Disse profiler er knapt så stærkt udviklede som hedepodzolerne, idet B horisonterne ikke er cementerede, kun en af de 3 profiler har højere humusindhold i B2 end i A2, B horisonterne er farvemæssigt mere brunlige, og der mangler de mørkebrune bånd i B3 og C samt de gulbrune runde partier i Bsv. Derimod viser variationerne i dithionitcitratopløseligt jern og aluminium en tydelig akkumulation i B horisonterne med det specielle for Rold Skov profilerne, tabel 11, at maksimum for aluminium ligger længere nede i horisonten end maksimum for jern. De fire undersøgte podzoler i Rold Skov er de eneste af de undersøgte podzoler i Himmerland, hvor denne forskydning af maksimaerne findes. C/N-forholdene i skovpodzolerne er noget lavere end for hedepodzolerne, hvilket sandsynligvis skyldes forskellen i vegetationsdækket, idet pH-forholdene i jordene er nærmest identiske. Der er i de to Rold Skov profiler tydelige tegn på lervandring fra podzol Al og A2 horisonterne med efterfølgende aflejring i B2. Grunden til, at der ikke findes tegn på lernedslemning i alle podzoler er muligvis, at humusformerne i O og A horisonterne samt surhedsforholdene har indflydelse på lervandringen.

Den tredje gruppe jorde, gleyjordene, er repræsenteret af SR3 og SR4, der er udviklet i Rønhøj Kær under lavbundsvegetation. SR3, der er beliggende nær kanten af Rønhøj Kær, og som har grundvandsgley begyndende højt oppe i profilen, synes at være svagt podzoleret, men den adskiller sig på flere punkter fra de førnævnte podzoler. C/N-forholdet er fx kun 11, basemætningsgraden er ikke under 30 noget sted i profilen, og den når endda op over 70 i 80 cms dybde. Den høje basemætningsgrad, hvor Ca helt klart dominerer blandt de ombytkelige baser, kan forklares ud fra et basetilskud gennem grundvandsudsvining fra de nærliggende formodentlig kalkholdige bakker, hvorimod det straks er mere problematisk at forklare selve podzoldannelsen under de kemiske forhold, der hersker i denne jord. Da profilen ligger forholdsvis tæt på kanten i kæret, kan en nærliggende forklaring være, at podzoleringen er foregået i en tørrere periode med dybereliggende grundvand, end den der findes i dag. SR4, der er beliggende nær centrum af Rønhøj Kær viser ingen tegn på podzolering, men har derimod en tydelig Bv horisont. Denne profil må betragtes som en overgangsjord mellem de podzolerede mere veldrænede jorde og de egentlige histosoler, der vil være den dominerende type på de dårligst drænede lokaliteter.

Foruden grundvandsgley har visse af de lerfattige profiler præg af pseudogleyprocesser. Disse kan være betinget af vandstandsende lag som fragipans, forskelle i dræningsbetingelserne på grund af teksturelle forskelle, fossile iskiledannelser i underjorden eller biologisk aktivitet, der kan lave rod- og ormegange, men også egentlige sprækkesystemer i underjorden, hvor overskudsnedbøren hurtigt kan trænge ned og fylde grovporesystemet op. Man må dog konstatere, at kornstørrelsesfordelingen normalt i disse jorde sikrer et rimeligt grovporeindhold i hele jordprofilen, så afdræningen som oftest foregår uhindret. For at belyse disse jordes porestørrelsesfordeling og dermed deres luftvolumen og plantetilgængelige vandmængde er der i fig. 30 vist retentionskurver fra to profiler udviklet i den mere lerfattige del af det sandede glacielle landskab i Himmerland og fra en profil udviklet i lignende udgangsmateriale ved Gadbjerg vest for Vejle.

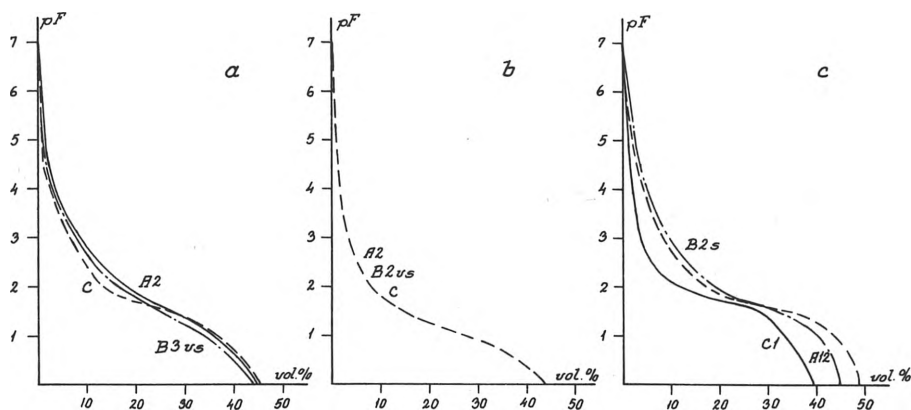


Fig. 30: Retentionskurver for 3 profiler udviklet i glaciøgent sand.
 a) fragi Brunpodzol; siltet sand. Rold Skov.
 b) gleyet Brunpodzol; sand/leret siltet sand. Gadbjerg vest for Vejle.
 c) Sesquipodzol ; sand. Gundersted i Vesthimmerland.
 Definition af poreklasser, se fig. 19.

Soil water retention curves for 3 profiles developed in the sandy glacial landscape.

Fig. 30 viser, at den pedologiske udvikling i de to Brunpodzoler ikke har ført til nævneværdige forskelle mellem retentionskurvernes forløb i A2, B og C horisonten, medens der i Sesquipodzolen er tendens til en større forskel i retentionskurvens forløb mellem B og C. Dette er helt på linie med det mønster, der er beskrevet for jorde udviklet på flyvesand, fig. 19. Betragtes mængden af grovporer, mellemporer og finporer i de tre profiler, ses, at der i de to profiler fra selve Himmerland er en tendens til færre grovporer og flere mellemporer end i jordene udviklet på flyvesand. Dette skyldes uden tvivl et større indhold af silt og finsand i de glaciogene aflejringer end i flyvesandsaflejringerne. Derimod har den grovsandede profil fra Gadbjerg tilnærmelsesvis den samme porestørrelsesfordeling, som er fundet i Brunpodzoler udviklet på flyvesand. Det lidt større mellemporeindhold i jordene udviklet på glaciøgent sand medfører, at disse jorde indeholder mere plantetilgængeligt vand end jordene udviklet på flyvesand. Indeholder profilerne store mængder silt og finsand, kan den plantetilgængelige vandmængde i den øverste meter af profilen overstige 200 mm, medens den i grovsandede typer kan falde til niveauet for jordene udviklet på flyvesand. Selvom grovporeindholdet ofte er noget lavere end i jordene udviklet på flyvesand er der dog i hele profilen generelt langt over de 10 vol% grovporer, der anses som en kritisk grænse for et godt luftskifte.

Sammenlignes de ovennævnte jorde med flyvesandsjordene i Strandby-Farsø Kommuneplantage, ses af fig. 18, at jordene udviklet i sandede glaciogene aflejringer indeholder mere dithionitcitratopløseligt jern og aluminium end flyvesandsjordene. De stærkest udviklede profiler i flyvesandet havde en stærkere og tydeligere horisontudvikling end de stærkest udviklede podzoler

i det glaciogene sand, hvilket muligvis skyldes den lidt grovere tekstur i flyvesandet eller det noget ringere indhold af aluminium og især jern. Jernindholdet anses fx af Duchaufour & Souchier (1978) som en væsentlig faktor i forbindelse med udviklingen af podzoler, således at et højt jernindhold i udgangsmaterialet hæmmer podzoleringen.

Betragtes fig. 31 ses den gennemsnitlige mængde af dithionitcitratopløseligt jern og aluminium udregnet for den øverste meter i forskellige jordtyper. Det bemærkes, at mængden af dithionitcitratopløseligt jern er meget lavt i Typipodzolerne og højt i lessivejordene, medens mængden af dithionitcitratopløseligt jern i Sesquipodzolerne, Brunpodzolerne og brunsolerne indtager en mellemstilling. Det er ikke muligt ud fra det dithionitcitratopløselige jernindhold at udskille de tre sidstnævnte typer fra hinanden. Modsat det dithionitcitratopløselige jernindhold synes det ikke muligt at udskille nogle jordtyper på basis af det dithionitcitratopløselige aluminiumindhold.

Fig. 31 underbygger altså Duchaufour og Souchiers teori, men man må dog gøre sig klart, at mange andre faktorer som fx vegetationsdækket og profilens kemiske og fysiske tilstand spiller en væsentlig rolle.

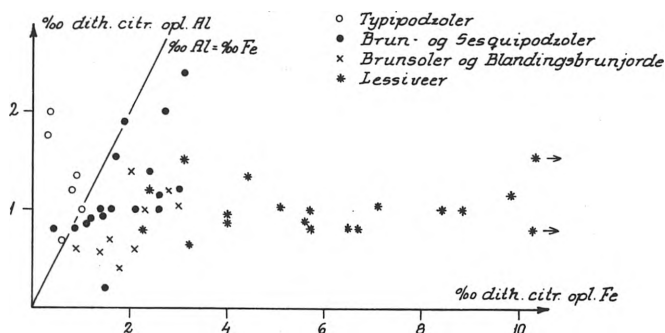


Fig. 31: Sammenhængen mellem jordens pedologiske udvikling og det gennemsnitlige dithionitcitratopløselige jern- og aluminiumindhold i den øverste meter af jorden.

The relationship between the pedological development of the soil and the average content of dithionite-soluble iron and aluminium within the uppermost metre of the soil.

Svagt lerholdige jorde

De mere lerholdige profiler udviklet på glaciogent sand er repræsenterede ved profilerne SL1 og 3 samt SRol. Profilerne, der alle er beliggende under løvskov, er udviklet på homogent udgangsmateriale med en skønnet lerprocent på omkring 10. Der er stor forskel på de tre profilers dræningstilstand, således er SL1 stærkt præget af grundvand i hele profilen, og der er opbygget en tyk humøs A1 horisont. SL3 har tegn på grundvandsgley i C horisonten, medens SRol ikke viser tegn på grundvandsgley i hele profildybden, d.v.s. inden for de øverste to meter af jorden. På trods af den store forskel i dræningsbetingelserne er en fremherskende pedologisk proces i disse jorde lessivering med udvikling af en ofte meget dyb eluvialhorisont, der i de aktuelle tilfælde kunne være over 80 cm dyb. De underliggende Bt horisonter indeholder ingen eller kun få lerskind. Studier over fordelingen af grovler og finler ned gennem profilerne viser, at det hovedsageligt er finler, der er blevet nedslemmet fra A horisonterne, selvom der også er tegn på en vis nedslemning af grovler. Hovedparten af det nedslemmede finler synes at aflejres i B3t, medens hovedparten af det nedslemmede grovler aflejres sammen med en del finler i B2t (fig. 29). Grunden til, at grovleret allerede udfældes i B2t, er sandsynligvis, at det på grund af størrelsen har sværere ved at blive slemmet ned gennem jordens poresystem end finleret. I forbindelse med dannelse af Bt horisonterne kan der opstå så store forskelle i jordens gennemtrængelighed for vand, at periodisk overfladevandsbetinget grundvand kan opstå i profilen. Derved kan der fx dannes en A2g samt en B2tg horisont, hvilket fx er tilfældet for SL3.

Dannelsen af overfladevandsbetinget grundvand midt i profilerne skyldes sandsynligvis, at grovporeindholdet i B2t og især i B3t og C er særdeles ringe, så vandtransporten ned gennem B og C horisonten går særdeles langsomt set i forhold til A horisonten. For at belyse dette er der på fig. 32 gengivet vandretentionskurver fra to typiske profiler udviklet inden for de mere lerholdige dele af det sandede glaciøse landskab, nemlig en humøs Lessivetyptigley fra Lundgård Skov og en fragi pseudogleyet Podzoldegressive fra Rold Skov.

Fig. 32 viser, at der i begge profiler er en tydelig forskel i forløbet af retentionskurverne for A og B horisonterne, hvilket især må tilskrives lernedslemningsprocessen og den aftagende biologiske aktivitet med dybden. I eluviallagene, der har forholdsvis lave volumenvægte og dermed høje porøsiteter, er mængden af grovporer stor, d.v.s. normalt over 20 vol% og i enkelte tilfælde endog over 30 vol%. Mængden af mellemporer ligger omkring 20 vol% og således, at mængden af mellemporer er større i A1 end i A2. Finporeindholdet er lavt, hvilket kan tilskrives de lave volumenvægte og det lave lerindhold, hvor sidstnævnte er fremkommet ved lessivering. I B horisonterne, der har væsentlig højere volumenvægt og dermed mindre porøsitet, er grovporeindholdet ringe, og det ligger ofte under de 10 vol%, der anses som en nedre grænse for et rimeligt luftskifte. I visse tætte B og C horisonter kan grovporeindholdet falde til under 5 vol%, og i sådanne horisonter vil den hydrauliske ledningsevne ofte være meget ringe. Mængden af mellemporer ligger i B og C som regel mellem 15 og 20 vol%, d.v.s. mindre end i A1 og ofte også mindre end i A2. Derimod er indholdet af finporer normalt større i B og C end i A på grund af højere lerindhold og højere volumenvægte.

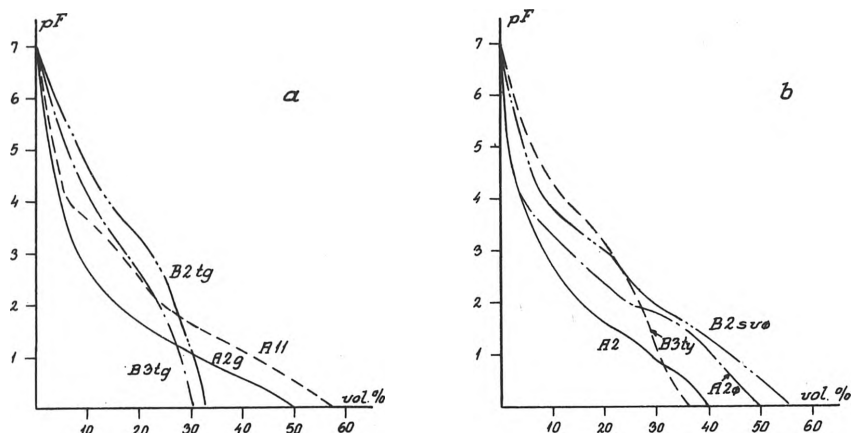


Fig. 32: Retentionskurver for to profiler udviklet inden for de mere lerholdige dele af det sandede glacielle landskab.

- humøs Lessivetypigley; siltet sand/lerh. siltet sand
- fragi pseudogleyet Podzoldegralesive; siltet sand/lerholdigt siltet sand.

Soil water retention curves for two profiles developed in the more clayey parts of the sandy glacial landscape.

Profiludviklingen kan nå længere end til blot dannelsen af en lerakkumulationshorisont, hvilket SRol viser. Der er i denne profil både sket en begyndende degradering af Bt horisonten, hvis øvre dele sammen med A2 udgør en fragipan, og der er udviklet en tydelig Lessivebrunpodzol i eluviallaget til Bt horisonterne. Den udviklede fragipan kan enten tænkes dannet i forbindelse med lernedslemningen, eller hvad der er mere sandsynligt i det aktuelle tilfælde gennem periglacielle processer. Den sidste antagelse bygger blandt andet på, at der også er udviklet en fragipan i A2, d.v.s. at det kan ikke være en "fortætning" af horisonten gennem lertilskud, der betinger dannelsen af den aktuelle fragipan. Tilstedeværelsen af en fragipan kan forstærke dannelsen af et temporært grundvandspejl og dermed pseudogleyprocessen. Da aggregaterne i en fragipan ofte er meget stabile og på grund af sammentrykningen lidt permeable, kan der opstå en koncentreret kraftig udvaskning gennem strukturelt betingede æ eller gennem teksturelt mere grovkornede partier af horisonten. Derved kan Bt horisonten blive kraftigt degraderet, hvorved forstås en fjernelse af leret og muligvis silt fra sprækkesystemerne, hvorved lerbattige og tildels siltfattige tunger udvikles i Bt. I ekstreme tilfælde kan hele Bt horisonten mere eller mindre forsvinde, hvilket blev konstateret i umiddelbar nærhed af SRol, men i selve SRol var der kun tegn på en begyndende degradering.

I de dybe A1 og A2 horisonter kan der ved en stærk udvaskning sammenholdt med det rette vegetationsdække opstå gunstige betingelser for podzolerung, og en podzol kan blive udviklet. I SRol er der udviklet en Lessivebrunpodzol med tydelig humus-, jern- og aluminiumophobning i Bvsø. Der er i Bvsø endvidere tegn på lernedslemning fra Alø+A2ø, d.v.s. at der i denne profil

er forløbet to lernedslemninger, først en til dannelse af den dybtliggende Bt og derefter en i forbindelse med dannelsen af B2svø.

Man kan vedrørende den pedologiske udvikling på de mere lerholdige sandede glaciogene aflejringer konstatere, at der først vil ske en lernedslemning i profilen, således at en lessivejord dannes. Denne kan være stærkt pseudogleypræget. Derefter kan der ske en degradering af den udviklede Bt horisont, så den i sidste ende næsten kan forsvinde, og/eller der kan forekomme en podzolering af lessivejordens A horisonter.

Man kan foruden de ovennævnte betragtninger angående den pedologiske udvikling generelt sammenfatte følgende om de sandede jorde i det glacielle landskab. Hovedparten af de sandede jorde er stærkt udvaskede i hele profilen, og de har derfor en lav basemætningsgrad, der ofte ligger mellem 0 og 3%. Undtagelserne fra dette er lavtliggende profiler, der bliver beriget med baser gennem grundvandstilskud fra omkringliggende bakker samt profiler, der i udgangsmaterialet havde et stort indhold af Calciumcarbonat. CEC-værdien varierer stærkt ned gennem profilerne, hvilket hovedsageligt skyldes den pedologisk betingede variation i 1er og humus. Udregnes relationen mellem horisonternes CEC-værdi og deres 1er- og humusprocent, fås på basis af de undersøgte prøver i Himmerland (261) regressionsligning 6.1:

$$\text{CEC} = 3,1 \text{ X humus} + 0,38 \times 1\text{er} + 2,5, \quad R=0,87 \quad (6.1)$$

Humus har ifølge denne ligning en gennemsnitlig CEC-værdi på omkring 300 mækv./100 g jord, og leret har en gennemsnitlig CEC værdi på omkring 38 mækv./100 g jord. CEC-værdien for humus på 300 mækv./100 g jord stemmer godt overens med de angivne værdier for humus i Scheffer & Schachtschabel (1976), og lerets CEC-værdi på 38 mækv./100 g jord stemmer godt overens med den antagelse, at hovedparten af jordenes lermineraller udgøres af illit, der efter Schroeder (1969) har en CEC-værdi på mellem 20-50 mækv./100 g. Konstanten på 2,5 hidrører sandsynligvis fra, at ikke alle lermineraller har en kornstørrelse på under 2μ , at der er andre mineraler i jorden, der har en ringe kationadsorberende evne, samt den almindelige usikkerhed i bestemmelsen af CEC-værdien, 1er- og humusprocenten. Sammenlignes de målte CEC-værdier med de beregnede ud fra ligning 6.1, fås det generelle træk, at den målte CEC-værdi i B2 horisonterne på de veludviklede podzoler er væsentlig større end de beregnede, modsat A1 og A2 horisonterne, hvor de målte værdier ofte ligger en del under de beregnede. Som eksempel på dette kan tages SF5 og SRol. Disse forskelle i profilerne skyldes sandsynligvis pedologisk betingede forskelle i humusformen og lermineralogien.

KAPITEL 7

DEN PEDOLOGISKE UDVIKLING PÅ LERHOLDIGE SEDIMENTER OG KALKKLIPPE I DET GLACIALE LANDSKAB

Jorde udviklet i lerholdige sedimenter eller højtliggende kalkklippe udgør arealmæssigt kun en ringe andel af det glacialle landskab. Et af de større samlede lerholdige områder i Himmerland findes på den østlige del af moræneskjoldet på grænsen til det marine forland. I dette område er den pedologiske udvikling på lerholdigt sediment undersøgt ved profilstudier i Sønderdalskov og i skoven ved Dragsgård. Foruden dette område i det østlige Himmerland findes der spredte områder bestående af lerede sedimenter fra Ove ved Mariager Fjord til Farsø i Vesthimmerland samt enkelte andre steder, fig. 2. Jorde med højtstående kalkklippe er især udbredt i den nordøstlige del af det glacialle landskab samt i området omkring Løgstør. Der vil i det efterfølgende først blive en diskussion af den pedologiske udvikling i de lerholdige jorde i det glacialle landskab, hvorefter de kalkholdige jordes pedologiske udvikling kort diskuteres.

Dragsgård Skov

Dragsgård Skov er beliggende øst for Bælum på en nordvendt skråning, der ender i en mindre ådal, i hvilken Pilebæk løber. Geologisk set består området i overvejende grad af leret till eller glaciofluvialt aflejret 1er, men der findes dog ofte indslag af smeltevandssand i det lerede morænelandskab. Der er i Dragsgård Skov undersøgt 5 profiler, hvoraf de 4 gengives med profilbeskrivelse i denne afhandling. Profilerne er gravet, så de danner en toposekvens, der ender i ådalen. Vegetationen er skov på alle eksisterende kort, d.v.s., at Dragsgård Skov er mere end 200 år gammel. På fig. 33 ses et topografisk kort over området samt profilernes placering.

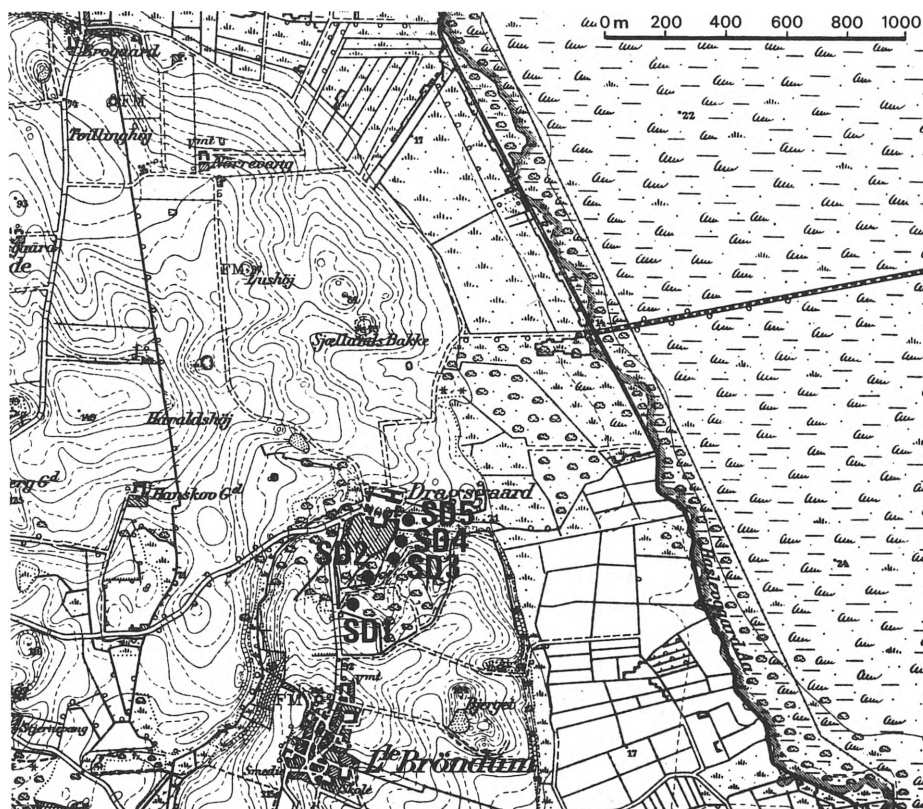


Fig. 33: Topografisk kort over Dragsgård Skov med angivelse af profilernes placering.

Topographic map of Dragsgård Skov and the location of the investigated profiles.

Profilbeskrivelser

SD1: entic Pseudogleyblandingslesive; ler/meget svær 1er, sur.
 Soil Taxonomy: Glossoboric Hapludalf.
 Profilen er udviklet i leret till med indslag af glaciogent ferskvandsler.
 Terrænkote: 20 m DNN; dræningsklasse: veldrænet;
 profildybde: 200 cm; vegetation: løvskov.

Olf (2-0): mørkebrunt morlag.

Alh (0-7): mørkebrunt (10YR3/3f) 1er; humusrig; moderat

granularstruktur; sprød; meget få sten; særdeles mange rødder; overgang klar og plan.

- A2 (7-33): mørkt gulbrunt (10YR4/4f) 1er; humusholdig; moderat granularstruktur; sprød; meget få sten; mange rødder; overgang klar og plan.
- B2tg (33-70): lyst gulbrunt (10YR6/4f) siltet 1er med pseudo-gleypræg; humusfattig; stærk angular blocky; fast; tykke kontinuerede ler-humusbelægnings; meget få sten; få rødder; overgang diffus.
- IIB31tg(70-120):gulbrunt (10YR5/6f) meget svær 1er med afblegede siirer; humusfattig; moderat angular blocky; fast; diskontinuerede overvejende lercoatings; ingen sten; meget få rødder; overgang diffus.
- IIB32tg (120-170):gulbrunt (10YR5/6f) meget svær 1er med afblegede siirer; humusfattig; moderat angular blocky; formbar og ikke klæbrig; enkelte tynde coatings; ingen sten; ingen rødder; overgang diffus.
- IIICg (170-):lyst gulbrunt (10YR6/4f) siltet 1er med afblegede partier; humusfattig; svag formbar og ikke klæbrig.
- SD2:** entic Blandingslessive; siltet ler/sand, sur.
Soil Taxonomy: Ultic Hapludalf.
Profilen er udviklet i glaciogent 1er, der overlejrer smeltevandssand.
Terrænkote: 14 m DNN; dræningsklasse: meget veldrænet; profildybde: 200 cm; vegetation: løvskov.
- Olf (1-0): mørkebrunt morlag.
- Alh (0-7): mørkt gråbrunt (10YR4/2f) siltet 1er; humusrig; moderat granularstruktur; sprød; ingen sten; mange rødder; overgang klar og plan.
- A2 (7-44): brunt (10YR5/3f) siltet 1er; humusholdig; moderat subangular blocky; fast; ingen sten; mange rødder ; overgang klar og bølget.
- IIB2t (44-69): mørkt gulbrunt (10YR4/4f) meget svær 1er; humusfattig; moderat subangular blocky; fast; tykke delvis kontinuerede coatings; ingen sten; få rødder; overgang skarp og bølget.
- IIIB3td(69-140):bånd af stærkt brunt (7,5YR5/6f) leret sand og (2,5Y7/4f) sand, hvor de førstnævnte lag er lerakkumulationshorisonter; humusfattig; svag til meget svag subangular blocky; meget sprød; ingen lerskind; ingen sten; meget få rødder; overgang diffus.

IIIC (140-): bleggult (2,5Y8/4f) sand; humusfattig; meget svag subangular blocky; meget sprød; øverst stadig få tynde lerakkumulationsbånd; ingen sten; ingen rødder.

SD3: humøs kolluvial lessiveagtig Gleystrukturbrunjord ; leret sandet silt, sur.
Soil Taxonomy: Pachic Haplumbrept.
Profilen er sandsynligvis udviklet i en forholdsvis lerfattig, men siltholdig till.
Terrænkote: 11 m DNN; dræningsklasse: moderat veldrænet; profildybde: 120 cm, boret til over 2 m; vegetation: løvskov.

AI (0-57) : meget mørk gråbrun (10YR3/2f) leret sandet silt; humusrig med dybden humusholdig; svag granular til subangular blocky; meget sprød; ingen sten; mange rødder; overgang klar og plan.

Bg (57-72) : gulbrun (10YR5/6f) leret sandet silt med rødbrune partier; humusfattig; svag angular blocky; sprød; tegn på svag lernedslemning; få bløde rødbrune mineralnoder; ingen sten; meget få rødder; overgang klar og plan.

Cgo (72-): lys gulbrun (2,5Y6/4f) leret sandet silt med rødbrune partier, - humusfattig; meget svag angular blocky; sprød; i de dybere dele tegn på grundvandsgley; ingen sten; meget få rødder; grundvand i 200 cms dybde.

SD4: fragi Typigley; leret sandet silt, neutral.
Soil Taxonomy: Humic Fragiaquept.
Profilen er udviklet i till.
Terrænkote: 8 m DNN; dræningsklasse: imperfekt drænet; profildybde: 120 cm, boret til 2 meter; vegetation: løvskov.

O1 (1-0): litterlag.

AI (0-37): meget mørkegrå (10YR3/1f) leret sandet silt; humusholdig; moderat granularstruktur; fast; ingen sten; mange rødder; overgang klar og plan.

Clgo (37-110): lys olivengrå (5Y6/2f) leret sandet silt med rustrøde pletter; humusfattig; svag angular blocky; fast; humusbelægnninger i de større rod- og ormegange; ingen sten; meget få rødder; overgang klar og plan.

C2rox (110-): grå (5Y5/1v) leret sandet silt med få rustrøde pletter; humusfattig; massiv; svagt formbar og ikke klæbrig; ingen sten.

Resultater og diskussion af de enkelte profilers pedologiske udvikling

Analyseresultaterne fra de fire profiler samt fra en boring i ådalen ses i tabel 16, og på fig. 34 ses en skitse af de 5 profiler. Den øverste del af bakken består af stærkt leret materiale, der genetisk set sandsynligvis er till med indslag af vandaflejret 1er, medens den nederste del af bakken overvejende består af finsandede siltholdige aflejringer. For foden af skråningen findes tykke tørvelag, der er dækket af minerogent materiale, der formodentligt er erosionsmateriale fra skråningen.

SD1, der er beliggende nærmest toppen af skråningen, er udviklet i et ikke homogent udgangsmateriale. Dette består formodentligt øverst af 70 cm till, der overlejrer omkring 1 meter vandaflejret 1er, der igen hviler på leret till. Det vandaflejrerede 1er er særdeles finkornet med over 50% 1er og under 10% sand, og det er helt stenfrit.

Profilen er sammenlignet med de veldrænede sandede jorde noget svagere udvasket bedømt ud fra basemætningsgraden. Dette skyldes formodentligt jordens større bufferkapacitet betinget af det store lerindhold, samt at profilen sandsynligvis tidligere har været kalkholdig i visse dele af de øvre jordlag. Denne antagelse bygger på, at profilen ligger i et område med højtliggende senonkalk. Profilen er stærkest udvasket i A horisonterne med laveste basemætningsgrad i A2, hvorefter basemætningsgraden stiger jævnt med dybden og når over 70% i 2 meters dybde. Fordelingen af de 4 ombytkelige baser viser, at Ca klart dominerer i A horisonterne, medens det ombytkelige Mg-indhold i B horisonterne er af samme størrelse som Ca-indholdet. Der er i profilen tydelige spor af lernedslemning, idet der omkring de veldefinerede aggregater var tykke kontinuerte lerskind, der dækkede hovedparten af strukturelementernes overflader. Hvor aggregatoverfladerne ikke var dækket af lerskind fremstod disse alligevel ofte glatte og skinnende, sandsynligvis på grund af trykpåvirkninger betinget af forskydninger mellem aggregaterne under udtørring og opvædning af jorden. Det er på basis af de observerede lerskind, at B horisonterne er blevet udskilt, og ikke ud fra teksturen, der er uanvendelig til diagnostisering af B horisonten på grund af store teksturvariationer i udgangsmaterialet.

De store teksturelle forskelle i profilen med meget lerholdige lag giver mulighed for dannelsen af overfladevandsbetingede temporære vandstuvninger i profilen. Den lerrige IIB3tg horisont hæmmer i denne forbindelse uden tvivl nedsivningen af overskudsnedbøren, således at der står frit vand i sprækkesystemerne i IIB3tg og op i B2tg i dele af året. Grunden til, at der kan stå frit vand i sprækkesystemerne er, at sprækkerne og rodgangene, der er biologisk betingede, med dybden bliver færre og mindre veldefinerede og til sidst ender blindt. I profilen afspejler det temporære grundvand sig som pseudogleypræg i de lerrige horisonter.

Der er ikke tegn på podzolering i profilen, som det fx var tilfældet i A2 horisonten i SRol. Humusindholdet aftager med dybden uden tegn på ophobning i B horisonten, hvorimod der er et tydeligt maksimum for dith.citr.opl. jern i denne horisont samt et svagt maksimum for dith.citr.opl. aluminium. Der er dog næppe derfor tale om en podzolering af jorden, idet det pyrophosphatopl. jern- og aluminiumindhold er væsentligt under halvdelen af det dith.citr.opl. jern- og aluminiumindhold i B horisonten.

Tabel 16: Analyseresultater fra de fem undersøgte profiler i Dragsgård Skov

Analytical results of the five investigated profiles in Dragsgård Skov.
Glacial drift in the clay-rich part of the glacial landscape.

	Tekstur u							OM 0/0	pH		CaCO ₃ 0/0	Dith.citr.		Pyrophosph.	Fe 0/00	Al 0/00	Ombyt. baser mækv				CEC mækv	V 0/0	C/N
	<2	2-20	20- 63	63- 125	125- 200	200- 500	500- 2000		H ₂ O	CaCl ₂		Fe 0/00	Al 0/00		Fe 0/00	Al 0/00	Ca	Mg	K	Na			
SD1: Alh(0-7) A2(7-33) B2tg(33-70) IIIB31tg(70-120) IIIB32tg(125-130) IIICg(200-210)	-	-				-		10.8	4.9	4.4	0	6.8	1.6	2.9	1.2		9.7	2.2	0.57	0.17	36.7	35	22
	21	28	15	11	12	7	3	3.2	4.4	3.9	0	9.5	1.6	3.3	1.4		1.9	0.63	0.16	0.11	21.7	13	13
	28	23	25	11	8	3	2	0.6	4.8	3.9	0	11.9	1.5	1.1	0.7		1.8	1.8	0.20	0.17	13.2	29	-
	51	31	8	4	3	2	0	0.5	5.1	4.0	0	17.1	1.7	1.1	0.9		4.0	4.3	0.39	0.40	22.1	41	-
	53	33	7	3	2	2	0	-	5.4	4.4	0	14.8	1.4	1.0	0.5		8.2	6.7	0.47	0.90	25.3	64	-
	16	14	40	15	10	5	0	-	5.8	4.7	0	4.4	0.5	0.4	0.1		3.9	2.1	0.17	0.46	9.5	71	-
SD2: Alh(0-7) A2(7-44) IIIB2t(44-69) IIIB3td(69-140) IIIB3td(69-140) IIIC(160-165)	-	-	-	-	-	-	-	11.8	4.5	4.1	0	5.2	1.3	-	-		8.1	2.2	0.48	0.23	40.3	27	25
	19	22	20	13	14	7	3	1.9	4.8	4.1	0	6.8	1.2	-	-		3.2	1.3	0.12	0.31	17.1	29	10
	47	27	7	6	7	4	1	0.9	5.4	4.4	0	12.0	1.5	-	-		7.7	3.3	0.27	0.39	22.0	53	-
	13	1	3	29	51	2	1	0.2	5.6	4.6	0	3.9	0.5	-	-		2.7	1.2	0.11	0.16	8.2	51	-
	3	1	5	39	51	1	0	0.1	5.5	4.6	0	1.0	0.2	-	-		0.55	0.21	0.02	0.06	2.1	39	-
	2	1	5	47	45	0	0	-	5.6	4.7	0	0.9	0.1	-	-		-	-	-	-	-	-	-
SD3: Allh(0-20) A12(20-57) Bg(57-72) Cgo(72-)	-	-	-	-	-	-	-	11.7	3.8	3.2	0	4.7	1.2	-	-		1.9	0.62	0.22	0.14	48.7	6	13
	8	11	31	19	17	10	1	2.5	4.5	4.1	0	4.1	2.4	1.7	1.4		0.12	0.04	0.02	0.05	17.1	1	12
	8	8	39	19	16	9	1	0.4	4.4	4.2	0	3.8	1.1	0.9	0.5		0.07	0.04	0.02	0.04	8.2	2	-
	7	9	37	21	16	9	1	0.2	4.7	4.2	0	4.8	0.5	1.6	3.0		0.15	0.07	0.02	0.04	5.1	5	-
SD4: Al(0-37) Clgo(37-110) C2rox(110-)	13	11	26	16	19	8	1	5.6	5.6	5.0	0	3.7	3.0	1.6	3.0		6.9	1.9	0.05	0.48	33.6	28	11
	11	5	31	24	21	7	1	0.2	6.7	6.0	0	13.4	0.4	0.6	0.2		4.9	0.82	0.06	0.20	7.8	77	-
	6	5	46	24	14	3	1	0.6	5.9	5.4	0	4.4	0.7	-	-		3.4	0.50	0.08	0.12	-	-	-
SD5: Allh(0-10) A12(10-42) 01ab(42-75) Alhb(75-120)	-	-	-	-	-	-	-	8.4	6.0	5.5	0	-	-	-	-		-	-	-	-	-	-	-
	12	13	19	16	22	14	2	2.4	6.0	5.2	0	-	-	-	-		-	-	-	-	-	-	-
	-	-	-	-	-	-	-	33.2	6.2	5.8	0	-	-	-	-		-	-	-	-	-	-	-
	-	-	-	-	-	-	-	13.7	6.2	5.8	0	-	-	-	-		36.1	3.8	3.8	1.1	64.3	70	-

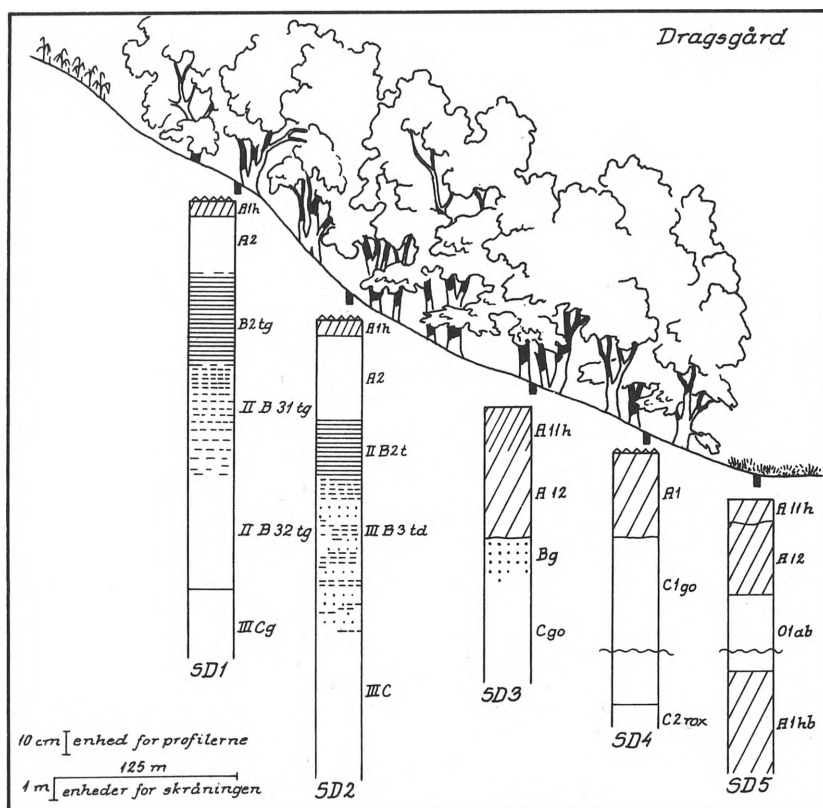


Fig. 34: Skematisk snit gennem de fem undersøgte profiler og deres placering på toposekvensen, Dragsgård Skov.

Schematic diagram showing the five investigated profiles and their location in the toposequence, Dragsgård Skov.

Det er især i jernindholdet, at der er store forskelle ved anvendelse af de to metoder, og der kan være en forskel helt op til en faktor 10 i B horisonterne. Det fundne maksimum i B for dithionitcitratopløseligt jern og aluminium skyldes sandsynligvis, at jernet og aluminiumen findes som overfladeadhæerede oxider og hydroxider på mineralkornene, og at leret relativt indeholder den største mængde overfladeadhæeret jern og aluminium, idet disse partikler har større specifikke overflader end sand og silt. Bt horisonterne vil derfor blive beriget med jern- og aluminium(hydr)oxider ved lernedslemningsprocessen. Sammenholdes det dithionitcitratopløselige jern og aluminium med lerprocenten, fås de i tabel 17 angivne forhold i nogle typeprofiler. Tabel 17 viser, at i podzolerne er der en markant stigning i jern/ler- og aluminium/ler-forholdene fra A til B horisonten. Således stiger fx Al/ler-forholdet mere end 20 gange fra A2b til B2sb i den hærdnede Typipodzol, og Fe/ler-forholdet stiger mere end 10 gange imellem

A1+A2 og B2s i Sesquipodzolen. I de fire ikke podzolerede lessivejorde ligger Fe/ler- og Al/ler-forholdenes maksimum i alle tilfælde inden for A horisonten. Dette skyldes formodentligt, at den kemiske forvitring er mest fremskreden i eluviallaget og dermed frigivelsen af jern- og aluminium(-hydr)oxider. Man kan på basis af tabel 17 konkludere, at podzoleringsprocessen giver en markant stigning i Fe/ler- og Al/ler-forholdene fra A2 til B, medens dette ikke er tilfældet for lessivejordene.

SDI klassificeres som en entic Pseudogleyblandingslessive på basis af de tykke lerskind, den tynde Al horisont, pseudogleypræget i B horisonterne og det inhomogene udgangsmateriale. Efter Soil Taxonomy klassificeres profilen som Glossoboric Hapludalf.

Tabel 17 : Forholdet mellem dithionitcitratopløseligt jern og aluminium og lerindholdet i nogle profiler.

The amount of dith.citr.-soluble iron and aluminium in proportion to clay content in different soils.

		Fe/ler	Al/ler	
SF5	A2b	0.005	0.010	entic hærdnet Typipodzol
	B2hb*	0.005	0.130	
	B2sb*	0.295	0.210	
	B31sb	0.075	0.070	
	B32b*	0.025	0.035	
SR2	A1+A2	0.005	0.025	Sesquipodzol
	B2s	0.066	0.046	
	B3S+C	0.046	0.032	
	C	0.030	0.042	
SRo1	A1ø	0.020	<0.005	degraderet fragi pseudogleyet Podzoltypilessive
	A2ø	0.030	0.005	
	B2svø	0.106	0.018	
	B3svø	0.054	0.034	
	A2x	0.040	0.028	
SL1	A12	0.042	0.064	humøs Lessivetypigley
	A2o	0.050	0.026	
	B2to	0.038	0.006	
	B3to	0.017	0.003	
	Cro	0.014	0.003	
SD1	A2	0.045	0.008	entic Pseudogleyblandings- lessive
	B2tg	0.042	0.005	
	IIB3tg	0.034	0.003	
	IIB3tg	0.028	0.003	
	IIICg	0.028	0.003	
SS2	A1	0.027	0.007	entic Pseudogleyblandingslessive
	A2	0.026	0.006	
	A2g	0.040	0.006	
	IIB2tg	0.037	0.003	
	IIB3tg	0.027	0.002	
	IIICg	0.022	0.002	
SS3	A1	0.028	0.009	Pseudogleykalklessive
	A2g	0.074	0.011	
	B2tg	0.039	0.003	
	B3tg	0.025	0.002	
	Cg	0.045	0.003	
	Cg	0.033	0.002	
	Cg	0.033	0.002	

*anvendt samme lerprocent som i B31sb ved udregning af de to forhold.

SD2 består øverst af leret till, hvorunder der kommer et finkornet sandsynligvis vandaflejret sediment. I modsætning til SD1 kommer der i SD2 fra 69 cms dybde et indslag af vandaflejret stenfrit sand, der fortsætter til over to meters dybde. Pedologisk set er de øverste 44 cm et eluviallag med en humusrig A1 horisont. Derunder kommer illuvialhorisonten, hvor IIB2t er bestemt ud fra lerskind på aggregatoverfladerne. Sandet under IIB2t horisonten er tydeligt båndet med brede brune bånd af lerholdigt materiale set i forhold til de mellemliggende lysere bånd. Grænsen mellem båndene er skarpe og ofte plane, men de kan være irregulære eller brudte. De øverste dele af sandaflejringen, hvor de brune bånd er hyppigst, betegnes IIB3td. Den teksturelle sammensætning af de lerholdige bånd viser, at de er beriget med illuvialt 1er, idet fordelingen mellem 1er, silt og sand ikke er naturlig for et vandaflejret sediment. Man kan derfor se bort fra, at sedimentets tekstur udelukkende er geogenetisk betinget. Det illuviale 1er i båndene danner ikke lerskind som i IIB2t, hvilket sandsynligvis skyldes, at der i sandet ikke forekommer en veludviklet struktur som i den stærkt lerholdige IIB2t. Leret ligger derimod i båndene som coatings omkring sandskornene eller som broer mellem disse. Afsætningen af det nedslemmede 1er er sandsynligvis knyttet til lejringsforskelle og teksturforskelle i sandet, men det er ikke muligt generelt at fastslå, om det er i de grovere eller finere teksturer, leret afsættes. Således fandt fx Vandamme & De Leenheer (1968) ud fra 38 lerede Bt-bånd, at 20 af disse var lokaliseret til de mere finsandede dele af horisonten, hvorimod de øvrige var lokaliseret i de grovsandede dele af horisonten.

Der blev i 9 ud af 129 profiler i Himmerland fundet tydelige Bt-bånd i vandaflejret sand. I tabel 18 ses nogle af de jordbundskemiske og -fysiske karakteristika for de lerberigede og ikke lerberigede dele af de bandede Bt horisonter. Tabel 18 viser, at Bt-båndene både kan udvikles i de grovere og de finere dele af sandaflejringen, og at der er en svag tendens til, at de hyppigst udvikles i de grovere partier. Det bemærkes endvidere, at der kan forekomme markante forskelle i lerindholdet i de bandede horisonter p.g.a. lernedslemningen. Grunden til, at det nedslemmede 1er afsættes i bånd, er sandsynligvis lagdelingen i sedimentet, der forårsager varierende hydraulisk ledningsevne i profilen.

Det nedsivende vands gennemtrængningshastighed vil hæmmes ved overgangen til en anden tekstur eller sedimentstruktur, hvorved leret kan udfældes. Særligt finkornede aflejringer vil endvidere direkte kunne sigte lerpartiklerne fra det nedsivende vand. Som eksempel på teksturforskellenes indflydelse på Bt-båndenes lokalisering kan nævnes Deckers & Baeyens (1963), der fandt Bt-båndene tæt knyttet til tynde stenstriber i profilen. Bt-båndene kan i visse tilfælde blive meget tykke, fx er der i Himmerland fundet bånd på over 10 cms tykkelse. De forskellige horisonTERS pH viser, at i to ud af de tre profiler, hvor denne er bestemt, er pH lavere i lerakkumulationsdelen end i den ikke berigede del. Vandamme & De Leenheer (1968) fandt ud fra 38 profiler, at pH var lavere i lerakkumulationsdelene end i de ikke berigede dele, hvilket blev forklaret ved de udfældede 1er-, jern- og humuskolloider i Bt båndene. Det er helt entydigt ud fra tabel 18, at Bt båndene har et større indhold af dith.citr.opl. jern og aluminium end de ikke lerberigede dele. Dette skyldes uden tvivl, at en del jern- og aluminium (hydr) oxider er ført ned gennem profilen sammen med leret. Humusindholdene i de undersøgte horisonter er alle lave, hvilket tyder på, at humus ikke i nævneværdig grad er blevet ført ned sammen med leret.

Tabel 18: Organisk stof, tekstur- og pH-forhold samt dithionitcitratopløseligt jern og aluminium i Bt-bånd og mellem disse for 9 profiler. FS: 63 μ - 200 μ ; GS : 200 μ - 2000 μ .

Texture, organic matter, pH and dith.citr.-soluble iron and aluminium within Bt-bands and in layers between these for 9 profiles.

Ler %	FS/GS	pH H ₂ O	CaCl ₂	dith. Fe%	citrat Al%	humus %
13	96/4	5.6	4.6	3.9	0.5	0.2
3	99/1	5.5	4.6	1.0	0.2	0.1
9	88/14	4.6	4.1	2.9	0.6	0.2
4	94/6	4.8	4.3	1.6	0.4	0.2
13	98/2	5.0	4.0	-	-	0.2
4	98/2	5.1	4.1	-	-	0.2
8	51/49	-	-	2.7	1.2	-
5	40/60	-	-	1.9	0.7	-
10	63/37	-	-	3.8	0.6	0.2
3	87/13	-	-	1.4	0.2	0.1
6	74/26	-	-	2.3	1.0	-
2	78/22	-	-	0.8	0.4	-
14	65/35	-	-	2.9	0.5	-
5	66/34	-	-	2.1	0.8	-
5	34/66	-	-	-	-	0.2
2	35/65	-	-	-	-	0.2
9	83/17	-	-	-	-	0.4
4	88/12	-	-	-	-	0.2

SD2 er ligesom SD1 svagere udvasket end sandjordene, og basemætningsgraden stiger fra Al til IIB2t fra 35 til 53%. I sandet under IIB2t er der derimod et lille fald i basemætningsgraden for Bt-båndene set i forhold til IIB2t og et kraftigt fald for den ikke lerberigede del. Dette kan skyldes den lave bufferkapacitet i det lerfattige sand. Profilen har i modsætning til SD1 ikke et nævneværdigt gleypræg i IIB2t horisonten. Dette skyldes formodentlig det højtliggende sandlag, der hurtigt dræner overskudsvandet bort fra grovporesystemet i B2t, der endnu er kontinuert og veludviklet i 69 cms dybde, således at ingen grovporer ender blindt i den lerrige horisont.

Profilen klassificeres som entic Blandingslessive på grund af den tynde Al horisont og det inhomogene udgangsmateriale. Efter Soil Taxonomy klassificeres profilen som Ultic Hapludalf.

SD3 og SD4, der er beliggende på den nedre halvdel af skråningen, er udviklet i svagt leret meget siltholdigt materiale. De to profiler er pedologisk set især præget af gley- og pseudogleyprocesser, og de må derfor henregnes til de dårligt drænedde jorde.

SD3, der er udviklet i et forholdsvis homogent udgangsmateriale, er en stærkt udvasket jord med basemætningsgrader på under 10% i hele profilen. Profilen er uden markante eluvial- og illuvialhorisonter, og der er kun enkelte steder i profilen fundet tegn på lervandring. Denne proces har dog været så svag, at den ikke har sat sig spor i teksturvariationen ned gennem jorden. Den meget svage lernedslemning set i forhold til de to højreliggende profiler skyldes sandsynligvis, at SD3 er en mere hydromorf præget profil, samtidig med at den er relativ siltrig og lurfattig. De mest markante pedologiske processer i profilen er foruden udvaskningen af baser gley- og pseudogleyprocesserne. I de øverste 70 cm af profilen dominerer pseudogleypræget klart, medens grundvandsgley bliver mere dominerende derunder. Der er dog tegn på, at grundvandet til tider har stået meget højt i profilen. SD3 klassificeres som en humøs kolluvial lessiveagtig Gleystrukturbunjord. Efter Soil Taxonomy klassificeres profilen som Pachic Haplumbrept.

SD4, der ligger i umiddelbar nærhed af dalbunden, er den dårligst drænedes af de 4 profiler på selve skråningen. Under en forholdsvis tyk Al horisont, der dog ikke kvalificerer profilen som kolluvial eller humøs, kommer en tydelig grundvandspræget horisont, hvor der formodentligt i den overvejende del af året hersker oxiderende forhold. I lidt over 1 meters dybde antager jorden karakter af en fragipan, og i denne del af profilen synes der ud fra profilens fremtoning i overvejende grad at herske anaerobe forhold. Der er ikke tegn på lernedslemning eller podzoling i profilen, hvilket bl.a. kan skyldes den dårlige dræning og den meget siltholdige tekstur. Der er dog tegn på en vis illuviation af humusstoffer, der øverst i Cgo kan danne sorte coatings i orme- og rodgange samt enkelte steder på aggregatoverfladerne. Profilen er kun svagt udvasket for baser, og basemætningsgraden er allerede i Cgo horisonten omkring 80%. Calcium dominerer klart blandt de ombyttelige baser. Profilen klassificeres som en fragi Typigley. Efter Soil Taxonomy er profilen en Humic Fragiaquept.

SD5 er beliggende i den brede dalbund, der sandsynligvis i stenalderen i kortere tid har været havtransgrederet. Profilen består øverst af 40 cm kolluvium, der overlejrer en histisk Vådgley. Bedømt ud fra teksten er de øverste 40 cm af profilen sandsynligvis udskredet materiale fra skråningen og ikke vandaflejret sediment afsat under flom. Profilen klassificeres som en topkolluvial histisk vådgley.

Man kan vedrørende den pedologiske udvikling i Dragsgård Skov konkludere, at de højtliggende lerholdige profiler er præget af lernedslemning, der endog kan nå ned i underliggende lurfattigt sand. Er jorden lerholdig i hele profildybden, vil der sandsynligvis udvikles pseudogleypræg i B horisonten på grund af det svagere udviklede grovporesystem med dybden. Denne proces vil normalt ikke forløbe, hvor et tykt lag sand ligger højt i profilen, idet sandet sikrer en hurtig afdræning til dybere lag. De lerholdige profiler vil normalt være mindre udvaskede end de sandede jorde på grund af de førstnævntes større bufferkapacitet. I de lavereliggende knapt så lerholdige profiler er gley- og pseudogleyprocesser klart de dominerende pedologiske processer. Det er i disse jorde særdeles vanskeligt at skelne mellem pseudogley og gley, idet marmoreringen af horisonterne indikerer begge processer. For foden af skråningen i ådalen findes egentlige tørvejorde, blandt hvilke nogle er dækket af minerogent erosionsmateriale fra skråningen.

Sønderskov

Sønderskov er beliggende mellem Solbjerg og Veddum i Østhimmerland i et kuperet leret moræneområde med enkelte stejle skråninger, markante tørdale samt en del vådbundsområder knyttet til de lavere dele af terrænet. Sønderskov er hovedsageligt en løvskov, dog er der i visse dele af området plantet nåletræer. Bedømt ud fra ældre kort har området været skovklædt de seneste 200 år, men bedømt ud fra profilerne, må skoven antages at være væsentlig ældre. Der er i Sønderskov gravet 5 profiler. De 3 af profilerne danner en toposekvens, så den pedologiske udvikling under forskellige dræningsforhold kunne studeres, medens de to sidste profiler er gravet uden hensyn til terrænformen, men med henblik på belysning af specielle pedologiske udviklinger. På fig. 35 ses et topografisk kort over Sønderskov, hvor på profilernes placering er angivet.

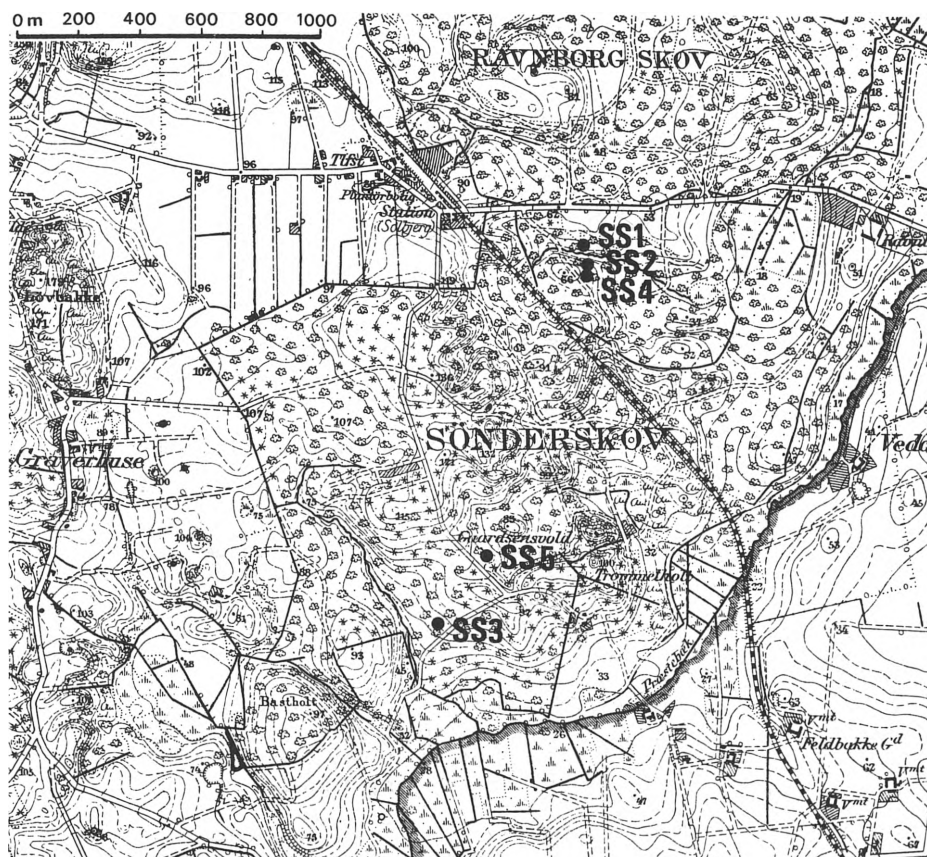


Fig. 35: Topografisk kort over Sønderskov med profilernes placering.

Topographie map of Sønderskov and the location of the investigated profiles.

Profilbeskrivelser

SSI: humøs Vådgley.

Soil Taxonomy: Typic Haplaquoll.

Terrænkote: 13 m DNN; dræningsklasse: meget imperfekt drænet;
profildybde: 50 cm; vegetation: løvskov.

Ol: brunt litterlag

Alh(0-25): meget mørk gråbrun (10YR3/2f) leret sandet silt; humusrig; svag granular; ikke formbar og ikke klæbrig; meget få sten; overgang skarp og plan.

Cr (25-): blåligt lerholdigt siltet sand med få rustrøde pletter ved rodgange; sedimentet er lagdelt med enkelte tynde sandbånd; humusfattig; massiv; svagt formbar og ikke klæbrig; meget få sten.

SS2: entic Pseudogleyblandingslessive; 1. sandet silt/siltet svær 1er, neutral.

Soil Taxonomy: Glossaquic Hapludalf.

Terrænkote: 15 m DNN; dræningsklasse: moderat veldrænet;
profildybde: 145 cm, boret til 2 meter; vegetation: løvskov.

O1 (2-0): brunt morlag

Alh(0-3): brun til mørkebrun (7,5YR4/2t) leret sandet silt; humusrig; moderat granular; meget få sten; mange rødder; overgang klar og plan

A2 (3-16): blegbrun (10YR6/3t) leret sandet silt; humusholdig; moderat granular; meget få sten; mange rødder; overgang klar og plan.

A2g (16-30): meget bleg brun (10YR7/4t) leret sandet silt med få gulbrune pletter; moderat subangular blocky; få hårde rødbrune noduler; meget få sten; få rødder; overgang klar og irregulær.

IIB2tg (30-58): gulbrunt (10YR5/8f) siltet svær 1er med afblegede partier omkring rodgange og aggregatoverflader; meget stærk angular blocky; spredte lerskind; dele af horisonten svagt degraderet; meget få sten; få rødder; overgang diffus.

IIB3tg (58-110): brunt (10YR5/3f) siltet svær 1er med afblegede partier omkring rodgange og aggregatoverflader; stærk angular blocky; få spredte lerskind; meget få sten; meget få rødder; overgang diffus.

IIICg (110-): gulbrunt (10YR5/6f) siltet svær 1er med rustrøde pletter; humusfattig; svag angular blocky; formbar

og svagt klæbrig; meget få sten; meget få rødder.

SS3: Pseudogleykalklessive; siltet 1er, basisk.

Soil Taxonomy: Hapludalf.

Terrænkote: 21 m DNN; dræningsklasse: moderat veldrænet;
profildybde: 170 cm; vegetation: løvskov.

Olf (2-0) : mørkebrunt morlag

Al (0-13) : brunt til mørkebrunt (10YR4/3t) siltet 1er; humusholdig; moderat granular; meget få sten; mange rødder; overgang klar og plan.

A2g (13-31): brunt (10YR5/3t) siltet 1er; humusholdig; moderat granular; mange store sorte hærdnede jern- og manganholdige noduler; meget få sten; få rødder; overgang klar og plan.

B2tg (31-67) : gulbrunt (10YR5/6f) siltet 1er med afblegede partier omkring rod- og ormegange samt omkring sprækker; humusfattig; moderat angular blocky; tykke grålige lerskind; få store sorte hærdnede jern- og manganholdige noduler; meget få sten; få rødder; overgang gradvis og plan.

B3tg (67-112): gulbrunt (10YR5/6f) siltet 1er med en del afblegede partier omkring grovporene; humusfattig; moderat subangular blocky; få kalkklumper; få spredte grålige lerskind; meget få sten; meget få rødder; overgang gradvis og plan.

Cg (112-) : gulbrun (10YR5/6f) leret sandet silt med en del rustfarvede pletter; humusfattig; svag subangular blocky; formbar og svagt klæbrig; meget få sten; ingen rødder.

SS4: entic fragi Blandingslessive; leret sandet silt/siltet sand, sur.

Soil Taxonomy: Glossic Fragiudult.

Terrænkote: 18 m DNN; dræningsklasse: meget veldrænet;
profildybde: 140 cm; vegetation: løvskov.

Al (0-4): brun (10YR5/3t) leret sandet silt; humusrig; sprød; meget få sten, mange rødder, overgang skarp og plan.

A21 (4-18): gulbrun (10YR5/4t) leret sandet silt; humusholdig; svag subangular blocky; sprød; meget få sten; mange rødder; overgang skarp og plan.

A22 (18-27): gulbrun (10YR5/6t) leret sandet silt; humusholdig; svag subangular blocky; sprød; meget få sten; mange rødder; overgang klar og plan.

B2tx (27-60): gulbrunt (10YR5/6t) siltet 1er; humusfattig; svag

- pladestruktur; få spredte lerskind; meget få sten; veludviklet kontinuert fragipan; øverst meget få rødder ellers ingen; overgang skarp og plan.
- IIB3td (60-100):** båndet horisont med gulbrunt (10YR5/6f) lerholdigt siltet sand (1erakkumulationsbånd) og brungult (10YR6/6f) siltet sand; ingen sten; ingen rødder; overgang klar og irregulær.
- IIC (100-):** meget blegt brunt (10YR7/4f) siltet sand; humusfattig; meget svag angular blocky eller plade; meget sprød; ingen sten; ingen rødder.
- SS5:** entic fragi Podzoldegralessive; 1.sandet silt/sandet silt, sur.
Soil Taxonomy: Ultic Fragiorthod eller Glossic Fragiudult.
Terrænkote: 22 m DNN; dræningsklasse: veldrænet;
profil dybde: 140 cm; vegetation: løvskov.
- Olf (4-0) :** mørkebrunt morlag.
- Olhø (0-4) :** mørk rødbrun (5YR2/2t) sandet silt; meget humusrig; meget svag pladestruktur; sprød; meget få sten; mange rødder; overgang skarp og plan.
- A2ø (4-14) :** grå til lysegrå (5YR6/lt) sandet silt; humusholdig; meget svag pladestruktur; sprød; meget få sten; mange rødder; overgang klar og plan.
- B2svø (14-17) :** mørkebrun (7,5YR3/2f) leret sandet silt; humusholdig; meget svag subangular blocky; sprød; meget få sten; mange rødder; overgang klar og plan.
- B3svø (17-24) :** gulbrun (10YR5/6f) leret sandet silt; humusholdig; meget svag subangular blocky; sprød; meget få sten; mange rødder; overgang skarp og bølget.
- A2 (24-30) :** lys gulbrun (10YR6/4f) leret sandet silt; humusholdig; meget svag subangular blocky; sprød; få ikke hærdnede mangan- og jernholdige noder; meget få sten; mange rødder; overgang klar og irregulær.
- B2ty(30-50) :** 50% lyst gulbrunt (10YR6/4f) siltet 1er (ikke degraderet del) og 50% gulbrun (10YR5/6f) sandet silt (degraderet); humusfattig; moderat subangular blocky; silt- og finsandsbelæggninger på visse aggregatoverflader, på andre lerskind; meget få sorte ikke hærdnede jern- og manganholdige noder; meget få sten; få rødder; overgang plan og bølget.
- B31txy (50-83):** lyst gulbrunt (10YR6/4f) siltet svær 1er med helt afblegede tynde lodretgående degraderede tunger i hele horisontens tykkelse; humusfattig; moderat

angular blocky; tydelige lerskind visse steder, hvor horisonten ikke er degraderet; markant kontinuert fragipan; meget få sten; meget få rødder; overgang skarp og bølget.

IIB32td (83-114): gulbrunt (10YR5/6f) leret siltet sand (lerakkumulationsbånd) i meget blegbrun (10YR7/3f) sandet silt (C materiale); humusfattig; meget svag angular blocky; meget sprød; meget få sten; meget få rødder; overgang klar og bølget.

IIC (114-): meget bleg brun (10YR7/4f) sandet silt; humusfattig; meget svag angular blocky; meget sprød; meget få sten; meget få rødder.

Resultater og diskussion af profilernes pedologiske udvikling

Analyseresultaterne fra de fem undersøgte profiler ses af tabel 19, og på fig. 36 ses en skitse af de 5 undersøgte profiler.

De undersøgte profiler kan med hensyn til dræningstilstand inddeles i tre hovedtyper, nemlig profiler med permanent højtstående grundvand, profiler med dårlig indre dræning og dermed tydelig pseudogleydannelse og endelig veldrænedede profiler uden nævneværdige tegn på gleydannelse i profilen.

SS1, der er beliggende for foden af en skråning, repræsenterer den førstnævnte type. Profilen består øverst af 25 cm humusrig leret silt, hvor det organiske stof er velomsat bedømt ud fra C/N-forholdet. Denne horisont overlejrer humusfattigt lagdelt lerholdigt siltet sand, der bedømt ud fra den blålige farve er stærkt anaerob. Kun ganske få steder omkring rodgange fandtes aerobe områder, hvilket kunne erkendes som røde ringe omkring rodgangene. Profilen er kun svagt udvasket, og selv i Al horisonten er basemætningsgraden over 60%. Dette skyldes sandsynligvis, som for profilerne i Rønhøj Kær (se kap. 6 om Rønhøj Plantage), at profilen har fået basetilskud fra de omkringliggende bakker, hvor kalkholdig till utvivlsomt findes et stykke under overfladen, bedømt ud fra de dybereliggende horisonter i SS2 og SS3.

Profilen klassificeres som en humøs Vådgley på grund af den humusrige Al horisont og den stærkt reducerede horisont umiddelbart under Al. Efter Soil Taxonomy klassificeres profilen som Typic Haplaquoll.

SS2 og SS3 er de to profiler i Sønderskov, der er præget af dårlig indre dræning og dermed pseudogleydannelse. SS2 består af en 30 cm tyk lerudvaskningshorisont, der i de øverste 3 cm er humusrig. Den nederste del af A2 horisonten er præget af pseudogleyprocesser med dannelsen af ikke hærdnede konkretioner. Under A horisonterne kommer de lerberigede horisonter med enkelte lerskind, der visse steder kunne være svære at erkende. Dette skyldes, at aggregatoverfladerne var glatte og blanke sandsynligvis på grund af trykpåvirkninger under opvædning og udtørring af jorden.

Tabel 19: Analyseresultater fra de fem undersøgte profiler i Sønderskov

Analytical results of the five investigated profiles in Sønderskov.
Glacial drift in the clay-rich part of the glacial landscape.

		Tekstur u							OM 0/0	PH		CaCO ₃	Dith	citr.	Pyrophosph.		Ombyt. baser mækv.				CEC	V	C/N	
		<2	2-20	20-63	63-125	125-200	200-500	500-2000		H ₂ O	CaCl ₂	0/0	Fe 0/00	Al 0/00	Fe 0/00	Al 0/00	Ca	Mg	K	Na	mækv	0/0		
SS1:	Alh(0-15)								7.1	6.2	5.6	0	4.0	0.5	2.3	0.6	15.6	2.3	0.18	0.58	30.8	60	13	
	Alh(15-25)	11	13	29	15	14	8	2	7.7	6.1	5.6	0	-	-	-	-	15.4	1.8	0.14	0.81	28.6	63	14	
	Cr(25-50)	7	5	21	26	29	10	2	0.2	7.0	6.4	0	0.7	0.1	0.1	0.1	3.4	0.3	0.07	0.08	-	-	-	
SS2	Alh(0-3)	13	18	27	14	12	5	1	9.7	4.6	4.1	0	3.5	0.9			5.5	1.3	0.30	0.15	32.8	22	14	
	A2(3-16)	15	20	22	17	15	6	2	3.5	4.0	3.6	0	3.9	0.9	-	-	0.50	0.17	0.07	0.14	18.4	5	-	
	A2g(16-30)	13	20	24	18	15	5	3	1.5	4.4	3.9	0	5.2	0.8	-	-	0.50	0.15	0.04	0.08	10.6	7	-	
	IIB2tg(30-58)	39	33	14	7	4	2	1	0.3	5.9	5.1	0	14.5	1.1	-	-	12.5	3.3	0.26	0.44	21.6	76	-	
	IIB3tg(58-110)	45	41	11	1	1	1	0	0.3	6.8	6.1	0	12.1	0.7	-	-	17.3	3.5	0.36	0.58	24.9	87	-	
	IIICg(130-135)	33	27	18	11	8	3	0	-	7.2	6.4	0	7.3	0.5	-	-	12.0	2.0	0.25	0.71	16.2	92	-	
	IIICg(190-200)	31	31	21	9	6	2	0	-	8.0	7.4	0	-	-	-	-	15.3	1.5	0.47	0.51	-	-	-	
SS3	Al(0-13)	15	27	26	12	10	3	1	6.4	4.3	3.8	0	4.2	1.4			0.97	0.31	0.08	0.11	20.8	7	19	
	A2g(13-31)	15	26	26	11	9	5	6	1.8	5.1	4.4	0	11.1	1.6										
	B2tg(31-67)	28	25	20	11	11	4	1	0.4	6.2	5.5	0	11.0	0.9	-	-	8.9	3.3	0.21	0.41	16.3	79	-	
	B3tg(67-112)	23	35	14	11	12	4	1	0.3	7.7	7.1	6.7	5.8	0.5	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	Cg(130-135)	13	36	24	11	11	4	1	-	7.9	7.3	0	5.9	0.4	-	-	19.1	0.98	0.10	0.51	22.1	94	-	
	Cg(160-170)	14	30	25	13	13	4	1	-	8.0	7.3	0	4.7	0.3	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
SS4	Alh(0-4)	9	13	21	16	21	9	2	8.8	3.8	3.3	0	4.7	0.9	2.9	0.8	1.1	0.45	0.14	0.12	29.5	6	14	
	A21(4-18)	9	15	17	17	25	11	2	3.8	3.9	3.5	0	5.4	0.8	3.9	1.2	0.15	0.12	0.05	0.05	17.6	2	-	
	A22(18-27)	10	15	16	18	25	11	3	2.5	4.4	4.1	0	4.5	1.8	3.1	2.0	0.12	0.05	0.04	0.04	16.6	2	-	
	B2tx(27-60)	20	24	19	15	14	5	3	0.3	4.5	3.8	0	5.5	0.8	1.2	0.9	0.22	0.15	0.11	0.07	9.9	6	-	
	IIB3td(60-100)	9	3	11	28	40	8	1	0.2	4.6	4.1	0	2.9	0.6	-	-	0.10	0.05	0.05	0.04	-	-	-	
	IIB3td(60-100)	4	4	20	36	32	3	1	0.2	4.8	4.3	0	1.6	0.4	0.7	0.6	0.05	0.02	0.01	0.02	2.8	4	-	
	IIC(100-140)	3	2	17	36	36	5	1	-	4.8	4.3	0	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
SS5:	Ohø(0-4)	-	-	-	-	-	-	-	28.8	3.8	3.1	0	3.1	0.9			0.90	0.90	0.64	0.29	60.4	5	19	
	A2ø(4-14)	6	18	34	21	13	3	1	4.5	4.1	3.5	0	1.2	0.4	-	-	0.11	0.10	0.08	0.05	-	-	-	
	B2svø(14-17)	12	21	27	19	11	3	2	4.6	4.2	3.7	0	-	-	-	-	0.17	0.11	0.11	0.07	23.6	2	27	
	B3svø(17-24)	12	20	27	20	12	4	2	2.9	4.2	3.8	0	9.7	1.2	7.2	1.6	0.07	0.08	0.08	0.05	18.8	2	-	
	A2(24-30)	15	23	25	19	12	4	1	1.0	4.5	4.1	0	5.2	1.0	2.0	1.3	0.05	0.07	0.09	0.05	9.9	3	-	
	B2ty(30-50)	4	14	31	29	17	4	1	0.3	4.8	4.3	0	2.3	0.5	1.1	0.7	0.02	0.04	0*04	0.04	4.1	3	*	
	B2ty(30-50)	21	29	21	12	12	4	1	0.2	4.7	4.0	0	7.3	0.9	1.2	0.8	0.20	0.56	0.17	0.09	11.3	9	-	
	B3txy(50-83)	32	29	19	8	8	3	1	0.2	4.8	3.7	0	9.6	1.0	-	-	0.30	1.9	0.31	0.18	17.4	15	-	
	IIB3td(83-114)	13	5	26	40	15	1	0	0.2	5.0	4.0	0	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
	IIB3td(83-114)	4	4	31	43	17	1	0	0.1	5.1	4.1	0	1.7	0.3	0.3	0.4	-	-	-	-	-	-	-	
	1ICC(114-)	5	6	42	41	5	1	0	0.1	5.0	4.2	0	2.3	0.3	0.3	0.3	0.20	0.35	0.05	0.06	3.2	20	-	

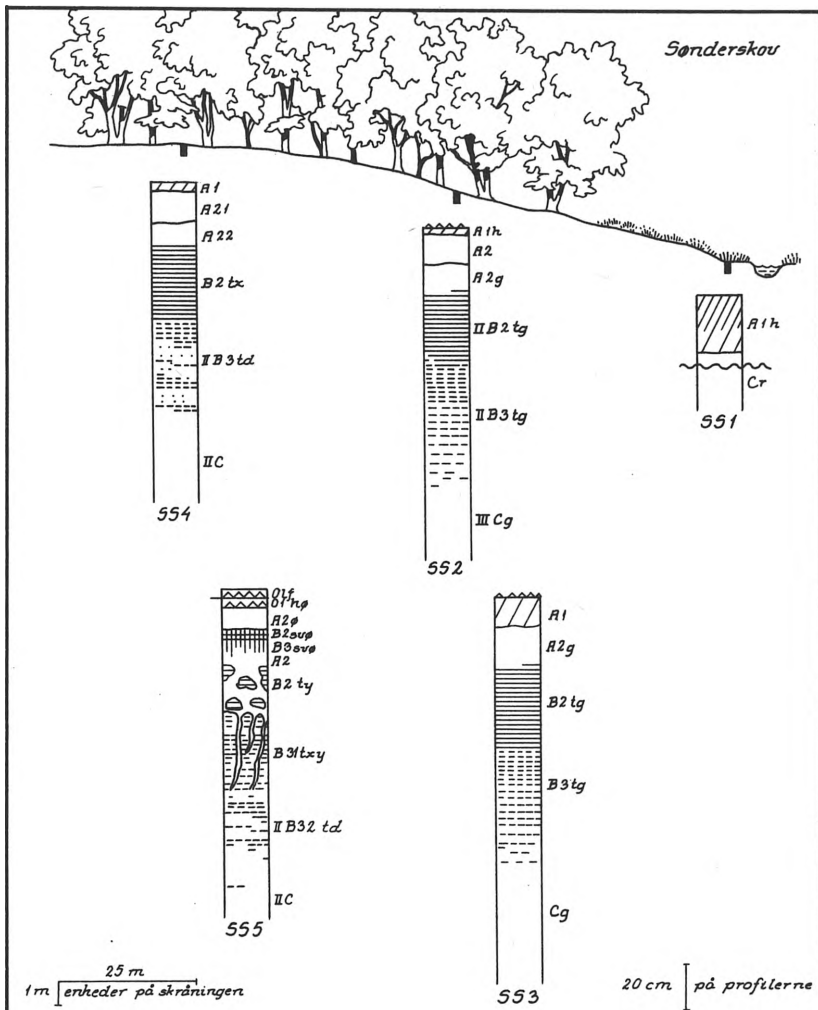


Fig. 36: Skitse af de 5 undersøgte profiler i Sønderkov.

Schematic diagram showing the five investigated profiles in Sønderkov.

De mere lerrige horisonter lerindhold er ikke kun pedologisk betinget, idet fordelingen mellem de forskellige teksturklasser vidner om forskelligt geologisk dannelsesmiljø ned gennem profilen. IIBtg horisonterne er som den nederste del af A2 horisonten tydeligt præget af pseudogley, idet aggregatoverfladerne er afblegede, omkranset af en rustrød bræmme et stykke fra aggregatoverfladerne. Under IIBtg horisonterne kommer IIICg horisonten, der begynder i 110 cms dybde. Den teksturelle sammensætning af IIICg horisonten vidner om, at det er en moræneaflejring, hvilket står i skarp modsætning til i hvert fald IIB3tg horisonten, der må formodes at være vandaflejret.

III_{Cg} horisonten er ligesom de overliggende horisonter præget af pseudogley, der i denne horisont hovedsageligt kan erkendes som rustpletter på afbleget matrix. Profilen er stærkt udvasket i eluviallaget, hvor især A₂ horisonterne er basefattige. Under A₂ horisonterne stiger basemætningsgraden stærkt, og øverst i III_{Cg} er basemætningsgraden over 90%. I to meters dybde er pH(H₂O) 8.0, hvilket vidner om, at kalkfronten ligger nær denne dybde. Calcium bliver derfor også med dybden mere og mere den dominerende ombyttelige base, tabel 20.

Tabel 20: Calciums procentvise andel af de ombyttelige baser for de forskellige horisonter i SS2, Sønderskov. Dybderne er i cm.

Calcium's percentage share of exch. bases in SS2, Sønderskov. Depth in cm.

	Al 0-3	A2 3-16	A2g 16-30	IIB2tg 30-58	IIB3tg 58-110	Cg 130-135	Cg 190-200
omb.Ca x 100	76	57	65	76	80	80	86
omb.baser							

Mængden af dithionitcitratopløseligt jern og aluminium ned gennem profilen viser, at der er maksimum i IIB2tg horisonten. De store mængder jern og aluminium i disse horisonter skyldes ikke podzolering, hvilket blandt andet Fe/ler- og Al/ler-forholdene indikerer. Disse giver maksimum i A2g, hvilket ikke forekommer i podzoler, jævnfør tabel 17.

SS3 består øverst af et 31 cm tykt eluviallag, der kan deles i en 13 cm tyk Al horisont, hvorunder der kommer en A2g horisont rig på store sorte hærdekonkretioner. Under eluviallaget findes Bt horisonterne med enkelte lerskind og pseudogleypræg som i SS2. Der er i den nederste del af B3tg fundet kalkklumper, der også forekommer i den pseudogleyprægede Cg horisont. Profilen er stærkt udvasket for ombyttelige baser i eluviallaget, men allerede i B2tg er basemætningsgraden omkring 80%, og øverst i Cg er den over 90%. Det er som i SS2 calcium, der dominerer blandt de ombyttelige baser. I modsætning til SS2 findes maksimumværdierne for dithionitcitratopløseligt jern og aluminium i A2g og ikke i Bt horisonterne, hvilket kan skyldes tilstedeværelsen af op til ærtestore mangan- og jernholdige konkretioner i A2g.

SS3 er i modsætning til SS2 udviklet i et relativt homogent udgangsmateriale, hvilket fremgår af tabel 21, der viser forholdet mellem silt, finsand og grovsand. Ved udregningen af dette forhold sættes grovsandsfraktionen 500-2000 μ i A2g til 1%, idet det høje procenttal i denne fraktion formodentlig skyldes tilstedeværelsen af stærkt sammenkittede konkretioner.

Tabel 21: Forholdet mellem silt, finsand og grovsand ned gennem profil SS3, Sønderskov.

Distribution of silt, fine and coarse sand in different horizons in SS3, Sønderskov.

	%silt 2-6 3μ	%finsand 63-200 μ	%grovsand 200-2000 μ
Al	67	28	5
A2g	66	26	8
B2tg	62	31	7
B3tg	64	30	6
Cg	69	25	6
Cg	64	30	6

En af de markante pedologiske processer i SS3 er som i SS2 lernedslemning. Dette kan erkendes ud fra tilstedeværelsen af enkelte lerskind på aggregat overfladerne i Bt og ud fra variationen i lerprocenten ned gennem profilen, idet udgangsmaterialet teksturelt set er relativt homogent, tabel 21. Som diskuteret ved SL1, Lundgård Skov, kan en yderligere indikation af 1er nedslenningsprocessen på homogent udgangsmateriale fås ved at sammenligne forholdet mellem finler og grovler ned gennem profilen, idet det hovedsageligt er finler, der føres fra eluviallagene ned i illuviallagene (Kundler 1961) .

Tabel 22: Det procentvise forhold mellem finler (<0.26 μ) og totaler (<2.07 μ) for udvalgte horisonter i profilerne SS2 og SS3.

Fine clay's percentage share of total clay for selected horizons of SS2 and SS3.

	A2	A2g	B2tg	B3tg
SS2	47%	46%	57%	58%
SS3	-	46%	-	52%,

Betragtes finlerets procentvise andel af totaler i A og B horisonterne SS2 og SS3, tabel 22, ses, at der både for den teksturelt set homogene profil SS3 og den teksturelt set inhomogene profil SS2 er et maksimum for for

holdet mellem finler og totaler i B, hvilket også var tilfældet for de tre jorde med lernedslemning diskuteret under SL1, tabel 14. Dette bekræfter yderligere den visuelt konstaterede lernedslemning i SS3, medens man ikke umiddelbart kan sige det samme for SS2, da variationen i det opstillede forhold ikke behøver at være pedologisk betinget, men kan være geogenetisk betinget.

Både SS2 og SS3 bærer tydelig præg af pseudogley fra den nederste del af A2 og helt ned i C horisonten. Pseudogley udvikles i jorde med så lav hydraulisk ledningsevne, at nedbørsoverskuddet ikke tilstrækkeligt hurtigt kan føres ned gennem profilen. Derved opstår der temporære overfladevandsbetingede grundvandsspejl i profilen. Pseudogley vil derfor oftest findes på lerholdige sedimenter, idet disse typer har en lavere hydraulisk ledningsevne end sandede sedimenter. En stor del af de danske morænejorde har derfor pseudogleypræg under en eller anden form. Ved pseudogleydannelsen ledes overskudsvandet under positivt jordvandspotentialer ned gennem profilens grovporesystem, medens jordvandspotentialer inde i de indre dele af aggregaterne endnu er negativt. Da grovporesystemet med dybden bliver svagere udviklet på grund af den ringere biologiske aktivitet og til sidst helt ophører, sker der en opfyldning af grovporesystemet helt op i A2 på lessivejordene, hvor den større hydrauliske ledningsevne betinget af det lavere lerindhold og den større biologiske aktivitet kan medføre en lateral fjernelse af overskudsvandet på skrånende terræn. Opfyldningen af grovporesystemet medfører, at de mest anaerobe forhold i profilen opstår omkring grovporesystemet, hvilket medfører, at jern i ferriform bliver reduceret og i ferroform "søger" ind i aggregaterne, hvor ilttrykket er større. Derved opstår den karakteristiske marmorering af profilerne, hvor aggregatoverfladerne bliver afbleget, medens de indre dele af aggregaterne bliver beriget med jern, der giver en mere rustrød farve, end profilen oprindeligt havde. Denne marmorering står i klar kontrast til grundvandsgleyen, hvor de mest ilt-rige partier ligger omkring grovporene. Som eksempel på grundvandssvingningerne i en lessivejord udviklet på leret till er der i fig. 37 vist grundvandstanden gennem 1980 i en Pseudogleytypillessive udviklet på en højtliggende moræneflade i Glumsø Østerskov på Sjælland (Holst & Kristensen 1981).

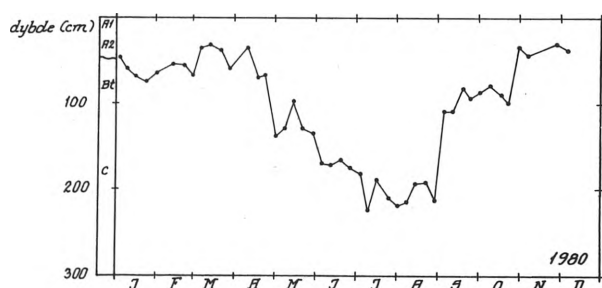


Fig. 37: Grundvandstanden i 1980 i en Pseudogleytypillessive udviklet på leret till i Glumsø Østerskov på Sjælland (Holst & Kristensen 1981).

The variation of the groundwater table through 1980 in a Pseudogleytypillessive developed in clayey till in Glumsø Østerskov, Zealand (Holst & Kristensen 1981).

Grundvandstanden blev i denne undersøgelse målt en gang om ugen. Det bemærkes, at i vinterperioden svinger grundvandsspejlet omkring overgangen mellem A2g og B2tg, medens det i sommerperioden falder ned til omkring to meters dybde. Der er dog ikke tale om en jævn stigning eller fald i grundvandstanden, hvilket sandsynligvis skyldes den våde sommer, hvor en regnfuld uge kan give store udsving i grundvandstanden. Dette er fx tilfældet på overgangen mellem august og september, hvor grundvandstanden stiger over en meter i løbet af en uge. Sådanne markante grundvandssvingninger er meget almindelige i lessivejorde udviklet på leret till, og i særdeles nedbørsrige somre kan grundvandstanden i perioder nå helt op til omkring A2 horisonten, hvilket fx fig. 48 viser.

Pseudogleypræget varierer ofte på en karakteristisk måde ned gennem profilen afhængig af bl.a. det tidsrum, hvori porerne er vandfyldte og ilt-diffusionshastigheden dermed lav. Blume (1968) fandt fx, at pseudogleypræg med opbygning af konkretioner især blev dannet i horisonter, hvor der forekom hurtige og store ændringer i luftvolumenet betinget af opfyldning og afdræning af horisonten, samtidig med at der var muligheder for et hurtigt luftskifte. Veneman et al (1975) fandt ligeledes ved et toposekvensstudie i Wisconsin, at noder især var knyttet til horisonter med meget korte vandfyldningsperioder. Sådanne betingelser er især til stede i lessivejordenes A2 horisonter, og det er da også i de horisonter, at store mængder konkretioner er blevet observeret i de to profiler. Dette er i særlig grad udtalt for den nedre del af A2 horisonten i SS3, hvor der fandtes særdeles mange ærtstore cementerede konkretioner. Disse var alle sorte, hvilket vidner om, at konkretionerne havde et vist indhold af mangan. Konkretionernes kemiske sammensætning og opbygning er ikke blevet bestemt i det aktuelle tilfælde, men Schwertman et al (1976) fandt fx i nogle løssjorde i Bayern, at konkretionerne hovedsageligt var beriget med jern, mangan og fosfor, hvor det sidstnævnte især var bundet til jernet. Jernet, der hovedsageligt fandtes som dårligt krystalliseret goethit, dominerede normalt mængdemæssigt i forhold til mangan, således fandtes der i visse konkretioner op til 24% dithionitcitratopløseligt jern, medens det maksimale indhold af dithionitcitratopløseligt mangan var 4,3%. Der fandtes generelt en sammenhæng mellem størrelsen af konkretionerne og forholdet mellem dithionitcitratopløseligt jern og mangan, således at manganindholdet procentuelt blev større, jo større konkretionerne var. Dette stemmer godt overens med, at de store konkretioner i SS3 var sorte. Jern- og manganholdige hydromorft betingede konkretioner eller pans er ofte mere eller mindre zonalt opbyggede, hvilket fx er påvist af Brewer et al (1973) og Gallaher et al (1973). Der er i jern-mangankonkretionerne en tendens til, at manganindholdet er størst i centrum af konkretionen, medens jernet dominerer i de ydre dele.

I de dele af profilen, der har en lidt længere vandfyldningsperiode, og hvor ændringer i ilt-diffusionen ikke foregår så hurtigt som i de horisonter, hvor der dannes konkretioner, vil jernet over en bred front vandre ind i aggregaterne, hvorved aggregatoverfladerne bliver afbleget. Er vandfyldningsperioden forholdsvis kort, vil jernet kun vandre et lille stykke ind i aggregaterne, hvorved der dannes en rustrød bræmme lige ved siden af den afblegede del, medens den indre del af aggregaterne stadig har den oprindelige gulbrune farve. Fordelingen af dithionitcitratopløseligt jern og aluminium i en afbleget tunge, i den tilhørende rustrøde bræmme og i den indre ikke berigede matrix er undersøgt i B3tgy horisonten i en degraderet Pseudogleytypilessive i Munkeskov nær Køge (Madsen og Jakobsen 1980), tabel 23.

Tabel 23: Dithionitcitratopløseligt jern og aluminium samt lerprocenten i B3 horisonten i en degraderet Pseudogleytypilessive. Efter Madsen og Jakobsen (1980).

Content of iron, aluminium and clay in zones from an albic tongue to the ped interior in a degraded Pseudogleytypilessive.

	dith. Fe%	. citr. Al%	ler%	Fe/ler	Al/ler
afbleget tunge	0.22	0.07	15	0.015	0.005
mørk rødbrun bræmme	1.95	0.12	28	0.069	0.004
gulbrun matrix	0.70	0.11	28	0.025	0.004

Tabel 23 viser, at der er sket en jernberigelse i den rustrøde bræmme på bekostning af jernindholdet i den afblegede tunge, og at der sandsynligvis ikke har fundet nogen berigelse sted med hensyn til aluminium. Pseudogleypræg af denne type findes ofte i Bt horisonterne i lessivejorde, og det er denne type, der i det aktuelle tilfælde forekommer i Bt horisonterne hos SS2 og SS3. I de dybereliggende lag, d.v.s. de nedre dele af Bt horisonterne samt i C horisonten, er vandfyldningsperioden ofte lang og uden voldsomme ændringer, således at jernet når at vandre helt ind i midten af aggregaterne, hvor der dannes rustrøde pletter. Dette er i det aktuelle tilfælde den dominerende pseudogleytype i C horisonterne hos SS2 og SS3.

SS2 klassificeres som en entic Pseudogleyblandingslessive på basis af den tydelige lernedslemning, den tynde Al horisont, det højtliggende pseudogleypræg og det teksturelt set inhomogene udgangsmateriale, medens SS3 klassificeres som en Pseudogleykalklessive på basis af den tydelige lernedslemning, det højtliggende pseudogleypræg og kalkindholdet i B3tg. Efter Soil Taxonomy klassificeres de to profiler som Hapludalfs.

SS4 og SS5 er de mest veldrænede af de undersøgte jorde i Sønderkov. SS4 består af en 27 cm tyk A horisont, der kan underinddeles i en humusrig A1, hvorunder der findes en A21 og A22 udskilt på basis af farveforskelle, der tyder på en svag brunjordsdannelse i A2 horisonten. Under A2 horisonterne kommer B2tx med spredte lerskind. Horisonten er meget kompakt og må betegnes som fragipan. I 58 cms dybde er der en geogenetisk ændring i profilen, idet der under tildækket findes vandaflejret siltet sand. I de øverste 40 cm af denne aflejring findes tydelige lerakkumulationsbånd, som beskrevet i afsnittet om jordene i Dragsgård Skov. Derfor benævnes denne del af sandaflejringen IIB3td. I den øverste del af IIC horisonten, der sættes til at begynde i en meters dybde, findes der endnu enkelte tynde lerakkumulationsbånd. Profilen er i modsætning til de to pseudogleyprægede lessivejorde stærkt udvasket i hele profilens dybde, og der er kun i B2t udviklet et

svagt pseudogleypræg. Det første kan skyldes, at profilen kun har en ringe bufferkapacitet i IIB3td og IIC set i forhold til B3t og C i de to pseudogleyprægede lessivejorde. Det "manglende" pseudogleypræg kan skyldes, at IIB3td og IIC horisonterne hurtigt dræner overskudsvandet ud af profilen. Profilen klassificeres som en fragi Blandingslessive p.g.a. den tydelige lernedslemning, den geogenetiske forskel i profilen og den udviklede fragipan i B2tx. Efter Soil Taxonomy klassificeres profilen som Glossic Fragiudult.

SS5 er udviklet i et ca. 80 cm tykt lerholdigt materiale, sandsynligvis overvejende leret till, der overlejrer vandaflejret sandet silt. Profilen er beliggende i et forholdsvis fladt terræn nær en veludviklet tørdal, der er dannet ved vanderosion. Profilen er i hele sin dybde stærkt udvasket, og basemætningsgraden når kun op på omkring 20% i 120 cms dybde. Det bemærkes, som ved en del andre skovjorde med stærkt udvaskede øvre jordlag, at basemætningsgraden er større i A1 end i de nærmest underliggende horisonter, hvilket sandsynligvis skyldes en vis frigørelse af ombyttelige baser ved nedbrydningen og humificeringen af organisk materiale. Fordelingen mellem de ombyttelige baser er atypisk i denne profil, idet Mg er den dominerende ombyttelige base fra 20 cms dybde. Dette kan muligvis skyldes et stort indhold af magnesiumholdige mineraler, der er under kemisk forvitring.

Pedologisk set er profilen meget komplekst opbygget, idet den ligesom SRol både er præget af lernedslemning og podzolering. Profilen består øverst af et 4 cm tykt Oh lag med 29% organisk stof, der også kan opfattes som en meget humusrig A1 horisont. Overfladen af mineraljorden er derfor sat ved grænsen mellem Olf lagene og Oh laget. Under Oh laget kommer en næsten hvid A2ø horisont, der overlejrer en B2svø og B3svø horisont. Fra 24 til 30 cms dybde findes en A2 horisont, der genetisk set, sandsynligvis sammen med de overliggende horisonter, er eluviallaget til de underliggende Bt horisonter. B2ty er stærkt degraderet, således at den i dag består af A2 materiale, der indeholder "klumper" af den tidligere B2t horisont. Under B2ty findes B31txy, i hvilken der findes lodretgående afblegede tunger af mere lerfattigt materiale. Horisonten er meget kompakt, og den må betragtes som en fragipan. I det siltede sand under det lerholdige materiale findes der indtil omkring 115 cms dybde en del brune lerakkumulationsbånd, og sandaflejringen betegnes indtil denne dybde som IIB32td. Under IIB32td findes IIC horisonten.

Den pedologiske udvikling i profilen tænkes i princippet at være forløbet som skitseret på fig. 26, dog er udgangsmaterialet ikke så homogent som i SRol. I det aktuelle tilfælde er der som før omtalt en markant geogenetisk ændring i profilen i ca. 80 cms dybde, men selv inden for disse to dele af profilen er der variationer i den teksturelle sammensætning. I det vandaflejrerede sand er der fx væsentligt mere grovsilt i prøven fra IIC end i prøverne fra IIB32td. De største teksturelle forskelle findes dog inden for de lerholdige øverste 80 cm af profilen, selv når der ses bort fra lervandringsprocessens indflydelse, tabel 24.

Tabel 24 sammenholdt med tabel 19 viser, at Bt horionterne har en del mere 1er og finsilt end de højereliggende horisonter, hvilket også er det generelle billede for de øvrige lerede lessivejorde fra Dragsgård Skov og Sønderskov. Derimod er der en mere ligelig fordeling mellem grovsilt, finsand og grovsand i de forskellige horisonter, selvom der i de enkelte klasser

kan være store variationer. De horisonter, der klarest skiller sig ud i denne henseende, er den degraderede del af Bt og B31txy horisonten, men variationerne er ikke større, end at de øverste 80 cm af profilen beskrives som værende af samme geologiske oprindelse, og ingen af horisonterne er derfor udskilt fra de andre med romertal, selvom de teksturelt set ikke er helt homogene. Man kan på basis af tabel 24 konkludere, at den største teksturelle forskel i profilen ligger i omkring 80 cms dybde mellem B31txy og IIB32td, samt at udgangsmaterialet i de øverste 80 cm ikke er så homogent som i lessivejordene fra Lundgård Skov og Rold Skov. Det er derfor ikke muligt alene ud fra teksturvariationerne i de øverste 80 cm at postulere en lernedslemning, men dette kan med rimelighed gøres ud fra teksturvariationen i IIB3td, og den specielle fordeling mellem 1er, silt og sand i de lerholdige bånd.

Tabel 24: Fordelingen mellem de forskellige klasser af silt og sand samt fordelingen mellem grovsilt, finsand og grovsand ned gennem profil SS5, Sønderskov.

		Tekstur				
		2-20	20-63	63-125	125-200	200-500
						>500
	A2ø	20	38	23	15	3
	B2svø	25	33	23	13	4
	B3svø	24	32	23	14	5
	A2	27	30	23	14	5
degr.	B2ty	15	32	30	18	4
	B2ty	37	27	15	15	5
	B31txy	43	28	12	12	4
	IIB32td	6	30	46	17	1
	IIB32td	4	32	45	18	1
IIC		6	45	43	5	1

		GSilt	FSand	GSand
		20-63	63-200	> 200
	A2ø	48	47	5
	B2svø	44	48	8
	B3svø	42	49	9
	A2	41	51	8
degr.	B2ty	38	56	6
	B2ty	43	48	9
	B31txy	49	42	9

Efter sedimenternes aflejring er profilen blevet udvasket for de ombyttelige baser, samtidig med at der er foregået en lernedslerning i profilen. I denne forbindelse er der blevet ført 1er fra de øverste 30 cm ned i det underliggende lerholdige materiale samt muligvis helt ned i det vandaflejrede sediment, hvor det danner lerakkumulationsbånd. Disse bånd kan også tænkes først at være dannet i en senere fase, hvor de øverste dele af Bt horison-ten degraderes. Den fragipan, der er udviklet i B31txy, er enten af periglacial oprindelse, eller også er den betinget af det nedstemmede 1er. Der er i Bt horisonterne udviklet en veldefineret struktur, således at et kontinuert grovporesystem har kunnet lede overskudsvandet ned i det lerfattige vandaflejrede sediment, hvor det hurtigt er blevet ført længere ned i profilen. Der er derfor kun udviklet et svagt pseudogleypræg i profilen. Den stadige strøm af overskudsvand ned gennem det veldefinerede grovporesystem har sammen med andre endnu ikke fuldt afklarede faktorer bevirket, at 1er og muligvis også i nogen grad silt og sand er blevet fjernet fra aggregatoverfladerne, hvorved der dannes afblegede mere eller mindre lodretgående sandede tunger ned gennem B horison-ten. I det aktuelle tilfælde når de afblegede sandede tunger helt ned til det vandaflejrede sand i ca. 80 cms dybde. Profiler med degraderede Bt horisonter, der efter det gamle amerikanske klassifikationssystem betegnes "grey brown podsolc soils" og efter Soil Survey Staff (1975) fx Glossudalfs, er almindeligt udbredte mange steder i verden som fx i USA, (Cline 1949, Grossman et al 1959 og Iha & Cline 1963) og i NV Europa (Bouma & Schuylenborgh 1966). I Danmark er denne type blevet beskrevet af Madsen & Jakobsen (1980).

Ved degraderingen føres især leret bort fra aggregatoverfladerne, og det aflejres sandsynligvis i den nederste del af B3t horison-ten. Bullock et al (1974) mener dog ud fra mikromorfologiske studier, at en del af leret transporteres ind i aggregaterne, hvor det bl.a. udfylder gamle rodgange og aggregatoverflader. Ranney & Beatty (1969) fandt ud fra lermineralogiske studier, at leret ved degraderingen fjernes mekanisk fra aggregatoverfladerne, og at det især var finleret, der blev ført bort. For at undersøge om det hovedsageligt er finleret eller grovleret, der i det aktuelle tilfælde er vandret ved degraderingsprocessen og aflejret inde i aggregaterne eller nede i IIB3td, er der bestemt finler på næsten alle horisonter i profilen, tabel 25.

Tabel 25 : Finlerets procentvis andel af det samlede lerindhold i de forskellige horisonter i SS5, Sønderkov.

Fine clay's percentage share of total clay in different horizons in SS5.

	degrad.							
	A2ø	B2svø	B3svø	A2	B2ty	B2ty	B31txy	IIB32td
($<0.26\mu$)								
-----	27%	57%	48%	39%	28%	52%	54%	54%
($<2.07\mu$)								

Tabel 25 viser, at finleret udgør en større procentuel andel af det samlede lerindhold i B horisonterne end i den ovenliggende A2, og at finlerindholdet i de degraderede dele af Bt horisonten procentuelt er meget lavt, hvilket indikerer, at der er udvasket mere finler end grovler fra de degraderede tunger. Det er i denne forbindelse mest sandsynligt, at det udvaskede ler fra de degraderede dele af horisonten i dag findes i IIB32td, idet en del af tungerne når helt igennem B31txy horisonten og dermed udmunder i det vandaflejrede sediment. IIB32td horisonten får derfor et relativt stort finler/grovler-forhold sammenlignet med de eluviale horisonter. Da der ikke er udført lermineralogiske analyser, er det ikke umiddelbart muligt at udtale sig om, hvorvidt den pedologiske udvikling har betinget forskelle i den lermineralogiske sammensætning, men sammenlignes lerindholdet i Bt horisonterne med CEC-værdien, tyder det på, at der er en vis forskel mellem matrixen og de degraderede dele, idet lerets CEC-værdi er næsten dobbelt så stor i tungerne som i matrixen.

I den øverste del af det oprindelige eluviallag til Bt horisonterne er der udviklet en podzol med et tydeligt blegsandslag og underliggende Bsv horisonter. Podzoleringsprocessen ses tydeligt i variationen af dithionitcitrat opløseligt jern og aluminium samt i humusindholdet. Der er maksimum for jern og aluminium i B3svø, men dette ville formodentligt i hvert fald for jern have ligget i B2svø, såfremt denne var blevet analyseret for dithionitcitratopløseligt jern og aluminium. Der er derimod bestemt et lokalt maksimum for humus i B2svø, hvilket bestyrker teorien om podzolerung. Der er som ved podzolerungen af A2 horisonten i SRol, Rold Skov, tegn på en ledsagende eller tidsmæssig forskudt lernedslemning, således at Bsvø horisonterne er blevet beriget med finler på bekostning af A2ø. Dette træder tydeligt frem i tabel 25, hvor finleret udgør over halvdelen af lerindholdet i Bsvø horisonterne, medens det kun udgør omkring en fjerdedel af lerindholdet i A2ø. A2 horisonten indtager den forventede mellemstilling med 39% finler.

SS5 må betragtes som den af de veldrænede profiler fra Dragsgård Skov og Sønderskov, der er nået længst i den pedologiske udvikling, idet den er nået længere end til lernedslemningsstadiet og nu er ved at få nedbrudt sin Bt horisont samtidig med, at den tidligere A2 horisont podzolerer. En pedologisk udvikling som den SS5 synes at have gennemløbet med dannelsen af en Bt horisont, der derefter nedbrydes, samtidigt med at der udvikles en podzol i eluviallaget, er tidligere beskrevet i flere lande (Ameryckx 1960, De Coninck & Laruelle 1964, van den Broeck et al 1968 og Pedro et al 1978).

SS5 klassificeres som en entic fragi Podzoldegralessive på basis af den meget stærkt degraderede B2t horisont, den tydelige lernedslemning i fx IIB32td, podzoludviklingen i A2 og endelig den markante fragipan i B31txy. Det er ikke muligt på det foreliggende materiale at bestemme, hvorvidt Bsvø horisonten er spodisk. Det er derfor heller ikke muligt definitivt at klassificere profilen efter Soil Taxonomy. Er Bsvø horisonten spodisk, vil profilen klassificeres som Ultic Fragiorthod, ellers klassificeres den som Glossic Fragiudult.

Den pedologiske udvikling på kalkholdigt udgangsmateriale i det glaciale landskab

Der er ikke inden for skovjordene beskrevet profiler med højtliggende kalkklippe eller kalkgytje, men der er derimod ved profilstudierne på opdyrket jord undersøgt og beskrevet 8 profiler med kalkklippe inden for de øverste 80 cm af profilen. I det efterfølgende vil profilbeskrivelsen fra to af disse jorde blive gengivet, og der vil blive en kort diskussion af de observationer, der er foretaget vedrørende den pedologiske udvikling af disse jorde. Da jordene er under plov, vil mange pedologiske karakteristika ved disse jorde være udvisket sammenlignet med skovjorde. Det er derfor ikke muligt på basis af det foreliggende materiale at foretage en detaljeret pedologisk diskussion af disse jorde. Det ene af de to beskrevne profiler, MKh2, er beliggende ved Smidie i Østhimmerland, medens det andet, MKg2, er beliggende ved Mjallerup syd for Løgstør i Vesthimmerland.

Profilbeskrivelser

MKh2: kolluvial Typirendzina.

Soil Taxonomy: Lithic Rendol1.

Terrænkote: 28 m DNN; dræningsklasse: meget veldrænet; profildybde: 130 cm; vegetation: hvede.

Ap+A12 (0-46): meget mørkt gråbrunt (10YR3/2f) 1er; humusholdig; svag subangular blocky; sprød; få sten overvejende flint; kalkholdig; overgang skarp og bølget.

R1c (46-75): meget blegbrun (10YR7/4f) kalk, der er stærkt opsprækket med tynde humusbelægnings på overfladerne af kalken; mange sten udelukkende flint; overgang diffus.

R2c (75-): hvid massiv kalk med mange flintesten.

MKg2: Rendzinlessive.

Soil Taxonomy: Typic Argiudoll.

Terrænkote: 26 m DNN; dræningsklasse: meget veldrænet; profildybde: 140 cm; vegetation: græs.

Ap (0-22) : meget mørkt gråbrunt (10YR3/2f) siltet sand; humusholdig; svag subangular blocky; meget sprød; meget få sten; overgang klar og bølget.

A12 (22-36) : sort (10YR2/1f) lerholdigt siltet sand; svag subangular blocky; meget sprød; meget få sten; overgang klar og bølget.

B21t (36-50): mørkebrunt (10YR3/3f) leret siltet sand; svag subangular blocky; meget sprød; svagt kalkholdig; tynde ler-humus-belægnings på aggregatoverfladerne; få sten; overgang klar og bølget.

B22t (50-55): mørkebrunt (10YR3/3f) 1er; moderat subangular blocky; sprød; svagt kalkholdig; ler-humusbelægninger på aggre-gatoverfladerne; få sten; overgang abrupt og irregulær.

Rlc (55-): hvid (10YR8/lf) kalk.

Resultater og diskussion

I tabel 26 ses den teksturelle sammensætning og mængde af organisk stof for de ikke stærkt kalkholdige horisonter samt C/N-forholdet, pH, mængden af Calciumcarbonat og dithionitcitratopløseligt jern og aluminium for alle el-ler udvalgte horisonter i de to beskrevne profiler.

Tabel 26: Tekstur, organisk indhold, C/N-forhold, pH, kalkindhold og dithionitcitratopløseligt jern og aluminium for 2 profiler med højtliggende kalkklippe.

Texture, organic matter, C/N, pH, CaCO₃, dithionite-citrate- and pyrophosphate-soluble iron and aluminium from two profiles with high-lying limestone.

			Tekstur μ						
			<2	2-20	20-63	63-125	125-200	200-500	500-2000
MKh2	Ap+A12	0-46	16	21	15	9	10	16	8
	Rlc	46-75	-	-	-	-	-	-	-
	R2c	75-	-	-	-	-	-	-	-
MKg2	Ap	0-22	4	6	5	14	33	29	11
	A12	22-36	6	6	7	13	28	27	9
	B21t	36-50	10	6	7	11	24	28	13
	B22t	50-55	19	9	8	8	18	22	15
	Rlc	55-	-	-	-	-	-	-	-
			,	-					
			OM %	C/N	pH χ_{NO}°	CaCl ₂	CaCO ₃ %	dith.Fe% .	citr. A1%
MKh2	Ap+A12	0-46	4.7	10		7.5	16	3.1	0.3
	Rlc	46-75	-	-	-	7.8	88	4.5	1.5
	R2c	75-	-	-	-	7.8	96	5.1	1.2
MKg2	Ap	0-22	2.9	11		6.5	0	2.3	0.6
	A12	22-36	2.4	13	-	6.3	0	3.1	1.3
	B21t	36-50	0.9	-	-	7.2	1	3.2	0.8
	B22t	50-55	-	-	-	7.8	3		
	Rlc	55-				7.7	-	-	

MKh2, der har en meget almindelig horisontfølge for rendzinaer, består øverst af en tyk Al horisont, der hviler direkte på kalkklippen. Al horisonten er sandsynligvis udviklet i et tyndt morænedække, der hviler direkte på kalkklippen. R horisonten kan inddeles i to, nemlig en øvre stærkt opsprækket del og en mere massiv dybereliggende del. Denne forskel er sandsynligvis enten betinget af de jordbundsfysiske og -kemiske processer, der er foregået siden istiden, eller også af isens påvirkning ved afslutningen af sidste istid. I den opsprækkede del af kalken vil der ofte findes tynde ler-humusbelægninger som følge af en udvaskning fra den overliggende horisont. I visse af de undersøgte rendzinaer fandtes dybe tunger af næsten kalkfrit materiale ned i R horisonten, og der fandtes ofte et mere lerrigt bånd på overgangen mellem mineraljorden og kalkklippen. Dette lerrige bånd kan enten være dannet ved lernedslemning eller som residual, efter at kalken er opløst og udvasket. C/N-forholdet i rendzinaerne er meget lavt, hvilket er forventeligt, da jordene er meget baserige. MKh2 klassificeres som kolluvial Typirendzina på basis af den tykke Al horisont og den højtliggende relativt rene kalkklippe. Efter Soil Taxonomy er profilen en Lithic Rendoll.

MKg2 består øverst af en 36 cm tyk Al horisont, der overlejrer to B2t horisonter, inden kalkklippen kommer i 55 cms dybde. Profilen bærer præg af lernedslemning, idet der er observeret enkelte ler-humusbelægninger i B horisonterne. Variationen i lerprocenten ned gennem profilen, sammenholdt med den ellers forholdsvis homogene tekstonele sammensætning, indikerer ligeledes lernedslemning. Det vil derfor være rimeligt at antage, at den lerrige horisont umiddelbart over kalken skyldes lernedslemning, og at der ikke er tale om et residual, efter kalken er udvasket. Profilen klassificeres derfor som en Rendzinlessive. Efter Soil Taxonomy er profilen en Typic Argudoll.

Samlede betragtninger over den pedologiske udvikling i lerholdige aflejringer eller i højtliggende kalkklippe i det glacielle landskab

Den pedologiske udvikling på de lerholdige sedimenter i det glacielle landskab er blevet beskrevet ud fra 10 profilstudier i Østhimmerland. Udgangsmaterialet var i overvejende grad leret till, men der var ofte indslag af glaciogent vandaflejret ler eller sand i profilerne. En enkelt profil var atypisk i den henseende, idet den bestod af kolluvialt materiale, der var skyllet ned ad en skråning og aflejret ovenpå et tørvedække. I 3 af profilerne fandtes markante geogenetisk betingede teksturskift, således at den øverste del af profilen bestod af lerholdige aflejringer, der i en vis dybde abrupt skiftede til vandaflejret sandet materiale. Selv i de glaciogene lerholdige sedimenter fandtes store ikke pedologisk betingede teksturvariationer i profilerne, hvilket bl.a. skyldtes indslag af vandaflejret lerholdigt materiale i den lerede till. Disse vandaflejringer kan være særdeles finkornede, fx fandtes i SS2 en horisont med 45% ler, 51% silt og 3% sand. De lerholdige aflejringer i Dragsgård Skov og Sønderskov har et betydeligt siltindhold, som oftest over 40%, hvilket er atypisk for det lerede glacielle landskab i Danmark som helhed.

De 10 undersøgte profiler kan efter dræningstilstanden deles i 3 grupper, nemlig profiler præget af grundvandsgley (SD3, SD4, SD5 og SS1), profiler præget af pseudogley (SD1, SS2 og SS3) og profiler uden nævneværdig gleypræg (SD2, SS4 og SS5).

De fire grundvandsprægede jorde er alle beliggende nær eller for foden af skråninger, hvor man normalt finder de mest våde jorde i det glaciale landskab. De mest markante pedologiske processer i disse jordbundstyper er dannelsen af grundvandsgley, hvor de røde pletter under delvis reducerende forhold samles omkring grovporesystemet. Er horisonterne helt reduceret, fremtræder disse med et blåligt skær, såfremt jernet ikke er fjernet fra profilen på grund af lateral grundvandsbevægelse. Foruden grundvandsgley vil der ofte forekomme en humusberigelse i de øverste jordlag eller en direkte tørvedannelse, idet nedbrydningen af det organiske materiale hæmmes på grund af den høje grundvandsstand. Der er som regel ikke tegn på lernedslemning eller podzolering i disse profiler undtagen på overgangen mellem de relativt veldrænede jorde og de stærkt grundvandsprægede jorde, hvor man kan finde profiler, der både er præget af grundvandsgley og de pedologiske processer, der er fremherskende på de veldrænede jorde, som fx lessivering og forbruning. Profilerne vil som oftest have en høj basemætningsgrad, idet de får et basetilskud gennem grundvandsudsivning fra de omkringliggende bakker, og kun hvor profilerne ligger et lille stykke oppe ad skråningerne vil man finde dem stærkt udvaskede. Profiler af ovennævnte type vil enten blive klassificeret som histosoler, såfremt de har et tykt tørvedække, eller de vil blive klassificeret som gleyjorde, eller jorde med gleybetegnelsen på gruppeniveau.

SD1, SS2 og SS3 er de tre lerholdige profiler med tydeligt pseudogleypræg i den øverste meter af jorden, og hvor der samtidig ikke er tegn på grundvandsgleydannelse. Disse profiler, der alle er lerholdige i hele profil dybden, er stærkt udvaskede i de øverste horisonter, men basemætningsgraden stiger med dybden, så den i de dybeste lag er over 70%. I den ene af profilerne findes endog frit Calciumcarbonat. Profilerne er præget af lernedslemning, og dermed dannelsen af Bt horisonter. De teksturelle forskelle i profilen, sammenholdt med den aftagende biologiske aktivitet med dybden, medfører, at retentionskurvens form varierer på en karakteristisk måde ned gennem jorden. Fig. 38 viser retentionskurverne for tre typiske lessivejorde og en gleyjord udviklet i det lerede glaciale landskab i Danmark. Det første kurvesæt stammer fra en degraderet Pseudogleytypilessive fra Midtsjælland, det andet kurvesæt stammer fra en kolluvial Typilessive fra Horsens i Østthimmesland, medens det tredje og fjerde kurvesæt stammer fra henholdsvis en fragi Brungley og en Pseudogleyblandingslessive i Dragsgård Skov.

Fig. 38 viser, at i A horisonterne er grovporeindholdet større end indholdet af mellem-porer, der igen er større end indholdet af finporer. Grovporeindholdet er så stort, at luftskiftet gennem horisonterne ikke skulle være hæmmet ved et vandindhold svarende til markkapacitet. Horisonterne indeholder omkring 15 til 25 vol% plantetilgængeligt vand, d.v.s. ikke mere end de tilsvarende horisonter på lessivejorde udviklet i det sandede glaciale landskab. I de dybereliggende horisonter falder mængden af grovporer væsentligt, mængden af finporer vokser på grund af et større lerindhold og en stigende volumenvægt, medens der kun er et mindre fald i antallet af mellem-porer og dermed i den plantetilgængelige vandmængde.

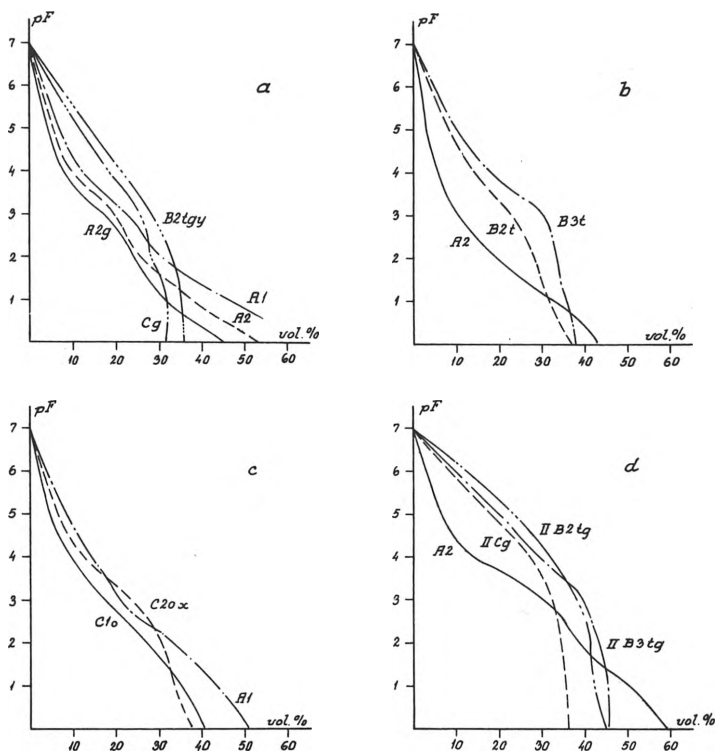


Fig. 38: Retentionskurver for tre lessivejorde og en gleyjord udviklet i det lerede glaciale landskab.
 a) degraderet Pseudogleytypilessive; leret siltet sand/ler
 b) kolluvial Typilessive; leret sandet silt/1.siltet sand
 c) fragi Brungley; ler/leret sandet silt
 d) Pseudogleyblandingslessive; siltet ler/siltet svær 1er
 Definition af poreklasser, se fig. 19.

Soil water retention curves for 4 profiles developed in the clayey glacial landscape. Profile a, b and d show distinct clayilluviation. Profile c has groundwater-gley within the uppermost 40 cm of the soil.

Udregnes den plantetilgængelige vandmængde i den øverste meter i disse jorde, vil den ikke overstige den mængde, man kan finde på de veludviklede lessivejorde i det sandede glaciale landskab. Dette vil blive diskuteret senere i kapitel 11. Det ringe grovporeindhold i B og C horisonterne, der i ekstreme tilfælde tilnærmelsesvis kan være nul, kan temporært give anledning til dårligt luftskifte i profilen, især efter en periode med stort nedbørsoverskud, hvor grovporesystemet mere eller mindre fyldes med vand. Dette giver anledning til dannelsen af det pseudogleypræg, der præger profilerne. Da pseudogleypræget er teksturelt og strukturelt betinget, er denne profiltypes placering derfor i det store hele uafhængig af terrænenformen, når der ses bort fra de af terrænet betingede grundvandsgleytyper. Udform-

ningen af pseudogleypræget varierer en del ned gennem profilen afhængig af bl.a. horisonernes tekstur, længden af perioden med vandfyldte grovporer, ændringshastigheden i luftvolumenet i jorden og hastigheden for iltindtrængningen i aggregaterne. I A2 horisonten vil pseudogleyprocesserne til tider give anledning til dannelsen af jern- og manganholdige konkretioner, i Bt horisonten vil man ofte finde rustrøde bræmmer omkring de afblegede grovporer og tensionssprækker, medens pseudogleypræget i C horisonten ofte vil være rustrøde pletter.

De tre veldrænede profiler er alle udviklet i et lerholdigt udgangsmateriale, overvejende till, der overlejrer et lerfattigt vandaflejret sediment. De to profiler fra Sønderskov er stærkt udvaskede i hele profilens dybde, hvilket står i skarp kontrast til de to pseudogleyprægede lessivejorde fra denne skov, medens profilen fra Dragsgård Skov er knap så kraftigt udvasket. Det kun svagt eller helt manglende pseudogleypræg i profilerne skyldes sandsynligvis den højtliggende lerfattige underjord, der hurtigt dræner overskudsvandet ud af grovporerne i de overliggende horisonter. Profilerne er tydeligt præget af lernedslemning, idet der foruden spredte lerskind i nogle af profilernes stærkt lerholdige Bt horisonter er udviklet en båndet Bt horisont i det lerfattige sediment under den lerede till. Det sidstnævnte gælder for alle tre profiler. Det nedstemmede 1er i det sandede og siltede sediment danner ikke lerskind som i de ovenliggende Bt horisonter, men det danner nærmere broer mellem sandskornene eller belægninger omkring disse. Placeringen af lerbåndene i det vandaflejrede sediment er sandsynligvis bestemt af tekstur- og lejringsforskelle i sedimentet, men man kan ikke sige, om det er i de grovere eller finere dele af sedimentet, at leret aflejres. Lerprocenten i båndene kan være meget forhøjet set i forhold til de mellemliggende ikke lerberigede dele, fx er der 13% 1er i et bånd i SD2, hvor det mellemliggende materiale kun indeholder 3%. Der er kun udtaget prøver fra et lerbånd pr. profil, og det er derfor ikke muligt at udtale sig om, hvordan lerprocenten ændrer sig fra bånd til bånd.

SS5 indtager en særstilling blandt jordene med Bt horisonter, idet Bt horisonterne i den lerede till er stærkt degraderede. Således består omkring halvdelen af B2ty horisonten i dag af A2 materiale, medens B31txy horisonten gennemskæres af tynde lerfattige tunger. Samtidig med nedbrydningen af Bt horisonterne er der i den øverste del af A2 horisonten udviklet en podzol med et tydeligt blegsandslag og Bsvø horisonter. I forbindelse med podzolereringen er der formodentligt sket en fornyet lernedslemning i den oprindelige A2 horisont, således at Bsvø horisonterne er beriget med 1er på bekostning af A2ø. Man kan vedrørende den pedologiske udvikling på de lerholdige glaciogene aflejringer altså generelt konkludere, at på de veldrænede arealer vil de fleste jorde i dag være tydeligt præget af lernedslemning med dannelse af Bt horisonter. Enkelte profiler kan endog være nået længere i udvikling, således at de i dag er præget af en nedbrydning af Bt horisonten, samtidig med at der enten er påbegyndt en podzolerering af eluviallaget, eller der er allerede udviklet en tydelig podzol i dette lag. I de dårligt drænede jorde med højtstående grundvand vil man oftest ikke finde tegn på lessivering, og disse jorde vil især være præget af gleyprocesser eller direkte tørvedannelse.

Den pedologiske udvikling i jorde med højtstående kalkklippe er i Himmerland kun blevet studeret på dyrkede jorde. De steder, hvor kalken ligger meget højt oppe i profilen, vil profilerne efter opdyrkning udelukkende be-

stå af en muldagtig Al horisont, der hviler direkte på kalkklippen. Denne vil ofte være stærkt opsprækket i den øverste halve meter, hvor kalkklumperne kan være dækket af tynde ler-humusbelægninger. Enkelte steder kan man finde et mere lerholdigt lag hvilende direkte ovenpå kalken. Dette lag kan antages at være urenheder i kalken, der efter kalkens opløsning og udvaskning er blevet tilbage som et residual. I de profiler, hvor kalkklippen ligger så dybt, at Ap horisonten ikke når derved, kan der i mineraljorden ovenpå kalken foregå normale pedologiske processer så som lessivering.

KAPITEL 8

JORDBUNDSUDVIKLINGEN PÅ DET MARINE FORLAND

Det marine forland, der udgør omkring 20% af Himmerlands areal, omkranser det glaciale landskab mod øst, vest og nord. Det største sammenhængende marine forland findes mod øst, men også ved Nørholm vest for Ålborg og i Nørrekær findes større sammenhængende marine forlande. Den teksturelle sammensætning af udgangsmaterialerne i det tidligere havtransgrederede område varierer stærkt alt efter havets tidligere energipåvirkning i områderne. Oppe i de relativt beskyttede tidligere havtransgrederede tunneldale findes metertykke gytjelag, der i dag ofte ligger under tykke tørvedækker. I de mere åbne områder findes finkornede minerogene aflejringer, hvor strandvolde, krumodder eller moræneknuder har nedsat energipåvirkningen fra havet, medens sandaflejringer præger de mere energipåvirkede strækninger. På fig. 39 ses de større tidligere havtransgrederede områder i Himmerland med de dominerende aflejringer indtegnet på basis af ca. 230 borer, der blev udført i forbindelse med kortlægningen af højokkerpotentielle områder i Himmerland (Madsen 1980a), samt på basis af teksturregistreringen af Nordjyllands Amt (Mathiesen 1975).

Der er i alt undersøgt 9 uopdyrkede profiler på det marine forland, og disse er alle beliggende på det østlige marine forland. Profilerne kan inddeles i jorde udviklet på sandede marine aflejringer, jorde udviklet på lerede marine aflejringer og endelig jorde udviklet på flyvesand, der er omlejret marint sand.

Den pedologiske udvikling på sandede marine aflejringer

Der er undersøgt fem profiler i de sandede marine aflejringer, der efter fig. 39 er den mest udbredte aflejringstype på det østlige marine forland. To af de undersøgte profiler, SM2 og SM3, er beliggende i Dyrehave på kanten af Lille Vildmose mellem Ør. Hurup og Dokkedal. To andre profiler, SM4 og SM5, er beliggende i Lovnkær, og den sidste profil, SM1, er beliggende på strandengen øst for Helberskov i det sydøstlige hjørne af Himmerland. Bedømt ud fra de ældste tilgængelige kort har de fire førstnævnte profiler ikke været opdyrket i de sidste 200 år, og SM1 må formodes aldrig at have været opdyrket. På fig. 7 ses beliggenheden af de to skove Dyrehave og Lovnkær, og på fig. 40 ses den nærmere placering af de 9 undersøgte profiler på det marine forland. SM1 er udviklet under strandengsvegetation, medens profilerne SM2 til SM5 alle er beliggende under løvskov.

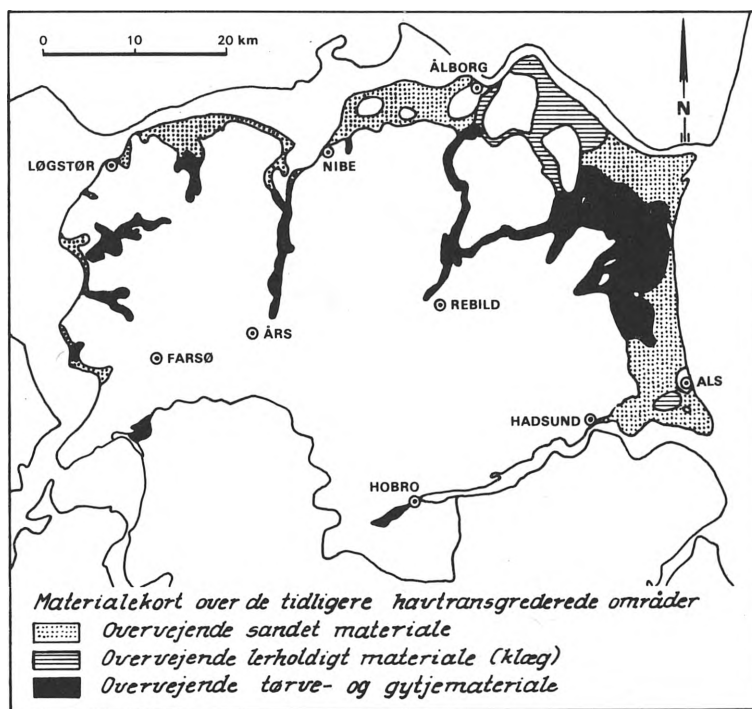


Fig. 39: De tidligere havtransgraderede områder i Himmerland samt de dominerende aflejringer i områderne.

The former sea-transgraded areas in Himmerland with indication of the dominant deposits.
 mainly sandy (dotted areas)
 mainly clayey (hatched areas)
 mainly peat and gyttje (black areas)

Profilbeskrivelser

SM1: histisk natric vådgley; sand, svagt sur.

Soil Taxonomy: Psammaquent.

Terrænkote: 1 m DNN; dræningsklasse: meget imperfekt drænet;
 profildybde: 70 cm; grundvand: 55 cm;
 vegetation : strandengsvegetation.

Oi (0-6): mørk brun (10YR3/3v) fibrist; ingen sten; særdeles mange rødder; overgang klar og plan.

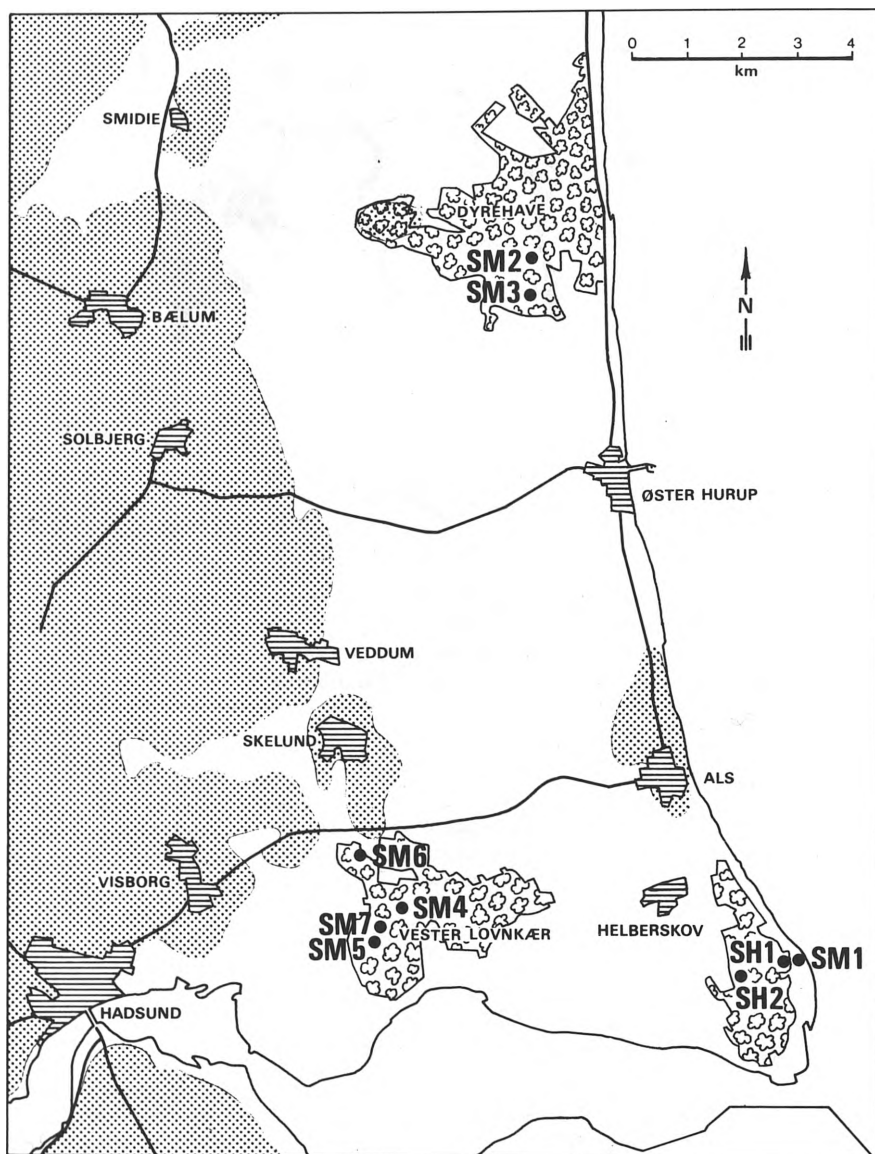


Fig. 40: Beliggenheden af de undersøgte profiler på det marine forland.

Topographic map showing the location of the investigated profiles on the marine foreland.

Oe (6-26): lagdelt mørk gulbrun (10YR3/4v) gytjeblandet hemist, der er mere mørkebrun i visse lag; ingen sten; mange rødder; overgang skarp og plan.

Clor (26-48): mørkt gulbrunt (10YR4/4v) sand; humusfattig; massiv; ikke formbar og ikke klæbrig; ingen sten; få rødder; overgang skarp og plan.

C2r (48-): gråt (5Y5/1v) sand; humusfattig; massiv; ikke formbar og ikke klæbrig; ingen sten; ingen rødder.

SM2: histisk Podzolvådgley; sand, neutral.

Soil Taxonomy: Haplaquod.

Terrænkote: 4 m DNN; dræningsklasse: imperfekt drænet ;
profildybde: 130 cm; grundvand: 130 cm;
vegetation: løvskov.

Oa (0-33): meget støvet rød (2,5YR2/2f) saprist der i den nedre del er mørk rødbrun (5YR2/2f); ingen sten; mange rødder; overgang skarp og plan.

A2o (33-45): lyst brungråt (10YR6/2f) sand; humusfattig; meget svag subangular blocky; meget sprød; ingen sten; meget få rødder; overgang skarp og plan.

B2svo (45-55): rødbrunt (5YR4/3f) sand med vandretgående tynde mørkerødbrune striber; humusholdig; meget svag pladestruktur; sprød; ingen sten; meget få rødder; overgang skarp og plan.

B3svo (55-86): lyst gulbrunt (2,5Y6/4f) sand med enkelte vandretgående mørke striber; humusfattig; meget sprød; mange skaller i visse dele af horisonten; ingen sten; ingen rødder; overgang klar og plan.

Clo (86-120): lyst olivengråt (2,5Y6/2v) sand; humusfattig; meget svag subangular blocky; ikke formbar og ikke klæbrig; mange skaller i dele af horisonten; ingen sten; ingen rødder; overgang skarp og plan.

C2r (120-): gråt (5Y5/1v) sand; humusfattig; massiv; ikke formbar og ikke klæbrig; mange skaller; ingen sten; ingen rødder.

SM3: histisk podzolagtig Vådgley; sand, meget sur.

Soil Taxonomy: Psammaquent.

Terrænkote: 4 m DNN; dræningsklasse: imperfekt drænet;
profildybde: 130 cm; grundvand: 95 cm;
vegetation: løvskov.

Oa (0-19): mørk rødbrun (5YR2/2f) saprist; ingen sten; mange rødder; overgang skarp og plan.

- Al (19-30): mørkt brunt (10YR3/3f) sand; humusholdig; svag granularstruktur; meget sprød; ingen sten; få rødde; overgang skarp og bølget.
- A2o (30-38): lyst gulbrunt (10YR6/4f) sand; humusfattig; meget svag subangular blocky; meget sprød; ingen sten; meget få rødde; overgang klar og irregulær.
- Bvso (38-58): brungult (10YR6/6f) sand med få tynde brune vandretgående striber; humusfattig; meget svag pladestruktur; meget sprød; ingen sten; meget få rødde; overgang klar og plan.
- Clor (58-100): brungult (10YR6/6f) sand; humusfattig; meget svag pladestruktur; meget sprød; ingen sten; ingen rødde; overgang skarp og plan.
- C2r (100-): olivengråt (5Y4/2v) sand; humusfattig; massiv; ikke formbar og ikke klæbrig; ingen sten; ingen rødde.

SM4: Brungley; sand, sur.

Soil Taxonomy: Aquic Udipsamment.

Terrænkote: 2 m DNN; dræningsklasse: imperfekt drænet;

profildybde: 150 cm; grundvand: 100 cm;

vegetation: løvskov bl.a. ask og bøg.

- Al (0-20): mørkt rødbrunt (5YR 3/2f) sand med lyse kvartskorn; humusholdig; svag granular; meget sprød; ingen sten; mange rødde; overgang skarp og plan.
- B2jo (20-33): blegt brunt (10YR6/3f) sand med rustrøde pletter der både kan være pseudogley og grundvandsgley; humusfattig; meget svag subangular blocky; meget sprød; ingen sten; mange rødde; overgang klar og plan.
- Clor (33-122): blegt brunt (10YR6/3f) sand med rødbrune pletter; humusfattig; meget svag subangular blocky; meget sprød; ingen sten; meget få rødde; overgang skarp og plan.
- IIcR (122-): blåligt siltet 1er med meget få rustrøde pletter; humusfattig; massiv; formbar og svagt klæbrig; ingen sten; ingen rødde.

SM5: humøs Typigley; sand, sur.

Soil Taxonomy: Typic Udipsamment.

Terrænkote: 2 m DNN; dræningsklasse: imperfekt drænet

profildybde: 140 cm; grundvand: 100 cm;

vegetation: granskov, nyplantet.

- Alh (0-12): mørkt rødbrunt (5YR3/2f) sand; humusrig; meget svag subangular blocky; meget sprød; ingen sten; mange rødde ; overgang skarp og bølget.

B21jo (12-18): meget blegt brunt (10YR7/4f) sand; humusfattig; meget svag subangular blocky; meget sprød; ingen sten; få rødder; overgang skarp og bølget.

IIB22jo (18-46): lyst gulbrunt (10YR6/4f) sand; humusfattig; strukturløs; løs; ingen sten; meget få rødder; overgang skarp og plan.

IIIClor (46-133): lyst gulbrunt (2,5Y6/4v) sand med rødbrune pletter; humusfattig; meget svag subangular blocky; ikke formbar og ikke klæbrig; ingen sten; ingen rødder; overgang skarp og plan.

IIIC2r (133-): olivengråt (5Y5/2v) sand.

Resultater og diskussion

I tabel 27 ses analyseresultaterne fra de fem undersøgte profiler udviklet i sandede aflejringer på det marine forland. Disse kan pedologisk set placeres i følgende tre grupper:

- 1) profiler, der er under stadig marin påvirkning, SMI.
- 2) profiler, der i dag ikke er under marin påvirkning, og som er podzolerede, SM2 og SM3.
- 3) profiler, der i dag ikke er under marin påvirkning, og som ikke er podzolerede, SM4 og SM5.

SMI er beliggende på en strandeng, der formodes jævnlgt at blive overskyllet af havet. Profilen, der ligger bag en strandvold bestående af næsten helt hvidt finkornet sand, består øverst af 26 cm delvist omsat tørv, der overlejrer grovkornet sand. Mineral jorden kan inddeles i en Cor horisont, der findes mellem 26 og 48 cms dybde, hvorunder der kommer en Cr horisont. Profilen er pedologisk set tydeligt præget af grundvandsgleyprocesser med opbygning af et tørvedække. Det marine indslag ses tydeligt i sammensætningen af de ombytterlige baser, hvor natrium indtager en fremtrædende stilling i Oe horisonten, og den er den dominerende ombytterlige base i det underliggende sand. Det marine præg medfører, at sammenhængen mellem basemætningsgraden og kaliums + natriums procentuelle andel af de ombytterlige baser bliver atypisk set i forhold til den sammenhæng, der blev fundet for profilerne i det glacielle landskab, fig. 17. Profilen er på grund af det højtstående grundvand og de stadige havvandsdækninger ikke nævneværdig udvasket for baser, og det er sandsynligvis havets periodiske indtrængen, der betinger det høje ombytterlige natriumindhold i Oe horisonten. Dette vil ellers hurtigt udvaskes.

Tabel 27: Analyseresultater fra de fem undersøgte profiler på den sandede del af det østlige marine forland.

Analytical results of the five investigated profiles in the sandy part of the marine foreland.

	Tekstur u								OM	pH		CaCO ₃	Dith Fe 0/00	cit. Al 0/00	Pyrophosph		Ombyt baser mækv.				CEC mækv 0/0	V 0/0	C/N
	<2	2-20	20-63	63-125	125-200	200-500	500-2000	H ₂ O		CaCl ₂	0/0				0/00	0/00	Ca	Mg	K	Na			
SM1: 0e(6-26) Clor(26-48) 26-48) C2r(60-70) 60-70)	1	2	1	0	9	80	7	52.9	6.0	5.7	0	4.1	0.7	-	-	-	43.6	1.9	0.27	10.8	81.5	69	17
								0.2	5.9	5.4	0	0.2	0.1	-	-	-	0.25	0.25	0.04	0.69	2.0	61	-
	1	1	1	1	28	64	4	<0.1	5.9	5.5	0	0.1	<0.1	-	-	-	0.30	0.51	0.07	2.1	-	-	-
SM2a(0-12) 0-12) 0a(12-33) 12-33) A2o(33-45) 33-45) B2svo(45-55) B3svo(55-86) B3svo55-86) Clor(86-120) 86-120) C2r(120-130)	-	-	-	-	-	-	-	91.4	3.6	2.9	0												26
	-	-	-	-	-	-	-	92.4	3.6	2.9	0												45
	1	1	0	5	80	13	0	0.1	4.6	3.9	0	<0.1	<0.1	«0.1	0.1	0.07	0.02	0	0.02	0.8	15	-	
	2	1	1	7	77	11	0	1.1	4.8	3.9	0	0.5	0.8	-	-	0.65	0.12	0.01	0.05	8.0	10	-	
	-	-	-	-	-	-	-	0.2	5.4	4.5	0	0.4	0.1	0.2	0.2	0.57	0.16	0.01	0.04	2.3	34	-	
	2	1	1	30	65	0	0	0.7	7.5	6.7	0	0.1	<0.1	0.1	0.1	-	-	-	-	-	-	-	-
	2	1	1	15	80	1	0	0.5	6.9	6.6	0	0.2	«0.1	0.1	0.2	7.4	0.12	0.02	0.08	8.5	90	-	
SM3a(0-19) 0-19) Al(19-30) 19-30) A2o(30-38) 30-38) B2svo(38-58) Clor(58-100) Clor(58-100) C2r(110-120)	3	4	2	10	66	11	0	80.7	4.2	3.8	0		0.2	0.8	-	-	8.9	2.7	1.1	0.55	164.6	8	22
	2	1	0	8	82	7	0	0.4	4.2	3.5	0	0.2	0.8	-	-	0.60	0.08	0.02	0.06	17.6	4	20	
	2	1	0	9	84	3	0	0.5	4.7	3.9	0	0.1	0.2	0.1	0.3	-	-	-	-	-	-	-	-
	2	1	0	9	84	3	0	0.5	4.9	4.1	0	0.2	0.3	0.1	0.4	0.17	0.02	0.01	0.02	3.3	7	-	
	2	1	0	6	88	3	0	0.3	5.0	4.2	0	<0.1	0.2	0.1	0.3	-	-	-	-	-	-	-	-
	2	1	1	10	81	5	0	0.3	3.4	3.4	0	0.6	0.2	0.5	0.2	0.25	0.06	0.01	0.03	3.9	9	-	
SM4A(0-20) 0-20) 82jo(20-33) 20-33) Clor(33-70) 33-70) Clor(70-120) 70-120) IIC2r(130-140)	4	3	6	5	26	41	9	5.8	4.5	3.8	0	1.4	0.3			2.8	0.52	0.15	0.09	20.1	18	10	
	2	2	1	7	43	31	14	0.3	5.0	4.1	0	0.8	0.1	0.4	0.1	-	-	-	-	-	-	-	-
	2	1	2	9	64	22	0	0.1	5.3	4.6	0	0.7	0.1	0.3	0.1	0.37	0.08	0.04	0.13	1.7	36	-	
	4	3	1	4	35	46	7	0.2	5.3	4.6	0	1.2	0.1	0.4	0.1	-	-	-	-	-	-	-	-
	26	33	17	8	12	4	0	0.2	4.4	4.2	0	1.9	0.3	0.9	0.1	8.2	1.9	0.53	0.30	15.5	71	-	
SM5A(0-12) 0-12) B21jo(12-18) 12-18) IIB22jo(18-46) 18-46) IIIClor(46-133) 46-133)	1	2	0	1	13	49	34	12.0	3.7	3.1	0	3.9	0.4	3.3	0.6	2.2	0.22	0.05	0.06	44.1	6	13	
	1	2	0	0	3	41	53	0.4	4.5	3.7	0	0.3	0.1	0.2	0.1	-	-	-	-	-	-	-	-
	1	2	0	0	3	41	53	0.1	4.7	4.1	0	0.5	0.1	0.3	0.1	-	-	-	-	-	-	-	-
	2	1	1	5	43	47	1	<0.1	4.8	4.1	0	0.6	0.1	0.4	0.1	-	-	-	-	-	-	-	-

Profilen klassificeres som en histisk natric Vådgley på basis af tørvedækket, det relativt høje ombyttelige natriumindhold i C horisonterne og Cr horisonten, der begynder i 48 cms dybde. Efter Soil Taxonomy er profilen en Psammaquet.

SM2 og SM3, der er to podzolerede jorde, er begge beliggende i Dyrehave. SM2 består øverst af et 33 cm tykt velomsat tørvelag med under 10% minerogent materiale. Under tørven findes en helt lys A2o horisont, der formodes at være grundvandsinflueret. I 45 cms dybde begynder Bsvo horisonterne, der er rødbrune, og hvor der er indslag af marine skaller i B3svo horisonten. Under B horisonterne kommer en lys Co horisont, der i 120 cms dybde abrupt går over i en blålig Cr horisont. Profilen er udviklet i velsorteret sand med dominerende kornstørrelse mellem 125 og 200 μ . Der er i modsætning til det glaciogene sand næsten intet ler og silt i profilen, og udgangsmaterialet minder derfor teksturelt set mere om flyvesandsaflejringerne i kap. 5 end om det glaciogene sand, kap. 6. SM2 er tydeligt podzoleret, ikke alene ud fra en visuel bedømmelse, men også ud fra variationen i dithionitcitratopløseligt jern og aluminium samt ud fra variationen i mængden af det organiske stof. Der er for alle tre parametre maksimum i B2svo og tilsvarende minimum i den ovenliggende A2o. Profilen er stærkt sur i tørvelaget, og sammenholdes dette med det høje C/N-forhold, der findes i den nederste del af Oa horisonten, må det antages at være en højmosetørv. pH stiger stærkt ned gennem profilen, og der er især en markant stigning i pH(H₂O) mellem B3svo og Co, således at pH(H₂O) i Co horisonten er over 7. Dette tyder på, at det højtstående grundvand har hindret en effektiv udvaskning af de dybereliggende horisonter, der dog også har en lidt større bufferkapacitet end normalt for sandede horisonter på grund af et indhold af marine skaller. Det kan også være det høje næsten permanente grundvandsspejl, der har betinget den klare og plane overgang mellem B3 og C horisonten. Denne overgang er i langt de fleste podzoler gradvis eller diffus. Det eneste marine præg, der i dag findes i profilen, er de enkelte spredte skaller fra B3svo horisonten og nedefter, hvorimod det høje ombyttelige natriumindhold, der tidligere må have været i profilen, er udvasket. Sammensætningen af de ombyttelige baser i SM2 er derfor næsten den samme, som findes i det glacielle landskab.

Profilen klassificeres som en histisk Podzolvådgley på basis af tørvedækket, podzoludviklingen og det højtliggende grundvandspræg. Efter Soil Taxonomy er profilen en Haplaquod.

SM3 består øverst af ca. 20 cm velomsat tørv med 20% minerogent materiale. Derunder findes en 11 cm tyk veludviklet Al horisont, hvorunder der er afbleget sand indtil 100 cms dybde, hvor der kommer en blålig Cr horisont. Profilen, der teksturelt set minder om SM2, synes at være svagt podzoleret bedømt ud fra variationen i aluminium-, jern- og humusindholdet. B2svo horisonten kan visuelt erkendes i profilen ud fra få nærmest vandretgående mørke striber, men den er ellers næsten lige så afbleget som A2o og Co horisonten. Denne afblegning skyldes muligvis en lateral fjernelse af jern(-hydr)oxiderne i profilen med grundvandet. Profilen er stærkere udvasket end SM2, og den har som SM2 mistet det marine præg bedømt ud fra det ombyttelige natriumindhold. pH stiger som for de fleste skovjorde med dybden, dog ses der i det aktuelle tilfælde et markant fald i pH mellem Co og Cr. Dette fald, der ikke modsvares af et tilsvarende fald i basemætningsgraden, skyldes sandsynligvis, at der i Cr horisonten har været et lille pyritindhold,

der inden pH-målingen er blevet oxideret under dannelsen af svovlsyre. Den producerede svovlsyre er blevet neutraliseret af nogle af de ombyttelige baser på adsorptionkomplekserne, hvorved pH er faldet. Ved den senere bestemmelse af de ombyttelige baser er de ombyttelige baser, der neutraliserede svovlsyren, blevet bestemt med.

Pyrit, der kun er stabilt under anaerobe forhold, findes i adskillige lavbundsområder i Himmerland som fx i bunden af Nørrekær, i Halkær Ådal, i randzonen omkring moræneknuden ved Nr. Kongerslev samt på spredte lokaliteter i de øvrige lavbundsområder, hvilket vil blive diskuteret senere i kapitel 9.

Profilen klassificeres som en histisk podzolagtig Vådgley på basis af tørvelaget, det højtstående grundvandspræg, og de analyseresultater, der indikerer en svag podzoleringsproces. Profilen er derimod ikke afbleget nok til at blive klassificeret som Blegvådgley. Efter Soil Taxonomy er profilen en Psammaquent.

SM4 og SM5, der er beliggende i Lovnkær, er to ikke podzolerede sandede profiler. SM4 består øverst af en 20 cm tyk Al horisont, hvorunder der findes en pseudogley- og grundvandsgleypræget B horisont med mange store tidligere rodgange fra træer, der i dag er fyldt ud med humusholdigt sand. I Cr horisonten, der begynder i 33 cms dybde, ses en del gamle rodgange med delvis nedbrudte rødder. Ellers fremtræder horisonten spættet med lyse og rødbrune partier. I 122 cms dybde er der en geogenetisk ændring i profilen, idet de sandede marine aflejringer afløses af siltet 1er, hvilket vidner om et mere roligt sedimentationsmiljø. Den finkornede tekstur sammenholdt med det højtstående grundvand medfører, at der hersker anaerobe forhold i næsten hele horisonten, hvorfor den betegnes Cr. Bedømt ud fra Al horisontens humusindhold og det manglende tørvelag, må det formodes, at profilen er udviklet under knap så fugtige betingelser som SM2 og SM3, og jern(hydr)oxidene synes ikke at være udvasket i samme grad i denne profil som i SM3, bedømt ud fra mængden af dithionitcitratopløseligt jern. Der er ingen tegn på podzolering af jorden, og den mest markante pedologiske proces i profilen er gleydannelsen. Profilen har som SM2 og SM3 mistet sit marine præg bedømt ud fra det ombyttelige natriumindhold. Profilen er stærkest udvasket i de øverste horisonter, hvor basemætningsgraden i Al er 18%. Med dybden stiger basemætningsgraden stærkt, og den er i det siltede 1er 71%. Variationen i pH følger ikke variationen i basemætningsgraden, fx er pH(H₂O) højere i Al end i Cr, selv om basemætningsgraden i den førstnævnte horisont er 18%, medens den i den anden er 71%. Dette skyldes formodentligt, at Cr horisonten som i SM3 har indeholdt en del pyrit, der er blevet oxideret, inden pH blev bestemt i prøven.

Profilen klassificeres som en Brungley på basis af grundvandsgleypræget, der begynder i de øverste 40 cm af profilen, samt at Cr horisonten først begynder under 120 cms dybde. Efter Soil Taxonomy er profilen en Aquic Udipsamment.

SM5 består øverst af en humusrig Al horisont, der overlejrer lagdelt sand med store forskelle i middeldkornstørrelsen. Teksturforskellene skyldes formodentlig varierende energipåvirkning fra havet under sedimentationen. De mest markante pedologiske processer i profilen er gleydannelsen, udvaskningen af de ombyttelige baser samt opbygningen af den humusrige Al horisont.

Profilen klassificeres som en humøs Typigley ud fra gleypræget i de øverste 40 cm af profilen samt den humusrige Al horisont. Efter Soil Taxonomy er profilen en Typic Udipsament.

Den pedologiske udvikling på lerede marine aflejringer

Der er undersøgt to profiler udviklet i lerholdige marine aflejringer. Disse er begge beliggende i Lovnkær. Profilerne benævnes SM6 og SM7, og deres geografiske placering ses på fig. 40. Begge profiler er udviklet under løvskov, og bedømt ud fra ældre kort har området ikke været under plov i de sidste 200 år. Lovnkær er i dag afvandet ved hjælp af en del åbne grøfter, så grundvandsstanden i profilerne er noget lavere end tidligere.

Profilbeskrivelser

SM6: lessiveagtig Kalkvådgley; lerh. siltet sand/siltet svær 1er, svagt basisk.
Soil Taxonomy: Mollic Fluvaquent.
Terrænkote: 3 m DNN; dræningsklasse: meget imperfekt drænet; profildybde: 150 cm; grundvand: 120 cm; vegetation: løvskov.

Al (0-20): meget mørkt gråbrunt (10YR3/2f) lerholdigt siltet sand; humusholdig; svag granular; meget sprød; ingen sten; mange rødder; overgang skarp og bølget.

B21jo (20-24): lyst brungråt (10YR6/2f) sand med enkelte brune pletter; humusfattig; meget svag subangular blocky; meget sprød; ingen sten; få rødder; overgang skarp og plan.

IIB22jro (24-42): lyst brungråt (10YR6/2f) 1er med en del rustrøde pletter; humusfattig; svag til meget svag subangular blocky; fast; ingen sten; få til meget få rødder; overgang gradvis og plan.

IIIClro (42-120) : lyst brungråt (10YR6/2v) siltet svær 1er med få rustrøde pletter; humusfattig; svag subangular blocky; formbar og klæbrig; mange kalkskaller og kalkklumper; ingen sten og ingen rødder; overgang diffus.

IIIC2r (120-) : gråbrun (10YR5/2v) meget svær 1er uden rustrøde pletter; humusfattig; massiv; formbar og klæbrig; enkelte skaller; ingen sten; ingen rødder.

SM7: humøs lessiveagtig Kalkvådgley; sand/siltet 1er, svagt basisk.
 Soil Taxonomy: Mollic Fluvaquent.
 Terrænkote: 2 m DNN; dræningsklasse: meget imperfekt drænet;
 profildybde: 90 cm; grundvand: 70 cm;
 vegetation: løvskov.

- Alh (0-17): meget mørkt gråt (5YR3/lf) sand; humusrig; svag granular; sprød; ingen sten; særdeles mange rødder; overgang klar og bølget.
- B21jo (17-23): lyst brungråt (10YR6/2f) sand; humusholdig; meget svag subangular blocky; meget sprød; meget få sten; mange rødder; overgang klar og bølget.
- IIB22jro (23-44): gråbrunt (2,5Y5/2f) siltet 1er med en del rustrøde pletter; humusholdig; moderat angular blocky; fast; tykke sorte kontinuerte humusbelægninger; ingen sten; mange rødder; overgang gradvis og plan.
- IIClro (44-95): olivengråt (5Y5/2v) siltet 1er med en del rustrøde pletter; humusholdig; svag angular blocky; formbar og klæbrig; øverst en del sorte humusbelægninger; mange skaller af bl.a. østers; overgang skarp og plan.
- IIC2r (95-): gråt (5Y5/1v) siltet 1er; humusholdig; massiv; formbar og stærkt klæbrig; mange skaller af bl.a. østers ; ingen sten ; ingen rødder.

Resultater og diskussion af de enkelte profilers pedologiske udvikling

I tabel 28 ses analyseresultaterne fra de to lerholdige profiler udviklet på det marine forland.

SM5 består øverst af et 24 cm tykt sandlag, der overlejrer mere laguneprægede sedimenter, der fra omkring 40 cms dybde næsten udelukkende består af 1er og silt. De øverste dele af det laguneprægede sediment er af forlandstypen, (Jacobsen 1964), d.v.s., at der findes tynde sandstriber i det finkornede materiale. Dette giver sig udslag i den noget atypiske kornstørrelsesfordeling i IIB22jor med meget materiale under 20 μ og mellem 125 og 500 μ .

Pedologisk set består profilen øverst af en humusholdig 20 cm tyk Al horisont, hvor det organiske stof er meget velomsat med et C/N-forhold på 10. Under Al horisonten kommer en tynd B21jo horisont, der består af lyst sand, der må være aflejret i et forholdsvis uroligt miljø. Derunder findes en IIB22jro og IIClro horisont, der på grund af det tidligere højtstående grundvandsspejl sammenholdt med den finkornede teksturelle sammensætning fremstår tydeligt grundvandsgleypræget med kun få rustrøde partier lokaliseret omkring rodgange og aggregatoverflader. I 120 cms dybde, hvor grundvandet blev nået, findes Cr horisonten, der var uden røde partier.

Tabel 28: Analyseresultater fra de to undersøgte profiler på den lerede del af det østlige marine forland.

Analytical results of the two investigated profiles in the clay-rich part of the marine foreland.

	Teksturu								OM	PH				CaCO ₃	Dith	citr.	Ombyt.baser mækv.				CEC	V	C/N
	<2	2-20	20-63	63-125	125-200	200-500	500-2000	0/0	H ₂ O	CaCl ₂	0/0	Fe 0/00	Al 0/00	0/0	Ca	Mg	K	Na	mækv	0/0			
SM6:Al(0-20) 0-20)	8	8	16	10	26	22	4	6.3	5.8	5.4	0				13.2	2.0	0.12	0.27	25.5	61	10		
B21jo(B2ljo(20-24) 3	4	4	5	9	32	37	10	0.2	6.4	6.0	0												
II B22jro(24-42) 24-42)	15	16	5	6	26	32	0	0.2	7.7	7.1	0	-	-	-	-	1.3	0.15	0.20	9.6	(100)	-		
IIIClro(42-90) 42-90)	40	52	5	1	1	1	0	0.3	7.8	7.2	14.1	-	-	-	-	2.4	0.37	0.44	20.0	(100)	-		
IIIClro(42-90) 42-90)	34	55	10	0	0	1	0	0.1	7.8	7.3	17.6	-	-	-	-	1.6	0.28	0.29	14.2	(100)	-		
IIIClro(90-110) 90-110)	47	49	3	0	0	1	0	0.5	7.7	7.2	16.5	-	-	-	-	1.9	0.51	0.25	16.4	(100)	-		
IIIC2r(120-130)	36	45	14	2	2	1	0	0.4	7.8	7.3	15.9	-	-	-	-	1.8	0.32	0.25	25.0	(100)	-		
IIIC2r(160-170)	45	33	4	3	6	7	1	0.8	7.4	6.9	0												
SM7:Alh(0-17) 0-17)								13.8	6.0	5.6	0	4.1	1.0		33.7	4.0	0.26	0.38	57.6	67	11		
B21jo(17-23) 17-23)	3	3	5	5	23	52	8	1.4	-	-	0	0.6	0.1		-	-	-	-	-	-	-		
II B22jro(23-44) 23-44)	25	24	31	11	3	4	1	1.2	6.8	6.4	0	6.2	0.3		12.6	1.9	0.35	0.21	16.7	90	-		
IIIClro(44-95) 44-95)	23	20	38	13	3	2	0	1.1	7.7	7.2	5.0	4.2	0.2		-	-	-	-	-	-	-		
IIIC2r(95-110)	31	30	23	6	3	4	1	1.7	7.3	7.1	10.3	4.1	0.1		-	2.4	0.74	0.52	15.1	(100)	-		
IIIC2r(190-200)	29	30	27	5	4	4	1	-	7.5	7.2	0												

Der var i profilen svage tegn på lernedslemning til den kalkholdige IIClro horisont, men ikke i en sådan grad, at det vil kvalificere jorden som lessive på gruppeniveau. Profilen er i de øverste horisonter svagt udvasket, men allerede i IIB22jro horisonten er pH (CaCl₂) over 7, og i IIClro er der frit Calciumcarbonat blandt andet som skaller, der vidner om profilens marine oprindelse. Derimod har profilen mistet det marine præg i fordelingen af de ombyttelige baser, idet natriumindholdet kun udgør en beskedent andel af de ombyttelige baser.

Profilen klassificeres som en lessiveagtig Kalkvådgley på basis af den højtliggende IIB22jro horisont, de tykke kalkholdige lag inden for de øverste 120 cm af profilen og de svage tegn på lessivering. Efter Soil Taxonomy er profilen en Mollic Fluvaquent.

SM7 består som SM6 øverst af sandet materiale, der overlejrer mere laguneprægede sedimenter, der dog er knap så 1er- og siltholdige som i SM6. Pedologisk set består profilen øverst af en humusrig 17 cm tyk Al horisont, hvor det organiske stof er meget velomsat med et C/N-forhold på 11. Under Al horisonten findes et tyndt lyst sandlag, der benævnes B21jo, inden man kommer ned i IIB22jro og IIClro, der er karakteriserede af tydeligt grundvandsgley med meget få rustrode partier. I de to sidstnævnte horisonter, der har en moderat struktur, findes tydelige kontinuerte tykke humusbelægninger på aggregatoverfladerne, der fremstår kulsorte. Det er sandsynligvis disse coatings, der gør horisonterne humusholdige. Under IIClro horisonten findes Cr horisonten i 95 cms dybde, d.v.s. noget under den aktuelle grundvandsstand. Profilen er svagt udvasket i de øverste horisonter, men allerede i 44 cms dybde kommer de første skaller i profilen, der blandt andet indeholder hele østersskaller. SM7 har som SM6 mistet det marine præg bedømt ud fra sammensætningen af de ombyttelige baser, idet natriumindholdet også i denne profil udgør en relativ ringe andel af de ombyttelige baser.

Profilen klassificeres som en humøs lessiveagtig Kalkvådgley på basis af Al horisontens humusindhold, det højtliggende grundvandsgley med IIB22jro horisonten inden for de øverste 30 cm af profilen og de tykke humusbelægninger, som sandsynligvis indeholder lidt 1er. Efter Soil Taxonomy er profilen en Mollic Fluvaquent.

Den pedologiske udvikling i æolisk sand på det marine forland

Den pedologiske udvikling i flyvesand, der tidligere har været marint sand, er blevet undersøgt ved Helberskov i det sydøstligste hjørne af Himmerland, hvor der er beskrevet to profiler. Den ene profil er beliggende på den første klitrække bag den strandeng, hvor SM1 er beliggende, medens den anden profil er beliggende på en klit i den vestlige del af klitområdet. Begge klitter må betegnes som grå klitter, idet den første er lyngklædt, medens den anden er dækket af nåleskov. Det anses ikke for sandsynligt, at de to profiler har været opdyrket på et tidligere tidspunkt. Profilerenes geografiske placering ses af fig. 40.

Profilbeskrivelser

SHI: entic Gleystrukturbrunsol; sand, stærkt sur.

Soil Taxonomy: Aquic Udipsamment.

Profilen er udviklet i en klit, der overlejrer havsand.

Terrænkote: 2 m DNN; dræningsklasse: imperfekt drænet;
profildybde: 100 cm; vegetation: lyng.

Olf (2-0): brunt morlag

Al (0-5): meget mørkt gråt (10YR3/lt) sand med hvide kvartskorn;
humusholdig; meget svag subangular blocky; løs; ingen
sten; mange rødde; overgang skarp og plan.Bj+C (5-65): lyst gulbrunt (10YR6/4f) sand; humusfattig; meget svag
subangular blocky; meget sprød; ingen sten; få rødde;
overgang gradvis og plan.Cr (65-): olivengråt (5Y4/2v) lagdelt sand; humusfattig; massiv;
ikke formbar og ikke klæbrig; ingen sten; meget få rød-
der; grundvand i 110 cms dybde.**SH2:** entic bleget Strukturbrunsol; sand, sur.

Soil Taxonomy: Typic Udipsamment.

Profilen er udviklet i en klit.

Terrænkote: 7 m DNN; dræningsklasse: meget veldrænet;
profildybde: 105 cm; vegetation: krat med enkelte træer.

Olf (5-0): brunt morlag.

Al (0-8): mørkt brunt (7,5YR3/2t) sand med mange hvide sandskorn;
humusholdig; meget svag subangular blocky; løs; ingen
sten; særdeles mange rødde; overgang skarp og bølget.Bj (8-27): lyst gulbrunt (10YR6/4t) sand; humusfattig; meget svag
subangular blocky; løs; ingen sten; særdeles mange rød-
der; overgang diffus.Cn (27-): meget blegt brunt (10YR7/4t) sand; humusfattig; meget
svag subangular blocky; meget sprød; ingen sten.**Resultater og diskussion af de enkelte profilers pedologiske udvikling**

I tabel 29 ses analyseresultaterne fra de to profiler udviklet i flyvesand på det marine forland.

SHI er udviklet i velsorteret sand med dominerende kornstørrelse på 200 til 500 μ . Profilen består af en 5 cm tyk Al horisont med en del hvide sandskorn, hvorunder der kommer en strukturel B eller en C horisont.

Tabel 29: Analyseresultater fra to profiler udviklet i et flyvesandsområde på det marine forland.

Analytical results of the two investigated profiles in dune-sand area at the marine foreland.

	Tekstur u OM								pH		CaCO ₃	Dith.citr.		Ombyt.baser mækv.				CEC	V	C/N
											0/0	Fe	Al					mækv	0/0	
	<2	2-20	20-63	63-125	125-200	200-500	500-2000	0/0	H ₂ O	CaCl ₂		0/00	0/00	Ca	Mg	K	Na			
SH1: Al(0- 5) Bj(5-10) C(45-50) Cr(70-80)	2	3	1	1	12	76	6	3.4	4.2	3.5	0	0.9	0.2	0.55	0.16	0.05	0.08	7.8	11	11
	-	-	-	-	-	-	-	0.4	4.7	3.9	0	0.3	0.1	-	-	-	-	-	-	-
	1	2	1	1	13	72	10	0.2	5.2	4.6	0	0.1	0.1	0.10	0.02	0.01	0.02	1.1	15	-
	-	-	-	-	-	-	-	0.3	3.9	3.9	0	0.1	0.2	0.05	0.02	0.01	0.01	2.1	4	-
SH2: Al(0- 8) Bj(8-27) Cn(50-60)	-	-	-	-	-	-	-	7.7	4.3	3.6	0	1.1	0.5	2.1	0.58	0.14	0.20	22.8	13	14
	1	2	1	0	16	79	1	0.4	4.9	4.1	0	0.3	0.2	0.22	0.04	0.03	0.02	2.3	14	-
	-	-	-	-	-	-	-	-	5.1	4.4	0	0.2	0.2	-	-	-	-	-	-	-

I 65 cms dybde findes der en skarp overgang til en Cr horisont. Der er ikke tegn på nogen podzolering i profilen, og de hvide sandskorn i Al horisonten formodes at stamme fra indblæsninger af hvidt strandsand. Profilen er stærkt udvasket i Al horisonten bedømt ud fra pH-værdierne, og der er i profilen stigende pH med dybden indtil Cr, hvor pH pludselig falder til under 4. Dette skyldes sandsynligvis, at et vist pyritindhold i Cr er blevet iltet under dannelse af svovlsyre. Dette har medført, at næsten alle ombyttelige baser er blevet fjernet fra horisonten. I modsætning til SM3 og SM4 må det antages, at pyritforvitringen er foregået inden prøveudtagningen, idet der i SH1 er en god overensstemmelse mellem pH og basemætningsgraden i Cr. Det formodede tidligere pyritindhold i Cr tyder på, at dette lag er af marin oprindelse og ikke af æolisk oprindelse, d.v.s., at profilen genetisk består af omkring 65 cm flyvesand hvilende på det tidligere strandplan. Selv om profilen ligger i umiddelbar nærhed af havet, har Cr horisonten mistet det marine præg bedømt ud fra den relativt ringe mængde ombyttelig natrium.

Profilen klassificeres som en entic Gleystrukturbrunsol på basis af Al horisontens tykkelse, udviklingen af den strukturelle B horisont og Cr horisonten, der begynder mellem 40 og 80 cms dybde. Efter Soil Taxonomy er profilen en Aquic Udipsamment.

SH2 består som SH1 teksturelt set af velsorteret sand med dominerende kornstørrelse på mellem 200 og 500 μ . Profilen har øverst en 8 cm tyk Al horisont med mange hvide sandskorn, hvorunder der findes en strukturel B horisont, der i 27 cms dybde går over i en lys Cn horisont. Profilen er pedologisk set svagt udviklet, idet der foruden dannelsen af en Al horisont kun er tegn på en svag forbruning af den underliggende strukturelle B horisont, hvilket dog ikke er nok til at kvalificere denne som en farvet B horisont. De hvide sandskorn i Al formodes at være nylig påføjet sand, men er dette ikke tilfældet, kan tilstedeværelsen af disse korn tolkes som en begyndende podzolering af profilen.

Profilen klassificeres som en entic bleget Strukturbrunsol på basis af Al horisontens tykkelse, den strukturelle B horisont og den lyse C horisont. Efter Soil Taxonomy er profilen en Typic Udipsamment.

Samlede betragtninger vedrørende den pedologiske udvikling på det marine forland

Den pedologiske udvikling af jordene på det marine forland er undersøgt gennem ni profilstudier på det østlige marine forland. To af profilerne er beliggende i Dyrehave, fire af profilerne i Lovnkær, og tre af profilerne er beliggende ved Helberskov, fig. 7 og 40. Der er ikke profilstudier i tykke tørve- og gytjeaflejringer, der visse steder dominerer i de tidligere havtransgrederede områder. De undersøgte profiler kan naturligt inddeles i lerholdige og lerbattige profiler, hvor de sidstnævnte igen kan inddeles i æolisk- og ikke æoliskprægede profiler. De lerbattige profiler består teksturelt set af velsorteret sand med en dominerende kornstørrelse på mellem 200 og 500 μ . Profilerne er dermed teksturelt set grovere end de lerbattige profiler i det glacielle landskab, når der ses bort fra flyvesandsområderne. De fem ikke æoliskprægede profiler har ofte en veludviklet Al horisont, der

kan være humusrig, og i visse profiler kan der endog være udviklet et egentligt tørvedække ovenpå mineral jorden. Profilerne bærer alle tegn på, at grundvandet har stået højt i profilerne, og alle profilerne er derfor klassificeret som gleyjorde. Den nuværende grundvandsstand er sandsynligvis lavere end den, profilbilledet afspejler, idet både Lovnkær og Dyrehave er gennemskåret af drængrøfter. De fem profiler er pedologisk set yderst forskellige. De to profiler fra Dyrehave har en tydelig tørvedannelse ovenpå mineral jorden, de har fået udvasket det høje ombyttelige natriumindhold, der karakteriserer unge ikke afvandede marine aflejringer, og endelig er profilerne podzolerede. Profilerne er udviklet i forholdsvis lyst sand, hvilket bl.a. kan skyldes en fjernelse af jern(hydr)oxiderne ved lateral vandbevægelse. Cr horisonten findes i dag fra omkring 1 meters dybde. De to profiler i Lovnkær har ikke som profilerne i Dyrehave fået udviklet et tørvelag ovenpå mineraljorden, og de er heller ikke podzolerede som disse. Derimod har de, som profilerne fra Dyrehave, en veludviklet Cr horisont, og de har fået udvasket det høje ombyttelige natriumindhold, der karakteriserer unge ikke afvandede marine aflejringer. Den sidste profil SMI er derimod tydeligt præget af det marine miljø bedømt ud fra det ombyttelige natriumindhold, ligesom der ikke er nogen tydelig udvaskning i denne profil. Dette skyldes muligvis temporære indtrængninger af havet. I profil SM4 ligger Cr horisonten højere oppe i profilen end i profilerne fra Lovnkær og Dyrehave.

De to flyvesandsprofiler ved Helberskov er pedologisk set svagt udviklede, idet de foruden opbygningen af en tynd Al horisont kun har udviklet strukturelle eller svagt forbrunede B horisonter. Den mest kystnære af de to profiler består af ca. 60 cm flyvesand, der overlejrer marint sand, medens den anden profil udelukkende er udviklet i flyvesand. Det marine sand i den kystnære profil har allerede mistet det karakteristiske høje natriumindhold på adsorptionskomp'lekserne, ligesom der er tegn på, at den tidligere har indeholdt en del pyrit. De to profiler klassificeres på ordensniveau som brunsoler.

Der er undersøgt to lerholdige profiler på det marine forland, og begge disse profiler er beliggende i Lovnkær. Begge profiler består af et tyndt sanddække, der overlejrer de mere lerrige aflejringer. Den teksturelle sammensætning af de lerholdige lag adskiller sig ikke væsentligt fra de lerholdige vandaflejrede sedimenter i det glaciale landskab, men et stort indhold af marine skaller, bl.a. østers, vidner om, at de lerholdige aflejringer i Lovnkær er af marin oprindelse. Profilerne består øverst af en veludviklet Al horisont, der overlejrer et tyndt lyst sandlag, inden de lerholdige horisonter nås. Disse er stærkt præget af grundvandsgley, og der er udviklet en Cro horisont i relativ ringe dybde. Der er i den ene af profilerne svage tegn på lernedslemning, medens der i den anden er tydelige sorte humusbelægninger på aggregatoverfladerne. Disse humusbelægninger formodes at indeholde en del illuvialt 1er. Profilerne er svagt forsurede i de øverste sandlag, medens der endnu ikke er sket en forsuring af de underliggende lerholdige lag, hvilket bl.a. skyldes kalkindholdet i disse lag. Derimod er der sket en udvaskning af det relativt høje ombyttelige natriumindhold, der formodentligt har været til stede ved sedimentets aflejring. Profilerne er pedologisk set svagt udviklede sammenlignet med de lerholdige jorde i det glaciale landskab, hvilket hovedsageligt må tilskrives det højtstående grundvandsspejl, der hæmmer udludningsprocesserne. Det højtstående grundvandsspejl sammenholdt med den finkornede teksturelle sammensæt-

ning medfører, at Cro eller Bro horisonten ligger meget højt i profilen, således at profilerne klassificeres som vådgley.

Variationen i pH ned gennem de undersøgte profiler sammenholdt med basemætningsgraden tyder på, at nogle af profilerne har indeholdt pyrit. Da pyrit kun er stabilt under anaerobe forhold, vil det kun være til stede i jordprofilernes Cr horisonter, hvor ilttrykket er lavt. Et eventuelt pyritindhold i Cr horisonten kan erkendes, såfremt pH efter prøveudtagningen falder kraftigt. Dette fald skyldes, at pyrit under oxidering bl.a. danner svovlsyre, der gør jorden sur. Sker der ikke en udvaskning af jorden efter iltningen, vil alle de adsorberede baser stadig findes i jorden, selv om nogle findes som sulfater, og de vil ved en senere analyse af de ombyttelige baser i jorden medregnes til disse, hvorved der opstår et markant misforhold mellem pH og basemætningsgraden. Dette er fx tilfældet i SM4.

KAPITEL 9

DEN REGIONALE FORDELING AF JORDBUNDSTYPERNE I HIMMERLAND OG UDBREDELSEN AF POTENTIELT SVOVLSURE JORDE

Den regionale fordeling af jordbundstyperne i Himmerland er allerede delvis berørt ved diskussionen af jordbundsudviklingen indenfor de forskellige landskabselementer. Det vil derfor være oplagt ud fra dette kendskab suppleret med andre undersøgelser at få udtegnet et pedologisk kort over Himmerland. Da der ikke er foretaget en detaljeret pedologisk kortlægning af området ud fra fx opborede prøver, er det nødvendigt at relatere de i Himmerland foretagne pedologiske feltobservationer til relevante fladedækkende kort. De anvendte kort bør være i et målestoksforhold, der passer til de få og spredte pedologiske feltobservationer, der er blevet foretaget. Nogle af de mest velegnede kort, der i dag findes til konstruktion af et pedologisk kort over Himmerland, vil være geologiske eller geomorfologiske kort som fx Bornebusch & Milthers (1935), Schou (1949) og Smed (1979). På disse kort findes den omtrentlige udbredelse af de lerholdige morænelandskaber, de lerfattige morænelandskaber, klitlandskaberne, hedesletterne, tunneldalsystemerne samt udbredelsen af det marine forland. På Bornebusch og Milthers kort er der endvidere angivet udbredelsen af moser.

Kendskabet til den pedologiske udvikling i de forskellige landskabstyper bygger på omkring 40 profilstudier i skove og 60 profilstudier på dyrket jord. Sidstnævnte er beskrevet i kapitel 10. Der er endvidere til støtte for kortudtegningen foretaget omkring 100 borer på højbundlokaliteter i det glacielle landskab, hvor horisontfølgen i den øverste meter af jorden blev beskrevet med hensyn til tekstur, farve, gleypræg med videre. Det er derved muligt i hovedtrækkene at klassificere jordene efter det i kapitel 4 udviklede system. Til støtte for kortudtegningen af jordbundstyperne på det marine forland og i lavbundsområderne i det glacielle landskab er der blevet foretaget omkring 225 profilbeskrivelser ud fra opborede prøver. Hovedsigtet med disse borer var at udtage prøver til pyritanalyse, således at man i store træk kunne fastlægge udbredelsen af potentielt svovlsure jorde, d.v.s. jorde, der efter FAO (1974) generelt vil få en "sulfuric horizon" ved dræning. Dette vil blive diskuteret senere i dette kapitel. Der blev i lavbundsområderne samt på det marine forland boret til omkring 2 meters dybde, i enkelte tilfælde som fx i Nørrekær blev der boret til omkring 8 meters dybde. Profilerne blev beskrevet med hensyn til tekstur, indhold af organisk stof, farve, gleypræg, stenindhold og jarositindhold, og det er således i hovedtrækkene muligt at klassificere borebeskrivelserne efter det i kapitel 4 udviklede system. Endelig inddrages teksturanalyserne fra teksturregistreringen af Nordjyllands Amts landbrugsjord (Mathiesen 1975). I samme publikation findes en angivelse af områder med relativt højtliggende kalkklippe, d.v.s. inden for de øverste 5 m af jordskorpen. Dette anvendes

til at udtegne de områder, inden for hvilke der vil kunne forekomme rendzinaer.

På fig. 41 ses det pedologiske kort udtegnet over Himmerland. I den lerfattige del af det glaciala landskab dominerer Brunpodzoler, Typibrunsoler og Strukturbrunsoler, hvor der ikke er tale om flyvesandsområder eller større hedestrækninger på mager jord. De omkring 100 profilbeskrivelser, der er udført i den lerfattige del af det glaciala landskab, gør det ikke muligt at udskille områder med Brunpodzoler fra områder med brunsoler, idet de ligger usystematisk spredt mellem hinanden, men der er dog en tendens til, at dele af de østlige områder er knapt så podzolerede som de vestlige.

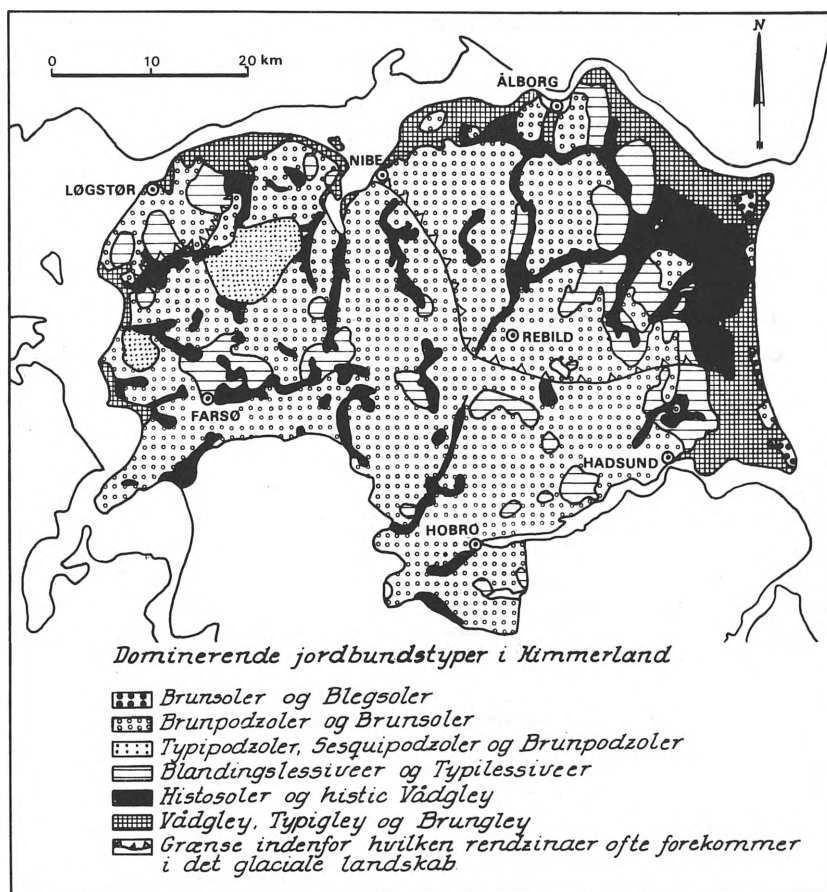


Fig. 41: Pedologisk kort over Himmerland.

Pedological map of Himmerland.

I flyvesandsområderne er podzoler klart den dominerende jordtype varierende fra Typipodzoler over Sesquipodzoler til Brunpodzoler, blegsoler og råjorde. Denne variation i profiludviklingen kan blandt andet tilskrives jordenes alder. På de lerholdige aflejringer i det glaciala landskab dominerer Typilessiveer, Blandingslessiveer, Pseudogleytypilessiveer og Pseudogleyblandingslessiveer. De mest lerrige lessivejorde findes sandsynligvis i den østlige del af Himmerland, hvor A2 horisonten kan indeholde over 15% ler. I visse områder med lessivejorde findes udbredte forekomster af rendzinaer, der fx omkring Smidie og Kongstedlund i Østhimmerland er den dominerende jordbundstype. De nævnte jordbundstyper i de forskellige regioner i det glaciala landskab er de dominerende jordbundstyper, men der findes ofte inden for disse områder mindre enklaver med helt andre jordbundstyper. I de områder, hvor fx Typibrunsoler, Strukturbrunsoler og Brunpodzoler dominerer, kan der findes områder med Typipodzoler og Sesquipodzoler, ligesom lessivejorde eller brunjorde lokalt kan forekomme. Ned mod lavninger i terrænet vil der ofte forekomme forskellige former for dræningssekvenser, hvor man går fra veldrænede jorde over gleyjorde til tørvejorde. Et eksempel på en veludviklet dræningssekvens i det lerfattige glaciala landskab kunne være jordbundsfølgen, fig. 42.

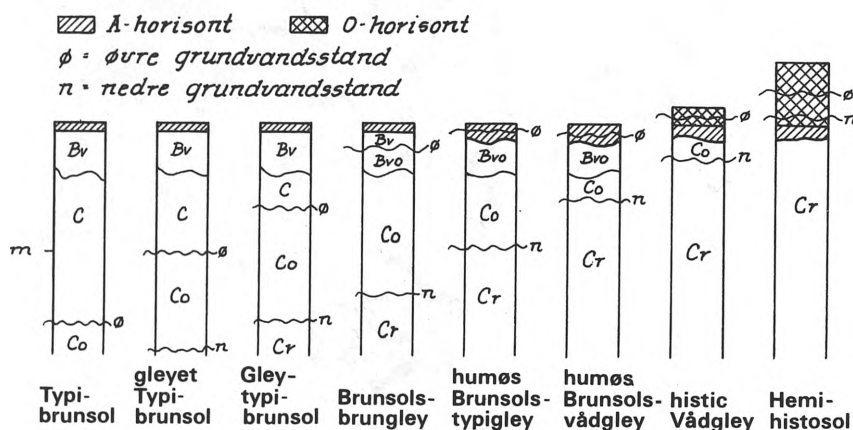


Fig. 42: Dræningssekvens i det sandede glaciala landskab.

Drainage sequence in the sandy glacial landscape.

Det er dog ikke altid, at man finder så veludviklede dræningssekvenser, som vist på fig. 42, ofte mangler en del af mellemlidene, eller også er lavningerne så tørre, at egentlige tørvejorde ikke udvikles.

På det marine forland og i de tidligere havtransgrederede ådale dominerer tørve- og gleyjorde. Kun hvor der er højtliggende strandvolde eller klitlandskaber på det marine forland, findes tørre jorde som blegsoler, brunsoler og svagt udviklede podzoler. Tørvejordene og gleyjordene er udskilt på basis af Bornebusch & Milthers kort, Geodætisk Instituts kort og tørvelagets tykkelse i de ca. 225 profilbeskrivelser, der er foretaget på lavbundslokaliteter. Tørvejordene, der ofte består af velomsat tørv i den

øverste halve meter, ligger især oppe i de tidligere havtransgrederede ådale samt i Lille Vildmose, medens resten af området hovedsageligt består af gleyjorde. De dominerende gleyjorde er Vådgley, hvor udgangsmaterialet er lerholdigt, hvorimod både Vådgley, Typigley og Brungley er almindelige, hvor udgangsmaterialet er sandet. I Bjørnsholm Ådal syd for Ranum findes et større område, hvor histiske Gleysedirendzinaer udviklet på kalkgtyjer er den dominerende jordbundstype.

Udbredelsen af sulfidholdige potentielt svovlsure jorde i Himmerland

Som det fremgår ved en sammenligning af pH og basemætningsgraden i tabel 27, er det sandsynligt, at de to profiler SM3 og SM4 har indeholdt en vis mængde jernsulfider i C horisonten. Jorde med et vist sulfidindhold, ofte set i relation til kalkindholdet, udskilles i mange klassifikationssystemer som specielle jordbundstyper som i fx FAO og Soil Taxonomy. Dette skyldes, at tilstedeværelsen af sulfidholdige horisonter i en jord kan kræve specielle dyrkningstekniske indgreb, inden jorden bliver frugtbar efter dræning, idet fx iltning af pyrit (FeS_2) medfører dannelsen af svovlsyre, der kan gøre jorden særdeles sur.

I det i denne afhandling opstillede klassifikationssystem udskilles jorde med et vist indhold af sulfider ikke på hverken orden-, gruppe- eller serie-niveau. Dette skyldes hovedsageligt, at ingen af de beskrevne profiler er systematisk undersøgt for sulfidindhold, men det vil nok være rimeligt i en senere revideret udgave af dette system at indføre termen sulfidholdige eller lignende på serieniveau for de jorde, der ved iltning gennem fx dræning bliver svovlsure. Disse jorde vil dog indtil videre blive benævnt potentielt svovlsure jorde, d.v.s. jorde, der inden for den øverste 1.5 meter af profilen indeholder lag med så store mængder af jernsulfider, at de ved iltning bliver svovlsure. Ved svovlsure lag eller horisonter forstås lag, hvor pH p.g.a. iltning af jernsulfider er faldet til under 3, d.v.s., at det kan antages, at der optræder fri svovlsyre i jordvæsken. Den arealmæssige udbredelse af disse jorde i Himmerland blev fastlagt i sommeren og efteråret 1980 ud fra omkring 275 boringer til mellem 1.5 og 2 meters dybde. Da jernsulfider kun er stabile under anaerobe forhold, vil det normalt kun være i gleyjorde og histosoler, at større mængder jernsulfider forekommer. Undersøgelsen af den arealmæssige udbredelse af de potentielt svovlsure jorde blev derfor koncentreret omkring moser og ådale i det glacielle landskab samt på hele det marine forland. Dette areal udgør ca. 25% af Himmerlands samlede areal.

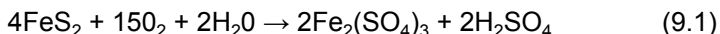
Jernsulfider og deres omsætning i jorden

Mængden af dannede jernsvovlforbindelser i jorden vil foruden iltningsforholdene især afhænge af mængden af tilgængeligt svovl, idet dette normalt vil være det af de to stoffer, der er i minimum. Svovl vil især findes i større mængder i jorde udviklet i marine aflejringer eller i brakvandsaflejringer såsom fx i stenalderhavets bund. I områder over den øvre marine grænse kan svovltilskud til dannelsen af jernsulfider i jorden tænkes at komme fra nedbrydning af organisk stof, gennem nedbørens sulfatindhold el-

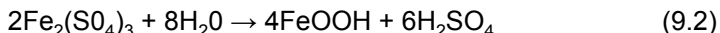
1er ved tilskud fra saltholdigt grundvand.

I den aerobe zone i jorden vil sulfiderne være ustabile, og svovlet findes i sulfatform, såfremt det ikke er organisk bundet. Sulfater vil under danske klimaforhold udvaskes fra den aerobe zone på grund af nedbørsoverskud og gennemsivning til grundvandet i dele af året. Jernet vil i disse øvre jordlag findes som ferrijern, og det vil være tilnærmelsesvis immobilt. Man kan derfor ikke forvente at finde ferrosulfider i den aerobe zone, med mindre jorden lige er drænet. I den anaerobe zone vil sulfationen virke som ilt-ningsmiddel og overgå til sulfidform. Jernet vil på grund af det lave redoxpotentiale findes i ferroform. Under disse forhold kan der dannes forskellige former for ferrosulfider såsom pyrit og markasit, der er ferrodissulfider og troilit, der er en ferrosulfid. Troilit, der normalt kun findes i ringe mængde i jorden sammenlignet med pyrit, dannes hovedsageligt under basiske eller neutrale betingelser. Pyrit, der er den altdominerende form i jorden, dannes både under alkaliske og sure betingelser, medens markasit kun dannes i surt miljø (Rasmussen 1961). Da pyrit klart er det dominerende mineral blandt ferrodissulfiderne i jorden, hvilket også røntgenundersøgelserne af enkelte prøver fra Himmerland stadfæster, vil pyrit og ferrodissulfid være at betragte som synonymmer i resten af dette afsnit.

Pyrit er særdeles stabilt under anaerobe forhold, men vil ved tilgang af ilt, fx ved dræning, blive ustabil. Pyrit iltes da til ferrisulfat og fri svovlsyre efter ligning 9.1.



Ved senere hydrolyse kan den dannede jernsulfat omdannes til ferrihydroxider og fri svovlsyre efter ligning 9.2.



Troilit omdannes også til enten ferro- eller ferrisulfat under tilgang af ilt, men på grund af det lavere svovlindhold set i forhold til jernindholdet dannes der ikke nævneværdige mængder svovlsyre.

Af ligning 9.1 og 9.2 ses, at der ved iltningen af pyrit dannes en del fri svovlsyre. Såfremt der dannes svovlsyre i tilstrækkelige mængder, kan denne gøre jorden meget sur, og pH-værdier under 3.0 og til tider endog under 2.0 kan forekomme. Dette har ikke alene landbrugsmæssige konsekvenser såsom nedsatte høstudbytter, men også miljømæssige, idet ikke alene ferroionen men også ferriionen er mobil ved så lave pH-værdier. Jernkoncentrationerne i drænvandet kan derfor blive særdeles høje med kraftigt okkerudslip i recipienten til følge.

Prøveudtagning

Feltundersøgelserne blev foretaget i 1980, og der blev i alt opboret 363 prøver fra omkring 275 profiler til bestemmelse af, hvorvidt den producerede svovlsyremængde ved en eventuel pyritforvitring overstiger jordens bufferkapacitet. Omkring 60 af profilerne er beliggende i moser og enge over

den øverste marine grænse, medens resten findes i områder, der har været transgrederede af stenalderhavet. Af de sidstnævnte profiler ligger omkring 90 i de tidligere havtransgrederede dele af tunneldalene, medens resten ca. 125 ligger på det egentlige marine forland. På højbundslokaliteterne, der udgør omkring 3/4 af Himmerlands areal, blev der ikke udtaget prøver til pyritbestemmelse, idet disse jorde hverken er marint prægede eller har et permanent højtstående iltfattigt grundvand. Sulfidophobning i nævneværdig grad skulle derfor være udelukket i disse jorde. Da undersøgelsen er særdeles ekstensiv med kun 275 profilstudier inden for et areal på omkring 60000 ha, er prøveudtagningen koncentreret omkring repræsentative åløb og marine forlande. Derved blev dele af lavbundsområderne relativt tæt karteret, medens andre dele kun sporadisk eller slet ikke er undersøgt.

På de enkelte lokaliteter blev der opboret prøver fra den øverste halvanden meter af jorden ved hjælp af et næsten lukket kammerbor, der i langt de fleste tilfælde kunne holde prøven i kammeret under optagningen. I de tilfælde, hvor sedimentet var meget umodent, anvendtes et "suction auger", der fastholdt prøven i en cylinder ved hjælp af vacuum. Ved boringer til over halvanden meters dybde, blev der fra halvanden meters dybde anvendt et halvcylinderbor, der kunne indeholde borekerner af en halv meters længde. Dybe boringer blev ofte foretaget, hvor den minerogene underbund eller den gamle overflade fra før littorinatrangressjonen lå dybt.

Profilerne blev på basis af de opborede prøver beskrevet direkte i felten med hensyn til materialesammensætning, farve, kalkindhold og grundvandsstand, ligesom specielle karakteristika som jarositudfældninger blev noteret. De prøver, der skulle undersøges for pyritindhold, blev hovedsageligt udtaget under grundvandsspejlet i varierende dybde, men normalt fra 120-160 cms dybde. Det formodes, at grundvandsspejlet sjældent falder til denne dybde, og et eventuelt pyritindhold skulle derfor ikke være iltet bort. I enkelte tilfælde blev der udtaget prøver fra større dybde, såfremt der fandtes lag med et formodet pyritindhold. I stærkt sandede lag under grundvandsspejlet kunne det være nødvendigt at udtage prøven i allerede 1 meters dybde, idet borehullet hele tiden slemmede til. I jorde med gytje eller tørvelag til omkring 1 meters dybde hvilende på minerogene lag blev der ofte udtaget prøver af både gytjen eller tørven og af mineraljorden.

Samme dag som prøveudtagningen var foretaget, blev prøvens pH målt ved direkte indstik med en glaselektrode. Prøver uden kalkindhold blev i fugtig tilstand pakket ned til senere analyse (iltning), medens de kalkholdige prøver blev tørret ved 105°C og gemt til senere røntgenanalyse.

Analyser

Formålet med analysen er at bestemme, om pyritindholdet i prøverne er så stort, at den producerede svovlsyremængde ved iltning af pyritten overstiger jordens basekapacitet, d.v.s. mængden af ombyttelige baser og et eventuelt kalkindhold. Overstiger svovlsyreproduktionen jordens basekapacitet, vil pH falde til under 3.0, der optræder fri svovlsyre i jordvæsken, og jorden kan betegnes som svovlsur. Pyritundersøgelsen blev udført efter to forskellige metoder, alt efter om prøverne var kalkfrie eller kalkholdige.

På de kalkfrie prøver blev pyritindholdet bestemt ved iltning, efter at prøverne var podet med nogle dråber surt drænvand fra en pyritholdig mose ved Glumsø på Sjælland. Dette vand formodes at indeholde visse bakterier, der ved neutral eller sur reaktion kan omdanne FeS_2 til jern(hydr)oxider og svovlsyre. Dannelsen af svovlsyren medfører et fald i jordens pH, hvilket kan måles potentiometrisk.

Procedure: Prøverne blev henstillet i et kælderrum ved temperaturen ca. 15°C og under fri tilgang af atmosfærisk luft. Der tilsattes to dråber vand fra førnævnte pyritholdige mose. pH i prøverne blev målt potentiometrisk efter henstand i 1 uge, 4 uger og 7 uger ved direkte indstik af glaselektroden i prøven. Prøvernes pH-værdier fremkom som et gennemsnit af mindst to målinger. Prøverne blev gennem hele analyseperioden holdt fugtige med destilleret vand fra en forstøver. Et fåtal prøver blev af tidsmæssige grunde kun udsat for iltning i en 14 dages periode.

Pyritindholdet i de kalkholdige prøver blev bestemt semikvantitativt ved røntgendiffraktometrisk analyse. Grunden til, at disse prøvers pyritindhold ikke blev bestemt ved iltning var, at pyrit kun langsomt omdannes ved høje pH-værdier som fx i kalkholdigt materiale (Rasmussen 1961 og Rasmussen & Willems 1981).

Ved røntgendiffraktometrisk bestemmelse benytter man sig af, at røntgenstråler kan reflekteres af gitterplanerne i krystallinske stoffer, herunder pyrit. Ved de foretagne undersøgelser benyttedes et Phillips goniometer forsynet med et Co-røntgenrør. Ved hjælp af et jernfilter, der absorberer $\text{CoK}\beta$ -strålingen, sikres, at bestemmelsen gennemføres med den praktisk talt monokromatiske $\text{CoK}\alpha$ -stråling. Som detektor blev anvendt en proportionaltæller. Med den anvendte røntgenstråling fås de største refleksioner fra pyrit ved følgende vinkler (2θ) = 38.6, 43.4 og 66.6 grader. I enkelte tilfælde blev der testet for markasit ved måling i området omkring 61 grader.

Prøverne blev forbehandlet ved at blive stødt og derefter sigtet gennem en sigte med maskevidden 2 mm. Derefter blev der udtaget ca. 2 g jord, der overførtes til en agatmørtel, hvor den knustes grundigt. Derefter blev prøven lagt i en holder, der placeredes i goniometret, hvorefter der blev scannet over intervallerne 37-40 grader, 42-44.5 grader og 65-67.5 grader. Prøvematerialet blev delt op i to kategorier nemlig sandprøver og gytje-/klægprøver, og der blev for hver af disse lavet standarder med pyritindhold på 0.5%, 2% og 4%. Arealerne under toppene ved 43.4 og 66.6 grader blev for de undersøgte prøver sammenlignet med standardprøvernes, og det omtrentlige pyritindhold blev beregnet.

Et af de mest kritiske punkter ved den ovennævnte procedure er knusningen af prøven, idet jo mere effektivt prøven er pulveriseret, jo mere pålidelige bliver resultaterne. Rasmussen (1961) anbefaler derfor, at prøverne knuses 10 til 20 gange i en mørtel under tilsætning af æter, før pyritindholdet bestemmes. Denne procedure blev fulgt i et par tilfælde for at vurdere usikkerheden ved ovennævnte fremgangsmåde uden tilsætning af æter, og det blev på basis af disse resultater vurderet, at til udskillelse af sulfidholdige jorde var den anvendte fremgangsmåde tilfredsstillende.

Diskussion af resultater

I tabel 30 og 31 ses resultaterne for nogle af de undersøgte prøver. Tabel 30 viser, at de tre første prøver slet ikke eller kun i meget ringe mængde indeholder pyrit, idet der kun i den tredje prøve registreres et lille fald i pH. Den fjerde prøve indeholder noget pyrit, men ikke mere end at den producerede svovlsyre kan neutraliseres af jordens baser. De sidste tre prøver indeholder derimod så store pyritmængder, at jordens basekapacitet ikke er stor nok til at neutralisere den producerede svovlsyre, og pH falder til under 3. De profiler, hvorfra disse prøver stammer, betegnes som potentielt svovlsure jorde.

Tabel 30: pH i kalkfrie prøver ved prøveudtagningen og efter iltning i 1, 4 og 7 uger.

pH in lime-free samples at sampling time and after oxidation in 1, 4 and 7 weeks.

materiale	dybde cm	pH	pH	pH	pH
		udtag. 1 uge	4 uger	7 uger	
sand	(160-165)	7.4	7.3	7.6	7.3
gytje	(225-255)	7.5	7.5	7.4	7.1
velomsat tørv	(140-160)	7.0	5.6	5.7	5.6
gytjeblandet tørv (90-110)		6.3	3.9	3.5	3.4
sand	(60-70)	6.6	1.8	1.9	1.9
gytje	(60-70)	4.2	1.8	2.1	2.1
velomsat tørv	(210-240)	7.2	3.1	2.1	2.0

Tabel 31: Indholdet af pyrit og kalk i nogle kalkholdige prøver fra det marine forland.

The content of pyrite and CaCO_3 in samples from the marine foreland.

materiale	dybde cm	CaCO_3	pyrit
		%	%
siltet ler	(140-160)	9.1	0.5
gytje	(170-200)	10.0	2.0
gytje	(195-225)	38.5	4.0
gytje	(200-230)	4.2	2.5
tørvebl.gytje (130-150)		0.2	2.5

Den mængde pyrit, der skal til for at gøre prøverne svovlsure, er ikke lige stor for alle prøver, idet jordprøvens CEC-værdi og basemætningsgraden ved prøveudtagningen er forskellig. Der kræves fx i visse tilfælde under 0.1% pyrit for at gøre en sandprøve svovlsur, medens der i visse tørve- og gytjeprøver kræves over 1% pyrit for at gøre disse svovlsure.

Tabel 31 viser kalkindholdet og pyritindholdet i 5 prøver. Det højeste pyritindhold, der blev fundet i de omkring 70 prøver, hvor pyritindholdet blev bestemt semikvantitativt ved røntgen, var 4%, medens kalkindholdet i visse prøver var oppe på omkring 90%. Da der kræves ca. 1.7% kalk til at neutralisere svovlsyren fra 1% pyrit, er det muligt ud fra tabel 31 at vurdere, om prøven vil blive svovlsur ved dræning. Antages jordens adsorberede baser at kunne neutralisere 0.5% pyrit, svarende til at jorden har omkring 17 mækv. ombyttelige baser/100 g jord, kan jorden antages at blive svovlsur ved dræning, såfremt $1.7 \times (\% \text{pyrit} - 0.5) > \% \text{CaCO}_3$. Da pyritindholdet kun er semikvantitativt bestemt, kan det ikke udelukkes, at enkelte prøver, der er blevet klassificeret som ikke potentielt svovlsure, alligevel bliver svovlsure. Det vil dog kun være et fåtal af prøver, og de vil ikke spille nogen rolle i den store sammenhæng.

Den regionale fordeling af de potentielt svovlsure jorde ses af fig. 43, hvor en potentiel svovlsur jord defineres som en jord, der har kalkfrie prøver, som ved iltning får pH-fald til under 3.0, eller som indeholder kalkholdige prøver, hvor $1.7 \times (\% \text{pyrit} - 0.5)$ er større end % kalk. På fig. 43 er de undersøgte lavbundsområder inddelt i fire klasser med hensyn til sandsynligheden for at træffe potentielt svovlsure lokaliteter. Klasseinddelingen er hovedsagelig sket på basis af en vurdering af analyseresultaterne fra flere lokaliteter i et område, idet en enkelt prøve ikke kan antages at være repræsentativ. Dette skyldes, at pyritindholdet i jorden varierer stærkt både horisontalt og vertikalt, d.v.s., at der få meter fra en potentielt svovlsur lokalitet kan findes en lokalitet, der er helt uden pyrit. I de tilfælde, hvor der i et område kun er udtaget en enkelt prøve, er området enten ikke klassificeret, eller også er området klassificeret på grundlag af resultater fra andre områder, der må antages at have samme genese. Dette var fx aktuelt for visse mindre moseområder i tilknytning til afvandingssystemerne. Klassificeringen bygger hovedsageligt på den procentvise andel af potentielt svovlsure lokaliteter, men i vurderingen indgår også mængden af lokaliteter med prøver, der har tydelige pH-fald uden dog at blive potentielt svovlsure, ligesom prøvernes teksturelle sammensætning, profilernes geografiske placering samt formodede kalkholdige lag i området inddrages i vurderingen. Der anvendes i fig. 43 følgende klasseinddeling, hvor den procentuelle angivelse af potentielt svovlsure lokaliteter kun er vejledende.

- I: Meget stor forekomst af potentielt svovlsure jorde.
Områder med over ca. 50% potentielt svovlsure lokaliteter.
- II: Stor forekomst af potentielt svovlsure jorde.
Områder med mellem ca. 20 og 50% potentielt svovlsure lokaliteter.

- III: Ringe forekomst af potentielt svovlsure jorde.
Områder, hvor potentielt svovlsure lokaliteter forekommer, men ikke udgør over ca. 20%.
- IV: Meget ringe forekomst af potentielt svovlsure jorde.
Områder, hvor potentielt svovlsure lokaliteter ikke er fundet eller skønnes at være uden betydning.

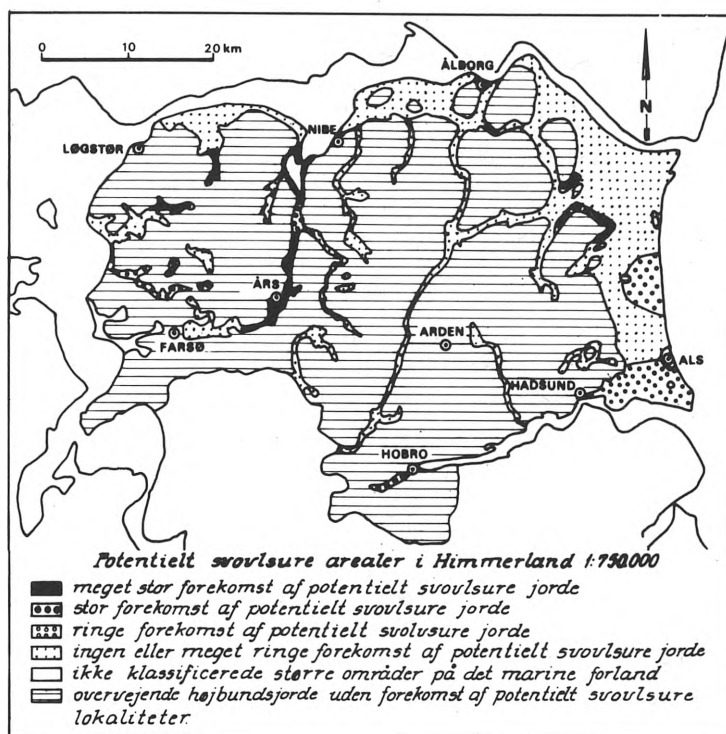


Fig. 43: Udbredelsen af potentielt svovlsure arealer i Himmerland.

The distribution of potentially sulphuric acid soils in Himmerland.

Fig. 43 viser, at områder med meget stor forekomst af potentielt svovlsure jorde findes i bunden af Nørrekær samt i Halkær Ådal syd for Vegger. Store dele af disse områder har tidligere været under marin påvirkning. De potentielt svovlsure prøver bestod i begge områder både af gytjer, tørv og sand. Områder med stor forekomst af potentielt svovlsure jorde findes omkring Herredsbækken, ved Tværbæk lige før udløbet i Trend A, omkring Halkær Bredning, på det østlige marine forland for foden af moræneknuden ved Kongerslev og i Onsild Ådal. Ved Tværbæk, omkring Halkær Bredning og i Onsild Ådal bestod de fleste potentielt svovlsure prøver af sand, d.v.s., at pyritindholdet i disse områder ikke nødvendigvis behøver at være særligt stort, me-

dens de potentielt svovlsure prøver i Herredsbæk og på det østlige marine forland havde varierende teksturel sammensætning og geologisk oprindelse. Områder med ringe forekomst af potentielt svovlsure jorde findes i dele af Trend Ådal, i dele af Sønderup Ådal samt dele af det østlige marine forland. Hovedparten af de potentielt svovlsure lokaliteter i denne klasse består teksturelt set af sand og indeholder sandsynligvis kun ringe mængder pyrit. De øvrige områder på fig. 43 indeholder kun meget få lokaliteter med så store mængder pyrit, at området vil blive svovlsurt ved dræning.

På basis af det indsamlede materiale kan der foretages nogle generelle betragtninger vedrørende materialetype, kalkindhold og pyritindhold. Prøverne er til dette formål inddelt efter tekstur og genetisk oprindelse i 4 grupper nemlig sand, finkornede mineralske aflejringer, tørv og gytjer. De hyppigst undersøgte prøver er tørveprøver, der udgør 31% af prøvematerialet, derefter følger sand med 27%, gytjer med 23% og finkornede mineralske aflejringer med 19%. Af tabel 32 ses fordelingen mellem kalkfrie potentielt svovlsure prøver, kalkfrie ikke potentielt svovlsure prøver og kalkholdige prøver i de fire materialegrupper.

Tabel 32: Den procentvise fordeling af potentielt svovlsure kalkfrie prøver, ikke potentielt svovlsure kalkfrie prøver og kalkholdige prøver i forskellige materialegrupper.

The percentage share of lime-free, potentially sulphuric acid samples, lime-free, non-potentially sulphuric acid samples, and lime-containing samples in different deposits.

	kalkfri		kalk-	total
	pot.	ikke pot.	holdig	
	svovlsur	svovlsur		
sandprøver	22%	68%	10%	100%
finkornede mineralske prøver	1%	61%	38%	100%
tørveprøver	6%	94%	0%	100%
gytjeprøver	6%	53%	41%	100%

Tabel 32 viser, at blandt sandprøverne er 22% potentielt svovlsure, hvilket er væsentlig højere end for de andre materialegrupper, der har 6% potentielt svovlsure prøver eller derunder. De materialegrupper, der procentuelt indeholder de fleste kalkholdige prøver, er helt klart gytjerne og de finkornede mineralske prøver. Indenfor disse to materialegrupper er omkring 40% kalkholdige. Kalken i disse prøver findes i overvejende grad som skaller, dog findes enkelte steder kalkgytjer uden makroskopiske skaller. Det

er bemærkelsesværdigt, at alle undersøgte tørveprøver har været kalkfrie. Den eneste kalkholdige tørv, der blev beskrevet i undersøgelsen stammer fra basistørven i Nørrekær ca. 7 meter under terrænoverfladen.

I tabel 33 ses den procentuelle fordeling af potentielt svovlsure kalkfrie prøver, ikke potentielt svovlsure kalkfrie prøver og kalkholdige prøver mellem de fire materialegrupper. Tabel 33 viser, at blandt de potentielt svovlsure kalkfrie prøver dominerer sandaflejringerne klart med 64%. Derefter følger tørvene med 18%, gytjerne med 15% og endelig de finkornede minerogene aflejringer med 3%. Grunden til, at sandet så ofte bliver svovlsurt (22% af alle sandprøver), er sandsynligvis som før omtalt den lave bufferkapacitet, der medfører, at selv ubetydelige mængder af pyrit kan producere den nødvendige svovlsyremængde, således at markante pH-fald indtræffer. En ting, der bekræfter ovenstående, er, at næsten alle de potentielt svovlsure sandprøver var grå ved prøveudtagningen, og at pyritindholdet var så lavt, at det ikke kunne erkendes i sandet. I de tre andre materialegrupper findes kun en ringe mængde prøver, der er potentielt svovlsure. Det er dog nok blandt disse, at prøver med højt pyritindhold skal findes, og som derfor vil volde de største og mest langvarige landbrugs- og miljømæssige problemer i forbindelse med dræning. Røntgenanalyserne af de kalkholdige prøver støtter denne antagelse, idet det er i de koprogene gytjer, at de største pyritmængder fandtes.

Tabel 33: Den procentvise fordeling af potentielt svovlsure kalkfrie prøver, ikke potentielt svovlsure kalkfrie prøver og kalkholdige prøver mellem de forskellige materialegrupper .

The distribution of different deposits which are:
1) lime-free potentially acid, 2) lime-free non potentially acid and 3) lime-containing.

	sand- prøver	finkornede mineralske prøver	tørve- prøver	gytje- prøver	total
potentielt svovlsure kalkfrie prøver	64%	3%	18%	15%	100%
ikke potentielt svovlsure kalkfrie prøver	26%	16%	41%	17%	100%
kalkholdige prøver	13%	38%	0%	49%	100%

Man må på basis af undersøgelsen konstatere, at der i visse områder af Himmerland findes pyritholdige områder, der ved fx dræning vil blive svovlsure. Der er dog generelt tale om relativt beskedne arealer knyttet til enkelte vandløbsstrækninger eller smalle områder på overgangen mellem morænelandskabet og det marine forland. Undersøgelsen har endvidere vist, at det især er sandaflejringerne under de organiske lag, der er potentielt svovlsure, hvilket formodentligt snarere skyldes disse prøvers lave bufferkapacitet end et højt pyritindhold.

KAPITEL 10

AFGRØDERS RODUDVIKLING I RELATION TIL JORDTYPERNE I HIMMERLAND

Den landbrugsmæssige udvikling gennem de sidste 100 år har gjort den plantetilgængelige vandmængde i rodzonen til en af de vigtigste faktorer ved bonitetsvurderinger. Dette skyldes hovedsageligt de forbedrede gødskningsmuligheder, der har nedsat risikoen for næringsstofmangel, ligesom den gennemførte dræning af markerne har gjort antallet af jorde med luftskifteproblemer lavere. For at kunne foretage en rimelig sikker beregning af den plantetilgængelige vandmængde i jordprofilen er det ikke nok kun at have kendskab til jordens vandretention, men det er også nødvendigt at have kendskab til afgrødernes rodudvikling.

Planternes rodsystem har to principielle funktioner, nemlig at fastholde planten til jorden og at forsyne planten med næringsstoffer og vand fra jordprofilen. Medens langt den overvejende del af næringsstofferne optages fra pløjelaget, synes vandoptagelsen at foregå i hele rodprofilens dybde bedømt ud fra udtørringen af jorden gennem vækstsæsonen. Da udtørningsgraden af jorden erfaringsmæssigt falder med stigende dybde ligesom rodintensiteten, er det rimeligt at antage en sammenhæng mellem den vandmængde, planten optager fra jorden og rodintensiteten i jordlagene. I mange vandmodeller, der inden for de sidste år er udviklet for den umættede zone i jorden, indgår derfor rodintensiteten sammen med jordens vandretention og hydrauliske ledningsevne som væsentlige parametre, når vandoptagelsen fra og vandbevægelsen i jorden skal beregnes. Det er derfor givet, at et kendskab til afgrødernes maksimale rodudvikling og jordens vandretention er en forudsætning for en rimelig nøjagtig beregning af den plantetilgængelige vandmængde i de forskellige jordtyper, der findes i Himmerland.

Formålet med rodundersøgelser på dyrket jord er, foruden at danne basis for en mere præcis beregning af den plantetilgængelige vandmængde i jorden, at få belyst samspillet mellem jordbundsfysiske og -kemiske karakteristika ved jordprofilerne og rodprofilens form. Her tænkes fx på teksturens, strukturens, volumenvægtens samt pH's indflydelse på rodudviklingen. Da resultaterne af undersøgelsen skulle være dækkende for de mest almindelige afgrøder på den danske landbrugsjord, er der udtaget prøver til bestemmelse af rodprofiler hos græs, byg, havre, hvede og rug samt kartofler. Der blev i alt udtaget prøver fra omkring 60 markprofiler til analyse, og da det var undersøgelsens formål at bestemme den maksimale rodudvikling, blev prøveudtagningen foretaget efter skridning, hvor noget nær den maksimale rodudvikling hos kornafgrøder er forventelig.

Generelle betragtninger over planternes rodudvikling i relation til jordbundsforholdene

Afgrødernes rodudvikling i forskellige jordtyper er en funktion af mange faktorer, hvoraf nogle direkte kan relateres til jordprofilens fysiske og kemiske tilstand, medens andre faktorer kan relateres til ydre påvirkninger såsom klimaet gennem vækstsæsonen, dyrkningsmæssige faktorer og genetiske egenskaber hos afgrøden og dennes almene tilstand. Der er fx ingen tvivl om, at lange tørkeperioder eller perioder med stort nedbørsoverskud kan have en mærkbar indflydelse på rodudviklingen, fx har man erfaring for, at rødderne ofte ikke går dybt ned i lerholdige jorde, såfremt foråret har været vådt, hvilket sandsynligvis må tilskrives dårligt luftskifte i profilerne. Afgrøder, der er udsat for et stærkt vandstress og derfor ikke er oppe på fuld produktion, vil formodentlig også have eller få en svagere rodudvikling end tilsvarende afgrøder, der ikke lider af vandstress. Af dyrkningsmæssige faktorer, der kan tænkes at have indflydelse på rodudviklingen, kan blandt andet nævnes gødskning, idet planter med næringstofmangel formodentligt ikke udvikler den optimale rodprofil. Et andet dyrkningsmæssigt aspekt, der på græsmarker formodentligt har stor indflydelse på rodprofilen, er, om græsmarken anvendes til afgræsning, høslet eller frøgræs. Man må i denne forbindelse antage, at afgræsningsmarkerne har en ringere roddybde end høsletmarkerne og frøgræsmarkerne, idet græsset på de førstnævnte marker normalt er kortere. Rodprofilens form og dybde kan variere stærkt mellem de forskellige afgrøder, fx er roddybden noget større for vinterhvede end for sommerbyg, ligesom den inden for græsserne er dobbelt så dyb for rødsvingel som for timothe (Vetter og Scharafat 1964). Endelig skal nævnes, at plantens almene tilstand spiller en væsentlig rolle for rodudviklingen, og at plantesygdomme kan have en meget stor indflydelse på rodudviklingen.

For at minimere indflydelsen af nogle af de ovennævnte faktorer, der kan hæmme rodudviklingen, blev der ved udvælgelsen af egnede lokaliteter til prøveudtagning lagt vægt på, at afgrøden stod rimeligt godt, og at den ikke havde udprægede mangelsymptomer.

Der vil ofte inden for de øverste par meter af jordskorpen findes forskellige jordbundsfysiske eller -kemiske forhold, der enten svækker eller helt stopper rodudviklingen. Disse forhold kan enten være af geogenetisk oprindelse som fx teksturen, eller også kan de være af pedogenetisk oprindelse, som fx udviklingen af en stærkt forsuret underjord eller dannelsen af placciske horisonter. Der vil i det efterfølgende blive en kort diskussion af nogle af de væsentlige faktorer ved jordprofilerne, der vil have indflydelse på afgrødernes rodudvikling.

Teksturens indflydelse på rodudviklingen

Jordens teksturelle sammensætning spiller en stor rolle i forbindelse med rodudviklingen. Man finder ofte en svagere rodudvikling i profiler, der har en stærk sandet tekstur i hele profilen set i forhold til profiler med en mere blandet sammensætning af ler, silt og sand (Wiklert 1962; Madsen 1979). I profiler med varierende tekstur ned gennem profilen kan selv relativt tynde lag af rent grus, sand eller ler virke rodstandsende, så den samlede plantetilgængelige vandmængde i profilen bliver mindre end tekstu-

ren i øvrigt betinger. En sammenblanding af horisonterne ved dybdepløjning kan i disse tilfælde virke befordrende for rodudviklingen (Andersen 1962).

Teksturens direkte indflydelse på rodudviklingen kan ofte sættes i relation til den porestørrelsesfordeling, teksturen betinger, til den lethed med hvilken kornene lader sig flytte fra hinanden under rodnedtrængningen og til størrelsen af opkvældningen og skrumplingen af jorden, der kan medføre en sønderrivning af dele af rodnettet. Det sidste vil som oftest kun finde sted på meget lerrige ofte montmorillonitholdige jorde, og kun hvor der er en udpræget tørtid og regntid. Dette fænomen vil derfor især kunne iagttages i vertisols, og det vil relativt sjældent forekomme under danske forhold.

Det er fra flere sider forsøgt at relatere rodudviklingen til jordens tekstur. Olsen (1958) fandt fx ud fra en række dydbearbejdningforsøg, at 6% ler, 2% humus eller en kombination af disse ofte ville gøre sand rodedende bedømt ud fra udbytterne. Heinonen (1979) angiver, at rodvæksten muligvis afhænger af jordens tekstur, således at rodudviklingen hæmmes i jorde, hvor under 15% af materialet er finere end 0.1 mm. Heick (1972) fandt ud fra karforsøg, at der vil forekomme en rimelig rodvækst, såfremt indholdet af ler + humus overstiger 4 til 5%. Grunden til, at der kræves et vist ler- eller humusindhold for at få en god og dyb rodudvikling, er sandsynligvis, at i rene sandlag låser sandkornene hinanden fast, således at rødderne ikke kan skubbe dem til side, hvorimod et vist ler- eller humusindhold vil virke som "smøremiddel".

Indirekte kan tekturen have betydning for rodudviklingen gennem indflydelsen på lagenes plantetilgængelige vandindhold og næringsstofindhold samt gennem indflydelsen på luftskiftet i profilen. Når rødderne fx ned i sand- eller gruslag, er det tænkeligt, at rodudviklingen stopper, idet disse lag ikke indeholder nævneværdige mængder af plantetilgængeligt vand. D.v.s., at disse lag virker som tørre barrierer, igennem hvilke rødderne ikke kan trænge (Heinonen 1979). Det er endvidere meget væsentligt, at luftskiftet i jorden foregår uhindret, så den ved rodrespirationen udviklede CO_2 -mængde hurtigt kan diffundere op i atmosfæren, og den ved rodrespirationen forbrugte iltmængde kan erstattes. Geisler (1973) fandt fx ved forsøg med byg, bønner og majs, at rodtilvæksten og tørstofproduktionen for byg faldt kraftigt, når O_2 -koncentrationen i jordluften kom under 6%, og at rodtilvækst og tørstofproduktion udviste et maksimum ved en CO_2 -koncentration i jorden på 1-2%. For at sikre en rimelig O_2 - og CO_2 -koncentration i rodzonen, må jorden indeholde så mange grovporer, at O_2 - og CO_2 -diffusionen kan foregå gennem hele profilen i luftfyldte porer, idet diffusionen går ca. 10000 gange så langsomt i vand som i luft. Wesseling (1962) samlede resultaterne fra flere undersøgelser over luftvolumenet i jorden set i forhold til diffusionskoefficienten og fastslog, at diffusionskoefficienten var tilnærmelsesvis nul ved luftvolumener mindre end 10%. I sandede jorde uden højtstående grundvandsspejl vil der altid være et stort volumen grovporer, der sikrer et uhindret luftskifte, medens der i lerrige jorde selv uden højtstående grundvand ofte vil findes partier i de dybereliggende horisonter, hvor der ikke er et optimalt luftskifte. Dette kan bl.a. erkendes gennem et veludviklet pseudogleypræg.

Strukturens og volumenvægtens indflydelse på rodudviklingen

Volumenvægten, der er et mål for horisontens tæthed, har stor indflydelse på rodudviklingen, idet modstanden mod rodnedtrængningen vokser med stigen i volumenvægt. Bertrand & Kohnke (1957) fandt således, at majsrødder ikke trængte gennem jordlag med en volumenvægt på 1.5 g/cm^3 , medens de groede normalt på jord med volumenvægt på 1.2 g/cm^3 . Tackett og Pearson (1964) fandt ud fra laboratorieforsøg på ikke naturlig lejret jord en sammenhæng mellem kimplanter's rodudvikling og dyrkningsmediets volumenvægt. Deres resultater viste, at ved volumenvægte over 1.5 g/cm^3 jord begyndte rodudviklingen at blive hæmmet, og ved volumenvægte over 1.7 g/cm^3 jord var rodudviklingen nærmest gået i stå. Også Schuurman (1966) viste gennem karforsøg med havre, at rodudviklingen blev svagere med forøget volumenvægt, dog uden at angive den præcise volumenvægt. Volumenvægtens indflydelse på rodudviklingen er indirekte påvist af Stokholm (1977), der ved forsøg med undergrundsløsning på otte danske lerholdige jorde fandt, at der var en positiv korrelation mellem den relative udbytteforøgelse ved at løsne jorden og volumenvægten af den uløsnede jord. Taylor & Burnett (1964), Gerald et al (1972) og Grimes et al (1972) relaterede rodudviklingen til "soil strength" og fandt, at høje "soil strengths" virkede hæmmende på rodudviklingen. Således angiver de to førstnævnte, at rodudviklingen stopper fuldstændigt ved "soil strengths" over 30 bar, men allerede ved "soil strengths" omkring 10 bar vil rodudviklingen blive hæmmet.

Det er ikke muligt ud fra de ovennævnte arbejder at opgive en bestemt volumenvægt, ved hvilken rodudviklingen hæmmes, men man kan dog generelt antage, at volumenvægte over 1.5 g/cm^3 hæmmer rodudviklingen, og at denne forstærkes med stigende volumenvægt alt andet lige.

Feltundersøgelser over rodudviklingen hos byg på forskellige jordtyper (Madsen 1979) viser, at der i jorde med naturlig lejring kan forekomme rodudvikling i lag med volumenvægte på over 1.8 g/cm^3 . Dette skyldes uden tvivl jordens struktur, hvor tentionssprækkerne mellem aggregaterne samt tidligere rod- og ormegange virker mere rodledende end de indre dele af aggregaterne (Kohnlein 1955; Kohnlein & Bergt 1971). Strukturens indflydelse på rodudviklingen blev fx visuelt konstateret i en pløjesål med en volumenvægt på over 1.8 g/cm^3 (Madsen 1979), idet alle rødderne var koncentreret i planerne mellem aggregaterne, hvor der i visse tilfælde var udviklet rod-måtter, medens de indre dele af aggregaterne var frie for rødder. Da hovedparten af de danske jorde udviklet i leret till har volumenvægte på over 1.7 g/cm^3 fra omkring en meters dybde, spiller strukturen en stor rolle for rodnedtrængningen i disse jordtyper. Madsen fandt i samme undersøgelse, at den ofte veludviklede pladestruktur i cementerede aler kan virke rodledende, således blev der fundet mange rødder mellem de pladeformede stærkt cementerede strukturelementer. Foruden at fremme rodnedtrængningen direkte gennem dannelsen af svaghedszoner i jordprofilen fremmer strukturen indirekte rodnedtrængningen ved at danne et kontinuert grovporesystem, der kan sikre et hurtigt og effektivt luftskifte inden for hele rodzonen, og som hurtigt kan lede et eventuelt nedbørsoverskud ned under rodzonen. Findes der i jorden et kontinuert grovporesystem, kan der forekomme rodnedtrængning i lag med noget under 10% luftfyldte porer, fx fandt Madsen (1979) rodudvikling i lerede Bt og C horisonter med kun 5% luftfyldte porer.

Cementerede lags og den faste bjergarts indflydelse på rodudviklingen

Findes den faste bjergart inden for den forventelige rodnedtrængningsdybde, vil denne have en stærk indflydelse på rodprofilens form, idet bjergarten som oftest vil virke rodstandsende. Der er dog undtagelser i de tilfælde, hvor den kemiske og fysiske forvitring af bjergarten er så fremskreden, at de øverste dele af bjergarten er spaltet op i fragmenter. Dette vil fx ofte være tilfældet i rendzinaer, hvilket vil blive behandlet senere i dette kapitel.

Den pedologiske udvikling af jordene i Danmark kan i visse tilfælde lede til dannelsen af cementerede lag som aler eller placiske horisonter. Det er ikke altid sikkert, at aldannelsen fører til en mindre dybtgående rodprofil, end den man finder på tilsvarende sandjorde uden al, men rodprofilens form vil ofte være en anden. På ikke podzolerede grovsandede jorde vil rodintensiteten normalt falde kontinuert med dybden, indtil den ender i ca. 60 cms dybde, hvorimod der i podzol jordene ofte vil findes et lokalt minimum for rodintensiteten i A2 med et lokalt maksimum derunder i humusalen. Dette skyldes det højere humusindhold i B2h set i forhold til A2. I den cementerede Bs horisont under humusalen kan der ofte forekomme en vis rodudvikling, såfremt der er udviklet en moderat til stærk struktur. Rødderne vil i dette tilfælde ofte ligge som rodmatte mellem aggregaterne. Placiske horisonter virker i modsætning til alerne fuldstændig rodstandsende og til dels vandstandsende, og ligger den placiske horisont højt oppe i profilen, kan den derfor have stor indflydelse på den plantetilgængelige vandmængde. Madsen (1980b) fandt på Tylstrup Forsøgsstation svagt udviklede placiske horisonter, der brat stoppede rodnedtrængningen i omkring 70 cms dybde. I jordene uden placiske horisonter blev rodedybden bestemt til over 120 cm. Placiske horisonter findes næsten udelukkende på sandede jorde og oftest i forbindelse med podzolerede jorde.

Rodudviklingen set i forhold til pH i underjorden

I meget basiske eller meget sure jorde kan der ofte opstå mangel- eller forgiftningssymptomer på planterne p.g.a. for små eller for store koncentrationer af visse grundstoffer. Det er fx kendt, at planter på sandjorde med høje pH-værdier kan fremvise mangelsymptomer på mangan, og at aluminiumen begynder at optræde i forgiftende mængder i jorden ved pH-værdier under 4.5, hvilket svarer til pH(CaCl₂) under 4.0. Aluminiums indflydelse på rodudviklingen er bl.a. undersøgt af Foy et al (1964, 1967, 1969, 1972, 1974) og Armiger et al (1968), der bl.a. fandt, at rodudviklingen hos forskellige afgrøder blev stærkt hæmmet eller gik direkte i stå ved høje aluminiumkoncentrationer i jordvæsken, og at følgen var et nedsat udbytte. Det blev endvidere konstateret, at ikke alle afgrødesorter var lige tolerante med hensyn til aluminium i jordvæsken.

Medens det er muligt relativt let at styre pH-forholdene i pløjelaget gennem gødskning og kalkning, er det noget vanskeligere at styre og eventuelt ændre pH-forholdene i de dybereliggende dele af jordprofilen. Dette er især udtalt på lerjordene på grund af deres store bufferkapacitet, medens de dybereliggende dele af sandjordsprofilerne nemmere bliver påvirket af en

kalkning. De fleste danske jorde udviklet på leret till har igennem flere tusind år været udsat for en stærk udvaskning, således at de kalkholdige lag først findes et stykke nede i profilen. Har udvaskningen været særdeles kraftig, og har kalkindholdet i udgangsmaterialet været lavt, vil de øverste meter af jorden blive stærkt forsuret med $\text{pH}(\text{CaCl}_2)$ under 4, medens den kalkholdige till vil befinde sig flere meter under terræn. Opdyrkes denne jord, vil pH i de øverste 30 cm af jorden blive hævet væsentligt gennem kalkning, medens jordlagene fra omkring en halv til 1 meters dybde stadig vil være stærkt forsurede, fig. 44, og de kan derved give anledning til fx aluminiumforgiftninger med en ikke optimal udviklet rodprofil til følge. Sammenhængen mellem en stærkt forsuret underjord og relativt svagt udviklede rodprofiler i Danmark er bl.a. beskrevet af Olsen (1958), Madsen (1979) og Jessen (1982).

Jorde udviklet på leret till med stærkt forsurede underjorde er vidt udbredte på bakkeøerne og på de yngre moræner nær hovedstilstandslinien, medens de er sjældent forekommende på Sjælland, hvor den kalkholdige till ofte findes i ringe dybde.

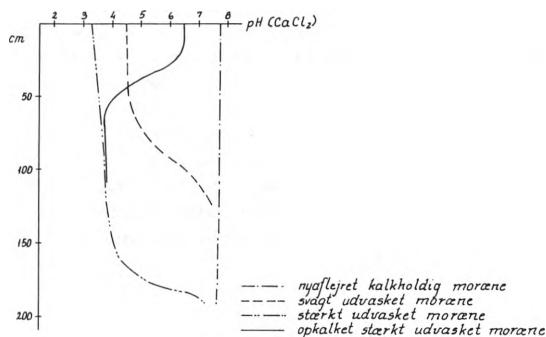


Fig. 44: pH-forholdene før og efter opdyrkning af en stærkt forsuret jord udviklet på leret till.

pH-values before and after cultivation of a strongly leached soil developed in clayey till.

Det skal endeligt bemærkes vedrørende de jordbundsfysiske og -kemiske faktors indflydelse på rodudviklingen, at den effekt, med hvilken disse indvirker på afgrødernes rodudvikling, i stor udstrækning er afhængig af afgrødetypen, og endog inden for samme afgrøde kan sorterne reagere forskelligt på de naturgivne forudsætninger.

De mest anvendte metoder til bestemmelse af rodprofiler

Der er i tidens løb udviklet mange forskellige metoder til bestemmelse af rodprofilen hos træer, buske og afgrøder, og der vil i det efterfølgende blive en kort omtale af de mest almindelige metoder, inden beskrivelsen af den i det aktuelle tilfælde anvendte metode.

Udgravningsmetoden:

Denne metode er en af de ældst anvendte inden for studier af rodprofiler, og den var allerede meget benyttet i forrige århundrede. Metoden, der bl.a. er nøje beskrevet af Weaver (1926), går i al enkelhed ud på at grave hele rodsystemet frit og notere den rumlige placering af rødderne. Hullet skal i denne forbindelse graves så stort, at hele rodprofilen ligger inden for hullet, så de lateraltgående rødder ikke skæres over. Man starter med at grave en rende lige udenfor rodprofilens maksimale horisontale udstrækning, og derefter fjernes jorden ind i rodprofilen successivt med forskellige former for værktøj, som fx skalpeller og nåle, således at rødderne bliver blotlagte. Røddernes rumlige placering og størrelse noteres. Metoden er anvendelig på de fleste jordtyper, og den er en af de bedst egnede på tørt sand eller stenet jord. Derimod kan metoden give problemer på udtørrede lerholdige jorde, hvor rødderne sidder fast i jordklumperne.

Metoden giver et godt indblik i rodprofilens form og placering, og den er fx særdeles anvendelig ved studier af rodudviklingen i sprækker og rodgange. Derimod er metoden meget tidskrævende, hvorfor den ikke er anvendelig til rutineundersøgelser eller rodundersøgelser i stort antal, som de der blev foretaget i Himmerland. Preston (1942) fandt fx, at det tog en mand fem uger at udgrave og opmåle et rodsystem under en 15 år gammel Contorta fyr. Der skal endvidere flyttes store jordmængder ved disse undersøgelser, fx angiver Rogers & Booth (1960), at der skulle flyttes 60 tons jord for at blotlægge en rodprofil hos et frugttræ.

Da metoden er særdeles tidskrævende er der i tidens løb fremkommet en del modifikationer af metoden. Stoeckeler & Kluender (1938) og Tharp & Muller (1940) anvendte fx vand til at spule jorden fra rødderne. Denne metode er også anvendt af Holstener-Jørgensen (1959) til undersøgelse af rodsystemet hos eg, bøg og rødgran på grundvandspåvirket leret till. van Breda (1937) brugte sammen med almindelige skrabere trykluft til at fjerne jorden fra de finere rødder. En metode der er effektiv i næsten alle jordtyper, såfremt de ikke er våde. Mange har endvidere udgravet rodprofilerne horisontalt, en teknik der især er anvendelig ved studier af rodprofiler hos træer. Endelig kan nævnes, at man ofte af tidsmæssige grunde kun udgraver dele af rodprofilen, fx et snit lige gennem rodprofilen (Kostler et al 1968).

Monolithmetoden:

Ved monolithmetoden graves en profil til under roddeybde, og profilvæggen glattes af. Jordprøver kan derefter skæres ud af profilvæggen ved hjælp af knive eller skærpede metalplader. Ved studier af markafgrøder udtages der ofte prøver af lag på 10 cms tykkelse, og en almindelig prøvestørrelse vil ligge på mellem 1000 og 5000 cm³ (Burton 1943, Paavilainen 1961 og Ehlers 1975). Den skitserede udtagningsmetode er velegnet på de fleste jorde, såfremt et veldefineret volumen ikke er en nødvendighed. Ønskes et veldefineret volumen kan prøverne fx udtages i ringe, der slås vertikalt ned i jorden. Det er dog ikke altid muligt på stærkt udtørrede lerholdige jorde eller på stenede sedimenter at udtage prøver med et veldefineret volumen ved denne metode. De mest anvendte ringstørrelser til prøveudtagning ligger på mellem 5 - 30 cm i diameter og op til 30 cm i højden (Böhm 1979). Efter prøveudtagning kan rødderne separeres fra jorden ved vaskning.

Da prøveudtagningsproceduren og vaskningen (se analyser) er relativ enkel og hurtig, og da det samtidig er muligt at foretage en forsvarlig profilbeskrivelse og udtage supplerende prøver, er monolithmetoden særdeles velegnet til rutineundersøgelser med bestemmelse af mange rodprofiler. Metoden giver derimod normalt ingen information om den rumlige fordeling af rødderne inden for prøven.

I visse tilfælde udtages hele monolither til over en meters dybde i kasser (Pavlychenko 1937). Ved separering af jord og rødder ved vaskning er det muligt ved en speciel teknik at få hele rodprofilen fra fx en kornplante til at stå frem. En anden metode til at få rodprofilen til at fremstå to-dimensionalt er at slå en plade med søm eller nåle ind i profilvæggen og derefter ved vaskning at fjerne jorden fra rødderne, der bliver siddende tilbage omkring sømmene (Schuurman & Goedewagen 1965).

Boremetoden :

En af de hurtigste prøveudtagningsmetoder til bestemmelse af rodprofiler er opboring af rodprøver. Til dette anvendes ofte håndbor, der enten skal vrides eller hænges ned i jorden (Albrecht et al 1953 og Schuurman & Goedewagen 1965). Visse håndbor er konstrueret med et lille prøveudtagningskammer for enden af en stang, medens andre er dobbeltslidse rør, der kan skilles på langs i to dele. Med sidstnævnte boretype kan der udtages jordsøjler på over 1 meters længde, der efter at boret er skilt ad, kan sektioneres i delprøver. Det kan ved nedbankningen være nødvendigt at anvende en lufthammer eller andet slagværktøj. Det er ofte tanken ved konstruktionen af disse bor, at de skal kunne udtage intakte jordprøver, således at volumenvægten kan bestemmes. Madsen (1979) fandt dog ved nedbankning af et dobbeltslidset bor på over 1 meters længde, at dette ikke altid lod sig gøre på danske jorde. Det var især problematisk på stenet eller stærkt udtørret lerholdig jord, men også på andre jordtyper kunne der opstå problemer, idet vibrationerne i boret under nedbankningen ødelagde jordprøven. Det sidste kan muligvis undgås ved at anvende en maskine, der trykker boret ned i stedet for at hamre det ned. Diameteren på prøveudtagningskammeret skal normalt ligge på omkring 7 cm eller derover, idet typer med mindre diameter antages at ødelægge for meget af den naturlige lejring (Schuurman & Goedewagen 1965) .

Fordelene ved anvendelse af opborede prøver til rodbestemmelse er helt klart tidsmæssige, idet en mand kan udtage prøver fra flere rodprofiler i løbet af en dag. Det er endvidere muligt på basis af jordprøverne at udføre en grov profilbeskrivelse. Den vil dog ofte ikke være tilstrækkelig til tolkning af rodprofilens form, idet det fx ikke er muligt at bestemme jordens struktur tilfredsstillende på opborede prøver. Det er endvidere kun muligt ved anvendelse af en speciel boreteknik at få udtaget prøver til vandretentionsbestemmelse, hvilket ofte vil være ønskeligt i forbindelse med edaphologiske studier. Da de udtagne jordprøver ofte vil være små, kan det være nødvendigt med flere prøver fra samme horisont. Det kan derfor også være nødvendigt at opbore supplerende prøver, såfremt andre analyser som fx tekstur, humus og CEC ønskes bestemt. Ud fra det foranstående må man konkludere, at profilgravning er at foretrække, såfremt der ønskes foretaget et indgående studium af samspillet mellem jordens pedologiske udvikling og afgrødernes rodudvikling.

Som før omtalt bestemmes rodmængden i prøverne som oftest efter separation af rødder og jord ved vaskning. Vetter & Scharafat (1964) og Vetter & Fruchtenicht (1969) anvendte dog en anden og langt hurtigere teknik ved deres studier af rodudviklingen hos kulturplanter i Nordtyskland, idet de brækkede boreprøverne midt over og talte rødderne i brudzonen. Ved samtidig at måle roddiameteren beregnede de rodvolumenet og arealet af rodoverfladerne. Ved denne metode er det ikke nødvendigt at opbore supplerende prøver til tekstur, humus, pH og andre analyser, idet borekernen efter rodopgørelsen kan anvendes til dette.

Profilvægsmetoden :

Ved profilvægsmetoden undersøges rodfordelingen todimensionalt. Der graves ved denne metode først en profil, der er op til over en meter bred og med en dybde, der går et stykke under den maksimale roddeybde. Profilvægsgens orientering i forhold til planterne er relativ underordnet ved studier af ikke rækkeafgrøder som fx græs, medens profilvæggen bør placeres vinkelret på rækkerne ved studier af rækkeafgrøder som kartofler og roer. Profilvæggen rettes til, så den er plan og helt lodret. Rødder, der hænger ud af profilvæggen, klippes af, hvorimod store sten i profilvæggen ikke fjernes. Derefter fjernes jorden fra de yderste ca. 5 mm af profilvæggen, således at kun rødderne fra dette område bliver tilbage.

Til dette arbejde anvendes forskellige former for skrabere, trykluft eller vand. Røddernes placering på profilvæggen samt deres størrelse noteres derefter med forskellige priksignaturer på fx et millimeterpapir. Der anvendes normalt et gridnet fastspændt på profilvæggen ved fastlæggelsen af røddernes position. Böhm (1976) benyttede ikke alene denne metode til bestemmelse af rodfordelingen angivet ved antal rødder, men også til bestemmelse af rodlængder, idet han målte længden af rødderne, der stak ud af profilvæggen, og sammenholdte dette med den fjernede jordmængde.

Fordelen ved denne metode er, at rodfordelingen hos planterne træder tydeligt frem todimensionalt, hvilket fx ikke er tilfældet ved boremetoden. Det er endvidere muligt, at foretage en detaljeret profilbeskrivelse, således at fx strukturens indflydelse på rodprofilens form kan blive beskrevet.

Glasvægsmetoden :

Ved denne metode studeres rodudviklingen gennem en glasplade i tæt kontakt med jordprofilen. For at få en god kontakt mellem jordprofilen og glaspladen, der er en forudsætning for rimelige resultater, sættes glaspladen nogle få cm fra profilvæggen. Hulrummet fyldes da op med tørret sigtet jord fra de respektive horisonter (Böhm 1979). I løbet af kort tid vil den tørrede jord antage samme vandindhold som resten af profilen. Ved anvendelse af glasvægsmetoden kan rodudviklingen følges gennem vækstsæsonen. Metoden er bl.a. anvendt af Rogers (1939) og Durrant et al (1973).

Bestemmelse af rodtætheder ud fra jordens vandindhold:

Denne metode bygger på den forudsætning, at der er en sammenhæng mellem den udsugede vandmængde i jorden og rodtætheden (Veihmeyer & Hendrickson 1938). For at denne forudsætning kan holde kræves, at der næsten ikke er nogen vandbevægelse mellem jordlagene, at al fordampning foregår som transpiration, og at eventuelle nedbørsmængder ikke forstyrrer vandforholdene i jorden.

Radioaktive sporstofmetoder :

Ved denne metode anvendes radioaktive sporelementer som ^{32}P , ^{86}Rb og i mindre grad ^{42}K til bestemmelse af rodintensiteten. Der findes i denne forbindelse to principielt forskellige metoder, nemlig placering af de radioaktive isotoper i jorden (Lott et al 1950), eller indføring af de radioaktive isotoper i selve planten (Racz 1964). I det første tilfælde er den mængde radioaktive isotoper, der er optaget i planten, et mål for rodprofilen, medens mængden af radioaktive isotoper i jorden i det andet tilfælde er et mål for rodprofilen.

I Danmark har Haahr (1968) og Haahr et al (1966) udført undersøgelser med radioaktive sporstoffer på forskellige afgrøder og på forskellige jordtyper .

Prøveudtagning og analyser

Prøveudtagning til rodbestemmelser fra omkring 60 profiler i Himmerland blev foretaget i perioden 1. til 25. juli 1980, d.v.s. lige efter skridning, hvor der kan forventes noget nær den maksimale rodudvikling hos korn og græs. Studier over bygs rodudvikling i 1979 i en leret till ved Jersie (Nielsen 1980) viser dog, at den samlede rodlængde inden for den øverste meter af jorden øges noget efter skridning. Således fandt Nielsen, at den samlede rodlængde inden for den øverste meter af jorden ved skridning kun var 85% af den samlede rodlængde inden for den øverste meter af jorden lige før høst. Böhm (1978) viste ud fra studier af vinterhvede, at rodintensiteten i den øverste del af jorden faldt efter skridning og henimod høst, medens der i denne periode var en rodtilvækst i de dybere lag. Studier af Madsen (1979) viser også, at der indtil høst stadig foregår ændringer i rodprofilens form, hvilket især kan have betydning ved beregningen af den plantetilgængelige vandmængde på de lerholdige jorde. Således fandt Madsen (1979), at rodintensiteten i visse tilfælde steg i de dybtliggende lag på de lerholdige jorde hen mod høst, medens rodintensiteten i de øverste lag havde en tendens til at falde. Disse ændringer medførte en forøgelse af den samlede plantetilgængelige vandmængde hen mod høst beregnet ud fra rodprofilens form. Det blev derfor besluttet i den aktuelle undersøgelse så vidt muligt at henlægge prøveudtagningen på de veldrænede lerholdige jorde til så sent et tidspunkt i undersøgelsesperioden som muligt.

Undersøgelseslokaliteterne, se fig. 45, blev udvalgt på basis af jordens tekstur og pedologiske udvikling, områdets geologi og afgrødetypen. Det blev tilstræbt at få repræsenteret så stort et spektrum af teksturelle sam-

mensætninger som muligt, d.v.s. fra stærkt sandede jorde til stærkt lerholdige jorde, ligesom det blev tilstræbt at få beskrevet rodprofiler hos både svagt og stærkt podzolerede sandjorde og i lerjorde med varierende grad af lernedslemning.

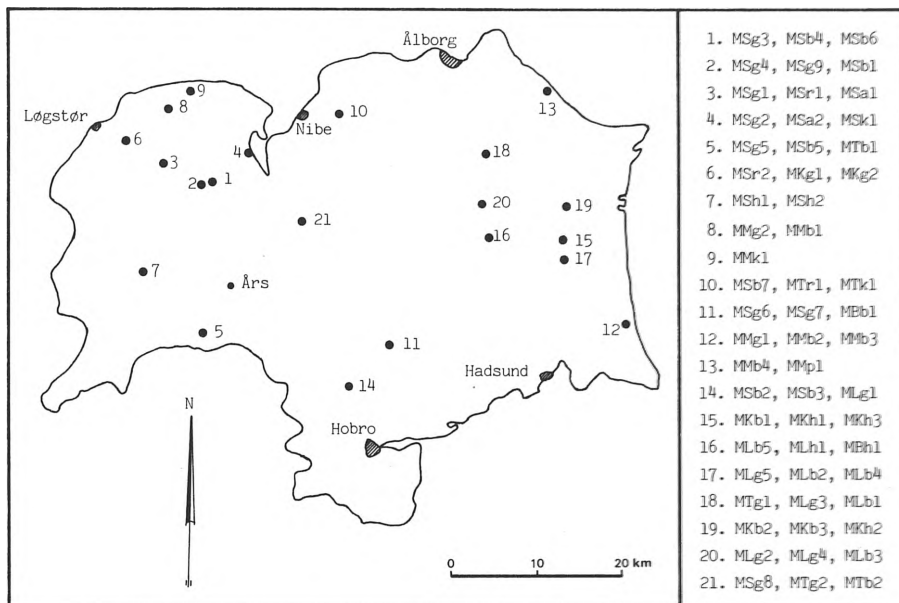


Fig. 45: Den geografiske beliggenhed af de profiler i hvilke afgrøders rodudvikling blev undersøgt.

Location of profiles investigated with regard to root development of crops.

Geomorfologisk set var det formålet at få undersøgt rodprofiler i jorde, der var udviklet på forskellige senglaciale, glacialle og marine aflejringer. Det var endvidere formålet med undersøgelsen at få klarlagt rodudviklingen hos de mest almindelige afgrøder som græs, byg, hvede, havre, rug og kartofler, hvorimod rodprofiler under roer ikke blev undersøgt. Dette skyldtes, at den maksimale rodedvikling hos roer formodentlig ikke var nået, da feltarbejdet blev udført. Da der kun blev undersøgt omkring 60 rodprofiler, var det nødvendigt at koncentrere undersøgelserne omkring enkelte af de ovenstående afgrøder og kun i begrænset omfang at inddrage de øvrige afgrøder. Da græs og byg klart var de dominerende afgrøder, blev profilgravningerne hovedsagelig koncentreret om disse to afgrøder, tabel 34. Hvor det var muligt, blev alderen og sortsmensætningen på græsmarkerne noteret, ligesom sortnavnene på de andre afgrøder blev noteret. Der blev på græsmarker ikke skelnet mellem afgræsningsmarker og høsletmarker.

Tabel 34: Antal rodprofiler undersøgt hos græs, byg, hvede, havre, rug, kartofler og raps.

Number of root profiles investigated under different crops.

	glaciale landskab	marine forland
græs	19	3
byg	18	4
hvede	7	0
havre	2	0
rug	3	0
kartofler	2	1
raps	0	1

På de enkelte lokaliteter blev der gravet en profil til under den formodede roddybde. Profilen blev fotograferet og beskrevet efter retningslinierne i kapitel 3. Der blev udtaget prøver i ikke naturlig lejring til jordbunds-kemiske og -fysiske analyser, og der blev udtaget naturligt lejrede jordprøver i ringe til bestemmelse af jordens vandretention. Derefter blev der udtaget jordprøver til rodbestemmelse samt til volumenvægt- og pH-bestemmelse. Til dette anvendtes en ring, der havde en diameter på 10,5 cm og en højde på 7 cm, hvilket giver et rumfang på 606 cm³. Prøverne blev udtaget ved at banke ringen vertikalt ned i jorden, hvorefter prøven blev skåret til, således at den passede til ringvolumenet. Prøven blev derefter presset ud af ringen og opbevaret i en plastikpose. Under græs og kornafgrøder blev prøverne udtaget i et i forhold til vegetationen tilfældigt valgt lodret snit, medens prøverne ved rækkeafgrøder som kartofler blev udtaget i et lodret snit midt mellem planterækken og midten mellem rækkerne. Profilverfladen blev ved studier af rodudviklingen hos kartofler defineret som bunden af renden mellem kartoffelrækkerne. På sandjorde, hvor roddybden normalt er ringe, blev der udtaget prøver til rodbestemmelse for hver 10 cm ned gennem profilen indtil omkring 1 meters dybde. På lerjordene, hvor roddybden kunne være op til 2 meter, blev der udtaget 10 til 12 prøver til rodbestemmelse fordelt over hele rodprofildybden. Der blev som oftest ikke udtaget prøver til rodbestemmelse fra de øverste 10 cm af profilen, idet det blev antaget, at der i dette lag altid ville være en stor rodintensitet. I enkelte tilfælde var det p.g.a. stenindholdet ikke muligt at udtage uforstyrrede prøver i ringe. Prøverne blev da udtaget ved at udskabe jord mellem stenene svarende til den jordmængde, der kunne være i ringen. Ved beregningen af rodindholdet i horisonten reduceres resultatet med den mængdeangivelse af sten, der findes i profilbeskrivelsen, og rodintensiteten pr. volumenenhed blev udregnet ved en volumenvægt vurderet på basis af andre volumenvægte målt i profilen.

Straks efter udtagningen blev prøverne tørret ved 105°C, hvorved nedbrydningen af rødderne hindredes. Ved andre lignende undersøgelser er der ofte anvendt lavere temperaturer ved tørringen, men de 105°C er valgt for på samme prøve at kunne bestemme volumenvægten.

Bestemmelse af rodindholdet

De mest almindelige måder at opgive rodindholdet på er som antallet af rødder, rodvægten, den samlede rodoverflade, rodvolumenet eller rodlængden pr. vægt- eller rumfangsenhed. I denne afhandling bestemmes det makroskopiske rodindhold som cm lyse rødder pr. cm jord. Ved lyse rødder forstås hvide eller svagt brune rødder, medens der ses bort fra de meget mørkebrune eller helt sorte rødder. Denne inddeling er relativ let at administrere på prøver fra dybere lag, men kan være problematisk for pløjelagene. Dette har dog ikke så stor betydning ved anvendelse af resultaterne i fx vandmodeller og til vurdering af den effektive roddybde, da dyrkningslagene altid vil have så stort et indhold af rødder, at disse effektivt kan tømme jordlagene for hele den plantetilgængelige vandmængde.

Den anvendte metode til bestemmelse af rodintensiteten i prøverne kan naturligt deles i to afsnit, nemlig i separering af rødder og jord og derefter i bestemmelse af den samlede rodlængde.

Separering af rødder og jord

Rødderne blev skilt fra jorden ved at opslemme prøven i vand, hvorved rødderne forbliver nær vandoverfladen, medens de mineralske partikler synker til bunds. Derefter dekanteres vandet med rødder over gennem en sigte, der tilbageholder rødderne, men lader vandet med de finere mineralske partikler passere. De anvendte maskevidder ligger normalt mellem 2 mm og 0.2 mm (Böhm 1979), alt efter hvor store rødder, der skal tælles. Til bestemmelse af rodprofiler under almindelige danske afgrøder skal der anvendes en relativ lille maskevidde fx 125 μ eller 177 μ (Madsen 1979). I det aktuelle tilfælde anvendes 125 μ . Ved separering af rødder fra lerjorde kan det være nødvendigt at dispergere prøven i en svag natriumpyrophosphatopløsning, idet rødderne ellers vil synke til bunds fastholdt i lerklumperne. Er lerjordene kalkholdige, eller er der tale om direkte kalksten, kan det være nødvendigt at behandle prøverne med saltsyre, da natriumpyrophosphaten i disse tilfælde ikke virker dispergerende. Denne teknik til adskillelse af rødder og jord er bl.a. benyttet af Steinberg (1973). Da det ved vaskning ikke er muligt at adskille rødder fra tørv, er der ikke undersøgt rodprofiler i histosoler eller histiske vådgleyer.

Der blev anvendt følgende procedure ved separeringen af rødder og jord: Prøverne anbringes dagen før analysens udførelse i et varmeskab ved 105°C, således at det hygroskopiske vand, prøven har suget til sig siden tørringen umiddelbart efter prøveudtagningen, kan fordampe. Prøverne vejes, hvorefter der udtages 10 g jord til pH(CaCl₂) bestemmelse. Der korrigeres for de 10 g jord ved udregningen af rodintensiteten. På basis af prøvens vægt før udtagning til pH-bestemmelse beregnes prøvens volumenvægt.

Sandprøver: Sandprøverne hældes over i en beholder på ca. 2 l. Der tilsættes derefter rigeligt med vand og opslemningen omrøres. Efter henstand i kort tid (ca. et minut) dekanteres vandet med rødder over gennem en sigte med maskevidde 125 μ . Denne tilbageholder rødderne samt eventuelle halmstykker og humusdele, men lader det fine mineralske materiale løbe igennem sammen med hovedparten af humusen. Proceduren gentages 3 til 10 gange, indtil alle rødder er dekanteret over på sigten. Rødderne spules fra sigten over i

et glas og er derefter klar til længdebestemmelse.

Lerholdige prøver: Da de lerholdige prøver ofte har en veludviklet struktur, hvor rødder har boret sig ind i aggregaterne, er det nødvendigt først at dispergere disse, inden dekanteringen udføres. Prøven bliver derfor, efter at de største aggregater er knust, overført til en beholder, der fyldes op med en ca. 0.001M natriumpyrophosphatopløsning. Prøven henstår derefter i ca. 10 min. i et vandbad med ultralyd og under jævnlig omrøring. Prøven dekanteres derefter ligesom sandjordsprøverne, dog anvendes destilleret vand for at undgå flokkulering. I specielle tilfælde anvendes natriumpyrophosphatopløsningen også ved anden og tredje dekantering.

Kalkholdige jorde: Prøver fra de kalkholdige lerjorde samt de rene kalkprøver behandles med en saltsyreopløsning, der derefter dekanteres over gennem sigten. Behandlingen behøver normalt kun at blive gentaget få gange på prøver bestående af leret till før destilleret vand kan anvendes, hvorimod de rene kalkjorde næsten udelukkende må behandles med saltsyre. I mange tilfælde lykkedes det ikke at få opløst kalken fuldstændigt, men residuallet var da små hårde klumper, i hvilke rodindrængning må anses for umulig. Rodtallene fra disse prøver skulle derfor være fuldt dækkende for det faktiske indhold. Rødderne på sigten spules ligesom for sandjordene over i et glas, og er derefter klar til længdebestemmelse.

Længdebestemmelse

Den samlede rodlængde blev bestemt på et gridnet ud fra antallet af skæringer mellem rødderne, der var spredt ud over nettet, og linierne i gridnettet. Princippet for denne metode blev først udviklet af Head (1966) og Newman (1966). Sidstnævnte opstillede ligning 10.1 for rodlængden bestemt ud fra antallet af skæringer mellem en tilfældig lagt linie og rødderne.

$$R = AN/2H \quad (10.1)$$

R = rodlængde
A = undersøgelsesareal
N = antal skæringer
H = liniens længde

Marsh & Marsh (1971) og Tennant (1975) videreudviklede metoden og sidstnævnte opstillede ligning 10.2, der sammenholder rodlængden med antal rodskæringer og gridenhedens størrelse.

$$R \text{ (cm)} = 11/14 * N * K \quad (10.2)$$

R = rodlængde
N = antal rodskæringer
K = kantlængden på gridnettet

I det aktuelle tilfælde blev der anvendt et plastikgridnet med enhedskantlængden 1.27 cm, hvilket betyder, at en skæring er lig med 1 cm rod. Dette blev testet og bekræftet af Madsen (1979), der faldt skæringerne mellem gridnettet og sytråde af forskellig længde. Man bør ved prøver med et ringe rodindhold anvende gridnet med ringere maskevidde end 1.27 cm, idet usikkerheden ved længdeberegningen herved mindskes. Dette er dog ikke blevet gjort ved denne undersøgelse, hvorfor usikkerheden relativt er størst ved prøver med ringe rodintensitet, d.v.s. omkring 0.01 cm rod/cm jord eller derunder. En anden faktor, der kan øge usikkerheden i længdebestemmelsen, er humus, der især på prøver fra podzoljordenes dyrkningslag kan være problematisk at få separeret fra rødderne.

Der blev anvendt følgende procedure ved længdebestemmelsen: Vandet med rødder blev hældt ud på gridnettet, og antallet af rodskæringer blev noteret. I de tilfælde, hvor rodmængden var stor, var det nødvendigt at tælle rødderne ad flere gange, idet for mange rødder på nettet kan gøre målingen usikker. Dette skyldes bl.a., at rødderne har en tendens til at klumpe sammen, og derfor ikke visuelt er til at skille ad. I visse pløjelag var rodmængden så stor, at rodlængden blev bestemt ud fra en delprøve. En repræsentativ delprøve blev udtaget ved at hælde blandingen af vand og rødder over i en beholder, der med en skillevæg kunne deles i to lige store rum. Efter at have homogeniseret prøven, sænkedes skillevæggen ned, og ud af et hul i bunden af det ene kammer tømtes dette for vand og rødder. Ved at sætte den målte rodlængde i relation til prøvevolumenet fås rodintensiteten i cm rod/cm³ jord.

Resultater og diskussion

I de efterfølgende tabeller er resultaterne vist for de fleste af de undersøgte profiler. Foruden rodintensiteten, pH(CaCl₂) og volumenvægten, der er undersøgt for lag på 10 cms tykkelse, er der også for udvalgte horisonter vist korntørrelsesfordelingen, mængden af organisk stof, kalkindholdet, dithionitcitratopløseligt jern og aluminium og ombyttelige baser.

Der gengives ingen egentlig profilbeskrivelse af de undersøgte jorde, men horisontfølgen og dybden af de forskellige horisonter kan læses ud af tabellerne, og profilerne er klassificeret efter det system, der er beskrevet i kapitel 4.

Ved diskussion af rodprofilerne inddeles rodintensiteterne ofte i følgende klasser :

mange rødder: over eller lig 1 cm rod/cm³ jord

få rødder: mellem 1 og 0.1 cm rod/cm³ jord

meget få rødder: under 0.1 cm rod/cm³ jord.

Ved den senere diskussion af roddybder anvendes endvidere ofte betegnelserne Z(1.0), Z(0.1) og Z(0.01). Z(1.0) angiver i denne forbindelse den samlede tykkelse af lag i profilen, der har rodintensiteter større eller lig 1

cm rod/cm³ jord, d.v.s. lag med mange rødder. Z (0.1) angiver den samlede tykkelse af lag i profilen med rodintensiteter større eller lig 0.1 cm rod/cm³ jord, d.v.s. lag med mange eller få rødder. Endelig angiver Z(0.01) den samlede tykkelse af lag i profilen med rodintensiteter større eller lig 0.01 cm rod/cm³ jord, d.v.s. lag med mange rødder, få rødder eller meget få rødder. Vurderet ud fra simuleret planteproduktion (Madsen 1979) vil lag med mange rødder kunne udtørres til et vandindhold svarende til pF4.2 inden visning. Lag med få rødder vil blive udtørret til et vandindhold svarende til lidt over pF3, medens lag med meget få rødder vil være udtørret til et vandindhold svarende til under pF3, når visning indtræder. Z(0.1) kan anses for at være et groft mål for den effektive roddebyde, jævnfør afsnittet om beregning af den effektive roddebyde ud fra simuleret planteproduktion, kapitel 11.

Gennemgangen af resultaterne er opbygget således, at resultaterne fra profilundersøgelserne i det glacielle landskab først bliver diskuteret efterfulgt af resultaterne fra det marine forland. Profilerne i det glacielle landskab er inddelt efter tekstur i 4 klasser, nemlig lerfattige jorde, lerholdige jorde, kalkjorde og blandingsjorde. De lerfattige jorde defineres som jorde med under 8% 1er inden for de øverste 70 cm af profilen, og disse jorde underinddeles i to klasser, alt efter om A1 horisonten er over eller under 40 cm tyk. Denne underinddeling er foretaget for at belyse tykke humusholdige horisonter indflydelse på rodnettrængningen. De lerholdige jorde er profiler, der i overvejende grad er udviklet på leret till, og som formodes at have haft 8% 1er eller derover i udgangsmaterialet. Da de lerholdige jorde normalt har været udsat for lernedslemning, se kapitel 6 og 7, kan der i visse af profilerne være A horisonter, der teksturelt set har under 8% 1er. Begynder Bt horisonten inden 70 cms dybde, vil sådanne profiler blive henregnet til de lerholdige jorde. Er dette ikke tilfældet, henregnes profilerne til de lerfattige jorde. Kalkjorde defineres som jorde med kalkklippe inden for de øverste 80 cm af profilen, d.v.s. egentlige rendzinaer samt jorde med betegnelsen rendzin på gruppeniveau. Blandingsjorde er profiler med varierende sandede og lerede lag, således at de ikke falder inden for de andre grupper. Der kan fx være tale om jorde udviklet på issøaflejringer eller jorde, der består af smeltevandssand eller flyvesand, der overlejrer leret till. På det marine forland er profilerne inddelt på basis af teksten i 2 klasser, nemlig i lerholdige og lerfattige profiler, hvor grænsen ligger ved 8% 1er.

Profilerne navngives først med et M, der angiver, at det er et opdyrket profil i modsætning til skovprofilerne, der beskrives med S. Efter M angives med et stort bogstav, på hvilket udgangsmateriale profilen er udviklet. Der anvendes følgende bogstaver:

S: lerfattige profiler i det glacielle landskab, A1<40cm
 T: lerfattige profiler i det glacielle landskab, A1>40cm
 L: lerholdige profiler i det glacielle landskab
 K: kalkjorde i det glacielle landskab
 B: blandingsjorde i det glacielle landskab
 M: jorde på det marine forland.

Derefter angives afgrødetypen med et lille bogstav efter følgende nøgle:

g: græs	r: rug
b: byg	k: kartofler
a: havre	p: raps
h: hvede	

Endelig underinddeles de forskellige bogstavskombinationer med et løbenummer .

En lerfattig profil udviklet i det glaciale landskab, hvorpå der gror græs, vil fx blive benævnt MSg2, og en kalkjord, hvorpå der gror hvede, vil fx blive benævnt MKhl.

Rodudviklingen på lerfattige ikke kolluviale jorde i det glaciale landskab

Der er ialt bestemt 23 rodprofiler på disse lerfattige jorde, nemlig 9 græs-, 7 byg-, 2 hvede-, 2 rug-, 2 havre- og en kartoffelrodprofil. Analyseresultaterne ses i tabel 35. De dominerende jordbundstyper er Brunpodzoler og brunsoler, der udgør omkring 75% af de undersøgte profiler. I enkelte af profilerne er der tegn på lessivering, ofte som lerberigede bånd i omkring 1 meters dybde. Stærkt udviklede podzoler, d.v.s. Typipodzoler og Sesquipodzoler, fandtes kun i enkelte tilfælde, og de var uden cementerede aler, d.v.s. langt fra så stærkt udviklet, som man finder dem andre steder i landet. I visse profiler var der tydelige tegn på grundvandspåvirkning i profilen, således at der var tale om Gleybrunpodzoler og Gleytypibrunsoler, men kun i et enkelt tilfælde lå grundvandsgleypræget så højt, at der var tale om en egentlig gleyjord. Det nuværende grundvandsspejl ligger dog dybt i alle de undersøgte profiler, sandsynligvis på grund af dræning, og kun i gleyjorden lå grundvandsspejlet ved prøveudtagningen oppe i nærheden af 1 meters dybde.

De jordbundsfysiske og -kemiske analyser viser, at volumenvægten i jordene stiger med dybden, således ligger volumenvægten i pløjelaget på mellem 1.3 og 1.5 g/cm³, medens den i de dybestliggende lag når op på mellem 1.6 og 1.8 g/cm³. Variationen i pH ned gennem profilen viser som oftest det normale opkalkningsprofil med højere pH-værdier i pløjelaget end i de underliggende horisonter. pH (CaCl₂) ligger i de aktuelle tilfælde normalt på mellem 5 og 6 i pløjelaget og på mellem 4 og 5 i de dybereliggende horisonter. Fordelingen mellem de ombyttelige baser viser, at Ca helt klart er dominerende, og at den er mere dominerende i disse opdyrkede jorde end i jorde under skov. Dette kan uden tvivl tillægges kalkning. Bedømt ud fra reaktionsdata fra jorde med samme tekstur, se kapitel 11, må man konkludere, at den lerfattige og relativt sandede tekstur medfører, at antallet af luftfyldte porer ved markkapacitet, udregnet som porøsiteten minus vandindholdet ved pF₂, vil være så stort, at luftskiftet i jorden på nær umiddelbart over grundvandsspejlet kan foregå uhindret. Det vil sige, at luftskiftet i de aktuelle profiler ikke kan anses for at virke hindrende for rodudviklingen undtagen i helt specielle tilfælde.

Tabel 35: Roddata og jordbundsdata fra de lerfattige ikke kollu-
viale profiler i det glaciare landskab.

Root densities and soil data for profiles in the glacial landscape. The profiles have less than 8% clay in the parent material and the A1 horizons are less than 40 cm thick.

PROFIL :	MSg 1	TYPE :	Blegbrungleyn	AFGRØDE :	Græs med kløver, 2 årig overv. hundegras.	Tekstur (μ)					OM	CaCO ₃
						<2	2-20	20-63	63-200	200-2000		
Ap	0- 21	2	3	0	59	34	2.3	0				
Bj	21- 25	-	-	-	-	-	-	0				
Ab	25- 27	4	3	16	65	6	5.7	0				
Cbno	27- 35	1	2	1	45	51	0.4	0				
Cbno	35-	1	1	1	24	73	0.1	0				

		cm rod cm ³ jord	vol. vægt	PH (CaCl ₂)
Ap	10-20	10.5	1.42	5.9
Ap+Bj	20-30	11.8	1.37	6.0
Cbno	30-40	0.17	1.61	5.9
Cbno	40-50	0.09	1.57	5.9
Cbno	50-60	0.02	1.65	5.8
Cbno	60-70	0.03	1.73	5.6
Cbno	70-80	+	1.63	5.4
Cbno	80-90	0	1.62	5.3

Ab - Læg fra 25-27cm

PROFIL :	MSg 2	TYPE :	Brunpodzol	AFGRØDE :	Græs med kløver, 2 årig overv. rajgræs og timothe	Tekstur (μ)					OM	CaCO ₃
						<2	2-20	20-63	63-200	200-2000		
Ap	0- 22	3	6	19	52	17	3.4	0				
B31sv	22- 45	3	5	21	53	17	0.9	0				
B32sv	45-110	4	4	7	48	37	0.3	0				

		cm rod cm ³ jord	vol. vægt	PH (CaCl ₂)
Ap	10- 20	5.9	1.35	4.7
B31sv	20- 30	2.6	1.47	4.9
B31sv	30- 40	1.9	1.48	4.8
B31sv	40- 50	2.2	1.53	4.9
B32sv	50- 60	0.6	1.58	5.0
B32sv	60- 70	0.07	1.62	4.9
B32sv	70- 80	0.03	1.64	4.8
B32sv	80- 90	0.02	1.69	4.8
B32sv	90-100	+	1.67	4.9
C	110-120	0.07	1.67	4.4

dith-citr Fe 0/00	Al 0/00	ombyt. baser m.ækv.					CEC
		Ca	Mg	K	Na	m.ækv	
Ap	1.1	1.0	5.5	0.3	0.1	+	15.4
B31sv	2.2	1.3	-	-	-	-	-
B32sv+C	1.6	0.9	-	-	-	-	-

PROFIL : MSg 6
 TYPE : Typibrunsol
 AFRØDE: Græs med kløver, 2 årig
 overv. hundegræs, rajgræs

		cm rod 3 cm ³ jord	vol. vægt	PH CaCl ₂
Ap	10- 20	7.6	1.45	5.7
A12+B2v	20- 30	3.1	1.40	5.5
B3v	30- 40	4.2	1.36	5.2
B3v+C	50- 60	1.1	1.70	5.1
C	60- 70	0.29	1.67	4.5
C	70- 80	0.04	1.68	4.7
C	90-100	+	1.61	4.6
IIC	100-110	0	1.66	4.4

		Tekstur (μ)					OM	CaCO ₃
		<2	2-20	20-63	63-200	200-2000	0/0	
Ap	0- 19	5	8	13	40	31	3.4	0
A12+B2v	19- 32	4	8	14	41	30	2.9	0
B3v	32- 54	4	5	12	47	31	0.6	0
C	54-100	5	4	11	48	32	-	0
IIC	100-	2	1	4	45	48	-	0

	dith-citr		ombyt. baser m.ækv.					CEC
	Fe 0/00	Al 0/00	Ca	Mg	K	Na	m.ækv	
Ap	-	-	6.2	0.3	0.1	0.1	15.7	
A12+B2v	-	-	-	-	-	-	-	
B3v	-	-	-	-	-	-	-	
C	-	-	-	-	-	-	-	
IIC	-	-	-	-	-	-	-	

PROFIL : MSg 7
 TYPE : Blandingsbrunsol
 AFRØDE: Græs med kløver, 1 årig
 overv. hundegræs og rajgræs

		cm rod 3 cm ³ jord	vol. vægt	PH CaCl ₂
Ap	10- 20	9.3	1.52	6.1
Ap	20- 30	10.8	1.43	5.6
B2v	30- 40	5.2	1.43	5.5
B2v+B3v	50- 60	2.0	1.47	5.1
B3v	60- 70	1.0	1.58	4.9
B3v	70- 80	1.4	1.60	4.7
IIC	90-100	0.01	1.61	4.7
IIC	100-110	0.02	1.67	4.0
IIC	110-120	+	1.66	4.0
IIC	130-140	0	-	3.9

		Tekstur (μ)					OM	CaCO ₃
		<2	2-20	20-63	63-200	200-2000	0/0	
Ap	0-30	4	8	12	46	27	2.6	0
B2v	30-54	3	7	12	50	27	1.0	0
B3v	54-85	3	10	17	53	17	0.4	0
IIC	85-	12	14	33	38	3	-	0

	dith-citr		ombyt. baser m.ækv.					CEC
	Fe 0/00	Al 0/00	Ca	Mg	K	Na	m.ækv	
Ap	1.9	1.3	5.3	0.6	0.2	0.1	11.4	
B2v	1.4	1.9	-	-	-	-	-	
B3v	1.5	1.4	-	-	-	-	-	
IIC	3.9	0.8	-	-	-	-	-	

PROFIL : MSg 8
 TYPE : fragi lessiveagtig Brunpodzol
 AFRØDE: Græs, 1 årig
 overv. rajgræs og timothe

		cm rod 3 cm ³ jord	vol. vægt	PH CaCl ₂
Ap	10- 20	4.5	1.38	4.9
Ap+B2sv	20- 30	10.2	1.31	5.2
B2sv	30- 40	15.3	1.37	4.8
B3svx*	40- 50	3.6	1.62	4.8
B3svx	50- 60	0.39	1.66	4.8
C1x	60- 70	0.11	1.64	4.5
C1x	70- 80	0.16	1.72	4.3
C2d	80- 90	0.01	1.67	4.2
C2d	100-110	+	1.69	4.2
C2d	120-130	0	1.73	4.2

*fragipan med brittlestruktur

		Tekstur (μ)					OM	CaCO ₃
		<2	2-20	20-63	63-200	200-2000	0/0	
Ap	0-24	3	8	8	42	35	3.6	0
B2sv	24-40	5	9	10	41	33	2.1	0
B3svx	40-57	3	8	10	42	36	0.6	0
C1x	57-80	3	5	9	41	42	0.1	0
C2d	80-	8	6	11	38	37	-	0
C2d	80-	5	5	8	33	49	-	0

	dith-citr		ombyt. baser m.ækv.					CEC
	Fe 0/00	Al 0/00	Ca	Mg	K	Na	m.ækv	
Ap	3.4	1.9	-	-	-	-	-	
B2sv	3.6	2.5	-	-	-	-	-	
B3svx	1.8	1.8	-	-	-	-	-	
C1x	1.2	0.5	-	-	-	-	-	
C2d	2.7	1.2	-	-	-	-	-	
C2d	1.9	0.7	-	-	-	-	-	

PROFIL : MSg 9	
TYPE : Brunpodzol	
AFGRØDE : Græs, 2 årig	

		cm rod		vol.	PH	Tekstur (μ)						OM	CaCO ₃
		3	cm ³ jord			≤2	2-20	20-63	63-200	200-2000	0/0		
Ap	0-28	4	3	13	44	31	5.3	0					
B2sv	28-40	5	5	5	48	34	2.7	0					
B3sv+C	40-77	5	5	8	45	36	1.4	0					
IIIC	93-	1	2	1	74	22	-	0					

		cm rod		vol.	PH	Tekstur (μ)						OM	CaCO ₃
		3	cm ³ jord			≤2	2-20	20-63	63-200	200-2000	0/0		
Ap	10- 20	6.7	1.36	5.3									
Ap	20- 30	5.6	1.29	5.2									
B2sv	30- 40	4.4	1.41	4.2									
B3sv+C	40- 50	4.3	1.39	4.3									
B3sv+C	50- 60	0.88	1.60	4.4									
B3sv+C	60- 70	0.56	1.56	4.4									
B3sv+C	70- 80	0.42	-	4.5									
IIC	80- 90	0.41	-	4.5									
IIIC	100-110	+	1.65	4.9									

		cm rod		vol.	PH	Tekstur (μ)						OM	CaCO ₃
		3	cm ³ jord			≤2	2-20	20-63	63-200	200-2000	0/0		
Ap	10-20	6.7	1.36	5.3									
B2sv	20-30	5.6	1.29	5.2									
B3sv+C	30-40	4.4	1.41	4.2									
B3sv	40-50	4.3	1.39	4.3									
B3sv+C	50-60	0.88	1.60	4.4									
B3sv+C	60-70	0.56	1.56	4.4									
B3sv+C	70-80	0.42	-	4.5									
IIC	80-90	0.41	-	4.5									
IIIC	100-110	+	1.65	4.9									

		cm rod		vol.	PH	Tekstur (μ)						OM	CaCO ₃
		3	cm ³ jord			≤2	2-20	20-63	63-200	200-2000	0/0		
Ap	10-20	6.7	1.36	5.3									
B2sv	20-30	5.6	1.29	5.2									
B3sv+C	30-40	4.4	1.41	4.2									
B3sv	40-50	4.3	1.39	4.3									
B3sv+C	50-60	0.88	1.60	4.4									
B3sv+C	60-70	0.56	1.56	4.4									
B3sv+C	70-80	0.42	-	4.5									
IIC	80-90	0.41	-	4.5									
IIIC	100-110	+	1.65	4.9									

		cm rod		vol.	PH	Tekstur (μ)						OM	CaCO ₃
		3	cm ³ jord			≤2	2-20	20-63	63-200	200-2000	0/0		
Ap	10-20	6.7	1.36	5.3									
B2sv	20-30	5.6	1.29	5.2									
B3sv+C	30-40	4.4	1.41	4.2									
B3sv	40-50	4.3	1.39	4.3									
B3sv+C	50-60	0.88	1.60	4.4									
B3sv+C	60-70	0.56	1.56	4.4									
B3sv+C	70-80	0.42	-	4.5									
IIC	80-90	0.41	-	4.5									
IIIC	100-110	+	1.65	4.9									

		cm rod		vol.	PH	Tekstur (μ)						OM	CaCO ₃
		3	cm ³ jord			≤2	2-20	20-63	63-200	200-2000	0/0		
Ap	10-20	6.7	1.36	5.3									
B2sv	20-30	5.6	1.29	5.2									
B3sv+C	30-40	4.4	1.41	4.2									
B3sv	40-50	4.3	1.39	4.3									
B3sv+C	50-60	0.88	1.60	4.4									
B3sv+C	60-70	0.56	1.56	4.4									
B3sv+C	70-80	0.42	-	4.5									
IIC	80-90	0.41	-	4.5									
IIIC	100-110	+	1.65	4.9									

		cm rod		vol.	PH	Tekstur (μ)						OM	CaCO ₃
		3	cm ³ jord			≤2	2-20	20-63	63-200	200-2000	0/0		
Ap	10-20	6.7	1.36	5.3									
B2sv	20-30	5.6	1.29	5.2									
B3sv+C	30-40	4.4	1.41	4.2									
B3sv	40-50	4.3	1.39	4.3									
B3sv+C	50-60	0.88	1.60	4.4									
B3sv+C	60-70	0.56	1.56	4.4									
B3sv+C	70-80	0.42	-	4.5									
IIC	80-90	0.41	-	4.5									
IIIC	100-110	+	1.65	4.9									

		cm rod		vol.	PH	Tekstur (μ)						OM	CaCO ₃
		3	cm ³ jord			≤2	2-20	20-63	63-200	200-2000	0/0		
Ap	10-20	6.7	1.36	5.3									
B2sv	20-30	5.6	1.29	5.2									
B3sv+C	30-40	4.4	1.41	4.2									
B3sv	40-50	4.3	1.39	4.3									
B3sv+C	50-60	0.88	1.60	4.4									
B3sv+C	60-70	0.56	1.56	4.4									
B3sv+C	70-80	0.42	-	4.5									
IIC	80-90	0.41	-	4.5									
IIIC	100-110	+	1.65	4.9									

		cm rod		vol.	PH	Tekstur (μ)						OM	CaCO ₃
		3	cm ³ jord			≤2	2-20	20-63	63-200	200-2000	0/0		
Ap	10-20	6.7	1.36	5.3									
B2sv	20-30	5.6	1.29	5.2									
B3sv+C	30-40	4.4	1.41	4.2									
B3sv	40-50	4.3	1.39	4.3									
B3sv+C	50-60	0.88	1.60	4.4									
B3sv+C	60-70	0.56	1.56	4.4									
B3sv+C	70-80	0.42	-	4.5									
IIC	80-90	0.41	-	4.5									
IIIC	100-110	+	1.65	4.9									

		cm rod		vol.	PH	Tekstur (μ)						OM	CaCO ₃
		3	cm ³ jord			≤2	2-20	20-63	63-200	200-2000	0/0		
Ap	10-20	6.7	1.36	5.3									
B2sv	20-30	5.6	1.29	5.2									
B3sv+C	30-40	4.4	1.41	4.2									
B3sv	40-50	4.3	1.39	4.3									
B3sv+C	50-60	0.88	1.60	4.4									
B3sv+C	60-70	0.56	1.56	4.4									
B3sv+C	70-80	0.42	-	4.5									
IIC	80-90	0.41	-	4.5									
IIIC	100-110	+	1.65	4.9									

		cm rod		vol.	PH	Tekstur (μ)						OM	CaCO ₃
		3	cm ³ jord			≤2	2-20	20-63	63-200	200-2000	0/0		
Ap	10-20	6.7	1.36	5.3									
B2sv	20-30	5.6	1.29	5.2									
B3sv+C	30-40	4.4	1.41	4.2									
B3sv	40-50	4.3	1.39	4.3									
B3sv+C	50-60	0.88	1.60	4.4									
B3sv+C	60-70	0.56	1.56	4.4									
B3sv+C	70-80	0.42	-	4.5									
IIC	80-90	0.41	-	4.5									
IIIC	100-110	+	1.65	4.9									

		cm rod		vol.	PH	Tekstur (μ)						OM	CaCO ₃
		3	cm ³ jord			≤2	2-20	20-63	63-200	200-2000	0/0		
Ap	10-20	6.7	1.36	5.3									
B2sv	20-30	5.6	1.29	5.2									
B3sv+C	30-40	4.4	1.41	4.2									
B3sv	40-50	4.3	1.39	4.3									
B3sv+C	50-60	0.88	1.60	4.4									
B3sv+C	60-70	0.56	1.56	4.4									
B3sv+C	70-80	0.42	-	4.5									
IIC	80-90	0.41	-	4.5									
IIIC	100-110	+	1.65	4.9									

		cm rod		vol.	PH	Tekstur (μ)						OM	CaCO ₃
		3	cm ³ jord			≤2	2-20	20-63	63-200	200-2000	0/0		
Ap	10-20	6.7	1.36	5.3									
B2sv	20-30	5.6	1.29	5.2									
B3sv+C	30-40	4.4	1.41	4.2									
B3sv	40-50	4.3	1.39	4.3									
B3sv+C	50-60	0.88	1.60	4.4									
B3sv+C	60-70	0.56	1.56	4.4									
B3sv+C	70-80	0.42	-	4.5									
IIC	80-90	0.41	-	4.5									
IIIC	100-110	+	1.65	4.9									

		cm rod		vol.	PH	Tekstur (μ)						OM	CaCO ₃
		3	cm ³ jord			≤2	2-20	20-63	63-200	200-2000	0/0		
Ap	10-20	6.7	1.36	5.3									
B2sv	20-30	5.6	1.29	5.2									
B3sv+C	30-40	4.4	1.41	4.2									
B3sv	40-50	4.3	1.39	4.3									
B3sv+C	50-60	0.88	1.60	4.4									
B3sv+C	60-70	0.56	1.56	4.4									
B3sv+C	70-80	0.42	-	4.5									
IIC	80-90	0.41	-	4.5									
IIIC	100-110	+	1.65	4.9									

PROFIL : MSb 6
 TYPE : Brunpodzol
 AFRØDE : zitabyg

		cm rod 3 cm ³ jord	vol. vægt	PH (CaCl ₂)
Ap	10- 20	17.1	1.40	5.7
Ap	20- 30	6.6	1.44	5.0
A12	30- 40	1.4	1.41	5.3
B2sv	40- 50	2.9	1.25	4.8
B2sv+C1	50- 60	1.7	1.40	4.8
C1	60- 70	0.41	1.45	4.7
C1	70- 80	0.25	1.56	4.6
C2	80- 90	0.16	1.61	4.4
C2	90-100	0.02	1.67	4.3
C2	100-110	+	1.74	3.8
C2	110-120	0	1.78	3.9

		Tekstur (μ)					OM	CaCO ₃
		<2	2-20	20-63	63-200	200-2000	0/0	
Ap	0-34	2	3	4	64	25	2.3	0
A12	34-39	-	-	-	-	-	2.1	0
B2sv	39-55	4	5	7	60	22	2.2	0
C1	55-79	4	6	17	49	23	0.6	0
C2	79-	5	6	10	39	40	-	0

	dith-citr		ombyt. baser m.ækv.					CEC
	Fe 0/00	Al 0/00	Ca	Mg	K	Na	m.ækv	
Ap	1.5	0.9	3.6	0.1	0.1	+	9.2	
A12	-	-	-	-	-	-	-	
B2sv	2.9	2.7	2.0	0.1	0.1	+	12.5	
C1	2.9	1.6	-	-	-	-	-	
C2	-	-	0.9	0.1	0.1	+	4.7	

PROFIL : MSb 7
 TYPE : degraderet Typilleive
 AFRØDE : lofabyg

		cm rod 3 cm ³ jord	vol. vægt	PH (CaCl ₂)
Ap	10- 20	6.3	1.34	4.5
Ap	20- 30	11.0	1.29	4.2
A2	30- 40	9.5	1.41	4.3
A2	40- 50	10.1	1.45	4.1
A2	50- 60	3.4	1.47	4.1
A2	60- 70	1.8	-	4.1
B2ty	70- 80	0.95	-	4.7
B2ty	80- 90	0.47	-	4.7
B2ty	90-100	0.20	-	5.8
B3ty	100-110	0.09	-	5.9
B3ty	110-120	0.03	-	6.4

		Tekstur (μ)					OM	CaCO ₃
		<2	2-20	20-63	63-200	200-2000	0/0	
Ap	0- 27	4	9	15	40	27	4.9	0
A12	27- 30	6	7	11	42	32	1.7	0
A2	30- 70	5	7	12	42	34	0.2	0
B2ty**	70-100	3	6	12	44	35	-	0
B2ty*	70-100	19	8	9	24	40	-	0

**lyse degraderede tungter

*den intakte B2t

	dith-citr		ombyt. baser m.ækv.					CEC
	Fe 0/00	Al 0/00	Ca	Mg	K	Na	m.ækv	
Ap	-	-	-	-	-	-	-	
A12	-	-	-	-	-	-	-	
A2	-	-	-	-	-	-	-	
B2ty	-	-	-	-	-	-	-	
B2ty	-	-	-	-	-	-	-	

PROFIL : MSh 1
 TYPE : Typibrunsol
 AFRØDE : vukahvede

		cm rod 3 cm ³ jord	vol. vægt	PH (CaCl ₂)
Ap	10-20	5.3	1.48	5.0
Ap+B3v	20-30	2.6	1.51	5.5
B3v	30-40	0.10	1.56	5.8
B3v	40-50	0.05	1.54	5.7
B3v+C	50-60	0.02	1.56	5.2
C	60-70	0.02	1.57	5.2
C	70-80	0.01	1.57	5.4

		Tekstur (μ)					OM	CaCO ₃
		<2	2-20	20-63	63-200	200-2000	0/0	
Ap	0-26	4	5	6	45	38	1.7	0
B3v	26-51	3	5	7	43	41	0.6	0
C	51-	2	1	1	58	38	-	0

	dith-citr		ombyt. baser m.ækv.					CEC
	Fe 0/00	Al 0/00	Ca	Mg	K	Na	m.ækv	
Ap	2.7	0.8	4.5	0.2	0.2	+	9.4	
B3v	1.4	0.9	-	-	-	-	-	
C	0.6	0.4	-	-	-	-	-	

PROFIL : MSh 2											
TYPE : Typibrunsol											
AFGRØDE: vukahvede											
		cm rod 3 cm jord	vol. vægt	PH (CaCl ₂)							
Ap	10- 20	3,8	1,39	5,6							
Ap	20- 30	3,7	1,38	6,0							
A3+B2v	30- 40	2,6	1,44	5,8							
A3+B2v	40- 50	0,96	1,42	6,1							
B3v	50- 60	0,05	1,52	6,1							
B3v	60- 70	0,01	1,55	6,0							
B3v	70- 80	0	1,54	6,1							
B3v+C	80- 90	0	1,55	6,3							
C	90-100	0	1,53	6,1							

		Tekstur (μ)					OM	CaCO ₃
		<2	2-20	20-63	63-200	200-2000	0/0	
Ap	0-34	5	8	9	43	32	2,7	0
A3+B2v	34-49	3	3	4	72	17	0,7	0
B3v	49-82	1	2	3	79	15	0,2	0
C	82-	1	1	3	87	8	-	0

		dith-citr	ombyt. baser m.ækv.					CEC
		Fe 0/00	Al 0/00	Ca	Mg	K	Na	m.ækv
Ap		3,3	0,6	-	-	-	-	-
A3+B2v		1,5	0,5	-	-	-	-	-
B3v		1,0	0,3	-	-	-	-	-
C		0,7	0,3	-	-	-	-	-

PROFIL : MSr 1											
TYPE : Gleybrunpodzol											
AFGRØDE: rug											
		cm rod 3 cm jord	vol. vægt	PH (CaCl ₂)							
Ap	10- 20	-	-	5,2							
Ap	20- 30	10,3	1,35	4,4							
A2	30- 40	6,7	1,55	4,6							
B2sv	40- 50	1,5	1,30	4,7							
B2sv	50- 60	0,39	1,52	4,7							
B3svo	60- 70	0,13	1,53	4,7							
B3svo	70- 80	0,04*	1,51	4,8							
B3svo+Co	80- 90	0,02*	1,49	4,6							
Co	100-110	0,01*	1,66	4,7							

		Tekstur (μ)					OM	CaCO ₃
		<2	2-20	20-63	63-200	200-2000	0/0	
Ap	0-30	2	3	3	50	39	3,2	0
A2	34-41	-	-	-	-	-	0,6	0
B2sv	41-65	1	2	1	38	58	0,5	0
B3svo	65-85	-	-	-	-	-	-	0
Co	85-	2	2	0	60	36	0,3	0

		dith-citr	ombyt. baser m.ækv.					CEC
		Fe 0/00	Al 0/00	Ca	Mg	K	Na	m.ækv
Ap		0,9	0,7	3,0	0,6	0,3	+	10,2
A2		0,7	0,6	-	-	-	-	-
B2sv		1,3	1,0	-	-	-	-	-
B3svo		0,9	0,9	-	-	-	-	-
Co		0,3	0,8	-	-	-	-	-

* mange mørkebrune rødder, der ikke er talt med

PROFIL : MSr 2											
TYPE : Rendzinbrunsol											
AFGRØDE: rug											
		cm rod 3 cm jord	vol. vægt	PH (CaCl ₂)							
Ap	10- 20	8,9	1,32	5,3							
Ap+A12	20- 30	4,7	1,52	5,4							
B2v	30- 40	2,1	1,58	5,0							
B2v	40- 50	1,0	1,45	5,5							
B3v	50- 60	1,2	-	5,8							
B3v	60- 70	0,29	1,42	6,1							
IIC	70- 80	0,45	1,57	7,3							
IIC	80- 90	+	1,61	7,3							
IIC	90-100	+	1,59	7,6							
IIC	100-110	0	-	7,4							

		Tekstur (μ)					OM	CaCO ₃
		<2	2-20	20-63	63-200	200-2000	0/0	
Ap	0-25	2	3	4	52	37	1,9	0
B2v	31-50	3	2	1	52	41	0,6	0
B3v	50-72	5	4	7	50	34	0,4	0
IIC	72-	-	-	-	-	-	-	45

		dith-citr	ombyt. baser m.ækv.					CEC
		Fe 0/00	Al 0/00	Ca	Mg	K	Na	m.ækv
Ap		1,5	0,5	-	-	-	-	-
B2v		1,6	0,8	-	-	-	-	-
B3v		2,6	0,6	-	-	-	-	-
IIC		-	-	-	-	-	-	-

Rodudviklingen hos græs på lerfattige ikke kolluviale jorde i det glaciale landskab

Resultaterne af undersøgelserne af de 9 profiler, på hvilke der voksede græs, ses af tabel 35. Der er en klar tendens til, at rodintensiteten falder med dybden, og kun i enkelte tilfælde findes lokale maksima nede i profilen. Disse maksima kan ikke umiddelbart forklares ud fra jordens pedologiske udvikling eller de jordbundsfysiske og kemiske karakteristika, der er bestemt. De lokale maksima skyldes sandsynligvis, at rodfordelingen ikke er homogen i horisonterne, og at prøveudtagningen kun er foretaget i et enkelt snit ned gennem profilen. Dette fænomen kan også erkendes i visse rodprofiler udviklet på de andre jordtyper.

For at få et samlet indtryk af rodudviklingen hos græs er Z(1.0), Z(0.1) og Z(0.01) angivet for de 9 profiler i tabel 36.

Tabel 36: Den samlede tykkelse af lag med mange rødder Z(1.0), mange eller få rødder Z(0.1) og med mange, få eller meget få rødder Z(0.01) for 9 græsrodprofiler udviklet i lerfattigt ikke kolluvialt udgangsmateriale i det glacial landskab. Dybderne er angivet i cm og græssets alder i år, dog er udlægsåret ikke indregnet.

The thickness of layers (in cm) with more than 1.0 cm root/cm³ soil, Z(1.0), more than 0.1 cm root/cm³ soil, Z(0.1), and more than 0.01 cm root/cm³ soil, Z(0.01), for nine grass root profiles developed in soils with less than 8% clay in the parent material.

	MSg								
	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Z(1.0)	30	50	40	40	60	60	80	50	50
Z(0.1)	40	60	60	70	70	70	80	80	90
Z(0.01)	70	> 120	80	80	70	80	110	90	10
Græssets alder	2	2	1	1	?	2	1	1	2

Tabel 36 viser, at Z(1.0) gennemsnitligt ligger på omkring 50 cm, men som det også ses af tabel 36, dækker det over store variationer. Z(0.1) ligger

gennemsnitlig på omkring 70 cm, men også her dækker gennemsnitstallet over store variationer, idet profilen med den ringeste rodudvikling har få rødder til 40 cms dybde, medens jorden med den dybeste rodudvikling har få rødder til 90 cms dybde. Z(0.01) ligger gennemsnitlig på omkring 90 cm, og der findes i et enkelt tilfælde meget få rødder til i hvert fald 120 cms dybde. Det er ikke muligt at forklare forskellene i rodudviklingen ud fra jordens pedologiske udvikling alene, idet der fx inden for Brunpodzolerne både findes jorde med en ringe og en relativ dyb rodudvikling. Resultaterne tyder heller ikke på, at pH eller volumenvægten spiller nogen nævneværdig rolle for rodudviklingen, fx findes der i MSg6 mange rødder i et lag med en volumenvægt på 1.70 g/cm^3 , og i MSg8 er der rodudvikling i en fragipan med en volumenvægt på op til 1.72 g/cm^3 . pH synes ikke i nogen af profilerne at nå så lave værdier, at fx aluminiumionen vil optræde i forgiftende mængder. Heller ikke alderen på græsmarkerne synes at spille den store rolle for fx Z(0.1), idet både de laveste og højeste Z(0.1)-værdier blev fundet på toårige græsmarker, og enårige græsmarker kan allerede have udviklet en så kraftig rodprofil, at Z(0.1) kan være 80 cm. Man må i denne forbindelse dog nævne, at de enårige græsmarker er næsten halvandet år gamle, idet de det første år har ligget som udlæg. Teksturelt set er de fleste af profilerne finsandede med mellem 15 og 30% 1er + silt. Kun MSgl skiller sig ud teksturelt set, idet den er grovsandet, og den har kun 4% 1er + silt. Denne profil har helt klart den ringeste rodudvikling blandt de 9 profiler, hvilket sandsynligvis kan tilskrives det manglende 1er- og siltindhold. Dette vil senere blive taget op under gennemgangen af rodudviklingen hos byg. Ser man bort fra MSgl, kan man konkludere, at på lerfattige overvejende finsandede jorde vil græsrødderne nå ned til omkring 90 cms dybde, og at Z(0.1), der i kapitel 11 vil blive anvendt som et groft mål for den effektive rodedybde, vil ligge på omkring 70 cm.

Rodudviklingen hos byg på lerfattige ikke kolluviale jorde i det glacielle landskab

Resultaterne fra undersøgelsen over de 7 profiler, på hvilke der voksede byg, ses af tabel 35. De 7 profiler er pedologisk set meget forskellige, og de spænder fra Typipodzoler over Brunpodzoler og brunsoler til lessivejorde med tydelige degraderede Bt horisonter. Inddeles rodprofilen i lag med mange rødder, få rødder og meget få rødder, fås følgende dybder for Z(1.0), Z(0.1) og Z(0.01), tabel 37.

Tabel 37 viser, at Z(1.0) ligger på omkring 50 cm, Z(0.1) ligger på lidt over 70 cm, og at Z(0.01) ligger på omkring 1 meter. Dette er næsten identisk med de rodedybder, der blev fundet for græs. Som for græsset synes pH og volumenvægten ikke umiddelbart at have nogen bremsende effekt på rodnettrængningen, fx er der i MSb3 fundet rodudvikling igennem et lag med volumenvægt på 1.95 g/cm^3 , og i MSb2 er der rodudvikling hele vejen igennem et 60 cm tykt lag med volumenvægte på over 1.75 g/cm^3 . pH(CaCl_2) holder sig normalt på 4.0 eller derover i alle profiler på nær MSb6, og det er derfor forventeligt, at pH kun i ringe grad giver anledning til svagere rodudvikling i de dybereliggende lag.

Tabel 37: Den samlede tykkelse af lag med mange rødder Z(1.0), mange eller få rødder Z(0.1) og mange, få eller meget få rødder Z(0.01) for 7 bygrodprofiler udviklet i lerfattigt ikke kolluvialt udgangsmateriale i det glacielle landskab. Dybderne er angivet i cm.

The thickness of layers (in cm) with more than 1.0 cm root/cm³ soil, Z(1.0), more than 0.1 cm³ root/cm³ soil, Z(0.1), and more than 0.01 cm root/cm soil, Z(0.01), for seven barley root profiles developed in soils with less than 8% clay in the parent material.

	MSb						
	1	2	3	4	5	6	7
Z(1.0)	20	60	40	40	60	60	70
Z(0.1)	50	60	60	70	80	90	100
Z(0.01)	60	> 120	> 110	90	90	100	120

Teksturelt set er de fleste af profilerne finsandede med et 1er- + siltindhold på over 20%. Kun MSb1 skiller sig markant ud fra de andre ved at være grovsandet og ved kun at have 5% 1er + silt. Da denne profil, ligesom MSgl hos græsprofilerne, har den ringeste roddybde, er det nærliggende at antage, at der kan findes en sammenhæng mellem 1er- + siltindholdet i jorden og rodudviklingen. Da der i det foreliggende undersøgelsesmateriale kun er ganske få profiler med et lavt 1er- + siltindhold, er det nødvendigt at inddrage andre undersøgelser over rodudviklingen på sandjorde for at få et rimeligt billede af teksturens indflydelse på rodudviklingen. Medtages de rodundersøgelser over bygs rodudvikling, der er foretaget af Madsen (1979) nær israndslinien vest for Vejle samt enkelte senere undersøgelser i samme region, fås den i fig. 46 viste relation mellem 1er- + siltindholdet i underjorden og Z(0.1) for afgrøderne græs og byg.

Fig. 46 viser klart, at rodudviklingen hæmmes væsentligt både for byg og græs, når 1er- + siltindholdet i sandjordene er lavt, d.v.s. under 10-15%. I disse jorde vil Z(0.1) enten være 40 cm eller 50 cm. I jordene med over 10-15% 1er + silt vil Z(0.1) gennemsnitligt være lidt over 70 cm. Der er inden for disse jorde større forskelle i Z(0.1)-værdierne end i de førortalte jorde, hvilket sandsynligvis skyldes, at andre faktorer end tekturen påvirker rodprofilen stærkt i de 1er- og siltholdige jorde. Da der er markante forskelle i rodudviklingen hos de lerfattige jorde, alt efter om ler- og siltindholdet er over eller under 10-15%, vil der i resten af denne afhandling blive anvendt følgende inddeling af de lerfattige jorde:

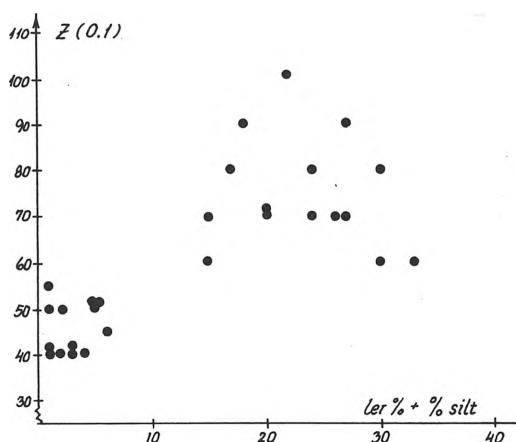


Fig. 46: Relationen mellem ler- og siltindholdet i ca. 60 cms dybde og den samlede tykkelse af lag i cm med mange eller få rødder, $Z(0.1)$. Afgrøderne er græs og byg.

Content of clay and silt at about 60 cm depth related to the total thickness of layers (in cm) with many or few roots (>0.1 cm root/cm³ soil). Crops: grass and barley.

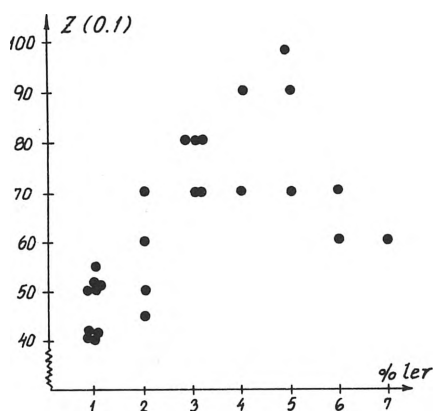


Fig. 47: Relationen mellem lerindholdet i ca. 60 cms dybde og den samlede tykkelse af lag i cm med mange eller få rødder, $Z(0.1)$. Afgrøderne er græs og byg.

Clay content at about 60 cm depth related to the total thickness of layers (in cm) with many or few roots (>0.1 cm root/cm³ soil). Crops: grass and barley.

grov lerbattig jord: jord med under 8% ler inden for de øverste 70 cm af profilen og med under 10% ler + silt i ca. 60 cms dybde.

fin lerbattig jord: jord med under 8% ler inden for de øverste 70 cm af profilen og med over 10% ler + silt i ca. 60 cms dybde.

I Himmerland dominerer de fine lerbattige jorde klart over de grove lerbattige jorde; men i store dele af det øvrige land, som fx på hedesletterne og i flyvesandsområderne, dominerer de grove lerbattige jorde, der giver anledning til en ringe rodudvikling. Da indholdet af ler og silt i jorden ikke er indbyrdes uafhængigt, vil det også være muligt alene at relatere lerindholdet i omkring 60 cms dybde til $Z(0.1)$, fig.47.

Fig. 47 viser, at der også er en vis sammenhæng mellem lerindholdet i de dybereliggende lag og rodudviklingen. Således synes underjorde med under 2% ler tydeligt at begrænse rodudviklingen; men allerede ved 2 til 3% ler i underjorden kan der forekomme en dyb rodudvikling.

Man kan om bygs rodudvikling på de lerbattige jorde i det glacial landskab konkludere, at rødderne i de fine lerbattige jorde når ned i ca. 1 meters dybde, og at $Z(0.1)$ i disse jorde ligger på lidt over 70 cm. I de grove lerbattige jorde ligger $Z(0.1)$ på omkring 50 cm, og $Z(0.01)$ ligger væsentligt højere oppe i profilen end i de fine lerbattige jorde.

Rodudviklingen hos hvede, havre og rug på lerbattige ikke kolluviale jorde i det glacial landskab

Resultaterne af undersøgelsen over de 6 profiler, hvorpå der enten groede hvede, havre eller rug ses af tabel 35. Rodudviklingen hos hvede er undersøgt i 2 Typibrunsoler, rodudviklingen hos rug er undersøgt i en Rendzibrunsol og en Gleybrunpodzol, medens rodprofilen hos havre er undersøgt i to tydeligt podzolerede jorde, Sesquipodzoler. Inddeles rodprofilerne i zoner med mange rødder, få rødder og meget få rødder, fås følgende dybder for $Z(1.0)$, $Z(0.1)$ og $Z(0.01)$, tabel 38.

Tabel 38 viser, at rodudviklingen hos hvede er meget ringe i de to undersøgte profiler. Da volumenvægtene er relativt lave i de to profiler, og pH samtidig er forholdsvis høj, må den ringe rodudvikling i de to profiler uden tvivl tilskrives den teksturelle sammensætning med et meget lavt ler- + siltindhold. Dette stemmer godt overens med de resultater, der er fundet for byg og græs. Rodudviklingen hos rug er i de to undersøgte profiler noget dybere end hos hveden. I MSr2 kan dette forklares ud fra tekturen, idet denne profil har omkring 16% ler + silt, hvilket bedømt ud fra fig. 46 synes at være nok for at få en forholdsvis dyb rodudvikling. Teksturforholdene kan derimod ikke forklare den forholdsvis kraftige rodudvikling hos MSr1, men denne skyldes muligvis enten den forholdsvis lave volumenvægt i profilen, eller også er rug af genetiske årsager bedre i stand til at trænge ned i sandjorde. Der kræves dog yderligere studier for at bekræfte eller afkræfte den sidstnævnte teori.

Tabel 38: Den samlede tykkelse af lag med mange rødder Z(1.0), med mange eller få rødder Z(0.1) og med mange, få eller meget få rødder Z(0.01) for rodprofiler hos hvede, rug og havre udviklet på lerfattigt ikke kolluvialt udgangsmateriale i det glacielle landskab. Dybderne er angivet i cm.

The thickness of layers (in cm) with more than 1.0 cm root/cm soil, Z(1.0), more than 0.1 cm root/cm³ soil, Z(0.1), and more than 0.01 cm root/cm³ soil, Z(0.01), for wheat, rye and oat root profiles developed in soils with less than 8% clay in the parent material.

	hvede MSh		rug MSr		havre MSa	
	1	2	1	2	1	2
Z(1.0)	30	40	50	60	20	30
Z(0.1)	40	50	70	80	30	60
Z(0.01)	80	70	110	80	60	80

De to havrerodprofiler er begge udviklet i Sesquipodzoler. Profil MSa1 er beliggende på en indlandsklit, medens MSa2 er udviklet i smeltevandssand. Begge profiler hører tekstoneelt set til de grove lerfattige jorde, d.v.s., at de har et ringe 1er- + siltindhold i underjorden. Den ringe rodudvikling i de to profiler er derfor forventelig. Den meget ringe rodudvikling i MSa1 skyldes formodentlig, at der er føjet omkring 45 cm hvidt sand ovenpå en gammel podzol, så jorden i de øverste 45 cm er meget næringsfattig og har en relativ ringe vandkapacitet.

De 6 undersøgte profiler viser, at rodudviklingen hos hvede og havre er relativ beskeden i sandjorde med et ringe indhold af silt og 1er, medens rodudviklingen hos rug på denne tekstur muligvis er lidt dybere. Det sidste kræver dog yderligere studier for at blive bekræftet eller afkræftet.

Rodudviklingen hos kartofler på lerfattigt ikke kolluvialt materiale i det glacielle landskab

Der er kun undersøgt en rodprofil hos kartofler på denne jordtype, og det er derfor ikke muligt at få noget generelt billede af rodudviklingen hos kartofler. Den aktuelle profil er stærkt sandet med kun omkring 10% 1er + silt, og rodudviklingen svarer nogenlunde til den, der er fundet for afgrøder på grove lerfattige jorde, nemlig en roddebyde for 0.1 cm rod/cm³ jord på omkring 50 cm.

Samlede betragtninger over rodudviklingen på lerbattige ikke kolluviale jorde i det glaciala landskab

Der er i alt undersøgt 23 rodprofiler på lerbattige ikke kolluviale jorde i Himmerland. Disse jorde, der har under 8% ler i de øverste 70 cm af profilen, og som har en A1 horisont på under 40 cms tykkelse, strækker sig pedologisk set fra tydeligt, men ikke stærkt udviklede Typipodzoler, over Brunpodzoler og brunsoler til egentlige lessivejorde. De opnåede roddata sammenholdt med tidligere rodundersøgelser nær israndslinien (Madsen 1979), viser, at der er tydelig forskel i rodtybden for græs og byg, såfremt jorden har over eller under 10-15% ler + silt. Det blev derfor fundet rimeligt at inddele de lerbattige jorde i grove lerbattige jorde, der har under 10% ler + silt, og i fine lerbattige jorde, der har over 10% ler + silt i ca. 60 cms dybde. I de grove lerbattige jorde er dybden under terræn for få rødder (0.1 cm rod/cm jord) omkring 50 cm for græs og korn, medens den i de fine lerbattige jorde ligger på omkring 70 cm. De angivne rodtybder er p.g.a. det store analysemateriale relativt sikre for græs og byg, medens de er noget mere usikre for de 3 øvrige kornsorter. De enkelte resultater, der findes for rodudviklingen hos havre og hvede, stemmer dog fuldt overens med dem, der blev opnået for byg, hvorimod der i den enkelte rodprofil hos rug på ler- og siltfattigt materiale blev fundet en noget dybere rodudvikling end hos de øvrige kornsorter.

Rodudviklingen i relation til volumenvægten viser, at der kan forekomme rodudvikling igennem tykke lag med volumenvægte på over 1.75 g/cm³ og der er endvidere fundet rodudvikling i et lag med en volumenvægt på 1.95 g/cm³. Rodnedtrængningen i disse lag kan muligvis skyldes strukturen, der danner "svaghedszoner" i lagene. pH i de dybereliggende lag synes ikke i noget tilfælde at hæmme rodudviklingen væsentligt, idet der ikke umiddelbart synes at være en sammenhæng mellem lave pH-værdier og en ringe rodudvikling. Der er i det aktuelle tilfælde ingen tydelig sammenhæng mellem jordens pedologisk betingede horisontering og rodudviklingen, således at visse jordtyper har en dybere eller kraftigere rodudvikling end andre. Der er fx ingen systematisk forskel på rodtybden og i rodprofilens form for brunsoler og Brunpodzoler, og lessivejordene kan i visse tilfælde danne basis for en dyb rodudvikling og i andre tilfælde for en meget ringe rodudvikling. Der er ikke i podzolerne fundet et lokalt maksimum for rodintensiteten i B2, hvilket ellers ofte var tilfældet i undersøgelsen nær israndslinien (Madsen 1979). Det manglende lokale maksimum i B2 skyldes sandsynligvis, at podzolerne i Himmerland er relativt svagt udviklede og derfor mangler en egentlig B2h horisont, og at A2 horisonten i de fleste tilfælde er pløjet med ind i Ap.

Rodudviklingen på kolluviale lerfattige jorde i det glacielle landskab

Der er ialt undersøgt 6 rodprofiler på de jordtyper, der er karakteriseret ved en lerfattig tekstur med under 8% ler i de øverste 70 cm af profilen og ved en Al horisont, der er over 40 cm tyk. Resultaterne fra de 6 profiler ses af tabel 39. To af profilerne er gravet under græs, to under byg, en under rug og en under kartofler. Pedologisk set er profilerne enten egentlige kolluvialjorde, eller også er de kolluviale brunsoler eller kolluviale lessivejorde. De tykke Al horisonter formodes enten at være dannet af nedskyllet Al materiale fra højereliggende dele af marken, hvilket fx er tilfældet for den over 1 meter tykke Al horisont i MTg2, eller også er den tykke Al horisont dannet ved påblæsning af mere eller mindre humusholdigt sand, der ved pløjning er indarbejdet i Al. Det sidste er fx tilfældet for MTkl. De tykke Al horisonter i de egentlige kolluviale jorde medfører ændringer i jordens pedologiske udvikling, således må fx den tydelige Bv horisont i MTg2 i dag anses for en reliket fra en tid, hvor Al horisonten var tyndere. Dette kan fx være fra før skovrydningen, hvor vanderosionen var ringe.

Humusindholdet falder ned gennem Al horisonterne, hvilket sandsynligvis skyldes den ringere biologiske aktivitet med dybden. Humusindholdet holder sig dog over 1% i alle Al horisonter i det aktuelle tilfælde. Volumenvægtene i Al horisonterne er alle lave og kommer sjældent over $1,5 \text{ g/cm}^3$, d.v.s., at der efter Tackett & Pearson (1964) skulle være optimale muligheder for rodudvikling i Al set i relation til jordtætheden. Variationen i pH ned gennem profilerne er ikke nær så systematisk som for de ikke kolluviale lerfattige jorde, og en tydelig opkalkningsprofil findes kun i MTgl. Der er i ingen af profilerne ekstremt lave pH-værdier, der kan tilskrives en rodstandsende effekt, ligesom grovporeindholdet i jorden er så stort på grund af den teksturelle sammensætning, at luftskiftet ikke kan anses for begrænsende for rodudviklingen. Fordelingen mellem de ombyttelige baser viser den samme tendens som fundet hos de ikke kolluviale lerfattige jorde, nemlig at calcium helt klart er den dominerende ombyttelige base.

For at få et samlet overblik over rodudviklingen i de 6 profiler er der i tabel 40 angivet værdierne for $Z(1.0)$, $Z(0.1)$ og $Z(0.01)$, ligesom der er angivet tykkelsen af Al horisonten.

Betragtes rodudviklingen hos græs og byg, hvis effektive rodtybde på lerfattige sedimenter må anses for næsten identiske, ses af tabel 40, at $Z(1.0)$ og $Z(0.1)$ er væsentlig større i de to profiler, der har en meget tyk Al horisont, end i de to profiler, der har en tynd kolluvial Al horisont. I de to sidstnævnte profiler har afgrøderne en $Z(0.1)$ på 70 og 80 cm, hvilket svarer godt overens med resultaterne for græs og byg på de lerfattige jorde uden kolluviale Al horisonter. Det samme er tilfældet for MTrl, hvor profilen har en relativ tynd kolluvial Al horisont, og hvor rugen har en $Z(0.1)$ på 70 cm, hvilket er det samme som fundet hos rug på de ikke kolluviale lerfattige sedimenter. Det vil derfor være rimeligt at antage, at tynde kolluviale Al horisonter, d.v.s. op til 70 til 80 cms tykkelse, ikke forøger $Z(0.1)$ -værdien nævneværdigt hos græs og kornsorterne.

PROFIL : MTb 1
 TYPE : kolluvial Typibrunsol
 AFGRØDE : georgiebyg

		Tekstur (μ)					OM	CaCO ₃
		<2	2-20	20-63	63-200	200-2000	0/0	
Ap+A12	0-45	5	9	13	37	32	3.9	0
B2v+B3v	45-69	4	3	6	40	47	0.4	0
C	69-	3	3	6	49	39	0.1	0

		cm rod cm ³ jord	vol. vægt	PH (CaCl ₂)
Ap	10- 20	6.0	1.32	5.0
Ap	20- 30	2.5	1.36	5.1
A12	30- 40	-	1.53	4.7
A12+B2v	40- 50	0.42	-	4.3
B2v	50- 60	0.51	1.49	4.5
B3v	60- 70	0.17	1.63	4.4
C	70- 80	0.05	1.71	4.5
C	80- 90	0.05	1.67	4.6
C	90-100	0.08	1.75	4.7
C	100-110	0.01	-	5.3

	dith-citr		ombyt. baser m.ækv.					CEC
	Fe 0/00	Al 0/00	Ca	Mg	K	Na	m.ækv	
Ap+A12	3.9	2.6	7.3	0.3	0.1	0.1	18.1	
B2v+B3v	3.2	1.6	-	-	-	-	-	
C	0.6	0.4	-	-	-	-	-	

PROFIL : MTb 2
 TYPE : Typikolluvialjord
 AFGRØDE : lamibygd

		Tekstur (μ)					OM	CaCO ₃
		<2	2-20	20-63	63-200	200-2000	0/0	
Ap	0- 28	4	6	6	40	41	2.7	0
A12	28- 74	5	8	9	39	37	1.9	0
A13	74- 90	5	9	12	36	36	1.6	0
C1	90-107	7	11	13	34	34	0.7	0
C2	107-	3	6	6	33	52	-	0

		cm rod cm jord	vol. vægt	PH (CaCl ₂)
Ap	10- 20	7.6	1.42	5.3
Ap	20- 30	1.5	1.48	5.5
A12	30- 40	0.98	1.43	5.5
A12	40- 50	0.96	1.39	5.2
A12	60- 70	1.1	1.39	4.6
A13	80- 90	1.3	1.37	5.0
C1	90-100	0.86	1.47	4.5
C2	110-120	0.06	1.62	4.7
C2	130-140	+	1.71	5.0
C2	150-160	0	1.57	5.1

	dith-citr		ombyt. baser m.ækv.					CEC
	Fe 0/00	Al 0/00	Ca	Mg	K	Na	m.ækv	
Ap	-	-	-	-	-	-	-	
A12	-	-	-	-	-	-	-	
A13	-	-	-	-	-	-	-	
C1	-	-	-	-	-	-	-	
C2	-	-	-	-	-	-	-	

PROFIL : MTr 1
 TYPE : kolluvial fragi Pseudogleytypibrunsol
 AFGRØDE : rug

		Tekstur (μ)					OM	CaCO ₃
		<2	2-20	20-63	63-200	200-2000	0/0	
Ap	0- 30	6	6	26	38	19	5.3	0
A12	30- 47	5	9	22	40	21	2.7	0
B2v	47- 60	6	9	16	45	23	1.3	0
B3vgx	60-115	7	7	13	46	27	-	0
Cgx	115-	7	6	13	44	30	-	0

		cm rod cm ³ jord	vol. vægt	PH (CaCl ₂)
Ap	10- 20	11.5	1.20	4.7
Ap	20- 30	5.1	1.27	4.4
A12	30- 40	2.4	1.28	4.3
A12+B2v	40- 50	1.3	1.38	4.3
B2v	50- 60	0.76	1.46	4.3
B3vgx	60- 70	0.12	1.65	4.5
B3vgx	70- 80	0.07	1.72	4.4
B3vgx	80- 90	0.03	1.70	4.2
B3vgx	90-100	0.01	1.72	4.3
B3vgx	100-110	0.02	1.76	4.2
Cgx	110-120	0.01	1.74	4.2

	dith-citr		ombyt. baser m.ækv.					CEC
	Fe 0/00	Al 0/00	Ca	Mg	K	Na	m.ækv	
Ap	3.6	2.1	5.6	0.2	0.2	0.1	22.1	
A12	2.7	2.0	-	-	-	-	-	
B2v	2.6	2.4	0.4	+	0.1	+	11.4	
B3vgx	1.4	0.6	-	-	-	-	-	
Cgx	2.0	0.8	0.5	+	0.1	+	4.9	

Derimod synes tykkere kolluviale Al horisonter at kunne give anledning til en væsentlig forøgelse af $Z(0.1)$ bedømt ud fra de to kolluvialjorde. Den meget dybe rodudvikling i disse to jorde skyldes dog sandsynligvis ikke alene det relativt høje humusindhold i de dybere lag, men også den lave volumenvægt, der karakteriserer hele Al horisonten, og derfor når stor dybde. Sammenhængen mellem en dyb og kraftig rodudvikling og lave volumenvægte til stor dybde er fx påpeget af Nielsen (1980), der sammenlignede rodintensiteterne inden for den øverste meter i to jorde med forskellig volumenvægt. Den ene af de to jorde var udviklet i leret till nær Jersie, medens den anden var udviklet i leret till på Højbakkegård i Tåstrup. Madsen (1980b) påpegede ligeledes ud fra studier på Tylstrup Forsøgsstation, at dybe og kraftige rodudviklinger hos byg kan forekomme på finsandede jorde, såfremt volumenvægten til stor dybde er lav, d.v.s. ikke over 1.5 g/cm^3 . Rodudviklingen i den profil, hvorpå der groede kartofler, viser sammenholdt med MSkl, at man ikke skal forvente, at der er få rødder til meget over 50 cms dybde hos kartofler udviklet på lerfattige jorde, selv om det er en fin lerfattig jord med en humusholdig Al horisont mere end 50 cm tyk. Dette stemmer rimeligt overens med de af Vetter & Scharafat (1964) opnåede resultater, hvor kartofler havde en mindre rodtybde end de fleste korn- og græs-afgrøder udviklet i parabrunjorde.

Rodudviklingen på lerholdige jorde i det glacial landskab

Der er ialt undersøgt 11 rodprofiler i de lerholdige jorde, 5 hos græs, 5 hos byg og 1 hos hvede, og resultaterne ses i tabel 41. De lerholdige jorde er teksturelt set defineret som jorde med 8% 1er eller derover inden for de øverste 70 cm af udgangsmaterialet. Den senere pedologiske udvikling i disse jorde kan have medført, at de øverste horisonter i profilerne i dag har under 8% 1er, men Bt horisonten skal da begynde inden 70 cms dybde. Udgangsmaterialet er i overvejende grad leret till, men der er fx i MLg5 tydelige indslag af ferskvandsler, hvor IIB3t indeholder 61% 1er, 35% silt og 4% sand. I enkelte tilfælde som fx i MLg3 overlejrer den lerede till smeltevandssand, der dog i alle tilfælde lå i over 1 meters dybde. Pedologisk set er profilerne i alt overvejende grad Blandingslessiveer og Typilessiveer, der i visse tilfælde er stærkt pseudogleyprægede. Der blev ofte fundet lerskind i Bt horisonterne, ligesom der var udbredte humusbelægninger i orme- og rodgangene i A2 og B2t. I en enkelt profil, MLbl, blev der observeret en begyndende degradering af B2t horisonten, hvilket der også var meget svage tegn på i MLb5. Kun to ud af de 11 profiler er ikke klassificeret som lessivejorde, nemlig MLgl, der anses for at være en Strukturbrunjord og MLb2, der på grund af et højtstående grundvand før dræning er klassificeret som kolluvial Brungley.

PROFIL : MLg 3											
TYPE : kolluvial Blandingslessive											
AFGRØDE : græs med kløver, 1 årig overvejende hundegras, rajgræs, engsvingel											
		cm rod cm ³ jord	vol. vægt	PH (CaCl ₂)							
Ap	10- 20	2,5	1,37	5,3							
Ap	20- 30	1,5	1,48	5,3							
A12	30- 40	1,5	1,39	5,1							
A2	40- 50	0,75	1,48	4,9							
A2	50- 60	0,09	1,65	4,7							
IIB2t	60- 70	0,30	1,63	4,2							
IIB2t	70- 80	0,27	1,65	4,0							
IIB2t	80- 90	0,08	1,63	3,9							
IIB3td	90-100	0,02	1,75	3,9							
IIB3td	100-110	0,01	1,83	4,1							
IIC	120-130	+	1,72	4,4							

		Tekstur (μ)					OM	CaCO ₃
		<2	2-20	20-63	63-200	200-2000	0/0	
Ap	0- 30	4	10	13	44	26	2,5	0
A2	43- 59	8	15	17	37	22	0,7	0
IIB2t	59- 90	24	39	27	7	2	0,5	0
IIB3td	90-118	10	6	11	46	27	0,2	0
IIC	118-	3	3	7	76	11	0,1	0

		dith-citr	ombyt. baser m.ækv.					CEC
		Fe 0/00	Al 0/00	Ca	Mg	K	Na	m.ækv
Ap		3,2	1,2	6,0	0,2	0,1	0,1	12,4
A2		3,2	0,9	2,7	0,2	0,1	0,1	7,4
IIB2t		9,7	1,4	5,8	0,6	0,2	0,1	16,0
IIB3td		3,8	0,6	2,5	0,2	0,1	0,1	6,6
IIC		1,4	0,2	0,7	0,1	+	+	2,0

PROFIL : MLg 4											
TYPE : Typilessive											
AFGRØDE : græs, 1 årig overvejende hundegras, rajgræs											
		cm rod cm ³ jord	vol. vægt	PH (CaCl ₂)							
Ap	10- 20	1,4	1,47	5,9							
Ap	20- 30	1,1	1,54	6,0							
Ap+A2	30- 40	0,81	1,46	5,7							
A2	40- 50	0,45	1,58	5,5							
A2	50- 60	0,60	1,64	5,5							
B2t	60- 70	0,39	1,70	5,7							
B2t	70- 80	0,15	1,70	5,6							
B2t	80- 90	0,06	1,74	5,5							
B2t	90-100	0,14	1,77	5,4							
B3t	110-120	0,01	1,67	5,3							
B3t	120-130	0	1,74	5,4							

		Tekstur (μ)					OM	CaCO ₃
		<2	2-20	20-63	63-200	200-2000	0/0	
Ap	0- 37	8	14	20	31	24	2,7	0
A2	37- 61	12	14	15	37	21	0,5	0
B2t	61-100	18	13	14	36	19	0,3	0
B3t	100-150	17	15	12	34	22	0,2	0
C	150-	15	13	10	45	27	-	0

		dith-citr	ombyt. baser m.ækv.					CEC
		Fe 0/00	Al 0/00	Ca	Mg	K	Na	m.ækv
Ap		6,7	1,0	9,4	0,7	0,3	0,1	14,5
A2		7,0	0,6	5,6	0,5	0,2	0,1	8,2
B2t		6,5	0,9	7,3	0,6	0,2	0,2	10,9
B3t		3,7	0,5	6,7	0,7	0,2	0,2	9,9
C		11,8	1,5	5,6	1,5	0,2	0,1	9,2

PROFIL : MLg 5											
TYPE : Blandingslessive											
AFGRØDE : frøgræs (rajgræs)											
		cm rod cm ³ jord	vol. vægt	PH (CaCl ₂)							
Ap	10- 20	4,6	1,59	5,9							
IIB2t	30- 40	2,6	1,51	4,8							
IIB2t	40- 50	1,7	1,45	4,7							
IIB2t	60- 70	1,2	1,53	5,0							
IIB3t	80- 90	0,62	1,50	5,1							
IIB3t	100-110	0,43	1,38	5,3							
IIB3t	110-120	0,36	1,45	5,3							
IIB3t	120-130	0,29	1,50	5,2							
IIB3t	140-150	0,06	1,57	5,4							
IIC	160-170	+	-	5,9							
IIC	180-190	0	-	6,6							

		Tekstur (μ)					OM	CaCO ₃
		<2	2-20	20-63	63-200	200-2000	0/0	
Ap	0- 29	18	19	9	33	18	2,5	0
IIB2t	29- 78	42	45	9	1	2	0,7	0
IIB3t	78-150	61	29	6	3	1	0,4	0
IIC	150-	33	23	9	29	6	0,2	0

		dith-citr	ombyt. baser m.ækv.					CEC
		Fe 0/00	Al 0/00	Ca	Mg	K	Na	m.ækv
Ap		1,1	0,8	14,6	0,9	0,3	0,1	19,8
IIB2t		3,4	0,4	15,6	3,7	0,4	0,2	25,3
IIB3t		5,6	0,4	20,3	5,5	0,4	0,4	32,4
IIC		3,9	1,5	11,7	2,2	0,2	0,3	17,3

PROFIL : MLb 1
 TYPE : degraderet Pseudogleytypilessive
 AFGRØDE: lamibyg

		cm rod 3 cm ³ jord	vol. vægt	PH (CaCl ₂)
Ap	10- 20	1.9	1.27	6.0
Ap	20- 30	1.4	1.42	6.0
A2	30- 40	0.93	1.50	5.9
A2	40- 50	0.58	1.61	5.6
A2+B2tg	50- 60	0.29	1.61	5.1
B2tgy	60- 70	0.04	1.68	4.9
B2tgy	70- 80	0.04	1.69	4.3
B2t+B3tg	80- 90	0.04	1.70	4.0
B3tg	100-110	+	1.70	4.1
B3tg	120-130	0	1.73	4.5
B3tg	140-150	0	+	5.0

		Tekstur (μ)					OM	CaCO ₃
		<2	2-20	20-63	63-200	200-2000	0/0	
Ap	0- 29	5	12	17	35	25	3.6	0
A2	29- 51	8	12	12	39	28	0.7	0
B2tgy	51- 84	13	11	11	36	29	0.3	0
B3tg	84-140	15	11	12	35	27	0.2	0
B3tg	140-162	15	10	9	35	31	0.2	0
IICg	162-	18	16	8	-	30	1.2	11

	dith-citr		ombyt. baser m.ækv.					CEC
	Fe 0/00	Al 0/00	Ca	Mg	K	Na	m.ækv	
Ap	-	-	-	-	-	-	-	
A2	-	-	-	-	-	-	-	
B2tgy	-	-	-	-	-	-	-	
B3tg	-	-	-	-	-	-	-	
Cg	-	-	-	-	-	-	-	

PROFIL : MLb 2
 TYPE : kolluvial Brungley
 AFGRØDE: salkabyg

		cm rod 3 cm ³ jord	vol. vægt	PH (CaCl ₂)
Ap	10- 20	2.6	1.55	6.1
Ap	20- 30	1.2	1.59	6.4
Al2ob	30- 40	1.2	1.22	5.5
Al2ob	40- 50	0.65	1.34	5.4
IICob	50- 60	0.39	1.56	4.7
IICob	70- 80	0.22	1.62	4.5
IIICob	80- 90	0.11	1.71	4.8
IIICob	100-110	0.03	1.71	4.6
IIICob	120-130	0.03	1.66	4.9

		Tekstur (μ)					OM	CaCO ₃
		<2	2-20	20-63	63-200	200-2000	0/0	
Ap	0- 31	6	10	12	41	28	2.6	0
Al2ob	31- 51	5	13	19	43	17	3.0	0
IICob	51- 78	21	18	27	25	9	-	0
IIICob	78-130	9	9	37	34	11	-	0
IVCrb	130-	4	4	13	34	35	-	0

	dith-citr		ombyt. baser m.ækv.					CEC
	Fe 0/00	Al 0/00	Ca	Mg	K	Na	m.ækv	
Ap	-	-	-	-	-	-	-	
Al2ob	-	-	-	-	-	-	-	
IICob	-	-	-	-	-	-	-	
IIICob	-	-	-	-	-	-	-	
IVCrb	-	-	-	-	-	-	-	

PROFIL : MLb 3
 TYPE : Typilessive
 AFGRØDE: georgiebyg

		cm rod 3 cm ³ jord	vol. vægt	PH (CaCl ₂)
Ap	10- 20	0.91	1.44	5.7
Ap	20- 30	0.54	1.70	5.8
A2	30- 40	0.38	1.77	5.6
A2+B2t	40- 50	0.15	1.77	5.7
B2t	50- 60	0.19	1.83	5.5
B2t	60- 70	0.10	1.72	5.5
B2t+B3t	70- 80	0.07	1.70	5.8
B3t	80- 90	0.11	1.75	5.9
B3t	100-110	0.01	1.73	5.7
B3t	130-140	0	1.69	5.7
C	160-170	0	1.58	5.7

		Tekstur (μ)					OM	CaCO ₃
		<2	2-20	20-63	63-200	200-2000	0/0	
Ap	0- 31	9	13	15	32	27	3.4	0
A2	31- 42	13	16	11	34	25	0.8	0
B2t	42- 77	21	15	11	33	20	0.3	0
B3t	77-150	19	14	12	37	18	0.2	0
C	150-	14	11	8	40	27	-	0

	dith-citr		ombyt. baser m.ækv.					CEC
	Fe 0/00	Al 0/00	Ca	Mg	K	Na	m.ækv	
Ap	9.9	1.0	9.6	0.7	0.9	0.1	14.7	
A2	3.4	0.7	-	-	-	-	-	
B2t	5.4	0.8	8.5	0.5	0.3	0.1	11.0	
B3t	5.2	0.8	8.1	0.5	0.2	0.1	10.5	
C	4.1	0.5	-	-	-	-	-	

PROFIL : MLb 4
 TYPE : Pseudogleyblandingslewise
 AFGRØDE : salkabyg

	cm rod cm ³ jord	vol. vægt	PH (CaCl ₂)
Ap 10- 20	1.9	1.65	6.5
Ap 30- 40	0.48	1.67	6.6
IIB2tg 50- 60	0.44	1.59	5.4
IIB2tg 70- 80	0.43	1.66	5.4
IIB3tg 90-100	0.19	1.58	5.9
IIB3tg 110-120	0.09	1.61	6.0
IIB3tg 130-140	0.05	1.66	6.0
IICg 150-160	0.02	1.65	7.7
IICg 170-180	0.01	1.63	7.7
IICg 185-195	0.02	1.57	7.7

		Tekstur (μ)					OM	CaCO ₃
		≤2	2-20	20-63	63-200	200-2000	0/0	
Ap	0- 40	9	12	16	38	23	2.1	0
IIB2tg	40- 82	37	35	9	15	4	0.3	0
IIB3tg	82-141	36	33	14	13	4	0.2	0
IICg	141-180	35	31	15	15	3	0.5	1
IICg	180-	38	40	6	12	4	-	7

		dith-citr	ombyt. baser m.ækv.					CEC
		Fe 0/00	Al 0/00	Ca	Mg	K	Na	m.ækv
Ap		4.1	0.5	9.4	0.3	0.3	0.1	12.6
IIB2tg		12.2	1.4	13.9	1.3	0.4	0.2	19.7
IIB3tg		11.3	1.2	13.6	2.4	0.3	0.2	19.0
IICg		10.3	1.0	-	-	-	-	-
IICg		3.7	2.3	-	1.0	0.3	0.2	-

PROFIL : MLb 5
 TYPE : Pseudogleytypilewise
 AFGRØDE : nerybyg

	cm rod cm ³ jord	vol. vægt	PH (CaCl ₂)
Ap 10- 20	1.9	1.52	5.7
Ap+A2 30- 40	0.10	1.71	5.1
A2 40- 50	0.20	1.69	4.8
B2tg 60- 70	0.39	1.73	3.9
B2tg 80- 90	0.55	1.71	4.0
B3tg 100-110	0.16	1.70	4.1
B3tg 120-130	0.04	1.77	4.2
B3tg 140-150	+	1.77	4.4
Cg 160-170	0	-	4.4
Cg 195-205	0	-	4.6

		Tekstur (μ)					OM	CaCO ₃
		≤2	2-20	20-63	63-200	200-2000	0/0	
Ap	0- 35	9	14	16	34	24	2.5	0
A2	35- 54	14	21	12	32	21	0.4	0
B2tg	54- 91	27	19	10	26	18	0.3	0
B3tg	91-160	25	19	14	25	17	0.2	0
Cg	160-	23	19	11	30	17	0.1	0

		dith-citr	ombyt. baser m.ækv.					CEC
		Fe 0/00	Al 0/00	Ca	Mg	K	Na	m.ækv
Ap		4.0	1.1	10.9	0.3	0.2	0.1	14.7
A2		4.1	0.6	4.2	0.2	0.2	0.1	6.9
B2tg		7.5	1.0	5.6	0.4	0.2	0.1	13.1
B3tg		8.2	0.8	5.6	2.3	0.2	0.1	13.4
Cg		7.2	0.8	5.4	2.7	0.2	0.1	13.2

PROFIL : MLh 1
 TYPE : Typilewise
 AFGRØDE : vukahvede

	cm rod cm ³ jord	vol. vægt	PH (CaCl ₂)
Ap 10- 20	3.0	1.45	6.2
A2 30- 40	0.85	1.67	5.4
A2+B2t 50- 60	1.1	1.74	4.3
B2t+B3t 70- 80	0.62	1.73	3.9
B3t 90-100	0.21	1.78	3.9
B3t 110-120	0.19	1.75	3.9
C 130-140	0.11	1.76	4.3
C 150-160	0.08	1.65	4.4
C 170-180	0.04	1.64	4.2
C 190-200	+	-	5.6

		Tekstur (μ)					OM	CaCO ₃
		≤2	2-20	20-63	63-200	200-2000	0/0	
Ap	0- 29	9	16	20	30	21	3.7	0
A2	29- 53	16	18	14	31	20	1.1	0
B2t	53- 79	25	18	10	30	17	0.4	0
B3t	79-121	18	14	15	34	19	0.2	0
C	121-	13	11	12	35	29	0.1	0

		dith-citr	ombyt. baser m.ækv.					CEC
		Fe 0/00	Al 0/00	Ca	Mg	K	Na	m.ækv
Ap		3.8	1.4	-	-	-	-	-
A2		5.2	0.9	-	-	-	-	-
B2t		8.2	1.0	-	-	-	-	-
B3t		5.7	0.5	-	-	-	-	-
C		4.6	0.4	-	-	-	-	-

Profilerne har i pløjelaget en pH-værdi på omkring 6, hvilket er rimeligt bedømt ud fra Olesen og Hedegård (1968). I lidt over halvdelen af profilerne er der et markant fald i pH til omkring 4 i en meters dybde, hvorefter pH igen begynder at stige. Dette pH-forløb ned gennem profilerne viser, at jorden har været stærkt udvasket i den øverste meter af profilen inden opdyrkningen, og at effekten af kalkningen kun kan spores til ringe dybde under pløjelaget. I lidt under halvdelen af profilerne er opkalkningsprofilen kun svagt eller slet ikke udviklet, og pH holder sig over 5,0 i hele profildybden, og i en enkelt af profilerne er den endog over 6 i hele profildybden. I et par tilfælde blev der i de dybeste lag observeret kalkklumper. Blandt de ombyttelige baser dominerer calciumionen klart, og den udgør omkring 90% af de ombyttelige baser i Ap horisonterne og omkring 80% af de ombyttelige baser i de dybtliggende horisonter, når der ses bort fra de kalkholdige C horisonter.

Betragtes variation i volumenvægten ned gennem profilerne bemærkes, at volumenvægten i de fleste profiler er højere i de dybere lag end i Ap, men der er ikke altid tale om en konstant stigning med dybden. I visse tilfælde findes de tætteste jordlag nederst i Bt horisonterne, og ikke som man kunne forvente dybest nede i C. De højeste volumenvægte i profilerne ligger normalt mellem 1.7 og 1.8 g/cm³, og volumenvægte af denne størrelse kan allerede træffes inden for den øverste halve meter af profilen. Det er klart, at så høje volumenvægte i lerholdige jorde betinger et relativt lavt grovporeindhold. Udregnes grovporeindholdet som differencen mellem porøsiteten og vandindholdet ved pF2 for de forskellige horisonter i de lerholdige jorde, ses i kapitel 11, at grovporeindholdet ofte ligger noget under 10 vol% for B og C horisonterne. Dette er under den kritiske grænse for et godt luftskifte (Wesseling 1962), såfremt der ikke er udviklet en god struktur i jorden med et kontinuert grovporesystem. Det vil derfor være forventeligt, at der kan opstå perioder gennem vækstsæsonen, hvor luftskiftet er hæmmet, fordi kraftige regnskyl kan fylde grovporesystemet op med vand og dermed nedsætte diffusionshastigheden for O₂ Og CO₂ gennem profilen.

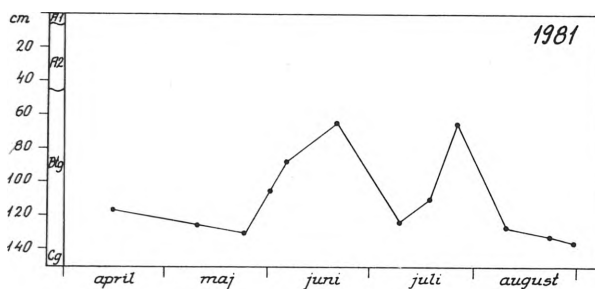


Fig. 48: Grundvandsvariationen i sommeren 1981 i en Pseudogleytypilessive udviklet i leret till i Korselitze Skov på Østfalster.

Variations in groundwater table (summer 1981) in a Pseudogleytypilessive developed in clayey till in the forest Korselitze Skov, eastern Falster.

Dette er illustreret på fig. 48, hvor grundvandsvariationen i sommeren 1981 er vist for en Pseudogleytypilessive udviklet i en leret till i Korselitze Skov ved Hesnæs på Østfalster. Profilen ligger på en højtliggende moræneflade nær en skråning ned mod en dal. Fig. 48 viser, at i nedbørsrige år kan grovporesystemet i en lessivejord fyldes op i løbet af vækstsæsonen, så Bt horisonten bliver vandmættet, og grundvandsspejlet står oppe omkring A2 horisonten. Det ses endvidere, at der igennem vækstsæsonen kan forekomme store fluktuationer i grundvandsspejlets beliggenhed, hvilket bl.a. skyldes det lave grovporeindhold i B og C horisonterne, der medfører, at få mm nedbør kan danne grundlag for en stor stigning i grundvandsspejlets beliggenhed.

Diskussion af rodudviklingen hos græs, byg og hvede i lerholdige jorde

For at få et samlet indtryk af rodudviklingen hos de forskellige afgrøder på de lerholdige jorde er Z(1.0), Z(0.1) og Z(0.01) angivet for de 11 undersøgte profiler, tabel 42.

Tabel 42: Den samlede tykkelse af lag med mange rødder Z(1.0), med mange eller få rødder Z(0.1) og med mange, få eller meget få rødder Z(0.01) for afgrøderne græs, byg og hvede på lerholdige sedimenter. Dybderne er angivet i cm.

The thickness of layers (in cm) with more than 1.0 cm root/cm³ soil, Z(1.0), more than 0.1 cm root/cm³ soil, Z(0.1), and more than 0.01 cm root/cm³ soil, Z(0.01), for 11 root profiles developed in soils with more than 8% clay in the parent material.

	græs MLg					frøg. MLb					hvede MLh				
	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5
Z(1.0)	40	20	40	30	70	30	40	(10)	25	25	50				
Z(0.1)	60	60	70	90	135	60	90	80	110	115	145				
Z(0.01)	>120	80	110	120	150	90	>130	110	>195	140	190				

Rodudviklingen hos græs er som før nævnt undersøgt på 5 lokaliteter. De 4 lokaliteter var på almindelige græsmarker, medens den sidste lokalitet var en frøgræsmark med rajgræs. Betragtes de 4 profiler på slåede græsmarker ses, at Z(1.0) gennemsnitligt ligger på 30 cm, Z(0.1) ligger gennemsnitligt

på 70 cm, og Z(O.OI) ligger gennemsnitligt på noget over 1 meter. Sammenlignes disse dybder med de dybder, der blev fundet for græs på de fine lerfattige jorde, ses, at de lerholdige jorde har en ringere rodintensitet i de øverste lag bedømt ud fra Z(1.0), medens rødderne til gengæld når dybere ned i de lerholdige jorde bedømt ud fra Z(0.01). Z(0.1) for græs er derimod den samme for de fine lerfattige jorde og de lerholdige jorde, nemlig omkring 70 cm. Rodudviklingen hos græs synes ikke at være nævneværdigt påvirket af pH i underjorden, i hvert fald så længe pH(CaCl₂) ikke kommer under 4, og rødderne kan, som fundet under de lerfattige jorde, trænge dybt ned i jordlag med volumenvægte på over 1,7 g/cm³. Det sidste er fx tilfældet i MLg4.

Rodudviklingen hos frøgræs synes ud fra MLg5, at være væsentlig dybere og kraftigere end på de slåede græsmarker, idet Z(1.0) og Z(0.1) i det aktuelle tilfælde er næsten dobbelt så dyb på frøgræsmarken som på de slåede græsmarker. Dette er delvis forventeligt ud fra betragtninger om, at rod/topforholdet hos græs vil være tilnærmelsesvis konstant. Den store og kraftige rodprofil hos frøgræsset kan muligvis også forklares ud fra den ringe volumenvægt og stærke struktur i Bt horisonterne, der sammenholdt med den finkornede tekstur vil medføre, at jorden kun vil yde ringe modstand den rodnedtrængningen. Det vil dog være nødvendigt med yderligere undersøgelser for at få klarlagt, hvorvidt rodudviklingen hos frøgræs normalt vil være så dyb, som den der er fundet i MLg5.

Tabel 42 viser angående rodudviklingen hos byg, at Z(1.0) gennemsnitlig ligger på omkring 25 cm, Z(0.1) ligger gennemsnitlig på omkring 90 cm, og Z(0.01) ligger gennemsnitlig på omkring 140 cm. Der er store variationer i roddybderne fra profil til profil, fx er dybden under terræn for meget få rødder over dobbelt så stor i MLb4 som i MLbl, og dybden under terræn for få rødder er næsten dobbelt så stor i MLb5 som i MLbl. MLbl har i sammenligning med de øvrige fire profiler en yderst ringe rodudvikling. Den ringe rodudvikling kan hverken tilskrives unormale høje volumenvægte eller meget lave pH-værdier i profilen, men den kan enten tilskrives bygsorten eller mere sandsynligt vandstuvning i profilen, jævnfør fig. 48. Sammenholdes rodudviklingen hos græs, byg og hvede med de laveste pH-værdier i underjorden, ses af fig. 49, at der ikke i dette materiale er nogen tydelig sammenhæng mellem rodudviklingen udtrykt ved Z(0.1) og den laveste pH-værdi under Al.

Der er heller ikke nogen tydelig sammenhæng mellem roddybden og volumenvægten i jorden, fx er Z(0.1) væsentlig dybere i MLb5, hvor volumenvægtene generelt er over 1.7 g/cm³ fra 30 cms dybde, end i MLb2, hvor hovedparten af profilen har volumenvægte under 1.7 g/cm³. Som før omtalt er grovporeindholdet i B og C horisonterne særdeles lavt i de lerholdige profiler, og der kan jævnfør fig. 48 opstå temporære grundvandsspejl højt oppe i profilen. Dette forhold kan være en medvirkende årsag til, at rodudviklingen er så forskellig i de undersøgte profiler. Det vil derfor være rimeligt at antage, at rodudviklingen gennemsnitligt i våde år vil være ringere i de pseudogleyprægede lessivejorde end i lessivejorde uden pseudogleypræg.

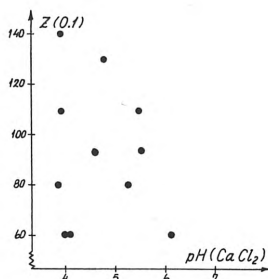


Fig. 49: Den samlede tykkelse af lag i cm med mange eller få rødder i relation til den laveste pH-værdi under Al horisonten.

The total thickness of layers (in cm) with many or few roots in relation to lowest pH-value below the Al horizon.

Sammenlignes bygs rodudvikling på de lerholdige jorde med rodudviklingen på de fine lerfattige jorde ses, at $Z(1.0)$ er dybere hos de fine lerfattige jorde end hos de lerholdige, medens det modsatte gør sig gældende for $Z(0.1)$ og $Z(0.01)$.

Rodudviklingen hos vinterhvede på lerholdige jorde er undersøgt på en enkelt lokalitet, og resultatet viser en væsentlig dybere rodudvikling end hos byg. Dette er ikke umiddelbart overraskende, idet vinterafgrøderne har en dybere og kraftigere rodudvikling end sommerafgrøderne, hvor der ikke er jordbundsmæssige hindringer derfor. Den dybe og kraftige rodudvikling er i denne forbindelse bemærkelsesværdig, idet rodintensiteten er over 0.1 cm rod/cm^3 jord ned gennem 1 meter B og C horisont, hvor volumenvægten er over 1.7 g/cm^3 , og hvor pH i visse dele er under 4.0.

Samlede betragtninger over rodudviklingen i lerholdige sedimenter i det glacielle landskab

Der er ialt undersøgt 11 rodprofiler i lerholdige jorde i det glacielle landskab, fem hos græs, fem hos byg og en hos hvede. Ni af profilerne var pedologisk set lessivejorde, en var en brunjord, og den sidste var en drænet gleyjord. Rodudviklingen hos græs viste, at $Z(1.0)$ var ca. 30 cm, $Z(0.1)$ var ca. 70 cm og $Z(0.01)$ noget over 1 meter. Sammenholdes disse resultater med resultaterne for de fine lerfattige profiler, fås, at $Z(0.1)$ er tilnærmelsesvis den samme på de fine lerfattige jorde som på de egentlige lerholdige jorde. Rodudviklingen hos byg viste, at de lerfattige jorde havde en større $Z(1.0)$ end de lerholdige jorde, medens det omvendte var tilfældet for $Z(0.1)$ og $Z(0.01)$, idet fx $Z(0.1)$ på de lerholdige jorde er bestemt til at være 90 cm mod 70 cm på de fine lerfattige jorde. Rodprofilen hos frøgræs og hvede synes at være dybere og kraftigere end hos respektivt græs og byg, hvilket bl.a. skyldes, at frøgræsset er en flerårig afgrøde, og at hveden er en vinterafgrøde.

Volumenvægten og pH-forholdene synes ikke umiddelbart at virke som en barriere for rodedtrængningen i nogen af profilerne, selv om volumenvægten er over 1.7 g/cm^3 , og $\text{pH}(\text{CaCl}_2)$ i visse lag faldt til 3.9. Man kan dog ikke se bort fra, at de høje volumenvægte kan have virket hindrende for en tæt rodudvikling i de dybereliggende lag, idet rodudviklingen i disse lag sandsynligvis følger sprækkesystemerne, og at rødderne kun i ringe grad trænger ind i aggregaterne. Grovporeindholdet er i de lerholdige jordes B og C horisonter meget lavt, hvilket dog ikke synes at nedsætte luftskiftet så stærkt, at rodudviklingen i de fleste profiler hæmmes væsentligt. Man kan dog ikke se bort fra, at kraftige byger i vækstsæsonen kan fylde grovporesystemet op, således at periodiske hæmninger af luftskiftet kan indtræde med deraf følgende skadevirkninger på planten.

Rodudviklingen i kalkholdigt udgangsmateriale

Der er i alt undersøgt otte rodprofiler i stærkt kalkholdige jorde, nemlig to hos græs, tre hos byg og tre hos hvede. Resultaterne ses af tabel 43. Fire af de undersøgte profiler er Typirendzinaer, og to er kolluviale Typirendzinaer, og i disse seks profiler hviler Al horisonten direkte på kalkklippen. De to sidste profiler er en kolluvial Blandingsrendzina udviklet på stærkt kalkholdige lerfattige aflejringer og en Rendzintypilessive, hvor der i et 55 cm tykt sedimentdække ovenpå kalkklippen er udviklet en tydelig lessivejord med den stærkest udviklede Bt horisont lige ovenpå kalkklippen. Der er i ingen af profilerne tegn på højtstående grundvand, og der er heller ingen tegn på dårlig indre dræning i profilerne. Kalkbjergarten, der i tabel 43 beskrives med Rc, er i de fleste profiler underinddelt i Rlc og R2c, hvor Rlc angiver en temmelig opsprækket kalkbjergart med enkelte tunger af minerogent materiale eller tynde ler-humusbelægninger på brudfladerne, medens R2c angiver den mere massive kalkbjergart.

Betragtes de målte jordbundskemiske og -fysiske forhold i profilerne, bemærkes, at volumenvægtene i mange af jordene, som fx MKh2, er særdeles lave set i forhold til dem, der blev fundet i de øvrige jorde i det glacielle landskab. Det høje kalkindhold i jordene, der fx blev bestemt til 96% i MKbl, medfører, at pH i alle profilerne er særdeles høj.

For at få et samlet overblik over rodedtrængningen i de kalkholdige jorde, er der i tabel 44 angivet Z(1.0), Z(0.1) og Z(0.01) for profilerne, ligesom sedimentdækkets tykkelse er angivet. Der er endvidere udregnet rodedtrængningsdybden for få rødder og meget få rødder i kalkbjergarten, d.v.s. nedtrængningsdybden i Rc horisonten. Tabel 44 viser, at Z(1.0) gennemsnitlig ligger på omkring 30 cm, når alle profiler tages under et. Der findes ikke altid kun mange rødder i sedimentdækket ovenpå kalken, idet der fx i MKb3 er fundet mange rødder 15 cm ned i Rlc.

PROFIL : MKb 1
 TYPE : Typirendzina
 AFRØDE : salkabyg

		cm rod cm ³ jord	vol. vægt	PH (CaCl ₂)
Ap	10- 20	2.7	1.18	7.5
Ap+R1c	20- 30	1.8	-	7.7
R1c	30- 40	0.86	1.24	7.8
R1c	40- 50	0.39	1.22	7.8
R2c	50- 60	0.01	1.18	7.9
R2c	60- 70	0.01	1.23	7.9
R2c	70- 80	0.01	1.26	7.8
R2c	80- 90	0.01	1.29	7.8
R2c	90-100	0	1.30	7.9
R2c	110-120	0	1.24	7.7

		Tekstur (μ)					OM	CaCO ₃
		<2	2-20	20-63	63-200	200-2000	0/0	
Ap	0-23	-	-	-	-	-	3.6	52
R1c	23-50	-	-	-	-	-	1.0	96
R2c	50-	-	-	-	-	-	-	90

		dith-citr	ombyt. baser m.ækv.					CEC
		Fe 0/00	Al 0/00	Ca	Mg	K	Na	m.ækv
Ap		2.1	0.4	-	-	-	-	-
R1c		0.4	0.1	-	-	-	-	-
R2c		0.2	0.1	-	-	-	-	-

PROFIL : MKb 2
 TYPE : kolluvial Typirendzina
 AFRØDE : byg

		cm rod cm ³ jord	vol. vægt	PH (CaCl ₂)
Ap	10- 20	1.4	1.37	7.5
Ap	20- 30	0.90	1.24	7.6
A12	30- 40	0.96	1.29	7.6
A12	40- 50	0.44	1.29	7.4
A12+R1c	50- 60	0.37	1.24	7.7
R1c	60- 70	0.42	1.31	7.8
R1c	70- 80	0.35	1.38	7.8
R2c	80- 90	0.13	-	7.8
R2c	90-100	0.02	-	7.9
R2c	100-110	0.01	1.44	7.8
R2c	120-130	+	1.40	8.0

		Tekstur (μ)					OM	CaCO ₃
		<2	2-20	20-63	63-200	200-2000	0/0	
Ap	0-55	17	20	15	20	24	4.0	17
R1c	55-80	-	-	-	-	-	-	68
R2c	80-	-	-	-	-	-	-	82

		dith-citr	ombyt. baser m.ækv.					CEC
		Fe 0/00	Al 0/00	Ca	Mg	K	Na	m.ækv
Ap		-	-	-	-	-	-	-
R1c		-	-	-	-	-	-	-
R2c		-	-	-	-	-	-	-

PROFIL : MKb 3
 TYPE : Typirendzina
 AFRØDE : byg

		cm rod cm ³ jord	vol. vægt	PH (CaCl ₂)
Ap	10- 20	4.1	1.34	-
Ap+R1c	20- 30	2.0	1.37	-
R1c*	30- 40	1.2	-	-
R1c	40- 50	0.84	-	-
R1c	50- 60	0.68	-	-
R1c	60- 70	0.23	-	-
R1c	70- 80	0.27	-	-
R1c	80- 90	0.18	-	-
R1c	90-100	0.12	-	-
R1+R2c	100-110	0.21	-	-
R2c	110-120	0.04	-	-

*R1c meget stenet (flint)

		Tekstur (μ)					OM	CaCO ₃
		<2	2-20	20-63	63-200	200-2000	0/0	
Ap	0- 25	11	11	14	19	39	-	6
C*	25-102	22	14	30	11	18	-	5
R1c	25-102	-	-	-	-	-	-	62
R2c	102-	-	-	-	-	-	-	90

* lertunge ned i kalken

		dith-citr	ombyt. baser m.ækv.					CEC
		Fe 0/00	Al 0/00	Ca	Mg	K	Na	m.ækv
Ap		-	-	-	-	-	-	-
R1c		-	-	-	-	-	-	-
R2c		-	-	-	-	-	-	-

Tabel 44: Den samlede tykkelse af lag med mange rødder Z(l.O), med mange eller få rødder Z(0.1) og med mange, få eller meget få rødder Z(0.01) samt nedtrængningsdybden i kalkbjergarten for 0.1 cm rod/cm³ jord og for 0.01 cm rod/cm³ jord. Dybderne er i cm.

The thickness of layers (in cm) with more than 1.0 cm root/cm³ soil, Z(1.0), more than 0.1 cm root/cm³ soil, Z(0.1), and more than 0.01 cm root/cm³ soil, Z(0.01), for 8 root profiles developed in rendzinas or rendzina-like soils. Furthermore the depth of root penetration into the limestone is shown.

	græs MKg		byg MKb			hvede MKh		
	1	2	1	2	3	1	2	3
Z(1.0)	20	30	30	20	40	30	50	50
Z(0.1)	60	70	50	90	110	40	80	80
Z(0.01)	>100	80	90	115	>120	>120	80	120
Sedimentdækkets tykkelse	22	55	23	55	25	26	46	-
nedtrængningsdybden i Rc for 0.1 cm rod/cm ³ jord	40	15	25	35	85	15	35	-
nedtrængningsdybden i Rc for 0.01 cm rod/cm ³ jord	>80	25	65	65	>95	>95	35	-

Z(0.1) ligger i disse jordtyper gennemsnitlig på omkring 70 cm, medens den gennemsnitlige Z(0.01) er lidt over 1 meter. Der er store variationer i roddybderne fra profil til profil, fx er dybden under terræn for 0.1 cm rod/cm jord næsten tre gange så stor i MKb3 som i MKh1 og over dobbelt så stor som i MKbl. De store forskelle i roddybden som fx for Z(0.1) skyldes uden tvivl et samspil mellem sedimentdækkets tykkelse, og hvor opsprækket den underliggende kalk er. Er kalken gennemsat af et tæt veludviklet sprækkesystem til stor dybde, kan der opstå et dybtgående tæt rodsystem i profilen, hvorimod en højtliggende kompakt R2c horisont kan bremse rodudviklingen tæt ved overfladen. Rodprofilen i MKhh2 er et tydeligt eksempel på, hvor effektivt en kompakt R2c horisont kan stoppe rodudviklingen, men nor-

malt vil der være enkelte sprækker også øverst i R2c, der kan lede rødde længere ned i jorden.

Ser man bort fra MKb3, der er stærkt opsprækket og har tunger af minerogent kalkfattigt materiale dybt ned i R1c, viser tabel 44, at rodnedtrængningen for 0.1 cm rod/cm³ jord gennemsnitlig vil nå 30 cm ned i kalken, uanset om jorden er en kolluvial Typirendzina eller en Typirendzina. Man kan deraf slutte, at sedimentdækkets tykkelse har stor betydning for roddebden hos rendzinaerne og dermed for planternes vandhusholdning. Rodnedtrængningsdybden for meget få rødde i kalken vil ud fra det foreliggende materiale være omkring 60 cm.

Det er ikke muligt på basis af det foreliggende materiale at vurdere forskelle i rodudviklingen mellem græs, byg og hvede, idet de jordbundsgivende faktorer præger rodudviklingen så stærkt. Det vil ud fra de undersøgte profiler derfor være rimeligt at antage, at rodudviklingen og dermed den effektive roddebd er den samme for græs, byg og hvede i rendzinaer.

Rodudviklingen i blandede sedimenter i det glacielle landskab

Der var inden for undersøgelsesmateriale enkelte jordbundsprofiler i det glacielle landskab, der ned gennem profilen havde markante teksturelle skift, der ikke kan tilskrives jordens pedologiske udvikling, men i stedet den geologiske opbygning af jordbunden. Der vil i denne afhandling blive præsenteret to profiler af denne type nemlig en, hvorpå der groede byg, og en, hvorpå der groede hvede. Resultaterne ses af tabel 45. Den første profil er udviklet i en issøaflejring med tydelige op til 1 cm tykke sommer- og vinterbånd. Denne lagdeling, der var uforstyrret fra 43 cms dybde og ned til 160 cm, hvor gravningen stoppede, var tydelig i profilen, idet vinterbåndene var mørkebrune lerholdige lag, medens sommerbåndene var lyse lerfattige lag. Både sommer- og vinterbåndene er afsat under relativt rolige strømningsforhold, idet grovsandsindholdet i alle lagene var tilnærmelsesvis nul. Den udprægede lagdeling af profilen har medført dannelsen af en veludviklet pladestruktur, der altså nærmere er af geogenetisk end af pedogenetisk oprindelse. Volumenvægten ned gennem profilen er forholdsvis lav og når ingen steder over 1.6 g/cm³, og pH-variationen viser en tydelig opkalkningsprofil, hvor pH i C horisonten falder til omkring 4.0. Der er ingen tegn på grundvandsgley i profilen, og der er heller ingen tegn på pseudogley, d.v.s. at der er en god indre dræning i profilen på trods af den veludviklede pladestruktur i hele C horisonten. Profilen klassificeres som Blandingbbrunjord, idet der ikke er tegn på lernedslemning, og den eneste B horisont, der er udviklet i profilen, er en strukturel B horisont. Den anden profil, MBhl, består øverst af en lerholdig Ap horisont, hvorunder der findes lerfattige lag til 75 cms dybde, hvorefter der kommer en kompakt leret till. Den væsentligste pedologiske udvikling i denne profil er dannelsen af pseudogley, der skyldes IIICg horisontens vandstandsende egenskaber.

Tabel 45: Roddata og jordbundsdata fra to blandingsjorde.

Root densities and soil data for two profiles
with textural heterogeneous parent material.

PROFIL : MBb1
TYPE : Blandingsbrunjord
AFGRØDE: byg

		cm rod cm ³ jord	vol. vægt	PH (CaCl ₂)
Ap	10- 20	4.4	1.43	5.5
Ap+A3	20- 30	3.2	1.47	6.6
IIBj+IIC	40- 50	0.06	1.51	4.6
IIC	50- 60	0.11	1.57	4.3
IIC	60- 70	0.02	1.57	4.0
IIC	80- 90	0.01	1.55	3.9
IIC	90-100	+	1.47	4.1
IIC	100-110	0	1.54	3.8
IIC	120-130	0	1.53	4.1
IIC	130-140	0	1.51	3.9

		Tekstur (μ)					OM	CaCO ₃
		<2	2-20	20-63	63-200	200-2000	0/0	
Ap	0- 27	4	7	16	52	18	3.0	0
IIBj	36- 43	8	8	31	52	1	0.4	C
IIC *	60- 80	4	4	29	62	1	0.1	0
IIC **	60- 80	14	16	30	39	1	0.2	0
IIC *	120-140	4	3	36	56	1	-	0
IIC **	120-140	17	20	39	24	0	-	0

*lyse sommerbånd **mærke vinterbånd

	dith-citr	ombyt. baser m.ækv.					CEC
	Fe 0/00	Al 0/00	Ca	Mg	K	Na	m.ækv
Ap	2.5	6.4	5.3	0.3	0.2	0.1	13.1
IIBj	3.9	4.9	1.6	0.2	0.3	0.1	7.7
IIC *	2.0	1.5	0.4	0.1	0.1	+	3.1
IIC **	5.3	5.5	1.1	0.1	0.2	0.1	9.4
IIC *	3.3	2.0	0.6	0.1	0.1	+	3.4
IIC **	5.4	4.3	1.8	0.2	0.3	0.1	10.7

PROFIL : MBh1
TYPE : Pseudogleyblandingsbrunjord
AFGRØDE: vukahvede

		cm rod cm ³ jord	vol. vægt	PH (CaCl ₂)
Ap	10- 20	2.8	1.54	6.6
Bj	20- 30	1.9	1.76	5.3
Bj	30- 40	1.9	1.81	5.1
Bjg+IICg	40- 50	1.5	1.72	5.0
IICg	50- 60	0.22	1.60	5.2
IICg	60- 70	0.03	1.60	5.3
IIICg+IIICg	70- 80	0.04	1.90	4.8
IIICg	80- 90	0.03	1.75	4.6
IIICg	100-110	0.01	1.77	4.6
IIICg	120-130	+	1.81	4.9

		Tekstur (w)					OM	CaCO ₃
		<2	2-20	20-63	63-200	200-2000	0/0	
Ap	0- 23	11	17	12	33	24	2.9	0
Bj	23- 48	6	11	18	37	28	0.3	0
IICg	48- 75	3	2	0	77	18	0.2	0
IIIC1g	75-135	27	20	10	26	17	0.2	0
IIIC2g	135-	23	26	20	15	16	0.1	0

	dith-citr	ombyt. baser m.ækv.					CEC
	Fe 0/00	Al 0/00	Ca	Mg	K	Na	m.ækv
Ap	-	-	12.3	0.3	0.4	0.1	17.1
Bj	-	-	6.3	0.3	0.4	0.1	10.7
IICg	-	-	-	-	-	-	-
IIIC1g	-	-	4.1	0.8	0.2	0.1	9.7
IIIC2g	-	-	3.1	1.4	0.1	0.1	7.9

Dette medfører ikke alene en vandstuvning i IIICg horisonten, men også i den sandede IICg horisont, der på prøveudtagningstidspunktet var nærmest vandmættet i de nedre dele. Profilen har bedømt ud fra volumenvægten en pløjesål under Ap med en volumenvægt på over 1,80 g/cm³. I de dybereliggende lag optræder der også høje volumenvægte, fx stiger volumenvægten brat fra 1,60 g/cm³ til 1,90 g/cm³ på overgangen mellem IICg og IIICg. Variationen i pH ned gennem profilen viser som ved MBb1 en tydelig opkalkningsprofil med laveste pH-værdier i C horisonterne på omkring 4.5. Den tætte

lerholdige underjord med få grovporer medfører givetvis, som det også blev observeret, at der gennem vækstsæsonen kan opstå vandstuvninger i profilen med luftskifteproblemer til følge. Profilen klassificeres som Pseudogley-blandingsbrunjord, idet der ikke er observeret lernedslerning i profilen.

Rodudviklingen hos byggen på MBbl er relativ svag i betragtning af teksturen. Z(1.0) er omkring 35 cm, Z(0.1) er kun 50 cm, medens Z(0.01) er på 90 cm. Disse dybder ville være forventelige i grove lerfattige jorde og ikke i en jord med over 35% 1er + silt, hvor fx Z(0.1) skulle være omkring 70 cm. Den ud fra teksten svage rodudvikling i MBbl må formodentlig tilskrives pladestrukturen, der normalt ikke virker befordrende for nedadgående rødder. Den højtliggende C horisont med intakt lagdeling vidner om, at det ikke kun er byg, men også andre planter, der har problemer med at trænge ned gennem jorden, idet en kraftig rodudvikling øverst i C horisonten formodentlig vil medføre en ødelæggelse af den tydelige lagdeling. Rodudviklingen hos hveden i MBhl er også relativ ringe sammenlignet med rodudviklingen i MLhl, især når man betragter Z(0.1) og Z(0.01). Der er flere faktorer ved denne profil, der kan forklare den hæmmede rodudvikling i C horisonterne. For det første er 1er- + siltindholdet i IIC særdeles lavt, hvilket efter fig. 46 synes at have en hæmmende indvirkning på rodnettrængningen, og for det andet kan den vandstuvning, der blev fundet nederst i IICg og IIICg, have bevirket, at fx luftskiftet har været for ringe til en kraftig rodudvikling i disse lag. Man bør endvidere bemærke, at der er en kraftig rodudvikling i pløjesålen under Ap, hvilket sandsynligvis skyldes, at der er en forholdsvis stærk struktur i dette lag.

Rodudviklingen i jorde på det marine forland

Der er undersøgt ni profiler på det marine forland nemlig tre ved Als, tre omkring Storbørde og tre i Nørrekær. I tabel 46 er resultaterne gengivet for otte af profilerne; to under græs, fire under byg, en under kartofler og en under raps. Pedologisk set er alle jordene gleyjorde. De sandede jorde vil som oftest være Blegbrugley, Brungley eller Typigley, medens de lerholdige jorde som oftest vil være vådglej, fordi den lerede tekstur medfører, at Cro horisonten ligger højt i profilen. Alle de undersøgte jorde er i dag drænede, så grundvandsspejlet ligger i 90 cm eller dybere. Profilerne kan teksturelt set inddeles i lerfattige og lerholdige profiler, hvor de fem første er lerfattige profiler og de tre sidste lerholdige profiler. De lerfattige profiler består i overvejende grad af finsand, der i ekstreme tilfælde kan udgøre over 90% af det minerogene materiale. I to af profilerne, MMg2 og MMbl, findes der i de dybere horisonter indslag af meget silt-holdigt materiale, og i et lag i MMg2 udgør silten over 70% af det minerogene materiale. De tre lerholdige profiler består overvejende af bassin-klæg, der i Ap horisonten har et vist indhold af grovsand i modsætning til de dybereliggende horisonter, der praktisk taget er uden grovsand. Dette vidner om et mere uroligt sedimentationsmiljø i den sidste del af aflejringsfasen.

Tabel 46: Roddata og jordbundsdata fra profiler udviklet på det marine forland.

Root densities and soil data for different soils developed in the marine foreland.

PROFIL: MMg 1

TYPE: Kalkblegbrungley

AFGRØDE: Græs med kløver, 2 årig
overv. hundegæs og rajgræs.

		cm rod cm ³ jord	vol. vægt	PH (CaCl ₂)
Ap	10- 20	-	1.15	4.9
A12+B2v	20- 30	8.8	1.26	4.9
*	30- 40	0.42	1.62	5.0
B3vo	40- 50	0.17	1.66	5.1
B3vo+Cno	50- 60	0.04	1.54	5.3
Cno	60- 70	+	1.53	6.9
Cno	70- 80	+	1.42	7.6
Cno	90-100	+	1.25	7.6
IICno	110-120	+	1.57	7.5
grundvand	10 cm			

* A12+B2v+B3vo

		Tekstur (u)					OM	CaCO ₃
		<2	2-20	20- 63	63- 200	200- 2000	0/0	
Ap	0- 19	7	7	22	48	10	6.4	0
A12+B2v	19- 32	7	3	10	60	20	0.3	0
B3vo	32- 53	2	1	0	53	44	0.1	0
Cno	53-100	5	6	3	30	40	3.6	12
IICno	100-	-	-	-	-	-	-	0

		dith-citr Fe 0/00	Al 0/00	ombyt.baser m.ækv.					CEC m.ækv
		Ca	Mg	K	Na				
Ap		-	-	9.6	0.9	0.1	0.1	20.6	
A12+B2v		-	-	-	-	-	-	-	
B3vo		-	-	-	-	-	-	-	
Cno		-	-	-	-	-	-	-	
IICno		-	-	-	-	-	-	-	

PROFIL: MMg 2

TYPE: Kalkvådgley

AFGRØDE: Græs, 4 årig
hundegæs.

		cm rod cm ³ jord	vol. vægt	PH (CaCl ₂)
Ap	10- 20	10.0	1.34	5.0
Ap	20- 30	4.5	1.28	4.8
Co	30- 40	0.93	1.58	6.8
Co	40- 50	0.04	1.59	6.8
Co+IICro	50- 60	+	1.51	7.2
IICro	60- 70	+	1.24	7.4
IICro	70- 80	+	1.11	7.3
IICro	80- 90	+	0.81	7.3
grundvand	i 90 cm			

		Tekstur (u)					OM	CaCO ₃
		<2	2-20	20- 63	63- 200	200- 2000	0/0	
Ap	0- 29	2	3	1	63	31	4.4	0
Co	29- 55	1	2	13	83	1	0.3	0
IICro	55-110	12	22	53	1	3	1.6	7
IICr	110-	-	-	-	-	-	-	-

		dith-citr Fe 0/00	Al 0/00	ombyt.baser m.ækv.					CEC m.ækv
		Ca	Mg	K	Na				
Ap		0.8	0.3	11.1	0.3	0.1	0.1	21.1	
Co		0.6	0.1	2.3	0.1	+	0.1	2.9	
IICro		5.2	0.1	-	1.0	0.3	0.2	14.8	
IICr		-	-	-	-	-	-	-	

PROFIL: MMb1
TYPE: kalkholdig Blegtypigley
AFGRØDE: saikabyg

		cm rod 3 cm ³ jord	vol. vægt	PH (CaCl ₂)
Ap	10- 20	4.9	1.34	4.8
Ap	20- 30	1.4	1.32	4.8
Cno	30- 40	0.27	1.62	6.8
Cno	40- 50	0.08	1.60	6.7
Cno	50- 60	+	1.57	6.6
Cno	60- 70	+	1.56	6.8
Cno	70- 80	+	1.50	7.0
Cno	80- 90	+	1.42	7.2
IICro	90-100	+	1.17	7.1
IICro	100-110	+	1.07	6.2
IICro	110-120	+	1.01	6.3

grundvand 120 cm

		Tekstur (μ)					OM	CaCO ₃
		<2	2-20	20-63	63-200	200-2000	0/0	
Ap	0- 30	2	4	1	59	30	4.3	0
Cno	30- 90	2	1	1	94	2	0.1	0
IICro	90-	10	23	45	3	7	2.5	9

	dith-citr		ombyt. baser m.ækv.					CEC
	Fe 0/00	Al 0/00	Ca	Mg	K	Na	m.ækv	
Ap	0.5	0.2	-	-	-	-	-	
Cno	0.4	0.1	-	-	-	-	-	
IICro	3.5	0.1	-	2.6	0.4	0.4	15.0	

PROFIL: MMb2
TYPE: Blegtypigley
AFGRØDE: tyrabyg

		cm rod 3 cm ³ jord	vol. vægt	PH (CaCl ₂)
Ap	10- 20	4.7	1.27	6.3
Ap+Cno	20- 30	3.6	1.45	6.4
Cno	30- 40	0.20	1.53	6.3
Cno	40- 50	0.04	1.51	6.0
Cno+IICo	50- 60	+	1.42	6.1
IICo	60- 70	+	1.43	6.0
IICo	70- 80	+	1.44	5.3
IIICno	90-110	+	1.57	5.7
IIICr	110-120	+	1.55	7.1

grundvand 135 cm

		Tekstur (μ)					OM	CaCO ₃
		<2	2-20	20-63	63-200	200-2000	0/0	
Ap	0- 23	9	7	15	54	9	5.5	0
Cno	23- 51	3	2	4	90	1	0.2	0
IICo	51- 82	7	6	18	67	1	0.8	0
IIICno	82-105	-	-	-	-	-	-	-
IIICr	105-	1	2	1	67	29	0.1	0

	dith-citr		ombyt. baser m.ækv.					CEC
	Fe 0/00	Al 0/00	Ca	Mg	K	Na	m.ækv	
Ap	-	-	-	-	-	-	-	
Cno	-	-	-	-	-	-	-	
IICo	-	-	-	-	-	-	-	
IIICno	-	-	-	-	-	-	-	
IIICr	-	-	-	-	-	-	-	

PROFIL: MMb3
TYPE: Blegbrungley
AFGRØDE: tyrabyg

		cm rod 3 cm ³ jord	vol. vægt	PH (CaCl ₂)
Ap	10- 20	10.6	1.32	5.3
C1no	20- 30	2.9	1.48	6.3
C1no	30- 40	0.36	1.41	5.5
C1no	40- 50	0.01	1.54	5.5
C1no	50- 60	+	1.60	5.4
C2o	60- 70	+	1.58	5.3
C2o	70- 80	+	1.53	5.5
C2+C3o	90-100	+	1.57	5.4

grundvand 130cm

		Tekstur (μ)					OM	CaCO ₃
		<2	2-20	20-63	63-200	200-2000	0/0	
Ap	0- 21	4	9	10	64	8	4.5	0
C1no	21- 61	-	-	-	-	-	-	0
C2o	61- 93	1	2	1	87	9	0.2	0
C3o	93-	-	-	-	-	-	-	0

	dith-citr		ombyt. baser m.ækv.					CEC
	Fe 0/00	Al 0/00	Ca	Mg	K	Na	m.ækv	
Ap	0.9	0.8	5.5	0.4	0.1	0.1	15.1	
C1no	0.1	0.1	-	-	-	-	-	
C2o	-	0.1	0.5	+	+	+	1.4	
C3o	0.2	<0.1	-	-	-	-	-	

Sammenlignes den teksturelle sammensætning af klægaflejringerne med dem fra Tøndermarsken (Rasmussen 1956 og Jacobsen 1964) ses, at den himmerlandske bassinklæg er noget mere lerfattig end den typiske bassinklæg fra Tøndermarsken .

Betragtes variationen i volumenvægten ned gennem profilerne, ses, at i de sandede profiler uden indslag af lerholdige lag stiger volumenvægten normalt med dybden, som det var tilfældet for langt de fleste jorde i det glacielle landskab. I profilerne med lerholdige lag i de dybereliggende dele af jorden falder volumenvægten ofte med dybden, hvilket skyldes aftagende modningsgrad af sedimentet med dybden.

Der er en generel tendens til, at pH stiger med dybden, og i flere af profilerne findes kalkholdige lag med en del skaller. Bedømt ud fra de nuværende pH-forhold må det antages, at jordene kun har været svagt udvasket til ringe dybde, inden opdyrkningen påbegyndtes. Udvaskningen har dog normalt været så stærk, at det marine præg i sammensætningen af de ombyttelige baser er forsvundet, og kun i MMkl, der ligger tæt ved diget i Nørrekær, indtager Na endnu en markant plads blandt de ombyttelige baser, men det er dog kun i Cro horisonten.

Det højtstående grundvand i flere af profilerne medfører, at mængden af luftfyldte porer er ringe, hvilket især er gældende for de lerholdige jorde. Store dele af disse jordes Cro horisonter har derfor endnu i dag et relativt dårligt luftskifte, og aerobe partier i disse jordes C horisonter vil ofte kun være knyttet til en snæver zone omkring rodgangene. Dette kan erkendes i jorden ved en kraftig ophobning af ferri(hydr)oxider omkring grovporene, hvor jernet i visse partier kan danne cementerede rør omkring grovporen. I sandjordene, der har et relativt stort indhold af grovporer bedømt ud fra tabel 52, vil den anaerobe zone ligge dybt nede i profilen om sommeren. Det vil derfor være rimeligt at antage, at luftskiftet ikke hindrer rodudviklingen inden for den øverste halve meter i disse drænedesandjordsprofiler .

For at få et samlet overblik over rodudviklingen i jordene på det marine forland er der i tabel 47 angivet Z(1.0) og Z(0.1) for de undersøgte profiler. Z(0.1) er derimod ikke medtaget, da de relativt våde forhold i især de lerholdige profilers dybere lag medfører, at en del gamle rødder fra tidligere plantedækker endnu findes temmelig uomsatte der. Der blev fx i MMkl fundet en del rødder fra formodentlig tagrør i omkring 1 meters dybde.

Tabel 47 viser, at Z(1.0) for græs og byg ligger på 30 cm i de sandede jorde, medens Z(0.1) er 40 cm. Afstanden mellem dybden under terræn for få rødder og grundvandsspejlet sammenholdt med vandretentionsdata for sandede marine jorde, tabel 52, tyder ikke på, at anaerobe forhold skulle være årsagen til, at Z(0.1) ligger så højt oppe i profilerne. Forklaringen på den ringe rodudvikling skyldes nok nærmere den ugunstige teksturelle sammensætning i de øverste 50 cm af profilen med under 10% 1er + silt. I lignende 1er- og siltfattige jorde i det glacielle landskab er der også fundet en yderst ringe rodudvikling, således var Z(0.1) mellem 40 og 50 cm. Resultaterne fra de sandede jorde på det marine forland støtter herved teorien om, at mængden af finkornet materiale har stor indflydelse på rodudviklingen i sandjorde. Rodudviklingen på de lerholdige jorde viser, at Z(0.1) ikke er større i disse jorde end i de lerfattige jorde. For bygprofilen, MMb4, er

Z (0.1) endog kun 30 cm, hvilket står i skarp kontrast til rodudviklingen hos byg på lerholdige aflejringer i det glaciale landskab. Den ringe rodudvikling i denne profil skyldes sandsynligvis, at der hersker anaerobe forhold i store dele af C₀ horisonten. Z(0.1) for kartofler og raps kan ikke sammenlignes med lignende resultater fra lerholdige profiler i det glaciale landskab, idet der ikke er undersøgt rodprofiler hos disse to afgrøder i denne jordtype.

Tabel 47: Den samlede tykkelse af lag med mange rødder Z(1.0) og med mange eller få rødder Z(0.1) i jorde fra det marine forland samt grundvandsdybden i de forskellige jorde. Dybderne er angivet i cm.

The thickness of layers (in cm) with more than 1.0 cm root/cm³ soil, Z(1.0), and more than 0.1 cm root/cm³ soil, Z(0.1). Furthermore the depth to the groundwater table is shown.

3

	græs MMg		byg MMb			kart. MMk		raps MMp
	1	2	1	2	3	4	1	1
Z(1.0)	30	30	30	30	30	20	(10)	20
Z(0.1)	50	40	40	40	40	30	50	60
grundvandsdybde	>140	90	120	135	>130	100	130	90

Man kan vedrørende rodudviklingen på det marine forland konkludere, at på de sandede jorde, der overvejende består af finsand, vil der være en ringe rodudvikling formodentlig på grund af den tekstoreile sammensætning med meget lidt ler og silt. På de lerholdige jorde vil rodudviklingen være tilnærmelsesvis den samme som for sandjordene, men den ringe roddybde i disse jorde skyldes formodentlig det højtstående grundvand, der giver anaerobe forhold i C horisonten næsten op til A_p.

Vurdering af gennemsnitlige roddybder for forskellige afgrøder

Det er på basis af de undersøgte profiler suppleret med resultater fra tidligere danske undersøgelser muligt at angive de gennemsnitlige roddybder for forskellige afgrøder i et samlet skema. Ved at inddrage tidligere un-

dersøgelser i beregningerne fås et rimeligt talmateriale for græs og byg på de fleste jordtyper, medens talmaterialet for de øvrige afgrøder er spinkelt, og det er derfor kun muligt på enkelte af de opstillede jordtyper at angive roddebder for disse afgrøder. I tabel 48 er de gennemsnitlige Z(1.0)-, Z(0.1)- og Z(0.01)-værdier opstillet for de forskellige afgrøder, hvor talmaterialet giver mulighed derfor.

Tabel 48: Den gennemsnitlige Z(1.0)-, Z(0.1)- og Z(0.01)-værdi for forskellige afgrøder på de jordtyper, der er defineret i dette kapitel. Dybderne er i cm.

The average thickness of layers (in cm) with more than 1.0 cm root/cm³ soil, more than 0.1 cm root/cm³ soil, and more than 0.01 cm root/cm³ soil for different soil types in Himmerland.

	roddebder i cm				
	græs	byg	hvede	rug	havre
grove lerfattige jorde i det glacielle landskab	-	30	35		25
	45	45	45	-	45
	-	60	75	-	70
fine lerfattige jorde i det glacielle landskab	50	50	-	55	
	70	75	-	75	
	90	100	-	100	
lerholdige jorde i det glacielle landskab	30	40	-	-	
	70	90	-	-	
	110	130	-	-	
rendzinaer og rendzinag- tjige jorde i det glacielle landskab	30	30	30	-	
	70	70	70	-	
	100	100	100	-	
lerholdige og lerfattige jorde på det marine for- land	30	30	-	-	
	40	40	-	-	
		-			

Tabel 48 viser, at rodudviklingen i de grove lerfattige jorde er tilnærmelsesvis identisk for de forskellige afgrøder med mange rødder til omkring 30 Cms dybde, få rødder til omkring 45 Cms dybde og meget få rødder ned til omkring 60 til 70 cms dybde. Den gennemsnitlige roddebde er godt bestemt for byg, hvor der indgår 10 profiler i undersøgelsen, medens den gennemsnitlige roddebde for græs bygger på 3 profiler og for hvede og havre på 2 profiler. Der er ikke særlig stor variation i roddebderne inden for de 17 rodprofiler hos græs, byg, havre og hvede udviklet på grove lerfattige jorde, hvilket ses af fig. 50, hvor Z(0.1) er udtegnet i et histogram.

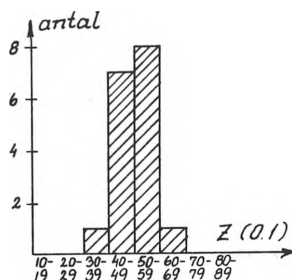


Fig. 50: $Z(0.1)$ i cm for 17 rodprofiler hos græs, byg, havre og hvede udviklet i stærkt sandet lerfattigt materiale.

$Z(0.1)$ for 17 root profiles of grass, barley, oat, and wheat developed in sandy material with less than 10% clay and silt at about 60 cm depth. $Z(0.1)$ = thickness of layers (in cm) with more than 0.1 cm root/cm³ soil.

Grunden til, at rodtybden på disse jorde er ringe og uden de store variationer er sandsynligvis, at sandskornene under Ap låser hinanden fast, således at rødderne ikke kan skubbe dem fra hinanden.

På de fine lerfattige jorde er den gennemsnitlige rodtybde for græs og byg bestemt på basis af 8 profiler hos hver afgrøde, medens den kun er bestemt på basis af 2 profiler hos rug. Rodtybderne for græs og byg og sandsynligvis for rug er noget større end i de grove lerfattige jorde, og dybderne under terræn for $Z(1.0)$ og $Z(0.1)$ er muligvis en anelse større for kornafgrøder end for græs. Variationen i rodtybden i disse jorde er vist på fig. 51, hvor $Z(0.1)$ er udtegnet for græs og byg i et histogram. Det bemærkes, at der er større spredning i dette materiale end det tilsvarende på de stærkt sandede jorde. Dette skyldes, at andre faktorer end tekturen spiller en væsentlig rolle for rodudviklingen i de fine lerholdige jorde.

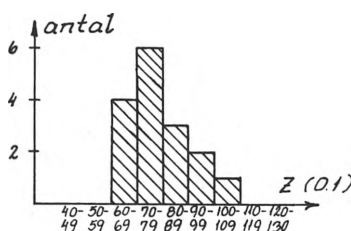


Fig. 51: $Z(0.1)$ i cm for 16 græs- eller bygrodprofiler udviklet i fine lerfattige jorde.

$Z(0.1)$ for 16 grass- or barley root profiles in sandy material with less than 8% clay and more than 10% clay + silt at about 60 cm depth. $Z(0.1)$ = thickness of layer (in cm) with more than 0.1 cm root/cm³ soil.

På de lerholdige jorde er den gennemsnitlige rodudvikling kun udregnet for græs og byg. På græs, hvor der ses bort fra resultaterne fra frøgræs, er den gennemsnitlige rodudvikling beregnet ud fra 4 profiler, medens der indgår 14 profiler i beregningerne hos byg. Sammenholdes resultaterne med dem fra de fine lerfattige jorde ses for græs, at $Z(1.0)$ er større for de fine lerfattige jorde, $Z(0.1)$ er tilnærmelsesvis den samme, medens $Z(0.01)$ er større for de lerholdige jorde. For byg er $Z(1.0)$ også større på de fine lerfattige jorde, medens det omvendte er tilfældet for $Z(0.1)$ og $Z(0.01)$. Sammenlignes rodudviklingen hos græs og byg, er der hos de lerholdige jorde tydelig forskel i $Z(0.1)$, hvilket ikke var tilfældet på de lerfattige jorde. Der er i de lerholdige jorde store variationer i rodtybderne fra profil til profil, hvilket skyldes, at mange faktorer som fx pH i underjorden og overfladevandsbetingede vandstuvninger i profilerne spiller en væsentlig rolle for rodudviklingen. På fig. 52 ses variationen i $Z(0.1)$ for de 14 bygrodprofiler udtegnet i et histogram.

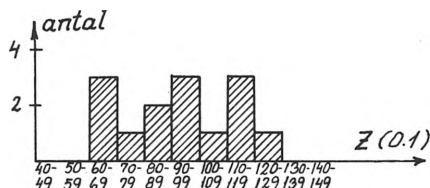


Fig. 52: $Z(0.1)$ i cm for 14 bygrodprofiler udviklet i lerholdigt udgangsmateriale.

$Z(0.1)$ for 14 barley root profiles developed in soils with more than 8% clay in the parent material. $Z(0.1)$ = thickness of layers (in cm) with more than 0.1 cm root/cm soil.

På de stærkt kalkholdige jorde, der overvejende er rendzinaer, er den gennemsnitlige rodudvikling udregnet på basis af 8 profiler, 2 hos græs, 3 hos byg og 3 hos hvede. Grunden til, at den gennemsnitlige rodudvikling er udregnet samlet for de 3 afgrøder er, at det er sedimentlagets tykkelse ovenpå kalken, samt hvor opsprækket kalken er, der styrer rodudviklingen mere end selve plantearten. Dybden under terræn for mange rødder sættes til 30 cm, for få rødder til 70 cm og for meget få rødder til 100 cm. Der er en meget stor spredning i materialet på grund af variationer i sedimentdækkets tykkelse og i opsprækningen af kalken. På fig. 53 ses $Z(0.1)$ for de 8 profiler udtegnet i et histogram.

I jordene på det marine forland er den gennemsnitlige rodudvikling for græs beregnet ud fra 2 profiler og for byg ud fra 4 profiler. Der skelnes ikke mellem lerholdige og lerfattige profiler, idet der ikke blev fundet nogen tydelig forskel mellem rodudviklingen hos byg i 3 sandjordsprofiler og i en enkelt lerholdig profil. Yderligere undersøgelser vil muligvis kunne vise en forskel i rodudviklingen mellem jordtyperne. For græs og byg er $Z(1.0)$ sat til 30 cm og $Z(0.1)$ til 40 cm. Der er ikke angivet nogen værdi for $Z(0.01)$, idet rødder fra tidligere plantedækker slører rodbilledet i de dybere lag, hvor der overvejende hersker anaerobe forhold. Grunden til den

ringe rodudvikling på de sandede jorde er sandsynligvis det manglende ler- og siltindhold, medens de anaerobe forhold højt oppe i den lerholdige profil med byg er den sandsynlige forklaring på den ringe rodudvikling der.

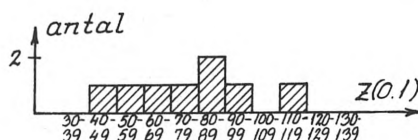


Fig. 53: Z(0.1) i cm for 8 rodprofiler udviklet i stærkt kalkholdigt materiale.

Z(0.1) for 8 root profiles developed in very calcareous material (Rendzinas).
 Z (0.1) = thickness of layers (in cm) with more than 0.1 cm root/cm³ soil.

De opstillede gennemsnitlige roddybder på de forskellige jorde bygger i nogle tilfælde på et spinkelt talmateriale; og man må derfor forvente, at yderligere undersøgelser vil kunne forrykke en del af de beregnede gennemsnitlige roddybder. Her tænkes især på roddybderne for hvede, rug og havre, men også rodudviklingen hos græs og byg er for visse jorde beregnet ud fra et spinkelt talmateriale.

KAPITEL 11

DE DYRKEDE JORDES VANDRETENTION OG PLANTETILGÆNGELIGE VANDINDHOLD

Der blev i november 1981 udtaget prøver til undersøgelse af de himmerlandske jordes vandretention, og der blev både udtaget prøver fra profiler gravet på dyrket jord og i skove. Retentionskurverne fra skovjordsprofilerne er diskuteret i kapitel 5, 6 og 7, og i denne diskussion blev der især lagt vægt på en vurdering af jordbundsudviklingens indflydelse på retentionskurvens forløb. Undersøgelsen af de dyrkede jordes porestørrelsesfordeling, der skal diskuteres i dette kapitel, tager derfor ikke så stærkt sigte på en vurdering af samspillet mellem jordbundsudviklingen og retentionskurvens forløb, men nærmere et sigte mod en vurdering af de forskellige jordtypers plantetilgængelige vandmængde. Det er endvidere formålet med denne undersøgelse, at den skal støtte tolkningen af rodudviklingen på de forskellige jordtyper, se kapitel 10, ved fx at belyse mulighederne for et rimeligt luftskifte i de forskellige jordtyper. Vurderingen af jordtypernes plantetilgængelige vandmængde vil blive foretaget ved at sammenholde de forskellige horisoners vandretentionsdata med rodprofilerne beskrevet i kapitel 10. Til sammenkædning af rod- og vandretentionsdata defineres senere i dette kapitel en effektiv roddebygge beregnet ud fra simuleret planteproduktion. Den første del af dette kapitel vil indeholde nogle generelle betragtninger over jordens vandindhold med definition af blandt andet markkapacitet, visnegrænse og plantetilgængeligt vand. Derefter vil den effektive roddebygge blive diskuteret, inden den aktuelle undersøgelses metodik og resultater behandles.

Generelle betragtninger over jordens vandindhold

Jorden kan naturligt opdeles i fast stof, vand og luft, hvor summen af de to sidstnævnte giver jordens porøsitet. Porøsiteten angiver den samlede poreremængde i volumenprocent af hele prøven, men angiver intet om størrelsen af porerne eller om deres kontinuitet. Da der er en sammenhæng mellem porestørrelsen og den kapillære stighøjde, forårsaget af vandets adhæsiionskræfter og overfladespænding, er det muligt at bestemme jordens porestørrelsesfordeling ved fx i et trykmembranapparat at pålægge vandmættede prøver forskellige pneumatiske tryk og lade dem afdræne til ligevægt.

Sammenholdes de bestemte vandindhold med de pålagte tryk, fås jordens retentionskurve, hvis forløb vil afhænge af faktorer som tekstur, struktur, volumenvægt og pedologisk udvikling. Porerne kan naturligt inddeles i forskellige størrelsesklasser, alt efter om de ved markkapacitet er luftfyldte

eller indeholder det plantetilgængelige eller planteutilgængelige vand. Ved denne inddeling af porerne samt ved beregning af den plantetilgængelige vandmængde anvendes begreberne markkapacitet og visnegrænse, og de vil i det efterfølgende kort blive diskuteret, og poreklasserne nærmere defineret.

Markkapacitet :

Vandindholdet ved markkapacitet (MK) kan defineres som vandindholdet i jorden, når vandbevægelsen efter forudgående vandmætning af jorden praktisk taget er ophørt, og hvor man kan se bort fra evapotranspirationen fra prøveudtagningsstedet. Den nedadgående vandbevægelse vil normalt næsten være ophørt 2 til 5 dage efter opvædning af jorden. Ændringen af jordens vandindhold efter opvædning er af Baver (1972) beskrevet ved ligning 11.1, hvor w er vandindholdet til tiden t , og a og b er konstanter.

$$w = a \cdot t^{-b} \quad (11.1)$$

Man kan af ligning 11.1 se, at vandindholdet ved markkapacitet ikke er en ligevægtssituation, og markkapaciteten er derfor nærmest at opfatte som et praktisk mål for jordens vandindhold, når afdræningen til grundvandet tilnærmelsesvis er ophørt. Har jordene et højere vandindhold end ved MK, vil der forekomme en relativ hurtig vandtransport ned gennem profilerne, hvilket man i grove træk kan se bort fra i jorde med vandindhold lavere end det ved markkapacitet. Vandindholdet ved markkapacitet afhænger især af jordens tekstur, struktur og volumenvægt samt disses ofte pedologisk betingede variationer ned gennem profilen. Stærkt sandede jorde vil fx indeholde væsentligt mindre vand ved MK end lerrige jorde, og hvad fx volumenvægtens indflydelse angår, viste Hill & Sumner (1967) samt Archer (1972), at vandindholdet ved en tension svarende til MK generelt voksede med øget volumenvægt, indtil vandmætning indtrådte. Profilerne lagfølger kan medføre, at den nedadgående vandbevægelse hæmmes, så de øvre jordlag indeholder mere vand, end tekstur og struktur egentlig berettiger til. Dette kan eksempelvis være tilfældet, hvor sand overlejres af ler (Aslyng 1976).

Vandindholdet ved markkapacitet bestemmes i felten ved at vandmætte jorden og udtage prøver 2 til 5 dage efter. Man kan ved overdækning af jorden hindre fordampning fra prøvestedet samt tilskud af regnvand i afdræningsperioden. Opvædningen af jorden skal helst ske på et tidspunkt, hvor jorden ikke er helt udtørret, da vandindholdet ellers kan blive underestimeret formodentligt på grund af indespærret luft i profilen (Salter & Williams 1965). Heinonen (1954) fandt efter opvædning af jorden et lavere vandindhold ved MK om sommeren end om foråret. Feltmetoden giver de mest realistiske værdier for MK, men i praksis anvendes oftest laboratoriemetoder, hvor MK er defineret ved en bestemt tension. De mest almindeligt anvendte metoder til bestemmelse af MK i laboratoriet er afdræning fra sandbade eller trykmembranapparater, hvor det overskydende vand fra vandmættede prøver enten suges eller trykkes ud, indtil ligevægt er indstillet ved den valgte tension.

Som antydnet ovenfor er vandindholdet ved MK ofte forsøgt korreleret med en bestemt pF-værdi. Den anvendte pF-værdi vil afhænge af faktorer som jordens

tekstur, struktur samt områdets klimaforhold. I England, der har et humidt klima, anvendte fx Reeve et al (1973) pFI.7 (retained water capacity) som mål for MK, idet de fandt, at vandindholdet ved MK for engelske jorde normalt lå på mellem 30 og 70 cm tension. I tørre områder anvendes ofte vandindholdet ved 1/3 bar som mål for MK. Teksturens indflydelse på den tension, der svarer til vandindholdet ved MK, er fx beskrevet af Rivers og Shipp (1977). Rivers og Shipp fandt, at i grovsandede jorde med omkring 2% 1er svarede vandindholdet ved MK til en tension på lidt under 1/20 bar, medens finsandede jorde med lidt over 5% 1er havde et vandindhold ved MK svarende til en tension på omkring 1/10 bar. Madsen (1979) undersøgte på en del jyske jorde sammenhængen mellem forskellige jordprøvers vandindhold ved MK i felten og vandindholdene ved forskellige pF-værdier og fandt, at MK for sandede B og C horisonter med undtagelse af allag blev bedst beskrevet ved vandindholdet ved pFI.7. MK i alle øvrige prøver blev bedst beskrevet ved vandindholdet ved pF2.0. Der var dog glidende overgange, således fandtes der grovsandede prøver, hvor markkapaciteten blev bedst beskrevet ved vandindholdet ved 30-40 cm tension, og prøver, hvor MK blev bedst beskrevet ved vandindholdet ved en tension på 150 cm. Man må derfor gøre sig klart, at angivelsen af MK ved en bestemt pF-værdi kan medføre store fejl, fx kan op til 50% af en sandet prøves plantetilgængelige vandmængde findes mellem pFI.7 og 2.0. Da vandindholdet mellem pFI.5 og 2.5 ændres mest radikalt hos en sandjord, vil de største unøjagtigheder på vandindholdet ved MK også forekomme på disse jordtyper, såfremt dette fastlægges ved en bestemt tension. Skal man angive en samlet pF-værdi for alle jordtyper i Danmark ved MK, vil det være rimeligt at anvende pF2.0, selv om vandindholdet i en del grovsandede horisonter vil blive stærkt underestimeret. Der vil dog ofte ikke være nogen stærk rodudvikling i disse lag.

Da en del af prøveudtagningen til belysning af de himmerlandske jordes vandretention blev foretaget i november 1981, hvor jordene må antages at have et aktuelt vandindhold noget nær markkapacitet, er det muligt ved en sammenligning af det aktuelle vandindhold med vandindholdet ved pF2.0 at få belyst, om vandindholdet ved pF2.0 i det aktuelle tilfælde er et rimeligt mål for markkapaciteten. Eftersom de undersøgte profiler ikke har været afskærmet mod nedbør eller fordampning i dagene op til prøveudtagningen, må den nedenstående sammenligning tages med visse forbehold, som fx at afdræningstiden siden sidste nedbør ikke har været den samme for alle profiler, ligesom den i visse tilfælde givetvis har været for kort. På fig. 54 ses relationen mellem vandindholdet ved prøveudtagning og vandindholdet ved pF2.0. En del B og C horisonter er udeladt i de tilfælde, hvor grundvands-spejlet stod højt.

Fig. 54 bekræfter resultaterne fra Madsen (1979a), nemlig at vandindholdet ved pF2.0 vil være et rimeligt mål for vandindholdet ved markkapacitet for de ikke stærkt sandede horisonter, d.v.s. horisonter med over 10-15 vol% vand ved MK. Der er derimod en klar tendens til en underestimering af vandindholdet ved markkapacitet for de stærkt sandede humusfattede prøver ved at anvende vandindholdet ved pF2.0, der i ekstreme tilfælde kun svarer til halvdelen af det aktuelle vandindhold.

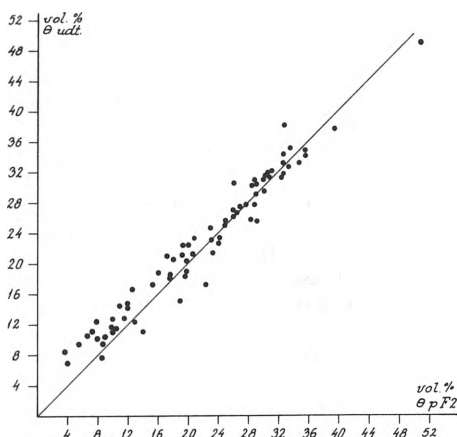


Fig. 54: Relationen mellem vandindholdet ved prøveudtagning og vandindholdet ved pF2.0 for prøver fra de undersøgte markprofiler, november 1981.

The relationship between water content at pF2.0 and field capacity determined as the water content at sampling time in Nov. 1981. There has only been used results from well drained soils.

Da det aktuelle vandindhold ikke er bestemt i profiler, der har været afskærmet mod eventuel nedbør og fordampning nogle dage inden prøveudtagningen, og da højtstående grundvand påvirker det aktuelle vandindhold i en del profiler, vil vandindholdet ved pF2.0 blive anvendt som vandindholdet ved MK i de senere beregninger af de undersøgte profilers plantetilgængelige vandindhold i stedet for det aktuelle vandindhold. Der vil derved fremkomme en underestimering af de grovsandede underjordes plantetilgængelige vandindhold, men da der sjældent forekommer en dyb og tæt rodudvikling i disse lag, vil der ikke opstå store fejl ved beregningen af mm plantetilgængeligt vand i profilen. Det vil på basis af ovennævnte betragtninger være rimeligt at udskille grovporer fra mellem- og finporer ved hjælp af vandindholdet ved pF2.0, d.v.s., at grovporevolumenet i jorden er lig porøsiteten minus vol% vand ved pF2.0. Jordens grovporeindhold bliver dermed et mål for procent luftfyldte porer i jorden ved markkapacitet under forudsætning af, at grundvandsspejlet ligger dybt. Grovporer bliver efter ovennævnte definition porer med en ækvivalensdiameter større end ca. 30 μ .

Visnegrænse:

Jordens vandindhold kan inddeles i plantetilgængeligt og planteutilgængeligt vand, alt efter om planterne kan udnytte det eller ej. Grænseværdien benævnes visnegrænsen (VG). For de fleste planter vil jordvandspotentialet være mellem -10 og -20 bar, når visning indtræder (Slatyer 1967); enkelte planter kan dog tåle endnu kraftigere udtørring af jorden (Marshall 1959). For almindelige kulturplanter sættes visnegrænsen normalt til vandindholdet ved pF4.2, d.v.s., at vandet er bundet i porer mindre end 0,2 μ eller adhæreret til partiklernes overflader. Det vil derfor være rimeligt at udskille finporer fra mellemporer ved hjælp af vol% vand ved pF4.2, således at vol%

finporer er et mål for indholdet af planteutilgængeligt vand, medens vol% mellemporer er et mål for den plantetilgængelige vandmængde ved MK. En ud-sugning af jordens vandindhold til VG kræver under markforhold en relativ stor rodintensitet, og en udtørring af jorden til visnegrænsen vil derfor normalt kun forekomme i de øvre dele af jordprofilen.

Der findes flere forskellige biologiske og fysiske metoder til bestemmelse af vandindholdet ved VG. En af de først udviklede metoder var dyrkningsmetoden, hvor man benytter sig af planter, der har en visuel bestemmelig visning. Jordens permanente visnegrænse defineres i denne forbindelse som vandindholdet i jorden, når planternes turgortryk er nul og vedbliver med at være det efter 24 timer i vanddampmættet luft. Wiklert (1964) har ved denne metode påvist teksturens, strukturens og rodudviklingens indflydelse på vandindholdet ved VG, og han fandt endvidere en god overensstemmelse mellem vandindholdet ved VG bestemt ved dyrkningsmetoden og ved 15 bar i trykmembranapparatet. En anden biologisk betinget metode til bestemmelse af vandindholdet ved VG er tomatplantemetoden (Breazeale & McGeorge 1949). Af fysiske metoder kan nævnes damptryksmålinger, hvor man udnytter samspillet mellem damptryk og jordvandspotentialer. Denne metode er bedst anvendelig ved høje tensioner. A. Jensen (1974) har ved at skabe osmotiske gradienter over en dialysemembran ved forskellige koncentrationer af polyethylenglycol 6000, bestemt vandindholdet i jordprøver ned til 100 cm tension. Der er dog ikke særlig god overensstemmelse mellem denne analysemetode og trykmembranapparatmetoden, idet fx førstnævnte underestimerer vandindholdet ved VG med 30% set i forhold til den anden metode. Schofield (1938) anvendte relationen mellem vandets tension og frysepunktsdepressionen til bestemmelse af vandindholdene i jorden ved høje tensioner. Trykmembranmetoden (Richards 1947) er i Danmark den mest anvendte metode til bestemmelse af vandindholdet ved VG, idet denne bestemmes som jordens vandindhold efter afdræning til ligevægt ved pF4.2. Da korrelationen mellem trykmembranmetoden og de biologiske metoder er gode (Wiklert 1964), er den førstnævnte metode velegnet til rutineundersøgelser på grund af apparatets store prøvekapacitet og resultaternes reproducerbarhed.

Plantetilgængeligt vand:

Jordens plantetilgængelige vandmængde (PTV) er vandindholdet mellem markkapacitet og visnegrænse. Den plantetilgængelige vandmængde i jordlagene er den vandmængde, som maksimalt er til rådighed for planterne. Hvor stor en del af den plantetilgængelige vandmængde, der i virkeligheden er til rådighed, vil især afhænge af den potentielle fordampning, jordens hydrauliske ledningsevne samt rodintensiteten i jordlagene. Man har ofte delt det plantetilgængelige vandindhold i to klasser, alt efter om planterne på grund af vandstress må nedsætte fordampningen eller ej. De to klasser, der benævnes let- og sværttilgængeligt vand, adskilles ofte ved vandindholdet ved en bestemt tension. Der findes intet entydigt svar på, hvilken tension, der bedst angiver grænsen mellem let- og sværttilgængeligt vand, idet dette potentiale som før angivet vil afhænge af fx rodintensiteten, fordampningsintensiteten og jordens hydrauliske ledningsevne, men fx Denmead & Shaw (1962) har ved dyrkning af majs i cylindere opstillet den i fig. 55 viste relation mellem jordvandspotentialer og forholdet mellem den aktuelle og potentielle transpiration ved forskellige potentielle transpirationer.

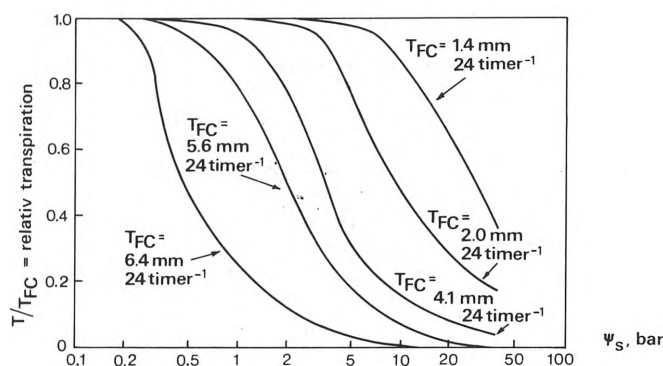


Fig. 55: Relationen mellem jordvandspotentialet og E_a/E_p ved forskellige potentielle transpirationer.

Relationship between soil water potential and E_a/E_p at different potential transpiration rates.
After Denmead and Shaw (1962).

I Danmark er den gennemsnitlige potentielle evapotranspiration om sommeren 3 til 4 mm pr. dag, hvilket ved interpolation giver et jordvandspotentiale omkring -1 bar, når E_a bliver mindre end E_p . G.K. Hansen (1974) har ved klimakammerforsøg med italiensk rajgræs opstillet lignende relationer mellem jordvandspotentialet og den maksimale fordampning midt på dagen. Disse forsøg viste et kraftigt fald i transpirationen ved jordvandspotentialer under -2 bar. Det vil på grundlag af disse to arbejder være rimeligt at anvende vandindholdet ved $pF_{3.0}$ som grænsen mellem grove og fine mellemporer, en grænse der også blev anvendt af Pidgeon (1972) på ferralitiske jorde fra Uganda til udskillelse af let- og sværttilgængeligt vand. Vandindholdet ved pF_3 svarer til en porestørrelse med ækvivalensdiameter på 10 μ .

På basis af det foranstående kan følgende poreklasser defineres, tabel 49.

Tabel 49: Jordens porestørrelsesklasser.

Definition of pore sizes in soils.

Type	Indeholder ved markkapacitet	pF-værdier
grovporer	luft	<2.0
grove mellemporer	let tilg. vand	2.0-3.0
fine mellemporer	svært tilg. vand	3.0-4.2
finporer	utilgængeligt vand	>4.2

Beregning af den effektive roddybde ud fra simuleret planteproduktion

Da jordens udtørring gennem planternes vandoptagelse er afhængig af rodintensiteten i de forskellige horisonter, kan man ikke umiddelbart anvende den maksimale roddybde som beregningsgrundlag for den plantetilgængelige vandmængde i jorden. Det er derfor nødvendigt at definere en effektiv roddybde, der ligger et stykke højere oppe i profilen end den maksimale roddybde. Ved den effektive roddybde forstås i denne afhandling dybden under terræn i veldrænede jorde, ovenfor hvilken den plantetilgængelige vandmængde i jorden, udregnet som differencen mellem markkapacitet og visnegrænse, er lig den vandmængde, planterne kan optage fra jorden inden visning indtræder, og hvor der er kompenseret for nedbøren.

Den plantetilgængelige vandmængde i profilen og dermed den effektive roddybde kan beregnes ved hjælp af simuleret planteproduktion på basis af horisonternes retentionskurver og rodfordelingen målt i cm rod/cm³ jord. Dette er udført på 18 jordprofiler udviklet på forskellige udgangsmaterialer (Madsen 1979). Afgrøden var på nær en i alle tilfælde byg. Der blev i felten udtaget prøver til retentionsbestemmelse fra alle markante horisonter i profilerne, og der blev udtaget prøver til rodbestemmelse for hver ti cm ned gennem profilerne. Prøverne blev udtaget på et tidspunkt, hvor der kunne forventes maksimal rodudvikling. Profilernes plantetilgængelige vandindhold blev derpå testet ved hjælp af simuleringsmodellen "Heimdal", der er en dynamisk deterministisk model (G.K. Hansen 1975).

Modellen bygger på matematiske ligninger, der beskriver de forskellige processer og deres sammenhænge ved transport af vand fra jord gennem plante til atmosfæren. Modellen kan naturligt inddeles i følgende afsnit:

Vertikal vandbevægelse i jordprofilen.

Vandpotentiale ved rodoverfladen og vandbevægelsen til denne.

Fordeling af rødder og rodvækst i jordprofilen.

Jordvandets tilstand.

Beregninger og definitioner inden for de enkelte jordlag.

Beregning af relationen mellem vand og plante.

Totalvækst af top og rod.

Evaporation og transpiration.

Beregning af afgrødemodstand som funktion af transpirationen.

Interception.

Klimadata.

Jordprofilerne er i modellen opdelt i 10 cm intervaller, inden for hvilke retentionskurven, vandindholdet og rodintensiteten anses for at være konstant. Alle variable ajourføres for hvert tredje minut døgnet igennem. Modellen er testet i marken under varierende klimatiske forhold, hvor planterne (raigræs), der voksede på leret till, blandt andet blev udsat for kraftigt vandstress. Der fandtes en rimelig overensstemmelse mellem de målte og beregnede værdier (G.K.Hansen et al 1976).

I Madsen (1979) blev modellen anvendt til at simulere en tørkeperiode i slutningen af maj og ind i juni, hvor byggen endnu ikke er skredet. Der indlagdes i modellen en begyndelsesrodprofil, hvorefter denne fik lov til at udvikle sig til den i felten bestemte maksimale rodprofil. Ved simule-

ringens begyndelse blev det antaget, at jordens vandindhold svarede til markkapacitet, og de i modellen anvendte klimadata var typiske data for solrige perioder i maj og juni.

Som eksempel på resultaterne fra simuleringen viser fig. 56 bladvandspotentialt om dagen og om natten, den maksimale transpirationsrate midt på dagen, den summerede fordampning og tørstofproduktionen for en Typipodzol udviklet i flyvesand og for en Typilessive med stærkt forsuret underjord udviklet i leret till. Antages planten for vissen, når bladvandspotentialt om natten ikke når over -20 bar, vil den plantetilgængelige vandmængde i Typipodzolen være 54 mm, medens den for Typilessiveen er 105 mm. De "gode" lerjorde med en dyb rodudvikling havde i følge simuleringsmodellen en plantetilgængelig vandmængde på omkring 180 mm.

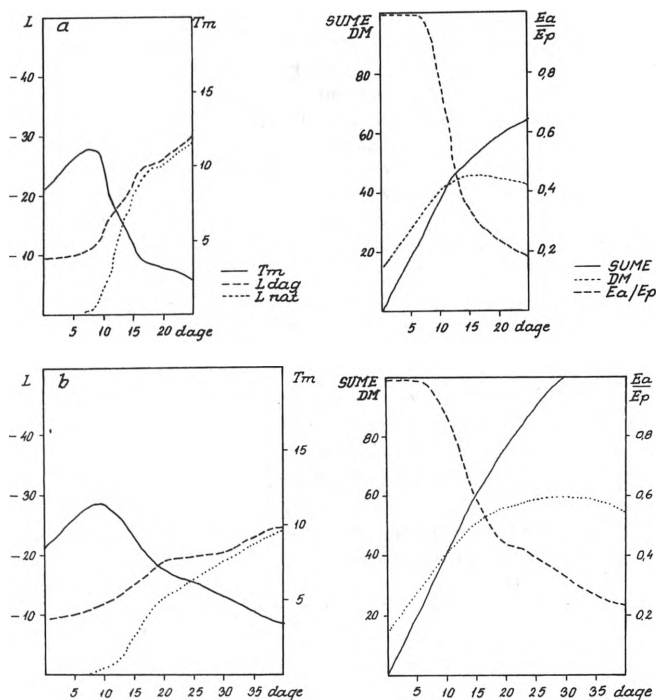


Fig. 56: Variationen i den maksimale transpirationsrate beregnet for et 3 minutters interval midt på dagen (T_m), bladvandspotentialt (L), den summerede fordampning ($SUM E$), den summerede tørstofproduktion (DM) og forholdet mellem den aktuelle og potentielle fordampning (E_a/E_p) igennem en tørkeperiode (Madsen 1979).

Variations in the maximum transpiration rate (T_m), the leaf-water potential (L), the summed-up evaporation ($SUM E$), the summed-up production of dry matter (DM), and the ratio between actual and potential evaporation (E_a/E_p) throughout a drought period up to 40 days.

Sammenholdes det plantetilgængelige vandindhold i de lag, hvor rodintensiteten er større eller lig 0.1 cm rod/cm^3 jord, d.v.s. $Z(0.1)$, med den fordampede vandmængde fra planterne indtil bladvandspotentialet bliver mindre end -20 bar om natten bestemt ved simuleringen, fås for de undersøgte jorde fig. 57.

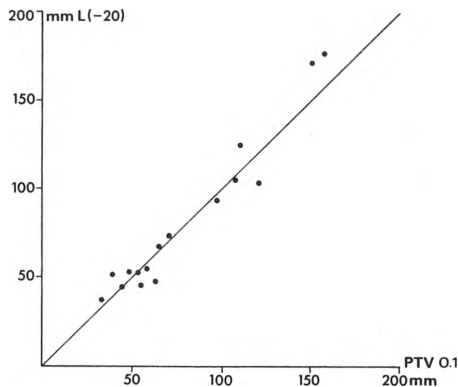


Fig. 57: Sammenhængen mellem den plantetilgængelige vandmængde i de lag, hvor rodintensiteten er større eller lig 0.1 cm rod/cm^3 jord, PTV 0,1, og den transpirerede vandmængde indtil bladvandspotentialet om natten bestemt ved simulering ikke overstiger -20 bar , $L(-20)$. Efter Madsen (1981).

The relationship between the summed-up available water content in the soil layers with more than 0.1 cm rod/cm^3 soil, PTV 0.1, and the summed-up transpired water until leaf water potential at night does not exceed -20 bar , $L(-20)$, determined by simulation.

Fig. 57 viser, at der er en rimelig sammenhæng mellem summen af jordens plantetilgængelige vandmængde i lagene med over eller lig 0.1 cm rod/cm^3 jord, og den ved simuleringen bestemte summerede transpirerede vandmængde, indtil bladvandspotentialet om natten ikke overstiger -20 bar . På basis af dette materiale vil det være rimeligt at anvende $Z(0.1)$, se kapitel 10, som mål for den effektive roddybde. Man må dog gøre sig klart, at materialet er spinkelt, og at senere undersøgelser muligvis kan ændre rodintensitetsgrænsen en kende. Der vil dog næppe blive tale om radikale ændringer. Et problem ved at anvende en fast rodintensitet som grænse for den effektive roddybde er, at denne grænses holdbarhed er afhængig af rodprofilens form. Den plantetilgængelige vandmængde vil fx blive overestimeret i en profil såfremt de fleste lag har en rodintensitet lige over 0.1 cm rod/cm^3 jord, hvorimod der ikke findes noget lag med rodintensiteter under 0.1 cm rod/cm^3 jord. Modsat kan en profil få underestimeret sin plantetilgængelige vandmængde, såfremt der i profilen er mange lag med rodintensiteter lige under 0.1 cm rod/cm^3 jord og næsten ingen lag med rodintensiteter mellem 1 cm og 0.1 cm rod/cm^3 jord.

I resten af dette kapitel vil Z(O.I) blive betragtet som den effektive rod-dybde, og beregningerne af den plantetilgængelige vandmængde i profilerne vil blive beregnet ud fra denne.

Beskrivelse af den aktuelle undersøgelse

Som tidligere nævnt blev prøveudtagningen til vandretentionsbestemmelserne foretaget i november 1981. Der blev udtaget prøver fra 21 markprofiler og 8 skovprofiler, og på fig. 58 ses den geografiske placering af profilerne gravet på dyrket jord. De 21 markprofiler blev lagt i umiddelbar nærhed af de steder, hvor rodundersøgelserne tidligere var foretaget, og i enkelte tilfælde blev prøveudtagningen endog foretaget i samme profil, i hvilken prøveudtagningen til rodbestemmelserne tidligere var foretaget.

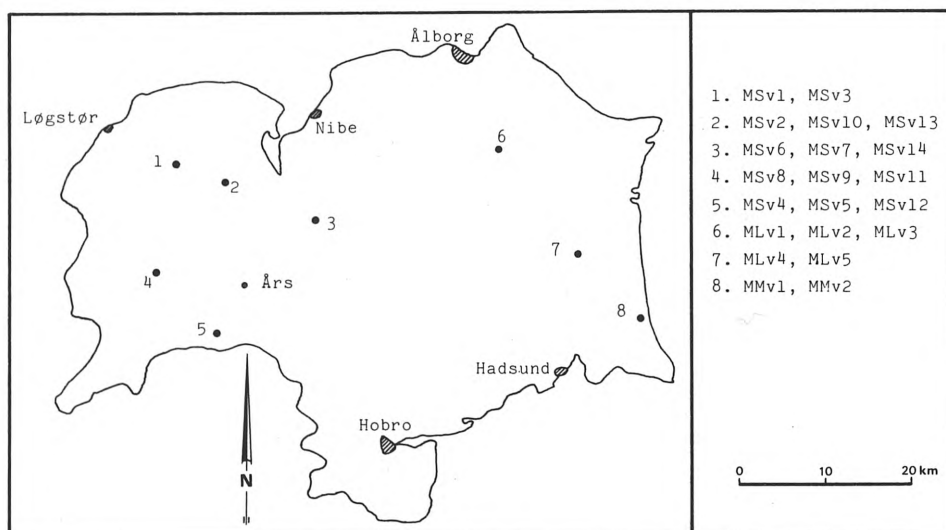


Fig. 58: Den geografiske placering af de markprofiler der blev undersøgt med hensyn til jordens vandretention.

Map showing the location of the profiles which have been investigated with regard to soil water retention.

Efter profilen var gravet, blev der udført en grov profilbeskrivelse med hensyn til horisontfølge, og profilen blev klassificeret efter det opstillede system i kapitel 4. Derefter blev der udtaget 3 jordprøver i ringe fra hver horisont til vandretentionsbestemmelse, ligesom der blev udtaget prøver til bestemmelse af tekstur, mængden af organisk stof og kalkindhold. Prøverne blev analyseret efter retningslinierne i kapitel 3.

Det vil ved diskussionen af analyseresultaterne være rimeligt at anvende næsten den samme inddeling af jordene som i kapitel 10, idet de fundne vand-

retentionsdata blandt andet skal relateres til de gennemsnitlige roddybder defineret i dette kapitel. Profilerne i det glacialt landskab vil derfor blive delt efter tekstur i to klasser, nemlig lerfattige og lerholdige jorde. De lerfattige jorde defineres som jorde med under 8% 1er inden for de øverste 70 cm af profilen, og disse jorde vil som i kapitel 10 blive inddeelt i grove og fine lerfattige jorde ved diskussionen af resultaterne. Ved grove lerfattige jorde forstås jorde med under 10% 1er + silt, medens fine lerfattige jorde er jorde med over 10% 1er + silt. De lerholdige profiler er profiler, der formodes at have haft 8% 1er eller derover i udgangsmaterialet. Da de lerholdige jorde normalt har været udsat for lernedslæmning, kan der i visse af profilerne findes A horisonter, der teksturelt set har under 8% 1er. Begynder Bt horisonten inden 70 cms dybde, vil sådanne profiler blive henregnet til de lerholdige jorde. Er dette ikke tilfældet, henregnes profilerne til de lerfattige jorde. Det bemærkes i forhold til kapitel 10, at kalkjordene og blandingsjordene er udeladt, ligesom der heller ikke er sket en sondring mellem kolluviale og ikke kolluviale lerfattige jorde. Dette skyldes, at der næsten ikke er udtaget prøver fra disse jorde i denne undersøgelse.

Profilerne navngives først med et M, der angiver, at det er en opdyrket profil i modsætning til skovprofilerne, der beskrives med S. Efter M angives med et stort bogstav på hvilket udgangsmateriale, profilen er udviklet. Der anvendes følgende bogstaver.

S: lerfattige profiler i det glacialt landskab
L: lerholdige profiler i det glacialt landskab
M: jorde på det marine forland.

Derefter angives med et v, at det er en profil, der hovedsagelig er undersøgt for vandretention, og endelig underinddeles de forskellige bogstavskombinationer med et løbenummer. En fuldstændig lokalitetsbetegnelse vil da fx blive MSv3 eller MLv2.

Der vil i det efterfølgende først blive en diskussion af jordtypernes porestørrelsesfordeling og plantetilgængelige vandmængde uden relation til den effektive roddybde, hvorefter der til sidst vil blive en sammenstilling af den plantetilgængelige vandmængde og de effektive roddybder fundet i kapitel 10. Der vil ved gennemgangen af de forskellige jordes porestørrelsesfordeling ikke blive skelnet mellem fine og grove mellem-porer, d.v.s. mellem let- og sværttilgængeligt vand. Dette skyldes, at der ud fra retentionskurvens form var tegn på manglende afdræning i visse prøver ved pF2.5 og pF3.0 på naturligt lejrede prøver. Dette skyldes sandsynligvis, at afdræningen fra visse partier af prøven næsten går i stå, når grovporesystemet mellem aggregaterne er tømt for vand, hvilket sker omkring markkapacitet. Den ovennævnte hypotese bygger på sammenligninger af vandindholdet ved pF2.0, pF2.5 og pF3.0 for naturligt lejrede prøver og sigtede prøver, hvor sidstnævnte var pakket til den volumenvægt, den naturligt lejrede prøve havde. Resultaterne viste, at ved pF2.0 var vandindholdet generelt større i de sigtede prøver end i de naturligt lejrede, medens det omvendte var tilfældet ved pF2.5 og pF3.0. I visse tilfælde var vandindholdet ved pF3.0 i den sigtede prøve kun omkring halvdelen af vandindholdet i den naturligt lejrede prøve.

Porestørrelsesfordeling og plantetilgængeligt vand på lerfattige jorde i det glaciale landskab

Der er i alt undersøgt 14 profiler inden for denne gruppe, og i tabel 50 ses disse jordes teksturelle sammensætning og porestørrelsesfordeling, ligesom profilernes horisontfølge med dybdeangivelse er vist. Med dybden menes niveauet under terræn for horisonternes over- og undergrænser, på nær hvor der er udtaget prøver fra den dybest beskrevne horisont. Der angiver dybden prøveudtagningsdybden. Til sidst i tabel 50 er profilerne navngivet efter klassifikationssystemet i kapitel 4.

Pedologisk set spænder de lerfattige jorde fra Typi- og Sesquipodzoler over Brunpodzoler og brunsoler til egentlige lessivejorde. Typipodzolen MSv1 og Sesquipodzolen MSv2, der er udviklet på overvejende 1er- og siltfattigt finsandet materiale, er ikke nær så stærkt udviklede, som dem man kan finde andre steder i Danmark, fx er B horisonterne i de to jorde ikke hærdnede. Brunpodzolerne, MSv3 til MSv5, er som de førstnævnte podzoler udviklet på finsandet materiale. Den ene af de tre profiler er udviklet på 1er- og siltfattigt flyvesand, der senere er blevet dækket af et nyt lag flyvesand, i hvilket der er udviklet en brunsol. De to øvrige Brunpodzoler er udviklet på mere 1er- og siltholdige finsandede aflejringer af formodentlig glacial oprindelse. I C horisonten i MSv5 er der udviklet en fragipan. Brunsolerne, MSv6 til MSv11, indeholder både profiler udviklet på 1er- og siltholdige finsandede aflejringer, og profiler udviklet på overvejende grovsandede 1er- og siltfattige aflejringer. De sidstnævnte er de teksturelt set groveste jorde i dette kapitel. Pedologisk set er der både Typibrunsoler, Strukturbrunsoler og Blandingsbrunsoler blandt de undersøgte profiler. Typibrunsolerne har svage tegn på lessivering, ofte som bånd i C horisonten, og der er i to af disse jorde konstateret fragipans. Lessivejordene, MSv12 og MSv13, er udviklet på siltholdigt finsandet udgangsmateriale med formodentligt omkring 5% 1er i udgangsmaterialet. I MSv12 er Bt horisonten båndet, og der blev i B2td fundet 9% 1er i lerakkumulationsbåndene i modsætning til 4% i de ikke lerberigede dele. På basis af tykkelsen og lerindholdet i B2t og B3t klassificeres jorden som en Båndlessive. MSv13, der har en noget mere markant Bt horisont end MSv12, har en tydelig dobbeltprofiludvikling med dannelsen af en brunsol i lessive A2 horisonten. Der er endvidere tydeligt pseudogleypræg i A2 og Bt. Profilen klassificeres derfor som en Brunsolpseudogleytypilessive. Endelig skal nævnes MSv14, der er en Typikolluvialjord med en Al horisont på 120 cm. Den tykke Al horisont skyldes profilens placering i bunden af en lille lavning, der på grund af erosion på skråningerne er beriget med humusholdigt Al materiale.

Tabel 50 (se næste side):

Horisontfølge, tekstur, organisk stof, volumenvægt, porøsitet og porestørrelsesfordeling for de lerfattige jorde i det glaciale landskab.

Horizon sequence, texture, organic matter, bulk density, porosity and percentages of coarse, medium and fine pores in different soils in the glacial landscape with less than 8% clay in the parent material.

			Tekstur u					OH	vol.v.	porå	porer (vol%)		
			<2	2-20	20-63	63-200	200-2000	S	g/cm ³	vol%	grov	mellem	fin
MSvI	Ap	(0 - 30)	1	2	1	51	42	2.6	1.50	42.6	25.7	13.0	13.0.9
	B21h	(30 - 36)	2	2	1	43	50	2.2	1.42	45.8	33.8	8.6	3.3.4
	B22s	(36 - 43)	1	2	0	39	57	1.1	1.53	41.9	31.9	8.3	1.7
	B3so	(43 - 80)	1	1	0	57	41	0.3	1.61	39.2	31.3	6.5	1.2.2
	Clo	(80 - 130)	1	1	1	58	39	0.4	1.66	37.2	27.0	9.0	1.2.2
MSv2	Ap	(0-26)	1	2	7	68	19	2.7	1.49	43.0	22.7	15.3	5.5.0
	A12	(26 - 38)	2	3	6	65	22	2.0	1.48	43.6	23.7	16.2	3.7
	B2s	(38 - 49)	3	2	6	71	16	1.8	1.39	47.1	29.3	14.3	3.5
	B3s	(49 - 69)	2	1	7	71	18	0.9	1.48	43.9	29.8	11.6	2.5
	Cl	(69 - 97)	1	0	9	71	19	0.3	1.62	38.8	25.8	11.5	1.5.5
MSv3	Ap	(0 - 20)	2	2	1	53	40	2.1	1.45	44.7	25.7	15.1	3.3.9
	Bj	(20 - 58)	1	1	1	57	39	0.6	1.58	39.8	31.3	7.3	1.2.2
	A2b	(58 - 68)	1	1	0	60	37	0.9	1.59	39.7	27.7	10.2	1.8.8
	B2svb	(68 - 83)	1	1	1	65	31	0.9	1.58	40.1	29.1	9.5	1.5.5
	B3svb	(83 - 104)	1	1	0	55	43	0.4	1.67	36.9	28.1	7.4	1.4.1.4
	Cb	(110-115)	1	0	1	63	35	0.2	1.65	37.7	29.8	6.7	1.2.2
MSv4	Ap	(0-25)	3	7	13	48	26	3.0	1.55	40.6	11.7	23.0	5.5.9
	B2sv	(25 - 37)	3	6	12	47	29	2.5	1.38	47.3	18.2	24.4	4.7.7
	B3sv	(37 - 53)	6	9	19	53	11	1.9	1.29	50.8	22.4	22.7	5.7
	C1	(53 - 75)	5	6	18	55	15	0.3	1.48	44.0	21.8	19.0	3.2.2
	C2	(75 - 95)	1	1	8	72	18	0.2	1.61	39.2	23.1	14.9	1.2.1.2
	C3no	(105-110)	1	1	21	43	34	0.2	1.63	38.4	18.5	18.9	1.0.0
HSv5	Ap	(0-32)	3	6	1	72	15	3.1	1.40	46.3	21.3	19.8	5.2
	A2	(32 - 40)	3	6	10	38	41	2.0	1.41	46.2	22.8	19.5	3.3.9
	Bvs	(40 - 65)	4	3	8	53	31	1.4	1.45	44.9	25.6	16.2	3.13.1
	Cl	(65 - 90)	2	2	6	43	46	0.5	1.57	40.6	28.1	11.1	1.4.4
	C2ox	(95 - 100)	2	1	12	64	21	0.2	1.65	37.7	18.6	17.8	1.3.3
HSv6	Ap	(0-18)	5	7	6	38	39	4.6	1.39	46.3	17.2	21.9	7.2.2
	B2v	(18 - 38)	5	6	8	32	47	2.1	1.32	49.7	24.0	21.1	4.4.6
	B3vx	(38 - 75)	5	5	9	36	45	0.4	1.67	36.9	19.1	13.1	4.7
	Cd	(80 - 100)	2	1	4	32	61	0.2	1.54	41.8	34.0	5.9	1.9
	Cd	(80 - 100)	5	1	2	32	60	0.2	-	-	-	-	-
MSv7	Ap	(0-29)	4	7	9	38	37	4.6	1.36	47.4	18.7	22.8	5.95.9
	B3vx	(33 - 83)	6	4	9	28	53	0.3	1.71	35.4	20.1	10.6	4.4.7
	Cl	(83 - 114)	6	5	10	34	43	0.1	1.84	30.5	12.7	13.9	3.9
	C2	(125-130)	2	0	3	25	70	0.1	1.61	39.2	33.5	4.9	0.8
MSv8	Ap	(0-26)	4	6	8	43	37	1.9	1.33	49.3	31.2	14.3	3.8
	B2v	(26 - 37)	2	4	8	36	49	0.7	1.51	42.8	30.1	10.4	2.3
	C	(60 - 65)	1	2	8	44	45	0.2	1.57	40.7	29.2	10.1	1.4
MSv9	Ap	(0-25)	3	4	3	43	46	1.3	1.51	42.6	28.4	10.5	3.7.7
	Bj	(25 - 50)	1	1	3	28	67	0.1	1.64	38.1	34.1	3.0	1.0
	Cd	(65 - 70)	1	1	0	25	73	0.1	1.60	39.6	35.7	3.1	0.3.8
MSvlo	Ap	(0-25)	2	4	10	50	31	2.6	1.43	45.3	20.3	19.9	5.1.1
	Bj	(25 - 42)	3	5	22	53	17	0.4	1.62	38.7	12.7	23.0	3.0.0
	Co	(42 - 90)	2	2	19	45	32	0.2	1.65	37.7	15.6	20.3	1.8.8
MSvII	Ap	(0-23)	3	7	8	30	50	1.7	1.57	40.2	19.5	16.5	4.2
	Bj	(23 - 71)	2	1	2	50	45	0.2	1.54	41.8	35.1	5.2	1.5.5
	IIc1	(71 - 115)	15	26	5	48	6	0.2	1.61	39.2	6.8	22.2	10.2.2
MSvI2	Ap	(0-25)	3	6	10	38	41	2.3	1.43	45.4	22.3	18.0	5.1
	A12	(25 - 50)	3	5	9	53	28	1.5	1.45	44.9	25.1	16.5	3.3
	A2	(50 - 65)	4	6	26	38	25	1.2	1.46	44.6	20.5	20.4	3.7
	B2td	(65 - 77)	7	6	21	44	21	0.7	1.54	41.7	18.2	19.0	4.5
	B2td	(65 - 77)	9	9	28	45	9	0.4	-	-	-	-	-
	B2td	(65 - 77)	4	9	35	46	6	0.2	-	-	-	-	-
	B3td	(77 - 85)	7	8	20	48	17	0.4	1.59	39.9	14.4	22.4	3.1
	C	(85 - 90)	3	5	15	55	22	0.2	1.65	37.7	16.9	19.0	1.8.8
MSvI3	Ap	(0-26)	4	5	12	47	26	5.5	1.40	45.6	12.1	22.8	10.7
	Bvø	(26 - 33)	3	6	17	47	25	2.0	1.45	44.7	18.6	20.9	5.2
	A2g	(33 - 59)	3	7	12	40	37	0.6	1.54	41.7	21.3	17.0	3.4
	B2tg	(59 - 92)	8	7	12	38	35	0.2	1.70	35.8	14.2	14.3	7.3
	B3tg	(92 - 98)	10	7	11	38	34	0.1	1.79	32.4	9.0	15.4	8.0
MSvI4	All	(0 - 80)	4	8	8	40	37	3.3	1.30	50.1	26.1	18.5	5.5
	A12	(80 - 120)	5	7	10	33	44	1.4	1.36	48.3	28.4	16.5	3.4
	B2v	(120-138)	3	3	5	34	54	0.6	1.53	42.1	31.5	8.1	2.5
	C	(140-150)	2	1	5	24	68	0.2	1.60	39.6	31.3	7.1	1.2.2
MSvI Gleytypipodzol			MSv6 lessiveagtig fragi Typibrunsol					MSvII Blandingsbrunsol					
MSv2 gleyet Sesquipedzol			MSv7 lessiveagtig fragi Typibrunsol					MSvI2 kolluvial Båndlessive					
MSv3 fopbrunsol Brunpodzol			MSvC lessiveagtig Typibrunsol					MSvI3 Brunsolpseudogleytypiplessive					
MSv4 gleyet Brunpodzol			MSv9 Strukturbrunsol					MSvI4 Typikolluvialjord					
MSv3 fragi Gleybrunpodzol			MSvI0 Gleystrukturbrunsol										

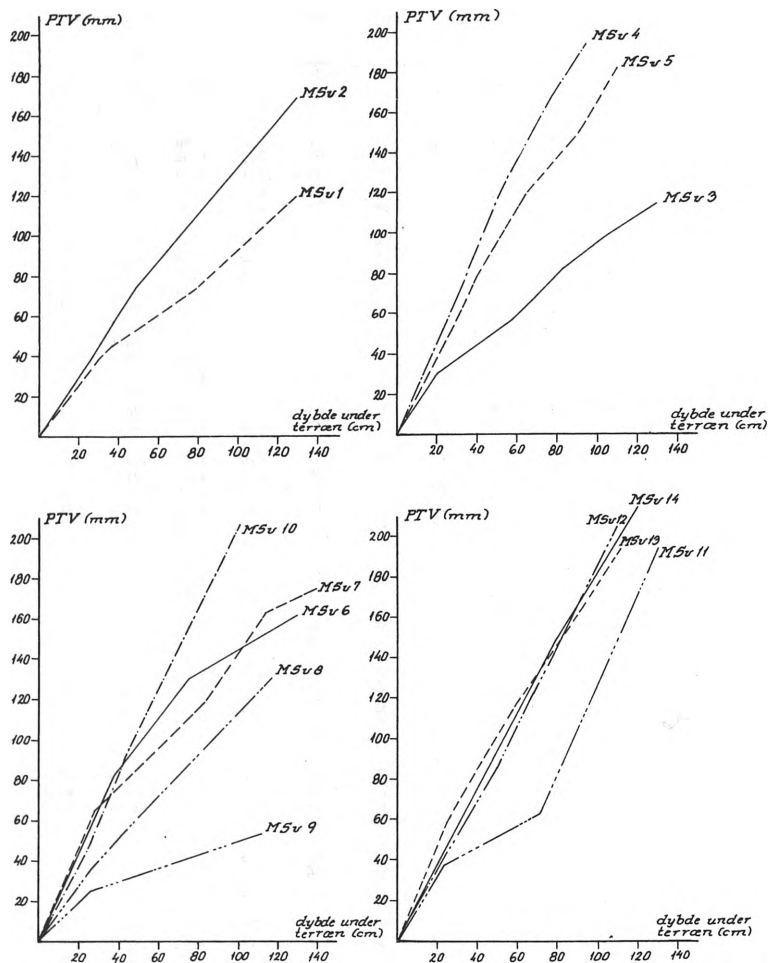


Fig. 59: Sammenhængen mellem den plantetilgængelige vandmængde og dybden under terræn for de lervattige jorde i det glacielle landskab.

The relationship between available water and depth for sandy soils in the glacial landscape.

Tabel 50 viser, at de fleste profiler har over 10 vol% grovporer i alle horisonter, d.v.s., at der normalt ikke vil være problemer med luftskiftet i disse jorde. De eneste profiler, der indeholder lag med under 10 vol% grovporer, er MSv11 og MSv13, der har lerrige lag i ca. 1 meters dybde. Tabel 50 viser altså, at en svag rodudvikling i de lervattige jorde normalt ikke kan tilskrives manglende luftskifte i jorden, medmindre profilen har højtstående grundvand. Volumen af finpore i profilerne er ringe, hvilket må tilskrives jordens ringe lerindhold. Mængden af mellemporer og dermed mængden af plantetilgængeligt vand varierer stærkt, således har visse grov-

sandede B og C horisonter kun 3 vol% mellemporer, medens mange finsandede siltholdige horisonter har over 20 vol% mellemporer. På fig. 59 ses den summerede plantetilgængelige vandmængde i jorden defineret som vandindholdet mellem pF2.0 og pF4.2 som funktion af dybden under terræn. Af fig. 59 ses, at podzolen MSv1 har ca. 90 mm plantetilgængeligt vand i den øverste meter af jorden, medens podzolen MSv2 har over 130 mm. Denne forskel skyldes uden tvivl det større grovsandsindhold i MSv1. Blandt Brunpodzolerne er der også store forskelle i den samlede plantetilgængelige vandmængde inden for den øverste meter af profilen, idet MSv3 knapt indeholder 100 mm plantetilgængeligt vand, MSv4 indeholder over 160 mm og MSv5 omkring 200 mm plantetilgængeligt vand inden for denne dybde. Det er som ved MSv1 og MSv2 helt klart teksturelle forskelle, der betinger de store forskelle i profilers vandindhold. Blandt brunsolerne findes de største forskelle i den samlede plantetilgængelige vandmængde inden for den øverste meter af jorden, fx indeholder MSv9 kun 50 mm plantetilgængeligt vand inden for denne dybde, medens MSv10 indeholder over 200 mm plantetilgængeligt vand inden for samme dybde. Også hos brunsolerne må de store forskelle i det plantetilgængelige vandindhold tilskrives teksturvariationer. Medens der for en stor del af podzolerne og brunsolerne er en tendens til et aftagende plantetilgængeligt vandindhold (vol%) med dybden bl.a. på grund af aftagende humusindhold, synes dette ikke at være så fremherskende for de to lessivejorde, MSv12 og MSv13, hvilket muligvis kan tilskrives, at den lidt finere tekstur med dybden kompenserer for det aftagende humusindhold. Disse to jorde har som kolluvialjorden omkring 180 mm plantetilgængeligt vand inden for den øverste meter af jorden.

Porestørrelsesfordeling og plantetilgængeligt vand i lerholdige jorde i det glacielle landskab

De lerholdige jordes teksturelle sammensætning og porestørrelsesfordeling ses af tabel 51, hvor profilernes horisontfølge med dybdeangivelse endvidere er vist. Med dybden menes niveauet under terræn for horisonternes over- og undergrænser, på nær hvor der er udtaget prøver fra den dybest beskrevne horisont. Der angiver dybden prøveudtagningsdybden. Til sidst i tabel 51 er profilerne navngivet efter klassifikationssystemet i kapitel 4.

Pedologisk set er de fem undersøgte profiler lessivejorde udviklet på overvejende leret till, dog bærer fx profil MLv5 helt klare tegn på, at de dybereliggende lag består af vandaflejret ler. Medens de tre første profiler har et lerindhold som de fleste jorde udviklet i det lerholdige morænelandskab, har de to sidste jorde meget høje lerindhold i de dybereliggende lag. Især IIIC i MLv5 er i denne henseende helt ekstrem med 70% ler og 20% finsilt. En sådan teksturel sammensætning er yderst sjælden i det glacielle landskab, hvorimod den vil være mere udbredt i områder bestående af fx bassinmarsk.

Betragtes de undersøgte profilers porestørrelsesfordeling, ses af tabel 51, at grovporeindholdet aftager med dybden, så det i B og C horisonterne er væsentligt lavere, end hvad man finder i de mere sandede jorde. I A horisonterne ligger grovporeindholdet på mellem 10 og 20 vol%, d.v.s., at luftskiftet i disse horisonter som oftest vil være rimeligt.

Tabel 51: Horisontfølge, tekstur, organisk stof, volumenvægt, porøsitet og porestørrelsesfordeling for de lerholdige jorde i det glacielle landskab.

Horizon sequence, texture, organic matter, bulk density, porosity and percentages of coarse, medium and fine pores in different soils in the glacial landscape with more than 8% clay in the parent material.

			Tekstur u					OM	vol.v.	pore	porer (vol%)		
			<2	2-20	20-63	63-200	200-2000	%	g/cm ³	vol%	grov	mellem	fin
MLv1	Ap	(0 - 30)	9	13	16	30	28	3.8	1.40	46.1	15.4	22.5	8.2
	A12	(30 - 55)	10	16	16	32	23	2.9	1.34	48.7	17.8	22.7	8.2
	B2t	(55 - 100)	17	11	16	34	22	0.3	1.77	33.1	6.8	14.8	11.5
	B3t	(100-150)	18	13	18	32	19	0.2	1.80	32.0	2.5	16.4	13.1
	Cg	(150-170)	17	15	17	29	22	0.1	1.82	31.3	0.9	17.2	13.2
MLv2	Ap	(0 - 23)	7	14	19	32	25	3.4	1.44	44.7	12.2	24.1	8.4
	A12	(23 - 61)	8	14	19	23	34	2.4	1.44	45.0	15.0	22.9	7.1
	A2	(61 - 91)	9	11	12	38	30	0.4	1.58	40.3	20.3	13.7	6.3
	B2t	(91 - 118)	14	11	17	23	35	0.2	1.68	36.5	10.3	15.8	10.4
	B3t	(118-147)	19	12	16	34	19	0.2	1.72	35.0	5.2	17.7	12.1
	IIC	(155-160)	10	4	5	25	56	0.1	1.76	33.6	8.9	17.6	7.1
MLv3	Ap	(0 - 40)	8	12	16	33	27	3.7	1.47	43.5	13.4	21.1	9.0
	A2	(40 - 63)	6	9	13	29	42	0.6	1.55	41.3	21.7	15.4	4.2
	B2ty	(63 - 94)	21	12	17	31	19	0.3	1.71	35.4	7.8	14.4	13.2
	B31t	(94 - 120)	25	15	17	25	18	0.2	1.67	36.9	3.7	17.7	15.5
	IIB32t	(135-140)	7	2	24	67	0	0.1	1.59	40.0	9.3	26.6	4.1
MLv4	Ap	(0 - 30)	8	12	14	25	39	2.4	1.51	42.3	13.6	20.5	8.2
	A2	(30 - 50)	12	16	19	30	21	1.5	1.55	41.1	10.7	21.0	9.4
	IIB2tg	(50 - 75)	27	31	15	14	12	0.7	1.63	38.3	5.8	12.7	19.8
	IIB3tg	(120-130)	36	29	14	17	4	0.3	1.64	38.0	3.4	10.0	24.6
MLv5	Ap	(0 - 25)	17	19	11	25	26	2.5	1.53	41.5	8.1	21.5	11.9
	IIB2t	(25 - 74)	46	32	12	7	2	0.7	1.53	42.1	2.6	12.0	27.5
	IIB3t	(74 - 140)	37	25	17	10	11	0.3	1.63	38.4	2.7	13.4	22.3
	IICg	(155-160)	70	20	6	3	1	0.4	1.26	52.4	1.8	16.7	33.9
MLv1: kolluvial Typilessive								MLv4: Pseudogleyblandingslessive					
MLv2: kolluvial Typilessive								MLv5: Blandingslessive					
MLv3: degraderet Typilessive													

I B og C horisonterne ligger grovporeindholdet ofte væsentligt under 10 vol%, og fx i Cg horisonten i MLv1 er grovporeindholdet 1 vol%. Det turde derfor være indlysende, at der i sådanne profiler kan opstå luftskifteproblemer, og at et eventuelt nedbørsoverskud hurtigt kan få fyldt grovporesystemet op, hvilket fx fig. 37 og 48 også illustrerer. Mængden af finporer i de lerholdige jorde er væsentligt større end for de lerfattige, hvilket skyldes, at mængden af finporer er tæt knyttet til jordens 1er- og humusindhold (Wiklert 1964, Kivisaari 1971 og L. Hansen 1976). De største mængder finporer findes derfor i de meget lerrige B og C horisonter.

Mængden af mellemporer og dermed den plantetilgængelige vandmængde er klart størst i A1 horisonterne, der har over 20 vol% mellemporer, hvorimod de i forhold til A1 mere lerrige B og C horisonter kun indeholder omkring 15

vol% mellemporer. Visse af de meget lerrige horisonter kan endog komme ned på 10 vol% plantetilgængeligt vand, d.v.s. på samme niveau som de "halvdårlige" sandede underjorde. Dette viser, at lerindholdet ikke altid har en stor positiv indflydelse på den plantetilgængelige vandmængde i de enkelte horisonter, hvilket fx er vist af Kivisaari (1971), der ud fra regressionsanalyser fandt, at den plantetilgængelige vandmængde korrelerede bedst med siltfraktionen, og af Marshall (1959), der angiver, at et stort lerindhold kan have en negativ indflydelse på mængden af plantetilgængeligt vand. Pidgeon (1972) fandt ligeledes ud fra regressionsanalyser, at lerindholdet havde en negativ indflydelse på den plantetilgængelige vandmængde. På fig. 60 er den summerede plantetilgængelige vandmængde i profilerne udregnet som vandindholdet mellem pF2.0 og pF4.2 vist som funktion af dybden.

På de 5 kurver ses et knæk fra Al horisonterne til de underliggende horisonter, hvilket viser, at der er noget mindre plantetilgængeligt vand i disse dybereliggende lag. Den samlede plantetilgængelige vandmængde inden for den øverste meter af jorden bliver derfor størst i de kolluviale lessivejorde som MLv1 og MLv2. Disse to profiler indeholder omkring 200 mm plantetilgængeligt vand inden for de øverste 100 cm af profilen i modsætning til de ikke kolluviale lerholdige jorde, der kun indeholder omkring 160 mm, og således at den lerrigeste profil indeholder mindst. Det bemærkes, at de "bedste" lertfattige jorde indeholder det samme eller lidt mere plantetilgængeligt vand inden for den øverste meter af profilen end de "dårlige" lerholdige lessivejorde.

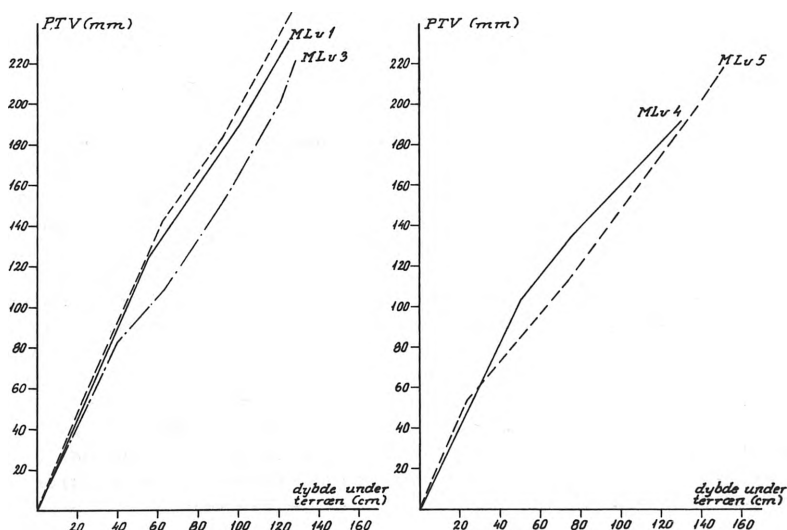


Fig. 60: Sammenhængen mellem den plantetilgængelige vandmængde og dybden under terræn for de lerholdige jorde i det glacial landskab.

The relationship between available water and depth for clayey soils in the glacial landscape.

Porestørrelsesfordeling og plantetilgængeligt vand i profiler på det marine forland

Der er på det marine forland kun foretaget to profilgravninger for at få belyst jordens plantetilgængelige vandmængde. I tabel 52 ses de to jordes teksturelle sammensætning og porestørrelsesfordeling, ligesom horisontfølgen med dybdeangivelse er vist. Med dybden menes niveauet under terræn for horisonternes over- og undergrænser, på nær hvor der er udtaget prøver fra den dybest beskrevne horisont. Der angiver dybden prøveudtagningsdybden.

Tabel 52: Horisontfølge, tekstur, organisk stof, volumenvægt, porøsitet og porestørrelsesfordeling for to profiler udviklet på det marine forland.

Horizon sequence, texture, organic matter, bulk density, porosity and percentages of coarse, medium and fine pores in two sandy soils developed in the marine foreland.

			Tekstur u				OM	vol.v.	porø	porer (vol%)		
			<2	2-20	63-200	200-2000	%	g/cm ³	vol%	grov	mellem	fin
MMv1	Ap	(0 - 27)	4	8	8	61	15	4.5	1.40	45.9	10.3	26.9
	Cno	(60 - 65)	2	2	3	92	1	0.1	1.54	41.9	27.9	13.0
MMv2	Ap	(0-23)	6	7	11	50	21	5.4	1.38	46.5	13.2	26.0
	C1no	(23 - 78)	1	0	2	90	7	0.1	1.56	41.1	31.3	9.3
	C2no	(100-105)	1	0	1	92	6	< 0.1	1.55	41.5	32.3	8.6
MMv1: Blegbrungley							MMv2: Blegbrungley					

Tabel 52 viser, at de to profiler er udpræget finsandede jorde med Co horisonter, der består af særdeles velsorteret materiale. Pedologisk set er begge profiler Blegbrungleyer, d.v.s., at de er helt afblegede sandjorde med et naturligt højtstående grundvand. Grundvandsstanden ligger dog i dag dybt blandt andet på grund af udretningen af Haslevgård A.

Mængden af grovporer i de to profilers Co horisonter ligger på omkring 30 vol%, medens de noget mere 1er- og siltholdige Ap horisonter kun indeholder 10-15 vol% grovporer. Der skulle derfor ikke umiddelbart forventes problemer med luftskiftet i disse jorde undtagen ved meget højtstående grundvand. Den ringe rodudvikling i disse jorde, jævnfør kapitel 10, må derfor nærmere tilskrives det lave 1er- og siltindhold i Cno horisonterne end et dårligt luftskifte. Mængden af finporer er som ved de stærkt sandede jorde i det glacielle landskab lavt, og kun i Ap horisonterne er der på grund af det relativt høje organiske indhold en vis mængde finporer.

Mængden af mellemporer og dermed den plantetilgængelige vandmængde er meget stor i Ap horisonterne sandsynligvis på grund af en gunstig tekstur og et højt indhold af organisk stof. Det sidste er sandsynligvis betinget af dræningsforholdene fra før hovedafvandingen. Co horisonterne indeholder i modsætning til Ap horisonterne kun få mellemporer på trods af det høje finsandsindhold. Det lave indhold af mellemporer skyldes sandsynligvis, at hovedparten af finsandet ligger i den grove ende af klassen.

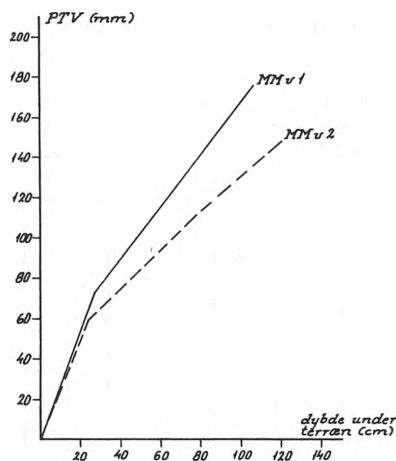


Fig. 61: Sammenhængen mellem den plantetilgængelige vandmængde og dybden under terræn for to jorde udviklet på det marine forland.

The relationship between available water and depth for two soils developed in the marine foreland.

På fig. 61 ses den plantetilgængelige vandmængde i de to profiler sat i relation til profildybden. Kurverne viser tydeligt den ringe plantetilgængelige vandmængde i Co horisonterne, men på trods af dette indeholder de to profiler henholdsvis 120 mm og 160 mm plantetilgængeligt vand inden for den øverste meter af jorden. Dette skyldes de mange mellemporer i Ap horisonten.

Den plantetilgængelige vandmængde udregnet på basis af jordens vandretention og den effektive roddybde

Sammenholdes de plantetilgængelige vandmængder i tabel 50, 51 og 52 med de gennemsnitlige roddybder i tabel 48, kan man foretage en vurdering af den plantetilgængelige vandmængde i de undersøgte profiler for græs og byg. Der medtages ikke andre afgrøder i disse beregninger, idet talmaterialet i tabel 48 for andre afgrøder end græs og byg er meget spinkelt. I tabel 53 er den gennemsnitlige effektive roddybde for græs og byg og de tilsvarende plantetilgængelige vandmængder angivet for de undersøgte profiler. De effektive roddybder er vurderet ud fra profilernes teksturelle sammensætning i ca. 60 cms dybde. Da profilerne til vandretentionsbestemmelse ofte blev gravet i umiddelbar nærhed af tidligere profiler, i hvilke der var foretaget rodundersøgelser, er der i tabel 53 endvidere angivet, hvilken afgrøde der blev undersøgt i denne profil samt afgrødens effektive roddybde.

Tabel 53: Den plantetilgængelige vandmængde i de undersøgte profiler udregnet på grundlag af den gennemsnitlige effektive roddybde.

The available water content (PTV) in different soils for grass and barley production.

	Z (d.1) græs	cm byg	PTV græs	mm byg	Af grøde	Z(o. 1) cm
MSv 1	45	45	51	51		
MSv2	45	45	69	69	-	
MSv3	45	45	49	49	havre	3o
MSv4	7o	75	155	165	græs	7o
MSv5	7o	75	125	131	-	
MSv6	7o	75	124	13o	græs	8o
MSv7	7o	75	1 lo	115	-	
MSv8	45	45	57	57	hvede	5o
MSv9	45	45	32	32	hvede	Ao
MSv 1o	7o	75	146	156	græs	6o
MSv 11	45	45	49	49	-	
MSv 12	7o	75	126	136	byg	8o
MSv 13	7o	75	134	141	byg	9o
MSv 14	7o	75	13o	139	græs	14o
MLv 1	7o	9o	147	176	græs	6o
MLv2	7o	9o	155	182	græs	9o
MLv3	7o	9o	13o	159	byg	8o
MLv4	7o	9o	129	15o	byg	11o
MLv5	7o	9o	1o8	134	frøgræs	13o
MMv 1	Ao	Ao	9o	9o	byg	Ao
MMv2	Ao	Ao	76	76	byg	Ao

Tabel 53 viser, at for græs og byg på de grove lerbattige jorde i det glaciale landskab er den effektive roddybde sat til 45 cm. Dette medfører, at den gennemsnitlige plantetilgængelige vandmængde i disse jorde bedømt ud fra seks profiler bliver 51 mm.

På de fine lerbattige jorde i det glaciale landskab antages græs at have en effektiv roddybde på 70 cm. Dette giver beregnet ud fra de otte undersøgte profiler en gennemsnitlig plantetilgængelig vandmængde på 131 mm. Byg antages at have en effektiv roddybde på 75 cm, hvilket for de samme otte profiler giver en gennemsnitlig plantetilgængelig vandmængde på 139 mm. Sammenholdes disse vandmængder med vandmængderne fundet for de grove lerbattige typer ses, at der er 88 mm mere plantetilgængeligt vand til bygproduktion i de fine lerbattige typer end i de grove lerbattige typer.

På de lerholdige jorde antages den effektive roddybde for græs at være 70 cm, medens den for byg antages at være 90 cm. Dette giver på basis af de 5 undersøgte profiler en plantetilgængelig vandmængde for græs på 134 mm og

for byg på 160 mm. Det bemærkes, at den plantetilgængelige vandmængde for græs er tilnærmelsesvis den samme på de lerholdige jorde og i de fine lerfattige jorde, medens de lerholdige jorde indeholder en del mere plantetilgængeligt vand end de andre jorde til bygproduktion. Det bør endvidere bemærkes, at den plantetilgængelige vandmængde er mindst i de jorde, der har de største lerprocenter i B og C horisonterne. Denne mindre plantetilgængelige vandmængde i jordlagene synes i den aktuelle rodundersøgelse at blive modsvaret af en større effektiv rodtybde. Således er fx den effektive rodtybde hos frøgræsset i MLv5 50 cm dybere end den effektive rodtybde hos byggen i MLv3, og inden for de to profiler med byg og de to profiler med græs haves, at den dybeste rodudvikling findes i den profil, der har den mindste plantetilgængelige vandmængde inden for de øverste 70 til 90 cm af profilen. For at vurdere om de beregnede gennemsnitlige plantetilgængelige vandmængder er realistiske, er der i tabel 54 vist udbytter tallene for 403 markforsøg med byg udført i Nordjyllands Amt (Mathiesen 1975). Forsøgene er hovedsageligt udført i perioden 1970-1975. I tabel 54 er jordene inddelt i fire grupper efter lerprocenten i pløjelaget, og der er i materialet ikke skelnet mellem jorde i det glacielle landskab og på det marine forland. Gruppe 1 i tabel 54 vil efter den i kapitel 10 og 11 anvendte inddeling af jordene både indeholde grove og fine lerfattige jorde, medens gruppe 2 næsten udelukkende vil indeholde fine lerfattige jorde. Gruppe 3 og 4 vil næsten kun indeholde de lerholdige jorde. Sammenholdes udbytter tallet for gruppe 2 med det gennemsnitlige udbytte for klasse 3 og 4, fås en udbytter forskel på mellem 4 og 5 hkg byg/ha. Dette stemmer godt overens med, at der kun er 20 mm plantetilgængeligt vand til forskel mellem de lerholdige jorde og de fine lerfattige jorde. Det er ikke muligt ud fra tabel 54 at bedømme det gennemsnitlige høstudbytte for byg på de grove lerfattige jorde, idet klasse 1 både indeholder grove og fine lerfattige jorde, men det vil efter Lund & Dorph-Petersen (1971) sandsynligvis ligge på omkring 30 hkg/ha, d.v.s. omkring 12 hkg/ha lavere end for de fine lerfattige jorde. Denne store forskel i høstudbyttet viser, at den beregnede forskel mellem de grove og fine lerfattige jordes plantetilgængelige vandmængde er realistisk.

Tabel 54: Udbyttedata fra markforsøg i Nordjyllands Amt i relation til pløjelagets tekstur. De anvendte data er hovedsagelig fra perioden 1970-1975. Efter Mathiesen (1975).

Comparison between yield of barley and clay content in the plowlayer for experimental sites in Northern Jutland 1970-1975.

gruppe	lerprocenten i pløjelaget	antal analyser	udbytte hkg/ha, byg	standard- afvigelse
1	under 4	63	0 ∞	9.2
2	4-7	244	42.4	9.0
3	7 - 10	53	45.4	8.2
4	over 10	43	49.1	8.0

Samlede betragtninger over de himmerlandske jordes porestørrelsesfordeling og plantetilgængelige vandmængde

Der er i alt undersøgt 21 markprofiler med henblik på en beskrivelse af de himmerlandske jordes porestørrelsesfordeling. Undersøgelsen viste, at der var en rimelig overensstemmelse mellem vandindholdet ved prøveudtagning (markkapacitet) og vandindholdet ved pF2.0 for veldrænedes jorde med over 10-15 vol% vand ved markkapacitet, medens der for jorde med under 10-15 vol% vand ved markkapacitet var klart mere vand ved prøveudtagning end ved pF2.0. Da der formodentligt kun sjældent forekommer en dyb rodudvikling i sandlag med under 10-15 vol% vand ved MK, vil det være rimeligt ved udregning af den samlede plantetilgængelige vandmængde i jorden at anvende vandindholdet ved pF2.0 som mål for vandindholdet ved MK.

Mængden af grovporer i de forskellige jordtyper viste, at kun i de lerholdige jorde var grovporeindholdet så lavt, at der kunne tænkes at opstå problemer med luftskiftet uden tilstedeværelse af grundvand. Mængden af finporer var størst i de lerholdige jorde og mindst i sandede underjorde uden ler og humus. Mængden af mellemporer og dermed den plantetilgængelige vandmængde er meget lav i de grove lerfattige jorde og især B og C horisonter. Da den effektive roddybde i de grove lerfattige jorde for normale afgrøder endvidere er ringe, vil den plantetilgængelige vandmængde kun være omkring 50 mm. De fine lerfattige jorde, der har en noget større effektiv roddybde, indeholder ofte store plantetilgængelige vandmængder, således at de inden for den øverste meter af jorden indeholder lige så meget plantetilgængeligt vand som lerjordene. Det er derfor kun forskellen i den effektive roddybde, der betinger, at lerjordene har større plantetilgængelige vandmængder til rådighed for bygproduktion. Til græsproduktion må de fine lerfattige jorde sidestilles med de lerholdige jorde, hvad angår den plantetilgængelige vandmængde.

Man kan på grundlag af de opnåede resultater konkludere, at den traditionelle opfattelse, at lerholdige jorde indeholder væsentligt mere plantetilgængeligt vand end sandede jorde, ikke altid passer i Himmerland, idet mange sandede jorde indeholder lige så store plantetilgængelige vandmængder som de lerholdige. De store forskelle i den plantetilgængelige vandmængde synes at findes mellem jorde bestående af velsorteret sand og jorde bestående af dårligt sorteret sand med en del ler og silt. De sidstnævnte jorde indeholder normalt mere plantetilgængeligt vand pr. cm jord end de førstnævnte, og afgrødernes rodudvikling er normalt også dybere på de ler- og siltholdige sandede jorde.



SUMMARY

Chapter 1

A general description of Himmerland.

Himmerland is located in the northeastern part of Jutland, just south of Denmark's largest fiord, Limfjorden, fig. 1. During the last glaciation, which ended 15000 years ago, the ice masses covered the whole region. Himmerland is thus dominated by glacial landforms surrounded by younger, low-lying marine forelands towards the east, north, and west, fig. 2.

In brief, the glacial landscape can be described as gently undulating moraines traversed by marked tunnel valley systems. In some places there are distinct push moraines, dead-ice landscapes and outwash plains. Moreover, extensive areas are today affected by wind, so wind-blown sand dominates some parts of western Himmerland. In eastern Himmerland and around Løgstør in the west, limestone is found near the ground surface. The glacial landscape is mainly sandy materials, and only eastern Himmerland has some major occurrences of clayey till.

During the Stone Age the lower-lying parts of Himmerland were transgraded by the sea, the Littorina transgression, and a number of islands emerged in the northern- and easternmost part of the glacial landscape. The sea also inundated the tunnel- and meltwater valleys and made them narrow fiords. In the northeastern part of Himmerland the highest marine limit lies between 7 and 8m. It decreases towards south and west. Topographically, the formerly sea-transgraded areas appear to-day as level plains, in a few places with distinct dune topography or beach ridges. The marine forelands consist mainly of sand, although some places have clayey deposits such as seen E of Ålborg. Where the drainage conditions are poor thick peat layers may develop upon the mineral deposits, for example in Lille Vildmose. In the former sea-transgraded tunnel- and meltwater valleys deposits of peat and gyttie dominate due to calmer sedimentation conditions than those prevailing on the proper marine forelands.

The average temperature in the area is between 7 and 8°C with July as the warmest month, about 16°C, and February as the coldest month with temperatures about zero. Precipitation occurs throughout the year, but mainly in autumn and early winter, least in spring, table 1. As most of the precipitation is due to cyclones passing from the west, the eastern marine foreland lies sheltered against rain behind the N-S going ridge from Hobro to Nibe, fig. 3. For most months the amount of precipitation surpasses the potential evaporation, table 1. During the summertime it is common that the upper part of the soil dries up followed by rewetting and leaching in wintertime. According to Soil Survey Staff (1975) the well-drained profiles will have a udic soil moisture regime and, on the basis of temperature da-

ta, the area has a mesic temperature regime.

For an interpretation of the pedological development of the soils in Himmerland a knowledge of their cultivation history is of great value. There are evidences of a cultivation about 5000 years ago which probably used different shifting cultivation systems, leaving the soil profile almost undisturbed. During the Iron Age, however, special cultivation techniques implied the building of banks between fields. Traces of these can still be recognized in many places. The more stationary farming has no doubt exhausted especially the sandy soils, and this together with mull drift caused many farmers to give up cultivating, and the former fields were soon invaded by heather. Much of this land remained uncultivated until a few centuries ago; thus about half of the area of Himmerland was not included in the normal rotation system at the beginning of the 19th century, fig. 4.

Chapter 2

Some general considerations about the pedological development.

This chapter starts with a brief description of the soil-forming factors in Jenny's equation with special emphasis on those which are of importance for Danish soils. Then follows a description of the pedological stages which a well-drained clayey and sandy soil can be expected to reach under Danish conditions, figs 5 and 6.

In a well drained, calcareous, clayey till the first to develop will be an Al horizon and a structural B horizon, which may become a coloured B horizon (Bv) due to liberation of iron(hydr)oxides by weathering. The leaching of the profile will remove the Calciumcarbonate from the upper part of the soil and may thereafter lead to a migration of clay from the upper part of the profile and consequently a formation of an argillic horizon (Bt). This soil type is presumably the most common in clayey sediments in Denmark. A few examples of a further development of this soil type have been seen; the Bt horizon is degraded and tongues of albic material poor in clay are formed in Bt.

In principle, the pedological development in sandy deposits starts in the same way as in the clayey ones, i.e. with the formation of an Al horizon and a structural or a coloured B horizon. From one of these soil types different kinds of podzolized sandy soils may develop; in Denmark these generally end up in podzols with both a Bh and a Bs horizon. In a few strongly developed podzols a degradation, or removal, of parts of the B horizon can be distinguished. The B horizon is then intersected by light-coloured tongues of A2 material.

Chapter 3

Sampling and analysis.

In the summer of 1980 one hundred profiles were investigated in order to study the pedological development in different landforms as well as the re-

lationship between different soil types and the root development of crops. As it is most advantageous to study the pedological development where the soils have been least disturbed by man, 40 of the profiles were dug in forests. These are discussed in chapter 5, 6, 7, and 8. In November 1981 samples were taken from 29 profiles for determination of soil water retention. Fig. 7 shows the location of the forest areas investigated, and fig. 45 shows the location of the investigated profiles in cultivated areas.

The profiles investigated were normally 1.5 - 2 m deep. They were described according to FAO's guideline for soil profile description which has, however, in many respects been adapted to Danish conditions and quantified so that the descriptions can be stored in computers. Thus fairly great deviations were made from FAO's guideline concerning e.g. the horizon nomenclature. This is more according to the American system, although the number of suffixes has been increased. Also nomenclature of texture (fig. 8) geology and gleys has been adapted to some extent.

After the profile descriptions, samples were taken for analysis. To determine the soil water retention, undisturbed samples of 100 cm³ were taken in rings, normally three from each horizon. For all the other analyses, including the determination of water content at pF4.2, disturbed samples were taken and stored in boxes.

The samples were analysed for texture, amount of organic matter, content of calcium carbonate, pH(H₂O), pH(CaCl₂), distribution of grain sizes within the clay fraction, dithionitecitrate-soluble iron and aluminium, pyrophosphate-soluble iron and aluminium, exchangeable bases, CEC-values, total content of nitrogen, and finally soil water content at pF1.0, pF1.5, pF2.0, pF2.5, pF3, and pF4.2 as well as porosity and bulk density.

Chapter 4

Classification of the soils in Himmerland.

This chapter starts with a description of the most well-known foreign pedological classification systems and the principles on which they have been constructed. As none of these systems are optimal for describing and classifying the soils in Himmerland, it was found useful to build up a soil classification system based on former Danish investigations and on the results obtained by the 100 profile studies in Himmerland. In soil surveys carried out in connection with the establishment of the main gas pipe-line system in Denmark the classification system has been tested and re-adjusted on the basis of several thousand soil profiles in the main trench.

The classification system (table 3) is a hierarchical system of four levels: order, group, series and phase. The soils have been named partly in accordance with other systems and partly been given new Danish designations. The soil classification system is based on easily detectable, relatively permanent characteristics of the profile, and the system can be used directly in the field by a trained surveyor. As all classifications are stored in a computer the names can be transformed into numerical form. The infrastructure of the system makes it possible to search for single charac-

teristics within the profile e.g. placic horizons, peaty top layers and gley features within certain depths.

The soils are classified according to parent material, pedological development, and soil properties in relation to cultivation. In this connection it was found of importance to group together soils with almost identical texture and content of organic matter, soils with very similar horizon sequence e.g. those having root- and water-impermeable layers, and soils with the same drainage conditions. The system describes mainly the horizon sequence in the upper 120 cm of the soil and includes all diagnostic horizons or profile characteristics within this depth. Certain diagnostic horizons may lie deeper, for example in soils with thick Al horizons. As the pedological and edaphological importance of certain characteristics depends on depth, the upper 120 cm of the profile are subdivided into 3 sections of 40 cm, so it is possible to weight characteristics according to which of the 3 intervals they start in or reach down to. Thus the following combination of names may occur in a podzolized soil with ground-water gley at different depths.

Groundwater gley beginning:

at 0-40 cm depth = Podzoltypigley
 between 40-80 cm depth = Gleytypipodzol
 between 80-120 cm depth = gleyey Typipodzol

In order to make the classification valid for a longer period, it is essential that the used parameters are relatively permanent such as gley characteristics, texture, and horizon sequence. Thus base saturation and pH in the topsoil was not included in the classification because liming is widely used in Danish agriculture. At 1 m depth pH is however included at the lowest level in the classification, as it has proved that at this depth low pH-values in clayey soils can be fairly stable in spite of liming. Low pH in the subsoil may be a great obstacle to root development.

The profiles are grouped in 12 orders based on the presence, or absence, of diagnostic horizons. A total of 15 diagnostic horizons have been defined. The definition of the soil orders is based on the thickness of the Al horizon, thickness of the soil layer above solid rock or highly calcareous material, the presence of certain B horizons, very bleached or sandy horizons, gleyey horizons within certain depths, or thick peat layers. The 12 orders can be divided into 3 large groups: deep, non-hydromorphic soils, deep hydromorphic soils, and shallow soils. Below, the 12 orders are listed with a brief, but not complete definition. Furthermore the dominant soil type according to FAO is listed.

- 1) råjorde: soils without diagnostic B horizons except a structural B horizon (Bj) and an Al horizon less than 2 cm thick.
 FAO:Regosol

- 2) blegsols: soils with bleached colours and without diagnostic B horizons except a structural B horizon (Bj). The Al horizon is more than 2 cm thick.
FAO:Arenosol
- 3) brunsols: sandy soils, not dominated by bleached colours and with a diagnostic structural or coloured B horizon (Bj,Bv).
FAO:Arenosol
- 4) brunjorde: clayey soils not dominated by bleached colours and without a lessive B horizon (Bt), but with a structural, or colored B horizon (Bj,Bv) .
FAO:Cambisol
- 5) lessivejorde : soils with a diagnostic lessive B horizon (Bt).
FAO:Luvisol, Acrisol
- 6) podzols: soils with a diagnostic podzol B horizon (Bh, Bs, Bsv or Bvs).
FAO:Podzol
- 7) kolluvialjorde : soils with an Al horizon more than 80 cm thick.

Deep hydromorphic soils:

- 8) stuvningsgleyjorde : soils with strongly reduced surface-water gley within the upper 40 cm of the profile.
FAO:Gleysol
- 9) gleyjorde: soils with ground-water gley within the upper 40 cm of the profile.
FAO:Gleysol
- 10) histosols: soils with peat layers more than 40 cm thick.
FAO:Histosol

Shallow soils:

- 11) rendzinas: soils with high-lying limestone or layers with more than 30% Calciumcarbonate.
FAO:Rendzina
- 12) rankers: soils with high-lying, non-calcareous rock.
FAO:Lithosol

The 12 orders are subdivided at group level on the basis of: horizon sequence, thickness of the Al horizon, depth to solid rock or calcareous material, colour, texture, decomposition state of organic matter, depth to horizon with ground-water gley, pseudogley, or stagnogley. At group level the naming is made by writing up to 3 prefixes to the left of the order name, starting with the first group name nearest the order name. The names are written together and always start with a capital letter e.g. Gleytypipod-

zol. Typi is the first group name and gley the second group name.

Most deep, non-hydromorphic soils may be given up to three characteristics at group level, namely:

- a) horizon sequence (1st group designation)
- b) ground-water gley, stagnogley or pseudogley (2nd group designation)
- c) double profile development in the same soil (3rd group designation).

At first group level it is described whether the horizon sequence is typical for the order or not. The latter is e.g. due to variation in texture or presence of solid rock in the uppermost 80 cm of the soil. In case of ground-water gley, or stagnogley beginning between 40-80 cm depth, or if pseudogley is found within the upper 80 cm of the profile, this is described at second group level to the left of the horizon sequence characteristic. If the upper limit of a gley characteristic lies above or below the limits mentioned, this will characterize the profile at order and series level respectively, and no description of drainage conditions at group level will therefore be required. The third characteristic at group level is used to describe double profile development in the same parent material, i.e. two pedological processes with formation of diagnostic B horizons within the same profile. An example is a podzol developed in an A2 horizon of a lessive soil. As soils with this kind of double profile development are rare, three characteristics at group level are seldom. A Podzolphypogleytypillessive can be mentioned as an example of such a profile; it means a profile with clay illuviation, developed in a texturally homogeneous parent material. The profile has pseudogley within the upper 80 cm of the profile and a podzol developed in the A2 horizon.

For the deep hydromorphic soils up to three designations are also used at group level with the exception of stagnogley soils due to lack of field observations. For gley soils the first group name describes depth to a strongly reduced horizon, thickness and humus content of the A1 horizon, presence of rock or highly calcareous material, whereas the second group name is used to describe of other distinct pedological developments in the profile, e.g. podzolization or clay migration. The third group name is used to separate calcareous, not rendzina-like gley soils. For the histosols, the first group name is used to describe the decomposition state of organic matter, the second to describe the pedological development in the profile below the peat layer and the presence of high-lying rock, or highly calcareous material, whereas the third group name is used to identify calcareous, not rendzina-like histosols.

In shallow soils the rendzinas have three group names, whereas rankers have, so far, only two group names. For rendzinas the first group name designates the calcareous horizon, whereas the second group name describes hydromorphic characteristics within the upper 80 cm of the soil. The third group name describes the soil layers above the calcareous horizon. For rankers the first group name describes thickness of sediment cover and the pedological development above the rock, whereas the second group name describ-

es distinct hydromorphic characteristics within the profile.

When sub-dividing the soils at series level, profile characteristics are used which either describe the presence of certain horizons within given depths, or the soil-chemical and -physical state of different horizons. If these characteristics are absent, the naming terminates at group level. In case of several profile characteristics, these are added after each other to the left of the group name. All names at series level start with a small letter; a soil classified at series level may for example be placic gleyey Typipodzol, where placic and gleyey are the terming at series level. Theoretically, there are no limitations of the number of terms at series level. Until now, 21 profile characteristics have been defined, but presumably more will be added.

The profile characteristics defined so far are divided into 4 groups according to:

- a) Al or O horizon
- b) drainage conditions
- c) mainly the horizons below the Al horizon
- d) buried soils.

When classifying at phase level, the pH-value measured at about 1-m depth and the prevalent texture at 0-40 and 80-120 cm depths are diagnostic characteristics. Unlike the 3 levels discussed above, there is no proper naming of profiles at phase level, texture and pH being stated to the right of the profile name. The prevalent texture at 0-40 and 80-120 cm depths is to be indicated according to the diagram, fig. 8. The texture at 0-40 cm is indicated first and, if continuing until 80-120 cm depth, the texture is only described with one name. For histosols, the texture is described at only 80-120 cm depth, because the terming of histosols at group level also designates the peat type in the upper layers. For rendzinas, only the texture of the mineral soil within the upper 40 cm of the soil is indicated. After texture, pH is indicated, table 4.

A complete designation of a soil profile can then be e.g. fragi Pseudogley-typilessive; clayey silty sand/clay, acid. In this naming, the term lessive is the order name, pseudogley and typi designate the group names; fragi is the series name, while clayey silty sand/clay and acid are phase level designations.

Chapter 5

The pedological development in blown sand areas in the glacial landscape.

The pedological development in blown sand areas has been investigated in the Strandby-Farsø Kommuneplantage, fig. 7. Samples were taken from 5 profiles. The location appears from fig. 13, a schematic presentation is given in fig. 14, and the results of the analysis in table 5.

The investigation area has relatively thin covers of wind blown sand over lying sandy glacial drifts. Only one of the profiles (SF1) seems to have been cultivated. The theoretical development of SFI from before the cultivation period and until the present time appears from fig. 15. The profile has presumably started as a Brunpodzol with both A1, A2, and B2vs horizons, which have been mixed and now form the plough layer. Covers of wind-blown sand have repeatedly been added so the A1 horizon today is very thick. When cultivation was abandoned, a thin podzol developed in the A1 horizon.

The four uncultivated profiles represent soils at different stages of development toward the Typipodzol (A1, A2, Bh, Bs, C), which must be regarded as the mature profile in these areas.

The weakest developed profile is SF3, a Typiblegsoil (bleg = pale), poor in humus, and with a discontinuous, weakly developed structural B horizon. The C horizon is very pale, nearly whitish, maybe due to the young age of the profile.

SF4, a Brunpodzol, represents the intermediate type between SF3 and the strongly developed podzols SF2 and SF5. The Brunpodzol is characterized by a thick mor layer, a well developed A2 horizon, and a brown, uncemented Bvs horizon. There is no Bh horizon.

The two strongly developed podzols have thick whitish A2 horizons, black clearly developed Bh horizons and cemented Bs horizons. The latter have prominent mottles; in the more reddish-brown matrix there is a number of lighter, ball-shaped parts with less dithionitecitrate-soluble iron and aluminium, table 6. Their genesis has not yet been fully explained. Both profiles are overlain by thin, younger covers of wind-blown sand; in SF2 this is weakly podzolized.

Concerning the well drained profiles developed in wind-blown sand, it can generally be concluded that the pedological development is toward formation of Typipodzols (soils with both a Bh and a Bs horizon) or, in special cases, humuspodzols. Far from all profiles in a wind-blown sand area, however, have reached this stage; due to a temporary redepositing of sand. This may create new soil types, e.g. raw soils which will start a new development toward the Typipodzol.

Because of the low buffer capacity of the soils, these will normally be strongly leached with a resulting very low base saturation. The prevalent exchangeable base is Ca, although it is less dominating than in the more base-rich soils. In particular K and Na have a higher percentage share of the exchangeable bases in the strongly leached soils than in the more base-rich soils, cf. fig. 17. An explanation may be that the strongly leached soils have lost their content of Calciumcarbonate, and the composition of bases in these soils is largely determined by the chemical composition of the precipitation and bases liberated in the soil by weathering.

The strong leaching favours the development of mor layers, and because of the slow and incomplete decomposition of the organic matter this has a C/N ratio above 20. Many pedologists consider the formation of mor as necessary for podzolization. Another factor involved in the formation of podzols may be the content of iron in the parent material. Duchafour and Souchier (1978) found e.g. that a high content of iron seems to impede podzolization. When comparing the average content of dithionitecitrate-soluble iron and aluminium within the upper metre of forest profiles in Himmerland, it

appears from fig. 18 that the profiles of wind-blown sand contain somewhat less dithionitecitrate-soluble iron than the other sandy soils in the glacial landscape and much less than the clayey soils. This is in good agreement with the fact that the most strongly developed podzols are found in the areas of wind-blown sand. The low content of dithionitecitrate-soluble iron need not to be the only cause, but might be a contributing factor.

Fig. 19 and 20 show the soil water retention curves for soils developed in wind-blown sand. The pedological development which has led to formation of markedly different horizons in the soil causes a characteristic variation of the soil water retention curves for the Typipodzols. It appears that the well developed B horizons have less coarse pores, but more intermediate- and fine pores than the A2 and the C horizon. In the weakly developed podzols (Brunpodzols) the distribution of pore sizes in the B and C horizons are very similar. Generally, soils developed in wind-blown sand can be characterized by having many coarse pores and few intermediate- and fine pores. This gives a good internal drainage and aeration, but little available water content for plant production. Only where the Bs horizon is cemented or a placic horizon is developed, problems may arise concerning soil aeration and the drainage of precipitation surplus.

Chapter 6

The pedological development in the sandy glacial landscape.

The pedological development in the sandy glacial landscape has been investigated in three forest areas: Rønhøj Plantage SE of Oudrup, Rold Skov S of Rebild, and Lundgård Skov at Overlåde, fig. 7. In the sandy glacial landscape fine sandy soils with less than 10% clay in the parent material dominate.

Rønhøj Plantage is located on a well defined hill, in some places intersected by water erosion, in others characterized by eolian deposits. The topographic map fig. 21 shows the location of the profiles, and fig. 22 gives a schematic diagram of the 4 profiles, forming a toposequence. The results of the analysis are given in table 8. The two high-lying soils SR1 and SR2 are developed in an area which was covered by heather well into this century, but which was later afforested with coniferous trees. The two low-lying profiles SR3 and SR4 are developed in an area, which presumably has been covered by wetland vegetation for a very long time.

Rold Skov is located in the high-lying part of Himmerland, extending from Mariager Fjord in the south and almost to Nibe Bredning in the north. Large parts of this forest are in a hilly terrain with many steep slopes, deep erosion valleys and with a number of hills formed by erosion facing the Lindenberg river valley. Four profiles from this forest area have been investigated, and two are described in this paper. Topography and profile sites appear from fig. 24. During the last 200 years, at least, the area has been afforested and presumably much longer. Profile SRo1 is relatively well drained and is situated on a northern slope with a gentle gradient, whereas SRo2 is moderately well drained and lies in the bottom of a small erosion valley. A schematic diagram of the two profiles is shown in fig. 25, and the analytical results appear in table 9.

Lundgård Skov is located in a gently undulating moraine landscape at Overlade. Most of the forest is situated on a 3/4 km long northern slope toward the former sea-transgraded Bjørnsholm river valley. Glacial sand prevails, but clayey till occurs also. For a few hundred years, at least, the area has been woodland. Four profiles have been investigated, and three of them are described in this paper. A topographic map with the location of the three profiles is shown in fig. 27, a schematic diagram in fig. 28, and analysis results in table 12.

In the well drained, sandy glacial landscape in Himmerland the pedological development seems to have two trends, either podzolization or clay migration depending on the clay content in the parent material.

The pedological development in sandy parent material

The sandy soils contain normally 3-5% clay, 10-20% silt, and generally more fine sand than coarse sand. In these deposits there is a clear trend towards development of podzols where the profile is well drained. Due to differences in e.g. physical and chemical properties of the parent material, location and vegetation, the profiles differ to some extent. This appears both visually and from analytical results. On the basis of drainage conditions and the dominating vegetation cover throughout the last 2-300 years, the investigated profiles can be subdivided into three groups:

- a) well drained soils mainly developed under heath vegetation,
- b) well drained soils mainly developed beneath deciduous forest,
- c) imperfectly drained soils developed beneath wetland vegetation.

As representative of the first group SRI and SR2 from Rønhøj Plantage can be mentioned. These two profiles are well developed podzols (Sesquipodzols) with reddish-brown, weakly cemented Bs horizons, distinct dark-brown bands in B3s and round yellow-brownish dots in Bs. There is a clear maximum of iron and aluminium in the Bs horizons. The uppermost part of this horizon has a weakly marked maximum of organic matter without being proper Bh horizons, however. There are only very weak traces of clay migration if any in these soils.

Because the parent material is relatively poor in clay and the vegetation cover ideal for formation of podzols, these two profiles are the most strongly developed podzols found in the glacial landscape of Himmerland. The heavy leaching and the vegetation have caused a slow and imperfect decomposition of organic matter and, accordingly, a C/N ratio of about 30. This resembles the Typipodzols developed in wind-blown sand.

SRo2 and SL2, and to some degree the podzol developed in SRo1, are representatives of podzols developed beneath forest. These profiles are characterized by lacking a Bh horizon and by the presence of a brownish, not cemented podzol B horizon. Only one of the three profiles has a higher humus content in B2 than in A2, and the B horizon lacks the dark-brown bands in B3 as well as the yellowish-brown, round dots which characterize the podzols described above. The variations in dithionitecitrate-soluble iron and aluminium show a clear accumulation in the B horizons, and in some profiles the maximum of aluminium is found deeper in the B horizon than the maximum of iron, table 11. The C/N ratios for these podzols are somewhat lower than

for the podzols developed under heath or coniferous forest. This is presumably due to the different vegetation cover. In the two profiles in Rold Skov there are clear evidences of clay migration from the podzol A1 and A2 horizon with subsequent deposition in the podzol B2 horizon.

The imperfectly drained soils in the sandy glacial landscape are represented by SR3 and SR4 situated in Rønhøj Kær beneath wetland vegetation. In these profiles thin peat layers are found. SR3, located close to the borderline of Rønhøj Kær, has ground-water gley in the whole profile. The soil seems to be weakly podzolized, but it differs in several ways from the above-mentioned podzols, e.g. the C/N ratio is only 11, the base saturation is not below 30% anywhere in the profile, and at 80 cm depth it even reaches 70%. The high base saturation, with Ca as the dominating exchangeable base can be explained by supply of bases by percolating ground-water from the presumably calcareous hills nearby. Under the prevailing chemical conditions it is difficult to explain the podzolization. As the profile lies rather close to the bank of the pond, an explanation might be that podzolization has taken place during a drier period with a lower ground-water table than that existing at present.

SR4, which is situated almost in the middle of Rønhøj Kær, shows no sign of podzolization, but has a very distinct Bv horizon. This profile is to be considered an intermediate soil between the podzolized, more well drained soils and the proper histosols, which dominate on the most poorly drained sites.

Besides ground-water gley some of the profiles poor in clay have pseudogley, but the fairly high content of coarse pores in these soils ensures normally an unimpeded drainage. Fig. 30 shows that in weakly developed podzols (Brunpodzols) there are no big differences in the soil water retention curves between the A2, B, and C horizons, whereas there is a trend towards a difference for the B and C horizons of the Sesquipodzol. This is in good accordance with the pattern described for soils developed in wind-blown sand, fig. 19 and 20. A comparison of the amount of coarse pores, intermediate pores and fine pores in the profiles fig. 30, shows that two profiles from Himmerland tend to have less coarse pores and more intermediate pores than the soils developed in wind-blown sand. This is without doubt due to the higher content of silt and fine sand which is often present in sandy glacial drifts as compared with wind-blown sand deposits.

A comparison between soils in the sandy glacial landscape and in the blown sand areas (fig. 18) shows, that the first ones contain more dithionite-soluble iron and aluminium than the second ones. The most strongly developed profiles in the blown sand areas had more distinct horizons than found in correspondingly developed podzols in the sandy glacial landscape; this may be due to the somewhat coarser texture in the blown sand areas, or to the lower content of iron.

Fig. 31 shows the average amount of dithionite-soluble iron and aluminium calculated for the uppermost metre of different soil types. It is seen that the iron content is very low in the Typipodzols and high in the lessive soils, while it has intermediate values in the Sesquipodzols, Brunpodzols and brunsols. The latter soil types cannot be separated from each other on the basis of the iron content. It is apparently impossible to distinguish among soil types on the basis of the dithionite-soluble aluminium content.

The pedological development in weakly clayey parent material

The pedological development in weakly clayey parent material within the glacial landscape is exemplified by the profiles SLI and 3 plus SRol. These profiles, which are beneath deciduous forest, have developed in homogeneous parent material with an estimated clay per cent of about 10. In spite of great differences in drainage conditions, the dominant pedological process is clay migration with development of a rather deep eluvial horizon. The underlying Bt horizons contain normally no or only few clay skins. The distribution of coarse- and fine clay in the profiles (table 14) shows that mainly fine clay has been illuviated from the A horizons although there are also evidences of a certain illuviation of coarse clay. Most of the illuviated fine clay seems to be deposited in B3t, whereas most of the illuviated coarse clay is deposited in B2t, fig. 30. The reason why the coarse clay already precipitates in B2t is probably the grain size which impedes illuviation further down through the more and more narrow pore system.

Formation of Bt horizons may cause great differences in the soil permeability. Hence, ground-water resulting from excess of surface-water, may periodically occur in the Bt horizon and even in the A2 horizon as seen in fig. 48. Formation of this type of ground-water in the profiles is probably due to the fact that the content of coarse pores in B2t, and especially in B3t and C, is very low as compared with the content in the A horizons, fig. 32. Thus the excess of water will be transported relatively fast down through the A horizons, whereas the percolation is taking place very slowly in the B and C horizons.

Fig. 32 shows that there is a distinct difference in the soil water retention curves between the A and Bt horizons. This can be ascribed to the process of clay illuviation and the downward decrease in biological activity. In the eluvial layers, which have relatively low bulk densities and accordingly high porosities, the content of coarse pores is high, generally above 20 vol%. The content of intermediate pores fluctuates around 20 vol%, but it is always higher in A1 than in A2. The content of fine pores is generally low. This is due to the low bulk densities but also to the lower content of clay as compared with the Bt horizon. In the B horizons, which have higher bulk densities and accordingly lower porosities, the content of coarse pores is small, often below 10 vol%. Values even below 5 vol% are found in certain dense B and C horizons. Here the hydraulic conductivity will often be very low. The content of intermediate pores is mostly between 15 and 20 vol% in B and C, i.e. generally somewhat lower than in A1, and usually also lower than in A2. The content of fine pores is normally higher in B and C than in A, because of a higher content of clay and higher bulk densities. The content of coarse and intermediate pores decreases normally with depth within the B and C horizon in contrast to the content of fine pores.

The profile development may progress beyond the stage of formation of a clay accumulation horizon, as evidenced in SRol. This profile shows a beginning degradation of the Bt horizon whose upper parts form a fragipan together with A2. In the eluvial layer a distinct Lessivebrunpodzol has developed. The presence of a fragipan in a profile may cause the occurrence of periodical, secondary ground-water and thereby the pseudogley process. As the aggregates in a fragipan are usually very stable, and almost imperme-

able, a strong leaching will mainly take place through the cracks or through the coarse-grained parts of the horizon. Thereby the Bt horizon may be degraded, which means that the clay and maybe also the fine silt are removed from the cracks and hereby give rise to the formation of tongues poor in clay, and partly in silt, penetrating down through the Bt horizon. The strong leaching combined with the vegetation cover, favours the development of a podzol in the lessive A horizon. In SRol a podzol has developed with distinct maximum of humus, iron and aluminium in Bvsø. Moreover, Bvsø has clear evidences of clay illuviation from Alø + A2ø; i.e. in this profile two clay illuviations have occurred, the first one forming the deep-lying Bt, and then a second one in connection with formation of B2svø.

Concerning the pedological development in the slightly clayey parts of the sandy, glacial landscape, it can be concluded that, at first, a clay illuviation will take place in the profile with a lessive soil as the result. This may become strongly pseudogleyey. Then a degradation of the Bt horizon may be initiated and a podzolization of the lessive A horizons may occur.

Chapter 7

The pedological development in the clayey glacial landscape and in limestone.

Soils developed in clayey sediments or high-lying limestone are rare in the glacial landscape in Himmerland. One of the major clayey occurrences is found in the eastern part of the moraine shield, at the boundary to the marine foreland, fig. 2. The pedological development in clayey sediments has been investigated in two forests, Sønderskov and Dragsgård Skov, fig. 7. Soils in limestone have only been investigated in arable land, and the results of two profiles are described in this chapter. Below, a brief description of the areas will be given, followed by a summary of the specific characteristics of the soils.

The forest Dragsgård Skov, is situated E of Baelum on a slope facing north, towards the watercourse Pilebæk. Geologically the area consists mainly of clayey till with many occurrences of meltwater deposits. In Dragsgård Skov five profiles, SD1-SD5, have been investigated. The area has been afforested for more than 200 years. On the topographical map (fig. 33) the location of the profiles is indicated, a schematic presentation of the profiles appears from fig. 34, and the analytical results from table 16.

Sønderskov is located in East Himmerland between Solbjerg and Veddum in an undulating, clayey moraine landscape with some steep slopes, dry valleys and patches of wetland in the low-lying areas. Sønderskov is mainly a deciduous forest, but parts of it have been afforested with conifers. Judged from older maps the area has been woodland at least 200 years. Fig. 35 shows a topographic map of Sønderskov with the 5 investigated profiles, SS1 to SS5, and fig. 36 gives a schematic presentation of these. The pedological development in soils in high-lying limestone is discussed on the basis of the two cultivated profiles Mkh2 and Mkg2; their location appears from fig. 45 and the analytical results from table 26.

The investigated profiles in the clayey glacial landscape consist mainly of till with some occurrences of water-deposited clay or sand. One of the profiles, SD5, is atypical in this respect, as it consists of colluvial material on top of a peat layer. In three of the profiles, SD2, SS4, and SS5 lithological discontinuities occur, so that the upper profile part consists of clayey deposits which, at a certain depth, change to water-deposited sandy material. Even within the clayey sediments, there are great textural changes in the profiles, which are partly due to occurrences of water-deposited clayey material in the till. These deposits may be very fine-grained; in SS2 a horizon consists of 45% clay, 51% silt and 3% sand. In general the clayey deposits in Dragsgård Skov and Sønderkov have a high content of silt, mostly above 40%, which is atypical for the clayey glacial landscape in Denmark. The ten investigated profiles can be subdivided into three groups according to drainage conditions: profiles characterized by ground-water gley (SD3, SD4, SD5 and SS1), profiles characterized by pseudogley (SD1, SS2, and SS3) and profiles almost without gley formation (SD2, SS4, and SS5).

All four soils in group one are located near, or at the foot of slopes. The most marked, pedological process in these soils is the formation of ground-water gley where, under partly reduced conditions, red mottles tend to appear around the coarse pores. If the horizons are totally reduced, they will often have a bluish shade where the iron is not removed by ground-water from the profile. Besides ground-water gley, an enrichment with humus or even peat formation will often occur, because the decay of organic matter will be impeded by the anaerobic conditions due to the high ground-water level. Generally, there are no signs of clay illuviation, or podzolization, in these profiles except in the transition zone between the relatively well drained soils and those strongly influenced by the ground-water. Most of the profiles have a high base saturation, because of enrichment with bases by ground-water from the hills nearby; only where the profiles are found somewhat uphill, they are strongly leached. The above-mentioned types of profiles will be classified as histosols, if they have a thick layer of peat, or as gley soils.

The three profiles with distinct pseudogley within the uppermost metre of the soil are clayey throughout the whole profile. These soils are strongly leached in the upper horizons, but with base saturation increasing with depth, so that it exceeds 70% in the deepest layers. In one of the profiles there is even free Calciumcarbonate in the lower part. All profiles are characterized by clay illuvation and consequently formation of a Bt horizons. The differences in texture combined with decreasing biological activity with depth are reflected in the shape of the soil water retention curves. Fig. 38 shows the soil water retention curves for three lessive soils and for a gley soil developed in the clayey glacial landscape. Fig. 38 shows that the A1 horizon has many coarse pores and few fine pores. The content of coarse pores is so high that the aeration should not be impeded by a water content at field capacity. The horizons contain about 15-25 vol% available water for plant production. In the deeper-lying horizons the amount of coarse pores decreases markedly, while the amount of fine pores increases, due to a higher content of clay and an increasing bulk density. In general the amount of medium pores shows a moderate decrease with depth. The low content of coarse pores in the B and C horizons, in some places even absent, can temporarily give rise to imperfect aeration, especially

after a period with high excess of precipitation. This may result in formation of pseudogley.

The appearance of the pseudogley varies down through the profile depending on for example texture, length of period with water-saturation, fluctuations in the amount of air-filled pores, and the rate of diffusion of oxygen into the aggregates. In the A2 horizon the pseudogley processes might cause formation of iron- and manganese-containing concretions such as seen in SS3; in the Bt horizon, rusty colouring around the bleached coarse pores is common, while in the C horizon rusty spots in the middle of the aggregates are most common.

All of the three well-drained profiles are developed in a clayey parent material, mainly till, overlying a water-deposited sediment poor in clay. Two profiles from Sønderkov are strongly leached, contrary to the two pseudogley lessive soils from this forest, whereas the profile from Dragsgård Skov is more moderately leached. The weak or missing pseudogley characteristics in the profiles are probably due to the high-lying, clay-poor subsoil which rapidly drains excess water out of the overlying horizons. The profiles show distinct evidences of clay illuviation; e.g. as banded Bt horizons developed in the clay-poor sediment beneath the clayey till.

The illuviated clay in the sandy and silty sediment does not develop clay skins as in the above-lying Bt horizons, but rather "bridges" between the sand grains, or coatings around them. The location of the clay bands in the water-deposited sediment is probably determined by differences in texture and stratification. It cannot be assumed in general that the clay will deposit in either the coarser or in the finer parts of the sediment, table 18. The percentage of clay in the bands may increase substantially compared with the intermediate, non-clayey parts. Thus, a band in SD2 contains 13% clay and the intermediate material only 3%. Samples have only been taken from one clay band in each profile, so the variation in clay percentage from band to band is unknown.

Among the soils with Bt horizons, profile SS5 is distinguished by a Bt horizon which is strongly degraded. Thus about half of the B2ty horizon consists presently of A2 material, whereas the B31txy horizon is intersected by thin tongues, poor in clay. Simultaneously with the degradation of the Bt horizons, the upper part of the A2 horizon has developed into a podzol with a distinct layer of bleached sand. In connection with the podzolization another clay illuviation has probably taken place within the original A2 horizon, so that the Bsvø horizons have been enriched with clay at the expense of A2ø, table 25.

As far as the pedological development in the clayey glacial drifts is concerned the general conclusion must be that, in well drained areas, most soils have clay illuviation and formation of Bt horizons. A few profiles might even have developed further and are characterized by a degradation of the Bt horizon and/or podzolization in the eluvial layer. In most imperfectly drained soils with high ground-water table there will normally be no clay illuviation, but these soils will have marked gley features, or even peat formation.

The pedological development in soils with high-lying limestone has only been studied in cultivated areas. Where the limestone is very high-lying the profiles will consist of a mull-like Al horizon resting directly on the

limestone. The latter will often be strongly weathered with many cracks in the upper half metre where limestone lumps may have thin coatings of clay and humus. In a few places, a more clayey layer can be found resting directly on the limestone. It may be assumed that this layer originates from impurities in the limestone left as a residue after dissolution and leaching of the limestone. In the profiles with deep-lying limestone, pedological processes such as clay migration etc. may characterize the upper mineral soil.

Chapter 8

The pedological development of soils on the marine foreland.

On the eastern marine foreland nine profiles have been investigated; two profiles in Dyrehave, four at Lovnkær, and three at Helberskov, figs 7 and 40. The investigated profiles can be naturally divided into a clay-rich and a clay-poor group. The latter may again be subdivided into eolian and non-eolian profiles. No profiles have been investigated in the thick peat- and gyttje deposits, which in some places dominate in these formerly sea-transgraded areas.

The five, non-eolian profiles (table 27) consist of well-sorted, medium sand, poor in clay and silt. The soils have normally a well-developed Al horizon which might be rich in organic matter, and in certain profiles even a proper peat cover has developed upon the mineral soil. The profiles all show evidences of a former high ground-water table and are classified as gley soils. Due to the many drainage ditches in the area the present ground-water table is probably lower than reflected in the profiles by mottlings.

Pedologically, the five profiles are very different. The two profiles from Dyrehave, SM2 and SM3, have distinct peat formation upon the mineral soil; the high content of exchangeable sodium characterizing young, undrained marine deposits, has been leached out and, finally, the profiles (especially SM2) are podzolized. Moreover they are developed in light-coloured sand, and the strongly reduced Cr horizon is found at about 1-m depth. Unlike the profiles from Dyrehave, the two sandy soils in Lovnkær, SM4 and SM5, have no peat layer upon the mineral soil and they are not podzolized. They resemble the profiles from Dyrehave in having a well developed Cr horizon and a low exchangeable sodium content. Judged from the exchangeable sodium content which might originate from temporary intrusions of sea water the last profile, SM1, is clearly influenced by the marine environment.

The two wind-blown sand profiles at Helberskov (table 29) are pedologically weakly developed, and besides a weak Al horizon they have only structural B horizons. The profile nearest to the coast, SH1, consists of about 60 cm wind-blown sand superimposing marine sand, whereas SH2 is developed in pure wind-blown sand. In SH1, the marine sand has already lost its characteristic high, exchangeable sodium content, and the low pH value indicates a former, fairly high content of pyrites. The two profiles are classified as brunsoils.

The two clayey profiles, SM6 and SM7, consist of a thin sand cover superimposing more clayey deposits, table 30. The grain size distribution of the clayey layers is similar to the clayey, water-deposited sediments in the glacial landscape, but a high content of marine shells, a.o. oysters, shows their marine origin. Uppermost, the profiles have a well developed Al horizon superimposing a thin, white sand cover with underlying clayey horizons. These are highly influenced by ground-water and a Cro horizon has developed at a fairly low depth. One of the profiles shows weak signs of clay illuviation, whereas the other has distinct, black coatings of humus on the aggregate surfaces. Possibly these contain some illuvial clay. The profiles are only weakly acid in the upper sand layers, maybe due to free calcium-carbonate in the underlying clayey horizons. A leaching has taken place, however, of the exchangeable sodium which presumably has been the dominating exchangeable base. The profiles are pedologically weakly developed compared with the clayey soils in the glacial landscape, mainly because of the high-lying ground-water table which impedes the leaching process. This, in combination with the fine-grained texture, implies also that the Cro-, or the Bro horizons are found at rather shallow depth in these profiles.

Relating pH to base saturation indicates the presence of pyrites in some of the profiles e.g. SM3 and SM4. As pyrites is only stable under anaerobic conditions, it is found only in the Cr horizon.

Chapter 9

The regional distribution of soil types and the occurrence of potentially acid sulphuric soils in Himmerland.

This chapter deals with a description of a pedological map of Himmerland in 1:750,000 and of a map showing the occurrence of potentially acid sulphuric soils.

The pedological map (fig. 41) has been drawn on the basis of 100 detailed profile studies, supplemented by some drillings in the glacial landscape and on the marine foreland. The results have been compared with already existing maps of the area in order to establish the regional distribution of the soil types. In the glacial landscape brunsols and podzols dominate, except in the eastern part which has mainly lessive soils. Less common are the gley soils and histosols, and in the few places with high-lying limestone, rendzinas occur.

On the marine foreland gley soils and histosols are common, and only in the high-lying beach ridges, and in the dune landscapes, well-drained soils such as blegsols or brunsols are found.

As mentioned, a map has been drawn showing the distribution of potentially acid sulphuric soils. These soils contains iron sulphides, mainly pyrites, to such an extent that artificial drainage will give rise to free sulphuric acid in the soil water. Being stable only under anaerobic conditions, larger amount of pyrites will be restricted to gley soils and histosols. The mapping of potentially acid sulphuric soils was therefore concentrated to bogs and river valleys in the glacial landscape and to the marine foreland. The field investigations comprised augering at 275 sites, profile descrip-

tions, and sampling. The profiles were described with respect to texture, colour, content of Calciumcarbonate, depth to the ground-water table, presence of jarosite, and smell of H_2S . Most of the samples were taken below the ground-water table, normally from 120-160 cm depth. On the day of sampling, the pH values were determined by direct injection with a glass electrode. Samples without Calciumcarbonate were wrapped air-tight in order to keep them moist until they were analyzed by oxidation. The samples containing Calciumcarbonate were dried at $105^\circ C$ and stored for later X-ray analysis.

In the laboratory the calciumcarbonate-free samples were kept under aerobic conditions and the pH values were determined after 1, 4, and 7 weeks. If pH had dropped below 3 during 7 weeks, the samples were considered as potentially acid sulphuric. In the samples containing Calciumcarbonate, the pyrite content was determined semi-quantatively by X-ray analyses. The results were compared with the content of Calciumcarbonate in order to decide whether the sample was potentially acid sulphuric or not. A calcareous sample is considered as potentially acid sulphuric if %calciumcarbonate is less than $1.7 \times (\%pyrite - 0.5)$. Some analytical results from non-calcareous and calcareous samples are shown in table 30 and 31.

On the basis of presence, or absence, of potentially acid sulphuric localities and their fraction of the sampling material, the lowland areas in Himmerland have been divided into 4 classes, cf. fig. 43. As shown, some parts of Himmerland have pyrite-containing areas, which may become acid sulphuric after drainage. The areas are relatively small, however, and are most common along a few watercourses, or in narrow patches of land between the moraine landscape and the marine foreland.

Chapter 10

The root development of crops in relation to the soil type.

In July 1980, about 60 soil profiles were investigated on arable land for studying the root development in different soil types. The results are discussed in this chapter. Fig. 45 shows the location of the profiles. Samples were taken from profiles covered with grass, barley, wheat, rye, oats, potatoes, and rape (table 34).

The profiles were dug to a depth below the expected root depth, and about 10 soil samples of 606 cm each were taken at different depths. The samples were dried immediately to prevent decaying of roots. In the laboratory bulk density and $pH(CaCl_2)$ were determined. The length of roots was found by separating the roots from the soil by washing and measuring the length of the roots on a grid. In addition, samples were taken from different horizons for determination of humus, texture, content of Calciumcarbonate, dithionitecitrate-soluble iron and aluminium, CEC and exchangeable bases.

On the basis of parent material and thickness of the Al horizon, the profiles were divided into the following classes:

- a) Non-colluvial, sandy soils in the glacial landscape, i.e. soils with less than 8% clay within the upper 70 cm of the profile and with an A1 horizon less than 40 cm thick.
- b) Colluvial, sandy soils in the glacial landscape, i.e. soils with less than 8% clay in the uppermost 70 cm of the profile and with an A1 horizon thicker than 40 cm.
- c) Clayey soils in the glacial landscape, i.e. soils with 8% clay or more in the parent material, and where the Bt horizon is found within the uppermost 70 cm of the profile, if the A horizons contain less than 8% clay.
- d) Calcareous soils in the glacial landscape, i.e. soils with high-lying limestone, or highly calcareous material.
- e) Mixed soils in the glacial landscape, i.e. soils with great variations in texture due to the geological origin of the sediments within the uppermost 70 cm of the profile.
- f) Soils developed on the marine foreland.

The results of the analyses are shown in tables 35, 39, 41, 43, 45 and 46. Root densities are subdivided into three classes :

Many roots (more than 1 cm root/cm³),
 Few roots (1-0.1 cm root/cm³),
 Very few roots, (0.1-0.01 cm root/cm³).

In the discussion of root depths for different crops in relation to soil type, the following designations were used:

Z(1.0) indicates total thickness of layers with many roots,

Z(0.1) indicates the total thickness of layers with many or few roots,

Z(0.01) indicates the total thickness of layers with many, few, or very few roots.

Evaluated on the basis of a simulation model (Madsen 1981), Z(0.1) seems to be a reasonable, although rough, measure of the effective root depth, see fig. 57 in chapter 11.

Pedologically, the sandy non-colluvial soils are mainly Typibrunssols and Brunpodzols, but they also include a few strongly podzolized soils, some soils with clay illuviation, and a single artificially drained gley soil. The pedological development and the resulting horizontation seems to have only a small influence on the shape of the root profile, probably due to the fact that the majority of the podzolized soils have not developed a proper Bh horizon, or a cemented B2s horizon. On the other hand, the formation of structure in the soils enables roots to penetrate into horizons with very high bulk densities such as seen in MSb3. In this soil roots are

found in a layer with a bulk density of 1.95 g/cm^3 .

When comparing the bulk densities with root densities, it cannot be stated that a certain bulk density will impede development of roots; this does not allow the conclusion, however, that bulk density has no bearing on root development. In soils with very high bulk densities roots are for example often seen as mats between the aggregates, whereas there are almost no roots within the aggregates. Moreover, it is probable (Nielsen 1980, Madsen 1980b) that soils with very low bulk densities may have a very deep and vigorous root development, clearly surpassing that found in soils with higher bulk densities. This can be explained by the fact that soil particles are more easily pushed aside in a loose than in a more compact soil. The deep and vigorous root development in MTg2 has probably been favoured by the low bulk density and the thickness of the Al horizon.

Due to liming, pH is normally high in the Ap horizon. In the subsoil pH is normally lower than in Ap because of leaching. In some subsoils, pH is even so low that aluminium may occur in toxic amounts. The soils are normally well aerated due to a high content of coarse pores, which also causes a good internal drainage.

A comparison of root development in sandy soils in Himmerland with former root studies indicates a certain relationship between the root development of barley and grass and the content of clay or of clay+silt in the soil.

Thus sandy soils with less than 10-15% clay+silt have a shallower root development than soils with more than 10-15% clay+silt, fig. 46. The studies of colluvial soils poor in clay seem to show that also the content of organic matter and a low bulk density may favour the development of roots in sandy soils.

On the basis of the available material it can be concluded that in the sandy soils poor in clay and silt there are only slight differences in root development between grass and grains, and the mean $Z(0.1)$ is about 45 cm for both grass and grain. In the sandy soils rich in clay and silt, $Z(0.1)$ is about 70 cm for grass and about 75 cm for barley.

Pedologically, the clayey soils in the glacial landscape are mainly lessive soils having in general a stronger and more well defined structure than those poor in clay. Thus also in these soils roots are penetrating into soil layers with high bulk densities, e.g. above 1.7 g/cm^3 . The low hydraulic conductivity in the Bt and C horizons may result in the formation of ground-water in the profiles. This can be recognized as pseudogley. Imperfect drainage may impede soil aeration considerably and consequently the root development. This may probably be one of the reasons for the great differences found in root development in clayey soils.

Another factor of importance is the pH in the subsoil. A pH below 4 may hamper the root development. In fig. 49 the lowest pH-value measured beneath the plough layer has been compared with $Z(0.1)$, and it can be concluded that an unambiguous relationship between pH in the subsoil and the root depths has not been found in the present investigation. Maybe the reason is that none of the profiles have pH-values much lower than 4. In contrast to the sandy soils, the clayey soils have different root depths for grass and barley. The mean $Z(0.1)$ is about 70 cm for grass and 90 cm for barley.

The root development in strongly calcareous soils has been investigated in 8 profiles, seven of which had limestone within the upper 60 cm of the profile. In these soils the development of roots is especially dependent on the thickness of the sediment layer and the degree of weathering of the un-

derlying limestone. Where the A horizon is thick and the underlying limestone strongly weathered, the root development will be deep in contrast to soils with thin covers of sediment and unweathered limestone.

From table 44 it appears that the roots have not penetrated deeply into the limestone, in an average about 30 cm, with exception of MKb3. Here the deep root development is probably due to the presence of deep tongues of material poor in limestone. Being strongly dependent on the weathering state of the limestone and the thickness of the A horizon, the root development of the investigated crops does not show systematic differences. On the basis of the 8 profiles, the mean $Z(0.1)$ has been estimated to be 70 cm for grain and grass.

In two profiles with strongly varying texture within the uppermost 70 cm of the profile (table 45) it is demonstrated that the roots penetrate a plough pan with bulk densities of about 1.8 g/cm^3 . On the other hand, a very stratified sediment, such as ice-lake deposits, might have an impeding effect on root growth. The dense root development through the plough pan in MBhl is probably due to cracks in the horizon.

The root development has been investigated in nine profiles from the marine foreland, and the results for 8 of these are given in table 46. The profiles consist of either fine sand, poor in clay and silt, or of clayey material almost without coarse sand. The sandy soils are bleached gley soils with the Cr horizon generally below 80-cm depth. The clayey soils are gley soils with Cr horizons at shallow depths, because the clayey texture implies anaerobic conditions even up to the Ap horizon in spite of the fact that all profiles are artificially drained, and the ground-water table is below 90-cm depth. The general rise of land, artificial drainage, and building of dikes to shelter against the sea have all resulted in depletion of Na except for the C horizon in a single profile.

In the uppermost horizons the profiles are weakly leached, and shells are often found in the lower part of the profiles. The pH should therefore not restrict root development. The bulk density does not exceed 1.6 g/cm^3 in the sandy soils and is very low in the C horizons of the clayey soils because they consist of unripe sediments.

On the other hand, the soil aeration is probably of great importance for developing roots in clayey soils as there are almost no air-filled pores in the C horizons. The root development in these soils is therefore not as deep as in soils with corresponding textures in the glacial landscape. In the sandy soils there is probably a good soil aeration in the uppermost 50 cm of the profile according to the soil water retention data on sandy marine deposits, table 52. The insignificant root development in these soils should therefore be ascribed to the unfavourable texture with its very low content of clay and silt. For the marine soils, the mean $Z(0.1)$ is set to 40 cm for grass and barley irrespective of the texture.

Finally, it should be mentioned that in the marine soils the root development was much more difficult to investigate than in the glacial landscape, because the moist conditions in the deeper-lying layers have caused preservation of the roots from former vegetation covers.

Chapter 11

Soil water retention and available water content in cultivated soils.

The pore size distribution have been investigated in 21 profiles. All investigations were carried out in arable land in November 1981. In all freely drained soils the water content was at field capacity. Fig. 58 shows the location of the investigated profiles. The soil pores are classified as coarse pores, medium pores, and fine pores; the amount of coarse pores represent a measure of the air volume in the soil at field capacity, the amount of medium pores represent a measure of the available water content, and the fine pores represent a measure of the non-available water content.

Except for very sandy subsoils, the water content at field capacity can be described as the water content at pF2.0, cf. fig. 54. This implies that the boundary between coarse pores and medium pores corresponds to an equivalent diameter of 30 μ . At wilting point, the water content corresponds to pF4.2, i.e. that the boundary between medium pores and the fine pores corresponds to an equivalent diameter of 0.2 μ . Thus the available water content in the different soil layers is defined as the water content between pF2.0 and pF4.2.

For calculation of the total available water content for plant production, designated the root zone capacity, the effective root depth has been defined (fig. 57) on the basis of results made by the simulation model "Heimdal" (G.K.Hansen, 1975). Fig. 57 shows that Z(0.1) was a rough, but reasonable measure of the effective root depth. Z(0.1) is defined in chapter 10.

The investigated profiles are subdivided into three groups:

- Soils poor in clay in the glacial landscape,
- Clayey soils in the glacial landscape,
- Soils developed on the marine foreland.

Tables 50, 51, and 52 show the horizon sequences, textures, and the pore size distribution; figs 59, 60, and 61 show the available water content in relation to depth. The pore size distributions show that only in clayey soils the amount of coarse pores may be so sparse that aeration problems may arise in freely drained soils. It is evident that the amount of fine pores is highest in the clayey soils and lowest in the sandy subsoils. Medium pores and the resulting available water content are sparse in the coarse sandy soils, and especially in the B and C horizons. On the other hand, the fine sandy or silty soils contain many medium pores so that, within the uppermost metre of the profile, these soils contain as much available water as the clayey soils.

A comparison between available water content and the effective root depths for barley and grass is shown in table 53. It is indicated that the root zone capacity in the coarse sandy soils is only about 50 mm for grass and barley, whereas the root zone capacity in fine sandy soils is about 130 mm for grass and 140 mm for barley. In the clayey soils the root zone capacity is about 130 mm for grass and 160 mm for barley.

On the basis of these calculations it can be concluded that the great differences in the root zone capacity are not found between soils poor or rich in clay, but between coarse sandy soils on the one hand and fine sandy soils silty soils, and clayey soils on the other hand.

LITTERATUR.

- Aaltonen V.T. 1935 : Zur Stratigraphie des Podzolprofils. I.
Comm. Inst. Forest. Fenn., 20(6).
- Aaltonen V.T. 1939 : Zur Stratigraphie des Podsolprofiles II
Comm. Inst. Forest. Fenn., 27(4).
- Albrecht D.,K.H.Fritzsche & S.Winkler 1953: Weitere Entwicklung des
Strukturbohrers.
Dtsch. landwirt., 4:206-208.
- Allerup P. & H.Madsen 1980: Accuracy of point precipitation mes-
surements.
Nordic Hydrology, 11: 57-70.
- Ameryckx J. 1960 : La pedogenese en Flandre sablonneuse.
Pedologie 10:124-191.
- Andersen S.A. 1962 : Dybdebehandlingsforsøgene i Bjerre.
Hedeselsk. Tidsskr., 83:341-351.
- Andersen S.A. 1967 : Isens bortsmeltning i Limfjordsegnen.
Medd. Dansk Geol. Foren., 17:138-145.
- Andersen S.Th. 1979 : Brown earths and podzols: Soil genesis
illuminated by microfossils analysis.
Boreas, 8: 59-76.
- Archer J.R. & P.D.Smith 1972 : The relation between bulk density,
available water capacity and air capacity
of soils.
J. Soil Sci ., 23 : 475-479.
- Armiger W.H.,C.D.Foy,A.L.Fleming & B.E.Caldwell 1968: Differential
tolerance of soybean varieties to an acid
soil high in exchangeable aluminum.
Agron. J., 60:67-70.

- Aslyng H.C. & L.Hansen 1960: Vandfordampning og vindhastighed ved statens forsøgsstationer.
Tidsskr. Planteavl,64:185-212.
- Aslyng H.C. & M.M.Stendal 1965: Vindhastighed og vandbalance ved statens forsøgsstationer og Højbakkegård 1960-63.
Tidsskr. Planteavl,68: 805-825.
- Aslyng H.C. 1976 : Klima, jord og planter.
DSR, Kbhvn.
- Avery B.W. 1973 : Soil classification in the soil survey of England and Wales.
J.Soil Sci.,24:324-338.
- Bahnson H. 1972 : Spor af muldflugt i keltisk jernalder påvist i højmosseprofiler.
Danm. Geol. Unders. Årbog 1972:7-12.
- Baldwin M., C.E. Kellogg & J. Thorp 1938: Soil classification.
In soils and men.
U.S. Dep. Agric. Yearb. U.S. Govt.
Print. Office, Washington, D.C.
- Baver L.D. et al 1972 : Soil physics.
4th ed., J. Wiley & Sons.
- Bertrand A.R. & H.Kohnke 1957: Subsoil conditions and their effects on oxygen supply and the growth of corn roots.
Soil Sci Soc. Am. Proc.,21:135-140.
- Bloomfield C. 1954 : A study of podzolization.V. The mobilization of iron and aluminium by aspen and ash leaves.
J.Soil Sci.,5:50-56.
- Blume H.P. 1968 : Zum Mechanismus der Marmorierung und Konkretionsbildung in Stauwasserböden.
Z.Pflanzenernähr., Bodenk.119 :124-134.

- Böhm W. 1976 : In situ estimation of root length at natural soil profiles.
J.Agric.Sci.,Camb.,87:365-368.
- Böhm W. 1978 : Untersuchungen zur Wurzelentwicklung bei Winterweizen.
Z. Acker- und Pflanzenbau, 147:264-269.
- Böhm W. 1979 : Methods of studying root systems.
Springer, Berlin.
- Borggård O.K.,J.P.Møberg og L.Petersen 1979: Øvelsesvejledning til Geologi og jordbundslære I.
DSR, Kbhvn.
- Bornebusch C. H. & K. Milters 1935: Jordbundskort over Danmark.
Danm. Geol. Unders., III,24.
- Bouma J. & J.van Schuylenborgh 1969: On soil genesis in temperate humid climate. VII. The formation of a glossaqualf in a silt-loam terrace deposit.
Neth. J. Agric. Sci.,17 : 261-271.
- Breazeale E. & W.T.McGeorge 1949: A new technique for determining wilting percentage of soil.
Soil Sci., 68:371-374.
- Brewer R., R.Protz & J.A.McKeague 1973 : Microscopy and electron microprobe analysis of some iron-manganese pans from Newfoundland.
Can. J. Soil. Sci.,53 : 349-361.
- van den Broek J.M.M. & H.W. van der Marel 1968: Weathering, clay migration and podzolization in a hydromorphic loess soil.
Geoderma, 2:121-150.
- Bullock P.,M.H.Milford & M.G.Cline 1974: Degradation of argillic horizons in udalf soils of New York State.
Soil. Sci. Soc. Am. Proc., 38:621-628.
- Burton G.W. 1943 : A comparison of first year's root produc-

- tion of seven southern grasses established from seed.
J. Am. Soc. Agron., 35 :192-196.
- Chandler R.F. 1942 : The time required for podzol profile formation as evidenced by the Mendenhall glacial deposits near Juneau, Alaska
Soil Sci. Soc. Am. Proc. 7:454-459.
- Cline M.G. 1949 : Profile studies of normal soils of New York:I. Soil profile sequences involving brown forest, grey-brown podzolic, and brown podzolic soils.
Soil Sci., 68:259-272.
- Crampton C.B. 1965 : An indurated horizon in soils of South Wales.
Soil Sci., 16:230-241.
- Crompton E. 1952 : Some morphological features associated with poor soil drainage.
J. Soil Sci., 3:277-289.
- Cruickshank J.G. & M.M. Cruickshank 1981: The development of humus-iron podzol profiles, linked by radiocarbon dating and pollen analysis to vegetation history.
Oikos, 36:238-253.
- Dalsgaard K, E. Baastrup & B.T. Bunting 1981: The influence of topography on the development of alfisols on calcareous clayey till in Denmark.
Catena, 8:111-136.
- Dansk Meteorol. Inst. 1933 : Danmarks klima 1933.
Kbhvn.
- De Bakker H. & J. Shelling 1966: Systeem van bodemclassificatie voor Nederland.
Stichting voor Bodemkartering, Wageningen.
- De Coninck F. & J. Laruelle 1964: Soil development in sandy materials of the Belgian Campine.
Soil micromorphology : 169-188, Elsevier Amsterdam.

Deckers J. & L.Baeyens 1963: Polysequumprofielen van de Hoge Kempen.
Pedologie,13:120-154.

Denmead O.T. & R.H.Shaw 1962: Availability of soil water to plants
as affected by soil moisture content and
meteorological conditions.
Agron. J. 45:385-390.

Duchaufour P. & B. Souchier 1978: Roles of iron and clay in genesis
of acid soils under a humid temperate
climate.
Geoderma,20:15-26.

Durrant M.J., B.J.G.Love, A.B.Messem & A.P.Draycott 1973: Growth of
crop roots in relation to soil moisture
extraction.
Ann. Appl. Biol.,74 : 387-394.

Ehlers W. 1975 : Einfluss von Wassergehalt, Struktur und
Wurzeldichte auf die Wasseraufnahme von
Weizen auf Löss-Parabraunerde.
Mitt. Dtsch. Bodenkundl. Gesellsch., 22:
141-156.

FAO : Guidelines for soil profile discription
FAO, Rome.

FAO-Unesco 1974 : Soil map of the world, vol.I,legend
Unesco, Paris.

Faizy S.A. 1973 : Profile development in Danish loamy soils.
Royal Vet. Agric. Univ. Yearbook 1973,
Copenhagen : 49-63.

FitzPatrick E.A. 1956 : An indurated soil horizon formed by per-
mafrost .
J.Soil Sci.,7 :248-257.

FitzPatrick E.A. 1971 : Pedology.
Oliver & Boyd, Edinburgh.

Fobian A. 1966 : Studie über Parabraunerden in Dänemark

Pedologie 16:183-198.

Foy C.D. & J.C.Brown 1964: Toxic factors in acid soils. II. Differential aluminium tolerance of plant species.
Soil Sci. Soc. Proc.:27-32.

Foy C.D., W.H.Armiger, A.L.Fleming & C.F.Lewis 1967: Differential tolerance of cotton varieties to an acid soil high in exchangeable aluminum.
Agron. J.,59: 415-417.

Foy C.D., A.L.Fleming & W.H.Armiger 1969: Aluminum tolerance of soybean varieties.
Agron.J.,61:505-511.

Foy C.D., A.L.Fleming & G.C.Gerloff 1972: Differential aluminum tolerance in two snapbean varieties.
Agron.J.,64:815-818.

Foy C.D., H.N.Lafever, J.W.Schwartz & A.L.Fleming 1974: Aluminum tolerance of wheat cultivars related to region of origin.
Agron. J.,66 : 751-758.

Gallaher R.N., H.F.Perkins, K.H.Tan & D.Radcliffe 1973b : Soil concretions : II. Mineralogical analysis.
Soil Sci. Soc. Am. Proc.,37 : 469-472.

Gallaher R.N., H.F.Perkins & D.Radcliffe 1977a : Soil concretions : I. X-ray spectrograph and electron microprobe analyses.
Soil Sci. Soc. Am. Proc.,37 : 465-469.

Geisler G. 1973 : Morphogenetische Wirkung der O₂ - und CO₂-Konzentrationen im Boden auf das Wurzelsystem unter Berücksichtigung des Bodenwassergehaltes.
Pseudogley & gley. Trans. Comm. V and VI.
Int. Soc. Soil Sci.:557-566.

Gerald C.J., H.C. Metha & E. Hinojosa 1972: Root growth in a clay soil.
Soil Sci., 114:37-49.

- Gregersen A. & H.Knudsen 1980: Vindhastighed, vandbalance og vandingsbehov 1957-1978.
Tidsskr. Planteavl, 84 :111-161.
- Grimes D.W., R.J.Miller, V.H.Schweers, R.B.Smith & P.L.Wiley 1972:
Soil strength modification of root development and soil water extraction.
Calif. Agric., nov. 1972:12-14.
- Gripp K. 1966 : Die Eisrandkerbe von Himmerland und der Abbau des wurmzeitlichen Eises im Bereich des Limfjordes.
Medd. Dansk Geol. Foren., 16:138-152.
- Grossman R.B., J.B.Fehrenbacher & A.H.Beavers 1959a : Fragipan soils of Illinois:I.
General characterization and field relationships of Hosmer silt loam.
Soil Sci. Soc. Am. Proc.,23 :65-70.
- Grossman R.B et al 1959b: Fragipan soils of Illinois: II.
Mineralogy in reference to parent material uniformity of Hosmer silt loam.
Soil Sci. Soc. Am. Proc.,23 : 70-73.
- Grossman R.B., I.Stephen, J.B.Fehrenbacher & A.H.Beavers 1959c :
Fragipan soils of Illinois : III.
Micromorphological studies of Hosmer silt loam.
Soil Sci. Soc. Am. Proc.,23: 73-75.
- Gry H. 1979 : Kortbladet Løgstør, kvartære aflejringer.
Danm. Geol. Unders., I,26.
- Guillet B. 1972 : Relation entre l'histoire de la vegetation et la podzolisation dans les Vosges.
Thesis, Univ. of Nancy.
- Guillet B., J.Rouiller & B.Souchier 1975: Podzolization of clay migration in spodosols of eastern France.
Geoderma, 14:223-245.

- Haahr V., H.Knudsen, G.Nielsen & J.Sandfær 1966: Nogle kulturplanter rodudvikling på let sandjord.
Tidsskr. Planteavl., 69:554-567.
- Haahr V. 1968 : Roddybde og rodmængde hos nogle enårige landbrugsafgrøder dyrket på lerjord.
Tidsskr. Planteavl, 72 : 531-538.
- Hansen G.K. 1974 : Resistance to waterflow in soil and plants plantwater status, stomatal resistance and transpiration of Italian ryegrass, as influenced by transpiration demand and soil water depletion.
Acta Agric. Scand., 24:83-92.
- 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 G.K., B.F.Jacobsen & S.E.Jensen 1976: Simuleret planteproduktion.
Hydroteknisk laboratorium. Kgl. Vet.- og Landbohøjskole, Kbhvn.
- Hansen L. 1961 : Hydrometermetoden til bestemmelse af jordens tekstur.
Grundforbatter., 14:177-188.
- Hansen L. 1976 : Jordtyper ved statens forsøgsstationer.
Tidsskr.Planteavl, 80:742-758.
- Hatt G. 1949 : Oldtidsagre.
Kgl. Dansk Vid. Selsk. Arkæol.-Kunsthist. Skr. II, 1, Kbhvn.
- Head G.C. 1966 : Estimating seasonal changes in the quantity of white unsuberized root on fruit trees.
J. Hortic. Sci., 41:197-206.
- Heick J. 1972 : Rodudvikling i sandjord i relation til fysiske faktorer.
Licentiatafh., Hydroteknisk laboratorium. Kgl. Vet.- og Landbohøjskole, Kbhvn.

- Heinonen R. 1954 : Moisture conditions in Finnish topsoils.
Agrogeol. Julk, 62:1-82.
- Heinonen R. 1979 : Soil management and crop water supply.
Swedish Univ. Agric. Sci., Uppsala.
- Hilgard E.W. 1906 : Soils.
Mc.Millan Compagny, New York.
- Hill J.N.S. & M.E. Sumner 1967: Effect og bulk density on moisture characteristics of soils.
Soil Sci., 103:234-238.
- Hodgson J.M. 1978 : Soil sampling and soil description
Oxford.
- Holmsgård E., H. Holstener-Jørgensen & A. Yde-Andersen 1961: Jordbunds dannelse, tilvækst og sundhedstilstand i rødgransbevoksninger af første og anden generation.
Det forstlige forsøgsvæsen, 27 :1-167.
- Holst K.Aa. & K.J.Kristensen 1981: Fordampning fra løvskov.
Suså-Projektet. Rapport H4.
Hydroteknisk laboratorium. Kgl.
Vet.- og Landbohøjskole, Kbhvn.
- Holstener-Jørgensen H. 1959: Undersøgelser af rodsystemer hos eg, bøg og rødgran på grundvandspåvirket morænejord.
Forsti. Forsøgsv. Daran., 25:227-289.
- Holstener-Jørgensen H. 1973: Om lernedslemning på dansk moræne.
Forsti. Forsøgsv. Danm., 33 : 329-344.
- Iversen J. 1937 : Undersøgelser over lithorinatransgressioner i Danmark.
Medd. dansk Geol. Foren., 9:223-232.
- Iversen J. 1973 : Geology of Denmark III: The development of Denmark's nature since the last Glacial.

Danm. Geol. Unders. V,7-c.

- Jacobsen N.K. 1964 : Tøndermarskens naturgeografi med særlig henblik på morfogenesen.
Fol. Geogr. Danica, VII,1.
- Jakobsen B.H. 1981 : Pedologisk kortlægning og jordbundsbonitering i et geestrandsområde ved Tønder.
Geogr. Tidsskr., 81:17-32.
- Jeanson N.R. 1963 : Fossila åkrar i Himmerland- en flygbildsinventering.
Svensk geogr. Årsbok, 39:111-118.
- Jenny H. 1941 : Factors of soil formation
McGraw-Hill Book Comp., New York.
- Jensen A. 1974 : Bestemmelse af jords retentionsevne ved hjælp af polyethylenglycol 6000 sammenlignet med trykmembranmetoden.
Botanisk Institut, Århus.
- Jensen V. 1965 : Mikrofloraen i bøgemuлд og bøgemor
Dansk Skovforen. Tidsskr., 50:33-42.
- Jessen A. 1920 : Stenalderhavets udbredelse i det nordlige Jylland.
Danm. Geol. Unders., 11,35.
- Jessen Th. 1982 : Dybpløjning og kalkning af lagdelt klægjord med sur undergrund.
Tidsskr. Planteavl, 86:119-126.
- Jha P.P & M.G.Cline 1963: Morphology and genesis of a sol brun acide with fragipan in uniform silty material.
Soil Sci. Soc. Am. Proc.,27 : 339-344.
- Jørgensen V. 1978 : Luftens og nedbørens kemiske sammensætning i danske landområder.
Tidsskr. Planteavl, 82:633-656.
- Kgl. Dansk Vid. Selsk. : Videnskabernes selskabs kort.

- de Kimpe C.R. & Y.A.Martel 1976: Effects of vegetation on the distribution of carbon, iron and aluminum in the B horizons of Northern Appalachian spodosols.
Soil Sci. Soc. Am. J.,40:77-80.
- Kivisaari S. 1971 : Influence of texture on some soil moisture constants.
Acta Agral. Fenn., 123:217-222.
- Knox E.G. 1957 : Fragipan horizons in New-York soils. III. The basis of rigidity.
Soil Sci. Soc. Am. Proc.,21: 326-330.
- Köhnlein J. 1955 : Die Durchporung und Durchwurzelung des Unterbodens.
Schr. Landwirtsch. Fakultät d. Christian-Albrechts-Univ. Kiel, 14:3-41.
- Köhnlein J. & K.Bergt 1971: Untersuchungen zur Entstehung der biogenen Durchporung im Unterboden eingedeichter Marschen.
Z.Acker- und Pflanzenbau,133 : 261-298.
- Koppen W. 1936 : Das geographische System der Klimate.
Handbuch der Klimatologie. Berlin.
- Köstler J.N.,E.Brückner & H.Bibelriether 1968: Die Wurzeln der Waldbäume.
Paul Parey, Hamburg.
- Kristensen K.J. 1979 : A comparison of some methods for estimation of potential evaporation.
Nordic Hydrology,10:239-250.
- Kubiëna 1953 : The soil of Europe.
Murby, London.
- Kundler P. 1961 : Lessives (Parabraunerden, Fahlerden) aus Geschiebemergel der Wurm-Eiszeit im nord-deutschen Tiefland.
Z.Pflanzenernähr.Dung. Bodenk.,95:97-110.

- Langohr R. & B. Van Vliet 1979: Clay migration in well to moderately well drained acid brown soils of the Belgian Ardennes. *Pedologie*, 29 : 367-385.
- Larsen J.B. 1971 : Podzoludviklingshastigheden. Rapport fra Skovbrugsinst. Kgl. Vet.- og Landbohøjskole, København.
- Lindgren H.B. 1974 : Metoder til kvalitativ og kvantitativ karakterisering af jordens lerfraktion anvendt på en cambisol og en vertisol. Licentiatafh. Kgl. Vet.- og Landbohøjskole Kbhvn.
- Lott W.L., D.P. Satchell & N.S. Hall 1950: A tracer-element technique in the study of root extension. *Proc. Am. Soc. Hortic. Sci.*, 55 : 27-34.
- Lozet J.M. & A.J. Herbillon 1971 : Fragipan soils of Condroz (Belgium) : Mineralogical, chemical and physical aspects in relation with their genesis. *Geoderma*, 5:325-343.
- Lund E.W. & K. Dorph-Petersen 1971: Landbrugsafgrødernes udbytteforhold. *Tidsskr. Planteavl*, 75:508-531.
- Madsen H.B. 1975 : Aggregatstabilitetsanalyse. *Geogr. Tidsskr.*, 74:70-78.
- Madsen H.B. 1976 : Nogle jyske jordes vandindhold. *Fol. Geogr. Danica*, X, 4.
- Madsen H.B. 1979 : Jordbundskartering og bonitering. *Fol. Geogr. Danica*, X, 5.
- Madsen H.B. 1980a : Fastlæggelse af højokkerpotentielle områder i Himmerland. Landbrugsministeriet Arealdatakontoret, Vejle, A-01:1-43.

- Madsen H.B. 1980b : Jordbundsforhold og rodudvikling på Tylstrup forsøgsstation.
Tidsskr. Planteavl, 84:5-14.
- Madsen H.B & B.H. Jakobsen 1980: A danish podzoluvisol.
Geogr. Tidsskr., 80:78-80.
- Madsen H.B. 1981 : Plantetilgængeligt vand for forskellige jordtyper beregnet ud fra jordens vandretention og planternes rodudvikling.
I Nordisk Symposium over hydrologiske problemer vedrørende kunstig vanding, Åbenrå: 103-117.
Dansk komite for hydrologi.
- Marbut C.F. 1928 : A scheme for soil classification.
Proc.1st.Int.Congr.Soil Sci.,4:1-31.
- Marshall J.T. 1959 : Relations between water and soil.
Commonw.Bur.Soils Tech.Comm., 50.
- Mash B. 1971 : Measurement of length in random arrangement of lines.
J. Appl. Ecol.,8:265-267.
- Mathiassen T. 1920 : Karstfænomener i Himmerland.
Naturens Verden, 4:75-81.
- Mathiesen F.D. et.al. 1975 : Klassificering af landbrugsjord i Nordjyllands Amt.
Landboorganisationernes kontaktudvalg for landskabsplanlægning, Ålborg.
- Mathiesen F.D. & A.Nørr 1976: Teknisk redegørelse, den danske jordklassificering.
Landbrugsministeriet, København.
- Mattson S. 1933 : The laws of soil colloidal behavior:XI.
Electrodialysis in relation of soil processes.
Soil Sci. 36:149-163.
- Mattson S. & Y. Gustafsson 1934: The chemical characteristics of

soil profiles:I. The podzol.
Kungl. Lantbrukshögskolans Ann.1:33-68.

Mattson S. & Y. Gustafsson 1935: The chemical characteristics of soil profiles:II. The mutual interactions of podzolic materials.
Kungl. Lantbrukshögskolans Ann.4:1-30.

Mattson S. & Y.Gustafsson 1937a: The eletro-chemistry of soil formation:I. The gel and the sol complex.
Kungl. Lantbrukshögskolans Ann.4:1-54.

Mattson S. & Y.Gustafsson 1937b: The laws of soil colloidal behavior: XIX. The gel and the sol complex in soil formation.
Soil Sci.,43 : 453-474.

Mc. Keague J.A. 1967 : An evaluation of 0.1 M pyrophosphate and pyrophosphate-dithionite in comparison with oxalate as extractants of the accumulation products in podzols and some other soils.
Can. J. Soil Sci, 47:95-99.

Mc.Keague J.A., N.M. Miles, T.W. Peters & D.W. Hoffman 1972:
A comparison of luvisolic soils from three regions in Canada.
Geoderma, 7:49-69.

Mertz E.L. 1924 : Oversigt over de sen- og postglaciale niveauforandringer i Danmark.
Danm. Geol. Unders., II,41.

Milne G. 1935 : Some suggested units of classification and mapping, particularly for east african soils.
Soil Research, 4:183-198.

Milthers V. 1948 : Det danske istidslandskabs terrænformer og deres opståen.
Danm. Geol. Unders., III,28.

Mückenhausen E. 1962 : The soil classification system of the Federal Republic of Germany.
Trans. Int. Soil Conf.N.Z.:377-387.

- Mückenhausen E. 1977 : Entstehung, Eigenschaften und Systematik der Boden der Bundesrepublik Deutschland. DLG-Verlag, Frankfurt am Main.
- Muir A. 1934 : The soils of the Teindland State forest. Forestry, 8:25-55.
- Muller P.E. 1879 : Studier over skovjord, som bidrag til skovdyrkningens teori. I. Om bøgemuld og bøgemor på sand og ler. Tidsskr. Skovbr., 3:1-124.
- Müller P.E. 1884 : Studier over skovjord, som bidrag til skovdyrkningens teori. II. Om muld og mor i egeskove og på heder. Tidssk. Skovbr., 7 :1-230.
- Müller P.E. 1924 : Bidrag til de jyske hedesletters naturhi storie. Karup hedeslette og beslægtede dannelser. En pedologisk undersøgelse. Kgl. Dansk Vid. Selsk. Biol. Medd. IV, 2.
- Munsell Color Comp. 1954 : Munsell Soil Color Charts Baltimore.
- Møberg J.P. 1976 : A chemical and physicochemical investigation of two Danish podzol profiles. Royal Vet. Agric. Univ. Yearbook 1976, Copenhagen:112-132.
- N.N. : Kjel-Foss Automatic Technical Specification. A/S N.Foss electric.
- Newcomb R.M. 1971 : Celtic fields in Himmerland, as revealed by vertical photography at a scale of 1:25000. Photogrammetria, 17 :101-113.
- Newman E.I. 1966 : A method of estimating the total length of root in a sample.

J. Appl. Ecol.,3 :139-146.

- Nielsen N.E. 1980 : Forløbet af rodudvikling, næringsstofoptagelse og stofproduktion hos byg, dyrket på frugtbart morænelerjord. Afdelingen for Planternes Ernæring. Kgl. Vet.- og Landbohøjskole, Kbhvn.
- Nilsson T. 1970 : Grundkurs i kvartärgeologi Studentlitteratur, Lund.
- Nørnberg P. 1977 : Soil profile development in sands of varying age in Vendsyssel, Denmark. Catena,4:165-179.
- Olesen J. & J.Hedegård 1968: Jordens kalktilstand. Landbrugets informationskontor. Århus.
- Olsen M. 1958 : Orienterende forsøg vedrørende jorders dybdebehandling. Hedeselsk.Forskn.Beretning, 3., Viborg.
- Paavilainen E. 1966 : On the effect of drainage on root systems of Scots pine on peat soils. Commun. Inst. For. Fenn.,61(I).
- Pape 1970 : Plaggen soils in the Netherlands. Geoderma 4:229-256.
- Paton T.R. et al. 1976 : Speed of podzolisation Nature,260:601-602.
- Pavlychenko T.K. 1937 : The soil-block washing method in quantitative root study. Can. J. Res. Sect.C,15 : 34-57.
- Pedro G., M.Jamagne & J.C.Begon 1978: Two routes in genesis of strongly differentiated acid soils under humid, cool-temperate conditions. Geoderma,20:173-189.
- Petersen C.W, R.W.Ranney, R.L.Cunningham & R.P.Matelski 1970 : Fragipans in Pennsylvania soils: A

- Statistical study of laboratory data.
Soil Sci. Soc. Am. Proc.,34: 719-722.
- Petersen L. 1976a : Podzols and podzolization.
Thesis, DSR, Kbhvn.
- Petersen L. 1976b : Beskrivelse af podzol jorde og retnings-
linier for vurdering af podzoleringens
omfang.
Rapport til landbrugsministeriet
Arealdatakontoret, Vejle.
- Pidgeon J.D. 1972 : The measurement and prediction of avail-
able water capacity of ferrallitic soils
in Uganda.
J. Soil Sci., 23:431-441.
- Preston R.J. 1942 : The growth and development of the root
systems of juvenile lodgepole pine.
Ecol. Monographs, 12 :449-468.
- Racz G.J., D.A.Rennie & W.L.Hutcheon 1964: The P32 injection method
for studying the root systems of wheat.
Can. J. Soil Sci.,44 :100-108.
- Ranney R.W. & M.T.Beatty 1969: Clay translocation and albic tongue
in two glossoboralfs of West-central
Wisconsin.
Soil Sci. Soc. Am. Proc.,33 : 768-775.
- Rasmussen K. 1956 : Investigations on marsh soils and watten
sea sediments in the Tønder Region.
Geogr. Tidsskr., 56:147-170.
- Rasmussen K. 1961 : Uorganiske svovlforbindelsers omsæt-
ninger i jordbunden.
Thesis, DSR, Kbhvn.
- Rasmussen K. & M.Willems 1981: Pyrite oxidation and leaching in
excavated lignite soil.
Acta agrie. Scand.,31:107-115.
- Reeve M.J., & P.D Smith & A.J. Thomasson 1973: The effect of density
on water retention properties of field

- soils.
J. Soil Sci., 24:355-366.
- Richards L.A. 1947 : Pressure-membrane apparatus-construction and use.
Agric. Engin., 28:451-454.
- Rivers E.D. & R.F. Shipp 1977: Soil water retention as related to particle size in selected sands and loamy sands.
Soil Sci., 126:94-100.
- Rogers W.S. 1939 : Root Studies. VIII.
Apple root growth in relation to rootstock, soil, seasonal and climatic factors.
J.Pomol. Hortic.Sci.,17 :99-130.
- Rogers W.S. & G.A.Booth 1960: The roots of fruit trees.
Sci. Hortic,14 : 27-34.
- Rozov N.N & Ivanova YE.N. 1967: Classification of the soils of the USSR.
Sovjet Soil Sci.,2 :147-156.
- Salter P.J. & J.B.Williams 1965 : The influence of texture on the moisture characteristics of soils.
J. Soil Sci.,16 :1-15.
- Scheffer F. & P. Schachtschabel 1976: Lehrbuch der Bodenkunde.
Ferdinand Enke Verlag, Stuttgart.
- Schofield R.K. & J.V.Botelho da Costa 1938: The measurement of pF in soil by freezing point.
J. Agric. Sci.,28 :644-653.
- Schou A. 1949 : Atlas of Denmark.
Kgl. Dansk Geogr.Selsk., Kbhvn.
- Schroeder D. 1969 : Bodenkunde in Stichworten.
Ferdinand Hirt, Kiel.
- Schuurman J.J & M.A.J. Goedewaagen 1965: Methods for the examination of root systems and roots.

Pudoc, Wageningen.

- Schuurman J.J 1966 : Effects of soil density on root and top growth of oats.
Proc.Int.Scient.Symp., Brno : 103-120.
- Schwertmann U. & D.S.Fanning 1976: Iron-manganese concretions in hydrosequences of soils in loess in Bavaria.
Soil Sci. Soc. Am. J.,40 : 7 31-7 38.
- Slater C. & L.Cohen 1962 : A centrifugal particle size analyser.
J. Sci. Instr. 39:614-617.
- Slatyre R.O. 1967 : Plant-Water Relationships.
Academic Press, London.
- Smed P. 1979 : Landskabskort over Danmark. Blad I, Nordjylland.
Geografforlaget, 5464 Brenderup.
- Soil Conservation Service 1972: Soil survey laboratory methods and procedures for collecting soil samples.
U.S. Dep. Agric. SSIR 1. U.S. Govt. Print. Office, Washington, D.C.
- Soil survey staff 1951 : Soil survey manual.
USDA agric. Handbook, 19
- Soil Survey Staff 1960 : Soil classification, a comprehensive system, 7th approximation.
U.S. Dep. Agric., U.S. Govt. Print. Office, Washington, D.C.
- Soil Survey Staff 1975 : Soil Taxonomy.
U.S.Dep. Agric., U.S.Govt.Print.Office, Washington, D.C.
- Steinberg B. 1973 : Methoden und Ergebnisse von Wurzeluntersuchungen bei Pfropfreben in Normalanlagen im Rheingau.
Landwirt. Forsch. Sonderheft 28(1): 112-123.

- Steinhardt G.C. & D.P. Franzmeier 1979: Chemical and mineralogical properties of the fragipans of the Cincinnati catena.
Soil Sci. Soc. Am. J., 43 :1008-1013.
- Stoeckeler J.H. & W.A. Kluender 1938: The hydraulic method of excavating the root systems of plants.
Ecology, 19:355-369.
- Stokholm E. 1977 : Undergrundsløsning på lerjord.
Tidsskr. Planteavl, 81:271-292.
- Svensson H. 1963 : Some observations in West-Jutland of a polygonal pattern in the ground.
Geogr. Tidsskr., 62:122-124.
- Svensson H. 1976 : Relict ice-wedge polygons.
Geogr. Tidsskr., 75:8-12.
- Sørensen P.H. 1976 : Jysk oldtidsagerbrug lokaliseret efter luftfotografier.
Kulturgeografi, 120:337-354.
- Tabatabai M.A. & J.M. Bremner 1970: Use of the leco automatic 70-second carbon analyzer for total carbon analysis of soils.
Soil Sci. Soc. Am. Proc., 34:608-610.
- Tackett J.L. & R.W. Pearson 1964: Oxygen requirements of cotton seedling roots for penetration of compacted soil cores.
Soil. Sci. Soc. Am. Proc., 28:600-605.
- Tamm o. 1920 : Markstudier i det svenska barrskogsområdet.
Medd. Statens Skogsförsöksanstalt, 17: 49-277. Stockholm.
- Taylor H.M. & E. Burnett 1964: Influence of soil strength on the root growth habits of plants.
Soil Sci., 98:174-180.
- Tennant D. 1975 : A test of a modified line intersect method of estimating root length.

J. Ecol.,63:995-1001.

Tharp B.C & C.H.Muller 1940: A rapid method for excavating root systems of native plants.
Ecology,21:347-350.

Van Breda N.G. 1937 : An improved method in the study of root bisects.
S.Afr.J.Sci.,34:260-264.

Vandamme J. & L.De Leenheer 1968: On the formation of and relationship between different morphological B-bands under the different genetic conditions in the sandy soils of the Campine (Northern Belgium).
Pedologie, 18:374-405.

Vanderford H.B. & M.E.Shaffer 1966: Comparison of fragipan and bisequal profiles of the Gulf Coastal Plain with soils of southern loess belt.
Soil Sci. Soc. Am. Proc.,30 : 494-498.

Veihmeyer F.J. & A.H.Hendrickson 1938: Soil moisture as an indication of root distribution in deciduous orchards.
Plant Physiol.,13 :169-177.

Veneman P.L.M., M.J.Vepraskas & J.Bouma 1976: The physical significance of soil mottling in a Wisconsin toposequence.
Geoderma,15:103-118.

Vetter H. & S.Scharafat 1964: Die Wurzelverbreitung landwirtschaftlicher Kulturpflanzen im Unterboden.
Z.Acker- und Pflanzenbau,120: 275-298.

Vetter H. & K. Fruchtenicht 1969: Die Bewurzelung einiger Pflanzenarten in verschiedenen Entwicklungsstadien und bei gestaffelter Phosphatdüngung.
Phosphorsäure,28 :1-18.

van Vliet & R.Langohr 1981: Correlation between fragipans and permafrost with special reference to

silty weichselian deposits in Belgium
and northern France.
Catena, 8:137-154.

- Weaver J.F. 1926 : Root development of field crops.
Mc.Graw-Hill, New York.
- Weis F. 1929 : Fysiske og kemiske undersøgelser over
danske hedejorder.
Kgl. Dansk Vid. Selsk. Biol. Medd.
VII,9.
- Weis F. 1932 : Fortsatte fysiske og kemiske undersøgelser
over danske hedejorder og andre podzol-
dannelser.
Kgl. Dansk Vid. Selsk. Biol. Medd.
X, 3.
- Wesseling J. 1962 : Some solutions of the steady state diffu-
sion of carbon dioxide through soils.
Neth. J. Agric. Sci., 10:109-117.
- Wiklert P. 1962 : Om sambandet mellan markstruktur,
rotutveckling och upptorkningsforlopp.
Grundförbättring, 14:221-239.
- Wiklert P. 1964 : Studier av Visnegransen.
Grundförbättring, 1: 3-100.
- Winthers E. 1942 : Silica hardpan development in the red and
yellow podzolic soil region.
Soil Sci. Soc. Am. Proc., 7 : 437-440.

A P P E N D I X

Billed 1: SF3, Strandby-Farsø Kommuneplantage

entic Typiblegsol; sand, sur
USDA: Typic Udipsamment

Profilen er udviklet i flyvesand
Analysedata: Tabel 5

The profile is developed in dune sand
Analytical data: Table 5.

Billed 2: SH2, Helberskov

entic bleget Strukturbrunsol; sand, sur
USDA: Typic Udipsamment

Profilen er udviklet i flyvesand på det østlige marine forland
Analysedata: Tabel 29

The profile is developed in dune sand
Analytical data: Table 29.

Billed 3: MSg3, Gundersted

Gleyblandingsbrunsol; siltet sand/lerholdig siltet sand, sur
USDA: Haplumbrept

Profilen er udviklet i glaciogent sand
Analysedata: Tabel 35

The profile is developed in sandy glacial drift
Analytical data: Table 35.

Billed 4: MBbl, Arden

Blandingsbrunjord ; siltet sand/leret sandet silt, stærk sur
USDA: Haplumbrept

Profilen er udviklet i issøaflejringer
Analysedata: Tabel 45

The profile is developed in ice-lake deposits
Analytical data: Table 45.

Billed 5: MLb5, St. Brøndum

Pseudogleytypilessive; leret sandet silt/ler, sur
USDA: Hapludalf

Profilen er udviklet i leret till
Analysedata: Tabel 41 og 14

The profile is developed in clayey till
Analytical data: Table 41 and 14.

Billed 6: SRol, Rold Skov

entic degraderet fragi pseudogleyet Podzoltypilessive; siltet sand/
leret siltet sand, sur
USDA: Ultic Fragiorthod

Profilen er udviklet i glaciogent sand
Analysedata: Tabel 9

The profile is developed in sandy glacial drift
Analytical data: Table 9.

Billed 7: SS5, Sønderskov

entic fragi Podzoldegralessive; leret sandet silt/ sandet silt, sur
USDA: Ultic Fragiorthod eller Glossic Fragiudult

Profilen er udviklet i leret glaciogent materiale, der overlejrer
sandet glaciogent materiale
Analysedata: Tabel 19 og 25

The profile is developed in clayey glacial drift superimposing sandy
glacial drift
Analytical data: Table 19 and 25.

Billed 8: SRo3, Rold Skov

entic fragi Brunpodzol; siltet sand, sur
USDA: Fragiorthod

Profilen er udviklet i glaciogent sand
Analysedata: ingen

The profile is developed in sandy glacial drift
Analytical data: none.

Billed 9: SF5, Strandby-Farsø Kommuneplantage

entic hærdnet Typipodzol; sand, sur
USDA: Typic Haplohumod

Profilen er udviklet i flyvesand
Analysedata: Tabel 5

The profile is developed in dune sand
Analytical data: Table 5.

Billed 10: SF2, Strandby-Farsø Kommuneplantage

toppodzol entic hærdnet gleytypipodzol; sand/siltet sand, sur
USDA: Typic Haplohumod

Profilen er udviklet i flyvesand
Analysedata: Tabel 5

The profile is developed in dune sand
Analytical data: Table 5.

Billed 11: SM2, Dyrehave

histisk Podzolvågley; sand, neutral
USDA: Haplaquod

Profilen er udviklet i marint sand
Analysedata: Tabel 27

The profile is developed in marine sand
Analytical data: Table 27.

Billed 12: MMb3, Als

Blegbrungley; siltet sand/sand, svagt sur
USDA: Psammaquent

Profilen er udviklet i marint sand
Analysedata: Tabel 46

The profile is developed in marine sand
Analytical data: Table 46.

Billed 13: SM1 Helberskov

histisk natrisk Vådgley; sand, svagt sur

Profilen er udviklet i marint sand

Analysedata: Tabel 27

The profile is developed in marine sand

Analytical data: Table 27.

Billed 14: MMb4, Storvorde

Vådgley; leret sandet silt, svagt sur

USDA: Haplaquoll

Profilen er udviklet i marine siltede aflejringer

Analysedata: Tabel 46

The profile is developed in silty marine deposits

Analytical data: Table 46.

Billed 15: MMkl, Nørrekær

humøs kalkholdig Typigley; leret siltet sand/leret sandet silt, neutral

USDA: Haplaquoll

Profilen er udviklet i marine aflejringer

Analysedata: Tabel 46

The profile is developed in marine deposits

Analytical data: Table 46.

Billed 16: MKbl, Smidie

Typirendzina

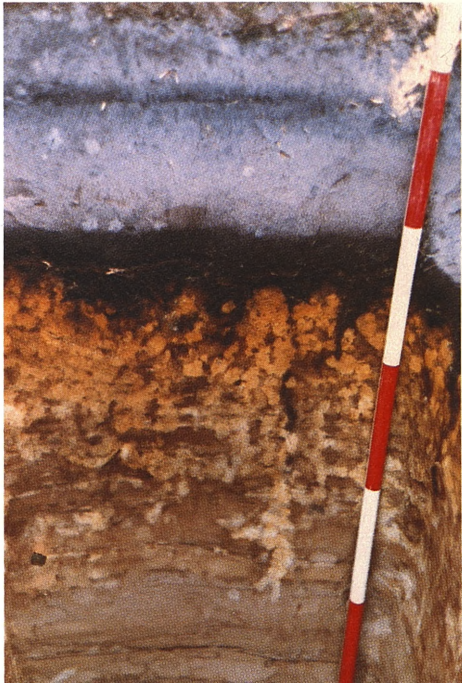
USDA: Lithic Rendoll

Profilen er udviklet i kalkklippe

Analysedata: Tabel 43

The profile is developed in limestone

Analytical data: Table 43.



SF5, Strandby-Farsø.



SF2, Strandby-Farsø.



SM2, Dyrehave.



MMb3, Als.



SM1, Helberskov.



MMb4, Storvorde.



MMk1, Nørre kær.



MKb1, Smidie.



SF3, Strandby-Farsø.



SH2, Helberskov.



MSg3, Gundersted.



MBb1, Arden.



MLb5, St. Brøndum.



SRo1, Rold Skov.



SS5, Sønderkov.



SRo3, Rold Skov.

