

AKADEMIET FOR DE TEKNISKE VIDENSKABER

GEOTEKNISK INSTITUT

THE DANISH GEOTECHNICAL INSTITUTE

BULLETIN No. 5

ELLEN LOUISE MERTZ

BIDRAG TIL DANMARKS INGENIØRGEOLOGI

**A CONTRIBUTION TO
THE ENGINEERING GEOLOGY OF DENMARK**

COPENHAGEN 1959

AKADEMIET FOR DE TEKNISKE VIDENSKABER

GEOTEKNISK INSTITUT

THE DANISH GEOTECHNICAL INSTITUTE

BULLETIN No. 5

ELLEN LOUISE MERTZ

BIDRAG TIL DANMARKS INGENIØRGEOLOGI

A CONTRIBUTION TO
THE ENGINEERING GEOLOGY OF DENMARK

COPENHAGEN 1959

Indhold

Forord	5
Indledning	7
Jordartsgeologi	7
Jordarternes klassifikation	8
Kornfraktioner	8
Fraktionernes kendetegn	8
Jordarternes kornkurver	9
Plasticitet	10
Sensitivitet	11
Andre kendetegn	12
Jordarternes farve	12
Jordarternes lugt	12
Jordarternes indhold af fremmede bestanddele	12
Jordarternes rumvægt	12
De vigtigste jordartstyper	12
Rene mineraljordarter	12
Sedimenter	12
Usorterede jordarter	13
Organiske jordarter	13
Historisk geologi	14
Dybgrunden	15
Kridt- og kalkaflejringer	15
Tertiære aflejringer	15
Overgrunden	16
Istidens aflejringer	16
Senglaciale aflejringer	16
Postglaciale aflejringer	17
Geologiens anvendelse ved geotekniske undersøgelser	19
Fyldlaget	19
Søer og moser	19
Marine aflejringer	20
Senglacial nedskyjsjord	20
Senglaciale smeltevandssedimenter	20
Istidsaflejringer	20
Dybgrunden	21
Karakteristiske jordbundsforhold i Danmark	22
Sjælland	23
Møn og Lolland-Falster	24
Fyn	24
Jylland	24
Det jyske fjordområde	24
De jyske hedesletter	25
Vendsyssel	25
De geologiske forsøgsresultaters fremstilling	26
Litteratur	28
English summary	28

Forord

Denne bulletin er skrevet som et ingeniørgeologisk supplement til professorerne H. Lundgren og J. Brinch Hansens i 1958 udgivne lærebog »Geoteknik«, og stoffet er meddelt i en så let tilgængelig form som muligt for også at gøre det anvendeligt for interesserede uden for specialisternes kreds.

Til trods for, at der for alle geotekniske problemers vedkommende må henvises til »Geoteknik«, har en overgribning til dennes stof dog hist og her været uundgåelig, og for ingeniørmæssig bistand på disse områder samt for megen anden hjælp bringer jeg hermed afdelingsingeniør ved Geoteknisk Institut, F. Lange, min hjertelige tak.

Ligeledes takker jeg fru Else Thorsen for altid beredvillig assistance ved renskrivning af manuskriptet og civilingeniør Hugo Pedersen for tegning af profiler og skitser.

ELLEN LOUISE MERTZ

Indledning

I »Statens järnvägers geotekniska Kommission 1914–1922. Slutbetänkande«, Skandinaviens første geotekniske publikation, stod at læse: »Det är tydligt, att den geotekniska institutionen föratt på effektivt sätt kunna fylla sina olikartade och sammensatta uppgifter måste inom sig äga tillgång till såväl teknisk som geologisk fackkunnskap . . . en oavlåtlig kombination mellan tekniska och geologiska synpunkter är oundgängligen behövlig«.

Ifølge ovenstående er det fristende at definere »geo-

teknik« som: samarbejdet mellem geologi og teknik, men fuldt korrekt er en sådan tydning af ordet ikke, da det nutildags faktisk dækker begrebet »soil mechanics«, som kun rummer den tekniske komponent.

Men, med eller uden støtte i navnet har geoteknikken i Danmark holdt sig det svenske synspunkt efterretteligt, idet den stedse har knyttet såvel jordartsgeologien som den historiske geologi til sine undersøgelser, og det er disse geologiske hjælpediscipliner, der vil blive behandlet i de følgende kapitler.

Jordartsgeologi

Jordartsgeologien burde egentlig kaldes »jordarts-lære«, thi den er et fælles arbejdsområde for geologi og geoteknik, idet undersøgelsen af jordarternes faste mineralstoffer, deres oprindelse, deres alder, deres indhold af fremmede bestanddele o.s.v. især vender mod geologien, medens bestemmelsen af jordens konsistens på en bestemt lokalitet og de deraf afhængige fysiske egenskaber er af mere teknisk natur.

Jordartsgeologien er på een gang enklere og mere kompliceret i Danmark end i vore nabolande, thi ganske vist har vi kun bjerggrundsproblemer i enkelte tilfælde på Bornholm, men de danske jordarters mangfoldighed komplicerer til gengæld problemerne herhjemme. (Da tendensen til at samle alle aflejringer under betegnelsen »bjergarter« er upraktisk i geoteknikken, fordi den let hos ikke-sagkyndige kan føre til falske forestillinger om byggegrubens fasthed, vil der i dette skrift blive skelnet mellem »bjergarter« og »jordarter«).

For mange teknikere er det uvant at skulle tage geologiske forhold med i betragtning i deres praktiske arbejde, og derfor møder man ret ofte — i strid med al geologisk oplæring — den opfattelse, at Danmark altid har haft og altid vil beholde så nogenlunde sine nuværende konturer, at Jylland, Øerne, Bælterne og Sundene altid har eksisteret, med andre ord, at kystlinien ligger fast; men sådan forholder det sig jo ikke. Næsten alle jordens egne har svinget adskil-

lige gange fra fastland til dybhav og til fastland igen på grund af de fysiske love, som vor klode har været underkastet i de hundreder af millioner år, den har eksisteret. Klimaet har vekslet fra tropisk varme til arktisk kulde, isbræer har dækket områder, der før var rige på dyre- og planteliv o.s.v.

Det er denne skiften mellem land og hav, der betinger jordlagenes dannelse. Gennem elementernes påvirkning foregår der på landjorden en stadig nedbrydning af bjergarterne: det rindende vand, vinden og frosten gør deres arbejde, og nedbrydningsmaterialet føres af vandløbene ud i havet (floden Mississippi transporterer alene i vore dage årlig 400 millioner tons slam).

I kystzonen, hvor strømmen er stærk, aflejres kun sten og grus, på grundt vand synker sandet tilbunds, på ret stille vand aflejres silt (se p. 8) og endelig sedimenteres lersubstansen helt ude på de store, rolige havdybder, hvor også det fineste kalkslam synker tilbunds.

Hvis vandet piskes op af storme, eller hvis vanddybden formindskes gennem landhævning, dækkes de finkornede jordarter af grovere sedimenter; under stille perioder og under landsænkning er det modsatte tilfældet.

Bringer landhævningen en sådan sedimentserie op over strandlinien, begynder de nedbrydende elementer straks deres værk.

Hvad der her er sagt om de marine sedimenter gælder også de jordlag, der aflejres i selve vandløbene på land samt i søer og vandhuller. Så snart det drejer sig om vandsorterede jordarter (i dette skrift kaldet *sedimenter*), får vi at gøre med sorteret materiale, ordnet i lag ofte med udpræget *sortering* (d.v.s. enskornethed) inden for selve laget, samt med knivskarpe grænser mod lag af anden kornstørrelse.

I relativt varme perioder fyldes land og vand med *organisk* liv, plante- og dyrerester blandes med mineralslammet i søer og fjorde, og tørve- og dyndaflejringer bliver resultatet. I relativt kolde perioder med nedsat organisk liv dominerer mineralstoffet aflejringerne, og under istider er det næsten eneherkende.

Til dannelsen af sedimenter kræves altså vandstrømme og bassiner, hvis størrelse kan variere fra et vandhul til et verdenshav. På selve landjorden finder der under normale forhold stort set ingen aflejring sted, kun nedbrydning af allerede eksisterende jord. Hele tendensen går således i retning af en udjævning af jorderverfladens relief.

Men indtræffer der en istid, opstår der et helt andet kompleks af jordarter – i dette tilfælde fortrinsvis på landjorden – nemlig de regelløst sammenblandede *morænejordarter*, der består dels af det materiale,

der er faldet ned på bræen fra de dalsider, som den passerer på sin vej, dels af de jordmasser, som hølves op fra undergrunden, når gletcheren som en kæmpe-plov baner sig vej fremover.

En sådan bræ kan skyde sig hundreder af kilometer bort fra sit hjemsted, men når klimaet bliver mildere, er dens ydergrænse nået, og afsmeltningen begynder. Under denne afsmeltning efterlades bræmaterialet i kaotisk blanding og danner et morænedække, der består af *usorterede* blandinger af næsten alle kornstørrelser fra blokke til lerpartikler.

Under indlandsisens afsmeltning og – omend i mindre grad – også under dens fremrykning er der store vandstrømme med i spillet, dels som smeltevandfloder under iskappen, dels som vandstrømme, der fra isranden strømmer ud over forlandet og dækker dette med sine slammasser. Vi møder da her en ny form for vandsorteret jordmateriale, *smeltevandsaflejringerne*, der i teknisk henseende ganske svarer til de tidligere nævnte sedimenter, idet de er grovest nærmest isranden og derefter aftager i kornstørrelse, jo længere borte fra denne de sedimenteres, således at silten og lersubstansen afsættes langt ude i forlandet i bassiner med roligt vand.

Jordarternes klassifikation

For at holde rede på hele det kompleks af jordarter, fede og magre, sorterede og sammenblandede, som naturen har givet geoteknikerne som arbejdsgrundlag, har det været nødvendigt at finde frem til en jordartsklassifikation eller rettere til en række klassifikationsmåder, der kan supplere hverandre, idet ingen enkelt inddeling har vist sig tilstrækkelig til formålet.

Kornfraktioner

Da en jordarts hele habitus er stærkt afhængig af dens kornstørrelse, har man i geoteknikken valgt fortrinsvis at inddele jordarterne på dette grundlag, hvorved man jo følger den af naturens vandstrømme anvendte metode.

En kornstørrelse angives ved et enkelt tal: kornets diameter. Da kornene imidlertid kan have overordentlig uregelmæssig form, har man måttet vedtage, hvordan denne diameter skal måles. For grovere korn (over 0,06 mm) sker dette ved en sigtning, og kornets diameter angives da som maskevidden i den fineste sigte, kornet kan passere.

For korn under 0,06 mm er det nødvendigt at anvende sedimentation, og kornstørrelsen defineres da som diameteren af den kugle, der har samme synkingshastighed.

På grundlag af ovennævnte bestemmelser grupperes kornene i *fraktioner*. Følgende inddeling benyttes fortrinsvis i den geotekniske litteratur og bl.a. ved Geoteknisk Institut.

Tabel 1

Sten og blokke	over	20	mm
Grusfraktion	20	–	2,0 mm
Sandfraktion	2,0	–	0,06 mm
Groft sand	2,0	–	0,6 mm
Middel sand	0,6	–	0,2 mm
Fint sand (Grovmø)	0,2	–	0,06 mm
Siltfraktion	0,06	–	0,002 mm
Grovsilt (Finmø) ...	0,06	–	0,02 mm
Finsilt (Mjæla)	0,02	–	0,002 mm
Lerfraktion	under	0,002	mm

I parentes er anført de betegnelser, som endnu bruges mange steder, og som man derfor kan møde i geoteknisk og geologisk litteratur. Inddelingen: grus-, sand-, *mo-*, *mjæla-* og lerfraktion gennemfører som hovedgrundlag 2-tallet, hvilket er meget overskueligt, men da sedimenterne i henhold til fysiske egenskaber ikke følger dette system tilfredsstillende (det er særlig grænsen 0,2 mm, der er uegnet som hovedgrænse), har inddelingen: grus-, sand-, *silt-* og lerfraktion visse fordele, selvom den heller ikke er fuldkommen.

Fraktionernes kendetegn

Korn over 0,06 mm: Sten-, grus- og sandfraktionerne

Sten og grus er så velkendt materiale, og fraktionsgrænserne for dem falder så nøje sammen med de grænser, som menigmand sætter for disse betegnelser, at kommentarer er unødvendige.

For *sand (2,0–0,06 mm)* gælder samme sag; ikke

mindst den nedre grænse for denne fraktion er overordentlig velvalgt, *thi helt ned til denne kan de enkelte korn skelnes med det blotte øje* og føles skarpe for hånden samt, naturligvis, knasende for tanden. (Der findes ikke noget bedre middel til at lære jord at kende end simpelthen at tygge den).

I fugtig tilstand kan kornene klæbe let sammen på grund af kapillarspændinger, men i tør tilstand er hele sandfraktionen fuldkommen »løs« (det fineste sand minder om flormelis).

Korn mellem 0,06 og 0,002 mm: Siltfraktionen

Grovsilt (0,06–0,02 mm) har karakter af pudder eller mel (fraktionen kaldtes tidligere ofte mel-sand); substansen føles fløjlsblød for hånden, knaser dog ganske let for tanden, *de enkelte korn kan ikke skelnes med det blotte øje*. I fugtig tilstand er der en vis adhæsion mellem kornene, der dog kan forskydes ret let indbyrdes, og grovsilten besidder, omend i mindre grad, den såkaldte »harmonikastruktur«, der viser sig ved, at en pølse af den våde grovsilt kan trækkes ud og ind som en harmonika eller som en blød elastik. Harmonikastrukturen opstår, fordi adhæsionen mellem kornene er ringe, og vandet kan bevæge sig ret hurtigt i siltens porer: i grovsilten er den dog endnu ret svag. Under bevægelsen trænger vandet hurtigt ud på jordpølsens overflade.

Den omtalte, svage harmonikastruktur med hurtig vandudtræden er et godt kendetegn på grovsilt. Et andet er dens støvliggende konsistens i tør tilstand: gnider man hænderne ind i våd grovsilt, tørrer de hurtigt, og grovsilten kan let gnides af som støvfint mel.

Finsilt (0,02–0,002 mm) er i besiddelse af grovsiltens egenskaber blot i forstærket grad: den føles også fløjlsblød for hånden, men *knaser ikke for tanden*, hvor den let deles til en melagtig substans. I våd tilstand bliver den kitagtig, ret klæbende og med udpræget »harmonikastruktur«, men i modsætning til grovsilten varer det noget, inden vandet træder ud på klumpens overflade, og indtil dette sker, beholder silten sin karakteristiske matte farve, der minder om elefanthudens.

Også finsilt er let at skylle af hænderne med rindende vand.

Hele siltfraktionen bestemmes ved sedimentation; grovsilten bundfældes inden for 15 minutter i en 30 cm høj væskesøjle, hvorimod finsilten kræver fra 15 minutter til 24 timer.

Siltfraktionen er meget følsom overfor vand og ændrer konsistens fra fast til flydende ved blot en ringe forøgelse af vandindholdet.

Korn under 0,002 mm: Lerfraktionen

Den rene lerfraktion danner i tør tilstand en hård masse, der er vanskelig at ridse med en negl. Den har blankt skærebred, *er i fugtig tilstand formbar* og

overordentlig klæbende ved tilstrækkeligt vandindhold. Den knaser ikke for tanden og er svær at tygge. *Harmonikastruktur eksisterer ikke*, da kornene tiltrækker hinanden stærkt, og vandet kun med største besvær bevæger sig i lerfraktionens fine porennet. En våd lerklump er vanskelig at tørre, en tør svær at opalte med vand. *Alle porevandsbevægelser og deraf afhængige processer foregår med største langsomhed i lerfraktionen.*

Den rene, »fede« lerfraktion er let at kende og vil formentlig aldrig forårsage fejltagelser. Den afvaskes kun med vanskelighed af hånden selv ved brug af varmt vand.

I laboratoriet bestemmes fraktionen ved sedimentation, idet den kræver mindst 24 timers henstand ved 30 cm væskesøjle.

Det er ofte meget vanskeligt at få prøven i enkeltstruktur, *hvorfor slæmningen kan give helt vildledende resultater, hvis den ikke udføres meget omhyggeligt*. En fejlkilde finder man i lersubstansens tendens til at koagulere under forsøget selv ved brug af destilleret vand; dette skyldes bl.a. tilstedeværelsen af salte i leret, der frembringer elektrolyse i slamsøjlen. Ulempen modarbejdes ved behandling med en peptikator af passende styrkegrad.

Jordarternes kornkurver

Resultatet af sigtning og slæmning af en jordprøve fremstilles i almindelighed ved hjælp af kornkurver som vist på fig. 1, hvor ordinaten til hvert kurvepunkt udtrykker den vægtprocent af prøvens tørsubstans, som ligger under den kornstørrelse, der udtrykkes ved punktets abscisse.

Mellem korngrænserne 2–0,002 mm giver kornkurven et godt udtryk for en nogenlunde sorteret jordarts karakter, og ved hjælp af grovere sigter kan kurven efter behag forlænges ud over 2 mm, så langt det måtte ønskes.

Det vil let indses, at jo mere velsortet (enskornet) en jordprøve er, jo stejlere bliver dens kornkurve, og hvis man får forelagt en kurve som 1 a, har man næppe svært ved at forestille sig den tilsvarende jordart: den er en grovsilt med alle denne fraktions kendetegn, idet dens lille indhold af fint sand nogenlunde opvejes af dens noget mindre indhold af finsilt.

På samme måde går det med kurve 1 b: den viser en jordprøve bestående af grusholdigt, groft sand og har samme egenskaber som dens talmæssigt største korngruppe.

Men allerede ved kurve 1 c bliver det sværere at forestille sig jordarten: efter kornfordelingen at dømme ville man umiddelbart tænke sig, at jorden skulle betegnes som »fint sand«, fordi den indeholder 65 % af denne fraktion, men jordarten har udpræget »harmonikastruktur« og dækker også på anden måde begrebet *silt*, skønt dens indhold af denne fraktion kun beløber sig til ca. 30 %.

Og hvilket billede vil en iagttager, der er uøvet i at bedømme kornkurver, danne sig af den jordart, der har kornkurven 1 d? Hvilke fysiske egenskaber vil han

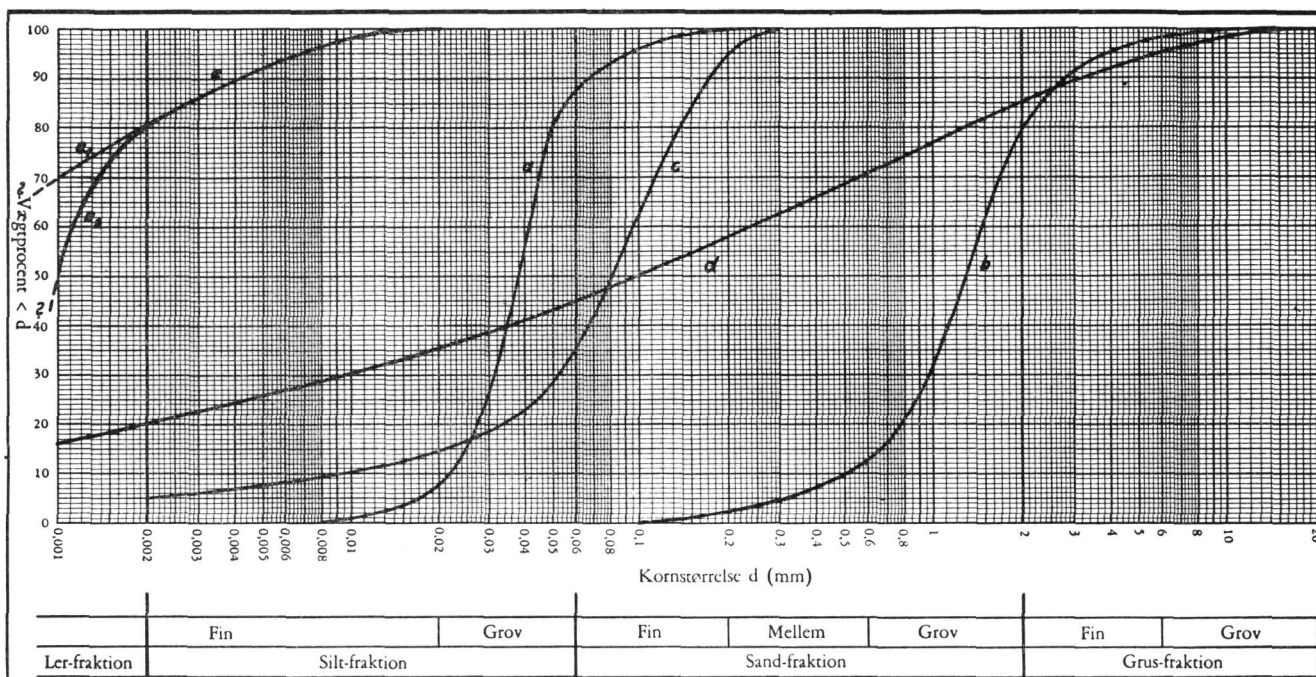


Fig. 1. Forskellige kornkurver.

- | | |
|----------------------------|---|
| a. grovsilt (velsorteret) | d. sandet moræneler |
| b. grusholdigt, groft sand | e ₁ . siltholdigt, fedt ler |
| c. finsandrig silt | e ₂ . siltholdigt, meget fedt ler. |

tillægge prøven, og hvad vil han kalde jorden? Rent umiddelbart ville man jo tænke sig, at denne jordprøve med sine ca. 55 % sand skulle anbringes i sandgruppen, men det skal den ikke, thi med sine 20 % lerfraktion er den faktisk en lerart (sandet moræneler), bl.a. i besiddelse af lerets fornemste egenskab: plasticitet indenfor visse vandprocenter.

Men andre ord, kornkurven skal »oversættes«, thi jo mere finkornet en fraktion er, jo mindre behøver dens procenttal at være for at få indflydelse på jordens egenskaber. I de tilfælde, hvor en jordart bliver bedømt alene ud fra sin kornkurve, kan dette forhold berede store vanskeligheder, særlig for jordarter med flade kurver (moræneaflejringer).

For år tilbage havde således et firma anlagt sag mod en bygherre, fordi man påstod sig vildledt af de jordartsbetegnelser, man havde fået opgivet. Jordarten var kaldt sandet ler (moræneler), og firmaet mente at have truffet leret sand i stedet.

Kornkurven var den ovenfor anførte 1 d, og jordarten havde som nævnt udprægede leregenskaber; men det var kun med største overvindelse, at dommeren bøjede sig for den sagkyndiges udsagn, idet han hævdede, at »enhver kunne se på den kurve, at jordarten var en sandaflejring«.

Den her omtalte ulempe formindskes dog, efterhånden som man får øvelse i at tyde kornkurven; men denne har en anden svaghed, som ikke lader sig overvinde, nemlig at kurvens forløb under 0,002 (evt. 0,001) mm grænsen praktisk taget er ukendt; (dette skyldes bl.a. vanskeligheden ved at sedimentere korn med mindre diameter under almindelige laboratorieforhold, idet forsøget kræver rum med konstant temperatur og uden mulighed for rystelser). Kornkurven

siger derfor intet om, at to lerarter, der har sammenfaldende kurve over 0,002 mm-grænsen (1 e), men hvor den ene burde fortsætte langs e₁ og den anden langs e₂, må være i besiddelse af helt forskellige fysiske egenskaber.

Et eksempel på betydningen af selve lersubstansens finhedsgrad i en jordprøve har man i en forsøgsrække, der i sin tid blev foretaget over den tilladelige lerprocent i støbesand. Det viste sig, at der var stor forskel på det lerindhold, der kunne tillades, hvis lersubstansens korn lå lige under 0,002 mm, og hvis de var af større finhedsgrad (sidstnævnte substans opnåedes ved først at tappe slæmmecylinderen efter 18 døgn henstand).

Plasticitet

De rene kornfraktioners egenskaber kan nogenlunde uændrede overføres til de naturlige, velsorterede sedimentter. Derimod kæmper næsten samtlige fraktions typer om at være bestemmende for de usorterede jordarters karakter, og det kan ofte være vanskeligt at afgøre, om man skal kalde en prøve: meget sandet moræneler eller lerrigt morænesand.

Ved enhver jordartsbedømmelse må man først og fremmest erindre, at selv det bedst sorterede, naturlige sediment aldrig har alle sine korn liggende inden for en fraktion, og at lerfraktionen har relativt større betydning, end lerprocenten viser; dertil kommer så usikkerheden med hensyn til lersubstansens virkelige kornstørrelse, da kornkurven jo som nævnt kun udtrykker, at man har så og så mange procent af prøven liggende under 0,002 mm.

Det er bl.a. de her anførte årsager, der bevirker, at man ikke kan fastlægge grænsen mellem sandjordarter

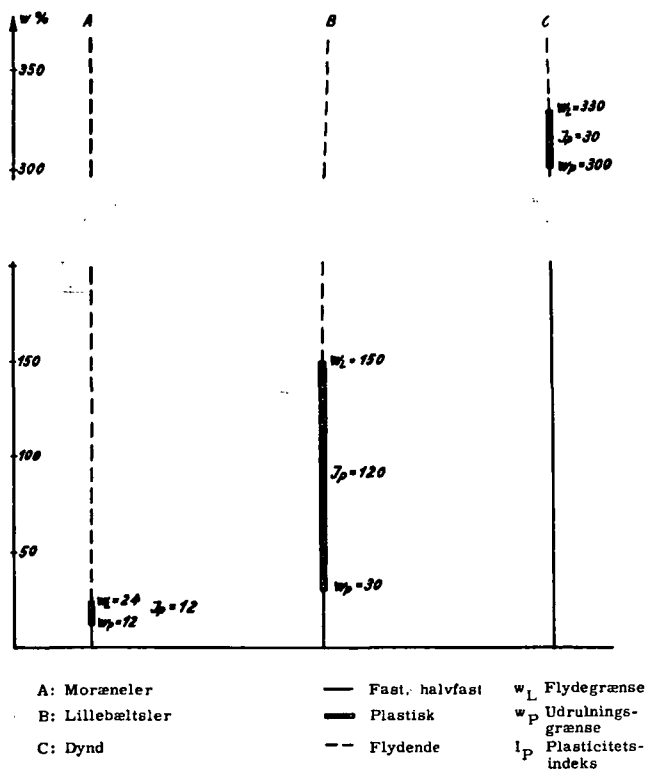


Fig. 2. Konsistensgrænser.

og lerjorder ved en bestemt lerprocent, og man har derfor i jordartsgeologien valgt at lade plasticiteten (formbarheden) hos en fugtig jordart være af afgørende betydning for denne grænse, idet man kræver, at en jordart for at opnå betegnelsen »ler« skal være formbar indenfor et vist vandprocentområde, der – som det vil ses af fig. 2 – varierer overordentligt i størrelse og beliggenhed på vandprocent skalaen fra det magreste til det fedeste ler.

Lerets plastiske egenskaber er afhængige af dets vandbindingsevne, idet fine korn binder mere vand end grove, og lader sig måske bedst forklare ved at følge et lersediment fra »fødslen« til fuldkommen konsolidering.

Når lersubstans sedimenteres, sker det i form af vandfyldt slam. Efterhånden som laget vokser i mægtighed, bliver aflejringen presset mere og mere sammen, således at dens store vandindhold gradvis formindskes.

Oprindelig har slammassen flydende konsistens, men efterhånden som vandudpresningen skrider frem, stiger viscositeten, og ved et vist vandindhold, forskelligt for hver lerart, overgår slammet fra flydende til plastisk tilstand, d.v.s. det bliver formbart og beholder formen også efter deformationskraftens ophør.

Grænsen mellem de to tilstandsformer, der er karakteriseret ved det pågældende vandindhold, kaldes flydegrænsen. Den kan bestemmes i laboratoriet i et dertil standardiseret apparat, Casagrandes slag-apparat.

Ved fortsat vandudpresning passerer lersubstansen gennem sit plastiske interval og overgår ved dettes undergrænse, den nedre plasticitetsgrænse, udrulningsgrænsen, til »halvfast« tilstand, i hvilken leret endnu indeholder porevand, men er usmidigt og sprækket. Udrulningsgrænsen er defineret som den vandmængde,

leret indeholder, når det, uden at briste, netop lader sig udrulle til 3 mm tykke tråde. (For fede lerarter er denne grænse meget svær at ramme og det ville være ønskeligt, om metoden kunne erstattes med en bedre).

Plasticitetsindekset, der udtrykker differencen mellem en jordarts vandindhold ved flydegrænsen og ved den nedre plasticitetsgrænse (udrulningsgrænsen), giver – sammenholdt med dette intervals beliggenhed på vandprocent skalaen – et godt samlet udtryk for jordartens finhedsgrad; det vokser med aftagende kornstørrelse, samtidig med at det forskydes opefter på skalaen, jo federe leret er (se fig. 2). Det siger ganske vist ikke direkte noget om jordartens naturlige vandprocent, men vandindholdet ved udrulningsgrænsen giver dog erfaringsmæssigt et vist udtryk for størrelsesordenen af denne, hvilket med fordel kan erindres, hvis man kun har udtørret prøvemateriale til rådighed.

Plasticitetsindekset er 0 for alle sandjordarter; forsvindende lille i grovsilt og kun ganske få procent i finsilt. Derimod ligger det over 8 selv i meget sandet ler og over 100 i vore fedeste lerarter.

Det ovenfor sagte gælder de rene mineraljordarter. Hvis en jordart indeholder organisk stof, skubbes plasticitetsindekset på grund af det organiske stofs store vandbindingsevne væsentligt opefter på skalaen uden dog derfor at forhøjes.

Af de to lerarter med de på fig. 1 e viste kornkurver havde jordart e_1 plasticitetsindekset 80, jordart e_2 derimod kun ca. 60, og hermed fik man således den supplerende oplysning til kornkurverne, som tiltrængtes for bedømmelsen af forskellen i lersubstansens finhedsgrad i de to prøver.

På en enkelt dansk lokalitet ved Hadsten fandt man en lerartstype med plasticitetsindeks over 300. Det viste sig, at leret indeholdt særligt vandbindende lerminerale, og fundet synes at være enestående her i landet.

Det vil fremgå af fig. 2, at en lerarts naturlige vandprocent ikke giver noget bedømmelsesgrundlag for dens styrke, hvis dens plasticitetsgrænser ikke samtidig er kendt. F. eks. har meget sandet ler med et vandindhold på ca. 25 % flydende konsistens, hvorimod meget fedt ler med samme vandprocent ikke en gang er formbart, men halvstift og sprækket.

Plasticitetsindekset har ganske vist mere jordartsgeologisk end teknisk interesse, men det er relativt hurtigt at skaffe til veje og nyttigt at kende, fordi man derved kan identificere et jordlag fra boring til boring og danne sig et skøn over dets indhold af organisk stof.

Sensitivitet

Plasticitetsindekset må i laboratoriet ifølge sin natur bestemmes på æltede jordprøver; men ved de fleste andre geotekniske bestemmelser er det nødvendigt, at jordarten er så intakt som vel mulig, idet en omrøring af en jordprøve har forskellig virkning på de forskellige jordarter; ja endog på een og samme jordart, hvis den foretages ved forskellige vandindhold.

Forholdet mellem den intakte og den æltede jordprøves forskydningsstyrke, sensitiviteten, ligger for lerarter i almindelighed omkring 2–3, men kan f. eks. i siltrig jord stige til 6–8, og i de såkaldte »kviklerarter«,

som ikke forekommer i Danmark, men som fremkalder store skredkatastrofer i vore nabolande (se »Geoteknik«, p. 58), kan sensitiviteten nå op over 500.

Andre kendetegn

Til en skønsmæssig bedømmelse af jordarter har man foruden de omtalte egenskaber følgende hjælpemidler:

Jordarternes farve

De jordarter, der indeholder organisk stof, er oftest brune, sortgrå eller sorte. De forvitrede mineraljordarter (der er blevet svækket ved iltning, udvaskning, frostsprængning m.m.) er grågule, gulbrune eller rødbrune. Hvis en jordart underlejrer en dyndholdig aflejring, bliver dens farve ejendommelig grønliggrå og må ikke forveksles med den uforvitrede jords rene, grå farvetone. Jordarter, der er rige på kalkslam, har ofte en hvidgrå farve. I daglig tale kaldes forvitret ler ofte »rødder« og uforvitret ler »blåler«.

Jordarternes lugt

Jordarter, rige på tørv eller dynd, kan have en ubehagelig lugt (til tider stank), der leder tanken hen på tørvverøg eller kloakslam.

Jordarternes indhold af fremmede bestanddele

Hvis en jordart indeholder skaller eller planterester, er der store chancer for, at den er ganske ung (og derfor næppe forkonsolideret).

Med hensyn til stenindholdet, da har jordarterne kunnet hente kalk og flint fra de danske kalkaflejringer, kvarts og glimmer fra den danske, tertiære dybgrund (se den historiske geologi p. 14), hvorimod granitsten, gnejser og andre skandinaviske stenarter er kommet hertil med isen. Fund af sådanne sten i en jordart viser derfor, at laget stammer fra istiden eller fra tiden efter denne.

Jordarternes rumvægt

Jordarter, der indeholder organisk stof, er lettere end normale mineraljorder. Derved er det muligt at identificere f. eks. tilstedeværelsen af *gytje*-substans (hvorved forstås animalsk dynd, hovedsagelig bestående af mikroskopiske smådyrs ekskrementer), hvilket ellers ville være vanskeligt, da denne substans ikke altid har dyndets farve eller lugt, men dog tilhører samme for geotekniske opgaver farlige jordartsklasse.

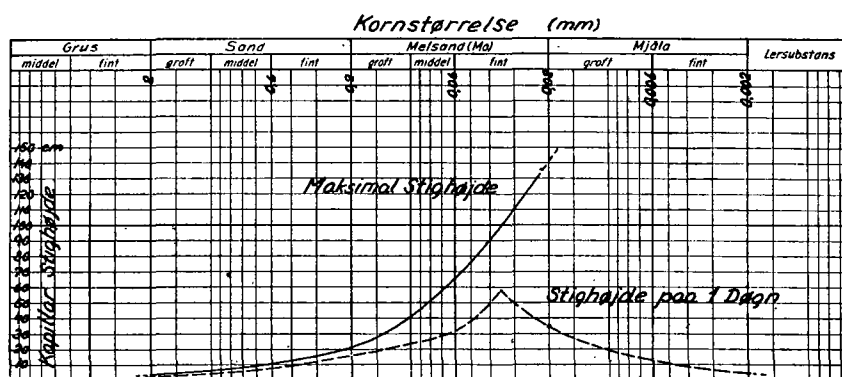


Fig. 3. Kurver for kapillaritet samt kapillær stighøjde for et døgn (efter G. Ekstrøm).

De vigtigste jordartstyper

I. Rene mineraljordarter

A. Sedimenter

- Sten, grus og sand* er friktionsjordarter med stor permeabilitet på grund af det grove porennet, der tillige bevirker, at vandudpresning foregår overordentlig hurtigt ved forøget belastning. Jordartsgruppen rummer ingen opfrysningsfare. Plasticitetsindekset er 0; grænsen mod siltjordarterne er i henhold til fysiske egenskaber særdeles skarp.
- Siltsedimenterne* er ligeledes friktionsjordarter, dog danner finsiltten i denne som i alle andre henseender overgang til lerarterne. Permeabiliteten er kendeligt ringere end for sand og grus, og stærkt aftagende indenfor selve gruppen. Den kapillære stighøjde er relativt stor, og vandopsugningen relativt hurtig, hvorfor siltjordarterne er særdeles opfrysningsfarlige (se fig. 3). Da plasticitetsindekset

er meget lille og sensitiviteten meget høj, danner de lette, kohæsiøsløse siltjordarter villigt flyde- og skredjord. Konsolideringen af siltjordarter foregår som regel for hurtigt til at give alvorlige sætningsproblemer. Siltaflejringer er ikke særlig velkendte, da de i almindelighed kun forekommer som underordnede lag i mere dominerende sedimentserier, men i så fald ofte særdeles vel-sorterede. Bliver de lidt finsandblandet, er man tilbøjelig til at kalde dem for »meget fint sand«, hvor de derimod er lerede, får de ofte navnet »klæg«. På grund af deres vanskelige geotekniske egenskaber, gør geoteknikeren bedst i at prøve at lære deres specielle kendetegn: *Harmonikastruktur i fugtig tilstand, melet konsistens i tør tilstand.*

- Lersedimenterne* er kohæsiøsløse jordarter med så ringe permeabilitet, at jorden snarest må kaldes vandstandsende. Den kapillære stighøjde er overor-

dentlig stor, men vandopsugningen sker så langsomt gennem de fine porer, at ler kun under ugunstige forhold (såsom lange frostperioder og højt grundvandspejl) er opfrysningssfarlig. Plasticitetsindekset kan variere fra ca. 10 til over 100; da sensitiviteten kun er ca. 2–4, er lerarterne ikke så flyde- og skredfarlige som siltsedimenterne; derimod giver leret ofte langt større sætningsproblemer, dels fordi de endelige sætninger er større, dels fordi vandudpresningen sker så langsomt, at sætningerne kan fortsætte mange år efter bygværkets opførelse. *Kendetegn: Formbarhed (plasticitet) i fugtig tilstand, blankt skærebred og hård konsistens i tør tilstand.*

B. Usorterede jordarter (morænemateriale)

- a. *Morænegrus og morænesand* er lerholdige blandinger af sten, grus og sand, i hvilke henholdsvis grus- eller sandfraktionen dominerer såvel i henhold til vægt som til fysiske egenskaber. Hvis lerindholdet er ringe, slutter begge jordartstyper sig i det store og hele i henhold til fysiske egenskaber til den tilsvarende sedimentgruppe, hvorimod lerigt morænesand (-grus) danner kontinuerlig overgang til moræneler.
- b. *Moræneler.* Denne betegnelse dækker vidt forskellige lerarter, der kun har det fælles, at de er iblandet større eller mindre mængder af silt, sand, grus og sten, samt at de til trods for dette indhold af grove bestanddele er *formbare* indenfor visse vandprocenter. Det magreste moræneler har et indhold af kolloidal lersubstans på kun ca. 20 % og et plasticitetsinterval, der ligger i vandprocentområdet ca. 10–ca. 20, altså med et plasticitetsindeks på ca. 10. At nævne de tilsvarende cifre for fedt moræneler er meget vanskeligt, da morænen kan være iblandet ældre, måske højkolloidale lerarter, hvorved aflejringernes karakter af bræmestof kun viser sig ved det fede lersediments indhold af sten og grus, mens det iøvrigt har sit oprindelige høje lerindhold og plasticitetsindeks i behold. Findes slige opæltede, ældre aflejringer som næsten rene, løse flager i morænen, kaldes denne en *lokalmoræne* af den gamle dannelses. Sådanne lokalmoræner af »plastisk« ler eller kridt er oftest geoteknisk set af ringere kvalitet end normalt moræneler.

Det vil fremgå af ovenstående, at i geoteknisk henseende slår den geologiske betegnelse »moræneler« ikke til, hvorfor man ved jordartsbedømmelsen må beskrive leret nøjere. Således ville det på fig. 1, ved kurve d afbildede moræneler ved den skønmæssige bedømmelse blive beskrevet som: Moræneler, sandet, ret siltholdigt. Moræneler har lergruppens fysiske egenskaber, men ikke i samme grad som de velsorterede sedimentter, idet det indblandede sand og grus giver et uensartet pore-

net. Bedømmelsen af morænelers geotekniske egenskaber vanskeliggøres i det hele taget af jordartens sammenblandede karakter; dog har man et vist holdepunkt i lerets fasthed i forhold til den naturlige vandprocent. Hvis f. eks. en morænelersprøve, der må betegnes som »meget fast«, har et naturligt vandindhold på ca. 20 %, må den enten indeholde relativt megen lersubstans, eller dens lersubstans må være meget finkornet (f. eks. stamme fra »plastisk ler«); men hvis en mindre fast morænelersprøve har samme vandindhold, er dens lerindhold enten mindre eller ligger nærmere den øvre grænse for lerfraktionen.

Grænsen mellem morænesand og moræneler er vanskelig at erkende, og kornkurven hjælper ikke stort, thi lersubstansens finhedsgrad og mængdeforholdet mellem de iblandede, grovere kornfraktioner betyder fuldt så meget som selve lerprocentens størrelse.

Uanset om en boring viser et meget stenfattigt morænemateriale, må man altid regne med at træffe sten i moræneler, ligesom man i det hele taget må erindre, at en moræneaflejring ifølge sin oprindelse er en regelløs blanding af fraktioner og derfor kan veksle fra meter til meter såvel horisontalt som vertikalt. Geologisk set var det derfor helt meningsløst, at der for år tilbage blev ført en retssag om ulemper foranlediget af sten i en byggegrube på grundlag af sagsøgerens påstand om, at sten ikke var at forvente, når jorden var betegnet som moræneler. Nævnte sag har dog bevirket, at det må anbefales altid ved beskrivelse af geotekniske boreprofiler at knytte definitionen: usorteret, sandet, stenet istidsler til »moræneler«.

II. Organiske jordarter

Uanset om jordarter består af tørv, dynd eller gytje, gælder for organisk stof som for lersubstans: at selv et ringe indhold deraf har stor virkning på en jordarts fysiske egenskaber.

Således giver blot få procent organisk stof en stærk forøgelse af en mineraljords vandprocent, og tørve- og dyndrig jord kan indeholde over 500 % vand.

Iøvrigt er de fysiske egenskaber noget uklare i denne jordartsgruppe, idet meget bl.a. afhænger af de organiske bestanddeles art.

Hvis man ved geotekniske jordbundsundersøgelser arbejdede med en så god økonomi, at samtlige optagne jordprøver kunne blive underkastet laboratorieforsøg, så var den skønmæssige, geologiske undersøgelse af prøvematerialet af underordnet betydning. Men da dette ikke er tilfældet (en stor byggegrundsundersøgelse kan undertiden omfatte omkring 1000 prøver), gør nævnte forundersøgelse god nytte, idet den formår at opdele prøvematerialet i jordartsgrupper, for hvilke man derefter kan udvælge repræsentative prøver til videre undersøgelse i laboratoriet.

Historisk geologi

For friktionsmaterialerne (grus og sand) er det af stor betydning at kunne vurdere en prøves kornform, kornstørrelse og gradering, idet disse forhold øver stor indflydelse på materialets friktionsvinkel. For lerarter og tildels for silt er derimod finhedsgraden af langt mindre interesse end f. eks. aflejringens konsolideringstilstand; men for at få et begreb om sidstnævnte må man kende lokalitetens geologiske historie: dens alder og dens mulighed for at have været forbelastet f. eks. af en indlandsis.

Men den almindelige historiske geologi har også andre opgaver inden for geoteknikken end gennem sin aldersbestemmelse af jordarterne at vejlede ved bedøm-

melsen af den konsolidering, disse har været genstand for gennem tiderne. Bl.a. kan den ofte på et vilkårligt tidspunkt af en boring fastslå, hvilke geologiske formationer der kan forventes *under* den allerede opnåede boreddybde, således at fortsat boring muligvis kan spares.

Der skal derfor i det følgende (med henvisning til tidstavlen nedenfor og jordbundskortene p. 22 og 23) i store træk gives en geoteknisk betonet oversigt over Danmarks geologiske historie med særlig vægt lagt på de niveauforandringer, der har fundet sted fra kridttiden til vore dage.

Geologisk tidstavle

Kvartær-perioden	Postglacial-tiden	Nutidstørv og -dynd. Stenalderhavets dynd- og strandaflejringer. Tørvelag fra fastlandstiden.
	Senglacial-tiden	Nedskylsaflejringer. Allerøddynd. Smeltevandsaflejringer efter isens tilbagerykning.
	Diluvialtiden (istiden)	3' Nedisnings usorterede og vandsorterede aflejringer. 2' Interglacialtids aflejringer. 2' Nedisnings usorterede og vandsorterede aflejringer. 1' Interglacialtids aflejringer. 1' Nedisnings usorterede og vandsorterede aflejringer.
Tertiærperioden	Yngre tertiær	Glimmerler- og glimmersandaflejringer.
	Ældre tertiær	Fortrinsvis meget fede lerarter. Grønsandsaflejringer.
Kridtperioden	Danske-kalk (Danien)	Hårde og bløde kalksten.
	Ældre kridt	Skrivekridt.

Dybgrunden

Kridt- og kalkaflejringer

På Bornholm findes som bekendt aflejringer helt fra jordens oldtid, og takket være de amerikanske olieboringer har man også for det øvrige Danmarks vedkommende fået kendskab til meget gamle geologiske formationer. Den ældste aflejring, der har geoteknisk interesse, er dog stadig *skrivekridtet*, der blev aflejret i et dybhav for senere på grund af havbundens hævnning at blive dækket af en grovere kalkserie, *danskekalken*. Tilsidst blev hævnningen så fuldstændig, at hele Danmark formentlig har ligget over havet.

I nutiden ligger skrivekridt og de danske kalkarter (limsten, bryozokalk og saltholmskalk o.s.v.) i de fleste egne af landet for dybt til at have funderingsmæssig interesse, men enkelte steder, således f. eks. på Lolland-Falster, i Limfjordsegnene og i Københavns omgivelser, når de højere op mod overfladen og får derved geoteknisk betydning. Skrivekridtet er i visse tilfælde slamagtigt, i andre hærdenet, medens danskekalken ofte optræder som en hærdenet bjergart. Der forekommer dog også i den yngre kalk talrige områder, som ikke har nået fuld hærdening, og som må betegnes som kalksandkalk eller kalksand i modsætning til den hårde »klangkalk«. I begge bjergarter findes talrige flintlag.

Hvor skrivekridt og danskekalk har dannet direkte underlag for indlandsisen, har sidstnævnte ofte forårsaget en knusning af dybgrundens overfladedannelser; ligeledes kan sprækker og revner fyldt med yngre jordarter forekomme flere meter ned i kalken, vidnende om, at denne engang har dannet jordoverflade og været udsat for forvitring. I sådanne zoner er dybgrundsaflerjningernes styrke betydeligt nedsat.

Ved udførelsen af den ældre Guldborgsundbro traf man skrivekridtets overflade ved kote ca. -22 til -24. Broen blev pælefunderet, og det viste sig derved nødvendigt på enkelte steder at benytte pælelængder på op til 34 m, hvilket viser enten, at pælespidserne må have arbejdet sig adskillige meter ned i skrivekridtet, eller at skrivekridtets overflade er gennemsat af dybe revner.

En eventuel tunnel under Øresund i linien København-Malmø vil i hele sin udstrækning formentlig forløbe i den højtliggende kalkdybgrund.

Ved et tunnelanlæg i Københavns havn mødte man næsten udelukkende hård danskekalk, men på et enkelt punkt stødte man på en linse af uhærdet kalkmasse, som bevirkede indtrængen af havvand i den ufærdige tunnel, hvilket voldte stor materiel skade.

Tertiære aflejringer

Inden det østlige Sjælland havde hævet sig over havfladen, aflejredes på overgangen fra kridt- til tertiærtiden i dette område glaukonitrige kalk-, sand- og lerlag på danskekalkens overflade, de såkaldte *grøn-sandsaflejringer*, som man nu træffer ved boringer f. eks. i den københavnske dybgrund.

I Vestsjælland, på Fyn og i Jylland afløstes hævnin-

gen på ny af en sænkning, og der opstod et dybhav, hvori Danmarks fedeste lerarter – det paleocæne ler, lillebæltseret og septarieleret – sedimenteredes. Af disse aflejringer, der her er nævnt i kronologisk orden, er *lillebæltseret*, også kaldet »det plastiske ler«, det fedeste med et indhold af kolloidal lersubstans over 90 % og et plasticitetsindeks over 100 (udrulningsgrænsen ligger ved ca. 30 % vand, flydegrænsen ved ca. 150). Den øverste zone af lillebæltseret, den såkaldte *søvindmergel*, der er overordentlig kalkrig, er truffet ved adskillige dybe geotekniske boringer ved Fredericia og ved Århus havn, sidstnævnte sted overlejret af det lidt yngre septarieleret.

Hvor disse finkornede lerarter er placeret under grundvandspejlet, er de på grund af deres høje alder og belastninger af tre nedisninger, overordentlig konsoliderede, til tider skifrede; men hvis de »går i dagen«, f. eks. som kystskrænter, og udsættes for forvitring gennem udtørring skiftende med opfrysning, hvorved der dannes revner i leret, eller hvis isbræen har skabt knusningszoner i leroverfladerne, danner de store skredområder, således f. eks. ved Lillebæltets kyster. Endvidere vil det højkolloidale ler selv i sin mest konsoliderede form ofte give store sætningsproblemer.

Lillebæltbroens strømpiller er alle funderet i lillebæltseret. Den valgte funderingsmetode krævede *stenfri*, vandtæt byggegrund, og bortset fra enkelte lerjærnsten af *konkretionsmæssig* karakter (kemiske udskillelser i lermassen) opfyldte lillebæltseret begge krav tilfredsstillende. Sætningen af propillerne er ikke ophørt, skønt broen er over 20 år gammel, og de vil også fortsætte fremover, nøje følgende den sætningskurve, der beregnedes ved broens bygning.

Hvor *septarieleret*, i hvilket konkretionerne har karakter af store kalklinser (»septarier«), går tæt op til overfladen, f. eks. under Skive by, er det ofte gennemsat af sprækker, hvilket kan give anledning til store funderingsvanskeligheder.

Medens det mellemste Danmark atter hævedes over havet, dækkedes de vestligste og sydligste egne af landet i tertiærtidens yngste afsnit delvis af et vældigt delta, hvori der sedimenteredes velsorterede, skarpt adskilte lag, dels af kvartssand, dels af siltrigt ler, der takket være det daværende varme klima blev rigt på organisk stof. Det store indhold af glimmerskæl har givet aflejringsserien navnet: *glimmerformationen*, hvis silt- og lerlag kendes fra de øvrige dybgrundsjordarter på deres sortbrune farver, som på grund af deres store jernindhold ved forvitring får ejendommelige klare farvetoner. (Derimod kan det til tider være svært at skelne opblødt glimmerler fra ganske ungt dynd).

Glimmerformationen, der rummer de danske brunkul, kan indeholde en del konkretioner (bl.a. den såkaldte *øxenradesandsten*), men er iøvrigt *stenfri*.

Da aflejringerne skifter hyppigt fra skarpt sand til ren silt eller fedt ler, er det ikke muligt at meddele plasticitetsindeks o.l. fælles for hele serien. Kun kan det siges i almindelighed, at aflejringerne dels på grund af indhold af organisk stof, der nu er omdannet

til bitumen, dels på grund af de mange vandbindende glimmerskæl har et større vandindhold end normalt for deres kornstørrelse. På primært leje forekommer serien stærkt konsolideret, og hvor glimmerler veksler med kvartssandlag, letter disse ydermere vandudpressningen. Findes glimmerleret derimod som skrænter, giver det anledning til store skredkatastrofer, idet det i opblødt tilstand får en konsistens, der minder om skosvæerte.

I de store bakkedrag, der med stejle skrænter danner syd-siden af Vejle fjord, findes meget glimmerler, for en stor del rimeligvis som løse flager, men også nogle steder på primært leje. Adskillige huse, f. eks. ved Ulvehave, har taget skade ved udskridning af det siltrige glimmerler, og hvor banelinien er ført igennem dette landskab, har det krævet stor påpasselighed af D.S.B. at undgå skredkatastrofer.

Ved pæleramningen for Lillebæltsbroens landpille på Fynsiden stødte man ved kote -9 på et ca. 3 m tykt lag af »æxeradesandsten«.

Overgrunden

Istidens aflejringer

Glimmerformationen er Danmarks yngste dybgrundsaflejring. Da klimaet forværredes og bræerne skød ud over Danmark, mødte de derfor et landskab som vist på kortet p. 22: kridtet og kalken, de ældre, tertiære lerarter samt de yngre, tertiære glimmersedimenter lå pålejret hverandre tagstensformigt med af-tagende alder i retning fra NØ-SV.

For istidsaflejringerne, der nu dækker dybgrunden fra Øresund i øst til den yderste nedisningsgrænse ned gennem Midtjylland i vest (vi betragter her kun den sidste nedisnings aflejringer), fik denne vekslende dybgrund stor betydning, idet større eller mindre flager opløjedes af den fremtrængende is og opæltedes i dens morænemasser. (Såvel Møens klinter som den anselige Kerteminde klint, der består af henholdsvis skrivekridt og tertiært kertemindeler, udgør i virkeligheden et system af løse flager, både over- og underlejret af morænemateriale).

Når isens fremrykning standsede for en tid, og isranden derved blev stationær, ophobede jordmasserne sig som en valk i dens randzone, og i disse endemorænelandskaber, der rummer nogle af Danmarks smukkeste egne, må man forvente særdeles vekslende jordbundsforhold.

For motorvejen til Storstrømsbroen, der går igennem et sådant sydsjællandsk højdedrag, havde man på forhånd gennem optagelsen af et stort prøvemateriale forsøgt at klarlægge lejringsforholdene i de høje skrån timer. Da arbejdet blev udført, viste det sig imidlertid, at de optegnede profiler, hvor der var tilstræbt at finde frem til en vis lagfølge, ikke stemte med virkeligheden. I dette endemorænelandskab fandtes ingen gennemgående jordlag, men kun talrige linser og flager af sedimenter og moræneler, alt i en regelløs blanding.

Under isens fremrykning fossede smeltevandet ud over forlandet, hvor det afsatte sine sedimenter; når bræen atter rykkede frem, gled den henover disse lag, der derved blev morænedækkede.

Sådanne smeltevandsaflejringer, der er afsat under selve nedisningen, kaldes *diluviale*, og morænen, der overlejrer dem, borger i almindelighed for, at de har været isbelastet. Hvad selve morænen angår, da må de jordmasser, som lå dybt i bræen, have været konsolideret af denne, men den *øvre* morænekappe har derimod ikke båret isens byrde. For en stor del er disse mindre konsoliderede lag, der dannede jordoverfladen ved isens afsmeltning og derved blev udsat for stærk ned-

brydning (se herom i følgende afsnit), helt forsvundet. Der findes dog på flere fortrinsvis plane områder, f. eks. på strækningen mellem København og Roskilde, en morænelerstype, hvis relativt ringe styrke fører tanken hen på det nævnte morænemateriale, der var placeret højest oppe i bræen.

Senglaciale aflejringer

Da indlandsisen i sen-glacialtiden definitivt smeltede, efterlod den et morænelandskab, hvori de forskellige jordarter forekom i helt tilfældig orden med et dække af det løse materiale, som havde været placeret øverst i bræen, samt med alle lavninger fyldt enten med smeltevandsslam, som i modsætning til de *diluviale sedimenter aldrig har været isbelastet*, eller med jorddækkede »dødisklumper« ofte af anselig mægtighed.

I Nordøstsjælland, særlig omkring Helsingør, har man ved flere byggeanlæg truffet jordbundsforhold, der kun har kunnet forklares ved hjælp af dødisklumpers eksistens, idet geologisk set unge tørvelag er fundet sammenblandet med moræneler. Man tænker sig da, at det oprindelige dybe bassin har rummet en dødisklump, der på grund af morænedækning først er smeltet så sent, at langt yngre tørvelag har kunnet aflejres i lavningen. Ved isklumpens endelige afsmeltning er der derpå sket sammenstyrtninger af de overliggende lag, hvorved det oprindelige morænedække og morænematerialet fra bassinets sider er blevet blandet med de yngre tørvelag.

I den senere del af sen-glacialtiden var isranden gennem afsmeltningen ganske vist for fjern til, at smeltevandet kunne spille en rolle ved udformningen af overfladerelieffet i Danmark, men også i denne periode lå landoverfladen med sine kun svagt konsoliderede jordarter ubeskyttet mod det barske klima, de stærke frysninger om vinteren og de efterfølgende heftige tøbrud. Hele sen-glacialtiden må derfor betragtes som en udpræget nedbrydningsperiode, hvor den rige vandføring i alle vandløb skyllede det løse slam fra højderne ned i lavningerne, hvor overflademorænen ved flydning og jordkrybning var i mere eller mindre bevægelse, og hvor landskabets relief derfor blev stærkt udjævnet. De sen-glaciale jordarters geotekniske kvalitet blev derved væsentlig ringere end de glaciales.

I denne periode lå det sydlige Danmark højt over havfladen, og i de nuværende bæltter fungerede talrige flodrender som afløbsdale fra østersøbassinet ud til det fjerne hav, Yoldiahavet, hvis kystlinier man nu kan iagttage omkring Limfjorden og i Vendsyssel.

Yoldiahavets strandlinier findes ved Frederikshavn nu op til kote + 60 aftagende mod SV, således at man ved Aalborg møder denne sen-glaciale, marine grænse omkring kote + 20. Det nordligste Danmark har således, ligesom den Skandinaviske Halvø, i sen-glaciale tiden været nedpresset af iskapen og har derefter, da isen smeltede, deltaget i den skandinaviske landhævning, dog i relativt beskeden målestok.

(Ved den Botniske Bugt, hvor landisen var tykkest, findes den sen-glaciale, marine grænse nu omkring kote + 250).

Niveauforandringer forårsaget af nedisninger er dog ikke alene afhængige af landhævning eller -sænkning (den isostatisk faktor), men tillige af svingninger i havets vandstand (den eustatiske faktor). I store træk skulle forholdet kunne forklares således, at under nedisningen er landskabet isostatisk sænket, men havets vandstand samtidig stærkt formindsket gennem de vandmængder, der er bundet i iskapen. Ved afsmeltningen hæver landet sig, og havet fyldes, men de to faktorer vil kun sjældent virke i takt, idet havet reagerer hurtigere end landet, og dets fyldning samtidig er afhængig ikke alene af den lokale iskappe, men også af alle andre nedisninger på kloden. Resultatet bliver en række forskydninger af kystlinien, afhængig af hvilken af faktorerne, der på det pågældende tidspunkt har overtaget.

I Yoldiahavet afsattes marint ishavsslam i form af ler og silt på det dybe vand og som sand og grus ved kysterne. Karakteristisk for yoldialer er de talrige finsandsstriber, der med knivskarpe grænser findes indlejret i det fede ler, og som er så tynde, at det virker, som havde leret blot fået en let bestrøning af finsand.

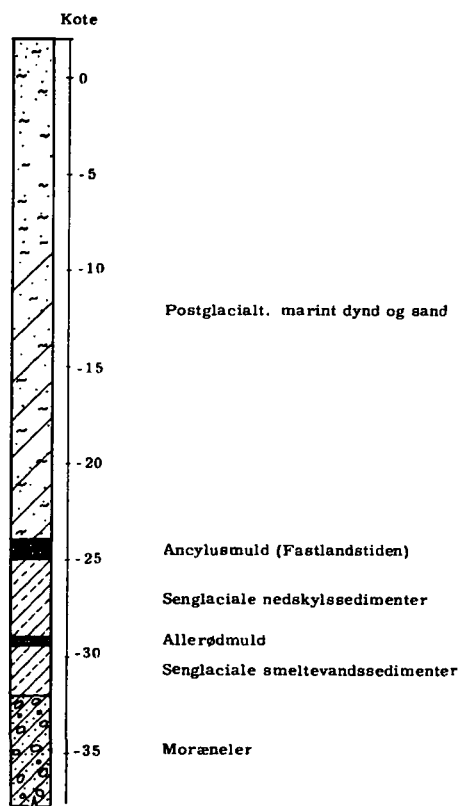


Fig. 4. Boreprofil fra Kalundborg fjord.

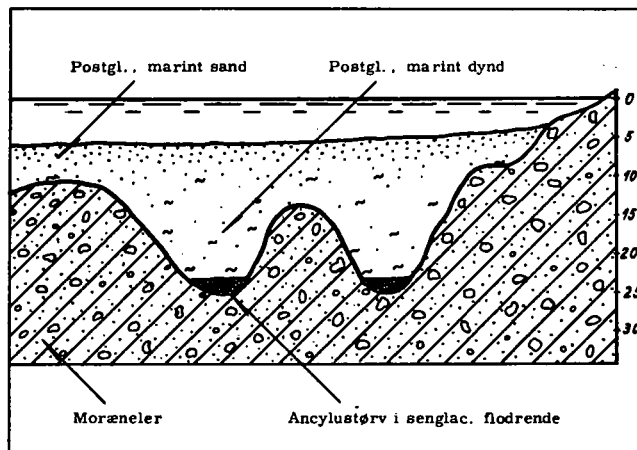


Fig. 5. Lagfølgediagram ved Storebælt. (Skitse).

De to kolde afsnit i den sen-glaciale periode: afsmeltningstiden og nedskylstiden, er adskilt ved en relativt kort varmetid: Allerødtiden, hvori der aflejredes en del tørv og dynd i mosehuller og lavninger. Allerødaflejringer er til alt held sjældent forekommende i de geotekniske profiler, men mødes dog af og til, over- og underlejret af dyndfrie sen-glaciale sedimenter; bl. a. fandt man Allerøddynd ved to store funderingsarbejder i Kalundborg fjord (se fig. 4); hvorfor deres eksistens bør erindres.

Postglaciale aflejringer

Ved postglaciale tidens begyndelse var den isostatisk faktor den dominerende, og hele landet lå højere end nu, de sydlige egne op til 50 m, storebæltområdet ca. 30 m og Vendsyssel i hvert fald 5-6 m. Denne periode, hvor klimaet var relativt varmt, og plante- og dyreliv derfor rigt udviklet, kaldes *Fastlandstiden* (*Ancylostiden*).

I Storebælt er fastlandstidens flodrender udskåret i moræneler, og i deres bund, der kan ligge ved kote -25 à -30, møder man ved boring denne periodes tørvlag, overlejret af anseelige mængder af postglaciale, marint dynd (se fig. 5). Hele det submarine landskab med sine dyndfyldte flodrender og mellemliggende morænelersrygge, der ganske modsvarer landskabet inden for den sjællandske kystlinie, er nu ude i bæltet tilsløret af recent strandsand. Lignende forhold kan træffes ved mange af vore kyster.

Ved den skønsmæssige jordprøvevurdering giver fastlandstørven – der dog på grund af sin oprindelse som moseaflejring ikke findes som gennemgående lag således som de marine sedimenter – et udmærket holdpunkt for aldersbestemmelse af prøveserien og har yderligere stor betydning derved, at man *under* ancyclusmuld (= tørv) på primært leje ikke behøver at frygte postglaciale, marint dynd (men nok, hvis man er meget uheldig, det nævnte sen-glaciale allerøddynd).

Efterhånden ændredes billedet: havets fyldning tiltog, og landets hævnings ebbede gradvis ud, hvorfor der – i stenalderen – skete en stærk positiv forskydning af kystlinien (kystlinien rykker ind over landet);

mange af fastlandstidens moser og tørvefyldte floder oversvømmedes derved af havvandet, der ved Frederikshavn nåede op til den nuværende kote + 15 (Danmarks højeste postglaciale strandniveau).

Differencen mellem stenalderhavets kystlinie og den nuværende aftager stærkt mod SV, således at den er 0 for en linie fra Nymindegab over Nyborg til Nordfalster (se kortet fig. 6). Først NØ for denne linie finder man derfor inden for alle fjorde og vige et bælte af

postglaciale, marine strandaflejringer (strandsand, fjorddynd m. m.), der ved deres ringe geotekniske egenskaber har skabt store funderingsproblemer for mange bebyggelsesområder ved den nuværende kyst.

Efter stenalderen nåedes gradvis den nuværende balance mellem hav og land, men *denne er dog ikke på nogen måde stabil*, idet der til stadighed foregår en lille landhævning.

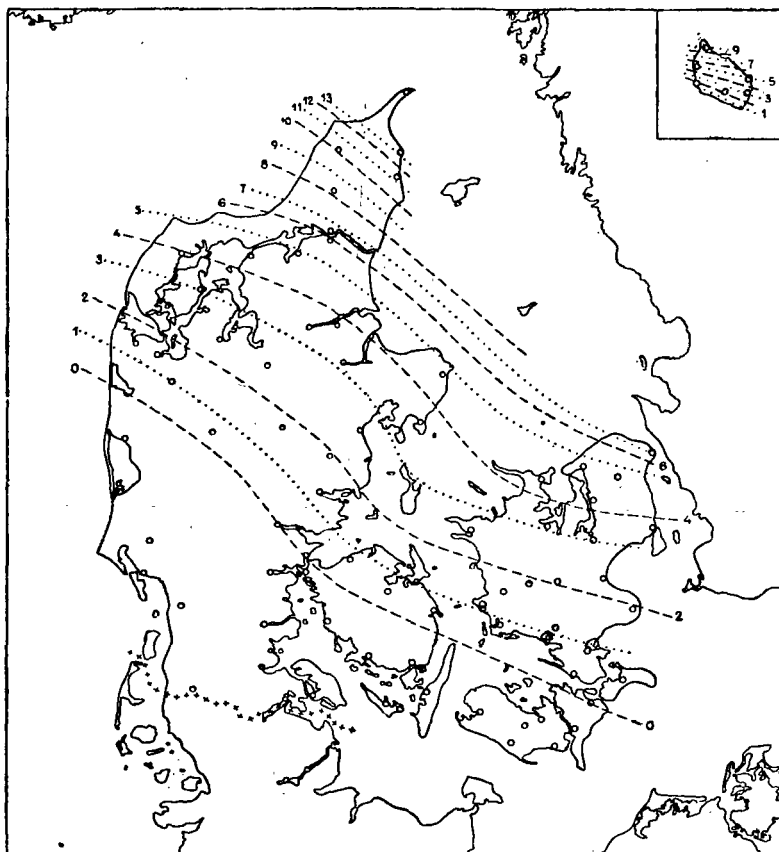


Fig. 6. Isobaser for stenalderhavets strandliniers nuværende højde over havet (lånt af Danmarks geologiske Undersøgelse).

Geologiens anvendelse ved geotekniske undersøgelser

Den forudgående oversigt over Danmarks geologiske udvikling er selvsagt for kortfattet til at være fyldestgørende for den, der har brug for at kende jordbundsforholdene inden for et mere snævert område; desværre er den geologiske viden ikke detaljeret nok til ene at opfylde dette krav. I det følgende skal dog resumeres de geologiske forhold, der må erindres ved vurderingen af en byggegrund, idet det i dette tilfælde vil være rimeligst at beskrive lagfølgen *fra muldlaget og nedefter, altså modsat den kronologisk-geologiske udvikling.*

Fyldlaget

En besigtigelse af byggegrunden sammenholdt med de almindelige geodætiske kort giver gode oplysninger om lokalitetens overflade, men siger intet om et eventuelt fyldlags indflydelse på dens nuværende relief; hertil kræves gravninger, eventuelt boringer, der selv for mindre byggeri må fortsættes til så stor dybde, som overjorden viser fyldtegn – det være sig tegl eller andre »kulturprodukter« (slagter, glasskår o. s. v.). Grænsen mellem fylden og den underliggende »moderjord« markeres ofte af en muldstribe.

At erkende om en jordprøve består af fyld eller af »moderjord« kan til tider være ret vanskeligt, idet fylden simpelthen kan bestå af en dyb udgravnings overskydende jord, som er udkastet i et nærliggende mosehul, og som på sin nye plads virker helt som ren moder-

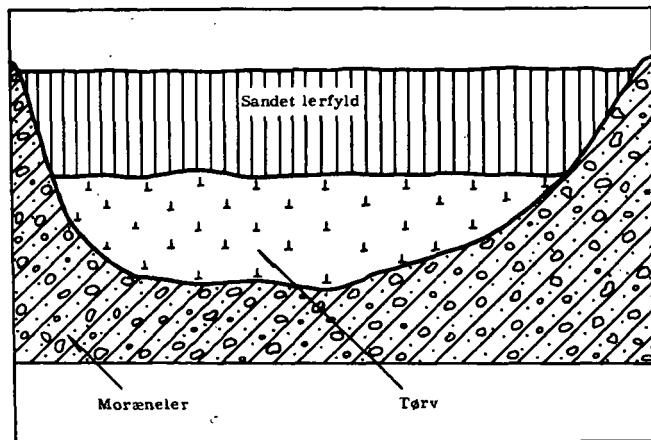


Fig. 7. Fylddækket tørvemose.

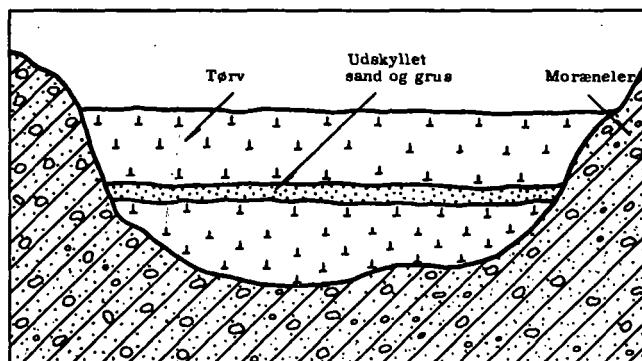


Fig. 8. Udskyttag i mose.

jord, der ikke lader ane, at der findes mosedynd under dens dække (se fig. 7). Navnlig i gamle byer frembyder det store vanskeligheder at nå frem til en lokalitets oprindelige relief. Dertil kommer, at ler- og sandgrave i tidens løb er blevet opfyldt, fæstningsværker opført og siden fjernet, kloakrender dækket, brønde og voldgrave tilkastet o. s. v., således at de fleste nutidige koter kan forventes at være »falske«, fordi de refererer til den kunstigt frembragte jordoverflade. Det må derfor ved ethvert større byggeforetagende i byområder anbefales at studere de gamle bykort, som findes over de fleste større byer, og sætte sig ind i stedets historie, før man planlægger funderingen af det påtænkte byværk.

Søer og moser

Hvad enten der er et fyldproblem på en lokalitet eller ikke, må man desuden nøje erkendte sig om tilstedeværelsen af nutidige søer, mosehuller eller vandsure lavninger på grunden, og ved boring konstatere disse tørve- og dyndfyldte områders dybde, der selv for tilsyneladende små bassiners vedkommende kan beløbe sig til mange meter; ved denne undersøgelse må man ikke lade sig narre af tilfældigt forekommende tynde sand- eller grusstriber i den organiske jord, thi disse kan skyldes udskyt fra mosens sider forårsaget f. eks. af heftige regnskyl (se fig. 8) og kan derfor meget vel være underlejret af tørvedynd. Endvidere finder man ofte under tørv og dyndet i en mose en blød, gytjerig

leraflejring, der er dannet, da bassinet endnu var en åben sø, og som også tilhører den unge, lidet bæredygtige, postglaciale serie. Først når man møder de normale mineraljordarter, stammende fra senglacial- eller glacialtiden, er faren for at træffe organiske aflejringer ovre (der ses her bort fra de sjældne tilfælde, hvor man ved videre boring nede i den senglaciale serie træffer den p. 17 nævnte Allerøduld).

Marine aflejringer

At man kan få jordartsproblemer ved fundering *under* den nuværende kystlinie, er en given sag, men også *over* 0-koten kan man forvente marine, dyndrige aflejringer, så længe man befinder sig NØ for stenaldertransgressionens 0-linie (der som nævnt forløber fra Nymindegab til Nordfalster). Indenfor disse tidligere marine områder, der rummer store dele af mange større danske byer (f. eks. København, Aalborg og Randers), kan lag af rent strandsand være underlejret af blødt dynd, hvorfor en sådan postglacial, marin serie, ligesom de jævndrende moseaflejringer, må kendes helt ned til deres undergrænse.

Er man i tvivl om en jordarts postglaciale alder, kan en bestemmelse af dens eventuelle indhold af *pollen* (fossilt blomsterstøv) give udmærket vejledning.

Senglacial nedskylsjord

Aflejringen er geoteknisk set bedre end postglaciale tørve- og dyndlag, bl. a. fordi den har langt mindre vandindhold, men den er næsten altid siltrig, praktisk taget ikke forkonsolideret og derfor funderingsmæssigt af mindre god kvalitet. Nedskylsjorden forekommer ifølge sin oprindelse altid som slam i en nuværende eller tidligere lavning, ofte overlejret af postglaciale moser. Der er imidlertid store muligheder for, at bassinet i senglacialtiden ikke alene har været dybere, men også har haft større omfang, hvorfor postglaciale aflejringer i en mose eller et vandhul, der nu findes *underlejret* af senglacial nedskylsjord, sandsynligvis tillige også er *omgivet* af samme »slappe« jordart.

Dette forhold har stor betydning nuomstunder, hvor man ofte af æstetiske grunde gerne vil placere f. eks. en rækkehusbebyggelse omkring en lille sø og helst så nær ved denne som muligt. Ved forundersøgelse netop for sådanne byggeprojekter har det ofte vist sig, at der i en bræmme omkring søens bredder er relativt ringe byggegrund, fordi man allerede her er ude i det tidligere, senglaciale bassin.

Senglaciale smeltevandssedimenter

De postglaciale aflejringer og den senglaciale nedskylsjord hviler hyppigt på smeltevandssedimenter, der er aflejret foran den *vigende* isrand, og derfor senglaciale af alder, hvorfor de ikke har været underkastet istryk; men den postglaciale serie kan dog også ligge direkte i en morænelersskål, lige så vel som den sen-

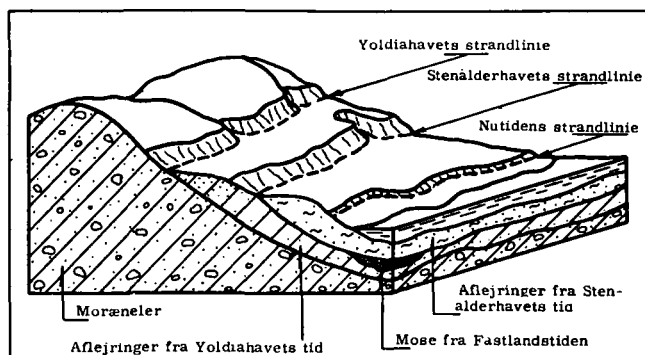


Fig. 9. Blokdigram fra Vendsyssel. (Længde- og højdemålestok forskellige).

glaciale kan findes direkte under mulden. I Limfjords-egnene underlejres de postglaciale sedimenter oftest af ishavsleret (yoldialeret) med de fine sandlag (se fig. 9).

Betegnelsen »senglacial« for en aflejring er tidsmæssigt afhængig af stedets geografiske beliggenhed, idet man dermed angiver, at jordarten er afsat *efter*, at *isranden* definitivt afsmeltede fra pågældende lokalitet. Derfor kan f. eks. senglaciale aflejringer i Jylland meget vel være jævndrende med istidsaflejringer på Sjælland.

Istidsaflejringer

Da den danske jordbund til alt held ikke fortrinsvis består af moser, hævet havbund og senglaciale nedskylsbassiner, men af sletter og bakkedrag, har man ved de allerfleste byggeforetagender mulighed for at træffe istidsaflejringer direkte under muld- eller fyldlaget, hvorved de ovenfor omtalte, geoteknisk set mere eller mindre vanskelige jordarter helt undgås. Blandt istidsaflejringerne er det stenede, sandede moræneler den hyppigst forekommende jordart, særlig på øerne og i den sydøstlige del af Jylland, men overalt, hvor den findes, må man indstille sig på, at leret kan skifte ikke alene til morænesand og -grus, men også til smeltevandslagserier ofte af betydelig mægtighed. Det hender endda, at man ved boring på en lokalitet træffer adskillige morænelersbænke vekslende med diluvialserier af vidt forskellige kornstørrelse, og som tidligere nævnt optræder der tillige ofte løse flager af dybgrundens aflejringer i morænen, *hvorfor man aldrig bør regne med at kende en istidsaflejnings karakter længere, end prøvematerialet rækker.*

De glaciale (diluviale) smeltevandssedimenter, der kun lader sig skelne fra de senglaciale, hvis de er morænedækket, og som jo oprindeligt er dannet i bassiner i israndens forland, findes nu paradoksalt nok ofte som »bakker«, ragende op over morænefladerne. Forklaringen på sidstnævnte fænomen ligger i, at den nuværende »bakke« oprindeligt har dannet bunden i et højtliggende, isdækket søbassin, i hvilket smeltevandet afsatte sine slammængder. Da isbarrieren afsmeltede, mistede lagene deres støtte og derved deres skålform og kom til at danne bakker i stedet.

Disse »bakker« er meget efterspurgt til sand- og grusgravning. Ved erhvervelse af en sådan sandbanke, hvis materiale skal opfylde visse betingelser i henhold til gradering og lerindhold m. v., må man erindre sig dens oprindelse og derfor være forberedt på, at materialet er grovest ved det tidligere bassins rand og finest ved issøens midte. Mange køb af bakkesand alene på grundlag af enkelte udtagne prøver er blevet fortrudt, fordi den overenskomstmæssige kornkurve ikke har kunnet overholdes, efterhånden som man gravede sig ind i bakkens midtparti.

Dybgrunden

De allerfleste danske bygværker funderes i istidsaflejringer, men på visse lokaliteter hænder det dog, enten at der af funderingsmæssige årsager stilles krav om, at bygværket skal funderes i dybgrunden (i dette tilfælde som oftest kalken), eller at dækket af de løse jordlag er så ringe, at det alene af den grund bliver nødvendigt at fundere i kridt, kalk eller de tertiære jordlag.

I førstnævnte tilfælde må man ved geotekniske boringer drage omsorg for, at man virkelig har nået den faststående dybgrund og ikke blot en løs flage i morænen (jfr. p. 16), hvilket kan være meget vanskeligt at afgøre. Et hjælpemiddel har man i prøvens eventuelle grus- og stenindhold, idet alt indhold af skandinaviske bjergarter (granitter, gnejser o. s. v.) peger henimod

lagets glaciale alder, hvorimod indhold af kvartskorn, glimmerskæl samt kalk og flint ikke kan bruges som aldersbestemmende materiale, da disse bjergarter findes i selve den danske dybgrund.

Endvidere har man ved bestemmelse af dybgrundens beliggenhed og art på en lokalitet den fordel, at den på forhånd ofte i store træk er kendt, idet man på *Danmarks geologiske Undersøgelses* borearkiv har samlet alle oplysninger, som de talrige vandforsyningsboringer har kunnet give om jordbundsforhold i Danmark. Medens istidsaflejringerne er så vekslende, at man aldrig tør overføre erfaringen fra én lokalitet til en anden, selv indenfor ringe afstand, har dybgrunden et langt mere ensartet forløb, hvorfor det kan lønne sig forud for en undersøgelse at konsultere nævnte institution. Blot må det erindres, at selve dybgrundsoverfladen kan være ret bølget og fremvise »huller« og furer.

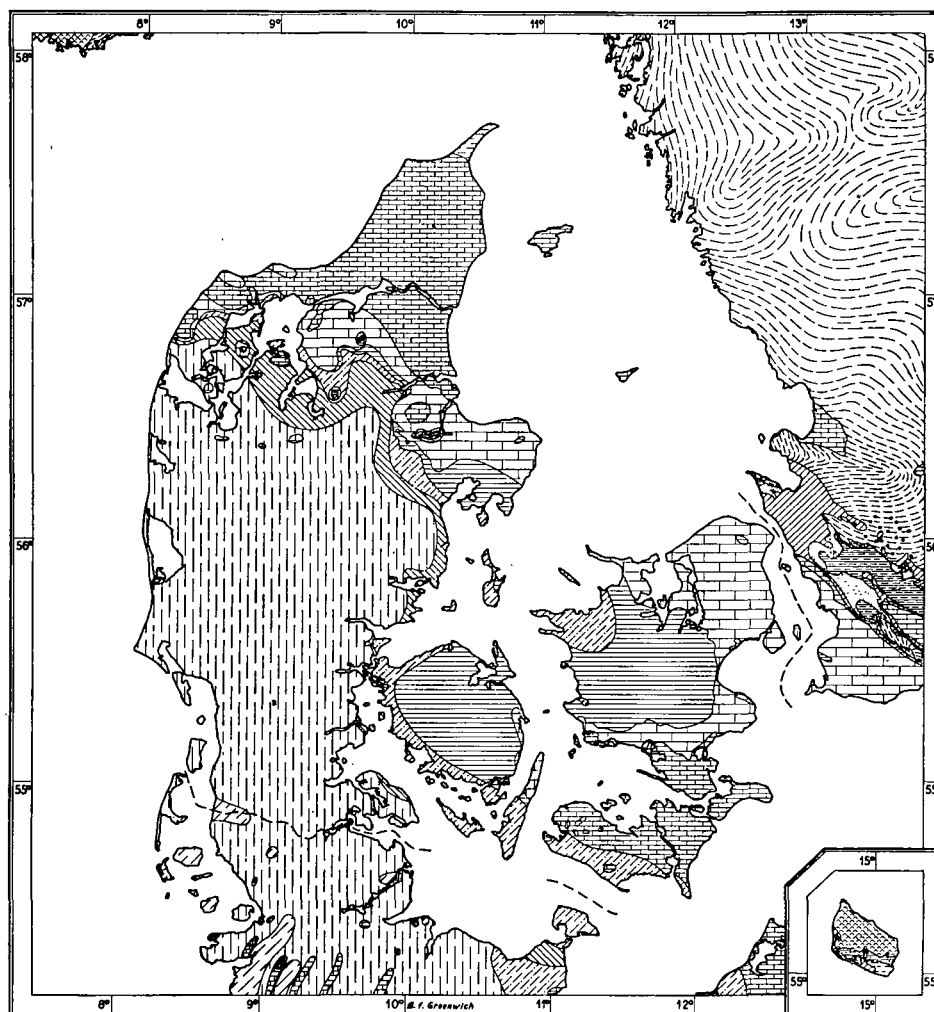
Ved en række boringer i Københavns undergrund fandt man f. eks., at kalkens overflade enkelte steder på Rådhuspladsen lå adskilligt lavere end normalt for dette område.

Et blik på dybgrundskortet p. 22 vil dog f. eks. vise, at man kan forvente at træffe kalk og kridt i NØ-Sjælland, men aldrig ved Lillebælt, hvor de gamle, tertiære lersedimenter danner dybgrunden, og således har man i store træk for hele landet ret godt rede på de præglaciale aflejrings natur.

Karakteristiske jordbundsforhold i Danmark

Vi vil til sidst forsøge at danne os et geografisk billede af Danmarks *overgrund*, idet der dog må bedes om overbærenhed over for dette billedes mangler, der jo først og fremmest skyldes vort lands højest uregelmæssige opbygning, ikke mindst i de øvre jordlag.

Det må udtrykkeligt understreges, at udtalelserne om de enkelte egnes bundforhold kun gælder den pågældende egn taget i store træk og ikke hvert enkelt lille område. Desuden vil de *postglaciale* aflejringer samt de spredte forekomster af sedimenter i istidsaflejringer



	Gotlandium og Ordovicium		Danien		Basalt
	Gotlandium, Ordovicium og Kambrium		Øvre Kridt		Pliocæn
	Kambrium (Nexsandsten)		Nedre Kridt		Miocæn
	Kambrium		Rhaet-Jura		Oligocæn
	Granit		Trias		Eocæn
	Gnejs		Perm		Paleocæn

Maalestok
KILOMETER

DANMARKS GEOLOGISKE UNDERSØGELSE 1954.

THEODOR SORGENFREI.

Fig. 10. Kort over Danmarks dybgrund (lånt af Danmarks geologiske Undersøgelse).

gerne kun blive omtalt i de tilfælde, hvor de i særlig grad har interesse, idet de som nævnt kan findes praktisk taget overalt og i helt tilfældig udformning. Når omtalen ikke medtager Bornholm, skyldes det simpelt hen, at man geoteknisk set ved for lidt om den bornholmske overfladejord til at turde udtale sig om den. Måske byder den også kun på få geotekniske problemer. (Derimod hører den bornholmske undergrund til de mest studerede områder inden for dansk geologi).

Til støtte for forståelsen af det følgende tilrådes det læseren at jævnføre teksten med kortet over Danmarks overgrund, fig. 11.

(Dybgrunden i de forskellige egne af landet vil fremgå af fig. 10).

Sjælland

Da indlandsisen trak sig tilbage fra Nordøstsjælland, efterlod den store mængder af dødisblokke, som ved deres langt senere afsmeltning gav anledning til dannelsen af sedimentfyldte bassiner og småsøer. Særlig Helsingøregrensens overfladejord bærer præg af denne proces, som yderligere kompliceredes, når de jordlag, der ophobedes oven på isblokken, ved smeltningen styrtede sammen og kom til at danne et geologisk set helt meningsløst kaos. Morænen i Nordøstsjælland er i det hele taget stærkt forvitret og ret udvasket.

I København eksisterer derimod gennemgående gode jordbundsforhold; blot må man være opmærksom på

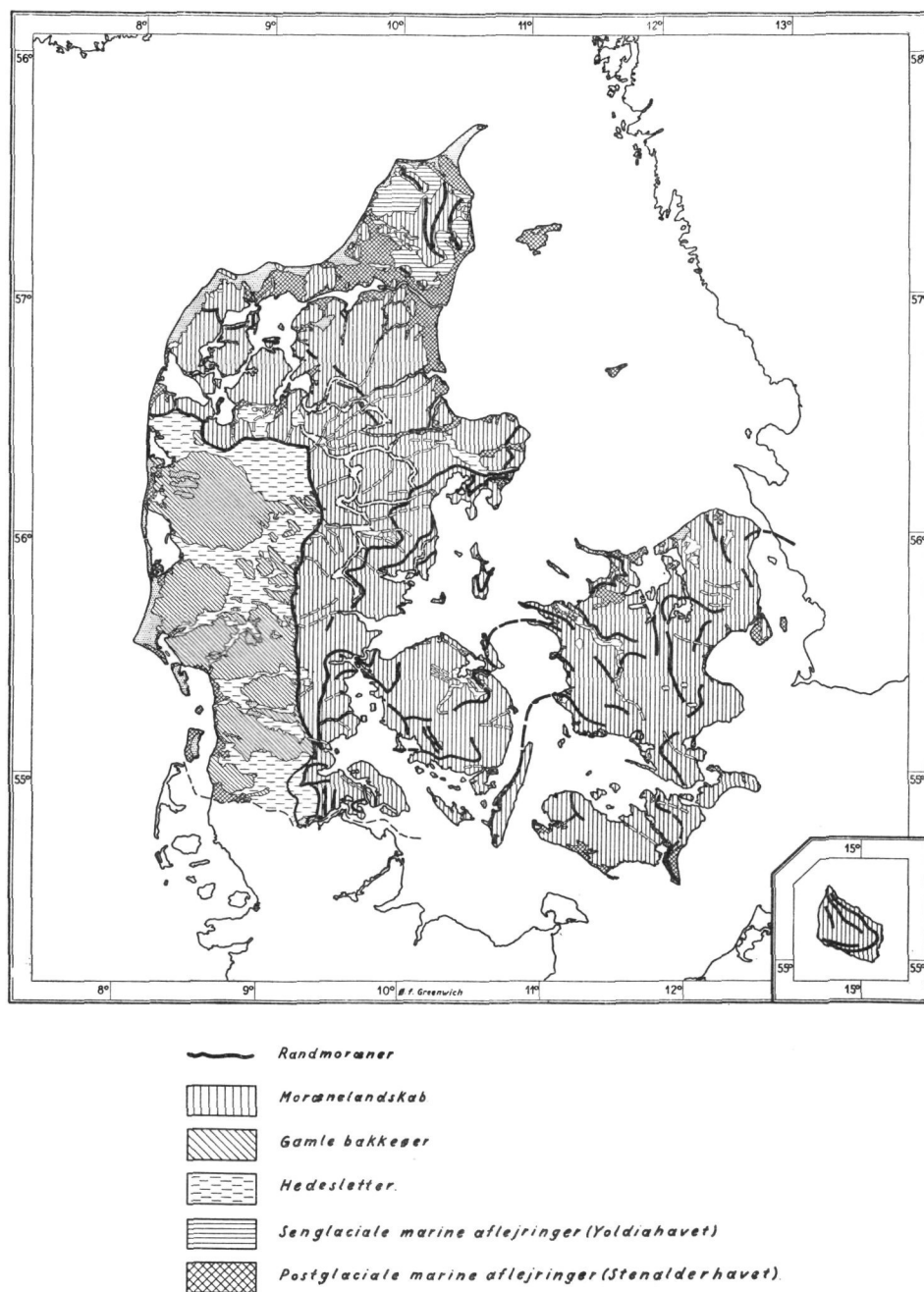


Fig. 11. Kort over Danmarks kvartære overgrund (lånt af Danmarks geologiske Undersøgelse).

de store fyldlag (affald), som præger byggegrundene i byen inden for voldene, samt på den kendsgerning, at store dele af byen er bygget neden for stenalderhavets højeste strandlinie (der her ligger i kote ca. + 3).

Vest for København strækker sig næsten helt til Roskilde en morænelersflade, på hvilken den allerøverste zone består af ret »slapt«, lidt sorteret moræneler, men syd på til Sjællands sydkyst består overfladen i øvrigt fortrinsvis af sandet, stenet moræneler, som gennemgående har god konsistens, og som kun stedvis afviger fra den helt normale type ved at indeholde flager dels af kalk, dels af knust skrivekridt; det sidste forekommer således i de øvre aflejringer ved Næstved og på Stevns.

I Nordvestsjælland findes talrige bassiner med smeltevandsaflejringer; men uden for de store moseområder omkring Halleby Å og det brede tidligere stenalderfjordområde omkring den nuværende Isefjord, består overfladelagene hovedsagelig af ret fedt moræneler, der har hentet sin særdeles finkornede lersubstans fra undergrundens plastiske ler. På sine steder indeholder morænen endda hele flager af plastisk ler. En undtagelse danner de store grus- og stenaflejringer omkring Tølløse.

Møn og Lolland-Falster

På de sydlige øer findes gennemgående særdeles gode bundforhold. Af istidsaflejringer træffes i helt overvejende grad moræneleret. Morænen er ofte så stenet, at det kan volde vanskelighed at grave i den, mens den yderst sjældent giver funderingsproblemer i sine øvre lag. Morænen på Møn og Lolland-Falster indeholder en mængde skrivekridt, men selve denne aflejring kan kun iagttages på Møns klint. Ude på landet kan de mange tilfyldte mergelgrave pletvis give ringere funderingsforhold.

Fyn

Også på Fyn er de øvre jordlag særdeles sundt udviklede og består i overvejende grad af moræneler. Der er den forskel på Østfyn og den øvrige del af øen, at kalken omkring Nyborg ligger højt nok til at præge morænen, mens det plastiske ler (ofte som lokal-moræner) overtager kalkens rolle på den øvrige del af øen, først og fremmest ved Lillebælt, hvor lillebæltseret tillige går i dagen i klinerne.

Fra Kerteminde i nordøst til Faaborgegnen i sydvest løber et smalt, sandet bælte gennem Fyn, og morænen omkring Odense synes noget mere forvitret og siltrig end normalt for disse egne.

Ved Kerteminde findes gammelt tertiært ler som mægtige løse flager i istidsaflejringerne helt op til overfladen.

Også Svendborg kan opvise stor tertiær opblanding i moræneleret, og endvidere forekommer mellem denne by og Nyborg et af Danmarks største issøområder, der bl. a. giver sig til kende ved egnens livlige teglværksdrift, men hvor leret nok er bedre til brænding end til fundering.

Langeland, Taasinge og Ærø er næsten helt morænelersdækkede, men også her kan morænen være ret præget af undergrundens plastiske ler.

Jylland

Omtalen af Jyllands geologiske overfladeforhold lader sig let tredele, idet såvel landet nord for Limfjorden, som de vestjyske hedesletter uden for den yderste isrand og resten af halvøen danner naturlige, velafgrænsede jordartsområder, hvoraf vi vil behandle det sidste først.

Det jyske fjordområde

Meget fordelagtigt kan sikkert siges om de store jyske byers beliggenhed i den inderste vig af de dybe fjorde, men særlig velplacerede geoteknisk set er de ikke.

Den omstændighed, at adskillige af dem voksede op omkring de lettest tilgængelige vadesteder over fjordene, bevirker, at de nu ligger med nutidens fjordarme øst for byen og afstængte inderfjorde vest for denne (se f. eks. Haderslev). Man har derfor ved de mere og mere tiltrængte udvidelser af byplanerne ingen anden udvej end, enten ved opfyldning at skaffe nyt land ude i de dyndfyldte områder (hvorved man må huske aldrig at bygge på fyld uden at kende underlaget!), eller byggemæssigt at kravle op ad de bakkeskråninger, der ofte omgiver fjordene. Naturligvis giver den sidste udvej langt bedre funderingsforhold end den første, men at hele det østjyske »højland«s overfladejordarter dog også kan give en del bryderi, vil formentlig fremgå af efterfølgende omtale.

I Sønderjylland findes i den østjyske moræne talrige løse flager af fedt, ofte lidt dyndholdigt, interglacialt ler, det såkaldte eemler, der går frem i dagen på Als, men som præger hele morænelandskabet fra grænsen til op imod Kolding. Byer som f. eks. Sønderborg og Aabenraa har således i de højere liggende dele af byen ofte meget fedt moræneler at fundere på. Forøvrigt er egnen omkring førstnævnte by inden for hele Egersund-området så stærkt gennemhullet af issøer, at det danner et sidestykke til egnen nord for Svendborg.

Kolding, der har et meget vanskeligt fjordområde såvel øst som vest for byen, har også på mange steder i bakkerne en siltrig, stærkt forvitret, slap overflademoræne at kæmpe med.

Ved Fredericia møder man den dyndfyldte Mølleådal, og her er selv overflademorænen stærkt inficeret med glimmerler og lillebæltser; begge disse jordarter går i dagen i klinerne ved Lillebælt og andre steder.

Ved Vejle er fjordvigen meget dyndfyldt, og i det omliggende højdedrag, der rejser sig ret brat, findes flager af glimmerler og siltrigt smeltevandsler og aflejringer af gammelt kvartssand samt ganske almindeligt moræneler i næsten kaotisk blanding.

Aarhus har dels Brabranddalens postglaciale jordlag, dels alle slags gamle plastiske lerarter i morænen at tage hensyn til, så at man aldrig ved et aarhusiansk bygge-

projekt på forhånd kan sige, om man vil møde knust lillebæltser eller normale istidsaflejringer.

Randers har sin særdeles omfangsrige yder- og inderfjord, og her begynder nu landets hævnning at kunne mærkes, omtrent som ved Isefjord, idet fjorddyndet rækker adskillige meter over havet. Desuden forekommer i Randers ganske regelløst blokke af knust plastisk ler, selv helt op til de øverste få meter.

Ved Hobro træffes lignende forhold. Moræneplateauet mellem Hobro og Aalborg består overvejende af sand.

Går man mod vest, slipper man efterhånden for iblandingen af det fede, tertiære ler, men ikke for glimmerleret, der tværtimod nu optræder i stor mængde i morænen, dog måske nok til mindre skade end de fede, ældre lerarter.

Limfjordens sydlige byer ligger ofte på to niveauer, det postglaciale, marine forland med sine vanskelige funderingsforhold, og bakkelandet. For Skives vedkommende giver selv dette bakkeland mange steder anledning til funderingsproblemer, da det fede tertiære septarieler ofte træffes direkte under muldlaget eller kun dækket af et tyndt istidslag. På grund af septarielerets sprækkede karakter er udgravninger i denne lerart kun stabile en vis tid, medmindre skråningerne er meget flade.

Aalborg, der ialt har tre niveauer, omtales nærmere under Vendsyssel, som byen geologisk set har stærk tilknytning til.

Skanderborg- og Silkeborgegnens rigdom på søområder er velkendt, men alt i alt er morænen dog af roligere art her ud imod den yderste isrand og samtidig ret sandet.

Hvad der her er sagt om det jyske fjordområde lyder måske lidt afskrækkende, da man jo kan finde anvendelig funderingsgrund selv i lokalmoræner af ældre ler, ligesom de urolige geologiske overfladelag ofte inden for store områder afløses af normalt moræneler; men det er skrevet for at påpege betydningen af, at man kender sin byggegrund helt ned til den dybde, hvor den byggemæssige interesse ophører, inden man endelig fastsætter funderingsdybden m. m.

De jyske hedesletter

De jyske hedesletter må kaldes senglaciale, da de ikke har været isdækkede, men er aflejret af smeltvandet fra den nære yderste isrand, hvorfor de består af særdeles groft materiale (smeltvandslodernes fine slam førtes ud i det nuværende Vesterhav).

De praktisk taget lerfri hedesletteaflejringer går helt i dagen på store områder vest for den yderste isrand og danner udmærket byggegrund. Hist og her er grus- og sanddækket dog så tyndt, at de gamle moræner fra den næstsidste istid kan træffes inden for de øverste få meter, og det samme gælder dybgrundens glimmerler og -sand.

Den gamle moræne genfinder man endvidere i de store højtliggende partier: Skovbjerg bakkeø, Varde bakkeø og Esbjerg bakkeø, der har fået denne geologi-

ske betegnelse, fordi de som øer ragede op over smeltvandsstrømmene. På disse områder, hvis anselige udstrækning vil fremgå af fig. 11, træffer man altså moræneler i de øverste lag, ganske vist stærkt medtaget af tidens tand, forvitret, noget flydejordsbetonet og derfor inden for den øverste zone ret slapt, men dog i de fleste tilfælde en byggegrund, der med held kan bruges til mindre bygværker.

Esbjerg

Esbjerg må omtales for sig på grund af egnens særlige geologiske forhold. Byen ligger dels på bakkeøen, dels ved foden af denne, og man træffer ret sjældent et normalt morænedække. Derimod går det tertiære glimmerler i dagen enkelte steder, og desuden møder vi her på endnu flere lokaliteter en interglacial jordart, det såkaldte Esbjerg yoldialer. Dette optræder med anselig mægtighed som et oftest mørktfarvet, til tider ret fedt, til tider særdeles siltrigt sediment, hvis materiale i høj grad synes at stamme fra det langt ældre glimmerler. Til trods for sin relativt høje alder (leret er afsat i den første af vore to interglaciale tider), virker Esbjerg yoldialeret ikke synderlig konsolideret, hvad årsagen nu kan være, men er dog langt at foretrække for de unge dyndaflejringer, som det i opløst tilstand forøvrigt godt kan minde om.

Marsken langs Sønderjyllands vestkyst

At kysten fra Esbjerg til grænsen rummer store marskområder bestående af blød marskklæg lagdelt med sand, skal her kun flygtigt omtales; thi dels er disse næsten horisontale, vidtstrakte flader lette at erkende på stedet, dels har de så ringe bæredygtighed, at enhver ingeniør på forhånd vil vide at tage sine forholdsregler, hvis han kommer ud for at skulle anvende marsken som byggegrund.

Vendsyssel

Tilbage står så omtalen af Vendsyssel, måske den landsdel, hvis geologiske historie spores mest, selv i de øverste jordlag, men som også er lettest at beskrive, fordi landskabsformerne er så lovbundet udviklede. Man møder i Vendsyssel:

- 1) Det unge, postglaciale, marine forland.
- 2) Det senglaciale ishavs sediment.
- 3) Det højtliggende glaciale landskab, der som øer har raget op over såvel ishavet som det yngre, lavereliggende stenalderhav.

Såvel Stenalderhavets som Yoldiahavets kystlinier falder på grund af landets hævnning nu på planer med sydvestlig hældning, således at det postglaciale havs kystlinie sænker sig fra kote ca. +15 langs linien Hirtshals-Frederikshavn til kote +5 langs linien Hanstholm-Hadsund (-Grenå), mens det senglaciale havs kystlinie på samme strækning falder fra kote ca. +60 til kote +5, hvorved Hanstholm-linien bliver fladernes

skæringszone. De sen-glaciale, marine sedimenter forsvinder derfor syd for linien under de postglaciale aflejringer.

Hvis man kender koten for en bestemt lokalitet, kan man i mange tilfælde nordøst for skæringslinien på forhånd vide, om den falder inden for det postglaciale, det sen-glaciale eller det glaciale område, men man ved ikke, om man på den postglaciale lavtliggende flade vil træffe dynd, strandsand eller måske dynd under strandsand. (Vær ikke blind for sidstnævnte mulighed, selv om strandsandet synes rent og tillidsvækkende). Ej heller kan man på forhånd afgøre, om de sen-glaciale, yderst velsorterede sedimenter vil bestå af f. eks. fedt yoldialer med fine sandstriber, eller siltrige lagserier, men i alle tilfælde medfører lagdelingen fare for dannelse af flydesand eller »flydeler« i byggegruber. (Dette sen-glaciale yoldialer kaldes ofte »yngre yoldialer« for ikke at forveksles med det langt ældre yoldialer ved Esbjerg, der er af en helt anden beskaffenhed, eller med yoldialer fra sidste interglaciertid, der forekommer netop i Vendsyssel).

For moræneleret gælder den almindelige regelløshed med hensyn til sammensætningen. Dog kan det siges, at moræneleret omkring Frederikshavn er meget fedt helt op til overfladen (det indeholder store mængder af interglaciert, fedt yoldialer), mens Hjørring bakkeø rummer såvel sandet moræneler som silt og fint sand.

Geologisk set er Vendsyssel et af Danmarks interessanteste områder, geoteknisk måske knapt så tiltalende. I det mindste har en by som Aalborg (da den ligger nordøst for skæringslinien, hører den med til det her behandlede område) alle tre niveauer at arbejde med (foruden de lokalmoræner af skrivestik, som omgiver byen, samt selve kridtundergrunden, der også hist og her går i dagen). Den del af byen, der må tage til takke med det unge stenalderhavdynd, har ofte svære funderingsproblemer.

Også Frederikshavn ligger delvis på den postglaciale flade, men denne synes dog her, eksponeret som den er mod det åbne hav, at rumme færre dyndede partier end egnene ved Limfjorden.

De geologiske forsøgsresultaters fremstilling

Som regel anføres de geologiske og geotekniske forsøgsresultater på et boreprofil, og det kan ofte være meget instruktivt at studere sammenspillet mellem prøvernes jordartsmæssige og geotekniske forhold.

Betragter man således profilet fig. 12, med tilhørende signaturforklaring, ser man, hvorledes kurverne for de øverste dyndholdige aflejrings vandindhold og glødetab (der giver et udtryk for indholdet af organisk stof) fra prøve 2 og nedefter næsten slavisk følger hinanden. Dette forhold er så rimeligt, at man bør efterforske afvigelserne fra denne regel. (Hvis to prøver viser samme indhold af organisk stof og samme styrke, men forskellig vandindhold, kan man regne med, at den mest vandholdige prøve er den mest finkornede).

Man iagttager ligeledes, at lillebæltseret ved ca. 10,5 m dybde til trods for dets større udrænede forskyd-

ningsstyrke har et væsentligt større vandindhold end det overliggende moræneler, hvilket skyldes de to jordarters vidt forskellige lerindhold.

Endvidere bemærker man, hvorledes den udrænede forskydningsstyrke stiger ved overgangen fra de sen-glaciale lag (der ikke har været isbelastet) til moræneleret (der har været underkastet iskappens vægt).

Alle svingninger i kurverne kan naturligvis ikke altid forklares alene ud fra de geologiske forhold på lokaliteten, og vil rimeligvis heller ikke kunne det, selv om man med tiden opnår større erfaring i at tolke sammenspillet mellem stedets geologi og jordprøvernes fysiske egenskaber. Allerede nu kan man dog se, at man ved samarbejdet mellem ingeniører og geologer er inde på den rette vej til at opnå det bedst mulige kendskab til de danske jordbundsforhold til gavn for begge parter.

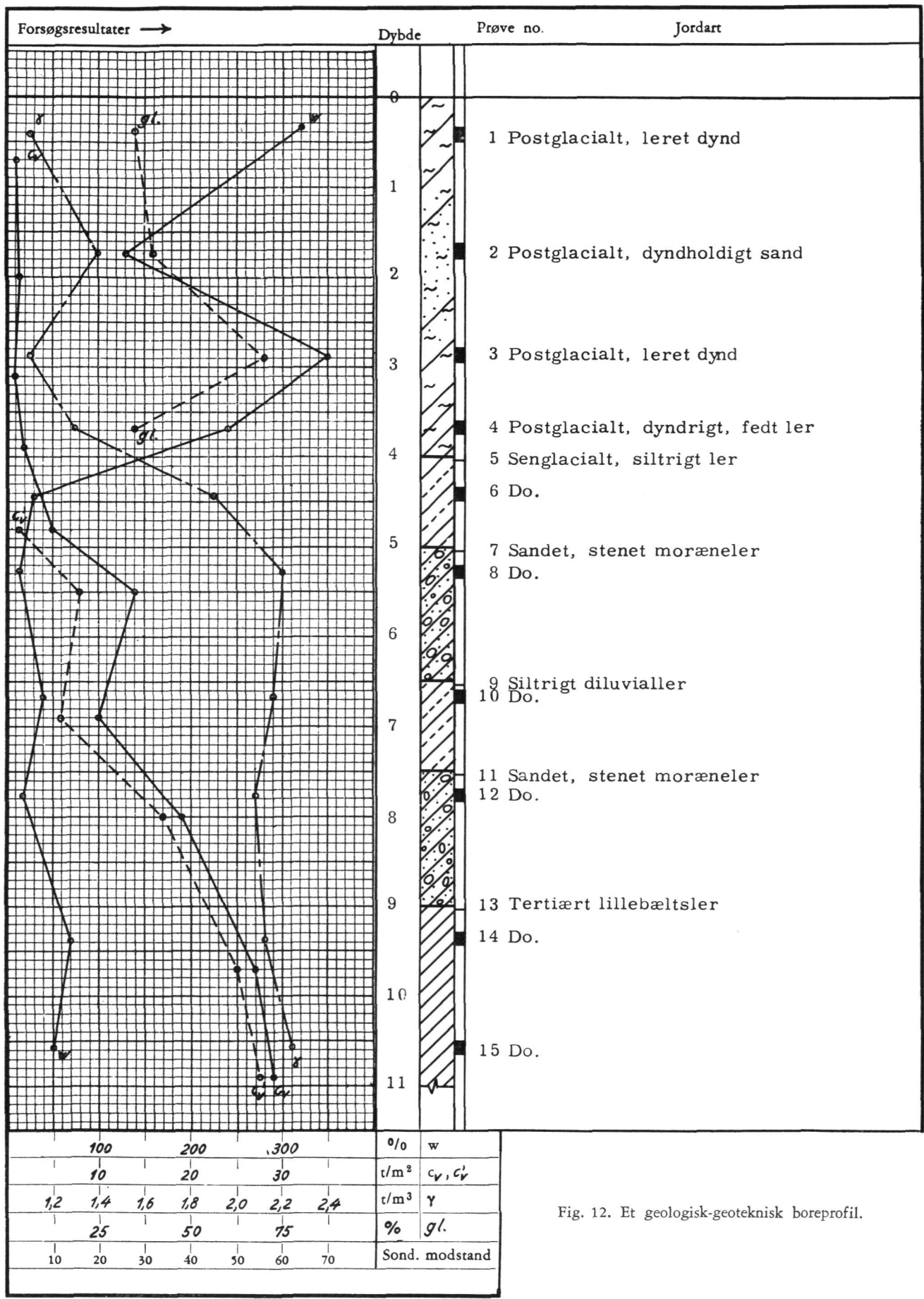


Fig. 12. Et geologisk-geoteknisk boreprofil.

Litteratur

- Beskow, G.* (1929): Om Jordartarnas Kapillaritet. Sveriges Geologiska Undersöknings Årsbok. Stockholm 1929.
- Beskow, G.* (1935): Tjällbildning och Tjällyftning. Sveriges Geologiska Undersökning. Ser. C. 375. Stockholm.
- Brenner, Th.* (1948): Jordartarnas Geotekniska Egenskaper. »Geoteknik«. Foredrag v. Dansk Ingeniørforenings kursus 1948. Teknisk Forlag, København.
- Bygningsfundering* (1955): Statens Byggeforskningsinstitut. Anvisning nr. 28. Teknisk Forlag. København 1955.
- Ekström, G.* (1926): Klassifikation av Svenska Åkerjor. Sveriges Geologiska Undersöknings Årsbok. Stockholm 1926.
- Lundgren, H.* (1954): Jordarternes Klassifikation. (Foredragsreferat). »Jordarbejder«. Teknisk Forlag. København 1954.
- Lundgren, H. & Brinch Hansen, J.* (1958): »Geoteknik«. Teknisk Forlag. København 1958.
- Mertz, E. L.* (1924): Oversigt over de sen- og postglaciale Niveauforandringer i Danmark. Danmarks Geologiske Undersøgelse. II række, nr. 41. 1924.
- Mertz, E. L.* (1937): Geologiske Profiler gennem danske Sunde og Fjorde. Danmarks Geologiske Undersøgelse. II række, nr. 60. 1937.
- Ravn, H. H.* (1954): Frostfarlig Jord. (Foredragsreferat). »Jordarbejder«. Teknisk Forlag 1954.
- Rosenqvist, I. Th.* (1955): Investigations in the clay-electrolyte-water system. Norges Geotekniske Institutt. Publ. nr. 9. 1955.

English summary

The present Bulletin is meant as a supplement to the Danish textbook "Geoteknik" by H. Lundgren and J. Brinch Hansen (1958). It deals with some characteristic aspects of engineering geology, especially in relation to Danish soils.

It is first described how soils are classified. The main classification is according to grain size distribution (stone, gravel, sand, silt, clay), but also the plasticity and sensitivity are important properties for the fine-grained soils. Other important characteristics are colour, smell and contents of organic matter, shells etc.

Next, the most important soil types are described, whereby a distinction is made between organic soils and mineral soils. Among the latter the two main types are sediments and non-sorted (moraine) deposits.

Then follows a review of the historical geology of Denmark. The lower layers consist of chalk, limestone and tertiary clays of high plasticity (Little Belt clay,

Septarian clay) as well as younger tertiary sediments with a high content of mica flakes.

The upper layers are characterized mainly by the glacial deposits, i. e. moraine soils and sediments of the meltwater. These are usually heavily preconsolidated. After the ice age late-glacial sediments were deposited (e. g. Yoldia-clay) and still later postglacial deposits. In many places, especially in the old Danish towns, the natural soils are covered by thick layers of fill.

The next chapter deals with the use of geology in soil investigations for engineering purposes. At the Danish Geotechnical Institute all soil samples are subjected to a geological judgement by the geologist of the institute. This enables the samples to be classified according to geological age and main properties.

Finally, the characteristic soil conditions in the different parts of Denmark are described.