

Danmarks Geologiske Undersøgelse.

III. Række. Nr. 29.

Vekselvirkningen
mellem Geologi og Geoteknik.

Af

Ellen Louise Mertz.

English Summary.

I Kommission hos

C. A. Reitzels Forlag

Axel Sandal

København 1949.

Pris: 2 Kr.

Danmarks Geologiske Undersøgelse.
III. Række. Nr. 29.

Vekselvirkningen
mellem Geologi og Geoteknik.

Af
Ellen Louise Mertz.

English Summary.

I Kommission hos
C. A. Reitzels Forlag
Axel Sandal
København 1949.

FR. BAGGES KGL. HOFBOGTRYKKERI
KØBENHAVN

INDHOLD

Forord	5
Indledning	7
Vandet i Jorden	11
Geoteknikens Midler	12
Den historiske og almindelige Geologi	12
Optagning af intakte Jordprøver	14
Jordartsgeologien	18
Jordarternes Kornstørrelser	20
Jordarternes Hygroskopicitet	23
Jordarternes Finhedstal	24
Bestemmelse af Jordarternes Bæreevne	27
Jordarternes Skredfarlighed	32
Jordarternes Frostfarlighed	34
De geotekniske Forsøgsresultaters Fremstilling	37
Sammendrag	39
Summary	41
Litteraturfortegnelse	50

Forord.

Nærværende lille Oversigt over Vekselvirkningen mellem Geologi og Geoteknik er udarbejdet paa Grundlag af et Foredrag med samme Titel, holdt i Dansk Geologisk Forening d. 7. December 1946.

Da Oversigten er udarbejdet af en Geolog og beregnet for en geologisk Kreds, er Omtalen af de ikke geologisk prægede Elementer i den geotekniske Videnskab kun medtaget i det Omfang, der er skønnet absolut nødvendigt for Forstaaelsen af Emnet. I disse korte Redegørelser har jeg holdt mig saa tæt som muligt til de af est. Professor A. F. MOGENSEN i »Teknisk Leksikon« (1946, II Del) benyttede Fremstillinger.

Det har ikke været min Hensigt med denne Oversigt at give et Billede af Geotekniken taget som Helhed, men kun at belyse den Side af dette Fag, der vender imod Geologien, hvorfor jeg saavel i Teksten som i den medfølgende Litteraturfortegnelse fortrinsvis har holdt mig til mine skandinaviske geologiske Kollegers Værker om geotekniske Emner.

For den, der ønsker at sætte sig ind i Geotekniken, udover dens rent geologiske Side, er Oversigten saaledes ganske utilstrækkelig, og det maa tilraades at studere den nylig udkomne Haandbog »Geoteknik«, der er bygget over en Foredragsrække afholdt ved et af Dansk Ingeniørforening og Danmarks tekniske Højskole i Forening arrangeret Kursus i Geoteknik 1946. Foredragsholdere ved dette Kursus var Ingeniørerne S. SKAVEN-HAUG (Norge) og A. F. MOGENSEN (Danmark) samt Geologerne dr. phil. TH. BRENNER (Finland) og ELLEN LOUISE MERTZ (Danmark).

Der er i nærværende Oversigt kun meget lidt Nyt, idet der er redgjort for Størstedelen af Stoffet i mine tidligere Skrifter om geotekniske Emner; men det har ligget mig paa Sinde at faa fastslaet, at det geotekniske Samarbejde er til Nytte saavel for Geologer som for Teknikere, og jeg har sammenstillet de hidtil opnaaede Resultater med dette Maal for Øje.

Charlottenlund, den 15. Januar 1948.

Ellen Louise Mertz.

Indledning.

Mere end 25 Aar er nu forløbet, siden Geotekniken blev indført i Danmark, og Tidspunktet skulde derfor være inde til at undersøge, hvilken Nytte Geologen og Teknikeren gensidig har haft af hinanden paa dette fælles Arbejdsomraade.

Hvis Betegnelsen Geoteknik skal oversættes til Dansk, maa man i byggeteknisk Henseende vælge Ordet: »Byggegrundsundersøgelser«; men med lidt Smidighed kan »Geoteknik« nok gøres saa rummeligt, at det omfatter *alle* Jordartsundersøgelser, hvor Geologien og Tekniken arbejder Haand i Haand, altsaa ogsaa Bedømmelsen af vore Jordarters Anvendelighed i Pottemager- og Teglværksindustrien, til Støbematerialer, ved Sæbefabrikationen o. s. v. I denne Betydning er Navnet i hvert Fald hidtil anvendt herhjemme af DANMARKS GEOLOGISKE UNDERSØGELSE, hvis geotekniske Afdeling omfatter enhver Jordartsundersøgelse, hvor Formaalet er at bestemme Jordens tekniske Anvendelighed indenfor de nævnte Rammer.

Det vilde have været meget ønskeligt, om man kunde have begrænset Brugen af Ordet »Geoteknik« til udelukkende at gælde det geologisk-tekniske Samarbejde, altsaa til kun at anvendes ved Undersøgelser, der ledsages af Optagning af Jordprøver; men det lader sig næppe gøre at standse den nuværende Brug af Ordet som helt dækker Begrebet »Jordmekanik« (soil mechanics), hvorved ogsaa Byggegrundsundersøgelser uden Jordprøveoptagning inddrages under dets Arbejdsomraade.

Det bør dog understreges, at hvis en eller anden Byggherre mener, at han ved et Byggeforetagende kan klare sig alene med de Resultater, som Prøvebelastning af Bunden, Boring med det belastede Spidsbor e. l., giver ham, saa staar det ham naturligvis frit for; men for Geologerne har slige Undersøgelser ingen Værdi, fordi selve Jordbundens Sammensætning paa paagældende Lokalitet forbliver ukendt.

Saa længe Geologien har været dyrket her i Landet, har Geologerne bistaet Teknikerne ved Løsning af Jordartsproblemerne; men som selvstændig Videnskab er Geotekniken relativt ung, idet den først er opstaaet i Aarene omkring 1914. Paa dette Tidspunkt bevirkede en Del

alvorlige Dæmningskatastrofer i Sverige Oprettelsen af en svensk »geoteknisk Kommission«, i hvilken saavel Geologer som Ingeniører havde Sæde, og denne arbejdede i det næste Tiaar med dels at udrede Aarsagerne til de stedfundne Skred, dels at finde Fremgangsmaader til at forebygge lignende Katastrofer, naar nye Dæmninger skulde opføres. I 1922 var Kommissionen naaet til Ende med sit Arbejde og saa sig i Stand til at publicere Resultaterne i Værket: »Statens Järnvägars geotekniska Kommission 1914—22. Slutbetänkande¹⁾. Omtrent samtidig udkom ogsaa i Udlandet de første geotekniske Publicationer (f. Eks. TERZAGHI 1919, 23 og 25), og dermed var en ny Æra indledet i det byggetekniske Forskningsarbejde.

Det siger sig selv, at en saa praktisk anvendelig Videnskab som Geoteknik hurtigt maatte finde Vej over Sundet, men at Omplantningen skete saa tidligt som i Aaret 1921, endnu inden den før omtalte geotekniske Rapport forelaa, skyldtes en ren Tilfældighed, idet Forfatteren af nærværende Oversigt paa dette Tidspunkt opholdt sig i Stockholm i andet Øjemed og derved fik Lejlighed til at stifte Bekendtskab med SVERIGES GEOLOGISKA UNDERSÖKNINGS geotekniske Forsøgsarbejde og af Chefen for DANMARKS GEOLOGISKE UNDERSÖGELSE, dr. phil. VICTOR MADSEN senere fik Tilladelse til selv at arbejde videre med Spørgsmaalet herhjemme.

Kort derefter paabegyndte DE DANSKE STATSANER yderst grundige Forundersøgelser af Mulighederne for at bygge Lillebæltsbroen, herunder ogsaa Jordbundsundersøgelser, og skönt D. G. U.'s geotekniske Viden paa dette Tidspunkt var ringe, fik den dog aktuel Interesse, hvorfor et Samarbejde blev etableret imellem de to nævnte Institutioner, et Samarbejde der forøvrigt er fortsat lige siden.

Det er beklageligt, at vort hidtil interessanteste Byggearbejde skulde falde i Geoteknikens første Barneaar herhjemme, hvor bl. a. Prøvematerialet langtfra stod paa Højde med Nutidens, samtidig med at den geotekniske Støtte ved Bundundersøgelserne af mange andre Grunde maatte blive yderst beskedne. For selve Geoteknikens tekniske Udvikling i Danmark har det tillige sikkert ogsaa været hæmmende, at dette Arbejdsomraade gennem de første 10 Aar af dets Bestaaen var saa stærkt knyttet til en geologisk Institution, der jo hovedsagelig maatte have Interesse af Problemernes jordartsmæssige Side og behandle deres tekniske Islæt ret stedmoderligt; men for Geologiens Forbindelse med Geotekniken har den Omstændighed, at sidstnævnte Videnskab fra den første Begyndelse her i Landet har været dyrket indenfor D. G. U.'s Mure, kun betydet en Fordel, idet den derved har faaet en særdeles stærk Tilknytning til Geologien netop i vort Land.

¹⁾ Stockholm 1923.

I 1930 blev det nødvendigt at give det geologisk-tekniske Samarbejde bedre Arbejdsvilkaar, hvorfor D.S.B. og D.G.U. i Forening oprettede et geoteknisk Laboratorium i Statsbanernes Administrationsbygning i Sølvgade, hvor en af D.S.B.'s Ingeniører, nuværende Baneingeniør O. GODSKESEN varetager det tekniske Arbejde, herunder Ledelsen af D.S.B.'s Afdeling for Jordboringer, medens D.G.U.'s Geotekniker tager sig af den jordartsmæssige Del af Statsbanernes geotekniske Opgaver.

I 1937 paabegyndte tillige DANMARKS TEKNISKE HØJSKOLES Laboratorium for Havnebygning og Fundering paa Initiativ af daværende Professor G. SCHÖNWELLER et geoteknisk Forskningsarbejde ligeledes i Samarbejde med D.G.U., og ogsaa blandt private Ingeniører har Faget i Tidens Løb faaet mange Dyrkere. Ikke mindst i den sidste halve Snes Aar har Interessen for Geoteknik været voksende blandt de yngre Ingeniører, og efter at AKADEMIET FOR DE TEKNISKE VIDENSKABER har oprettet »Geoteknisk Institut«¹⁾ maa enhver Ængstelse for, at Geotekniken herhjemme skulde blive for geologisk præget skønnes ubegrundet. Snarest maa der — ikke mindst overfor den opvoksende geologiske Ungdom — bedes om Agtpaagivenhed overfor den modsatte Tendens: at Formler og Tal kan komme til at sluge Geotekniken paa Bekostning af Problemernes geologiske Side.

Det er jo muligt, at Geoteknikens stærke, tekniske Fremskridt med Tiden kan formindske Ingeniørernes Behov af Samarbejde med Geologerne, men denne Proces skulde i hvert Fald nødigt fremskyndes af svigtende geologisk Interesse for Sagen; thi indtræffer nogen Sinde den Situation, at Optagning af Jordprøver og Bestemmelse af deres Art faar mindre Betydning — jeg for min Del tror det ikke — saa faar Geotekniken derefter yderst ringe Værdi for den geologiske Forskning. I Øjeblikket er en saadan Ængstelse dog overflødig, og alt tyder paa, at den geotekniske Videnskab endelig i Danmark har fundet sit rette Leje, idet den her opfylder de nedenfor citerede Krav, som er stillet i den svenske Kommissions før omtalte Rapport²⁾:

»Der är tydligt, att den geotekniska institution föratt på ett effektivt sätt kunna fylla sina olikartade och sammansatte uppgifter måste inom

¹⁾ Dette Institut er oprettet paa Grundlag af det eksisterende Samarbejde mellem DANMARKS TEKNISKE HØJSKOLES Laboratorium for Havnebygning og Fundering og DANMARKS GEOLOGISKE UNDERSØGELSE. Institutet har en Bestyrelse, hvori foruden Lederne af de nævnte to Institutioner Repræsentanter for DE DANSKE STATSBANER, DANSK INGENIØRFØRENING, DANMARKS TEKNISKE HØJSKOLE m. fl. har Sæde. Den daglige Ledelse af Institutet forestaas af Professoren i Havnebygning og Fundering, medens D. G. U.'s geologiske Medarbejder paa sin Institutions Vegne varetager de geotekniske Problemers geologiske Side.

²⁾ I. c. Bilag 2, Side 2.

sig öga tillgång till såväl teknisk som geologisk fackkunskap och att, om också vissa frågor kunna vara av övervägande teknisk andra av övervägande geologisk art, en oavslätlig kombination mellan tekniska och geologiska synpunkter är oundgängligen behövlig.»

Inden vi gaar over til at omtale de Midler, den geotekniske Videnskab raader over, og Arbejdets Gang paa et geoteknisk Laboratorium, vil det sikkert være paa sin Plads at klarlægge Geoteknikens Formaal.

Det er klart, at en Tekniker lader sin Jord undersøge for at skaffe sig oplyst rent praktiske Ting, saasom: om Grunden kan bære det paa-tænkte Bygværk, om Udgravningen vil skride, om Frostskader kan forventes i den Dæmningsfyld, der tænkes anvendt, eller om en eller anden Leraflejring vil være af industriel Værdi. Han søger med andre Ord klare, talmæssige Resultater, som kan være til praktisk og økonomisk Nytte, og navnlig det sidste Formaal nødvendiggør geotekniske Undersøgelser, thi hvis Økonomien ved et Foretagende ikke spillede saa stor en Rolle, kunde man blot arbejde med en saa stor Sikkerhedsgrad, at Risiko var udelukket, og alle Geoteknikere vilde da blive brødløse. At se bort fra Økonomien er dog som bekendt ikke gør ligt, hvorfor det maa blive Geoteknikens praktiske Opgave at hjælpe Teknikerne til at arbejde saa billigt, saa nær ved Sikkerhedsgrænsen, som muligt, uden at der derved opstaar Risiko for Bygværker og Produktionen. At finde Balancen mellem Dumdristighed og overdreven Forsigtighed er i Virkeligheden det Maal, som enhver ansvarsbevidst Geotekniker maa arbejde hen imod.

Geologernes Interesser for Geoteknikens Resultater er ganske andre. For dem aabner de store Byggeforetagenders ofte meget dybtgaaende Boringer Adgang til udvidet Kendskab til Lokalitetens Bundforhold, ligesom den videnskabelige Undersøgelse af det nu saa udmærkede Prøvemateriales forskellige Jordarter giver saadanne Oplysninger om disses Alder og Dannelsesmaade, som det ellers ikke vilde være økonomisk muligt for Geologen at opnaa.

Det kunde paa Forhaand synes vanskeligt at faa disse saa forskellige Interesser til at indgaa i en fælles Arbejdsplan; men til alt Held bygger begge paa samme Grundlag: selve den Jordbund, der arbejdes med, og selv om de to Parters Undersøgelser er foretaget i vidt forskellige Hensigter, kan de saa udmærket godt have gensidig Interesse.

Et af de vigtigste Fællesomraader for Geologi og Teknik er Mineraljordens Forhold til Vandet i dens Porer, hvorfor der nedenfor skal fremsættes nogle Betragtninger herom.

Vandet i Jorden.

Efter moderne Opfattelse findes, foruden det kemisk bundne Vand i Jorden, dels det hygroskopiske Vand, dels det frie Porevand, idet der ved den første Betegnelse forstaas den Hinde af fortættet Vand, der omgiver et Mineralkorn, og som i finkornede Jordarter er bundet saa stærkt til Kornet, at det i mange Henseender maa regnes som udgørende en Del af dette. Det hygroskopisk bundne Vand er en overordentlig vigtig Faktor i Jordarternes Opbygning; man regner saaledes med, at det er den væsentlige Aarsag til Lerarternes plastiske Egenskaber; kun ved Vold lader det sig rive løs fra Mineralkornet, og dets »Fasthed« er af en saadan Størrelsesorden, at man af og til ser den sammenlignet med Staalets¹⁾. Sker det, at Kornets Vandhinde formindskes paa Grund af endnu stærkere Tiltrækning udefra, saa suppleres den straks med Erstatningsvand, som Kornet suger til sig, enten fra Luftens Fugtighed eller fra Grundvandet.

Hele dette Forhold vilde kun have teknisk Interesse, hvis ikke Vandhindens Tykkelse var ganske afhængig af Kornenes Størrelse og Form, saaledes at det hygroskopiske Vand bliver tættere og fastere bundet, jo mindre og mere afrundet dets Mineralkorns-Kærne er. Fedt Ler har derfor relativt tykke, hygroskopiske Vandhinder, Sand relativt tynde. Humus- og Gytje-Indblandinger forøger Vandbindingsevnen stærkt²⁾.

Imellem Mineralkornene, indbefattet deres hygroskopiske Vandhinder, befinder sig det frie Porevand³⁾, under Grundvandspejlet uafhængigt af Overfladekræfternes Paavirkning, over Grundvandet derimod i Form af Kapillarvand, d. v. s. Vand, der ved Hjælp af Porerne Haarrørskraft hæves op over Grundvandet. Den kapillære Stighøjde er afhængig af den paagældende Jordarts Kornstørrelser: Lerjord har fine Porer med stor Haarrørskraft og kan derfor hæve Vandet til stor Højde, men kun ved at bruge meget lang Tid til Processen; Sand

1) Ifl. Undersøgelser af ZUNKER; ref. af A. F. MOGENSEN 1946, kan de fortættende Kræfter i selv en Jordart med ringe Hygroskopicitet anslaaes til 42000 kg/cm².

2) Hvis intet andet bemærkes, tager denne Oversigt kun Sigte paa rene Mineraljorder.

3) Mellem det hygroskopisk bundne Vand og det frie Porevand findes en Overgangsform: Vedhængsvandet, der dels danner den yderste, lidt bundne Vandhinde om Kornet, dels forekommer i Krogene af Porenettet ved Jordpartiklernes eller rettere deres Vandhinders Berøringspunkter. I vandfyldte Jordarter medregnes dette Vedhængsvand til det fri Porevand.

har store Porer og kan derfor hæve Vandet hurtigt, men kun til ringe Højde. Overgangsformerne mellem Ler og Sand, det saakaldte Mo (Finsand) og Mjåla (Mel-Ler), som vi senere skal omtale (Side 20), hæver Vandet relativt højt og relativt hurtigt.

Det vil af det her fremførte indses, at Forholdet mellem en Jordart, dens Vandhinder og dens frie Porevand har stor Interesse for Jordartsgeologien: kender man Kornstørrelserne, kan man sige en Del om Jordens Kapillaritet og Hygroskopicitet¹⁾ og omvendt, og her er saaledes en af de Overgribninger mellem Geologi og Teknik, der gør Samarbejdet saa nødvendigt, thi for Tekniken er Forholdet mellem Jord og Vand af endnu mere afgørende Betydning, idet det er bestemmende for Jordens Bæreevne, for Størrelsen af de Sætninger et Bygværk foraarsager, for Tendensen til Opfrysning o. s. v. Selv om Maalene er forskellige, bliver Midlerne til at naa dem derfor i mange Tilfælde fælles for den geotekniske Videnskabs to Grene.

Geoteknikens Midler.

Den historiske og den almindelige Geologi.

Bortset fra Mosedrag o. l. har den danske Jordbund i Almindelighed en ret tilfredsstillende Bæreevne, og for Aar tilbage ofrede man derfor ikke selv ved større Byggeforetagender den Side af Sagen megen Opmærksomhed; man skønnede ret løseligt over Fasthedens Størrelsesorden i de øvre Lag og stolede paa Resten. Nu om Stunder bliver Byggegrunden forundersøgt ved langt de fleste større Byggeprojekter, og den allerførste Hjælp søger man dels i den geologiske Viden om den paagældende Lokalitets Overfladedannelser, dels i DANMARKS GEOLOGISKE UNDERØGELSENS Borearkiv, der i mange Tilfælde kan give Oplysninger om de dybere liggende Aflejringers Karakter paa vedkommende Egn, saaledes f. Eks. om Muligheden for at træffe dyndholdige Jordlag til større Dybde og om Undergrundens Beliggenhed og Art.

Med Hensyn til den Fordel, som Teknikerne kan have af den rent historiske Geologi, da kan det af og til være vanskeligt at faa overbevist navnlig en ældre Ingeniør om, at denne Videnskab kan være ham til praktisk Gavn, og at endog Palæontologien og Palæobotaniken kan fortælle ham mangt og meget om den danske Jordbund, som han kan have Nytte af i sit Arbejde. Og dog er dette Tilfældet; thi den histo-

¹⁾ Se Side 36 og 23.

riske Geologi yder ofte Tekniken god Hjælp og den har gjort det, længe før Ordet »Geoteknik« blev opfundet.

Det kan saaledes nævnes, at man før Udvælgelsen af Projektet til Lillebæltsbroens Bygning, henvendte sig til Geologerne og udbad sig deres Garanti for, at der ikke fandtes Sten i Lillebæltsleret, da Projektets Gennemførelse afhang af denne Forudsætnings Berettigelse. Fra Geologernes Side blev der uden Tøven svaret, at de eneste Sten man kunde forvente i det eocæne plastiske Ler maatte være de spredte Konkretioner af Lerjernsten o. l. som man vidste fandtes i Leret, men at virkelige Sten ikke forekommer i denne gamle Dybvandsdannelse¹⁾.

Senere i denne Oversigt, bl. a. under Afsnittet om Bestemmelsen af Jordarternes Bæreevne, vil der blive Lejlighed til at erfare, hvor vigtigt det kan være gennem Geologerne at faa Kendskab til Indlandsisens Bevægelse hen over en Lokalitet, ligesom det ved Bedømmelse af en Issøaflejnings Muligheder som Fyldmateriale er af Betydning ved Geologiens Hjælp at gøre sig bekendt med »Søens« Kyster og Form. Utvivlsomt faar Teknikerne ogsaa, naar det paatænkte Projekt for Københavns nye Tunnelbane kommer til Udførelse, rig Lejlighed til at høste Nytte af Geologernes Viden, bl.a. om Kalken i dens forskellige Facies.

Naar Geologerne og D. G. U.'s Borearkiv er blevet raadspurgt, har man for det meste et mere eller mindre sikkert Grundlag for at bedømme den økonomiske Størrelsesorden for Forundersøgelserne, hvorefter Borenettet kan angives i store Træk og Boringerne paabegyndes.

¹⁾ Under Udgravningerne for en af Lillebæltsbroens Strømpiller rejstes der Tvivl fra Entreprenørernes Side om denne Paastands Rigtighed, hvilket var meget rimeligt, da man i en Dybde af ca. 2—3 m under Bunden fandt dels Klumper af Lillebæltsler gennemborede af Boremuslingen (*Pholas candida*), dels en Del større og mindre Sten.

En Undersøgelse paa Stedet, foretaget af nuværende Statsgeolog, dr. phil. SIGURD HANSEN, suppleret med senere Undersøgelse af den i Proverne fundne Fauna, foretaget af Statsgeolog, dr. phil. V. NORDMANN gav dog det Resultat, at de med Sten og Muslingeskaller forurenede Lag af Lillebæltsleret maa anses for at være omløjret af Bundstrømme i vore Dage eller i hvert Fald i meget ung Tid. Denne Afgørelse hvilede ikke mindst paa den Kendsgerning, at Boremuslingerne, der her blev fundet i 3 m's Dybde, kun kan leve i en Dybde af ca. 0,3—0,5 m u. Overfladen, samt at der paa de fundne Sten fandtes friske Goplepolyper, der umulig kunde have levet paa saa stor Dybde, altsaa et smukt Eksempel paa Naturvidenskabens, denne Gang Zoologiens, Mulighed for at yde praktisk Hjælp.

Optagning af intakte Jordprøver.

De Jordprøver, der i tidligere Tid blev optaget fra Boringer og Gravninger var langtfra intakte, idet de førtes op med almindelige Bore- eller Graveredskaber, ofte i Forbindelse med Skylning. Nutildags stiller de geotekniske Laboratorieundersøgelser imidlertid saa strenge Krav til Prøvematerialet, at en speciel Teknik til Optagning af intakte Jordprøver har maattet udvikles, saaledes at der ved en Boring med visse Mellemrum optages intakt Jord med særlig Prøveoptager, medens der iøvrigt optages de almindelige »omrørte« Jordprøver med de tidligere anvendte Boreredskaber.

Af Apparater til Brug ved Optagning af intakte Prøver findes der et stort Antal Konstruktioner. Princippet ved de fleste er dog, at en Cylinder paa en eller anden Maade trykkes ned i Borehullets Bund, saaledes at den fyldes med Jord, der føres med op, naar Apparatet hæves. Her skal nærmere beskrives to Typer, der anvendes af GEOTEKNISK INSTITUT¹⁾.

Prøveoptager Type B (Fig. 1a) bestaar af en Messingpatron og en Jernholder. Messingpatronen har en indvendig Diameter paa 4,15 cm og Længden 14 cm og er forsynet med en Krave foroven, saaledes at den ved Hjælp af en Omløbermøtrik kan fastgøres til Holderen. Patronens nederste Kant er skærpet.

Holderen bestaar af et Jernrør med samme indvendige Diameter som Patronen. Foroven er dette Rør forsynet med en Kugleventil, som tillader Vand og Luft at undslippe under Nedpresningen i Jorden og hindrer Prøven i at blive suget ud af Patronen under Optrækningen. Jernrøret er paaskruet et Hoved, som foroven afsluttes med en Tap med Gevind, der tjener til at fastgøre Prøveoptageren til Borestangen.

Fremgangsmaaden ved Prøveoptagningen er følgende: Først renses Borehullet for Slam og løs Jord,

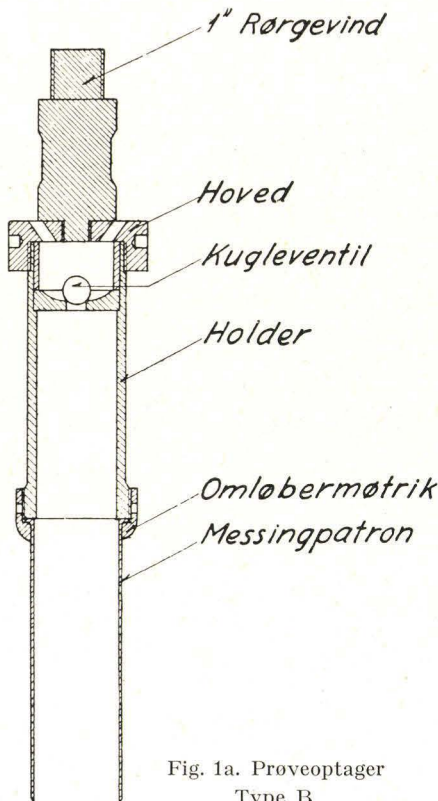


Fig. 1a. Prøveoptager Type B.

¹⁾ Beskrivelsen og det tilhørende Billedmateriale er med Forfatterens Tilladelse direkte gengivet fra A. F. MOGENSEN og A. V. KNUDSEN 1946. Det siger sig selv, at der her kun er Tale om Boring i relativt bløde Jordarter; ved Boring i faste Bjergarter anvendes en anden Kærneboringssteknik.

hvilket er meget vigtigt, da Prøveoptageren ellers tilstoppes med Slam, som ikke kan passere Ventilen. Efter at Messingpatronerne er fastgjort til Holderen, afsættes et Mærke paa Borestangen med en Afstand fra Patronens Underkant, som er lig med Borehullets Dybde. Herved skabes Sikkerhed for, at Optageren virkelig føres ned til Bunden af Borehullet, saa Prøven ikke tages af nedskredet Materiale. Paa Stangen sættes ca. 22 cm over det første Mærke endnu et Mærke, som angiver Nedtrykningsdybden.

Nedtrykningen af Prøveoptageren bør ske ved et roligt Tryk, uden Vrikning eller Drejning af Borestangen. I bløde Jordarter kan Nedtrykningen ske ved Haandkraft. I mere faste Lag maa der anvendes en Donkraft, der holdes mod en Tværbjælke, som forankres enten til nedgravede Planker eller til Foringsrøret. Nedtrykningsdybden skal være saa stor (ca. 22 cm), at ikke alene Messingpatronen, men ogsaa det meste af Holderens Rør fyldes. Paa denne Maade udtages Prøven ikke af det forstyrrede, opblødte Lag øverst i Borehullets Bund, men noget dybere, hvor det maa antages, at Jordbunden er mere intakt. Optageren maa ikke trykkes længere ned end de 22 cm, da Jorden ellers presses mod Ventil sædet og komprimeres. Efter Nedtrykningen sættes en Streg paa Borestangen nøjagtig i Højde med Terrain eller Foringsrørets Kant, saaledes at Dybden til den udtagne Prøve senere kan maales med Baandmaal.

Prøven kan nu løsnes fra Jorden ved at dreje Apparatet ca. en $\frac{1}{4}$ Omdrejning, og Optageren trækkes derefter op.

Efter Optagningen renskæres Prøven forneden (evt. Vand fra Borehullet aftørres), Messingpatronen trykkes fast ind mod Holderen, saa den ikke drejes eller vrikkes under Afskrivningen af Omløbermøtrikken. Naar Omløbermøtrikken er afskruet, overskæres Jordprøven ved at forskyde Messingpatronen i Forhold til Holderen eller ved at skære med en tynd Staaltraad mellem Holder og Messingpatron.

Er Patronen ikke helt fyldt med Jord, renses Jordoverfladerne forsigtigt og tildækkes med Pergamentpapir. Derefter fyldes Patronen helt op med Jord af samme Slags som Prøven og med samme Fugtighed. Som det senere skal ses, vil en Tilfyldning af fugtigt Sand ovenpaa en Lerprøve bevirke, at denne ødelægges.

Laagene til Messingpatronerne paasættes og paraffineres ved at neddyppes i smeltet Paraffin. Derefter forsynes Patronen med Etiket og lægges i Kasse. I Borejournalen noteres omhyggeligt Dybden til Prøvens Underkant samt Prøvens Løbenummer og Messingpatronens Nummer.

Prøveoptager Type C, der er vist paa Fig. 1b bestaar af en ca. 50 cm lang, cylindrisk ydre Staalkappe, som forneden er forsynet med et hærdet Skær og foroven er fastgjort i et svært Hoved med Gevind til Paaskruining af Borestangen ($2\frac{1}{2}$ " Rør).

Inde i den ydre Staalkappe er anbragt et løst 27 cm langt Messingrør, der foroven lukkes af et gennemhullet fladt Hoved forsynet med to

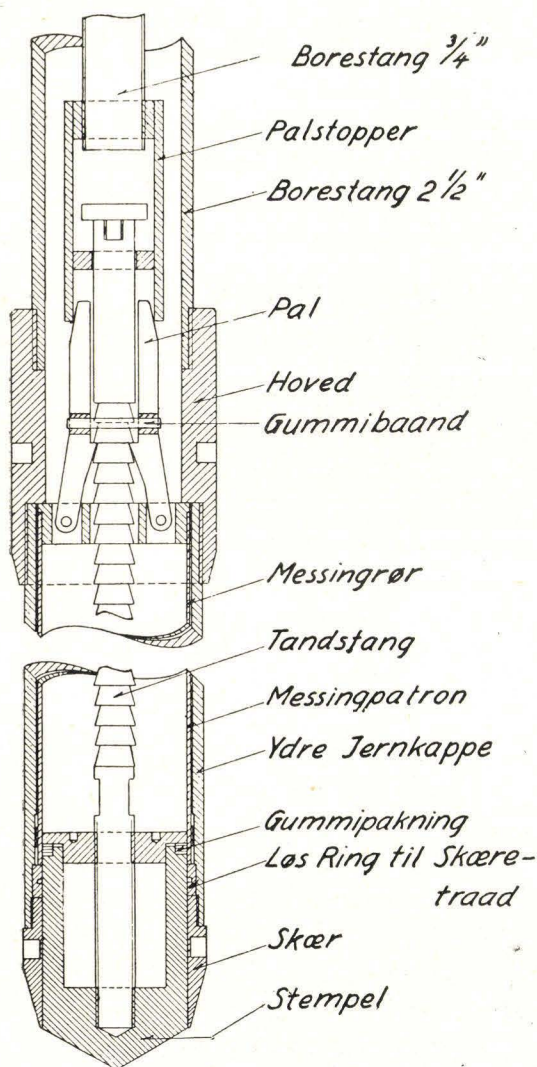


Fig. 1b. Prøveoptager Type C.

mibaand. Stemplet fastholdes i sin nederste Stilling ved, at et kort Rørstykke (Palestopperen) føres ned over Palene, saa de ikke kan presses udad. Naar Palestopperen løftes, frigøres Stemplet, saa det kan skydes op igennem Messingrørene. Stemplets nedadgaaende Bevægelse hindres imidlertid i enhver Stilling af Palenes Indgriben i Tandstangens Modhager. Den omtalte Løftning af Palestopperen sker ved en Hjelpeborestang inden i selve Borestangen, der bestaar af et $2\frac{1}{2}$ '' Rør. Denne Hjelpeborestang tjener tillige til Ophængning af Stemplet under Nedpresning af Optageren.

Anvendelsen af Prøveoptageren C kræver, at Borehullets Foringsrør har en Diameter paa mindst 6''.

Pale. I Forlængelse af Messingrøret er Prøvepatronen anbragt, og det hele hindres i at glide ud forneden af en Staalring og det paaskruede Skær.

Prøvebeholderen bestaar ved denne Optager af en svær Messingpatron med Diameter 7,0 cm og Længde 20 cm. Den er i Enderne forsynet med Gevind, saaledes at den kan lukkes med Skrueaag med Gummipakning.

I den indlagte Staalring er der udfraeset en Rille, hvori der kan fastkittes en tynd Staaltraad, hvis Ender føres igennem et Hul i den ydre Kappe og fastgøres til en lang Staalwire. Ved Træk i Wiren kan Jordprøven efter Prøveoptagerens Nedtrykning afskæres forneden.

Et Stempel med tætslutende Gummipakning kan bevæge sig gennem Messingrøret, Prøvepatronen og Skæret. Til Stemplet er fastgjort en Tandstang, der føres gennem Hullet i det flade Hoved til Indgribning med de to Pale, der holdes sammen af et Gum-

Forberedelsen til Prøveoptagningen samt Føring af Borejournal og Etikettering svarer til det under Optager B anførte.

Før Nedføringen fastlaases Stemplet i sin nederste Stilling, saaledes at Optageren kan trykkes gennem Slam og løs Jord. Naar den har naaet fast Bund, trækkes Hjælpestangen opad, til Palene frigøres, hvorefter Prøveoptageren kan presses ned i Jorden, uden at Stemplet bevæger sig, idet dette fastholdes ved Hjælp af den indvendige Hjælpeborestang. Nedpresningsdybden er saa stor (ca. 42 cm), at ikke alene Prøvepatronen, men ogsaa Messingrøret ovenover fyldes med Jord, som beskrevet under Prøveoptager B.

Nedpresningen maa foretages ved en hydraulisk Donkraft.

Overskæringen af Jordprøven forneden sker ved Overskæring med den omtalte Staaltraad. Naar Optageren derefter løftes, bevirker det tætsluttende Stempel (der fastholdes af Palene), at Prøven fastholdes. Efter Hævningen til Jordoverfladen afskrues Borestangen og Skæret, og ved et Tryk paa Tandstangen trykkes det indre Messingrør og Prøvepatronen ud af den ydre Kappe. Jorden i Messingpatronen renskæres for Enderne, og Laagene paaskrues.

De ovenfor beskrevne Prøveoptagere er kun i Stand til at tage Prøver af Jordarter, der er i Besiddelse af en vis Sammenhæng. Rent Sand og meget blødt Ler og Dynd, vil glide ud af Prøvepatronen under Optrækningen. Da imidlertid alle Jordlag skal være repræsenteret i Prøvesamlingen, maa saadanne Prøver optages i æltet Stand f. Eks. ved Hjælp af Ventilbor (et Rør med Klapventil forneden) og fyldes i Daaser eller Glas, der paraffineres, etiketteres og indføres i Borejournalen paa samme Maade som de intakte Prøver.

Optagningen af fuldkommen intakte Prøver er et Ideal, der aldrig kan naas. Alene Tilstedeværelsen af Borehullet ned til det Sted, hvor Prøven skal optages, bevirker en Ændring af de omliggende Jordlags Spændingsforhold, ligesom Nedpresningen af Prøveoptageren forarsager yderligere Forstyrrelser.

Her skal anføres nogle af de Regler, der maa overholdes for at faa optaget saa gode Prøver som muligt.

- 1) Prøveoptagningen skal ske, saa snart Boringen er ført ned til Optagningsstedet. Ved længere Tids Henstand breder det forstyrrede Omraade sig nedefter fra Borehullets Bund.
- 2) Borehullet maa ikke pumpes tørt for Vand, idet der da sker en Vandtilstrømning, hvilket kan opløde Jordlagene i Hullets Nærhed og under Hullets Bund, hvor Prøven skal optages. Vandstanden i Hullet skal helst være nær ved Grundvandsspejlet.
- 3) Prøveoptageren maa ikke rammes ned eller vrikkes og drejes under Nedpresningen. Optrækningen skal ske ved et roligt Træk.
- 4) En Lerprøves Endeflader maa ikke være i Berøring med frit Vand,

da dette bevirker en Ophævelse af de Haarrørskræfter i Porerne, som sammenholder Prøven. Det frie Vand vil derved suges ind i Prøven og opløde denne. Et vandholdigt Sandlag vil virke som frit Vand, og det maa derfor undgaas, at Prøven optages i Grænsen mellem Sand og Ler.

- 5) Prøvebeholderne maa altid være helt fyldte inden Lukningen (evt. ved Indlægning af Pergamentpapir og Tilfyldning med samme Jordart som Prøven).
- 6) De fyldte Beholdere maa ikke udsættes for Frost eller stærkt Solskin.
- 7) Prøvekasserne med Patronerne emballeres i en større Kasse med Træuld, saa de ikke rystes under Transporten.

Da Prøveoptagningen er et af de vigtigste Led i Jordbundsundersøgelsen, er det meget væsentligt, at der udvises megen Omhu og Forsigtighed ved Optagningen af Prøverne og ved Pakning og Forsendelse af disse.

Jordartsgeologien.

Hvis man ved en Forundersøgelse for et Byggeprojekt havde Raad til at gøre Borenettet saa finmasket, at Byggegrunden helt var dækket deraf, Boringerne saa dybe, at det var uden Interesse, hvad der kunde forventes nedenunder, og Antallet af intakte Boreprøver saa talrige, at praktisk taget hele den gennemborede Jordsøjle kom ind til Laboratoriet i uskadt Stand, saa vilde den geologiske Bistand paa selve Laboratoriet næppe behøves, men saadan er Forholdet jo imidlertid ikke. Det er for det meste absolut paakrævet ikke at ødsle med Boringer, med Boreddybder og med intakte Boreprøver, og det bliver saa Geologens Sag at udfylde Hullerne i den gennem Boringerne opnaaede Viden saa godt som muligt ved at bedømme, hvad der kan forventes af Aflejringer mellem Boringerne, og under den dybest optagne Prøve, samt paa Grundlag af de langt billigere Smaaprøver, der optages med Snegl ind imellem de store, intakte Jord-Cylindre, at finde ud af Boreprofilets Vekslinger. Det bliver derfor ogsaa Geologen, der endnu inden den egentlige Undersøgelse af Prøvematerialet finder Sted, ud fra Boremesterens Indberetninger, maa afgøre, hvornaar Boringen kan standses, et Ansvar, der ofte er tungt at bære, men som jo rettelig paahviler den, der har den geologiske Erfaring at støtte sig til.

Naar denne Afgørelse er truffet, og hele Prøvematerialet fra en Boring ledsaget af Borejournalerne er kommet inden Døre, stilles det til den geologiske Geoteknikers Raadighed, og denne foretager da en meget grundig Undersøgelse af de omrørte Prøvers (Daaseprøvernes) geologiske og jordartsmæssige Beskaffenhed samt en foreløbig Besigtigelse af de

intakte Prøver, idet de sidstnævnte først kan endelig undersøges, naar Laborieforsøgene har fundet Sted.

Om alt gaar vel, kan man paa Grundlaget af Forundersøgelsen afgøre de ovenfor nævnte Problemer.

Hvad angaar den jordartsmæssige Bedømmelse af Prøvematerialet, da tjener den to Formaal, idet den for det første skal begrænse Antallet af de ofte ret kostbare Laborieforsøg ved at give et Grundlag for at inddele hvert geologisk Tidsafsnits Prøver i Grupper, der i H. t. Jordart er af ensartet Karakter: fedt Diluvialler, morigt Diluvialler, sandet Moræneler, leret Morænesand o. s. v., hvorefter man kan indskrænke sig til at undersøge enkelte repræsentative Prøver fra hvert ensartet Jordlag. Men for det andet skal Jordartsbedømmelsen senere, suppleret med de talmæssige Forsøgsresultater, indgaa i et geoteknisk Jordartskartotek, der — naar det ad Aare bliver tilstrækkeligt omfattende — formentlig vil kunne spare mange Laborieforsøg, hvis der paany bliver geotekniske Opgaver at løse paa paagældende Egn eller med ganske tilsvarende Aflejring ander Steds. De rent lokale Forhold vil naturligvis altid nødvendiggøre visse Laborieforsøg (f. Eks. Bedømmelsen af Prøvens Vandindhold og dermed af dens forhaanden-værende Fasthed), men andre, saasom Bestemmelse af Finhedsgrad og Kapillaritet (se S. 36) vil ofte kunne spares, naar man har haft med Jorden at gøre tidligere og har betegnet den saa omhyggeligt, at den kan identificeres.

Men til dette Brug er den almindelige, hidtil i Danmark anvendte Terminologi ganske utilstrækkelig: »Moræneler« er saaledes geoteknisk set mange forskellige Ting. Den Undergrund, som Morænen hviler paa, og som den ofte bærer Mærker af, spiller en stor geoteknisk Rolle. Saaledes kan hele Egnen omkring Lillebælt opvise Moræneler, der indeholder større eller mindre Mængder af Undergrundens plastiske Lerarter, medens Lollands Moræner ofte er saa kridt- og flintholdige — og forøvrigt tillige saa stenrige — at den lollandske Jord er meget vanskelig at grave i (medens den for det meste er fortræffelig i H. t. Fasthed).

Ogsaa andre Forhold kan bevirke, at Fællesbetegnelsen »Moræneler« ikke er tilstrækkelig til geoteknisk Brug. Saaledes er Nordøstsjælland's Moræner ganske særlig forvitrede og derfor i de øvre Lag ringere Byggegrund end det normale Moræneler, medens Moræneleret ved Viborg indeholder særlig meget Mjåla, hvorfor det ikke er saa god en Byggegrund som mange andre Steder i Jyllands Morænelandskaber og særlig ikke er saa velegnet som Dæmningsfyld. Selv i vandsorterede Aflejring slaar Betegnelserne: Grus, Sand og Ler ikke til. Man er derfor i Geotekniken forlængst gaaet over til at benytte nedenstaaende af svenske Geologer foreslaede Jordartsskala:

Jordarternes Kornstørrelser.

		Kornstørrelse	
Sten		> 20	mm
Grus	Groft Grus	20	— 6 mm
	Fint Grus	6	— 2 mm
Sand	Groft Sand	2	— 0,6 mm ¹⁾
	Fint Sand	0,6	— 0,2 mm
Finsand ²⁾ (Mo)	Groft Finsand (Grovmø og Mellemmø).....	0,2	— 0,06 mm
	Fint Finsand (Finmø)	0,06	— 0,02 mm
Mel-Ler ²⁾ (Mjåla)	Groft Mel-Ler (Grovmjåla)	0,02	— 0,006 mm
	Fint Mel-Ler (Finmjåla)	0,006	— 0,002 mm
Ler ³⁾	Mikro-Ler	0,002	— 0,0002 mm
	Ultra-Ler		< 0,0002 mm

Denne Inddeling, der oprindeligt er foreslået af ATTERBERG (1903) og senere uddybet af G. EKSTRÖM (1927), benyttes nu saa vidt vides overalt i Skandinavien. Den er naturligvis først og fremmest en Fraktionsskala, men kan uden Vanskelighed overføres paa de naturligt forekommende Jordarter, og selv om man ikke kan forvente, at en karterende Geolog vil være glad for i Marken at skulle afgøre om en Jordart skal kaldes for »Ler-rig, mjålaholdig Grovmø« eller hellere for »Møholdig, leret Mjåla«, saa vilde det dog være til stor Nytte, om man ved Fremtidens Kartering vilde lægge sig paa Sinde, at jo bedre man karakteriserer sin Jord, jo nyttigere bliver den geologiske Beskrivelse for Geoteknikerne.

Det maa endvidere huskes, at de meget detaljerede Jordartsbetegnelser, som bl. a. ses i G. EKSTRÖMS nævnte Afhandling, er Resultatet af Slæmninger og Sigtninger i Laboratoriet, og har man Slæmmeresultaterne foran sig, skulde det jo synes let at faa givet Prøven sit rette Navn; og dog kan det godt volde Vanskeligheder at faa konnekteret Slæmningens Resultater med den subjektive Jordartsbedømmelse.

¹⁾ I danske Sigteanalyser bruges dog lige saa hyppigt Grænsen 0,5 mm.

²⁾ Den svenske Betegnelse for Fraktionen er anført i Parentes; den anvendes forøvrigt navnlig for Mjålafraktionens Vedkommende hyppigt i Danmark, idet Ordet »Mel-Ler«, for ikke at tale om »Møller« ikke er helt vellykket.

³⁾ I Sverige benævnes kun Ultra-Leret som kolloidalt Ler, medens vi her i Danmark er tilbøjelige til at kalde hele Lergruppen ved dette Navn, ikke mindst fordi Korn under 0,002 mm saa vanskeligt lader sig bestemme ved Slæmning, at Undergrupper indenfor denne Gruppe ikke let lader sig adskille.

En Jordprøve, der indeholder f. Eks. 25% kolloidal Lersubstans, vil saaledes — bedømt i Marken — blive kaldt »Ler«, uanset hvad de resterende 75% af Prøven har for en Korn sammensætning, hvorimod 25% Grus i en Lerprøve ikke vil have nogen afgørende Indflydelse paa Prøvens Karakter (det vil kun bibringe den Betegnelsen »grusholdig«). Naar vi kalder en Jordart for »ret fedt Moræneler«, kommer vi ligeledes paatværs af Slæmmeresultaterne, for efter disse skulde en saadan Jordart med sine 30—35% Lersubstans og mere end 60% Mjåla, Mo, Sand og Grus ofte kaldes for noget helt andet. Slæmmeresultaterne maa derfor »oversættes«, naar de skal bruges i Praksis, idet der maa tillægges Procenttallene større Betydning, jo mere finkornet Fraktionen er, thi der er jo ikke Tvivl om, at en Jordart med de nævnte 30—35% Lersubstans reagerer som en Lerart: er formbar, vandstandsende o. s. v.

Det er dog kun en ren Øvelsessag for Jordartsgeologen at løse dette Problem, ligesom man f. Eks. hurtigt lærer, at det saa almindelige Udtryk »Klæg« altid er et Tegn paa, at Prøven indeholder Mjåla (Mel-Ler)¹⁾ samt at en Jordart, der er rig paa Finmo, let kan kendes i Marken, idet den i tør Tilstand har en melet Konsistens, medens den i vaad Tilstand udviser den Ejendommelighed, at de enkelte Korn forskydes saa let i Forhold til hverandre, at man ved skiftevis at sammenpresse og strække en lille morig Prøve (f. Eks. en mjålaholdig Finmo) iagttager den saakaldte »Harmonikastruktur« (Prøvelegemet fungerer som en lidt slap Elastik) og ser det blanke Vand samle sig paa Prøvens Overflade.

Naar man betænker de mange Tusind Jordprøver, der gennem Aarene gaar gennem en Geolog-Geoteknikers Hænder, skulde man tro, at denne efterhaanden blev i Stand til at bedømme en Jordprøves Sammensætning uden Slæmningers Hjælp, men helt undvære de objektive Kornstørrelsebestemmelser kan man nu ikke.

Saaledes er f. Eks. den meget vigtige Grænse 0,06 mm (Grænsen mellem Mellemmo og Finmo), der bl. a. er afgørende for en Jordprøves Frostfarlighed, slet ikke let at erkende rent erfaringsmæssigt, ikke mindst fordi en Jordprøve jo aldrig er saa velsorteret, at den ikke indeholder andre Fraktioner end Hovedfraktionen, og Billedet forrykkes ved den subjektive Bedømmelse meget, hvis Indblandingen er Sand i een Prøve og Ler i en anden. Det er derfor nødvendigt at ty til Slæmningernes Hjælp for en enkelt Prøve indenfor hvert Jordlag, og saa ud fra Erfaringen afgøre, hvormange af de øvrige Prøver, der omfattes af det opnaaede Slæmmeresultat.

¹⁾ Dialektordet »Klæg« synes ogsaa for de fleste at rumme Angivelse af, at Jorden er mere eller mindre dyndholdig. Dette hindrer, at man gaar over til at oversætte Ordet »Mjåla« til »Klæg«, hvad der ellers vilde være fristende. Maaske var det en Løsning at oversætte »Mjåla« til: »humusfri Klæg«.

Talrige Slæmmemethoder benyttes i Jordartsgeologiens Tjeneste, nu om Stunder vel først og fremmest Pipettemethoden (ANDREASEN 1930), der er hurtig, sikker og bekvem og derfor anvendes i saa godt som alle geotekniske Laboratorier, hvor man ønsker et Stof, kunstigt eller naturligt, opdelt i dets enkelte Bestanddele.

Der er ingen Tvivl om, at Methoden ogsaa for Jordartsgeologer er meget velegnet, selv om den for Jordanalyser har den Ulempe, at Sikkerheden for, at Prøven forefindes i Enkeltstruktur under Analysen, ikke er saa overbevisende som f. Eks. ved Slæmninger med ATTERBERGS Slæmmeapparat (ATTERBERG, 1912). Ved Undersøgelse af Lillebæltseret, der kun vanskeligt opnaar Enkeltstruktur, var denne Vanskelighed særlig fremtrædende. ATTERBERGS Slæmmemethode er omstændelig og tidsødende, men den har den Fordel, at man ved at benytte den faar sin Jordprøve opdelt i Fraktioner, der saa hver for sig kan underkastes andre Undersøgelser af petrografisk eller kemisk Karakter. Ligeledes har en Samling af de forskellige Kornfraktioner, som gennem Aarene er blevet indvundet ved Slæmninger af alle mulige Jordprøver paa D. G. U.s geotekniske Laboratorium, vist sig overordentlig nyttig ved Forsøgsrækker, der tilstræber f. Eks. at faa Klarhed over den i Støbematerialer tilladelige Lerprocent og andre tekniske Formaale.

Det har vist sig, at den tidligere Lergrænse 0,01 mm ikke markerer noget rigtigt Skel i Kornstørrelsernes Egenskaber; derimod er der stor Forskel paa Resultaterne af de tekniske Forsøg med Beton med lige store Iblandinger af henholdsvis Mjåla (0,02—0,002 mm) og kolloidal Lersubstans (< 0,002 mm), hvilket paany viser Berettigelsen af at forskyde Lerfraktionens Overgrænse nedefter til de omtalte 0,002 mm.

Et helt andet Spørgsmaal er, om den kritiske Kornstørrelse for visse tekniske Formaale ikke ligger endnu lavere, men her kommer den Vanskelighed, at hvis en geoteknisk Opgave forlanger nøje Kendskab til selve den kolloidale Lersubstans Korngrupper, er Slæmmeanalyserne ikke tilstrækkelige Hjælpemidler. Korn under 0,002 mm kan som nævnt udskilles, og med Besvær kan man vel ogsaa naa ned til Grænsen 0,0006 mm; men under denne Grænse bliver Usikkerheden ved Forsøget for stor, idet det er tvivlsomt, om STOKES Faldlove, der danner Grundlaget for Slæmmeanalyserne, gælder for Korn af saa ringe Størrelse. I hvert Fald er Bestemmelserne af disse finkornede Fraktioner saa vanskelige, at man ikke kan anvende Methoderne til teknisk Brug. Den fineste Fraktion, den kolloidale Lersubstans, bliver derfor en Samlingsgruppe for Korn af yderst forskellig Finhedsgrad, hvilket er saa meget mere beklageligt, som det sikkert er Forskellighederne indenfor netop denne Gruppes Korn, der betinger mange af de Variationer, som kan konstateres mellem de forskellige Lerprøvers Egenskaber.

De her nævnte Ulemper m. H. t. at faa den fulde Nytte af Slæmme-

resultaterne: Vanskeligheden for den praktiske Tekniker ved gennem Slæmmeresultaternes mange Tal at danne sig et Billede af selve Jordartens Karakter og Usikkerheden i H. t. Kornstørrelsesfordelingen indenfor Fraktionen: den kolloidale Lersubstans, gør det meget ønskeligt at søge Slæmmeforsøgene suppleret med en eller flere Bestemmelser, der kan give Fingerpeg vedrørende disse Spørgsmaal. Saadanne Hjælpe-metoder har man dels i Bestemmelsen af Prøvens Hygroskopicitetstal, dels i »Finhedstallet«¹⁾.

Jordarternes Hygroskopicitet.

Som omtalt S. 11 forstaas ved hygroskopisk Vand den fortættede Vandhinde, som omgiver de faste Mineralpartiklers Overflade, og som er saa fast bunden til Partiklen, at den i mange Tilfælde maa regnes for hørende med til denne. Den hygroskopiske Vandhindes relative Tykkelse tiltager med aftagende Korndiameter hos Partiklen, og Jordens Hygroskopicitet er derfor et Udtryk for dens Kornstørrelse.

Da der ved en Jordarts Optagning af hygroskopisk Vand udvikles Varme, kan man ved Hygroskopicitetstallet forstaa: Den Vandmængde (beregnet som Vægtprocent af Tørstof), som Jorden indeholder, naar der ved videre Befugtning ikke udvikles mere Varme.

I den tidligere citerede Afhandling af G. EKSTRÖM (1927) findes en meget grundig Beskrivelse dels af selve Analysen, dels af Forholdet mellem Hygroskopicitetstallet for en Prøve og dennes Finkornethed, bestemt paa anden Vis. Da Hygroskopicitetstallet ikke anvendes meget her i Danmark, skal der for denne Analyses Vedkommende henvises til nævnte Afhandling.

Paa Grundlag af Hygroskopicitetstallene kan Jordarterne inddeles efter følgende Skala, (jvf. EKSTRÖM, 1927):

Lerfri Mineraljord	< 2 (% Vand af Tørstof)
Magert Ler	2— 4
Ret fedt Ler	4— 7
Fedt Ler	7—10
Meget fedt Ler	> 10 ²⁾

¹⁾ Ordet Finhedstal har flere Gange givet Anledning til Misforstaaelser, idet man har ment, at Finhedstallet var en Kvalitetsbetegnelse for Jordarten, saaledes at Ler med et højt Finhedstal antoges at være særlig velegnet til paagældende Formaal, hvad dette end maatte være. Det skal derfor udtrykkeligt paapeges, at Finhedstallet alene udtrykker Jordartens Vandbindingsevne og dermed giver et indirekte Maal for dens Finkornethed. En udførlig Redegørelse for Finhedstallet og dets Forhold til andre Analyse-Resultater findes hos G. EKSTRÖM (1927).

²⁾ For det danske »Plastisk Ler« er Hygroskopicitetstallet bestemt til 23,8 (samme Ciffer som MITCHERLICH engang bestemte i en Lerprøve fra Java). Tallet betegner sandsynligvis Maximum af hidtil konstaterede Hygroskopicitetstal.

Jordarternes Finhedstal.

Ved en Jordprøves »Finhedstal« (dens Vandbindingsevne) forstaas: Det Vandindhold, udtrykt i Vægtprocent af Tørstof, som en Lerprøve skal bibringes (ved Indæltning af Vand) for at en 60°, 60 gr. Kegel¹⁾ skal kunne synke 10 mm ned i Prøven. Medens man saaledes, som senere beskrives, udtrykker en naturlig Jordarts Fasthed ved den Vægt, som 60° Keglen skal have for at synke 10 mm ned i den naturlige, uomrørte Jord, siger »Finhedstallet« derimod, hvor meget Vand, man skal bibringe Prøven, for at netop 60 gr., 60° Keglen skal synke 10 mm i den æltede Prøve, og udtrykker altsaa de forskellige Jordarters varierende Vandindhold, ved en fælles, defineret Konsistens.

Finhedstallet er et Maal for Lerets Vandbindingsevne, og for Jord af ensartet mineralogisk Sammensætning, saaledes for Størstedelen af de danske, humusfri Jordarter, giver det derfor et indirekte Maal for Prøvens Finkornethed. Vi faar med andre Ord i Finhedstallet det Supplement til Kornfordelingskurven, som vi ønskede, idet det for det første giver Prøvens Finhedsgrad et enkelt, talmæssigt Udtryk, for det andet er meget følsomt overfor Finhedsgradens Variationer indenfor den kolloidale Fraktion.

Det er ret ofte hændt, at man er blevet stillet overfor to Jordprøver, der viser praktisk taget samme Kornfordelingskurve, men har forskelligt Finhedstal. Hvis man kan gaa ud fra, at Prøvernes petrografiske Sammensætning er ens, viser Finhedstallet i et saadant Tilfælde utvivlsomt, at den kolloidale Lersubstans er finere i den ene Prøve end i den anden. Har man først vænnet sig til at benytte »Finhedstallet«, bliver det efterhaanden en uundværlig Støtte for Jordartsbestemmelserne²⁾, og at det ogsaa derved kan yde Geologien store Tjenester viser følgende nylig indtrufne Tilfælde:

Til Brug for Bedømmelsen af et Lerareals Velegnethed som Teglværksler blev der til D. G. U. for et Par Aar siden indsendt nogle Lerprøver fra Godset Kollerup ved Hadsten.

Prøverne bestod utvivlsomt af »Plastisk Ler« og Slæmmeresultatet viste den sædvanlige meget høje Lerprocent, saaledes som den kendes fra saa mange Prøver af denne Lerart. Sagen syntes saaledes at være ganske uinteressant, og da man tilmed maatte fraraade at benytte saa

¹⁾ Apparatet er afbildet og beskrevet dels i nævnte svenske Kommissionsberetning, dels i E.-L. MERRZ' tidligere publicerede Afhandlinger, f. Eks. 1937 (Side 95).

²⁾ At Finhedstallet viser for høje Værdier for »Mjåla« og dermed beslægtede Jordarters Vandbindingsevne, saaledes som anført af EKSTRÖM (1927, Side 102), spiller i dette Tilfælde ingen Rolle, da F. her i Danmark først og fremmest anvendes ved Bedømmelsen af plastiske Lerarter.

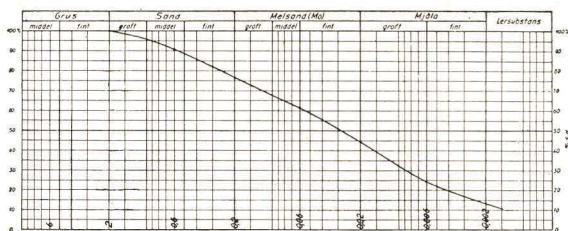


Fig. 2a. Fordelingskurve for Moræneler.

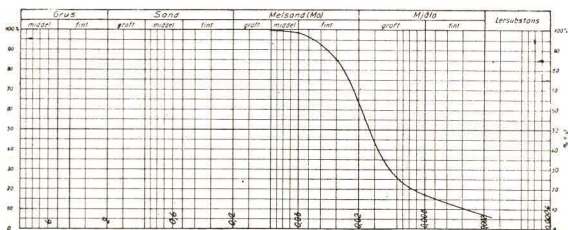


Fig. 2b. Fordelingskurve for Mjåla.

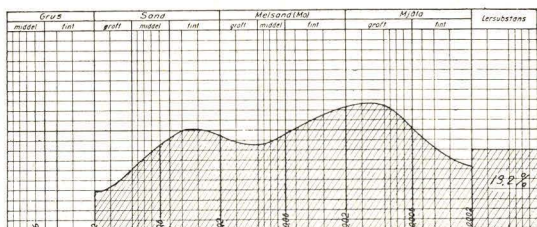


Fig. 3a. Arealkurve for samme Moræneler-Prøve, som er vist paa Fig. 2a.

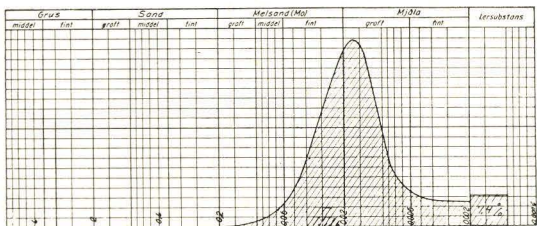


Fig. 3b. Arealkurve for samme Mjåla-Prøve, som er vist paa Fig. 2b.

fedt Ler til Teglværksbrug, vilde den hurtigt være afsluttet, hvis ikke det havde været Sædvane paa D. G. U.'s Laboratorium altid at bestemme Finhedstallene i Prøverne. De viste fra 200—300! Nu ligger Forholdet saaledes, at vi aldrig hidtil her i Danmark i humusfri Jordarter, selv ikke i det

fedeste »Plastisk Ler«, har maalt Finhedstal højere end 155, og der var derfor ingen Tvivl om, at man i det foreliggende Tilfælde stod overfor Ler af en særlig Art. Foreløbige røntgenfotografiske Undersøgelser af Leret, foretaget af Civilingeniør, Frk. A. UNMARCK tyder paa, at Leret er særlig rigt paa det i danske Lerarter saa sparsomme Mineral Montmorillonit, og D. G. U. har derfor nu foretaget indgaaende Boringer paa Lokaliteten for at efterforske Lerets Lejring og hele Habitus. Sagen nævnes for at vise, at Finhedstallet i dette Tilfælde har haft afgørende Betydning for Opdagelsen af denne Lerart. Det ligger nær at sammenligne Finhedstal-Bestemmelsen med et Termometer: Man faar at vide, at Patienten har Feber, men ikke hvad Patienten fejler; dertil kræves andre Hjælpemidler og andre Kollegers Hjælp.

Naar der er Tale om humusfri Mineraljord, har Jordartsgeologen altsaa som de to vigtigste Hjælpemidler i Laboratoriet: Kornstørrelsebestemmelsen og Finhedstallet; den første udtrykkes i Almindelighed ved Hjælp af en Kornfordelingskurve, som vist paa Fig. 2, hvor der er optegnet de saakaldte Gennemfaldskurver for to forskellige Jordarter efter det Princip, at Ordinaten til et Punkt udtrykker, hvor stor en Procentdel af Prøven, der er finere end den Kornstørrelse, som Punktets Abscisse angiver¹⁾.

Paa Grundlag af Finhedstallene kan Jordarterne i store Træk inddeles saaledes:

Lerfri Mineraljord	< 10	(% Vand af Tørstof)
Magert Ler	10—	30
Mjåla	30—	40
Ret fedt Ler	40—c.	60
Fedt Ler	c. 60—c.	80
Plastisk Ler	c. 80—	²⁾

Naar den geologiske Geotekniker har bedømt samtlige Prøver ud fra geologisk og jordartsmæssig Erfaring samt i enkelte Tilfælde har benyttet

¹⁾ Metoden, hvortil man oftest benytter halvlogaritmisk Papir, er formentlig velkendt; den har aldrig forekommet mig særlig velvalgt, da det er svært at tegne ret mange Resultater paa samme Plan og for den mindre øvede tillige svært at sammenligne de forskellige Kurver (en øvet Iagttager kan jo have Glæde af ethvert Kurvesystem). Bl. a. falder det ikke let i Øjnene, at Parallelitet mellem to Kurvestykker betyder, at de to Prøver har samme Indhold af Korn indenfor paagældende Fraktion. Det forekommer mig, at de sjældnere anvendte Arealkurver, hvor hver Fraktionssojle angiver det til Kornprocenten svarende Areal indenfor paagældende Fraktion, se Fig. 3, langt er at foretrække for Gennemfaldskurverne, men disse har vundet et saadant Indpas indenfor Tekniken, at man næppe kommer udenom at benytte dem ogsaa i geotekniske Rapporter.

²⁾ I det tidligere omtalte »Plastisk Ler« ved Kollerup er der konstateret Finhedstal op til 354.

Slæmninger og Finhedstal-Bestemmelser som Hjælpemidler til at faa Prøvernes Karakter fastlagt, foretages der paa Grundlag af denne Undersøgelse og efter de Krav, som Opgaven stiller til Geoteknikeren, en Udvalgelse af de Prøver, der skal gaa videre til jordmekanisk Undersøgelse, som i Modsætning til de foregaaende gaar ud paa at bedømme Jordens Egenskaber under de specielle Forhold, der raader netop paa den undersøgte Lokalitet.

Bestemmelse af Jordarternes Bæreevne.

En af de hyppigste Opgaver for et geoteknisk Laboratorium er at søge klarlagt, om en Byggegrund kan bære et Bygværk af nærmere angivne Dimensioner, eller med andre Ord at finde den paagældende Byggegrunds Bæreevne, helst udtrykt i kg/cm^2 .

En Jordarts Bæreevne beror paa dens Evne til at optage Forskydningsspændinger. Jordens Forskydningsstyrke d. v. s. den maksimale Forskydningsspænding, som den kan optage, uden at Brud indtræder, afhænger dels af dens Kohæsion, dels af dens Friktion, idet man ved Kohæsionen forstaar Kornenes indbyrdes Tiltrækningskraft, (ogsaa kaldet Kornenes Adhæsion), ved Friktionen derimod: den Sammenhængskraft mellem Kornene, der udelukkende er betinget af den paa Jorden hvilende Vægt. Da disse Kræfters Størrelse i en Jordart er yderst afhængige af Kornstørrelsen, vil det indses, at man ved Løsningen af en tilsyneladende saa teknisk Opgave som at vise, om en Byggegrund er bæredygtig, igen støder paa de før omtalte Jordartsproblemer, der samtidig har Interesse for Jordartsgeologien. Fedt Ler er udpræget Kohæsions-, groft Grus ren Friktionsjord.

Sammentrykkes en Jordart, stiger Kohæsionen; denne Proces er delvis irreversibel. Med andre Ord: en Kohæsion-Jordart, der har været udsat for en stor Belastning (man vil her tænke paa et Bygværks Tryk, paa Trykket af tidligere overlejrrende, nu bortroderede Jordmassers Vægt, eller Indlandsisens Tryk) vil være i Besiddelse af større Kohæsion end en tilsvarende Jordart, der ikke har været underkastet et saadant Pres. Helt anderledes forholder det sig med en Friktionsjord, thi naar den Belastning, der har fremkaldt dens Sammenhængskraft, fjernes, ophører Friktionen. Sand og Grus er saaledes i H. t. Sammenhængskraft ganske afhængige af de nutidige Forhold paa Lokaliteten, medens Lerets Forskydningsstyrke har Rod i dets geologiske Historie paa paagældende Sted, et Forhold, der nok skulde kunne paakalde Geologernes Interesse for de tilsyneladende saa teknisk prægede Bestemmelser af Jordens Kohæsion.

Det er derfor meget vigtigt for Teknikerne at kende Jordbundens

Casagrandes Forskydningsapparat

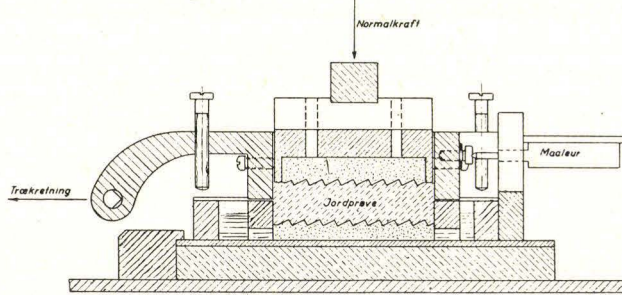


Fig. 4.

Forskydningsstyrke saa nøje som muligt, hvorfor der er lagt stor Omhu i Udvælgelsen af de Apparater, der benyttes til dette Formaal.

Et særdeles velegnet Apparat, det saakaldte CASAGRANDES Forskydningsapparat, er afbildet paa Fig. 4. Jordprøven, der er anbragt mellem to porøse Sten (for at give Porevandet Mulighed for at undslippe under Forsøget), omsluttet af en fast Underramme og en bevægelig Overramme. Den øverste porøse Sten hviler løst i Overrammen oven paa Jordprøven, og ved Hjælp af en Belastningsklods, der er anbragt oven paa Stenen, kan Jordprøven underkastes en vilkaarlig Normalspænding, hvorefter den øvre Del af Apparatet paavirkes af en Trækkraft i Pilets Retning, indtil Forskydningsbrud indtræder. Paa denne Maade kan der udføres flere Forsøg, idet Normalspændingen varieres, og der kan da optegnes en Kurve, som vist paa Fig. 5, hvor hvert Punkts Ordinat udtrykker Prøvens Forskydningsstyrke ved den af den tilsvarende Abscisse angivne Normalspænding.

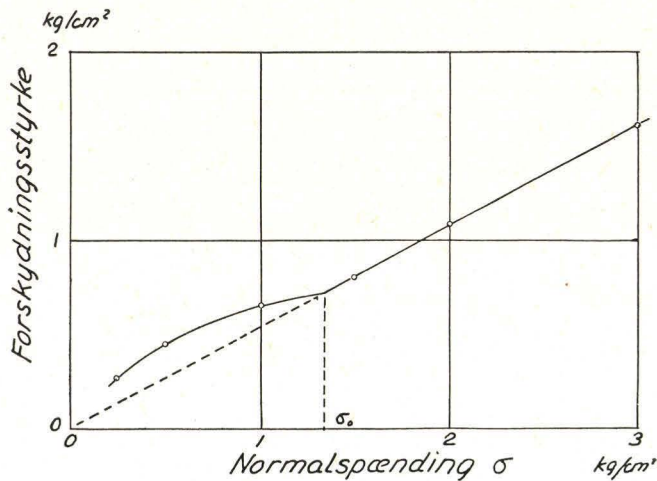


Fig. 5. Kurve, der viser en Lerarts Forskydningsstyrke ved varierende Normalspænding.

For at faa praktisk Nytte af Kurven maa man saaledes ad anden Vej bestemme, ved hvilken Normalspænding man skal aflæse Forskydningsstyrken ved den foreliggende Opgave. Med Hensyn til disse Beregninger henvises til de i Forordet anførte geotekniske Haandbøger (Teknisk Leksikon 1946 og »Geoteknik«), hvori A. F. MOGENSEN har gjort Rede for disse Problemer¹⁾.

Skaven Haugs Apparat.

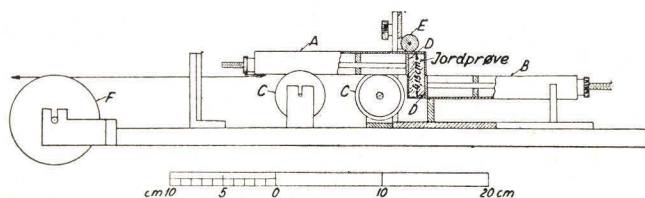


Fig. 6.

Forskydningsstyrken i en Jordprøve kan enklere bestemmes ved det af S. SKAVEN-HAUG konstruerede Forskydningsapparat (paa dansk beskrevet bl. a. af A. F. MOGENSEN 1946) samt ved Hjælp af det under Bestemmelsen af Finhedstallet omtalte Kegleapparat, der jo i sit Princip er ganske afvigende fra de to andre nævnte Metoder, idet man til slige Kegleforsøg bestemmer den Vægt, kaldet Konsistenstallet, som en 60° Kegle skal belastes med for at synke 10 mm ned i Jordprøven, naar denne er i Besiddelse af sit naturlige Vandindhold. Arbejdes der med intakte Prøver, benævnes Konsistenstallet K_3 , hvorimod »omrørte« Prøvers Konsistenstal betegnes med K_1 . Det lille svenske Kegleapparats 60°-60 gram Kegle, ud fra hvis Nedsynkning man beregner den til 10 mm Nedtrykning krævede Keglevægt, er det først anvendte geotekniske Apparat ved den svenske geotekniske Kommissions Forsøg 1914—22.

Senere har Professor A. BRETTEING konstrueret et lignende, men større Apparat, hvor den til 10 mm Nedsynkning svarende Keglevægt ikke beregnes ud fra 60 gr. Keglens Nedsynkning, men hvor Keglen belastes, indtil den synker 10 mm ned i den uomrørte Jordprøve. Denne Fremgangsmaade giver naturligvis ved Forsøg med faste Jordarter et sikrere Resultat end det, der kan opnaas ved Omregning af 60°-60 gr. Keglens Nedsynkning, der i slige Tilfælde kun beløber sig til 2—3 mm, og sidstnævnte anvendes derfor her i Danmark nu hovedsageligt til Bestemmelse af en Jordarts Finhedstal.

Hvis man ved Hjælp af et Kegleapparat først bestemmer Fastheden, Konsistenstallet (K_3), i uomrørt Jord og derpaa i æltet Jord med Bibe-

¹⁾ Se endvidere nærv. Afhdl. S. 31.

holdelse af samme Vandprocent, Konsistenstallet (K_1), faar man det for Prøven betydningsfulde Forholdstal K_3/K_1 , som er saa afgørende for Jordartens Skredfarlighed (se S. 32).

I den praktiske Geoteknik har Størrelsen af de Sammentrykninger, som en Jordart faar ved Paavirkning af rent mekaniske ydre Kræfter, stor Interesse. I 1920 udførte K. TERZAGHI for første Gang en Række Sammentrykningsforsøg, de saakaldte Ødometerforsøg¹⁾ ved Hjælp af det af ham konstruerede Ødometer²⁾. Dette, der paa dansk er beskrevet af A. F. MOGENSEN (1946), bestaar i Hovedsagen af en hul Cylinder, hvori Prøven anbringes (se Fig. 7), der belastes ved Hjælp af et Stempel, der saa

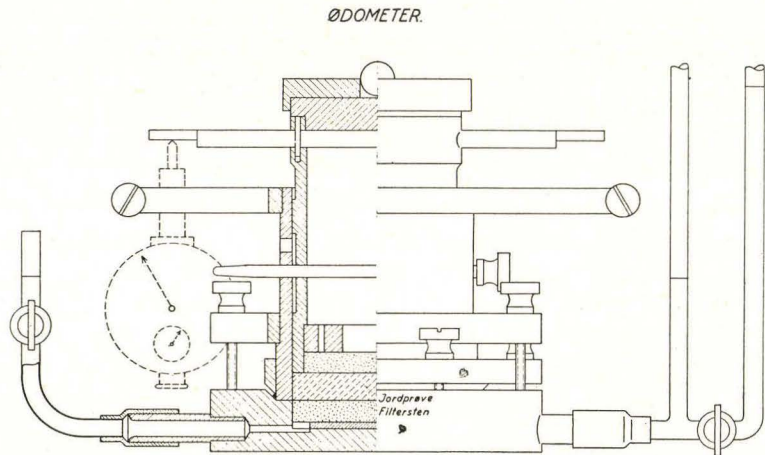


Fig. 7. Ødometer med Permeabilitetsmaaler.

gnidningsfrit som muligt glider inden i Cylinderen. Jordarten sammentrykkes mellem to porøse Sten for at tillade Porevandet at strømme bort. Sammentrykningen foregaar ved hindret Sideudvidelse for at modsvarer de naturlige Forhold. Ved Hjælp af Apparatet kan man i Laboratoriet iagttage sammenhørende Værdier af det Tryk, der paaføres Jordprøven, og den Sammentrykning, som Belastningen bevirker. Da det tager Tid for Porevandet at undslippe, maa Forsøget gøres meget langsomt med finkornet Jord, ja for fedt Ler er det ofte nødvendigt at lade hengaa flere Døgn mellem Trykforøgelserne paa Prøvelegemet.

¹⁾ Jordarternes Evne til Rumfangsændringer, naar de udsættes for Tryk opstaaet enten ved forøget Belastning eller ved Stigning i Kapillartrykket i Porennettet (hvorved forstaas de Spændinger, der opstaaer, naar en Del af Porevandet fordampes ved Porenes Overflade), blev tidligere udelukkende tilskrevet Bøjningen af Mineralkornene, især af de skelformede. Nu om Stunder henføres man derimod Rumfangsændringer til de hygroskopiske Vandhinders varierende Tykkelse.

²⁾ Navnet kommer af det græske Ord *oedema*: Udbulning.

Paa Fig. 8 ses Resultatet af et Ødometerforsøg udført dels med æltet, dels med intakt Jordprøve, idet man har foretaget saavel Aflastninger som Paalastninger under Forsøget. Man ser af Kurven, at Prøvelegemet udvider sig ved Aflastning for paany at sammentrykkes ved næste Paalast-

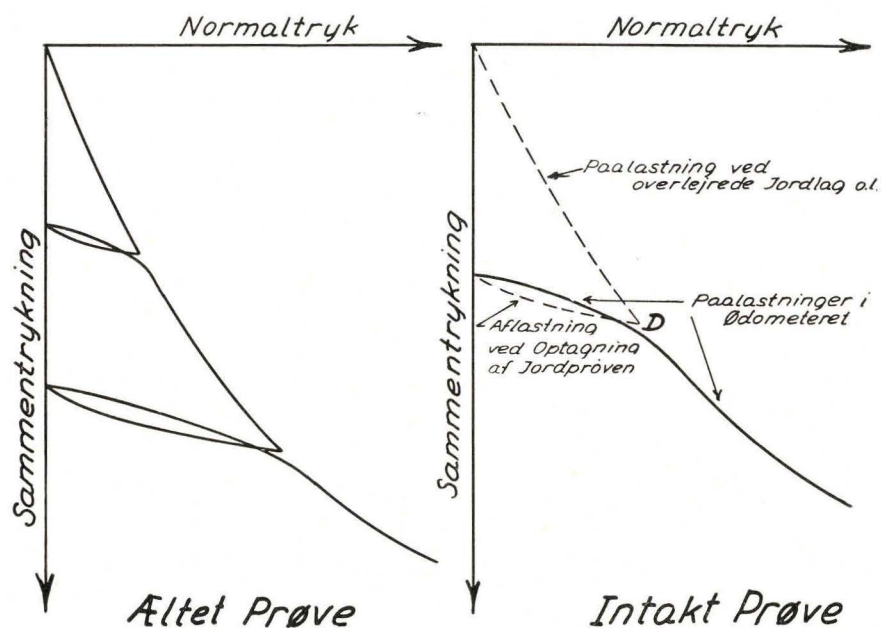


Fig. 8. Ødometerforsøg udført paa Geoteknisk Institut dels med æltet, dels med intakt Prøve.

ning, men — saa længe Belastningen, Normaltrykket, er mindre end det oprindelige — dog kun med et Beløb svarende til Udbulningen. Naar det oprindelige Normaltryk overstiges, sammentrykkes Prøven atter normalt. Dersom Forsøget foretages med en intakt Jordprøve (t. h. i Fig.), der i sin naturlige Aflejring har været underkastet en vis Normalspænding, der foruden Trykket af den overliggende Jord kan være fremkaldt f. Eks. af Isbelastning eller ved Grundvandssænkning (f. Eks. fremkaldt ved Landhævning e. l.), saa vil Kurve-Knækket (ved D paa den afbildede Kurve) angive den Normalspænding, som Prøven tidligere har været underkastet.

Og hermed er vi langt om længe naaet frem til det Punkt af den tilsyneladende saa tekniske Redegørelse, som kan have Interesse for Geologerne; thi ved Maalingen af en Jordarts Sammentrykkelighed kan man altsaa skønne Størrelsesordenen af de Tryk, som Jordlagene har været underkastet enten i nuvæ-

rende eller i tidligere Jordperioder, en Tanke, som det sikkert lønner sig at arbejde videre med saavel i Kvartærgeologien som ved geotekniske Undersøgelser.

Til Gengæld yder Geologien ved disse Forsøg Teknikeren vigtige Oplysninger, dels om paagældende Jordarts Opførsel ved Trykændringer, dels Jordartens rent geologiske Data (dens Alder, dens Deltagelse i tidligere Tidens Niveauforandringer o. s. v.), Oplysninger, der ofte hjælper Teknikeren til at opnaa en sund Vurdering af de ved Ødometerforsøgene opnaaede Resultater¹).

Jordarternes Skredfarlighed.

Ved Bedømmelsen af en Jordbunds Bæreevne spiller altsaa de geologiske Oplysninger en ret stor Rolle; vi vil nu gaa over til at betragte Samarbejdet, naar Talen er om Skredfare for Afgravninger, Dæmninger m. m., hvor andre Egenskaber hos Jorden gør sig gældende.

Naar en Jordskrænt, det være sig en Klint, en Afgravning eller en Dæmning, skrider, er Aarsagen naturligvis enten at søge i en Forøgelse af Jordens Belastning eller en Nedsættelse af Jordens Forskydningsstyrke, ofte frembragt ved stærke Vekslinger i Jordbundens Vandindhold (Skylregn efter stærk Tørke o. l.); men naar den første lille Forskydning mellem Jordartens Korn er paabegyndt, kommer dertil endnu en Faktor, nemlig Jordens gradvise Overgang fra intakt til omrørt Konsistens, og Katastrofens Størrelsesorden beror derfor i høj Grad paa, hvor stor Kvotienten K_3/K_1 er for den paagældende Jord (idet man erindrer, at man ved K_3 forstaar Prøvens Fasthed i uomrørt Tilstand, maalt ved Hjælp af Faldkeglen, ved K_1 dens Fasthed i æltet Konsistens ved samme Vandindhold). Nu er det desværre ikke saaledes, at Kvotienten K_3/K_1 slavisk følger Jordarten, saaledes at man kan foretage en jordartsmæssig Inddeling paa Grundlag af denne Kvotients Vekslinger, saaledes som det kan gøres f. Eks. ud fra Jordarternes Kapillaritet, Finhedsgrad o. s. v. Nej, K_3/K_1 er foruden at være afhængig af Jordtypen ogsaa i nogen Grad bestemt af den Konsistens, hvorved Bestemmelsen foretages, saaledes at samme Jordart har lavere Kvotient, forandres mindre ved Æltning, i relativt fast end i relativt blød Tilstand, men det er dog en given Ting, at visse Jordarter, Mjåla- og Mo-Jorderne, har en paafaldende stor Kvotient, hvilket vil sige, at deres Fasthed nedsættes væsentligt, naar Jordmassen kommer i Bevægelse. Ved Bedømmelse af en Jordarts

¹) Med Hensyn til alle øvrige Oplysninger om Ødometerforsøgene og bl. a. om deres Anvendelighed til at skaffe Oplysninger om Sammentrykningens Afhængighed af Tiden og om Jordarternes Permeabilitet, henvises til A. F. MOGENSEN 1946 og »Geoteknik«.

Skredfare, naar den skal »staa« med en vis Skraaflade (et vist »Anlæg«) griber Jordartsgeologien derfor ind paa to Omraader:¹⁾

- 1) Ved Bedømmelsen af Jordartens Muligheder for effektiv Dræning, dens Kapillarkraft og Vandgennemtrængelighed, der skal kunne staa Maal med de pludselige Ændringer i Vandtilførslen, som Vejr- liget kan paatvinge den, et Forhold, som vil blive berørt i følgende Afsnit (om Opfrysning), og
- 2) det særlige Faremoment, der knytter sig til Mjåla- og Mo-Jorder, paa Grund af disses pludselige Overgang fra fast til blød Konsistens ved »Omrøring«.

Her har kun været talt om den ret gode, men dog secundære Hjælp, Jordartsgeologien kan yde, naar Skred skal forebygges ved Nyanlæg; drejer det sig om Skred i allerede eksisterende Anlæg, kommer den geologiske Støtte til Problemerkens Udforskning stærkere i Forgrunden. Ved Nyanlæg har man jo nemlig den Fordel, at man i Ro og Mag kan undersøge sin Lokaltet til Bunds og optage gode Jordprøver til Laboratoriebrug; Skredkatastrofer i ældre Anlæg har derimod en ubehagelig Tendens til at indtræffe pludseligt, og det er ofte yderst vanskeligt i det Kaos, som et saadant Skredomraade frembyder, at udpege de Jordarter, der er Skyld i Ulykken; oftest faar man i Stedet Prøver af den udskredne Jord, der maaske blot er gledet paa en dybere- liggende, farlig Skredflade.

Overfor et saadant Prøvemateriale staar man ret hjælpeløs i Laboratoriet; derimod kan det være til stor Nytte at kende Lokaltetens Geologi og derigennem finde Aarsagen til Skredet.

Paa den for Statsbanerne saa brydsomme Banestrækning ved Ulvehave ØSØ. for Vejle, kan man f. Eks. altid være nogenlunde sikker paa, at Skredenes egentlige Aarsag skyldes snart den ene, snart den anden Glimmerlersflage, som Skrænternes komplicerede Lejrings- og Vandføringsforhold har faaet omdannet til at danne en opblødt Glideflade for det paa- lejrede Moræneler (som ofte og uretfærdigt faar Skylden for Katastrofen).

Ved den store Gennemgravning for Banelinien fra Middelfart til Lillebæltsbroen skete der Gang paa Gang Udskridninger af Skraaningerne. Paa et enkelt Sted skyldtes Skredet en stor Flage af plastisk Ler, men paa de andre Punkter var det ikke muligt at konstatere Aarsagen, idet det syntes, som om man her havde at gøre med en ganske almindelig Aflejring af Moræneler, der skulde kunne staa med det ønskede Anlæg. En nærmere, yderst grundig Undersøgelse af samme Skraaninger viste imidlertid, at der i selve det graa Moræneler fandtes papirtynde Flager af

¹⁾ En mere grundig Udredning af Dæmningsfyld-Problemet findes dels hos TH. BRENNER i »Geoteknik«, dels hos E. L. MERTZ i: Kommunal-teknisk Kursus' Beretning, D.I.F., Kbhvn. 1948 (under Udgivelse).

plastisk Ler, der drilagtigt nok havde ganske samme Farve som Omgivelserne og derfor var vanskelige at erkende. Paa disse olieglattede Flader gled det ellers saa solide Moræneler ud. Paa alle de Punkter, hvor slige Indlejringer af plastisk Ler paavistes i Morænen, blev der foretaget en Affladning og en meget omhyggelig Dræning af Skraaningerne, hvorefter Forholdene synes at være faldet til Ro. Der findes ikke det geotekniske Apparat, der kunde have paavist netop denne Egenskab hos Gennemgravningens Ler.

Jordarternes Frostfarlighed.

Foruden Spørgsmaalet om Fyldens Skredfarlighed findes der endnu et Problem ved Dæmningsbygning: Vil Fylden fryse op, eller er den ikke frostfarlig? Spørgsmaalets Besvarelse er stærkt knyttet til Jordartsgeologien, idet svenske Geologer (SIMON JOHANSSON 1914 og G. BESKOW 1935 m. fl.) har fremsat den Theori, at en Jordarts Tendens til Opfrysning først og fremmest afhænger af dens Kornstørrelse.

Theorien, der tidligere er refereret af nærværende Oversigts Forfatter (MERTZ, 1940), gaar ud paa, at Vandet i en Jordarts Porer først fryser ved en Temperatur, der ligger lavere end det normale Frysepunkt, fordi det er bundet af Mineralkornene i Form af de tidligere omtalte Vandhinder. Dette bevirker, at der foregaar en Vandbevægelse i Jorden samtidig med, at Iskrystallisationen er i Gang i den Del af Porevandet, der ikke er underkastet Kornenes adhæsive Kraft. Et eller andet Sted i Jordlegemet, i en Revne eller ved et eller andet Fremmedlegeme, begynder Frysningen og p. Gr. af Krystallisationskraften suger Iskrystallen først alt frit Vand til sig, derpaa river den de ydre, mindst bundne Vandmenisker bort fra Kornene og fortsætter dermed, indtil dens Tiltrækningskraft ikke kan staa Maal med Kornenes Vandbindingsevne overfor de inderste Vandhinder. Paa samme Tid tilstræber Kornene at genoprette Ligevægten i deres Vandhinders Tykkelse ved gennem Kapillarkraften at opsuge nye Vandmængder fra nærmeste frie Vandreservoir, oftest Grundvandsspejlet, og der sker saaledes under en Jordarts Frysning en stadig Tilstrømning af Vand til det Lag, i hvilket Opfrysningen finder Sted. Dette viser sig paa en for Teknikerne særdeles ubehagelig Maade, naar samme Jordlag ved Tøbrudets Indtræden derved fremtræder med et saadant Overskud af Vand (BESKOW har maalt indtil 50% Vandforøgelse), at det derved i konsistensmæssig Henseende er bragt over sin Flydegrænse, og let afstedkommer saa store Skredkatastrofer, at de Ulemper som Iskrystallens Pukkel i den opfrosne Jord bevirker, langt fra kan maale sig dermed. Alt dette imidlertid under Forudsætning af, at Jordartens Porer er saa finkornede, at en stor Del af Vandet i disse staar under Indflydelse af Kornenes Tiltrækningskraft, og at Jordens kapillare Opsugningskraft er saa betydelig, at den kan hæve Vandet fra

Grundvandsspejlet op til det frysende Lags Højde; thi i Jord med grove Porer sker der ganske vist Frysning, men ikke Opfrysning, for ved c. 0° fryser simpelthen Vandet i Porerne omtrent som i fri Luft, da de grove Sandkorn ikke har nogen Evne til at binde Vandet. Er Kapillarkraften ringe (og det er jo Tilfældet i grovkornet Jord), eller ligger Grund-

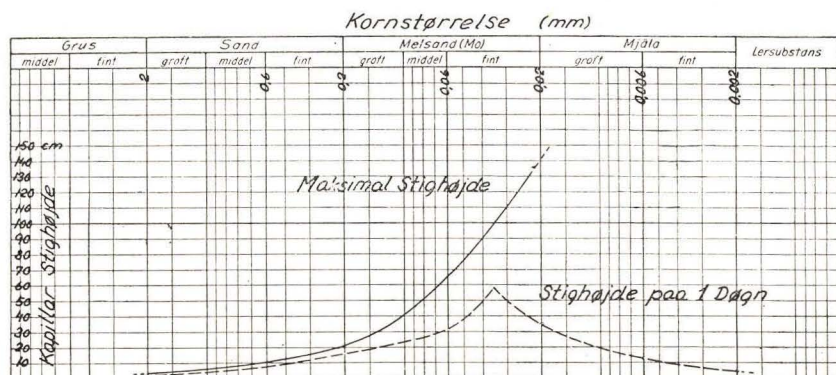


Fig. 9. Kapillaritet samt kapillær Stighøjde for et Døgn for forskellige Kornfraktioner. (Efter G. Ekström).

vandet for dybt, strømmer der intet Vand til Krystallen, der derfor ikke bliver større, end hvad det normale Porevolumen kan rumme. Vi indser derfor, at vi ved Opfrysningsproblemet atter er naaet tilbage til Jordens Kornstørrelse og det tilmed i en saadan Grad, at denne i Forbindelse med Afstanden til Grundvandet ganske afgør Spørgsmaalet om en Jordarts Opfrysningstendens.

Hvis det nu var saaledes, at en Jordart blev mere opfrysningfarlig, jo mere finkornet den er, vilde Sagen være ret ligetil, men det er ikke Tilfældet. En Jordarts Kapillaritet er ganske vist omvendt proportional med Kornstørrelsen; men samtidig tiltager den Tid, der medgaar til at faa opsuget Vandet, i Takt med aftagende Porediameter; en fed Lerart vil saaledes kunne opsuge Vand til meget stor Højde (muligvis > 50 m), men Opsugningen sker saa langsomt, at Iskrystallen ikke vil kunne næres tilstrækkeligt, hvorfor Frysningen afbrydes. De forskellige Fraktioners kapillære Forhold er vist i Kurven Fig. 9. Man ser, hvorledes den maksimale kapillære Vandsugningshøjde stiger jevnt fra Sand over Mo (over Mjåla til Ler), medens Vandsugningshøjden pr. Døgn har sit Maksimum i Mo-Gruppen. Denne Jordart er derfor den frostfarligste, og det er derfor absolut nødvendigt, naar Talen er om Undersøgelser af Dæmningsfylds Anvendelighed, ikke alene at indføre Fraktionen: Mo (Kornstørrelse $0,2-0,02$ mm), men tillige at indføre Fraktionerne: Grovmo ($0,2-0,06$ mm)¹⁾ og Finmo ($0,06-0,02$ mm), da $0,06$ mm-Grænsen danner Skellet mellem opfrysningfarlige og opfrysningfri Fraktioner.

¹⁾ Eller maaske endog: Grovmo: $0,2-0,1$ mm; Mellemmo: $0,1-0,06$ mm.

Vil man i Laboratoriet undersøge, om en Jordprøve er opfrysningsfarlig, kan man enten foretage direkte Opfrysningsforsøg med Prøven eller bestemme dens Kapillaritet og derved faa et Middel til at bedømme dens Opfrysningsmulighed.

Den direkte Opfrysningsprøve anvendes paa DANMARKS TEKNISKE HØJSKOLES Laboratorium for Vejbygning, hvor Civilingeniør H. H. RAVN fryser Prøven under Forhold, der saa nær som muligt svarer til Prøvens naturlige Lejringsforhold (samme Afstand til »Grundvandet« o. s. v.). Metoden maa i særlig Grad anbefales, naar Talen er om lagdelt Jord, hvis Forhold til Frostproblemet er en Resultant af flere Jordartstypers S sammenspil, men den er iøvrigt under alle Forhold langt den sikreste Vej til at bedømme en Jordarts Frostfarlighed. Desværre er det samtidig en langsom og kostbar Methode, og man maa derfor i en snæver Vending klare sig med at bestemme Jordprøvens Kapillaritet, ja ved meget fintkornet Jord gaar man endda til Tider den Vej, at man bestemmer Jordartens Korndiameter og deraf finder Kapillaritetens Størrelsesorden, idet BESKOW (1930) har fundet, at:

$$\text{Kap.} = k \cdot 1/d \text{ cm,}$$

hvor d betegner Prøvens Gennemsnits-Korndiameter og k er en Konstant, der for vel-sorteret Jord kan sættes $= 0,06$, for usorteret Jord $= 0,08$. Den direkte Bestemmelse af en Jordarts Kapillaritet findes beskrevet hos BESKOW (1930)¹).

Det kunde synes for usikker en Fremgangsmaade at bestemme en fed Lerarts Kapillaritet ved Hjælp af dens Gennemsnits-Korndiameter i Stedet for at foretage en direkte Maaling af Kapillariteten; men sandsynligvis bliver Resultatet lige saa nøjagtigt ved Benyttelsen af den første Fremgangsmaade som ved den sidste, idet det har vist sig meget vanskeligt at faa lerede Jordprøver anbragt lufttæt i den af BESKOW benyttede lille Glastragt, et Forhold der er afgørende for hele Forsøgets Gang; ligeledes er selve det kritiske Punkt, hvortil den anden Tragt skal sænkes for at bevirke at Luften trænger ind i Jordlegemetets Porer, overordentlig svært at bestemme med tilfredsstillende Nøjagtighed, fordi Reaktionen foregaar saa langsomt i finkornet Jord.

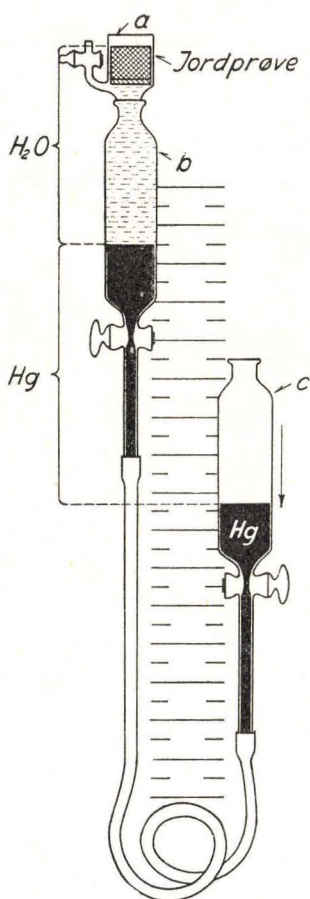


Fig. 10. Beskows Kapillarimeter.

¹) Refereret MERTZ 1940.

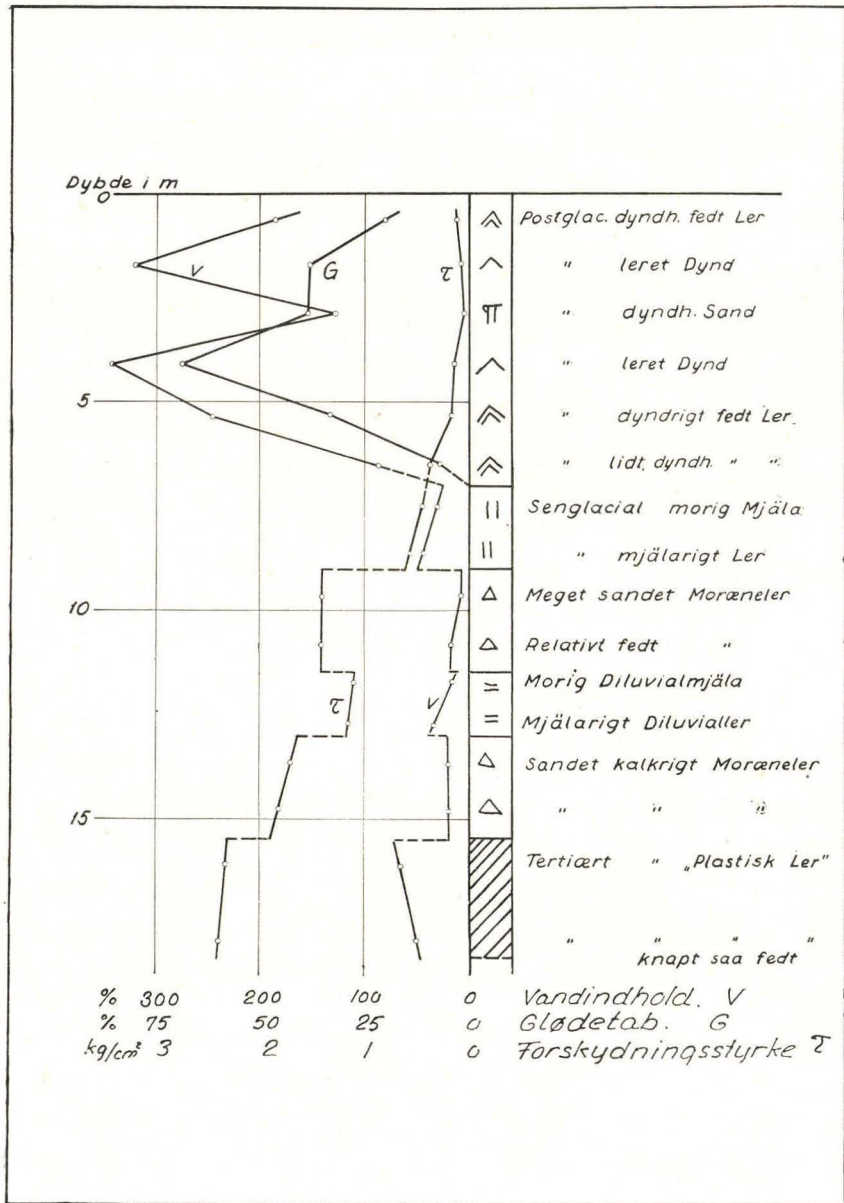
Paa Grund af den store Forskel mellem de forskellige danske Jordarters Tendens til Udskridning og Opfrysning er det af største Vigtighed saavel ved Vej- som ved Jernbaneanlæg at skaffe sig den bedst mulige Dæmningsfyld. Da det imidlertid vil være meget bekosteligt at lade optage intakte Prøver fra de ofte vidtsprede Omraader, hvorfra Fylden hentes og senere lade hele Prøvematerialet undersøge i Laboratoriet saavel m. H. t. Forholdet K_3/K_1 som for Kornsammensætning og Kapillaritet, kan Jordartsgeologen paa dette Omraade yde god Hjælp ved paa Forhaand alene paa Grundlag af almindelige omrørte Jordprøver at udskille de rene Mjåla- og Mo-Jorder, samt for de usorterede Jordarters (Moræneaflejringeres) Vedkommende at udpege de Jordprøver, hvor Indholdet af Mjåla og Mo synes foruroligende.

Som Dæmningsfyld er Smeltevandssand og lerfrit Smeltevandssand meget efterspurgt, og forekommer disse Jordarter i et Omraade, giver de ofte Ejeren gode Indtægter. Men ved Bedømmelsen af f. Eks. en tidligere isdæmmed Sø's Aflejringer er det nyttigt at ty til geologisk Assistance, idet disse Bassiners Dannelsesmaade ikke altid staaer Forespørgeren klar, hvilket jo ikke er mærkeligt, da de ofte fremtræder som Bakke- drag i Terrænet; hvis man ved Boringer har faaet indkredset en saadan »Sø«, opstaaer der derfor let den Misforstaaelse, at hele Omraadet bestaar af samme grove, lerfri Materiale, som Bræmmen langs de tidligere Søbredder. Det bliver i dette Tilfælde Geologens Opgave at danne sig et Skøn om »Søens« Form og advare imod at udgrave Fyld i Vægge, der har Retning ind mod Søens Midte, hvor der ofte findes aflejret Mo, Mjåla og Ler.

De geotekniske Forsøgsresultaters Fremstilling.

Naar alle saavel geologiske som geotekniske Bestemmelser er foretaget, samles Resultaterne paa en fælles Plan, som vist paa Fig. 11. Medens der derefter forestaar Laboratoriets tekniske Medarbejdere et stort Beregningsarbejde for at faa overført de fundne Ciffre for Forskydningsstyrke, Permeabilitet o. l. paa den foreliggende Opgaves særlige tekniske Problemer, er den geologiske Medarbejders Andel i Arbejdet afsluttet med Udfærdigelsen af Rapporten over Lokaltetens geologiske og jordartsmæssige Forhold.

Den fælles geologiske og tekniske, yderst detaljerede Boreplan betyder altsaa det endelige Resultat af det udførte geologiske Arbejde, og det er ofte meget lønnende at studere Sæmmespillet mellem den jordartsmæssige og den tekniske Faktor, saaledes som det afspejler sig i Planens Kurver og Profiler. Betragter man Profilet Fig. 11, ser man saaledes for den øverste, dyndholdige Aflejrings Vedkommende, hvorledes Kurverne for Prøvernes Vandindhold og Indholdet af organisk Stof (her

Fig. 11. Et geologisk-geoteknisk Boreprofil¹⁾.

beregnet som % Glødetab) næsten slavisk følger hinanden; dette Forhold er jo saa naturligt, at man maa efterforske Aarsagerne til Afvigelse

¹⁾ Dette Eksempel viser paany, at det ikke er gorligt at aflæse to forskellige Jordarters relative Fasthed ud fra deres Vandindhold, naar man ikke samtidig kender deres relative Finhedsgrader.

serne fra Reglen (hvis Vandindholdet stiger ved Overgang fra een Prøve til en anden med samme Indhold af organisk Stof og samme Konsistenstal, maa det forventes, at sidstnævnte Prøve er langt mere fin-kornet end den foregaaende o. s. v.)

Man iagttager ligeledes, hvorledes det plastiske Ler ved c. 18 m Dybde med sine 35% Vand paa Grund af de to Lerarters forskellige Vandbindingsevne (Finhedstal) har større Forskydningsstyrke end det overliggende Moræneler, der kun indeholder 15% Vand.

Man iagttager endvidere, hvorledes Forskydningsstyrken stiger i Boreprofilen ved Overgangen fra de seneglaciale Lag, der ikke har baaret en Iskappes Vægt, til Diluvialleret, der har været underkastet Isens Tryk.

Alle Svingninger i Kurverne kan naturligvis ikke forklares alene ud fra de geologiske Forhold paa Lokaliteten og vil rimeligvis heller ikke kunne det, naar Geoteknikerne med Tiden opnaar endnu større Sikkerhed i at tolke det Sammenspil mellem Stedets Geologi og Jordarternes fysiske Egenskaber, som disse Boreprofiler vidner om; men allerede nu kan man dog se, at man gennem Samarbejdet mellem Geologer og Teknikere er inde paa den rette Vej til at opnaa den bedst mulige Kendskab til vore Jordarters hele Natur til Gavn for begge de to Discipliner, hvoraf Geotekniken er opstaaet.

Sammendrag.

Til Slut kan det maaske være paa sin Plads at trække Hovedlinierne i denne lille Oversigt op og fastslaa, hvad Geologien yder og hvad den modtager ved det geotekniske Samarbejde:

Geologien yder, blandt andet paa Grundlag af D. G. U.'s Kendskab til vort Lands Jordbundsforhold, Teknikerne Hjælp til at udvælge den passende Lokalitet for Bygværket, for Gravning af Dæmningsfyld og for Eftersøgning af teknisk anvendeligt Ler og Sand. Endvidere hjælper den med at bestemme den forsvarlige Boreddybde, med at begrænse Boringernes Antal samt Antallet af de for Laboratorieforsøg nødvendige intakte Prøver ved at bestemme de mellemliggende Jordlag ud fra de mindre bekostelige Snegleborsprøver.

Senere ved Arbejdet i Laboratoriet hjælper den geologiske Bedømmelse af Jordprøverne til at indskrænke Laboratorieforsøgenes Antal og til at skabe Grundlag for et jordartsmæssigt Inddelingssystem for det hurtigt voksende geotekniske Kartothek, der skal bidrage til efterhaanden at indskrænke Undersøgelsernes Omfang ved nye Byggeprojekter.

Geologien modtager til Gengæld gennem de detaillerede og ofte dybtgaaende Boreprofilers Udarbejdelse et nyttigt Supplement til det eksisterende geologiske Borearkiv samt Adgang til at undersøge et over-

ordentlig smukt Prøvemateriale bestaaende af delvis intakte Jordprøver, en Prøvetype som Vandforsyningsboringerne jo ikke er i Stand til at fremvise.

Gennem Laboratorieresultaterne modtager Geologien endvidere vigtige Oplysninger om Jordlagenes fysiske Egenskaber, Oplysninger, der maaske ad Aare kan benyttes til Granskning af kvartærgeologiske eller endog geotektoniske Problemer.

Selv om den praktiske Geoteknik i langt højere Grad er en teknisk end en geologisk Videnskab, skulde der saaledes alt i alt være et godt Grundlag for Samarbejdet mellem Geologer og Teknikere indenfor Geoteknikens Rammer.

Summary.

Geotechnics is relatively young as an independent science since it first came into existence in the years about 1914. At this time a number of serious landslips in Sweden brought about the formation of a Swedish 'Geotechnical Commission' on which geologists as well as engineers had seats. In 1921 geotechnics was introduced in the Geological Survey of Denmark, (D. G. U.), and already in 1923 co-operation was initiated between the D. G. U. and the Danish State Railways in investigating the soil conditions of the substratum in the Little Belt in connection with the foundations for the Little Belt Bridge.

In 1930 it became necessary to improve the working conditions of this geotechnical co-operation, wherefore the State Railways and the D. G. U., in association set up a geotechnical laboratory in the Administrative Building of the State Railways. Here one of the railway engineers attends to the technical work including the leadership of the boring section, while the D. G. U. geotechnician undertakes that part of the State Railways' geotechnical problems related to soil science.

In 1937 the Laboratory of Maritime Works and Foundations (Soil Mechanics), in the Technical University of Denmark, also began geotechnical research, similarly in conjunction with the Survey, and in 1943 the Academy of Technical Sciences instituted the Geotechnical Institute which was founded on the co-operation between the Laboratory of Maritime Works and the D. G. U. The Institute has a governing body composed, apart from the leaders of the two named organisations, of representatives of the State Railways, Danish Association of Engineers and the Technical University etc. The Head of the Institute is the Professor of Maritime Works and Foundations, while the D. G. U.'s geotechnician attends to the geological side of the geotechnical problems.

An engineer investigates his land to elucidate purely practical matters, such as: whether the ground can carry a proposed structure, whether an excavation will collapse, whether frost-heaving can be expected in the material to be used for embankments, or whether a clay deposit will be of industrial value. He seeks, in other words, clear numerical results of practical and economic use. To find the balance between rashness and excessive caution in these problems is the goal towards which every responsible geotechnician must work.

The interest of the geologist in the geotechnical results is quite different. For him the often very deep borings of the large building undertakings open the way to enlarged acquaintance with the soil conditions in the locality. Similarly the scientific investigation of the soil types in the now excellent sample material, gives such information as to the age and mode of deposition of these, as would otherwise be economically impossible for the geologist to obtain.

Soil Water.

Apart from chemically bound water in the soil there are found, according to modern understanding, hygroscopic and free pore water. By the former is understood the film of condensed water which surrounds a mineral grain, and which in a fine grained soil is so strongly attached that it must in many ways be regarded as a constituent part of the grain. The hygroscopically bound water is an extremely important factor in the structure of soils, and it is considered to be the essential cause of the plastic properties of clays. It is only removed from the mineral grain by force, and its "strength" is of such an order of magnitude that one now and again sees it compared with that of steel. If it happens that the adsorption film on the grain is reduced by some even stronger attraction from without, then there is immediate replacement by water which the grain abstracts, either from moisture in the atmosphere or from the ground water.

Between the mineral grains enclosed in their hygroscopic adsorption films occurs the free pore-water; under the water-table, independently of the effect of surface forces, and above the water-table in the form of capillary water, i. e. water lifted above the water-table (ground-water) by the capillarity of the pores. The capillary rise is dependent upon the grain size of the particular soil variety. Clay has fine pores with large capillary force, and can therefore lift the water to great heights, but only slowly; sand has large pores and can therefore lift the water quickly, but only to inconsiderable heights. Transitional types between clay and sand, the so-called "Mo" (fine-sand) and "Mjåla" (silt), which will be mentioned later (page 44), lift water relatively quickly and to relatively great height.

From this it will be seen that the relation between a soil type, its adsorption films and its free pore-water, is of great interest in soil geology. If one knows the grain sizes one can say much concerning the capillarity and hygroscopicity of a soil, and vice versa. Technically, the relation between soil and water is of even greater importance, for it controls the bearing capacity of the ground, the tendency to freeze-up etc. Even if the aims are different, the means of attaining them are in many cases common to the two branches of science.

Historical and General Geology

Apart from peat-bogs etc., the Danish soil has in general a satisfactory bearing capacity, and in the past one did not, even in large building enterprises, give that side of the question much attention; one made a free estimate of the firmness of the upper layers, and for the rest, one trusted. Nowadays the site is surveyed in the majority of building projects. One first seeks aid partly in the geological knowledge of the superficial deposits of the particular locality, and partly in the Well Record Department of D. G. U. which in many cases can give information about the character of the deeper lying strata in the area concerned: such as the possibility of meeting peaty layers at greater depth, and of the attitude and nature of the substratum. Even palæontology and palæobotany tell much about the Danish soil, because historical geology often renders good service to the technician, and did so even long before the word "geotechnics" was coined.

It can, in illustration, be said that before the selection of the plan for the Little Belt bridge, the geologists were asked to guarantee the absence of stones in the Little Belt Clay, since the accomplishment of the project depended on the correctness of this assumption. The geologists answered without hesitation that the only stones one might anticipate in the Eocene plastic clay would be occasional clay-ironstone concretions, which were known to occur, but that actual stones do not occur in this old deep water deposit.

When geologists and the Well Record Department of D. G. U. have been consulted one has a more or less certain basis for judging the scale of investigation required, the boring programme can be formed and boring commenced.

Soil Geology.

If, in the preliminary investigation for a building project one could make the bore-net so fine-meshed that the site was completely covered thereby, the borings so deep that the deposits which could be expected below were of no interest, and the number of intact samples so numerous that practically the whole undamaged coring reached the laboratory, then geological assistance in the laboratory would not be needed. However matters are not like that. It is generally impossible to be lavish with borings, bore depths or intact samples and so it becomes the geologist's job to fill in the gaps in the information obtained.

He does this by judging what deposits can be expected between the bore profiles, beneath the deepest sample obtained, and also, on the basis of the much cheaper small samples obtained by the screw auger from between the intact samples, determining variation in the bore profile. It is therefore the geologist who, even before the final examination of the sampled material, must decide, from the Foreman's report, when the boring can be stopped; a responsibility which is often heavy, but which rightly rests upon him who has geological experience for support.

When this decision has been reached, and all the samples from a boring, together with the boring journal, brought in, they are placed at the disposal of the geological technician, who then undertakes a thorough investigation of the geological and petrological nature of the loose samples (boxed samples), together with a provisional survey of the intact samples, since these can only be finally investigated by laboratory experiment.

The petrological judgement of the sample material then serves two purposes. It must first restrict the number of the often rather expensive laboratory experiments, by giving a basis for the separation of the samples of each geological time period into groups which are homogenous with reference to soil variety, e. g.: rich meltwater clay, meltwater clay with fine-sand, sandy moraine clay, clayey moraine sand etc. One can then restrict oneself to investigating single representative samples from each layer. On the other hand, the petrological judgement supplemented by the numerical results of experiment, will later be incorporated in a geotechnical card-index which—as it in time becomes increasingly comprehensive—will presumably save laboratory experiments should there arise new geotechnical problems in the particular district, or where similar deposits occur in other places. The strictly local conditions will naturally necessitate certain experiments (e. g. the determination of the water content, and thereby ('strength' of the sample), but

others, such as the determination of the degree of fineness, and capillarity, will often be omissible when one has dealt with the ground and specified it so that identification can be certain.

Grain size of Soil Varieties.

Stones	>20	mm.
Gravel	Coarse gravel	20 — 6	mm.
	Fine gravel	6 — 2	mm.
Sand	Coarse sand	2 — 0,6	mm.
	Fine sand	0,6 — 0,2	mm.
Fine-sand (Mo)	Coarse fine-sand (coarse Mo and medium Mo)	0,2 — 0,06	mm.
	Fine fine-sand (fine Mo)	0,06 — 0,02	mm.
Silt (Mjåla)	Coarse silt (coarse Mjåla)	0,02 — 0,006	mm.
	Fine silt (fine Mjåla)	0,006 — 0,002	mm.
Clay	Micro-clay	0,002 — 0,0002	mm.
	Ultra-clay	< 0,0002	mm.

When one considers the many thousands of soil samples which in the course of years pass through the hands of a geological geotechnician, one would believe that he would be able to judge a soil sample's composition without the aid of mechanical analysis, however, one cannot entirely dispense with the objective determination of grain size.

An example is the very important boundary 0,06 mm. (between coarse and finemo), not at all easy to determine from experience, mainly because a sample is never so well sorted that it contains only a single fraction and the contamination may be sand in one sample and clay in another. It is necessary therefore to resort to mechanical analysis for one sample from each soil layer, and then, from experience to decide how many of the remaining samples are covered by the analysis result.

Numerous methods of soil analysis are made use of in soil geology, nowadays first and foremost the Pipette method (ANDREASEN 1930), which is rapid, certain and convenient, and therefore used in practically all geotechnical laboratories when one desires to separate a material, natural or artificial, into its individual components.

ATTERBERG's method of mechanical analysis is detailed and lengthy, but it has the advantage that by its use one's sample is separated into fractions which can then be individually subjected to other investigations, of petrographical or chemical nature. A collection of grain fractions, which through the years has been acquired by the Geotechnical Laboratory of D. G. U., from the mechanical analysis of all types of soil samples, has shown itself extremely useful in series of investigations which endeavour to elucidate, for example, the permissible percentage of clay in moulding sands, and other technical matters. It has become apparent that the earlier clay fraction limit of 0,01 mm. does not mark a definite boundary among the properties of grain size, whereas there are great differences in the results of technical investigations with concretes having equally large admixtures of silt (0,02 — 0,002 mm.) and colloidal clay (< 0,002 mm.) respectively, which again justifies the displacement of the upper limit of the clay fraction down to the mentioned figure of 0,002 mm.

The finest fraction, colloidal clay, becomes therefore a collective group for grains of widely different degrees of fineness, which is the more to be deplored as it is probably the differences among the grains of this group which account for many of the variations which can be detected among the properties of different clays.

Mechanical analyses need therefore to be supplemented by one or more determinations which can give direction regarding these questions.

The Fineness Number of Soil Varieties.

By the Fineness Number of a soil sample is understood: the water content, expressed as a percentage of the dry weight, which must be introduced into a clay sample (by mixing) so that a 60°, 60 gm. cone will sink 10 mm. into the sample. While, as later described, one expresses the firmness of a natural soil by that weight which a 60° cone must have to sink 10 mm. in the undisturbed sample, one, on the other hand, expresses by the Fineness Number the amount of water one must introduce into the sample so that the 60°, 60 gm. cone will sink 10 mm. in the mixed sample, and accordingly, the different water contents of different soils at a definite consistency.

The Fineness Number is a measure of the water holding capacity of a clay, and for a soil of homogenous mineralogical composition, as for most of the Danish humus-free soils, it gives an indirect measure of the grain fineness of the sample.

When a mineral earth free from humus is considered, the soil geologist has as the two most important laboratory aids the grain size determination, and the Fineness Number. The first is expressed in general by the use of a grain size distribution curve, such as those shown in fig. 2, where are drawn curves for two different soil varieties; such that a point on the ordinate indicates the percentage of the sample with grain size less than that shown by the point's abscissa.

On the basis of Fineness Numbers soils can broadly be divided thus:

Meagre clay.....	10—	30	(% water on
Silt.....	30—	40	dry weight)
Fairly rich clay.....	40—	cir. 60	
Rich clay.....	cir. 60—	cir. 80	
Plastic clay.....	cir. 80—	1)	

When the geological geotechnician has considered all the samples in the light of his experience in geology and soil science, and in individual cases has made mechanical analyses and Fineness Number determinations, there is made, with his investigations and the particular problems presented to the geotechnician in mind, a selection of those samples which will be subjected to further soil mechanical investigations. These will, in distinction from the previous, be concerned with the properties of the soil under the special conditions occurring in the investigated locality.

1) In the «Plastic Clay» at Kollerup Fineness Numbers up to 354 have been determined.

The Bearing Capacity of Clays.

One of the commonest problems for a geotechnical laboratory is to determine whether a site can support a building of given dimensions, or in other words to find the bearing capacity, preferably expressed in Kg/cm^2 , of the particular site.

The bearing capacity of a soil depends upon its capacity to accommodate shearing stresses. The shearing "strength" of the soil, i. e. the maximum shearing stress it can take up without fracturing, depends in part on its cohesion and in part on its friction. By cohesion is understood the forces of mutual attraction between the grains (also called the adhesion of the grains), and by friction: cohesive forces between the grains controlled only by the weight resting on the soil. Rich clay is a strongly cohesive, and coarse gravel a purely frictional soil.

If a soil is compressed the cohesion increases; the process being partly irreversible. In other words; a cohesive soil which has been subject to heavy loading (such as the pressure of a building; the weight of a now eroded, but previously superincumbent soil-mass; or the pressure of the inland ice-sheet) will have greater cohesion than a corresponding soil which has not been subject to such a pressure.

Quite different behaviour obtains in a frictional soil since, when the load producing the cohesive forces is removed, the friction ceases. Sand and gravel are thus in relation to cohesive forces quite dependent upon the existing conditions in the locality; while the shearing strength of a clay originates in the geological history of the particular place, a fact which should excite the interest of geologists for these technical determinations of the cohesion of soils.

CASAGRANDE'S shearing apparatus (fig. 4) and SKAVEN-HAUG'S (fig. 6), together with the Swedish Cone apparatus (see: D. G. U. II R. No. 44 p. 40) are used for the measurement of the shearing strength of soils. By use of the last named, one can determine the quotient K_3/K_1 (the relation between the weight of cone required to sink 10 mm. into intact and disturbed clay respectively) so important in problems concerned with slipping.

In practical geotechnics the magnitude of the compressions which a soil receives through the action of purely mechanical external forces, has great interest. In 1920 K. TERZAGHI carried out a series of compressional experiments, the so-called Oedometer experiments, using the apparatus constructed by him (fig. 7.) With this apparatus one can construct the Oedometric curve (fig. 8). One sees that the sample expands during unloading again to be compressed by the next loading, though only by an amount corresponding to the swelling. When the previous normal pressure is exceeded, the sample is again normally compressed. If the experiment is undertaken with an intact soil sample which in its natural stratum has been subjected to a certain pressure which, apart from the pressure of the overlying soil, can be caused by, for example, ice-loading or sinking of the water-table (e. g. by elevation of the land), then the break in the curve (D on the curve depicted) will show the stress to which the sample has earlier been subjected.

Here we reach the point in the technical account which will be of interest for geologists, since, by measuring the compressibility of a soil one can actually discern the order of magnitude of the pressures to which the soil layers have

been subjected in present as well as in past periods of time. A matter which will repay investigation both in its geotechnical and in its quaternary geological aspects.

By these investigations the geologist gives the engineer important information concerning geological soil data (age, participation in earlier changes of level etc.) which often helps the technician to reach a sound evaluation of the results of oedometric experiment.

Liability to Slipping (Slip Danger) in Soils.

When an earth slope, whether a cliff, excavation, or embankment, slips, the cause is to be found either in an increased load, or a diminished shearing strength; often caused by change in the water content of the soil (downpour after intense dessication etc.). When the first slight displacement among the soil's grains has begun, there enters a further factor, namely the soil's gradual transition from intact to disturbed consistency. The amount of slip depends in large part on the value of the quotient K_3/K_1 for the particular soil. Now unfortunately, the quotient K_3/K_1 does not exclusively follow the soil type but is, apart from being dependent on the soil type, to some extent governed by that consistency at which the determination is made. However, certain soils in the Silt and Fine-sand grades have an extraordinarily large quotient, which is to say that their strength is diminished markedly when the earth mass is in movement. In judging the slip danger of a soil when it has to stand with a certain inclined surface, soil geology draws on two fields:

- 1) The judgement of the possibility for effective draining of the soil, of its capillarity and permeability which must be adequate to contend with sudden changes in water supply dependent upon the weather, a relation which will be considered in the following section (on Frost Danger).
- 2) The particular danger with silt and fine-sand soils because of the sudden change in them from firm to soft consistency.

Frost Danger in Soils.

Apart from the question of slip danger in embankment material there remains one problem in embankment construction: will the material freeze up, or is it not susceptible to frost action? The answer is closely related to soil geology, since the Swedish geologists (SIMON JOHANSSON 1913, G. BESKOW 1935, and others) have put forward the theory that the tendency of a soil to freeze up depends first and foremost upon its capillarity.

If a soil became more susceptible the finer grained it was the matter would be quite straight-forward, but this is not the case. The capillarity of a soil certainly increases with diminishing grain size, but at the same time the period taken in sucking up water increases with decreasing pore diameter; a rich clay will thus be able to suck water up to great heights (possibly > 50 m.), but the process takes place so slowly that an ice crystal will not receive adequate supply, and freezing will be terminated. The capillary relation of the different fractions is shown in the curve, fig. 9 (after G. EKSTRÖM 1927). One sees how the maximum capillary elevation increases evenly from sand through fine-

sand and silt to clay, while the maximum elevation in twenty-four hours occurs in the Mo (Fine-sand) group. This soil type is therefore the most susceptible, and it is absolutely necessary when investigating the value of embankment material not only to determine the fraction Fine-sand (grain size 0,2—0,02 mm.), but moreover to determine the fractions: coarse Fine-sand (0,2—0,06 mm.) and fine Fine-sand (0,06—0,02 mm.) since the 0,06 mm. boundary constitutes the division between fractions susceptible and unsusceptible to freezing.

If one wants to investigate in the laboratory whether a soil sample is susceptible to freezing, this can be done either by direct refrigeration, or by determination of the capillarity and thereby assessing the possibility of freezing. Unfortunately it is at the same time a lengthy and expensive method, and one must therefore at a pinch be content with capillary determination, in fact with fine grained soils one even goes so far as to determine the grain size, and therefrom the order of magnitude of the capillarity, since BESKOW (1930) has found that:

$$\text{Capillarity} = k. 1/d \text{ cm.}$$

where d represents the sample's average grain size, and k is a constant, which, for well graded soils can be taken as 0,06, and for ungraded types as 0,08. The direct determination of capillarity in a soil is described by BESKOW (1930).

Because of the great difference in tendency to sliding and freezing up among soil varieties, it is of the greatest importance for both road and railway construction to obtain the best possible embankment material. As it will be very costly to obtain intact samples from the often widely spaced districts from which the fill material is to be obtained, and then to investigate all the samples with reference to the relation K_3/K_1 , as well as grain composition and capillarity, the soil geologist in this instance gives good assistance. He distinguishes from the ordinary disturbed samples, pure silt and fine-sand soils, and points out those samples among unsorted types (moraine deposits) whose content of silt and fine-sand seems disquieting.

Meltwater gravels and clay-free meltwater sands are much in demand as embankment materials, and if these types outcrop in an area they often give the owner a good income. However, in judging the value of an earlier glacial lake deposit it is useful to rely on geological assistance, since the mode of formation of these basins is not obvious, which is not surprising as they often occur as hills. If one has delimited such a lake by borings, the misunderstanding can easily arise that the whole area is made up of the same coarse clay-free material as the border along the earlier lake's edge. In this case it is the geologist's task to form an estimate of the form of the lake, and to caution against the excavation of embankment fill material from faces directed towards the lake's centre, where are often to be found deposits of fine-sand, silt and clay.

Presentation of the Results of Geotechnical Experiments.

When all the geological and geotechnical determinations are completed the results are collected according to a common plan, as shown in fig. 11. While there ensues a large amount of calculation for the technical collaborator of the laboratory in applying the determined figures for shearing strength, permeability etc., to the particular problems of the present task, the part

of the geological collaborator ends with the completion of the report on the geological and petrological conditions in the locality.

The combined geological and technical bore-plan is in fact the final result of the geological work. It is often very profitable to study the interplay of petrological and technical factors as they show themselves in the curves and profiles of the plan. If one considers the profile, fig. 11, one sees that in the case of the uppermost, peaty, layer the curves for water content and content of organic material (calculated as percentage loss on incineration) very closely follow each other; this relation is so natural that explanation must be sought in the case of deviations (where the water content rises from one sample to another with the same content of organic matter and the same consistency index, it is to be expected that the latter sample is more fine grained than the former, etc.).

Similarly one sees how the plastic clay from a depth of about 18 m. with 35% water, has a larger shearing strength than the overlying moraine clay, which only has 15% water, because of the different water holding capacity (Fineness Number) of the two clays.

Further, one observes how, in the bore profile, the shearing strength rises at the boundary of the late glacial layer which has not carried the weight of an ice-cap, and the meltwater clay which has been subjected to glacial pressure.

All the features of the curve cannot, of course, be explained by the geological conditions of the locality alone, and will probably not be explicable even when the geotechnician in time reaches a greater certainty in assessing the interplay between the geology of the area and the physical properties of the soil, as shown in these bore profiles. But one can even now see that the co-operation between geologist and technician is a step in the direction of attaining the best possible knowledge of the whole nature of soil types, for the benefit of both the disciplines of which geotechnics is composed.

The Geological Survey's knowledge of the soil conditions in our country helps the engineer in deciding on the right locality for building operations, excavation of embankment material, and the search for industrially useful clay and sand. It further helps by determining the justifiable depth of boring, the number of borings, and the number of intact samples necessary for laboratory investigations, and by determining the intermediate soil layers by auger sampling.

The geological judgement of soil samples helps during later laboratory investigations by reducing the number of experiments required, and forming a basis for the petrological classification of the rapidly growing geotechnical card-index which will share in reducing the scope of investigation for future building projects.

Geology receives in return through the working out of the often deep borings a useful supplement to the Well Record Department, together with opportunity scientifically to investigate an unusually fine sample collection, composed in part of intact soil samples, a type of sample which water supply wells are not able to provide.

Through the laboratory results geology receives further, important information concerning the physical properties of the soil, information which can perhaps in time be made use of in research on problems in quaternary geology and tectonics.

Litteraturfortegnelse.

S. G. U.: Sveriges Geologiska Undersökning.

D. G. U.: Danmarks Geolog. Undersøgelse.

N. G. U.: Norges Geolog. Undersøkelse.

- ANDREASEN, A. H. M. 1930: Om de faste Stoffers Finhed. Dansk Tidss. f. Farmaci. Bd. X.
- ATTERBERG, ALB. 1903: Studier i Jordanalysen. Kalmar.
- 1909: Studier öfver Lerorna. Kalmar.
- 1911: Die Plastizität d. Tone. Int. Mitt. f. Bodenkunde Bd. 1. Berlin.
- 1912: Die Konsistenz und Bindigkeit d. Böden. Int. Mitt. f. Bodenkunde. Bd. 2. Berlin.
- BESKOW, GUNNAR. 1930: Om jordarternas kapillaritet. S. G. U. Årsbok. Nr. 23 f. 1929. Stockholm.
- 1935: Tjälbildningen och Tjällyftningen etc. S. G. U. Årsbok 26, 1932. Stockholm.
- BRENNER, THORD. 1931: Mineraljordarternas fysikaliska egenskaper. Helsingfors.
- 1946: Om Mineraljordarternas Hållfasthetsegenskaper. Helsingfors.
- CALDENIUS, C. C. 1925: Bidrag till kännedomen om relationen mellan markbeskaffenhet och markbärighet. Ing. Vet. Akad. Hdl. nr. 42. Stockholm.
- EKSTRÖM, GUNNAR. 1927: Klassifikation av svenska åkerjordar. S. G. U.'s Årsbok nr. 20. Stockholm.
- „Geoteknik“. København 1948.
- HOLMSEN, GUNNAR. 1938: Vore Leravsetninger som Byggegrunn. N. G. U. Nr. 151.
- JOHANSSON, SIMON. 1914: Die Festigkeit der Bodenarten bei verschiedenem Wassergehalt. S. G. U.'s Årsbok 7, 1913.
- KNUDSEN, A. V. og MOGENSEN, A. F. 1946: Jordbundsundersøgelser for Funderinger. »Licitationen« 31-12-1946.
- MERTZ, ELLEN LOUISE. 1926: Metoder til Undersøgelse af Lerets fysiske Egenskaber. D. G. U. II Række Nr. 44.
- 1937: Geologiske Profiler gennem danske Sunde og Fjorde. D. G. U. II Række, Nr. 60.
- 1940: Jordarternes Indflydelse paa Opfrysnings- og Tøbrudsskader etc. »Ingeniøren« Nr. 26.
- MOGENSEN, A. F. 1946: Diverse Artikler om geotekniske Spørgsmaal. Tekn. Leksikon Bd. II. København.
- SKAVEN-HAUG, SV. 1931: Skjærfasthetsforsøk med Lere. Medd. fra Norges Statsbaner, Nr. 6.
- Statens Järnvägars geotekniska kommission 1914—22: Slutbetänkande. Stockholm 1923.
- TERZAGHI, KARL v. 1919: Die Erddruckerscheinungen. Österr. Wochenschr. öff. Bau-dienst Hft. 17—19.
- 1923: Die Berechnung d. Durchlässigkeitsziffer des Tones. Sitzber. Akad. Wiss. Wien. Abt. II a. Vol. 132.
- 1925: Principles of Soil Mechanics. Engineer. News Record. New York.

FR. BAGGES KGL. HOFBOGTRYKKERI
KØBENHAVN