

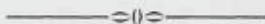
28878

NORGES GEOLOGISKE UNDERSØKELSE NR. 151.

VÅRE LERAVSETNINGER SOM BYGGTEGRUNN

AV
GUNNAR HOLMSEN

MED 17 FIGURER I TEKSTEN
OG ENGLISH SUMMARY



OSLO 1938

I KOMMISSJON HOS H. ASCHEHOUG & CO.



Innhold.

	Side
Innledning	5
Lerets sedimentasjon og lagfølge	7
Kornstørrelse	14
Mineralsammensetning	18
Struktur	21
Plastisitet som følge av vannets dipolegenskap	22
Vanninnhold	23
Konsistens	29
Relativ fasthet, finhetstall og skjærfasthet	30
Elektrolytters innflytelse på lerets konsistens	32
Tørreskorpe	36
Kontraksjon under avgivning av vann	41
Volumvekt	45
Lerets fasthet sett i sammenheng med dets vann- og gytjeinnhold	47
Vannledningsevne	54
Måling av grunnvannets nivå	55
Masseforskyvninger	60
1. Signing, lakttagelser i Oslo	60
2. Overbelastning	68
Måling av markens synkning i Oslo	72
Spørsmålet om undergrunnsbanens drenering av leret i Oslo	78
Geologiske kart	84
English Summary	88
Litteraturliste	93

Innledning.

I denne avhandling gis en kortfattet samlet fremstilling av vårt marine lers egenskaper i den utstrekning de ansees å ha betydning for lerets stabilitet som byggegrunn. Der er i de siste 10—15 år fremkommet en rik videnskapelig litteratur på dette område som det her er gjort bruk av. Under prosessen om undergrunnsbanens skadevirkning i Oslo blev der også fremlagt partsinnlegg av stor verdi i geologisk henseende. Dette materiale er nok trykt, men er dog så vanskelig tilgjengelig, at det berettiger den utførlige omtale og bearbeidning som her er gjort det til del.

Der synes å være behov for en orientering i de spørsmål denne avhandling berører. Statsinstitusjoner som Norges Vassdrags- og Elektrisitetsvesen, Veidirektøren og Havnedirektøren henvender sig ofte til Norges geologiske Undersøkelse med anmodning om geologisk assistanse når det gjelder gravnings- eller fundamenteringsarbeider i marine leravsetninger. Flere av våre byer ligger helt eller delvis på marine avsetninger og lider av ulemper som det plastiske underlag medfører. Særlig lunefull er grunnen i Oslo og Aker med sine hyppige vekslinger mellom dype avleiringer av bløtt ler og opstikkende fjell.

Noe middel til i en fart å gjøre en bløt, plastisk lergrunn til god byggegrunn eksisterer ikke. Det eneste som kan gjøres er på forhånd å undersøke grunnens art så dens svakheter

kjennes, og da ved fornuftig planlegging å omgå vanskelighetene. Denne avhandling er derfor ment å rettlede i de spørsmål en grunnundersøkelse bør ta sikte på å klarlegge for at den skal bli så effektiv som mulig. Kunde den dertil bidra til, at de mange spredte undersøkelser som nu foretas av lergrunnens dybde, fasthet og vanninnhold blir samlet og ordnet så de ikke går tapt i fremtiden, vilde det arbeide som er nedlagt i avhandlingen være vel anvendt.

Lerets sedimentasjon og lagfølge.

Breelvene fører meget slam. Nærmest breen er vannet i dem grått, lenger ned i vassdraget blir det først grønt, siden blått eftersom de groveste korn bunnfelles eller slites op og brevannet utspees med annet vann. Otta er grønn og Lågen beholder nedenfor sammenløpet et grønlig skjær helt til Mjøsa, som er blå, enkelte somrer helt til Ringsaker.

Breslammet er stenmel, malt under skuring av stener mot hverandre i breisen eller mellom stener i breen og berggrunnen.

Vårt marine ler består hovedsakelig av stenmel. Det er dels avsatt direkte av slamholdig brevann i kaldt havvann under istidens avsmeltningsstadium, og dels er det etter istiden ført med elvene til fjorden fra høiereliggende, tørrlagte istidsterrasser. Ler fins i alle høider mellom den høieste strandlinje og fjordens største dyp. Når havbunnen ved landets stigning tørregges blir slammet fastere.

Havstanden var på det høieste da iskanten lå ved Grefsenmoréne nord for Oslo. Der blev da avleiret breslam i alle høider fra Oslofjordens største dyp i Bunnefjorden på 88 favner til ca. 200 m over det nuværende havnivå. Ut på dypet hvor der er lite strøm når bare de fineste slamkorn, og her blir leret derfor mest finkornig. Foruten dybden har også fjordvannets saltinnhold betydning for sedimentasjonen. Saltene beforder synkningen av kornene. I stille, salt vann bunnfelles finkornig, homogent ler. I grunne fjorder, hvor det salte vann ikke trenger inn og foran elveoser hvor vannet er brakt sedimenteres slammet skiktvis og blir til skiveler med vekslende tynne lag av forskjellig kornighet.

Vannets temperatur har også meget å si for den hastighet hvormed slammet bunnfelles. I rent vann av 0° C synker kvarts-

korn med et tverrsnitt av 0.1 mm 7.04 cm pr. sek., mens de i vann av 30° C synker 16.35 cm pr. sek. De fine korn med tverrsnitt 0.01 mm synker bare hundreparten så fort, henholdsvis 0.074 og 0.163 cm i sekundet. I kaldt brakkvann vil de fineste korn holde sig lenge svevende, og svenske geologer mener, at den skiktning skiveleret i Sverige viser skriver sig fra at de fineste lerbestanddeler først kom til avsetning i vinterens løp (vinterskikt) mens der om sommeren da breelvene hadde stor vannføring og der rådet urolige strømforhold i sjøen avsattes sandholdig ler (sommerskikt).

Det slam som under avsmeltningstiden bunnfeltes like utenfor iskanten er sand- og grusholdig. Det ligger enten direkte på berggrunnen eller på et stenet lag lerholdig bunnmorenegrus. Utenfor raer og israndterrasser finnes der tykke sandlag nederst i leravsetningen.

Under landets hevning kom lerslammet efter hvert op i strandkanten. Det blev da atter skyllet vekk fra de steder som var utsatt for bølgeslaget, omleiret og på ny avsatt inntil det fant en forsenkning, hvor det kunde ligge i ro. Fra den tid av da landets hevning tok fatt skriver det bunnfelte slam i havet sig, ikke alene fra breelvene, men også for en stor del fra det som bølgeslaget førte ut fra strandkanten og fra det materiale som elvene gravet ut av de tørrelagte terrasser. Dette ler kom til å bli bedre sortert enn det, som var utfelt direkte av breslammet. Det er mindre sandholdig og har i regelen ingen skivning, men viser en slags tykklaget benkning. Dets farve pleier å være dypere blå enn ishavsleret, og da det er mere finkornig vil det også ha større vanninnhold enn den underliggende sandholdige avsetning.

Våre marine leravsetninger kan opnå en mektighet av over 100 m (Holmsen 1930 s. 15). Den største tykkelse som er målt, 105 m, fantes under en vannboring i Trondheim. Lerlag veksler her med sandlag. I Verdalen blev der efter lerfallulykken på Stiklestad foretatt dybdeboringer med et 100 m langt spylebor. Fjellunderlaget lå flere steds dypere enn boret nådde ned, og i et stort antall borhull var dybden til berggrunnen 80 à 100 m under markens overflate. Ved Kvål i Melhus måler leravsetningens tykkelse 80 à 90 m [Friis 1898]. — På Romerike er

den største kjente lertykkelse 77 m. Det er på Lillestrøm cellulosefabrikks tomt. I Drammen er der boret til 70 m's dyp uten at fjellgrunnen blev nådd, og på et lignende dyp ligger fjellgrunnen under Glommen ved Fredrikstad. I dyprennene i Oslo er i almindelighet leret 10—20 m tykt, ikke sjelden 30 m, og undtagelsesvis 40 m.

Lerets innhold av skjell og sneglehus opplyser oss ofte om det dyp hvorpå det er avsatt, om vannets temperatur og salt-holdighet under sedimentasjonen og iblandt om strømmene i fjorden. Th. Kjerulf var den første geolog som studerte våre leravsetningers lagfølge [Kjerulf og Sars 1860]. Han skjelnet mellom tre avdelinger i leret, mergeller, muslingler og tegller. Denne inndeling grunner sig på fossilinnholdet. Mergelleret inneholder arter, sier Sars, som ikke lenger lever ved våre sydlige kyster men bare ved de arktiske havs kyster eller ved enkelte av disse. Andre arter som nok ennu kan finnes sydpå forekommer i leret i større og frodigere utvikling. Herav slutter han at den arktiske fauna litt efter litt avløstes av sydligere former, for i de yngre lerlag finner vi med få undtagelser en overensstemmelse med sjøens nuværende dyreliv.

I mergelleret, som kan være så kalkholdig at det bruser når saltsyre dryppes på det, veksler i almindelighet lerlag og sandlag, og det pleier alltid å være mere sandholdig enn det overliggende, som Kjerulf kalte muslingleret. Det er dog intet i veien for at der samtidig avsettes et fett ler i lune, stille viker samtidig som et magert ler avsettes hvor strøm når til.

Muslingleret er mange steds rikt på skjell. Noen av mergellerets arter er ikke lenger å finne i muslingleret fordi de krever et kaldere vann enn det, hvorunder dette er opstått. Mergellerets karakteristiske arter er sådanne snegler og muslinger som lever i kaldt lergrums ofte like foran iskanten, men muslingleret blev avsatt under landets heving da vannet til en tid endog var varmere enn nu. I lag fra denne tid fant Sars arter, som vil ha så varmt vann som mellom Middelhavet og England. Det har vist sig at flere av det varme vanns arter nu ikke mere fins levende i sjøen utenfor samme kyststrekning hvor fossilene forekommer.

Det tredje slags ler Kjerulf skilte ut kalte han tegller. Det er uten fossiler fordi skallene er oppløst og forsvunnet. Det er det samme som stolpelerlaget, og det kan være opstått så vel av mergelleret som av muslingleret.

W. C. Brøgger optok omtrent ved århundreskiftet tråden i Kjerulfs undersøkelser [W. C. Brøgger 1901]. Han påviste at raet utgjør et utpreget faunistisk skille mellom leravsetningene utenfor og innenfor. Utenfor Moss—Hortenraet er avsatt ler med høiarktiske skjell hvoriblandt fremheves en stor form av *yoldia arctica*. Dette såkalte eldre yoldialer er avsatt på forholdsvis grunt vann, 20—30 m's dyp, og under et klima som det som nu hersker ved Karahavet med en årlig middeltemperatur på $\div 8$ til $\div 9^{\circ}$ C. Under avsetningen av yoldialeret bedredes dog klimaet, den store form av yoldia erstattes i det overliggende yngre yoldialer av en mindre form og til slutt optrer i de øverste lerlag utenfor raet en mindre høiarktisk fauna med *arca glacialis* som ledefossil i det eldre arcaler. Landet synker under ratiden, så ved slutten av denne periode, mens det eldre arcaler avsettes, lå det ca. 75 m lavere enn nu, og samtidig var klimaet såpass meget mildere, at det kan sammenlignes med Østfinnmarks nuværende.

Under den neste stans av isranden ved Ås-Svelvikmorénene avsattes over bunnmorénegruset som er utbredt mellom raet og dette morénetrin det midlere arcaler. Landet lå da 100—150 m lavere enn nu. Den sammenhengende isrand ved raet oppløser sig i dalbreer eftersom isen trekker sig tilbake og dermed kommer smeltevannet fra breelvene til å medføre forskjellige faser i leravsetningens fauna.

Over arcaleret forekommer ler med *portlandia lenticula*, dog således at arca og portlandia ofte fins sammen. Den underste del av dette arca-portlandialer synes efter sin fauna avsatt under noe kaldere betingelser enn det overliggende [Rekstad 1921], men de isskurte stener vi finner så vel i arca- som i portlandialeret viser at begge disse er bunnfelt i et hav hvori isfjell har drevet om.

På slutten av landets senkningsperiode avsattes det yngre arcaler med en mindre form av den musling hvorefter leret er

opkalt, og på stort dyp levet korallen *Lophelia (Oculina) prolifera* hvorav løsrevne fossile rester fins i ler ved Oslofjordens strand og som fastvokset til berggrunnen på 10—15 favners dyp på Drøbakgrunnen [Sars 1860, s. 64]. I nutiden forekommer lophelia langs kysten fra Hardangerfjorden til Finnmark på ikke mindre dyp enn 150 favner.

Mens *yoldia arctica* ikke er funnet i lerlagene mellom raet og Grefsenmoréne, forekommer den atter i en liten form på Romerike, hvilket er tydet som at havvannet har vært kaldere her enn i fjorden utenfor Grefsenmoréne.

Ishavsleret, glacialleret, ligger i høi situasjon gjerne i dagen, men under landets hevning blev det på lavlandet ofte dekket av utskylningsleret [Holmsen 1924, s. 56] eller det postglaciale ler, hvorav *isocardialeret* når op til 60 m o. h. Det er avsatt i særlig varmt vann. Det dekkes nærmest sjøen av det finslemmete *scrobicularialer*, som bare når til ca. 10 m o. h.

Våre leravsetninger består imidlertid ikke bare av ler. Der inngår i dem til dels sandlag, leilighetsvis også mere grovkornige sedimenter.

Umiddelbart foran breelvenes utløp avsattes sandlag. Eftersom breene trakk sig tilbake og med dem elveosene blev bunnlaget overleiret av ler. Men breelvene kunde skifte løp, og med den variable transportevne de hadde er gjentatte vekslinger mellom sand- og lerlag hyppige i leravsetningenes bunnlag. På store lersletter kan sandlagene ved bunnen mangle og leret ligge direkte på bunnmoréne eller berggrunnen. Dette kan være en følge av at det har vært langt mellom breelvene. I dalførene er sandlagene ved bunnen almindeligvis å finne fordi dalene har vært gjennomstrømmet av smeltevasselter.

Under istidens avsmeltningssperiode stod havet høiere enn nu og ennu mens landet lå lavest nådde mange steds breene ned til havets nivå, ikke bare i Vestlandets fjorder, men selv på Østlandet og i Trøndelag. Breene kalvet og løsrevne isfjell lastet med bregrus og vandreblokker drev utover fra iskanten med strøm og vind. Eftersom isfjellene smeltet falt gruset fra dem ned i slammet. Det ler som er avsatt nær brekanten fører derfor ofte grus i lag og linser, eller spredte skurestener

efterlatt av strandede isfjell. Lagene av blokkførende bregrus i leret kan være flere meter tykke og dertil ha stor lengdeutstrekning. Under grunnundersøkelser på gården Haugen nær Grorud stasjon i Aker blev der sommeren 1937 funnet et lag av storstenet grus som lå inne i en lerterrasse med høide 130—135 m o. h. Gruset er så tett spekket med store stener at det ikke var mulig å bore gjennom det hverken med spylebor eller dreiebor. Av grunnboringskartet fremgår det, at det har en stor utbredelse. Det strekker sig som et 100 m bredt belte i retning sydvest—nordøst tvers over den undersøkte eiendom i vel 200 m's lengde, men fortsetter til begge sider inn på de tilgrensede områder uten at dets begrensnig her er kjent. Det treffes under boringen i forskjellig dyp. Lengst nordøst ikke før ved 13 m's dyp, mot sydvest stiger det op så det treffes allerede i et par meters dyp. Et sted blev der gravet en sjakt for å bestemme dets tykkelse. Det var her noe over 2.5 m tykt, fast pakket og med blokker så store, at de måtte mineres i stykker. Leravsetningen er, utenfor gruslaget der hvor der kan bores, 30 til 50 m tykk.

Ved Grorud stasjon vistes sommeren 1937 et lignende sammenhengende lag med blokkførende usortert bregrus i skjæringen for den vei som blev bygget under linjen. Laget er her ca. $\frac{1}{2}$ m tykt og kilte ut mot nordvest. Det er overliret av et 2—4 m tykt lerlag.

Foran Grefsenmoréne blev der for et par år siden under fundamenteringsarbeidet med et nybygg mellem Hans Hauges gate og Brettevilles gate i Oslo funnet et lag fast grus av et par meters tykkelse innleiret på ca. 10 m's dyp i leravsetningen. Terrnghøiden er her 90 m o. h. Gruslaget er sannsynligvis utvasket fra Grefsenmoréne av bølgeslaget og senere begravet av ler under en transgresjon av havet. Holvedahl beretter [1937] om et annet spor av den samme transgresjon fra en tid da strandlinjen lå omkring 90 m over den nuværende havstand. Under fundamenteringsarbeidet for Det meteorologiske institutts nye bygning på Blindern blev der truffet på et decimetertykt sandlag som ligger over et stenførende ler, men under et stenfritt, og som således danner et skille mellem det glaciale og det postglaciale ler. Sandlaget heller utover fra den gamle strand og

det overliggende lerlag er fra 4 1/2 til 10 m tykt. I sanden blev funnet rekved av ek, furu og selje samt sneglehus av den almindelige strandsnegl.

Spredte stener treffes hyppig under grunnboringer i ler. Ikke sjelden er de så store at de hindrer boringen. Under bygningen av undergrunnsbanen i Oslo blev det bemerket da leret blev gravet ut i Slotsparken og ved Majorstuen, at i leret kunde der forekomme enkelte til dels store kampestener og i nærheten av disse fantes gjerne små sandlinser [ing. B. Nicolaissens redegjørelse av 28. mars 1928 i Bjørlykke III, 1928 s. 58]. På de steder hvor tunnelbunnen kom ned på fjell lå leret dels direkte på fjellet, eller der lå et gruslag mellom leret og fjellgrunnen. I gruslaget fantes enkelte steder store granittblokker.

Ifølge B. Nicolaissen ligger i Oslo vannførende sand- og gruslag av større eller mindre tykkelse på bunnen av dyprennene, mens lerlagene opover sidene gjerne hviler direkte på fjell. På dyprennenes nordre side, lesiden, kan der dog treffes små partielle ikke vannførende gruslag på fjellavsatser.

Til samme resultat er også J. Schetelig kommet, som i en rapport av 1. desember 1927 omtaler en rekke forekomster av grus og sand i Homansbyens dyprenner. [Utdrag etc. s. 592.]

I den fete blålums kan der også forekomme sandlag om enn undtagelsesvis. Under fundamenteringen av Handelsbygningen, Drammensveien, Oslo, blev der således funnet et ganske tykt sandlag omtrent midt i den lerfylte dyprenne [Bjørlykke III, 1928 s. 55].

Ved utrasning kan selvfølgelig den normale lagfølge være mere eller mindre forstyrret, og det er ikke usedvanlig å påtreffe spor efter gamle lerfall under grunnboringer og gravninger i ler. Således blev der for et par år siden under prøvetakning på Rodeløkken i Oslo funnet tørrskorpe med stor fasthet i klumper og flak på dyp inntil 10—12 m under overflaten. Det gamle lerfall har berørt et meget stort areal. Dets begrensnings lå imidlertid kun delvis innenfor det med boringer og prøvetakning undersøkte område, så arealet kan ikke angis.

Under landets hevning blev leret foran utløpsosene dekket av sand eller grus som elvene førte med sig. Rester av sådanne avsetninger, ører, finner vi nu som marine terrasser.

Mange steder er det meste av dem gjennomskåret og ført vekk av vassdragene.

Hvis elven under sin erosjon når ned på en terskel, enten av fast fjell eller av storblokket bregrus, som stanser dens nedskjæring vil sand og grus opplegges i dalbunnen ovenfor terskelen. Det er almindelig at vi ovenfor sådanne dalterskler i sidedalene og i hoveddalen nærmest fjellsiden finner marine terrasser med et sandlag øverst, og nedskåret i disse en elveslette med et sandlag av nyere datum som dekker lerets dypeste og eldste lag. På overgangen mellom det postglaciale sandlag i dalene og det underliggende ler er der som oftest en veksling mellom finsandlag og lerlag.

Kornstørrelse.

Ved hjelp av den mekaniske analyse undersøkes mengdeforholdet av forskjellige korngruppe størrelser i jordartene. Dette kan gjøres ved å sikte jorden gjennom soll med forskjellig maskestørrelse. Det marine ler er dog så finkornig at en sikting alene ikke fører frem til noen erkjennelse av den betydning nettop de fineste korn har for lerets egenskaper. Disse kan ikke adskilles i forskjellige størrelsesgrupper uten ved slemning.

Den korngruppeinndeling som jordartforskeren Albert Atterberg har utarbeidet er av en komité nedsatt av Nordiske jordbruksforskeres forening godtatt til anvendelse i de nordiske land. Etter denne betegnes som

sten, korn med diameter	200—20	mm
grus,	—»—	20—2 »
sand,	—»—	2—0.2 »
mo (finsand)	—»—	0.2—0.02 »
mjele (stenstøv)	—»—	0.02—0.002 »
ler (finler)	—»—	< 0.002 »

Denne inndeling grunner sig på de forskjellige korngruppers fysiske egenskaper. Korngruppen sand med ned til 0.2 mm's størrelse danner omtrent grensen for vannets kapilære stigning. I denne og grovere jordart spiller ikke hårrørskraften noen rolle.

Sand danner i fri situasjon en tørr grunn idet den lar nedbøren passere uten å holde på fuktigheten. — Mo formår å tilbakeholde en del av nedbøren. Den kapillære stighøide er betraktelig, og stigningen foregår hurtigere enn i de mere finkornige fraksjoner. — Mjele har større kapillær stighøide enn foregående fraksjon. Derfor synker vannet meget langsomt gjennom den. Korngruppen danner grensen for de jordarter som planterøttene rothår formår å gjennomtrengre. — Korngruppen som ligger under 0.002 mm viser plasticitet, lerartenes karakteristiske egenskap. For de enkelte korn er de Brownske bevegelser iakttagbare, en slags pulsering som kan sees med mikroskop.

Da det har vist sig, at de opstilte korngruppestørrelser er for rumslige til å fastslå hvordan jordartenes fysiske egenskaper avhenger av kornsammensetningen, har Atterberg senere opdelt hver gruppe i to.

Et ler med forholdsvis stort innhold av mjele eller mo kalles magert i motsetning til fett ler, som har forholdsvis meget av finlerkorngruppen.

Ifølge Atterbergs undersøkelser besidder ikke en jordart som ikke inneholder noe av korngruppen < 0.002 noen plasticitet. Plasticiteten tilskrives av noen forskere lerets aller fineste korn, de kolloidale partikler av størrelsesorden mindre enn 0.0002 mm. Andre (Atterberg, V. Goldschmidt) mener derimot at denne lerets eiendommelige egenskap, som senere nærmere omtales, fortrinnsvis skyldes krystallstrukturen hos visse bladformige mineraler når disse optrer med tilstrekkelig stor overflate, d. v. s. i finkornig tilstand.

De korn som er så små at de unddrar sig iakttagelse med et almindelig mikroskop synker så langsomt i vann at der har vært dårlige sedimentasjonsbetingelser for dem der hvor vårt marine ler er avsatt; men de aller minste korn klumper sig sammen og fester sig til de større så selv vårt ler inneholder noe av dem. For å synke 10 cm trenger et korn med diameter 0.001 mm 31 timer, et korn med 0.0001 128 døgn og 0.000001 35 år 97 døgn. Denne langsomme synkning antas å skyldes de Brownske bevegelser som er desto større jo mindre partiklene er, likesom dannelsen av sammensluttede sekundær-

partikler, fnokker, motarbeides av partiklenes ensbenedte elektriske ladninger.

Der foreligger få undersøkelser av mengden av de mest finkornige partikler vårt ler inneholder. Bjørlykke opfører [Undergrunnsbanen III, 1928 s. 18] resultatet av en mekanisk analyse av en lerprøve tatt ved Majorstuen i Oslo fra 8 m's dyp. Analysen er utført av professor dr. Gustav Krauss i Tharandt og viser at denne prøve inneholdt 13.6% kolloidler (<0.0002 mm) og 31.0% mikroler (0.0002—0.002).

Av slemningsanalyser med grovere fraksjoner er der gjort ikke så få. Tidligere anvendtes imidlertid en inndeling hvorved korngrupper mindre enn 0.01 mm ikke skiltes ad. Denne inndeling tilsteder ingen nærmere klassifikasjon av de plastiske lersorter, hvis egenskaper nettop avhenger av den mengde finler <0.002 mm de fører. Bjørlykke har gjort en del slemningsanalyser av ler fra Oslo, hvori mengden av korngruppen mindre enn 0.002 mm er bestemt [Undergrunnsbanen I, s. 40 o. f.]. Han følger Atterbergs klassifikasjon og skjelner mellom

1. Meget stivt ler med 51—89% finler (<0.002 mm)
2. Middelsstivt » » 33—49 » » »
3. Skjørt » » 12—33 » » »
4. Løssaktig » » 46—59 » mjele (0.02—0.002 mm) og
5. Sandler » » 51—60 » finsand (0.2—0.02 »)

Bjørlykkes slemningsanalyser av ler fra Oslo viser, at alle de tre første klasser er representert om enn ler med mere enn 50% finler ikke er almindelig. Vanligvis ligger innholdet av finler mellom 40 og 50%.

Den mekaniske analyse av lerprøver fra samme lokalitet men fra forskjellig dyp viser at innholdet av finler tiltar med dypet inntil dypprennes sandholdige bunnlag nåes. En serie fra Therese gate 30 begynner på 4 m's dyp med 32% finler. Med små tilbakeslag stiger finermengden til vel 41% på 16 og 18 m's dyp. En annen serie fra Studenterlunden [Uttalelse fra 18. nov. kommisjonen 1922 s. 31] begynner på 5 m's dyp, fraregnet den påfylte jordmasse på ca. 3 m's dyp, med 25% finler og stiger til 48% på 12 m's dyp og holder sig med dette

forholdsvis høie finlerinnhold så dypt som prøvetakningen gikk, til 15.3 m's dyp. Novemberkommisjonens formann professor W. C. Brøgger uttaler om prøvene, at finsandinnholdet i dem viste sig jevnt fordelt gjennom hele massen, idet tydelige sand-årer ikke kunde iakttas.

Foruten slemningsanalysene av ler fra Oslo har Bjørlykke gjort tallrike slemningsanalyser av ler fra Østfold [Bjørlykke 1933 s. 31 o. f.]. Det største innhold av finler har en lerprøve fra Degernes tatt 100 m sydvest for Kirkeengen med 60.5 % finler. Et lignende høit finlerinnhold viste 2 lerprøver fra Sarpsborg, hvor nu idrettsplassen ligger. I en skrivelse av 16. februar 1928 til forfatteren opplyser Bjørlykke om at den ene prøve fra 2 m's dyp hadde 60.25 % finler og den annen fra 4 m's dyp hadde 59.50 % finler.

Statens Råstoffkomité har også utført en del kornstørrelsebestemmelser i ler fra forskjellige deler av landet [J. von Krogh I, 1923]. Kornstørrelser under 0.01 mm er her ikke skilt ad.

Til å karakterisere leret bidrar foruten lerfraksjonen også det større eller mindre innhold av mjele og finsand. Gunnar Ekström [Ekström 1926] kaller ler som kun består av disse tre fraksjoner for sortert, i motsetning til ufullstendig sortert ler, hvori inngår også meget sand samt finsand større enn 0.06 mm. Til den siste gruppe henregnes hans sand-lettler og grovmo-lettler.

Ekströms klassifisering er litt anderledes enn Atterbergs. Han inndeler lerartene således:

Plastisk ler	{	1. Meget stivt ler med over 60 % finler (<0.002)
		2. Stivt ler » » 40—60 » » »
		3. Mellemler » » 28—40 » » »
Lettler	:	4. Grovmolettler » ca. 40 » grovmo (0.2—0.06).

Sorteringen av de fine korn i leret er ufullkommen. I almindelig blålums kan ikke noen sortering efter kornstørrelse iakttas. De mindre korn utfyller mere eller mindre fullkommen rummet mellem de større. Bjørlykkes slemningsanalyser av

prøver fra forskjellig dyp viser at stort sett tiltar mengden av finlerfraksjonen ovenfra til et visst dyp. Lengere ned optrer atter mere av de grovere fraksjoner, og mot bunnen av leravsetningen er der ofte sand og mo skilt i tydelige lag fra lerlagene.

Mineralsammensetning.

Lerets partikler består for en overveiende del av finknust bergart. Knusningen er så fin at ikke alene er bergarten opdelt i sine enkelte mineralkorn, men disse er igjen videre opmalt. Eftersom leret er opstått av den ene eller annen bergart får det forskjellig mengdeforhold mellem de bergartdannende mineraler. Foruten de adskilte og knuste bergartmineraler inneholder leret små mengder av nydannede korn som stammer fra stenmelets forvitrede og oppløste stoff.

Mineralsammensetningen av norske lerarter er på initiativ av Statens Råstoffkomité undersøkt av stipendiat Olaf N. Rove [Rove 1926]. Roves arbeide støtter sig til de kjemiske analyser som Statens Råstoffkomité tidligere hadde latt utføre [Hougen, Klüver og Løkke 1925].

Det fremgår av denne undersøkelse, at de mineraler som finnes i størst mengde er feltspat, kvarts, muskovitt og kloritt. Dernest kommer hornblende, epidot og karbonatmineraler og i enda mindre mengde apatitt, ilmenitt, rutil og titanitt. I Roves tabeller opføres limonitt som en så vel i kvantitativ som i kvalitativ henseende ikke uvesentlig bestanddel av leret. Kolloide jernhydrater optrer enten som uregelmessige konkresjoner i leret eller som en hinne rundt kornene. Det er sannsynlig at der forekommer kolloide hydrater både av toverdige og treverdige jern, likesom der også finnes kolloidalt Fe_3O_4 . Limonitt dannes ved forvitring av jernholdige mineraler, kanskje først og fremst ved biotittens omvandling.

Hovedmineralene feltspat, kvarts, muskovitt og kloritt forekommer i forskjellig mengde i lerets enkelte fraksjoner, da de i ulike grad motstår dekomposisjon og knusning. På grunnlag av kjemiske analyser av ler som var siktet gjennom soll med 0.25 mm store masker er mineralinnholdet av 12 forskjellige

norske lerarter beregnet. Av Roves bemerkninger om mineralinnholdet skal her anføres:

Biotitt forekommer bare i de grovere lerfraksjoner da den så lett forvitrer. Den går over til kloritt idet den utskiller limonitt, epidot, magnetitt og rutil. Kloritten kan sees både som egne skjell og som en randdannelse rundt biotittkornene. I fraksjoner med kornstørrelse mindre enn 0.01 mm er så godt som all biotitt forsvunnet.

Kvarts er nest etter feltspat det almindeligst forekommende mineral i ler. Det er langt hyppigere i de grove lerfraksjoner enn i de fine. Dette tilskrives kvartsens store motstandsdyktighet så vel mot mekanisk opknusning som mot kjemisk forvitring. Kvartsinnholdet synes å være det samme i alle fraksjoner grovere enn 0.01 mm, men avtar raskt mot de minste korngruppestørrelser.

Feltspat. I vårt klima dannes ikke kaolin av feltspaten. Kaolin finnes ikke blandt korn større enn 0.01 mm, og om det overhodet forekommer blandt de mindre kornstørrelser må det være til stede i yderst små mengder. Under våre klimatiske forhold synes noen gang en fullstendig oppløsning av feltspatmaterialet å gjøre sig gjeldende, en annen gang synes dens forvitring å resultere i en glimmerdannelse (sericittisering). Mengden av feltspatkorn i leret sees å avta i de fine fraksjoner. Men selv i de fineste korngrupper har feltspatkornene de samme relative dimensjoner og samme begrensingsflater som kornene i de grovere. Herav kan slutes at i norske lerer har den mekaniske opdeling vært dominerende over den kjemiske forvitring.

Muskovitt. I fraksjoner større enn 0.1 mm er der praktisk talt ikke muskovitt å se, mens av fraksjonene mindre enn 0.002 halvparten består av dette mineral. Kornene optrer som ovale eller nesten sirkelrunde skjell. Dette tør bero på, at når muskovittskjellene blir tynne nok blir de lette å brette og således avrundes de under transporten. De små muskovittkorn må derfor fortrinnsvis anees opstått ved den mekaniske sønderdeling og mindre som resultat av nydannelse av muskovittblader i leret. Muskovitten kan tape en del av sitt kaliinnhold

og få en sammensetning som ligger mellom muskovittens og kaolinets.

Kloritt brukes av Rove som fellesbetegnelse for alle i lerene forekommende mineraler av klorittgruppen.

Klorittkorn av uregelmessig form er ganske almindelig i de grovere fraksjoner. Kloritt er også utvilsomt konsentrert i de finere korngrupper, dels som følge av en sønderdeling av de større klorittkorn og dels som følge av biotittens klorittisering. Men her kan den vanskelig skilles fra muskovitt.

De andre mineraler som forekommer i nevneverdig mengde i ler veksler også i hyppighet overensstemmende med sine fysiske og kjemiske eiendommeligheter når de forskjellige korngrupper sammenlignes. Granat kan således forekomme i de groveste fraksjoner, men ikke i de finere fordi den er motstandsdyktig både i mekanisk og kjemisk henseende. Hornblende som spalter lett finnes imidlertid noenlunde likt i alle fraksjoner, muligens med en tendens til konsentrasjon i de finere som følge av at den er lite utsatt for kjemisk påvirkning.

Når mineralene biotitt, apatitt, epidot og titanitt undtas bærer lerkornenes form ikke preg av å være kjemisk oppløst. Selv i de fineste korngrupper (< 0.002) er feltspaten begrenset av skarpkantede spalteflater og kvartsen av skarpe, takkede kanter. Hornblendens sees meget ofte begrenset av sitt spalteprisme og rutil forekommer i delikate små nåler. Kalkspat og dolomitt viser tegn til oppløsning, men dolomitt har ikke sjelden beholdt sin romboedriske begrensning. Muskovitt og kloritt forekommer nok i små skjell som er avrundet i kantene, men dette skyldes mere en mekanisk destruksjon enn en kjemisk innvirkning.

Om mineralkornenes fordeling på de forskjellige fraksjoner bemerker Rove videre, at fraksjoner større enn 0.1 mm utgjøres vesentlig av kvarts og feltspat med små mengder av andre mineraler såsom hornblende, muskovitt, biotitt, epidot og kloritt etc. Fraksjonen 0.1—0.05 mm er i det vesentlige lik første fraksjon, dog med en liten økning av de mineraler som opptrer i underordnet mengde. I fraksjonen 0.05—0.01 mm noteres en økning av muskovittinnholdet, mens kvarts- og feltspatmengden er gått noe ned.

I fraksjonen 0.01—0.002 mm stiger muskovittinnholdet betydelig, og hos enkelte lerarter spores atter en tiltagen av feltspatinnholdet i denne fraksjon. Kvartermengden er gått ned, mengden av andre mineraler er steget. — I fraksjonen mindre enn 0.002 mm sees en sterk økning av muskovittinnholdet som går op til 40—50 0/0, mens kvarts og feltspat trer tilbake så de i enkelte lerer kun utgjør 10—15 0/0. Sammen med muskovittmengden økes også klorittmengden, likesom der synes å være mere av mineralene epidot, hornblende, rutil og titanitt.

V. M. Goldschmidt resumerer disse undersøkelser deri [Goldschmidt 1916] at de norske lerarter helt overveiende består av finpulveriserte bergartdannede mineraler, som skriver sig fra de eldre bergarter, som utgjør undergrunnen i de distrikter fra hvilke leret har fått sitt materiale. Som eksempel på en regional eiendommelighet hos norske lerarter nevner han den forholdsvis høie tilblending av magnesiumrike mineraler som kloritt og hornblende i lerarter fra Trøndelagen. Disse mineraler skriver sig fra de gamle kambro-siluriske vulkanbergarter i Trondheimsfeltet og er til stede i så stor mengde at leret får et grønlig farveskjær av dem, likesom magnesiainnholdet gir sig tydelig til kjenne ved den kjemiske analyse.

Struktur.

Når vi bortser fra skiveleret kan vi ikke makroskopisk erkjenne noen lagdeling i blåler. Blålumsen viser sig så homogen, at ikke engang en stripning kan sees i den. Selv ikke efter tørring og polering av en utskåren ternings flater kommer der frem noen struktur. Men efter en svak brenning av leret lar det sig imidlertid gjøre å fremstille mikropreparater av ler som av vanlige bergarter, og i sådanne tynnslip viser der sig en viss orientering av de bladformede mineraler. Der skjer under et par timers ophetning til 500 à 550° C en oksydasjon av en del jernholdige mineraler, spesielt av jernholdige glimmere og kloritter som derved får en rødlig eller gulbrun farve, men brenningen er ikke til hinder for studiet av mineralenes orientering i blåleret.

Strukturen gir sig til kjenne derved at de bladige mineraler muskovitt og kloritt med flere fortrinsvis ligger på flatsiden. Denne orientering av mineralskjellene trer tydelig frem når preparatet betraktes gjennom gipsbladet i polarisasjonsmikroskopet. Selv en grunnmasse som er så finkornig, sier Goldschmidt [Goldschmidt 1926], at de enkelte mineralpartikler ikke kan adskilles i mikroskopet viser en særdeles tydelig lysning mellom kryssende nikoller når tracen av lagflaten stilles diagonalt i forhold til nikollenes svingningsplan. Dobbeltbrytningens optiske fortegn og størrelse stemmer med den forutsetning at grunnmassen for en stor del består av parallelt orienterte glimmerblader.

Flere av lerets egenskaper, fortrinsvis dets fasthet, undergår særdeles store forandringer når dets opprinnelige struktur forstyrres, således som senere omtales.

Plastisitet som følge av vannets dipolegenskap.

V. M. Goldschmidt har i det foran flere ganger omtalte arbeide [Goldschmidt 1926] forklart lerets plastiske egenskaper som en følge av de bladformige mineralers elektriske feltvirkning på vannmolekyler uten at man behøver å anta tilstedeværelse av særskilte kolloider i leret. Han anfører at allerede Atterberg har vært opmerksom på at den store platisitet leret har, dets evne til å fastholde en stor vannmengde med mere, også gjenfinnes hos en kunstig fremstillet masse av det enkelte, fimpulveriserte mineral av bladform, således som glimmerminerale, kloritt, talk og kaolin. De egenskaper som er blitt kalt „leraktige“ fant Atterberg særlig utviklet hos biotitt, og kom til den anskuelse at biotitt er en hovedbestanddel av de nordiske lerer, en anskuelse som nu må modifieres derhen, at kaliglimmer og biotittens omvandlingsprodukter overtar biotittens rolle i denne henseende.

Da de bladige mineraler lett opdeles til overmåte små skjell vil en vesentlig del av lerpartiklenes samlede overflate måtte tilskrives de bladige mineraler. På grunn av skiktgitterstrukturen hvorefter mineraler med en enkelt, fortrinlig spaltbarhet er bygget op, vil til deres spalteflater være knyttet sterke elektriske felter hvorav vannmolekylene orienteres og bindes. Utenpå

det første lag av orienterte vannmolekyler kan det danne sig et neste og så videre alt efter styrken av mineralskjellenes feltvirkning. Det er dette elektrisk orienterte og fastholdte vann som gir leret dets karakteristiske plastisitet og dermed forbundne egenskaper. Blander vi tørt, finmalt ler med en annen væske som ikke er dipol, f. eks. tetraklorkullstoff, fremkommer en masse uten plastisitet og bindeevne, men med egenskaper som finkornig sand. Erstattes derimot vannet med andre dipolvæsker som pyridin eller anilin får blandingen igjen leraktige egenskaper.

Lerets konsistens er altså betinget av to faktorer som begge er like uundværlige, nemlig et polariserende mineral, f. eks. kaolin, glimmer, kloritt, talk etc. og i mineralkornenes mellomrum en væske som lar sig polarisere.

Lerartenes forskjellige konsistens beror derfor ikke alene på vanninnholdet og kornstørrelsen, men også på arten, mengden, størrelsen og orienteringen av de bladformede mineralkorn som i naturen kan variere meget.

Vanninnhold.

Jo fetere leret er desto mere vann kan det inneholde. Det feteste blåler kan ha 650 liter vann pr. kubikkmeter. Det store vanninnhold leret har fremfor sand kommer av at mineralkornene ikke støtter sig til hverandre i leret sådan som de gjør i sand. Det vannfylte porerum blir derfor stort. Når leret tørres kryper leret sammen. I lufttørret ler er porerummet mindre og kornene ligger mere innpå hverandre.

Når blåleret til tross for de relativt store vannfylte rum mellom mineralkornene ikke er bløtt som en suppe men har formfasthet, så kommer dette av at vannets bevegelighet i porene hemmes av spesielle fysiske krefter.

I forrige avsnitt er omtalt de elektriske felter omkring de skjellformige mineralkorn som ordner og fastholder de nærmeste vannmolekyler i likhet med en magnet som ordner og fastholder jernfilspån. Nærmest omkring glimmerskjellene må vi tenke oss at der fins et tynt vannlag, hvori molekylene slutter sig til hinannen som i en krystall, altså i is. Den struktur leret har fått ved at de skjellformede mineralkorn fortrinnsvis



har lagt sig på flatsiden under sedimentasjonen overføres også til vannet og gjør at selve vannhinnen, isen omkring kornene, blir orientert i forhold til lerets strukturplan. Jo fetere leret er desto mere inneholder det av de fineste mineralskjell og følgelig av det bundne vann. Det kan hende at kornene ligger så tett, at det enes kraftfelt berører det annets. Men i mykt blåler er der dessforuten kanaler og porer som er fylt med almindelig vann i mellomrummene mellom kornenes kraftfelter. Dette vann står under hårrørtrykket. Hvor de vannfylte porer grenser mot luftfylte opstår i overflaten en vertikal sugning som er desto større, jo finere porene er. Den høide hvortil vannet i finkornige jordarter løftes av hårrørkraften over en fri vannflate er målt av Beskow [Beskow 1929].

I materiale med fraksjonert

kornstørrelse	løftes vannet
2—0.6 mm	3— 10 cm
0.6—0.2 »	10— 30 »
0.2—0.06 »	30—100 »
0.06—0.02 »	1— 3 m
0.02—0.006 »	3—10 »
0.006—0.002 »	10—30 »

Den største stighøide Beskow har målt er 70 m, men han antyder, at i naturen hvor materialet ikke er så godt sortert kan stighøider på flere hundre meter tenkes å forekomme. Det kapillære vann beveger sig derfor ikke som grunnvann i tyngdekraftens retning, men fastholdes i porer og hulrum av hårrørtrykket.

Vanninnholdet av en lerprøve bestemmes ved å veie den før og efter tørring. For at lerprøven ikke skal tape vann før den første veining må den efter prøvetakningen opbevares lufttett. Den tørres i tørreskap, hvori temperaturen ikke må overstige 110° C.

Vanninnholdet kan angis på tre måter, nemlig i volumprocent, vektprocent av det utørrede, naturfuktige ler samt i vektprocent i forhold til lerets tørrede, faste bestanddeler.

Når det gjelder å bedømme lerets kontraksjon ved delvis tørring er det nødvendig å kjenne lerets vanninnhold i volum-

procent. En metallhylse av kjent volum fylles med lerprøven som så veies og siden tørres. Derved fåes samtidig data til å beregne lerets volumvekt. Egenvekten av naturlig lagret ler med helt vannfylte porer undergår ingen forandring om leret knaes ned i metallhylsen.

Vanninnholdet uttrykt i volumprocent er lik vanninnholdet i vektprocent ganger lerets egenvekt.

Er vanninnholdet av naturfuktig ler p_v vektprocent så finnes det tilsvarende vanninnhold beregnet i forhold til lerets tørrvekt [Vegard, Fysikalske spørsmål s. 17]:

$$p_t = \frac{p_v \cdot 100}{100 - p_v} \text{ o/o.}$$

Bjørlykke hevder [Bjørlykke: Undergrunnsbanen III, 1928, s. 31] at feilgrensen ved bestemmelsen av vanninnholdet dreier sig om 2 vol.proc. eller ca. 1.1 vekt.proc. av det naturfuktige ler.

I det marine lers porevann inneholdes oppløste salter som skriver sig fra havvannet. Herom henvises til en tidligere av forfatteren utgitt avhandling: „Grundvandet i vore leravsetninger“ [Holmsen 1930, s. 39 o. f.].

Lerets vanninnhold kan gå op til 60 vol.proc. eller ca. 34 vekt.proc., men det er ikke almindelig. Bjørlykke har utført en stor mengde vannbestemmelser i lerprøver fra Oslo, fortrinnsvis fra strøket langs Undergrunnsbanen. Der synes et vanninnhold på omkring 50 vol.proc. å være almindelig. Det nevnes dog eksempler på, at det kan overstige 55 vol.proc., men dette er undtagelser. Viser en norsk lerprøve et vanninnhold henimot 60 vol.proc. er der grunn til å undersøke om leret er blandet med gytje.

Som det fremgår av kurvene fig. 6—11 er vanninnholdet i leravsetningenes forskjellige lag meget varierende. Det mest fullstendige materiale over vanninnholdets forandring med små mellomrum i dybden er fremlagt under prosessen om Undergrunnsbanens skadevirkning i Oslo. Det er vanninnholdet i 2 prøveserier tatt av ingeniør Oscar Large i året 1928 fra Slottsparkens dyprenne, henholdsvis i Hegdehaugsveien 9 og Welhavens gate 15 [Utdrag etc. s. 642 o. f.]. Prøvene blev så vidt vites optatt med stempelbor.

Fra Hegdehaugsveien 9 begynte prøvetakningen på dypet 4.37 m under markens overflate og nådde ned til 19.40 m's dyp. Vanninnholdet er angitt for hver 1 cm i dybden med en avbrytelse av et par decimeter mellom hver prøvestav av ca. 60 cm's lengde. Til vel 13 m's dyp er leret tilsynelatende homogent, men på større dyp er det sand- og grusblandet, til dels med sandskikt. På dypet 15.48—15.60 m notertes endog grov grus. Vegard har utregnet middelverdien av vannbestemmelsene for hver meter fra 7 til 17 m's dyp [Vegard: Fysikalske spørsmål 1923 s. 35]. Vanninnholdet er størst oventil, 30 vekt. proc. Fra 8 til 13 m's dyp ligger midlet mellom 25.5 og 26.0⁰/₀, men fra 13 m's dyp faller det, til 23.0⁰/₀ på 14 og 15 m, og til 22⁰/₀ på 16 og 17 m's dyp. Sandlagene under 17 m's dypet har efter Larges tabell enda lavere vanninnhold, helt ned til 8 å 9 vektprocent. Sandblandet ler med en del gruskorn på bunnen av dyprennen inneholder 14—16 vektprocent vann. — Prøveserien har en større løkke på dypet 17.8 til 18.8 m hvor sandlag blev påtruffet.

Prøvene fra det tilsynelatende homogene ler ovenfor 13 m's dypet viser at der selv her kan optræ betydelige forandringer i vanninnholdet fra den ene centimeter til den annen. Fra et ler med vanninnhold på vel 22⁰/₀ i dypet 5.70 m avtar vanninnholdet på 5.725 m til 20.95⁰/₀ for så i neste centimeter atter å stige helt til 28.60⁰/₀. Videre nedover holder vannmengden sig omkring 30⁰/₀. I dypet 5.73 m er således en plutselig overgang fra et magrere ler øverst til et fetere nedenfor. — I 10—11 m's dypet er der tegn til at der optræ finsandlag. Over og under den prøve som er tatt fra 10.155 m's dyp er vanninnholdet 25⁰/₀ mens prøven fra selve dette dyp viser bare 19.75⁰/₀. Det samme sees vedkommende prøven fra 10.647 m's dyp som har vanninnhold på 19.80⁰/₀, mens leret over og under har 25⁰/₀ vann og mere. Disse eksempler viser at der optræ vel lokaliserte, tynne sandlag i leravsetningen. — Andre steder i Larges tabeller sees jevnt fallende eller stigende verdier for vanninnholdet. Således stiger vanninnholdet litt efter litt fra 17.90⁰/₀ på 13.298 m's dyp til 27.50⁰/₀ på det 5 cm dypere liggende nivå. Under sedimentasjonen har materialets kornstørrelse på dette sted i lagrekken tiltatt.

I fig. 1 er vanninnholdet av de undersøkte prøver mellom dypene 6.30 og 9.20 m og mellom 14.60 og 17.60 m fremstillet grafisk. Den ene kurve omfatter en 3 m tykk serie av leravsetningen, hvor vanninnholdet stort sett ligger mellom 20 og 25 vekt.proc., men det sees at mange prøver viser vanninnhold utenfor disse grenser. Den annen kurve fremstiller vanninnholdet i en mindre dyptliggende del av leravsetningen med mere ensartet og fetere ler med 25—30 vekt.proc. vann. Disse kurver må antas å gi et karakteristisk bilde av vanninnholdets variasjon i to forskjellige lerslags: den ene gir de rett store lokale variasjoner i et magert ler med mere eller mindre utpregede sandlag, den annen de mindre avvikelser i et fetere ler. Særlig ensartet er leret i dypet 6.35 til 7.20 m hvor vanninnholdet avtar jevnt fra 34 til 28 vekt.proc.

Prøveserien fra Welhavens gate 15 går fra 4.7 m til 11.5 m. Vannbestemmelsene i denne serie ligger enda tettere enn i serien fra Hegdehaugsveien 9, nemlig med 5 mm's avstand, ja til dels med 2 eller 3 mm's skivetykkelse av prøvene. Vegard har også for denne serie regnet ut middelveier for hver meter i dybden på grunnlag av Larges tabell, og finner det største gjennomsnittlige vanninnhold fra 6 til 7 m's dyp, 29.5%, og det minste fra 10—11 m's dyp, 25.0%.

Prøveserien er betydningsfull derved at vanninnholdet er bestemt med så små intervaller ned gjennom leravsetningen. Selv om der kan hefte feil og unøyaktigheter ved prøvenes optakning og undersøkelse gir serien et verdifullt bidrag til vår kunnskap om hvordan lerets vanninnhold forandrer sig med dybden.

Det sees av tabellen, som er så lang at den i „Utdraget etc.“ optar 18 kvartsider og derfor ikke kan reproduseres her på ny, at vanninnholdet kan være ensartet gjennom tykke lag av leravsetningen. Jo fetere leret er, jo høiere vanninnhold det har, desto mindre er variasjonene. Men i det magrere ler er der nok av uregelmessigheter med hensyn til vanninnholdet.

På en dybdeforskjell av 0.5 cm kan vanninnholdet i leret ikke sjelden undergå en forandring på 1 à 1.5 %, således eksempelvis fra dypet 4.800 m til 4.805 m og fra 4.950 m til 4.955 m hvor vanninnholdet er 26 à 27 %. Vanninnholdet i

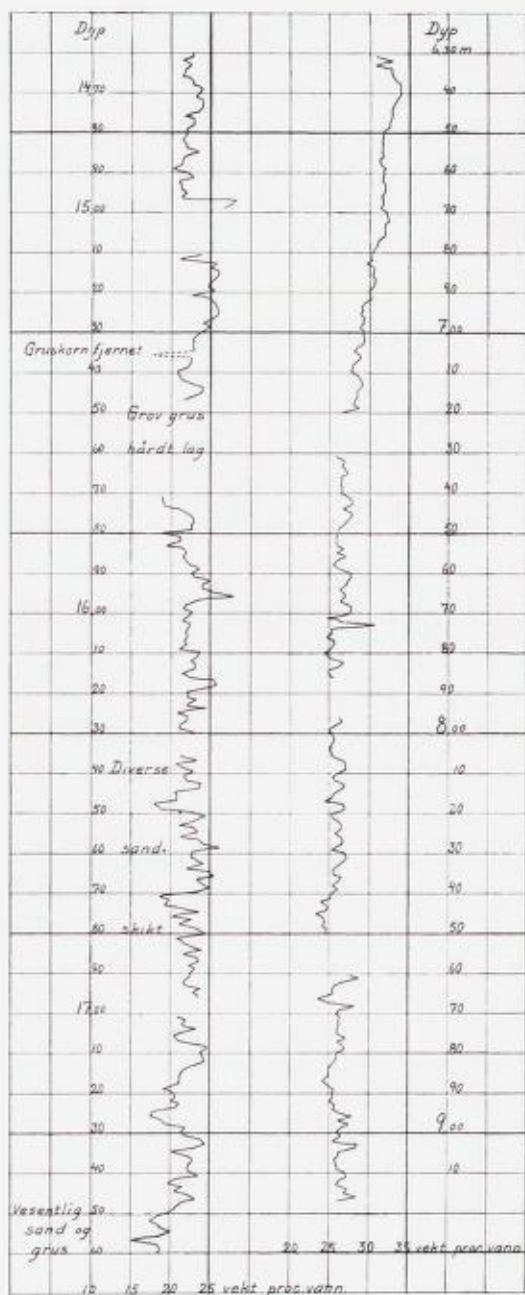


Fig. 1. Vanninnholdet av ler fra Hegdehaugsveien 9, Oslo, i dybene 6.30 til 9.20 m og mellom 14.60 og 17.60 m

prøven fra 5.062 m's dyp ligger endog 5% lavere enn i ler-skivene over og under den, og der kan nevnes flere eksempler på lignende store sprang i vanninnholdet. Således avtar det i de 5 mm tykke prøveskiver fra dypet 5.365 m til 5.410 m jevnt fra verdien 26.1% til 20.5%. Men i neste prøveskive springer vanninnholdet plutselig til 26.8%. Et isolert lag med høit vanninnhold viser prøven fra 8.305 m's dyp. Den har 6.45% mere vann enn den overliggende 5 mm tykke skive og 3.80% mere enn denn underliggende.

Enhver som har beskjeftiget sig med vannbestemmelser i ler vil kjenne til lignende uventede variasjoner som dem, der ovenfor er dokumentert. Selv om et ler ser homogent ut vil det ved sitt i forskjellig dybde varierende vanninnhold gi sig til kjenne som en lagdelt sedimentrekke.

Konsistens.

Atterberg har definert følgende konsistensformer for ler: den faste, plastiske, tregtflytende, tyktflytende og den lettflytende form [Atterberg 1915].

Lerets konsistens i det naturlig sedimenterte ler avhenger i høi grad av de bladformede mineralkorns orientering. Jo mere fullkommen denne er desto mere vann kan et ler med gitt korngruppedeling bindé uten å komme over i en mere bevegelig konsistensform. Ved å gni og røre ut en prøve skåret ut av en plastisk leravsetning i naturen rotes mineralkornene rundt og taper orienteringen. Konsistensen forskyves derunder sterkt i retning av den flytende form.

Atterbergs definisjoner av konsistensintervallene refererer sig til omrørt ler.

Grensen mellom den faste og den plastiske konsistens karakteriseres av om leret lar sig rulle ut i tynne tråder og kuler.

Innen lerets plastiske område ligger „utrullingsgrensen“ og „krympningsgrensen“. Er lerprøven nær sin utrullingsgrense vil den under forsøket med å kjevle den ut snart tape såpass meget vann ved fordunstning at den begynner å smuldre. Vanninnholdet ved denne konsistens betegnes som utrullingsgrensen. Med enda litt lavere vanninnhold når leret sin krympnings-

grense. Som det ligger i betegnelsen slutter lerprøven å krympe ved inntørkning når denne konsistens er nådd. Da ligger mineralkornene så tett inn til hverandre som de kan, men fremdeles med hulrum og porer fylt med vann. Drives uttørkningen videre begynner hulrummene å fylles med luft uten at leret dog krymper mere. Når luften erstatter vannet i porene får leret en lysere farvetone. Det vanninnhold leret da har kalles dets krympningsgrense, og denne konsistens gir sig altså til kjenne ved lerets omslag i farve.

Grensen mellom den plastiske og den tregtflytende konsistens kaller Atterberg flytegrensen. Den bestemmes ved å undersøke om to adskilte lerklumper kan flyte sammen. En lerprøve innen det flytende konsistensområde vil efter omformning ikke beholde sin nye form.

Ved et lers maksimale vannmetningsgrense forstår J. von Krogh [v. Krogh 1923 s. 6] den vanmengde som det er nødvendig å tilsette en bestemt mengde tørret, knust ler for at dette skal få en sådan konsistens, at lerveggene i et snitt gjennom leret blir stående i ro uten å flyte sammen, men at et svakt slag på bunnen av den skål, hvori leret utrøres, bringer det til å flyte sammen i hele snittets lengde.

Den nedre grense for en lerarts plastisitetsområde settes av S. Johansson [Johansson 1913 s. 61] ved krympningsgrensen. Hertil har også Frosterus [Frosterus 1920] sluttet sig.

Konsistensbestemmelser kan tjene til å belyse lerenes egenskaper. Et „magert“ ler når sin flytegrense ved et lavere vanninnhold enn et „fett“ ler. Differensen i vanninnholdet ved flytegrensen og ved krympningsgrensen betegnes som plastisitetstallet, og jo høiere verdi dette har desto fetere er leret.

Relativ fasthet, finhetstall og skjærfasthet.

Den svenske „Statens järnvägars geotekniska kommissionen“, opnevnt 29. desember 1913 avgav sitt „slutbetänkande“ 31. mai 1922. I denne beretning [Geotekniska kommissionen 1922] redegjør kommisjonen for sitt banebrytende forskningsarbeide om undersøkelser av leravsetningers stabilitet.

Kommisjonen har uteksperimentert en metode hvorved målinger kan utføres av lerets fasthet, og angir hvordan prøver kan optas fra stort dyp uten at lerets lagning og kornenes orientering ødelegges.

Fasthetsmålingene består i å undersøke hvor dypt en nysølvsmetallkjegle av kjent vekt og kjeglevinkel synker ned i leret når den innstilles med spissen på lerprøvens plane overflate. Som normalkjegle bruker kommisjonen en som veier 60 g og som har 60° toppvinkel. Der måles hvor dypt denne synker i en lerprøve, naturlig så vel som omrørt, innen det plastiske konsistensområde. Dernest undersøkes hvilken vekt en 60° kjegle må ha for å synke til de dobbelte, halve og mellemliggende dybder. Jo dypere kjeglen skal trenge ned i leret desto tyngre må den naturligvis være. Ved å gjøre samme forsøk med ler av forskjellig mykhet viser det seg imidlertid at der er en viss kontinuitet til stede mellom vektene når de bringes til å synke til ett og samme dyp. Noteres således den vekt kjeglen må ha for å synke 10 mm, og brukes denne vekt som sammenligningsenhet innen hver lerprøve av mykere eller fastere art, så er vekten av kjeglen som bringes til å synke 4, 6, 8, 12, 14, 16 mm o. s. v. et visst multiplum av den vekt den hadde når den sank 10 mm. Kommisjonen setter tyngden av den kjegle som synker 10 mm i lerprøven = 10.00 vekt-enheter og regner ut med 2 decimalers nøiaktighet hvor mange enheter en kjegle må veie for å få en given synkning innen området 1.3 til 20 mm.

Kommisjonen har også utarbeidet en meget anvendt tabell over sammenhengen mellom synkningen av normalkjeglen på 60 g og den vekt en annen kjegle av samme form må ha for også å synke 10 mm i et fastere eller et bløtere ler. Den til 10 mm synkning svarende kjeglevekt gir altså et mål for lerets fasthet, hvorfor denne vekt betegnes som lerets relative fasthetstall. Tabellen omfatter fastheter fra ca. 0.3 til 2000, d. v. s. fra lervellings konsistens til særdeles tørt og fast ler.

Efter at lerprøven er utgnidd og omrørt, altså efter at de enkelte mineralkorns naturlige orientering er ødelagt, avhenger fastheten hovedsakelig av lerets vanninnhold og kornfraksjonenes mengdeforhold. Et finslemmet ler har større fasthet enn et

grovslemmet med samme vanninnhold. Dette benytter Geotekniska kommissionen til å angi et tallmessig uttrykk for lerets finhetsgrad ved hjelp av den vannmengde leret må inneholde for å ha en gitt fasthet. Med en lerarts finhetstall forstår kommisjonen den vannmengde uttrykt i vektprosent av det tørrede lers vekt leret inneholder når det ved fullstendig omrøring har en konsistens som tilsvarer fasthetstallet 10. Ved hjelp av kommisjonens grafiske tabeller er det lett å finne hvilket vanninnhold en lerprøve vilde ha ved fastheten 10 når to korresponderende verdier mellom fasthet og vanninnhold er bestemt. Om enn ikke finhetstallet uttrykker noen eksakt verdi for lerprøvens midlere kornstørrelse har det dog betydning for en tilnærmet vurdering av denne.

Jo større finhetstallet er, desto mindre er prøvens kornstørrelse. Hvis leret er gytjeblandet gir dette sig til kjenne ved høit finhetstall.

Efter at leret er knadd og omrørt er lerets fasthet meget mindre enn i naturlig sedimentert tilstand, fra $\frac{1}{10}$ til $\frac{1}{100}$ av fastheten i naturlig ler. Jo magrere leret er desto større er forskjellen, hvorfor fasthetsbestemmelsen av leret før og efter omrøring er av stor betydning for erkjennelsen av dets art. Som kvikkler betegner kommisjonen det ler, hvor fastheten i fullstendig omrørt tilstand er minst 50 ganger mindre enn den var i det naturlige lagrede ler.

Ingeniør Sv. Skaven Haug har med bidrag fra Norges tekniske høiskoles fond studert forbindelsen mellom lerets fasthet og kohesjon [Skaven Haug 1931] og har offentliggjort en grafisk tabell hvori korresponderende verdier av en lerprøves skjærfasthet uttrykt i kg pr. cm² og lerets relative fasthetstall fremstilles. Denne er av stor betydning for bedømmelsen av grunnens bæreevne.

Elektrolytters innflytelse på lerets konsistens.

Grunnvannet i våre marine leravsetninger er ofte sterkt saltholdig, og det er almindelig at der kommer frem salt kildevann fra lerets sandlag [Holmsen 1930]. Saltet har fulgt med leret da dette avsattes i havet og fjordene. På grunn av den store overflate som de fineste fraksjoner i leret tilsammenlagt

har, vil leret kunne adsorbere rett tydelige saltmengder. Efter saltets art kan lerets konsistens herunder bli så vel fastere som mykere. Johs. Grennes har utført en del forsøk over sjøsalters innflytelse på lerets viskositet [Utdrag etc. s. 680 o. f.] dels med den svenske geotekniske kommisjons inntrykksapparat og dels med et av professor L. J. Lindeman konstruert apparat. Til sine forsøk brukte Grennes hollandsk pipeler som han først tørret og knuste og så rørte ut med rent vann eller med en saltopløsning bestående av de i sjøvann almindelige salter i forholdet 13.8 deler NaCl, 1.67 deler MgCl₂ og 1.22 deler MgSO₄ således at de saltholdige prøver inneholdt 5% av disse salter tilsammen i forhold til lerets tørrvekt. Det viste sig at en saltholdig lerprøve er betydelig fastere enn en saltfri av samme vanninnhold. Av Grennes's målinger med det svenske inntrykksapparat hitsettes nedenstående fasthetstall.

Ler uten salt			Ler tilsatt 5% salt						
med vann	% av tot.vekt	H _s	med vann	% av tot.vekt	H _s				
*	>	25.8	>	46	*	>	25.9	>	58
*	>	26.7	>	41	*	>	26.75	>	46
*	>	27.5	>	27	*	>	27.65	>	37

Selv har jeg utført en del forsøk med fett Osololer for å bestemme elektrolytters innflytelse på dets konsistens. Som mål for konsistensen har jeg brukt den hastighet hvormed leret presses gjennom et hull i bunnen av en hul messingcylinder ca. 2.7 cm dyp og 3.6 cm innvendig tverrmål. Den fylles med omknadd ler og kan oventil lukkes lufttett efterat den er satt i forbindelse med en større metallbeholder, hvori pumpes luft. Trykket avleses på et kvikksølvmanometer, og leret blåses langsomt ut gjennom hullet.

Under de nedenfor omtalte forsøk har jeg presset ler ut gjennom et rundt hull av ca. 4 mm's tverrmål under et trykk av 400 gr pr. cm². Ved hjelp av stoppeur har jeg notert hvor lang tid det tar under konstant trykk å presse ut en lermasse som veier ca. 4.2 g. Leret tyter ut av hullet i form av en sammenhengende lerpølse som jeg lar henge loddrett. Under den legger jeg et lite metallspeil. Stoppeuret settes i gang samtidig som overtrykket fra luftbeholderen ved en hane slipper

inn i den med ler fylte messingcylinder. Avstanden mellom utløpsåpningen og speilet er fast, så lerpølsen hver gang blir like lang. Idet den møtes med speilbilledet stoppes uret.

Målemetoden er følsom. Lerets flytbarhet efter omrøring men uten noen som helst tilsetning er avhengig av en eller flere ukjente faktorer, som er vanskelig å eliminere. Til tross for at jeg til forsøkene har brukt ler fra samme omrørte forråd opbevart i lufttette glasskar så intet vanntap har funnet sted, vil lerets flytbarhet målt efter den ovenfor beskrevne fremgangsmåte vise sig forskjellig fra den ene dag til den annen, uten at dette synes å være betinget av temperaturvariasjoner eller andre atmosfæriske forandringer. Jeg har undersøkt om det skyldes oksydasjon. En prøve av leret utgnidd med vannstoffsupperoksyd forholder sig imidlertid ikke anderledes enn en prøve utgnidd med den samme mengde kokt Oslovann. Kulsyreholdig vann (selters) har heller ingen annen virkning enn rent vann.

Mine forsøk over elektrolytters innflytelse på lerets flytbarhet er utført således at jeg først til 120 g omrørt naturfuktig ler har tilsatt 5 cm³ rent vann og målt utpresningshastigheten. Dernest setter jeg til en like stor mengde naturfuktig ler 5 cm³ av den elektrolyttoppløsning jeg undersøker. Målingene er gjort på det vis at jeg har begynt og sluttet dem hver dag ved å bestemme flytbarheten av leret uten elektrolyttilsetning. Av alle målinger utføres kontrollbestemmelser hver gang med ny porsjon omrørt ler således:

27. mars 1933.

Ler omrørt 25. og på ny idag.

Til 120 g ler med vanninnhold 29.1 vekt.proc. tilsatt				m s
kl. 10 ¹⁵	5 cm ³ rent vann.	Med trykk 400 g/cm ³ utpresset 4.2 g ler i		0.02,2
	Do.	" — "		0.03
kl. 10 ⁴⁰	Do. med 0.014 g K ₂ CO ₃	400 — "		0.03
	Do.	" — "		0.03,4
kl. 11 ¹⁵	Do. med 0.028 g K ₂ CO ₃	400 — "		0.04
	Do.	(pakningen utett, ingen brukbar observasjon)		
kl. 11 ⁴⁰	Do. med 0.069 g K ₂ CO ₃	400 — "		0.12
	Do.	" — "		0.11,5
kl. 12 ⁴⁰	Do. med 0.276 g K ₂ CO ₃	400 — "		17.40
	Do.	" — "		16.46
kl. 13 ²⁰	5 cm ³ rent vann	400 — "		0.02,2
	Do.	" — "		0.02,2

28. mars 1933.

Ler omrørt igår og på ny idag.

Til 120 g ler med vanninnhold 29.1 vekt.proc. tilsatt

kl. 11 ⁰⁰	5 cm ³ rent vann.	Med trykk 400 g/cm ² utpresset 4.2 g ler i	0.02,1
	Do.	" " "	0.02,8
kl. 11 ³⁰	Do. med 0.0345 g K ₂ CO ₃	400 " "	0.05,6
	Do.	" " "	0.05,4
kl. 12 ⁰⁰	Do. med 0.069 g K ₂ CO ₃	400 " "	2.32
	Do. (efter 30 min. henstand)	" " "	1.18
kl. 12 ⁴⁵	Do. med 0.138 g K ₂ CO ₃	400 " "	4.09
	Do. (efter 10 min. henstand)	" " "	3.06
kl. 13 ²⁵	5 cm ³ rent vann	400 " "	0.02,2
	Do.	" " "	0.02,2

En del av mine målingsresultater har jeg grafisk fremstillet på figurene 2 og 3.

Alkalihydroksydene NaOH og KOH gjør leret mere tregt-flytende.

Alkalikloridene NaCl og KCl virker i samme retning, men svakere.

Av alkalikarbonatene har Na₂CO₃ den virkning, at en meget liten tilsetning (en konsentrasjon mindre enn 1/80 normal) gjør leret mere tregtflytende, mens en sterkere konsentrasjon av soda i porevannet gjør leret meget tyntflytende. Dette at lerets viskositet nedsettes av soda er vel kjent i den keramiske industri. Samme virkning har også natriumsilikat. U. S. Bureau of Standards angir at natriumkarbonat brukt i mengder mellom 0.05 til 0.20^{0/0} av det tørre lers vekt har den største nedsettende virkning på viskositeten. Med større sodatilsetning vil leret atter bli tregere. — Kaliumkarbonat virker som hydroksydene. Under de betingelser mine forsøk omfatter øker det viskositeten enda mere enn hydroksydene gjør.

En tilsetning til leret av alkalicyanider vil sålenge konsentrasjonen i porevannet beregnes å ligge under 0.025 normal forøke flytbarheten. Men med sterkere oppløsning i porevannet blir leret mere tregtflytende. Forsøk med cyanider egner sig dårlig i denne serie da de i luften lett omsettes til karbonater.

Jeg har også gjort forsøk med ler tilsatt natriumborat eller med dinatriumfosfat. Ler tilsatt små mengder av Na₂B₄O₇ blir fastere, men med Na₂HPO₄ blir leret merkbart mykere selv om der ikke er sterkere konsentrasjon enn 0.0025 norm. i porevannet.

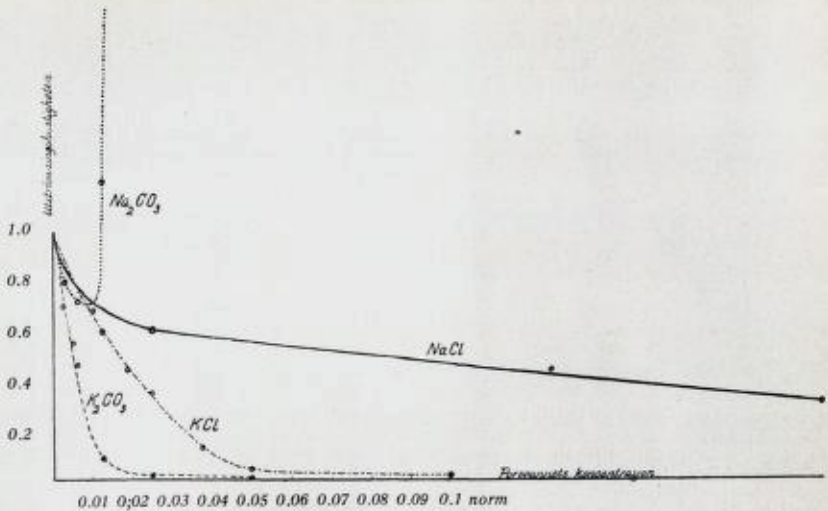


Fig. 2.

Tørrskorpe.

Lerslammet på fjordbunnen blir med tiden fastere eftersom det avgir vann. Når det ved landhevingen kommer over havnivået taper det også vann ved fordunstning fra overflaten, hvor der danner sig et hårdt lag, fastskorpen. Når leret herunder har nådd sin krympningsgrense ligger kornene så tett som de kan, og ved fortsatt fordunstning erstattes porevannet av luft. Da kan leret til slutt bli stenhårdt.

Overflatens uttørring avhenger av beliggenheten. Ler på en bakke får en tykkere fastskorpe enn ler på en slette. Og i en forsenkning, i sidlent beliggenhet danner der sig overhodet ingen fastskorpe å snakke om. Der vil leret holde sig plastisk like op til gressrøttene.

Om leret tørker inn og i hvilken grad dette skjer beror hovedsakelig på tilgangen av grunnvann nedenfra. Er denne rikelig nok vil porevannets fordunstning fra overflaten erstattes av en opadstigende kapillær vannstrøm gjennom leravsetningen. Hvis leravsetningen når ned til et grunnvannførende lag vil der i tidens løp innstille sig en likevekt mellom fordunstningen gjennom fastskorpen og grunnvanntilførselen nedenfra som gjør at lerets sammensynkning vil stanse og at fastskorpens tykkelse

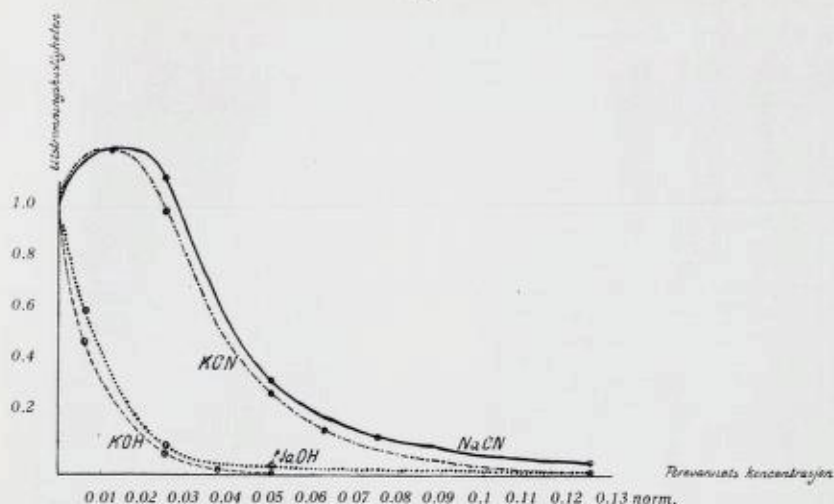


Fig. 3.

ikke vil tilta over en viss grense. Kunstige inngrep som innvirker på fordunstningens størrelse eller på grunnvanntilførselen vil kunne forrykke denne likevekt.

Avstanden til grunnvannforrådet under leravsetningen kan være så stor, at den kapillære vannstrøm opover blir hemmet i de trange porer, hvorved fordunstningen tar overhånd over vanntilførselen. Jo større mektighet lerlaget har over det grunnvannførende lag, desto tykkere blir derfor fastskorpen [Brenner 1931 s. 104]. Som følge herav har det i Finland vist sig at fastskorpen har større bæreevne midt ute på lerslettene hvor dybden til berg- eller grusbunnen er stor, enn nær deres kanter hvor dybden til grunnvannforrådet hvorfra den kapillære vannstrøm fødes er mindre. Under bygning av vei- og jernbanefyllinger fremkommer nemlig synkningene i utkanten av lerslettene nær opstikkende berggrunn eller morénehauger, mens bæreevnen lengere ute er tilstrekkelig for den samme belastning.

I et foredrag i Norsk Geologisk Forening 27 april 1922, „Noen bemerkninger om Kristianias undergrund“ [Holmsen 1923] fremholdt jeg den anskuelse, at Undergrunnsbanen innfanget vannårer som ellers bidrog til å nære den kapillære strøm mot overflaten av dyprennene, og at markens synkning for en

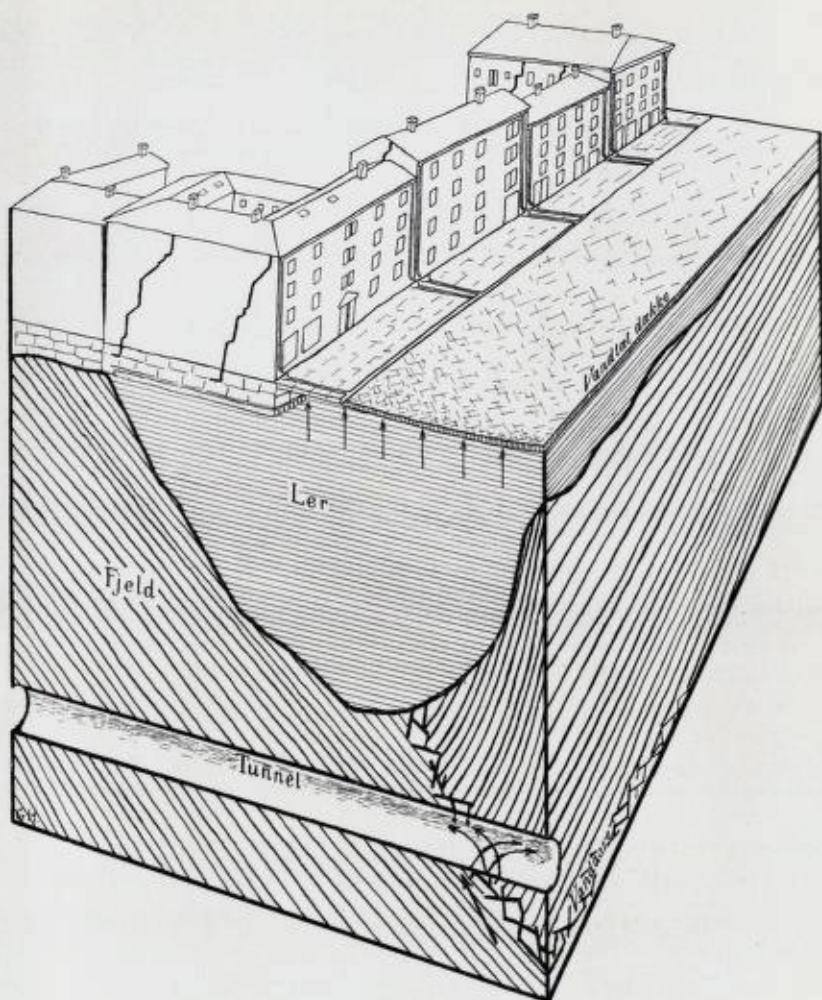


Fig. 4. Modelfigur av en „dyperende“. Pilene angir vanncirkulasjonen.

del skyldtes lerets kontraksjon ved uttørring som følge herav. Min anskuelse fremstilte jeg på ovenstående figur, som blev reproducert i dagspressen 3. mai 1922.

Fastskorpen er inngående omtalt av Gunnar Ekström og Herman Flodkvist [Ekström 1925] som skjelner mellem den øvre og nedre tørrskorpehorisont. Fastskorpen som hertillands

ofte betegnes stolpeler har i almindelighet et par meters tykkelse, men kan undtagelsesvis bli adskillig tykkere.

Den øvre tørrskorpehorisont vil i årets løp undertiden være fast og undertiden oppløst. Den gjennomsettes av tørkesprekker og frostsprekker, såkalte temporære sprekker. Tørkesprekkene oppstår når leret tørker videre enn til krympningsgrensen og forsvinner igjen når leret efter en regnperiode mettes med vann. Under oppløtningen fordeles ikke vannet jevnt. Det trenger ned gjennom sprekkene hvorved leret sveller ut og tetter dem. Men mellom sprekkene ligger der forholdsvis tørre lerklumper. Hele massen kan dog bli ugjennemtregelig for sigevannet. Først efter en ny tørkeperiode eller efter frost blir den atter gjennemtregelig.

Den nedre tørrskorpehorisont ligger under det skikt, hvor de temporære sprekker danner sig, i almindelighet på ca. 1 m's dyp. Den er i hele sin dybde gjennemsatt av sammenhengende mere eller mindre loddrette sprekker, som ikke avhenger av nedbør eller frost, men er åpne hele året rundt hvorfor de kalles permanente sprekker. I almindelighet er de fylt med vann. De er ofte ikke mere enn $\frac{1}{2}$ mm tykke, til dels igjen-grodd av lerslam ovenfra, men allikevel skarpt avgrenset så de vises. Sammen med kanaler efter metemark og planterøtter utgjør de beholdere for grunnvannet. Mens lerets fasthet i den øvre tørrskorpehorisont varierer med oppløtningen og tørken, så beholder den nedre tørrskorpehorisont samme fasthet året rundt.

Mot dypet går den nedre tørrskorpehorisont litt efter litt over i det myke plastiske ler, primærsonen, „såpeler“-horisonten. Da det uforvitrede ler under fastskorpen aldri har vært utsatt for oksydasjon ved innvirkning av luftens surstoff eller av surstoffholdig vann har leret i denne horisont en blågrå farve. Sprekkene når ikke ned til såpelerhorisonten som derfor er ugjennemslippelig for grunnvann. I sin øvre del har i almindelighet denne horisont den minste fasthet, sier Ekström, fordi den med dypet litt efter litt får fastere konsistens på grunn av den vann-utpresning som vekten av de ovenpå liggende jordlag forårsaker.

Brenner bemerker hertil [Brenner 1931 s. 119] at inn-leiringer av selv meget tynne sandlag medfører dreinsvirkninger som fremkaller tallrike undtagelser fra denne regel.

Den prosess hvorved såpeleret tørrer inn og antar den nedre tørrskorpes faste konsistens med permanente sprekker er ikke reversibel. Den svenske geotekniske kommisjon uttaler herom [Slutbetänkande, s. 13] at i ler med så høit vanninnhold at porene er vannfylt kan ikke vanninnholdet økes uansett hvilket trykk leret enn utsettes for så sant lerpartiklene beholder sin innbyrdes orientering og leret ikke omleires ved knadning (skred, opslerning etc.).

Der kjendes flere eksempler på at der ved jordboring påtreffes fastskorpe som ved utrasning i forhistorisk tid er blitt innleiret i såpeler uten at denne gamle fastskorpe med hensyn til fasthet skiller sig fra nutidens. Den geotekniske kommisjon omtaler at under jordboringer i forbindelse med utglidning av en jernbanefylling blev der i sjøen Aspen 8 m under sjøens nivå påtruffet fastskorpe fra et gammelt ras hvis alder sannsynligvis er mere enn 4000 år. Til tross for det dyp den så lenge hadde ligget på var fastskorpens karakter bibeholdt. — Selv i Oslo by forekommer gammel fastskorpe av høit fasthetstall på stort dyp under markens overflate således som omtalt på s. 13.

Et prøvestykke av stivt glacialler fra den nedre tørrskorpehorisont med fasthetstall 2000 og vanninnhold 26% av tørrvekten blev av Ekström lagt under vann i et tidsrum på 5 måneder uten at leret trakk til sig vann eller fikk sin fasthet nedsatt.

Om lerets uttørkning er drevet så langt at kapillærvannet er erstattet av luft og vanndamp, og et lerstykket av denne tørrhetsgrad nedsenkes under vann, strever det fri vann med å komme inn i porene og fortrenge luften. [Brenner 1931, s. 123]. Det skjer ofte med så stor voldsomhet at jordstykket sprenges og Brenner har funnet at deformasjonen er desto større jo mere finkornig jordarten er. Dette skjer også om det tilnærmet tørre lerstykket stilles på et underlag av gjennomfuktet sand. Mens et stykke mjøle opsuger vannet fra sanden rolig og uten nevneverdige forstyrrelser av stykkets form vil et stykke fett ler under opsugningen sprekke og svulle ut til uregelmessige kuler og klumper, idet leret ikke optar den samme vannmengde helt igjennem. Efter opsugningen er hele massen inhomogen og grynet og har utvidet sig om enn ikke til samme

volum som den hadde før tørringen. Svellingen er i dette tilfelle en mekanisk foreteelse som kan sidestilles med den svelling som finner sted når vann eltes inn i leret.

Konstateringen av en svelling av leret når vann trenger inn i dets luftfylte porer har en viss betydning i naturen. Når grunnvannivået stiger i et lerterreng følger kapillærvannets nivå med i stigningen. Idet kapillærvannet arbeider sig opover mot overflaten og luften fortreges, kan en svelling av tørrskorpen fremkomme, og dette kan tenkes å bevirke at marken løfter sig.

Beskow omtaler [Beskow 1929, s. 53] at for et vel sortert grovt ler han har gjort forsøk med viste krympningen ved lufttørring sig fullkommen reversibel, d. v. s. at krympningen ikke er større enn svellingen når leret tilbakeføres til det vanntrykk det hadde før tørringen.

Kontraksjon under avgivning av vann.

Foruten ved fordunstning og rystning kan blåleret avgi vann når det settes under øket trykk. Dette fremgår av det meget omtalte forsøk med vannutpresning som den svenske geotekniske kommisjon har beskrevet [Slutbetänkande, s. 6]. Den mengde vann leret inneholder når det ligger i sitt naturlige leie i leravsetningen bestemmes ikke alene av dets finhetsgrad og kornenes art og orientering, men avhenger også av det trykk som hviler på det. Når ler med høit vanninnhold utsettes for større trykk enn det, det er tilpasset til, vil vann presses ut av det, om vannet har avløpsmulighet. Samtidig kontraheres leret og egenvekten tiltar.

Forutsetningen for at vannet kan presses ut av leret er at det kan slippe ut i en gjennomtrengelig jordart. [Simon Johansson 1924, s. 15]. I et meget bløtt ler hvor de enkelte korn ligger relativt langt fra hverandre kan vannet bevege sig mellom kornene til det kommer ut i et vannførende lag, men eftersom leret taper vann avtar avstanden mellom kornene og derved minsker gjennomtrengeligheten. Litt efter litt innstiller der sig likevekt mellom det nye trykk og det nye vanninnhold.

Denne anskuelse deles av Brenner [Brenner 1931, s. 80 og 91 o. f.] som fremhever at sedimentets komprimering vesentlig



beror på de muligheter vannet har for å slippe bort. De i leravsetningene ofte forekommende sandlag eller „andra liknande lokala oregelbundenheter“ letter vannets avgang, og det samme gjør de ved bunnen av leravsetningen hyppig forekommende sandlag. Ethvert kunstig inngrep som letter porevannets strømming ut av lerlagene beforder også grunnens komprimering. Så vel senkning av grunnvannspeilet [i. c. s. 83 og 91] som utgravninger, uansett om disse blir stående åpne eller om de fylles med mere vanngjennemtregelig materiale, bevirker forandring i leravsetningens likevekt med hensyn til vanninnhold, og har sammensynkning av markens overflate til følge. Lidén nevner et eksempel på at pumpning av vann fra en brønn i lerterreng fremkalte en rett betydelig synkning av den omliggende bebyggede grunn. At det måtte være pumpningen som medførte synkningen fremgikk av at denne avtok meget efterat pumpningen innstiltes [Lidén 1934]. I et foredrag i Norsk Geologisk Forening 9. mars 1922 nevnte Oscar Large to eksempler fra Oslo på at pumpning av grunnvann forårsaket synkning av de omliggende hus, nemlig under fundamenteringsarbeidene for Elektrisitetsverkets bygning i Sommerrogaten og Enkekassens gård i Keyzers gate [Large 1924, s. 76 o. f.]

For å anta den tettest mulige kornstilling, sier Brenner, fordrer de finkornige lerer langt større krefter enn de grovkornige. Årsaken hertil ligger dels i den større motstand mot vannets bevegelse som de finkornige lerers trange kanaler og porer yder, dels deri, at den gjennom adhesjonskreftene bundne vannmengde er desto større jo mere der er av finpartikler i leret, og at den totale gjennomsnittviskositet av dette vann tiltar med antallet av finpartikler.

Friksjonen mot vannets bevegelse har også betydning for den hastighet hvormed lergrunnen krymper. Jo fetere leret er og jo lengere vei vannet har å gå gjennom porene før den fri avrinning kan finne sted, desto lengere tid tar det før synkningen er ferdig. Den tid som medgår til at to lerlag av samme beskaffenhet skal opnå den samme konsolidering avhenger ifølge Terzaghi av kvadratet av lagenes tykkelse. Den samme synkning som et 1 m tykt lerlag undergår i løpet av 1 år, antar det 2 m tykke lag først efter 4 år, og i det 4 m tykke lag

er ikke den tilsvarende krympning tilendebragt før i løpet av 16 år o. s. v. Han forutsetter, at vannets bevegelse foregår loddrett på lagene.

Den sammensynkning en leravsetning vil få med en øket belastning kan beregnes efter at en nøiaktig grunnundersøkelse ledsaget av sammenpressningsforsøk av de optatte prøver er utført [Lidén 1934].

Når lerets partikler under vannavpressning har nærmet sig til hverandre vil så vel mineralkornenes som vannpartiklenes leier være blitt mere stabile. Det er da usannsynlig, sier Brenner, at et sådant vannavpresset ler har tilbøielighet til atter å opsuge vann. For at dette skal kunne finne sted må der være sådanne molekylære krefter til stede som evner å fjerne mineralkornene fra hverandre, og det er der intet som tyder på. Der kjennes ingen spredningstilbøielighet hos naturlig sedimenterte mineral-korn i likhet med den som finnes hos gassmolekylene.

Hvis vannutpressningen av ler med vannfylte porer er en irreversibel prosess, og ingen iakttagelser tyder på at dette ikke er tilfelle, så kan ikke blåler om trykket på det minskes opta vann, svulle ut og vende tilbake til det volum det hadde før vannavpressningen fant sted. Heller ikke kan det under stigende grunnvannstand, minsket belastning eller øket nedbør atter opta vann og svulle. Forandringen av et lersediments konsistens går derfor alltid i retning av mindre vanninnhold og større fasthet. [Brenner l. c., s. 122]. Om således vanninnholdet i en leravsetning avtar gjennom en tørr periode, så kan dette aldri kompenseres av vannoptakning i en fuktig periode.

Vannoptakning finner ikke sted uten at lerets naturlige struktur forandres. Heller ikke tørrskorpeler med vannfylte porer undergår, som foran omtalt, noen konsistensforandring selv om det ligger i vann aldri så lenge. Dette resultat må ikke forveksles med at tørret ler sveller og mykner når det suger til sig vann, hvorunder de luftfylte porer erstattes av vannfylte og der oppstår spenninger og sprekkedannelser.

På hvilken måte enn vanntapet skjer, likegyldig om det forårsakes ved fordunstning, rystning eller øket trykk vil leret krympe, men volumforminskelsen er ikke fullt så stor som volumet av det fjernede vann. Eftersom vanninnholdet avtar vil

kontraksjonen bli forholdsvis mindre og mindre for til slutt å ophøre ved det vanninnhold hvorunder mineralkornene bringes så nær hinannen at de støtter sig direkte til hverandre. Dette inntreffer i vårt almindelige blåler ved et vanninnhold på ca. 30 vol.proc.

Vegard har undersøkt den volumforminskelse som fremkommer i forhold til summen av konstituentene når tørt ler eltes med vann [Vegard, Fysikalske spørsmål 1923, s. 12 o. f.]. Han bestemte eksperimentelt hvor meget lerblandingen tiltok i volum for hver 1% vann som blev knadd inn i den innen grensene 40 og 60 vol.proc. vann. Samtidig beregnet han hvor stor volumforøkelsen vilde bli under forutsetning av at lerblandingen vokste nøiaktig så meget som volumet av det optatte vann, d. v. s. at volumet økes additivt. Han fant

ved vol.proc. vann	f (eksper.)	f (additiv)
40	1.64	1.67
45	1.78	1.82
50	1.95	2.00
55	2.15	2.22
60	2.39	2.50

På grunnlag av Bjørlykkes samhörige bestemmelser over vekt.proc. og vol.proc. vann i forskjellige slags ler fant Vegard lavere gjennomsnittsverdier for krympningen. Til sammenligning hitsettes også de verdier som kan finnes efter Vegards formel av et stort antall egenvektbestemmelser jeg selv har utført

ved vol.proc. vann	f (Bjørlykke)	f (Holmsen)	f (additiv)
30	0.53		1.43
35	1.11		1.54
40	1.47	1.48	1.67
45	1.63	1.60	1.82
50	1.80	1.74	2.00
55	1.97	1.91	2.22
60	2.19	2.11	2.50

Det fremgår av f Bjørlykke og f Holmsen at avvikelsen fra additiviteten er større i naturlig sedimentert ler enn i de av Vegard fremstilte eltede lerblandinger. Avvikelsen er meget stor for ler med vanninnhold under 35 vol.proc.

For en og samme lille vannavgivning krymper altså ifølge den tallrekke som er betegnet *f* (Bjørlykke) et ler med 35 vol.proc. vann omtrent halvparten så meget som et ler med 60 vol.proc. vann, eller nøiaktig i forholdet 1.11 til 2.19.

For at en og samme kontraksjon skal fremkomme i ler av forskjellig vanninnhold må, som rimelig er, det tørreste ler avgir mest vann. Utgjør således synkningen av en leravsetning med ensartet vanninnhold $\frac{1}{100}$ av leravsetningens mektighet så avgir et ler:

med 40 vol.proc. vann ifølge *f* Holmsen 0.68 vol.proc. av sitt vann
 * 50 * * * 0.57 * *
 * 60 * * * 0.47 * *

Hvis synkningen hadde foregått sådan at lerets volum hadde avtatt like meget som volumet av det avgitte vann, vilde for hver centimeters synkning pr. meter av leravsetningen denne ha avgitt:

med 40 vol.proc. vann 0.60 vol.proc.
 * 50 * * 0.50 *
 og * 60 * * 0.40 *

Eks.: For Welhavens gt. 15 angir Vogt [Vogt 1916, s. 81] en synkning på 18 cm fra april 1913 til februar 1916. Vanninnholder er fra 5 m's dyp temmelig ensartet og ligger mellom verdiene 24.6 og 29.5 vekt.proc., i gjennomsnitt 26.0 vekt.proc. svarende til 50 vol.proc. Antas synkningen å skyldes krympning ved vannavgivelse udelukkende fra det 6 m tykke bunnlag som ligger fra 5 til 11 m's dyp, så må dettes vannavgivning beløpe sig til

$$\frac{18}{600} \cdot 0.57 = 1.71 \text{ vol. proc.}$$

Volumvekt.

Lerets volumvekt bestemmer jeg ved å fylle en liten stålhylse av kjent volum med ler og veie den. Stålhylsen er cylindrisk, ca. 2 cm høi og med innvendig diameter ca. 2 cm. Dens ene rand er tilskjerpet så den med letthet kan drives inn i lerprøven. Når den føres støtt fyller den sig godt med leret. Endeflatene avskjæres med tynn stålstreng. Vekten av hylsen fylt med naturlig skiktet ler og med samme fuktige ler i omrørt tilstand viser ingen forskjell.

Når lerets porer er helt vannfylt kan egenvekten av en lerprøve også bestemmes ved hydrostatisk veining. Vegard har imidlertid til denne fremgangsmåte innvendt, at det synes ikke å være mulig å kunne nedsenke en lerklump i vann og derved bestemme opdriften uten at man risikerer at lermassen delvis vaskes av [Vegard, Fysikalske spørsmål 1923, s. 18].

Det naturlige lers volumvekt varierer med vanninnholdet. Jo høiere dette er desto lavere er volumvekten. Lerets mineral-sammensetning kan formodentlig også ha noe å si, iallfall har gytjebestanddelene en betraktelig innflytelse. Deres indirekte betydning for egenvekten er meget stor ved at de øker vanninnholdet. — For ler med vanninnhold over 40 vol.proc. avtar egenvekten i gytjefritt ler jevnt eftersom vanninnholdet tiltar. Vegard har offentliggjort 2 kurver [Vegard, Fysikalske spørsmål 1923, s. 13 og 15] som viser dette. Den ene kurve er funnet ved å bestemme egenvekt og vanninnhold i ler, som først har vært tørret og derefter inneltet en passende, målt vannmengde. Dette kunstige fremstilte ler har med samme vanninnhold lavere egenvekt enn det naturlig sedimenterte. På grunnlag av K. O. Bjørlykkes mange korresponderende bestemmelser av vanninnholdet i en rekke lerprøver fra Oslo så vel i vektprocent som i volumprocent har Vegard regnet ut lerprøvenes egenvekter og trukket en middelkurve gjennom de således fremkomne verdier som er avsatt grafisk på rutepapir. Mens det naturfuktige ler med vanninnhold 40 vol.proc. har egenvekten 2.10 har det ler som først blev tørret og siden utgnidd med vann til samme vanninnhold bare egenvekten 1.96. Ved et vanninnhold på 60 vol.proc. har det naturfuktige ler egenvekten 1.78 mens den kunstige lerblanding har egenvekten 1.64. — Mens Vegards ler med det kunstige vannhold 50 vol.proc. viser egenvekten 1.80, vil det naturfuktige ler med samme egenvekt efter Bjørlykkes bestemmelser måtte ha så høit vanninnhold som 59 vol.proc.

Jeg har på samme måte som Vegard har gjort med Bjørlykkes verdier trukket en middelkurve for de samhörige egenvektbestemmelser og vannbestemmelser jeg selv i tidens løp har utført i en del lerprøver fra Oslo. Efter min kurve har ler med 40 vol.proc. vann gjennemsnittlig egenvekten 2.04 og ler

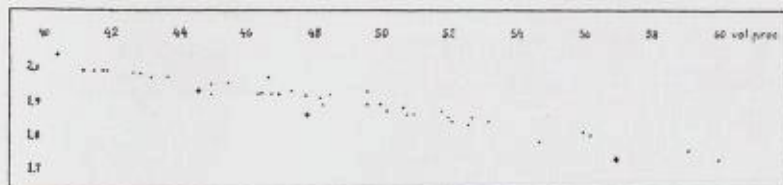


Fig. 5. Forbindelse mellom sp. vekt og vanninnhold av ler + sandholdig ler.

med 60 vol.proc. vann 1.75. Mine verdier ligger således mellom Bjørlykkes og Vegards, men nærmere de førstnevnte. Likeså faller min kurve for egenvekten innen disse grenser, 40 og 60 vol.proc. vann, litt langsommere enn både Bjørlykkes og Vegards. Dette skyldes antagelig, at jeg under egenvektbestemmelsene har fått med også gytjeholdige lerprøver. Når leret inneholder gytjebestanddeler er nemlig egenvekten lavere enn den verdi vanninnholdet alene vilde medføre.

For ler med vanninnhold nær omslagspunktet, ca. 30 vol. proc., har egenvekten et maksimum. Mineralkornene antas da å ligge i sin tettest mulige stilling i forhold til hinannen. Ved ennu lavere vanninnhold begynner luft å erstatte porevannet. For lerprøver med vanninnhold mellom 20 og 40 vol.proc. er derfor regelen, at først stiger egenvekten til en maksimumsverdi, efter Bjørlykkes kurve til egenvekten 2.18, og så avtar den igjen.

Lerets fasthet sett i sammenheng med dets vann- og gytjeinnhold.

For å bestemme lerets fasthet i forskjellig dyp er der i de senere år her til lands i stor utstrekning tatt op og undersøkt prøver efter den metode som er angitt av Svenska geotekniske Kommissionen. På grunnlag av disse undersøkelser kan markens bæreevne bedømmes.

Prøvetakningen suppleres i almindelighet med sonderingsboringer for å klarlegge fjellgrunnens beliggenhet. Ved en omsorgsfull prøvetakning og en samvittighetsfull laboratorieundersøkelse av prøvene innhentes materiale til vurdering av grunnens art, og neppe noen forsvarlig ledet dypprøving i ler

foretas nu i byene før en grunnundersøkelse med prøvetakning er utført, og heller ingen fundamentering godkjennes av de kommunale bygningsinspektører før grunnens fasthet og bæreevne er bragt på det rene.

Tørrskorpens tykkelse og fasthet er sterkt variabel. Den kan, selv i Oslo by, ha fasthetstall over 2000 helt til 5 m's dyp (Bentsebrogaten) mens den andre steder mangler så det plastiske ler går helt til overflaten. Langs forsenkninger og i bekkedaler er det siste ofte tilfelle. Torvlag og sandlag i overflaten hindrer dannelsen av fastskorpe.

Av de prøveserier jeg har kjennskap til fremgår det ikke av fasthetstallene, at fastheten i almindelighet tiltar med dybden. Nedenfor tørrskorpelaget varierer fasthetstallene i de uomrørte lerprøver mellom verdiene 200 og 40, sjelden under 40 og kun undtagelsesvis under 30. Et fasthetstall på 40 svarer ifølge Skaven Haugs tabell til en skjærfasthet på omkring 0.1 kg/cm^2 , og fasthetstallet 200 til litt over 0.4 kg/cm^2 .

I en leravsetning uten lagveksel bygget av ensartede mineral-korn vilde lerets fasthet tilta mot dypet i samme forhold som vannmengden avtok. Noe sådant kan ikke merkes i våre leravsetninger som aldri er helt homogene. Vi finner at ler fra forskjellig dybde selv om det har samme fasthet kan ha høist forskjellig vanninnhold eftersom leret er relativt grovkornig eller finkornig. Gytjeholdig ler har i forhold til vanninnholdet større fasthet enn gytjefritt, og finkornig ler har større fasthet enn grovkornig med samme vanninnhold. Mens sandholdig ler fra Dælenengen i Oslo med fasthetstall 60 fører 40 vol.proc. vann har et fetere ler fra Middelthuns gate av samme fasthet nesten 54 vol.proc. vann. Et sterkt gytjeholdig ler fra Sandefjord har imidlertid et så høit fasthetstall som 190 enda det inneholder 71.1 vol.proc. vann.

Ved omrøring nedsettes fastheten i magert ler av samme vanninnhold som i fett forholdsvis sterkere (se kvikkler, s. 32.) Er leret meget gytjeholdig nedsettes fastheten ved omrøring relativt lite og omtrent i samme grad enten vanninnholdet er stort eller lite.

Erfaring viser, at gytjeholdig ler med samme fasthet som gytjefritt har betydelig ringere bæreevne. Dette skyldes at

vannet i gytjebestanddelene ikke er så fast bundet som i rent ler, så en utpresning av vann finner lettere sted fra det gytjeholdige ler enn fra det gytjefri.

Den gytje som forekommer i leravsetningene består av organiske rester som sedimenteres sammen med slammet. Det er planterester som er ført med vind og vassdragene ut i sjøen og som således er flyttet fra plantenes voksested på land eller i ferskvann. De er som regel så finfordelt og omvandlet at ingen plantestruktur kan sees med det blotte øie. Ofte er planterestene ubestemmelige også med mikroskop med undtagelse av sporer og blomsterstøv som er mest motstandsdyktig. Undertiden finnes der i gytjen også lag med blader og trerester, men det er sjelden.

Når leret inneholder organiske rester får det en grønn farve som er desto sterkere jo rikeligere tilblendingen er. I frisk, fuktig tilstand stinker det av svovelvannstoff, og svovelvannstoffet kan fra det gytjeholdige ler trenge inn i sandlag, hvorved det kommer over i grunnvannet. Fra Sarpsborgkanten kjennes lerlag som foruten svovelvannstoff også avgir betydelige mengder metan. Denne gass stammer sannsynligvis også fra gytjeholdige lerlag på relativt stort dyp.

Gytjeholdig ler avsettes fortrinsvis i stille viker i nærheten av elveosene, hvor gytjetilblendingen kan være rett betydelig, og i avsperrede fjordarmer, hvor der er liten eller ingen tidevannstrøm danner der sig råttent vann, hvori plantedetritus synker ned på bunnen uten å oksyderes [Münster Strøm 1936].

Gytjemengden (humusinnholdet) i ler bestemmes ved å måle den kullsyremengde som dannes ved å oksydere innholdet av organisk stoff i leret [Ekström 1927, s. 130 o. f.]. Forbruket av kaliumpermanganat pr. gram fuktig ler er også et brukbart mål for lerets gytjeinnhold når de organiske rester er finfordelt. Leret slemmes ut og kokes med svovelsyre og overskudd av permanganat. Overskuddet av kaliumpermanganat titreres tilbake med oxalsyre.

Det er ikke usedvanlig at leret inneholder 1 à 2% organiske bestanddeler. Gytjeinnholdet kan dog bli meget større. De foran nevnte gytjeholdige ler fra Sandefjord inneholder 8% organisk tilblending til mineralpartiklene, og den nedenfor omtalte prøve-

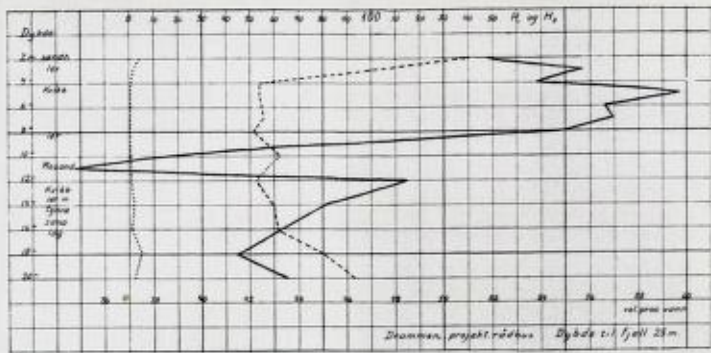


Fig. 6.
Den prikkede linje betegner fastheten for omrørt ler, den stiplede for uomrørt og den heltrukne linje gir vanninnholdet.

serie fra Platous gate 19 i Oslo har iallfall til 18 m's dyp ca. 4⁰/₀ organisk tilblending.

Når gytjeholdig ler utsettes for luftens innvirkning oksyderes de organiske bestanddeler og massen synker sterkt sammen. En sterk sammenpresning får også gytjeholdig ler når det belastes. Som eksempel herpå nevner Skaven Haug [Skaven Haug 1937] grunnen under Arendals gamle stasjonsbygning. Fordi grunnens gytjeinnhold var større under fasadeveggen enn under husets bakvegg sank dette ujevnt og så meget at bygningen til slutt måtte rives.

På grunn av den endring i lerets bæreevne som gytjeblandingen medfører bør enhver angivelse av lerets fasthet være ledsaget av en bestemmelse av dets innhold av organisk tilblending.

For å fremstille hvordan fasthet og vanninnhold varierer med dybden i en prøveserie avsettes de funne verdier grafisk som vist på figurene 6—11.

Fig. 6 er en prøveserie fra Drammen, øverst med 1 m's avstand mellom prøvene, nedentil med 2 m's avstand. Vanninnholdet til og med 8 m's dyp er usedvanlig høit, fastheten liten. Det omrørte ler viser fra 4 til 10 m's dyp så liten fasthet

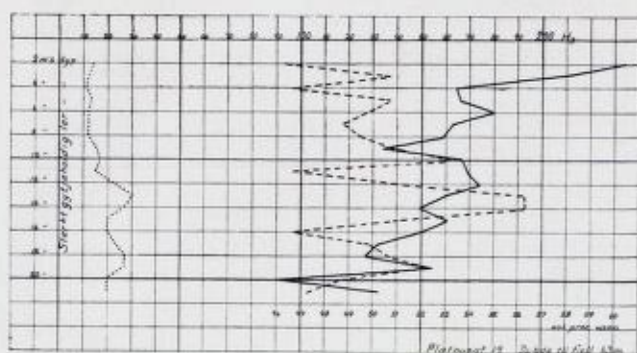


Fig. 7.
Tegnforklaring: Se fig. 6.

i forhold til det uomrørte, at det betegnes som kvikkler. At dette ikke utelukkende kan skyldes vanninnholdet fremgår av verdiene fra 9 og 10 m's dyp. På 11 m's dyp ligger et lag sand. Den mindre mengde av de fineste kornstørrelser i dette gjør, at dets vanninnhold bare er 34.7%. Den relative fasthet av dette finsandlag er ikke målt. Fra 12 m's dypet tiltar fastheten. — Det fremgår av denne sammenstilling at noen lovmessig forbindelse mellom fasthet og vanninnhold ikke er til stede, og at vanninnholdet alene ikke er noen bestemmende faktor for lerets bæreevne.

Fig. 7 fremstiller en prøveserie gjennom gyttjeholdig ler. Avsetningens vanninnhold avtar ovenfra og nedover, men er ikke særlig stort i betraktning av gytjemengden, som dreier sig om et par procent humus. Fastheten er betydelig, særlig på dypet 13 og 14 m. Den viser ingen tendens til å tilta på større dyp uaktet vanninnholdet avtar. En avsetning som denne med et betraktelig gytjeinnhold til 18 m's dyp vil sige meget sammen når den belastes til tross for de relativt høie fasthetstall.

Fig. 8 og 9 hitsettes for å illustrere det bemerkelsesverdige forhold, at fastheten kan ha sin største verdi nettop i de gyttjeholdige lag med det høieste vanninnhold. Til fasthetstallet 210 på fig. 8 svarer vanninnholdet 77.4 vol.proc. og til fasthetstallet 190 71.1 vol.proc. vann. Gytjeinnholdet i disse to lag

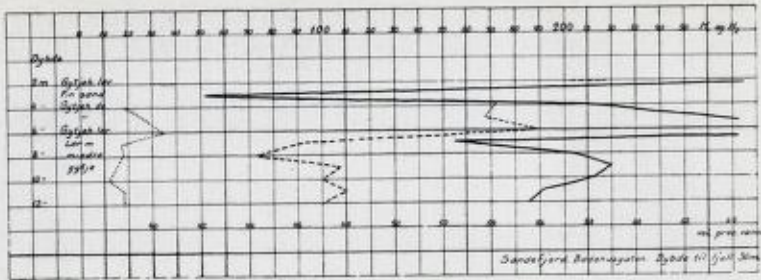


Fig. 8.
Tegnforklaring: Se fig. 6.

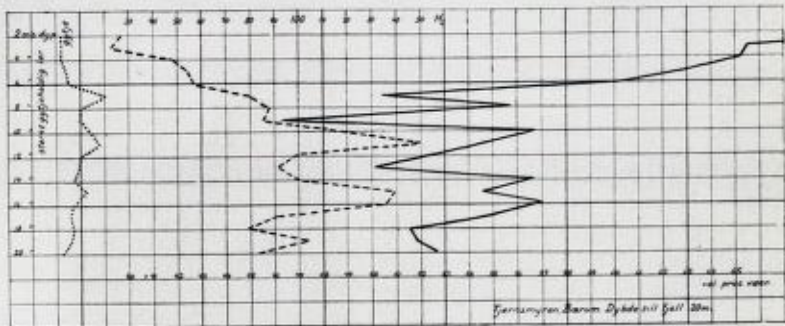


Fig. 9
Tegnforklaring: Se fig. 6.

er så stort at det går op i 6 à 7% humus. Kurven for fasthetstallene i det omrørte ler har maksima i de samme vannrike lag. På fig. 9 følges kurvene under 8 m dypet således med 2 samvarende maksima og minima for vanninnhold og fasthet.

Fig. 10 er en prøveserie av en gytjefri avsetning med liten fasthet under tørrskorpen. Det er påfallende at fastheten er den samme i 9 m's dyp, hvor vanninnholdet er nær 54 vol.proc. som i 11 m's dyp hvor det er 47 vol.proc. Dette skyldes, at den nederste av de to sammenlignede prøver er mere sandholdig enn den øverste og nærmer sig kvikklret. I kvikklret-

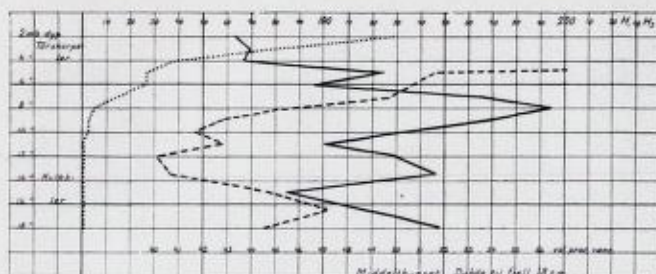


Fig. 10.
Tegnforklaring: Se fig. 6.

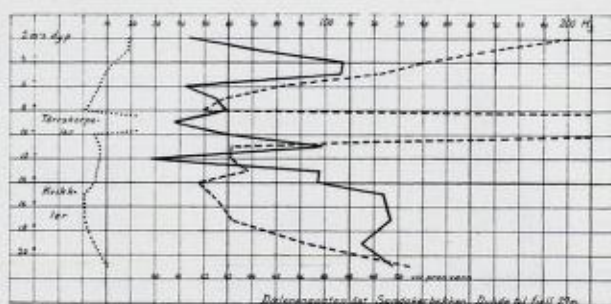


Fig. 11.
Tegnforklaring: Se fig. 6.

avsetningen fra 15 til 16 m's dypet tiltar fastheten fra $H_8=76$ til $H_8=102$ samtidig som vanninnholdet øker, fra 45.5 til 49 vol.proc. Dette er et forhold som ikke sjelden opptrer i kvikklær.

Fig. 11 illustrerer en prøveserie hvori er påtruffet tørrskorpeler liggende i blåleret på 9 m's dyp. Den gamle fastskorpe har sannsynligvis vært opbrutt og flyttet av ras.

Noen regel om hvordan leravsetningens fasthet varierer under innflytelse av det vanninnhold leret har og av den dybde hvorunder leret ligger kan således ikke finnes. Så meget mere påkrevet er det å foreta undersøkelser i hvert enkelt tilfelle

hvor det er av betydning å lære lerets egenskaper i forskjellig dyp å kjenne.

Lerets finhetstall (se side 32) som fremgår av verdien for lerets fasthet i omrørt tilstand og av vanninnholdet (procent av tørrsubstansen) gir verdifullt bidrag til forståelsen av lerets bæreevne. Et fett ler, og i enda høiere grad et gytjeholdig ler, har høit finhetstall. Et ler med høit finhetstall kan komprimeres mere enn et ler med lavt. For å forutse den slags synkninger i en belastet grunn som skriver sig fra lerets vannavgivning gir finhetstallene veiledning på samme måte som fasthetstallene kan brukes til beregning av hvor stor belastning grunnen tåler før en bevegelse vil finne sted i selve leret som helhet.

Vannledningsevne.

I det homogene blåler er vannet bundet av krefter som hindrer dets bevegelse. Porene mellem mineralkornene er fulle av vann, men hårrørstrykket og affiniteten mellem kornene og vannet gjør at det siste står stille. Blåleret er derfor en i geologisk henseende ugjennemtregelig jordart, og dets porevann samler sig ikke til noe grunnvannspeil.

Våre leravsetninger er imidlertid ikke oppbygget av homogent ler [Holmsen 1930, s. 11 o. f.]. De har så vel en skivning i det små med skiftevis stripning av finere og grovere slamkorn som en lagveksel i det store av mere eller mindre sandholdige lerlag og rene sandlag. I de grovere mineralkornlag kan vannet merkbart bevege sig under tyngdekraftens påvirkning.

Oscar Large har under prosessen om Undergrunnsbanens skadevirkning i Oslo fremlagt kurver [Utdrag etc., s. 693] som skal vise forholdet mellem gjennomstrømningshastigheten loddrett på og langsefter lagdelingen i skiveler. Mens gjennomstrømningen loddrett på lagene er forholdsvis langsom, foregår den lett og raskt langsmed lagene, selv for små overtrykk. Jeg har ikke hatt anledning til å sette mig inn i den fremgangsmåte Large har benyttet for å måle gjennomstrømningen.

Vannledningsevnen i Osloler er målt av Bjerke som fant, at med 10 cm's vanntrykk var gjennomstrømningshastigheten 0.33 mm pr. døgn [Utdrag etc., s. 595].

Også Schetelig har gjort forsøk med gjennomstrømning av vann gjennom ler, dels med fett, brunlig postglaciale ler fra Ringvoll teglverk i Bærum og dels med magert glaciale ler fra Helle teglverk ved Dalsfjorden i Sunnfjord [Utdrag etc., s. 594]. Han anvendte en lersøile (om den bestod av omrørt ler eller av naturlig lagret ler står ikke i beskrivelsen) på 10 cm's høide hvorigjennem vannet kunde strømme, og lot vannlag av 10—20 cm's tykkelse stå over leret. Med disse små trykk lå strømnings-hastigheten mellem 0.1 og 0.5 mm pr. døgn, litt forskjellig for de to slags ler. Med større trykk tiltok mengden av det gjennomstrømmede vann betydelig. Forsøkene blev gjort med ler nær vannmetningsgrensen. Synker vanninholdet, f. eks. ved at leret utsettes for sterkt trykk, avtar porøsiteten og dermed vanngjennemtregeligheten. Denne er ved lerets omslagspunkt nesten null.

Bjørlykke angir efter Bjerkes og Scheteligs målinger vannets bevegelseshastighet i ler til 0.21 à 0.50 mm pr. døgn eller 7.6 à 18 cm om året [Bjørlykke III, 1928, s. 75].

Da Bjerkes og Scheteligs målinger sannsynligvis er utført i omknadd ler kan derav ingen sikre slutninger trekkes om vannets gjennomstrømning gjennom naturlig lagret.

Måling av grunnvannets nivå.

Ekström og Flodkvist definerer grunnvann som fritt vann, ubundet av adhesjon og kapillaritet, i mellemrummene mellem jordpartiklene eller i sprekker og kanaler i jorden [Ekström och Flodkvist 1925, s. 14]. Det kan enten være stillestående eller i svak bevegelse.

I en leravsetning kan der forekomme grunnvann i forskjellige nivåer se fig. 12.

Det grunnvann som fins i sandlag eller i sekundærsonen over blålumsen går oventil over i en sone med kapillært bundet vann som munner i de luftfylte porer og kanaler. Det kalles grunnvann med fri overflate eller kort og godt fritt grunnvann, i motsetning til det innelukkede grunnvann som fyller rummene mellem mineralkornene nede i lerets sandlag, og som overleires av ugjennemtregelig ler.

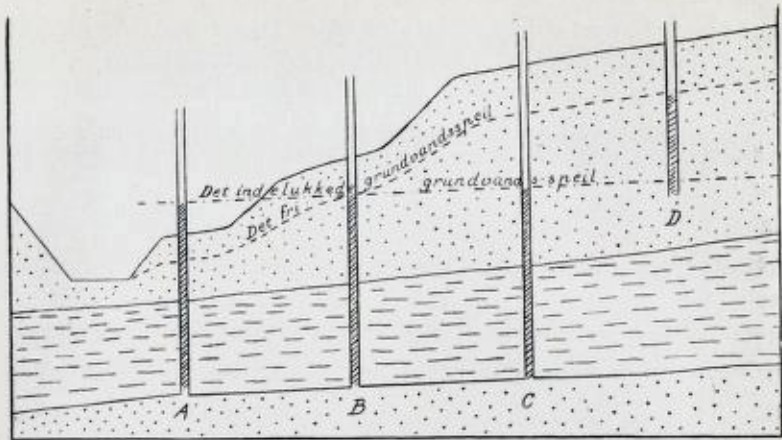


Fig. 12. A, B og C er rørbrønner hvori vannet stiger op fra et vannførende sandlag som er dekket av ler. D er en rørbrønn i et vannførende sandlag over lerlaget.

Vannets kapillære stighøide avhenger av hvor små jordartens porer er og av vannets temperatur. Jo kaldere vannet er desto større er stighøiden [Brenner 1931, s. 85].

I tørkeperioder kan grunnvannet forsvinne fra sekundærsonen. Dette vann kalles temporært grunnvann [Simon Johansson 1915, s. 83].

I ensartet blålums er porevannet fysisk bundet, og der fins ikke fritt grunnvann. En brønn som graves i blålums vil ikke gi vann, men den kan dog få en skvett vann til å begynne med hvis leret er nær sin vannmetningsgrense derved, at det avgir noe av sitt porevann fra bunn og vegger når trykket minskes ved utgravningen. Det samme kan finne sted i rørbrønner.

Grunnvannstanden er det nivå, hvortil vannspeilet innstiller sig i brønner, gravede eller borede. For å iaktta grunnvannstanden brukes ofte å slå ned eller å spyle ned et i muffene tettet vannledningsrør som nedentil er forsynt med et filter. Det må da først prøves om vannet i røret stammer fra et grunnvannførende lag eller fra blålumsens porevann. Dette gjøres ved gjentagne ganger å lense røret og iaktta om vannet efter lensningen innstiller sig på samme nivå. Kun i dette til-

felle kommuniserer vannet inni røret med et grunnvannførende lag, og røret er brukbart til måling av grunnvannspeilets variasjoner.

I rettssaken mellom gårdeierne i Oslo og Holmenkollbanen blev der under navn av grunnvannsmålinger kritikkkløst fremlagt observasjonsmateriale fra vannstandsør nedsatt i blålumsen som ingen kommunikasjon hadde med vannførende lag. Der blev i det hele tatt begått tallrike feil ved nedsettingen av de såkalte grunnvannsrør. Uten at man hadde forvisset sig om at røret stod i vannførende lag blev der i mange av dem slått vann, og synkningen av det vilkårlige vannspeil i røret blev omhyggelig iaktatt i årevis. På sine steder hadde leret ved rørets nedre ende evne til å opta vannet, og synkningen av vannspeilet søktes forklart ved tunnellens drenerende virkning.

Det fysisk bundne vann som frigjøres av blålumsen under rørets neddriving inntar et nivå i røret som avhenger av rørets dybde. Jo dypere røret når desto lavere ligger vannstanden i det. Utenfor Uranienborgveien 5 var nedsatt fire rør tett ved hverandre til forskjellig dyp i leravsetningen, og et femte rør litt fjernet fra de fire helt ned til berggrunnen. Der samlet sig vann i dem alle, men i forskjellig høide eftersom rørene var dype til.

Som det fremgår av fig. 13 viser kurvene for rørene 5 og 6 som står henholdsvis 9 og 6 m over berggrunnen ikke tegn til grunnvann. Rørene 7 og 8 som når dypere, til 4 og 1 m over berggrunnen, synes å vise en forsinket vannstandsvariasjon i forhold til røret H, som når ned til et gruslag på bunnen.

Andre av de under rettssaken såkalte grunnvannskurver viser, at fluktuationene er fremkommet på grunn av utette rør. Gjennem en utett muffe eller en annen lekkasje har overflatevann eller temporært vann fra tørrskorpen gått ut og inn i røret. J. H. L. Vogt har først gjort opmerksom på hvor verdiløse til måling av grunnvannstanden vannstandsør er når de står „et forholdsvis lite stykke ned i dyprennene“ som han uttrykker det [Vogt, Husbeskadigelsene II, s. 122 o. f.].

Det rør som skal tjene til å måle det innelukkede grunnvanns stand må være tett som et vannledningsør. Derfor må

der legges stry i gjengene før muffene skrues til eller skjøtene må tettes på annen måte. Videre må man forvise sig om at der ikke siger overflatevann utvendig langs røret ned til grunnvannsbæreren. Hvis gjennomslippeligheten av denne er liten vil der da fremkomme falske fluktuasjoner i rørets vannspeil.

Det innelukkede grunnvanns nivå kan i terrengsenkninger stige helt til markens overflate, ja endog flere meter over denne (artesiske brønner). Grunnvannstanden varierer i årets løp, hvilket bl. a. er konstatert ved vannføringsmålinger i årene 1927 til 1929 av tre artesiske brønner i Drammen og en på Romerike, mens to artesiske brønner i Sarpsborg i den samme tid gav jevn vannføring [Holmsen 1930, s. 35]. Vannføringen av brønnene i Drammen har et maksimum i november—desember og et annet maksimum i april, tydeligvis fremkalt av nedbør-overskudd og teleløsning. Under vintermånedene når der er tele i jorden avtar vannføringen.

De grunnvannskurver som blev fremlagt fra de forskjellige observasjonssteder i Oslo under prosessen om Undergrunnsbanens skadevirkninger tilsteder ingen slutninger om hvordan vannspeilet i det innelukkede grunnvann regelmessig forandrer sig i årets løp. Maksimum av vannstand synes å kunne inntreffe når som helst i den frostfri tid av året, sannsynligvis influert av regnoverskudd. Lav vannstand inntreffer ofte i januar—februar, men ikke i alle år. Amplituden er i et par rør mindre enn 1.0 m.

Et grunnvannsrør på Schous plass i Oslo som kommuniserer med et vannførende lag på 16 m's dyp blev observert under mitt tilsyn fra oktober 1931 til desember 1934. I årene 1932 og 1933 inntreffer den høieste vannstand omkring 1. juni, men i 1934 uteblev fullstendig denne stigning midtsommers. I alle år er der lav vannstand omkring 1. mars. Amplituden for året dreier sig om 1.0 m.

I det samme tidsrum, oktober 1931 til desember 1934 blev også det fri grunnvann som står i sandlaget over leret på Schous plass, i Herlebsgate og i Trondhjemsveien i Oslo iaktatt. Dets vannspeil ligger 2 å 3 m under markens overflate. I alle år var der et utpreget maksimum i grunnvannstanden i oktober—desember. Minimum inntreffer i de samme år i februar—april.

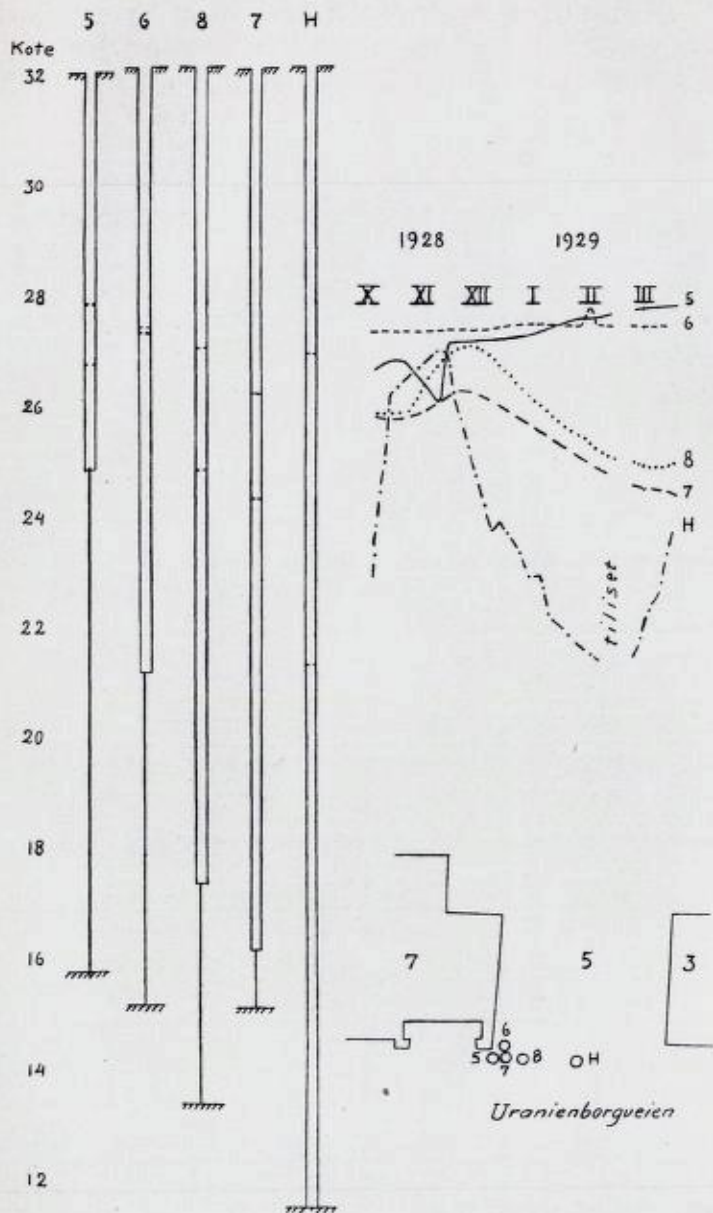


Fig. 13. Vannstand og Vannstandskurver i rør, Uranienborgveien 5 og 7. Haukelids målinger vinteren 1928—1929.

For øvrig var der i årene 1932 og 1933 meget lav grunnvannstand omkring 1. september. Synkende grunnvannstand i mars—april inntraff i 1932 og 1933, mens den derimot i 1934 var stigende i disse vårmåneder. Årsamplituden dreier sig også for det fri grunnvann om 1.0 m.

Av hensyn til hygienen så vel som til kjennskapet om byggegrunnen er det av betydning å vite grunnvannstanden og dens årlige variasjon. De fleste store bysamfund pleier å måtte tilrettelegge materiale til dette spørsmåls belysning, og det er vel snart påkrevet at også Oslo kommune iverksetter systematiske iakttagelser av grunnvannstanden.

Masseforskyvninger.

1. Signing. Iakttagelser i Oslo.

Under tørrskorpen er leret plastisk og tilbøielig til å sige nedover skråninger. Ved signingen blir bakkene utjevnet. Lerets tilbøielighet til å sige kan i tidens løp tilta eller avta eftersom dets fasthet forandrer sig. Det er sannsynlig at nedbøroverskudd og rystninger fremmer glidningen.

Glidningen kan være så langsom at vi i almindelighet ikke legger merke til den. Til tross herfor har den utvilsomt en stor betydning for de løse avleiringers massetransport, og kan for så vidt sidestilles med det transportarbeide det rinnende vann og isbreene utfører. „Enhver skiftning“, sier den amerikanske geolog Davis, „mellem kulde og varme, tørke og væte, tining og frost som øker eller minsker de løse dekkers volum, frembringer en signing nedover bakke. Under de talløse skiftninger kryper korn for korn tomme efter tomme langsomt men sikkert fra større til lavere høide.“

Når stolpeleret i snesmeltningen og teleløsningen gjennombløtes kommer også det i sig. For å holde på matjorden legges i lerbakkene, eksempelvis i Eidsvoll, om vinteren ut gjødselhauger. Under disse holder telen sig mens ellers teleløsningen pågår, og de frosne flekker under haugene virker som peling.

Nedenstående fotografi viser et hus i Vuku som er slitt i to, idet jordsmonnet glir til hver sin kant fra den lerhaug huset står på.

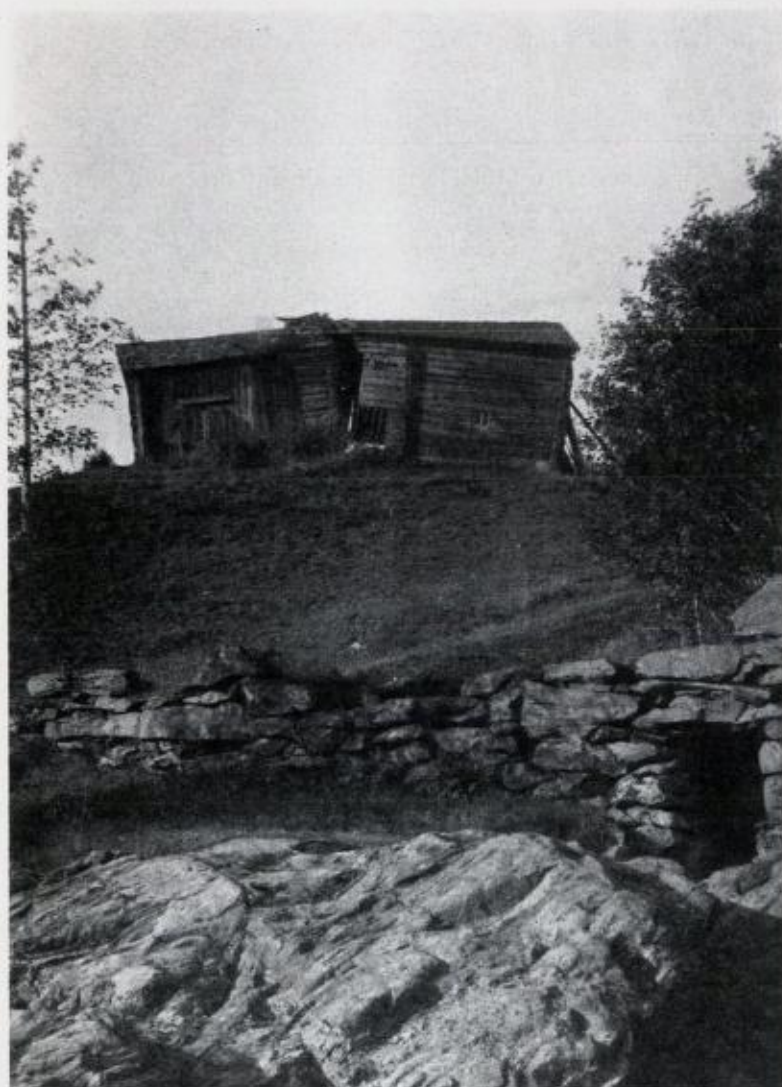


Fig. 14. Glidning til to kanter av en lerbakke i Vuku G. H. 1915.

Jordsmonnets bevegelse gir sig til kjenne ved at der opstår ujevnheter i markens overflate, noen steder synker den, andre steder stuves den op. Gressteppet skyves sammen i folder og valker, trærnes stammer heller. Jernbanespor glir ut av retning og vater, drengroftene mister fallet, eller de tilstoppes av ler som trenger inn mellem skjøtene o. s. v.

Det er ikke bare blåler som er utsatt for glidning. Også lerholdig bregrus og skiferur glir, men regelen er, at jo grovere kornene er desto større helning skal der til før bevegelsen merkes.

Hvis glidningen strekker sig til stort dyp og store masser er kommet i bevegelse er det ikke alltid så lett å få glidningen stanset. Det mest effektive pleier å være å avlaste bakkens vekt oventil, men det er ofte kostbart. Hvor tørrskorpen er tykk kan også drenering eller beplantning med trær hjelpe. Skogbevokste lerbakker kommer ofte i glidning når skogen snauhugges. Langs jernbaner og veier kan en ofte se forstøtningsmurer opført på innsiden for å ta imot de glidende masser, og når glidningen ikke strekker sig til større dyp er de effektive.

Under prosessen om Undergrunnsbanens skadevirkning blev der fremlagt materiale som viser at glidninger er almindelig i Oslos lergrunn.

Advokat Carl Lundh tok i 1915 rede på de små forskyvninger som hadde vist sig ved presisjonsmålingene av to som faste ansette punkter i Den geografiske Opmålings have. Dette i forbindelse med sprekke-dannelser i Opmålingens bygning og i Universitetets kjemiske Laboratorium bragte Lundh på den tanke at hele bakken fra Wergelandsgrotten til Tullinløkken kunde være i glidning [Bjørlykke, Undergrunnsbanen II, 1921, s. 75 o. f.], ha en „bevegelse som fulgte kløfter og dalsider nedad som andre skred, og som ikke skyldes trykk av ovenforliggende bygninger, men et eller annet fenomen som det da fikk bli videnskapens sak nærmere å utrede“.

Når en sådan halvflytende lermasse som Osloleret befinner sig på skrånende underlag utsatt for tyngdekraftens virkning er det ikke usannsynlig at der vil kunne opstå en langsom bevegelse i det selv uten noen større belastning, sier Bjørlykke [l. c. s. 77].

Viskose legemers overflate søker alltid å innta overflate, og den samme tendens må en vente å seigtflytende lermasse. Er derfor underlaget helt oppstå en bevegelse fra høiereliggende til lavereliggende.

Den bygningskyndige kontrollkomité for Holm forlengelse ved I. K.Thune skriver 22. mai 1917 til A/S banen vedrørende Pauluskirken, at de årlig utførte viser at fundamenteringen stadig synker og at det kan forstå foregår en forskyvning. „At der for skyvning av hele terrenget synes å fremgå av de samtlige gater mellem Steenstrups gate, Markveien, gate og Olav Ryes plass, hvor man uten undtagelse bøining av gateflukten som neppe kan ha vært frem ved unøiaktig opstikning av gatelinjer, men fremkom at den tette bebyggelse langs Markveien og Thv. Me gjensidig støtter hinannen, mens den mellemliggende be som ikke har en sådan motstandskraft, lettere følger bevegelsen“ [Bjørlykke, Undergrunnsbanen II, 1921, s. 7-].

Der blev senere utført målinger, dels av husrekker som har glidd ut av rettlinjen, og dels eftermåling av byens polygonpunkter. Det blev overdratt ingeniør Bj. Haukelid å fremlegge dette materiale under rettssaken [Haukelid 1930].

Av store gledne områder, som omtales i Haukelids bok skal her noen nevnes. Først det kvartal som begrenses av Møllergaten, Maribogaten, Bernt Ankers gate og Osterhaugs-gaten. Efter det geologiske kart [Bjørlykke 1898] ligger Møllergatens huser vest for Bernt Ankers gate på fjell så Møllergatens husrekker her antas å stå stille. I forhold til denne husrekke har Nerdrums Opmåling i 1924 målt den forskyvning som nedenstående kart angir.

I den østlige husrekke til Hansteens gate mellem Observatoriegaten og Kort Adellers gate var de midtre gårder under målingen i 1924 beliggende 60—65 cm ut av rettlinjen mellem kvartalets hjørner.

En undersøkelse av husrekkene tvers over Slottsparkens dyprenne i gatene Pilestredet, Welhavens gate og Hegdehaugsveien viste at de stod i buer vendt nedover den vei som dyprennen heller. Pilestredet 47 og 47^B hadde glidd op til 17 cm,

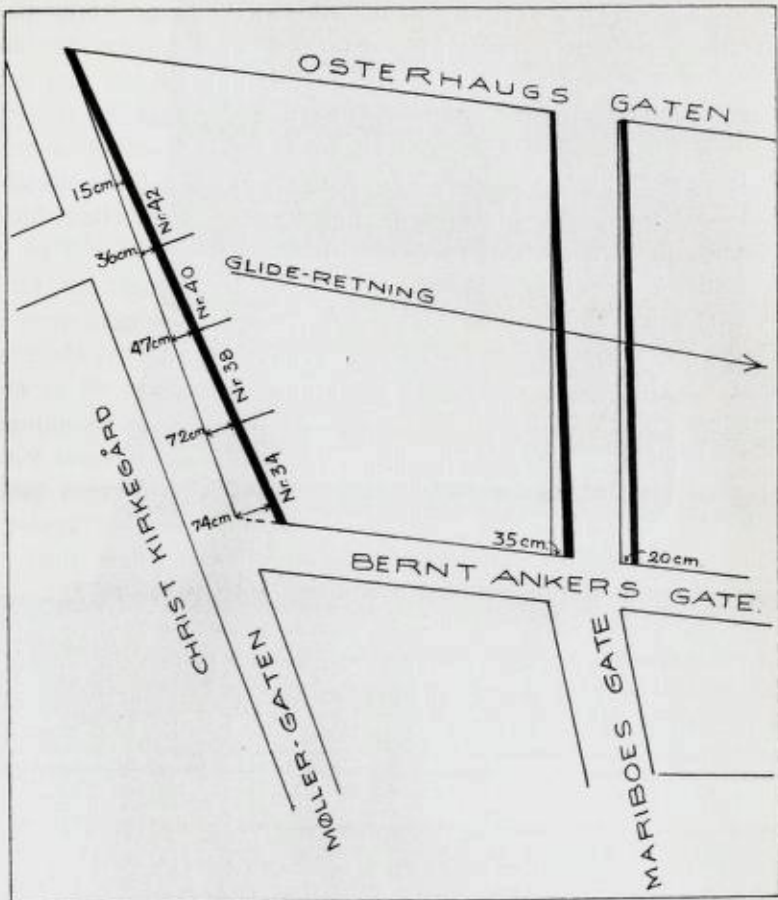


Fig. 15. De tykke linjer viser glidningene skjematisk.
Tallene angir glidningene i centimeter.

Welhavens gate nærmest Pilestredet 12 cm og den annen husrekke 9 cm. I Hegdehaugsveien var fasaden nærmest Welhavens gate glidd 6 cm.

Husrekken i Henrichsens gate mellem Colletts gate og Frydenlunds gate går tversover en dyprenne og har sunket meget samtidig som den har skutt litt frem i gaten.

Den største glidning som menes å være påvist for et enkelt hus angis fra Holbergs gate 23 som står fremskutt 1.38 m i gaten.

Omtrent hele husrekken i Kristian Augusts gate mellem Fredriks gate og Rosenkrantzgaten antas å ha glidd ut av retning, tilsynelatende op imot 0.5 m. Nerdrums Opmåling gjør dog oppmerksom på, at det kun er husrekkens relative forskyvning som er målt, det kan hende at hele området har glidd mere. Glidningsretningen formodes å gå loddrett på gatelinen. — Husrekken i Karl Johans gate mellem Fredriks gate og Rosenkrantzgaten står efter målingene også i en bue med midtpartiet flyttet ca. 0.25 m nedover i retning mot sjøen.

Eftermålingene av en del polygonpunkter, som sist var målt i 1908 viser efter Haukelids mening at også polygonpunktene har deltatt i en almindelig glidning. Opmålingschefen i Oslo vil imidlertid ikke innrømme at den påviselige forskyvning skyldes et generelt glidningsfenomen. I en påtegningssskrivelse til reguleringschefen av 18. oktober 1927 [Utdrag etc., s. 585] sier han at kontrollmålingen av polygonpunktene ikke er blitt fortsatt fordi de funne resultater var av tvilsom verdi, da grunnlaget for feilutligningen var temmelig usikkert og avvikelsene til dels lå innenfor den tillatte feilgrense.

På en av Nerdrums plancher er for polygonpunktet i gatekrysset Parkveien—Pilestredet angitt en glidning i motsatt retning av hvad det øvrige i Pilestredet gleden område har. Ifølge skrivelse av 10. september 1928 fra Nerdrums Opmåling til advokat Corneliussen [Utdrag etc., s. 715] må dette ha sin grunn i at målingens utgangspunkt for polygonpunktets beliggenhet selv har vært utsatt for glidning.

I Haukelids avhandling omtales for øvrig flere glidninger enn de her refererte.

Norges geografiske Opmåling hadde i året 1905 innredet en såkalt komparasjonsbasis i haven. Denne består av to støtter fundamentert på betongstøpning til 1.50 m's dybde i ca. 24 m's avstand fra hverandre. Det viste sig, at støttene gled i forhold til hinannen så vel i horisontal som vertikal retning så arrangementet tilfredsstillet ikke Opmålingens krav.

Opmålingschefen i Oslo har kritisert Haukelids slutninger. I skrivelse av 26. oktober 1928 til advokat P. A. Holm sier han [Utdrag etc., s. 768] at det er meget vanskelig å finne en fast linje i et gateløp, som kan tjene til målinger, særlig hvor be-

byggelsen er gammel. Regulær påvisning av byggelinjene blev først innført i siste halvdel av 80-årene og fast kontroll med at de påviste linjer blev fulgt blev ikke iverksatt før ved midten av 90-årene. Da bebyggelsen i Pilestedet, Welhavens gate og Hegdehaugsveien skriver sig fra 70- og 80-årene mener Opmålingschefen at de målinger som baseres på at disse gatelinjer var opført feilfri er temmelig verdiløse.

Om polygonpunktene forskyvning uttaler Opmålingschefen i den samme skrivelse sin opfatning av at det er nytteløst å bruke disse punkter til å konstatere forskyvninger av så liten utstrekning som det her gjelder medmindre man for hver bestemmelse benytter de samme dragsystemer og samtidig kontrollerer hovedpunktene beliggenhet. De målinger som er blitt utført må forkastes som ubrukelige, sier han, og han avviser bestemt at noen av dem tas til inntekt for Haukelids glidningsteori.

Bjørlykke har også uttalt sig utførlig om de generelle årsaker til glidningene. [Undergrunnsbanen III, 1928, s. 67.] Likevektforstyrrelsene, sier han, er å tilbakeføre til en overskridelse av de tilstedelige hellingsforhold og kan være forårsaket dels ved gravninger ved foten av helningen, dels ved overbelastning, eller ved forandringer i massenes beskaffenhet (opbløtning). Også større eller mindre rystninger nevnes som årsak.

Selve glidningen mener Bjørlykke foregår i det vannrikste lag i leret, og ofte ligger dette like under stolpeleret i 4—6 m's dyp under overflaten. Det kan her innskytes, at også ifølge Ekström og Flodkvist [Ekström 1925, s. 10] har leravsetningene sin minste fasthet like under tørrskorpen. Ofte finner vi i dette dyp, sier Bjørlykke, et ler med 54—57 vol.proc. eller med 29—32 vektproc. vann. Det ligger da ikke langt fra sin flytegrense som for fett ler er 32.3 og for magert 28.6 vektproc. Når nedbørvannet siger ned gjennom tørrskorpens sprekker til klimpsonen vil derfor stolpeleret være utsatt for å gli på denne. Ved gravninger i foten av selv svake helninger vil lett likevekten bli forstyrret.

Bjørlykke antar at det stort sett er stor nedbør, altså opbløtningen av klimpsonen som iverksetter så vel husenes synkning som glidning innen større områder.

Hvor blir det av det utgledne ler?

Haukelid mener at det kan avleires i flate hauger og valker der hvor marken får mindre fall. Bebyggelsen her vil følge med og heves ujevnt så husene blir skjeve som på det sted hvorfra leret gled ut. Av husenes skråstilling slutter han sig til hvor leret ligger opstuvet.

Ingeniørene Bonde & Co. har også uttalt sig om glidningen [Bjørlykke, Undergrunnsbanen III, 1928, s. 74]. Under for stor belastning vil leret undvike ad den letteste vei. Under en bygning med kjeller og jordgulv vil leret således lettest stige op i kjelleren, hvor den faste skorpe er tynnast og minst motstandsdygtig. Som eksempel herpå nevnes kjelleren i universitetets kjemiske laboratorium hvor gulvene i tidens løp har fått en synbar, hvelvformet heving som er størst midt på gulvet. — I en dyprenne med fall vil leret ha lettest for å undvike langsefter rennen i fallrets retning. Alle de gårder som ligger over en dyprenne har således en felles tilbøielighet til å skyve leret nedover dyprennen.

Videre uttaler Bonde & Co. at når grunnen utsettes for rystninger forandrer disse grunnens konsistens hvorved dens bæreevne forringes og den får større tilbøielighet til å undvike.

Om der enn i noen tilfelle kan gjøres innvendinger mot Haukelids tolkning av hvorfor husene ikke står i rett linje langs gaten kan det neppe betviles at der i det store og hele ved målingene virkelig er konstatert horisontale bevegelser som foregår til et dyp større enn almindelig fundamenteringsdybde.

Det er av betydning for enhver fundamenteringsmåte å få full rede på det dyp, hvortil glidningen når. Selv J. Schetelig, hvis oppgave det blandt annet var å gi en kritisk vurdering av Haukelids resultater, uttaler i en skrivelse til advokat P. A. Holm av 25. oktober 1928 [Utdrag etc. s. 756] at glidningsfenomenet i en by med så vanskelig og vekslende undergrunn som Oslos fortjener den største oppmerksomhet. Men Schetelig mener, at Haukelid synes å ville tõe sitt materiale for sterkt. Denne ytring henpeker på at Haukelid under prosessen søkte å forklare husenes synkning som følge av glidningen, og Scheteligs inntrykk er at det materiale som er samlet vedrørende husers

horisontale glidning og de slutninger som derav er trukket om terrengglidninger, må optas til kritisk siktning før det kan danne bevis for at de vertikale setninger med derav følgende husbeskadigelser i dypprennes lerterreng også skyldes glidninger.

2. Overbelastning.

Ved signing menes jordsmonnets langsomme glidning nedover hellende mark. Der kan kanskje skjelles mellom denne slags masseforskyvning og den som skyldes likevektforstyrrelse ved belastning eller gravning som også kan finne sted på flat mark.

Når blåleret belastes over en viss grense og særlig når det belastes fort så det ikke får tid til å stabilisere sig ved vannutpresning, vil der skje en masseforskyvning i undergrunnen. Bjørlykke hevder, at husenes synkning i Oslo er forbundet med bortpresning av bløtt ler, og det er den samme mening ingeniørfirmaet Bonde & Co. har fremsatt i det på s. 67 nevnte eksempel.

I sin enkleste form ytrer en belastningsforskyvning sig ved at der skyter op en voll omkring det belastede og sunkne område av tilnærmelsesvis samme størrelse som synkningen. Hvor jernbaner og veier bygges over myr med lerunderlag hører dette så å si til dagens orden. Er lerets fasthet liten skal der ikke stor belastningen til før oppresningen viser sig.

Masseforskyvningen kan foregå på rett anseelig dyp. En liten utglidning i desember 1932 av et brohode ved Sollielven i Østfold nådde til 11 à 12 m's dyp som det fremgikk av peles skråstilling [Holmsen 1933]. — I et annet fylke kjenner jeg av selvsyn en veistubb som av hensyn til oversvømmelse skulde løftes 60 cm ved påfylling av grus. Da grunnen bestod av så bløtt ler at der var tvil om at den kunde bære den nye veifylling blev der før grusningen nedrammet en 6 m dyp spuntvegg langs veikanten samtidig som veigrøften blev utfylt. Straks efter at gruslaget var påkjørt sank veien og langs den ene side reiste der sig en flat voll til 30 m's avstand fra veikanten. Spuntveggen stod etterpå på sin plass og loddrett, så lerstrømmen hadde gått under den uten å skyve den til side eller i skråstilling.

Fra våre naboland foreligger en del litteratur om belastningsforskyvninger under sunkne jernbanefyllinger. Thord Brenner

har meddelt en del verdifulle resultater av de boringer som er utført for å efterspore de sunkne fyllingers deformasjon og masseforskyvningen i de omgivende lag av ler og torvjord [Brenner 1928]. Forskyvningene foregår aldri på samme tid til begge sider av banefyllingen, sier han. I regelen synker først fyllingen dypt ned i den bløte grunn og siger så i undergrunnen ut til den side hvor fastheten er minst. Hvis underlaget for leret ikke ligger for dypt så går forskyvningen til den kant dette heller enten det består av berggrunn eller bunnmoréne. Ved bevegelsen kan lermassen presses op gjennom dype torvlag helt til overflaten. Først efter gjentatte synkninger kan utpresningen gå til den annen side.

Deformasjonen kan i bløt grunn påvises langt vekk fra fyllingen. På jernbanestasjonen i Viborg var markens overflate sprukket og skutt i været inntil 120 m fra den sunkne fyllings midtlinje, og L. von Post anfører, at markens deformering kan nå helt til 200 à 300 m fra den sunkne fylling [Von Post 1915, s. 573].

I den foran oftere anførte svenske publikasjon Statens järnvägars geotekniska kommissionens Slutbetänkande beskrives et stort antall utglidninger av jernbanefyllinger. Det fremgår av disse, at når leret i undergrunnen først har fått sin fasthet nedsett ved deformasjonen fremkalles ofte katastrofale skred.

Under planeringsarbeide og opfylling av bekkedaler i lerterreng forekommer der fra tid til annen likevektstabiliseringer i form av ras. 29. mai 1936 gikk der et sådant stabiliseringsras i skråningen mot Makrellbekken i V. Aker, hvorved Arnebråtveien blev beskadiget. Langsmed veien var der lagt op en stenfylling i noen få meters høide. Fyllingen hadde ligget i ro hele vinteren, men den nevnte dag sviktet grunnen plutselig. Marken slog dype sprekker og flak av stolpeler forskjøv sig i forhold til hverandre, og nærmest bekken, dog uten å berøre bekkeleiet, hevet der sig flere uregelmessige jordvoller. Avstanden fra veikanten til bekken er 50 m og høideforskjellen 10 m. I rasgropen midt imellem veien og bekken blev der tatt op prøver med stempelbor hvis fasthet undersøkes. Tørrskorpen var 3 m tykk og fastheten i 3.5 og 4.0 m's dyp ennu så stor som henholdsvis $H_s = 252$ og 264. Kun i 7.5 m's dyp var fastheten under 100. Fjellgrunnen lå på 8.7 m's dyp og over denne

var et 0.5 m tykt lag av lerholdig grus. I prøven fra 7.5 m's dyp fantes $H_3=69$, $H_1=4.5$, $F=34$, vanninnhold 37.8% av tørrsubstans og egenvekt 1.87. Det er sannsynlig at glidningen har foregått i dette lag.

Sist i mars måned samme år fant en lignende utrasning sted langs Mærradalsbekken i Aker nedenfor Ullernchauseen. På begge dalsider var oplagt rett høie fyllinger. Lerunderlaget gav etter, og der dannet sig en sprekk i bakken på bekkens vestsida av 60—70 m's lengde. Det løsrevne flak sank 2 à 3 m og gled nedover mot bekken hvorved dalbunnen steg og vannet i bekken stuvedes op.

Av glidninger i en ustabil leravsetning hvor ingen ytre årsak lar sig påvise har jeg tidligere beskrevet flere [Holmsen 1934]. Ved gården Nordre Moum i Borge fant en utglidning sted på en bakkesida med moderat helning 23. oktober 1932. Tørrskorpen hadde glidd på den svakt hellende blåleroverflate og stuvet sammen marken ved foten av bakken. Det var ikke mulig å finne annen årsak til masseforskyvningen enn at fastheten i klimpsonen var nedsatt, enten ved opbløtning eller ved at saltinnholdet var blitt mindre i porevannet. — En annen lerfalllignende utglidning fant sted på Romerike straks ovenfor sammenløpet av Gjermåen og Leirelven 4. juni 1931 [l. c. s. 13]. Der var ingen tegn til at skredet skulde være fremkalt ved at elven har gravet i bredden. I det hele tatt synes det at store lerfall kun undtagelsesvis har løsnet som følge av erosjonsskred eller kunstig påførte belastninger. Vi tvinges ved mange av dem, kanskje de fleste, til å anta at de er fremkalt ved en langsomt fremadskridende nedsettelse av lerets indre fasthet, og at denne prosess er en følge av forandring i de molekyllære krefter som binder lerpartiklene sammen. Det er i lertrakter ikke så sjelden å finne bruddlinjer, sprekker i tørrskorpen, hvorefter store sammenhengende lerflak synker i forhold til den fastliggende del av leravsetningen [Holmsen 1929, s. 24 og 28]. Lerfallene fremkalles øiensynlig ofte av den eltning av leret som finner sted under setningen av lerflakene [Holmsen 1933, s. 329].

Lennart v. Post gjør også opmerksom på at tørrskorpeskredene ikke alltid skyldes ytre påviselige årsaker. I sin beskrivelse av Korbyskredet [v. Post 1915, s. 571] anstiller han

innledningsvis en del generelle betraktninger over masseforskyvninger i ler. Korbyskredet fant sted i august måned 1914. Det var en stor utglidning av bløtt ler under en högmosse, hvorved et areal på 6 hektar berørtes. Noen umiddelbar årsak til skredet kunde ikke finnes. „Företeelsen synes mig vara ett nytt exempel på de icke ovanliga fall, då ett labilt jämnviktsläge förefunnits, ur hvilket plötsligt utan tydlig yttre anledning ett skred utlösts“, sier forfatteren.

Når likevektforstyrrelser så store som dem vi er vant til å se ved lerfallene kan innfinne sig „uten påviselig årsak“ så er det klart, at kunstige inngrep ved gravning i eller belastning av ler i labil likevekt lett vil kunne fremkalle masseforskyvninger.

At gravning i ler har hatt alvorlige masseforskyvninger til følge kan der nevnes utallige eksempler på. Jernbaneskjæringene ved Guldsmedvik i Rana og Hønefosskjæringen var i sin tid beryktet. Elvebruddene som med ca. 30 års mellemrum hjemsøker Bragernessiden i Drammen antas å skyldes Drammenselvens gravning i bunnen, og sådan er det jo med alle elvebrudd. Noen vesensforskjell mellem vannløpenes erosjon og den gravning som forekommer med hakke og spade er der ikke.

Bjørgulf Haukelid har i sin bok samlet tallrike eksempler på belastningsforskyvninger [Haukelid 1930]. En del av de utglidninger som der omtales skyldes også gravninger. Der finnes bl. a. en beretning om den utglidning som rammet Torvgatens Bad i Oslo 5. desember 1923. Av denne hitsettes:

„Damebadet ligger ut mot den dypt utgravede tomt for det nye anleggs vordende kjelhus og svømmebasseng. Allerede mandag begynte der så smått å danne sig revner i den del av huset som støter op til tomten hvor der i den senere tid har pågått store gravnings- og pelningsarbeider til en dybde som ligger betydelig under det gamle anleggs grunnmur. Den øverste forholdsvis faste skorpe er derved blitt gjennomgravet. Da grunnen i dette strøk er ganske usedvanlig svak og vanskelig, har den ikke tålt at gravningen har vært anlagt i hele husets bredde. — Efter at vannledningen var gått i stykker igår begynte den langvegg i damenes badstubad som vender ut mot tomten langsomt og saktelig å gli ned, og sprekkene i gulf og

tak vokste med mere enn 1 cm i løpet av et par timers tid og fortsatte i økende grad utover dagen. . . . Rivning av en stor del av dameavdelingen blev nødvendig for å redde resten av badet. . . . Årsaken til det intrufne må søkes i at pelningsarbeidet har omdannet grunnens konsistens . . . dertil at man har gravet ut og kjørt vekk den grunn som skulde danne motvekt mot utglidning.“

Jordras som følge av gravning er en hyppig og almindelig kjent foreteelse, og selv om signingen ikke alltid fører til synlig utrasning vil den i et bymessig bebygget strøk ofte medføre sprekkdannelse og synkninger i huser hvis underlag berøres av masseforskyvningen.

Fyllinger, især nye, av finsand eller sandblandet ler kan gli ut når de oppløses av overflatevann. Det samme er ofte tilfellet med jordsmonnet i dyrkede lerbakker og andre steds hvor leravsetningenes sand- og lerlag blandes. Sommeren 1926 blev gården Freming i Eidsvoll rammet av et lerras av ca. 40 m's bredde, hvorved 10 000 m³ jord gled ut. Freminggårdene ligger på en terrasse, som øverst består av fin sand i vekselagning med lerholdige lag. Denne sandavsetning hviler på blåler, hvis overflate heller mot Vorma. Årsaken til raset var at grunnvannet fra sandavsetningen over blåleret ikke fikk fritt avløp, men bløtte op det nedgledne jordsmonn fra sandavsetningen så dette til slutt brøt ut og rev med sig den forholdsvis store jordmasse.

Målinger av markens synkning i Oslo.

Efter at anlegget av tunnellen for undergrunnsbanen i Oslo var påbegynt sommeren 1912 intraff synkninger av marken ledsaget av skade på den bebyggelse som lå på de lerfylte dyprenner, hvorunder tunnellen blev drevet frem. Selv om bebyggelsen lå langt til siden for tunnellen anså J. H. L. Vogt skaden på denne fremkalt ved at tunnellen gjennom sprekker i fjellet trakk vann fra leret i dyprennene, hvorved dette kontrahertes og overflaten sank [Vogt, Husbeskadigelserne I, 1914, s. 87].

For nærmere å belyse spørsmålet om synkningens størrelse blev der iverksatt nivellementer av gatene og av husenes grunnmurer. Byens veivesen iakttok våren 1913 at gatelegemet var

sunket på en rekke steder, hvor gatene gikk tvers over Slottsparkens dyprenne. Eftersom tunnelarbeidet skred frem fulgtes det senere av synkning av gatene over Inkognitogatens, Oscars gates, Josefine gates og Holteгатens dyprenner. Etter hvert blev synkningene så store at de kunde sees ved siktning langsefter gatene, sporveiene måtte løfte skinnegangen og kloakkvesenet måtte etablere nye avløp for overflatevannet som samlet sig til dammer. Vannledninger og gassledninger blev beskadiget eftersom marken sank.

Nivellementene utgikk fra fastmerker. De blev sammenlignet med eldre profiler langs gatene, som imidlertid til dels var så gamle at de gav et usikkert sammenligningsgrunnlag for å bedømme den totale synkning, men efter som nye nivellementer blev optatt viste gatene en stadig synkning over dyprennene. Det kunde dreie sig om flere decimeter i det hele. De enkelte husers synkning blev målt ved at der blev etablert merker, bolter eller huller, på flere steder i grunnmuren. Med mellemrum blev merkene eftermålt så synkningskurver kunde tegnes. Det var Nerdrums opmålingskontor som foretok disse nivellementer i tiden mars—april 1913 til ut på sommeren 1914 og for en del nivellementers vedkommende til sist i året 1916.

Nivellementene omfatter et område hvor der på femten forskjellige steder setter gater over dyprenner, og på samtlige steder har gatelegemet sunket. J. H. L. Vogt har bearbejdet målingsresultatene [Husbeskadigelserne II, 1916] og kommer til den slutning, at dyprennenes overflate har sunket i sin helhet så vel der hvor husene står som i gater, gårdsrum og på andre ubelastede steder. Den største synkning som var iaktatt inntil desember 1916 finnes over Slottsparkens, Inkognitogatens og Oscars gates dyprenner og beløper sig, tillagt en av Vogt skjønnessmessig bedømt synkning før nivellementene påbegyntes, til noe over 30 cm, op til $\frac{1}{3}$ m.

Synkningen av dyprennenes overflate førte til omfattende beskadigelser av bebyggelsen. I mange av de huser hvis synkning blev målt hadde der også før tunnellen anlegg vist sig sprekker og skade, men de store beskadigelser, som i Homansbyen var verre enn andre steder i byen, fulgte ifølge Vogt tunnellen fremdrift. Således anfører han at en betydelig vannåre

i Slottsparkens dyprenne blev innfanget av tunnellen 5. september 1912, og allerede 13. september notertes nye sprekker i Welhavens gate 14 og Hegdehaugsveien 9, som ligger over samme dyprenne om enn i betydelig avstand fra tunnellen. I Pilestredet 47 b iakttoges nye sprekker 14. og 15. september. Det tok således 8 à 9 dager fra overskjæringen av vannåren fant sted til den første skade blev bemerket. Avstanden fra tunnellen til husrekken i Pilestredet er 240—280 m.

For de fleste gårder blev nivellementene iverksatt først efter at markens synkning var begynt, så tiden som medgikk mellem vannårenes avskjæring av tunnellen og husenes synkning kunde i almindelighet ikke konstateres ved nivelleringen. Vannårepartiet i tunnellen under Holteгатens dyprenne blev dog først overskåret i februar 1914 [Vogt, Husbeskadigelserne II, 1916, s. 111] efterat nivellementer av grunnmurene i nærheten var foretatt. Her var der ingen utpreget synkning å spore før efter nivellementet i april 1914. Vannårepartiet ligger [l. c. s. 74] utenfor Bogstadveien 4 og 6, og nivellementene godtgjør, at disse gårdene var sunket ikke så lite i slutten av april. Hus som ligger lengere vekk fra tunnellens vannåreparti rantes først senere av synkningen.

I Vogts bok er reproduisert en rekke synkningskurver for forskjellige hus.

Sin opfatning av det materiale som er samlet om synkningene av marken langs tunnellen opsummerer Vogt således [l. c. s. 96].

„Synkningen pr. måned avtok for tidsrummet juli 1914—februar 1915 til mellem halvparten og to tredjedeler av synkningen pr. måned i tiden april 1913—juli 1914. For det efterfølgende tidsrum, februar 1915—februar 1916 har synkningen fortsatt, men har i denne tid utgjort litt under halvparten av synkningen pr. måned i tiden april 1913—juli 1914.“

Den totale synkning av leret i dyprennene har Vogt søkt å bestemme ved måling av profiler som nedenstående fig. 16.

Tvers over en dyprenne legger han en rekke profiler, og på disse projiseres inn synkningen av de til nærmeste profil hørende merker i grunnmurene som er målt. Ved hjelp av kart og planimeter kan han da beregne størrelsen av den innsunkne

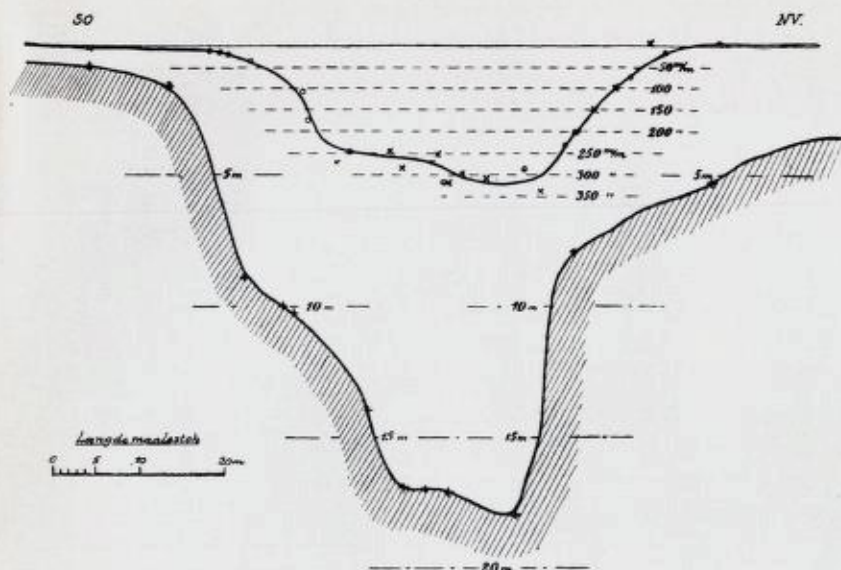


Fig. 16, efter Vogts Husbeskadigelserne II, 1916. Den øvre kurve betegner nivellementpunktene's synkning i mm. Den nedre kurve (med skraffering) betegner dyprenne'bunnen med dyp angitt i m. For dyprennen er målestokken for dybden tegnet 3 ganger så stor som for lengden, mens nivellementpunktene's synkning er tegnet efter målestokk 16 ganger så stor som for dyprennens dyp.

lermasse, som han mener svarer til det gjennom tunnelen bortledede vann.

Til dette bemerker Bjørlykke [Undergrunnsbanen II, 1921 s. 64] at beregningsgrunnlaget er upålitelig, idet Vogt forutsetter, at gater, gårdsrum og annet ubelastet areal over dyprennen har sunket i samme grad som merkene i husenes grunnmurer. Bjørlykke mener, at dette ikke har vært tilfellet, og at en lermasse som svarer til den sunkne under det belastede areal har skutt i været et annet sted hvor grunnen er mindre belastet.

Så lenge der ikke foreligger målinger av en eventuell synkning også av gater, plasser og andre ubelastede områder utenfor husrekkene kan derfor ikke Vogts beregningsmåte godkjennes.

* * *

Nerdrums nivellementer i Homansbyen viser imidlertid, foruten en rett betydelig synkning av de gårder som ligger over de lerfylte dyprenner, en bemerkelsesverdig heving av andre

utenfor dem. De målte hevninger er dog på langt nær så store som synkningene, kun undtagelsesvis så meget som 2 cm. Denne verdi er dog 5 ganger så stor som nivellementenes feilgrense, som anslåes til ± 4 mm. Hevningene av de målte merker i grunnmurene av gårder, som ligger på kanten av dyprennene forklarer Vogt som en vipning, idet han mener at den enkelte gård iallfall til å begynne med hang såpass godt sammen at den ene del av den kunde gå i været samtidig som den annen og større del sank. [Vogt, Husbeskadigelserne II, 1916 s. 57.] De senere utførte nivellementer viste, at den del av en sådan gård på kanten av en dyprenne som oprinnelig blev løftet litt op senere atter gjerne sank. At der blev presset plastisk ler inn- under de hevede partier er i de fleste tilfelle utelukket da dybden til fjell under fundamentene kun er 1 à 2 m, og grunnen er fast stolpeler.

Et gatenivellement langs Bogstadveien optatt 1928 viser sammenlignet med et gammelt nivellement av 1906 lokale hevninger [Bjørlykke, Tillegg til Undergrunnsbanen III, 1928, s. 24] langs sporveislinsen utenfor Wergelands Allé og Vibes gate. Da imidlertid gaten i mellemtiden flere ganger har vært oparbeidet og sporene pakket kan ikke godt de to nivellementer sammenlignes.

Det er ikke bare gårder som ligger på kanten av dyprennene som viser heving. Der finnes også eksempler på [Vogt, Husbeskadigelserne II, 1916, s. 59 o. f.] at gårder, som ifølge Holmenkollbanens grunnboringskart ligger slik til, at de i sin helhet går klar av dyprennene, lokalt har steget, således Hegdehaugsveien 27, 29, 26 og 28 med flere. Boringene viser 1 à 2 m's dybde fra markens overflate til fjellgrunnen, og allikevel har nivellementet 13. august 1914 en stigning fra april måned samme år på 10 à 20 mm. Dette forklarer Vogt også som en vipning, idet han antar [l. c. s. 63], „at den et par meter tykke stolpeler med tilhørende hus har oprinnelig dannet en såvidt kompakt enhet, at den store synkning av den overliggende hårde lerplate ved dyprennen medførte, at det hele bakenfor liggende parti vippet noen få millimeter op.“

Denne forklaring er helt uantagelig.

Vogt har også senere, i en betenkning til Rådmannen for 2den avdeling dat 17. august 1928 [Utdrag etc. s. 709] uttalt, at

den minimale stigning som flere steder er påvist utenfor dyprennene må forklares ved at grunnvannstanden varierer. På hvilken måte dette kan tenkes går han ikke nærmere inn på.

De områder hvor nivellementene viser heving av marken er små i sammenligning med de sunkne partiers areal. Synkningene går op til 10 ganger så store verdier som de, de største hevinger viser. I forhold til de nivåforandringer synkningene har medført er derfor hevingene betydningsløse. „Synkning og heving går således ikke op i op“, sier Vogt, „der må altså være noe nede i dyprennene som er gått bort.“

Herom er der vel nu heller ikke mere enn en mening blandt geologene.

Det er imidlertid ikke bare i Homansbyen at lergrunnen har sunket og fremkalt beskadigelser på husene. Ifølge utredning fra den kommisjon som var nedsatt 18. februar 1922 for å uttale sig om Undergrunnsbanens påtenkte fremføring til Studenterlunden kjentes der da flere tusen hus som på grunn av uheldig beliggenhet ovenpå underliggende bløte leravsetninger i de mindre renner eller i de større dalfyllinger var mere eller mindre skadet ved sprekkedannelser. Verst er forholdet hvor gatene forløper således, at husene delvis er fundamentert på ler og delvis på fast fjell. Men selv om husene i sin helhet er fundamentert på leravsetningen og dennes tykkelse går op til 10 à 16 m vil en ujevn synkning av marken kunne fremkalle sprekker og setninger hvis det bergunderlag leret hviler på er ujevnt.

Også utenfor strøket langs Undergrunnsbanen er målt store synkninger. Eksempelvis kan nevnes [Bjørlykke, Undergrunnsbanen II, 1921, s. 72], at det østre hjørne av Observatoriegaten 7 var sunket 42 cm, i forhold til det vestre hjørne, og i gateprofillet av nedre del av Observatoriegaten mellom Hansteens gate og Huitfeldts gate fantes en synkning på ca. 20 cm. Husrekken i Henrichsens gate, som går tvers over en dyprenne viste sig å være sunket op til 45 cm. [Haukelid 1913, s. 15.]

Oslo kommune har i de senere år også latt foreta nivellementer på forskjellige steder av byen. Der er herunder konstatert en almindelig utbredt synkning av de merker som er

blitt målt i husenes grunnmurer om enn ikke av den størrelsesorden som er omtalt foran. Synkningen av noen områder har vært iaktatt og fulgt gjennom nivellementer i flere år. For et enkelt område foreligger der materiale hvorav det kan utregnes, at den gjennomsnittlige årlige synkning for de siste 6 år dreier sig om 0.2—0.5 cm. Enkelte hus, som ligger særlig utsatt til kan ha sunket mere.

Synkningen foregår i årets løp undertiden rykkvis. Det er mulig at dette står i forbindelse med en synkende grunnvannstand, men iakttagelsene over grunnvannets variasjoner er for ufullstendige til å slutte noe sikkert herom.

Foruten en synkning angis i nivellementene av og til en hevning av de målte punkter på et par millimeter. I kommunens nyere nivellementer forekommer ikke hevninger med noen betraktelig verdi større enn den, som kan tillegges en målefeil. Eftersom sikre fastmerker er funnet til utgangspunkter, synes det som de gåtefulle hevninger har avtatt.

Oslo kommunes nivellementer omfatter bare den belastede grunn under husene. Det vilde være av stor betydning for kjennskapet til lergrunnens almindelige synkning om også punkter på åpne plasser, gårdsrum og gater blev målt.

Spørsmålet om Undergrunnsbanens drenering av leret i Oslo.

Spørsmålet om årsaken til markens synkning og skaden på bygningene blev ikke besvart av Høiesterett. At Høiesterett dog anså Undergrunnsbanen delvis skyldig i skaden fremgår av dommen.

Den sakkyndige for gårdeierne, professor J. Schetelig uttaler sin opfatning av Undergrunnsbanens drenerende virkning på leravsetningene i sine utredninger av 1. desember 1927 [Utdrag etc. s. 590] og av 25. oktober 1928 [Utdrag etc. s. 741].

Schetelig går ut fra at de eksperimenter som er foretatt av forskjellige forskere og som uavhengig av hinannen har funnet at ler som belastes under sådanne betingelser at vannet har anledning til å undvike, komprimeres under avgivning av en

vannmengde, som står i forhold til belastningens størrelse og det oprinnelige vanninnhold. En komprimering av lersediment med samtidig forminskelse av vanninnholdet foregår der også i naturen, mener Schetelig. Ved sedimentasjonen er slammene som en bløt suppe, men fortsetter avsetningen gjennom et lengere tidsrum til stor mektighet, vil lermassens egen vekt besørge kompresjonen med samtidig utpresning av vann. Under forutsetning av at leret er ensartet gjennom hele avsetningen vil vanninnholdet avta mot dypet.

Når leret ved landets heving kommer over havnivået begynner straks en uttørring fra overflaten ved fordunstning. Fortetningsprosessen av leret i dypet vil fortsette, men med forskjellig hastighet efter de lokale forhold. Hvor vannet i dypet får lett avløp, som f. eks. på Vøienvollen ved Sagene, vil fortetningsprosessen gå forholdsvis hurtig. Undersøkelser av leret på Vøienvollen viser, at leret under stolpeleret er fast helt til bunns.

Anderledes er forholdet ved de trange, langstrakte dyprenner som i bydelen Universitetet—Majorstuen er utgravet efter strøkretningen i de foldede siluriske lagrekker. I disse ligger bunnen i lukkede klippebassenger uten avløp, og bortføringen av det vann som kan frigjøres ved fortetningsprosessen besværliggjøres. Sandlaget på bunnen av dyprennene har til dels et høit grunnvannstrykk.

Da tunnellen blev etablert blev grunnvannets sirkulasjonsbaner i tunnellens omgivelser endret. En del av det vann som inneholdtes i fjellets sprekker og i leravsetningens sandlag blev avledet til tunnellen. Da grunnvannet således fikk anledning til å slippe bort innfant straks kompresjonen av lerlagene sig, både den fortetning som skyldtes lerets egen vekt samt det eventuelle tillegg som bebyggelse med 3—4 etasjers bygårder må ansees å medføre.

I sin utredning av 25. oktober 1928 dokumenterer Schetelig nærmere sammenhengen mellem tunnellens fremdrift i Bogstadsveien, husenes synkning og grunnvannspeilets senkning i lerets sandlag.

Forut for Undergrunnsbanens forlengelse opover Bogstadsveien i årene 1926—1928 var der foretatt nivellementer og ned-satt grunnvannsrør i de dyprenner tunnellen skulde passere

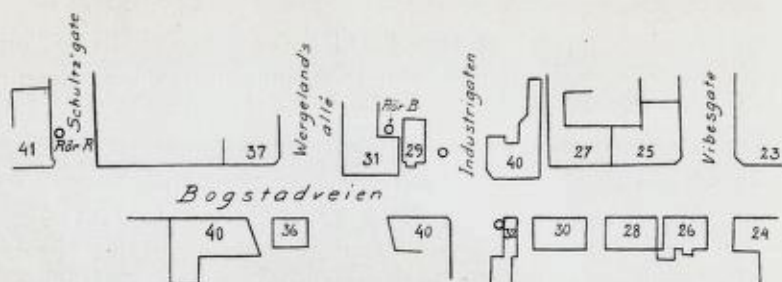


Fig. 17. Kart som viser beliggenheten av grunnvannsrørene og de siden 1913 nivellerte gårder i Bogstadveien.

under for å iakta hvilke forandringer tunnelbygningen vilde medføre. Gårdene Bogstadveien 25, 27 og 31 samt Industriegaten 40 var nivellert helt siden 1913, og grunnvannsavlesninger var foretatt bl. a. i Bogstadveien 29, 31 og 41.

Fremdriften av „Retningsstollen“ (opgående spor) begynte ved Eilert Sundts gate 1. august 1926, nådde hjørnet av Vibes gate (Bogstadveien 25) 1. november s. å. og var drevet frem til Wergelands Allé forbi Bogstadveien 31 ved nyttår 1927.

Sprengningen av „Bunnstollen“ (nedgående spor) nådde hjørnet av Vibes gate ca. 1. desember 1926 og var drevet frem til Wergelands Allé ca. 1. februar 1927. Der blev under tunnelarbeidet overskåret flere vannårer på strekningen omkring Industriegaten, under dyprennen her.

Av nivellementene fremgår, at alle de iaktatte 4 gårder har sunket langsomt og jevnt fra 1913 til november 1926, men fra denne tid begynte plutselig en meget sterkere synkning, samtidig med at den 1ste tunnelstoll var nådd frem under gårdene Bogstadveien 25 og 27. Synkningen var størst der hvor dybden til fjell er størst. Samtidig med gårdenes synkning måltet senkning av vannstanden i grunnvannsrørene. I røret i Industriegaten ved Bogstadveien 29 sank vannstanden i tiden desember 1926 til februar 1927 ca. 6 m. I røret i Bogstadveien 31 begynte synkningen i første halvpart av november 1926, først langsomt, men tok raskere fatt fra slutten av samme måned. Den totale synkning var vel 4 m. I røret i Bogstadveien 41 begynte synkningen i de siste dager av november 1926, og den totale synkning var ca. 4.5 m.

Om røret i Bogstadveien 32 sier ingeniør Opsahl, som var statens kontrollerende ingeniør ved Undergrunnsbanens forlengelse og fullførelse 1926—1928, i sin rapport av 9. juli 1928 [Utdrag etc., s. 621], at vannstanden i det viste jevn synkning uten fluktuasjoner, hvilket skulde tyde på at det enten er blitt tett, eller også at der på fjellet ikke fins noe gruslag, hvori grunnvannet sirkulerer.

Schetelig anfører flere eksempler på, at grunnvannstanden i dyprennenes sandlag har sunket som følge av drenering til tunnelen. Under arbeidet med stasjonsarrangementet ved Nasjonalteatret blev der overskåret et sandlag i en liten dyprenne som strekker sig over Karl Johans gate til Universitetets gamle bibliotekbygning. Her var der nedsatt grunnvannsrør hvori vannstanden var sunket rett betydelig mens arbeidet pågikk med Undergrunnsbanen. Efter tunnelens tetning steg atter grunnvannet under Universitetets vestbygning op til sin gamle høide.

Et annet eksempel nevnes fra Parkveien 27, hvor der på 14 m's dyp under markens overflate ligger et sandlag. Gjennem et nedsatt rør finner vann avløp i dette. Avstanden til tunnelen er 45 m og tunnelsåleens dybde under markens overflate 26 m, altså 12 m lavere enn sandlaget, som utvilsomt har avløp til tunnelen gjennom fjellets sprekker.

Rystelser har ifølge Schetelig innflytelse på den hastighet hvormed leret avgir vann og synker sammen. „Rystelser fra mineskudd i tunnelen, fra lastebiler og sporvogner som trafikerer Bogstadveien virker som forsterkende moment til å påskynde og forsterke den synkning lerbassengets overflate med påstående bygninger som er innledet ved grunnvannstandens senkning ved dyprennenes bunn er utsatt for som følge av drenasje fra tunnelen. Forsøk utført av ingeniør Large og ingeniør v. Krogh med avpresning av vann av lere, som jeg selv har overvært viser, at støt og rystelser påskynder og forsterker vannavgivelsen“ [Utdrag etc., s. 747].

Rystningenes mulige innflytelse på sprekkedannelsene i husene omtales også av W. C. Brøgger [Utdrag etc., s. 229] som refererer til professor Kr. Birkelands opfatning herav allerede i 1912. Birkeland utførte eksperimenter med rystning av kolloidale substanser, derunder også almindelig bløtt blålers

flytning ved rystelser. Brøgger mener, at det er mulig at de ved moderne gatetransportmidler frembragte rystninger kan forplante sig gjennom en forholdsvis tynn skorpe av fylling og stolpeler. I dyprennene kan rystningene fremkalle en bølgebevegelse som muligens innen de lettest flytende, mest bevegelige lag i bløtleret etterhånden kan „medføre en langsom transport av disse eller kanskje snarere en utpresning av vann til nærliggende strøk med mindre overtrykk under tilsvarende inn-synkning av partier av overflaten med sterkere belastning av denne (husrekken med mellemliggende gater)“.

Brøgger peker på, at årsaken til de av Den svenske geotekniske kommisjon nevnte tilfelle av nedpresning av jernbane-fyllinger i bløtt lerunderlag, foruten vannutpresning ved sin vekt, kanskje også kan skyldes rystninger fra togene. Han nevner om Oseberghaugen i Slagen at dens topp ved vannutpresning av underlaget har senket sig fra $6\frac{1}{3}$ m over den omgivende slette til $2\frac{1}{2}$ m i løpet av 1050 år. Lerlagene under haugen viste sig ved utgravningen skålførmig fordypet omtrent som et speilbillede av haugen. Her har dog ikke rystninger gjort sig gjeldende.

Hvis Undergrunnsbanen således som Vogt, Schetelig og andre sakkyndige mener har hatt en hurtig drenerende virkning på det overskuddvann i leret som ellers under naturlige betingelser kun meget langsomt vil finne en vei det kan undvike, så må nøiaktige bestemmelser av lerets vanninnhold før markens synkning fant sted og etterpå kunne vise, at lerets vanninnhold har avtatt. Synkningens størrelse må stå i et visst avhengighetsforhold til leravsetningens dybde og dens oprinnelige vanninnhold. Dette spørsmål blev under prosessen gjort til et kjernepunkt, og der blev foretatt omfattende målinger av vanninnholdet i optatte lerprøver uten at man kom til et entydig resultat, iallfall blev det benektet av Holmenkollbanens sakkyndige at vannbestemmelsene i prøver tatt til forskjellig tid viste at lerets vanninnhold hadde avtatt. Hvis oppmerksomheten var blitt rettet mot dette spørsmål helt fra tvisten mellem gårdeierne og Undergrunnsbanen opstod vilde det formodentlig ha latt sig gjøre å komme til et innvendingsfritt resultat. Men saken var den, at i begynnelsen var kjennskapet til lerets egenskaper mangelfullt. Der blev således ikke engang tilbørlig skjelnet

mellem de egenskaper naturlig avsatt ler og kunstig omrørt masse viste. Først ut i 1920-årene utkom de viktige arbeider som gav oss en bedre forståelse av lerets fysiske natur, således den svenske geotekniske kommisjons Slutbetänkande 1922, den norske råstoffkomité's undersøkelser over lersedimenter 1923—1924, Simon Johanssons om hydrologiske undersøkelser ved Skara 1924, Terzaghis Erdbaumechanik 1925, V. M. Goldschmidts undersøkelser over lersedimenter 1926, Ekströms og Flodkvists undersøkelser av åkerjord 1926, og Ekströms klassifikasjon av svenske lerer 1927. Disse arbeider førte til nye betraktningmåter som viste at det tidligere tilveiebragte materiale var ufullstendig.

Det ligger i sakens natur at det er vanskelig efter en tids forløp å ta en lerprøve fra akkurat det samme lerskikt som det som før er undersøkt. Av vannbestemmelsene i Welhavens gate 15 og Hegdehaugsveien 9 (se side 26 o. f.) fremgår det, at der er plutselige sprang i lerets vanninnhold fra det ene lag til det annet selv om disse er tynne og ligger bare få millimeter fra hverandre. Disse bestemmelser blev gjort for om mulig å bringe på det rene om leravsetningen hadde tapt vann på grunn av tunnelanlegget. Tunnellen var imidlertid utsprengt under Slottsparkens dyprenne allerede i 1913 og der forelå ingen vannbestemmelser av leret på de nevnte lokaliteter før dette fant sted likeså litt som senere, så leravsetningen forut for den første undersøkelse i 1928 har fått tid nok til å stabilisere sig med hensyn på vanninnholdet. Noe bevis på at synkningen skyldes vanntap har disse stort anlagte undersøkelser av lerets vanninnhold derfor ikke kunnet levere.

På den annen side har heller ikke Holmenkollbanens sakyndige kunnet anføre noen overbevisende innvending mot at leret i Homansbyens dyprenner har avgitt såpass meget vann som markens synkning efter Vogt og Scheteligs opfatning tilsier.

Det blev under prosessen også fremhevet, at hvis vannutpresningen skyldes vekten av bebyggelsen så må vi vente, at leret i dyprennene er vannfattigere under bebygget mark enn på åpne plasser. Bjørlykke benekter at vannbestemmelsene viser noen forskjell, og at der med det materiale som foreligger lar sig påvise at vann har forlatt leret [Bjørlykke, Undergrundsbanen III, 1928, s. 81].



Geologiske karter.

På et geologisk kart kan etter visse inndelingsprinsipper fremstilles de i overflaten synlige jordarters og bergarters utbredelse. Et geologisk kart bør foreligge før der iverksettes grunnundersøkelser i form av boring, skjaktgravning eller prøvetakning, da det gir en nødvendig oversikt over hvordan de kostbare grunnundersøkelser mest effektivt kan gjennomføres. Når det geologiske kart er tegnet med den nøiaktighet som formålet tilsier blir det neste skritt til belysning av lergrunnens art å innsamle materiale hvorved lerets egenskaper i forskjellig dyp kan anskueliggjøres på profiltegninger. Grunnundersøkelser er dyre, og store beløp kan spares når der foreligger et brukbart geologisk kart over det område som skal undersøkes.

Over Oslo by blev der av Norges geologiske Undersøkelse utgitt et geologisk kart med beskrivelse forfattet av K. O. Bjørlykke i året 1898 [Bjørlykke 1898]. Der var i 1890-årene av det akademiske kollegium opsatt en prisoppgave for et geologisk kart over byen i målestokk 1:12 000, og dette bevirket at Bjørlykke tok fatt på arbeidet. Ifølge oppgavens ordlyd synes det som om kartet fortrinnsvis skulde fremstille berggrunnen, men den ledsagende tekst inneholder også en ganske fyldig beskrivelse av de løse jordlag. På kartet, som blev trykt med mange farver i målestokk 1:15 000, er skilt ut sand og sandblandet ler fra muslingler og mergeller. Til tross for den lille målestokk og en del unøiaktigheter i detaljene har dette kart vært av betydning, og er fremdeles det beste geologiske kart som eksisterer over byområdet.

Prosessen om Undergrunnsbanens skadevirkning medførte at der blev utført jordboringer i dyprennenes leravsetninger for å bringe lerets tykkelse på det rene. På grunnlag av disse målinger av lerets tykkelse kan dyprennenes bunnkonfigurasjon fremstilles ved horisontalkurver på et kart. Denne fremstilling av fjellrelieffet ved koter under de lerfylte dyprenner er det som i almindelighet kalles et undergrunnskart. A/S Holmenkollbanen lot utføre boringer i dyprennene så tidlig, at allerede 4. november 1914 hadde selskapet ferdig et kart over fjellrelieffet

i målestokk 1:1000 med 2 m's ekvidistanse omfattende strøket på begge sider av tunneltraceen til et par hundre meters bredde helt fra Nasjonalteatret til Kirkeveien.

Under inntrykket av den omsiggripende sprekkedannelse i bebyggelsen optok Oslo kommune i 1912 til drøftelse hvad der kunde gjøres for å stanse ødeleggelsen. Efter forslag av stadsfysikus Bentzen blev det bl. a. besluttet at der skulde inn-samles materiale til et undergrunnskart, og hertil blev gitt en årlig bevilgning til å begynne med på 2000 kr. Arbeidet blev overlatt til ingeniør Oscar Large, som i året 1920 utgav det første prøveblad til et undergrunnskart over Oslo i målestokk 1:500.

Litt om senn blev bevilgningen øket, og der blev stillet meget betydelige midler til disposisjon for systematiske boringer og undersøkelser av lergrunnen i Oslo. I året 1927 utkom tre nye blader av undergrunnskartet. Disse viser som prøvekartet fjelloverflatens beliggenhet under de løse jordlag inntegnet ved hjelp av koter, likesom fjellgrunnens beliggenhet er angitt ved dybdetall for hvert borhull. Dette er hvad kartet i hovedsaken har lagt an på å fremstille, men dessuten inneholder det op-lysninger om gårdenes fundamenteringsmetoder, som forutsetter åjourføring, om lerlagenes konsistens i omrørte prøver, angivelser av grunnvannstandens høide med mere.

Arbeidet med undergrunnskartet blev sterkt anbefalt av geologene professor W. C. Brøgger og professor J. Schetelig. I møte i Norsk geologisk Forening 9. mars 1922 uttalte Brøgger at den viktigste opgave for foreningen nu ikke var å diskutere de forskjellige opfatninger angående årsakene til den skade som har rammet en så stor del av bebyggelsen i byen, men meget mere å avgi en uttalelse som kraftig fremholdt nødvendigheten av, at Kristiania kommune sørger for i løpet av en rimelig tidsfrist å skaffe sig et tidsmessig undergrunnskart. Både av hensyn til en fordelaktig reguleringsplan for bebyggelsen og også av hensyn til en rekke viktige kommunale anlegg (kloakker, vannledninger etc.) måtte et sådant kart ansees nødvendig for byen. Kartverket burde efter hans mening planlegges og kontrolleres efter konferanse med Norges geologiske Under-søkelse [Brøgger 1924, s. 78].

I en anmeldelse i „Aftenposten“ for 22. november 1927 av de nyutkomne 3 blader av undergrunnskartet fremhever professorene Brøgger og Schetelig, at undergrunnskartet vil ha avgjørende betydning for all fremtidig regulering innen byområdet. For planleggelse og plasing av kostbare millionbygninger vil kartet bli et uundværlig hjelpemiddel, likeså for alle kommunens tekniske etater som reguleringsvesen, veivesen, vann- og kloakkvesen, byarkitekten, lysverkene o. s. v. De to geologer slutter sin anmeldelse med en appell til Oslo kommune om at der må bevilges det fornødne så grunnundersøkelsen kan fullføres og kartet utgis uten stans. „Kartets kostende har vært kalkulert til å dreie sig om 1.5 mill. kroner, eller muligens noe mere. Men vi anser det som en billig assurance når undergrunnskartet riktig anvendt kan avverge feiltagelser som for et enkelt millionbygg kan medføre ekstraomkostninger av størrelse som hele kartets kostende . . . en assurance, der så vel kommer Oslo kommune som dens private borgere og spesielt de private byggherrer til gode.“

Det synes imidlertid som om Larges undergrunnskart har kostet for meget i forhold til den nytte det vilde kunne yde. Det blev iallfall ikke til noe mere enn til utgivelsen av de 4 blader av hele det planlagte antall, ca. 100 av bykartets 140.

Intet undergrunnskart, selv ikke et så detaljert som Larges, vil kunne erstatte spesielle grunnundersøkelser forut for planleggelsen av store bygg. Erfaringen viser, at den moderne tungbebyggelse på lergrunn krever meget inngående undersøkelser med prøvetakning fra forskjellig dyp før plasing og fundamenteringsmåte velges. Som jeg i det foregående har søkt å fremstille er kjennskapet til lerets vekslende art like betydningsfullt som kjennskapet til dets dybde.

For en del av Oslos nærmeste omegns vedkommende begynte Norges geologiske Undersøkelse i 1923 å opta et geologisk kart i målestokk 1:4000 over de løse avleiringer i den tanke, at når først tettbebyggelsen trengte frem i Aker blev det ugjorlig å forferdige et sådant kart uten ved hjelp av kostbare grunnboringer. På grunn av det faste personales sterkt optatte tid blev kartlegningsarbeidet avbrutt i 1929 før der var gjort noe med området øst for Oslo. Akers kommune blev varslet og

foreslått å skyte til med en årlig bevilgning, anslagsvis 1000 kr. i 4 à 5 år, for å få kartet fullført, men forslaget blev ikke antatt.

Et lignende kart som Akerskartets ferdige del vilde sikkert også tilfredsstillende Oslo kommunes krav til geologisk orientering om der kunde forferdiges et sådant for byområdet. Å tegne et geologisk kart over et byområde, hvor grunnen i stor utstrekning dekkes av bygninger og gater er imidlertid for det faste fjels vedkommende kun økonomisk gjennomførlig efter hvert som leilighet til iakttagelser byr sig når fjellgrunnen blottes ved nye sprengningsarbeider. For lergrunnens vedkommende kan dog foruten den mere tilfeldige innsamling av opplysninger også særlige undersøkelser iverksettes.

Når W. C. Brøgger i sin tid henviste til at undergrunnskartet bør planlegges og kontrolleres av Norges geologiske Undersøkelse var det fordi det er klarleggingen av grunnens geologiske bygning som gjør kartet til det uundværlige hjelpemiddel.

Foruten den leilighetsvise iakttagelse en påpasselig geolog kan gjøre måtte de grunnundersøkelser som nu pålegges byggherren av bygningskontrollen kunne nyttiggjøres ved kartfremstillingen. Der måtte treffes en ordning hvorved resultatene av de privat utførte borer og prøveundersøkelser blev samlet og ordnet, så dette verdifulle materiale til belysning av grunnens art også kunde bli til varig nytte.

Summary.

Norwegian Clay Deposits as Foundation for Building.

In this paper has been given a brief statement of the character of our marine clay to an extent considered important for the study of clay as a foundation for building.

Our marine clay chiefly consists of fragments of rock-forming minerals. Partly it was deposited direct from mud-bearing glacier rivers in the cold ocean water of the fjords during the melting stage of the Ice age. Part of it has, however, been redeposited, consisting of mud from higher situated terraces of the Ice age which during a later period has been carried away by the rivers and deposited anew. Clay occurs at all altitudes between the highest shore-lines and the bottom of the fjords. Layers of clay are alternating with beds of sand, and the total thickness of the accumulations is more than 100 m. Within the clay can sometimes be found beds of gravel as well as stray boulders carried along by drifting ice-bergs. The fossils occurring show the existence as well of a glacial as of a post glacial clay.

K. O. BJØRLYKKE has carried out numerous elutriation tests, which show that clay containing more than 50 per cent of grains less than 0.002 mm rarely occurs in our country. Sometimes, however, clay which according to Atterberg belongs to "the very stiff clays", has been found.

The mineral composition of the clay has been studied by OLAF N. ROVE. His work [see the bibliography] contains a summary in German to which can be referred. V. M. GOLDSCHMIDT is of opinion, that the Norwegian types of clay

chiefly consist of finely pulverized rock-forming minerals, derived from the older rocks, constituting the bedrock of the district, from which the clay originates. The finest fractions of the clay contain far more leafy minerals, muscovite and chlorite, than the coarser ones. The leafy minerals, chiefly lying on the flat, give the clay a faint structure.

V. M. GOLDSCHMIDT has explained the plastic character of the clay as a result of the field action of the leafy minerals on the molecules of water. He adduces that Atterberg has observed, that the great plasticity of the clay and its ability to absorb a great quantity of water etc. also exist in an artificially produced mass of a particular, finely pulverized and leafy mineral as for instance mica, chlorite, talc and kaolinite. Strong electric fields are combined with the cleavage plans of minerals with one single, perfect cleavage, a consequence of the laminated lattice structure; and these electric fields will orientate and combine the molecules of water. It is this electrically orientated and combined water that gives the clay its significant plasticity and other peculiarities.

The fatter the clay, the more it contains of the fine-grained, leafy minerals, and the larger will be the amount of water it is able to bind. In the ordinary blue clay, however, exist pores and ducts between the electric fields of the grains. These are filled with common water, exposed to capillary forces. Measurements on this have been carried out by BESKOW [Beskow 1929].

Samples from an apparently homogeneous clay in Oslo show, that the contents of water varies considerably from one cm to another towards the depth. This is graphically shown on fig. 1.

The chapter treating of the solidity of the clay and the fineness of the grains, is based upon the Swedish "Statens Järnvägars geotekniska Kommissionens Slutbetänkande".

In order to investigate the influence of electrolytes on the consistency of the clay the author has carried out a series of tests by measuring the velocity with which clay, kneaded with different salt-solutions, is pressed through a circular opening under a constant pressure. A graphic statement of the results is shown on fig. 2 and on fig. 3.

The chapter, treating the crust-forming of the clay, is chiefly based on the works of EKSTRÖM and FLODKVIST [see the bibliography].

When clay with high contents of water is exposed to a pressure heavier than that to which it is adapted, the water will be squeezed out if there is an outlet [Simon Johansson 1924]. According to BRENNER the compression of sediments chiefly depends on the possibility for the water to escape. Beds of sand, often occurring in clay-deposits, are in this connection of great importance.

The fatter the clay, and the longer way the water has to pass through the pores before being able to run off freely, the later the settling will come to an end. It is improbable, says Brenner, that clay from which the water has been squeezed out, is inclined to re-absorb water, because the beds of the mineral grains during the compression have got an increased stability. An absorption of water cannot take place without the natural structure of the clay being altered.

The clay usually contains a certain amount of humus, consisting of remnants of plants, carried by wind and water into the sea and deposited in the mud. These organic remnants will give the clay a greenish colour, and, if fresh, also a distinct smell from sulphide of hydrogen. Such clay contains relatively much water and is easily compressed, when exposed to an increased weight. Some examples, showing the solidity of the clay in relation to the contents of water, are given on p. 50 and following.

A minute sampling is necessary, when determining the character of a building ground. An excavation in clay nowadays will not, if properly administered, be commenced, at least in towns, without preceding investigations, and no foundation-walling will be accepted by the municipal control of works before the bearing strength of the ground has been exactly determined.

The building of a subway connected with the Holmenkollen railway in Oslo caused a great lawsuit, in which the final judgement was given 10 years ago. The proprietors of the ground near the tunnel brought an action against the railway company

for compensation of damages, which the underground work was supposed to have caused by draining and consequent contraction of the clay. The experts of both parties produced arguments of great geological value which were printed, but, being difficult of access, they have been rather thoroughly dealt with in the present paper.

The subsoil of Oslo is frequently changing between thick deposits of soft clay and solid rock, and is rather freakish. Repeated levellings have proved that the surface has sunk, as well where the ground is weighted by houses, as in streets, yards and unweighted places. The greatest sinking was observed on the thickest clay deposits [see fig. 16].

This sinking took place not only along the tunnel, but thousands of houses were recorded as being more or less damaged by crackbuildings. This situation was particularly bad, where the courses of the streets have compelled the founding of the houses partly on clay and partly on solid rock. But even if the houses are founded totally on clay, with a thickness up to 10—16 m, an uneven sinking of the clay will cause crackings and settings, if the underlying rock is uneven.

The proprietors expert adviser, J. SCHEDELIG, pointed out, that the course of the circulating groundwater in the neighbourhood of the tunnel changed, when the tunnel was driven. Part of the water in the cracks of the rock and in the sand-beds of the clay drained into the tunnel. As soon as the groundwater was free to run off the compression of the clay commenced owing to the weight both of the clay itself and, in eventual addition hereto, the weight which third-story brick-houses must be supposed to exercise.

The author had previously announced a similar view [see fig. 4.]

The judge decided in favour of the proprietors and left to a special committee of estimators to fix the compensation to be paid by the railway company.

The results of certain investigations, procured in court, may point to the fact, that the clay to a wide extent is submitted to a deep-going but very slow sliding down the slopes of the bedrock under the town. This seems to be confirmed by

repeated levellings of the street-lines [see fig. 15]. This sliding is, according to Bjørlykke, supposed to take place in the most water-bearing layers of the clay, which are situated closely below its solid crust in a depth of 4 to 6 m under the surface. The clay here often contains 54 to 57 vol. per cent of water, and is consequently near the limit of fluidity. When the surface-water is oozing through the cracks and fissures of the solid crust, this will easily slip on the layers of the plastic zone, which are very rich in water.

The measurings of the groundwater-level in Oslo are very deficient. In court f. inst., results were produced of observations from water-level pipes, which had been run into the clay, but without communication with the water-bearing layers. Some of the physically bound water of the clay was set free, when the pipe was run down, and gathered in the bottom of the pipe, where it was mistaken for groundwater [see fig. 13].

Several Norwegian towns are resting upon clay deposits. One is therefore in urgent need of geological maps, which would be an aid to the municipal authorities for their dispositions, as well as a guide for special investigations of the subsoil. The author recommends, that the map of the subsoil of Oslo, largely commenced years ago, be replaced by a more modest geological map, showing the technically different rocks, as well as the grand features of the relief of the clay-filled underground basins, and the depth of the groundwater level.

Litteraturfortegnelse.

- ATTERBERG, A. Mineraljordarnas klassifikasjon efter deras konsistensformer och konsistensgrader. — Kungl. Lantbr. Akad. Handl. Tidskr. Stockholm 1915.
- BESKOW, GUNNAR. Om jordarternas kappillaritet. — Sv. geol. Unders. Årsbok 23, 1929.
- BJØRLYKKE, K. O. Geologisk kart med beskrivelse over Kristiania by. — N. G. U. nr. 28, 1898.
- Om stenene og jordbunnen. Oslo. A. W. Brøgger 1935.
 - Om Undergrunnsbanen og årsaken til sprekedannelsen i husene i Kristiania by. Kristiania, Marius Starnes's boktrykkeri, I, 1914; II, 1921; III, 1928; Tillegg til III, 1928.
 - Bidrag til spørsmålet om nomenklaturen og klassifikasjonen av jordarter og jordsmonn i de nordiske land. Beretning fra N. J. F. Kongress 1923.
 - Jordarter og jordsmonn i Østfold fylke. — Skrifter av Det norske Vid.sk. Akademi, kl. I, 1933.
- BRENNER, THORD. Beispiele von Massenverdrängung durch Bodenbelastung. — Fennia 30, Helsinki 1928.
- Mineraljordarternas fysikalska egenskaper. — Bull. de la Comm. Géol. de Finlande no. 94. Helsingfors 1931.
- BRØGGER, W. C. Om de senglaciale og postglaciale nivåforandringer i Kristianiafeltet. — N. G. U. nr. 31, 1901.
- Utredning vedrørende Undergrunnsbanen og husenes synkning. Rapport til banedirektør Otto Aubert, datert 4. august 1922. — Utdrag etc., s. 229.
 - Referat av uttalelse på møte i Norsk geol. Forening 9. mars 1922. — N. geol. Tidsskr. B. VII, 1924.
- DIETRICHSON, BRYNJULF. Undersøkelser over norske lerer II, N. G. U. nr. 116; IV, N. G. U. nr. 120.
- EKSTRÖM, G. Klassifikasjon av svenska åkerjorlar. — Sv. geol. Unders. Årsbok 20, 1926.
- EKSTRÖM, G. och FLODKVIST, H. Hydrologiska undersökningar av åkerjord inom Örebro län. — Sv. geol. Unders. Årsbok 19, 1925.
- FROSTERUS, BENJ. Lerornas konsistensegenskaper. — Geol. Komm. i Finland. Geotekn. Meddelanden no. 24. Helsingfors 1920.

- FRIIS, J. P. Jordboringer i Værdalen etc. — N. G. U. nr. 27, 1898.
- Geotekniska Kommissionen. Statens järnvägars geotekniska kommission 1913—1922. Slutbetänkande. — Statens järnvägar. Geotekniska Meddelanden 2. — Centraltryckeriet, Stockholm 1922, 4^{to}.
- GOLDSCHMIDT, V. M. Undersøkelser over lersedimenter. — Beretning om Nordiske Jordbruksforskeres Kongress i Oslo 1926. Nordisk Jordbruksforskning.
- GRENNES, JOHS. Forsøk over sjøsalters innflytelse på lerers konsistens. — Utdrag etc. s. 680.
- HAUKELID, BJØRGULF. En undersøkelse om glidninger i lerterreng og disses årsaker. Særlig om de iakttagne bevegelser i Oslo. — Marius Starnes's boktrykkeri, Oslo 1930.
- HOLMSEN, GUNNAR. Nogen bemerkninger om Kristianias undergrund. — Foredrag i Norsk geol. Forening 27. april 1922. Trykt i Husbeskædigelsene i Kristiania IV, bilag til fellesinnlegg nr. 2 i Erstatningssaker anlagt mot A/S Holmenkollbanen. Kristiania, Marius Starnes's boktrykkeri 1923.
- Hvordan Norges jord blev til. — N. G. U. nr. 123, 1924.
 - Lerfallene ved Kokstad, Gretnes og Brå. — N. G. U. nr. 132, 1929.
 - Grundvandet i vore leravsetninger. — N. G. U. nr. 135, 1930.
 - Utrasning av elvebredden ved det nye brosted over Sollielven. — Meddelelser fra Veidirektøren, årg. 1933.
 - Lerfall i årene 1930—1932. — N. G. U. nr. 140, 1934.
 - Mikvollmelen. Norsk geol. Tidsskr. B. XIII, 1933.
- HOUGEN, KLÜVER og LØKKE. Undersøkelser over norske lerer V. Kjemiske analyser. — Statens råstoffkomitè's publ. nr. 22, Oslo 1925.
- HOLTEDAHL, OLAF. Da havet gikk inn over Oslodalen. „Aftenposten“ nr. 574, 16. november 1937.
- JOHANSSON, S. Die Festigkeit der Bodenarten bei verschiedenen Wassergehalt nebst Vorschlag zu einer Klassifikation. — Sv. geol. Unders. Årsbok 7, 1913.
- Agrogeologisk undersökning av Ultuna egendom. — Sv. geol. Unders. Årsbok 9, 1915.
 - Hydrogeologisk undersökning av ett lerområde vid Skara. — Sv. geol. Unders. Årsbok 18, 1924.
- KJERULF, TH. og SARS M. Iagttagelser over den postpliocene eller glaciæle formation. — Universitetsprogram for 1ste halvår 1860.
- KROGH, J. VON. Undersøkelser over norske lerer I, N. G. U. nr. 115, 1923; II, N. G. U. nr. 119, 1923.
- LARGE, OSCAR. Referat av foredrag om undergrunden og fundamenteringsforholdene i Kristiania. — Norsk geol. Tidsskr. 1924.
- Bestemmelse av vanninnhold i lerprøver. — Utdrag etc. s. 642.
- LIDÉN, GÖSTA. Sätningar vid Byggnadsverk. — Teknisk Tidsskrift, Väg och Vattenbyggnadskonst 1934.
- Nerdrums Opmåling. Undersøkelser av skjæve husvægger og maaling av bevægelser i grunden. — Utdrag etc. s. 715.

- Opmålingschefen i Oslo. Bemerkninger til ing. Haukelids avhandling om husskadene i tunnelzonen. — Utdrag etc. s. 768.
- ORVIN, J. E. Bygningskatastrofen i Göteborg. — Teknisk Ukeblad nr. 15, 1937.
- POST, L. VON. Ett egendomligt jordskred etc. — Geol. För. Förhandl. B. 37, 1915.
- REKSTAD, J. Eidsberg. — N. G. U. nr. 88, 1921.
- ROVE, OLAF N. Undersøkelser over norske lerer VI. Petrografiske undersøkelser. — Statens råstoffkomités publ. nr. 23, Oslo 1926.
- SCHETELIG, J. Utredning vedrørende Undergrunnsbanens skadevirkning til advokat P. A. Holm av 1. desember 1927. — Utdrag etc., s. 590.
— Tillegg til foregående av 25. oktober 1928. — Utdrag etc., s. 741.
- STRØM, K. MÜNSTER. Land-locked Waters. — Skrifter utgitt av Det norske Vid.sk. Akademi i Oslo, kl. I, 1936.
- SKAVEN HAUG, SV. Skjærfasthetsforsøk med lere. — Meddelelser fra Norges Statsbaner 1931.
— Grunnundersøkelser og geoteknikk. Foredrag holdt ved årsmøtet for norske kommunale ingeniørveseners forening 1936. — „Kommunalteknikk“ nr. 29, 1937.
- Utdrag i de kumulerte høiesterettssaker. O. nr. 14 m. fl. Fru Dagny Rytterager m. fl. mot A/S Holmenkollbanen og Arbeidsdepartementet. — 845 s., stort 8^{vo}. Trykkested og datum ikke angitt.
- Uttalelse fra den av arbeidsdepartementet den 18. februar d. å. i anledning plan for Undergrunnsbanens fremføring til Studenterlunden nedsatte kommission. Kristiania, A. W. Brøggers boktrykkeri 1922.
- VEGARD, L. Utredning av 14. februar 1923. — Husbeskadigelserne i Kristiania IV. Kristiania, Marius Stamnes's boktrykkeri 1923.
— Utredning av fysikalske problemer av vesentlig betydning for spørsmålet om årsakene til husbeskadigelsene i Oslo III. — Marius Stamnes's boktrykkeri, Oslo 1929.
— Utredning av fysikalske spørsmål vedrørende årsakene til sprekke-dannelser i Oslogårder. — Marius Stamnes's boktrykkeri, Oslo 1929.
- VOGT, J. H. L. Om husbeskadigelserne langs Undergrunnsbanen. — Kristiania, J. Chr. Gundersens boktrykkeri, I, 1914; II, 1916.
— Betenkning til Rådmanden for 2den avdeling, datert 17. august 1928. — Utdrag etc., s. 694.
-
-