

Nybygg Bygningsingeniøravdelingen
NTH Trondheim.

Supplerende grunnundersøkelse.
Stabilitet og fundamentering.

O.669-5

5.oktober 1971.

Bilagsfortegnelse:

- Bilag 1: Situasjonsplan m/borpunkter.
" 2-4: Profil I-IV m/borerresultater.
" 5-6: Profil V og VI m/stabilitetsberegninger.
" 7-15: Borprofiler, 11 hull (4 fra O.669).
" 16-17: Setningskurver, ødometerforsøk.

- Tillegg 1: Boringers utførelse.
" 2: Laboratorieundersøkelser.

1. INNLEDNING.

Etter anmodning fra Statens Bygge- og Eiendomsdirektorat i brev av 10.7.1970, har vi utført supplerende grunnundersøkelse for Bygningsingeniøravdelingens nybygg, NTH.

Undersøkelsen er utført etter retningslinjer foreslått i vårt brev av 29.6.1970.

Vi har tidligere utført en orienterende grunnundersøkelse for prosjektet, med resultater gitt i vår rapport O.669, datert 8.mai 1968.

Senere har prosjektet vært under utvikling, og det er blitt endringer siden det da foreliggende utkast, bl.a. er landskapsarkitekt Aasens plan for den terrengmessige behandling fremlagt, slik at prosjektet nå fremstår som vist i bilag 1.

Nybygget består av 2 deler, del 1 lengst vest med grunnflate ca 50 x 90 meter og del 2 i øst, ca 45 x 50 meter. Begge bygg er foreløpig prosjektert med underkjeller under det nedre adkomstplan og vil medføre relativt dyp utgravning inn mot skråningen, opptil 11 meter under tidligere terreng i nordøstre hjørne av del 1.

Under arbeidets gang har vi stått i kontakt med ark. Eggen og rådgiv.ing. Reinertsen v/siv.ing. Fjærvik.

2. UTFØRTE BORINGER.

Markarbeidet er utført i tiden 10.august - 3. september 1970 under ledelse av boreformennene T. Johnsen og I. Iversen.

Det er i 7 borpunkter utført dreiesondering med normaldreiebor, og i de samme borpunkter tatt opp uforstyrrede prøver med 54 mm sylindprøvetaker, i alt 53 prøver.

Borpunktene er satt ut i terrenget og nivellert ved vår siv.ing. Røe, og plasseringen fremgår av situasjonsplanen i bilag 1. (nummerert 1-6 og B-1)

Det er også tatt med borpunkter fra vår tidligere rapport 0.669.

Sonderingsresultater og jordartsbeskrivelse fra prøvetaking er gitt i profilene i bilag 2-6.

Boringenes utførelse er nærmere beskrevet i tillegg 2.

3. LABORATORIEUNDERSØKELSER.

De opptatte prøver er i vårt laboratorium først klassifisert og beskrevet, og deretter er det rutinemessig utført bestemmelse av romvekt og vanninnhold.

Udrenert skjærfasthet er i uforstyrret tilstand bestemt ved konusforsøk og enkle trykkforsøk, i omrørt tilstand ved konusforsøk.

Sensitiviteten er utregnet som forholdet mellom uforstyrret og omrørt skjærfasthet.

I tillegg er det for 4 prøver utført konsolideringsforsøk i ødometer.

Laboratoriedata er gitt i borprofiler, bilag 7-15 og setningskurver, bilag 16 og 17.

Forsøksmetodene er beskrevet i tillegg 2.

4. GRUNNFORHOLD.

Terrenget var ved de supplerende boringer sommeren 1970 grovplanert iflg. landskapsarkitekt Aasens plan, dvs. at en vesentlig utfylling var foretatt i skråningen mot Materialteknisk Institutt, og at utgravning til kjellergulv-nivå til dels var utført.

På den nedre del av området er det som tidligere påvist et øvre lag tørrskorpeleire, med betydelige variasjoner i grunnen videre i dybden, dette gjelder både jordartstype og fasthet.

For størstedelen av området er det imidlertid en middels fast til fast leire under tørrskorpelaget, for det meste med uregelmessig lagdeling og humusforekomster, som kan tyde på at avsetningene er tidligere rasmasse.

Det er også stedvis påvist sandlag av forskjellig mektighet. Det vises til mer detaljert beskrivelse i rapport O.669.

I skråningen mot Kjemiblokkene er det ved den supplerende boring 1 lengst vest ved dreiesondering påvist vekslende, men for det meste stor dreiemotstand, mens prøvetakingen til knapt 6 meters dybde viser meget fast tørrskorpeleire med sandlag og spredte humusforekomster.

I boring 2 mot skråningen i nord-øst er det fra ca kote + 40,6 påvist fyllmasse (middels fast leire) til 3 meter, videre meget fast tørrskorpeleire til prøvetakingen ble stoppet i 4 meters dybde. Dreiesonderingen indikerer fast grunn videre til stopp i dybde 12 meter.

I skråningen mot Materialteknisk Institutt er det ved boring 3 fra ca kote + 47 påvist 8,5 meter fyllmasse, for det neste bestående av leire og tørrskorpeleire.

Fra denne dybde, som stemmer bra med terreng høyden iflg. eldre kart, er det tørrskorpeleire videre til prøvetakingen ble stoppet i mellomsand i dybde 13,5 meter, avbrutt av et sandlag i 11-11,5 meters dybde.

Dreiesonderingen viser sterkt økende motstand fra denne dybde til stopp knapt 16 meter under nåværende terreng, mens den supplerende cobra-sondering viser at det er et bløtere lag over fjell som er påvist i dybde 21 meter (ca k + 26).

I boring 4 lenger øst er det fyllmasse til 3,5 meter, videre tørrskorpeleire til 6,5 meter og fast, siltig leire videre til fjell i dybde 8,5 meter.

Kompressibiliteten synes iflg. de utførte ødometerforsøk å være relativt liten, bortsett fra 1 prøve fra hull 1, hvor imidlertid den store kompressibilitet antas å skyldes humusforekomst.

Hva angår detaljer og talldata, henvises til profiler og borprofiler bilag 2-15.

5. STABILITET.

Stabilitetsundersøkelsen er konsentrert om profil V og VI i skråningen mellom Materialteknisk Institutt og det prosjekterte nybygg.

a. Profil V (bilag 5).

Dette profilet faller omtrent sammen med det tidligere profil II fra NGI-rapport O.208 fra 1955.

Den gang ble sikkerheten mot utglidning for daværende terreng (i profilet kalt opprinnelig terreng) beregnet til 1.16 som med avskavning ved toppen og bygging av Matr.tekn.inst. ble hevet til 1.28.

For terrenget som ble oppmålt i 1967, med vesentlig oppfylling ved fot skråning er beregnet sikkerhet 1.55.

Med den planlagte utforming av terrenget og det prosjekterte nybygg som vist i profilet, er sikkerheten igjen senket til 1.28 p.g.a. oppfylling i skråningen og innskjæring ved foten.

b. Profil VI (bilag 6).

Dette tilsvarer profil III i NGI-rapport O.208.

I dette profil er det for terrenget før 1955 beregnet sikkerhet mot utglidning på 0,95, for terrenget i 1967 med avskavning og motfylling 1,65 og prosjektert terreng og nybygg i vist beliggenhet 1, 27.

Det er ved stabilitetsberegningene benyttet skjærfastheter bestemt med vingebor ved NGI's undersøkelse i 1955.

c. Vurdering.

Den beregnede sikkerhet mot utglidning på ca 1,30 i begge profiler er i underkant av det som vanligvis tolereres.

Imidlertid er beregningene basert på skjærfasthetsmålinger før den store og stabiliserende oppfylling er utført i skråningen.

Oppfyllingen, som har ligget i lengre tid, må antas å ha ført til en viss konsolidering av leirlagene helt ned til fjell, med tilsvarende økning av udrenert skjærfasthet.

En slik fasthetsøkning synes å være påvist i borhull 4, hvor vingeboring i 1955 ga udrenert skjærfasthet på 4-5 t/m² i det bløteste laget over fjell, mens det på de nå opptatte prøver ikke er målt skjærfasthet under 7.5 t/m².

Da den reelle sikkerhet mot utglidning etter dette og p.g.a. en viss stabiliserende romvirkning synes å være noe større enn de beregnede verdier, finner vi at den viste plassering av nybygget, ikke skulle være stabilitetsmessig betenkelig.

6. FUNDAMENTERING.

Med o.k. gulv i underetasje på kote + 33,6 og fundamenteringsnivå på k + 32,5 - 33,0, vil fundamentene stort sett komme ned i tørrskorpeleire eller relativt fast, men noe uensartet leire.

Bæreevnemessig vil nybygget kunne fundamenteres direkte på såler, og i vår tidligere rapport er antydnet et såletrykk på 15-20 t/m²

Selv om et såletrykk på 20 t/m² for størsteparten av nybygget ville være fullt forsvarlig, finner vi av hensyn til risikoen for lokale, bløtere og evt. humusholdige lommer eller

linser, ikke å kunne tilrå høyere netto såletrykk enn 15 t/m².

Netto såletrykk: Belastning ned til ok. laveste gulv, dividert med fundamentflaten.

Selv med dette forsiktige såletrykk, vil vi som kontroll tilrå nøye inspeksjon av byggegropen når utgravning for fundamenter er fullført.

Setningsmessig er det vanskelig å gi en tallmessig beregning p.g.a. de lokale variasjoner, og derfor ble det av oss tilrådd utført setningsmålinger i forbindelse med tidligere planering.

Av resultatene, som er gitt i vår rapport O.669-4, datert 15.juli 1971, skal nevnes at det etter oppfylling på 4,5 meter for adkomstveien øst på området, i løpet av vel 1 år ble målt setninger av det tidligere terreng på ca 15 cm.

Det prosjekterte fotgjengerplatå på kote + 40,7 på oversiden av bygget vil i hjørnet mellom del 1 og 2 komme opptil 5,5-6 meter over det tidligere terreng, dvs. ved oppfylling representere en tilleggslast på grunnen på ca 11 t/m².

Selv om grunnen her synes vesentlig fastere enn ved det nevnte målepunkt, vil iflg. ødometerforsøk en slik oppfylling overslagsmessig kunne medført en setning av terreng og bygg av størrelse 10 cm.

Setninger som følge av byggenes egenvekt og nyttelast ventes å bli beskjedne, kanskje av størrelse opptil 2-3 cm, minst for nordre del av del 1 og del 2, litt større for søndre del av del 1.

Sammenfattende kan vi si at setningsproblemet først og fremst synes å ligge i den store oppfyllingen på tidligere terreng inntil bygget, særlig da i hjørnet mellom byggets del 1 og del 2.

Av tiltak for å redusere setningene kan nevnes forhåndsvis oppfylling (min. 1 år i forveien) eller at fotgjengerplataet etableres ved bærende dekke, uten oppfylling på tidligere terreng.

Bærende dekke. kan legges opp på konsoll på byggets grunnmur og på et fundament i innenforliggende skråning, f.eks. som vist på tegn. 68070-2024 fra rådgiv.ing. Reinertsen.

Det må imidlertid påpekes at ved en slik utførelse vil fundamentet stedvis komme i fyllmasse, slik at det må ventes noe setning som vil føre til økt helning utover fra bygget.

Dette skulle imidlertid ikke bety så mye, da en evt. skjemmende skjevhet vil kunne justeres med sandlaget under hellene.

Vi mener at det prinsipielt skulle være mulig å gjennomføre en slik utførelse, men regner at detaljer må tas opp nærmere i samarbeid med byggeteknisk konsulent, f.eks. hjørneløsningen mellom nybyggets del 1 og del 2.

7. JORDTRYKK.

Ved oppfylling for fotgjengerplata på kote 40,7 vil nybyggets yttervegg mot skråningen måtte dimesjoneres for jordtrykk i 7 meters høyde.

Jordtrykkets størrelse vil avhenge av de materialer som brukes ved tilbakefyllingen.

Ved bruk av et drenerende gruslag nærmest veggen og vanlig planeringsmasse, f.eks. tørrskorpeleire utenfor dette, skulle det være rimelig å anvende en jordtrykkskoeffisient 0,4-0,5.

Jordtrykket vil beregningsmessig bli relativt stort, og i tillegg til dimesjonering av ytterveggen, må det sikres en betryggende avstivning av denne.

Ved utførelse med bærende dekke for fotgjengerplataet, vil jordtrykksproblemet elimineres.

8. SAMMENDRAG OG KONKLUSJON.

Grunnen på området består stort sett av et øvre lag med velutviklet tørrskorpeleire, videre middels fast til fast leire, stedvis også sandlag og humusforekomster.

Den uensartede grunn kan tyde på at denne er tidligere rasmasse fra områdene innenfor.

Stabiliteten av skråningen opp mot Materialteknisk Institutt er, med prosjektert bygg og planering som vist i bilag 1, funnet å være tilfredsstillende.

Fundamenteringsforholdene er relativt gode, og til tross for variasjoner i jordarter og fasthet, finner vi at nybygget bæreevnemessig kan fundamenteres på såler med netto såletrykk 15 t/m^2 , under forutsetning av kontroll i ferdig utgravd byggegrop.

Setningsmessig ventes byggets egenvekt og nyttelast ikke å gi større problemer, mens derimot oppfylling for fotgjengerplata på innsiden vil medføre stor tilleggsbelastning på grunnen og kan gi setning av terreng og bygg av størrelse 10 cm.

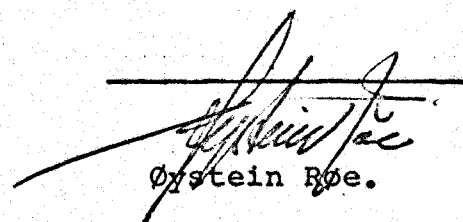
Bærende dekke for fotgjengerplataet vil redusere setningsproblemet for bygget og eliminere jordtrykksproblemet ved ytterveggen mot skråningen.

Ved fundamentering av dekket i fyllmasse i skråningen må det ventes setninger som kan føre til skjevheter, som imidlertid bør kunne rettes opp.

Fotgjengerplatået"bør derfor i prinsipp kunne gjennomføres som bærende konstruksjon , men det forutsettes et videre samarbeid om detaljene.

Vi står gjerne til tjeneste med råd og bistand under det videre prosjekteringsarbeide og utførelsen.

OTTAR KUMMENEJE.



Øystein Røe.

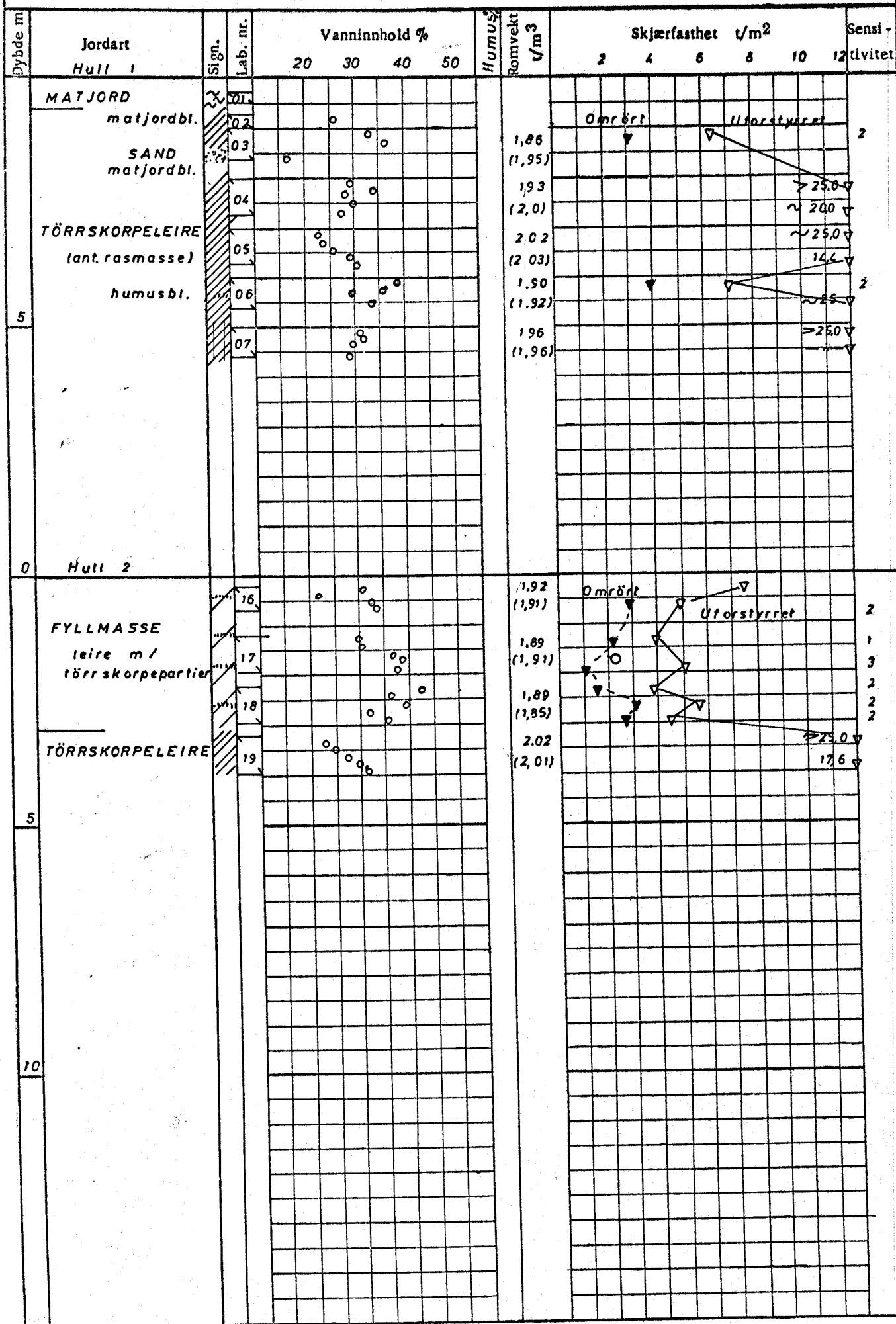
BORPROFIL

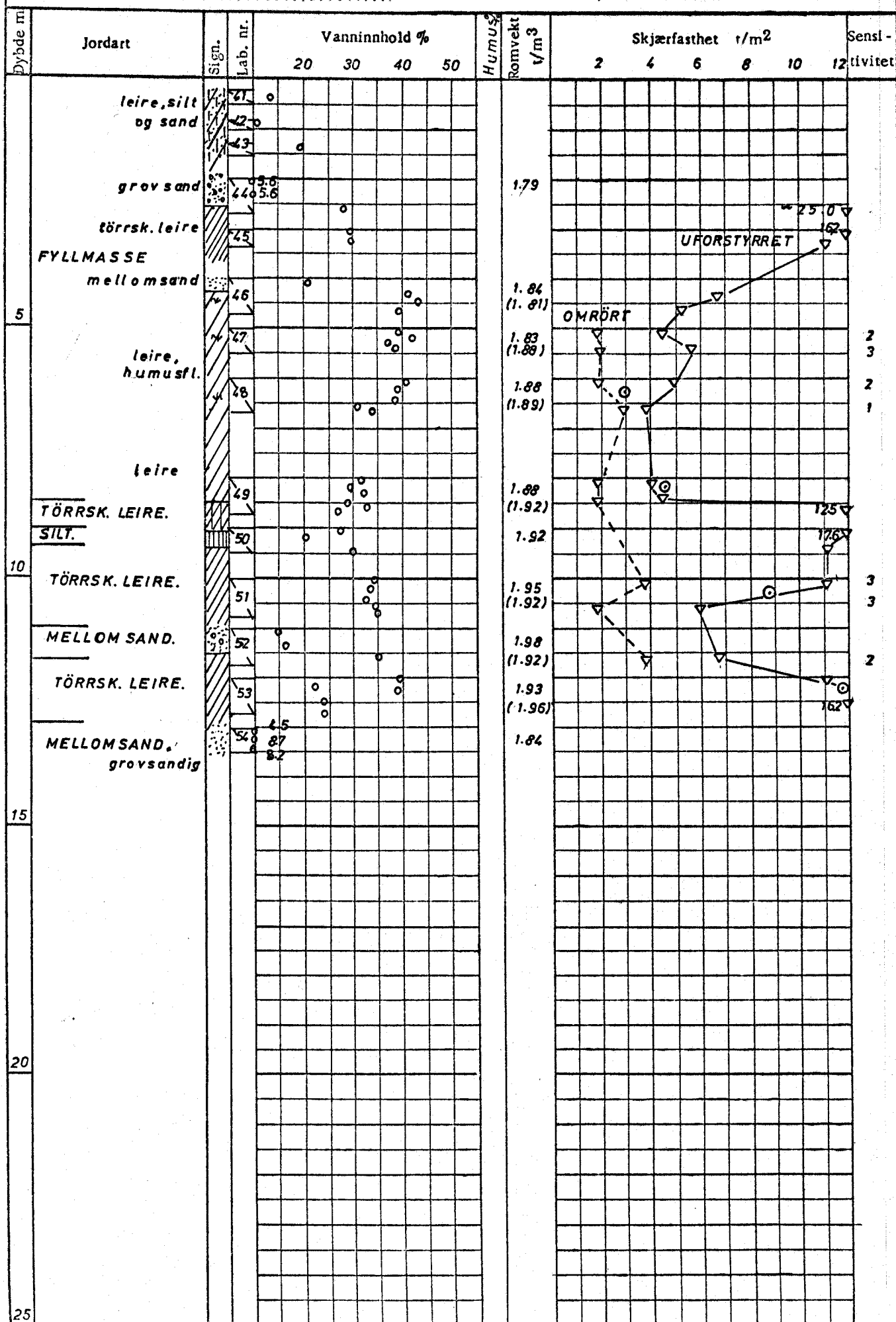
Sted NTH

Hull ... J. O. Q. 2. Bilag 7.

Nivå ... 38,32 ... 40,61 ... Oppdrag .Q. 669.-5 ...

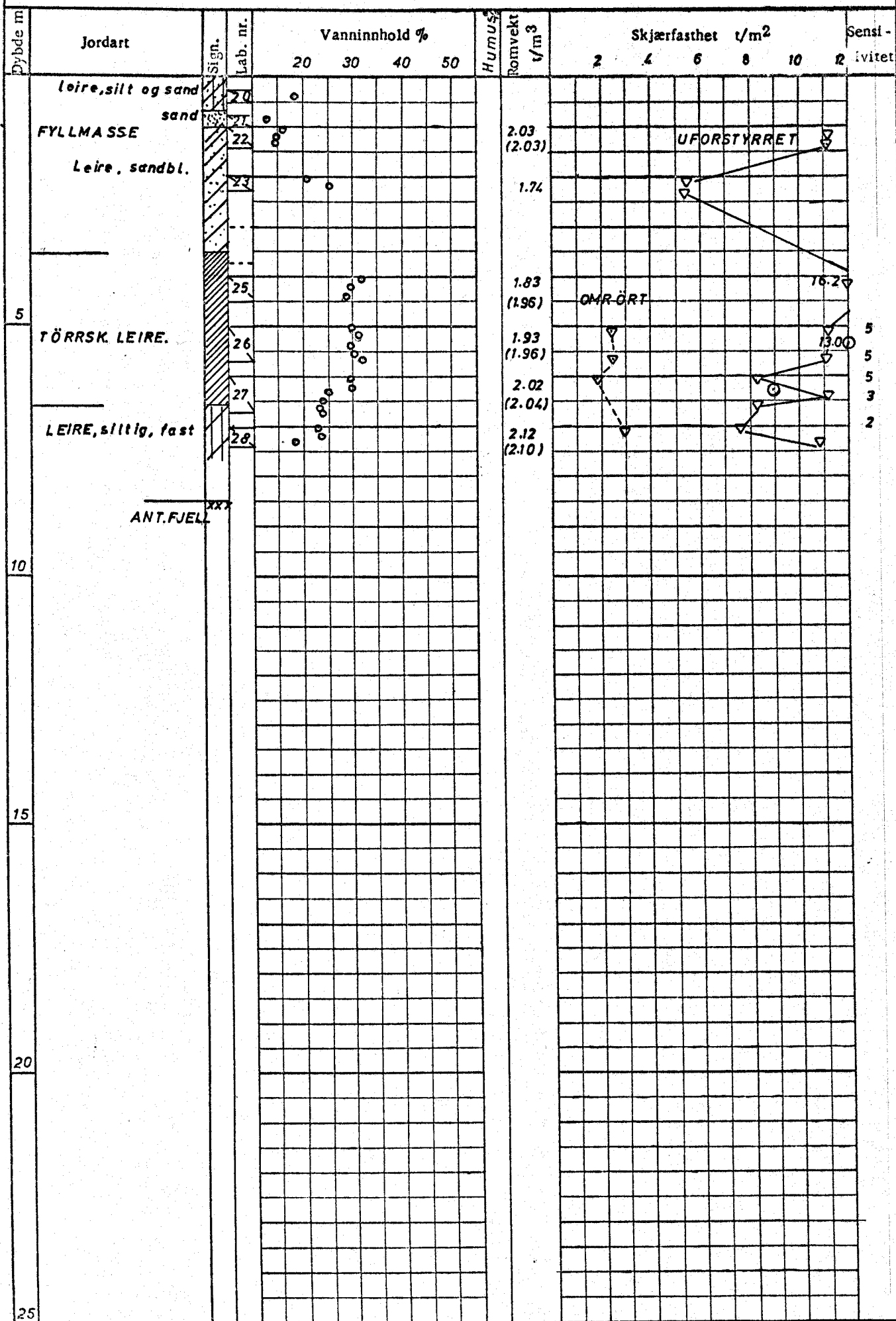
Prøve Ø ... 54 mm ... Dato .Okt. 70.

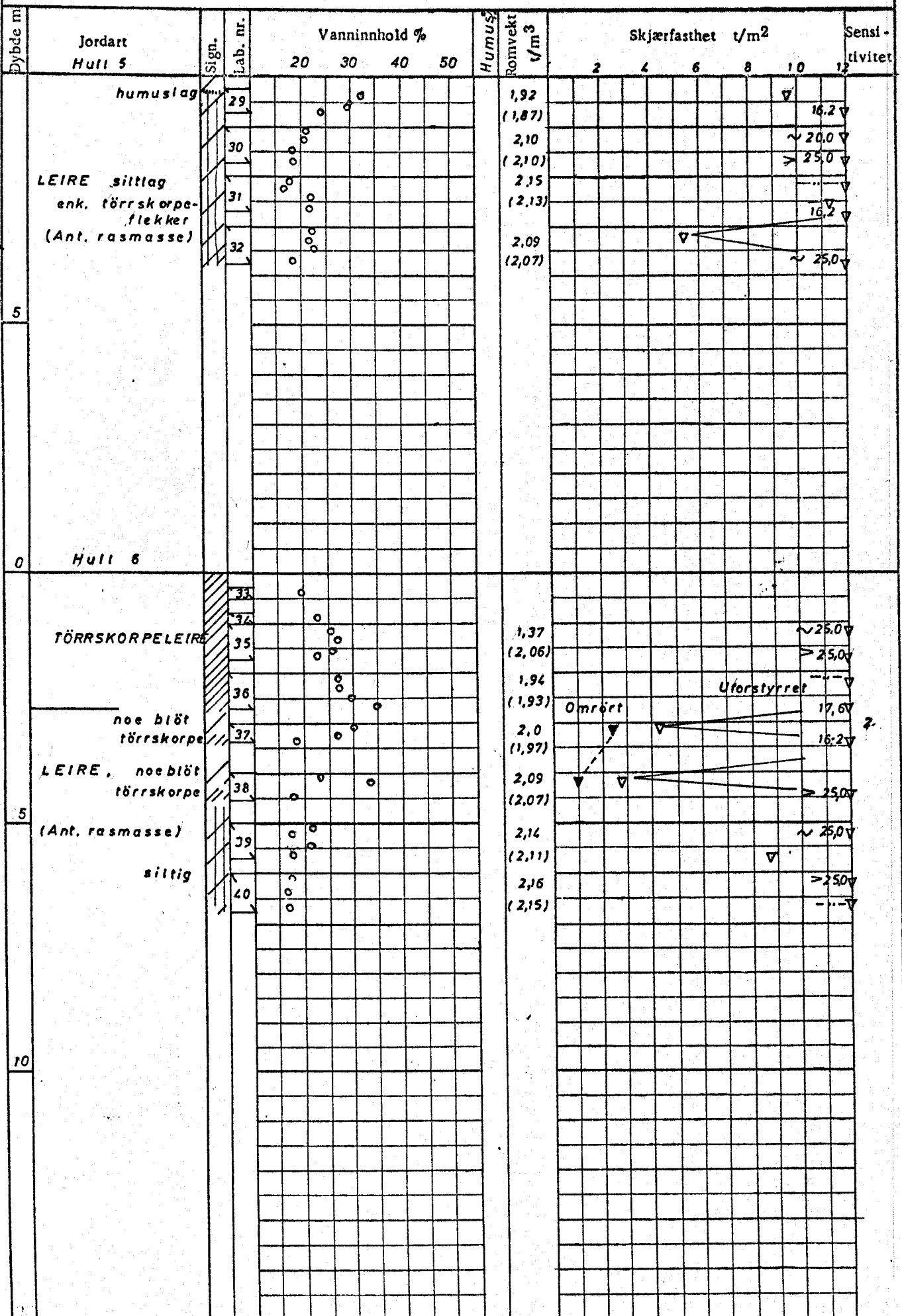




BORPROFIL

Sted NTH.

 Hull 4 Bilag .9
 Nivå $k = 43.67$ Oppdrag 0.669-5
 Prøve ϕ 54 mm Dato sept-70

 + vingeoring \odot enkelt trykkforsøk ∇ konusforsøk w = vanninnhold w_L = flytegrense w_p = utrullingsgrense



Sted N.T.H. BYGN. ING. AVD.

Prove ϕ ... 54 mm ... Dato ... April 68 ...
okt. - 71

[illegible]

\odot enkelt trykkforsøk ∇ vannforsøk w = vanninnhold w_f = flytegrense w_p = utrullingsgrense

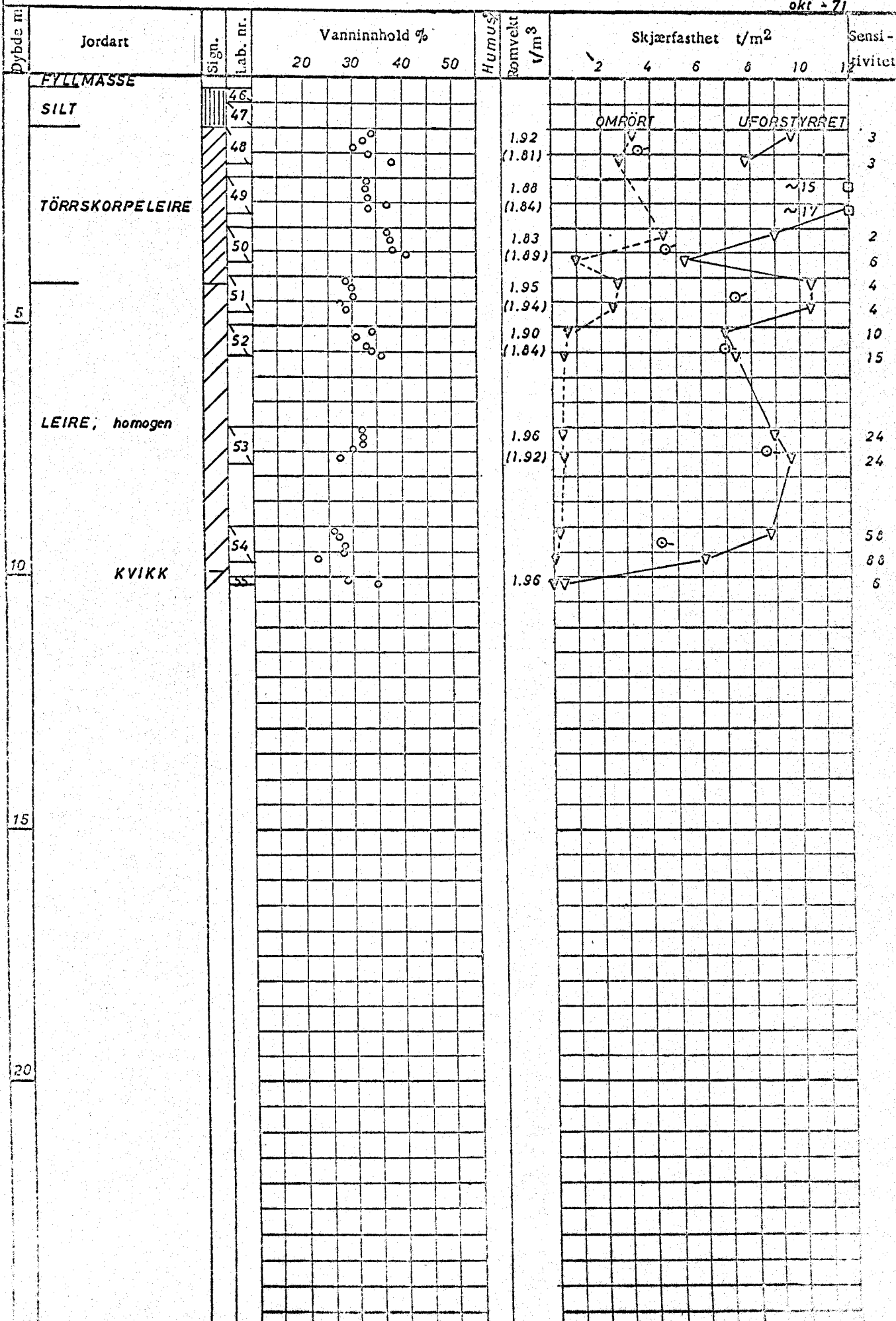
RÅDGIV. ING. O. KUMMENEJE

BORPROFIL

Sted N.T.H. BYGN. ING. AVD..

Hull B-7 Bilag 13

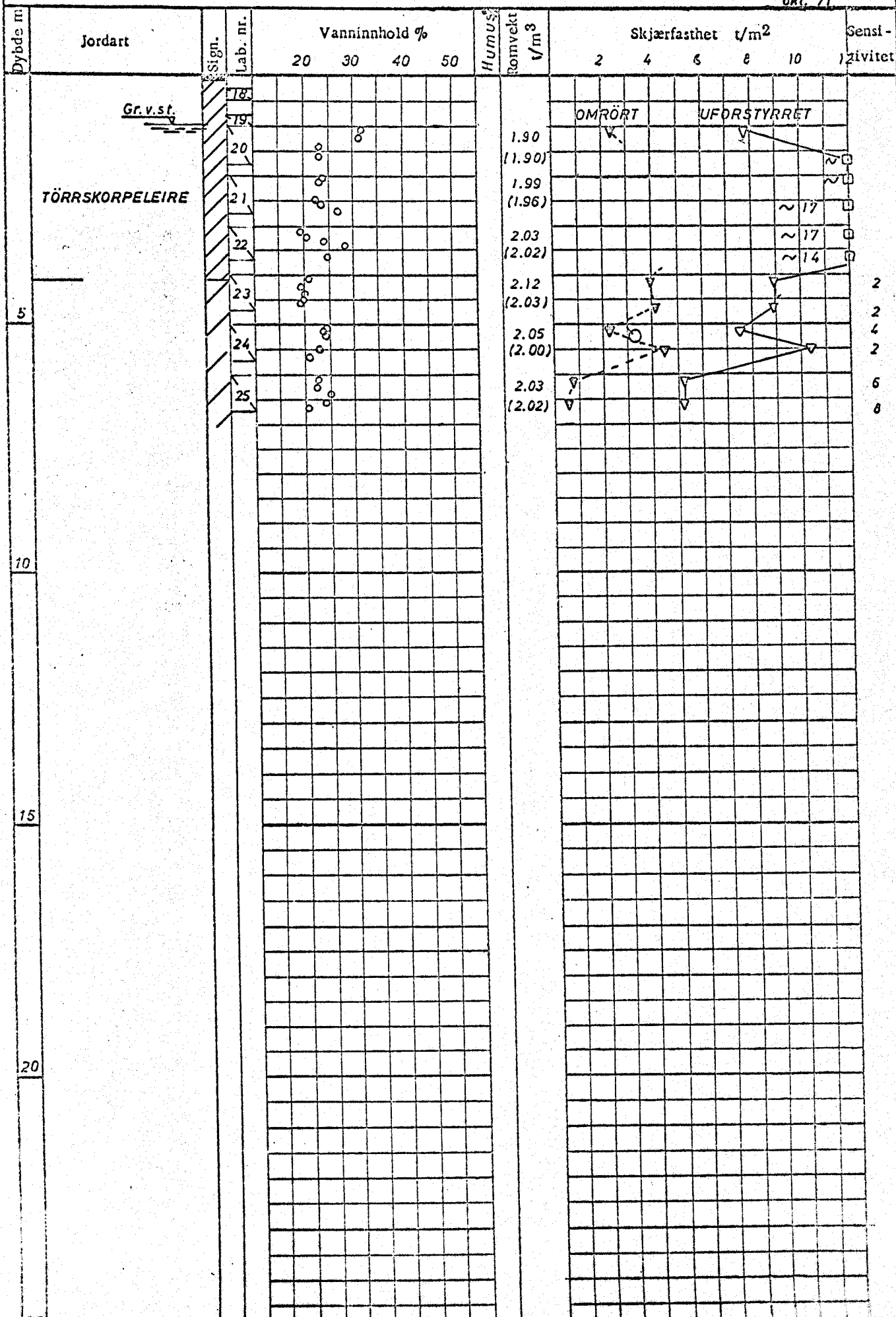
Nivå 40.20 Oppdrag 0.669-5

Prøve Ø 54 mm Dato April 68
okt - 71

RÅDGIV. ING. O. KUMMENEJE

BORPROFIL

Sted N.T.H. BYGN. ING. AVD.

Hull 6-2 Bilag 7-14
Nivå +34.54 Oppdrag 0.669-5
Prøve Ø 54 mm Dato April, 68
okt. 71

Sted N.T.H. BYGN. ING. AVD.

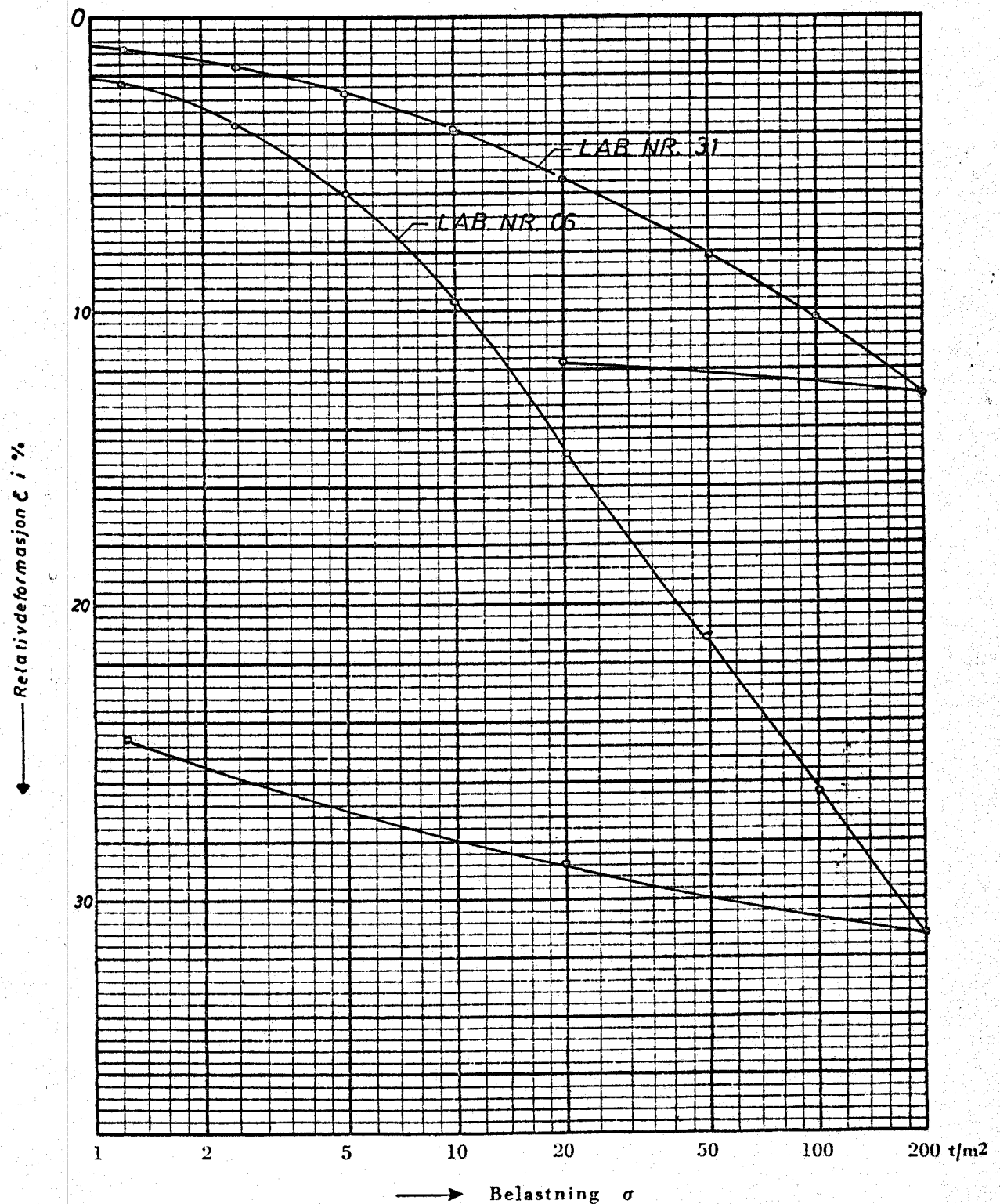
Hull .. C-4..... Bilag , 8, 15.....

Nivå . . . 36.23 Oppdrag . . 0.669-5

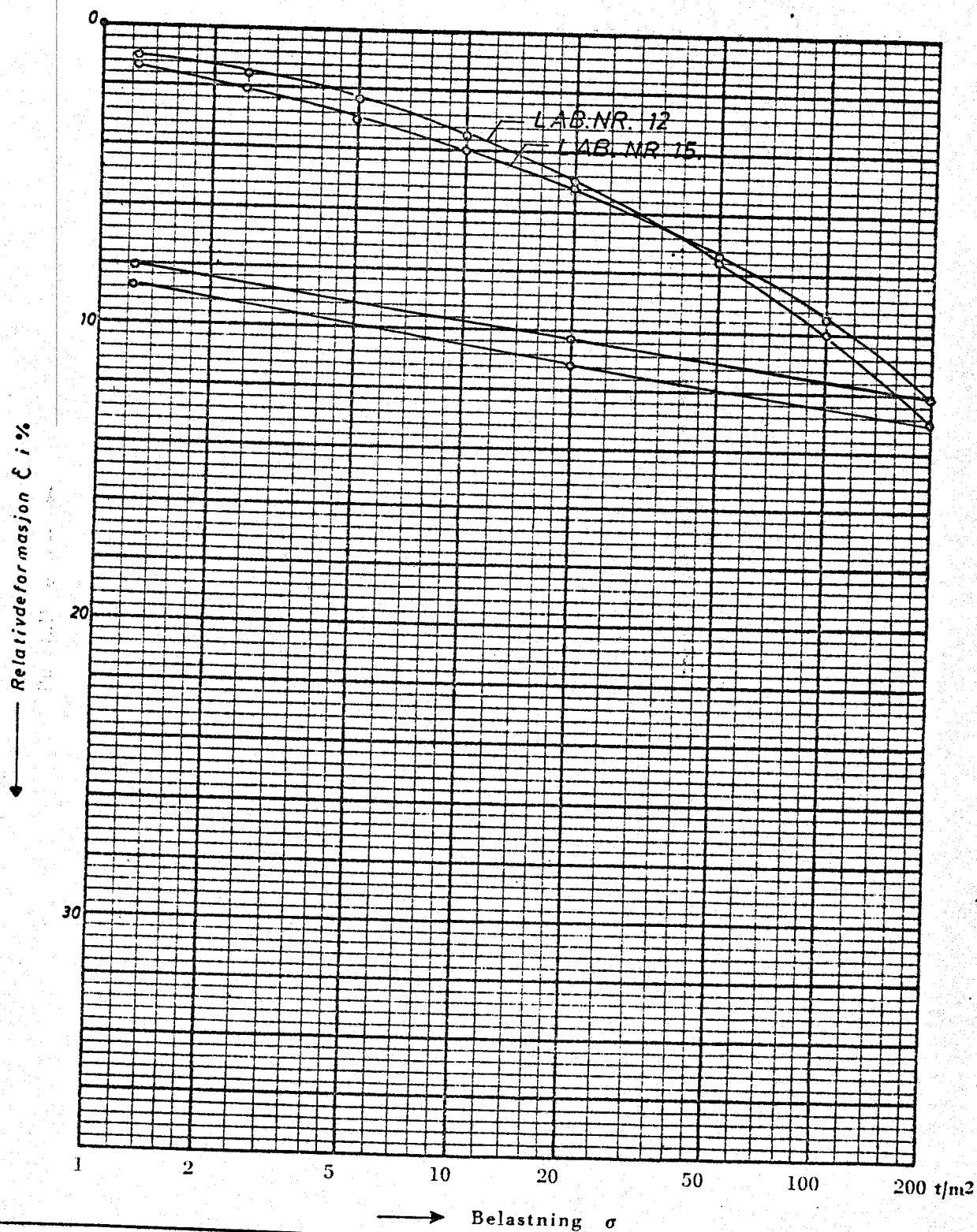
Prøve: ϕ ... 54 mm ... Dato ... April 68 ...
okt. - 71

[illegible]

Lab. nr.	Hull nr.	Dybde m	Effektivt overlag- ringstrykk t/m ²	For- belast- ning t/m ²	C _c Sammen- tryknings- tall	% Primær- setning	c _v Konsolide- ringskoeff m ² /sek. × 10 ⁷	E Elastisitets- modul t/m ²
06	1	4,0						
31	5	2,40						



Lab. nr.	Høll nr.	Dybde m	Effektivt overlag- ringstrykk t/m ²	For- belast- ning t/m ²	C _c Sammen- tryknings- tall	% Primær- setning	c _v Konsolide- ringskoeff m ² /sek. × 10 ⁷	E Elastisitets- modul t/m ²
12	<i>B-1</i>	2.40						
15	<i>B-1</i>	5.40						



Anmerkninger

T i l l e g g 1 BORINGERS UTFØRELSE.

A. SONDERINGSBORING FOR GRUNNENS RELATIVE FASTHET, EVT. FJELLDYBDE.

Dreiesondering utføres med normaldreiebor som nederst består av en 20 cm. lang pyramideformet spiss med sidekant 3 cm., som er vridd en omdreining. Spissen forlenges oppover med 20 mm. skjøtestenger i en meters lengder. Boret belastes trinnvis opp til 100 kg.'s last. Synker ikke boret med denne vekt, dreies det, manuelt eller med motor, og antall halve omdreininger pr. 20 cm. synkning blir notert.

Ved opptegningen er antall halve omdreininger pr. meter synkning vist grafisk i dybden i borhullet, og belastningen angitt til venstre i diagrammet.

Ramsondering utføres med 32 mm. massive stålstenger som skrues sammen med glatte skjøter og rammes ned i grunnen ved hjelp av et fallodd med vekt 70 kg. og konstant fallhøyde. Motstanden mot nedramming registreres ved antall slag pr. 20 cm. synkning og uttrykkes ved anvendt rammeenergi $Q_0 = WH/s$, der W = vekt av fallodd, H = fallhøyde og s = synkning pr. slag.

Maskinsondering utføres med lette bensindrevne fjellboremaskiner, hvor 20 mm. borstenger, skjøtbare i 1 meters lengder og forsynt med en spesiell spiss, rammes ned i grunnen. Den observerte nedsynkningshastighet som funksjon av dybden gir et relativt bilde av grunnens fasthet, men metoden benyttes oftest bare til bestemmelse av fjelldybde.

B. OPPTAKING AV PRØVER FOR LABORATORIEUNDERSØKELSE.

Uforstyrrede prøver tas opp med NGU's 54 mm prøvetaker. Prøvene blir her skåret ut med tynnveggede stålsylindere med innvendig diameter 54 mm. og lengde 80, eller 40 cm. Prøvene forsegles i begge ender for å hindre uttørking før de sendes til laboratoriet.

Representative prøver tas ved skovlboring i de øvre lag, av oppspylt materiale ved nedspyling av foringsrør, ved sandpumpe i nedspylte eller nedrammede foringsrør, og v.h.j.a. forskjellige typer ram-prøvetakere. Slike prøver tas hvor grunnen ikke egner seg for sylindrerprøvetaker og hvor slike prøver er tilfredsstillende.

C. MÅLINGER.

Vingeboring bestemmer udrenert skjærfasthet in situ ved at en vingekors, som er presset ned i grunnen, dreies rundt med bestemt jevn hastighet til brudd. Maksimalt dreiemoment gir grunnlag for å beregne leiras udrenerte skjærfasthet. Skjærfastheten bestemmes først i uforstyrret og etter brudd i omrørt tilstand for hver halve og hele meter i dybden.

Porevanntrykket i grunnen måles med et piezometer som nederst består av et sylindrisk filter av sintret bronse i lengde 30 cm. og med ytre diameter 32 mm. Filteret påsettes Ø 32 mm. emnesrør etter hvert som det presses ned i grunnen til ønsket måledybde. Fra filterets gjennomhullede kjerne fører en 8 mm. plastslange innvendig i rørene opp til overflaten. Vannstanden i slangen observeres med tiden til den innstiller seg på en bestemt høyde, og vannstandshøyden over filteret gir porevanntrykket i filterdybden. Ved vannstand betydelig over terreng, påsettes plastslangen manometer for trykkmåling. Porevanntrykket måles i flere dybder og opptegnes som funksjon av dybden.

Grunnvannstanden observeres direkte ved vannstand i borhullet.

Korrosjonssondering utføres med en sonde av stål med isolert magnesium-spiss (NGU's type). En måler i forskjellige dybde strømstyrke og motstand i elementet, og kan da beregne en relativ depolarisasjonsgrad samt grunnens spesifikke motstand, hvorav korrosjonsfare for jern og stål kan vurderes.

T i l l e g g 2. LABORATORIEUNDERSØKELSER.

Når prøven skyves ut av sylindren, beskrives og klassifiseres jordarten. For hver prøve utføres videre følgende bestemmelser:

Romvekt (t/m^3) for hel sylinder og utskåret del.

Vanninnhold (%) i vektprosent av materiale tørket ved $110^{\circ}C$, med 3 - 5 bestemmelser fordelt over prøven.

Plastisk område (for leirig materiale) i omrørt tilstand angis i % vanninnhold. Den øvre grense, flytegrensen, W_L , bestemmes ved Casagrandes flytegrenseapparat. Den nedre grense for det plastiske område er utrullingsgrensen, W_p , og området $W_L - W_p$ benevnes plastisitetsindeks.

Disse konsistensgrenser er til hjelp ved vurdering av materialet og dets egenskaper. Er det naturlige vanninnhold over flytegrensen, blir materialet flytende ved omrøring. Det plastiske område og flytegrensen øker også i alminnelighet med innhold av finere korn, leirpartikler.

Udrenert skjærfasthet, s_u , (t/m^2) bestemmes ved hurtige enaksiale trykkforsøk på prøver med tverrsnitt $3,6 \times 3,6$ cm. og høyde 10 cm. Skjærfastheten regnes lik halve trykkfastheten. Skjærfastheten bestemmes også i uforstyrret og omrørt tilstand ved konusforsøk. Dette er en empirisk metode, idet nedsynkningen av en konus med bestemt vekt og form måles, og skjærfastheten på dette grunnlag tas ut av en tabell. Penetrometer, som også er en indirekte metode basert på inn-synkning, brukes særlig på fast leire.

Sensitiviteten, $S = s_u/s'_u$, er forholdet mellom skjærfastheten i uforstyrret og omrørt tilstand, bestemt på grunnlag av konusforsøk i laboratoriet.

Konsolideringsforsøk utføres for å bestemme jordartens kompressibilitet. En prøve med tverrsnitt 20 cm² og høyde 2 cm. belastes trinnvis i et belastningsapparat med observasjon av sammentrykningen som funksjon av tiden. Prøvenes relative deformasjon opptegnes som funksjon av belastning i logaritmisk målestokk, konsolideringskurven.

Kornfordeling bestemmes for grovkornete materialer ved å sikte tørket materiale på sikt med maskeåpninger ned til 0,06 mm. Gjenliggende materiale på siktene veies, og gjennomgangen i vektprosent tegnes opp i et kornfordelingsdiagram mot siktenes maskeåpning. For finkornet materiale bestemmes kornfordeling ved hydrometeranalyse, idet en benytter seg av Stoke's lov om kulers synkehastighet i vann. Av en suspensjon av vann og kjent vekt av materiale måles volumvekt i bestemt dybde som funksjon av tid. Av dette kan en regne seg til kornfordelingen.

Jordarten benevnes i henhold til kornenes størrelse, med substantiv for den dominerende og adjektiv for medvirkende fraksjoner.

Fraksjoner	Leire	Silt	Sand	Grus	Stein
Kornstørrelse mm.	< 0,002	0,002-0,06	0,06-2	2-20	> 20

Humusinnhold bestemmes ved våtveis oksydasjon med kromsvovelsyre, idet frigjort CO_2 beregnes av gasstrykket. Kullstoffinnholdet settes til 50 % av humusinnholdet, som angis i vektprosent. Humusinnholdet kan også bestemmes relativt ut fra fargeomslag i en natronlut-oppløsning.

Saltinnholdet i porevannet finnes ved titrering og angis i g/l eller 0/00. Vannets klorinnhold bestemmes med kromsurt kali som indikator og med tilsetting av sølvnitratopløsning.

Spesielle undersøkelser, f.eks. triaksial- og permeabilitetsforsøk, samt undersøkelse av grunnvannets aggressivitet overfor betong, utføres ved behov.