

STATENS BYGGE - OG
EIENDOMSDIREKTORAT
04539 * - 3.4.64

Grunnundersøkelse
av området
fra Schives gate ned mot Nidelven
mellom Klostergata og A/S Trondhjems
Jernindustri, Trondheim.

o.185.

3. januar 1964.

- Bilag: 1. Situasjonsplan M = 1:1.000 med profiler og boringer.
 2-13. Profiler A - N med dreiesonderinger og jordartsbeskrivelse.
 14-25. Borprofiler hull 2, 3, 4A, 4B, 5, 6, 8A, 8C, 9, 13, 15 og 17.
 26-28. Kornfordelingskurver.
 29. Konsolideringskurver fra ødometerforsøk.
 30-36. Triaksialforsøk. Spenningsdiagrammer.
 37-39. Triaksialforsøk. Mohr's spenningsdiagram.
 40-45. Stabilitetsberegning profil A, B, C, CK, M og M'.
- Tillegg 1. Boringers utførelse.
 - " - 2. Laboratorieundersøkelser.

| | | |
|---|------|----------|
| Innhold: 1. Innledning | side | 3. |
| 2. Tidligere undersøkelser i området. " | " | 4. |
| 3. Utførte boringer og målinger i marken " | " | 5. |
| 4. Laboratorieundersøkelser | " | 6. |
| 5. Beskrivelse av grunnforhold, " | " | 7. |
| a) Terreng | " | 7. |
| b) Løsavleiringer. | " | 7. |
| c) Fjellet | " | 10. |
| 6. Triaksialforsøk, utførelse og resultater | 10. | |
| Silt | s. | 12. |
| Kvikk siltig leire | " | 12. |
| 7. Stabilitetsberegninger | " | 12. |
| a) Generelt | " | 13. |
| b) Beregningsforutsetninger | " | 14. |
| c) Resultater av beregninger. | " | 15. |
| Profil A | " | 15. |
| - " - B | " | 15. |
| - " - C | " | 17. |
| - " - CK. | " | 17. |
| - " - M og M' | " | 17 - 18. |
| 8. Vurdering av stabilitetsforhold. | " | 18. |
| 9. Fundamenteringsforhold | " | 22. |
| 10. Sammendrag og konklusjon | " | 23. |

1. INNLEDNING.

Etter oppdrag av Statens Bygge- og Eiendomsdirektorat og Byingeniøren i Trondheim i brev av henholdsvis 29/1 1963 og 21/3 1963 har en utført grunnundersøkelse på et område på sydsiden av Nidelven nedstrøms for Elgeseter bro.

Området strekker seg fra Nidelven 200 meter inn til Schives gate og ca. 200 meter langs elven fra Klostergata nedstrøms til A/S Trondhjems Jernindustri's tomt. Arealet ligger innen Norges Tekniske Høgskole's Interesseområde, og vi ble første gang kontaktet om en eventuell grunnundersøkelse av området i brev av 1/11 1962 fra Byggekontoret ved N.T.H.

En var på den tid startet med en mindre undersøkelse av stabilitetsforhold i elvekanten mot Nidelven for et mindre hus i Vollafallet 12 etter anmodning av Byingeniøren. Ved undersøkelsen fant en det riktig å utføre en dypere boring lengere inne i skråningen, og en kom her ned i kvikk leire. I rapporten o.160 datert 23/11 1962 ble det gjort oppmerksom på at en med kvikkleire under det øvre platå kunne ha usikre stabilitetsforhold. På bakgrunn av det historiske skred i Duedalen og de tidligere undersøkelser i skråningen ned mot øvre Bakklandet lenger øst, samt undersøkelsene for N.T.H.'s Idrettsbygg lenger oppe i syd, fant en å måtte tilrå en snarlig undersøkelse av stabiliteten for platået på sydsiden av Nidelven nedstrøms for Elgeseter bro. I brev av 4/12 1963 til Byingeniøren redegjorde en nærmere for grunnen til forslaget og omfanget av en slik undersøkelse.

Da Byingeniøren's og Høgskolen's interesser på dette parti tangerte hverandre, ble det enighet mellom disse instanser om å bekoste en felles undersøkelse. Ved denne satte en seg derfor som mål å kunne gi svar på følgende 2 spørsmål:

1. Stabilitetsforholdene for området ned mot Nidelven.
2. De generelle fundamenteringsforhold på området med sikte på senere bebyggelse.

Med hensyn på første del av oppgaven fant en allerede på nåværende tidspunkt å gjøre oppmerksom på at det for tiden råder en viss usikkerhet med vurderingen av stabilitet i forbindelse med lagdelte kvikke jordarter. Det var derfor mulig at det innenfor rammen av denne generelle undersøkelse ikke kunne gis

et absolutt klart svar, og at det ville være behov for fortsatte mere forskningsbetonte undersøkelser av eventuelle kvikke forekomster.

2. TIDLIGERE UNDERSØKELSER I OMRÅDET.

Under arbeidet har en bl.a. gått gjennom Byingeniøren's arkiv for å se om det tidligere er utført boringer i området som kan ha betydning for den foreliggende undersøkelse.

I 1893 er det således utført noen dreiesonderinger i skråningen fra det øvre platå mot Vollafallet, kalt Vollakammen. Utstyret var noe annerledes enn det nå anvendte dreiesonderingsutstyr, idet det ble brukt 2 1/2" "spidsbor" med vekt 250 kg. Sonderingene, hvorav enkelte ble ført til 20 meters dybde, viste stort sett fast grunn og hovedsakelig sand i dybden.

I 1907 lot Stadsingeniøren utføre dreiesonderinger i et rutenett med ca. 50 meters avstand fra teglverkets tomt opp Singsaker-skråningen til på høyde med nåværende Eidsvolds gate. Boringene ligger øst og syd for N.T.H.'s Interesseområde, og er antagelig utført i forbindelse med en "utrasning" i skråningen syd for teglverket ned mot Lillegårdsbækkens gamle leie, angitt i ca. 100 meters lengde langs skråningen.

Sonderingene, utført med 200 kg.'s last, viser etter undertegnedes mening noe varierende forhold med synk uten dreining til 5 - 6 meters dybde i et betydelig antall av de utførte boringer. Ved enkelte spredte boringer var det også bløtt til større dybde, og i 1 hull ble det således observert synk uten dreining fra 3 til 32 meter. Sonderingene nærmest syd og øst for N.T.H.'s Interesseområde viser derimot bedre og heller relativt god fasthet.

Selv om de følgende boringer ligger i betydelig avstand øst og nord for det aktuelle område, bør det nevnes at kommunens boringer mot elven ved Bakklandet 26 - 30 oppgir fast grunn av hard leire. Videre utførte Norges geotekniske institutt i 1955 en inngående stabilitetsundersøkelse av den ikke bebygde skråning fra Skanseporten ned mot øvre Bakklandet og Lillegårdsbakken ca. 400 meter nordøst for området. Denne undersøkelse konkluderte i at selv om en ikke anså skråningen farlig stabilitetsmessig i sin naturlige tilstand, fant man å måtte frarå bebyggelse og anleggsarbeider da sikkerheten mot utglidning bereg-

ningsmessig var noe liten.

Byingeniøren utførte i 1958 en undersøkelse nordøst like utenfor Interesseområdet på tomten Vollabakken la under den 9 - 10 meter høye steile skråning nordover fra plataet ved østenden av Korsgata. De 4 prøvetakingshull, angitt på situasjonskartet, viste finsand og silt i de øvre lag, og i dybden fra 3 - 6 meter leire med skjærfasthet $3 - 6 \text{ t/m}^2$ og relativt stor sensitivitet når en kommer noe ut fra skråningsfot, stort sett 30 - 40, men også verdi opp til 184. I hullet nærmest skråningen er skjærfastheten $3,5 - 5 \text{ t/m}^2$ og sensitiviteten 5 - 17.

Undertegnede har foruten den tidligere omtalte undersøkelse høsten 1962 for Vollafallet 12 nede ved elven (i området), også våren 1963 utført undersøkelse for Idrettsbygget ved N.T.H. oppe ved øvre Allé ca. 200 meter syd for området. Disse borer viste under et øvre sandlag bløt grunn, og for en av boringene ble det observert synk uten dreining fra kote + 32 ned til kote + 5 og fast grunn på ca. kote 0. Prøvetakingen til 30 meters dybde viste fra 8 meter kvikk leire med skjærfasthet fra 2 t/m^2 stigende i dybden til 5 t/m^2 og sensitiviteter i området 20 - 200.

Da prøvetakingen i Vollafallet hadde vist kvikk leire i dybden fra ca. kote + 1 og ved Idrettsbygget 400 meter syd lenger oppe i skråningen fra ca. kote 31, skulle dette ved kvikk leire på det mellomliggende parti kunne tilsi dannelse av glideflater med helning f.eks. 1:10 ut mot elven. Da en videre kjenner til at det tidligere er gått ut skred fra Duedalen lenger øst mot Nidelven i samme skråning, fant en derfor ikke å kunne unnlate å si fra om denne mulighet for dårlig stabilitet mot Nidelven og snarest tilrå en undersøkelse. *)

3. UTFØRTE BORINGER OG MÅLINGER I MARKEN.

Markarbeidet ble utført i tiden 30. april - 24. august 1963 med O. Hårnes fra A/S Anlegg og T. Johnsen fra undertegnede som boreformenn. Hjelpemannskap ble i det vesentlige leiet fra A/S Anlegg.

*) Den 18. juli 1625 gikk det et større skred som fylte Nidelven med jord og leir, slik at folk kunne gå tørrskodd fra byen til Bakklandet. 20 mennesker omkom.

Boringene er utført i 3 profiler i skråningen ned mot elven, samt på det indre område i profiler langs Vollabakken, Korsgata og Schives gate. Boringene har bestått i dreiesonderinger i 27 punkter, de fleste ført ned til 30 meter under terreng, men med enkelte noe dypere, opp til 38 meter.

I 12 hull ble det tilsammen tatt opp 119 stk. uforstyrrete, i det vesentlige 80 cm. lange prøver med 54 mm. sylinderprøvetaker, og 19 omrørte representative prøver fra de øvre lag med sandpumpe og skovlbor. Vinge boring for måling av skjærfastheten in situ er utført i 2 hull. For måling av grunnvannstand og poretrykk ble det satt ned poretrykkmålere på 5 steder med målinger i forskjellig dybde ned til 16 meter under terreng.

For å komme ned med boringene gjennom det faste stein og gruslag som ligger over størstedelen av området, måtte en forramme med ramsonderingsstenger for sonderboringene og poretrykksmålerne.

For prøvetakingen ble det nedrammet foringsrør gjennom dette øvre grove lag. Borearbeidet ble derfor noe tidskrevende og vanskelig, spesielt da forholdene fremme i skråningen viste noe varierende forhold.

Boringer og profiler ble stukket ut fra bestående bebyggelse i området, og plaseringsen fremgår av situasjonskartet i bilag 1.

På terrengprofilene bilag 2 - 13 er resultatet av dreiesonderingene opptegnet i diagrammer som viser dreiemotstanden i dybden. På profilene er også angitt en jordartsbeskrivelse ifølge prøvetakingene.

Poretrykksmålingene er vist på profilene for stabilitetsberegningene, bilag 40 - 43, idet porevanntrykket er tegnet som funksjon av dybden ved målepunktene. Boringenes utførelse er nærmere beskrevet i tillegg 1 etter bilagene.

4. LABORATORIEUNDERSØKELSER.

De opptatte prøver er undersøkt i vårt laboratorium, og foruten beskrivelse av prøven med jordartsklassifisering er det generelt utført bestemmelser av vanninnhold, romvekt og for de leirige prøver av udrenert skjærfasthet ved konus og enkle trykkforsøk. Videre er sensitiviteten, som er forholdet mellom skjærfastheten i uforstyrret og omrørt tilstand, bestemt for de leirige

prøver ved konusforsøk.

For enkelte utvalgte prøver er det dessuten utført spesiell bestemmelse av kornfordeling med hydrometeranalyse for 12 prøver, kompressibilitet for 2 prøver og saltinnhold for 13 prøver. Videre er flyte- og utrullingsgrensene bestemt ved 34 prøver for å finne leiras plastiske område og egenskaper i relasjon til det naturlige vanninnhold. For bestemmelse av skjærfasthetsparametrene c og ϕ med sikte på anvendelse i stabilitetsberegning er det utført triaksialforsøk med utstyr leiet av Institutt for Geoteknikk og Fundamenteringslære, N.T.H., ved undertegnede laborant.

Resultater av laboratorieundersøkelsene er vist i tall og diagrammer på borprofilene i bilag 14 til 25, og resultat av kompressibilitetsforsøkene i e -log p kurver er vist i bilag 29. Triaksialforsøkernes resultater er fremstilt i bilagene 30 til 39, og disse blir nærmere omtalt og vurdert i eget kapittel. Forøvrig vises til tillegg 2 hvor laboratorieundersøkelsen utførelse er nøyere beskrevet.

5. BESKRIVELSE AV GRUNNFORHOLD.

a. Terrenget.

Størstedelen av det undersøkte område, det øvre platå, ligger forholdsvis horisontalt mellom kote 20 og 21. Mot nordvest faller terrenget temmelig steilt ned mot et lavere platå ved Volla-fallet mellom kote 6 og 10 og videre ned mot Nidelven, 50 - 60 meter utenfor kanten av det øvre platå. Nordøstover skråner terrenget ned mot Bakklandet på ca. kote 10, relativt slakt ved Vol-labakken og steilere østover ved enden av Korsgata. Innerst på området i sydøst stiger terrenget igjen til ca. kote 30 ved Schives gate, ca. 200 meter inne fra elven.

b. Løsavleiringene.

På terrengprofilene bilag 2 - 13 er det angitt en jordartsbeskrivelse som viser grunnforholdene i området, og grunnen ved de enkelte prøvetakingshull fremgår av borprofilene bilag 14-25.

I store trekk kan forholdene beskrives ved at grunnen fra det øvre platå består av lag skiftende fra grus og sand til grovsilt, kvikk silt med tynne leirlag og nederst kvikkleire. Lagene kan følges i borhullene, og lagskillene ser ut til å ha en helning

6 - 8° ut mot elven, mens de brytes i elveskråningen, hvor grunnen ned mot elven i de øvre lag består stort sett av friksjonsmaterialer uten inntrykk av gjennomgående lagdeling. En formoder at massene i skråningsfot er nedglidde masser fra de øvre lag på det høyere platå.

Under platået på kote 2o er det øverst et ca. 5 meter tykt lag av grove friksjonsjordarter med delvis stort steinninnhold. I dette laget er det også lag av finsand og silt i-sær i de øvre 1 - 3 m. og innover platået. Laget tiltar i tykkelse mot sørvest, mens det forsvinner mot skråningene i nordøst. Videre i dybden er det et lag av fast grov silt av opptil 5 meters tykkelse, og et lag av kvikk silt 1 - 5 meter tykt med tynne lag av meget kvikk leire. Under den kvikke silten er det en markert overgang til fet kvikk-leire, som i dybden blir mere mager eller siltig. I større dybde, ca. 3o meter, er leira ikke kvikk.

Det øvre lag var under 1 - 2 meters dybde for grovt til å ta uforstyrrede prøver fra. De øverste 1 - 2 meter består av finsand og silt, på enkelte steder noe humusblandet. Sonderingene viser at laget er tildels meget fast med stor stein, især i den sørvestre del av området.

Grovsiltlaget under er forholdsvis fast med skjærfastheter i området $4 - 10 \text{ t/m}^2$, vanninnhold ca. 25 % og romvekt $2,0 - 2,05 \text{ t/m}^3$.

Det følgende kvikke siltlaget er delvis noe leirig og har flere 1 - 6 cm. tykke lag med meget kvikk leire. Prøvene fra kvikk-siltlaget viste seg ved åpningen på laboratoriet stort sett å ha fått sammenbrudd i strukturen, d.v.s. at de var forstyrret og delvis flytende, slik at bestemmelsen av skjærfastheten ble usikker eller ga for lave verdier.

I hull 9 og 1o ble det derfor utført vinge boring med måling av skjærfastheten in situ. Målingen viste en uforstyrret skjærfasthet som varierte fra $3 - 7 \text{ t/m}^2$ og omrørt fasthet rundt $0,1 \text{ t/m}^2$. Vanninnholdet var ca. 25 % og romvekten $2,04 \text{ t/m}^3$.

Hvor det var mulig ble skjærfastheten bestemt i de tynne kvikk-leirelag med resultat $2,5 - 3 \text{ t/m}^2$ i uforstyrret tilstand og sensitiviteter helt opp i 44o.

Under silten har en over størstedelen av det undersøkte område en markert overgang til leire.

Leira er øverst forholdsvis fet med vanninnhold fra 35 - 50 % og romvekt 1,8 - 1,9 t/m³. Skjærfastheten ligger i området 4 - 7 t/m² og selv om sensitiviteten er høy, ca. 20 - 30, og det naturlige vanninnhold ligger over flytegrensen, kan dette øvre lag ikke direkte karakteriseres som kvikk, da leira ikke blir direkte flytende i omrørt tilstand. Leira blir mere siltig og kvikk i dybden. Den siltige kvikkleire har et vanninnhold på mellom 25 - 30 % og romvekt rundt 2,0 t/m³. Den udrenerte skjærfasthet varierer nokså meget på området, 2 - 6 t/m², og sensitiviteten er fra 20 - 60. Leira er lite plastisk med plastisitetsindekser fra 4 - 7 %.

Kornfordelingsbestemmelsene i bilag 26 - 28 viser at grovsilten har 5 - 10 % leirfraksjon (lab.nr. 06 og 55), og den kvikke leirige silt under 15 - 20 % (lab.nr. 57, 60 og 25). Den nederste kvikke siltige leire har leirinnhold 25 - 40 % (lab.nr. 14, 18, 70 og 79), mens det øverste fetere parti har såvidt høyt leirinnhold som 64 %. Kvikkleirelagene i den kvikke silt ser ut til å ha leirfraksjon ca. 25 % (lab.nr. 92), noe som tilsvarer den nedre siltige kvikkleire.

Under skråningene og platået ned mot Nidelven er grunnforholdene noe skiftende, men stort sett er det ned til 5 - 10 meters dybde friksjonsjordarter bestående av sand og grus øverst og silt nederst. Under dette laget er det kvikk leire. I den nordlige del av det nedre platå hvor dreiesonderingen viste de dårligste forhold ble det utført vinge boring som viste uforstyrret skjærfasthet varierende fra 2 - 6 t/m² og omrørt skjærfasthet fra 0,2 - 0,8 t/m². Boringene midt på platået viste meget fast grunn med stein ned til 10 - 14 meter under terreng. En maktet her ikke med vanlig utstyr å føre boringene gjennom dette laget.

Boringene på toppen av skråningene i Schives gate viser lag med sterkt varierende fasthet ned til 7 - 10 meter under terreng. Videre i dybden er det sannsynligvis leire med tiltakende fasthet i dybden.

De utførte ødometerforsøks konsolideringskurver vist i bilag 29 har en slik form at det på grunnlag av disse er vanskelig å si om leira i dybden har vært overkonsolidert i forhold til nåværende overlagingstrykk.

Saltinnholdsbestemmelsene ga såvel i den øvre silt, kvikke silt, som i den mer eller mindre kvikke leire under et saltinnhold i

porevannet stort sett mellom 0,5 og 1,0 g/l. Det er ved forsøk konstatert at marin leire ved saltutvasking får en reduksjon i udrenert skjærfasthet og inntredende kvikkhet når saltinnholdet kommer under 10 - 15 g/l. Utvaskingens virkning kan ikke sies å være i full grad klarlagt, men en mener at det ved utvasking til mellom 1 og 0,4 g/l nås maksimal kvikkhet.

De bestemte saltinnhold tyder på at leira her er betydelig utvasket, helt ned til den ovenfor nevnte grense, og etter under- tegnedes mening skulle en da ikke for leira i dette område vente noen ytterligere skjærfasthetsreduksjon av betydning.

c. Grunnvannstand og poretrykk.

Grunnvannstanden i området er observert ved nedsatte poretrykksmålere og i de enkelte prøvetakingshull. Under det øvre platå ligger grunnvannstanden forholdsvis dypt, ca. 5 - 7 meter under terreng, og ved det nedre platå fra 1 - 4 meter under terreng.

Poretrykket i dybden observert med de nedsatte poretrykksmålere, viser stort sett hydrostatisk trykkfordeling fra grunnvannstanden. I foten av skråningen helt nede ved Nidelven er det noe poreovertrykk svarende til hydrostatisk trykk fra høyvannstand i elven.

d. Fjellet.

Fjell er ikke observert ved noen av boringene i området, som i hull 9 er ført til 38,5 meter under det øvre platå, eller ned til kote + 23 i hull 2 og 10 i skråningsfot.

6. TRIAKSIALFORSØK, UTFØRELSE OG RESULTATER.

For anvendelse i beregning av stabilitet er det utført triaksialforsøk til bestemmelse av jordartenes skjærfasthetsparametre.

De rutinemessige skjærfasthetsbestemmelser på prøvene i laboratoriet utføres som tidligere nevnt relativt hurtig ved empirisk konusbestemmelse eller enkle trykkforsøk uten sidetrykk. Denne verdi benevnes udrenert skjærfasthet og benyttes ved beregning av tilstander med hurtige spenningsendringer, idet en ser bort fra indre spenninger og porevanntrykk.

Når det, som her, gjelder en stabilitet i en statisk likevekts-tilstand over lengere tid, må en finne jordartenes skjærfasthetsparametre som funksjon av utvendig trykk og innvendig porevann-

trykk. Denne bestemmelse utføres mest vanlig i et triaksialapparat, og de foreliggende forsøk er utført av undertegnede med utstyr tilhørende Institutt for Geoteknikk og Fundamentering ved N.T.H.

Utstyret består prinsippielt av en selle, hvor en utskåret prøve, 8 cm. høy og sirkulært tverrsnitt 10 cm^2 , med en topplate og omgitt av en tynn gummihud monteres på en sokkel. Fra prøven under et filter i bunnen på sokkelen fører drenasjeledninger til en burette, hvor eventuelle volumforandringer måles ved å observere utpresset porevann, eller til en poretrykkmåler, hvor trykket i porevannet ved stengt drenasje under forsøket måles.

Et utvendig trykk på prøven kan etableres ved å sette en klokke over prøven som fylles med vann og påføres et målbart vanntrykk. Ved et stempel gjennom klokken vertikalt ned på toppstykket på prøven, kan det påsettes økende spenninger aksialt til brudd inntreffer. Spenninger fra det utvendige vanntrykk og den aksiale tilleggsspenning og deformasjon observeres, foruten prøvens volumforandring eller det innvendige poretrykk, avhengig av hvilken forsøksmåte en ønsker eller anser korrekt i det spesielle tilfelle.

En forsøksserie består vanligvis av 2 - 4 forsøk med forskjellig utvendig trykk, og spenningene ved brudd tegnes opp i et Mohr's spenningsdiagram med henholdsvis spenninger og skjærfasthet som absisse og ordinat. Hvert forsøk representerer en halvsirkel, og tangenten til disse (omhylningskurven) beskriver da skjærfastheten som funksjon av den effektive normalspenningen på skjærflaten, $\sigma' = \sigma - u$, hvor σ er totalspenning og u det målte porevanntrykk.

I dette tilfelle er forsøkene utført som CIU-forsøk, d.v.s. konsoliderte, forspente, udrenerte forsøk. Prøven påføres et utvendig trykk omkring det trykket den hadde i grunnen og konsolideres med drenasje over natten. Derpå stenges drenasjen, såvel det utvendige som det innvendige vanntrykk økes med 2 kg/cm^2 for å sikre at prøven er vannmettet, og derpå påføres aksialspenning vertikalt til brudd mens deformasjon og porevanntrykk observeres.

Da en ikke oppnådde å ta opp tilstrekkelige gode prøver fra den kvikke silt ble det bare kjørt forsøk på 2 prøver fra det øvre siltlag, samt på 5 prøver fra den dypere siltige kvikke leire. Videre ble det bare kjørt 2 forsøk i hver serie, da det ikke var

mere apparatur til disposisjon.

Silt. Det ble her kjørt 2 forsøk på prøvene lab.nr. 22 og 54 fra henholdsvis hull 6 og 9 med konsolideringstrykk $1,5 - 3,0 \text{ kg/cm}^2$ og $3 - 6 \text{ kg/cm}^2$. Vertikalspenning og poretrykk som funksjon av vertikaldeformasjon er vist i bilag 30 og 32. I bilag 37 er resultatene sammenstilt i et Mohr's diagram ved stiplede sirkler for små deformasjoner, 1 - 4 %, og heltrukne for de endelige spenninger, deformasjoner ca. 8 %.

Idet en for dette materiale ser bort fra kohesjon, fremgår det at mobilisert friksjonsvinkel øker fra vel 30° ved små deformasjoner til $36 - 37^\circ$ ved større. Dette illustreres ved figuren nederst i bilag 37, hvor spenningsforholdet eller friksjonsvinkelen er vist mot deformasjonen for alle de 4 forsøk. Som gjennomsnitt skulle skjærfastheten kunne beskrives ved $S = 0,74 \sigma'$, d.v.s. friksjonsvinkel $36,5^\circ$.

Siltig kvikk leire. Ved disse forsøk har en funnet å skjelne mellom forsøkene på prøvene fra hull 6 og 9 under det øvre platå, lab.nr. 32 og 65, og forsøkene på prøvene fra hull 2 og 8 ^c nederst i skråningen, lab.nr. 83, 103 og 106.

Resultatene er vist i spennings-deformasjonsdiagrammene i bilag 31 og 33 - 36, samt i Mohr's diagrammer i bilag 38 - 39. Det fremgår også her at skjærfastheten stort sett stiger med økende deformasjon, spesielt for prøvene under platået. En finner imidlertid her at en bør betrakte bruddtilstanden oppnådd ved de mindre deformasjoner, 2 - 4 %.

Det faller her vanskelig å trekke felles tangent til alle forsøk. Forsøkene med spenninger lavere enn det beregnede overlagringstrykk viser slakere helning, friksjonsvinkel 10° og en kohesjonsandel $c = 5 \text{ t/m}^2$. Da disse forsøk representerer en overkonsolidering finner en ikke å kunne regne med disse lave forsøk. På basis av de andre forsøk har en videre funnet å se bort fra kohesjon og anta samme verdier for leira under platå og skråning med følgende gjennomsnittsverdi: $S = 0,5 \sigma'$, d.v.s. friksjonsvinkel $26,5^\circ$.

7. STABILITETSBEREKNINGER.

Som grunnlag for vurdering av stabilitetsforhold er det foretatt stabilitetsberegninger i 3 profiler, A, B og C ut mot elven.

Det er videre beregnet i et profil CK, som strekker seg lengere inn midt i området og i profil M i skråningen fra Korsgata ned mot teglverket.

Under behandlingen viste det seg nødvendig også å ta med i betraktning virkningen av en eventuell fylling mot elven i skråningsfot, slik som vist i profilene.

a) Generelt.

Beregningene utføres med antatte sirkulærsylindriske eller vilkårlige glideflater i et profil ved en likevektsbetraktning. Stabiliteten beskrives ved en sikkerhetsfaktor som er forholdet mellom observert eller antatt skjærfasthet langs en antatt glideflate og den skjærfasthet som er nødvendig for likevekt, idet en antar konstant sikkerhetsfaktor langs hele glideflaten. En sikkerhetsfaktor mindre enn 1,0 angir således en beregningsmessig ustabil tilstand. For å si at stabiliteten kan anses tilfredsstillende bør sikkerhetsfaktoren være såvidt meget større enn 1,0 at den dekker usikkerheter i beregninger og ikke minst beregningsforutsetningen, ved stabilitet av skråninger vanligvis minst 1,3 - 1,5, noe avhengig av beregningsmetode og faremoment.

Beregningene kan videre utføres etter to prinsippielt forskjellige metoder, beroende på hvilken måte skjærfastheten innsettes i beregningen.

S_u -analysen benyttes hvor en vesentlig del av skjærspenningene settes hurtig opp i lite permeable jordarter, f.eks. fyllinger eller skjæringer i leire. Her innsettes skjærfastheten i beregningene med den udrenerte verdi funnet ved konusforsøk eller enkle hurtige trykkforsøk på prøver i laboratoriet, eventuelt resultater av vingeboringer i marken.

Stabilitet av naturlige skråninger, langtidsstabilitet, hvor spenningsforholdene har innstillet seg til en statisk likevekt, anses mest korrekt vurdert ved $c\phi$ -analyse. Her innsettes skjærfastheten som funksjon av de effektive spenninger med skjærfasthetsparametre c og ϕ funnet ved triaksialforsøk på prøver i laboratoriet, samt målte eller skjønnede porevanntrykk i grunnen.

Mens s_u -analysen har vist seg å gi god overensstemmelse ved forsøk med belastede fundamenter og utgraving for grøfter i leire, hvor skjærspenningene i sin helhet settes opp, viser den seg ved benyttelse i naturlige skråninger ofte å gi lite realistiske ver-

dier, ofte med sikkerhetsfaktorer ned til 0,65 - 0,70, som f.eks. var tilfelle ved undersøkelsen på Øvre Bakklandet, N.G.I.'s rapport 0.190.

C ϕ -analysen er i lang tid benyttet ved stabilitetsberegning av jorddammer, og i den senere tid er også analysen benyttet ved vurdering av naturlige skråningers stabilitet, idet den har vist seg å gi relativt god overensstemmelse ved etterberegning av enkelte skred. Metodens brukbarhet avhenger imidlertid av at en har noenlunde riktige verdier for poretrykk, og at skjærfasthetsparametrene er pålitelige.

En vil til slutt nevne at siden beregningene foretas i et profil vil det være tilstede en viss romvirkning når glidningen har begrenset bredde, idet skjærkreftene i sidebegrensningsflatene vil gjøre seg mer gjeldende jo mindre bredden er i forhold til lengden. Denne romvirkning er vanskelig å beregne eksakt, men kan være opp til 25 - 30 %, og tas derfor her i betraktning ved vurderingen.

b. Beregningsforutsetninger.

Ved s_u -analysen har en anvendt udrenert skjærfasthet som funnet ved prøvetaking og vinge boring. Hvor flatene skjærer gjennom lag er det vesentlig anvendt midlere verdier, da fasthetene kan variere noe, mens en ved flater parallell lagdelingen fortrinnsvis har benyttet de lavere verdier.

En har således i det øvre siltlag anvendt 4 - 8 t/m², i den kvikke silt med kvikkleirelagene 2,5 - 3 t/m² (stort sett 2,7 t/m²), og i den nedre siltige kvikkleire verdier mellom 3 og 7 t/m².

Ved $c\phi$ -analysen har en tegnet opp et kart over antatte poretrykk i profilet på basis av de utførte poretrykkmålinger i skråningsfot og innenfor skråningskant i profil A og C. Det er regnet laveste vannstand i elven på kote + 1, og under dette nivå hydrostatisk oppdrift, idet det er nyttet romvekt 1,0 t/m³ mot 1,95 - 2,0 t/m³ høyere.

På grunnlag av triaksialforsøkene har en i det øvre siltlag antatt friksjonsvinkel 35 ° og i det nedre kvikkleirelag $\tan \phi = 0,5$, d.v.s. friksjonsvinkel 26,5 °, uten kohesjonsverdi. I det øvre gruslag på plataet er det benyttet friksjonsvinkel 38,6 °, og i friksjonsmassene i skråningsfot $\tan \phi = 0,6 - 0,7$.

En har ikke hatt anledning til å utføre triaksialforsøk på prøver

fra kvikksiltlaget, og for de tynnere kvikkleirelagene er det av tekniske grunner umulig å bestemme skjærfasthetsparametre med vanlig triaksialutstyr. En ser seg derfor her henvist til å skjønne en verdi. Da det i den senere tid ved skred og ved andre forsøks-typer er fremkommet resultater som kan tyde på at skjærfastheten eller friksjonsvinkelen kan ha betydelig lavere verdier parallelt en lagdeling, har en for glideflater langs disse kvikkleirelag ut mot skråningskant benyttet en såvidt lav friksjonsvinkel som $11,5^{\circ}$ ($\tan \varphi = 0,2$). Under nedre del av skråning er imidlertid denne lagdeling ikke konstatert, slik at en her ikke skulle behøve å regne med denne lave verdi.

I den kommende vurdering av stabilitetsforholdene vil en diskutere de valgte skjærfasthetsparametre og øvrige beregningsforutsetninger nærmere.

c. Resultater av beregninger.

De antatte glideflater er vist i profilene bilag 40 - 43, og tilhørende beregnede sikkerhetsfaktorer fremgår av tabellen på neste side. Det er her foruten profil og glideflatenummer, hvor bokstaven viser hvor flaten går ut i fot, vist sikkerhetsfaktorer såvel for s_u -analyse som $c\varphi$ -analyse for nåværende terreng, og med vist kontrafylling i profil A og B i elvekant. Det er videre avmerket de glideflater parallell lagdeling hvor det er benyttet redusert friksjonsvinkel.

I profil A lengst vest i det steileste parti av skråningen gir en s_u -analyse med glideflater som griper dypt ned i kvikkleira under kote + 2,5 så lav beregnet sikkerhetsfaktor som 0,8. Ved $c\varphi$ -analyse er imidlertid sikkerheten for disse over 1,5, og endog 2,2 for flate som griper lengst inn, mens en grunnere glideflate lengere fremme i skråningen (2 A) gir såvidt lav sikkerhet som 1,15. Med den foreslåtte kontrafylling økes imidlertid denne lave sikkerhet beregningsmessig til 1,8 ved $c\varphi$ -analyse, og for flate 3 C under kontrafylling fra 1,45 til 1,65.

I profil B preges beregningene av at en forsøker å følge de tynne kvikkleirelag under plataet, mens en i skråningsfot har forsøkt å klarlegge virkningen ved forskjellig utgangsted for de antatte glideflater, A i skråning, B i fot og C og D utenfor den viste kontrafylling i elvebredden.

Ved s_u -analysen er beregnet sikkerhetsfaktor ca. 1,0 for relativt

BEREGNEDE SIKKERHETSFAKTORER

| Profil nr. | Glide- flate nr. | $tg\varphi=Q_2$ // lag | Grunne flater | Dype flater | Nåv.terreng | | Kontrafylling | |
|---------------|------------------------|---------------------------|------------------|----------------|-------------|------------|-------------------------------------|------------|
| | | | | | s_u | $c\varphi$ | s_u | $c\varphi$ |
| A | 1A | | | x | 0,85 | 1,55 | 1,3 | 2,2 |
| " | 2A | | x | | 0,9 | 1,9 | 1,35 | 1,8 |
| " | 3B | | x | | | 1,5 | | |
| " | 4B | | | x | 0,8 | 2,3 | | |
| " | 3C | | x | | | 1,45 | | 1,65 |
| B | 1A | x | x | | 1,5 | 2,0 | | |
| " | 2A | x | x | | 1,7 | 2,1 | | |
| " | 3A | (x) | x | | | 1,8 | | |
| " | 1B | x | x | | 1,0 | 1,4 | 1,35 | 1,7 |
| " | 2B | x | x | | | 1,6 | | 1,85 |
| " | 3B | (x) | x | | 0,95 | 1,3 | 1,3 | 1,65 |
| " | 1C | x | x | | | 1,4 | | 1,8 |
| " | 1C' | | x | | 1,15 | 1,55 | 1,45 | 1,9 |
| " | 2C | x | x | | | 1,5 | | 1,95 |
| " | 3C | | x | | | 1,3 | | 1,75 |
| " | 3C' | | x | | 1,0 | 1,3 | 1,25 | 1,65 |
| " | 3C'' | | | x | 0,75 | 1,35 | 0,9 | |
| " | 4C | | | x | 0,7 | | 0,85 | |
| " | 3D' | | x | | 1,3 | 1,4 | 1,25 | 1,5 |
| C | 1A | | | x | 0,9 | | | |
| " | 3A | x | x | | 1,7 | 1,5 | | |
| " | 2B | | x | | 1,65 | | | |
| " | 3B | x | x | | 1,9 | 1,45 | | |
| CK | 1A | | | x | 1,35 | 3,9 | | |
| " | 1B | | | x | 0,95 | | | |
| " | 2B | | | x | 0,9 | 3,6 | | |
| " | 3B | x | x | | 2,1 | 2,1 | | |
| " | 4B | x | x | | | 2,15 | | |
| " | 4B' | x | | x | | 1,4 | (F = 2,8, $tg\varphi = 0,5$ 11 lag) | |
| " | 5B | x | x | | | 2,1 | | |
| " | 3C | x | x | | 2,2 | 2,25 | | |
| " | 4C | x | x | | 2,95 | 2,25 | | |
| " | 5C | | x | | 1,65 | 2,25 | | |
| M | 1 | | x | | 1,65 | 1,25 | | |
| " | 2 | | x | | 1,45 | 1,45 | | |
| " | 3 | | | x | 1,4 | 1,85 | | |
| M' | 1 | | x | | 1,34 | 1,78 | | |
| " | 2 | | | x | 0,87 | 1,65 | | |
| " | 3 | | x | | 1,12 | 1,74 | | |

grunne glidninger til 10 - 15 meters dybde, mens dypere glidninger til 25 - 30 meter gir verdier ned til 0,7. Lange bakovergripende gir igjen høyere sikkerhetsfaktorer.

Ved $c\phi$ -analysen gir grunne flater som munner ut i skråningsfot laveste sikkerhetsfaktorer ned til 1,3, selv med $11,3^\circ$ friksjonsvinkel parallelt lagene. De som griper lenger bak, 2, gir større stabilitet.

Ved den viste kontrafylling øker sikkerhetsfaktoren ved s_u -analyse 15 - 30 %, og ved $c\phi$ -analysen opp til ca. 1,5.

I profil C er skråningen lengst øst nærmest A/S Trondhjems Jernindustri slakere, og det er her fylt ut i skråningsfot mot elven og således foretatt en viss stabilitetsforbedring.

Glideflatene til moderat dybde gir sikkerhet ved s_u -analyse 1,65 og ved $c\phi$ -analyse 1,45, med $11,3^\circ$ friksjonsvinkel parallell lagdeling. Som tidligere gir den lite realistiske dype glidning til 25 - 30 meters dybde ved s_u -analyse sikkerhetsfaktor noe under 1,0.

I profil CK ut mot elven er det foretatt beregninger for en del glideflater som griper langt inn på plataet.

Glidninger i 25 - 35 meters dybde gir som tidligere sikkerhetsfaktorer noe under 1,0 ved s_u -analyse, mens $c\phi$ -analysen med friksjonsvinkel $26,5^\circ$ i den nedre kvikkleire gir sikkerhet over 3.

Grunne glidninger lengere bak gir ved s_u -analyse sikkerhet omkring 2,0, og stort sett de samme verdier ved $c\phi$ -analyse, selv med anvendelse av den lave friksjonsverdi parallell lagene.

En glidning nede under det fetere lag i den kvikke leire med $11,3^\circ$ i friksjonsvinkel, $\tan \phi = 0,2$, helt frem til skråningsfot, gir beregnet sikkerhetsfaktor 1,4. Med resultatene fra triaksialforsøkene stiger sikkerheten til 2,8.

I profil M i skråningen fra østre ende av Korsgata ned mot Volla-bakken 1 ovenfor teglverket er det foretatt en enkel beregning av stabilitet på basis av prøvetaking i hull 17 på toppen og T.I.V.'s tidligere boringer utenfor skråningsfot.

Skråningen står relativt steilt med helning ca. 35° og må derfor i overflaten sies å ligge nær den naturlige helningsvinkel. Kvikkleiren påtreffes i en dybde som svarer til like under terreng i

skråningsfot.

Mens s_u -analysen som vanlig gir avtakende sikkerhet for tiltakende glidemasse, 1,4 ved glidning 18 meter innenfor skråningskant, får en ved $c\phi$ -analysen sikkerhetsfaktor 1,25 for den grunneste flate til 9 meter innenfor kanten, voksende med avstanden til 1,85 ved glideflate 3 til 18 meter innenfor kanten.

I profil M', fra planet på ca. kote 10 vest for teglverket opp til platået på ca. kote 30 innenfor interesseområdet, er det utført noen orienterende stabilitetsberegninger. Selv om en fra platået ovenfor Schives gate bare har sonderinger og ikke nøyere opplysninger hverken om jordartene eller porevanntrykk, fant en med skjønnede verdier å måtte se hele skråningen i ett for partiet lengst øst.

Poretrykket er antatt hydrostatisk i dybden fra den viste antatte grunnvannstand i bilag 45. For udrenert skjærfasthet er det benyttet verdier fra hull 17 med leire fra 10 meter med skjærfasthet $5 - 5,5 \text{ t/m}^2$, og under 18 meter bare 4 t/m^2 . Sondering 21 og 22 synes å tyde på at leirlaget er stigende til omtrent samme relative dybde under det øvre platå, men det er her oppe forsiktigvis antatt skjærfasthet 4 t/m^2 .

Beregningene viser relativt god langtidsstabilitet med resultatene fra triaksialforsøkene, årsaket av det lave porevanntrykk, sikkerhet 1,65 - 1,8. s_u -analyse for dypere glideflater henimot 20 m. dybde gir imidlertid sikkerheter under 1,0.

8. VURDERING AV STABILITETSFORHOLD.

Ved de utførte beregninger har en i tall forsøkt å belyse stabilitetsforholdene ut mot elven og mot det nedre plan vest for teglverket i øst. Ved vurderingen må en imidlertid se resultatene i sammenheng med de benyttede verdier for skjærfasthet og med hvilken sikkerhet disse er fastlagt.

A. Mot elven.

Da stabiliteten i skråningen mot elven øyensynlig ikke er særlig god, har en supplert beregningene ved utlegging av en kontrafylling i elvekanten i skråningsfot som en naturlig fortsettelse av det allerede utlagte platå vestover fra A/S Trondhjems Jernindustri. Såvidt en skjønner er det her allerede planlagt en strandpromenade, slik at en eventuell kontrafylling kan utføres i for-

ståelse med denne plan.

Ved den kontrafylling i 20 - 25 meters bredde som vist i profil A og B, bilag 40 - 41, bedres den beregnede sikkerhetsfaktor med 20 - 30 %, såvel ved s_u - som $c\phi$ -analyse.

Ser en samlet på beregningene ut mot elven i de 3 profiler A, B og C, kan sikkerhetsfaktorene med de benyttede forutsetninger summeres i følgende tabell:

| Situasjon | s_u -analyse | | $c\phi$ -analyse | |
|---|----------------|----------|------------------|----------|
| | Nåv.ter | Kontraf. | Nåv.t. | Kontraf. |
| <u>A.Skråning og ytre del av platå.</u> | | | | |
| 1. Grunne glideflater | 0,9 | 1,25 | 1,2 | 1,5 |
| 2. Dype - " -(25-30 m.) | 0,7 | 0,85 | 1,35 | 1,5 |
| <u>B.Platå, 100 - 200 m.innover.</u> | | | | |
| 1. Grunne glideflater | 1,65 | | 2,1 | |
| 2. Dype - " - | 0,9 | | 2,2 | |
| -"- med tg $\phi = 0,2$ frem t.fot | | | 1,4 | |

Beregningsgrunnlaget for s_u -analysen, de anvendt udrenerte skjærfasthetsverdier, kan neppe anses å være beheftet med alvorlige feil. I den kvikke silt, hvor de opptatte prøver var omrørt, er skjærfastheten bestemt ved vingeboringer. Prøvene fra dypere lag kan naturligvis være noe forstyrret, men ikke av avgjørende betydning og ikke slik at det er noen mulighet for noen korrigering.

Selv om det er en ikke ubetydelig variasjon i skjærfastheten, kan en ikke si at det innenfor de benyttede verdier, de lavere verdier parallelt lagdeling og gjennomsnittlige ved krysning av lag og i fot, er noen skjult sikkerhet eller vesentlige feil i beregningen.

Ved s_u -tilstander er det derfor ingen beregningsmessig sikkerhet. Ved utlegging av kontrafyllingen økes riktignok sikkerheten i profil A og B, men er fremdeles for lange og spesielt dype glideflater liten og ikke tilfredsstillende.

En vil imidlertid her tilføye at det etter undertegneds mening er lite realistisk å anta at det ved rimelig bebyggelse på platået kan skapes en s_u -tilstand for spesielt de dypere glideflater.

Ved $c\phi$ -analysen viser beregningene med de funne poretrykk og skjærfasthet i silt og kvikkleire ifølge triaksialforsøkene tilfreds-

stillende sikkerhet for glideflater som griper særlig inn på plattået. For glidninger ute ved skråningskant er sikkerheten lavere, sikkerhet 1,2 - 1,3.

Selv om det nok med årstidene kan være visse variasjoner i porevanntrykkene, skulle disse etter undertegnede mening ikke bli så store at det vil ha vesentlig betydning for de utførte beregninger.

Med hensyn på skjærfasthetsparametre i kvikk leire, er det i senere tid fremkommet visse ting som kan tyde på lavere verdier parallelt en lagdeling enn de verdier en oppnår ved triaksialforsøk. Mens triaksialforsøk med kvikkleire har gitt friksjonsvinkler varierende fra 26° ned til $19 - 20^{\circ}$, viser etterberegning av enkelte store flakskred i Namdalen og ved Gøtaelven, at leira må ha hatt mobiliserte friksjonsvinkler endog under 10° .

Ved Fureskredet i Namdalen i 1959, som gikk ut i bredde ca. 850 meter og grep 300 meter inn fra elven, gled flaket ut på kvikkleirelag i 8 - 10 cm. tykkelse. Beregningene viste her en mobilisert friksjonsvinkel på ca. 7° i leira, og spesielle direkte skjærfasthetsforsøk i marken og senere i laboratoriet bekreftet denne lave friksjonsvinkel med verdier ned til 9° . Triaksialforsøk på samme materiale skal ha gitt friksjonsvinkel 22 - 23 $^{\circ}$, d.v.s. 3 ganger så høye verdier.

En forsøker å forklare denne tilsynelatende forskjell ved at det i de direkte skjærforsøk skjer en samtidig setning som frigjør en indre energi. Inntil videre betrakter en denne lave friksjonsvinkel bare aktuell parallell en lagdeling.

Denne oppsiktsvekkende oppdagelse har gitt støttet til videre forskning vedrørende kvikkleiras skjærfasthet, og det er ved Norges geotekniske institutt konstruert et spesielt direkte skjærapparat til nøyere undersøkelser. En kan imidlertid ennå ikke trekke generelle konklusjoner, da det er nødvendig med forsøk fra flere forskjellige avsetninger samtidig som tolkningen av resultater bør nøyere undersøkes i lyset fra nyere forsøk. En ukritisk anvendelse av den funne lave verdi på alle kvikkleireavsetninger rundt om i landet kan føre til en meget pessimistisk vurdering for et betydelig antall foreliggende skråninger. Inntil videre bør en imidlertid være oppmerksom på de foreliggende resultater, og ta muligheten med i betraktning ved vurdering av stabilitet i kvikkleireområder.

I beregningene har en derfor for kvikkleirelagene i den kvikke silt frem til skråningen forutsatt $\tan \varphi = 0,2$, d.v.s. en friksjonsvinkel $11,3^\circ$. I skråningsfot og i den dypere beliggende homogene kvikkleire har en imidlertid beholdt den i triaksialforsøk funne skjærfasthet, da en her tilsynelatende ikke kunne finne igjen den regelmessige lagdeling. Dette fører til den noe lave sikkerhet 1,3, og såfremt en skulle anvende Fureskredets resultater, ville sikkerhetsfaktoren avta betenkelig ned mot 1,0.

Da videre stabiliteten for glidninger fremme i skråningskant i det steilere parti vestover er noe liten, sikkerhet ca. 1,2 - 1,3, finner undertegnede det riktig og nødvendig av sikkerhetsmessige grunner å foreslå lagt ut kontrafylling i elvekanten, som vil bedre stabiliteten og forhindre elven i å grave seg inn og skape forverrede tilstander. En bør være oppmerksom på at lokale glidninger nederst i skråningen mot elven vil kunne skape ugunstigere tilstander enn de antatte og delvis føre over til s_u -tilstander, hvor beregningsmessig stabiliteten er betenkeligere.

Med den foreslåtte fylling skulle stabiliteten ut mot elven bedres med 15 - 20 % for glidninger ut i elven i skråningsfot. En beregning av en glidning lenger inn fra platået langs de øvre kvikkleirelag og ut ovenfor fyllingen gir nødvendig friksjonsvinkel $2 - 3^\circ$ i kvikkleira. Da videre saltinnholdet i leira er såvidt lite at en ikke skulle vente avtakende fasthet ved videre utvasking, kan en etter undertegnedes mening regne med at platåets stabilitetsforhold ikke representerer noen direkte fare.

Da den beregningsmessige stabilitet av platået med de laveste verdier funnet i kvikkleire er relativt liten og ikke så stor som en vanligvis krever, bør det etter undertegnedes mening inn-til videre ikke igangsettes anleggsarbeider av en slik størrelse eller art at de kan innvirke på stabiliteten. Det bør ikke foretas utgravninger av betydning i eller ved skråningene, og ikke bebygges på området 10 - 15 meter nærmest skråningskant. På området innenfor bør det ved oppføring av nye bygg stort sett tilstrebes kompensert fundamentering, d.v.s. avgravning tilsvarende byggets vekt, slik at en unngår vesentlige nye belastninger på området.

Disse forholdsregler bør gjelde til kjennskapet til kvikkleirers skjærfasthetsegenskaper og bestemmelse av disse er nøyere klarlagt. En bør da ta stabilitetsforholdene opp til ny vurdering. Forskningsarbeidet som drives på dette felt av Norges geotekniske institutt må nok påregnes å ta noen tid. Ønsker man en snarligere avklaring bør det overveies engasjement av Instituttet som disponerer det nødvendige utstyr og mannskap til et slikt forskningsarbeide av stor vanskelighetsgrad.

B. Østskråning mot teglverket.

For skråningen ned mot teglverket i øst gjelder stort sett det samme som er nevnt om stabilitetsforholdene ut mot elven. Når en trekker seg 10 - 15 meter innenfor de steile skråninger skulle stabiliteten beregningsmessig ifølge triaksialresultatene være tilfredsstillende. På grunn av usikkerhetene med kvikkleiras skjærfasthetsegenskaper bør en også her inntil videre unngå tilleggsbelastning av betydning på plataået, og unngå gravevirksomhet i fot. En oppfylling i skråningsfot ville kunne bedre stabiliteten, og bør nok tas opp til vurdering når en får nærmere kjennskap til kvikkleirers skjærfasthetsegenskaper.

9. FUNDAMENTERINGSFORHOLD.

De utførte undersøkelser har i første rekke tatt sikte på å klarlegge stabilitetsforhold for området, og det er derfor ikke tatt boringer av den tetthet i de øvre jordlag at en med nøyaktighet kan uttale seg om variasjoner og detaljere såletrykk og setninger.

Stort sett kan en over hele plataået regne med relativt gode fundamenteringsforhold bestående av vesentlig sand og grus, men nok også enkelte forekomster av silt. Grunnvannstanden er dyp, 4 - 6 meter under terreng, men muligens noe mindre i foten av skråninger, og grove friksjonsmaterialer stort sett godt under vanlig fundamenteringsdybde, til 6 - 9 meters dybde.

De øvre lags beskaffenhet kan variere noe og være preget av urene oppfyllninger. Dette må ventes i nærheten av den tidligere bekk ned fra Høgskoledalen langs Chr. Fredriks gate svingende nordøstover mellom Vollabakken og Korsgata ned til det tidligere leie til Lillegårdsbækken vest for teglverket.

Hull 17 i østre ende av Korsgata ut mot skråningen mot teglverket viser nærmest søppelfylling til 3,5 meters dybde, og et hus like ved ut mot skråningen viser også setningssprekker, riktignok etter fylling i skråningen utenfor.

Ved prøvetakningshullene har en ikke observert humuslag av betydning til større dybde enn vel 2 meter, men det bør av sikkerhetsmessige grunner ved prosjekter utføres detaljboringer for å kontrollere at det ikke er humuslag i de grovere lag under fundamenteringsdybden.

En kan regne med at det kan fundamenteres på såler på området med såletrykk $20 - 30 \text{ t/m}^2$. For vanlige bygg opp til 3 - 4 etasjer skulle en ikke vente setninger av betydning. Ved høyere bebyggelse bør det foruten spesiell detaljundersøkelse også overveies om det stabilitetsmessig er forsvarlig i henhold til foregående avsnitt.

10. SAMMENDRAG OG KONKLUSJON.

De utførte undersøkelser på det angitte område viser at grunnen fra plataået på ca. kote 20 stort sett består av friksjonsmaterialer, sand og grus, til 6 - 9 meters dybde. Under dette opp til 5 meter silt. Videre et 1 - 5 meter tykt kvikksiltlag med flere 1 - 6 cm. tynne kvikkleirelag, og i dybden kvikk leire. Lagskilene i de øvre lag ser ut til å ha helning $6 - 8^\circ$ ut mot elven.

Nede i skråningen mot elven hvor terrenget er lavere finner en naturlig nok ikke igjen denne regelmessighet i lagdeling og det er her vesentlig friksjonsmaterialer, sand og grus og silt, med kvikkleire på større dybde.

De tynne kvikkleirelag i silten i 10 - 17 meters dybde ute ved skråningskant har stor sensitivitet, opp til 440. Kvikkleira under er øverst stort sett fet, blir magrere i dybden med udrenert skjærfasthet $4 - 7 \text{ t/m}^2$ og fra 32 meters dybde i hull 9 mindre sensitiv.

Stabilitetsberegninger ved s_u -analyse, d.v.s. med leiras udrenerte skjærfasthet, gir beregningsmessig ustabil tilstand for dype glideflater til 20 - 30 meters dybde. En anser det imidlertid for tilfeller med langtidsstabilitet mest korrekt å vurdere forholdene ved en $c\phi$ -analyse. Med skjærfasthetsverdier på grunnlag av utførte triaksialforsøk på kvikkleira får en bereg-

ningsmessig tilfredsstillende stabilitet.

Ved et stort flaktypeskred i Namdalen i 1959 langs et kvikkleirelag viste en etterberegning friksjonsvinkel av størrelse ca. 7° . Etterfølgende direkte skjærforsøk i marken og laboratoriet med spesielt konstruert utstyr ga friksjon ned til 9° , C: hennimot tredjeparten av verdiene ved vanlige triaksialforsøk. Videre forskning av kvikkleiras skjærfasthetsegenskaper er igang ved Norges geotekniske institutt, men det foreligger for tiden intet som kan gi nye holdepunkter for vurderingen.

Siden det i det foreliggende tilfelle er observert kvikk leire under hele området, tildels lagdelt med helning ut mot elven, finner en derfor at en under vurderingen inntil videre ikke kan unnlate å ta hensyn til denne usikkerhet vedrørende resultater av triaksialforsøk. En beregning med den observerte ekstremt lave friksjonsvinkel fører til liten beregningsmessig stabilitet for plataået ut mot elven.

Da saltinnholdet i porevannet i kvikkleira er såvidt lite, 0,5 - 1 g/l, at en ikke skulle vente avtakende skjærfasthet ved videre utvasking og det for tiden ikke kjennes til foretak på plataået som kan forverre stabiliteten, anser ikke undertegnede det nødvendig å iverksette øyeblikkelige drastiske tiltak. En vil imidlertid foreslå at det så snart som mulig legges ut en kontrafylling i skråningsfot mot elven i 20 - 25 meters bredde for å bedre stabiliteten og beskytte skråningsfot mot gravning fra elven. Såvidt en forstår kan denne kombineres med den allerede planlagte strandpromenade og naturlig fortsettes i den allerede utlagte fylling i elvebredden vestover fra A/S Trondhjems Jernindustri. Med hensyn på de lokale forhold bør det langs fyllingens ytterkant ute i elven utføres prøvetakinger for vurdering av fyllingen.

Med denne kontrafylling vil en oppnå en stabilitetsforbedring på 15 - 20 %, og plataået bør da foreløpig kunne anses som et tilfredsstillende stabilt område. Inntil videre bør en imidlertid etter undertegnades mening av sikkerhetshensyn ikke foreta arbeider i eller ved skråningen som kan virke i uheldig retning stabilitetsmessig eller forårsake lokale glidninger. En bør søke å hindre vesentlige tilleggsbelastninger på plataået, og ved eventuelle byggverk tilstrebe kompensert fundamentering.

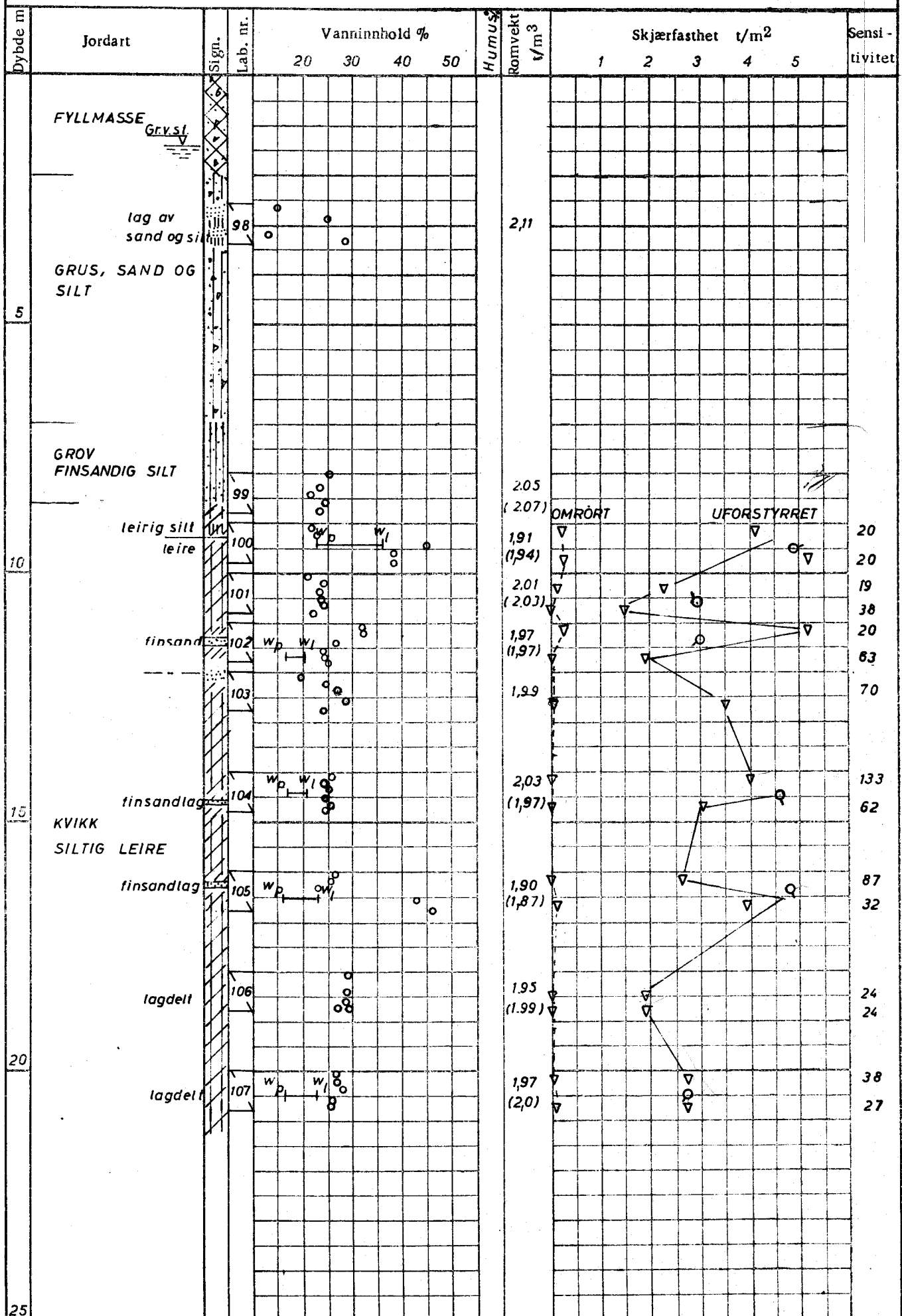
Når nærmere forskningsmessige opplysninger om kvikkleiras skjærfasthetsegenskaper foreligger, kan en ta opp forholdene til nøyere vurdering og eventuelt utføre forsøk med uteksperimentert utstyr etter anerkjente regler. Skulle en forsøke å forsere en løsning, foreslås tatt nærmere kontakt med Norges geotekniske institutt om forskningsoppdrag i denne anledning.

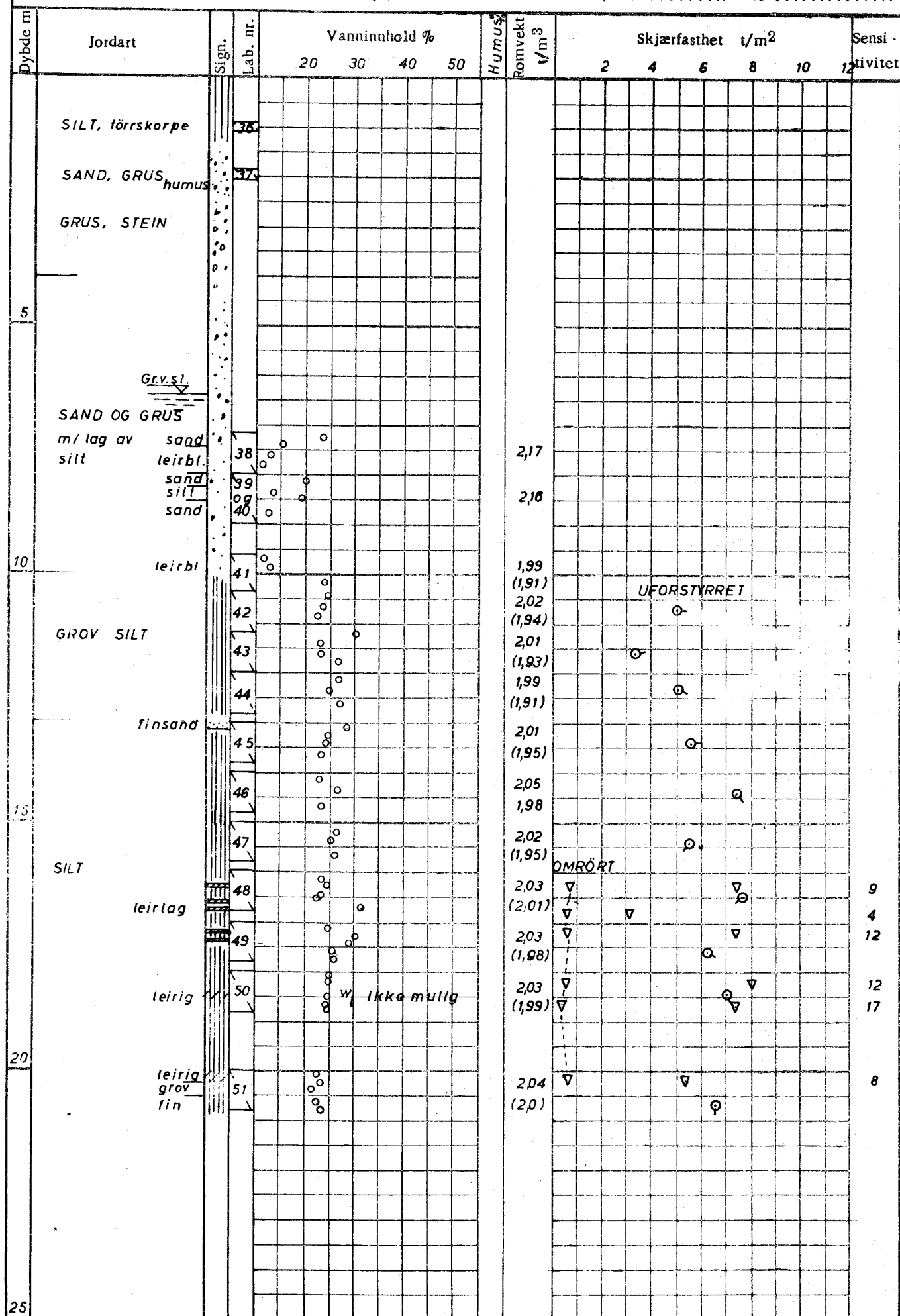
Fundamenteringsmessig er forholdene på plataet gode med stort sett friksjonsmaterialer, sand og grus, til godt under vanlig fundamenteringsdybde. En bør være oppmerksom på lokale utfyllinger av blannede urene masser i de øvre lag, som f.eks. langs det tidligere bekkeleie mellom Vollabakken og Korsgata. Videre bør bebyggelse av stabilitetsmessige grunner trekkes helst 15 meter inn for de steile skråninger.

For viktigere bygg bør det utføres detaljundersøkelse, men en kan vanligvis regne med å anvende sålefundamentering med relativt høyt såletrykk, 20 - 30 t/m². For bygg opp til 3 - 4 etasjer med kjeller skulle det ikke ventes setninger av betydning, mens høyere bygg bør spesielt vurderes, også av hensyn til det foran nevnte om tilleggsbelastninger på plataet.

Undertegnede står gjerne fortsatt til tjeneste med råd eller om nødvendig nærmere forklaringer av mulige uklarheter, samt undersøkelse vedrørende den foreslåtte utfylling ved elven.


Ottar Kummeneje.





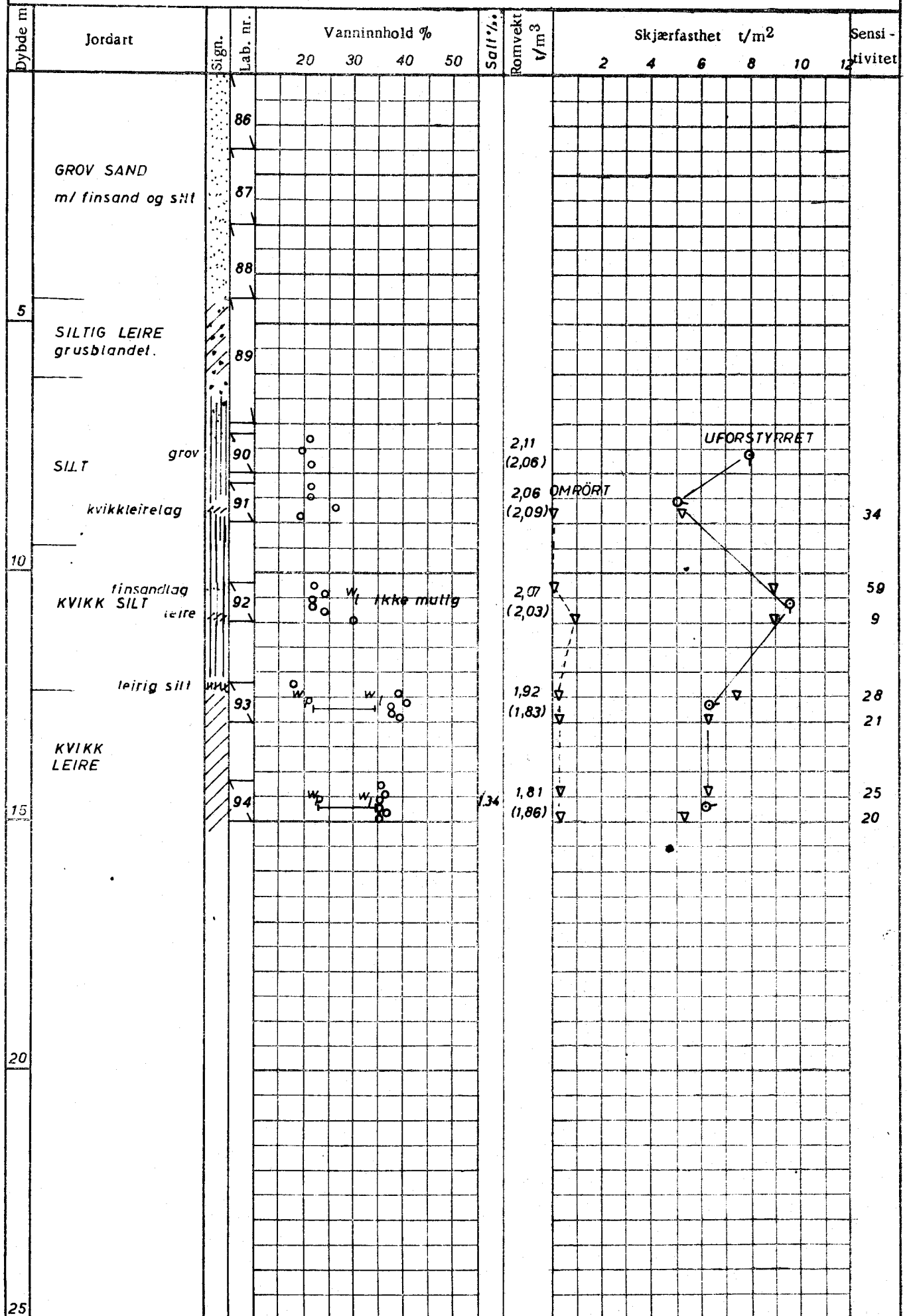
BORPROFIL

Sted .. SCHIVES GT. - NIDELVEN

Hull ... 4.1 ... Bilag ... 16 ...

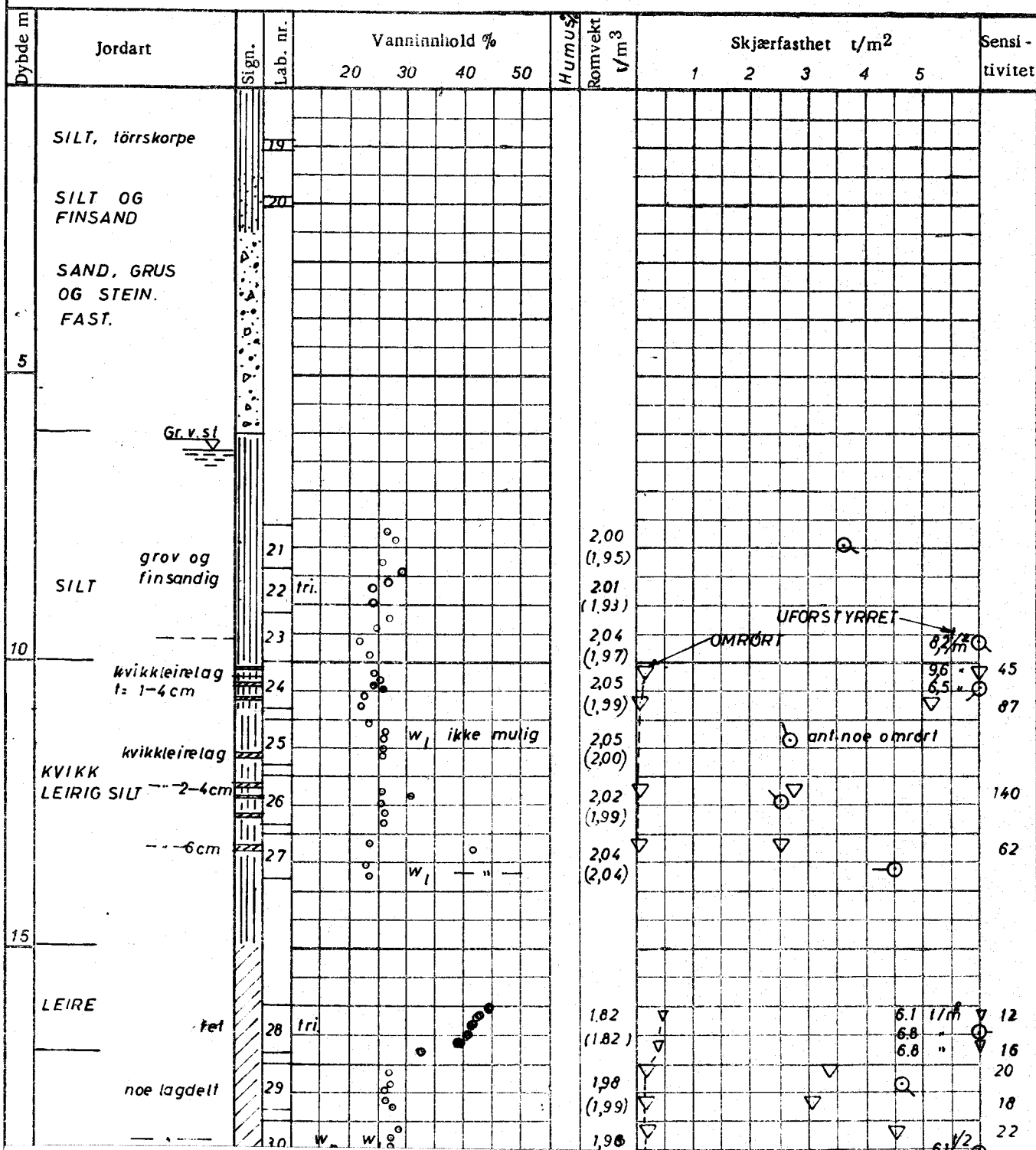
Nivå ... Oppdrag .Q.18.5.

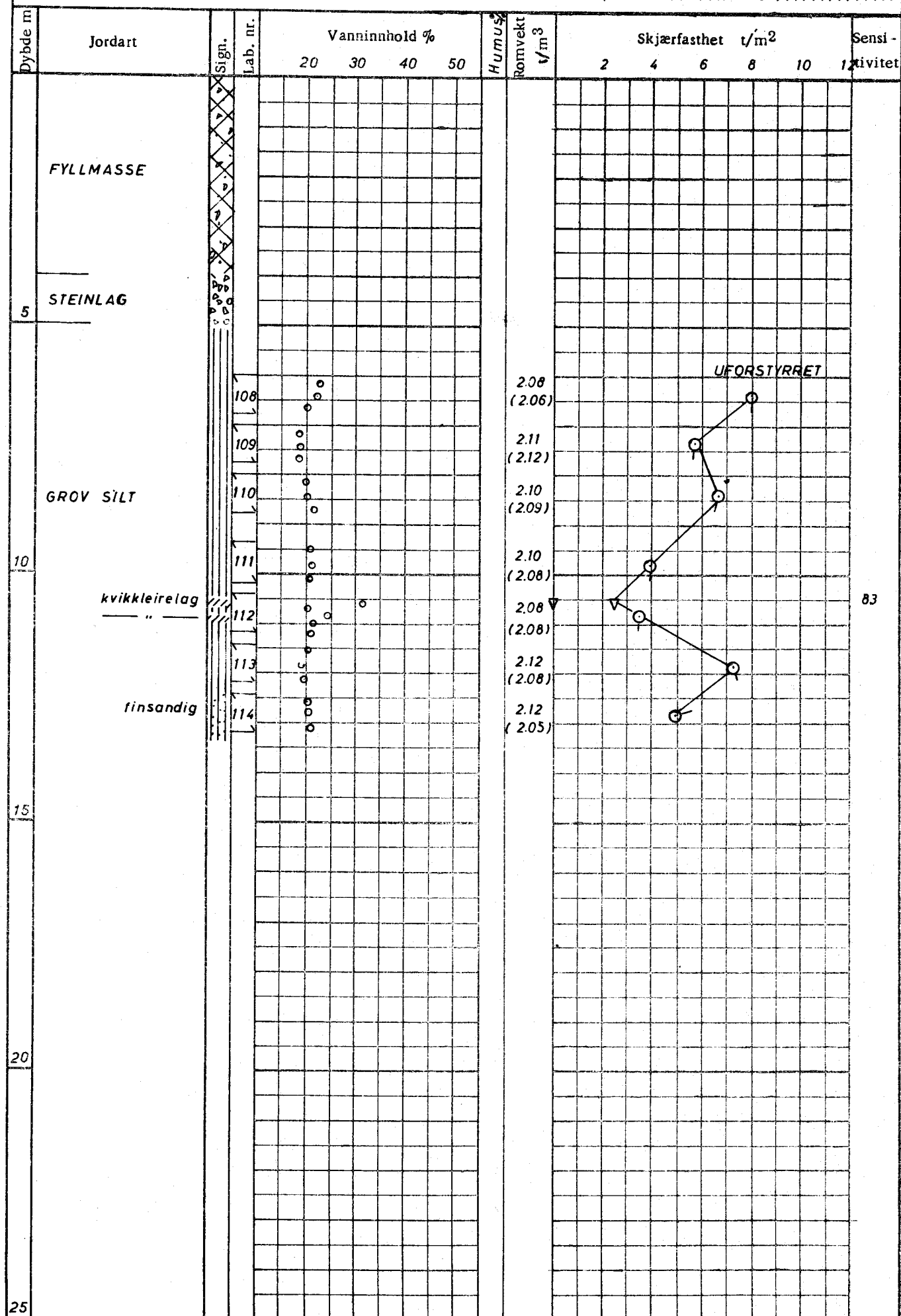
Prøve Ø ... 54 mm ... Dato .JULI-63.

+ vingebooring ⊙ enkelt trykkforsøk ▽ konusforsøk w = vanninnhold w_L = flytegrense w_p = utrøllingsgrense

| Dybde m | Jordart | Sign. | Lab. nr. | Vanninnhold % | | | | | Humus | Rømnvekt γ/m^3 | Skjærfasthet t/m^2 | | | | | Sensi- tivitet |
|---------|--------------------------|-------|----------|---------------|----|----|----|--|-------|-----------------------|----------------------|---|---|---|---|-------------------|
| | | | | 20 | 30 | 40 | 50 | | | | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | |
| | FIN SAND | | | | | | | | | | | | | | | |
| | STEIN | | | | | | | | | | | | | | | |
| | GROV SILT | | 95 | | | | | | | | | | | | | |
| | FIN SAND | | 96 | | | | | | | 2,01 | | | | | | |
| 5 | GROV SAND, grusholdig | | 97 | | | | | | | | | | | | | |
| 10 | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 15 | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 20 | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 25 | | | | | | | | | | | | | | | | |

[illegible]





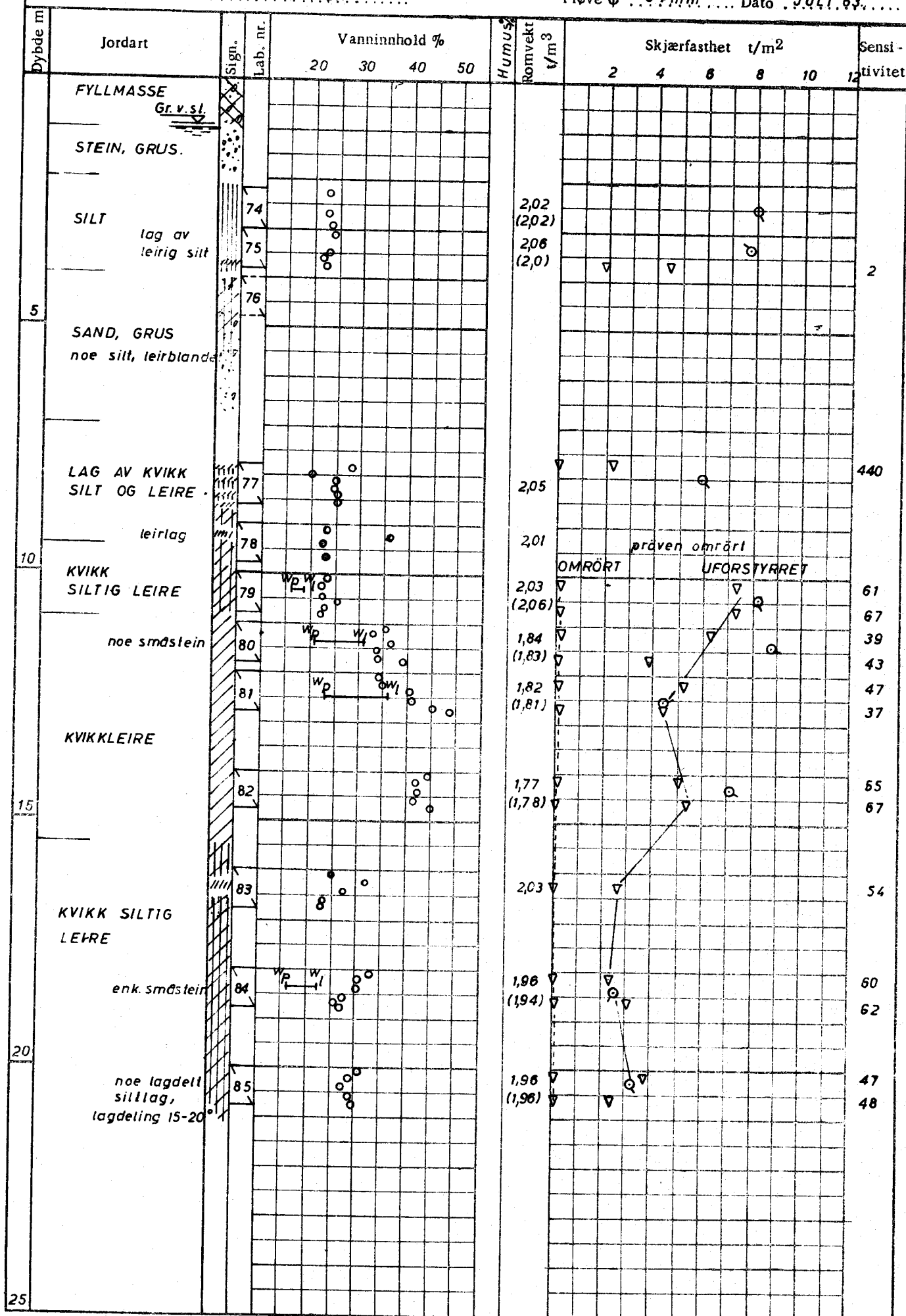
BOR PROFIL




Sted ... SCHIVESGT. - NIDELVEN.

Hull ... 8-C ... Bilag ... 21

Nivå ... Oppdrag ... 0.185

Prøve Ø ... 54 mm ... Dato ... JULI 63

+ vingeboering ⊙ enkelt trykkforsøk ▽ konusforsøk w = vanninnhold w_L = flytegrense w_p = utrullingsgrense

| Dybde m | Jordart | Sign. | Lab. nr. | Vanninnhold % | | | | Salt % | Romvekt t/m ³ | Skjærfasthet t/m ² | | | | | Sensi- tivitet | | |
|---------|--|---|----------|---------------|----|----|----|--------|-----------------------------|-------------------------------|---|---|---|---|-------------------|--|--|
| | | | | 20 | 30 | 40 | 50 | | | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | | | |
| 5 | TÖRRSKORPE SILTIG LEIRE |  | 52 | | | | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | MELLOMSAND, Gl. v. sl. ^{ren} trerot humus |  | 53 | | | | | | 1.66 | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | | | 54 | | | | | | 1.91 | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | GROV SILT |  | 55 | | | | | | 1.96 | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | | | | | | | |

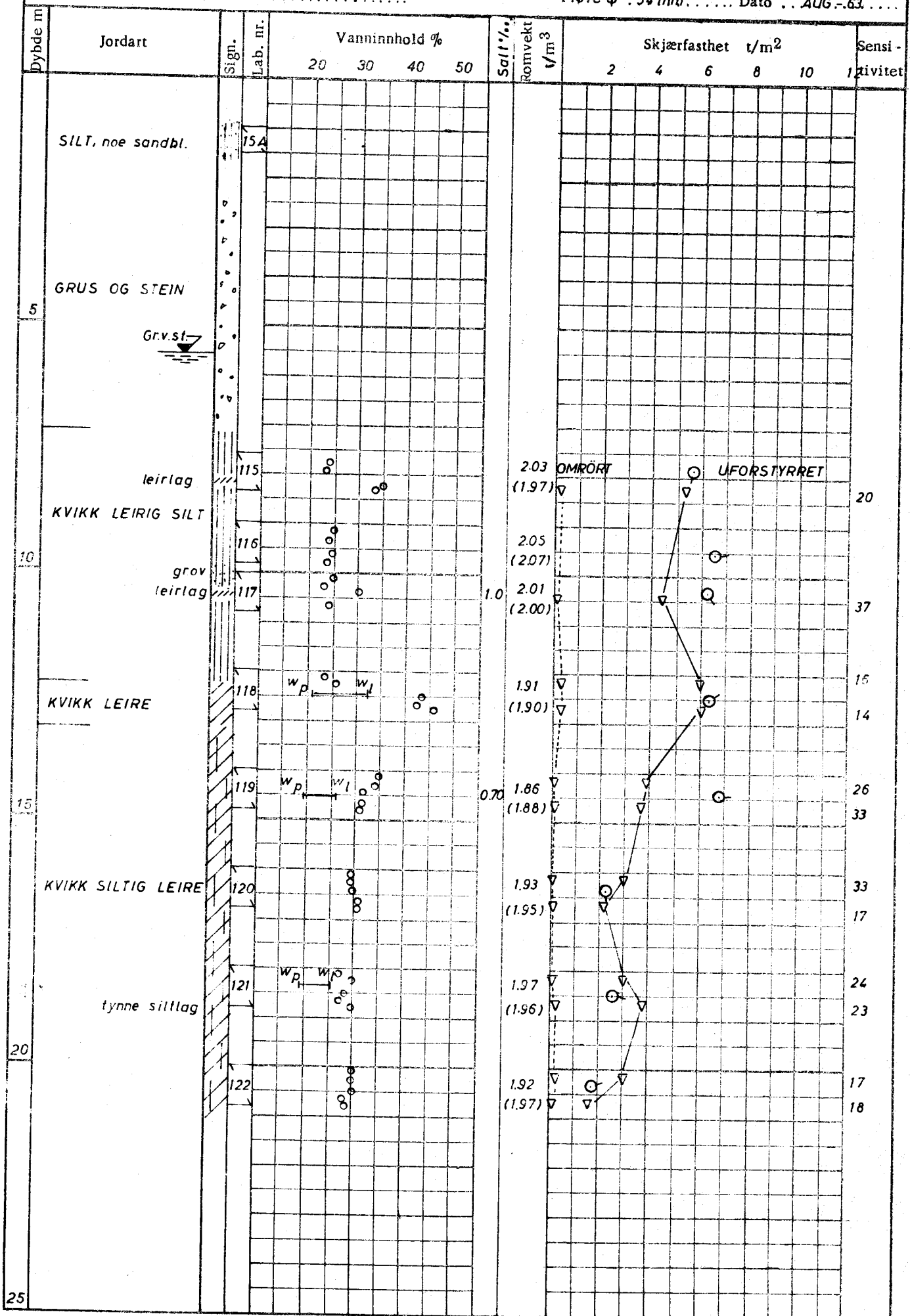
| Dybde m | Jordart | Sign. | Lab. nr. | Vanninnhold % | | | | Humus | Rørvekt t/m ³ | Skjærfasthet t/m ² | | | | | Sensi- tivitet |
|---------|------------------------------------|-------|----------|---------------|----|----|----|-------|-----------------------------|-------------------------------|---|---|---|---|-------------------|
| | | | | 20 | 30 | 40 | 50 | | | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | |
| | GROV SILT | | 133 | | | | | | | | | | | | |
| | GROV SAND, grusig | | 134 | | | | | | | | | | | | |
| | SILT OG LEIRE lagdelt | | 135 | | | | | | | | | | | | |
| | SILT, noe sand- og steinblandet | | 136 | | | | | | | | | | | | |
| | | | 137 | | | | | | | | | | | | |
| 5 | | | | | | | | | | | | | | | |
| 10 | | | | | | | | | | | | | | | |
| 15 | | | | | | | | | | | | | | | |
| 20 | | | | | | | | | | | | | | | |
| 25 | | | | | | | | | | | | | | | |

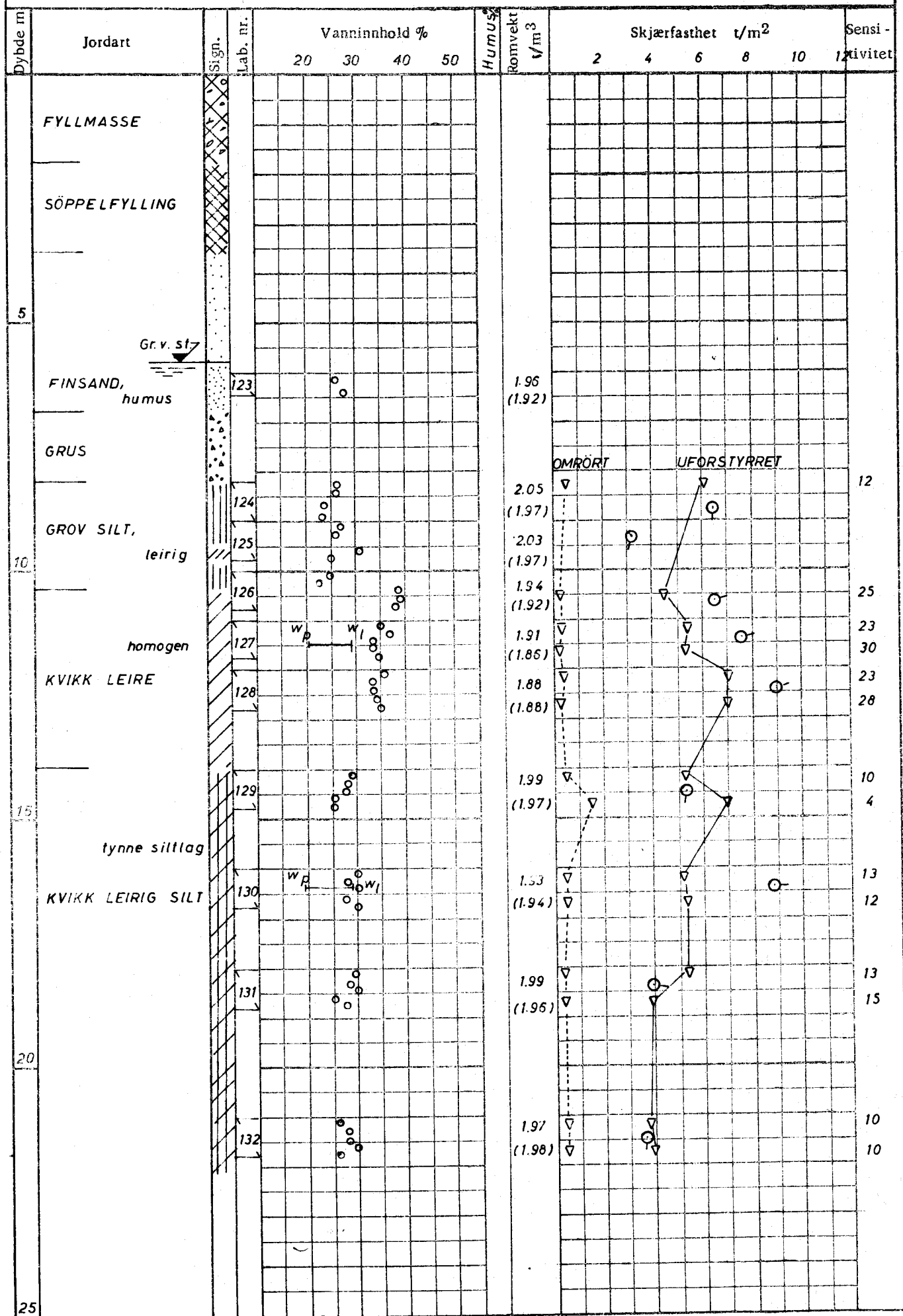
BORPROFIL

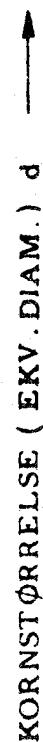
Sted SCHIVES GT. - NIDELVEN

Hull 15 Bilag 24

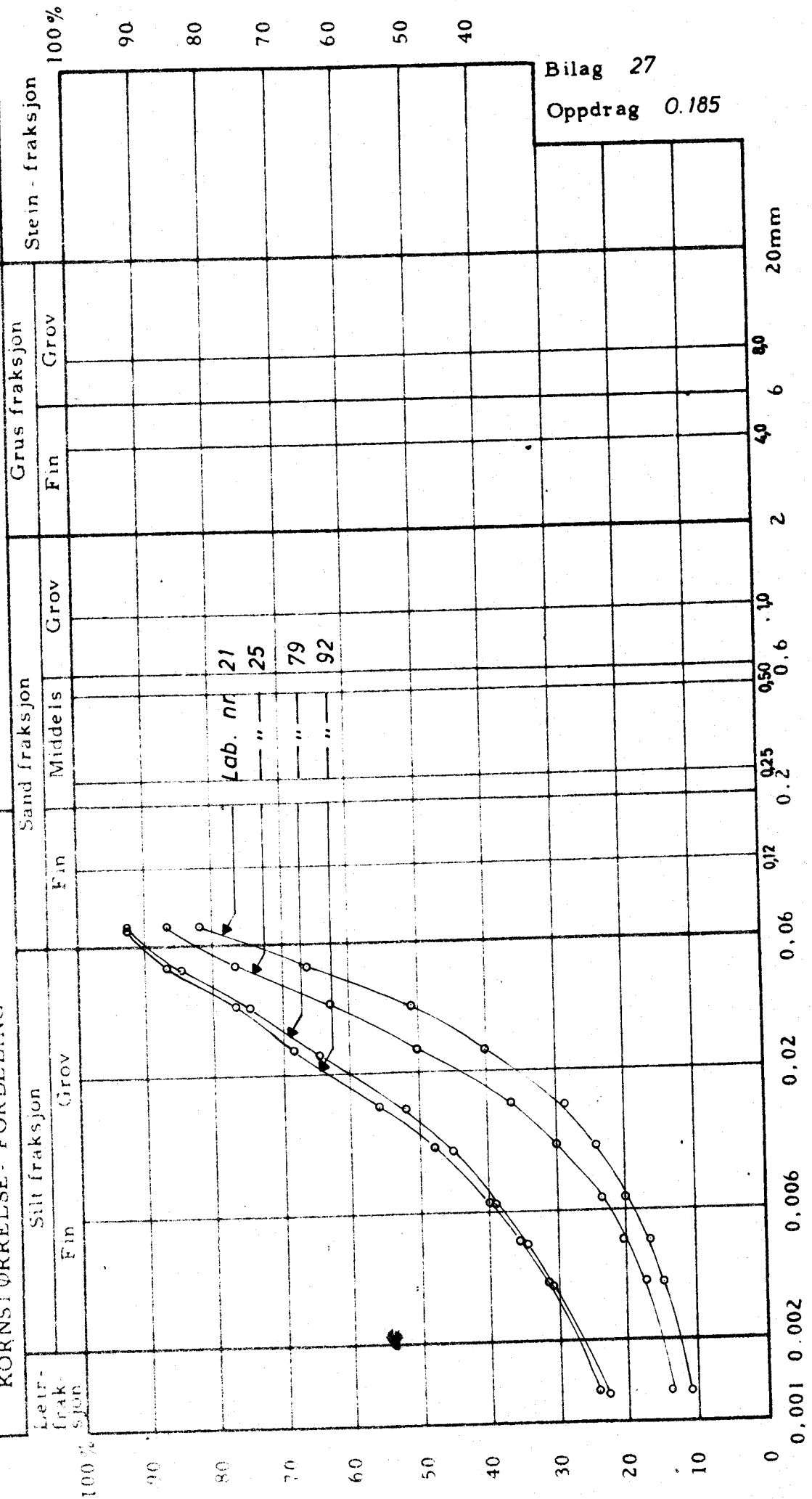
Nivå Oppdrag 0.185

Prøve ϕ . 54 mm Dato .. AUG - 63+ vingeboing \odot enkelt trykkforsøk ∇ konusforsøk w = vanninnhold w_L = flytegrense w_p = utrullingsgrense





| | | | | | | | |
|--------------------------|---------------------------|--|---|--|------|--|----------|
| RÅDGIV. ING. Ø KUMMENEJE | Sted | | VOLLABAKKEN | | Dato | | 30.9.-63 |
| | KORNSTØRRELSE - FORDELING | | Hull 6 - 21, 25 Hull 8c - 79 Hull 4a - 92 | | Sign | | K.S. |

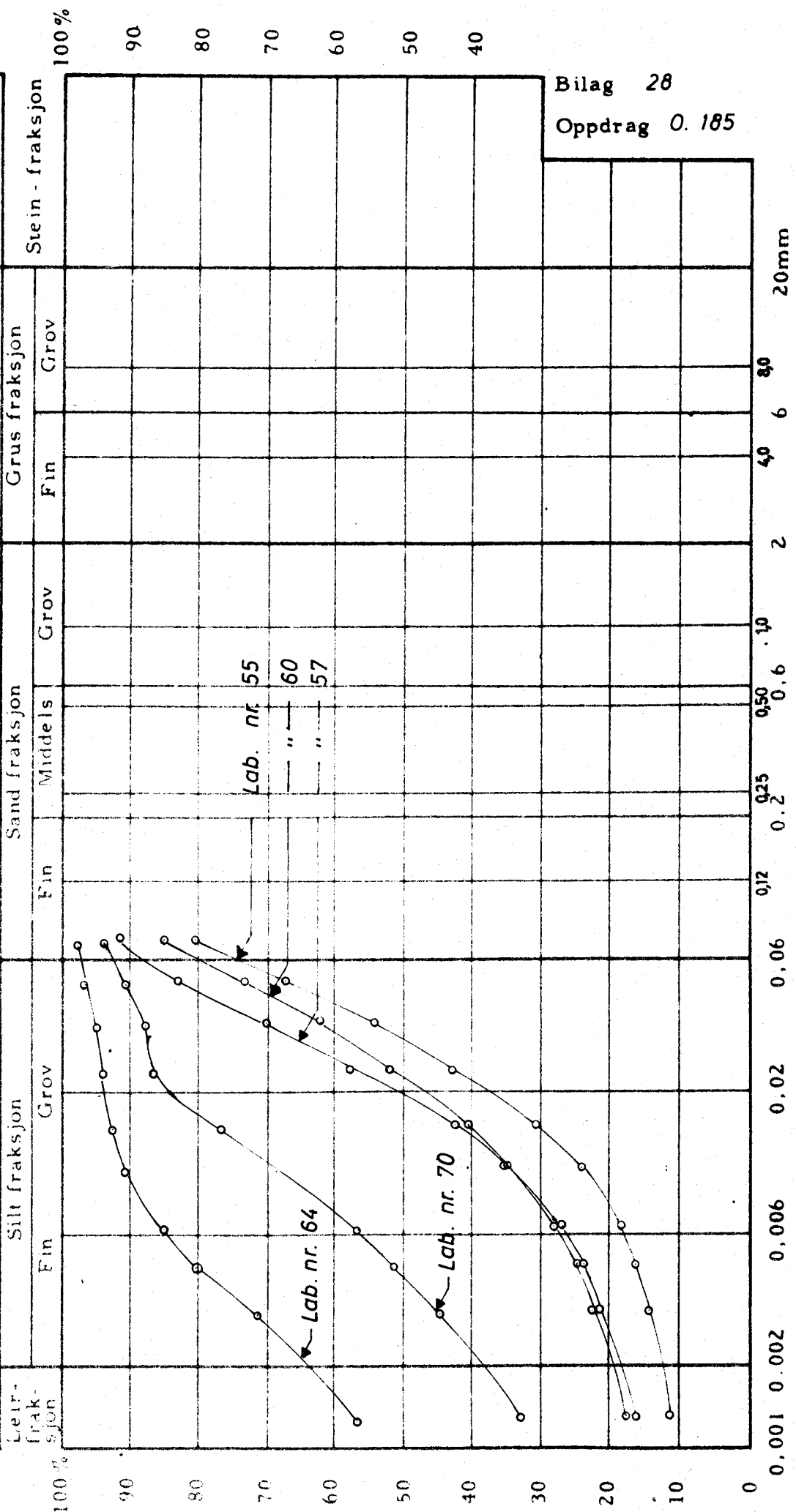


Bilag 27
Oppdrag 0.185

KORNSTØRRELSE (EKV. DIAM.) d →

REL VEKTMENGDE N AV KORN < d

| | | | | | | | | | |
|---------------------------|--|--------|--|-----------------------------|--|------|--|----------|--|
| RÅDGIV. ING. ØKUMMENEJE | | Sted | | VOLLABAKKEN | | Dato | | 23.9.-63 | |
| KORNSTØRRELSE - FORDELING | | Hull 9 | | Lab. nr. 55, 57, 60, 64, 70 | | Sign | | K.S. | |

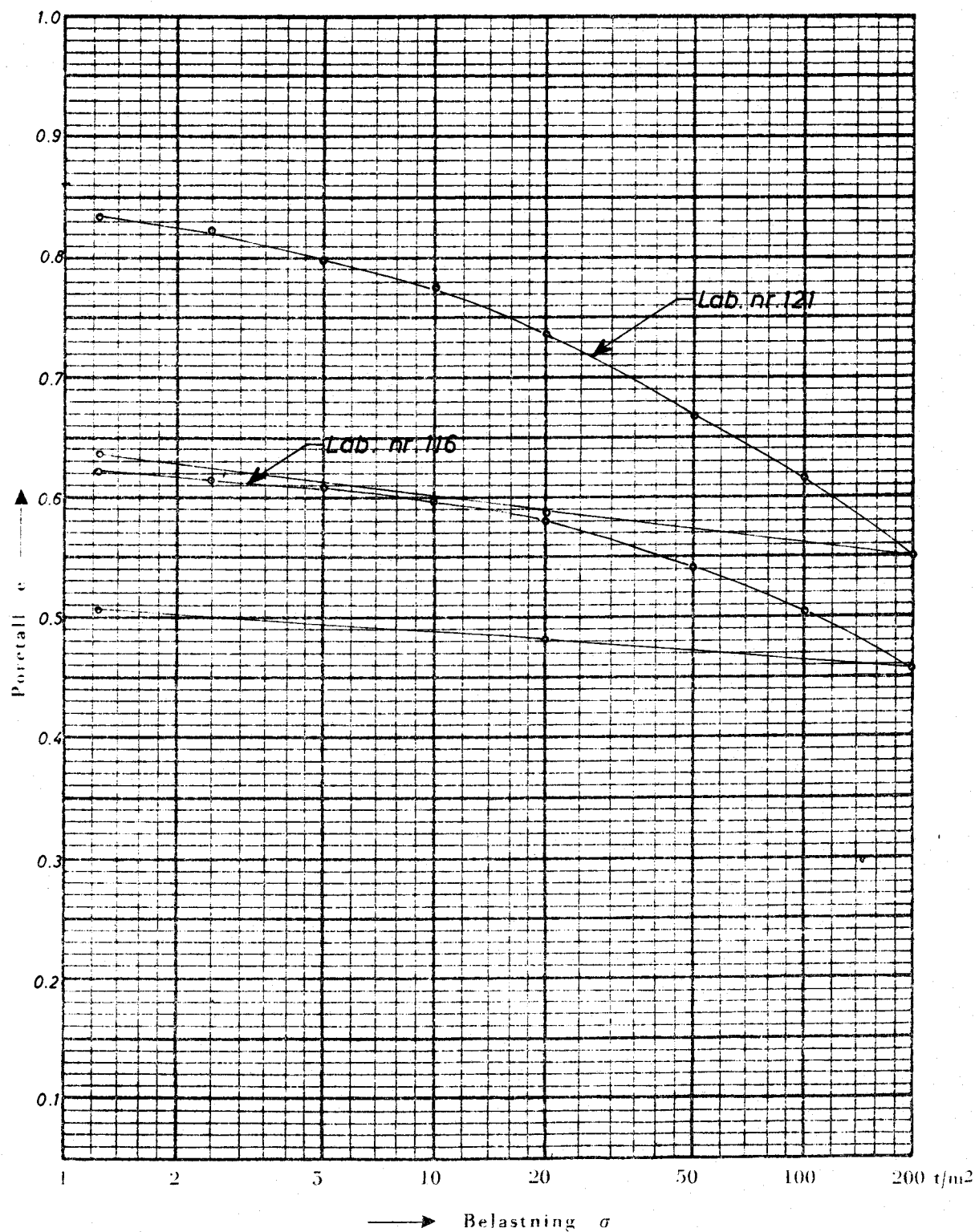


REL VEKTMENGE N AV KORN < d

KORNSTØRRELSE (EKV. DIAM.) d →

Bilag 28
Oppdrag 0. 185

| Lab. nr. | Prøve 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 |
|-------------|--------------|------------|---|---|---|-------------------------|--|---|
| 116 | | 9.4 | | | | | | |
| 121 | | 18.4 | | | | | | |



Anmerkninger

TRIAKSIALFORSØK

Sted **VOLLABAKKEN**

Bilag **30**

Boring

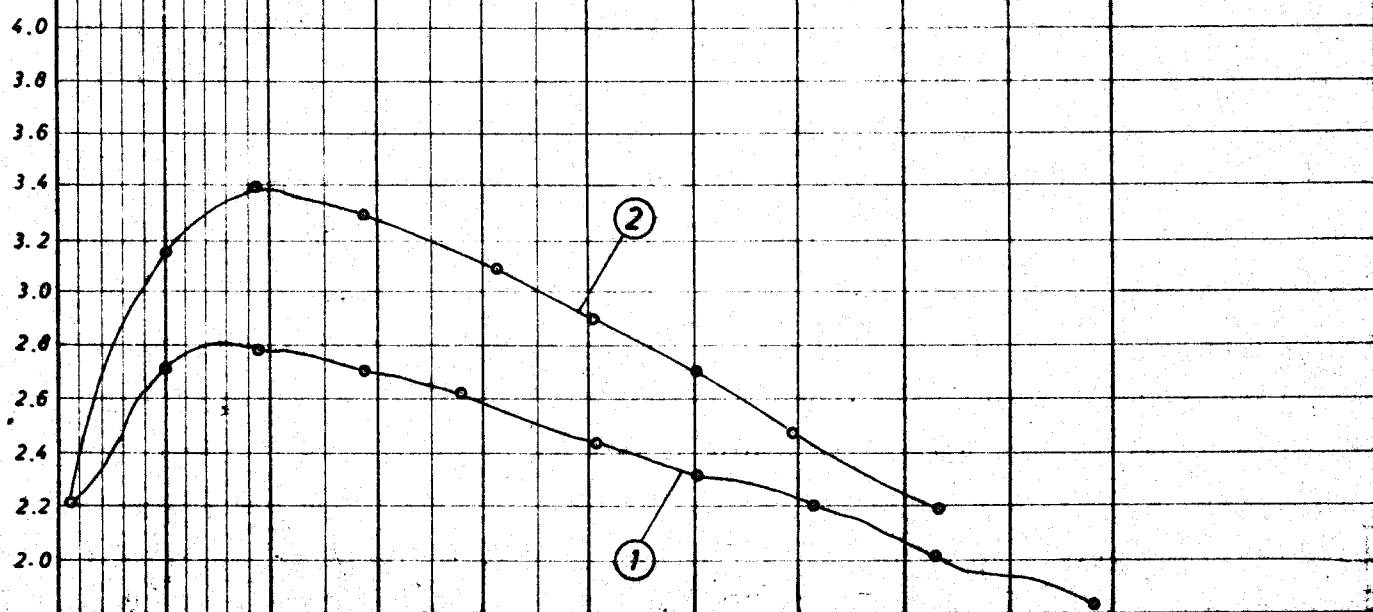
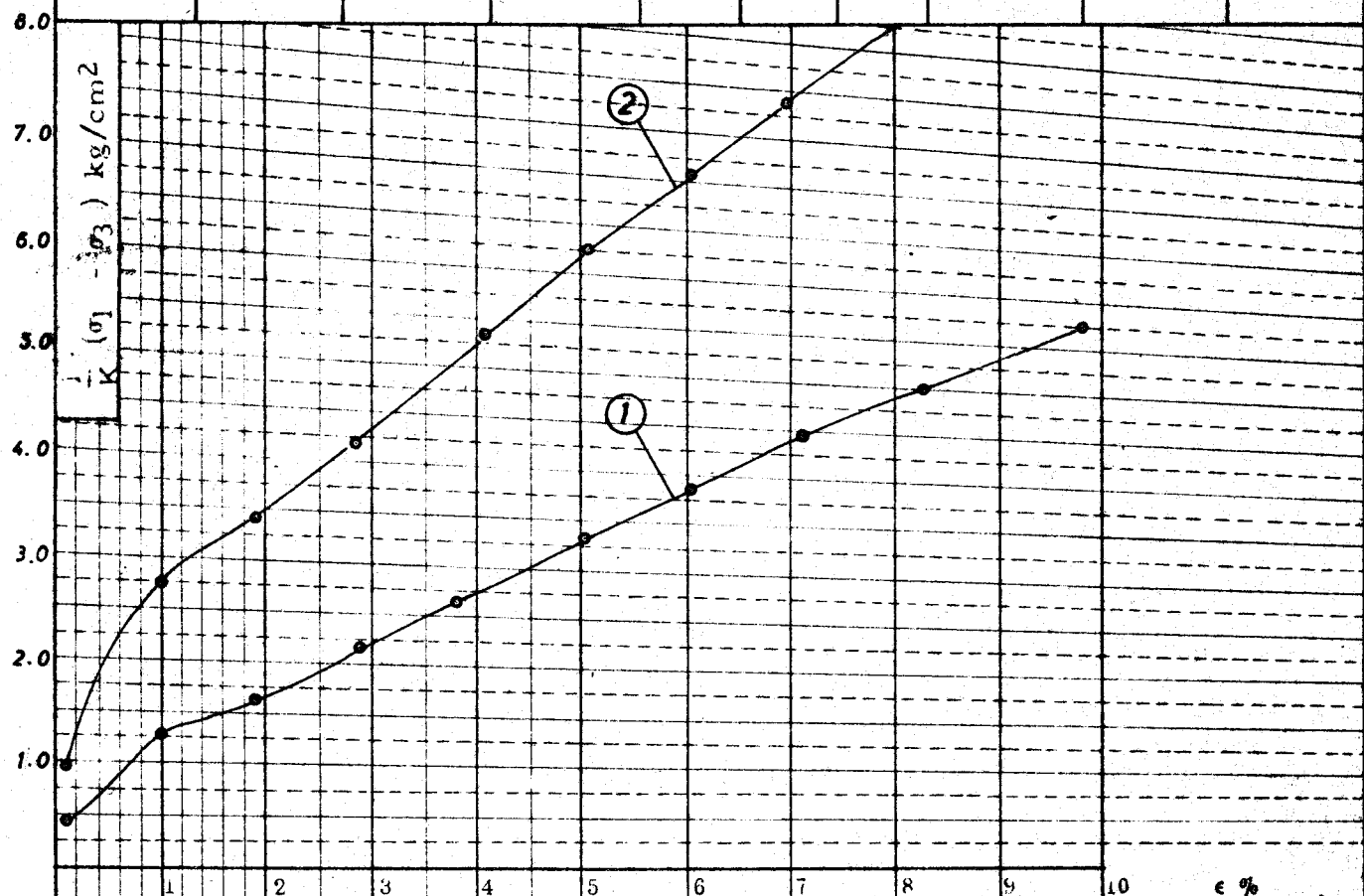
Oppdr. **0.185**

Dybde

Sign.

Type

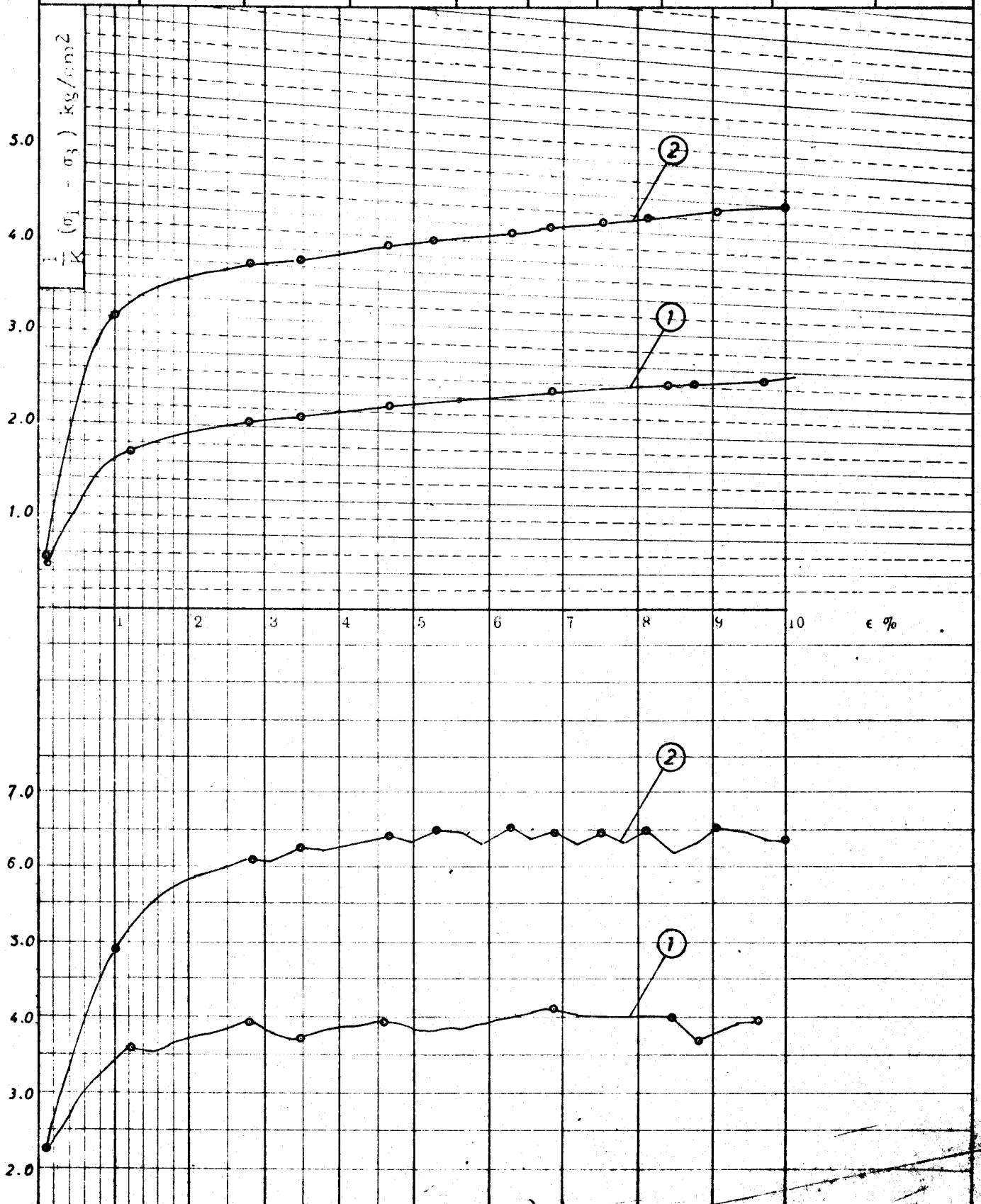
| Lab. nr. | Prøve nr. | σ_c kg/cm ² | σ_3 kg/cm ² | u_f kg/cm ² | ϵ_f % | K | v_e %pr. time | $0.5(\sigma_1 - \sigma_3)$ kg/cm ² | σ_3 kg/cm ² |
|----------|-----------|----------------------------------|----------------------------------|-----------------------------|-------------------|---|--------------------|--|----------------------------------|
| 22 | 1 | 1.5 | 3.5 | | | | 3.3 | | |
| 22 | 2 | 3.0 | 5.0 | | | | 3.6 | | |
| | | | | | | | | | |



TRIAKSIALFORSØK

Type

| Lab. nr. | Prøve nr. | σ_c kg/cm ² | σ_3 kg/cm ² | u_f kg/cm ² | ϵ_f % | K | v_ϵ % pr. 1 | $0.5(\sigma_1 - \sigma_3)$ kg/cm ² | $\bar{\sigma}_3$ kg/cm ² |
|-------------|--------------|----------------------------------|----------------------------------|-----------------------------|-------------------|---|-------------------------|--|--|
| 32 | 1 | 3.0 | 5.0 | | | | 3.4 | | |
| 32 | 2 | 6.0 | 8.0 | | | | 4.1 | | |
| | | | | | | | | | |



TRIAKSIALFORSØK

Sted **VOLLABAKKEN**

Bilag **32**

Boring

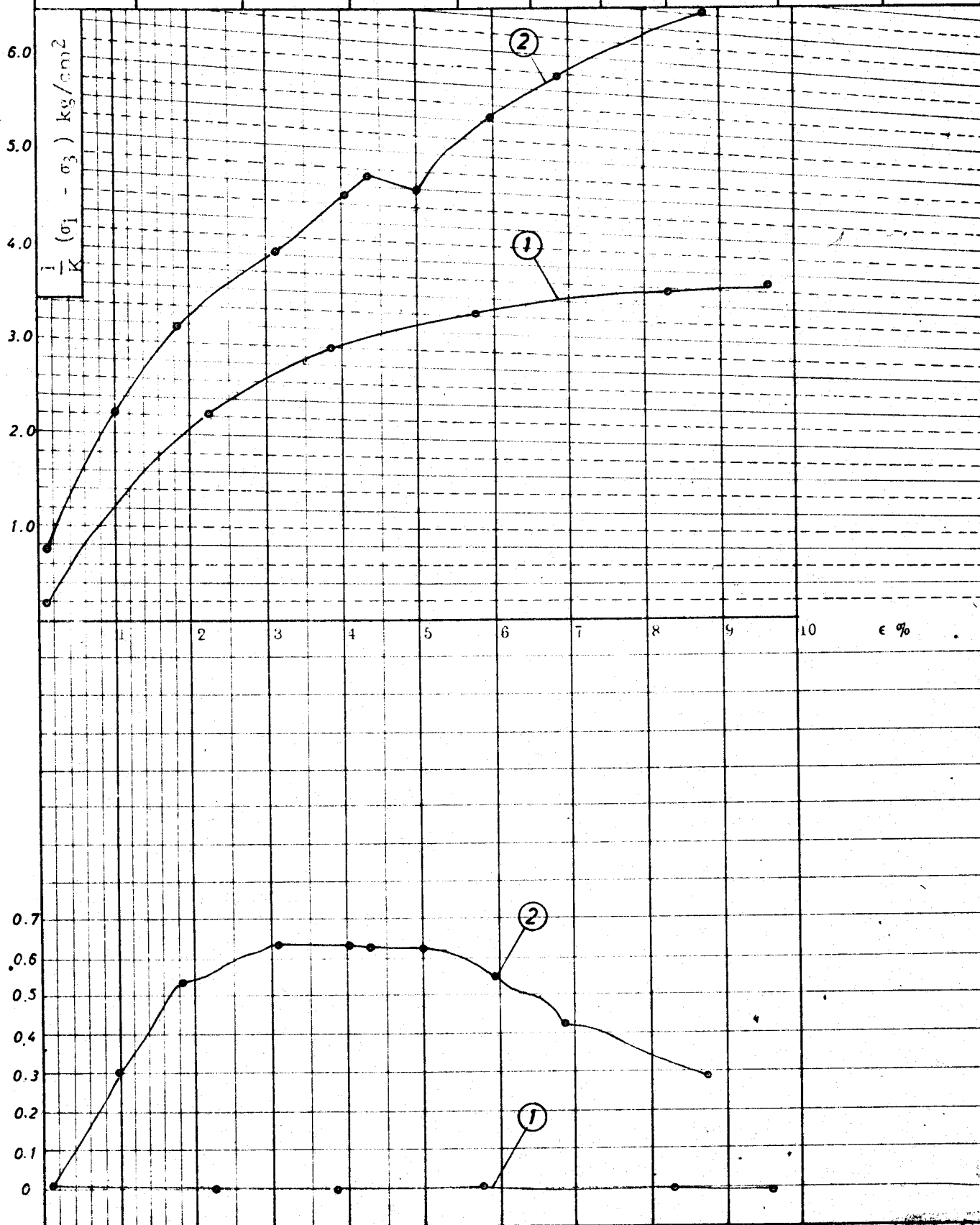
Oppdr. **0.185**

Dybde

Sign.

Type

| Lab. nr. | Prøve nr. | σ_c kg/cm ² | σ_3 kg/cm ² | u_f kg/cm ² | ϵ_f % | K | v_ϵ %prøve | $0.5(\sigma_1 - \sigma_3)$ kg/cm ² | σ_3 kg/cm ² |
|-------------|--------------|----------------------------------|----------------------------------|-----------------------------|-------------------|---|------------------------|--|----------------------------------|
| 54 | 1 | 1.25 | 1.25 | | | | 3.3 | | |
| 54 | 2 | 2.50 | 2.50 | | | | 4.0 | | |
| | | | | | | | | | |



TRIAKSIALFORSØK

Sted **VOLLABAKKEN**

Bilag **33**

Boring

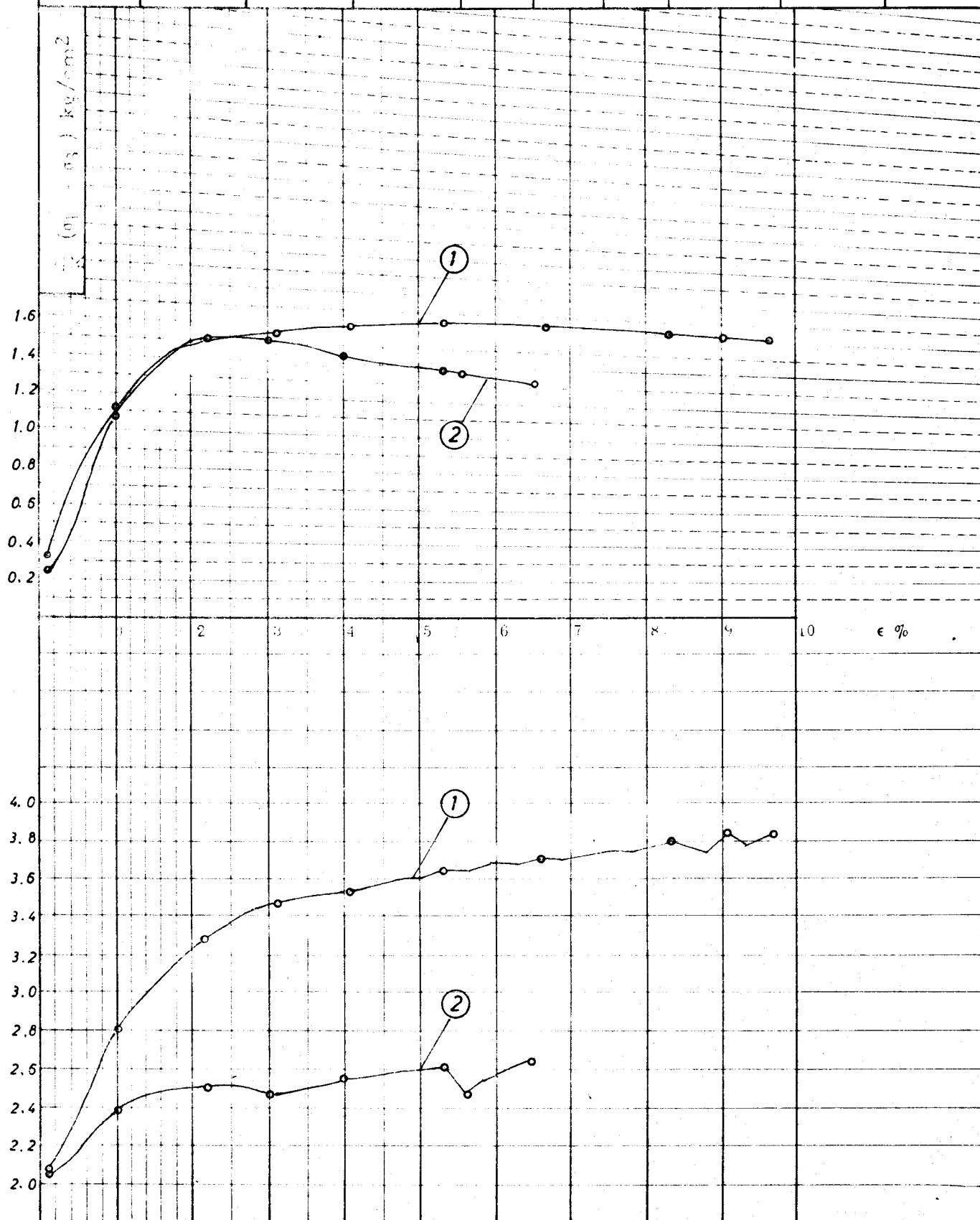
Oppdr. **0.185**

Dylle

Sign.

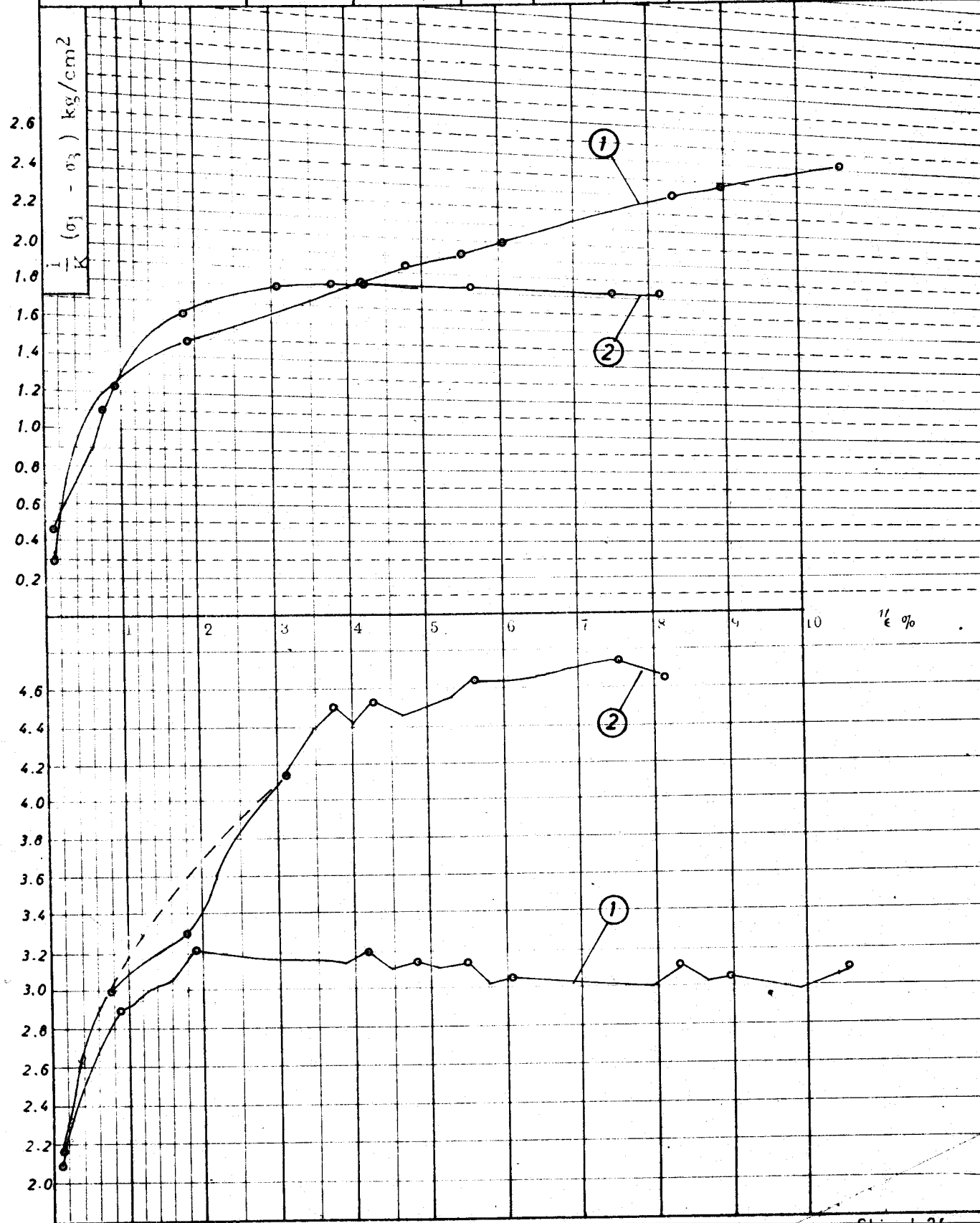
Type

| Labb. | Prøve | σ_c kg/cm ² | σ_3 kg/cm ² | u_f kg/cm ² | ϵ_f % | K | v_ϵ %prøve | $0.5(\sigma_1 - \sigma_3)$ kg/cm ² | $\bar{\sigma}_3$ kg/cm ² |
|-------|-------|----------------------------------|----------------------------------|-----------------------------|-------------------|---|------------------------|--|--|
| 65 | 1 | 2.70 | 4.70 | 3.60 | 4.7 | | 3.9 | 0.82 | 1.10 |
| 65 | 2 | 1.30 | 3.30 | 2.51 | 2.8 | | 3.9 | 0.75 | 0.79 |



| | | | | | | | | | |
|------------------------|--|--|--|-------------------------|--|--|--|---------------------|--|
| TRIAKSIALFORSØK | | | | Sted VOLLABAKKEN | | | | Bilag 34 | |
| | | | | Boring | | | | Oppdr. 0.185 | |
| | | | | Dylde | | | | Sign. | |
| Type | | | | | | | | | |

| Lab. nr. | Prøve nr. | σ_c kg/cm ² | σ_3 kg/cm ² | u_f cm ² | ϵ_f % | K | v_ϵ %pr./me | $0.5(\sigma_1 - \sigma_3)$ kg/cm ² | $\bar{\sigma}_3$ kg/cm ² |
|-------------|--------------|----------------------------------|----------------------------------|--------------------------|-------------------|---|-------------------------|--|--|
| 83 | 1 | 1.8 | 3.8 | | | | 55 | | |
| 83 | 2 | 3.6 | 5.6 | | | | 49 | | |
| | | | | | | | | | |



TRIAKSIALFORSØK

Sted **VOLLABAKKEN**

Bilag **35**

Boring

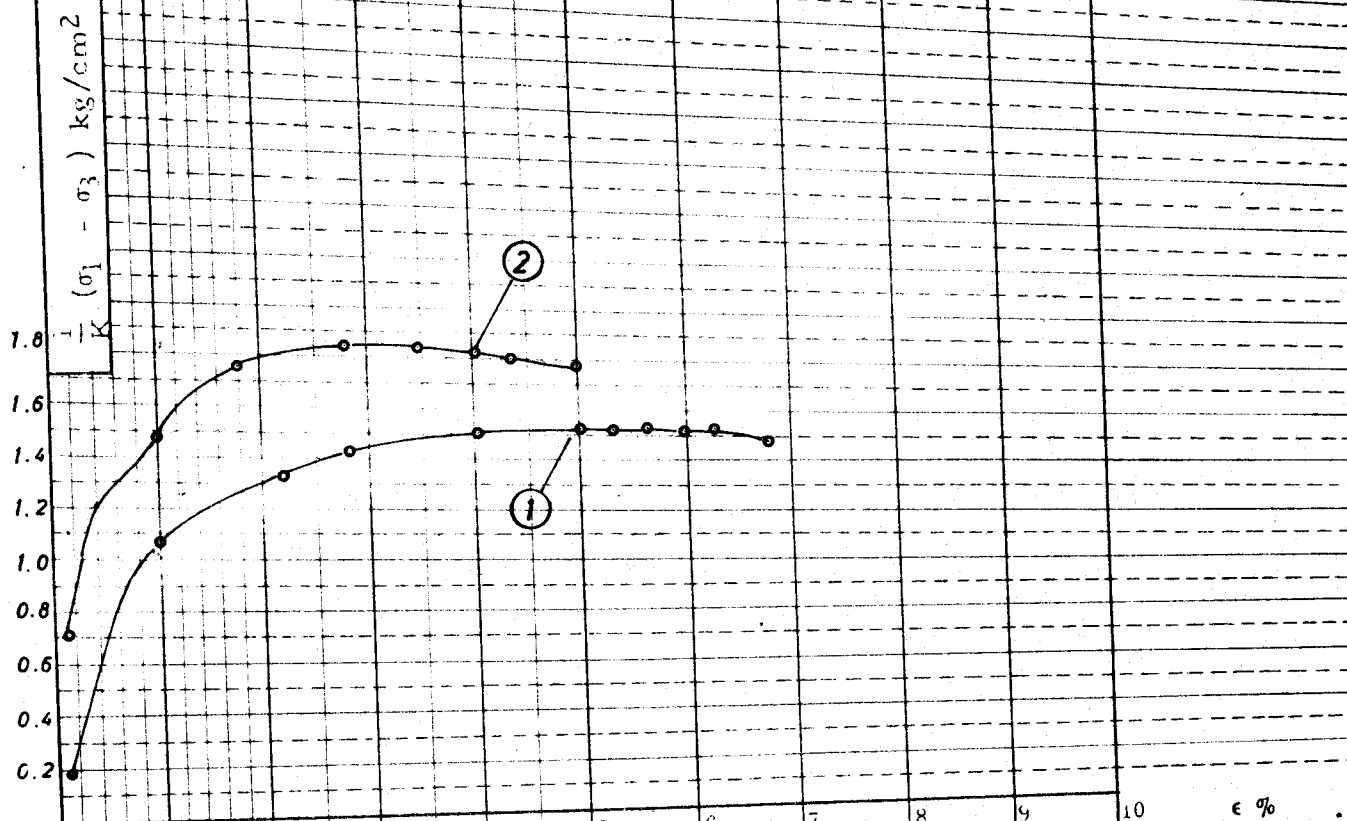
Oppdr. **0.185**

Dybde

Sign.

Type

| Lab. nr. | Prøve nr. | σ_c kg/cm ² | σ_3 kg/cm ² | u_f kg/cm ² | ϵ_f % | K | v_ϵ %prøve | $0.5(\sigma_1 - \sigma_3)$ kg/cm ² | $\bar{\sigma}_3$ kg/cm ² |
|-------------|--------------|----------------------------------|----------------------------------|-----------------------------|-------------------|---|------------------------|--|--|
| 103 | 1 | 1.5 | 3.5 | 2.98 | 5.0 | | 4.6 | 0.72 | 0.52 |
| 103 | 2 | 3.0 | 5.0 | | | | 3.9 | | |



TRIAKSIALFORSØK

Sted **VOLLABAKKEN**

Bilag **36**

Boring

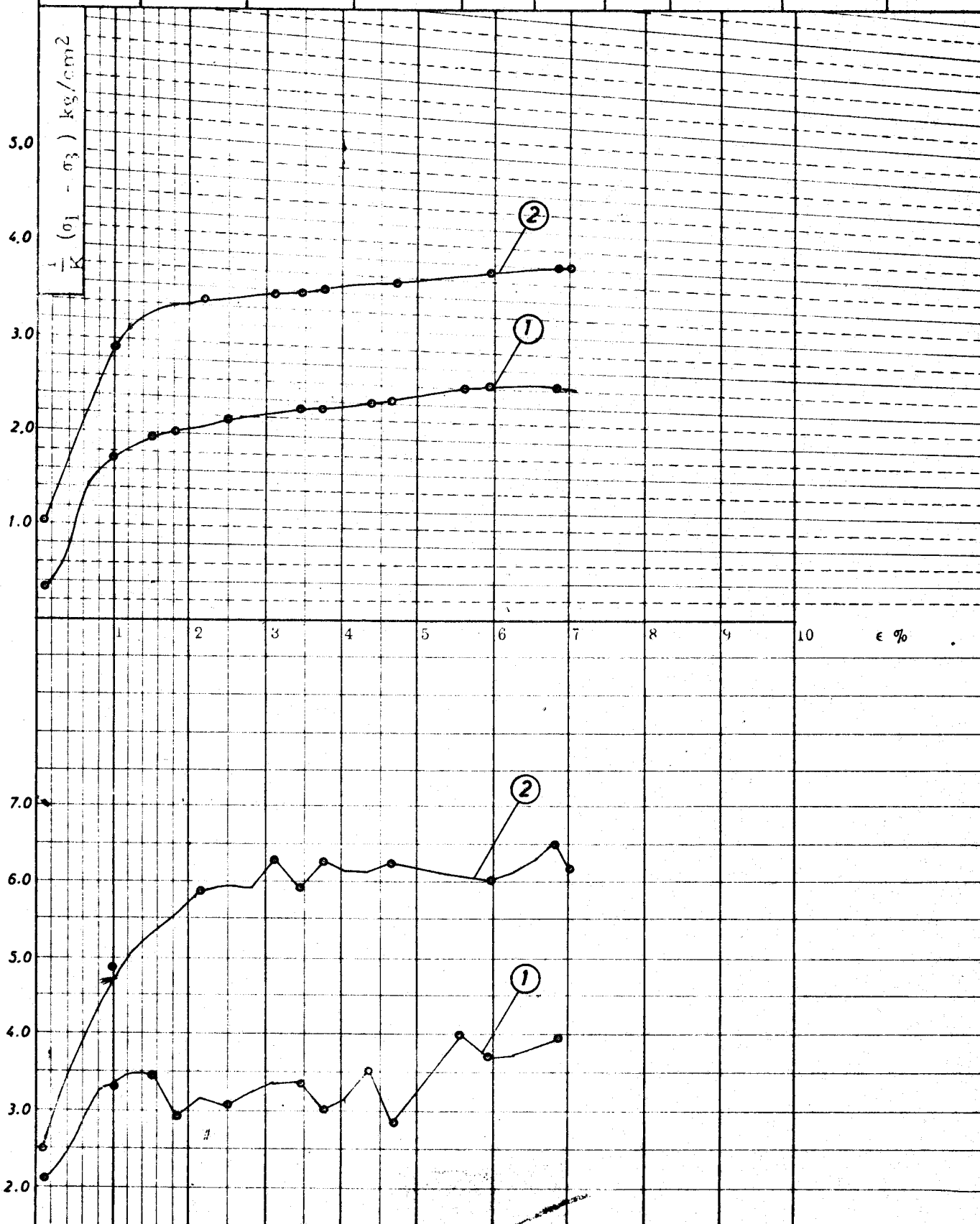
Oppdr. **0.185**

Dybde

Sign.

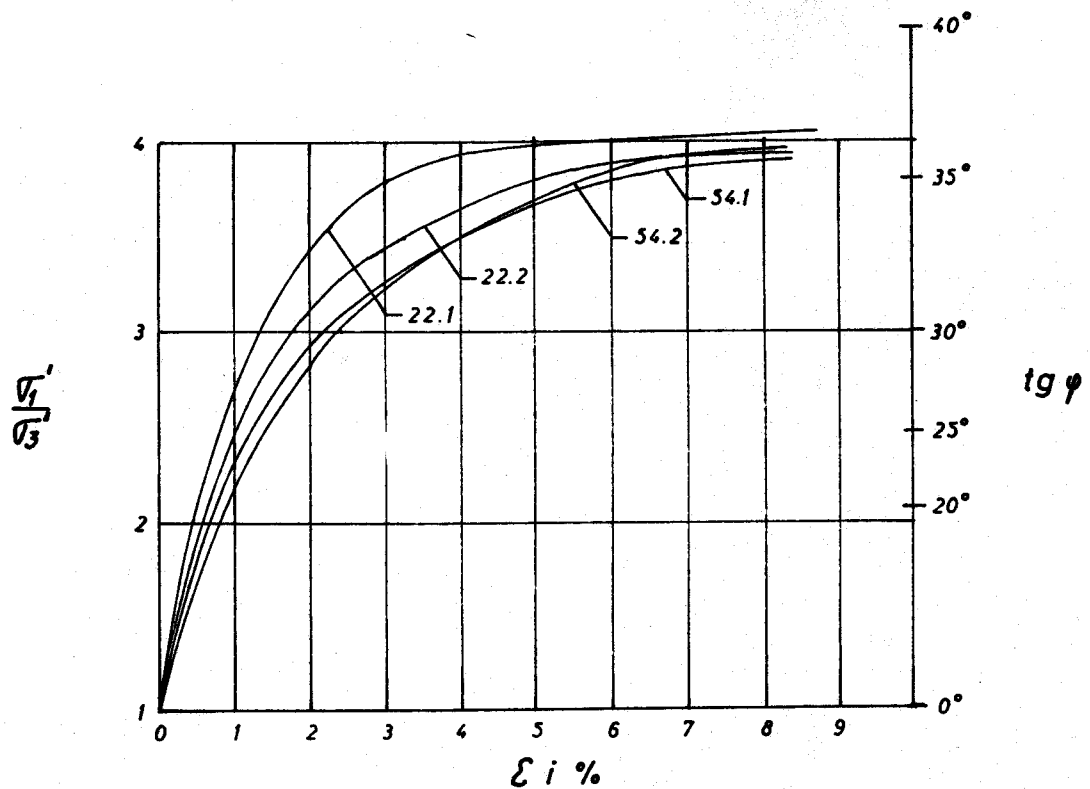
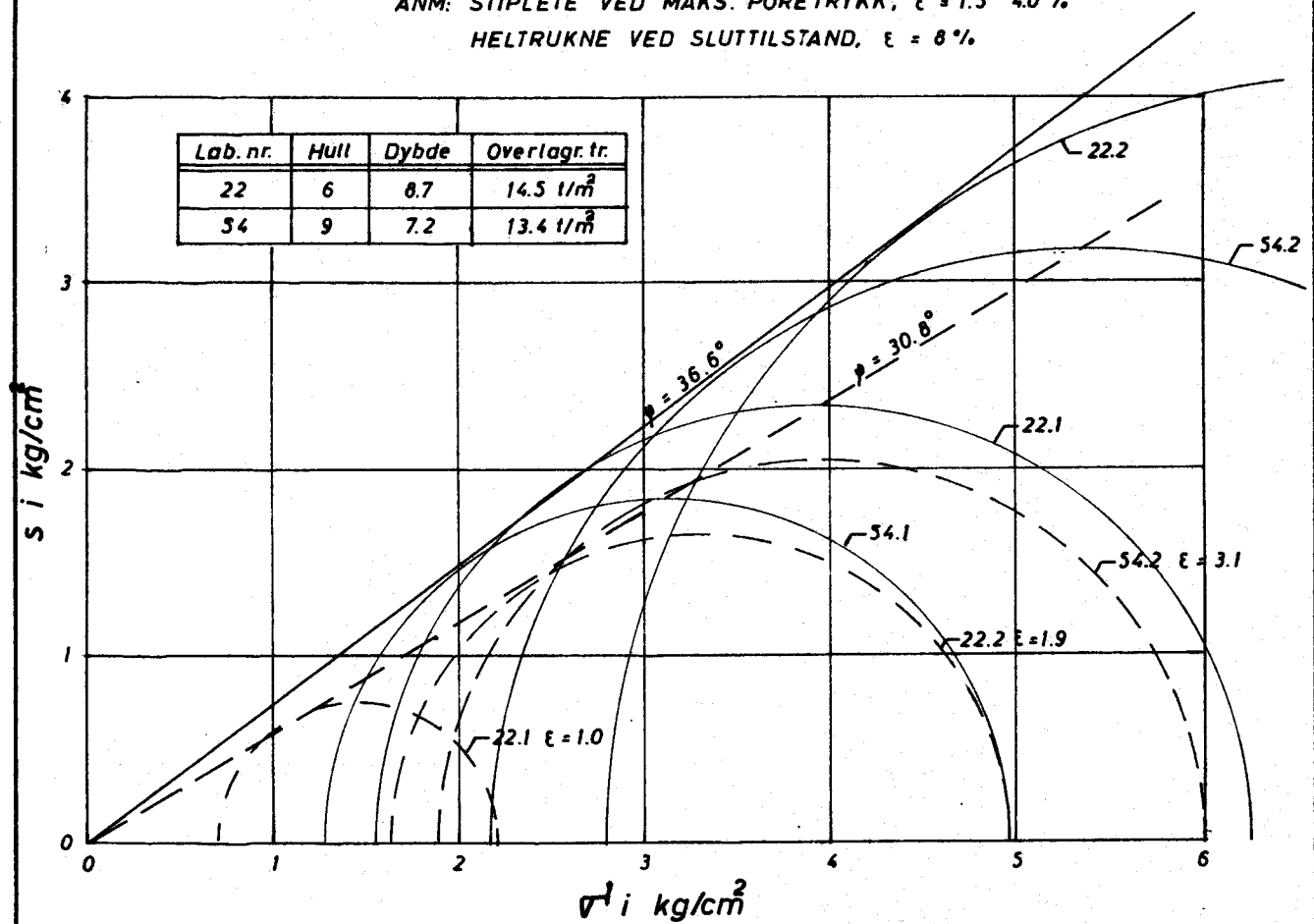
Type

| Lab. nr. | Prøve nr. | σ_c kg/cm ² | σ_3 kg/cm ² | u_f kg/cm ² | ϵ_f % | K | v_e % Topp. time | $0.5(\sigma_1 - \sigma_3)$ kg/cm ² | $\bar{\sigma}_3$ kg/cm ² |
|-------------|--------------|----------------------------------|----------------------------------|-----------------------------|-------------------|---|--------------------------|--|--|
| 106 | 1 | 3.0 | 5.0 | | | | 5.1 | | |
| 106 | 2 | 6.0 | 8.0 | | | | 4.0 | | |



TRIAKSIALFORSÖK PÅ SILT.

ANM: STIPLETE VED MAKS. PORETRYKK, $\epsilon = 1.5 - 4.0\%$.
HELTRUKNE VED SLUTTILSTAND, $\epsilon = 8\%$.



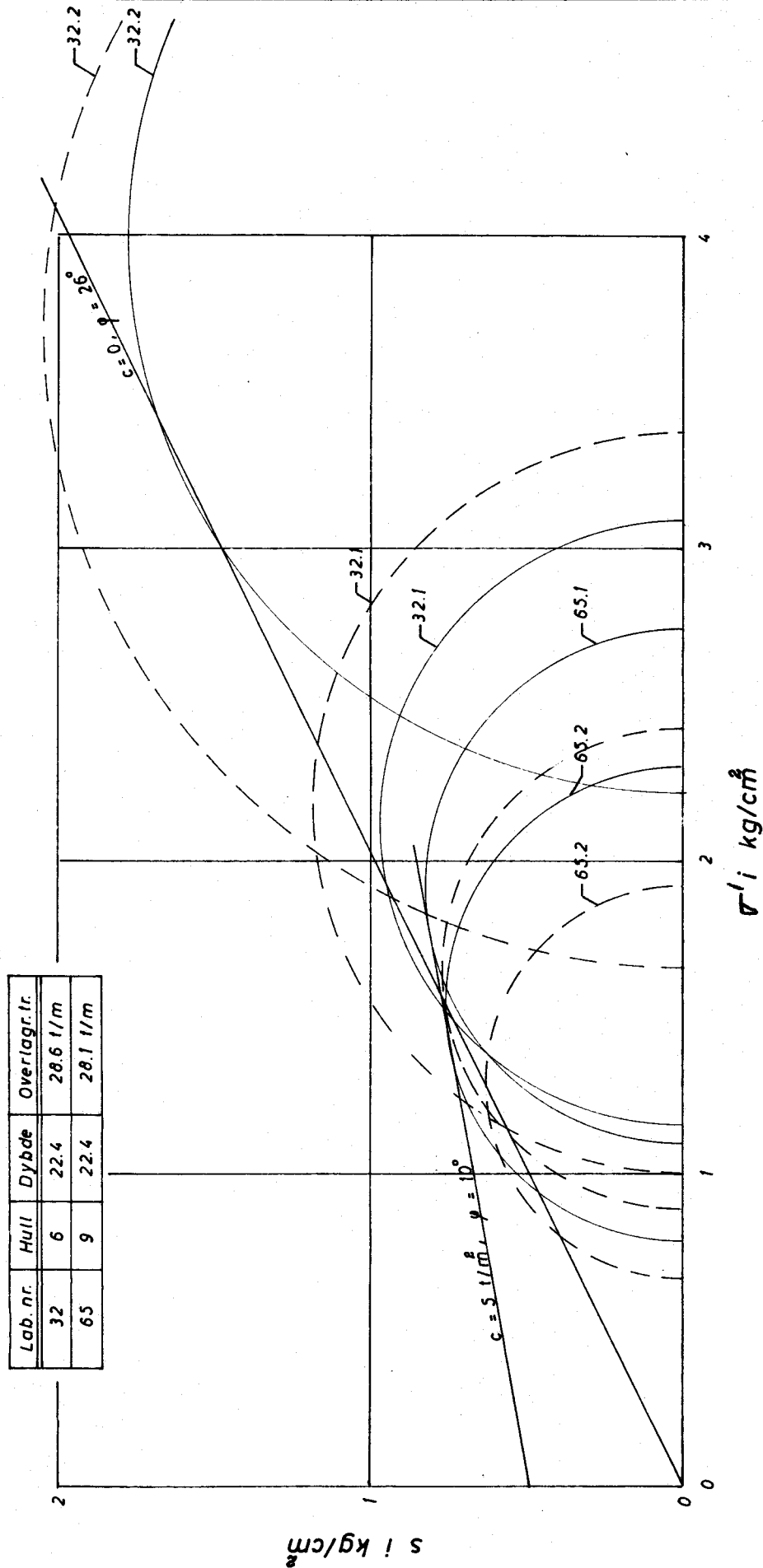
| | | |
|---|--|-----------------------|
| SCHIVES GT. - NIDELVEN, TRONDHEIM. | | |
| TRIAXIALFORSÖK. | | Tegn E.H. |
| | | Dato 17.12. -63 |
| Rådgiv. ing. O. KUMMENEJE Trondheim. | | 0.185 |
| | | Bilag: 37 |

TRIAKSIALFORSÖK KVIKK SILTIG LEIRE.

UNDER PLATA.

ANM: HELTRUKNE VED MAKS. ($\sigma_1 - \sigma_3$) ELLER STAB. PORETRYKK, $\xi = 2-4\%$.
 STIPELE VED SLUTTILSTAND, $\xi = 8-9\%$.

| Lab. nr. | Hull | Dybde | Overlagr. tr. |
|----------|------|-------|---------------|
| 32 | 6 | 22.4 | 28.6 l/m |
| 65 | 9 | 22.4 | 28.1 l/m |

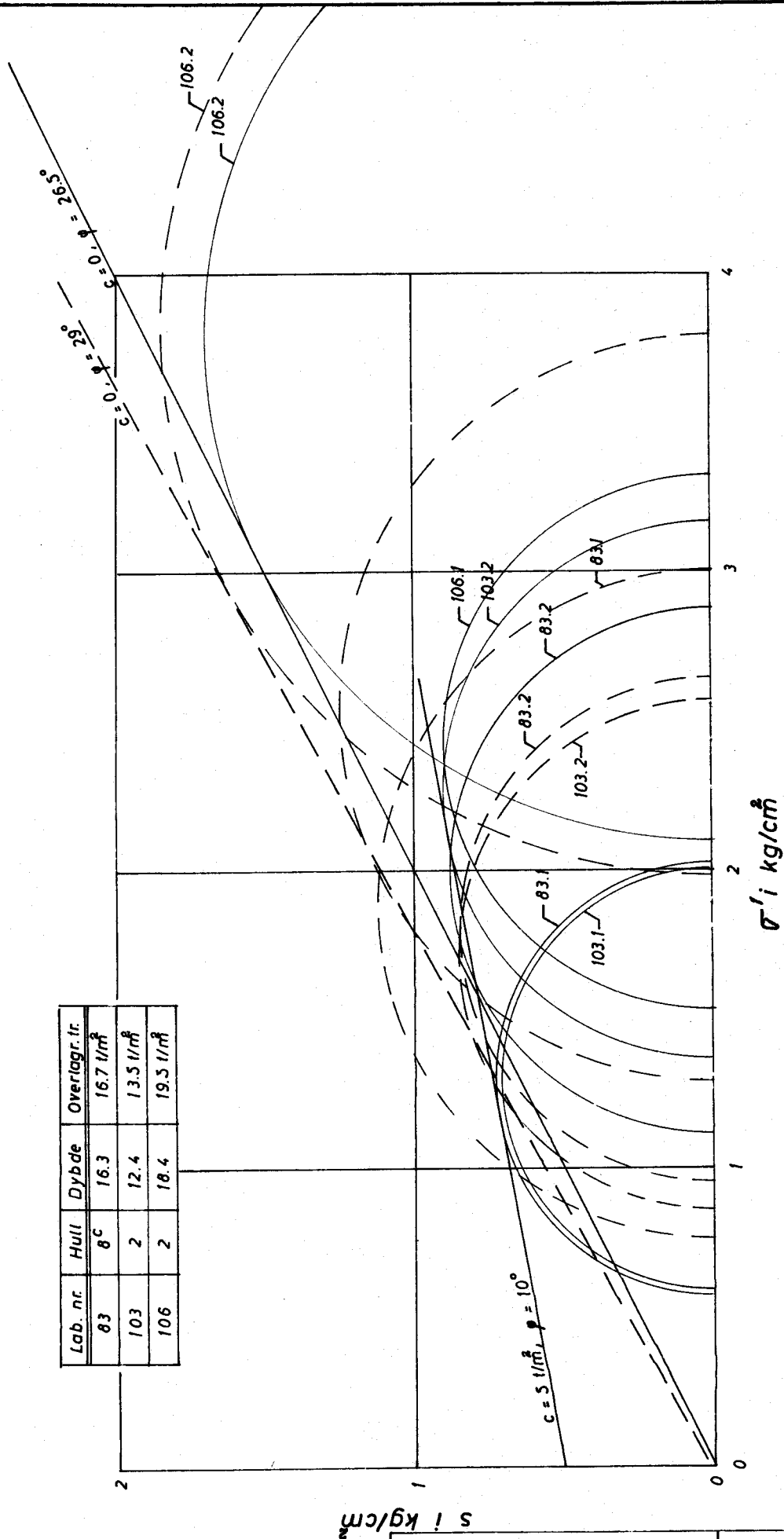


| | | | |
|--------------------------------------|--|-----------|-------------|
| SCHIVES GT - NIDELVEN, TRONDHEIM. | | Tegn. | Dato |
| TRIAKSIALFORSÖK. | | E.H. | 17. 12. -63 |
| Rådgiv. ing. O. KUMMENEJE Trondheim. | | O. 185 | |
| | | Bilag: 38 | |

TRIAKSIALFORSÖK KVIKK SILTIG LEIRE, UNDER SKRÅNING.

ANM: HELTRUKNE VED MAKS.(σ -u) ELLER STAB. PORETRYKK, $\xi = 1.5 - 4.0\%$.
STIPLETE VED SLUTTILSTAND, $\xi = 4 - 8\%$.

| Lab. nr. | Hull | Dybde | Overlgr. tr. |
|----------|----------------|-------|-----------------------|
| 83 | 8 ^c | 16.3 | 16.7 l/m ² |
| 103 | 2 | 12.4 | 13.5 l/m ² |
| 106 | 2 | 18.4 | 19.5 l/m ² |



| | | | |
|---|--|--------------------|------------------------|
| SCHIVES GT. - NIDELVEN, TRONDHEIM. | | | |
| <u>TRIAKSIALFORSÖK.</u> | | Tegn E.H. | Dato 17.12. - 63 |
| Rådgiv. ing. O. KUMMENEJE Trondheim. | | 0.185 Bilag, 39 | |