

NORGES GEOTEKNISKE INSTITUTT
Norwegian Geotechnical Institute

Rapport.

Grunnundersøkelser for planlagt
kai på Sørenga, Oslo SO.

O. 481-4.

6. juni 1962.

O S L O — B L I N D E R N — T L F. 69 58 80

Bilagsfortegnelse.

1. Tegnforklaring og normer.
- 2-25. Borprofiler og vingeborresultater.
- 26-36. Ødometerforsøk.
- 37-38. Kornfordelingsanalyser og bestemmelse av humusinnhold.
- 39-42. Triaksialforsøk.
- 43-44. Poretrykksmålinger.
- 45-53. Profiler med jordartsbeskrivelse.
54. Antatt forløp av fjellkoter.
- 55-58. Stabilitetsberegninger, s_u -analyse.
59. Stabilitetsberegninger, $c\phi$ -analyse.
60. Setninger på ekspedisjonsbygg, Bjørvika.
- 61-62. Antatte setninger.
63. Oversiktskart.

INNHOLDSFORTEGNELSE.

I	INNLEDNING	s. 1
II	MARKARBEIDET	s. 1
III	LABORATORIEUNDERSØKELSER	s. 2
IV	BESKRIVELSE AV GRUNNFORHOLDENE	s. 3
V	STABILITET	s. 8
VI	SETNINGER	s. 12
VII	KONKLUSJON	s. 15
	TILLEGG I A, Beskrivelse av bormetoder	s. 19
	TILLEGG I B, - " - - " -	s. 20
	TILLEGG II A, Laboratorieundersøkelses	s. 21
	TILLEGG II B, - " - - " -	s. 22
	TILLEGG II C, - " - - " -	s. 23

I. INNLEDNING.

Norges geotekniske institutt har etter oppdrag fra Oslo Havnevesen, Bygningsavdelingen, utført grunnundersøkelser for planlagt kai på Sørenga. Den nye Sørenskaien skal ligge i syd-vestlig retning i området mellom utløpene av Akerselven og Loelven.

Undersøkelsene ble delvis foretatt i tiden 1956-57 og er tidligere beskrevet i rapport 0.481-1 av 15. april 1957. I foreliggende rapport, som erstatter den ovenfor nevnte rapport, er det også gjengitt resultatene av supplerende undersøkelser som Instituttet foretok våren og sommeren 1961, delvis i forbindelse med forandringer i kaiplanene ved at man nu forutsetter en rettvinklet kaiavslutning mot tidligere en skrå tverrkai. Den del av sistnevnte undersøkelsesmateriale som omfatter området ved Sørenskaien, er tidligere også fremlagt i rapport 0.481-3 av 1. oktober 1961, idet man her var interessert i å gå i gang med byggingen av kaien så tidlig som mulig.

De foreliggende planer går ut på at selve kaien fundamentaleres på peler til fjell, og med spuntvegg ved bakkant kai. På det innenforliggende område skal terrenget oppfylles til kainivå og bebygges med lagerskur.

Hensikten med de utførte undersøkelser har vært å klarlegge spørsmålet om hvorvidt og hvorledes de foreliggende byggeprosjekter og oppfyllingsarbeider kan gjennomføres.

Det er således i den foreliggende rapport fremlagt resultatene av en stabilitetsanalyse som Instituttet har foretatt for det vedtatte kaiprofil.

Videre er redegjort for setningsforholdene for en oppfylling av området til kote + 2.2.

II. MARKARBEIDET.

Som nevnt innledningsvis er markarbeidet utført dels i tiden 19/12-1956 til 6/3-1957, dels 10/4 til 12/5 og 15/8 - 15/9 1961. Boringene som for en vesentlig del er utført fra pram, har vært ledet av henholdsvis tekniker H. Aspen og tekniker B. Fjell fra Instituttet med hjelpemannskap fra Oslo Havnevesen.

Det er ialt utført 24 vingeboringer, 9 spyleboringer til fjell, og opptagelse av uforstyrrede jordprøver i 6 borhull. I ett tilfelle ble foretatt en sonderboring for bestemmelse av fyllmassenes tykkelse. Endelig ble det på ett sted montert 3 piezometere i forskjellig dybde hvor porevannstrykket i grunnen regelmessig blir observert. Boringenes plasering er vist på oversiktskartet i bilag 63, der bunnkotene er inntegnet på grunnlag av Oslo Havnevesens oppmålinger, O.H.'s kart nr. 6127. De borer som ble utført i 1956/57 er merket med romertall.

De utførte vingeboringer er stort sett ført ned til kote -25 til -30. Resultatene er vist i bilagene 2-25.

I de 6 borhull ble det ialt tatt opp 61 uforstyrrede jordprøver, samt enkelte omrørte prøver fra fyllmassene. Prøvene ble sendt inn til undersøkelse ved Instituttets laboratorium.

På bilag 54 er det på grunnlag av de utførte spyleboringer inntegnet det antatte forløp av fjellkotene innen det undersøkte området. Fjellets kotehøyde er angitt ved de enkelte borhull. Fjellkotene nord for dette området er inntegnet på grunnlag av tidligere borer til fjell utført av Oslo Havnevesen og Forenede Kullimportører (O.H.'s kart nr. 1436).

Resultatet av de foretatte poretrykksobservasjoner i området ved Sørensg-utstikkeren fremgår av bilagene 43 og 44. Avlesningene vil her pågå i hele byggetiden.

Med hensyn til en beskrivelse av utstyr og boringsteknikk som er benyttet henvises til tilleggene I A og I B.

III. LABORATORIEUNDERSØKELSER:

En beskrivelse av de rutinemessige undersøkelsene som er foretatt i laboratoriet er gitt i bilag II A. Resultatene fremgår av borprofilene i bilagene 5, 7, 10, 13, 17 og 19.

Man har dessuten for en del av prøvene bestemt humusinnholdet som er innholdet av organisk materiale i vekts prosent av prøvens tørrsubstans. Resultatet av disse undersøkelsene fremgår av bilag 37.

Videre er det foretatt en kornfordelingsanalyse (tillegg II B) på noen av prøvene, og resultatet er tegnet opp i bilagene 37 og 38.

For bestemmelse av leirens setningsegenskaper er det utført ialt 27 ødometerforsøk som beskrevet i tillegg II B og med resultater som vist i bilagene 26-36.

Endelig er det i laboratoriet utført 4 serier Triaksialforsøk (tillegg II C) til bestemmelse av leirens skjærfasthet med hensyn på effektive spenninger. Resultatet av disse forsøk fremgår av bilagene 39 - 42.

IV. BESKRIVELSE AV GRUNNFORHOLDENE.

Terrengoverflaten innen det undersøkte areal ligger i det alt vesentlige under vann. Høydene varierer svært uregelmessig som en følge av at det på større partier er foretatt en oppfylling av terrenget. Fyllmassene som har en tykkelse av opptil 14 m, består hovedsakelig av sand og grus samt delvis av byfyll og større betongklumper fra nedrevne konstruksjoner. I området øst for Sørengutstikkeren finner man (borhull 12) like over leiren en 8-9 m tykk sekundær avsetning bestående av sand og sagflis.

Variasjonene i fyllmassenes mektighet fremgår av de opptegnede profiler i bilagene 45 - 53.

På de deler av området som ikke er fylt opp synes terrenget stort sett å falle av fra kote -8 til -9 på nord-østre parti til kote -10 til -12 langs den prosjekterte kais syd-vestlige begrensning. Innen de oppfylte arealer ligger imidlertid overgangen mellom fyllmasser og leire tildels flere meter lavere. Dette kan skyldes at et øvre lag av slam her stort sett er fjernet - samt setninger i leiravsetningen som følge av belastningen fra fyllmassene.

Som det fremgår av bilag 54 varierer fjellets beliggenhet relativt lite innen området. Lengst øst er fjell påtruffet på kote -46.6, forøvrig ligger fjellet på kote -52 til -59.

Grunnforholdene kan, når man ser bort fra fyllinger og sekundært avsatte masser, karakteriseres ved følgende lagdeling (bilag 45-53) :

Øverst finner man et 1 - 3 m tykt lag av gytje og slam. Det skal bemerkes at dette lag tildels også synes å finnes under fyllmassene, der sterkt oppblandet med sand og grus.

Slamlaget går uten markert overgang over til leire som på de øverste 3 - 6 m er siltig, med innhold av skjellrester og spredte sandkorn. Overgangen mellom siltig leire og den underliggende fetere leire er på de forskjellige steder mer eller mindre gradvis, men ligger stort sett på kote -15 til -19. De utførte spyleboringer synes å vise at leiren fortsetter ned til fjell. Den inneholder noe skjell- og planterester, tildels også sand- eller gruskorn.

O. 481-4 6/6-62

I dybdeintervallet mellom kote -21 og -25 er leiravsetningen gjennomskåret av et lag med tykkelse av størrelsesorden 1 - 1.5 m, og bestående av mer grovkornede masser varierende fra siltig eller sandblandet leire til ren sand og grus.

Nord-vestre kaiområde,

Resultatene fra 3 borhull, 2, 3 og 4 (bilag 12, 13 og 14) beliggende 26 m nordvest for kailinjen, hvor det ikke er utlagt fyllmasser, viser at leirens udrenerte skjærfasthet her stort sett øker jevnt med dybden fra ca. 1.0 t/m^2 like under slamlaget til ca. 4.0 t/m^2 på kote -25. Forholdet mellom skjærfasthet og effektivt overlagringstrykk (s_u/p) er 0.20 - 0.22. Ved ca. kote -15, i overgangssonen mellom siltig leire og leire synes samtlige borer å påvise et svakere lag med skjærfasthet $1.0 - 1.3 \text{ t/m}^2$.

Leirens naturlige vanninnhold ligger på 40 - 45%, utrullingsgrensen er 25 - 30% og flytegrensen på 45 - 50%, på de største dybder endog opp til 55 - 60%.

Borhullene VI, VII og VIII (bilag 7, 17, 8 og 9) ligger ca. 4 m innenfor kailinjen. Ved de to førstnevnte borer som er tatt fra Sørensgutstikkeren er leiravsetninger overlagret av 8 - 10 m fyllmasser. Da fyllingen har ligget i flere år, har den medført en skjærfasthetsøkning i leiren, særlig i øverste del av avsetningen. Den målte udrenerte skjærfasthet ligger for en stor del innen området $4 - 5 \text{ t/m}^2$. Ved boringene VII og VIII hvor det ikke er utlagt fyllmasser er skjærfastheten stort sett $3 - 4 \text{ t/m}^2$. Under den siltige leire øker skjærfastheten med dybden etter et s_u/p -forhold på 0.20 - 0.22. Også ved disse fire borer er det omrent

på overgangen mellom siltig leire og leire funnet et mer eller mindre utpreget svakere lag, her med udrenert skjærfasthet på $2 - 3 \text{ t/m}^2$.

Under fyllmassene er leirens naturlige vanninnhold på 35 - 40%, videre ligger også utrullingsgrense og flytegrense tildels noe under de ovenfor angitte verdier for det ikke oppfylte område utenfor kailinjen.

I en avstand av 36 m syd-øst for kailinjen er utført 3 vingeboringer, 10, 11 og 12 (bilag 20, 21 og 22) i økende avstand fra utstikkerens ende. Leiravsetningen er utsatt for forskjellige belastningsforhold på de tre steder med derav følgende varierende skjærfasthetsverdier.

Ved borrhull 10 er det ikke utlagt fyllmasser. Under et 2 m tykt slamlag avtar skjærfastheten på de første $2 - 3 \text{ m}$ fra 4 t/m^2 til 2 t/m^2 , hvorpå fastheten øker med et s_u/p -forhold på $0.20 - 0.22$ til nær 5 t/m^2 i 15 m dybde hvor boringen er avsluttet.

Boring 11 er tatt i et område hvor det relativt nylig er lagt ut $8 - 10 \text{ m}$ fyllmasser. De øverste $5 - 6 \text{ m}$ av leiravsetningen har en noe høyere skjærfasthet enn ved ovenstående hull, forøvrig synes det foreløpig ikke å ha skjedd noen skjærfasthetsøkning i leiren.

Ved hull 12 er leiravsetningen, såvidt man kan bedømme ut fra vingeborresultatene, konsolidert under belastningen fra et 15-16 m tykt lag av fyllmasser og sekundært avsatte masser (sagflis og sand), samt fra en betydelig nyttelast på terreng. Skjærfasthetsverdiene ligger innen området $4.5 - 6.5 \text{ t/m}^2$, økende med dybden også her med et s_u/p -forhold på $0.20 - 0.22$.

Vestre hjørne av kaiområdet.

Ved borrhullene 1 og 6, beliggende henholdsvis 26 m utenfor og 4 m innenfor kailinjen mot nordvest (bilag 11 og 16) og ved hullene 5 og 8 som ligger 10 m utenfor kaiens tverravslutning (bilag 15 og 18) er det ikke fyllmasser over leiren. Den udrenerte skjærfasthet under slam-laget ligger for de tre første boringers vedkommende stort sett mellom 1 og 3 t/m^2 , og med det før angitte s_u/p -forhold. Ved borrhull 8 som ligger nærmere oppfylte områder er skjærfastheten høyere i de øverste lag og varierer mellom 2.5 og 3.5 t/m^2 .

Ved borhull 9 (bilag 19) som ligger henholdsvis 36 og 40 m innenfor kailinjene mot nord-vest og syd-vest har fyllmassene en tykkelse av 5 - 6 m. Den udrenerte skjærfasthet ligger mellom 3 og 4.5 t/m², noe økende med dybden. Naturlig vanninnhold er på ca. 40%, utrullingsgrense og flytegrense på henholdsvis ca. 25% og 45-50%.

Sydvestre kaiområde.

Ved boringene 13 og 14 henholdsvis 30 og 10 m utenfor kailinjen (bilag 23 og 24) og ved boringene V og 15 beliggende 40 m innenfor kailinjen (bilag 6 og 25) ligger det 6 - 10 m fyllmasser over leiravsetningen. Leirens udrenerte skjærfasthet i dette området er på 4 - 5 t/m².

Ved borhull IV (bilag 5) lengst syd på det undersøkte området er skjærfastheten noe lavere 3 - 4 t/m², tiltross for at fyllingens mektighet på dette sted er ca. 8 m. Det naturlige vanninnhold er på 30-40%, utrullingsgrensen på 20-25% og flytegrensen stort sett 40-50%.

Sør-østre kaiområde.

Borhullene I, II og III (bilag 2, 3 og 4) ligger alle i mindre avstand enn 5 m fra sør-østre kailinje. Ved hull I er grusfyllingens tykkelse ca. 5 m. Leirens udrenerte skjærfasthet ligger stort sett mellom 3 og 4 t/m², noe økende med dybden. Ved hullene II og III hvor det ligger henholdsvis 7.5 og 6 m fyllmasser over leiren er skjærfastheten høyere, 4 - 5 t/m².

Borhull IX ligger 35-40 m innenfor kailinjen, inne på Oslo Havnevesens verkstedshavn. Det er på dette sted ikke utlagt fyllmasser. Leirens udrenerte skjærfasthet øker fra vel 1.5 t/m² i 4.5 m dybde til ca. 3 t/m² i 12.5 m dybde. Gjennomsnittlig ^su/p-forhold er 0.20 - 0.22.

Det naturlige vanninnhold i leiren er ned til 15 m dybde omkring 40 %. Derunder avtar vanninnholdet, og er i 20 m dybde under 30%. Utrullingsgrensen er i den øverste siltige leire 25-30%, og på større dybde 20-25%. Flytegrensen er ned til 15 m dybde 48-55%, i dybdeintervallet 15-20 m betydelig lavere, ca. 40%.

Leirmassene innen det undersøkte området må betegnes som sensitive eller lite sensitive. Det er kun rent unntagelsesvis funnet leire med sensitivitet større enn 10.

Felles for hele området er at den siltige leire, delvis også den underliggende fetere leire er lagdelt idet den er gjennomskåret av en rekke tynne sandlag. Dette kan trolig forklares ved vekslinger i strømhastigheten i Akerselven og Loelven gjennom tidene.

På grunn av det lagdelte materialet, dessuten også av forskjellen i påført belastning fra fyllmassene samt forskjellig konsolideringsgrad for denne belastning, varierer romvektene en del i den øvre del av leiravsetningen. Helt øverst i den siltige leire er målt verdier helt under 1.7 t/m^3 , forøvrig synes romvekten på de øverste 10 m stort sett å variere mellom 1.8 og 2.0 t/m^3 dog uten å vise noen tydelig tendens til å øke med dybden. Ved hull VI (bilag 7) hvor det er tatt opp prøver helt til 25 m ned i leiravsetningen, øker romvekten på de nederste 15 m relativt jevnt fra 1.84 t/m^3 til 1.99 t/m^3 , eller med ca. 0.01 t/m^3 pr. m. i dybden. Leirens naturlige vanninnhold avtar i det samme dybdeintervall tilnærmet konstant med vel 1% pr. m.

På bilag 37 er vist resultatene av de foretatte kornfordelingsanalyser på prøver fra forskjellige dybder i borhull 3 (og 7). Som det fremgår av disse resultater er leirinnholdet eller vektsprosenten av korn med diameter mindre enn 0.02 mm, på 12-24% i den siltige leire og på 40-50% i den dypereleggende leiren. I en prøve fra borhull 3 i sand og gruslaget mellom kote -21 og -22 utgjorde sand- og grusfraksjonen over 97 vektsprosent. Dette innebærer at man her har et meget permeabelt lag i grunnen.

På bilag 38 er vist typiske kornfordelingskurver for det som er blitt betegnet som henholdsvis siltig leire og leire. Videre er medtatt kornfordelingskurven for en prøve av fyllmassene i 5 m dybde ved hull 13.

Leirens innhold av organisk materiale er bestemt i forskjellige dybder ved borhullene 3 og 7. Resultatet er fremlagt i bilag 37. Humusinnholdet er meget høyt i øvre del av den siltige leire, 2.5 - 3.0 %, men avtar til omkring 1% i større dybder. I et relativt tynt sand- og siltlag i 14 m dybde ved hull 3 er innholdet av humus 3.7%. Det høye innhold av organisk materiale innebærer at leiren har en relativt stor kompressibilitet.

V. STABILITET.

s_u -analyse.

Kaiens stabilitetsforhold under byggeperioden er undersøkt ved en s_u -analyse basert på leirens udrenerte skjærfasthet bestemt ved vingeboringer samt ved konus- og trykkforsøk i laboratoriet.

Det er antatt topp kai på kote + 2.2, mudringsdybde utenfor kaien til kote -10.0 og forøvrig et kaiprofil i samsvar med opplysninger gitt av Oslo Havnevesen. Fyllmassene er antatt å ha en romvekt på 1.8 og 0.9 t/m^3 i henholdsvis jordfuktig og neddykket tilstand, og en friksjonsvinkel på 35° . Leirens midlere neddykkede romvekt er - muligens noe forsiktig - satt til 1.0 t/m^3 . Endelig er det anslått et lavvannsnivå i sjøen på kote -1.0. Det er ved beregningene forutsatt sirkulærsylindriske glideflater - eventuelt i kombinasjon med brudd langs en logaritmisk spiral gjennom grusfyllingen.

Det er utført beregninger for 4 jordprofiler orientert på tvers av kai-linjen og med grunnforhold mest mulig representative for hvert sitt parti av den prosjekterte kai. En har forutsatt at slamlaget i alt vesentlig fjernes ved utleggingen av fyllmassene.

Resultatet av stabilitetsberegnogene for nordvestre del av kaien ved Søregutstikkeren (profilene P.1 - 3) fremgår av bilag 55.

Legges de ugunstigst mulige forutsetninger til grunn for beregningene, det vil si antagelsen av et gjennomgående svakere lag på ca. kote -15 (kfr. side 4), vil de farligste glideflater gå ned i dette lag. Lavest beregnede sikkerhetsfaktor er på 1.24.

Forutsetter man at de målte minimumsverdier ved vingeboringene ikke representerer et sammenhengende lag med denne fasthet, blir beregnet sikkerhetsfaktor ca. 1.40. Sett på bakgrunn av at den laveste sikkerhetsfaktor, 1.24 - en verdi som ligger under det man vanligvis tillater for slike byggverk - må antas å kunne være basert på noe for ugunstige forutsetninger om grunnforholdene, mener Instituttet at kaiens stabilitet under byggeperioden er tilstrekkelig.

På bilag 56 er gitt resultatene av stabilitetsberegnogene for vestre hjørne av kaiområdet (Profilene P.4 - 5).

Da selve kaien her kommer flere meter utenfor det område hvor det er foretatt noen oppfylling av betydning, er den udrenerte skjærfasthet lav i den del av leiravsetningen som er av størst betydning for kai-profilets stabilitet. Beregnet sikkerhetsfaktor er 1.22.

Det på bilag 56 viste jordprofil er kun representativt for en kort strekning av kailinen. Dette innebærer at stabilitetsforholdet i dette området i en viss grad også er influert av stabiliteten av de tilstøtende partier av kailinen.

Nu er imidlertid stabiliteten av nord-vestre kailinje som ovenfor nevnt, på grensen av det tillatelige. Efter Instituttets mening kan derfor kaien ikke bygges ferdig på dette sted uten en forutgående konsolidering av de øvre leirlag ved utlagte fyllmasser. Da en må regne med at konsolideringen kan ta relativt lang tid, bør en således for å unngå unødig forsinkelse av kaien snarest mulig fylle opp terrenget for eksempel til ca. kote 0 i et belte med utstrekning 15 - 20 m utover og innover fra fremtidig spuntvegg. Før kaien fullføres må det ved boringer gjennom fyllmassene kontrolleres at en skjærfasthetsøkning i leiren har funnet sted, og kaiens stabilitetsforhold vurderes på grunnlag av de målte skjærfastheter.

Det er ved beregningene forutsatt at sjøbunnen fylles opp til kote -10 i hvertfall i en avstand av 20 - 30 m utover fra kailinen.

I syd-vestre kaiområde (Profilene P. 6 - 7) er leirens udrenerte skjærfasthet høy og kaiens stabilitet under byggeperioden tilfredsstillende. Beregnet sikkerhetsfaktor er på 1.61 (bilag 57).

Likeledes er stabilitetsforholdet for kailinen mot syd-øst (profilene P. 8 - 9) for en stor del tilfredsstillende med beregnet sikkerhetsfaktor på 1.53 (bilag 58, ALT. I).

På et anslagsvis 30-50 m langt parti av kailinen øst sør-øst for verkstedshavnen er det imidlertid ikke lagt ut noe fyllmasser av betydning, og det er grunn til å tro at skjærfastheten i de øvre leirlag her er langt lavere enn den verdi som ligger til grunn for ovennevnte sikkerhetsfaktor. En stabilitetsanalyse basert på den målte skjærfasthet i borhullene I og IX gir en meget lav sikkerhetsfaktor, 1.09 (bilag 58, ALT. II). Da det er grunn til å tro at skjærfasthetsverdiene i leiren

mellan boringene I og II på grunn av lavere fyllingshøyde kan være betydelig lavere enn ved hull I, kan man dessuten ikke utelukke at sikkerhetsfaktoren for kaien under byggeperioden lokalt kan være enda mindre.

O. 481-4 6/6-62

En nødvendig forutsetning for at kaien kan bygges på dette parti må således være at utleggingen av fyllmassene og den etterfølgende kontroll av skjærfasthetsøkningen utføres etter samme retningslinjer som anført for vestre hjørne av kaiområdet.

cφ-analyse.

Langtidsstabiliteten av kaien kan bare undersøkes ved en cφ-analyse, der leiren skjærfasthet i et bestemt bruddplan uttrykkes ved Coulomb's empiriske ligning :

$$s = c' + \bar{\sigma} \cdot \operatorname{tg}\phi'$$

c' og φ' er parametere for henholdsvis kohesjon og friksjon med hensyn på effektive spenninger, σ̄ er effektiv normalspenning eller differansen mellom total normalspenning og poretrykk på det betraktede plan.

Det er for bestemmelse av skjærfasthetsparameterne for leiren på Sørensga utført 4 serier triaksialforsøk (type CIU) i laboratoriet (tillegg II C). Resultatene fremgår av bilagene 39 - 42.

To av seriene var fra den siltige leire øverst i borhull 3 og gav som middel følgende skjærfasthetsparameterer : $c' = 0.8 \text{ t/m}^2$, $\phi' = 27.7^\circ$. De to andre serier ble kjørt på prøver fra den fetere leire i dybder varierende mellom 1 og 4 m under overgangen fra siltig leire. Forsøkene gav her som middelverdier $c' = 2.2 \text{ t/m}^2$ og $\phi' = 28.4^\circ$.

Forklaringen på den høye kohesjonsverdi er noe usikker, da utførte φdometerforsøk (bilag 26-36) har vist at leiren er nær normalkonsolidert.

Nu kan stabiliteten på et hvert tidspunkt undersøkes ved en cφ-analyse, også under og like etter byggeperioden. Analysemетодen krever imidlertid at porevannstrykkene i leiren er kjent. Da poretrykkene til enhver tid er avhengig av mudrings- og oppfyllingsarbeider, peleramming samt naturligvis av drenasjeforholdene i grunnen er det svært vanskelig å anslå såvel de maksimale verdier under byggeperioden som hastigheten

hvormed de avtar i den etterfølgende tid. Grunnvannsstanden i fyllmassene kan derimot på grunn av disse materialers høye permeabilitet antas å tilsvare vannstanden utenfor kaien.

Samtidig med utarbeidelsen av den foreliggende rapport er det i området ved Sørengutstikkeren ved punkt A (bilag 63) foretatt regelmessige poretrykksmålinger i leiren over et tidsrom av ca. 9 måneder. I tiden før og under denne periode er det foretatt oppfyllinger i området, videre er det i den senere tid utført peleramming og utmudningsarbeider.

Resultatene av disse målingene fremgår av bilagene 43 og 44. Uttrykker man poretrykket i leiren som overtrykk i forhold til hydrostatisk trykksfordeling under lavvannsnivå i sjøen, ser man at dette poreovertrykk vokser jevnt med dybden og har maksimale verdier i avlesningsperioden på henholdsvis 2.95, 6.85 og 11.35 t/m² i 3,5, 7,5 og 12 m dybde under fyllmassene.

Av verdiene som er gitt ovenfor kan man slutte at man må påregne meget høye poretrykk i anleggstiden. Da leiravsetningens tykkelse er meget stor og drenasjeforholdene dårlige må man videre være oppmerksom på at disse poreovertrykk vil kunne avta meget langsomt i tiden etter at kaien er bygget. Følgen av dette er at benyttelsen av kaien ved påføring av nyttelast først vil kunne finne sted etter at en tilfredsstillende stabilitet er påvist ved en $c\phi$ -analyse, basert på målte poretrykk i leiren.

For å få en formening om hvilke sikkerhetsfaktorer en $c\phi$ -analyse gir under forskjellige antagelser angående poreovertrykk i leiren og nyttelast på kaien er det foretatt en stabilitetsanalyse for to sirkulær-sylinderiske glideflater i forskjellig dybde som vist på bilag 59. Grunnforholdene er antatt ugunstigst mulige, idet det er sett bort fra koheksjonen i leiren samtidig som det for grensen mellom fyllmasser og leire er valgt den høyeste beliggenhet på profilene i bilag 55 - 58. Det er antatt en friksjonsvinkel på 28° såvel for den siltige leire som for den fetere leire under.

Resultatet av den utførte stabilitetsanalyse fremgår av bilag 59, der sikkerhetsfaktoren er fremstilt i et diagram som funksjon av poreovertrykket i leiren og påført nyttelast på kaien. For poreovertrykket (u)

som er definert over, innsettes middelverdien langs glideflaten før belastningen påføres ($q = 0$). Sikkerhetsfaktorens avhengighet av en momentant påført belastning mellom 0 og 3 t/m^2 kan for denne verdi av poreovertrykket interpoleres innen de skraverte felter i diagrammet. Hvorvidt den dype eller den grunne glideflate har den laveste sikkerhetsfaktor avhenger som man ser av om poreovertrykket er økende med dybden og av hvor hurtig denne økning eventuelt er.

Man kan på diagrammet også ta hensyn til leirens kohesjon ved at tallene langs den horisontale akse da står for $[u - \frac{c'}{\tan \phi}]$ istedet for u . For c' innsettes den midlere verdi av leirens kohesjon langs glideflaten; $\tan \phi' \approx 0.53$.

Antar man poretrykk som målt i området ved Sørengutstikkeren i mars-juni 1962 gir den grunneste glideflate under forutsetning av ubelastet kai, sikkerhetsfaktorer på ca. 1.5 og 1.4 alt etter som om man tar hensyn til den målte kohesjon eller ikke. Den dypeste glideflate gir tilsvarende sikkerhetsfaktorer på henholdsvis ca. 1.65 og 1.4.

Såvidt man kan vurdere de fremtidige poretrykk, antas kaiens stabilitet etter byggeperioden å være tilfredsstillende. Efter Instituttets mening må imidlertid poretrykkene i leiravsetningen foran og bak spuntveggen måles i forskjellige punkter langs kaien, slik at man beregningsmessig kan påvise en tilstrekkelig sikkerhet såvel under byggingen som på det tidspunkt kaien tas i bruk.

Det er ved de utførte stabilitetsberegninger valgt ikke å ta hensyn til en stabilisrende virkning av kaipelene. Dette er gjort både fordi effekten av pelene kan være noe usikker, og fordi man mener at denne ekstra sikkerhet er forsvarlig med de uregelmessige grunnforhold og sterkt varierende skjærfasthetsverdier som man har på Sørenga.

VI. SETNINGER.

Generelt :

Setningene av et byggverk på leire kan deles inn i følgende tre faser :

1. De elastiske setninger δ_i foregår momentant ved påføringen av lasten og uten vannutpressing. Størrelsen av disse setninger kan dreie seg om 5 - 10% av de primære konsolideringssetninger (se punkt 2). For en fylling er det imidlertid av liten interesse å bestemme δ_i , da fyllingen i alle tilfelle legges opp til en bestemt kotehøyde. Når dette nivå er nådd, vil de elastiske setninger nødvendigvis være avsluttet.
2. Den påførte belastning vil medføre poretrykksökninger i leiren. Poreovertrykkene vil i løpet av en tid utlignes, ledsaget av en minskning av leirens vanninnhold. Dette vil medføre at leiren får primære konsolideringssetninger, δ_c . Setningenes tidsforløp avhenger av leirens permeabilitet, dreneringsveiens lengde, samt av størrelsen av poreovertrykkene. Såvel størrelsen, som tidsforløpet av konsolideringssetningene beregnes på grunnlag av ødometerforsøk. (tillegg II B)
3. Det tredje bidrag til de totale setninger, sekundærsetningene δ_s , foregår over meget lange tidsrom etter at konsolideringssetningene er avsluttet, d. v. s. etter at poreovertrykkene i leiren er utlignet. Størrelsen av setningene kan vanskelig beregnes ut fra ødometerforsøk eller rutinemessige undersøkelser. I det foreliggende tilfelle vil en anta at de er av størrelsесorden 10 - 15% av primærsetningene.

Beregninger.

Selve kaidekket på Sørenga skal fundamenteres på peler til fjell. Setningsproblemene er således kun knyttet til det innenforliggende området som skal fylles opp til kote + 2, 2.

For bestemmelse av leirens setningsegenskaper er det utført en rekke ødometerforsøk i laboratoriet på prøver fra borhullene VI, IX, 3, 7 og 9. Resultatene er vist på bilagene 26 - 36.

Størrelsen av de beregnede konsolideringssetninger er vist på bilag 61 som funksjon av belastningsintensiteten og leiravsetningens tykkelse (H). Da leirens kompressibilitet varierer forholdsvis meget fra sted til sted må man i praksis regne med relativt betydelige avvikler fra kurvene som bygger på gjennomsnittlige verdier fra de fem borhull.

Fyllingshøyden ved hull IX vil bli ca. 13 m, hvilket tilsvarer, ved vannstand på kote 0, en belastning på ca. 14 t/m^2 . Efter diagrammet gir dette en konsolideringssetning på vel 150 cm ($H \approx 43 \text{ m}$).

O. 481-4
6/6-62

Ved hull 9 vil den totale høyde av fyllmassene bli enda større, ca. 16 m. Her har imidlertid leiren i noen år vært belastet av 6 m fylling, slik at noe av den totale konsolideringssetning allerede har funnet sted.

De angitte setninger inkluderer ikke setninger i det øverste 1 - 3 m tykke lag av gytje og slam som er bestemt ved boringene på Sørenga. Da disse setningene vil kunne bli meget store, anslagsvis av størrelsesorden opp til 1.0 m, vil man anbefale at slamlaget fjernes også inne på området der hvor dette ikke er nødvendig av stabilitetsmessige grunner.

En beregning av setningenes tidsforløp krever blant annet at man har kjennskap til leirlagets dreneringsmuligheter under konsolideringen, det vil si om dreneringen - porevannsstrømningen er ensidig (oppover eller nedover), tosidig (oppover og nedover) eller allsidig.

Da det på Sørenga skal fylles opp over et stort areal, vil dreneringen i horisontal retning være liten og av mindre betydning for setningenes tidsforløp.

Som nevnt på side 4 er det i dybder varierende mellom kote -21 og -25 ved boringene påvist et mer grovkornig lag som synes å være gjennomgående under hele området. Laget består unntagelsesvis av rene sand- og grusmaterialer (hull 3) forøvrig hovedsakelig av sandblandet leire. Utførte poretrykksmålinger i området ved Sørengutstikkeren viser som før nevnt, jevnt økende poreovertrykk i leiren fra underkant grusfylling og ned til dette lag, og man må derav slutte at dette lag ikke drenerer den øvre del av leiravsetningen og således ikke medfører noen øket setningshastighet i leiren.

Poretrykksmålinger som er foretatt sommeren 1962 i nærheten av to prøvepeler inne i verkstedhavnen viser at poreovertrykket i leiravsetningen på dette sted avtar nesten til null like over fjell. På de øverste 10-15 m av leiravsetningen er de målte poreovertrykk av samme størrelse som ved Sørengutstikkeren. (bilag 43) En dyp prøvetagningsserie på samme sted viser at leiren like over fjell inneholder en rekke tynne sandlag, og at permeabiliteten således er betydelig høyere enn i leiren forøvrig. Disse forhold gir grunn til å tro at leiravsetningen på Sørenga har tosidig drenering, slik at porevannsstrømmen under konsolideringen skjer såvel opp i fyllmassene som ned i mer permeable masser like over fjell eller eventuelt ned i fjellet.

På bilag 60 er vist målt setningshastighet for ekspedisjonsbygningen på fyllingen i Bjørvika i tidsrummet febr. 1961 til mai 1962. På grunnlag av det foreliggende undersøkelsesmateriale fra dette sted synes grunnforholdene her å være helt analoge med de man finner på Sørenga. På grunnlag av de målte setningshastigheter er det under hensyntagen til tidsrummet for påføringen av belastningen, forsøkt å ekstrapolere et tilnærmet tids-setningsforløp under antagelse av en tenkt samtidig påføring av den totale belastning. På samme bilag er dette tids-setningsforløp sammenlignet med beregnede setninger under antagelse av henholdsvis ensidig og tosidig drenering, av hvilke sistnevnte tilfelle gir den beste overensstemmelse. Til tross for visse usikkerhetsmomenter synes således også dette resultatet å vise at konsolideringen av leiren i dette området skjer under tosidig drenering.

Under denne forutsetning er det på bilag 62 vist det beregnede tidsforløp for setningene på Sørenga. Det er på grunnlag av ødometerresultatene antatt et variasjonsområde for leirens kompresjonsindeks, c_v , mellom 2 og $3 \cdot 10^{-7} \text{ m}^2/\text{sek}$.

Som vist i eksemplet på bilag 62 vil 50% av konsolideringssetningene ha funnet sted etter 10 - 15 år. For en belastning på for eksempel 14 t/m^2 tilsvarer dette en setning på (se bilag 61) :

$$\delta_c \approx 0.5 \cdot 1.55 = 78 \text{ cm.}$$

VII. KONKLUSJON.

Instituttet har etter oppdrag fra Oslo Havnevesen, Bygningsavdelingen, utført grunnundersøkelser på Sørenga, hvor det skal anlegges en ny kai mellom utløpene av Akerselven og Loelven.

Det er i den foreliggende rapport fremlagt resultatene av disse undersøkelser. Videre er gitt resultatet av en stabilitetsberegnning for den prosjekterte kai, samt en setningsanalyse for det innenforliggende areal hvor det skal foretas en oppfylling av terrenget til kote + 2.2.

Det kan i store trekk gis følgende beskrivelse av grunnforholdene :

I en stor del av området ligger det øverst et lag av fyllmasser maksimalt av tykkelse ca. 14 m. I området øst for Sørengutstikkeren er under fyllmassene påtruffet et flere meter tykt lag av sekundært avsatt sand og sagflis.

Over leiravsetningen finner man et 1 - 3 m tykt lag av gytje og slam, som ved enkelte borer også er påvist under fyllmassene, der blandet med sand og grus. Slamlaget går uten markert overgang over i leire som på de øverste meter er siltig og humusholdig. I en ca. 1 m tykk sone på kote -21 til -24 brytes leiravsetningen av en rekke lag varierende fra sandig og grusig leire til rene sand og grusmaterialer.

Leirens skjærfasthet i de områder hvor fyllmasser ikke er utlagt, varierer stort sett mellom 1.0 og 4.5 t/m^2 , økende med dybden etter et s_u/p -forhold på $0.20 - 0.22$. Naturlig vanninnhold er relativt høyt, $40 - 45\%$.

Under de utlagte fyllinger har leiren som følge av en konsolidering under vekten av disse masser, fått en skjærfasthetsøkning som særlig gjør seg gjeldende i de øverste lag. Stort sett varierer de målte skjærfastheter mellom 3 og 5 t/m^2 . Likeledes er vanninnholdet her noe lavere, $35-40\%$.

I området ved Sørengutstikkeren er det ved en rekke borer funnet et relativt tynt lag på overgangen mellom siltig leire og leire med vesentlig lavere skjærfasthet enn i de over- og underliggende masser.

Leiren på Sørenga må betegnes som sensitiv eller lite sensitiv, idet sensitiviteten i alt vesentlig er mindre enn 8.

Det er i laboratoriet bestemt skjærfasthetsparameterne $c' = 0.8 \text{ t/m}^2$ og $\phi' = 27.7^\circ$ for den siltige leire og $c' = 2.2 \text{ t/m}^2$ og $\phi' = 28.4^\circ$ for den fetere, dypereliggende leire.

Den høye kohesjonsverdi i leiren kan vanskelig forklares, idet ødometerforsøk har vist at leiren må være meget nær normalkonsolidert.

Resultatet av de utførte stabilitetsberegninger kan kort sammenfattes som følger :

Ved kaiens vestre hjørne og langs en anslagsvis 30-50 m lang strekning av kailinjen øst-sørøst for verkstedhavnen er leiren ikke belastet av fyllmasser, og skjærfastheten er tildels meget lav. Beregnet sikkerhetsfaktor for kaien i byggeperioden er her ikke tilfredsstillende.

Før kaien kan bygges ferdig på disse to partier må det derfor legges ut fyllmasser for å oppnå en skjærfasthetsøkning i leiren, og denne økning må kontrolleres ved borer. Da konsolideringen kan ta lang tid må en for ikke å forsinke kaien unødig legge ut fyllmassene så snart som mulig.

For den resterende del av kailinjen er beregnet sikkerhetsfaktor under byggetiden varierende mellom 1.24 og 1.61. Tatt i betraktnsing av at førstnevnte verdi, som er bestemt for området ved Sørensgutstikkeren, er basert på de nærmest ugunstigst mulige forutsetninger angående grunnforholdene, mener Instituttet at kaiens stabilitet i byggeperioden er tilstrekkelig.

Stabilitetsforholdene i tiden etter at kaien er bygget avhenger av størrelsen av de poretrykk som oppstår i byggeperioden og hastigheten hvormed de avtar i den etterfølgende tid.

Såvidt man kan vurdere størrelsen av de fremtidige poretrykk - delvis på grunnlag av målinger - er kaiens stabilitet etter byggeperioden tilfredsstillende. Det forutsettes da at byggingen av kaien på de to svake partier blir utført som ovenfor anført. På grunn av vanskeligheten med å anslå størrelsen av poretrykkene i tiden etter byggingen, må imidlertid poretrykkene måles regelmessig slik at stabiliteten av kaien til enhver tid kan kontrolleres.

De utførte setningsberegninger for det areal som skal fylles opp, viser at man må påregne konsolideringssetninger av størrelsесorden opp til ca. 1.5 m på de partier hvor fyllingen blir høyest. På grunn av leiravsetningens store tykkelse, vil setningene foregå over et langt tidsrom, f. eks. vil 50% av konsolideringssetningene ha funnet sted etter 10 - 15 år og 90% først etter 50 - 70 år. De beregnede setningshastigheter er basert på den forutsetning at leiren har tosidig drenering, slik at porevannsstrømningen vil foregå både oppover mot fyllmassene som nedover mot fjell.

I tillegg til ovennevnte konsolideringssetninger vil leiren få sekundære setninger som kan bli av størrelsесorden 10 - 15% av konsoliderings-setningene og som i alt vesentlig vil finne sted etter at disse er avsluttet.

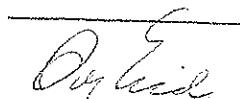
Instituttet vil i forbindelse med det pågående prøforsøk foreta
setningsmålinger og poretrykksobservasjoner i leiravsetningen i
området sørøst for Sørensgutstikkeren der det skal legges ut
10 - 11 m fyllmasser.

NORGES GEOTEKNISKE INSTITUTT

Laurits Bjørrum.

O. 481-4
6/6-62.


G. Aas.


O. Eide.

TILLEGG IA.

Vingeboring.

En jordarts udrenerte skjærfasthet bestemmes i marken ved hjelp av vingebor. Et vingekors som er presset ned i grunnen påføres et torsjonsmoment som økes med en bestemt og jevn hastighet inntil brudd oppstår. Maksimalt torsjonsmoment under dreiningen gir grunnlag for beregning av skjærfastheten. Grunnens skjærfasthet bestemmes først i uforstyrret og etter brudd i omrørt tilstand. Målingene utføres vanligvis for hver meter.

Ved vurdering av vingeborresultatene må man være oppmerksom på at målingene kan gi gale verdier hvis det finnes sand, grus eller stein i grunnen. Skjærfasthetsverdiene kan bli for store dersom det ligger en stein ved vingen, mens den målte verdi kan bli for lav dersom det presses ned en stein foran vingen, slik at jordarten omrøres før målingene.

Dreiesondring.

Det anvendte utstyr består av Ø 20 mm borstenger av 1 m lengde som skrues sammen med glatte skjøter. Nederst skrues på en 20 cm lang pyramideformet spiss med sidekant 3 cm. Spissen er vridd én om-dreining. Boret trykkes ned med minimumsbelastning, idet belastningen økes trinnvis til 100 kg. Hvis boret ikke synker ved 100 kilos belastning, dreies det rundt og antall halve omdreininger pr. meter synkning noteres. Ved opptegning av resultatene er belastningen angitt på venstre side av borhullet, mens diagrammet på høyre side angir antall halve omdreininger pr. meter synkning av boret.

Prøvetagning.

For opptagning av uforstyrrede jordprøver er anvendt Instituttets 54 mm prøvetager. Prøvene skjæres ut med tynnveggede stålsylindre, lengde 80 cm og diameter 54 mm. Prøvesylindrene forsegles i begge ender med voks og gummihetter før de sendes til Instituttets laboratorium i Oslo.

TILLEGG IB.

Trykksondering.

Utstyret består i prinsippet av et føringsrør med en innvendig stang, hvortil spissen er festet. Spissmotstanden måles ved trykk-kraften i stangen.

Føringsrøret har utvendig og innvendig diameter henholdsvis 36 og 16 mm, og skjøtes i en meters lengder med utvendig glatte skjøter. Den indre stangen har diameter 15 mm. Spissen er kjegleformet med spissvinkel 60° og diameter 35.7 mm, tilsvarende 10 cm^2 tverrsnitt. Gjennomføringen av stangen ved nedre ende er utformet slik at det ikke overføres friksjonskrefter fra stangen til røret. Måling av trykk-kraften i stangen skjer ved øvre ende av røret ved hjelp av en kalibrert målering.

Nedpressingen utføres med en forankret rigg, og nedpressingshastigheten holdes konstant lik 1.25 cm/sek for hver meter lengde. Spissmotstanden noteres for hver 10 cm nedsynkning.

Ramsondering.

Det anvendte utstyr består av $\phi 32$ mm stålstenger som skrues sammen med glatte skjøter og rammes ned i grunnen ved hjelp av et fall-lodd. Motstanden mot nedramming registreres ved antall slag pr. 20 cm synkning. Motstanden uttrykkes ved anvendt rammeenergi $Q_o = \frac{W \cdot H}{\Delta s}$, der W = vekt av fall-lodd, H = fallhøyde og Δs er synkning pr. slag.

Poretrykkmåling.

Det anvendte utstyr består av $\phi 32$ mm rør av varierende lengder som skrues sammen med glatte skjøter. Røret forsynes nederst med et filter av sintret bronse. Filteret, som forbindes med en plastslange innvendig i røret, har samme diameter som røret og en lengde på 28 cm.

Når røret med filter og slange er ført ned i ønsket dybde, blir slangen etterfylt med vann for å få en utadgående strømning gjennom filteret. Efterhvert vil vannstanden i slangen innstille seg i likevekt med poretrykket under filteret.

Laboratorieundersøkelser.

De undersøkte jordprøver skyves ut av sylinderne og det gis ved besiktigelse en jordartsbeskrivelse.

Det er utført følgende bestemmelser:

Romvekten (t/m^3) er vekt av prøven pr. volumenhet i naturlig tilstand.

Vanninnholdet (%) er angitt som vekt av vann i prosent av tørrvekt etter tørring ved $110^{\circ}C$. Det er utført 4 - 6 bestemmelser av vanninnholdet fordelt over prøven.

Flytegrensen (%) og utrullingsgrensen (%) angir henholdsvis høyeste og laveste vanninnhold for plastisk område av omrørt materiale. Disse konsistensgrensene er av betydning ved vurdering av jordartens egenskaper. Det naturlige vanninnhold sett i relasjon til flyte- og utrullingsgrensen gir også visse opplysninger om grunnens egenskaper. Et naturlig vanninnhold høyere enn flytegrensen viser f.eks. at leiren blir flytende ved omrøring.

Plastisitetsindeksen (%) er differansen mellom flyte- og utrullingsgrensen.

Udrenert skjærfasthet (t/m^2) er bestemt ved enkle trykkforsøk på prøver med tverrsnitt 3.6×3.6 cm og høyde 10 cm. Det tas hensyn til prøvens tverrsnittsøkning under forsøket. Skjærfastheten settes lik halve trykkfastheten.

Videre er uforstyrret og omrørt skjærfasthet bestemt ved konusforsøk. Dette er en indirekte metode, idet nedsynkningen av en konus med bestemt form og vekt måles, og den tilsvarende skjærfasthet tas ut av en tabell.

Sensitiviteten er forholdet mellom skjærfastheten av uforstyrret og omrørt materiale. I laboratoriet er sensitiviteten bestemt på grunnlag av konusforsøk. Videre er sensitiviteten beregnet ut fra vingeborforsøk i marken.

TILLEGG II B.

Ødometerforsøk.

Ødometerforsøkene utføres for måling av jordartens kompressibilitet. Föruten å danne grunnlag for setningsberegninger, gir forsøkene også visse opplysninger om jordartens geologiske historie.

Ved et ødometerforsøk innesluttet en 2 cm tykk skive av jordprøven med diameter 5 cm i en stålsylinder. Endeflatene dekkes med porøse bronseplater og belastningen påføres trinnvis, idet man for hvert lasttrinn bestemmer sammentrykningen av prøven som funksjon av tiden. Et uttrykk for sammentrykningen av prøven er angitt ved forandringen av prøvens poretall "e", som er definert som forholdet mellom volum av hulrom og volum av fast stoff.

Resultatene fremstilles grafisk i form av e-log σ kurver, hvor σ er belastningen som er påført prøven.

Kornfordelingsanalyser.

Kornfordelingen av grove materialer som sand og grus blir bestemt ved siktning gjennom sikter av forskjellig størrelse. Denne metoden kan brukes for materiale med korndiameter større enn 0.06 mm. For finere materiale må kornfordelingen bestemmes ved hydrometeranalyse.

Hydrometeranalysen bygger på Stoke's lov, idet kornene forutsettes kuleformige. En viss mengde tørrstoff blir oppslemmet med vann i et måleglass, måleglasset rystes slik at kornene fordeles jevnt i suspasjonen, glasset settes i ro, og etter bestemte tidsintervaller måles suspasjonens romvekt ved hjelp av hydrometer. På grunnlag av de målte romvekter kan synkehastigheten og dermed størrelsen av kornene tilnærmet beregnes.

TILLEGG II.C.

Triaksialforsøk.

En jordarts skjærfasthet kan uttrykkes ved Coulomb's ligning:

$$s = c' + (p-u) \operatorname{tg} \varphi'$$

der s = skjærfastheten

c' = jordartens tilsynelatende kohesjon

p = totalt overlagringstrykk

u = poretrykk

φ' = jordartens tilsynelatende friksjonsvinkel

Triaksialforsøkene utføres for bestemmelse av skjærfasthetsparametrerne c' og φ' .

Prinsippet for forsøkene er at sylinderiske prøver med høyde 8 cm og tverrsnitt 10 cm^2 plasseres i en trykkselle. Prøven blir øverst forsynt med et toppstykke og nederst et porøst keramisk filter som står i forbindelse med en tynn saranslange. Toppstykket, prøven og filteret omsluttes av en tynn gummihinne som hindrer vann fra sellen i å trenge inn i prøven. Filteret med slangen gir prøven anledning til å drenere når selletrykket påføres.

Prøven utsettes i triaksialellen for et allsidig trykk - konsolideringstrykket - som holdes konstant inntil utpressingen av porevann fra prøven er avsluttet. Det effektive korntykket i prøven er da lik konsolideringstrykket.

Triaksialellen blir derefter anbragt i en presse, der prøven påføres en vertikal tilleggsbelastning. Ved konsoliderte udrenerte forsøk (type CIU), blir drenasjen av prøven stengt, og istedet blir poretrykket i prøven målt. Poretrykk og tilleggsbelastning avleses for bestemte verdier av prosentvis sammentrykning av prøven inntil brudd oppstår.

I hver serie kjøres inntil 4 forsøk med forskjellige konsolideringstrykk. Spenningsstilstanden i bruddøyeblikket fremstilles grafisk i Mohr's spenningsdiagram. Fellestangenten til spenningssirklene i en serie har helningsvinkel φ' , og det stykket den skjærer av ordinataksen er c' .

Resultatet av triaksialforsøkene fremstilles i diagrammer hvor det er avsatt de punkter på Mohr's spenningssirkler der tangentene er horisontale. Linjen gjennom punktene for én serie har en helningsvinkel α og skjærer et stykke av c_α av ordinataksen. Følgende trigonometriske relasjoner består da:

$$\operatorname{tg} \alpha = \sin \varphi' \quad \text{og} \quad c' = \frac{c_\alpha}{\cos \varphi'}$$

TEGNFORKLARING OG NORMER FOR BETEGNELSE AV JORDARTERSIGNATUR

Fyllmasse



Grus



Sand



Silt



Leire

KORNFRAKSJONER

	Kornstørrelse	Betegnelse
	> 20 mm	Stein
	20 - 6 mm	Grov-
	6 - 2 mm	Fin-
	2 - 0.6 mm	Grov-
	0.6 - 0.2 mm	Mellom- sand
	0.2 - 0.06 mm	Fin-
	0.06 - 0.002 mm	Silt
	< 0.002 mm	Leire

SKJÆRFASTHET

	Skjærfasthet	Betegnelse
	< 1.25 t/m ²	Meget bløt
	1.25 - 2.5 t/m ²	Bløt
	2.5 - 5 t/m ²	Middels fast
	5 - 10 t/m ²	Fast
	> 10 t/m ²	Meget fast

SENSITIVITET

Sensitivitet er forholdet mellom skjærfastheten i uforstyrret og fullstendig omrørt tilstand

	Sensitivitet	Betegnelse
	1 - 4	Lite sensitiv
	4 - 8	Sensitiv
	8 - 32	Kvikk
	> 32	Meget kvikk

Leire med stor sensitivitet og som i omrørt tilstand har en flytende konsistens, kalles "kvikkleire".

NORGES GEOTEKNIKKE INSTITUTT

VINGEBORING

Sted: Sörenga

Hull: 7

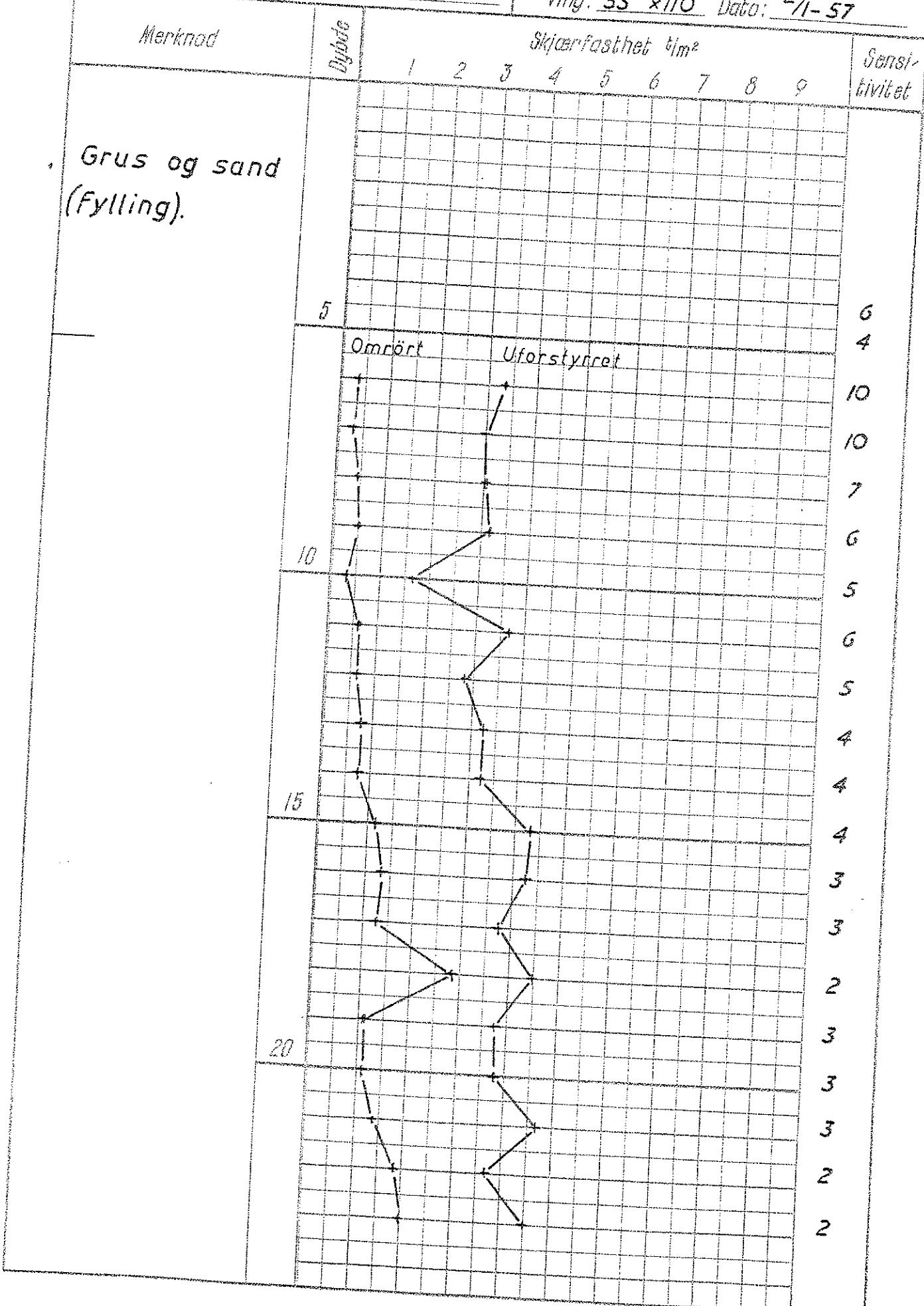
Bilag: 2

Nivå: - 3,3

Oppdrn: 0481-4

Ving: 55 x 110

Dato: 2/1-57



NORGES GEOTEKNIKKE INSTITUTT

VINGEBORING

Sted: Sørenga

Hull: II

Bilag: 3

Nivå: -3.40

Oppdr.: 0.481-4

Ving: 55 x 110

Dato: 19/12-56

Merknad:

Grus og sand
(fylling).

Djupde

Skjærfasthet t/m²

1 2 3 4 5 6 7 8 9

Sensi-
tivitet

5

10

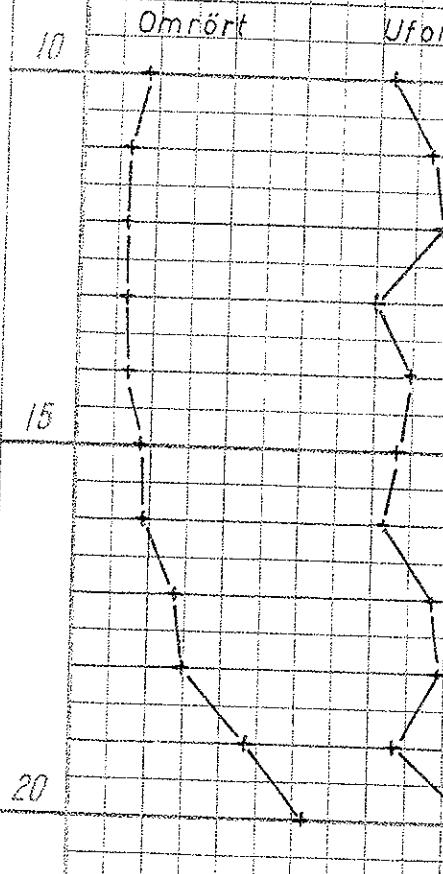
Omrärt

Uförstyrret

15

20

5 7 7 6 6 5 4 4 3 2



NORGES GEOTEKNIKKE INSTITUTT

VINGEBORING

Sted: Sørenga

Hull: III

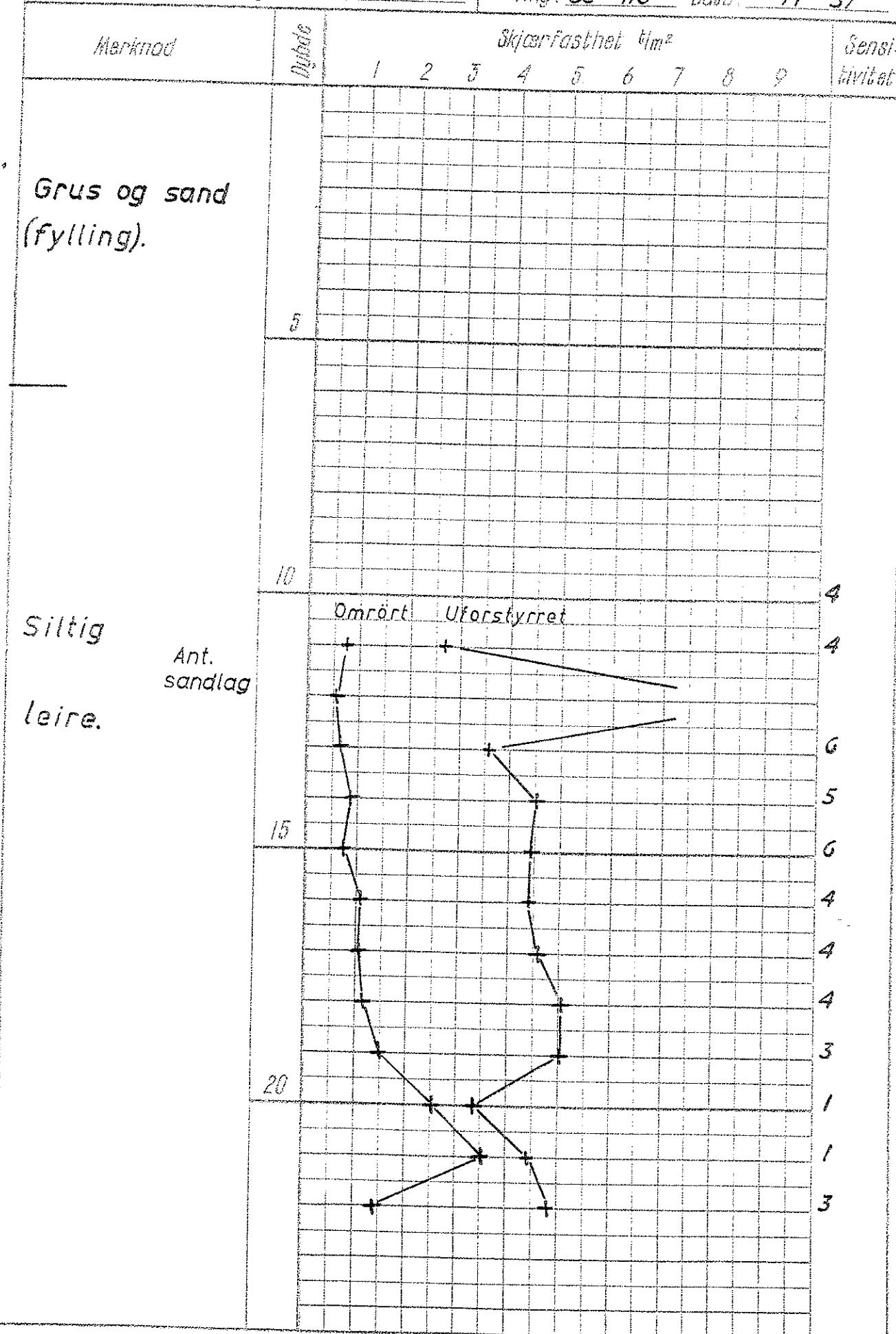
Bilag: 4

Nivå: -3,15

Oppor.: 0,481-4

Virg: 55 110

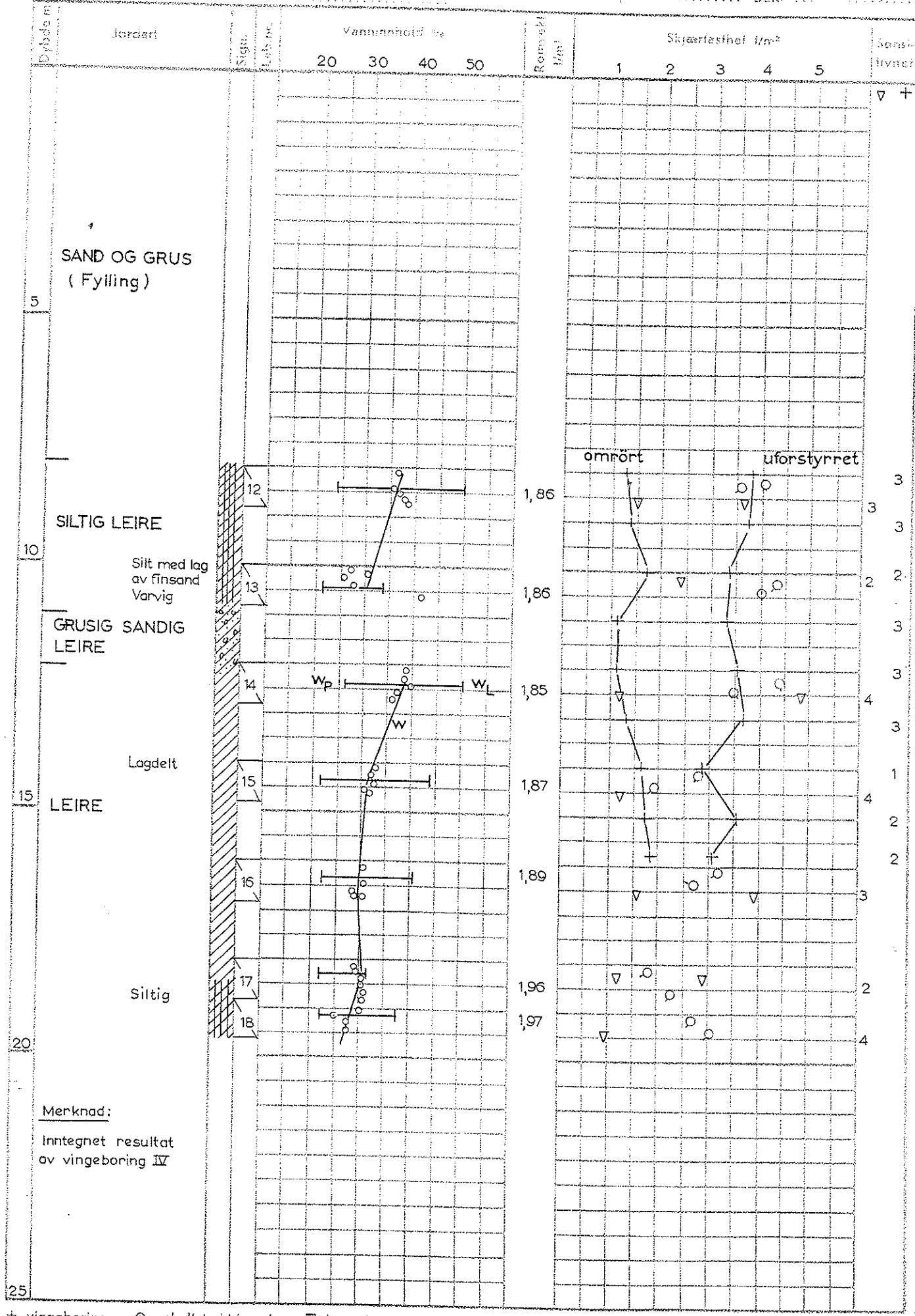
Dato: 26/1 - 57



BORPROFIL

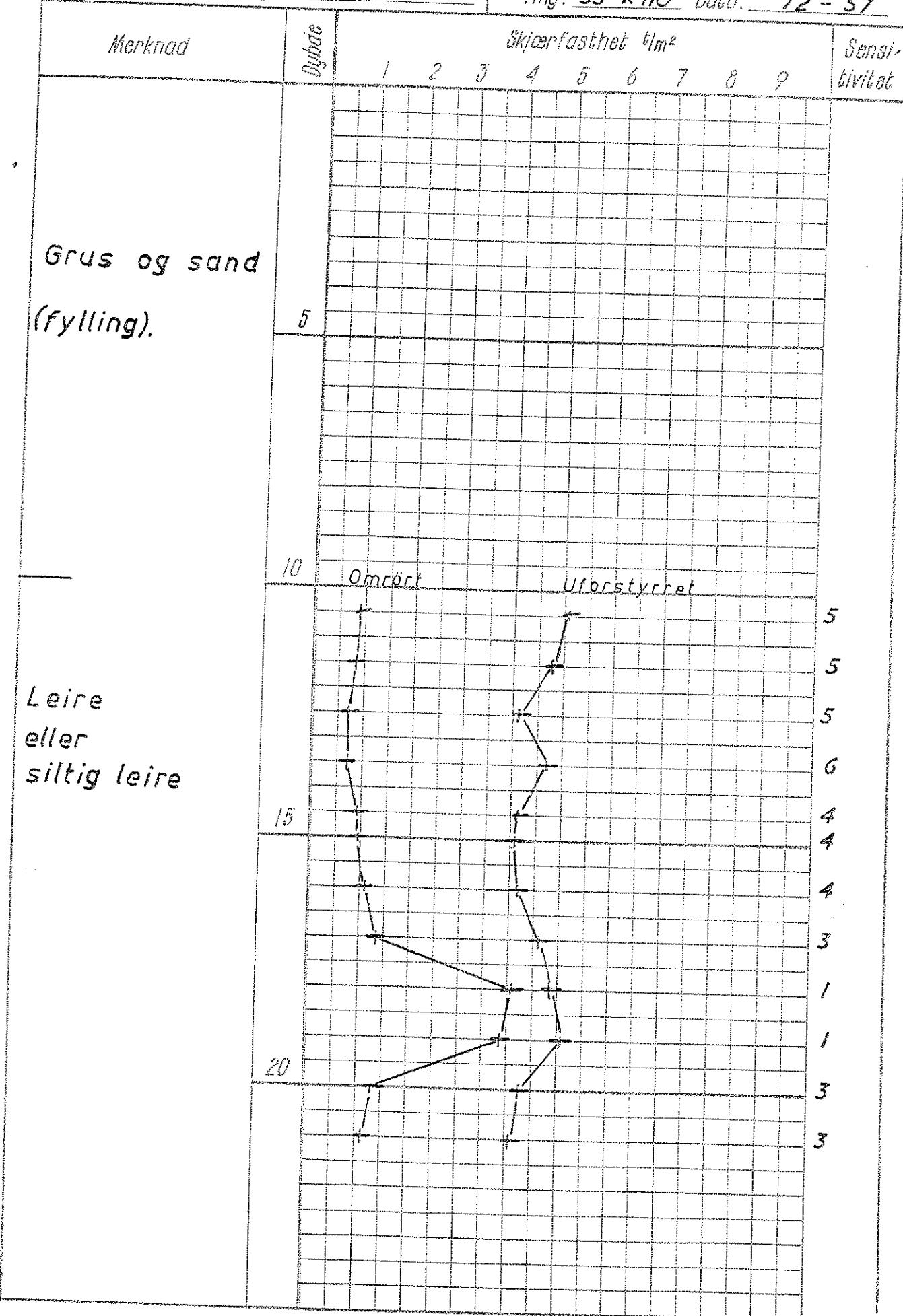
Sted SØRENGA

Hull IV Blad 5
 Nivå -13,9 Oppdrag 0.481-4
 Prøve ϕ 54 mm Dato febr. 57



NORGES GEOTEKNISKE INSTITUTT
VINGEBORING
 Sted: Sörenga

Hull: Bilag: 6
 Nivå: - 3.8 Oppdrn: 0 481-4
 Ving: 55 x 110 Dato: 19/2 - 57



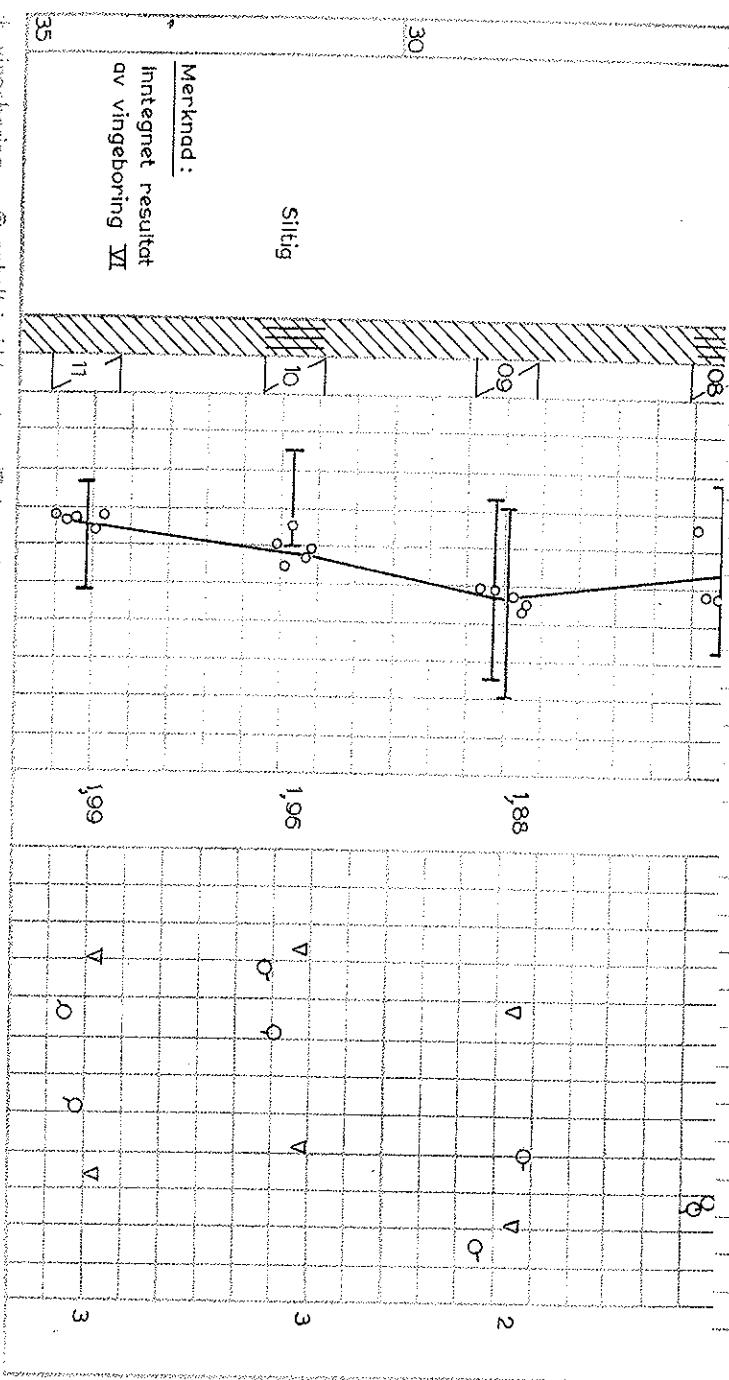
NORGES GEOTEKNIKE INSTITUT

BORPROFIL

Sled ..., SÖRENGA,

Hull VI
Nivø 3,05 Oppdrag 0,481-4
Prove Ø 54 mm Dato febr. 57

Dybde m	Jordart	Sign.	Lab. nr.	Volumetrisk %	Konvolutt N/m ³	Skjærfasthet fmz	Sæter. Prins.
20						1	
30						2	
40						3	
50						4	
						5	
						+	
						-	

Merknad:Inntegnet resultat
av vingeboring VII

NORGES GEOTEKNISKE INSTITUTT

VINGEBORING

Sted: Sörenga

Hull: VII

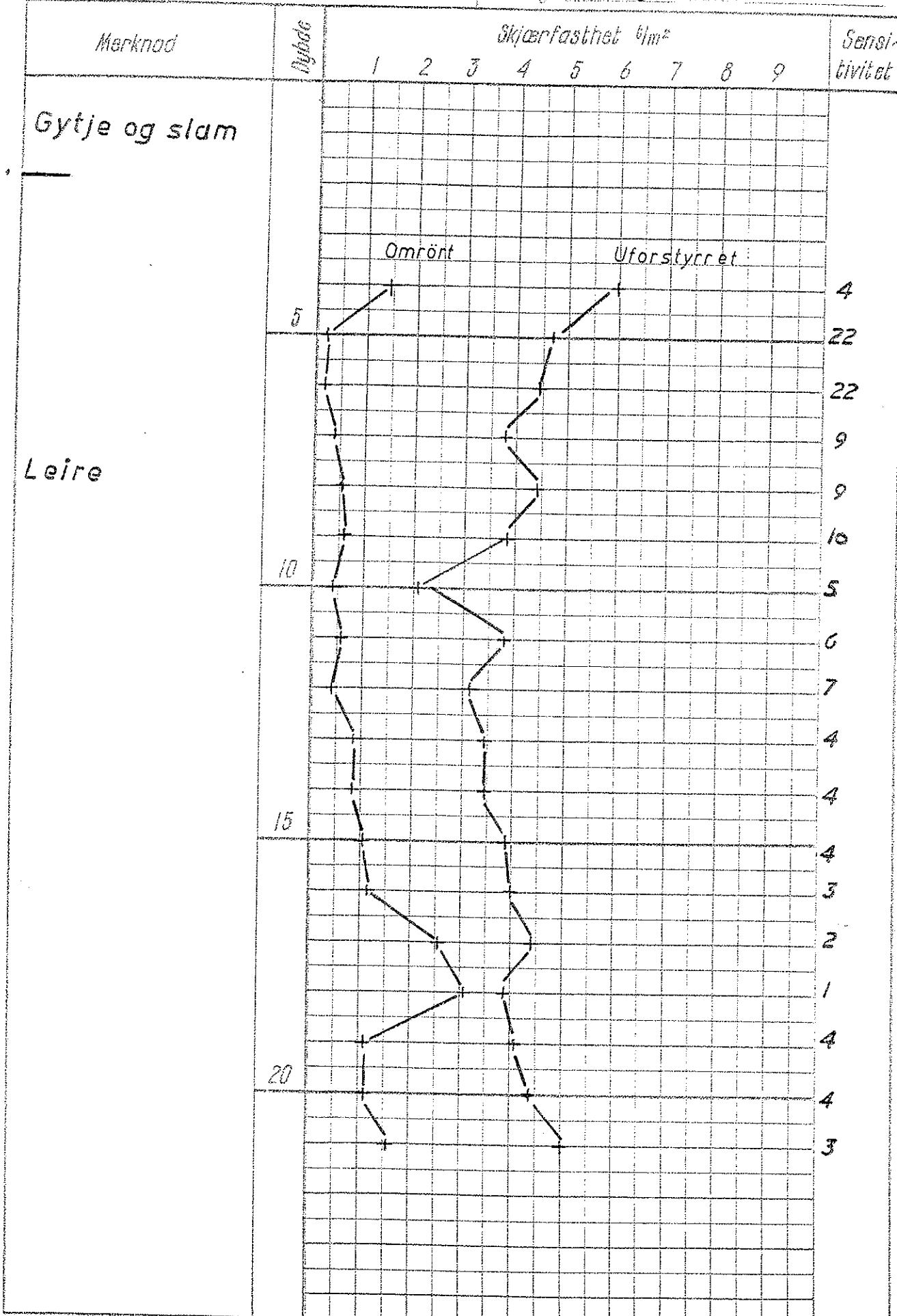
Bilag: 8

Nivå: -3.95

Oppdr.: 0.481-4

Ving. 55x110

Dato: 11.-57



NORGES GEOTEKNIKSKE INSTITUTT

VINGEBORING

Sted: Sörenga

Hull: VIII

Bilag: 9

Nivå: -3.70

Oppdr.: 0481-4

Ving: 55 110

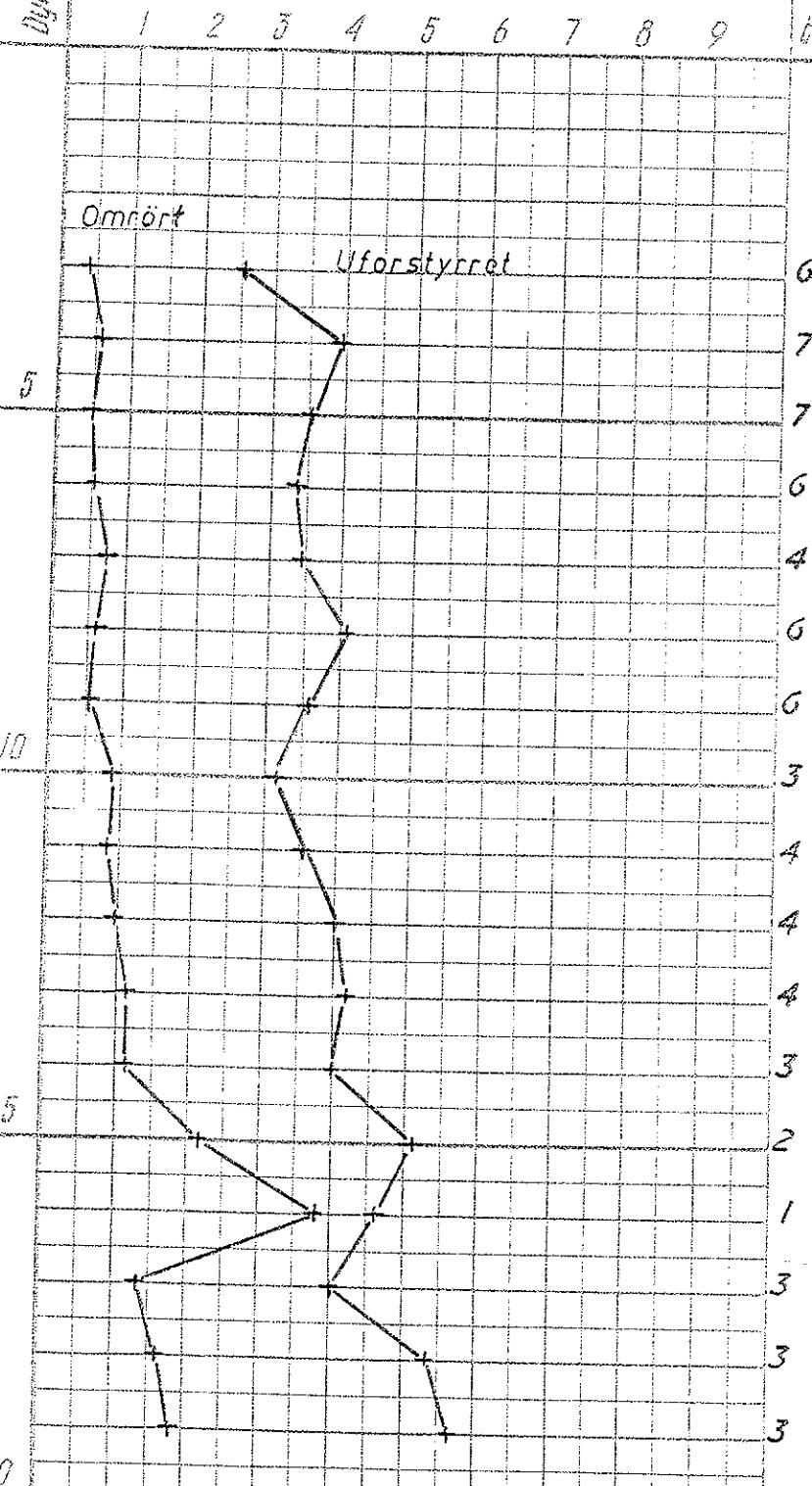
Dato: 9/1 - 57

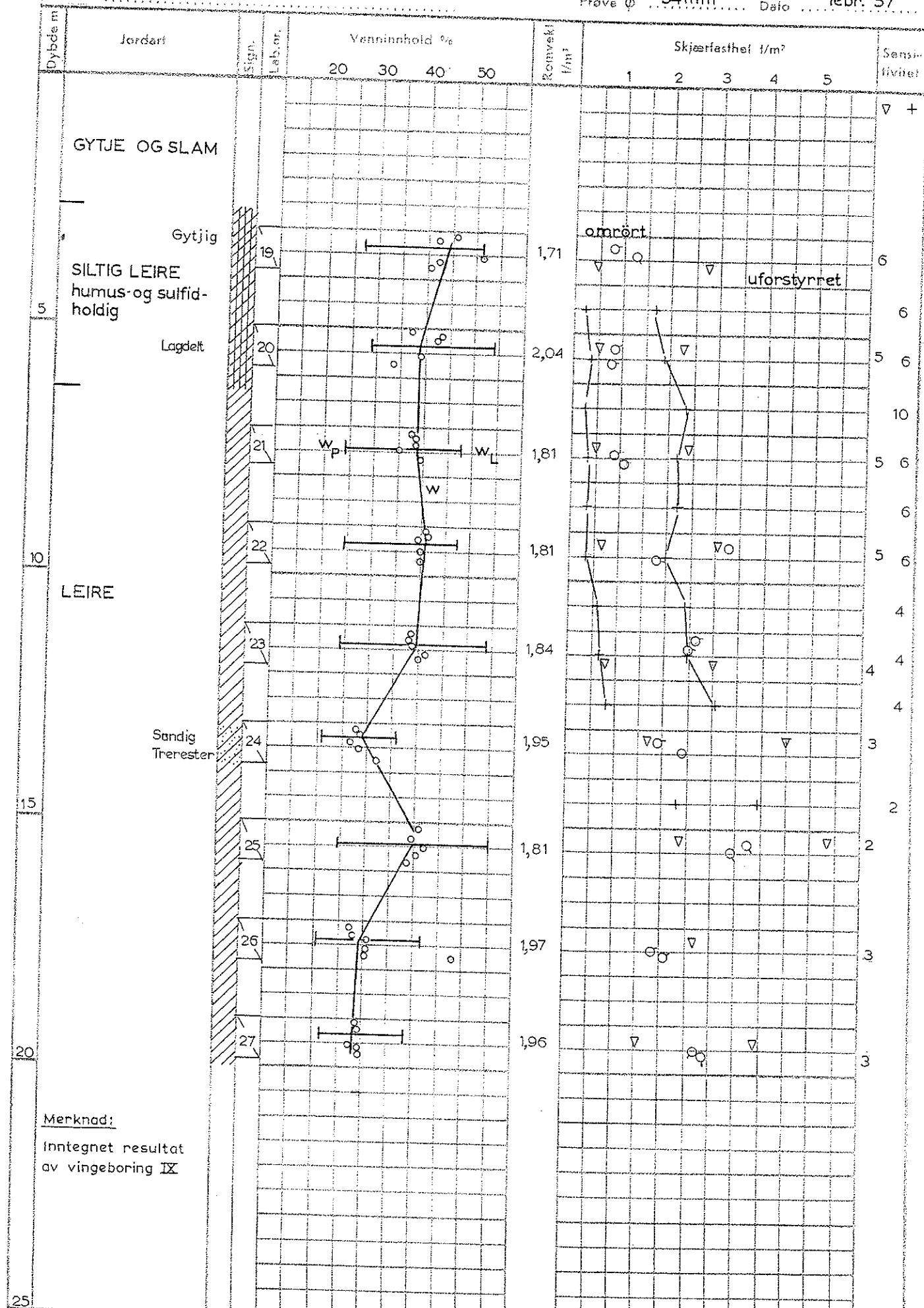
Merknad

Type

Skjærfasthet t/m^2 Sensi-
tivitet

Gytje og slam

Leire
eller
siltig leire



+ vingeboring

© enkelt trykkforsøk

▽ konusforsøk

w = vanninnhold

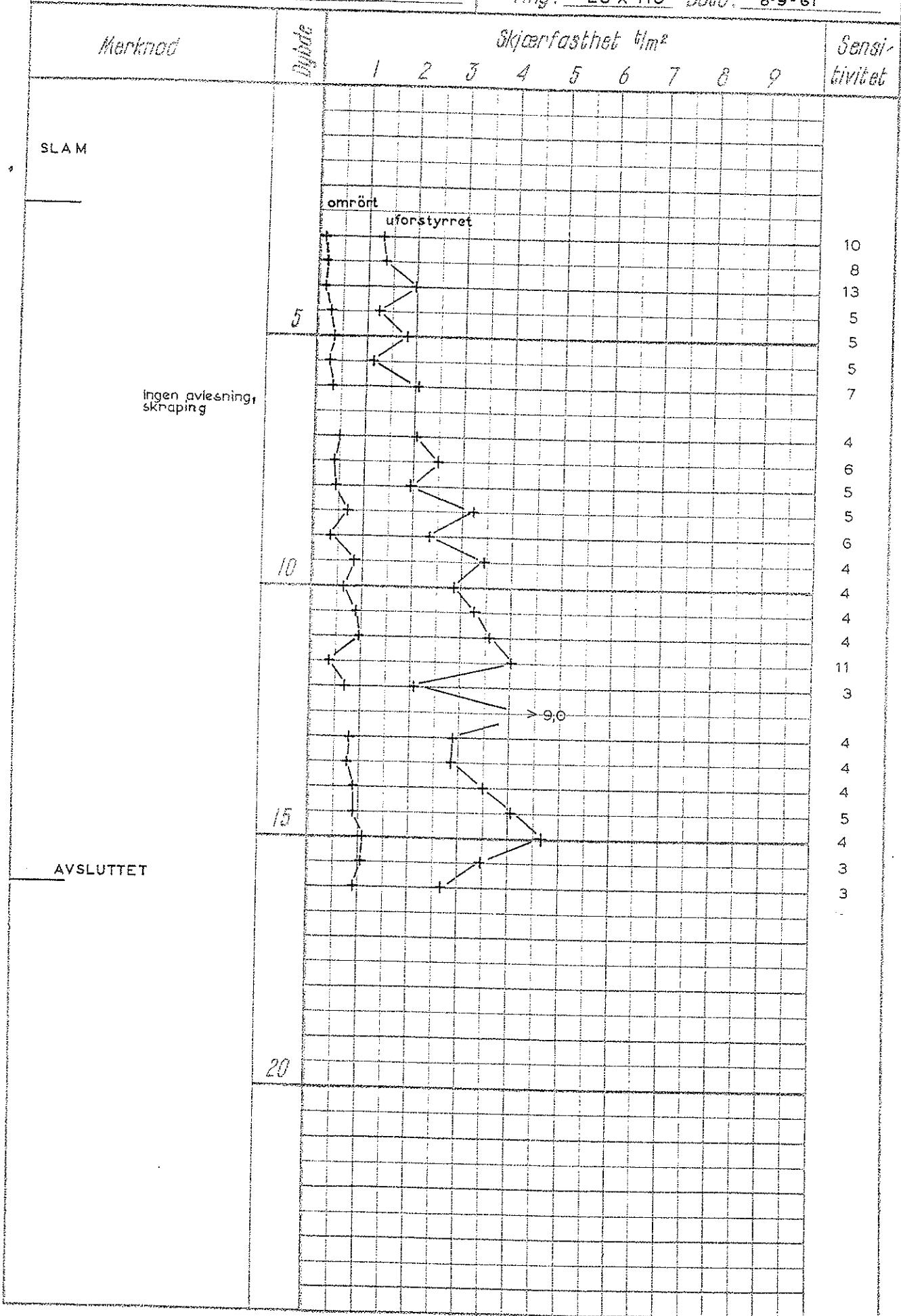
w_L = flyiegrensew_P = utrullingsgrense

NORGES GEOTEKNISKE INSTITUTT

VINGEBORING

Sted: Sörenga

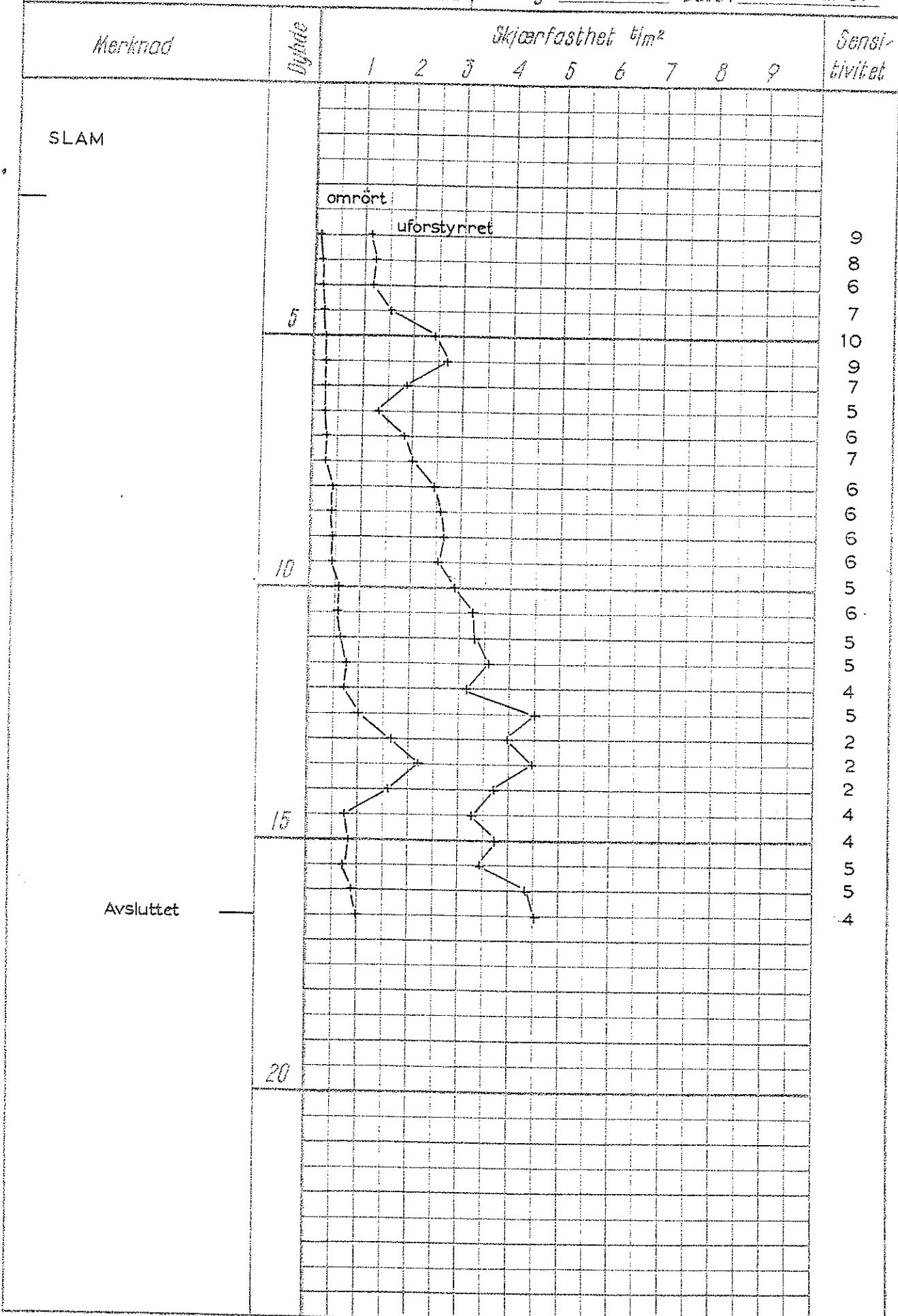
Hull: 1 Bilag: 11
 Nivå: -10,20 Oppn.: 0.481-4
 Ving: 25 x 110 Dato: 8-9-61

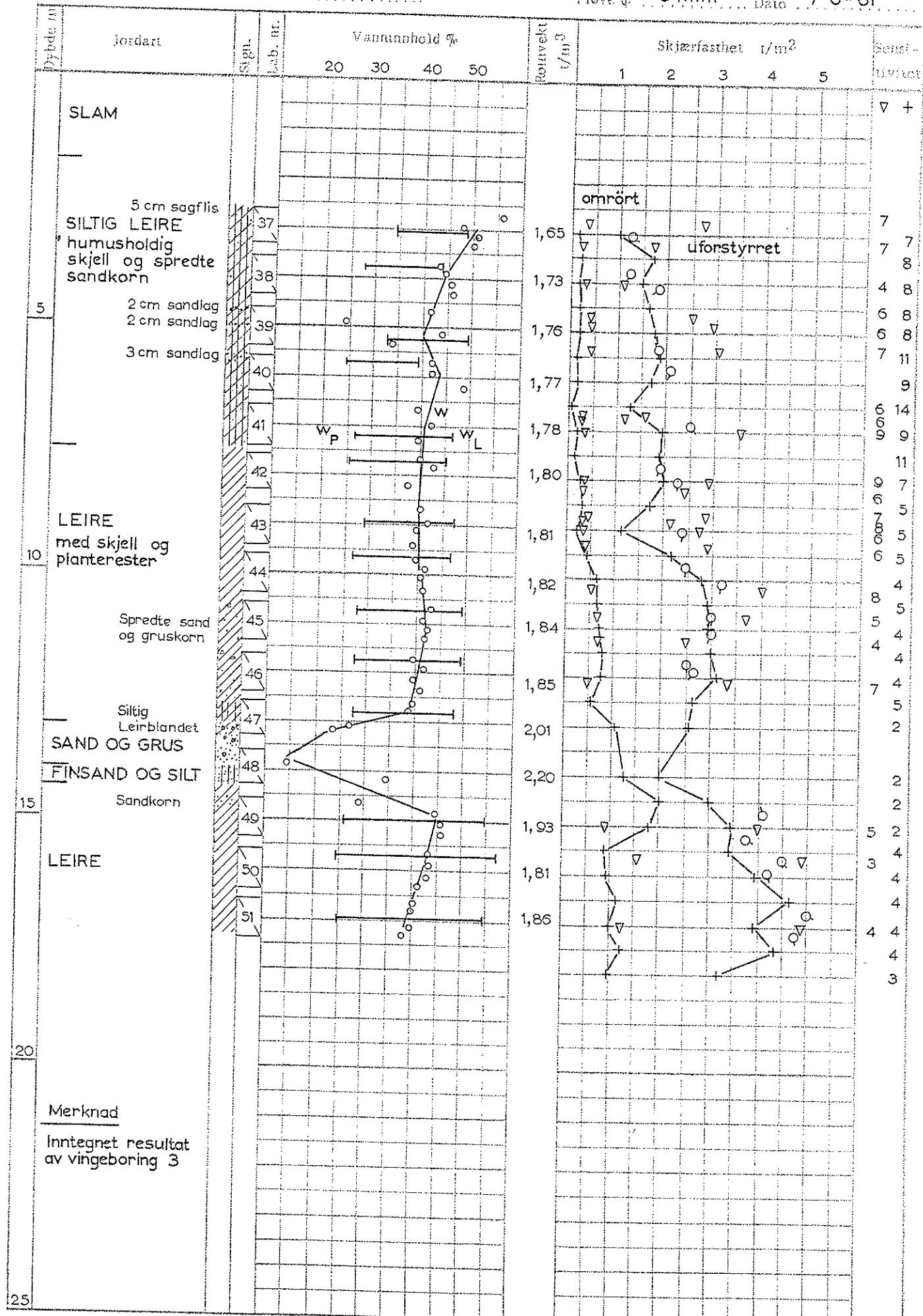


NORGES GEOTEKNIKKE INSTITUTT
VINGEBORING

Sted: SØRENGA

Hull: 2 Bilag: 12
Nivå: -8,8 Oppdr.: 0.481-4
Ving: 55 x 110 Data: 3. mai 61



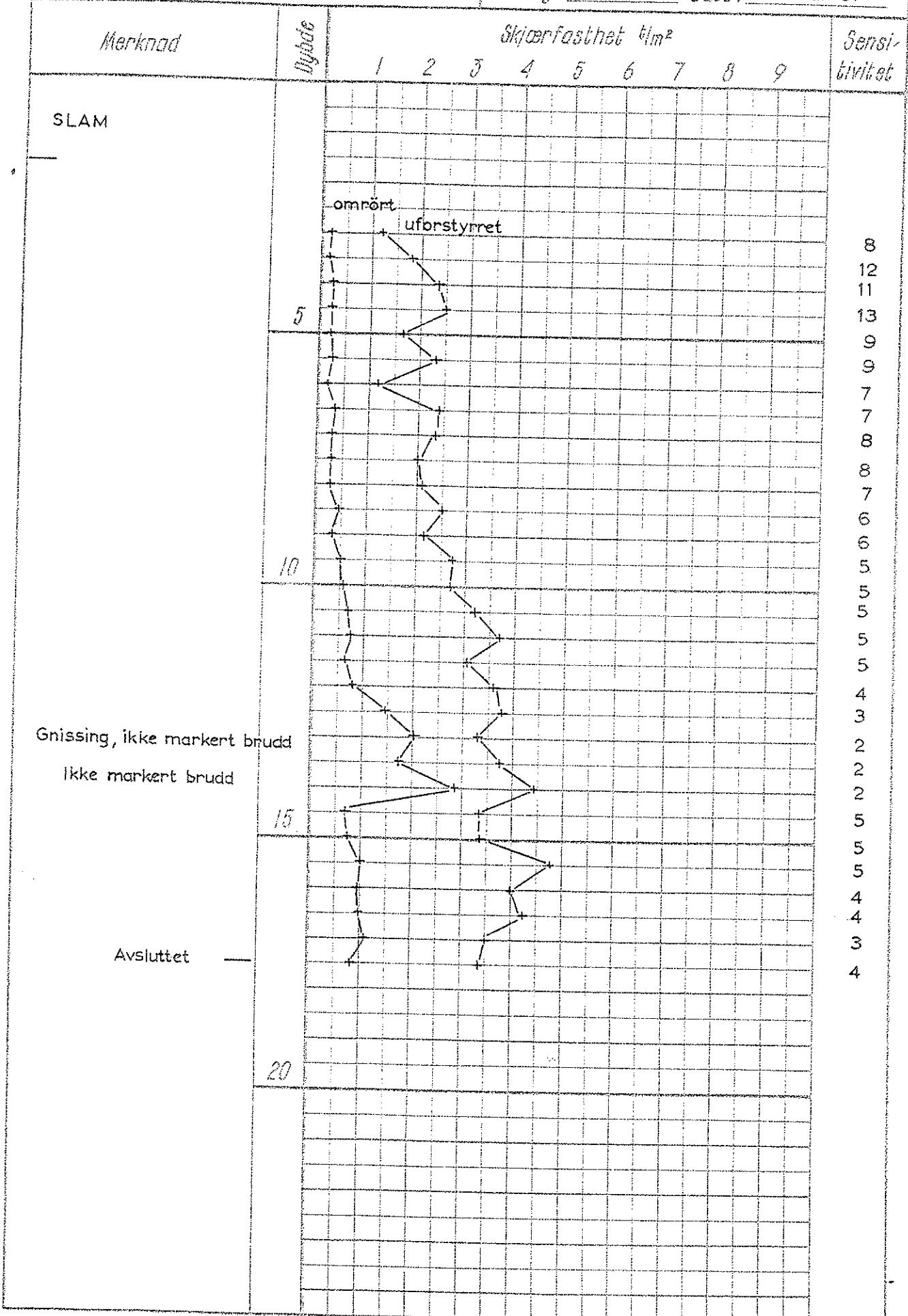


NORGES GEOTEKNISKE INSTITUTT

VINGEBORING

Sted: SÖRENGA

Hull:	4	Bilag:	14
Nivå:	- 8,1	Oppdrn.:	0.481-4
Ving:	55 x 110	Dato:	2 mai 61



NORGES GEOTEKNIKKE INSTITUTT

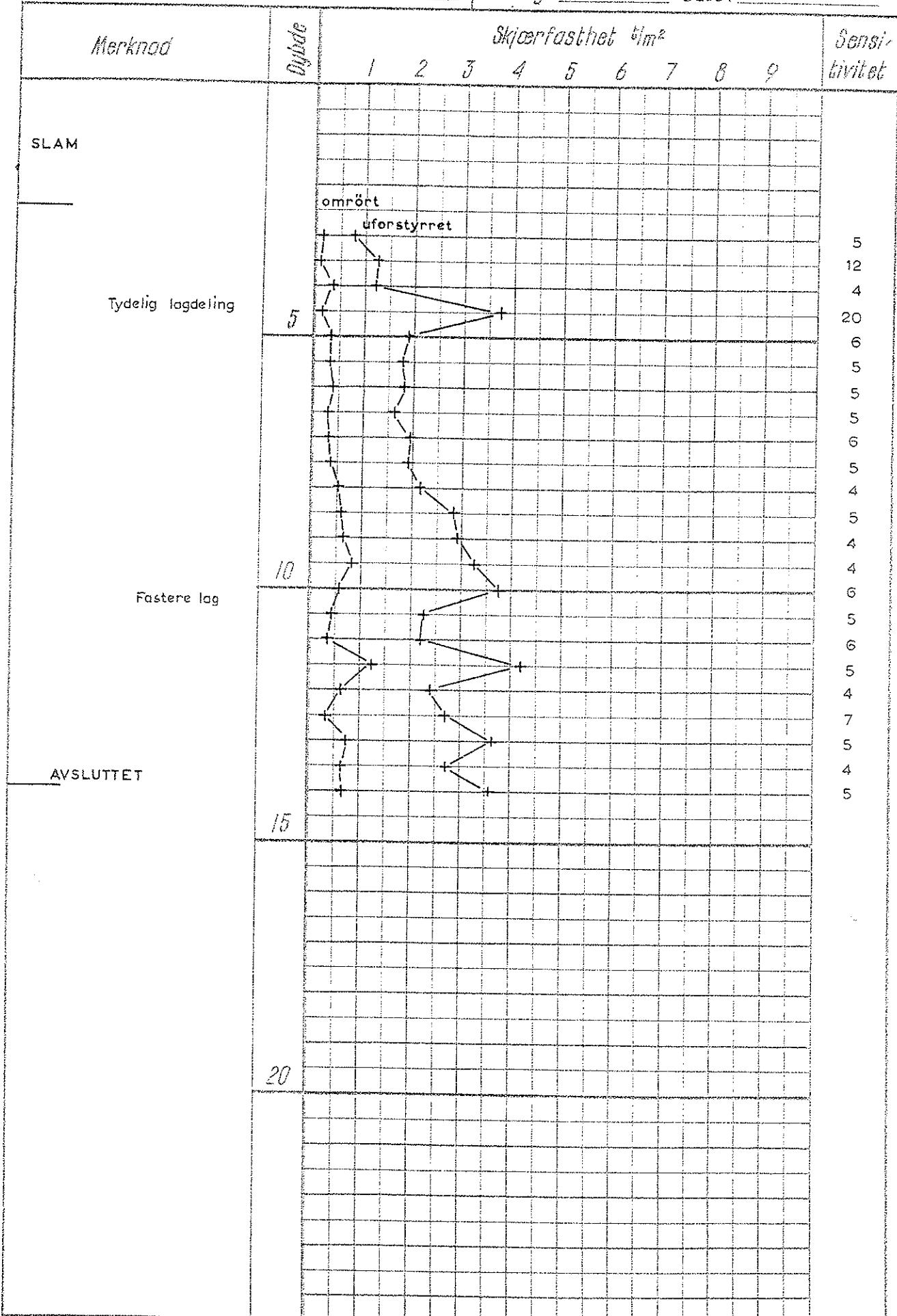
VINGEBORING

Sted: Sørenga

Hull: 5 Bilag: 15

Nivå: -12,13 Oppdr.: 0.481-4

Ving: 55x110 Dato: 14-9-61



NORGES GEOTEKNISKE INSTITUTT

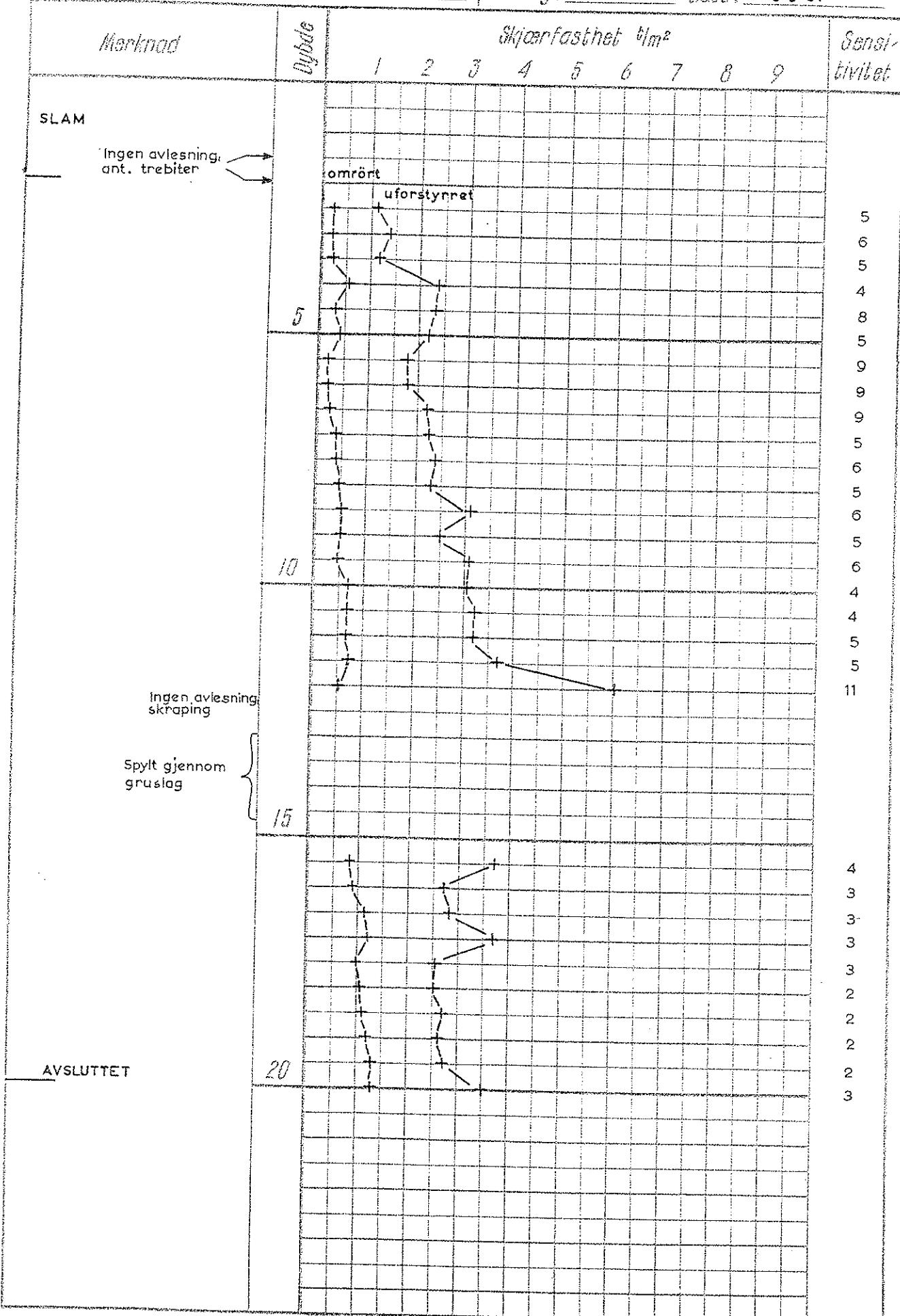
VINGEBORING

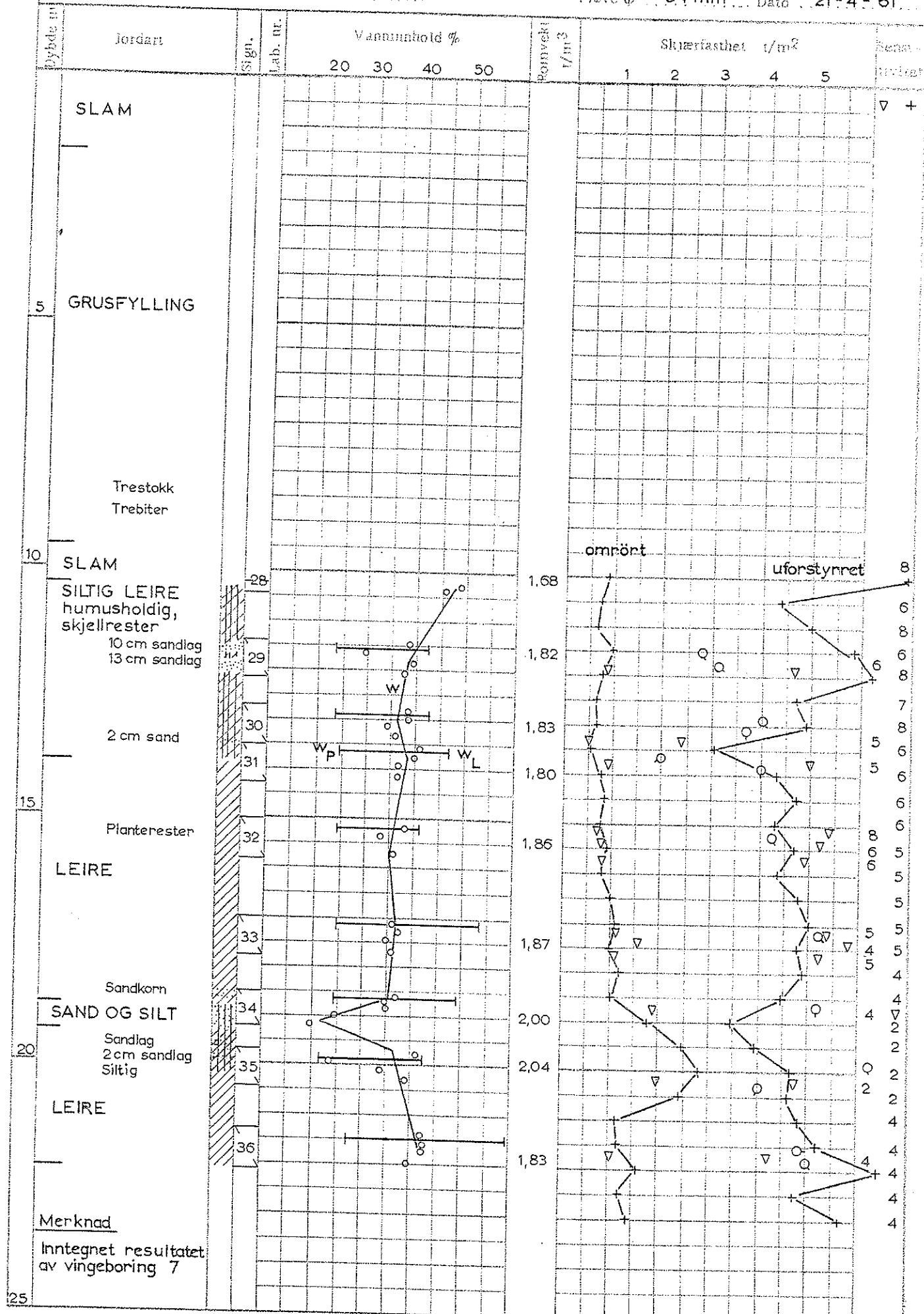
Sted: Sørenga

Hull: 6 Bilag: 16

Nivå: -10,35 Oppdr.: 0,481-4

Ving: 55x110 Dato: 6.9.61



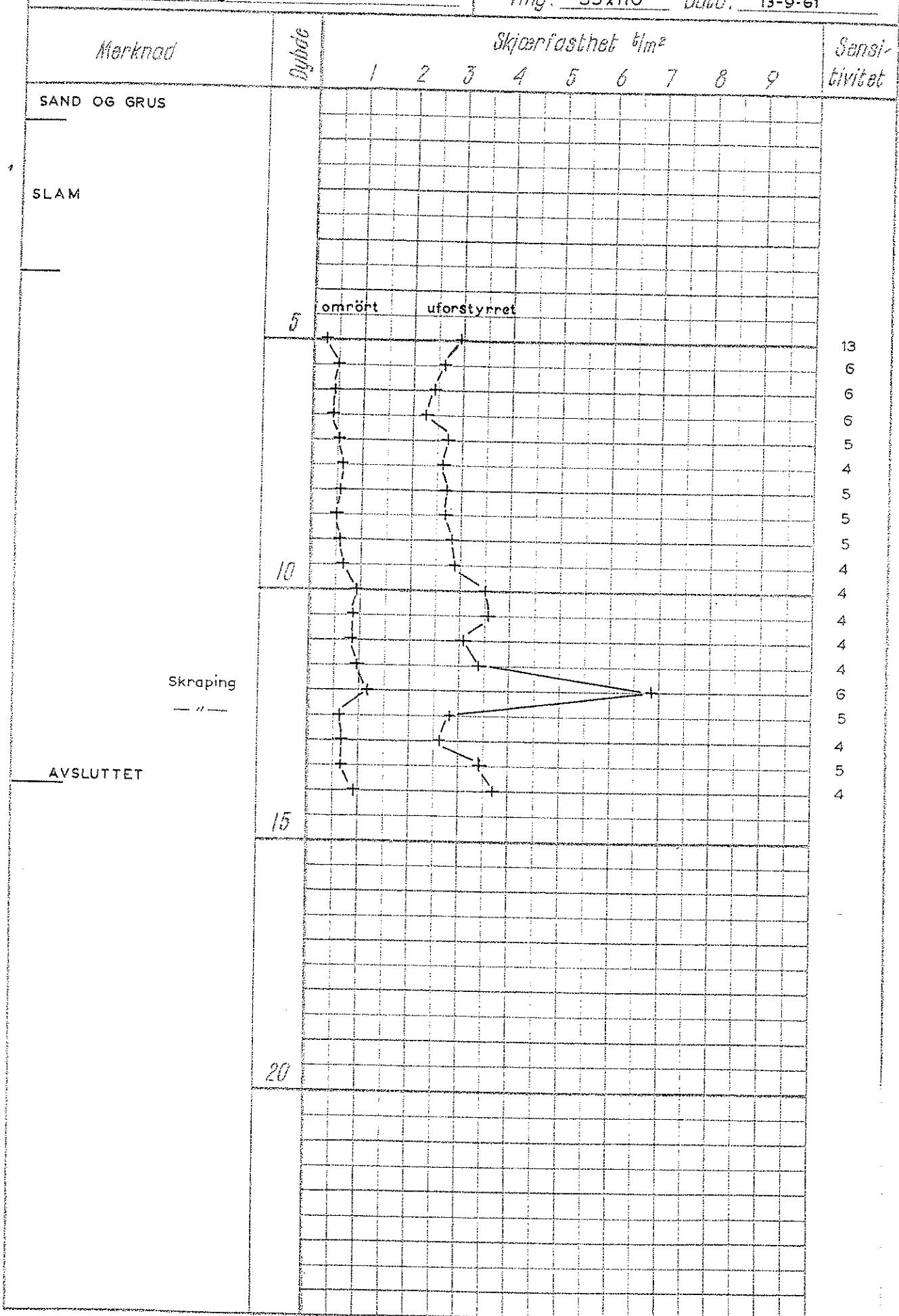


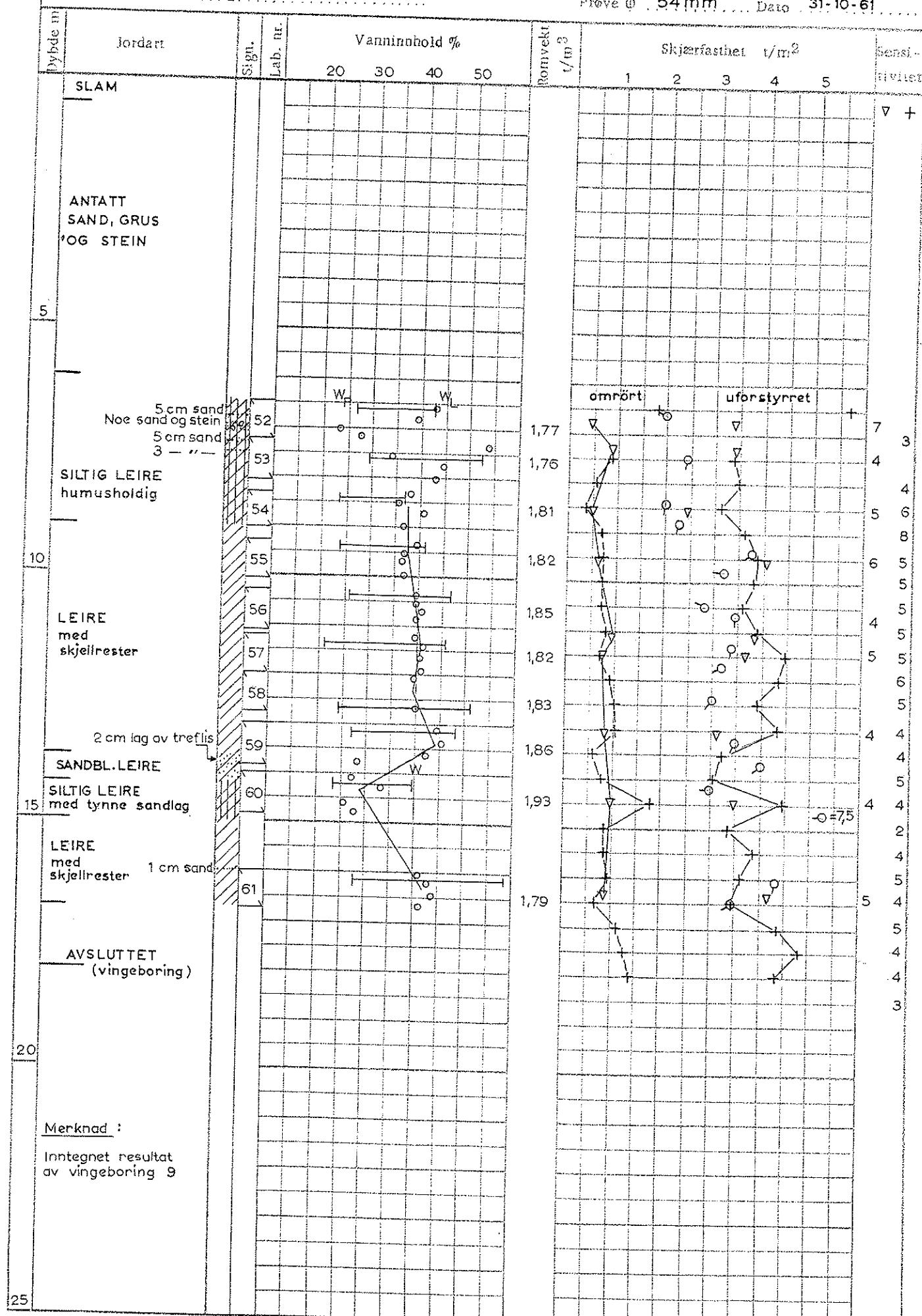
NORGES GEOTEKNIKSKE INSTITUTT

VINGEBORING

Sted: Sørenga

Hull: 8 Bilag: 18
 Nivå: -11,15 Oppdr.: 0.481-4
 Virg: 55x110 Dato: 13-9-61





+ vingeboring O enkelt trykksøsek

V konusforsøk w = vanninnhold

w_L = flyiegrensew_P = utrullingsgrense

Skjema G 1

NORGES GEOTEKNIKKE INSTITUTT

VINGEBORING

Sted: SØRENGA

Hull: 10

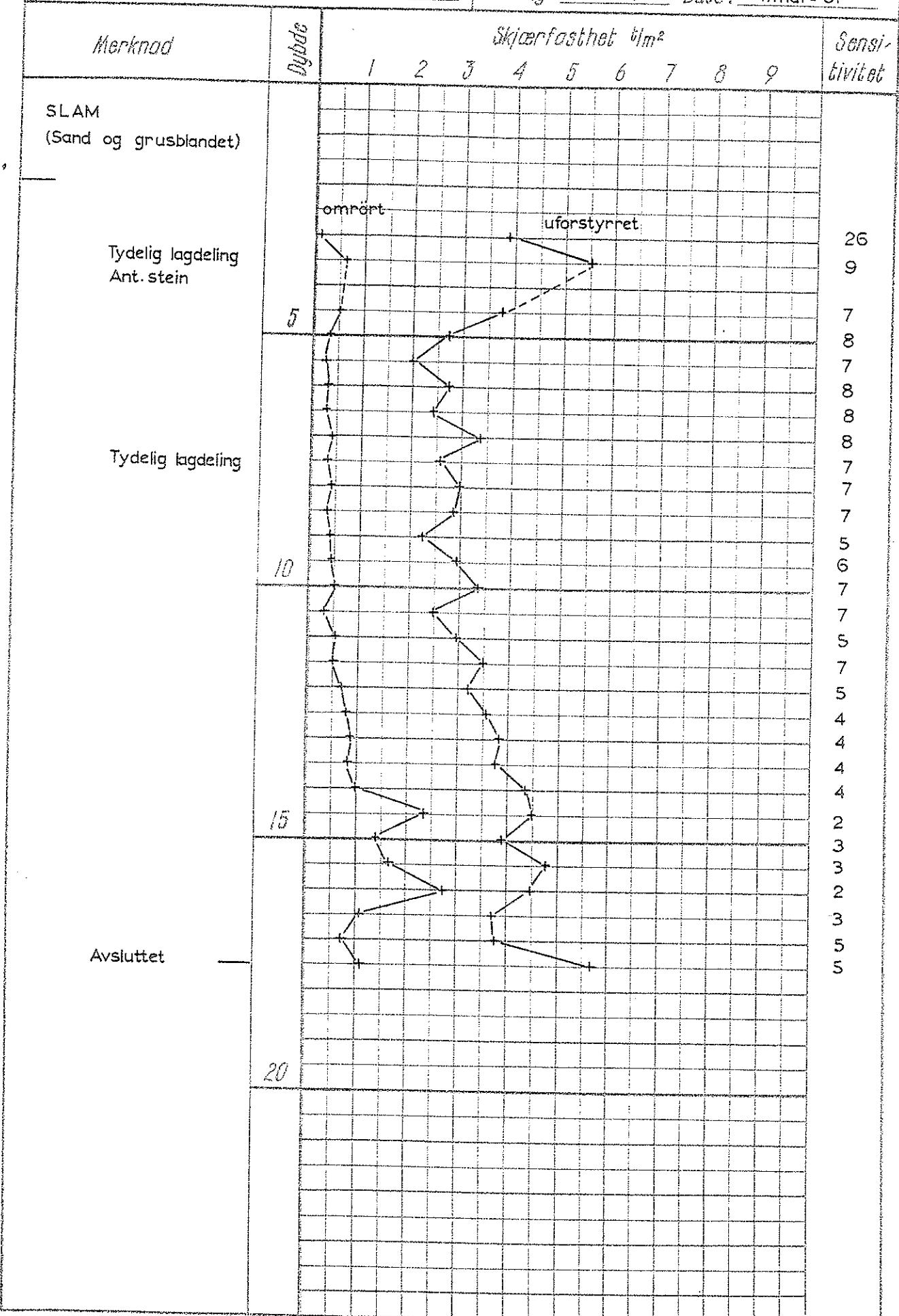
Bilag: 20

Nivå: -6,7

Oppdr.: 0.481-4

Ving: 55 x 110

Dato: 4.mai - 61



NORGES GEOTEKNISKE INSTITUTT

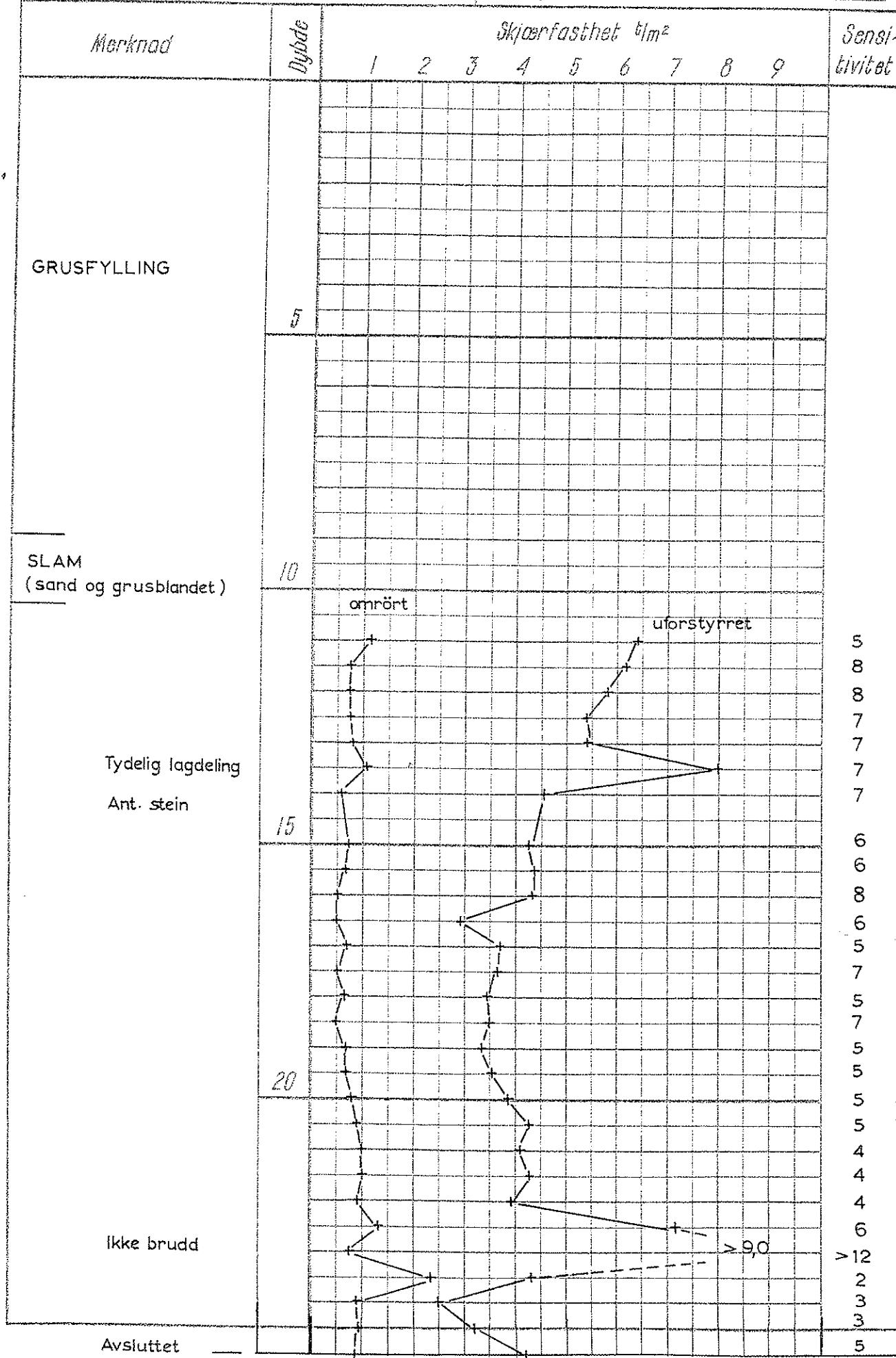
VINGEBORING

Sted: SØRENGA

Hull: 11 Bilag: 21

Nivå: +1,3 Oppdr.: 0.481-4

Ving: 55 x 110 Dato: 20.april 61



NORGES GEOTEKNIKE INSTITUTT

VINGEBORING

Sted: SÖRENGA

Hull: 12 Bilag: 22

Nivå: + 11 Oppdr.: 0.481-4

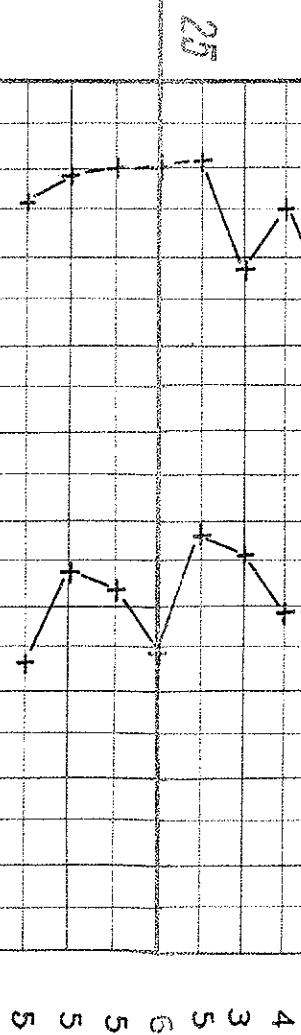
Vng: 55 x 110 Dato: 24.april 61

Merknad	Dybde	Skjærføshet t/m^2									Sensi- tivitet
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	

STEINFYLLING

LÖSE FÄLLMASSER

Gnissning



30

NORGES GEOTEKNISKE INSTITUTT

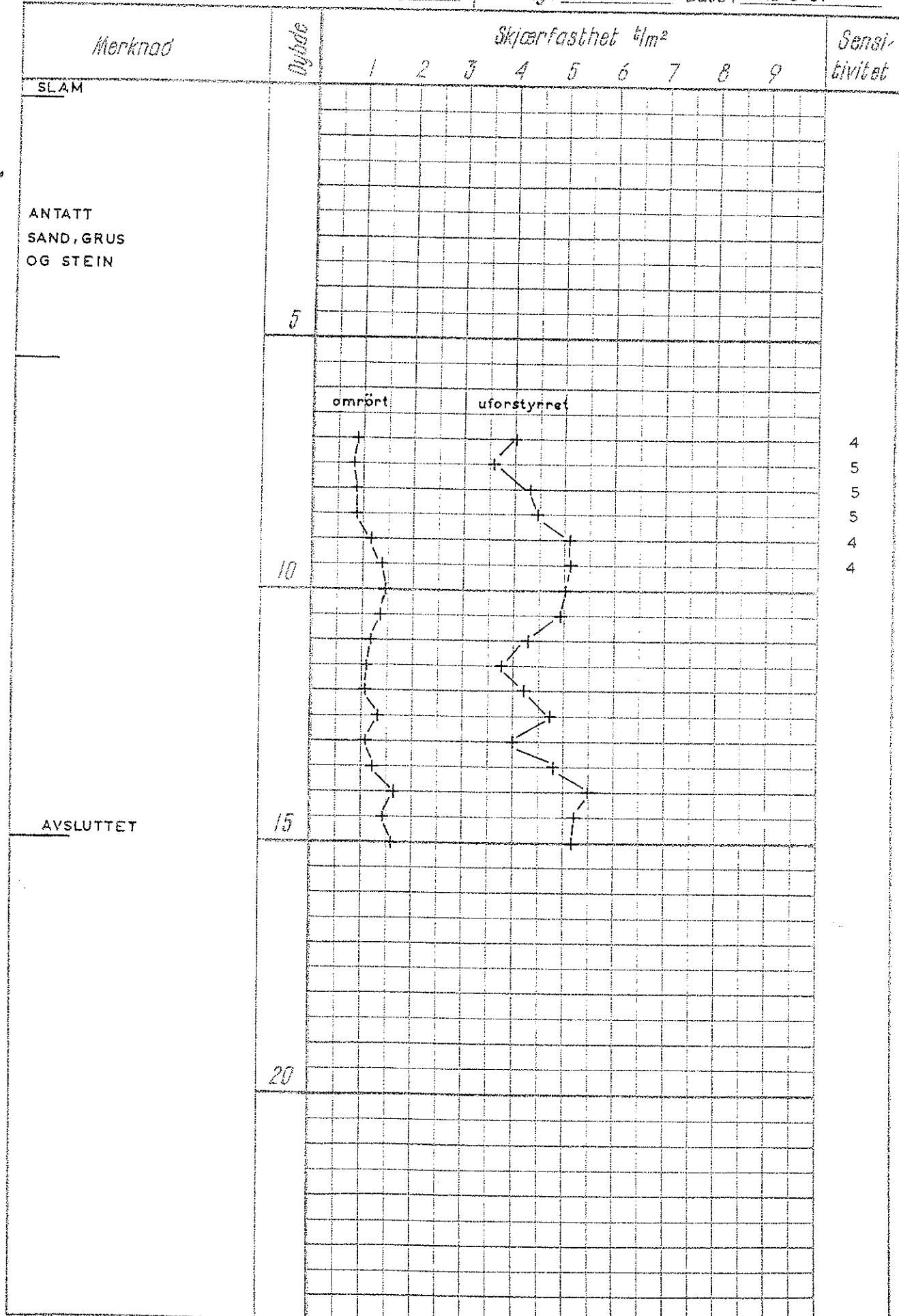
VINGEBORING

sted: Sørenga

Hull: 13 Bilag: 23

Nivå: -11,20 Oppdr: 0.481-4

Ving: 55 x 110 Dato: 12-9-61



NORGES GEOTEKNISKE INSTITUTT

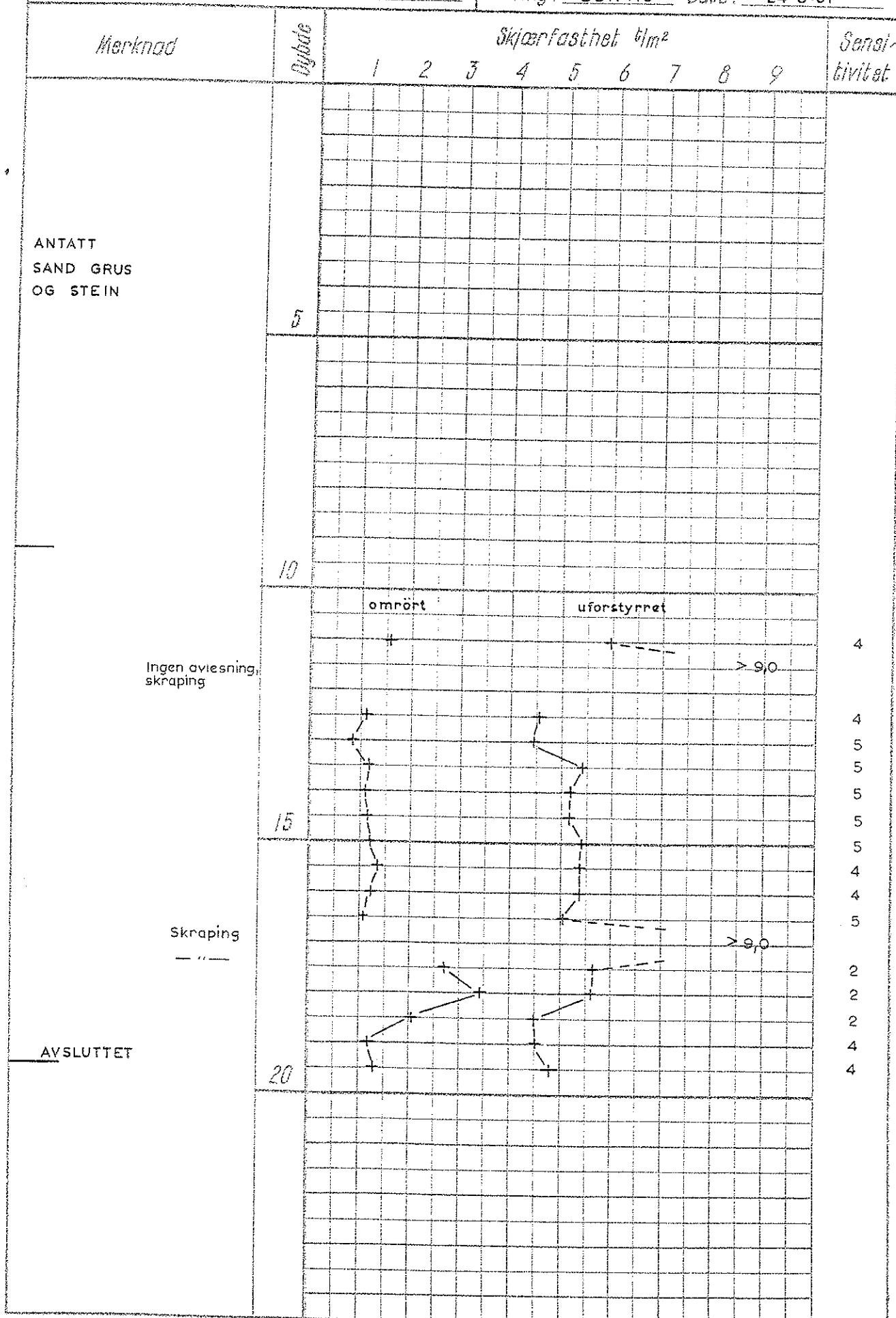
VINGEBORING

Sted: Sørenga

Hull: 14 Bilag: 24

Nivå: - 6,30 Oppdr.: 0,481-4

Ving: 55 x 110 Dato: 24-8-61



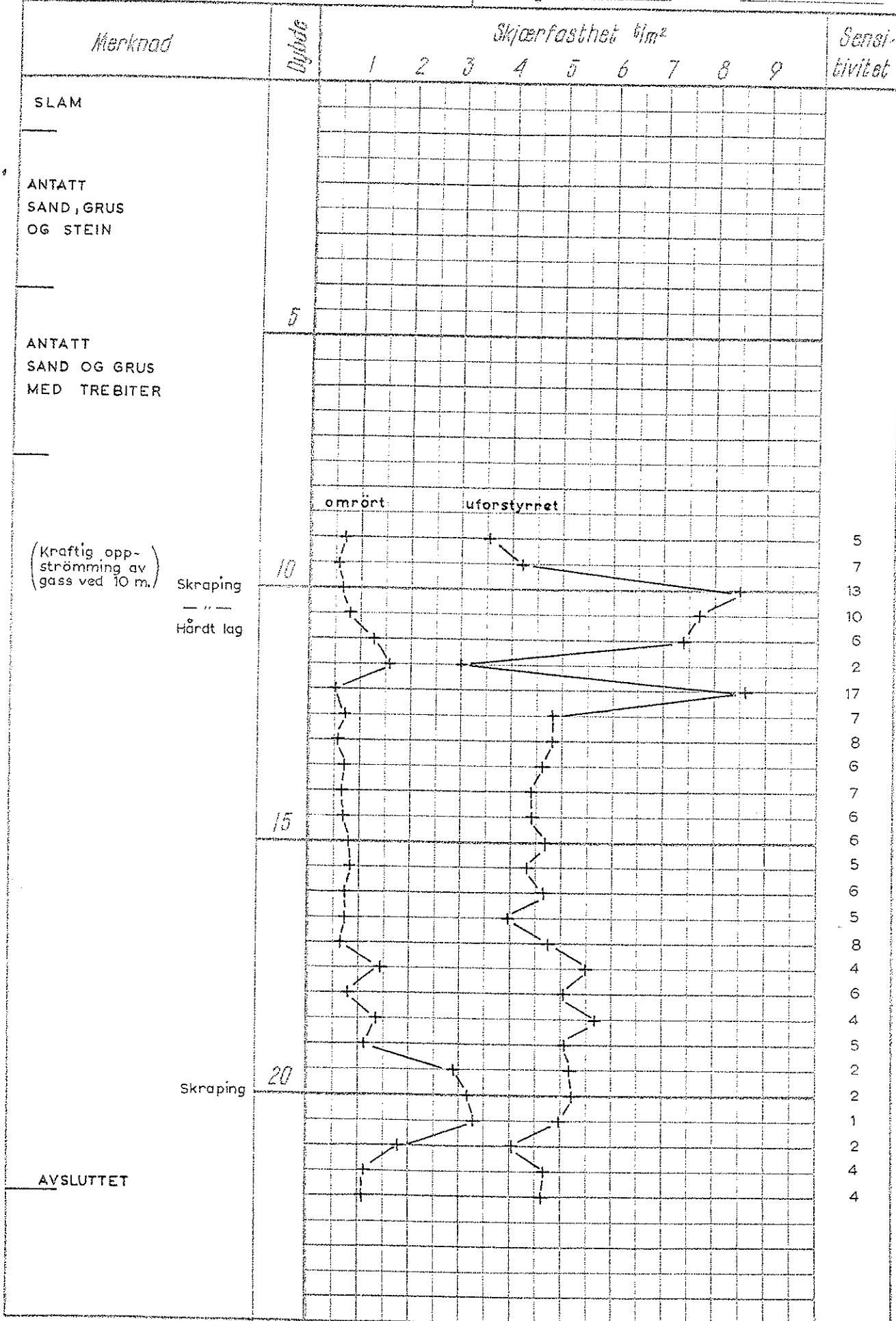
VINGEBORING

Sted: Sørenga

Hull: 15 Bilag: 25

Nivå: - 3,10 Oppdr.: 0.481-4

Ving: 55 x 110 Data: 23-8-61



ØDOMETERFORSØK

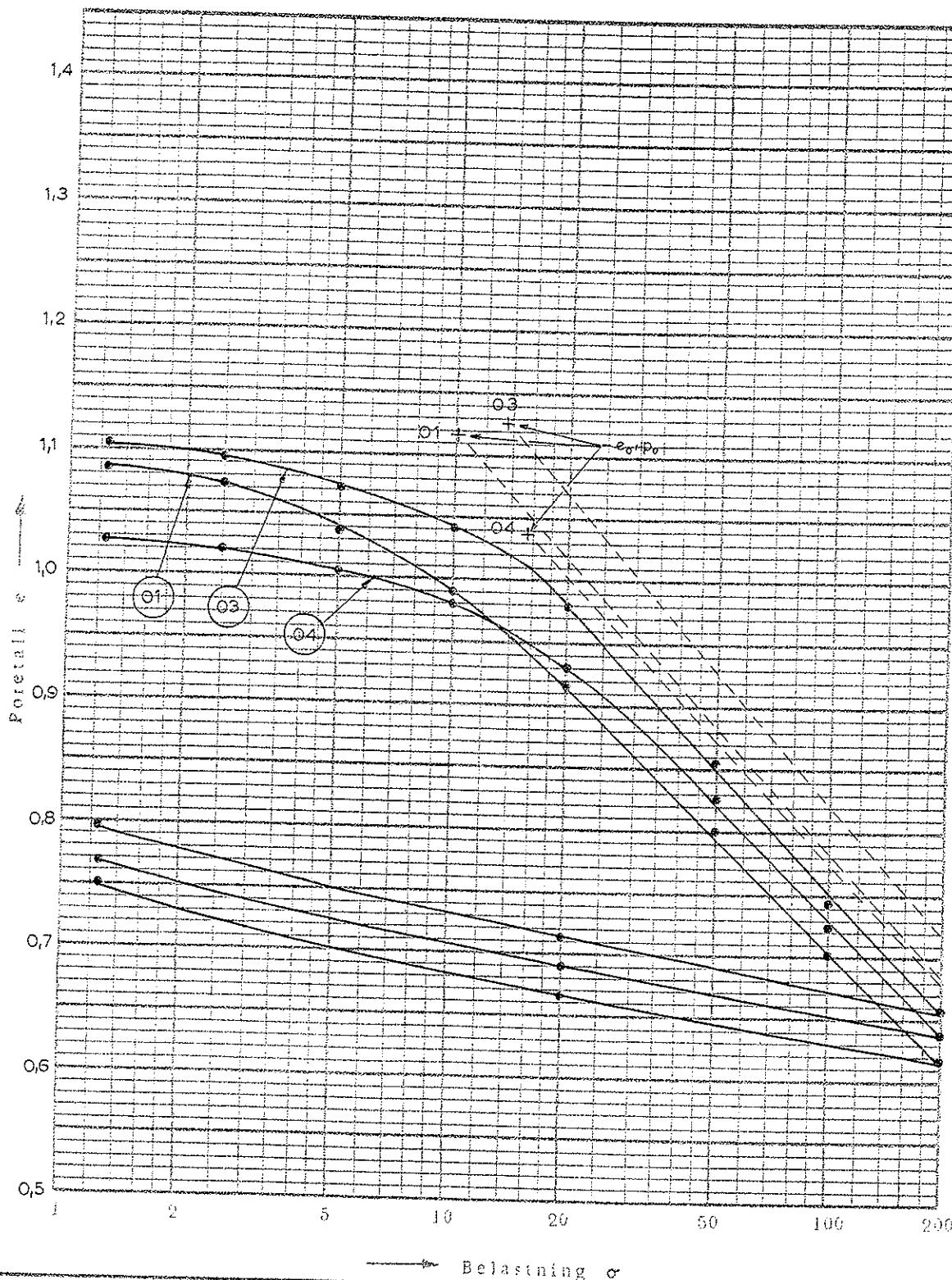
Boring VII

Oppdrag O.481-4

Grunnvannstand

Sign. F.E.

Lab. nr.	Prøve nr.	Dybde m.	Effektivt overlagrings- trykk kN/m ²	For- belast- ning kN/m ²	C_c Sammen- virknings- tall	% Primer- setning	c_v Konsolidere- ringshoeff. m ² /sek x 10 ⁷	E Elastisitets- modul kN/m ²
01		11,2	10,1		0,34	56	7,0	
03		15,0	13,5	Normal konsolidert	0,35	52	5,7	
04		17,1	15,4		0,32	69	3,2	



Anmerknings

ØDOMETERFORSØK

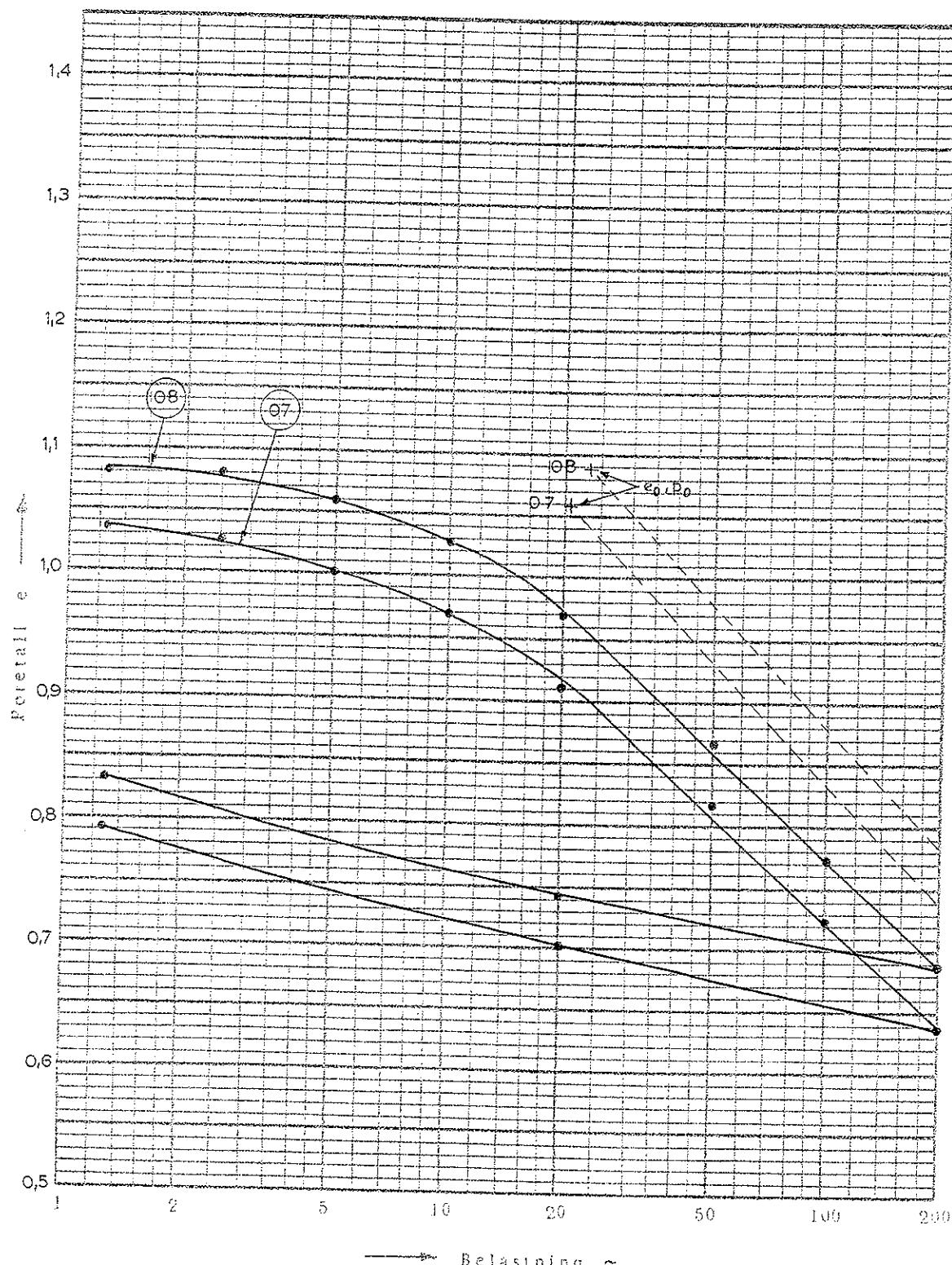
Boring VI

Oppdrag O.481-4

Grunnvannstand

Sign. F.E.

Lab nr.	Prøve nr.	Dybde m	Effektivt overlagrings- trykk kN/m ²	For- belast- ning kN/m ²	C_c Sammen- trykningstall	% Primær- scanning	c_v Konsoliderte- ringskoeff. m ² /sek ^{0.5}	E Elastisitets- modul kN/m ²
07		23,1	20,8	Normal	0,32	80	2,1	
08		25,6	23,0	konsolidert	0,33	83	1,9	



Anmerknings

ØDOMETERFORSØK

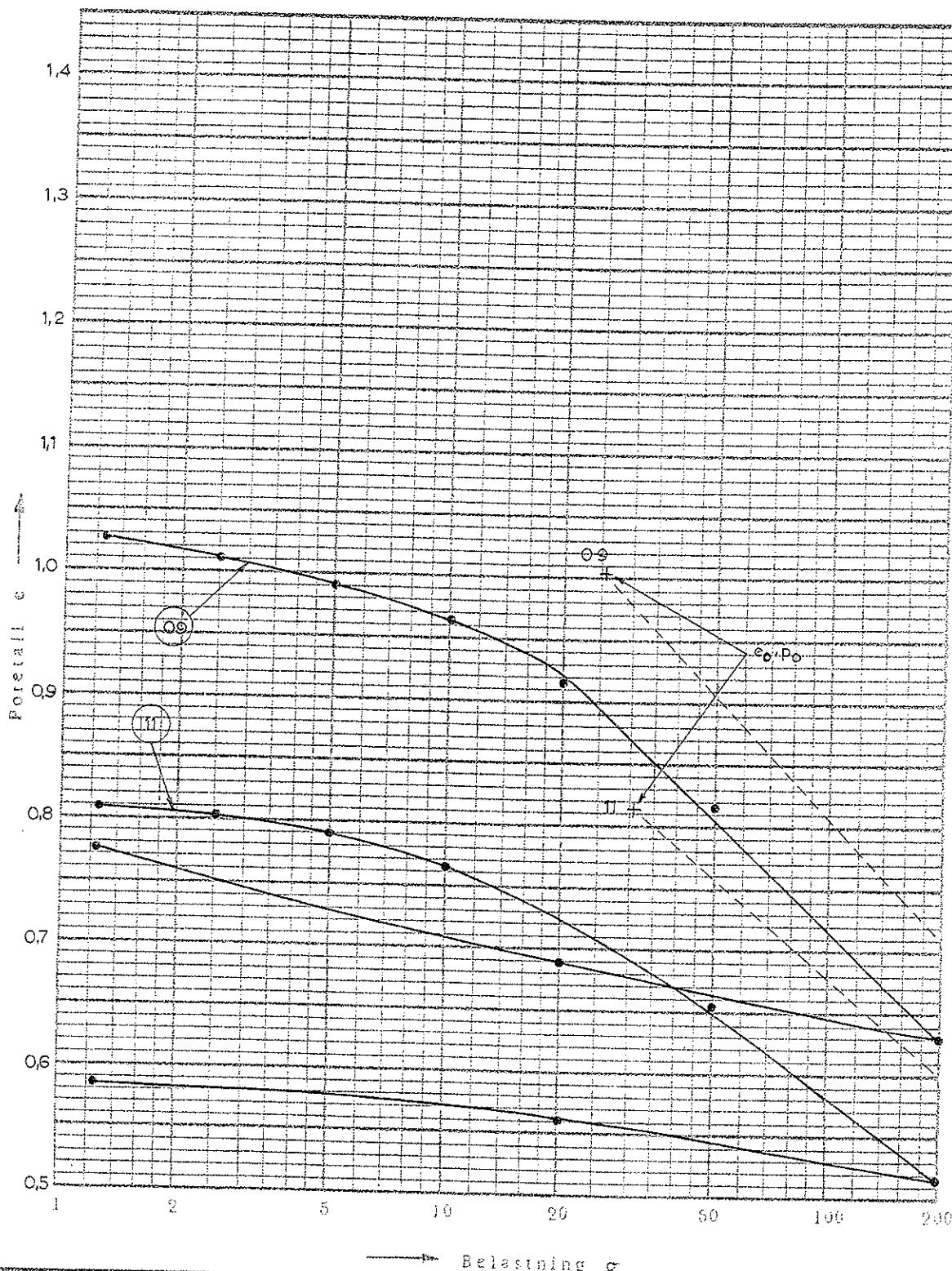
Boring VI

Oppdrag O. 481-4

Grunnvannstand

Sign. F.E.

Lab nr.	Prøve nr.	Dybde m.	Effektivt overslagnings- trykk kN/m ²	For- belast- ning kN/m ²	C_s Sammen- tryknings- tall	% Primær- setning	c_v Konsolide- ringskoeff. m ² /sek x 10 ⁷	E Klastisitets- modul kN/m ²
09		28,4	25,5	Normal	0,33	79	2,3	
11		34,0	30,6	konsolidert	0,26	92	2,9	



Anmerkninger

ØDOMETERFORSØK

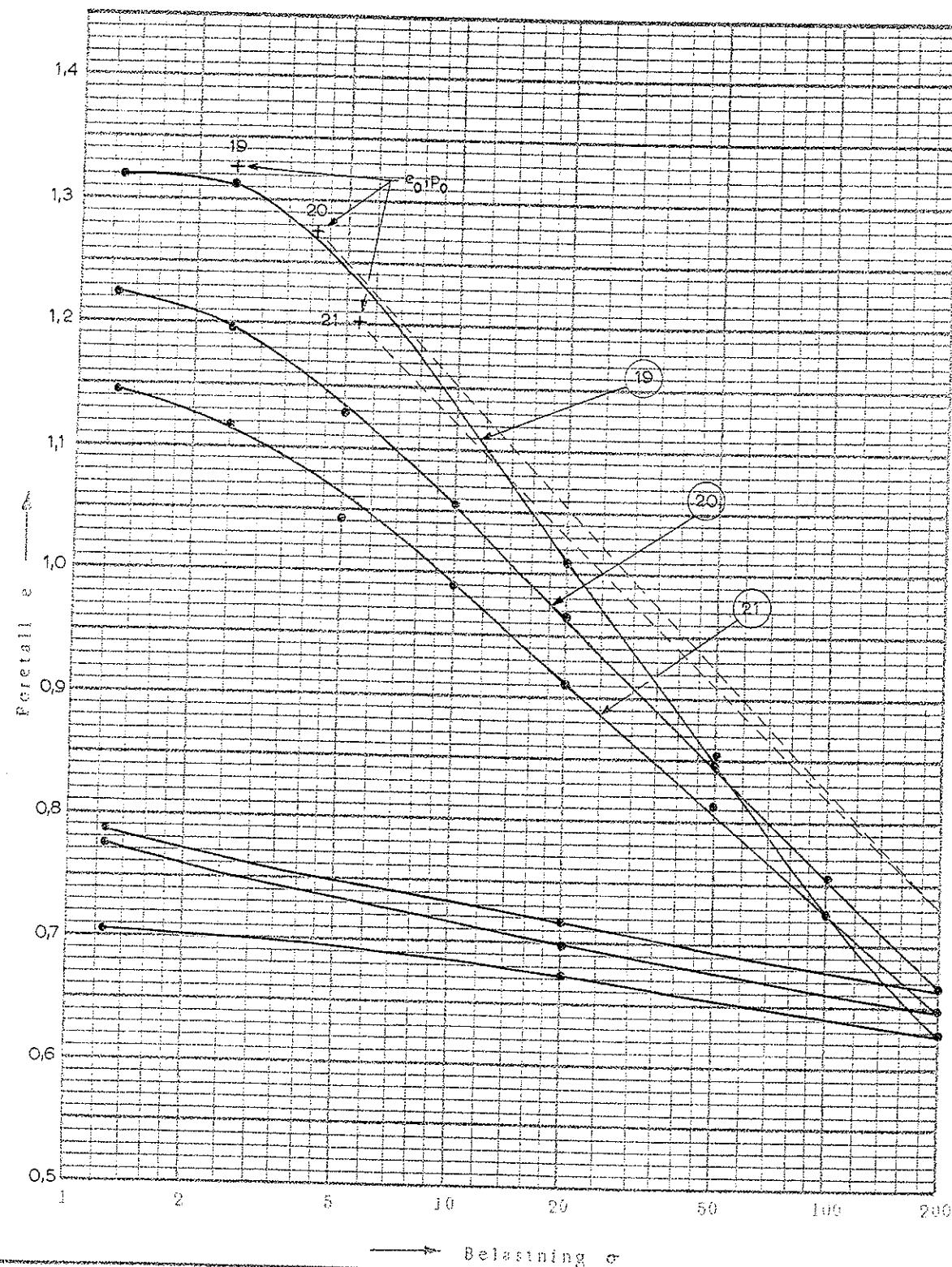
Boring IX

Oppdrag O.481-4

Grunnvannstand

Sign. F.E.

Lab nr.	Prøve nr.	Dybde m.	Effektivt prelagrings- trykk kN/m ²	For- belast- ning kN/m ²	C_c Sammen- tryknings- tall	% Primær- setning	c_v Konsolide- ringsekoeff., m ² /sek x 10 ⁷	E Plastisitets- modul kN/m ²
19		3,3	2,5	Normal konsolidert	0,41	57	8,5	
20		5,4	4,1		0,32	65	3,9	
21		7,2	5,4		0,30	63	4,0	



Amerknninger

ØDOMETERFORSØK

Sted Sørenga

Bilag

30

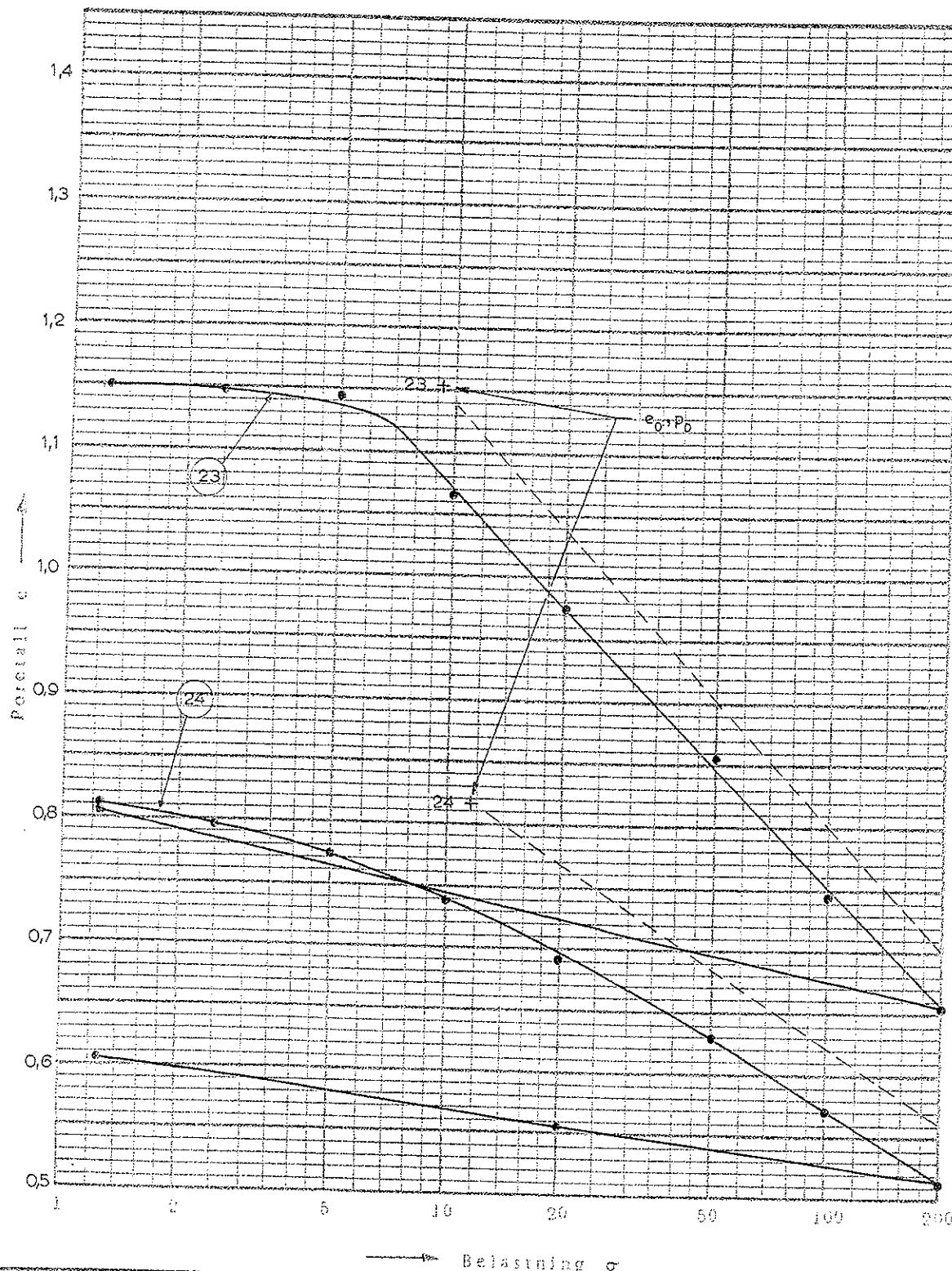
Boring IX

Oppdrag O.481-4

Grunnvannstand

Sign. F.E.

Lab nr.	Prøve nr.	Dybde m.	Effektiv overlægrings- trykk kN/m ²	Før- belast- ning kN/m ²	C _c Sammen- trykningstall	% Primer- setning	C _v Konsolidi- ringskoeff. m ² /sek ² x 10 ³	E Elastisitets- modul kN/m ²
23		11,4	9,1	Normal konsolidert	0,34	68	1,5	
24		13,6	11,4		0,21	77	1,9	



ØDOMETERFORSØK

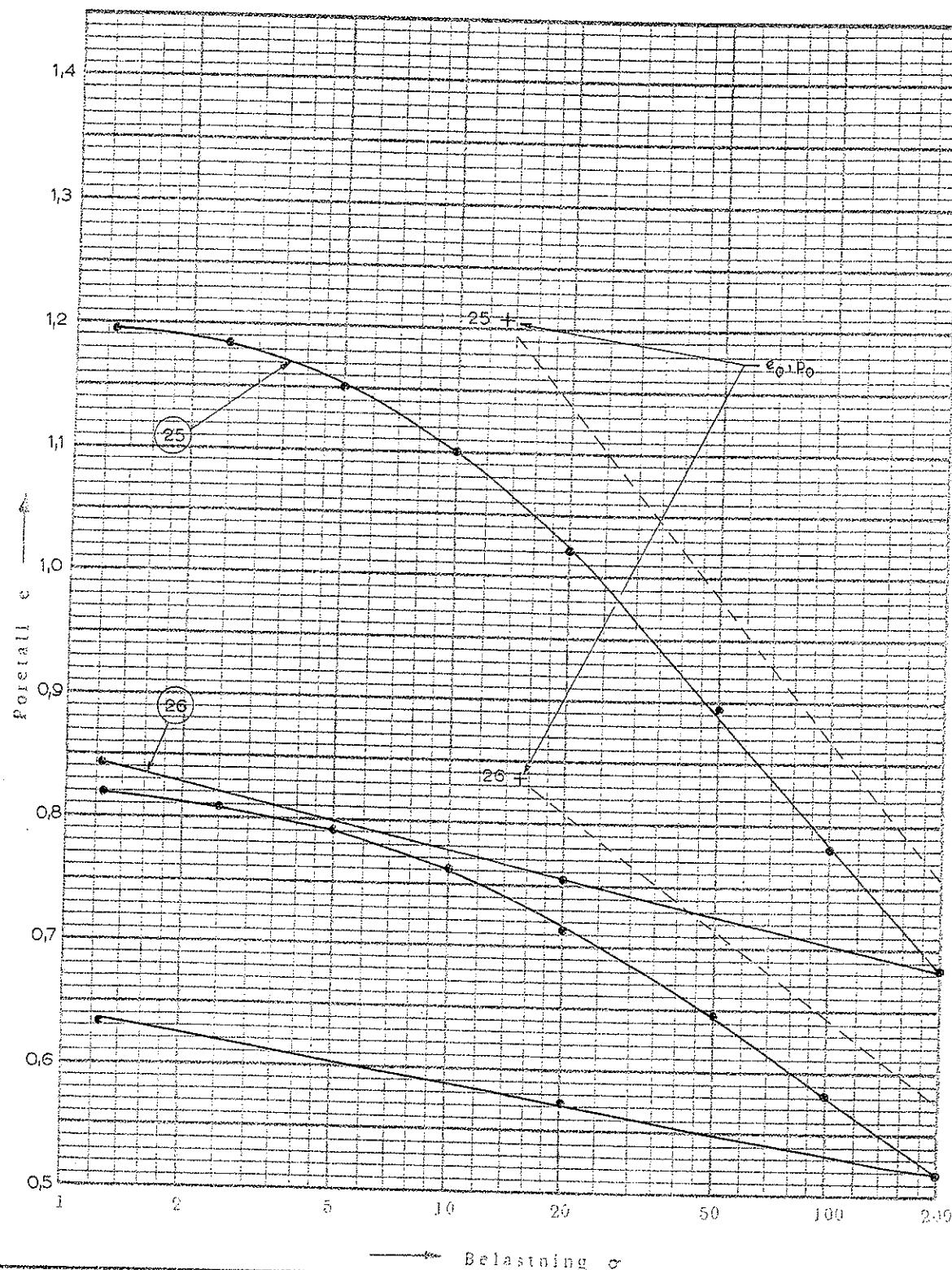
Boring IX

Oppdrag O.481-4

Grunnvannstand

Sign. F.E.

Lab nr.	Prøve nr.	Dybde m.	Effektivt overlægings- trykk kN/m ²	For- belast- ning kN/m ²	C _e Sammen- tryknings- taall	% Primer- setning	C _v Konsolide- ringsskoeff. m ² /sek x 10 ⁷	E Elastisitets- modul kN/m ²
25		15,2	13,2	Normal	0,38	78	1,4	
26		17,2	15,2	konsolidert	0,23	76	2,9	



Anmerkninger

ØDOMETERFORSØK

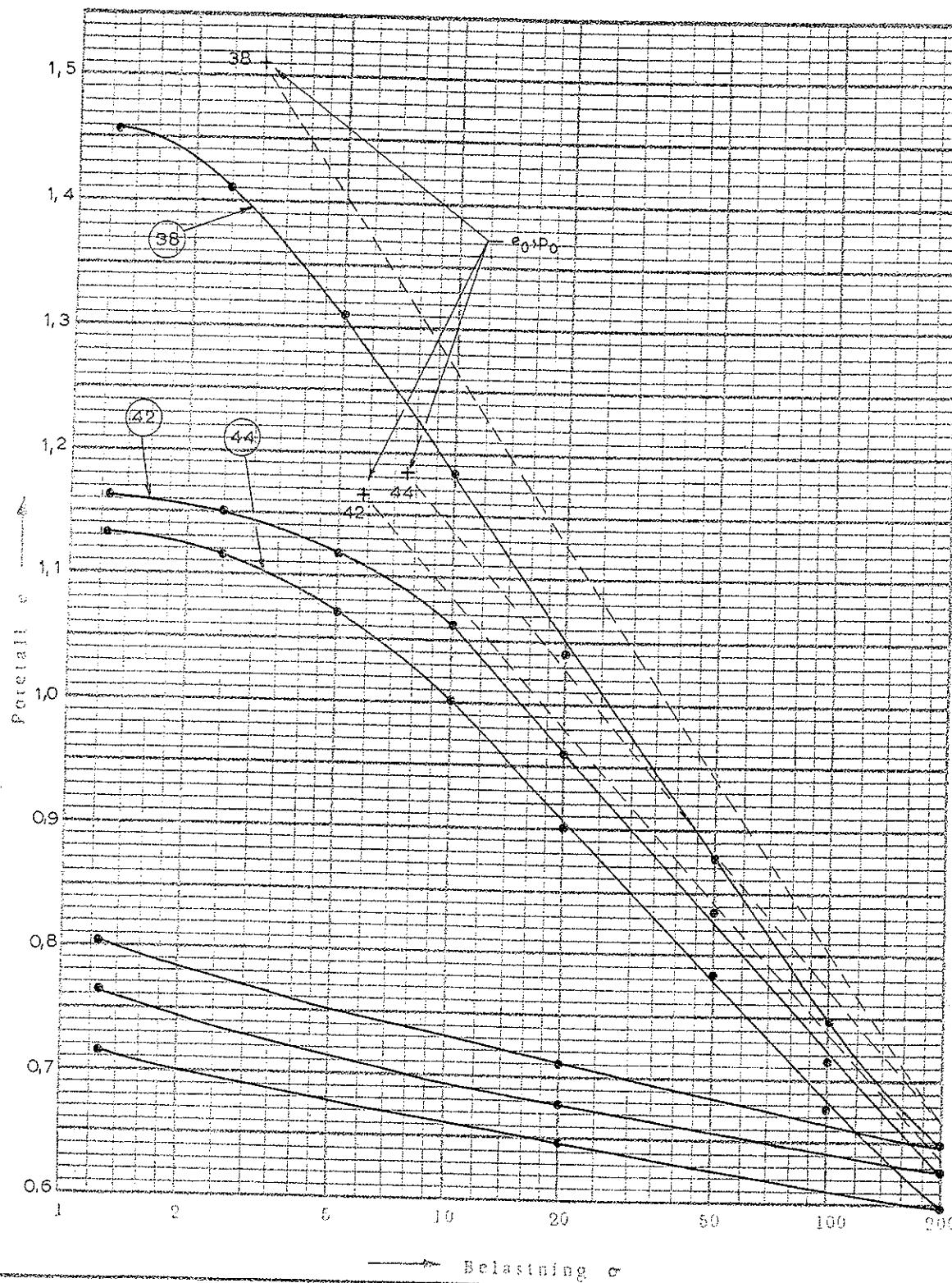
Boring 3

Oppdrag O. 481-4

Grunnvannstand

Sign. F.E

Lab nr.	Prøve nr.	Dybde m.	Effektiv overlægrings- trykk kN/m ²	For- belast- ning kN/m ²	C _c Sammen- tryknings- tall	% Primær- settning	C _v Konsolider- ingskoeff. m ² /sek x 10 ⁷	E modul kN/m ²
38		4,2	3,0		0,46	42	7,8	
42		7,8	5,8	Normal konsolidert	0,34	64	1,8	
44		10,0	7,6		0,36	70	1,2	



ΦDOMETERFORSØK

Sted Sørenga

Bilag 33

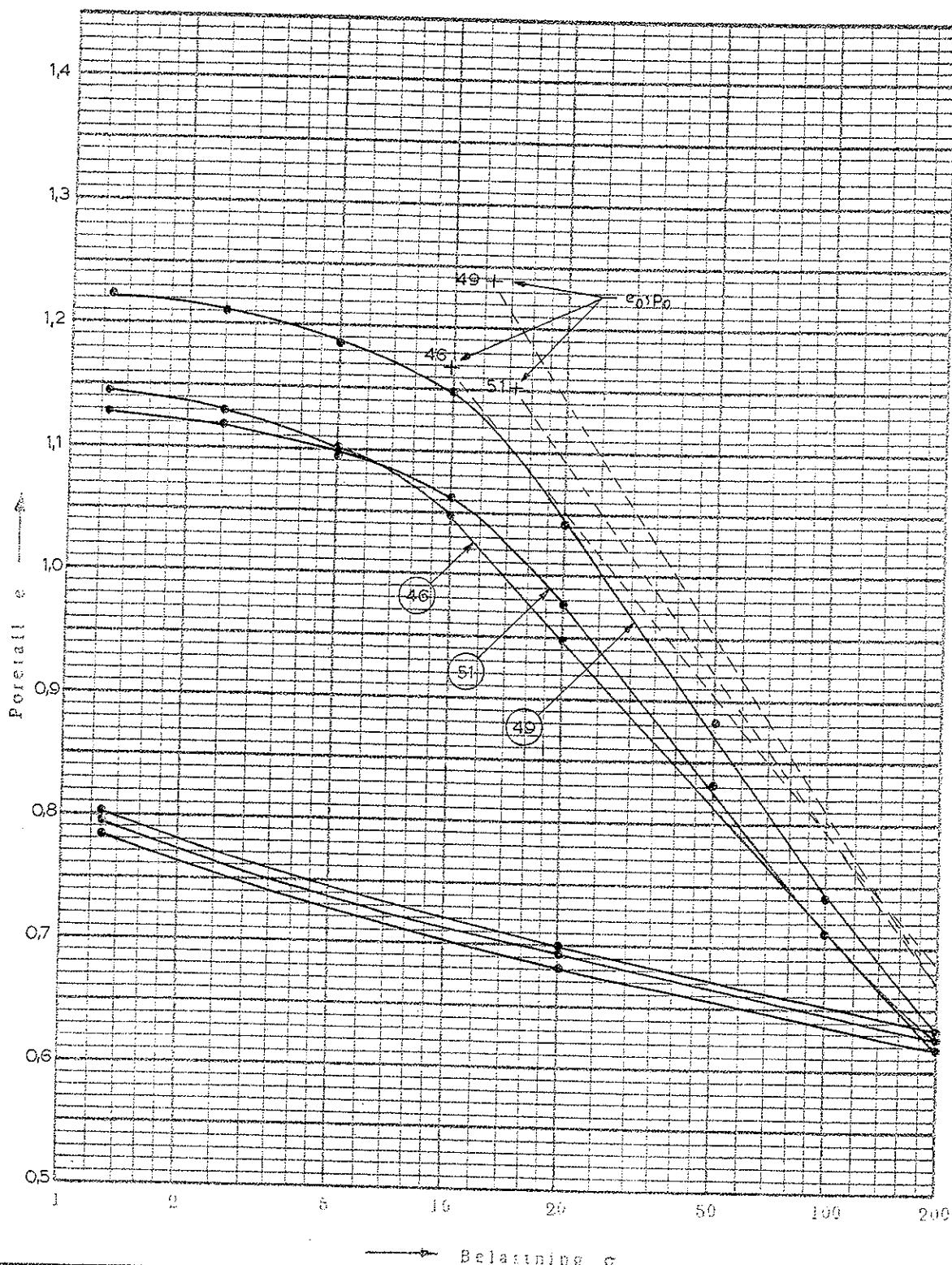
Boring 3

Oppdrag O.481-4

Grunnvannstand

Sign. F.E.

Lab nr.	Prøve nr.	Dybde m.	Effektivt oversjægrings- trykk kN/m ²	Før- belast- ning kN/m ²	C_c sammen- tryknings- tall	% Primer- setning	c_v Konsolidi- ringskoeff. m ² /sek ⁻¹ 10 ⁷	E Elastisitets- modul kN/m ²
46		12,2	9,8	Normal	0,37	69	1,8	
49		14,9	12,5	konsolidert	0,47	71	0,4	45
51		16,8	14,4		0,42	58	1,3	



Anmerkninger

ØDOMETERFORSØK

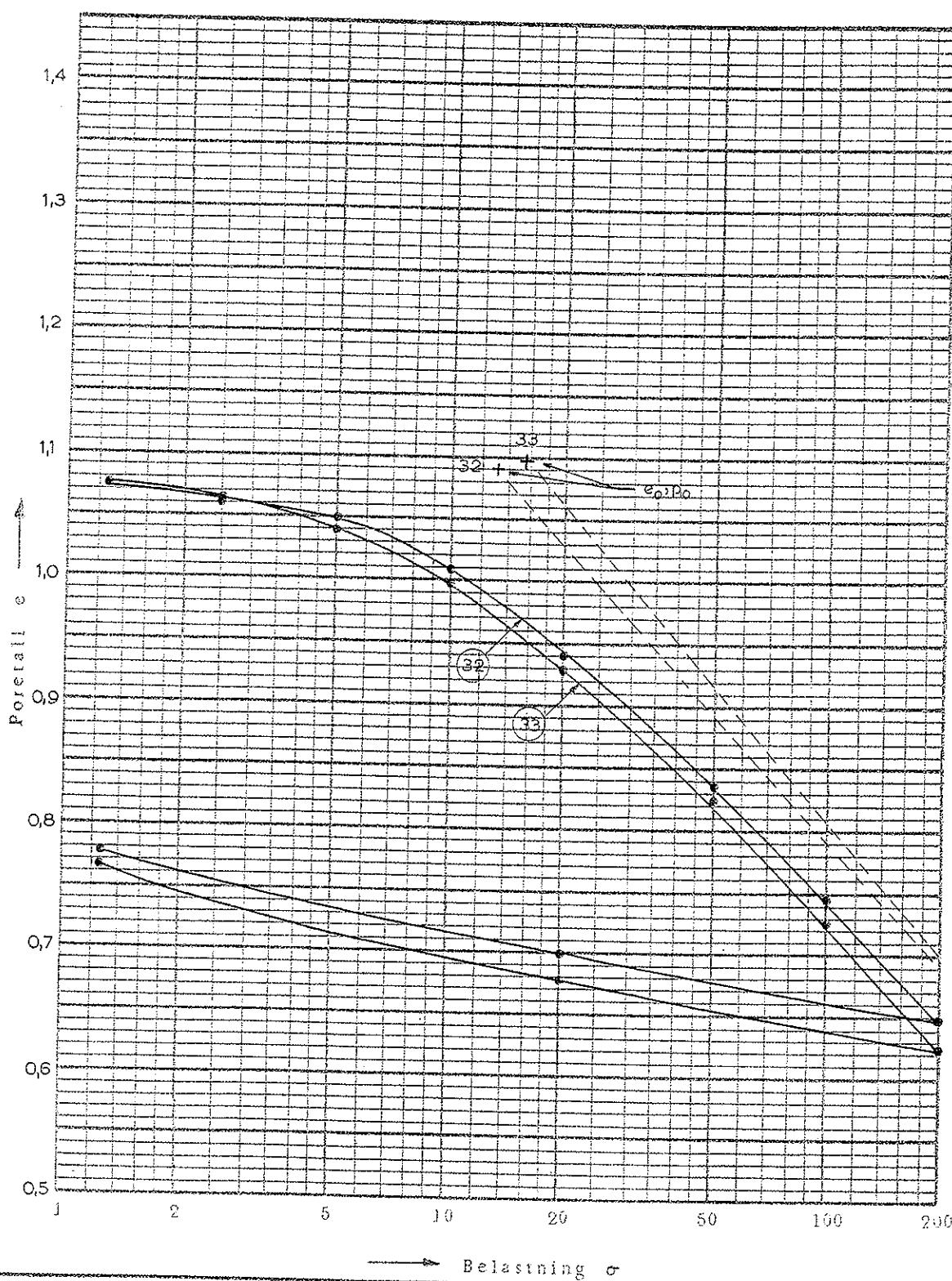
Boring 7

Oppdrag O.481-4

Grunnvannstand

Sign. F. E.

Lab nr.	Prøve nr.	Dybde m.	Effektivt overlagrings- trykk kN/m ²	For- belast- ning kN/m ²	Cc Sammen- tryknings- tall	% Primær- setning	c _v Konsolide- ringskoeff. kN ² /sek x 10 ⁷	E Elastisitets- modul kN/m ²
32		15,3	13,2	Normal	0,34	59	2,5	
33		17,6	15,5	Konsolidert	0,36	64	1,8	



Anmerkninger

ØDOMETERFORSØK

Sted Sørensga

Bilag 35

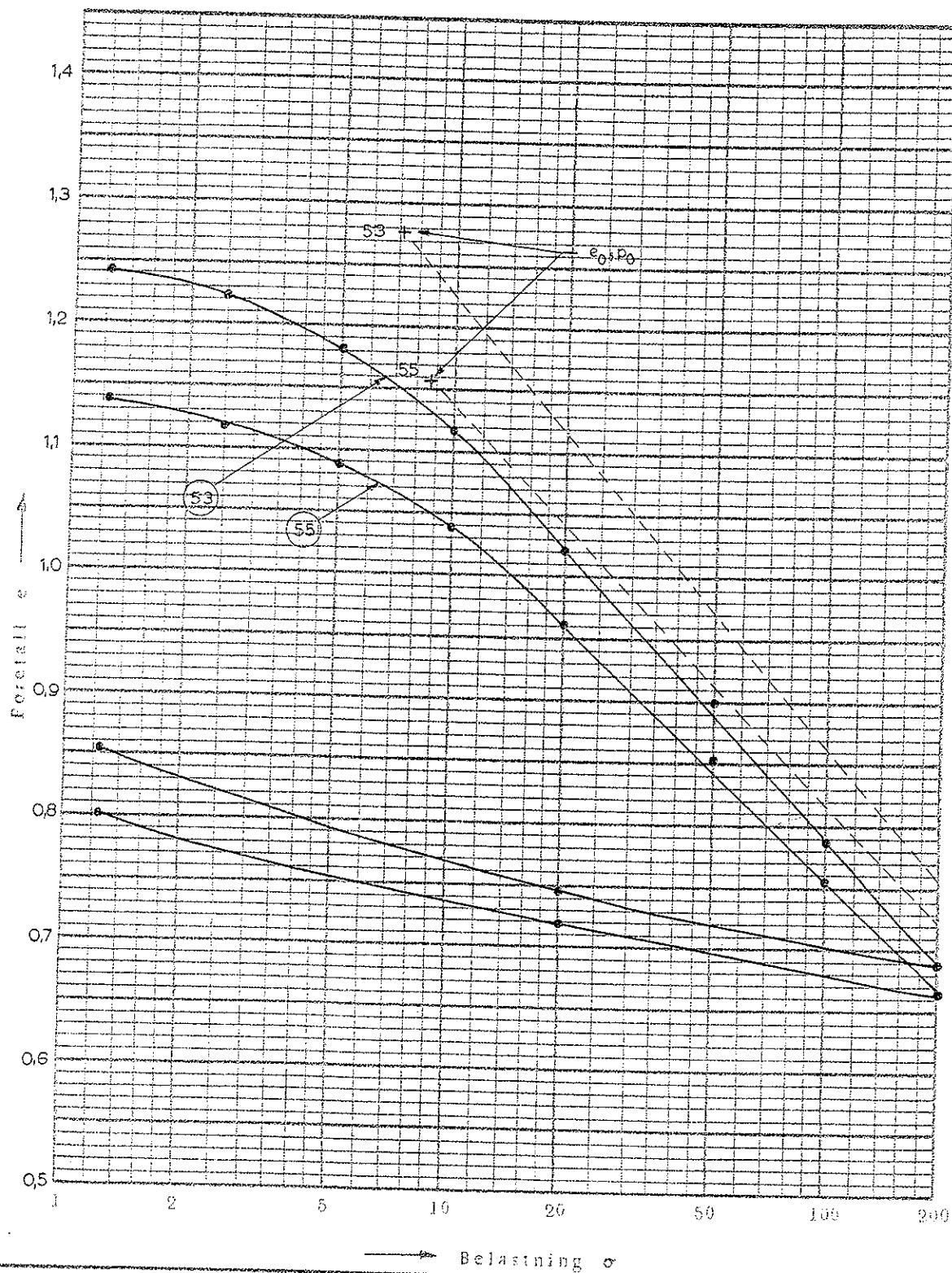
Boring 9

Oppdrag O.481-4

Grunnvannstand

Sign. F.E.

Lab nr.	Prøve nr.	Dybde m.	Effektiv overlægrings- trykk kN/m ²	Før- belas- ning kN/m ²	C_c Sammen- tryknings- tall	% Primær- setning	c _v Konsolide- ringskoeff. m ² /sek x 10 ³	E Elastisitets- modul kN/m ²
53		7,9	7,1	Normal	0,36	47	4,4	
55		9,7	8,7	konsolidert	0,32	66	2,1	



Anmerkninger

ØDOMETERFORSØK

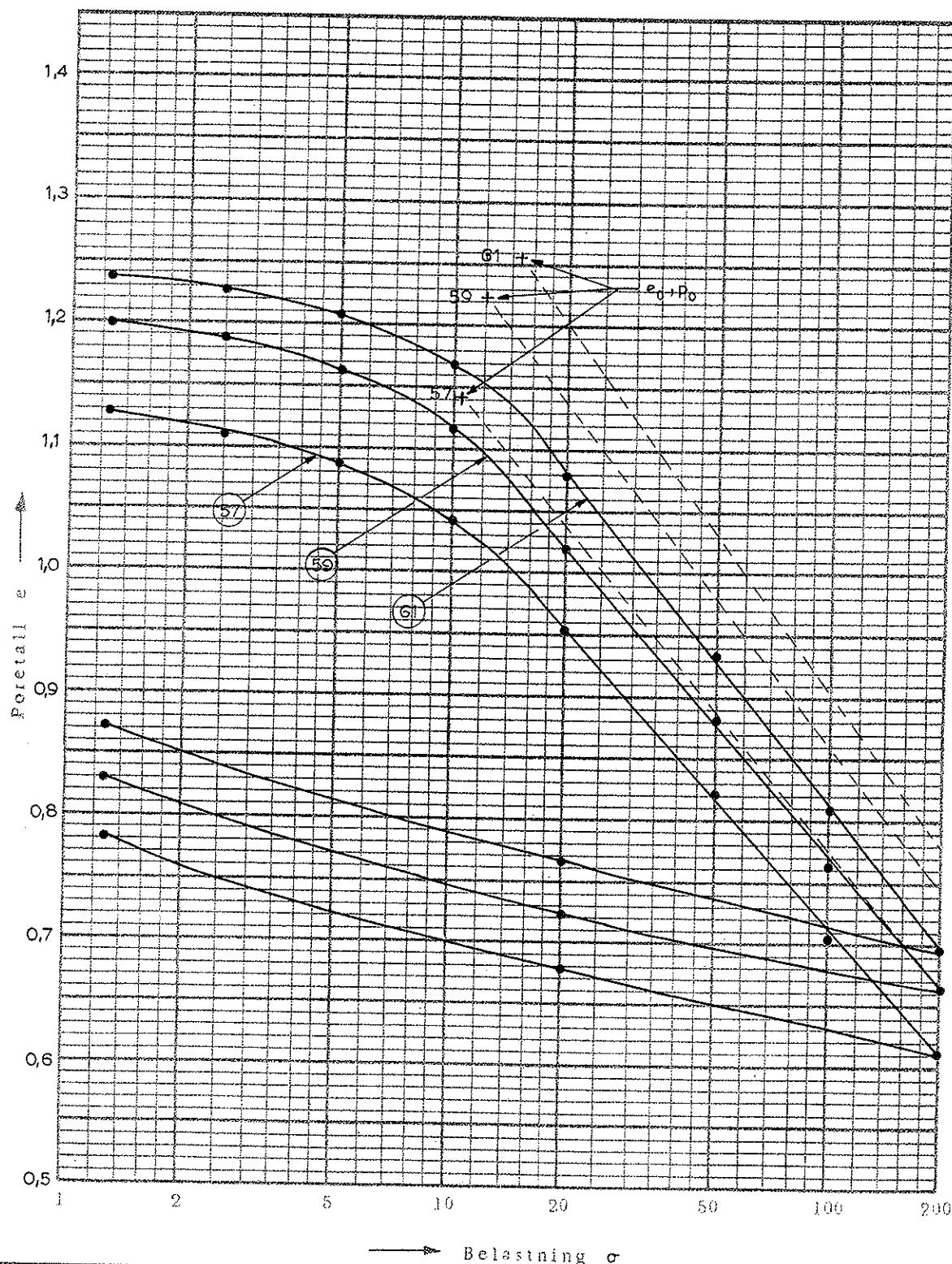
Boring 9

Oppdrag O.481-4

Grunnvannstand

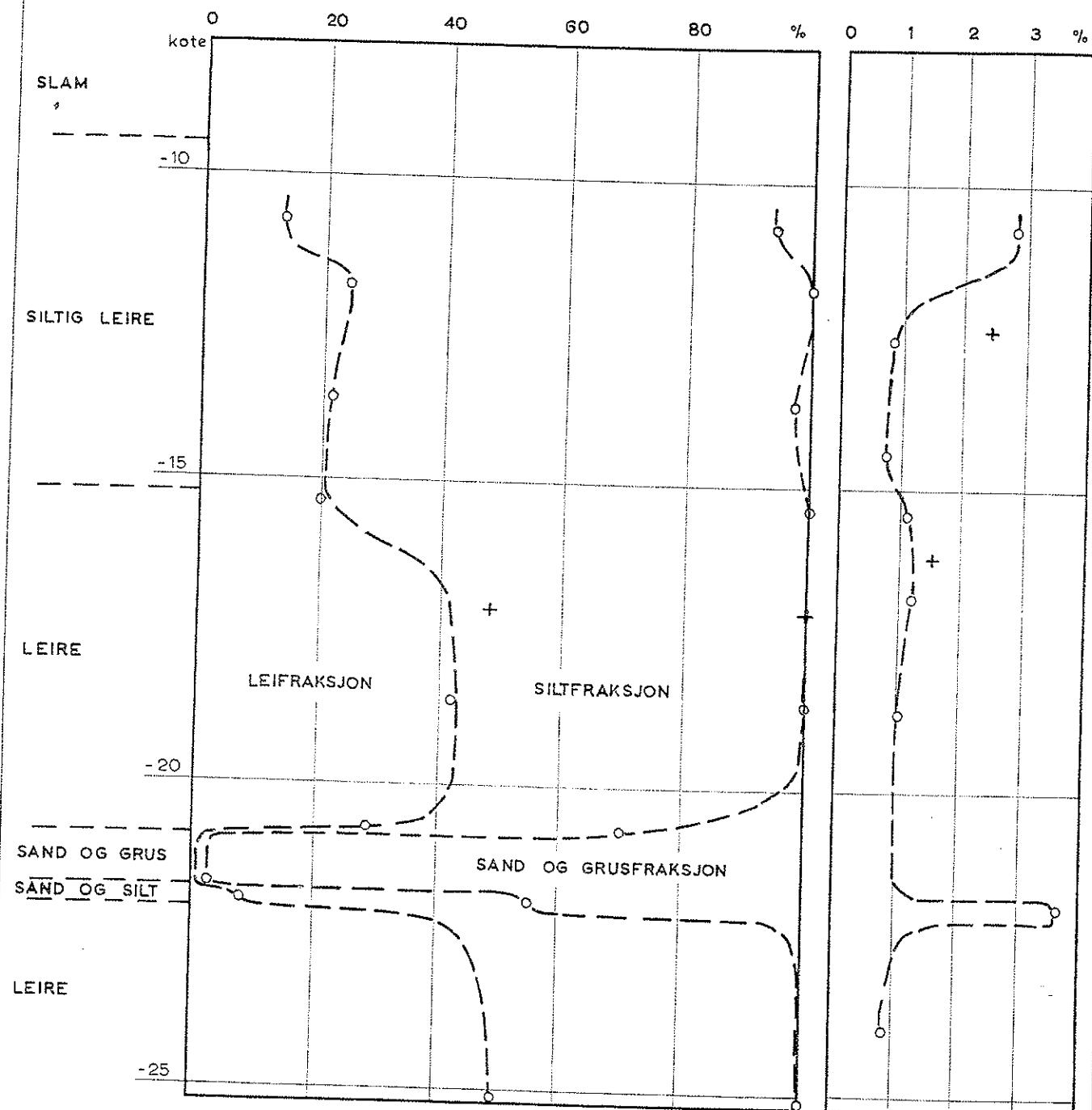
Sign. F.E.

Lab nr.	Prøve nr.	Dybde m.	Effektivt overlagrings- trykk t/m ²	For- belast- ning t/m ²	C _c Sammen- tryknings- tall	% Primær- setning	c _v Konsolide- ringsskoeff. m ² /sek x 10 ⁷	E Elastisitets- modul t/m ²
57		11,6	10,4					
59		13,4	12,0	Normal konsolidert	0,37	66	1,2	
61		16,4	14,7		0,39	73	0,9	
					0,42	73	1,1	



KORNFORDELING

HUMUSINNHOLD

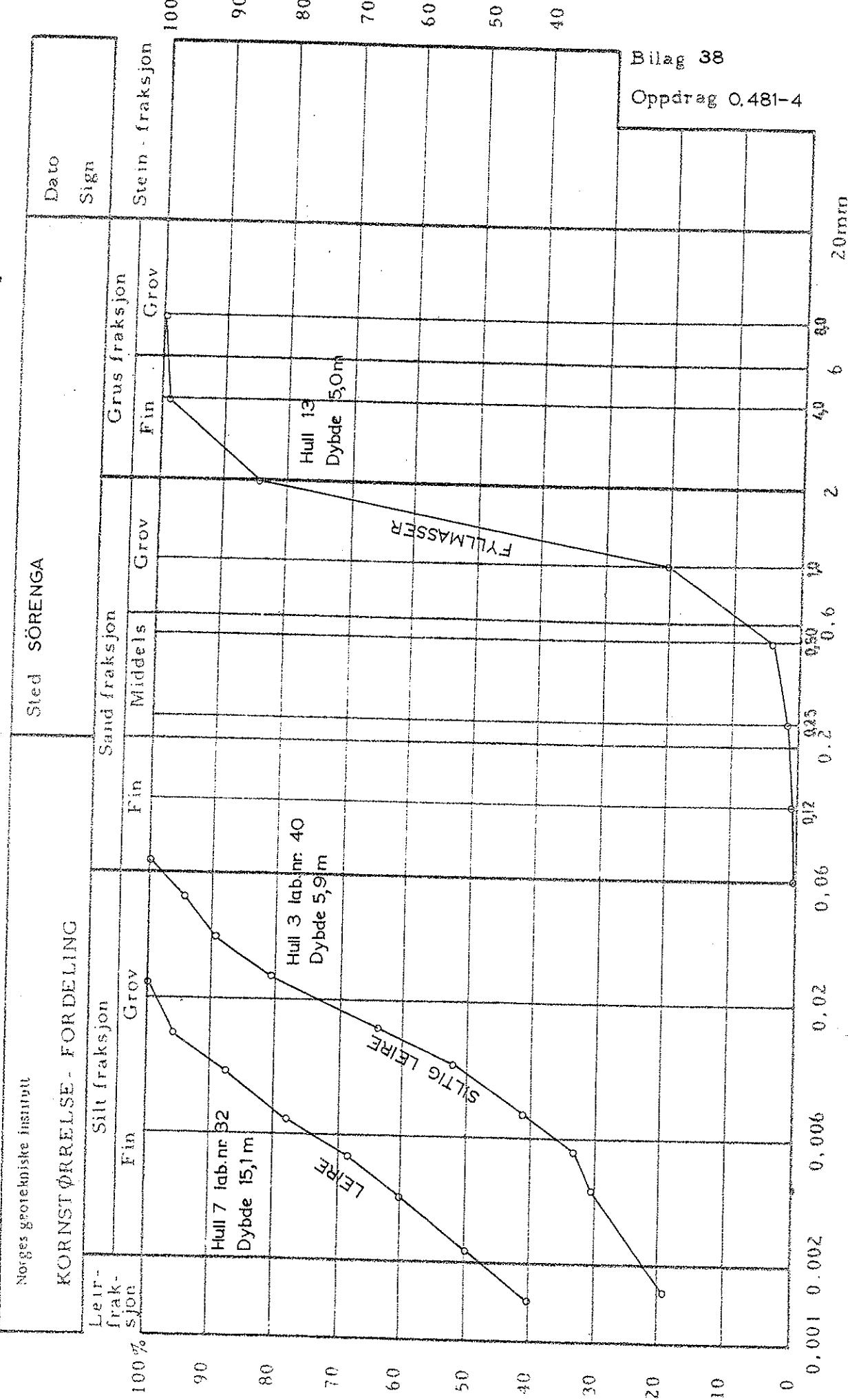


(+ resultater fra hull 7)

SÖRENGAKornfordeling og
humusinnhold, hull 3

Norges geotekniske institutt

KORNSTØRRELSE - FORDELING



REL. VÆTMENGDE (AV KORNET)

Bilag 38

Oppdrag O.481-4

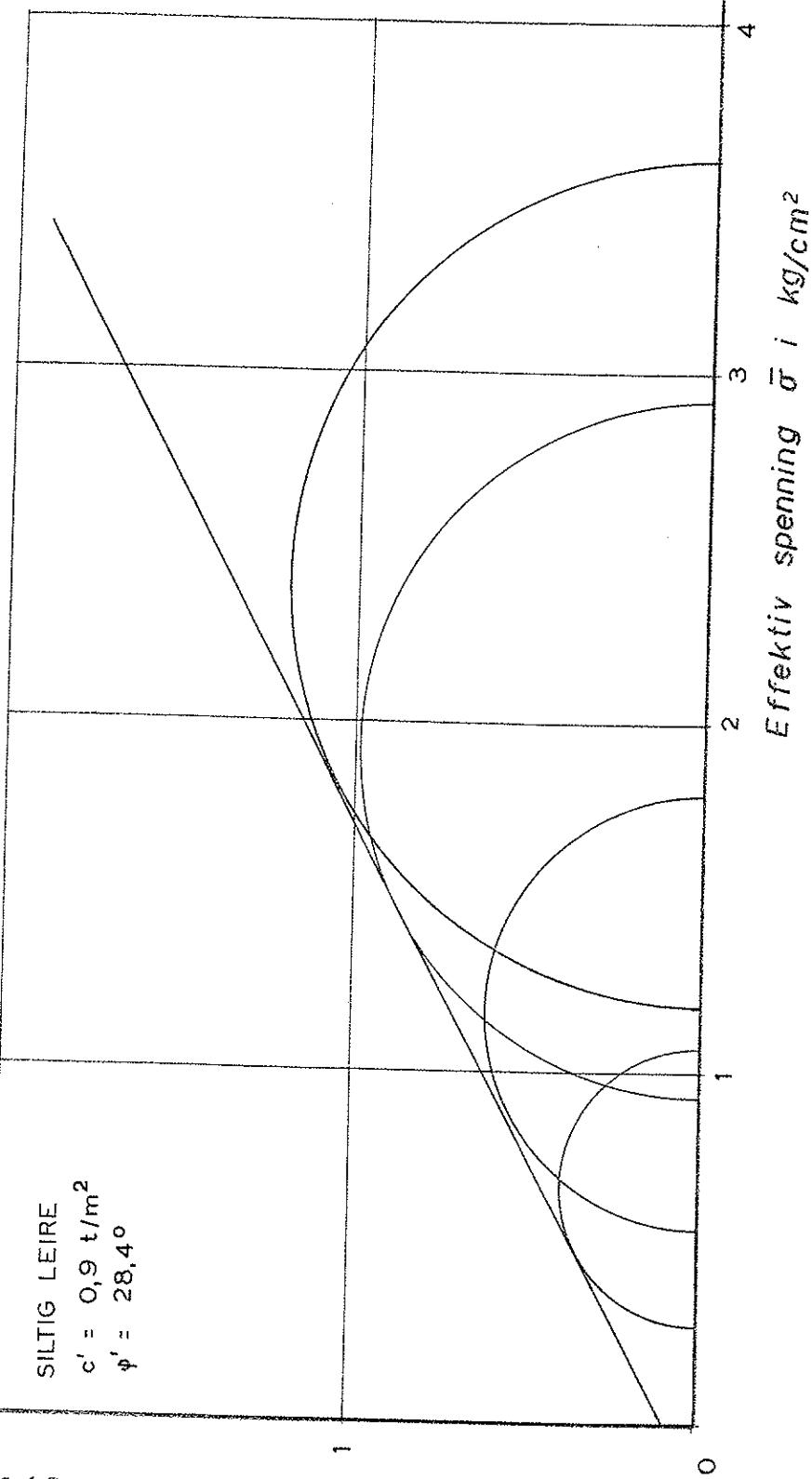
KORNSTØRRELSE (EKV. DIAM.) d

TRIAKSIALFORSÖK

Type CIU Boring 3 Dybde 5,9 - 6,3 m

SILTIG LEIRE
 $c' = 0,9 \text{ t/m}^2$
 $\phi' = 28,4^\circ$

skjærspenning $\tau / \text{kg/cm}^2$



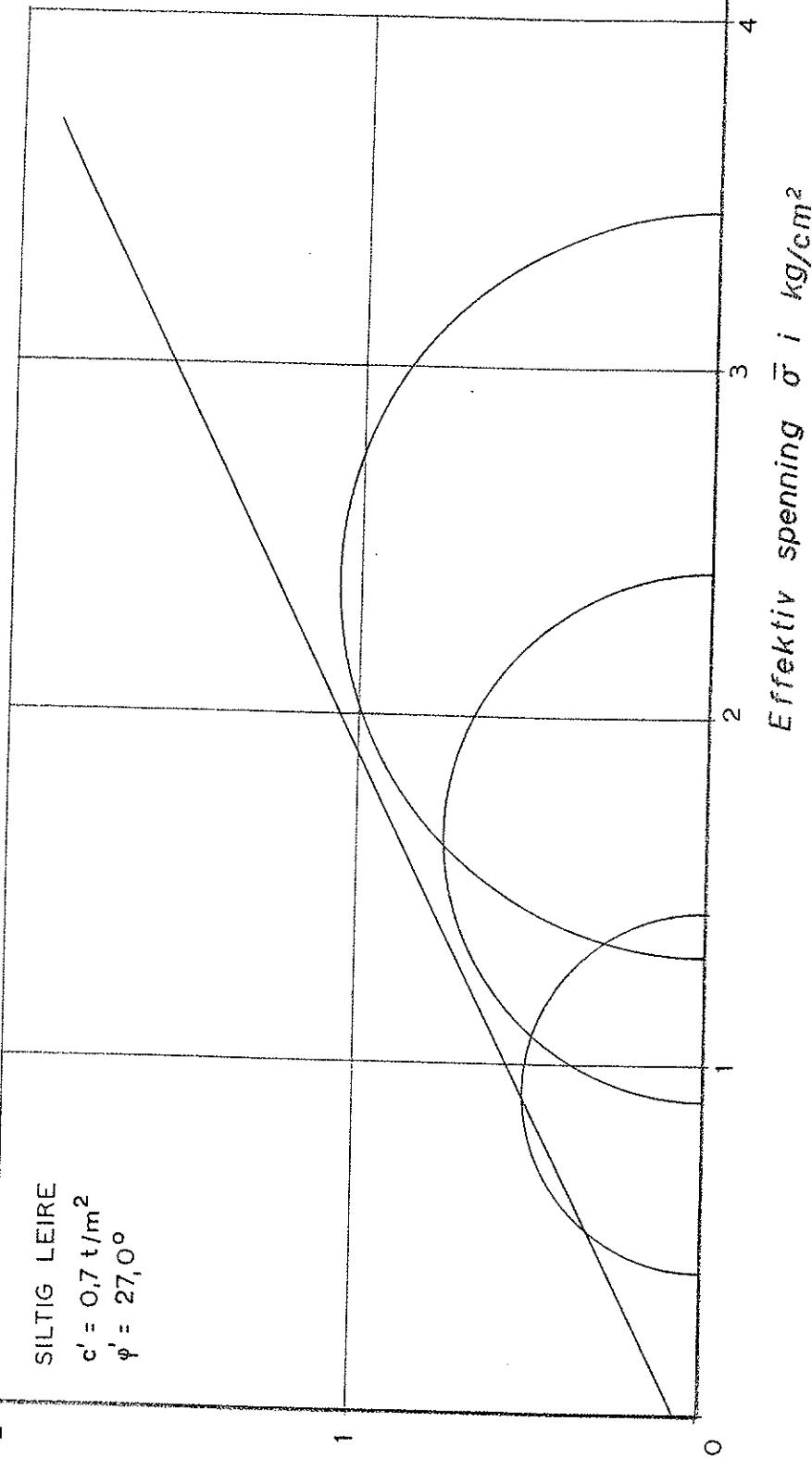
MOHR'S DIAGRAM

TRIAKSIALFORSÖK

Type CIU Boring 3 Dybde 6,7 - 7,0 m

SILTIG LEIRE
 $c' = 0,7 \text{ t/m}^2$
 $\phi' = 27,0^\circ$

skjærspenning τ ! kg/cm^2



MOHR'S DIAGRAM

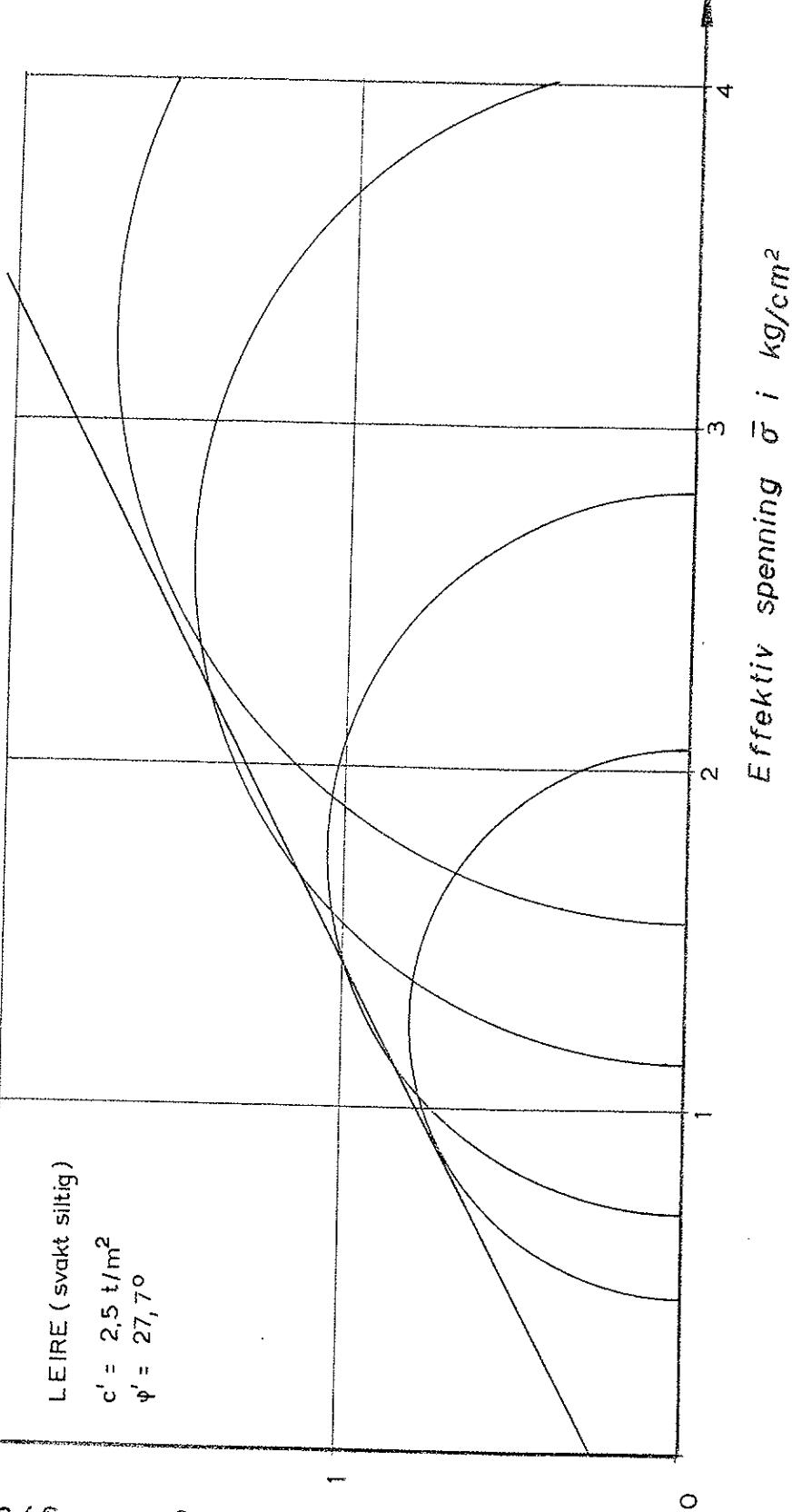
TRIAKSIALFORSØK

Type CIU , Boring 7 , Dybde 15,4 - 17,5 m

LEIRE (svakt siltig)

$$c' = 2,5 \text{ t/m}^2$$
$$\phi' = 27,7^\circ$$

skjærspenning τ i kg/cm^2



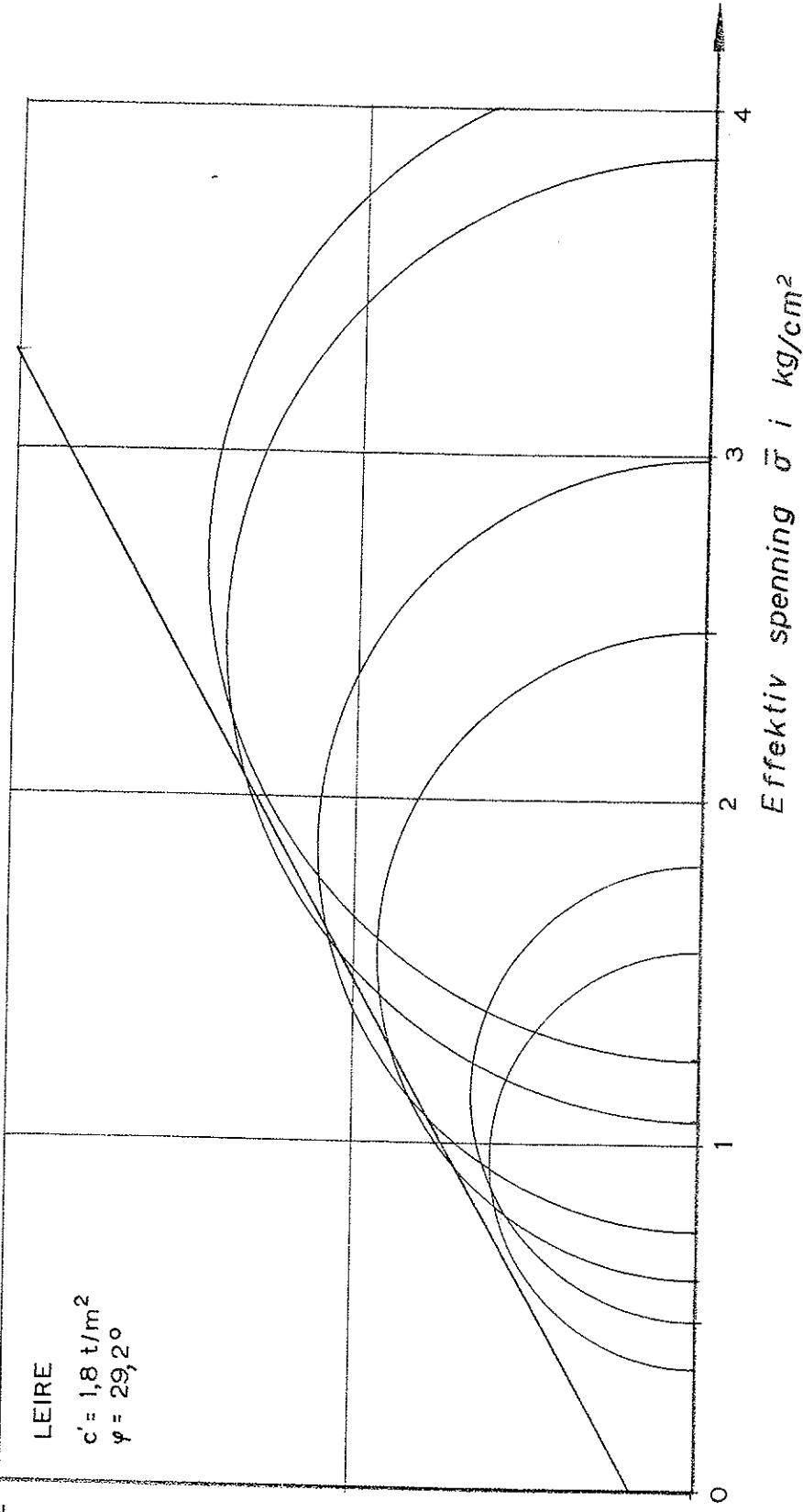
MOHR'S DIAGRAM

TRIAKSIALFÖRSÖK

Type CIU , Boring 9 , Dybde 10,2 - 12,8 m

LEIRE
 $c' = 1,8 \text{ t/m}^2$
 $\varphi = 29,2^\circ$

skjærspenning τ i kg/cm^2



MOHR'S DIAGRAM