

SO
SO C3

NORGES GEOTEKNISKE INSTITUTT

Rapport over:

Grunnundersøkelse i forbindelse med
utglidning og synkning av Grønlikaia i Oslo.

O.269

19. januar 1956.

Tilhører Undergrunnskartverket
Må ikke fjernes

SO.C3, I. II

Arno Mars 870

Rapport over
grunnundersökelse i forbindelse med
utglidning og synking av Grönlikaia, Oslo.

0.269

19. januar 1956.

Bilagsfortegnelse.

- Bilag 1. Oversiktskart med avmerking av målepunkter og profiler.
" 2. Målte bevegelser av kailinjen.
" 3. Bevegelse av kaimuren.
" 4. Synkninger av kaidekket.
" 5. Oversiktskart med borpunktene beliggenhet.
" 6. Tegnforklaring.
" 7-8. Profiler A og B med resultater av ramsonderingene.
" 9-12. Borprofiler. Prøvetaking i hull 10, 12, 13 og 14.
" 13. Profil B med jordartsbetegnelse.
" 14. Resultat av poretrykkmålingene i hull 9 og 11.
" 15. Sammenstilling av triaksialforsøkene.
" 16. Jordtrykksberegning.
" 17. Profil B. Skjærfasthetsverdier og stabilitetsberegning.
" 18. Resultat av stabilitetsberegning med effektive spenninger.

1. Innledning.

Etter oppdrag av 14/4 1955 fra Oslo Havnevesen har Norges geotekniske institutt foretatt grunnundersøkelser ved Grønlikaia.

Kaia som er anlagt i 1907 - 11 har i de senere år, på et område ved sydenden av vareskur nr. 71, vært utsatt for horisontale forskyvninger utover mot sjöen og setninger av kaimur og bakenforliggende kaidekke. Gjentatte forbedringer og justeringer av kaia har vært nytteslöse.

Da bevegelsene horisontalt som vertikalt viser en ökende tendens ble instituttet tilkalt for ved grunnundersøkelser å prøve å klarlegge årsaksforholdene og eventuelt komme med forslag til utbedring av kaia.

2. Foreliggende opplysninger.

Kaia utenfor nordre tremasseskur nr. 71 fra knekken i kailinjen og nordover er bygget i tiden 1907 - 11.

Etter Oslo Havnevesens tegninger går det fram at kaimuren hviler på 7 trepeler pr. löpometer kai. Pelene er fört til fjell. Bak kaimuren er det også rammet peler. Området bakenfor kaimuren er så fylt opp.

I 1944 ble det på grunn av observerte bevegelser av kaia satt i gang en nöyaktig kontroll av de horisontale forskyvninger. Etter opplysning fra Havnevesenet skulle det ikke vært foretatt noen reparasjon etter opprettinger av kai eller kaidekke för denne tid. Eldre oppsynsmenn mener imidlertid at kaidekket er rettet opp för 1944, uten at de med bestemthet kan si noe om tid og sted.

Kontrollen med kaias horisontale bevegelser er foretatt av ing. Dahls oppmåling. Målingene ble satt igang i mars måned 1944. I 1948 ble det i dekkhellene satt inn nivelleringsbolter for å följе kaias synkninger.

Resultatet av disse målingene er samlet i en utredning fra Oslo Havnevesen, "Grönlikaia, kontroll med utglidning og synkning." Instituttet har også fått utlånt originaler av foretatte nivellement og horisontale målinger.

På et oversiktskart, bilag 1, er målepunktene tegnet inn og resultatene av målingene er vist i bilagene 2 til 4. I bilagene 1 og 2 er det også gjort anmerkninger om reparasjoner av og hendelser ved kaia i tidsrommet 1944 - 55.

Ved en eksplosjon den 17. august 1945 raste kaia ut over en lengde av ca. 100 meter, like nord for det undersøkte området. Etter reparasjonen har kaia på dette parti stått bra, mens såvel utglidninger som synkning av kaia sydovert viser en økende tendens.

Norges Statsbaners kreosotledning, som går fra kai, mellom poller II og III opp til en tank på sydøstre side av Mossevegen, sprang i 1947 lekk ca. 15 meter fra kaikant og ca. 20 tonn kreosot rant ut. Utbedring av ledningen ble foretatt umiddelbart etter.

I 1948 - 49 ble kaia på grunn av den økende utglidningen avstivet med forankringer. Forankringene som består av $\varnothing 2 \frac{1}{2}$ " stag, ligger i en dybde av ca. 1,5 meter under o.k. kai med en innbyrdes avstand av 10 meter. Selve forankringsplatene 1,8 x 3,0 meter, ligger i en avstand av ca. 19 meter fra kaikant. Samtidig med dette arbeidet ble det slått skråpeler med en helning på 6/1 i forkant av kaimur. Disse peler ble slått i en avstand av ca. 0,6 m og forbundet med den gamle understøpningen for kaimuren.

Likeledes ble det dumpet grus utenfor kaia. Under arbeidet med understøpningen ble det observert dammer av ren kreosot på bunnen utenfor kaia.

I 1951 er det foretatt ramming av peler for tilbygg i sydenden av skur nr. 71. Kaidekket er likeledes rettet opp flere ganger uten at man med bestemthet kan si når og hvor mye skinner og kaidekke er blitt hevet.

3. Resultat av målingene.

Utglidning av kai.

Ser en på kurvene for horisontale bevegelser av kaimuren, bilag 2, er det ikke foretatt mellommålinger i tidsrommet 1944 - 47. Om utglidningen av kaia, ca. 8 cm ved poller II, har foregått jevnt eller plutselig under eller som følge av eksplosjonen i 1945 kan ikke sies. Målingene fra 1947 og framover til 1950 viser at utglidnings-hastigheten öker. Dette kan tenkes å stå i forbindelse med bruddet på kreosotledningen i 1947 og den store reparasjon av kaia i 1948 - 49. Ved målinger videre fram til 1955 viser samtlige målepunkter at utglidningshastigheten i toppen av kaia avtar. For poller II som utviser den største bevegelse av samtlige pollere er utglidningen i tidsrommet 1944 - 55 målt til vel 25 cm, hvorav 5 - 6 cm i de siste 5 år.

Synkninger av kai og kaidekke.

Selve kaimurens synkninger fra 1948 fram til 55 er funnet å være størst ved poller 2 og 3 med setninger på henholdsvis 4,4 og 4,5 cm, bilag 2. Poller IV og V er først tatt med i målingene fra desember 1949.

Samtlige målepunkter utviser store setninger fra 1948 fram til slutten av 1950. Dette skyldes kanskje bruddet på kreosotledningen i 1947 og kaireparasjonen i 1948 - 49. I dette tidsrom er også de største utglidningene målt.

Frem til 1954 er de målte synkninger ubetydelige, men videre framover til 10/11 1955 öker setningene faretruende. Tre målinger i 1955 viser at hastigheten tiltar.

Etter oppretting av kaidekket i 1950 ble det for å følge setningene av kaidekket opptatt nivellement i 8 profiler tvers av kaia. Profilenes beliggenhet i forhold til målepunkter og pollere er vist i bilag 1. I bilag 4 er resultater av nivellementene fra

1950 til 1955 tegnet opp. De største synkningene er målt i profilene 3, 4 og 5 som representerer det området av kaia som også utviser de største utglidninger og synkninger av selve kaimuren. I disse proflene utgjør setningene, som er målt på topp av jernbaneskinne , ca. 20 cm. i tidsrommet 6/11 1950 til 11/3 1955. Omtrent halvparten av synkningene har foregått fra 6/11 1950 fram til 27/7 1952.

Måling av kaias helning.

Kaia ble anlagt med helning ca. 20 : 1. Etter at forankringene ble lagt inn i 1948 - 49 viste målinger at utglidningens hastighet avtok. Kontrollmåling av kaias helning i 1950 viste at kaimuren hadde beveget seg ut i bunnen, slik at helningen som gjennomsnitt av målinger i profilene 2 - 8 var ca. 14 : 1. Ved måling i mars 1954 viste det seg at kaimuren hadde vært utsatt for større utglidninger i bunn enn i topp. Kaia hadde da en gjennomsnittlig helning på ca. 11 : 1. Havnevesenet bemerker at disse målingene ikke kan bli av noen større nøyaktighet, men likevel går det klart fram at kaias helning avtar.

De utførte målinger viser at kaia på et parti fra knekken i kailinjen og 70 - 80 meter nordover, siden 1944 alltid har vært og fremdeles er i bevegelse.

Ved ~~fra~~ sidsen av Vareskur nr. 71 ble det vinteren 1954 observert en sprekk i kaidekket like inntil veggen. Denne sprekk er i løpet av 1955 stadig blitt større.

4. Utførte boringer og målinger.

Markarbeidet er utført i tiden 2/6 til 6/7 1955, under ledelse av tekniker H. Aspen fra Norges geotekniske institutt.

Grunnundersøkelsene omfatter vesentlig ramsondering og prøvetaking, og er konsentrert i et profil B gjennom poller II, idet de største bevegelsene såvel vertikalt som horisontalt er målt i dette profil. Videre er det utført en rekke ramsonderinger i et profil A

mellom poller III og IV, og en enkelt ramsondering utenfor poller I. I profil B er det dessuten tatt opp prøver fra 4 hull og målt poretrykk i forskjellige dybder i 2 punkter.

Beliggenheten av boringene og målepunktene er angitt på oversiktskart bilag 5. Profilene A og B, bilag 7 og 8 er tegnet opp på grunnlag av utført nivellement og opplodding av sjøbunnen. Fjellets beliggenhet er angitt på grunnlag av utførte ramsonderinger.

Arbeidet som både er utført på land og fra flåte ute på sjøen, har vært forbundet med store vanskeligheter. Fyllmassen bak kaimuren som tildels besto av grove materialer som grus, stein og blokker, og den store trafikken på sjøen, vanskeliggjorde arbeidet.

Ramsondering.

Et \emptyset 32 mm borstål rammes ned i marken ved hjelp av et falllodd. Borstålet skrues sammen i 3 m lengder med glatte skjöter, og borstålet er nederst smidd ut i en spiss. Ramloddets vekt er 75 kg og fallhöyden holdes lik 27, 53 eller 80 cm, avhengig av rammemotstanden. Antall slag pr. 20 cm synkning av boret noteres, og resultatet fremstilles i diagram som angir dynamisk rammemotstand i tonn, vekt av lodd gange fallhöyde dividert på synkning pr. slag. Dessuten er vridningsmomentet, M_d , ved dreining av boret målt for hver meter.

Prövetaking.

Med det anvendte prøvetakingsutstyr opptas prøver i tynnveggede rustfrie stålrör med lengde 80 cm og diameter 54 mm. Hele sylindren med prøven sendes i forseglet stand til laboratoriet.

For å komme gjennom fyllmassene bakenfor kaimuren, ble det rammet ned et foringsrör. I forskjellige dybder ble så rörets spiss skrudd ut, og prøver av grunnen ble tatt opp med en sandpumpe. Disse prøvene ble oppbevart på glass. Etter å ha kommet gjennom fyllmassene fortsatte prøvetakingen på vanlig måte.

Måling av poretrykk.

Til måling av poretrykk i marken anvendes et utstyr som nederst består av et \varnothing 32 mm poröst bronsefilter. Dette forlenges oppover med påskrudde rør.

Fra filteret føres en plastslange opp gjennom rørene. Filteret med forlengelsesrør presses eller rammes ned i grunnen.

Systemet fylles med vann, og man måler vanntrykket ved filteret ved å observere vannstanden i plastslangen. Målingene utføres i forskjellige dybder. For at vanntrykket skal få tid til å innstille seg på den riktige verdi, må piezometeret stå så lenge i hver dybde inntil likevektstilstand er oppnådd.

5. Laboratorieundersøkelser.

Av de uforstyrrede prøvene ble det, etter at de var skjøvet ut av sylindere, skåret av et tynt lag langs prøven. Dette laget ble tørket langsomt ut for at en eventuell lagdeling skulle komme tydeligere frem, og det ble gitt en jordartsbetegnelse.

Følgende bestemmelser ble utført:

Romvekt t/m³. Våt vekt pr. volumenhet.

Vanninnholdet er vekt av vann i prosent av tørrvekt etter tørking ved 110° C. Det er som regel utført 6 vanninnholdsbestemmelser fordelt langs prøven.

Flyte- og utrullingsgrensen angir vanninnholdet i prosent ved grenseverdiene for plastisk området av omrørt materiale, idet flytegrensen er den øvre og utrullingsgrensen den nedre grenseverdi.

Plastisitetsindeksen er differansen mellom flyte- og utrullingsgrensen. Disse konsistensgrenser er meget fiktive ved en bedømmelse av jordartenes egenskaper. Et naturlig vanninnhold over flytegrensen viser for eks. at grunnen blir flytende ved omrøring.

Skjærfastheten er bestemt ved enkle trykkforsök på prøver med tverrsnitt 3,6 x 3,6 cm og høyde 10 cm, som skjæres ut i senter av prøvene. Det er gjennomgående utført to trykkforsök for hver prøve. Skjærfastheten settes lik halve trykkfastheten.

Skjærfastheten av uforstyrret og omrørt materiale er i laboratoriet også bestemt ved konusforsök.

Sensitiviteten er forholdet mellom skjærfasthetsverdiene for uforstyrret og fullstendig omrørt materiale.

Triaksialforsök.

Det er utført triaksialforsök på en del prøver fra borrhøllene 13 og 14 i profil B. Ved disse forsök bestemmes skjærfastheten med hensyn på effektive spenninger, som er definert som differansen mellom de totale spenninger og porevannspenningene.

Skjærfastheten kan angis ved uttrykket:

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

hvor skjærfasthetsparameterene c' og φ' (tilsynelatende kohesjon og friksjonsvinkel) bestemmes ved trykkforsök i et triaksialapparat.

På bilag 15 er gitt en sammenstilling av resultatene fra triaksialforsökene.

Da det ved prøvetakinger både på land og utenfor kaja viste seg at grunnen inneholdt kreosot, ble det på laboratoriet foretatt undersøkelser for å klarlegge om kreosoten hadde noen innvirkning på leiras-egenskaper. Det ble påvist at vannet i leira i de opptatte prøver var mettet med kreosot. En tilsetting av kreosot i tidligere kreosotfrie leirer endret ikke leirenes konsistensgrenser.

6. Beskrivelse av grunnforholdene.

På profielene A og B, bilag 7 og 8, er resultatet av ramsonderingene tegnet opp. Resultatene av de utførte prøvetakinger fremgår av borprofilene bilag 9 til 12, hvor det er angitt jordartsbetegnelser og diagrammer som i de forskjellige dybder viser romvekt, naturlig vanninnhold, flyte og utrullingsgrenser, samt skjærfastheter og sensitivitet.

På grunnlag av samtlige utførte boringer i profil B er det i bilag 13 gitt en jordartsbeskrivelse.

Bakenfor kaimuren består grunnen under kaidekket vesentlig av fyllmasser. Ved samtlige ramsonderinger som er utført på land viser resultatene, som er tegnet opp på profil A og B i bilag 7 og 8 et uregelmessig forløp. En kan derfor anta at fyllmassen består av uensartede masser med tildels store blokker. Etter flere forsøk som måtte oppgis da en traff på blokker, lykkedes det to steder, hull 10 og 12, å komme ned gjennom fyllmassen med foringsrør, slik at en kunne ta prøver av det dypere liggende leirlag. I hull 12, like bakenfor kaia, ble spissen på røret skrudd ut ca. 2 ganger pr. meter for å ta opp prøver av fyllmassen. Av de prøver som ble tatt opp med sandpumpe og senere oppbevart på glass fremgår følgende:

Under et ca. 1,7 meter sandlag består massene helt ned til 11 meters dybde vesentlig av alunskifer, blandet med sand og grus. Flere steder er det funnet stort innhold av rust i prøvene. I ca. 11 meters dybde kommer en ned i et kreosotholdig bløtt lag. Anmerkning i borjournalen sier at prøvetakeren måtte holdes igjen og at det mest kjentes som om det var et tomrom under fyllmassene. Prøvetakingen mislyktes også i dette ca. 1,5 meter meget bløte lag. Forlengelsesrørene til prøvetakeren ble under prøvetakingen fyllt med ren kreosot. Under dette lag har det lyktes å ta opp 3 uforstyrrede prøver for en traff på fjell i ca. 16,2 meter under overkant kai. Disse prøver viste at grunnen i 12 - 16 m dybde består av en oppsprukket mjelig leire, med lag av grus og sand. Skjærfasthetsverdiene varierer mellom 1,6 og 2,6 t/m². I hull 10 er det

tatt opp 3 prøver av jordmassene under fyllingen. Jordartene er stort sett den samme som i hull 12, men skjærfasthetsverdiene er her noe høyere, idet de varierer fra 2,8 til 4 t/m². Like over fjell, ca. 14,8 m under kaidekket dropper skjærfastheten ned til 1,5 - 2 t/m². Dette skyldes antageligvis at prøven er blitt noe forstyrret under utskjæringen gjennom et gruslag.

To prøver i 11 og 13 meters dybde seg ut av sylindren under opptrekkingen.

Utenfor kaia består grunnen øverst av et ca. 2 meter lag av dumpegrus. Gruslaget ble etter opplysning fra Oslo Havenvesen fylt ut samtidig med reparasjonen av kaia i 1948 - 49, da forankringer og skråpeler ble anbragt. Under dette gruslag har vi et 2 - 4 meter meget bløtt lag, sannsynligvis tidligere sjøbunn. Prøvetakingen i hull 13 og 14 viser at grunnen videre består av en mjelig leire til/fjell. Skjærfasthetsverdiene varierer fra ca. 15, til 4,5 t/m² og tiltar gjennomgående med økende dybde. I hull 14 dropper skjærfastheten like over fjell ned til 2 t/m². Boring 12 ble avsluttet i en dybde av 10,8 m, da en traff på en av skråpelene for kaia.

Vanninnholdet i leira, både under fyllmassene og utenfor kaia, varierer fra ca. 30 til 44 %, bortsett fra de øverste prøvene i hull 13, hvor vanninnholdet er så høyt som 58 %. Flytegrensen varierer fra 32 til 64 % og den tilsvarende variasjon av utrullingsgrensen fra 19 til 26.

Fjellet.

De utførte undersøkelser viser at fjellet faller av fra Mosseveien, hvor det er fjell i dagen, og utover mot sjöen. I de to profilene A og B, bilag 7 og 8, hvor fjellets forløp er trukket opp, fremgår det at dybden til antatt fjell tiltar noe mot kailinjen, hvorfra fjellet faller noe brattere utover. Foruten å skråne ut mot sjöen heller fjellet under kaimuren noe mot syd. Störste

dybde til fjell er målt i hull 16, til ca. 31 m under normalvannstand.

7. Resultat av poretrykkmålingene.

Som angitt på oversiktskart bilag 5 er det utført måling av poretrykket i 2 punkter, 9 og 11. Resultatene av disse målingene er sammenstillet på bilag 14.

Høyeste og laveste vannstand observert i havnebassenget i den tiden målingene har pågått er også angitt i dette bilag. Ut fra disse to grænseverdier er det stiplet 2 linjer som angir hydrostatisk trykkfordeling.

Som det fremgår av diagrammene viser poretrykkets variasjon med dybden ikke et hydrostatisk forløp. Det er i de forskjellige dybder avsatt henholdsvis minste og største målte vanntrykk.

Disse variasjonene i poretrykket må skyldes grunnens uensartethet og de lokale forhold. Således blir overflatevannet fra området bakenfor kaia ledet ut ved Grönlikaia. Grunnens innhold på kreosot kan også tenkes å ha innflytelse på variasjonene i poretrykket.

8. Kaias stabilitet.

En stabilitetsberegning av kaiprofilet ved poller II er utført etter de klassiske jordtrykksteorier, og etter en såkalt c, φ -analyse.

Stabilitetsberegningene er utført både med og uten belastning på kai med de antagelser som vist på bilag 16 og 17.

Jordtrykksberegning.

Jordtrykket er beregnet på grunnlag av de formler og antagelser som er angitt i bilag 16.

Det er i første rekke forsøkt å finne hvilke horisontalkrefter som blir overført til pelene under selve kaimuren.

Resultanten av horisontale krefter er beregnet til ca. 31,2 t pr. løpemeter kai.

Forankringsstagene har en dimensjon på $\varnothing 2 \frac{1}{2}$ " og opptar påkjent til flyting (flytegrense 24 kg/mm^2), en kraft på 76 tonn. Forankringene er anbrakt for hver 10 meter.

Etter tegninger fra Oslo Havnevesen fremgår det at kaia er anlagt med 7 pelar under hver løpemeter kai. I tillegg til disse pelar ble det senere rammet skråpelar i forkant av kai. Avstanden mellom disse pelar er oppgitt til å være ca. 60 cm. Den horisontale kraft blir, forutsatt at forankringsstagene opptar en kraft på 76 tonn, ca. 2,7 tonn pr. pel.

Stabilitetsberegninger med effektive spenninger. c,φ-analyse.

Beregningsmetoden er utført under forutsetning av sirkelsylindriske glideflater med momentbetraktning om sirkelens sentrum. Glidelegemet deles opp i lamellar og momentbidragene av disse summeres. Sikkerheten mot utglidning er definert som forholdet mellom den midlere skjærfasthet langs glidefalten og midlere opp-tredende skjærspenning.

Ved en c,φ-analyse innføres skjærfastheten som funksjon av poretrykket. Skjærfastheten bestemmes på grunnlag av trykkforsøk i et triaksialapparat.

Beregningene er utført med verdier av skjærfasthetsparametrene c' og φ' på henholdsvis $0,5 \text{ t/m}^2$ og 30° , som er et middel av de funne verdier.

De målte poretrykk er ikke lagt til grunn for stabilitetsberegningene, men disse er utført med et overtrykk i porevannet på henholdsvis 0,1 og 2 t/m² relativt til laveste vannspeil.

Videre er det for å gi et bedre vurderingsgrunnlag regnet med følgende fundamenteringer av kaimuren.

1. Kaimur direkte på grusseng til fjell.
2. Kaimur på grusseng og videre leire til fjell.
3. Kaimur på peler til fjell. (Vekt av kai direkte på peler).

Det er i disse beregninger ikke tatt hensyn til pelenes stabiliserende virkning. En sammenstilling av sikkerhetskoeffisientene, F_s , fra stabilitetsberegningen med effektive spenninger er gitt i bilag 18.

Den minste verdien av F_s er funnet lik 1,2 for sirkel 2. Det er da regnet med en belastning lik 2 t/m² og en tilsvarende økning av poretrykket ifølge belastningen. Med de samme antagelser vil sikkerhetskoeffisienten for sirkel 2, med kais fundamentert på peler, ligge på ca. 1,15.

9. Sammendrag og konklusjon.

Grønlikaia som ble bygget i årene 1907 - 11, har for et parti utenfor vareskur nr. 71, nordover fra knekkpunktet, vært holdt under observasjon fra 1944, da man ble oppmerksom på at kaien var utsatt for bevegelser. Kaimuren ble presset utover samtidig som den viste en mindre synkning. Dekket bak kaimuren har vært utsatt for betydelige setninger, ialt 150 - 160 cm i tidsrommet 1944 - 1955, og er blitt rettet opp flere ganger.

I 1948 - 1949 ble det for å stoppe kaias bevegelse utover, lagt inn forankringer i toppen. Dette bevirket også en redusert hastighet på utpressingen ved kaitopp, men kaien fortsatte å bevege

seg like sterkt utover i bunnen, slik at kaimuren som var anlagt 20 : 1, nå har en helning på 11 : 1.

I alt har kaimuren fra 1944 på det værste partiet beveget seg ut 0,27 m i toppen og ca. 0,75 m ved bunnen. Kaimuren har i et kortere tidsrom, 1948 - 55, sunket 4,5 cm.

Kaimuren er fundamentert på trepeler til fjell. Antas det at trepelene virker som pendelpilarer med spissen i ro, får man, ved også å ta hensyn til at kaimuren er holdt noe tilbake i toppen, at setningen tilsvarer det som skyldes en vinkelendring av peler og kaifront.

I 1947 sprang en kreosotledning i fyllmassene bak kaien, og ca. 20 m³ kreosot rant ut i grunnen. Det er en markert forverring i kaimurens bevegelser fra dette tidspunkt.

Grunnforholdene kan karakteriseres ved at fyllmassene som går ned til 10 - 11 m dybde, består av en blanding av alunskifer, sand og grus med til dels stor stein. Under fyllingen og utenfor kaia består den naturlige grunn av blöt til middels fast mjelig leire. Like over fjellet er det et lag av sandig og grusig leire.

Ved det mest kritiske punkt ligger fjellet på kote - 15 til - 20 under kaimuren, og fjellet faller av i sydlig retning utover mot fjorden.

En beregning av jordtrykket mot kaimuren viser at kaien er utsatt for en horisontal jordtrykkskomponent på 31,2 tonn pr. løpeter kaimur. Forutsettes det at forankringen i toppen opptar en kraft som svarer til flytespenninger i stagene, dvs. 7,6 tonn pr. løpeter kai, må det allikevel opptas 2,7 tonn horisontalkraft pr. pel. Den horisontalkraft som pelene er utsatt for ved peletopp er således meget stor, og med det kjennskap man har til grunnforholdene ved peletopp er det forklarlig at kaimuren presses utover av jordtrykket.

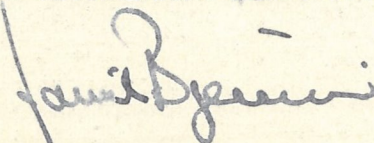
En beregning av kaiområdet "totale stabilitet" med hensyn på faren for en utglidning etter en dyperegående sirkulærsylindrisk glideflate viser en lav sikkerhetsfaktor, men dog ikke så lav at en vil si at det foreligger en umiddelbar fare for en total utrasing av hele kaiområdet.

Det primære ved kaimurens manglende stabilitet synes således å være at den ikke er tilstrekkelig dimensjonert for å oppta det horisontale jordtrykk.

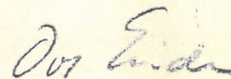
Det er meget som tyder på at den kreosoten som rant ut i grunnen i 1947 bidro til å forverre kaimurens stabilitet slik at utpressingen av kaia fra det tidspunktet öket. Etter hvert som kaimuren presses frem vil eksentrisiteten på pelene tilta og deres evne til å oppta den vertikale belastning reduseres. Kaimurens stabilitet forringes således suksessivt etter hvert som frempressingen skjer. Et annet viktig spørsmål er pelenes tilstand like under sålen, hvor de i tilfelle innspenning vil være utsatt for store böyningspåkjenninger. Man kan med den store forskyvning som har funnet sted ikke stole på at pelene er intakte.

Det siste halvårs observasjoner viser at såvel frempressing av kaia ved bunnen som kaimurens setning skjer med tiltagende hastighet. Det kan derfor være fare for at kaimuren snart vil nå den grad av forskyvning hvor pelene svikter, og kaia synker ned og glir ut. Instituttet vil derfor tilråde at kaia på det utsatte parti stenges for trafikk og ombygges.

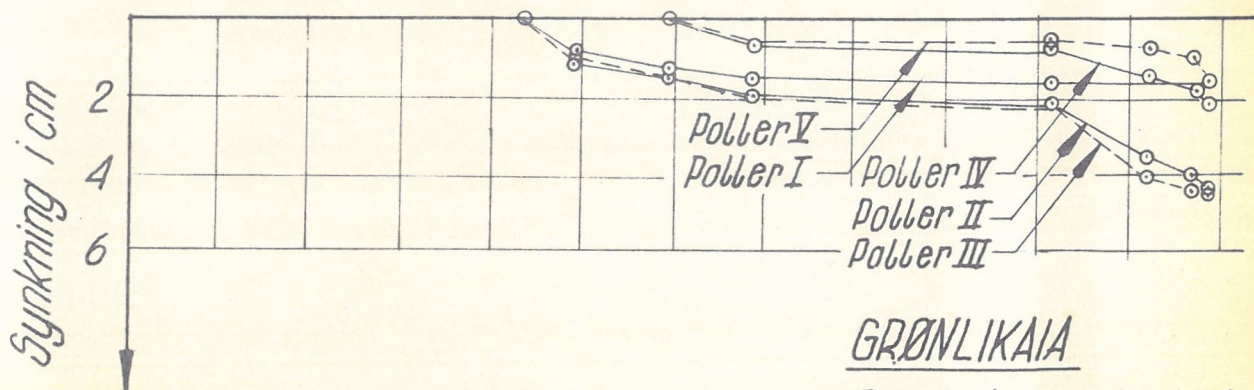
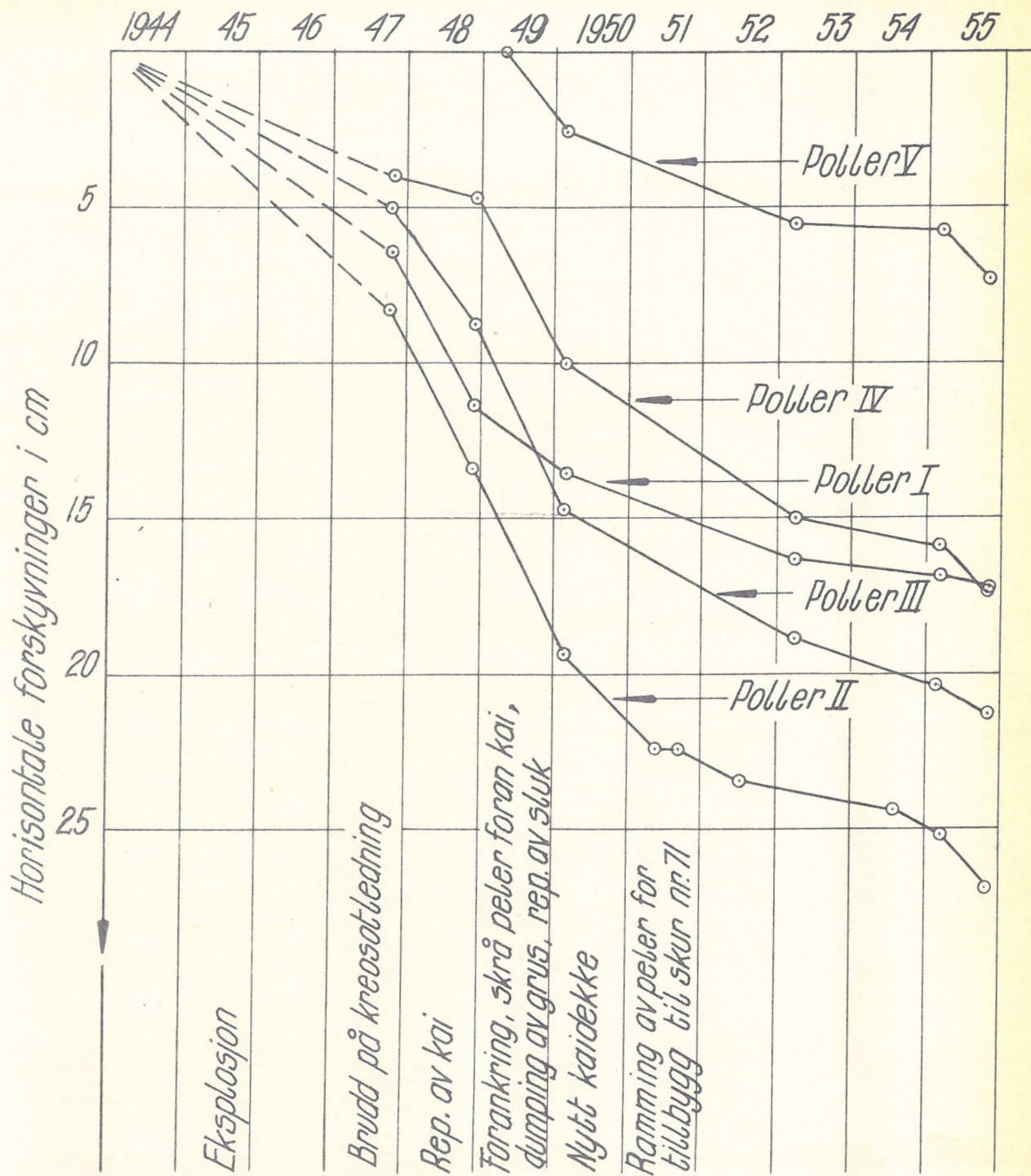
NORGES GEOTEKNISKE INSTITUTT



Laurits Bjerrum

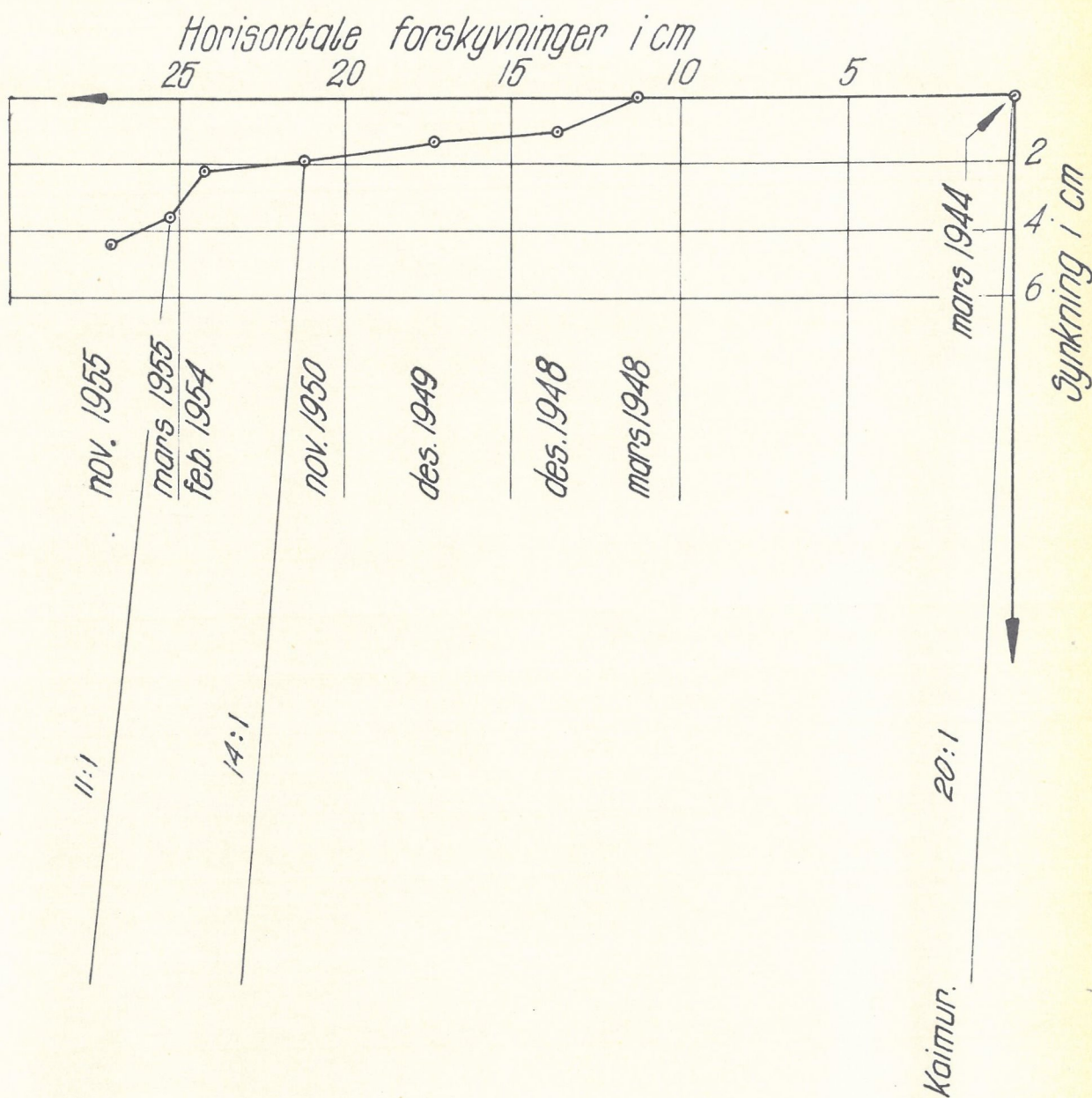


Ove Eide



GRØNLIKAIA

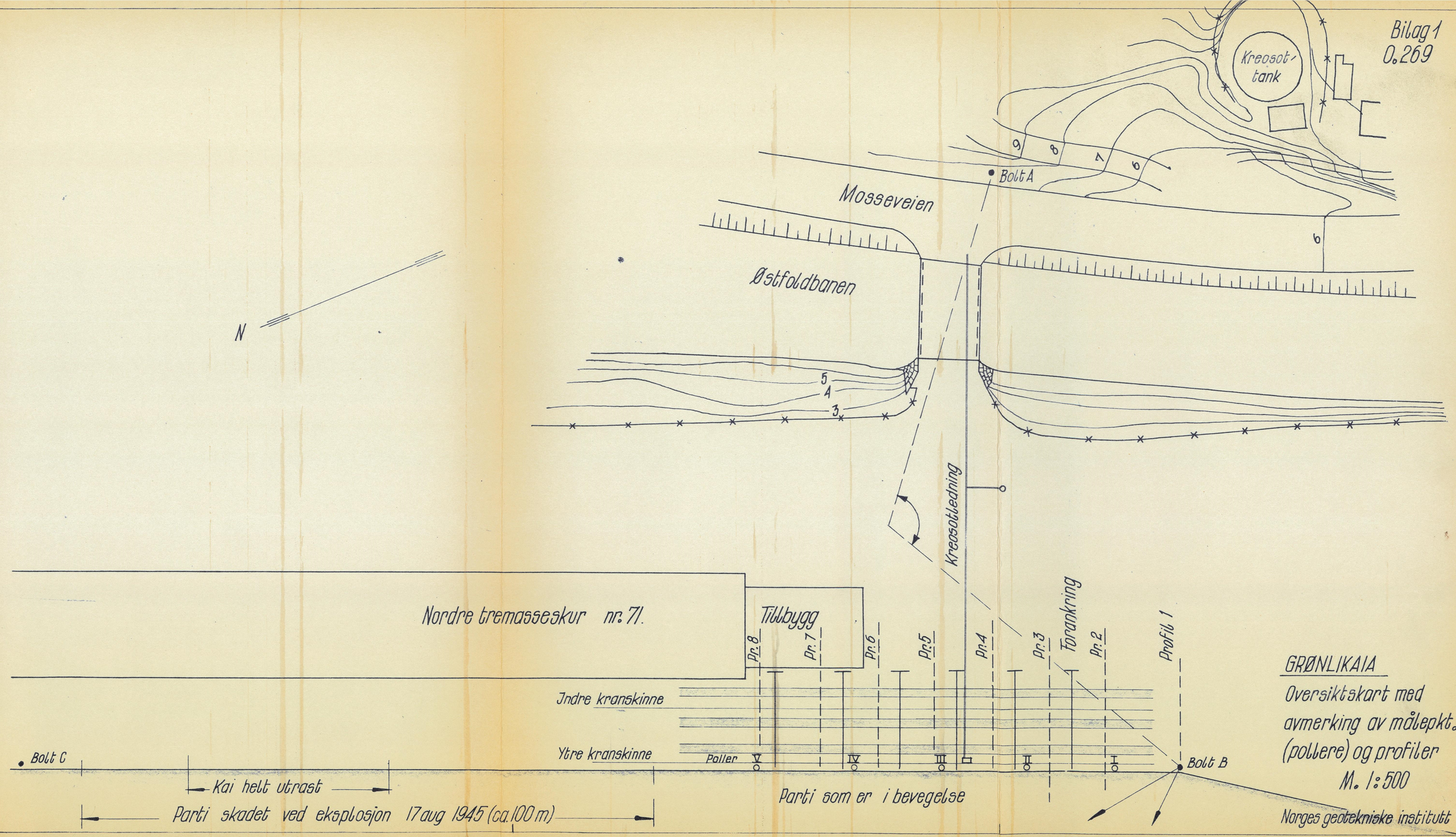
Bevegelse av kailinje



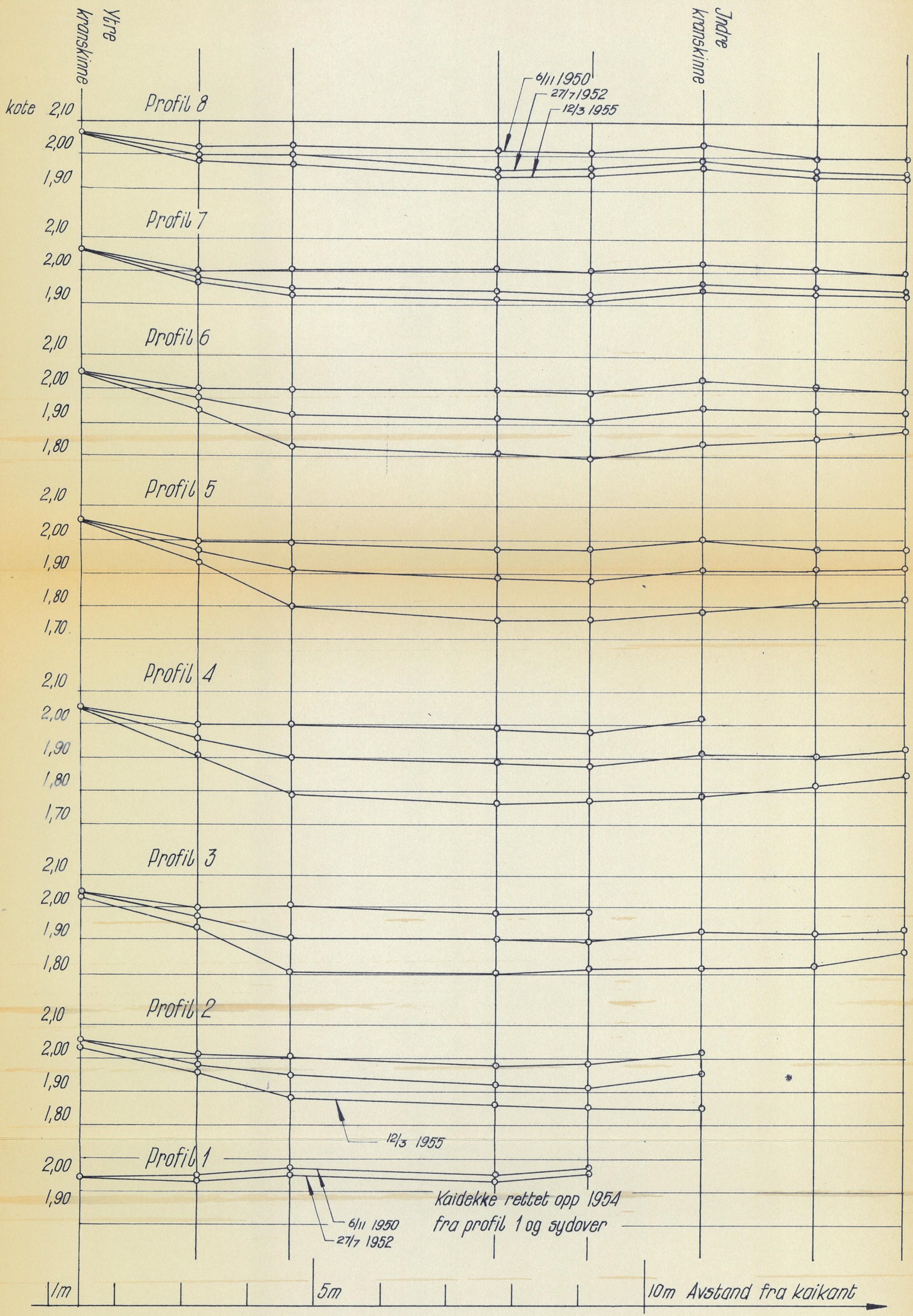
GRØNLIKAIA

Bevegelse av kailinje målt ved
poller II, og forandring av kai-
murens hellning.

Norges geotekniske institutt



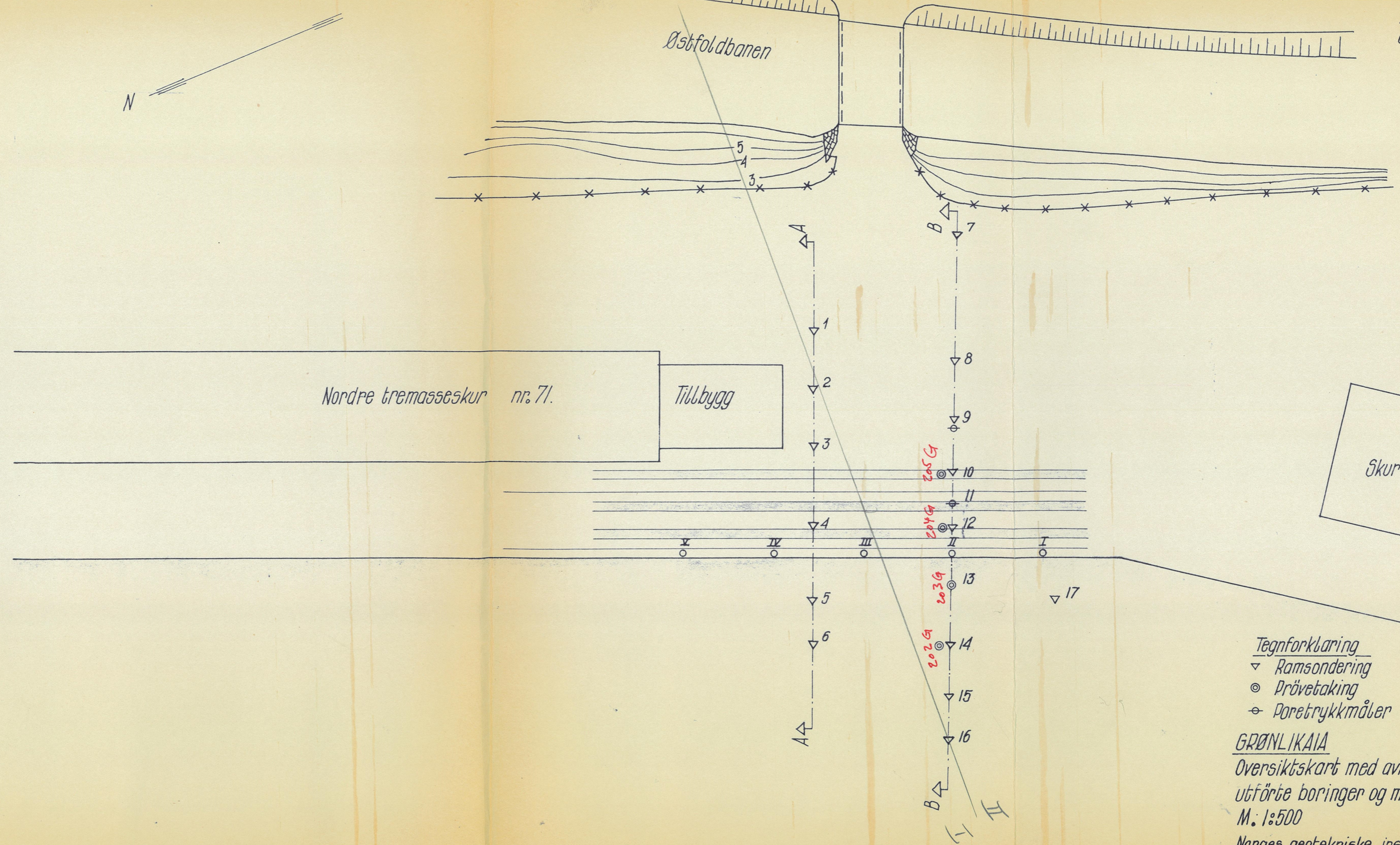
GRØNLIKAIA
 Oversiktskart med
 avmerking av målepkt.
 (pollere) og profiler
 M. 1:500
 Norges geotekniske institutt



GRØNLIKALIA
 Sunkninger av kaidekke
 (1950-1955). Målt på
 topp av skinner i profilene 1-8

N

Østfoldbanen

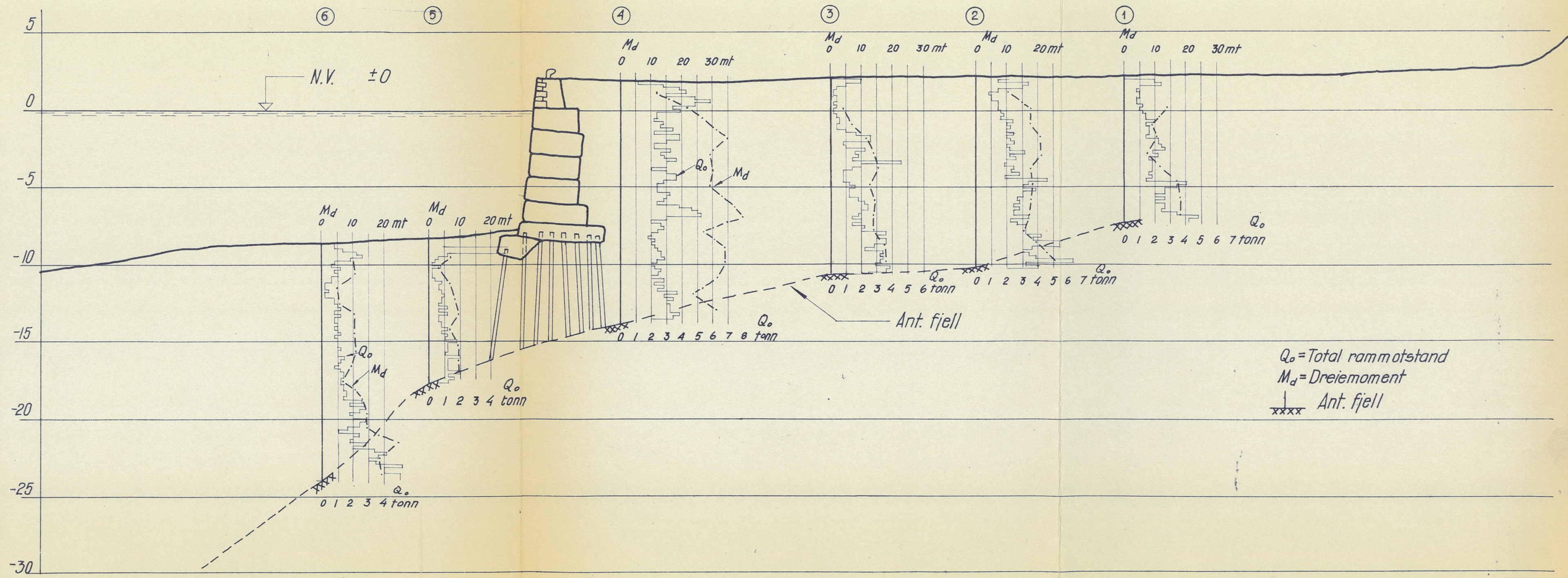


Tegnforklaring
 ▽ Ramsondering
 ⊙ Prøvetaking
 ⊕ Poretrykkmåler

GRØNLIKAIA
 Oversiktskart med avmerking av
 utførte boringer og målinger
 M. 1:500

Norges geotekniske institutt, Jan. 56

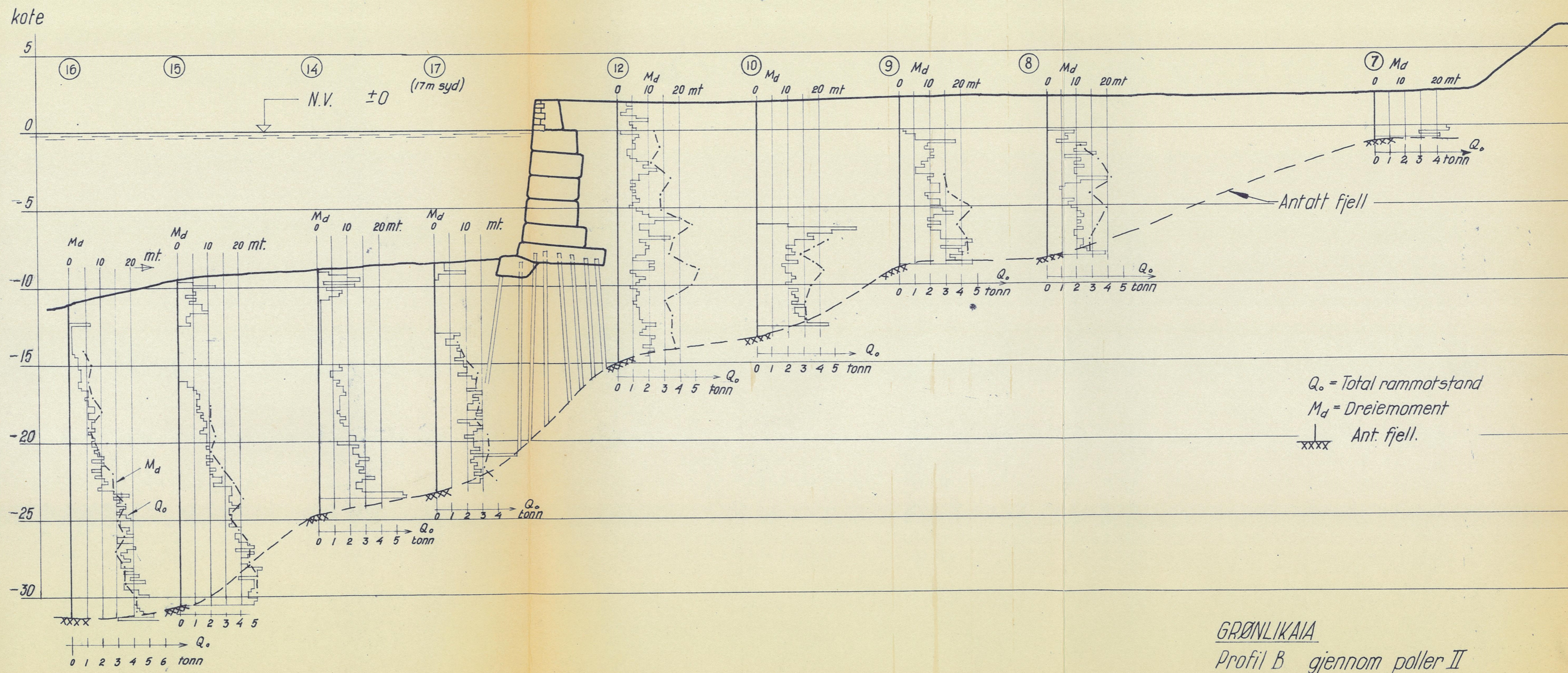
kote



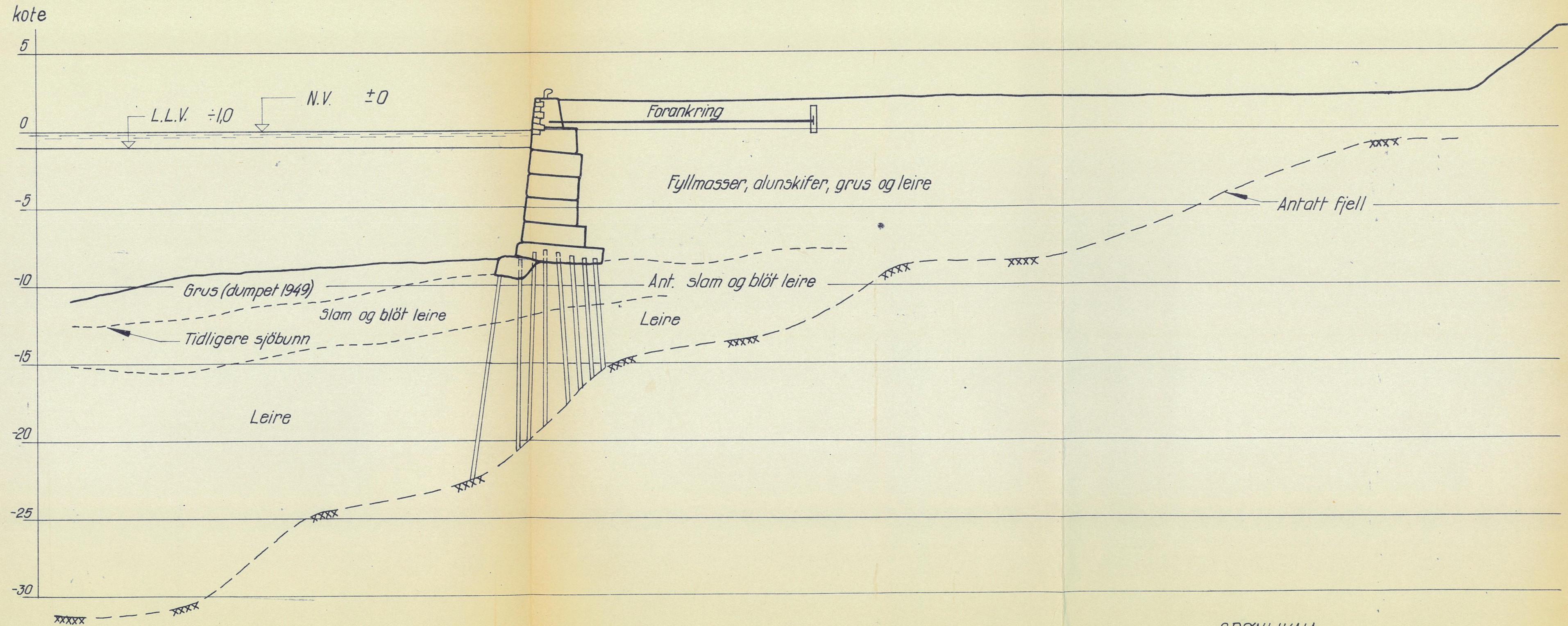
Q_o = Total rammotstand
 M_d = Dreiemoment
 xxxx Ant. fjell

GRØNLIKAIA
 Profil A
 Resultat av ramsondering

Norges geotekniske institutt, Jan. 56



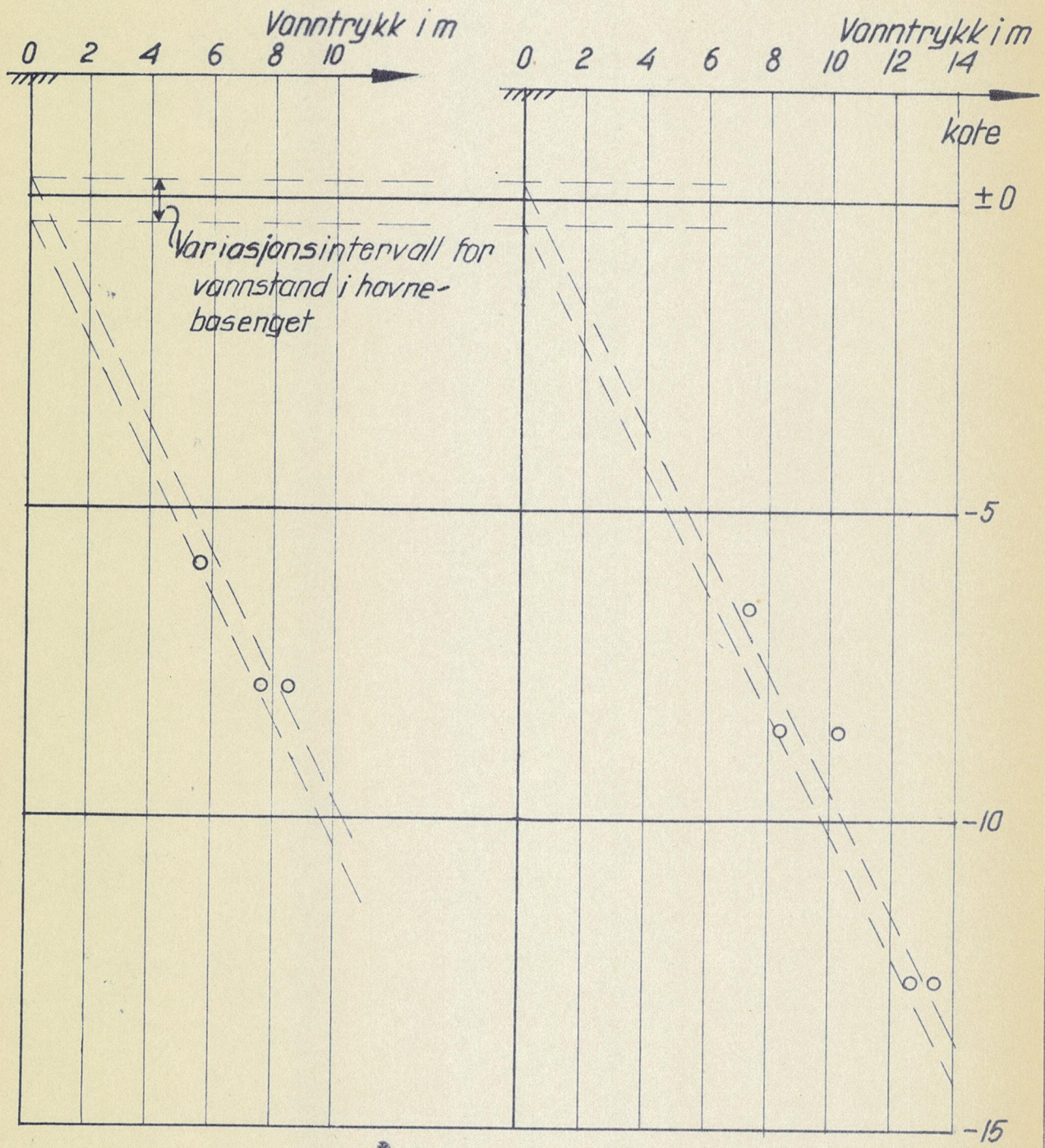
GRØNLIKAIA
 Profil B gjennom poller II
 Resultat av ramsondering



GRØNLIKAIA
Profil B. gjennom poller II
fordartbeskrivelse.

Installasjon 9

Installasjon 11

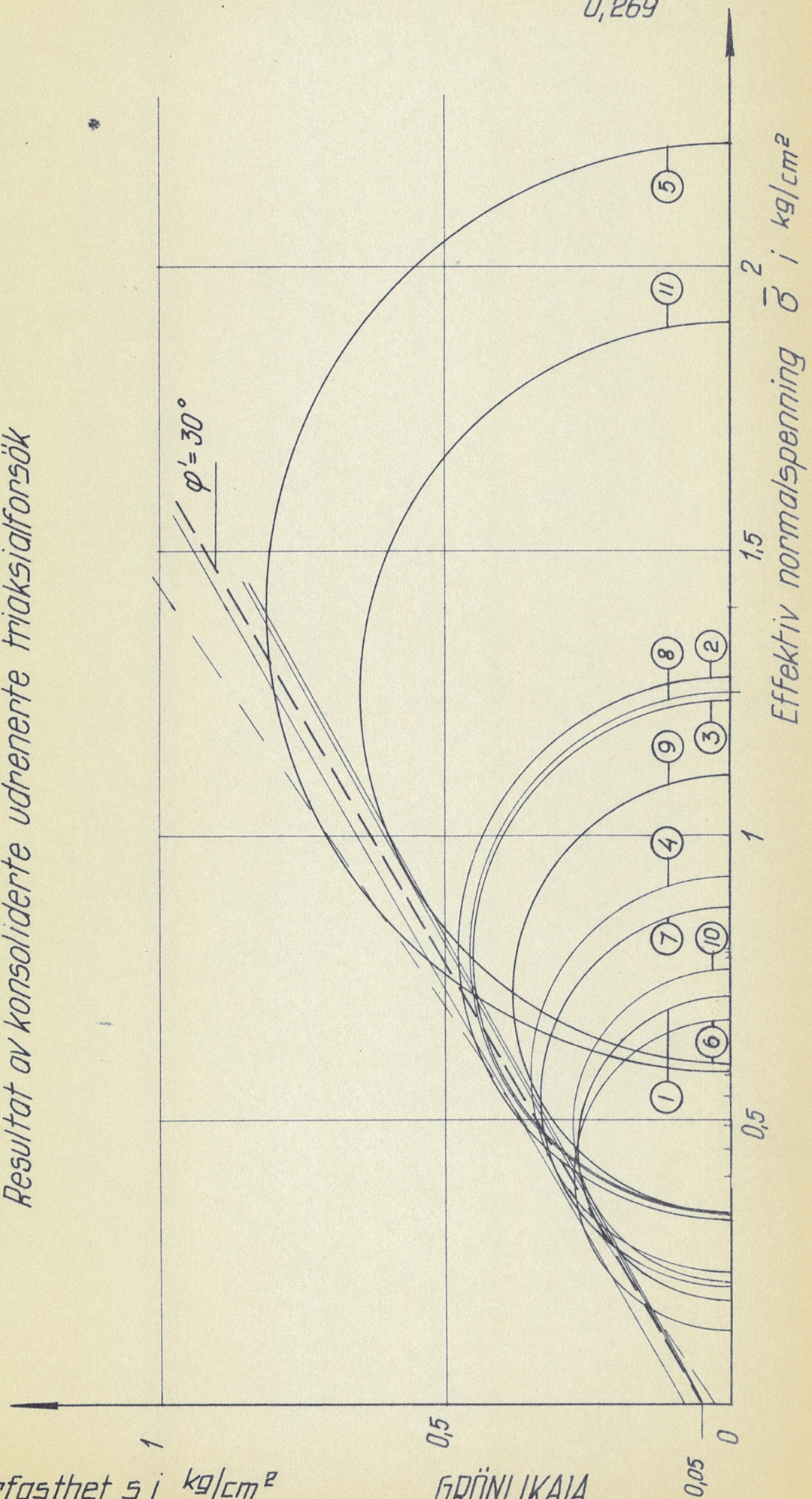


GRÖNLICAIA
Resultat av poretrykk-
måling

Resultat av konsoliderede udrenete triaksialforsök

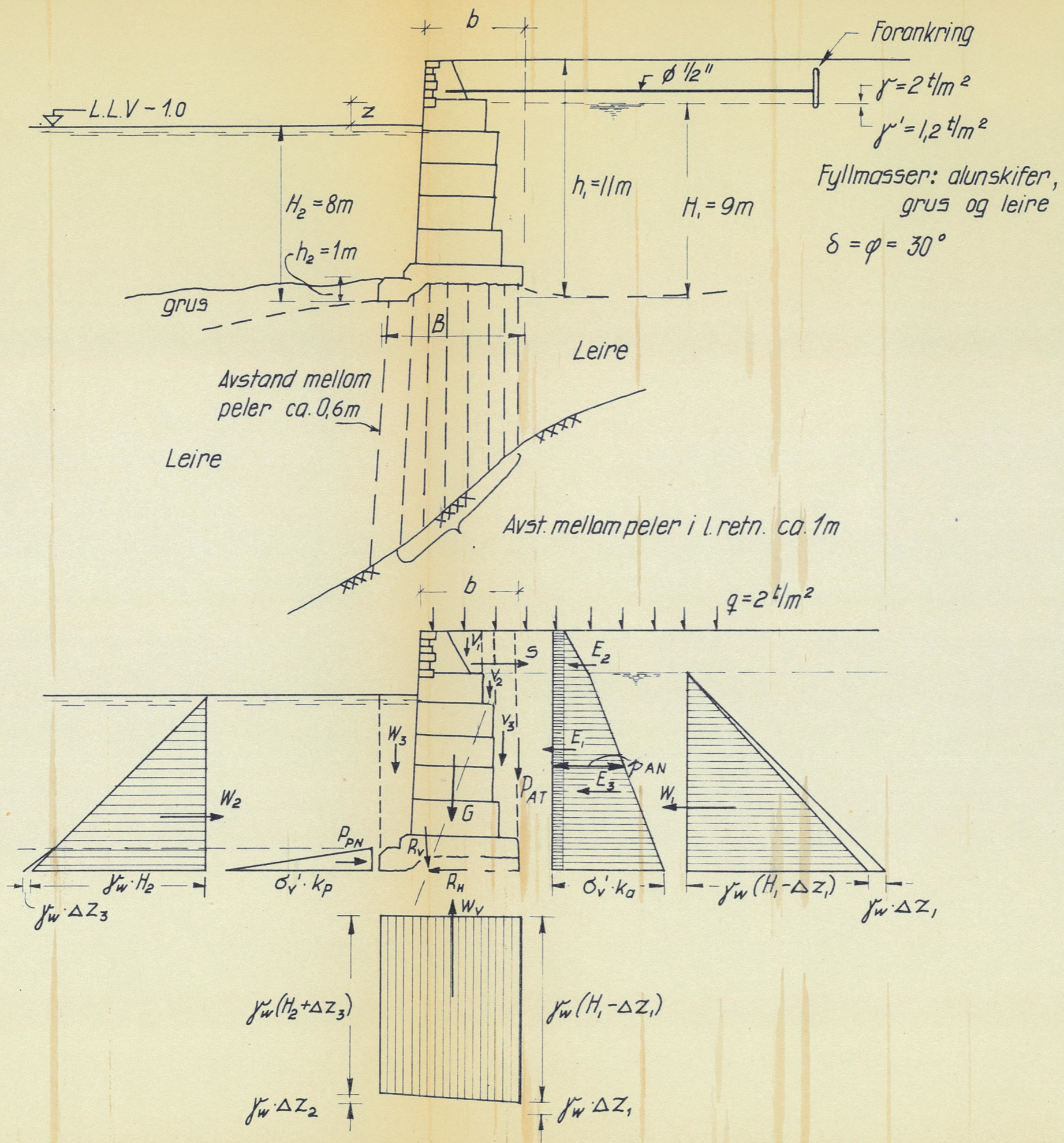
Skjærfasthet s i kg/cm^2

$\varphi' = 30^\circ$



GRÖNLIKAIA

Norges geotekniske institutt



$P_{AN} = \sigma'_v \cdot k_a$, hvor σ'_v = vertikal effektiv spenning
 " k_a = koeff. for aktivt jordtrykk, sand
 $P_{AN} = \sum p_{AN} \cdot \Delta h = \sum E$, $P_{AT} = P_{AN} \cdot \tan \delta$

Tilnærmet beregnet trykkfall

$\Delta z_1 = \frac{H_1 - H_2}{H_1 + B + h_2} \cdot H_1 = \frac{z}{L} \cdot H_1$
 $\Delta z_2 = \frac{z}{L} \cdot B$
 $\Delta z_3 = \frac{z}{L} \cdot h_2$

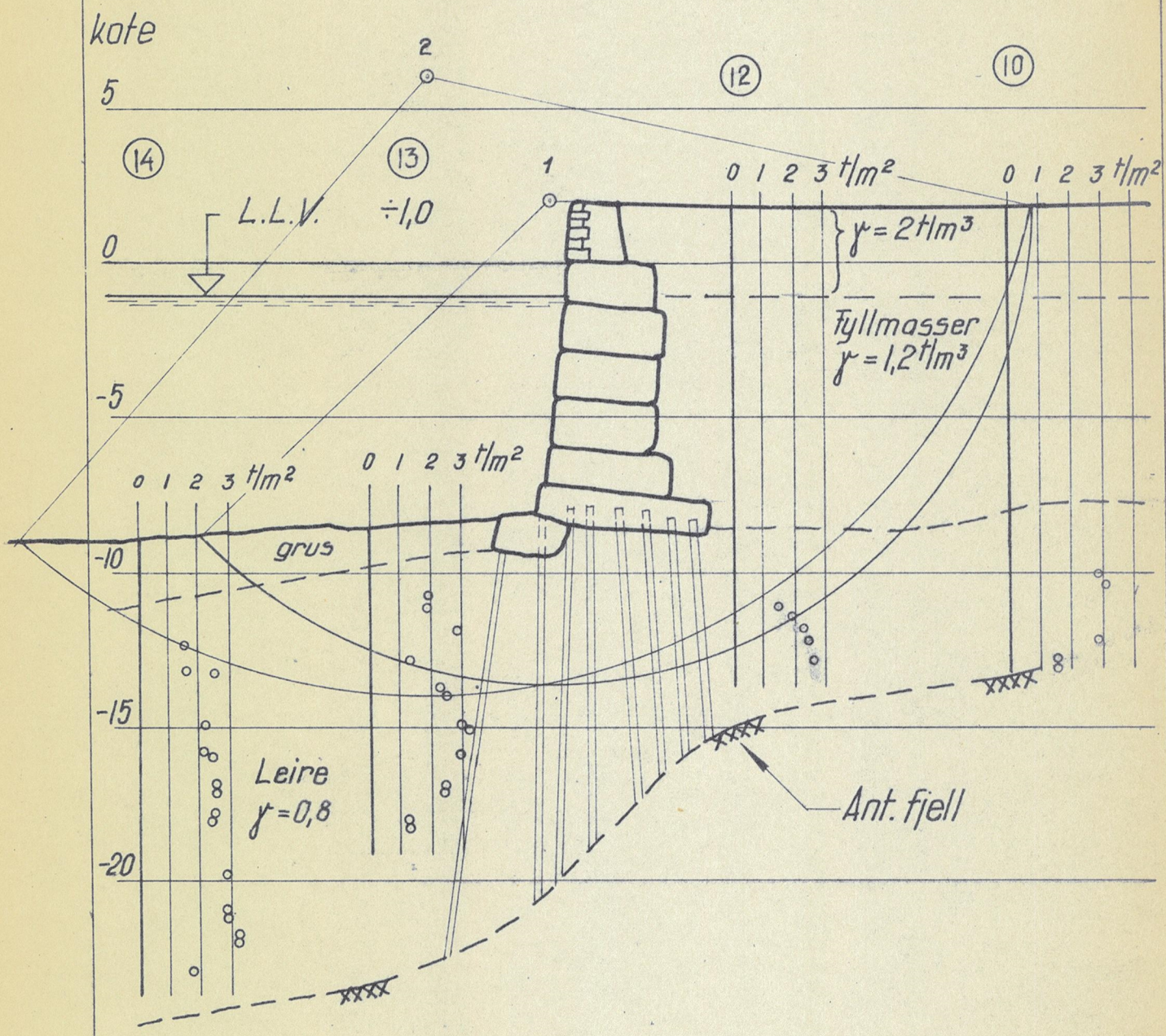
$R_H = P_{AN} + W_1 + W_2 + P_{PN} \div S = 23,6 \text{ t pr. meter kai}$
 $R_V = G + \sum V + W_3 + P_{AT} + q \cdot b + W_v = 83,4 \text{ t}$

S = forankringskraft pr. m. kai
 stag 2 1/2" belastet til flytegrensen 24 kg/mm² $S = 7,6 \text{ t}$

Horisontal kraft pr. pel: $\frac{R_H}{8,6} \div \frac{23,6}{8,6} = \text{ca } 2,7 \text{ t}$

GRÖNLIKAIA

Jordtrykksberegning for
kaimur ved poller II
M. 1:200

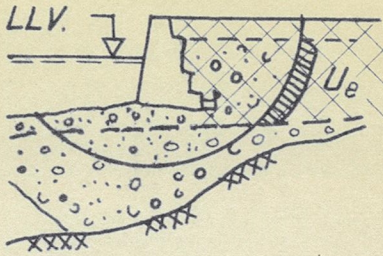
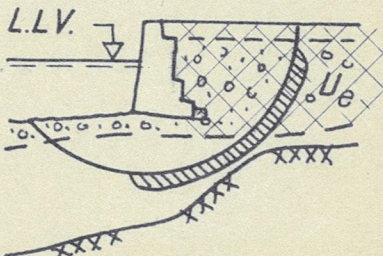
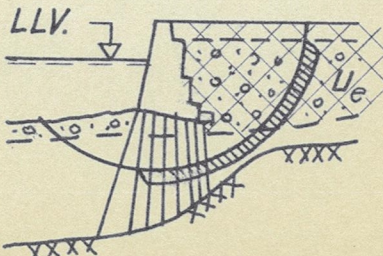


GRØNLIKAIA

Profil B
Skjærfasthetsverdier og
stab. beregning

Norges geotekniske institutt,
Jan. 56

Sikkerhetskoeffisienter






$U_e =$	Sirkel 1			Sirkel 3			Anm.	
	0	1	2 t/m^2	0	1	2 t/m^2		
Sand $\varphi = 30^\circ$	1,81	1,785	1,76	1,62	1,56	1,51	uten bel. på kai	
Leire $\varphi' = 30^\circ$ $c' = 0,5 \text{ t/m}^2$	1,785	1,69	1,605	1,58	1,5	1,415	uten bel. på kai	
	1,575	1,5	1,43	1,446	1,38	1,305	bel. $2 \text{ t/m}^2, \Delta U = 0$	
	1,54	1,46	1,38	1,36	1,287	1,217	bel. $2 \text{ t/m}^2, \Delta U = 2 \text{ t/m}^2$	
Leire $\varphi' = 30^\circ$ $c' = 0,5 \text{ t/m}^2$ Vekt av kai på peler	1,585	1,492	1,39	1,54	1,44	1,34	uten bel. på kai	
	1,375	1,294	1,22	1,39	1,315	1,24	bel. $2 \text{ t/m}^2, \Delta U = 0$	

$\Delta U =$ öking i poretrykk iflg. belastning.

GRÖNLICAIA
 Resultat av stab. beregning med
 effektive spenninger.
 Norges geotekniske institutt, Jan. 56

TEGNFORKLARING OG NORMER FOR BETEGNELSE AV JORDARTER

SIGNATUR

	Fyllmasse
	Grus
	Sand
	Silt
	Leire

KORNFRAKSJONER

Kornstørrelse		Betegnelse
> 20	mm	Stein
20 - 6	mm	Grov- grus
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

SKJÆRFASHTHET

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".