

Emnet for den vitenskapelige avhandling til den tekniske
licentiatgrad ved Universitetet i Trondheim, Norges
Tekniske Høgskole for

Siv.ing. Kåre Rokoengen

SVELLEEGENSKAPER HOS
LEIRSONER I FJELL.

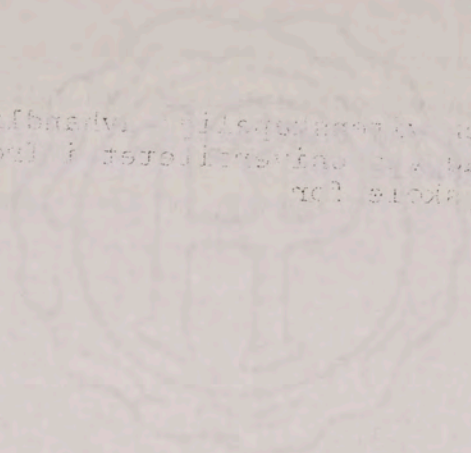
Arbeidet skal ta sikte på å belyse forhold i forbindelse med stabilitetsproblematikken i fjellrom, spesielt ved å finne forbedrede prosedyrer for prøvebehandling og klassifisering av leirsoner.

Det forutsettes et inngående studium av et begrenset antall prøver. Blant annet skal plastisitetsgrenser og tidligere anvendte svellemetoder sammenholdes med vanninnhold og deformasjonsegenskaper under konsolidering og svelling. Videre ønskes den maksimale kornstørrelse variert i enkelte prøver for å undersøke innvirkningen på de målte mekaniske egenskaper.

R. Selmer-Olsen

101

...for den tekniske udbildning i den tekniske
...og de tekniske fag i de tekniske
...for den tekniske udbildning i den tekniske



...for den tekniske udbildning i den tekniske

...for den tekniske udbildning i den tekniske

...for den tekniske udbildning i den tekniske
...for den tekniske udbildning i den tekniske
...for den tekniske udbildning i den tekniske

...for den tekniske udbildning i den tekniske
...for den tekniske udbildning i den tekniske
...for den tekniske udbildning i den tekniske

...for den tekniske udbildning i den tekniske

M.T.H.
BIBLIOTEK

10/11/1910

SAMMENDRAG.

Det er samlet prøver fra leirsoner i norske fjellanlegg. Laboratorieprøver er fremstilt ved å fjerne materiale større enn 0,5 mm ved våtsikting og unngå senere uttørking. Prøvenes kornfordeling, mineralogi, plastisitet, vanninnhold ved ulike belastninger, deformasjonsegenskaper, fri svelling og svelletrykk er undersøkt, og en har funnet korrelasjoner mellom de forskjellige analysene.

Leirsonematerialenes potensielle svelleevne foreslås klassifisert etter differensen i vanninnhold mellom 2,5 og 200 t/m² belastning. De ytre forhold kan bedømmes ut fra "ekvivalent konsolideringstrykk", P_W . Dette defineres som den belastning en omrørt, oppfuktet prøve må settes under for at den, når vannutpressingen er avsluttet, skal ha et vanninnhold lik det naturlige for jordarten.

----- 0 -----

ABSTRACT.

Samples have been collected from clay zones in Norwegian underground works. In the laboratory grains greater than 0,5 mm have been removed by wet sieving and drying out of the samples has been avoided. Grain-size distribution, mineralogical composition, Atterberg limits, water content at different pressures, deformation properties, free swelling and swelling pressure are analyzed, and the correlation between the different tests are found.

It is suggested that the potential swellability of clay zone materials shall be classified by the difference in water content between 2,5 and 200 t/m² pressure. The placement conditions can be evaluated by the "equivalent consolidation pressure", P_W . That is defined as the pressure needed on a remoulded sample to obtain the material's natural water content when the outpressing of water has stopped.

----- 0 -----

A comprehensive summary in English is given at the end of the paper (p. 168 - 177).

m 7 R 63 s

624.131.221

Lynn and 4-5-1960

Det er samlet prøver fra leirsoner i norske fjellmasser. Laboratorierne er fremstilt ved å legge materialet ut på en 0,5 mm tykk plastplate og under senere uttørring. Prøvenes Kornfordeling, vanninnhold, vanninnhold ved ulike belastninger, deformasjonsprosesser, trykksveiling og sveilingstykke er undersøkt. Leirsoner klassifiseres på grunnlag av forskjellene i vanninnhold og vanninnhold ved ulike belastninger. De tre forhold kan bestemmes ut fra "ekvivalent konsolideringstrykk". Dette defineres som den belastning en opplyst prøve må settes under for at den, når vannpressingen er avsluttet, skal ha et vanninnhold lik det naturlige for jordarten.

ABSTRACT

Samples have been collected from clay zones in Norwegian underground works. In the laboratory grains greater than 0.5 mm have been removed by wet sieving and drying out of the samples has been avoided. Grain-size distribution, mineralogical composition, Atterberg limits, water content at different pressures, deformation processes, free swelling and swelling analysis and the correlation between the different tests are found.

It is suggested that the potential swellability of clay zone materials shall be classified by the difference in water content between 2.5 and 100 c/m pressure. Equivalent consolidation pressure" that is defined as the pressure needed on a consolidated sample to obtain the natural water content after the out-

FORORD.

Det foreliggende arbeid er utført på Geologisk Institutt, N.T.H., under veiledning av faglæreren i Ingeniørgeologi, professor R. Selmer-Olsen. Arbeidet fremlegges som den forenskrevne avhandling for den tekniske licentiatgrad ved Universitetet i Trondheim, Norges Tekniske Høgskole. Avhandlingen kan betraktes som et ledd i Geologisk Institutts forskningsarbeid med anleggsmessig vanskelig fjell (NTNF-prosjekt C 1027.0074), og NTNF har ytet økonomisk støtte til prosjektet. Under arbeidet har jeg vært ansatt som universitetsstipendiat ved Geologisk Institutt, N.T.H.

Ved prøveinnsamlingen rundt på norske fjellanlegg ble det vist stor imøtekommenhet og velvilje fra såvel byggherrer som entreprenører og konsulenter. Under laboratoriearbeid og skriving har det blitt vist stor interesse og hjelpsomhet fra både instituttets ansatte og andre. En takk rettes herved til alle disse, særlig til A/S GEOTEAM som har utført røntgenanalysene til sterkt reduserte priser.

En spesiell takk til dosent R. Dahl som har lest deler av manuskriptet, laboratorieingeniør E. Broch som har hjulpet til med oversettelsen av det engelske sammendraget, og min kone som har kommet med forslag til språklige forandringer.

Endelig en takk til kontorfullmektig E. Jullum som har maskinskrevet hele avhandlingen.

Trondheim, juni 1973.

Kåre Rokoengen
Kåre Rokoengen

FORORD

Det foreliggende arbeid er utgitt på Geologisk Institutt, N.T.H., under veiledning av lektor og ingeniørgeolog, professor R. Vissner-Olsen. Arbeidet fremlegges som den første avhandling for den tekniske høgskolen ved Universitetet i Trondheim, Norges Tekniske Høgskole. Avhandlingen kan betraktes som et ledd i Geologisk Instituttets forskningsarbeid med anleggsmessig særskilt tjell (tjell) i prosjekt 0.1027.0070, og NTNF har ytt økonomisk støtte til prosjektet. Under arbeidet har jeg vært ansatt som universitetsstipendiat ved Geologisk Institutt, N.T.H.

I forbindelse med arbeidet har jeg fått tilgang til de ved prøvingskommisjonen rundt på norske tjellanlegg på det vist etter innkommet og vedtatte fra såvel byggherrer som entreprenører og konsulenter under laboratoriearbeid og skjønn. Det gir meg stor interesse og hjelp til å forstå de forskjellige årsaker og årsaker. En takk rettes herved til de forskjellige, særlig til A.S. GEYER som har utgitt rapporten og spesielt til sterke redaktører.

En spesiell takk til dosent R. Dahl som har lest deler av manuskriptet, laboratoristudent E. Broch som har hjulpet til med oversettelsen av det engelske sammendraget, og min kone som har samarbeidet med fortsettelse forhandlingene. Endelig en takk til kontorfullmektig E. Julin som har maskin- og trykket hele avhandlingen.

Trondheim, juni 1973.
 Trondheim, juni 1973.
 Kåre Røkkegen

INNHOLDSFORTEGNELSE.

	Side
SVELLEEGENSKAPER HOS LEIRSONER I FJELL	I
SAMMENDRAG OG ABSTRACT	II
FORORD	III
INNHOLDSFORTEGNELSE	IV
1. INTRODUKSJON	1
2. OVERSIKT OVER PROBLEMSTILLINGEN	
2.1. Innledning	3
2.2. Stabilitetsproblemet	3
2.3. Materialeegenskaper	9
2.4. Metoder for klassifisering av jordarter	22
3. PRØVEMATERIALET OG DETS BEHANDLING	
3.1. Dannelse og forekomst	40
3.2. Samling av prøver	45
3.3. Fremstilling av laboratorieprøver	45
4. BESKRIVELSE AV BENYTTETE LABORATORIEMETODER	
4.1. Rutineundersøkelser	52
Naturlig vanninnhold	
Spesifikk vekt	
Kornfordeling	
Plastisitet	
4.2. Deformasjonsegenskaper	55
4.3. Vanninnhold i pålastingsyklus	58
4.4. Mineralogi	62
Binokularundersøkelse	
Fargetester	
Differentialtermisk analyse (DTA)	
Røntgen-diffraksjonsanalyse	
4.5. Svelletrykk	65
4.6. Svelletest med tørt pulver	68
5. FORSØKSRESULTATER	70

INNHOLDSFORTEGNELSE

Side	
I	SVELLEGENSKAPER HOS LEIRSONER I FJELL
II	SAMMENBRAG OG ABSTRACT
III	FORORD
IV	INNHOLDSFORTEGNELSE
I	1. INTRODUKSJON
2	2. OVERSIKT OVER PROBLEMTILINGEN
3	2.1. Innledning
3	2.2. Stabilitetsproblemer
3	2.3. Materialgenskaper
3	2.4. Metoder for klassifisering av jordarter
40	3. PROVMATERIALT OG BETS BEHANDLING
40	3.1. Dannelse og forkomst
40	3.2. Samling av prøver
40	3.3. Fremstilling av laboratorieprøver
52	4. BESKRIVELSE AV BENYTTETE LABORATORIEMETODER
52	4.1. Rutineundersøkelser
	Naturlig vanninnhold
	Spesifikk vekt
	Kornfordeling
	Plastisitet
52	4.2. Deformasjonsgenskaper
54	4.3. Vanninnhold i påvirkningsvinkel
52	4.4. Mineralogi
52	4.5. Binokulundersøkelse
	Fargestør
	Differensialtermisk analyse (DTA)
	Röntgen-diffraksjonsanalyse (XRD)
52	4.6. Svejeltrykk
52	4.7. Svejeltest med tørr prøver
70	5. FORSKNINGSRESULTATER

	Side
6. VURDERING AV LABORATORIEMETODENE	
6.1. Kornfordeling	83
6.2. Plastisitet	90
6.3. Deformasjonegenskaper	93
6.4. Vanninnhold i pålastingssyklus	103
6.5. Mineralogi	106
6.6. Svelletrykk	110
6.7. Svulletest med tørt pulver	115
7. SAMMENHENGER MELLOM METODENE	
7.1. Regresjonsanalyse	117
7.2. Plastisitet og vanninnhold i pålastingssyklus	119
7.3. Deformasjonegenskaper og vanninnhold i pålastingssyklus	122
7.4. Plastisitet, kornfordeling og mineralogi ...	125
7.5. Plastisitet, svelling og mineralogi	128
7.6. Svelletrykk, fri svelling og vanninnhold i pålastingssyklus (fraksjon mindre enn 0,02 mm)	129
7.7. Varierende maksimal kornstørrelse	133
8. KOMMENTARER TIL LEIRSONEPROBLEMATIKKEN I FJELLROM	
8.1. Vannproblemet	140
8.2. Trykkproblemet	144
8.3. Materialproblemet	152
8.4. Erfaringer fra praksis	158
9. KONKLUSJONER OM METODER OG KLASSIFISERING	161
10. SUMMARY IN ENGLISH	168
11. LITTERATUR	178
12. BILAG	
Feltdata	
Kornfordelingskurver	
Kornfordelingskurver på log-normalpapir	
Deformasjonsforsøk	

6. VURDERING AV LABORATORIEMETODER

- 6.1. Kornfördeling
- 6.2. Plastiser
- 6.3. Deformationsegenskaper
- 6.4. Vanninnehold i pålastingskytt
- 6.5. Mineralogi
- 6.6. Sveiletrykk
- 6.7. Sveiletest med tørt pulver

7. SAMMENHENG MELLOM METODER

- 7.1. Rettesjonsanalyse
- 7.2. Plastiser og vanninnehold i pålastingskytt
- 7.3. Deformationsegenskaper og vanninnehold i pålastingskytt
- 7.4. Plastiser, kornfordeling og mineralogi
- 7.5. Plastiser, sveiling og mineralogi
- 7.6. Sveiletrykk, fri sveiling og vanninnehold i pålastingskytt (frå og med 1952)
- 7.7. Varierende maksimal kornstørrelse

8. KOMMENTARER TIL LEISNINGSOPPLÆTTINGEN I FELLESOMRÅDET

- 8.1. Vannproblemer
- 8.2. Trykproblemer
- 8.3. Materialproblemer
- 8.4. Erfaringer fra praksis

9. KONKLUSJONER OM METODER OG KLASSEIFERINGSNIVÅ

.....

10. SUMMARY IN ENGLISH

.....

11. LITTERATUR

.....

12. BILAG

.....

Feitdata

Kornfordelingskurver

Kornfordelingskurver på log-normalpapir

Deformasjonsforsøk

.....

1. INTRODUKSJON.

En sier gjerne at noe er "solid som fjell", men også fjellet har sine svakheter. I tillegg til detaljoppsprekningen er det gjennomslutt av svake bergartslag og tektoniske bruddsoner. Foruten ren nedknusing, har det ofte foregått en omdanning til leirmineraler i de oppknuste partier og til dels i sidebergarten, eller en kan ha fått hydrotermal tilførsel og avsetning av leirmineraler.

Det vil naturlig nok oppstå stabilitetsvansker når et fjellanlegg kommer bort i et slikt område. Problemet var ganske tidlig kjent fra utlandet, bl.a. fra byggingen av de store alpetunnelene (Sandstrøm 1963). Her i landet er det på den ene siden fast fjell med høy alder - det meste 400 millioner år eller eldre - og på den andre siden løsmasser som vesentlig er dannet under og etter siste istid. Det ble derfor antatt at en ikke kom til å få problemer med leire i fjell slik det ble beskrevet fra utlandet. Det kan nok ha forekommet vanskeligheter, men lite eller ingenting kom iallfall offentligheten for øre. Så sent som først på femtitallet ville vel derfor de aller fleste geologer kategorisk nektet for at store leirsoner kunne forekomme i fjell her i landet.

Grunnene til at leirholdige knusningssoner idag er blitt det største stabilitetsproblem i norske fjellanlegg, er forholdsvis enkle. Knusningssoner er svakheter i fjellgrunnen, og de danner derfor forsenkninger i terrenget. Tidligere var det stort sett tunneler til veger og jernbaner som ble bygd. De ble søkt gjort så korte som mulig, noe som betød at de ofte ble lagt fra knusningssone til knusningssone. Nå er det ved vannkraftutbygging, kloakktunneler etc. skapt behov for lengre tunneler som derved møter problemene i fullt monn (fig. 1.1). I tillegg vil raskere drift og nye sikringsmetoder kunne gi større belastninger på sikringene enn før. Det regnes normalt med at ca. 75% av sikringsutgiftene i norske vannkrafttunneler skyldes

INTRODUKSJON

En stor gjærne at noe er "solid som fjell", men også fjellier
 har sine svakheter. I tillegg til detaljoppgavene er
 det gjennomført av svake bergarter og tekniske prosedyrer.
 Foruten den nedkøling, har det ofte foregått en ombygning til
 leirnerver i de oppkuvete partier og til dels i sideberg-
 arten, eller en kan ha fått hydrostatisk tilførsel og avsetning
 av leirnerver.

Det vil naturlig nok oppstå stabilitetsproblemer når et fjell-
 anlegg kommer bort i et slikt område. Problemet var ganske
 tidlig kjent fra utlandet, bl.a. fra byggingen av de store
 alperunnelene (Sandberg 1983). Her i landet er det på den
 ene siden fjellier med høy alder - det meste 400 millioner
 år eller eldre - og på den andre side fjellmasser som vesentlig
 er dannet under og etter siste istid. Det blir derfor antatt
 at en ikke kommer til å få problemer med leire i fjell slik det
 blir beskrevet i utlandet. Det kan nok ha forekommet

noe vanskeligheter, men ikke eller ingenting som i allfall offentlig-
 heten for et så sent og først i leirer ville vel det
 å fordele seg i store geologiske kategorier, netter for at store
 leirer kunne forekomme i fjell i landet.

Grunnen til at de tidligere konstruksjoner idag er blitt det
 som de fleste stiller seg spørsmål til, er forholdene, er forholdene
 ikke. Konstruksjoner og utbygger i fjellregionen, og de ganner
 derfor byggingen i fjellregionen. Tidligere var det stort sett
 tunneler til veg og jernbane som ble bygd. De ble gjort
 så korte som mulig, og det ble lagt fra
 konstruksjoner til konstruksjoner. Det var vannkraft-
 utbygginger, kjoekktunneler og stort behov for lengre tunneler
 som dermed etter problemene (1.1) og (1.1). I tillegg
 til vil raske drift og nye konstruksjoner kunne gi større be-
 treffninger på stasjonene enn før. Det er derfor normalt med at
 nye, og av utbygginger, konstruksjoner og tunneler skyldes

leirsoner. Dette utgjør omtrent 50 millioner kroner - uten at utgiftene med forsinkelsene er tatt med (Selmer-Olsen 1970).

1.1. Innledning.

Jordarter undersøkes innen en rekke forskjellige fagområder. Alle disse bidrar med kunnskap om jordartene og deres egenskaper, men i det vesentligste er det litteraturen som foreligger som det viktigste utvalg. I dette arbeide er hovedvekten i litteraturen lagt på swellende leirer. Det gis en oversikt over stabilitetsproblemer de skaper, og de metoder som brukes til klassifisering.

1.1.1. Stabilitetsproblemet.

De problemer som oppstår ved swellende leirer vil avhenge av hvor og hvordan de forekommer. I utlandet har sedimentære forekomster av swellende leirer påkalt den største interessen.

Å undervurdere eller feilvurdere en leirsoner kan få meget store økonomiske konsekvenser, men overdreven sikring kan også bli meget dyrt. I praksis må avgjørelsene ofte treffes på stoff, under vanskelige forhold, sterkt tidspress og av personer som kan ha liten erfaring. Det er derfor stort behov for kjennskap til hvilke faktorer som er avgjørende for stabiliteten i en svakhetsone og hvordan de skal bestemmes.

Ved Geologisk Institutt, N.T.H., er det under ledelse av professor Selmer-Olsen arbeidet ganske mye med disse problemene. Metoder for klassifisering av leirsonematerialer ble lansert i Brekke's licentiatgradsavhandling (1963). Disse og andre metoder er senere belyst gjennom en rekke hovedoppgaver i ingeniørgeologi (Palmstrøm 1967, Sandberg 1968, Rokoengen 1969, Riise 1970 og Fitje 1970). Erfaringsmaterialet er også betydelig utvidet ved undersøkelser i felten og i laboratoriet.

Hensikten med dette arbeide er å videre belyse stabilitetsproblematikken ved tektoniske bruddsoner. En ønsker å øke kjennskapet til deres egenskaper og oppførsel, spesielt å finne fram til forbedrede prosedyrer for prøvepreparering og klassifisering.

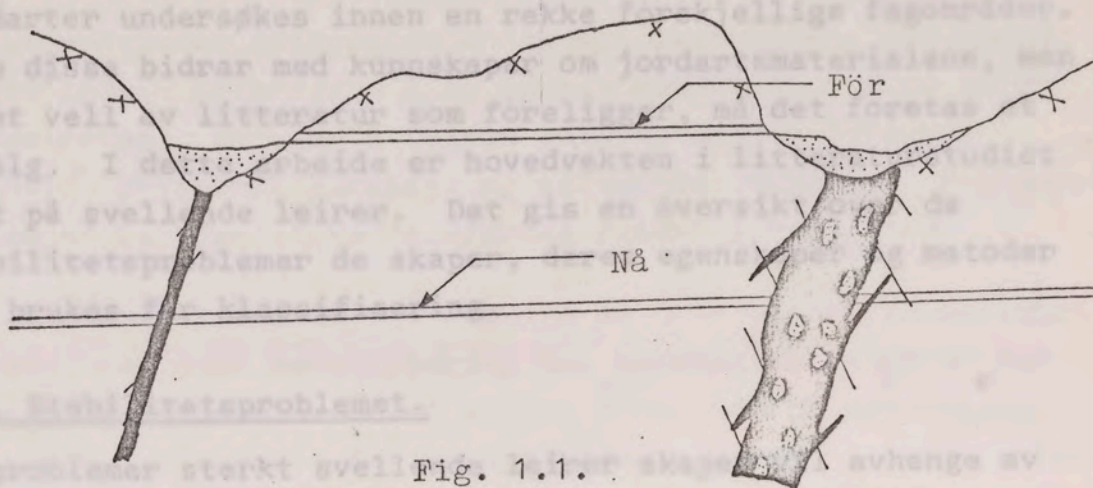
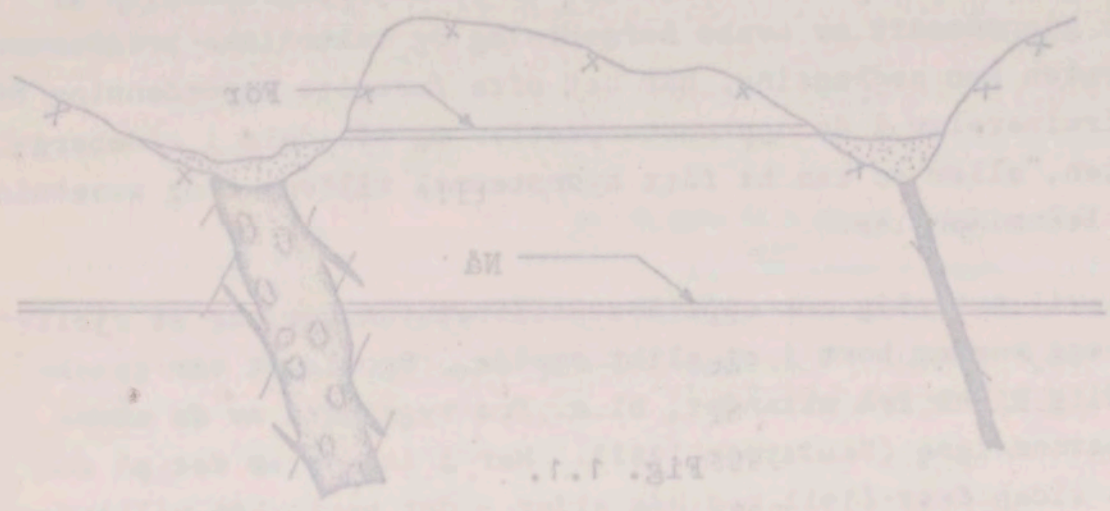


Fig. 1.1.

leirsoner. Dette utgjør omtrent 50 millioner kroner - uten at utgiftene med forskningsene er tatt med (Selmer-Olsen 1970).



Å undersøke eller feilvurdere en leirson kan få meget store økonomiske konsekvenser, men overdrøven sikring kan også bli meget dyrt. I praksis må avtjerselsene ofte trefles på stoff, under vanskelige forhold, sterke tidspres og av personer som kan ha liten erfaring. Det er derfor stort behov for kjennskap til hvilke faktorer som er avtjersende for stabiliteten i en avkattsson og hvordan de skal bestemmes.

Ved Geologisk Institutt, N.T.H., er det under ledelse av professor Selmer-Olsen arbeidet ganske mye med disse problemene. Metoder for klassifisering av leirsonematerialer ble lansert i Brække'sa. licentiatavhandling (1963). Disse og andre metoder er senere belyst gjennom en rekke hovedoppgaver i ingeniørgeologi (Palmarum 1967, Sandberg 1968, Rokengen 1969, Råise 1970 og Fjete 1970). Erfaringsmateriale er også betydelig utvidet ved undersøkelser i felten og i laboratorier.

Hensikten med dette arbeide er å videre belyse stabilitetsproblematikken ved tektoniske bruddsoner. En ønsker å øke kjennskapet til deres egenskaper og oppførsel, spesielt å finne fram til forbedrede prosedyrer for prøvepreparering og klassifisering.

2. OVERSIKT OVER PROBLEMSTILLINGEN.

2.1. Innledning.

Jordarter undersøkes innen en rekke forskjellige fagområder. Alle disse bidrar med kunnskaper om jordartsmaterialene, men i det vell av litteratur som foreligger, må det foretas et utvalg. I dette arbeide er hovedvekten i litteraturstudiet lagt på svellende leirer. Det gis en oversikt over de stabilitetsproblemer de skaper, deres egenskaper og metoder som brukes for klassifisering.

2.2. Stabilitetsproblemet.

De problemer sterkt svellende leirer skaper vil avhenge av hvor og hvordan de forekommer. I utlandet har sedimentære forekomster av svelleleire påkalt den største interessen. De har skapt problemer ved å heve veier og fundamenter, knekke vannledninger etc. I Norge er problemene med sterkt svellende leirer begrenset til slepper og svakhetssoner i fjell.

Når et fjellanlegg drives gjennom en knusningssone, vil stabiliteten avhenge av en rekke faktorer. Disse kan ifølge Selmer-Olsen (1970), deles inn i fire grupper: a) de geometriske forhold, b) vannforholdene, c) de konsolideringsmessige forhold og d) materialforholdene.

Til de geometriske forhold hører anleggets dimensjoner. Jo større anlegget er, jo større økonomiske konsekvenser vil en svakhetszone kunne få. Videre har en mektigheten av sonen, både for et eventuelt sentralt leirrikt parti og for total bredde. Dimensjonene kan veksle ganske raskt, og det kan være nødvendig å angi mål for både heng og sider. Sonens orientering angis ved strøk og fall. Skjæringsvinkel med anlegget er viktig, siden små skjæringsvinkler gir problemer over lengre strekninger. For sidebergarten vil petrografisk navn og struktur kunne gi verdifulle opplysninger. Ellers er det de mekaniske egenskaper til sidefjellet som egentlig interesserer, f.eks. uttrykt ved

3. OVERSIKT OVER PROBLEMTILLIGNING

3.1. Indledning

Jordarter undersøges inden en række forskellige lagområder. Alle disse bidrager med forskellige typer af jordarter, som i det væsentlige er af samme art, men som adskilles af forskellige forhold. I dette arbejde er hovedopgaven at finde ud af, hvordan man kan klassificere jordarterne. Det er en oversigt over de stabiliseringsproblemer, der skaber, deres egenskaber og metoder som bruges til klassificering. Denne undersøgelse er en del af en større undersøgelse.

3.2. Stabiliseringsproblemer

De problemer, der skaber, afhænger af jordens egenskaber og af forholdene, hvor de forekommer. I dette arbejde er hovedopgaven at finde ud af, hvordan man kan klassificere jordarterne. Det er en oversigt over de stabiliseringsproblemer, der skaber, deres egenskaber og metoder som bruges til klassificering. Denne undersøgelse er en del af en større undersøgelse.

Til de geometriske forhold hører anleggets dimensioner. De dimensioner, der er vigtige, er længden, bredden og højden. Disse dimensioner bestemmer, hvordan anlegget fungerer. I dette arbejde er hovedopgaven at finde ud af, hvordan man kan klassificere jordarterne. Det er en oversigt over de stabiliseringsproblemer, der skaber, deres egenskaber og metoder som bruges til klassificering. Denne undersøgelse er en del af en større undersøgelse.

bergartsstyrke og sprekketetthet. Bestemmelse av styrken krever imidlertid laboratorieutstyr. For stabilitetsproblematikken er det av stor betydning om sidebergarten er frisk eller delvis omdannet til leirmineraler.

Problemene under driving av en tunnel øker gjerne med økende vanntilgang. Lekkasje i en tunnel kan være diffuse eller konsentrerte. Det kan i felten skilles mellom fuktende lekkasje, dryppende lekkasje og sildrende lekkasje. For større lekkasjer kan det angis vannføring f.eks. i l/min.

En leirsones oppførsel vil avhenge av hvor sterkt konsolidert den er. Ved svak konsolidering kan materialet renne ut ved punktering av sonen. Meget sterkt konsoliderte materialer vil kunne stå i månedsvis før rasutviklingen kommer i gang, avhengig av vanntilgang og permeabilitet. En må anta at det i naturen vil være likevekt mellom svakhetssonene og sidefjellet. Under grunnvannsstand vil sonene være vannmettet og ha en bestemt konsolideringsgrad. Konsolideringstrykket vil imidlertid variere i en sone. I enkelte partier overføres store spenninger, mens andre har mindre p.g.a. silovirkning (fig. 2.1 etter Selmer-Olsen 1972). Fra nærliggende passeringer av samme sone har en eksempler på at leirmassen har flommet ut sammen med vann i sprengningsøyeblikket i et tunnelprofil, mens borpipene har vært synlige i leirmassen i et profil 20 m unna (Selmer-Olsen 1970). Fastheten til en leirsone kan vurderes subjektivt fra løs (lett å grave ut) til meget fast (vanskelig å grave ut selv med hammer og meisel).

Materialet i svakhetssoner varierer sterkt. En kan ha knusningssoner som senere er blitt fast sammenkittet av kvarts, epidot etc. Disse kalles breksjer og behøver ikke å gi spesielle vanskeligheter. Ingeniørgeologisk sett synes det, ifølge Selmer-Olsen (1968 b), best å dele slepper og knusningssoner inn etter den type stabilitetsproblemer som de skaper:

- a) De som løses opp (karbonater).
 b) De som har spesielt lav indre friksjon i våt tilstand (kloritt, kleberstein).
 c) De som består av inaktive materialer. Disse utgjør variasjonsmessig den største gruppen (steinmel, kaolin, illitt, limonitt, asbest, talk, zeolitt etc.).
 d) De som har spesielle svelleegenskaper (montmorillonittholdige materialer).

Det er den siste gruppen som oftest skaper de største stabilitetsproblemene og som vesentlig skal behandles i dette arbeide.

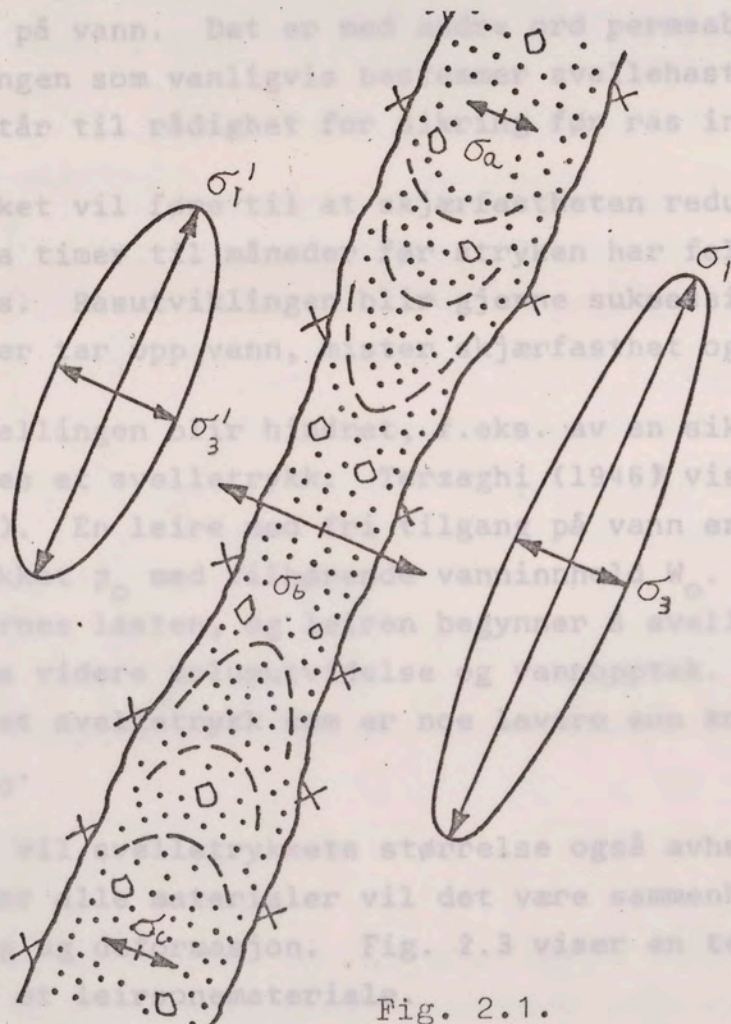


Fig. 2.1.

- a) De som lyses opp (karbonater).
- b) De som har spesielt lav indre friksjon i våt tilstand (kloritt, kieberstein).
- c) De som består av inaktive materialer. Disse utgjør variasjonsmessig den største gruppen (steinmel, kaolin, illitt, limonitt, asbest, talk, seolitt etc.).
- d) De som har spesielle sveileegenskaper (montmorillonittholdige materialer).

Det er den siste gruppen som oftest skaper de største stabilitetsproblemer og som vesentlig skal behandles i dette arbeide.

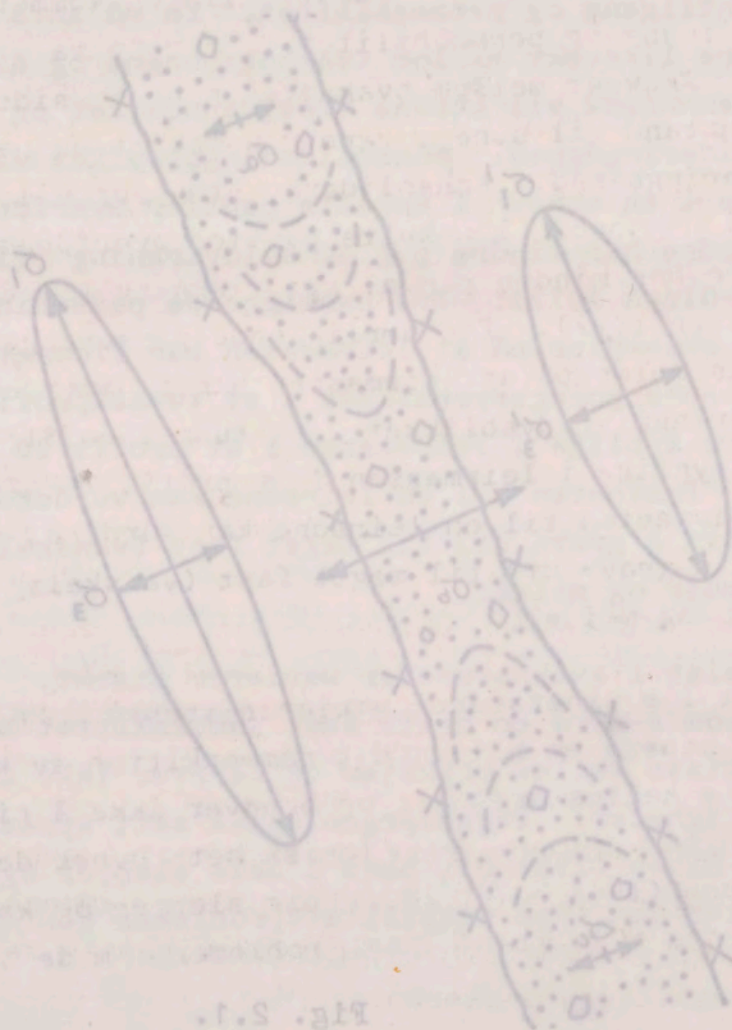


Fig. 2.1.

Stabiliteten i en knusningssone påvirkes altså av en rekke faktorer. For å undersøke nærmere hva som skjer etter fri-sprengning, kan en se på et normalt rasforløp. Når en tunnel sprenges gjennom, mister en sone sin innspenning. Alle materialer vil derved få en viss utvidelse p.g.a. avlastning.

Det videre forløp vil avhenge av konsolidering og vanntilgang. Ved lav permeabilitet vil en sone kunne tørkes ut av tørr ventilasjonsluft. Dette medfører krympning og ytterligere konsolidering av sonen. Med større vanntilgang og sterkt komprimerte soner vil en normalt få vannopptak med svelling. Ofte er knusningssonene vannførende og vann til svelling kan tas derfra. Dersom vanninnholdet i leira er lavt nok i forhold til den relative fuktighet i tunnelen, vil leira også kunne ta opp hygroskopisk vann fra lufta. Svellingen skjer i takt med tilgangen på vann. Det er med andre ord permeabiliteten og vanntilgangen som vanligvis bestemmer svellehastigheten og den tid som står til rådighet for sikring før ras inntreffer.

Vannopptaket vil føre til at skjærfastheten reduseres. Det kan gå fra timer til måneder før stryken har falt så mye at en får ras. Rasutviklingen blir gjerne suksessiv, idet stadig nye partier tar opp vann, mister skjærfasthet og faller ut.

Dersom svellingen blir hindret, f.eks. av en sikring, vil det mobiliseres et svelletrykk. Terzaghi (1946) viser prinsippet (fig. 2.2). En leire med fri tilgang på vann er konsolidert under trykket p_0 med tilhørende vanninnhold W_0 . Ved tiden $t = 0$ fjernes lasten, og leiren begynner å svulle. Ved tiden t_1 hindres videre volumutvidelse og vannopptak. Det vil da utvikles et svelletrykk som er noe lavere enn konsoliderings-trykket p_0 .

I praksis vil svelletrykkets størrelse også avhenge av sikrings-typen. For alle materialer vil det være sammenheng mellom belastning og deformasjon. Fig. 2.3 viser en tenkt avlastningskurve for et leirsonemateriale.

Stabiliteten i en økonomisk vækst er afhængig af mange faktorer. For at opnå en stabil økonomisk vækst er det nødvendigt at sikre en høj grad af økonomisk stabilitet. Dette kan opnås ved at sikre en høj grad af økonomisk stabilitet. Dette kan opnås ved at sikre en høj grad af økonomisk stabilitet.

Derudover er det vigtigt at sikre en høj grad af økonomisk stabilitet. Dette kan opnås ved at sikre en høj grad af økonomisk stabilitet. Dette kan opnås ved at sikre en høj grad af økonomisk stabilitet.

En anden vigtig faktor er den økonomiske politik. Dette kan opnås ved at sikre en høj grad af økonomisk stabilitet. Dette kan opnås ved at sikre en høj grad af økonomisk stabilitet.

Endelig er det vigtigt at sikre en høj grad af økonomisk stabilitet. Dette kan opnås ved at sikre en høj grad af økonomisk stabilitet. Dette kan opnås ved at sikre en høj grad af økonomisk stabilitet.

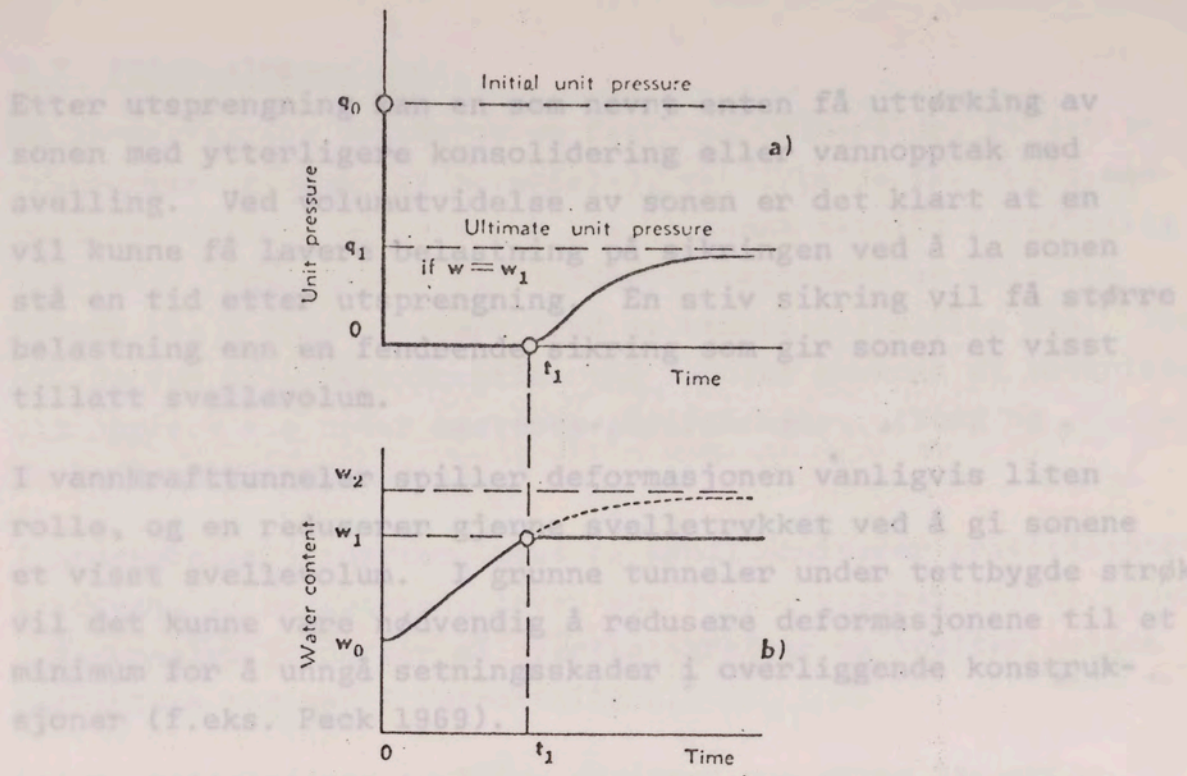
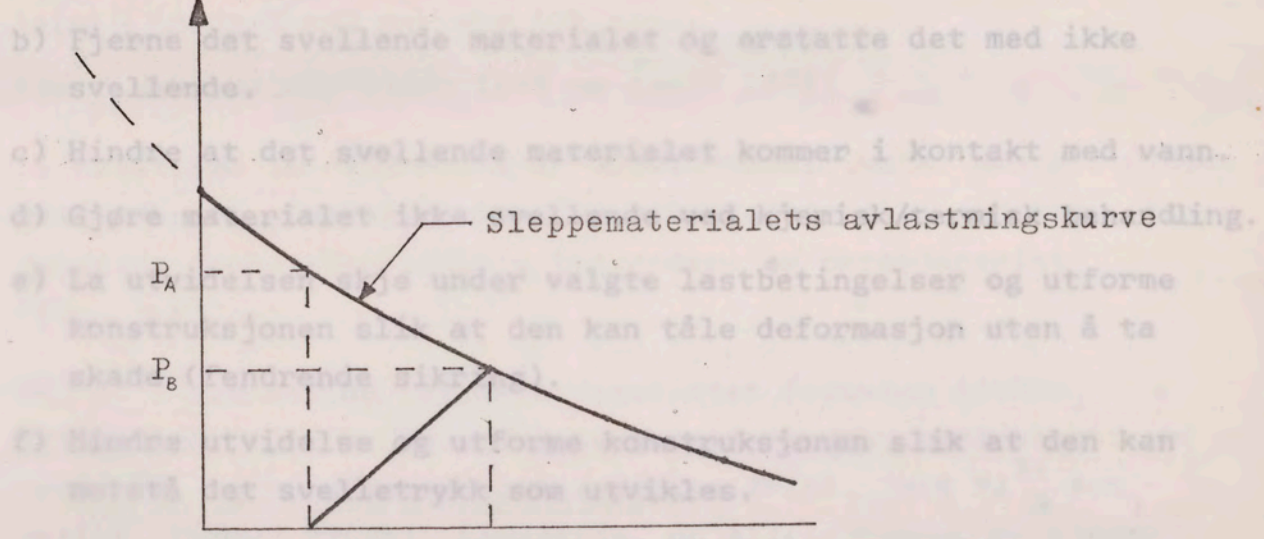


Fig. 2.2. Swelling, pressure, time effects of clay

Trykk på sikring



Uttörking/konsolidering Vannopptak/svelling

- OA = Deformasjon for sikring plasseres
- AB = Deformasjon av fendrende sikring
- P_A = Svelletrykk med helt stiv sikring
- P_B = Svelletrykk med fendrende sikring

Fig. 2.3.

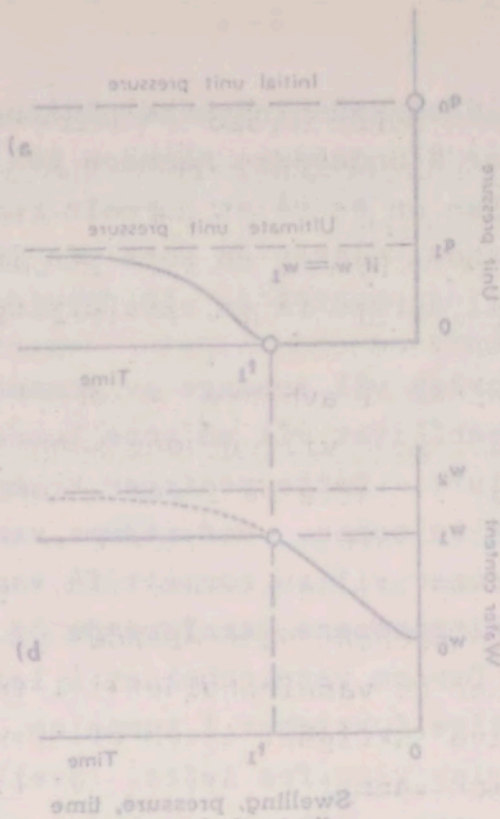
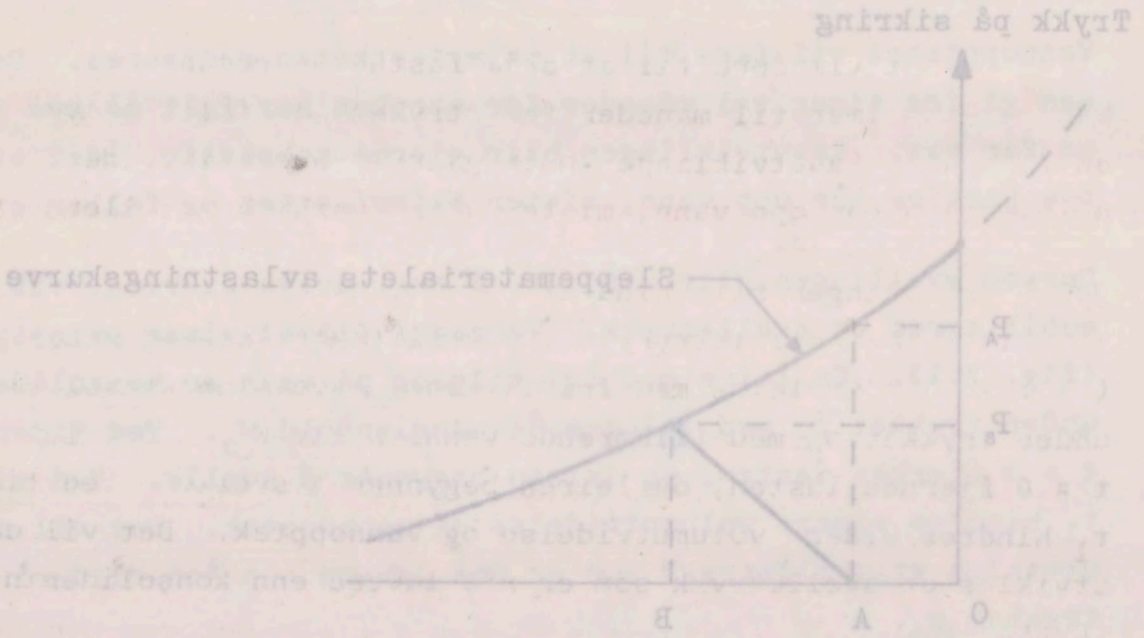


Fig. 2.2. Effects of clay



Utörkning / Vannopptak
 konsolidering / svelling
 OA = Deformation för sikring på svelling
 AB = Deformation svellande sikring
 p_A = Svelletryck med helt aktiv sikring
 p_B = Svelletryck med lödande sikring

Fig. 2.3.

Etter utsprenngning kan en som nevnt enten få uttørking av sonen med ytterligere konsolidering eller vannopptak med svelling. Ved volumutvidelse av sonen er det klart at en vil kunne få lavere belastning på sikringen ved å la sonen stå en tid etter utsprenngning. En stiv sikring vil få større belastning enn en fendrende sikring som gir sonen et visst tillatt svellevolum.

I vannkrafttunneler spiller deformasjonen vanligvis liten rolle, og en reduserer gjerne svelletrykket ved å gi sonene et visst svellevolum. I grunne tunneler under tettbygde strøk vil det kunne være nødvendig å redusere deformasjonene til et minimum for å unngå setningsskader i overliggende konstruksjoner (f.eks. Peck 1969).

Problemene med svellende materialer kan tenkes løst på forskjellige måter. Seed, Mitchell og Chan (1962) setter opp følgende seks:

- a) Unngå stedet.
- b) Fjerne det svellende materialet og erstatte det med ikke svellende.
- c) Hindre at det svellende materialet kommer i kontakt med vann.
- d) Gjøre materialet ikke svellende ved kjemisk/termisk behandling.
- e) La utvidelsen skje under valgte lastbetingelser og utforme konstruksjonen slik at den kan tåle deformasjon uten å ta skade (fendrende sikring).
- f) Hindre utvidelse og utforme konstruksjonen slik at den kan motstå det svelletrykk som utvikles.

Ved fjellanlegg her i landet brukes den første metoden mye på prosjekteringsstadiet, mens sikring i tunneler vesentlig foregår etter de to siste.

Etter utsperring kan en son nevnt enten å uttrykke av
sonen med ytterligere konsolidering eller vannrett med
avelling. Ved volumutvikling av sonen er det klart at en
vif kunne få lavere belastning på sirklingen ved å ta sonen
att en tid etter utsperring. En slik sirkling vil få større
belastning enn en følgelig sirkling som gir sonen et visst
tilfritt sveillevolum.

I vannkrafttunneler er det behov for å uttrykke vannet i
rolle, og en reduksjon i vannet sveillevolumet ved å ta sonen
et visst sveillevolum. I grunn tunneler under fastfaste strøk
vil det kunne være nødvendig å redusere deformasjonen til et
minimum for å unngå setningskader i overliggende konstruksjoner.
støper (f.eks. Beck 1982).

Problemet med sveilende materialer kan løses på to for-
skjellige måter. Bead, Mitchell og Chan (1982) setter opp
følgende krav:

- a) Unngå støber
- b) Fjerne det sveilende materialet og erstatte det med ikke
sveilende materialer
- c) Hindre at det sveilende materialet kommer i kontakt med vann
- d) Gi et materiale som ikke sveilende ved kjemisk/termisk påvirkning
- e) La utvikelser ikke under visse fastfaste forhold og utløse
konstruksjonen slik at den kan få deformasjon uten å ta
skade (f.eks. sirkling)
- f) Hindre utvikelser og utløse konstruksjonen slik at den kan
ta skade (f.eks. sirkling)

Ved feltarbeid bør i landet brukes den beste metoden som er
gjeldende i landet. Hvis det er behov for å uttrykke vannet
etter de to siste

2.3. Materialelegenskaper.

En jordartsprøve består av en fast del (mineraler, bergartsfragmenter og organisk materiale), en flytende del (vann med oppløste salter) og gass som kan ha sammensetning forskjellig fra luft. Egenskapene til jordarten bestemmes av alle tre delene, og i enda sterkere grad av samspillet mellom dem. Det vil derfor ofte være komplisert å forutsi hvordan et materiale vil oppføre seg under bestemte påvirkninger. (Yong og Warkentin 1966 og andre).

I grovkornige jordarter (grus og sand) dominerer gravitasjonskreftene, og mekanikkens lover kan i stor utstrekning anvendes. I finkornige jordarter må overflatekrefter og krefter mellom partiklene tas med i betraktningen.

Leire: Definisjonen av leire varierer noe etter fagområde. Etter kornstørrelse har en følgende begreper:

Leir - fraksjonsbetegnelse på materiale mindre enn 0,002 mm (2 μm).

Leire - jordart med mer enn 15% leir.

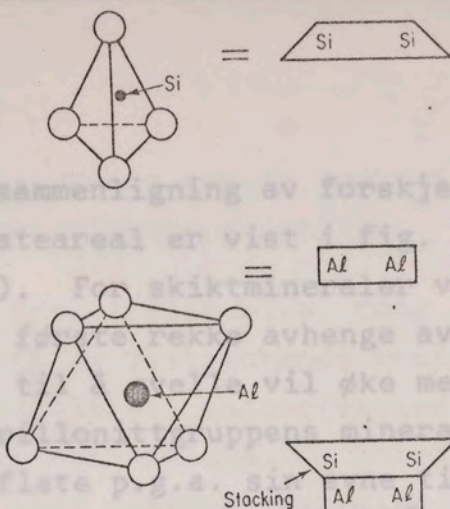
(Se f.eks. Selmer-Olsen 1968 og Janbu 1970).

De egnetlige leirmineraler er aluminiumssilikater med silisiums-tetraeder og aluminiumsoktaeder som strukturelle enheter. Disse enhetene danner henholdsvis tetraeder- og oktaederskikt (fig. 2.4).

Med Al^{3+} som kation får oktaederskiktet formelen $\text{Al}(\text{OH})_3$ (gibbsitt). Her er bare 2/3 av oktaederposisjonene besatt av kationer, og strukturen kalles dioktaedrisk. Med Mg^{2+} som kation, formel $\text{Mg}(\text{OH})_2$ (brucitt), er alle oktaederposisjoner besatt, og strukturen kalles trioktaedrisk.

Leirmineralene dannes ved kombinasjon av tetraeder- og oktaederskikt i ryggradslag og kan systematiseres i to- og trelags mineraler, di- eller trioktaedriske som vist i fig. 2.5 (etter Berry og Mason 1959). Et leirmineral Korn vil kunne bestå av mange ryggradslag.

En skjematisk sammenligning av forskjellige leirmineralers form og overflateareal er vist i fig. 2.6 (etter Yeng og Warkentin 1966). For skiktmineraler vil den spesifikke overflate (m^2/g) i første rekke avhenge av tykkelsen på lagene. En leires evne til å adsorbere vann vil øke med økende spesifikk overflate. Montmorillonitt og saponitt vil ha spesielt stor spesifikk overflate p.g.a. sin evne til å spalte opp langs ryggradslagene.



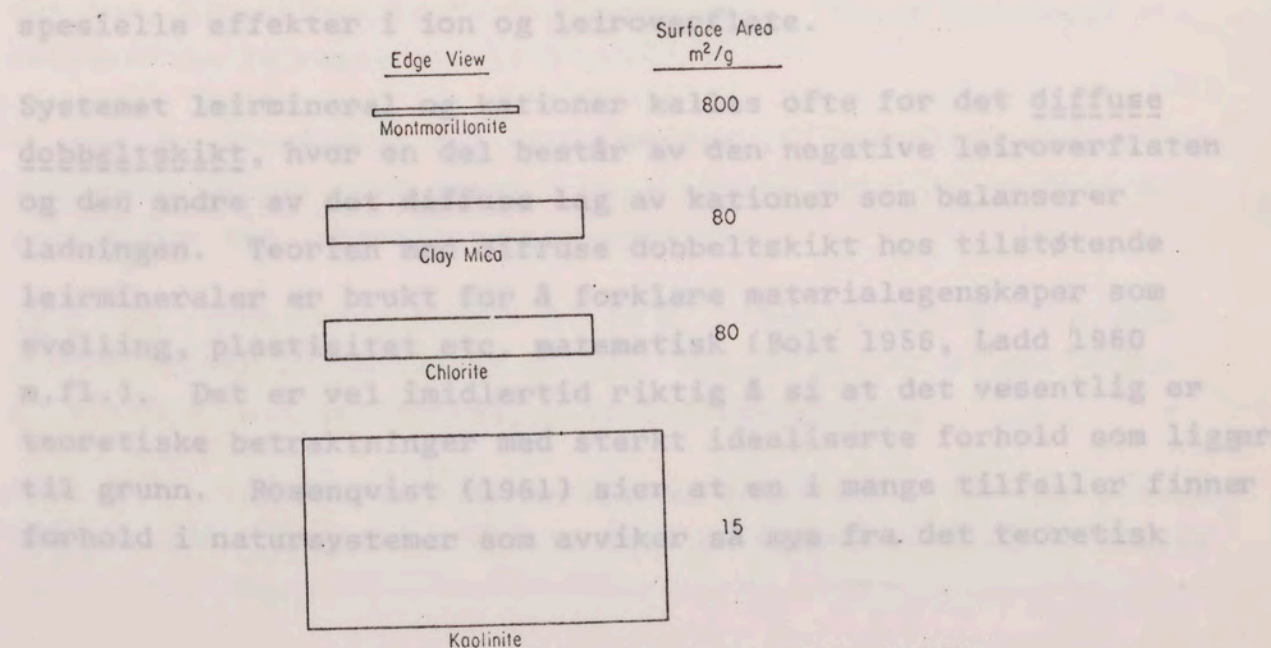
Schematic Representation of Silica Tetrahedron and Alumina Octahedron

Fig. 2.4.

Montmorillonitt er et tre-lags mineral med ideell forml $Al_2Si_4O_{10}(OH)_2$. Den vil alltid være avvik p.g.a. utbytting av ioner. Mineralogisk saponitt er avsnv etter substitusjon av Zn og Fe³⁺, i saponitt med Mg og Zn (Berry og Mason 1959, s. 509).

DI-OCTAHEDRAL (WITH GIBBSITE-TYPE LAYERS)	TRIOCTAHEDRAL (WITH BRUCITE-TYPE LAYERS)
<i>Two-layer Structures</i>	
Kaolinite, Nacrite, Dickite $Al_2Si_4O_{10}(OH)_2$	Antigorite (platy serpentine) $Mg_3Si_4O_{10}(OH)_2$
Halloysite $Al_2Si_4O_{10}(OH)_2$	Chrysotile (fibrous serpentine) $Mg_3Si_4O_{10}(OH)_2$
<i>Three-layer Structures</i>	
Pyrophyllite $Al_2Si_4O_{10}(OH)_2$	Talc $Mg_3Si_4O_{10}(OH)_2$
Montmorillonite $Al_2Si_4O_{10}(OH)_2 \cdot xH_2O^*$	Vermiculite $Mg_3Si_4O_{10}(OH)_2 \cdot xH_2O^*$
Muscovite $KAl_2(AlSi_3O_{10})(OH)_2$	Phlogopite $KMg_3(AlSi_3O_{10})(OH)_2$
	Chlorite $Mg_3Al(AlSi_3O_{10})(OH)_2$

* With adsorbed cations and variable water content.



Edge-View Sketches to Show Relative Size and Shape of Clay Particles; Dimension Not Shown Is Equal to Length

Fig. 2.6.

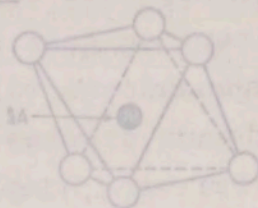
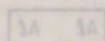
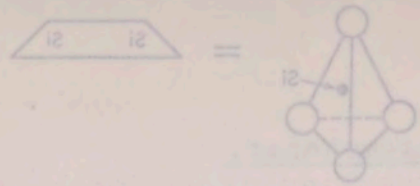


Fig. 2.4.

Schematic Representation of Silica Tetrahedron and Alumina Octahedron

Composition and classification of the important phyllosilicates

DIORTHORICAL (WITH GIBBSITE-TYPE LAYERS) | TRIORTHORICAL (WITH BRUCITE-TYPE LAYERS)

Two-layer structure	Two-layer structure
Kaolinite, Nacrite, Dickite $Al_2Si_2O_5(OH)_2$	Antigorite (platy serpentine) $Mg_3Si_2O_5(OH)_2$
Halloysite $Al_2Si_2O_5(OH)_2$	Chrysotile (fibrous serpentine) $Mg_3Si_2O_5(OH)_2$
Pyrophyllite $Al_2Si_4O_{10}(OH)_2$	Talc $Mg_3Si_4O_{10}(OH)_2$
Montmorillonite $Al_2Si_4O_{10}(OH)_2 \cdot xH_2O^*$	Vermiculite $Mg_3Si_4O_{10}(OH)_2 \cdot xH_2O^*$
Muscovite $KAl_2(AlSi_3O_{10})(OH)_2$	Phlogopite $KMg_3(AlSi_3O_{10})(OH)_2$
	Clinochlore $Mg_3Al_2(AlSi_3O_{10})(OH)_2$

Fig. 2.5.

* With adsorbed cations and variable water content.

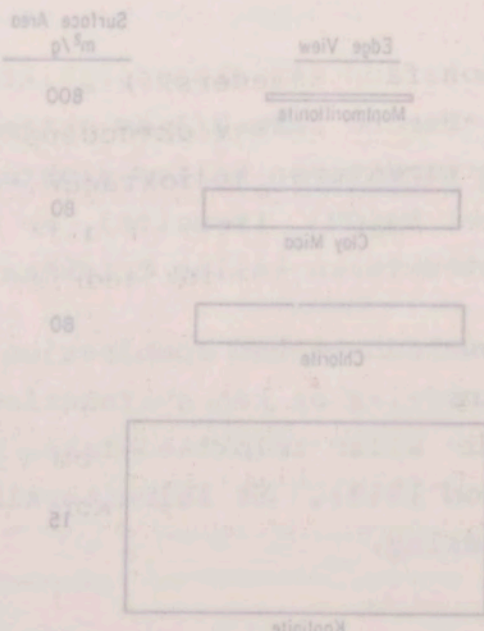


Fig. 2.6.

Edge-View Sketches to Show Relative Size and Shape of Clay Particles; Dimension Not Shown is Equal to Length

En skjematisk sammenligning av forskjellige leirmineralers form og overflateareal er vist i fig. 2.6 (etter Yong og Warkentin 1966). For skiktmineraler vil den spesifikke overflate (m^2/g) i første rekke avhenge av tykkelsen på lagene. En leires evne til å svulle vil øke med økende spesifikk overflate. Montmorillonittgruppens mineraler vil ha spesielt stor spesifikk overflate p.g.a. sin evne til å spalte opp langs ryggradslagene.

Montmorillonitt er et tre-lags mineral med ideell formel $Al_2Si_4O_{10}(OH)_2 \cdot XH_2O$, men det vil alltid være avvik p.g.a. utbytting av ioner. Mineralogisk gis variantene navn etter substitusjon. I nontronitt er Al erstattet med Fe^{3+} , i saponitt med Mg og i sauconitt med Zn (Berry og Mason 1959, s. 509).

I leirmineralene kan Al^{3+} og Si^{4+} være byttet ut med ioner som har mindre positiv ladning. På grunn av dette og brutte bindinger i gitteret, spesielt ved kantene, vil leirmineralene ofte få negativ overflateladning. Den negative ladning på leiroverflaten blir balansert av positivt ladede ioner fra salter oppløst i porevannet. Disse kationene kalles utbyttbare, siden en type kan skiftes ut med en annen. Evnen til å fortrenge andre ioner domineres av valensen, ioner med høy valens fortrenger ioner med lavere. For ioner med samme valens vil de største ioner ha høyest evne til å bytte ut (Yong og Warkentin 1966, s. 57 f). Ellers vil utbyttingen kunne influeres av spesielle effekter i ion og leiroverflate.

Systemet leirmineral og kationer kalles ofte for det diffuse dobbeltskikt, hvor en del består av den negative leiroverflaten og den andre av det diffuse lag av kationer som balanserer ladningen. Teorien med diffuse dobbeltskikt hos tilstøtende leirmineraler er brukt for å forklare materialeegenskaper som svelling, plastisitet etc. matematisk (Bolt 1956, Ladd 1960 m.fl.). Det er vel imidlertid riktig å si at det vesentlig er teoretiske betraktninger med sterkt idealiserte forhold som ligger til grunn. Rosenqvist (1961) sier at en i mange tilfeller finner forhold i natursystemer som avviker så mye fra det teoretisk

En eksperimentel sammenligning af forskelliges leitmateriale
 form og overfladeareal er vist i fig. 1.8 (etter Long og
 Warkentin 1955). For skikmaterier vil den specifikke over-
 flate (m²/g) i første række avhenge av tykkelsen på lagene.
 En leires evne til å avlede vil øke med økende spesifikk over-
 flate. Montmorillonittgruppen minerier vil ha spesielt stor
 spesifikk overflate p.g.a. sin evne til å spalte opp langs
 pyridalagene.

Montmorillonitt er et tre-lags mineral med ideell formel
 Al₂(OH)₂·XH₂O, men det vil alltid være svakh p.g.a.
 utpugging av ioner. Mineralogisk gis variasjonen navn etter
 substitusjon. I montmorillonitt er Al erstattet med Fe i apokitt
 med Mg og i saucollitt med Zn (Berry og Mason 1952, s. 509).

I leitmateriale kan Al³⁺ og Si⁴⁺ være byttet ut med ioner som
 har mindre positiv ladning. På grunn av dette og brutte
 bindinger i gitteret, spesielt ved kantene, vil leitmateriale
 ofte få negativ overflateledning. Den negative ladning på
 leitoverflaten blir balansert av positivt ladede ioner fra
 salter oppløst i porevannet. Disse kationene kalles utpuggere,
 siden en type kan skilles ut med en annen. Evnen til å for-
 trengte andre ioner domineres av valensen, ioner med høy valens
 fortrengte ioner med lavere. For ioner med samme valens vil de
 største ioner ha høyest evne til å bytte ut (Long og Warkentin
 1955, s. 51). Ellers vil utpugging kunne influeres av
 spesielle effekter i ion og leitoverflater.

Systemet leitmateriale og kationer kalles ofte for det diffuse
 dobbeltlag, hvor en del består av den negative leitoverflaten
 og den andre av det diffuse lag av kationer som balanserer
 ladningen. Teorien med diffuse dobbeltlag hos tilstøtende
 leitmaterier er brukt for å forklare materialegenskaper som
 evling, plastisitet etc. matematisk (Bolt 1955, Ladd 1955,
 a.l.l.). Det er vel etablert riktig å si at det vesentlig er
 teoretiske betraktninger med sterkt idealiserte forhold som ligger
 til grunn. Rosenqvist (1951) står at en i mange tilfeller finner
 forhold i natursystemer som avviker så mye fra teoretisk
 forhold i natursystemer som avviker så mye fra teoretisk

forutsatte at det synes som om teorien ikke har noen praktisk betydning for kvantitativ forståelse.

Imidlertid vil det, ifølge bl.a. Yong og Warkentin (1966), virke frastøtende og tiltrekkende krefter mellom leirpartiklene. Ved lave vanninnhold vil vannmolekyler som absorberes til overflaten presse leirmineralene fra hverandre. Når avstanden har kommet over en viss minimumsstørrelse, vil det kunne dannes diffuse dobbeltskikt med netto frastøtende krefter. Kraftene kan i dette tilfelle anskueliggjøres ved osmoseteori. Konsentrasjonen av ioner er høyere i planet midt mellom to partikler enn i porevannet utenfor. Følgelig vil vann strømme mot den høyeste ionekonsentrasjonen for å skape likevekt. Kraften vil avhenge av avstanden mellom partiklene og valens og konsentrasjon av ioner. Størst frastøtende krefter vil en få med enverdige utbyttbare ioner (unntatt K^+) og destillert vann som porevann. Det er disse frastøtende kreftene som gir seg til kjenne ved svelling og svelletrykk.

Av tiltrekkende krefter er det flere typer. Når leirpartikler kommer svært nær hverandre, kan det dannes molekylbindinger (van der Waals' bindinger) mellom dem. De er forholdsvis kortvirkende, omtrent omvendt proporsjonale med sjette potens av avstanden. I naturlige leirer vil organisk eller uorganisk materiale kunne binde sammen enkelte partikler til større enheter. De viktigste av de uorganiske "bindemidlene" er jernoksyder, aluminiumsoksyder og karbonater. Slike bindinger vil nedsette en leires evne til å svelle.

Ut fra det foregående kan en si at det som karakteriserer sterkt svellende leirer ikke synes å være så mye typen av krefter mellom partiklene som intensiteten av kreftene.

Vann: Et vannmolekyl består av to H^+ ioner og ett O^{2-} ion som sammen danner en permanent dipol. Det er antatt at dette kan forklare en del av vannets spesielle egenskaper.

Vann bindes til leirpartiklene med en kraft som avtar med økende avstand fra overflaten (fig. 2.7). De første vannlagene kalles

gjørne hygroskopisk vann. Det er videre en gradvis overgang fra sterkt bundet (adsorbent) vann til fritt porevann.

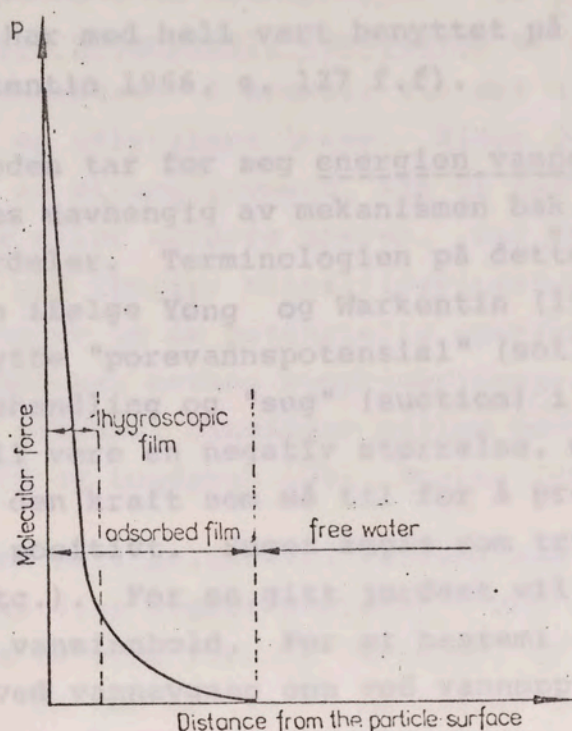


Fig. 2.7. (Etter Pietkowski et al. 1968)

Det synes å være enighet om at adsorbent vann har egenskaper som er forskjellige fra fritt vann, men ikke om hva forskjellene består i. Enkelte forskere hevder at tettheten til vannet øker med bindingsgraden og kan bli omtrent 2 for det første laget (Rode 1969, s. 116, Pietkowski og Czarnota - Boiarski 1968). På den andre siden hevder bl.a. Rosenqvist (1961) at forsøk av ham og Low og Andersen (1958) viser at vannets spesifikke vekt avtar tilnærmet eksponensielt mot mineraloverflaten.

Når det gjelder ioner i vannet, varierer oppfatningene fra at fast bundet vann ikke kan inneholde ioner (Rode 1969, s. 105) til at ionekonsentrasjonen er høyest ved mineraloverflaten (Young og Warkentin 1966, s. 59).

Siden disse uoverensstemmelsene hverken synes å ha praktisk interesse for eller vil bli ytterligere belyst i dette arbeide, skulle det ikke være noen grunn til å gå nærmere inn på dem.

gjørne hyroskopisk vann. Det er videre en gradvis overgang fra sterkt bundet (adsorbert) vann til fritt porevann.

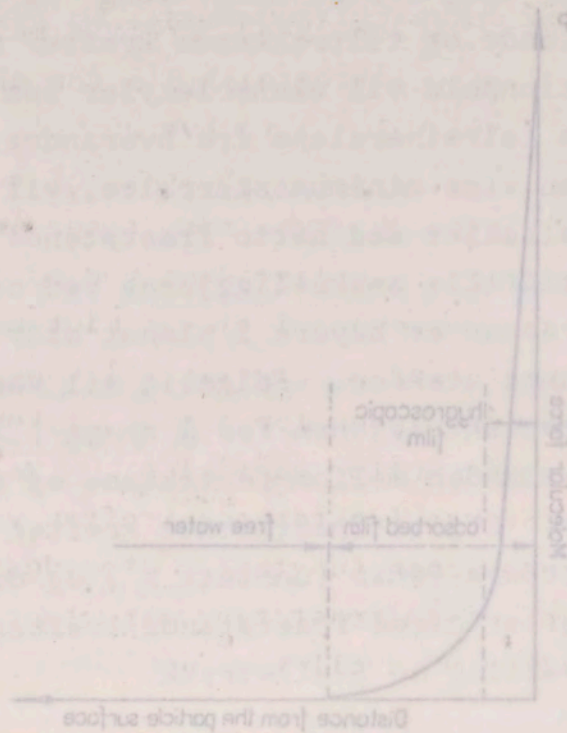


Fig. 2.7. (Etter Pietkowiak et al. 1968)

Det synes å være enighet om at adsorbert vann har egenskaper som er forskjellige fra fritt vann, men ikke om hva forskjellene består i. Enkelte forskere hevder at tettheten til vannet øker med bindingsgraden og kan bli omtrent 2 for det første laget (Rode 1969, s. 116, Pietkowiak og Czarnota - Bojarak 1968). På den andre siden hevder bl.a. Rosenqvist (1961) at forsker av ham og Low og Andersen (1958) viser at vannets spesifikke vekt avtar tilnærmet eksponentielt mot mineraloverflaten.

Når det gjelder ioner i vannet, varierer opptatningene fra et fast bundet vann ikke kan inneholde ioner (Rode 1969, s. 105) til at ionekonsentrasjonen er høyest ved mineraloverflaten (Young og Warkentin 1966, s. 59).

Siden disse uoverensstemmelsene hverken synes å ha praktisk interesse for eller vil bli ytterligere belyst i dette arbeide, skulle det ikke være noen grunn til å gå nærmere inn på dem.

Samsillet jordart - vann er angrepet på to måter. Den geometriske tar for seg form og størrelse på porene og derav formen på kontaktflaten vann/jord og vannmengde i porene. Denne metoden har med hell vært benyttet på friksjonsjordartene (Yong og Warkentin 1966, s. 127 f.f).

Den andre metoden tar for seg energien vannet blir holdt med. Denne kan måles uavhengig av mekanismen bak, noe som har utvilsomme fordeler. Terminologien på dette område har vært noe uklar, men ifølge Yong og Warkentin (1966) blir det nå forsøkt å benytte "porevannspotensial" (soil water potential) i teoretisk behandling og "sug" (suction) i praktisk bruk. Potensialet vil være en negativ størrelse, mens suget, som pr. definisjon er den kraft som må til for å presse vann ut av en jordart, blir positivt. Suget angis som trykk (tonn/m², atm, m vannsøyle etc.). For en gitt jordart vil suget øke sterkt med avtagende vanninnhold. For et bestemt sug vil vanninnholdet ligge høyere ved vannavgang enn ved vannopptak p.g.a. hysteresese, se fig. 2.8.

Det er gjort omfattende undersøkelser av hvordan forsøksbetingelsene påvirker svelleingen hos omrørte materialer.

Indirekte gir dette også informasjon om hvordan et uforstyrret materiale vil oppføre seg under forskjellige ytre forhold.

For omrørte prøver kan forsøkene deles inn i tre deler som kan betraktes hver for seg.

a) Måten prøven lages på.

b) Tid fra prøvepreparering til forsøk.

c) Hvordan forsøket utføres.

Måte prøven lages på bestemmer stort sett av komprimeringsmetode, struktur, tørr massefylde og vanninnhold. Disse faktorene er innbyrdes avhengige.

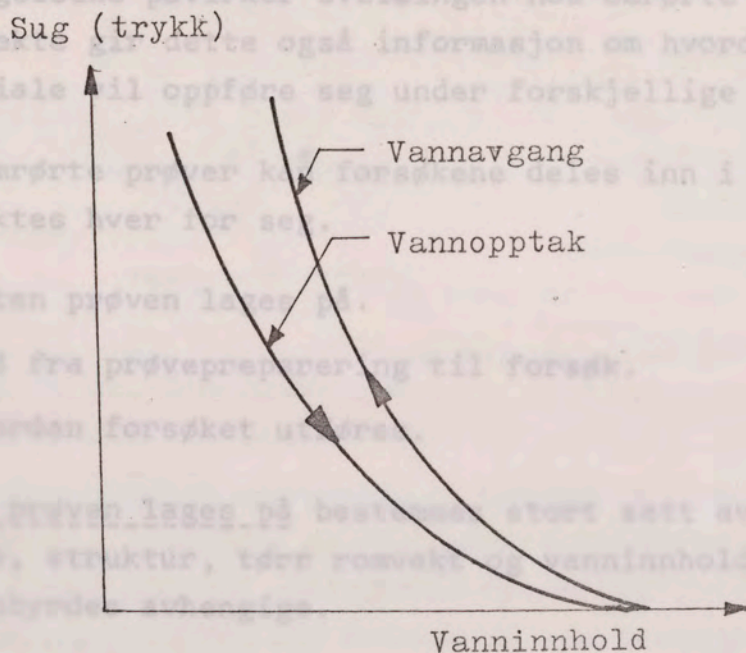


Fig. 2.8.

Sampliset jordart - vann er angrepet på to måter. Den geometriske tar for seg form og størrelse på porene og deres formen på kontaktflaten vann\jord og vannmengde i porene. Denne metoden har med hell vært benyttet på friksjonsjordartene (Yong og Warkentin 1966, s. 127 f.f.).

Den andre metoden tar for seg energien vannet blir holdt med. Denne kan måles uavhengig av mekanismen bak, noe som har utvilsomme fordeler. Terminologien på dette område har vært noe uklar, men følgende Yong og Warkentin (1966) blir det nå forsøkt å benytte "porevannspotensial" (soil water potential) i teoretisk behandling og "sug" (suction) i praktisk bruk. Potensialet vil være en negativ størrelse, mens suget, som pr. definisjon er den kraft som må til for å presse vann ut av en jordart, blir positivt. Suget angis som trykk (tonn/m², atm, m vannsøyle etc.). For en gitt jordart vil suget øke sterkt med avtagende vanninnhold. For et bestemt sug vil vanninnholdet ligge høyere ved vannavgang enn ved vannopptak p.p.a. hysterese, se fig. 2.8.

Fig. 2.8. Hysterese i vanninnhold og sug.

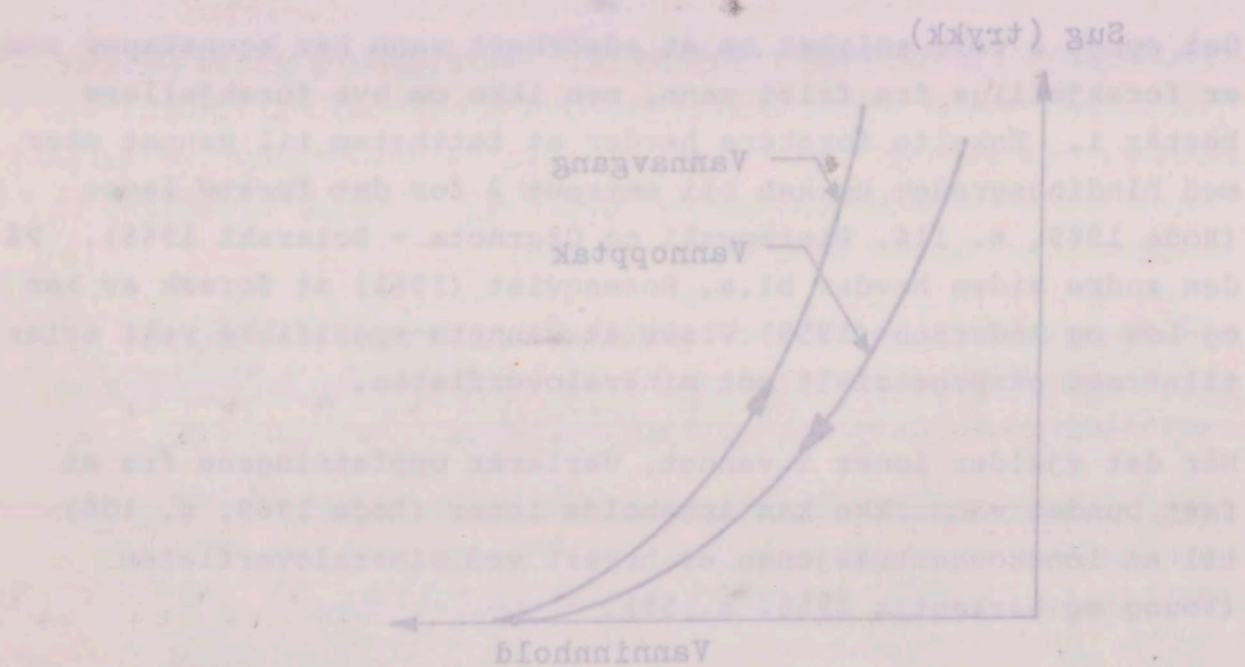


Fig. 2.8. Hysterese i vanninnhold og sug. (Yong og Warkentin 1966)

Faktorer som påvirker svelleevnen hos omrørte materialer.

Hvor sterkt en jordart vil svulle avhenger av en rekke faktorer som naturlig deles i to hovedgrupper. De indre betingelser, eller jordartens potensielle svelleevne er de som avgjøres av selve jordartskornene. I praksis vil det si type og mengde leirmineraler og utbyttbare ioner. Siden de indre egenskapene bare avgjøres av mineralkornene, kan de bestemmes ved forsøk på forstyrrede eller omrørte prøver. Det er disse egenskapene som bestemmes ved vanlige klassifiseringsforsøk. De ytre betingelser avgjør om de potensielle egenskaper kan mobiliseres eller ikke. Det kan nevnes komprimeringsgrad, naturlig vanninnhold, tørr romvekt, bindinger mellom partiklene etc. (Seed, Woodward og Lundgren 1962, Brekke 1963 m.fl.).

Under like ytre betingelser vil leirene med høyest potensiell svelleevne også vise størst svelling. Men en må være klar over at dersom de ytre forhold varierer, er dette ikke nødvendigvis tilfelle. En kan da f.eks. ha leirer med høy potensiell svelleevne som mobiliserer små svelletrykk og omvendt.

Det er gjort omfattende undersøkelser av hvordan forsøksbetingelsene påvirker svellingen hos omrørte materialer. Indirekte gir dette også informasjon om hvordan et uforstyrret materiale vil oppføre seg under forskjellige ytre forhold.

For omrørte prøver kan forsøkene deles inn i tre deler som kan betraktes hver for seg.

- a) Måten prøven lages på.
- b) Tid fra prøvepreparering til forsøk.
- c) Hvordan forsøket utføres.

Måten prøven lages på bestemmes stort sett av komprimeringsmetode, struktur, tørr romvekt og vanninnhold. Disse faktorene er innbyrdes avhengige.

Faktorer som påvirker svejlsens styrke og elasticitet.

Den første faktor er jordens tryk, som påvirker svejlsens styrke og elasticitet. Den anden faktor er svejlsens længde og tykkelse. Den tredje faktor er svejlsens materiale og kvalitet. Den fjerde faktor er svejlsens temperatur og fugtighed. Den femte faktor er svejlsens belastning og brugstid.

Under alle omstændigheder vil svejlsens styrke og elasticitet være påvirket af disse faktorer. Derfor er det vigtigt at vælge den rette svejlsstype og kvalitet til den pågældende opgave.

Det er vigtigt at bemærke, at svejlsens styrke og elasticitet kan variere meget mellem forskellige typer svejls. Derfor er det vigtigt at teste svejlsens styrke og elasticitet inden brug.

For mere information om svejlsens styrke og elasticitet, se venligst vores hjemmeside på [www.svejl.dk](#).

- 1) Materialer og typer svejls.
- 2) Typer svejls og deres anvendelse.
- 3) Hvordan svejlses korrekt.

Måden på at svejlses på, er også vigtig for svejlsens styrke og elasticitet. Derfor er det vigtigt at følge de gældende regler og anbefalinger.

Det kan skilles mellom følgende komprimeringsmetoder:

- Statisk komprimering, hvor lasten er konstant.
- Dynamisk komprimering, hvor belastningen gis som slagarbeide over et stort areal.
- Dynamisk komprimering, hvor belastningen gis som slagarbeide over et lite areal.

De to første metodene har mye felles. Ved økende komprimeringsarbeid vil begge gi økende horisontal orientering av partiklene. Den tredje metoden har dyp inntrengning av et lite stempel. Partiklene vil også av den bli orientert, men både horisontalt og vertikalt.

Med struktur menes den innbyrdes ordning av partiklene i en jordart. For leirer kan en skille mellom uorientert (korthus) struktur og parallellorientert struktur (fig. 2.9).

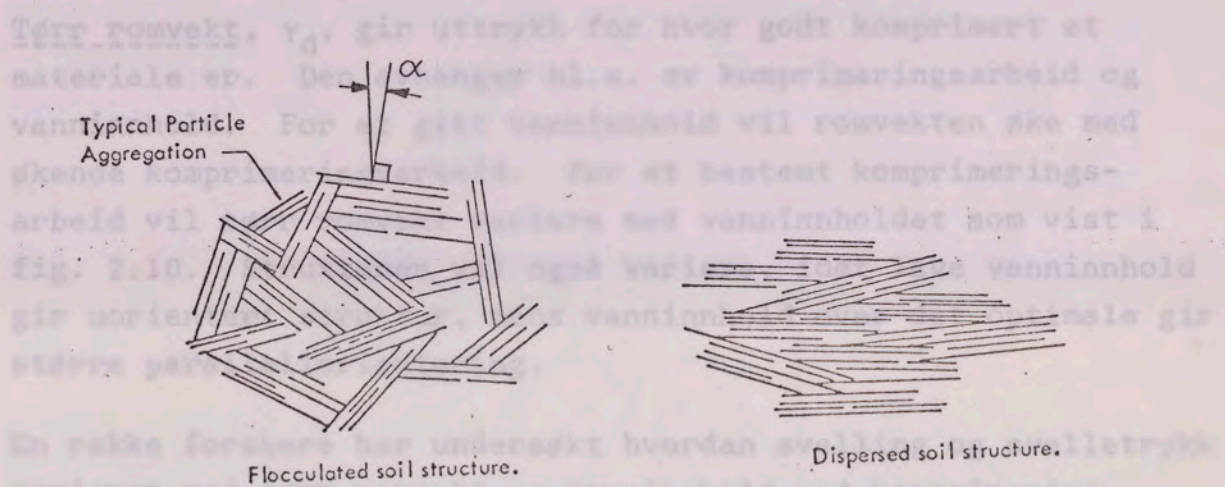


Fig. 2.9. (Etter Nalezny and Li 1967)

Tidligere resultater syntes å antyde at uorientert struktur ga sterkere svelling enn orientert (Ladd 1960). Nå må en imidlertid anta at svellingen vesentlig foregår vinkelrett basisflatene og derfor burde bli sterkere jo mer parallellorientert prøven er i horisontalretning. For svelletrykk er forholdet undersøkt av Nalezny og Li (1967). De fant for

Det kan skilles mellem følgende komprimeringsmetoder:

- a) Statisk komprimering, hvor lasten er konstant.
 - b) Dynamisk komprimering, hvor belastningen gis som alagsarbejde over et stort areal.
 - c) Dynamisk komprimering, hvor belastningen gis som alagsarbejde over et lille areal.
- De to første metoder har mye felles. Ved økende komprimeringsarbeid vil begge gi økende horisontal orientering av partikkellene. Den tredje metoden har dyp innrensning av et lite areal. Partikkellene vil også av den bli orientert, men både horisontalt og vertikalt.

Med struktur menes den innbyrdes ordning av partikkellene i en jordart. For leirer kan en skille mellom orientert (korthus) struktur og parallellorientert struktur (fig. 2.9).

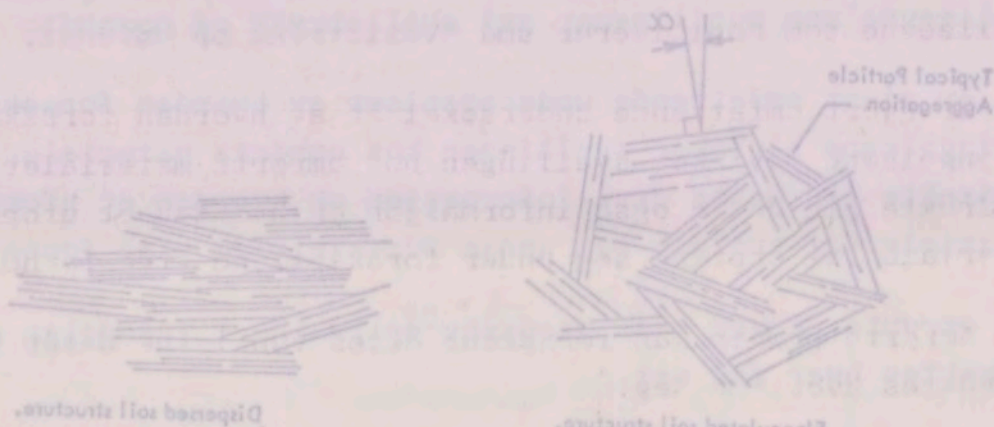


Fig. 2.9. (Etter Nalezny and Li 1967)

Tidligere resultater syntes å antyde at orientert struktur ga sterkere sveiling enn orientert (Ladd 1960). Nå må en imidlertid anta at sveilingen vesentlig foregår vinkelrett på partikkellene og derfor burde bli sterkere jo mer parallellorientert prøven er i horisontalretning. For sveiletrykk er forholdet undersøkt av Nalezny og Li (1967). De fant for

vertikale svelletrykk i uorienterte prøver $P_v = \cos\alpha (P_s - P_i)$,
 hvor $\cos\alpha$ er gjennomsnittlig orientering med hensyn på
 horisontalen,

P_s er frastøtende krefter og

P_i er tiltrekkende krefter.

For parallellorienterte prøver fant de

$$P_v = \frac{S_H}{S_T} (P_s - P_i)$$

hvor S_H er horisontalkomponenten av overflaten og

S_T er total overflate.

Svelletrykket blir altså direkte proporsjonalt med horisontal-
 komponenten av overflaten.

Tørr romvekt, γ_d , gir uttrykk for hvor godt komprimert et
 materiale er. Den avhenger bl.a. av komprimeringsarbeid og
 vanninnhold. For et gitt vanninnhold vil romvekten øke med
 økende komprimeringsarbeid. For et bestemt komprimerings-
 arbeid vil tørr romvekt variere med vanninnholdet som vist i
 fig. 2.10. Strukturen vil også variere, idet lave vanninnhold
 gir uorientert struktur, mens vanninnhold over det optimale gir
 større parallellorientering.

En rekke forskere har undersøkt hvordan svelling og svelletrykk
 varierer med tørr romvekt og vanninnhold ved komprimering.
 (Holtz og Gibbs 1956, Ladd 1960, Satyanarayana og Ranganatham
 1969 m.fl.). Den kanskje mest omfattende undersøkelse er fore-
 tatt av Yevnin og Zaslavsky (1970). De har målt tettheten
 etter svelling som funksjon av tørr romvekt, vanninnhold og
 mottrykk. Forsøkene er behandlet med regresjonsanalyse.
 Resultatene for svelletrykk (mottrykk som er nødvendig for at
 tettheten ikke skal forandre seg) er vist i fig. 2.11. Den
 vertikale asymptoten på $W = 27,9\%$ ligger nær det optimale vann-
 innhold som er bestemt til 29% (Proctor). Det går frem at for

vertikale svejletrykk i nedre halvdel af ...
hvor \cos er gennemsnittlig overfladingsvinkel med horisontalen,
horisontalen,

$$P_2 \text{ er frastående krefter og} \\ P_1 \text{ er tiltrækkende krefter.}$$

For parallellelementer prøver fandt de

$$P_v = \frac{S_H}{S_T} (P_2 - P_1)$$

hvor S_H er horisontalkomponenten af overfladen og

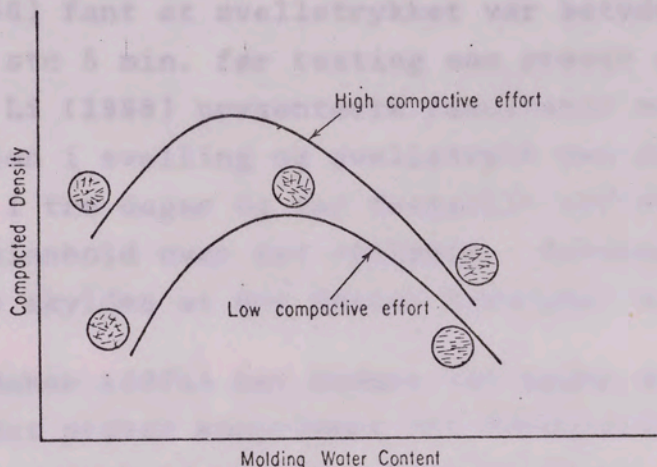
S_T er total overflade.

Svejletrykket blir altså direkte proportional med horisontal
komponenten af overfladen.

For første gang er der udført for hver gode komponent af
materiale er. Den anvendes bl.a. af komprimeringsarbejde og
vannindhoid. For et givet vannindhoid vil komprimeringsarbejdet
stige komprimeringsarbejdet. For et bestemt komprimerings-
arbejde vil der komverte mindre vandvindhoider som vist i
fig. 2.10. Størrelsen vil også variere, idet lave vannindhoid
giver uorienteret struktur, mens vannindhoid over det optimale giver
stærke parallelorientering.

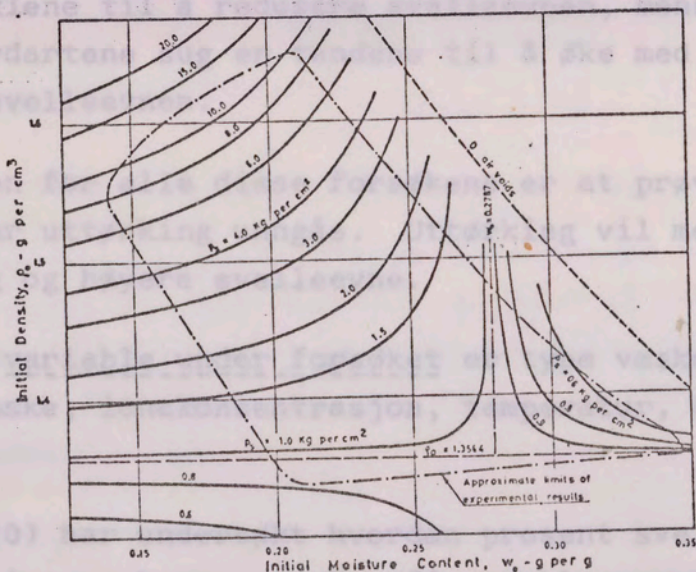
En række forsøge har undersøgt hvordan svejling og svejletrykk
varierer med størrelsen af vannindhoid ved komprimering.
(Holtz og Gibbs 1956, Janda 1960, Sørensen og Rasmussen
1968 m.fl.). Den mest omfattende undersøgelse er fore-
taget af Yevnin og Zaslavsky (1970). De har målt trykretten
efter svejling som funktion af størrelsen af vannindhoid og
trykretten. Forsøgene er behandlet med regressionsmetode.
Resultaterne for svejletrykk (trykretten) som en funktion af
trykretten (ikke skal forveksles) er vist i fig. 2.11. Den
vertikale komponent af $W = 27,32$ ligger over det optimale vand-
indhoid som er bestemt til 282 (procent). Det har betydning for

prøver komprimert til samme tetthet, vil økende vanninnhold ved komprimering gi synkende svelling og svelletrykk.



Arrangement of Particles as Influenced by Compaction and Molding Water Content (from Lambe, 1960)

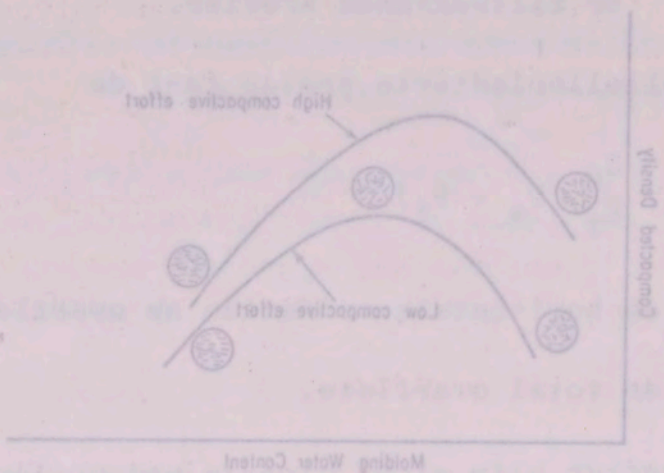
Fig. 2.10.



Swelling pressures, p_s , at various initial moisture contents and initial densities.

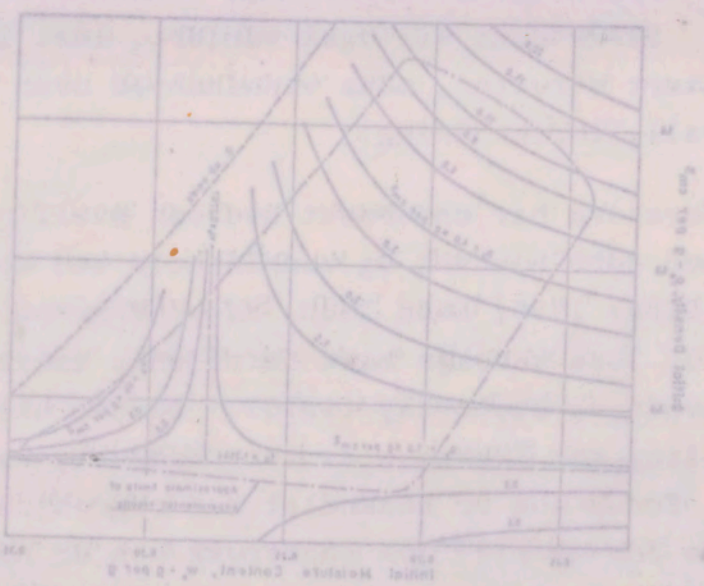
Fig. 2.11.

prøver komprimert til samme tetthet, vil økende vanninnhold ved komprimering gi synkende sveling og svelletrykk.



Arrangement of Particles as Influenced by Compaction and Molding Water Content (from Lande, 1960)

Fig. 2.10.



Swelling pressure, P_s , at various initial moisture contents and initial densities.

Fig. 2.11.

Tid fra prøvepreparering til forsøk.

Det vil gå en viss tid mellom preparering av prøvestykke og svelleforsøk. I naturen vil det på samme måte kunne gå en tid fra en fylling blir komprimert til den får anledning til å suge opp vann. Betydningen av dette er undersøkt av flere. Barber (1956) fant at svelletrykket var betydelig høyere for prøver som sto 5 min. før testing enn prøver som sto 24 timer. Nalezny og Li (1968) presenterte resultater som viste opptil 50% reduksjon i svelling og svelletrykk med tiden. Prøvene ble lagret i tre dager og var fremstilt ved dynamisk komprimering og vanninnhold over det optimale. Nalezny og Li mente reduksjonen skyldes at det dannes bindinger mellom partiklene.

Kassif og Baker (1971) har kommet til andre konklusjoner. De har undersøkt prøver komprimert til forskjellige tettheter, ved ulike vanninnhold og med opptil 90 dagers lagringstid. De konkluderer med at svelletrykket for en komprimert leire, spesielt ved høy tetthet, øker med lagringstiden til den når en maksimalverdi og deretter synker gradvis til omtrent den opprinnelige verdi etter 20 dager (se fig. 2.12). Svelling viser omtrent samme tendens. De hevder at to forhold virker mot hverandre. På den ene siden virker dannelsen av bindinger mellom partiklene til å redusere svelleevnen, mens på den andre siden har jordartens sug en tendens til å øke med tiden, noe som vil øke svelleevnen.

Forutsetningen for alle disse forsøkene er at prøvene lagres slik at enhver uttørking unngås. Uttørking vil medføre sterkere konsolidering og høyere svelleevne.

De viktigste variable under forsøket er type væske som tilsettes, tilgang på væske, ionekonsentrasjon, temperatur, belastning og tid.

Sorochan (1970) har undersøkt hvordan prosent svelling varierer med forskjellige væsketyper. Han finner klar sammenheng mellom svelling og væskens dielektrisitetskonstant.

181. Om de forskellige former for vækst

Det vil gaa en visse tid mellem begyndelsen af vækstprocessen og
 udviklingen. I naturen vil det på samme måde kunne gaa en
 tid fra en flytning til en anden, som for eksempel fra
 en sø til en anden. Det vil sige, at der vil være en
 periode, hvor der ikke sker noget. Dette er det, som
 kaldes den latente periode. Den latente periode kan
 være af varierende længde, og den kan endda være af
 ubegrænset længde. Dette er det, som kaldes den
 latente periode. Den latente periode kan være af
 varierende længde, og den kan endda være af
 ubegrænset længde. Dette er det, som kaldes den
 latente periode.

Kasell og Baker (1917) har undersøgt den latente periode
 for udviklingen af forskellige former for vækst. De
 har fundet, at den latente periode kan være af
 varierende længde, og den kan endda være af
 ubegrænset længde. Dette er det, som kaldes den
 latente periode. Den latente periode kan være af
 varierende længde, og den kan endda være af
 ubegrænset længde. Dette er det, som kaldes den
 latente periode. Den latente periode kan være af
 varierende længde, og den kan endda være af
 ubegrænset længde. Dette er det, som kaldes den
 latente periode.

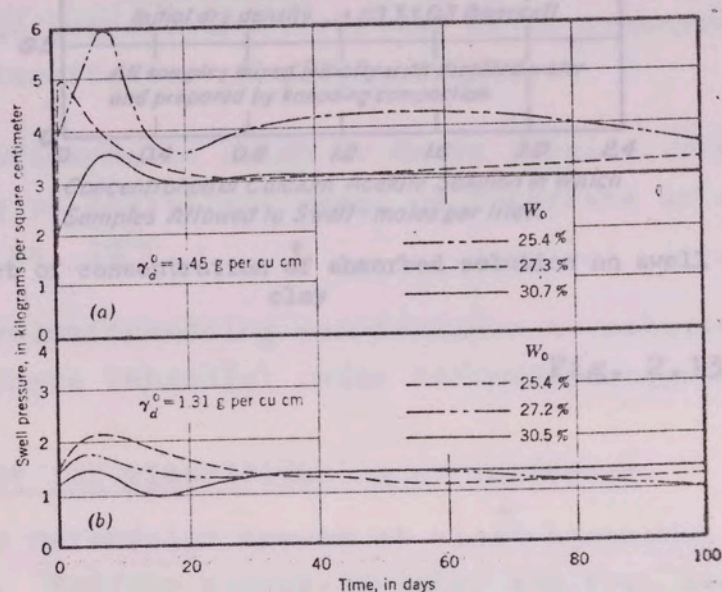
Forståelsen for alle disse forskelligheder er at
 alle de enkelte former for vækst er af
 forskellige længder. Dette er det, som kaldes den
 latente periode.

De vigtigste variabler under forsket er type vækst som
 findes, ligesom på vækst, ionkoncentration, temperatur, befrugtning og
 tid.

Gerchow (1970) har undersøgt hvordan procent vækst
 med forskellige væksttyper. Han finder klar sammenhæng mellem
 vækst og vækstens differentialkoefficient.

DC	1,9	5,1	7,3	21,5	33,7	41,2	58,5	81
Expansion %	1,5	7,5	23	30,5	36	38,5	40	47

En ser av tabellen at vann (med DC = 81) ligger meget høyt sammenlignet med andre væsker. Normalt er det vann en jordart kommer i kontakt med. Med liten vanntilgang vil det virke begrensende på svellingen.



SWELL PRESSURE VERSUS AGING

Fig. 2.12.

Betydningen av ionekonsentrasjonen i vannet er bl.a. undersøkt av Seed, Mitchell og Chan (1962). De fant at svellingen var størst for destillert vann og avtok med økende ionekonsentrasjon som vist i fig. 2.13. Dette er som en skulle vente ut fra osmoseteori.

Innflytelsen fra temperatur er en del undersøkt. Det er kjent at vannets viskositet vil avta med økende temperatur. Flytegrensen synes å avta med økende temperatur under forsøket (se fig. 2.14).

Expansion %	1,5	7,5	23	30,5	36	38,5	40	47
DC	1,9	5,1	7,3	21,5	33,7	41,2	58,5	81

En ser av tabellen at vann (med DC = 81) ligger meget høyt sammenlignet med andre væsker. Normalt er det vann en jordart kommer i kontakt med. Med liten vannføring vil det virke begrensende på sveilingen.

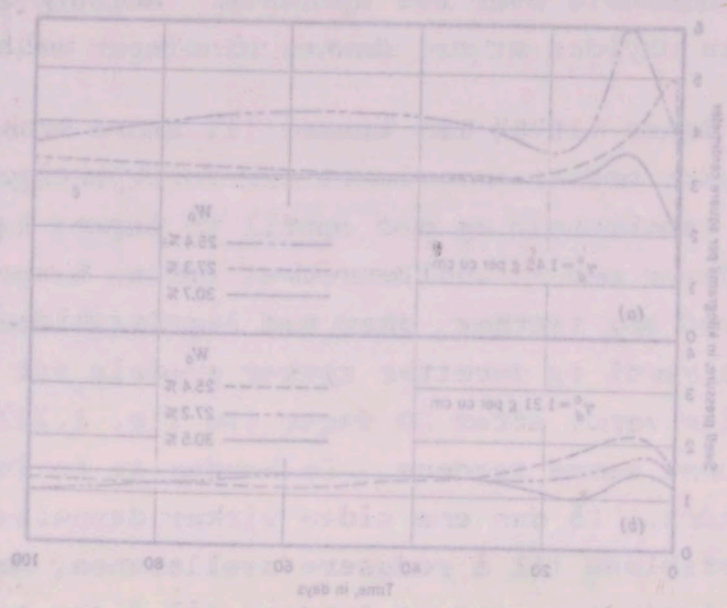
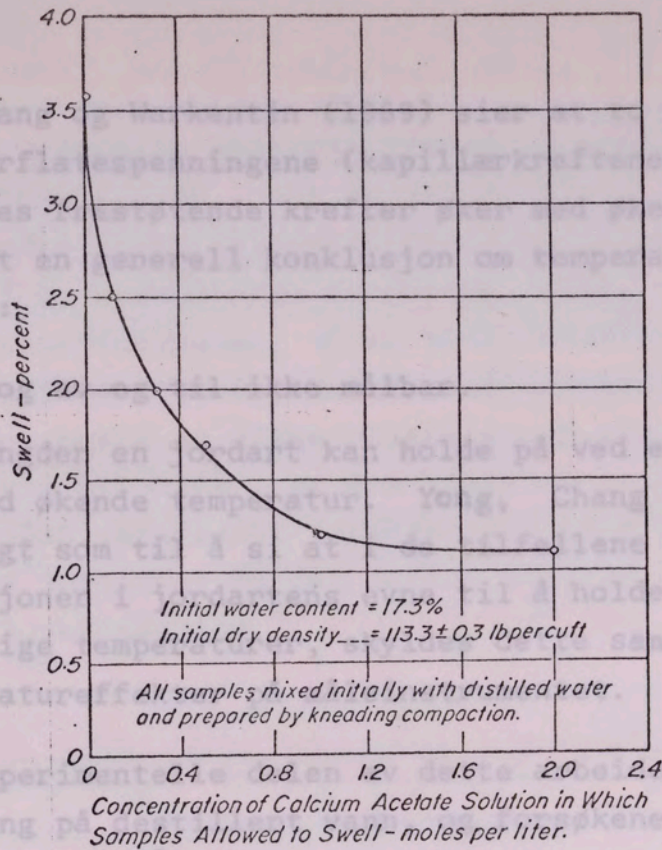


Fig. 2.12.

Betydningen av ionekonsentrasjonen i vannet er bl.a. undersøkt av Seed, Mitchell og Chan (1962). De fant at sveilingen var størst for destillert vann og øvde med økende ionekonsentrasjon som vist i fig. 2.13. Dette er som en skulle vente ut fra osmose teori.

Innflytelsen fra temperatur er en del undersøkt. Det er kjent at vannets viskositet vil økte med økende temperatur. Flytegrensen synes å økte med økende temperatur under forsøket (se fig. 2.14).

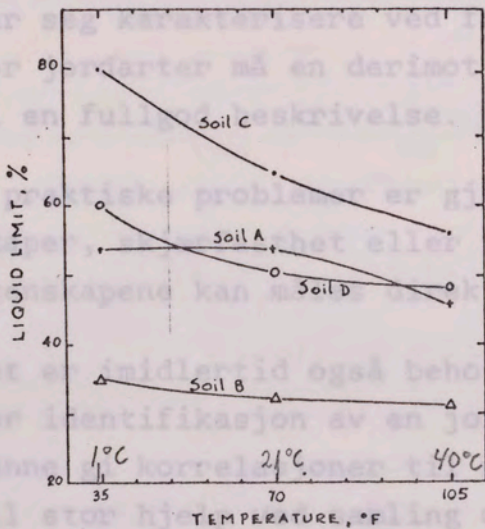


Effect of concentration of absorbed solution on swell of sandy clay

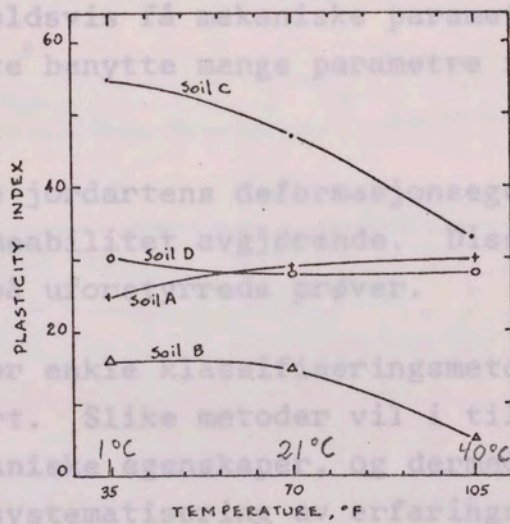
Fig. 2.13.

2.4. Metoder for klassifisering av jordarter.

All bruk av materialer krever et visst kjenskap til deres egenskaper. Vanlige byggematerialer som tre, stål, betong etc.



Effect of temperature on liquid limit.



Effect of temperature on plasticity index.

Fig. 2.14. (Etter Laguros 1969)

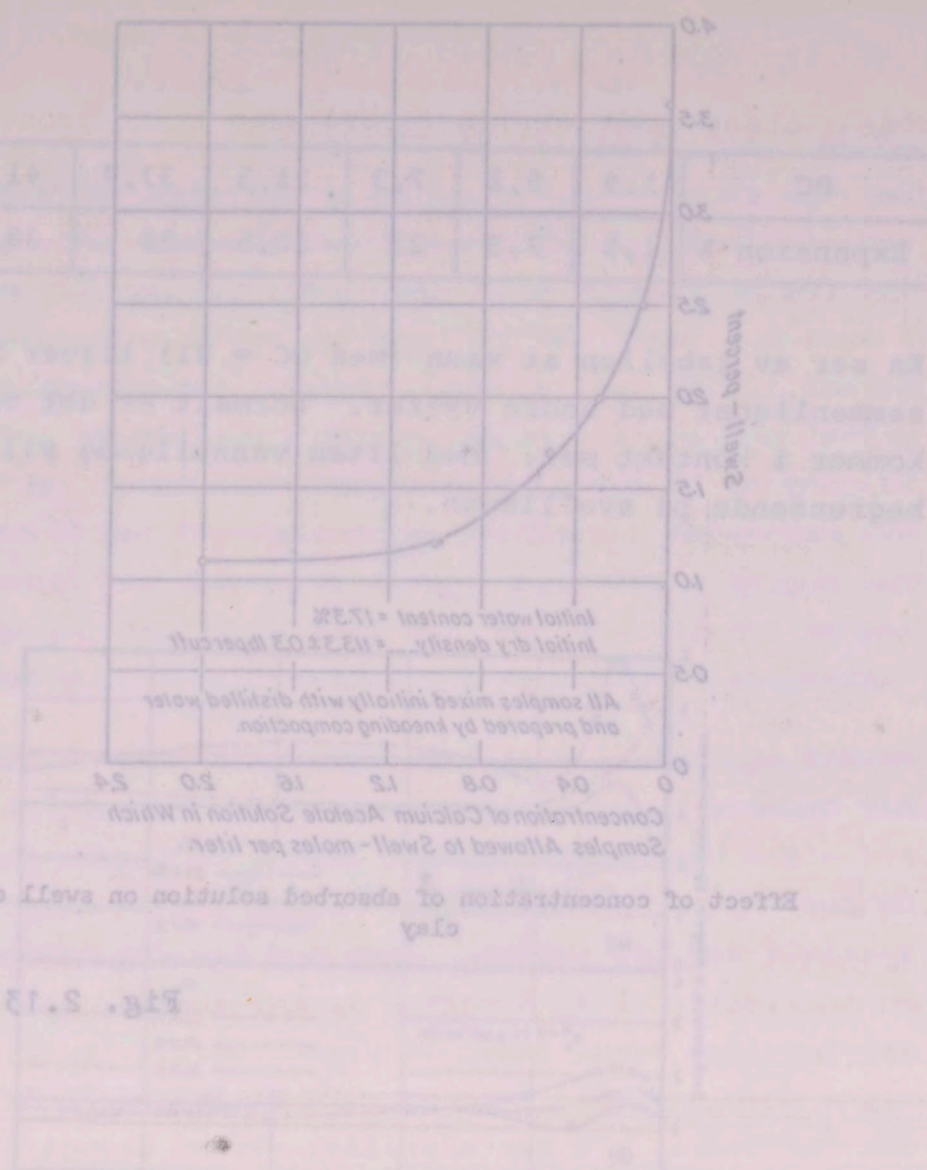


Fig. 2.13

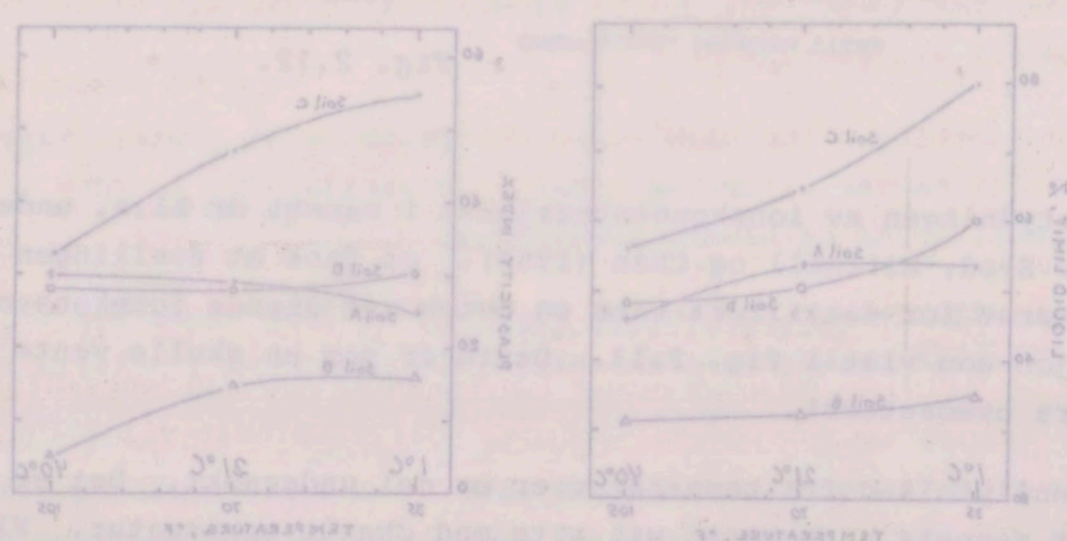


Fig. 2.14 (After Lagarias 1969)

Yong, Chang og Warkentin (1969) sier at to prosesser kommer inn. Overflatespenningene (kapillærkreftene) vil synke, mens partiklenes frastøtende krefter øker med økende temperatur. De sier at en generell konklusjon om temperatureffekten blir at den er:

- a) Liten og av og til ikke målbar.
- b) Vannmengden en jordart kan holde på ved et bestemt sug avtar med økende temperatur. Yong, Chang og Warkentin går så langt som til å si at i de tilfellene det er målt store variasjoner i jordartens evne til å holde på vann ved forskjellige temperaturer, skyldes dette sannsynligvis temperatureffekter på måleinstrumentet.

I den eksperimentelle delen av dette arbeide er det benyttet fri tilgang på destillert vann, og forsøkene er utført ved temperatur ca. 20°C.

En prøves volumforandring som funksjon av belastning og tid vil bli nærmere behandlet under deformasjonsegenskaper.

2.4. Metoder for klassifisering av jordarter.

All bruk av materialer krever et visst kjennskap til deres egenskaper. Vanlige byggematerialer som tre, stål, betong etc. lar seg karakterisere ved forholdsvis få mekaniske parametre. For jordarter må en derimot ofte benytte mange parametre for å gi en fullgod beskrivelse.

I praktiske problemer er gjerne jordartens deformasjonsegenskaper, skjærfasthet eller permeabilitet avgjørende. Disse egenskapene kan måles direkte på uforstyrrede prøver.

Det er imidlertid også behov for enkle klassifiseringsmetoder for identifikasjon av en jordart. Slike metoder vil i tillegg kunne gi korrelasjoner til mekaniske egenskaper, og dermed være til stor hjelp ved samling og systematisering av erfaringsdata.

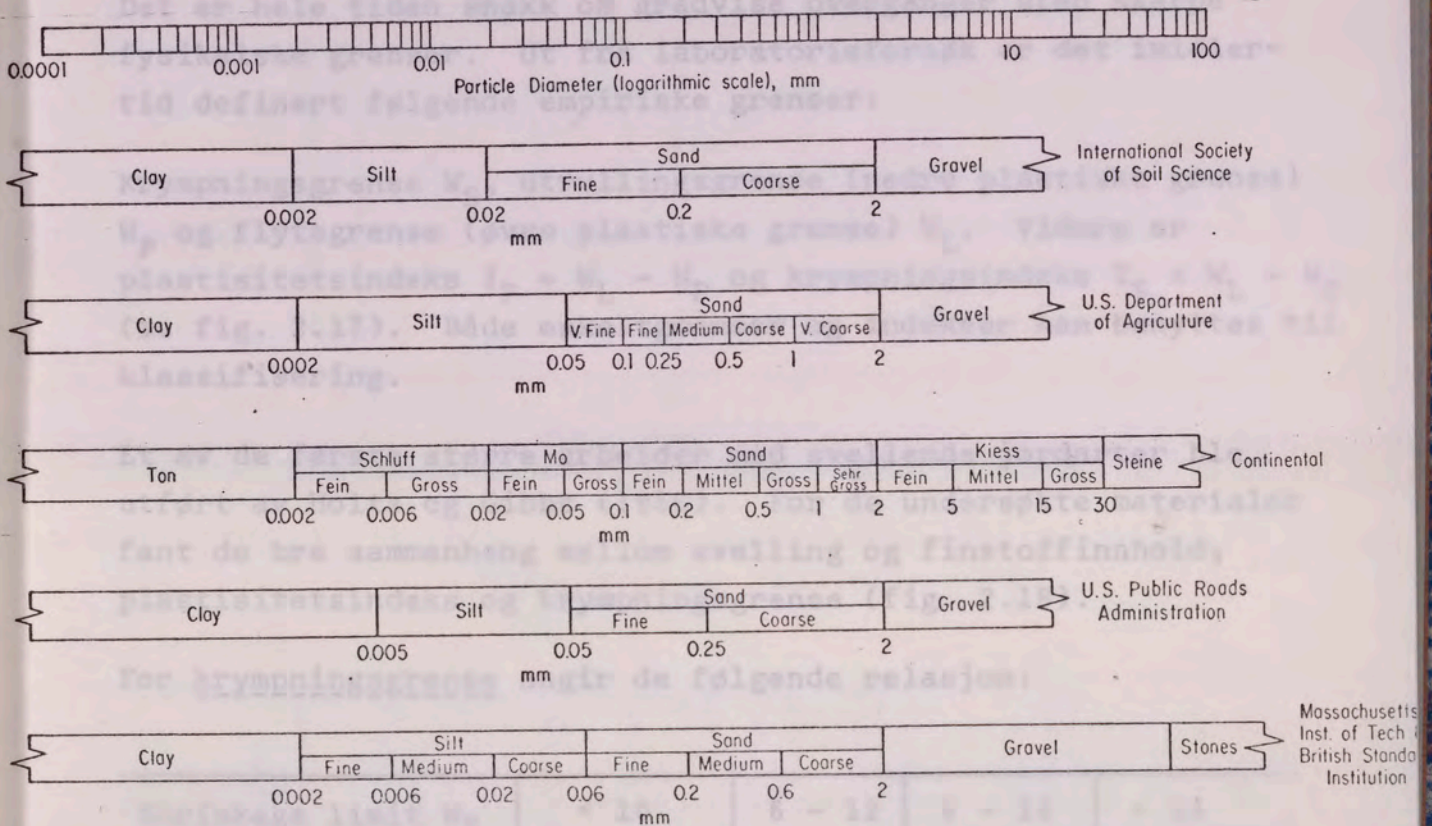
Yng. Chang og Warrentin (1933) viser at to processer kommer inn. Overflatespenningene (kapillareffekten) vil være større i partiklene fra større kornstørrelser (kapillareffekten) og mindre i de mindre kornstørrelser (kapillareffekten). De viser at en generell konklusjon om temperaturer kan trekkes at den er: ...

a) Liten og av til ikke måltid
 b) Vannmengden er for stort sammenlignet på ved et bestemt sug av-
 tar med økende temperatur. Yng. Chang og Warrentin gir
 så langt som til å si at i de tilfelle der er en slik store
 variasjoner i jordartene er det å holde på vann ved for-
 skjellige temperaturer, skyldes dette sammenhengende
 temperaturer og ikke på måltid.

I den eksperimentelle delen av dette arbeid er det benyttet
 fri tilgang på destillert vann og forordene er utvirket ved
 temperatur ca. 20°C.
 En prøves volumforandring som funksjon av belastning og tid
 vil bli nærmere behandlet under dehydrasjonsprosesser.
 2.4. Metoder for klassifisering av jordarter.

All bruk av statistiske metoder i vitenskapsforskning til deres
 egenskaper. Vanlige pyrometriske metoder som for still, betong etc.
 for karakterisering ved forskjellige temperaturer, etc.
 For jordarter er en del av de prøver som er tatt
 i et forsøk med å karakterisere ved forskjellige temperaturer
 gi en fullgod beskrivelse.
 I praktiske forhold er det jordartens dehydrasjons-
 skaper, skulpturer eller permeabilitet avhengig av disse
 egenskapene kan måles direkte på utvalgte prøver
 Det er imidlertid også behov for enkle klassifiseringsmetoder
 for identifikasjon av en jordart. Slike metoder vil i tillegg
 kunne gi korrelasjoner til tekniske egenskaper og dermed være
 til stor hjelp ved anlegg og avretting av anlegg og dermed være
 til stor hjelp ved anlegg og avretting av anlegg og dermed være

De fleste generelle systemer bygger på kornfordeling. Det er flere skalaer i bruk, noen av dem er vist i fig. 2.15. Den siste er mest brukt av geoteknikere og ingeniørgeologer i Norden. I de grovkornige jordarter (grus, sand) hvor gravitasjonskreftene dominerer, er en slik inndeling relevant. I de finkornige jordarter dominerer overflatekreftene. Siden finstoffet kan bestå av ulike mineraler (f.eks. kaolin, illitt eller montmorillonitt), er det klart at leirer med samme kornfordeling kan være svært forskjellige på alle andre måter. I finkornige jordarter må det derfor utføres undersøkelser i tillegg til kornfordeling.



Principal Particle-Size Scales

Fig. 2.15.

For å skille mellom jordarter innen en gruppe, kan en enten sette opp en stadig finere underinndeling eller benytte en numerisk verdi fra et generelt system. Det siste må anses som det beste for å unngå uklarheter (Terzaghi og Peck 1967).

De fleste generelle systemer bygger på kornfordeling. Det er flere skaler i bruk, noen av dem er vist i fig. 2.15. Den siste er mest brukt av geoteknikere og ingeniørologer i Norden. I de grovkornige jordarter (grus, sand) hvor gravita- sjonskreftene dominerer, er en slik inndeling relevant. I de finkornige jordarter dominerer overflatekreftene. Siden fin- stoffet kan bestå av ulike mineraler (f.eks. kaolin, illitt eller montmorillonitt), er det klart at leirer med samme korn- fordeling kan være svært forskjellige på alle andre måter. I finkornige jordarter må det derfor utføres undersøkelser i til- legg til kornfordeling.

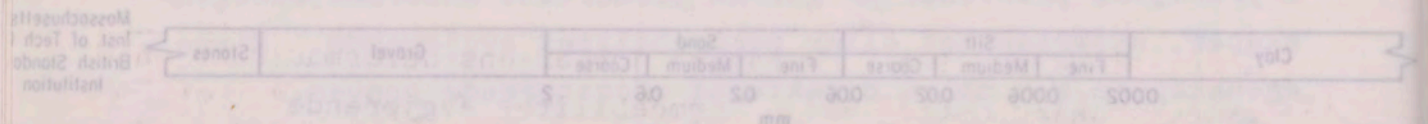
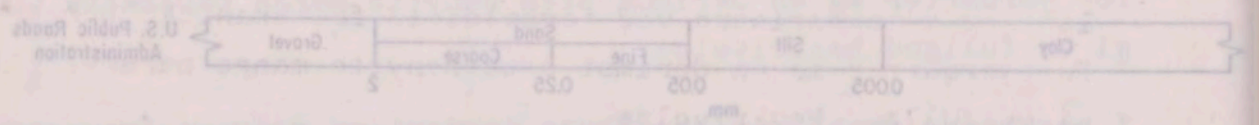
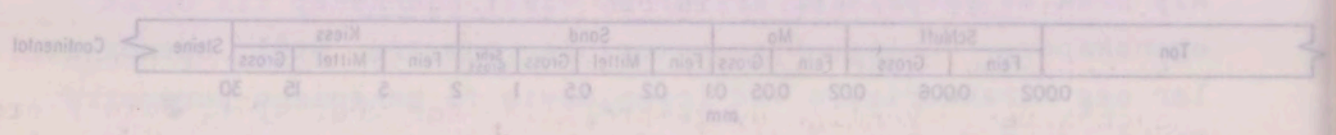
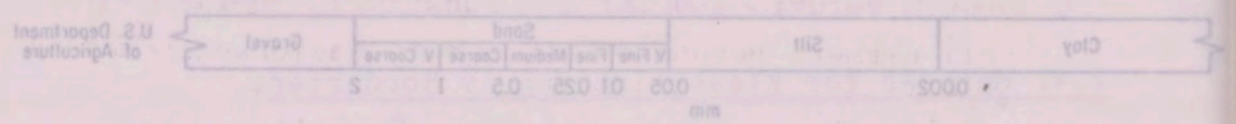
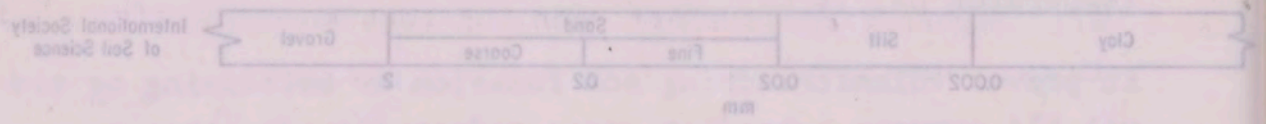
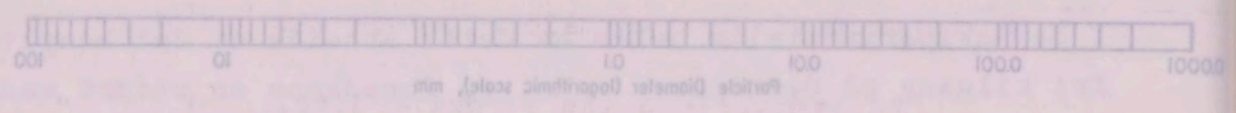


Fig. 2.15. Principal Particle-Size Scales

For å skille mellom jordarter innen en gruppe, kan en enten sette opp en stadig finere underinndeling eller benytte en numerisk verdi for et generelt system. Det siste må anses som det beste for å unngå uklareheter (Terzaghi og Peck 1967).

I tillegg til de generelle klassifiseringssystemer er det en rekke, mer eller mindre lokale, spesielle systemer i bruk. I disse måles det egenskaper som er av interesse for spesielle problemer. Til klassifisering av svellende jordarter er konsistensgrenser, svelling, svelletrykk og mineralogi mest brukt.

Konsistensgrenser.

Ved å tilsette eller fjerne vann fra en leirprøve vil den forandre konsistens. En tørr leire som tilsettes vann, vil gå fra hard via smuldrende til plastisk og flytende som vist på fig. 2.16.

Det er hele tiden snakk om gradvise overganger uten skarpe fysikalske grenser. Ut fra laboratorieforsøk er det imidlertid definert følgende empiriske grenser:

Krympningsgrense W_S , utrullingsgrense (nedre plastiske grense) W_P og flytegrense (øvre plastiske grense) W_L . Videre er plastisitetsindeks $I_P = W_L - W_P$ og krympningsindeks $I_S = W_L - W_S$ (se fig. 2.17). Både enkeltgrenser og indekser kan benyttes til klassifisering.

Et av de første større arbeider med svellende jordarter ble utført av Holtz og Gibbs (1956). For de undersøkte materialer fant de bra sammenheng mellom svelling og finstoffinnhold, plastisitetsindeks og krympningsgrense (fig. 2.18).

For krympningsgrense angir de følgende relasjon:

Shrinkage limit W_S	< 10	6 - 12	8 - 18	> 13
Degree of expansion	Very high	High	Medium	Low

Altmeyer (1956) gir følgende skala:

Shrinkage limit W_S	< 10	10 - 12	> 12
Volume change	Critical	Marginal	Noncritical

Udførelse af de generelle klassifikationsregler er det en
 ønske, der efter mindre lokale, statistiske undersøgelser
 i disse sager der angik som statistisk undersøgelse
 af klassifikation af sagerne, som er af interesse for specialis-
 konsistensregler, evling, svejlsky og af andre af den
 karakter, svejlsky og af andre af den karakter.

Klassifikationsregler

Med de følgende regler eller former vann fra en lejrprobe vil den
 foretagne undersøgelse af lejrproben vil
 foretagne konsistens. En form lejr probe konsistens vil
 på den måde vil angivende til plastisk og flytningssvigt
 på fig. 2, 10.

Det er hele tiden snakk om gradvise overgangen uden skarpe
 grænser. Ut fra laboratoriske undersøgelser
 af de følgende delene af konsistensregler:

Krympningsgrænse W_p (nederste plastiske grænse)
 og flytning (øvre plastiske grænse) W_f (Videregrense)
 af krympningsgrænse $W_p - W_f$ af krympningsgrænse $W_p - W_f$
 af krympningsgrænse $W_p - W_f$ af krympningsgrænse $W_p - W_f$
 af krympningsgrænse $W_p - W_f$ af krympningsgrænse $W_p - W_f$

Et af de første stykke arbejder med svejlsky forfatter til
 af Hertz og Gille (1925). For de undersøgte materialer
 af Hertz og Gille (1925). For de undersøgte materialer
 af Hertz og Gille (1925). For de undersøgte materialer

For krympningsgrænse angir de følgende relation:

Very High	High	Medium	Low
Very High	High	Medium	Low
Very High	High	Medium	Low
Very High	High	Medium	Low

af Hertz og Gille (1925) er følgende skala:

Very High	High	Medium	Low
Very High	High	Medium	Low
Very High	High	Medium	Low
Very High	High	Medium	Low

Division of Tech
 nical Studies
 Institution

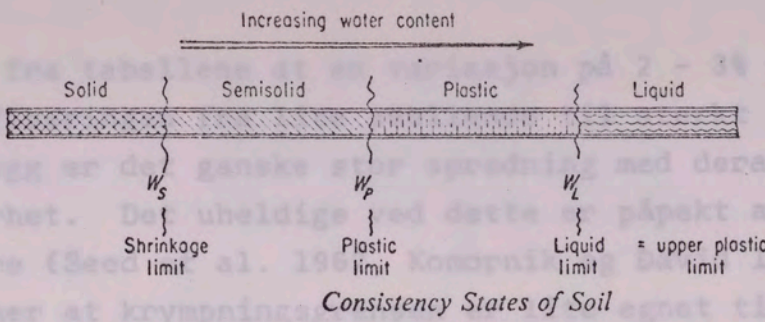


Fig. 2.16.

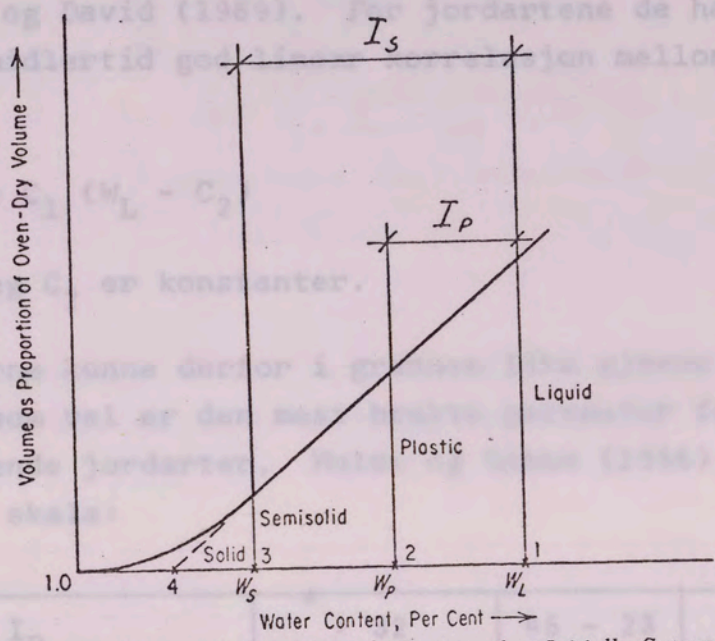
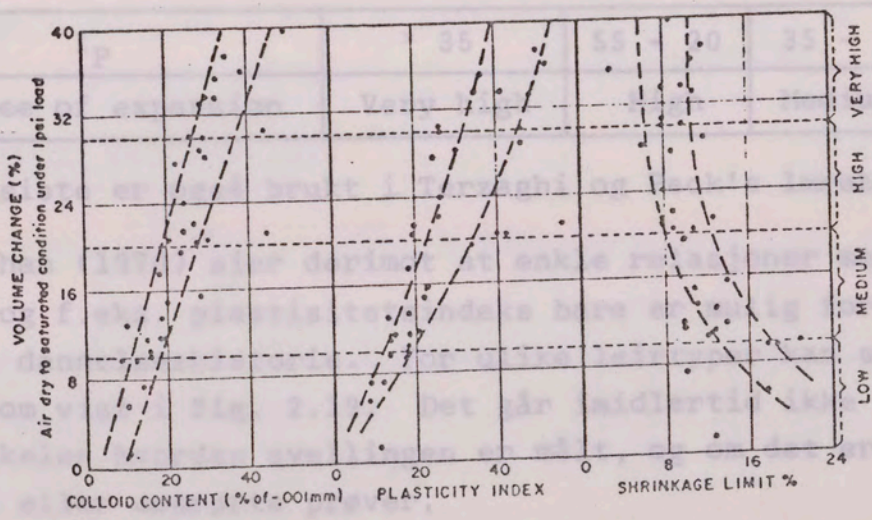


Fig. 2.17.

(Etter Yong og Warkentin 1966)



—RELATION OF VOLUME CHANGE TO COLLOID CONTENT, PLASTICITY INDEX, AND SHRINKAGE LIMIT

Fig. 2.18.

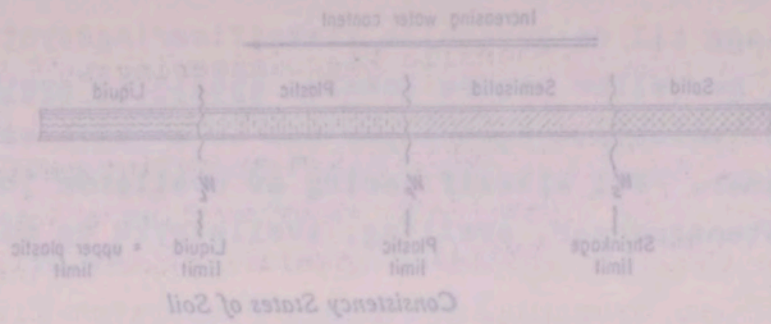
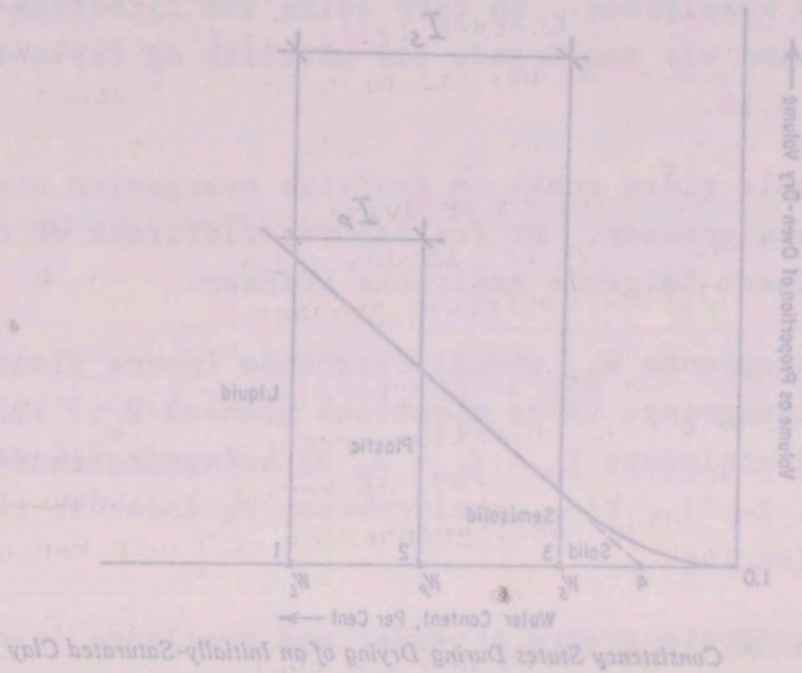


Fig. 2.16.



(Etter Yong of Warkentin 1966)
Fig. 2.17.

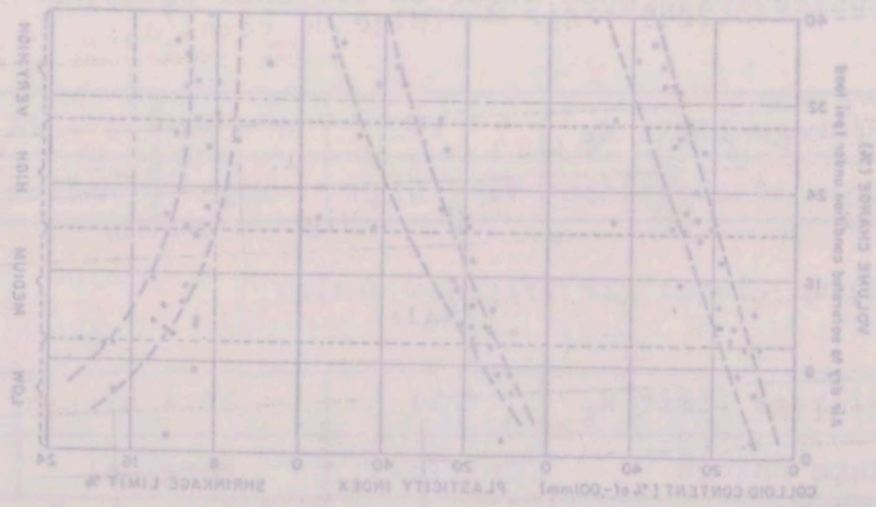


Fig. 2.18.

En ser fra tabellene at en variasjon på 2 - 3% vil forandre klassifiseringen fra lite svellende til sterkt svellende. I tillegg er det ganske stor spredning med derav følgende usikkerhet. Det uheldige ved dette er påpekt av flere senere forskere (Seed et al. 1962, Komornik og David 1969 og andre), som mener at krympningsgrensen er lite egnet til klassifisering.

Flytegrense er brukt som mål for potensiell svelleevne av Komornik og David (1969). For jordartene de har undersøkt er det imidlertid god lineær korrelasjon mellom I_P og W_L på formen

$$I_P = C_1 (W_L - C_2)$$

hvor C_1 og C_2 er konstanter.

Forfatterne kunne derfor i grunnen like gjerne brukt plastisitetsindeks, som vel er den mest brukte parameter for klassifisering av svellende jordarter. Holtz og Gibbs (1956) setter opp følgende skala:

I_P	> 32	45 - 23	34 - 12	< 12
Degree of expansion	Very high	High	Medium	Low

Seed et al. (1962) setter opp en skala som er temmelig lik:

I_P	> 35	55 - 20	35 - 10	15 - 0
Degree of expansion	Very high	High	Medium	Low

(Den siste er også brukt i Terzaghi og Peck's lærebok fra 1967).

Sorochan (1970) sier derimot at enkle relasjoner mellom svelleevne og f.eks. plastisitetsindeks bare er mulig for leirer med samme dannelseshistorie. For ulike leirtyper kan sammenhengen bli som vist i fig. 2.19. Det går imidlertid ikke frem av artikkelen hvordan svellingen er målt, og om det er brukt omrørte eller uomrørte prøver.

En ser fra tabellen at en variation på 1 - 34 vil forandre klassifiseringen fra lite sveilende til sterk sveilende. I tillegg er det ganske stor spredning med denne klassifiseringen. Det utvilsomt ved dette er påpekt av flere senere forskere (Seed et al. 1957, Kosornik og David 1958 og andre), som mener at krysningstypen er lite egnet til klassifisering.

Forskningene er påpekt som mål for potensiell sveilende av Kosornik og David (1957). For jordartene de har undersøkt er det imidlertid god innvirkning mellom I_p og W_L på formen

$$I_p = C_1(W_L/C_2)^{C_3}$$

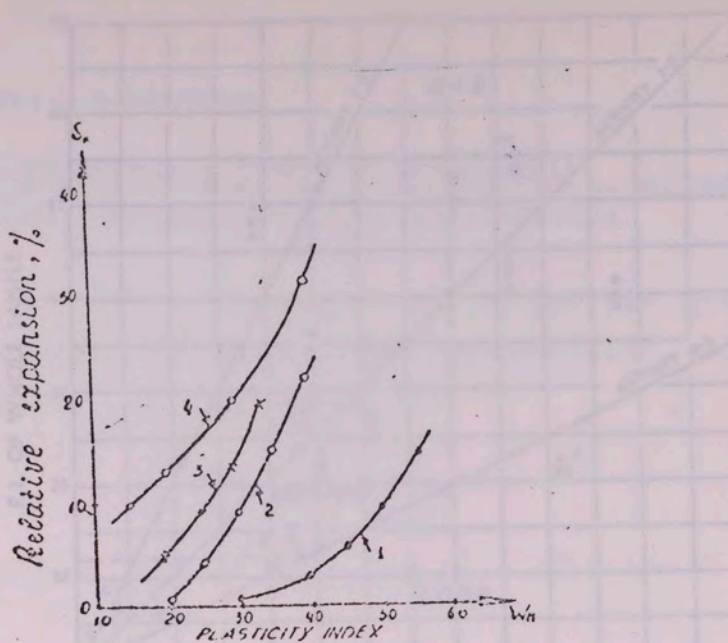
hvor C_1 og C_2 er konstanter, og C_3 er en funksjon av jordartene. Denne funksjonen er gitt i tabellen nedenfor, som vel er den mest brukte parameter for klassifisering av sveilende jordarter. Holtz og Gibbs (1956) setter opp følgende skalat:

Degree of expansion	Very high	High	Medium	Low	I_p	
					35 - 45	10 - 15

Seed et al. (1957) setter opp en skala som er temmelig lik:

Degree of expansion	Very high	High	Medium	Low	I_p	
					35 - 45	10 - 15

(Debetatort og selskapet i forbindelse med bok fra 1957). Forskningen er basert på enkelte prøver som er tatt ut av samme område. Det er imidlertid ikke frem å si at disse resultatene er egnet til bruk som mål for klassifisering av jordarter. Dette er imidlertid ikke frem å si at disse resultatene er egnet til bruk som mål for klassifisering av jordarter. Dette er imidlertid ikke frem å si at disse resultatene er egnet til bruk som mål for klassifisering av jordarter.



Relation between relative expansion and plasticity index.

Fig. 2.19.

Krympningsindeks er tidlig nevnt som en mulig klassifiseringsmetode, og den er anvendt av Ranganatham og Satyanarayana (1965).

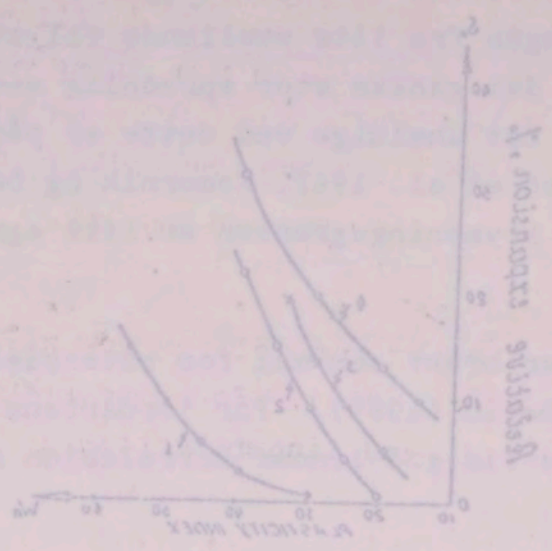
Shrinkage index I_S	> 60	60 - 30	30 - 20	20 - 0
Swelling potential	Very high	High	Medium	Low

Plastisitets- og krympningsindeks er ofte kombinert med finstoffinnhold, vanligvis % mindre enn 2 μm . Kornfordelingen alene er som nevnt forholdsvis lite opplysende, siden finstoffet kan bestå av mineraler med helt forskjellige egenskaper.

De Bruyn, Collins og Williams (1957) baserer seg direkte på aktivitet definert som

$$A = \frac{I_P}{\% < 2 \mu\text{m}} \quad (\text{fig. 2.20}).$$

Van der Merwe (1964) bruker samme diagram, fig. 2.21, men med en annen klasseinndeling.



Relation between relative expansion and plasticity index.

Fig. 2.19.

Krympningsindeks er tidligere nevnt som en viktig klassifiseringsmetode, og den er anvendt av Rangnatham og Satyanarayana (1955).

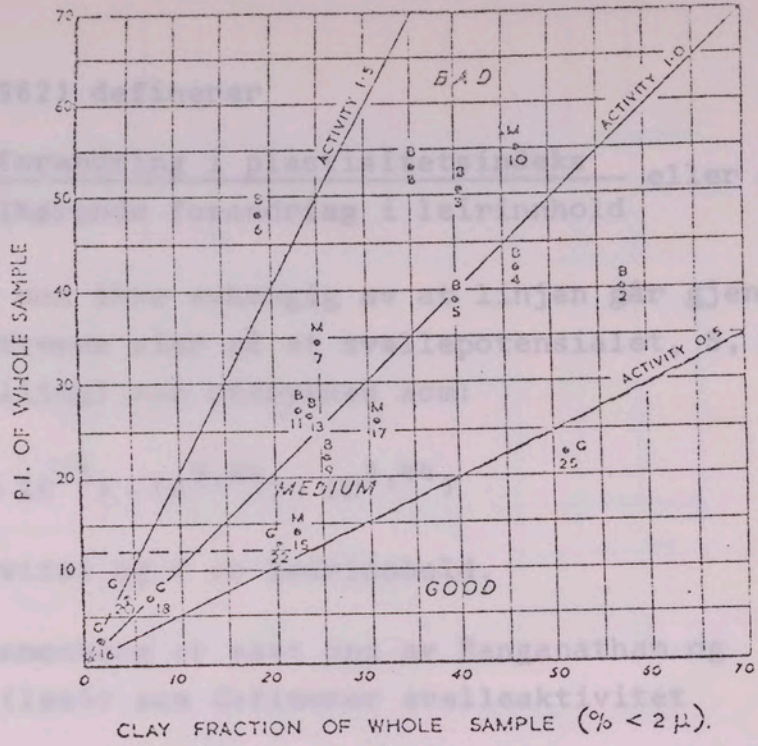
Shrinkage index I _s	> 60	30 - 60	0 - 30	20 - 0
Swelling potential	Very high	High	Medium	Low

Plastisitet- og krympningsindeks er ofte kombinert med fænstoffinnhold, vanligvis i mindre enn 2 µm. Kornfordelingen alene er som nevnt forholdsvis lite opplysende, siden fænstoffet kan bestå av mineraler med helt forskjellige egenskaper.

De Bruyn, Collins og Williams (1957) baserer seg direkte på aktivitet definert som

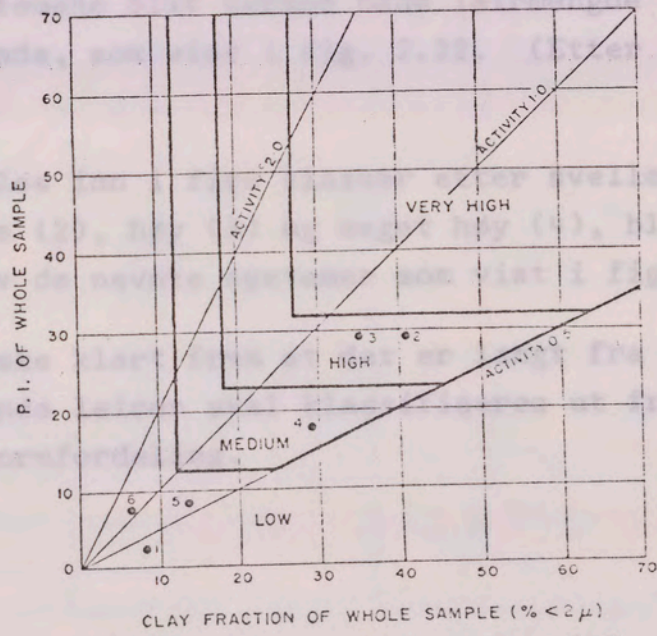
$$A = \frac{I_p}{\# < 2 \mu m}$$

Van der Merwe (1960) bruker samme diagram, fig. 2.21, men med en annen klassifisering.



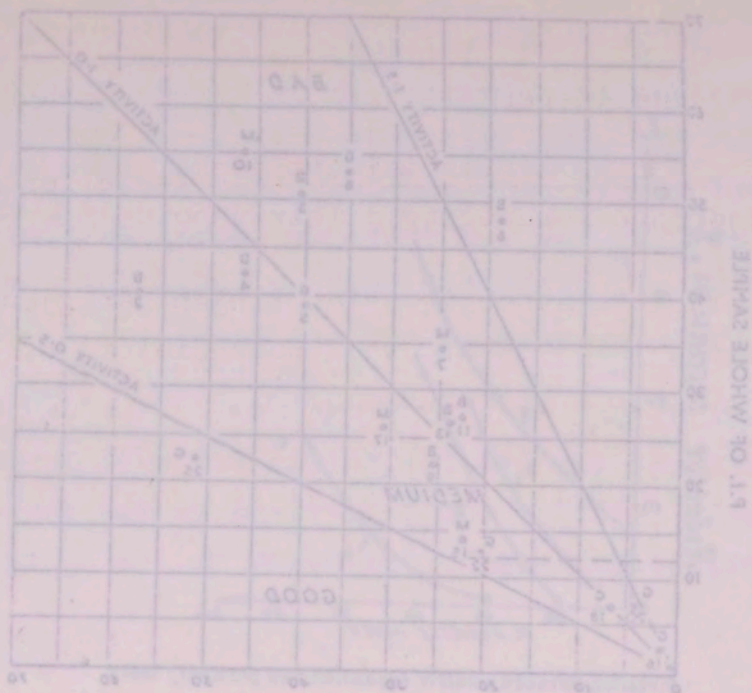
Activity diagram derived by plotting plasticity index against clay content. (B = bad, M = medium, G = good).

Fig. 2.20.



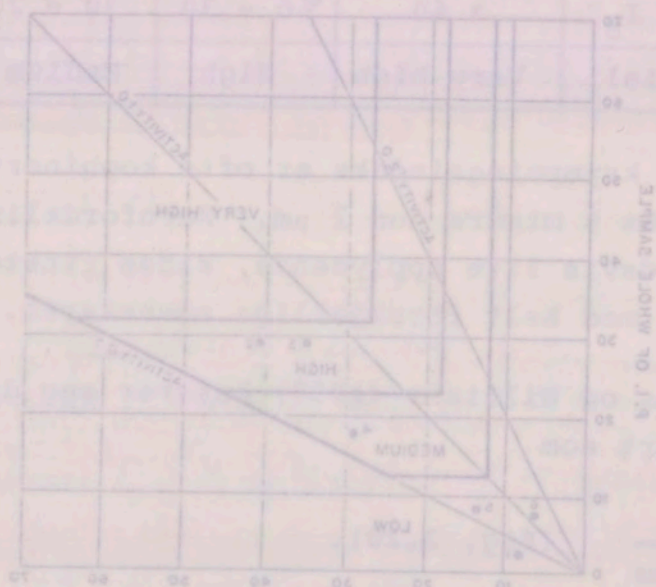
Determination of potential expansiveness of soils

Fig. 2.21.



Activity diagram derived by plotting plasticity index against clay content.
 (B=bad, M=medium, G=good).
 CLAY FRACTION OF WHOLE SAMPLE ($\phi < 2\mu$)

Fig. 2.20.



Determination of potential expansiveness of soils.
 CLAY FRACTION OF WHOLE SAMPLE ($\phi < 2\mu$)

Fig. 2.21.

Seed et al. (1962) definerer

$$\text{Aktivitet} = \frac{\text{Forandring i plastisitetsindeks}}{\text{Tilhørende forandring i leirinnhold}} \quad \text{eller} \quad A = \frac{\Delta I_P}{\Delta C}$$

(Som Skempton, men ikke avhengig av at linjen går gjennom origo). Forfatterne sier så at svellepotensialet, S , (se avsnittet om svelling) kan uttrykkes som:

$$S = (3,6 \cdot 10^{-5}) \cdot (A^{2,44}) \cdot (C^{3,44})$$

hvor A er aktivitet og C er leirinnhold.

En lignende sammenheng er satt opp av Ranganatham og Satyanarayana (1965) som definerer svelleaktivitet

$$SA = \frac{\text{Forandring i krympningsindeks}}{\text{Tilhørende forandring i leirinnhold}} \quad \text{eller} \quad SA = \frac{\Delta I_S}{\Delta C}$$

For svellepotensialet får de:

$$S = (4,57 \cdot 10^{-5}) \cdot (SA^{2,67}) \cdot (C^{3,44})$$

I de to siste systemene blir dermed både leirmengde og aktivitet avgjørende, som vist i fig. 2.22. (Etter Seed et al. 1962).

Dersom leirene deles inn i fire klasser etter svelleevne, liten (1), middels (2), høy (3) og meget høy (4), blir inndelingen i noen av de nevnte systemer som vist i fig. 2.23.

Det skulle gå ganske klart frem at det er langt fra enighet om hvordan svellende leirer skal klassifiseres ut fra konsistensgrenser og kornfordeling.

Sech et al. (1982) delinger

Arktivitet = $\frac{\text{Forebrning i klassifikationsarbejde}}{\text{Forebrning i klassifikationsarbejde}}$ eller A = $\frac{A}{A}$

(Som Skempton, men ikke syvende av et linje av skempton) Forfatterne sier at et sveilingsarbeid (se av- snittet om sveiling) kan uttrykkes som:

$$s = (3.6 \cdot 10^{-5}) \cdot (A \cdot C)^{0.4}$$

hvor A er aktivitet og C er leirinnhold.

En lignende sammenheng er satt opp av Rønnehaug og Sævi (1982) som delinger av sveilingsaktivitet

2A = $\frac{\text{Forebrning i krympningsarbeid}}{\text{Forebrning i krympningsarbeid}}$ eller 2A = $\frac{2A}{2A}$

for sveilingsarbeid (se av- snittet om sveiling)

$$s = (0.27 \cdot 10^{-5}) \cdot (2A \cdot C)^{0.4}$$

I de to siste avsnittene blir det diskutert om aktivitetssveiling, som vist i fig. 2.22 (etter Sech et al. 1982).

Person leirne deles inn i fire klasser etter sveilings- aktivitet (1), middels (2), og høy (3) og lav (4) (se av- snittet om aktivitetssveiling, som vist i fig. 2.22).

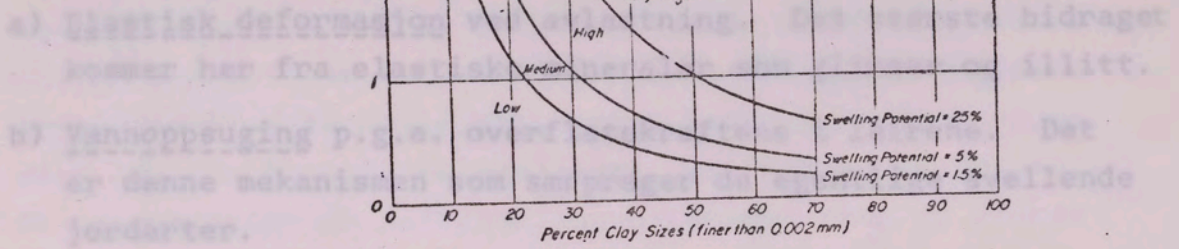
Det skulle være ønskelig å ha et lag for aktivitetssveiling og leirinnhold skal klassifiseres ut fra korn- størrelsen og aktivitetssveiling.

Svelling:

Svelling kan defineres som økningen i prosent av det opprinnelige volumet...

$$I_s = \frac{V - V_0}{V_0} \cdot 100\%$$

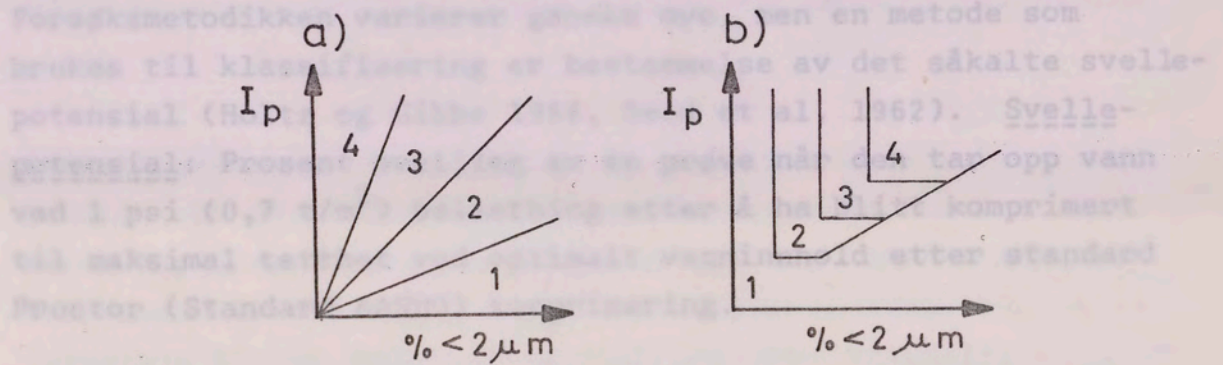
En jordart kan sveles...



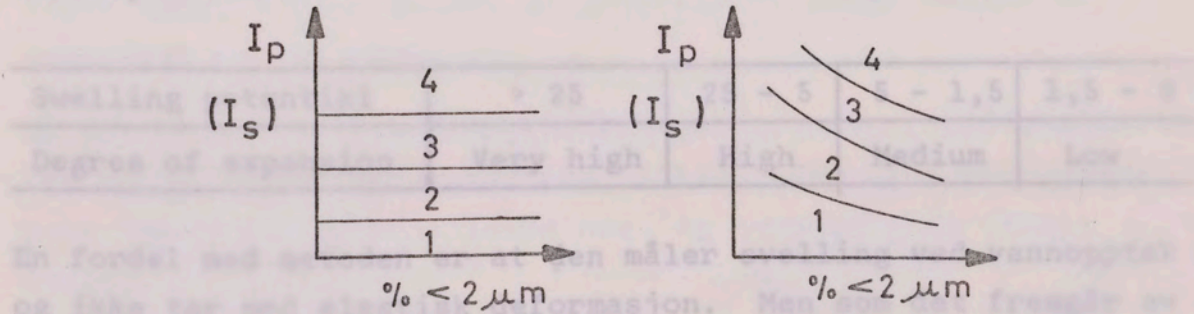
—CLASSIFICATION CHART FOR SWELLING POTENTIAL

Fig. 2.22.

Svellingforsøk kan grovt...

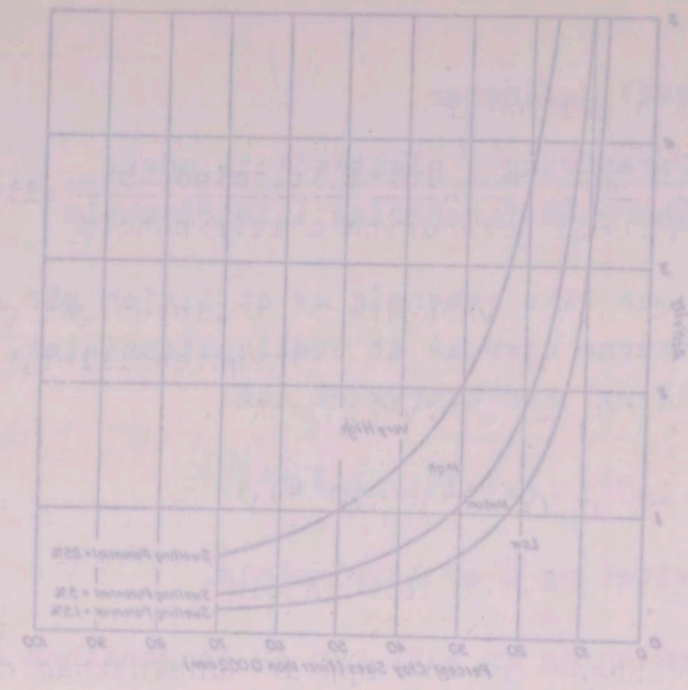


Ses et al. angir følgende klassifisering av jordarter etter svellingepotensial:



En fordel ved å måle svellingepotensial er at man måler vannopptak og ikke tar med elastisk deformasjon. Med...

Fig 2.23.



CLASSIFICATION CHART FOR SWELLING POTENTIAL

Fig. 5.22.

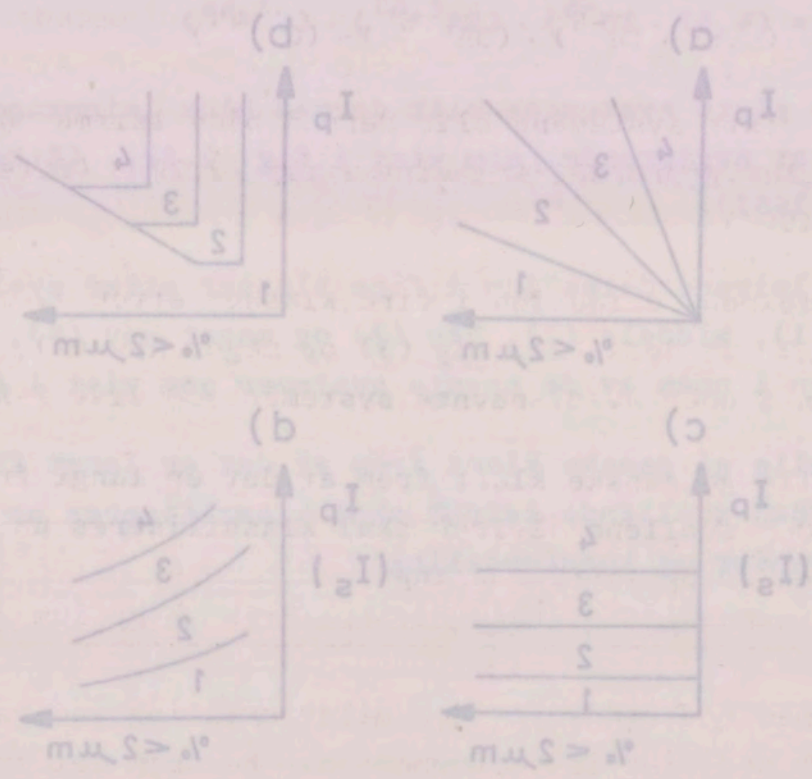


Fig. 5.23.

Svelling.

Svelling kan defineres som volumutvidelse uttrykt i prosent av det opprinnelige volum

$$(\epsilon = \frac{\Delta V}{V_0} \cdot 100\%)$$

En jordart kan svulle av minst to grunner:

- a) Elastisk deformasjon ved avlastning. Det største bidraget kommer her fra elastiske mineraler som glimmer og illitt.
- b) Vannoppsuging p.g.a. overflatekreftene i leirene. Det er denne mekanismen som særpreger de egentlige svellende jordarter.

Svelleforsøk kan grovt deles i to grupper. I den første gruppen fremstilles prøven ved komprimering (vanligvis dynamisk) med bestemt energi, komprimeringsutstyr og vanninnhold. Den komprimerte prøven plasseres i en prøvecelle hvor vann tilsettes og svelling p.g.a. vannopptak måles. Forsøksmetodikken varierer ganske mye, men en metode som brukes til klassifisering er bestemmelse av det såkalte svellepotensial (Holtz og Gibbs 1956, Seed et al. 1962). Svellepotensial: Prosent svelling av en prøve når den tar opp vann ved 1 psi (0,7 t/m²) belastning etter å ha blitt komprimert til maksimal tetthet ved optimalt vanninnhold etter standard Proctor (Standard AASHO) komprimering.

Seed et al. angir følgende klassifisering av jordarter etter svellepotensial:

Swelling potential	> 25	25 - 5	5 - 1,5	1,5 - 0
Degree of expansion	Very high	High	Medium	Low

En fordel med metoden er at den måler svelling ved vannopptak og ikke tar med elastisk deformasjon. Men som det fremgår av definisjonen, er prosedyren temmelig arbeidskrevende, bl.a.

Sveiling

Sveiling kan defineres som volumutvidelse uttrykt i prosent av det opprinnelige volum

$$e = \frac{\Delta V}{V_0} \cdot 100\%$$

En jordart kan sveiles av minst to grunner:

- a) Elastisk deformasjon ved avlastning. Det største bidraget kommer her fra elastiske rågraveler som glimrer og lignitt.
- b) Vannopptugging p.g.a. overskottskapillens i leirene. Der er denne mekanismen som uttrykker de egentlige sveilingene.

Sveilingstorsk kan grovt deles i to grupper. I den første gruppen fremstilles prøver ved komprimering (vanligvis dynamisk) med bestemt energi, komprimeringsutstyr og vanninnhold. Den komprimerte prøven plasseres i en prøveselle hvor vann tilsettes og sveiling p.g.a. vannopptugging måles. Foretaksmetodikkene varierer ganske mye, men en metode som brukes til klassifisering er: sammenligning av det såkalte sveilingspotensial (Holtz og Gibbs 1956, Seed et al. 1953). Sveilingspotensial: Prosent sveiling målt på prøver når den tar opp vann ved 1 gai (0,7 t/m²) belastning i et bestemt vanninnhold etter standard til maksimal tetthet ved oppbløtning (ASTM). Procent (Standard AASHTO) komprimering.

Seed et al. angir følgende klassifisering av jordarter etter sveilingspotensial:

Degree of expansion	Very high	High	Medium	Low
Sveiling pot.	> 25	15 - 25	5 - 15	1,5 - 5

En fordel med metoden er at den måler sveiling ved vannopptugging og ikke tar med elastisk deformasjon, men som det fremgår av definisjonen, er prosedyren temmelig arbeidskrevende, bl.a.

med bestemmelse av optimalt vanninnhold. Svellepotensialet slik det er definert her er korrelert med I_P og I_S (se forrige avsnitt).

I den andre gruppen svelleforsøk måles deformasjon ved avlastning f.eks. i ødometer. Disse forsøkene vil få med svelling både fra elastisk deformasjon og vannoppsuging. Terzaghi (1943) sier at svelling er den motsatte prosess av konsolidering, altså en økning av volum og vanninnhold i en mett jordart som er i kontakt med vann. Tolkning av svelleforsøk i ødometer vil derfor kunne foregå på samme måte som for konsolideringsforsøk. En vil ved slike forsøk få opplysninger om deformasjonsegenskaper over et større spenningsområde og kan derfor lettere overføre erfaringene til det aktuelle tilfelle.

Den mest enhetlige tolkningsmetodikk for ødometerforsøk er vel motstandsbegrepene som er utviklet av Janbu (1967, 1970). Disse er benyttet for å undersøke leirsonematerialenes deformasjonsegenskaper, og en skal komme nærmere inn på dem i avsnitt 6.3.

Svelletrykk.

Svelletrykk kan defineres som nødvendig trykk for å hindre volumutvidelse av en jordartsprøve som gis kontakt med vann. Svelletrykket vil bl.a. avhenge av forsøksprosedyren, og siden forsøkene kjøres forskjellig, kan det være vanskelig å sammenligne ulike forsøk. I litteraturen kan en også se svelletrykk oppgitt uten at det er spesifisert under hvilke betingelser det er målt.

Brekke behandler svelletrykksmålinger grundig i sin avhandling for den tekniske licentiatgrad (1963). Jeg skal derfor her bare forsøke å systematisere noe, og hovedsakelig omtale nyere forsøk.

Tre faktorer ser ut til å være avgjørende for hvor stort svelletrykk som mobiliseres i en prøve:

med bestemmelser av optimalt innhold i... slik det er definert her... (se forrige avsnitt).

I den andre gruppen sveiletrykk... lastning i eks. i... sveiling både fra elastisk deformasjon og... Texas (1943) sier at sveiling er... konsolidering, altså en tving... matter forbært som er i kontakt med vann... sveiletrykk i... måte som for konsolidering... få opplysninger om... spenningsområde og kan derfor... til det aktuelle tilfellet.

Den mest enkle... vel motstandsparameter som... disse er benyttet for... deformasjonsparametere og... i avsnitt 2.3.

Sveiletrykk

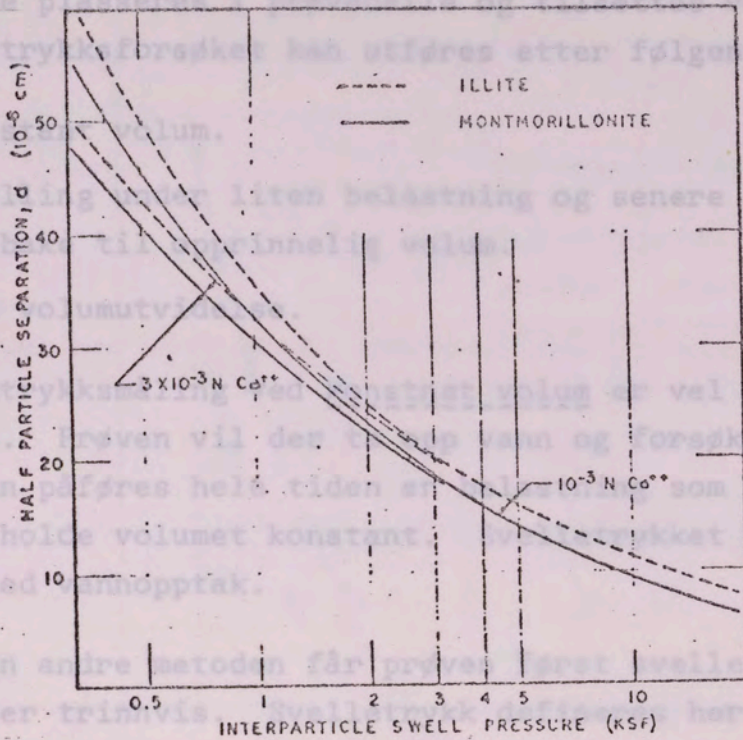
Sveiletrykk kan defineres som... volumetriske av en... Sveiletrykket vil bli... forskene kjennes... ligne ulike for... trykk oppsett... tinger det er...

Brake behandling... for den tekniske... hans forsøk... forsøk.

De faktorer som er til... sveiletrykk som... i en...

a) Frastøtende krefter mellom partiklene, P_s .

Disse kreftene vil øke med avtagende partikkelavstand, d , og kan, med en del antagelser, beregnes teoretisk. Fig. 2.24 viser resultater etter Nalezny og Li (1967).



Interparticle swell pressure vs particle separation for montmorillonite and illite for different electrolyte concentrations.

Fig. 2.24.

b) Tiltrekkende krefter mellom partiklene, P_i (fig. 2.8).

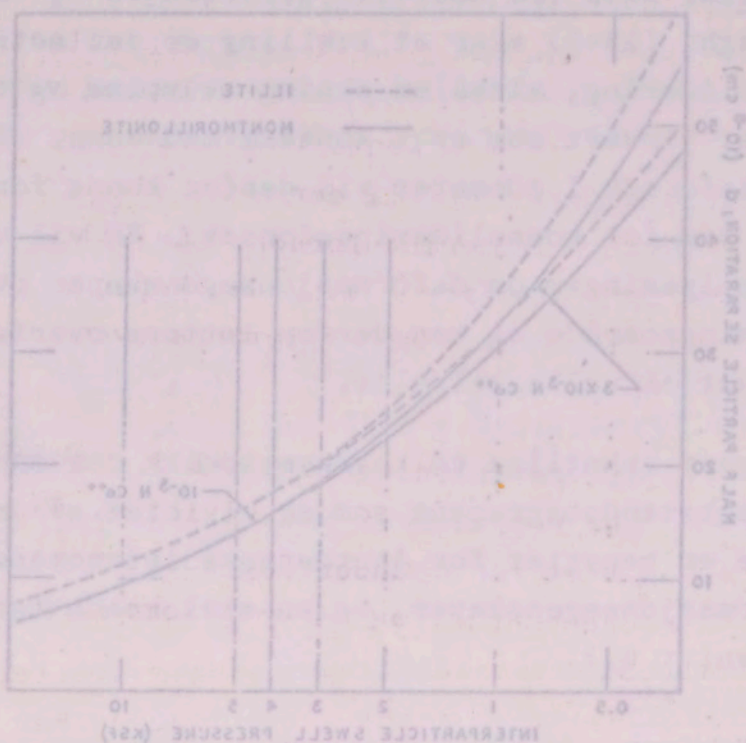
Fig. 2.25 viser resultater fra forsøk ved Geologisk Institutt. Dette er særlig bindinger mellom partikler, og de trenger til dels lang tid for å dannes. Disse kreftene kan hjelpe til å forklare hvorfor omrørte prøver sveller sterkere enn uomrørte. (Nalezny og Li 1967).

c) Strukturell ordning og orientering (uttrykt ved k).

Generelt vil svelletrykket P kunne uttrykkes som:

$$P = k(P_s - P_i)$$

a) Flisende krefter mellom partiklene, P_2
 Disse kreftene vil øke med avtappende partikkelavstand, d, og kan, med en del antagelser, beregnes teoretisk. Fig. 2.24 viser resultater etter Nalazy og Li (1967).



Interparticle swell pressure vs particle separation for montmorillonite and illite in different electrolyte concentrations.

Fig. 2.24.

b) Tiltrekkende krefter mellom partiklene, P_1
 Dette er særlig bindinger mellom partikler, og de trenger til dels lang tid for å dannes. Disse kreftene kan hjelpe til å forklare hvorfor omrørte prøver svellet sterkere enn uomrørte. (Nalazy og Li 1967).
 c) Strukturell ordening og orientering (uttrykt ved k).
 Generelt vil svelletykket P kunne uttrykkes som:

$$P = k(P_2 - P_1)$$

Svelletrykksforsøk kan utføres på:

- a) Uforstyrrede prøver.
- b) Komprimerte fuktige prøver.
- c) Komprimert tørt pulver.

Prøvene plasseres i prøvecelle og tilsettes vann. Selve svelletrykksforsøket kan utføres etter følgende metoder:

- a) Konstant volum.
- b) Svelling under liten belastning og senere komprimering tilbake til opprinnelig volum.
- c) Noe volumutvidelse.

Svelletrykksmåling ved konstnat volum er vel den vanligste metode. Prøven vil der ta opp vann og forsøke å svelle, men den påføres hele tiden en belastning som er stor nok til å holde volumet konstant. Svelletrykket blir altså målt ved vannopptak.

Ved den andre metoden får prøven først svelle, og belastes deretter trinnvis. Svelletrykk defineres her som belastningen når prøven har fått tilbake sitt opprinnelige volum. Svelletrykket måles altså ved vannavgang. Disse forsøkene har mye felles med forsøk til bestemmelse av en jordarts sug. En burde derfor vente en lignende sammenheng mellom vanninnhold og svelletrykk som mellom vanninnhold og sug (se fig. 2.8). Fig. 2.25 viser resultater fra forsøk ved Geologisk Institutt, N.T.H.

For de konvensjonelle svelletrykk er det en god del spredning som en måtte vente, siden resultatene er oppnådd med noe varierende prosedyrer og måling av vanninnhold har vært en biting. Det synes likevel å bli en klar sammenheng mellom vanninnhold og svelletrykk. Vannutpressingsforsøkene er utført ved at materiale med overskudd av vann har blitt konsolidert under konstant belastning i ca. 1 døgn. Analogien

Svelettrykksforsøk kan utføres på:

- a) Ulosettrykde prøver.
- b) Komprierte luftige prøver.
- c) Komprierte tørt pulver.

Prøvene plasseres i prøvetablett og trykkes ut ved hjelp av en Svelettrykksforsøk kan utføres på følgende måter:

- a) Konstant volum.
- b) Svelettryk under liten belastning og konstant volum.
- c) Noe volumutvidelse.

Svelettrykksforsøk ved konstant volum og konstant tryk. Svelettrykksforsøk ved konstant tryk og konstant volum. Svelettrykksforsøk ved konstant tryk og konstant volum. Svelettrykksforsøk ved konstant tryk og konstant volum.

Ved den andre metoden får man et tryk som varierer med volumet. Ved den tredje metoden får man et tryk som varierer med volumet. Ved den fjerde metoden får man et tryk som varierer med volumet. Ved den femte metoden får man et tryk som varierer med volumet.

Fig. 2.25 viser resultatene fra forsøkene med Svelettrykksforsøk ved konstant tryk og konstant volum. Fig. 2.26 viser resultatene fra forsøkene med Svelettrykksforsøk ved konstant tryk og konstant volum. Fig. 2.27 viser resultatene fra forsøkene med Svelettrykksforsøk ved konstant tryk og konstant volum.

til vanninnhold/sug er slående. Yong og Warkentin (1966, s. 146) sier da også at for sterkt svellende leirer med horisontal orientering vil suget bli numerisk lik svelletrykket for alle vanninnhold. Dette vil si at svelletrykk målt ved vannutpressing (metode b), må bli høyere enn svelletrykk målt ved vannopptak (metode a).

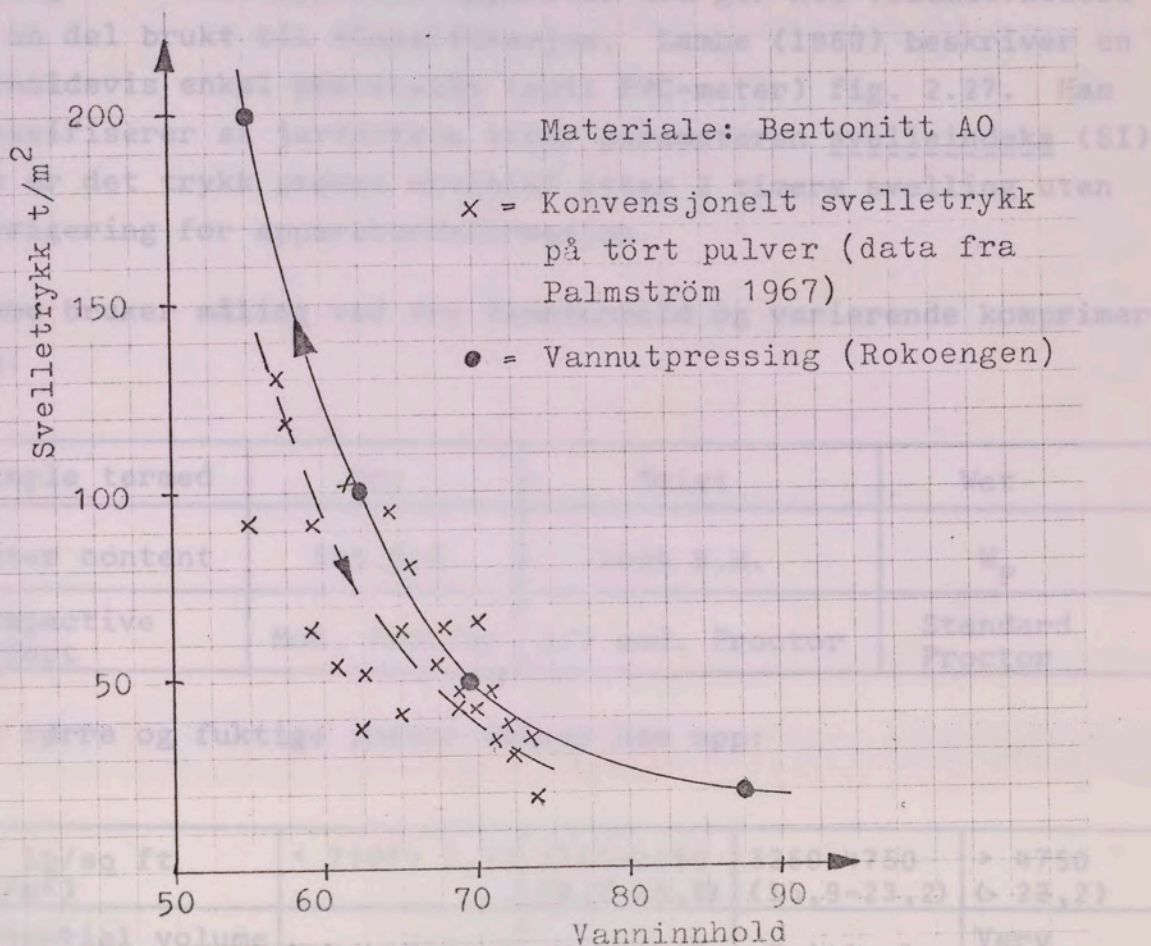


Fig. 2.25.

Når prøven gis mulighet for volumutvidelse, vil svelletrykket bli lavere enn for konstant volum. Hvor kraftig trykkfallet blir, vil variere. For tørt pulver er forholdet bl.a. undersøkt av Brekke (1963) og Rokoengen (1969). For flere svelletrykk målt på samme prøve med økende volumutvidelse fant Rokoengen at trykkfallet for en bestemt volumutvidelse ble omtrent proporsjonalt med svelletrykket ved konstant volum.

til vanninnhold/sug er således. Yong og Warkentin (1966, a, 196) sier da også at for sterkt svelende leier med horisontal orientering vil suget bli numerisk lik svelletrykket for alle vanninnhold. Dette vil si at svelletrykk målt ved vannpressing (metode b), må bli høyere enn svelletrykk målt ved vannoptak (metode a).

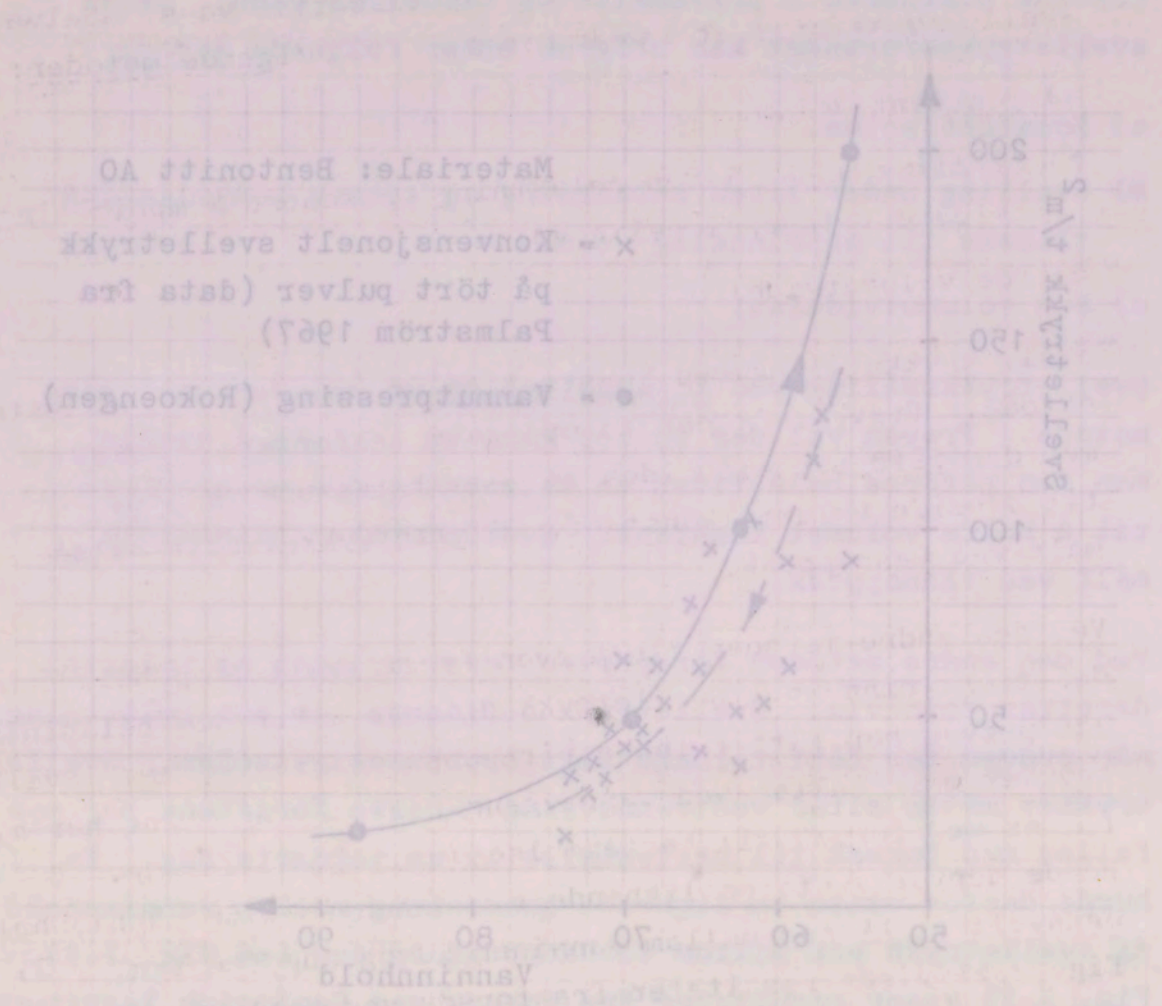


Fig. 2.25.

Når prøven er mulig for volummåling, vil svelletrykket bli lavere enn for konstant volum. Hvor kraftig trykkfall blir, vil variere. For ført pulver er forholdet bl.a. under- likt av Brekke (1963) og Rokengen (1969). For flere svelletrykk målt på samme prøve med ulike volummålingsfart Rokengen at trykkfall for en bestemt volummåling ble omtrent proporsjonalt med svelletrykket ved konstant volum.

En kan si at prøvene til en viss grad blir prekonsolidert av svelletrykket ved konstant volum, og jo sterkere konsolidert en prøve er, jo sterkere vil trykkfallet for en viss volumutvidelse bli. For nye prøver som fikk volumutvidelse/komprimering før forsøket ble variasjonene langt mindre, som vist i fig. 2.26. (Etter Rokoengen 1969).

Måling av svelletrykk med apparatur som gir noe volumutvidelse er en del brukt til klassifikasjon. Lambe (1960) beskriver en forholdsvis enkel prøvecelle (soil PVC-meter) fig. 2.27. Han klassifiserer så jordartene etter parameteren svelleindeks (SI) som er det trykk prøven utvikler etter 2 timers svelling uten korrigerings for apparaturdeformasjon.

Lambe bruker måling ved tre vanninnhold og varierende komprimering:

Sample termed	Dry	Moist	Wet
Water content	50% R.H.	100% R.H.	W_p
Compactive effort	Mod. Proctor	1/2 mod. Proctor	Standard Proctor

For tørre og fuktige prøver setter han opp:

SI lb/sq ft (t/m ²)	< 750 (< 8,5)	1750-3250 (8,5-15,9)	3250-4750 (15,9-23,2)	> 4750 (> 23,2)
Potential volume change (PVC)	Non critical	Marginal	Critical	Very critical

Våte prøver vil få lavere SI.

Myslivec (1969) har foreslått følgende metode til å måle svelletrykk på uforstyrrede prøver: En serie prøver plasseres under forskjellig belastning. Prøvene med mindre belastning enn svelletrykket vil svulle, mens de som har høyere belastning, vil konsolidere. Ved å sette av deformasjon mot trykk, se fig. 2.28, vil svelletrykket fremkomme som skjæringen med trykkaksen. For en uforstyrret prøve som her må vel svelletrykket nærmest svare til prekonsolideringstrykket.

In the first part of the report, the author discusses the general principles of the method used for the determination of the critical point of a polymer solution. The method is based on the observation of the change in the refractive index of the solution as a function of the concentration of the polymer. The critical point is defined as the point at which the refractive index of the solution is independent of the concentration of the polymer.

The author then presents the results of the experiments carried out with various polymer-solvent systems. The critical points are determined for each system, and the results are compared with those obtained by other methods. It is shown that the critical point method is a simple and reliable method for the determination of the critical point of a polymer solution.

The author concludes that the critical point method is a valuable tool for the study of polymer solutions. It is particularly useful for the determination of the critical point of a polymer solution, which is a fundamental property of the system.

Sample	Concentration	Refractive Index	Critical Point
1	0.1	1.345	0.15
2	0.2	1.350	0.20
3	0.3	1.355	0.25
4	0.4	1.360	0.30
5	0.5	1.365	0.35

The author also discusses the effect of temperature on the critical point of a polymer solution. It is shown that the critical point increases with increasing temperature. This is due to the fact that the refractive index of the solution increases with increasing temperature.

Temperature (°C)	Critical Point
20	0.15
30	0.20
40	0.25
50	0.30
60	0.35

The author concludes that the critical point method is a simple and reliable method for the determination of the critical point of a polymer solution. It is particularly useful for the determination of the critical point of a polymer solution, which is a fundamental property of the system. The author also discusses the effect of temperature on the critical point of a polymer solution. It is shown that the critical point increases with increasing temperature. This is due to the fact that the refractive index of the solution increases with increasing temperature.

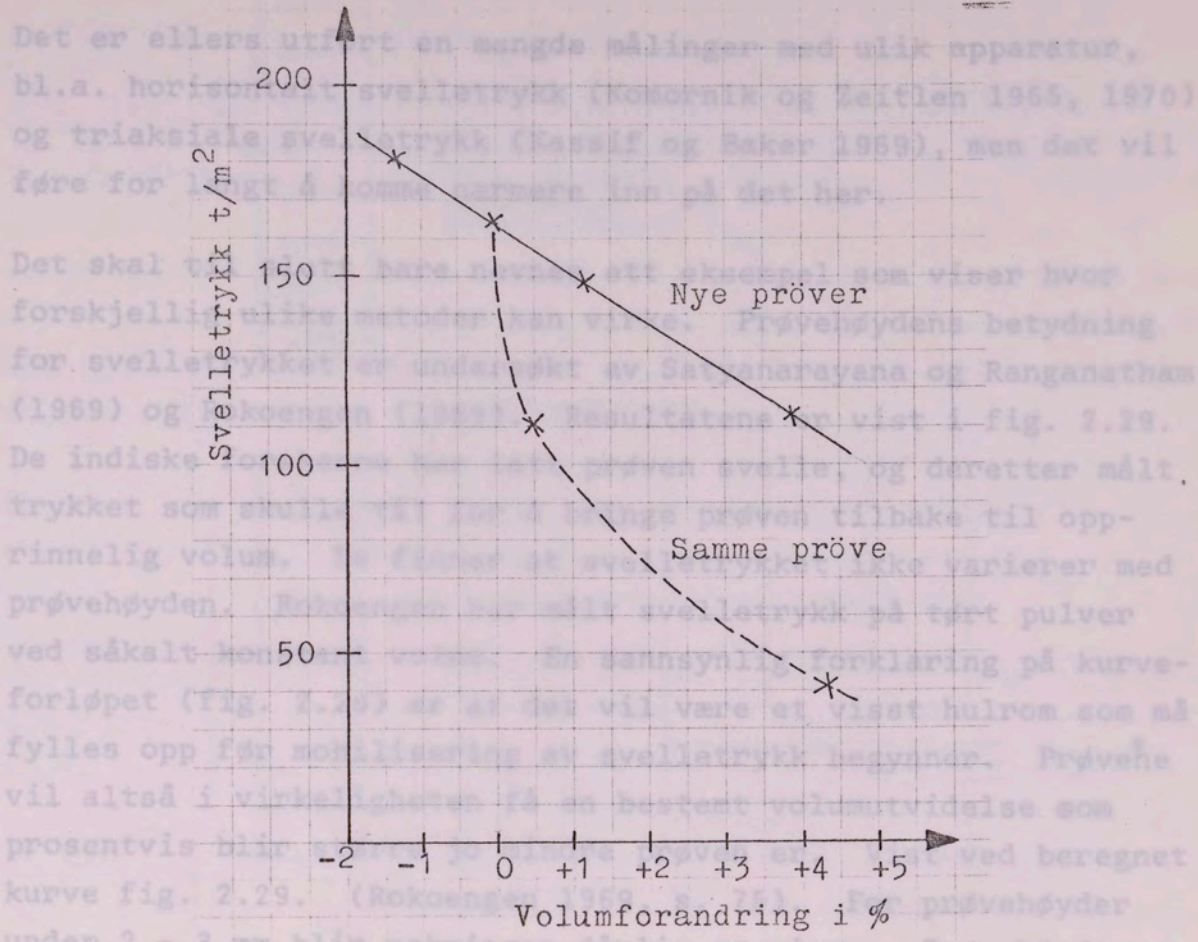


Fig. 2.26.

Disse forsøkene skulle vise at en bør være meget forsiktig for ikke ved svellingstrykksmålinger å tolke effekter fra apparatur og forsøksmetodikk som reelle jordartsegenskaper.

Mineralogi.

En jordartsprøve vil bestå av forskjellige mineraler. Siden mineraler har forskjellige egenskaper, er mineralogisk bestemmelse viktig. En jordartsprøve som består av forskjellige mineraler har størst svellingsevne, vil derfor gi størst utvidelse på bestemmelse av montmorillonittinnhold. Metode for å bestemme innholdet av montmorillonitt er vanskelig.

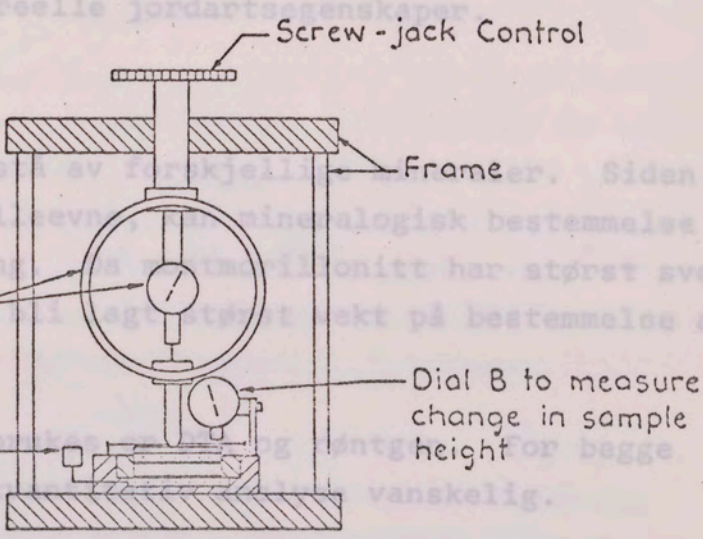


Fig. 2.27.

En annen vanskelighet er at svellingsevnen til montmorillonitt varierer sterkt med bl.a. ionetype. Imidlertid brukes mineralogisk undersøkelse iallfall gjerne som et supplement til andre metoder.

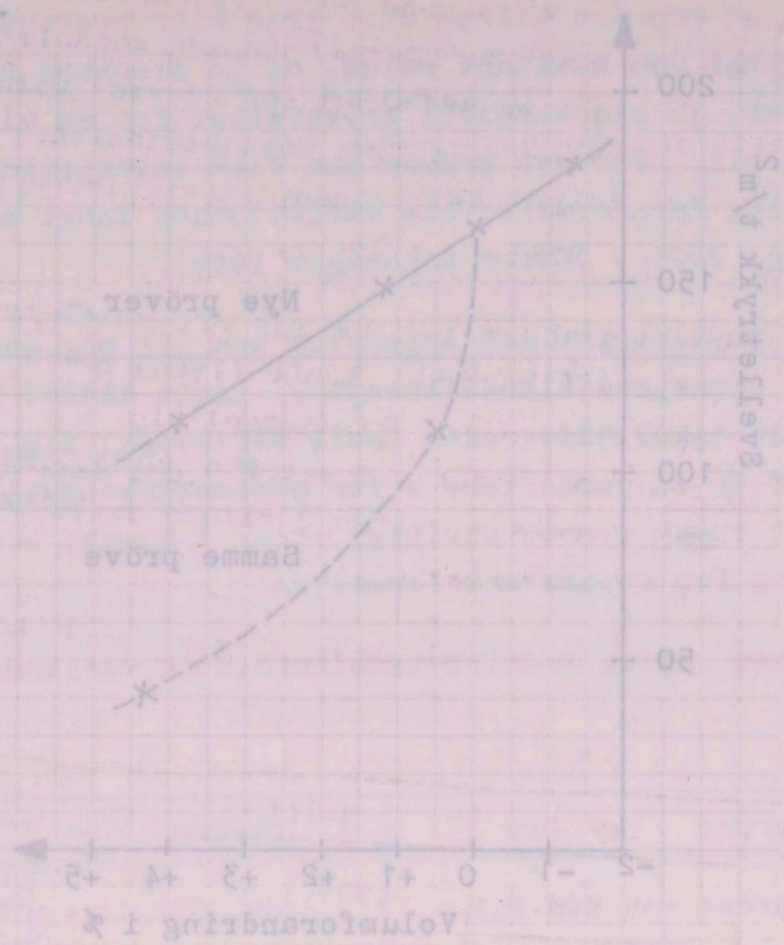


Fig. 2.26.

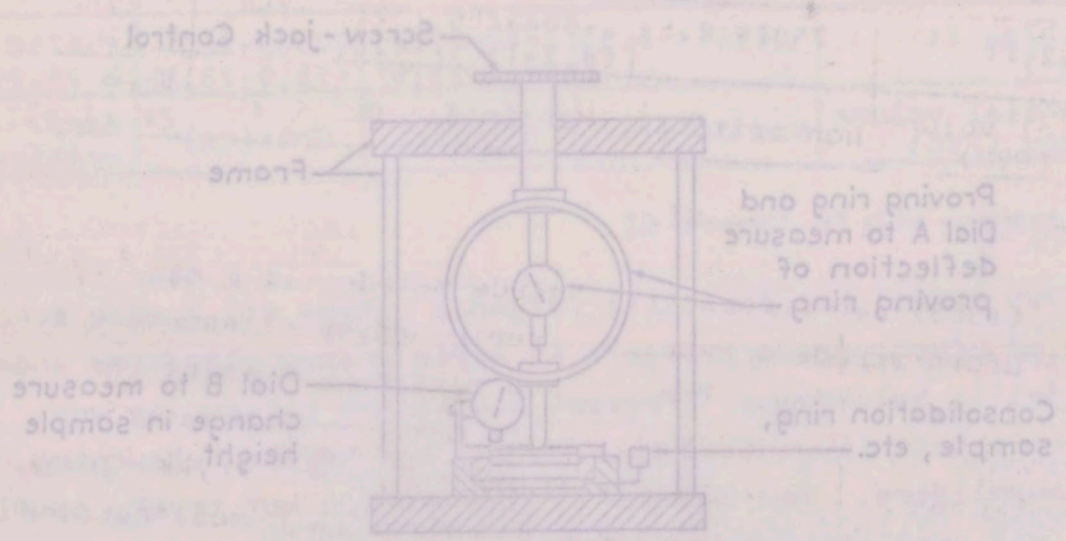


Fig. 2.27.

Det er ellers utført en mengde målinger med ulike apparatur, bl.a. horisontalt svelletrykk (Komornik og Zeitlen 1965, 1970) og triaksiale svelletrykk (Kassif og Baker 1969), men det vil føre for langt å komme nærmere inn på det her.

Det skal til slutt bare nevnes ett eksempel som viser hvor forskjellig ulike metoder kan virke. Prøvehøydens betydning for svelletrykket er undersøkt av Satyanarayana og Ranganatham (1969) og Rokoengen (1969). Resultatene er vist i fig. 2.29. De indiske forskerne har latt prøven svulle, og deretter målt trykket som skulle til for å bringe prøven tilbake til opprinnelig volum. De finner at svelletrykket ikke varierer med prøvehøyden. Rokoengen har målt svelletrykk på tørt pulver ved såkalt konstant volum. En sannsynlig forklaring på kurveforløpet (fig. 2.29) er at det vil være et visst hulrom som må fylles opp før mobilisering av svelletrykk begynner. Prøvene vil altså i virkeligheten få en bestemt volumutvidelse som prosentvis blir større jo mindre prøven er. Vist ved beregnet kurve fig. 2.29. (Rokoengen 1969, s. 75). For prøvehøyder under 2 - 3 mm blir pakningen dårlig og ujevn. Prøvehøyden er følgelig bare av betydning sammenholdt med forsøksbetingelsene.

Disse forsøkene skulle vise at en bør være meget forsiktig for ikke ved svelletrykksmålinger å tolke effekter fra apparatur og forsøksmetodikk som reelle jordartsegenskaper.

Mineralogi.

En jordartsprøve vil bestå av forskjellige mineraler. Siden mineralene har ulike svelleevne, kan mineralogisk bestemmelse brukes til klassifisering. Da montmorillonitt har størst svelleevne, vil det i praksis bli lagt størst vekt på bestemmelse av montmorillonittinnhold.

Metodene som vanligvis brukes er DTA og røntgen. For begge metoder er en nøyaktig kvantitativ analyse vanskelig.

En annen vanskelighet er at svelleevnen til montmorillonitt varierer sterkt med bl.a. ionetype. Imidlertid brukes mineralogisk undersøkelse iallfall gjerne som et supplement til andre metoder.

Det er allereie utført en mengde målinger med slik apparatur, bl.a. horisontalt sveletrykk (Kroonstad og Salte 1954, 1970) og vertikalt sveletrykk (Kroonstad og Bakke 1959a, 1959b). I alle tilfelle er målingene utført på samme næringsinnholdet (her) som det vil bli beskrevet senere.

Det skal til slutt bare nevnes ett eksempel som viser hvor forskjellig slike metoder kan være. I forbindelse med prøven som er undersøkt av Salte og Kroonstad (1954) og Kroonstad (1959) er resultatene som er oppgitt i tabell 1. De indiske forskerne har i alle prøver svelet på 100°C i 24 timer som skulle til for å bringe prøven til likevekt med vannet. De finner at sveletrykket ikke varieres med prøvetypen. Kroonstad har målt sveletrykk på et stort antall prøver med samme konstant volum. En sammenligning av kurvene på fig. 1 og 2 er at det vil være et visst påvirkningsområde (fig. 1 og 2) som er utvilsomt påvirket av sveletrykket. Dette vil si at i virkeligheten er det bestemt volumer som er prøvet i disse prøver. I alle prøver er det samme sveletrykk (Kroonstad 1959, s. 75). For prøvetypen under 2 - 3 mm blir påvirkningen årlig og utvilsomt. I tillegg bare av betydning sammenholdt med forskningsresultatene. Disse forskerne skulle vise at en bør være meget forsiktig for ikke ved sveletrykmålinger å påvirke resultatene. De har også og forskningsresultat som vil bli diskutert senere oppført i tabell 1.

Mineralogi.

I forbindelse med de forskjellige mineraler. Siden mineralene har ulike sveleegenskaper, vil mineralogi-beskrivelsen brukes til klassifisering. De mineraler som er undersøkt i denne forbindelse vil bli diskutert senere. De mineraler som er undersøkt i denne forbindelse vil bli diskutert senere.

Metoden som vanligvis brukes er DTA og røntgen. For begge metoder er en høytrykk teknikk anvendt. I forbindelse med disse metodene er det viktig å være oppmerksom på at de forskjellige mineraler har ulike sveleegenskaper. Dette vil si at i virkeligheten er det bestemt volumer som er prøvet i disse prøver. I alle prøver er det samme sveletrykk (Kroonstad 1959, s. 75). For prøvetypen under 2 - 3 mm blir påvirkningen årlig og utvilsomt. I tillegg bare av betydning sammenholdt med forskningsresultatene. Disse forskerne skulle vise at en bør være meget forsiktig for ikke ved sveletrykmålinger å påvirke resultatene. De har også og forskningsresultat som vil bli diskutert senere oppført i tabell 1.

3. PRØVENATERIALE OG DENS BEHANDLING.

3.1. Dannelse av leirer.

Svellende jordarter dannes av forskjellige jordarter, ved mekanisk og kjemisk forvitring av primære mineraler. Mekanisk forvitring vil si en oppdeling av bergarten til mindre partikler. Den viktigste effekten til mekanisk forvitring ved dannelse av svellende mineraler er å øke materialets spesifikke overflate slik at den kjemiske forvitring får større å virke på.

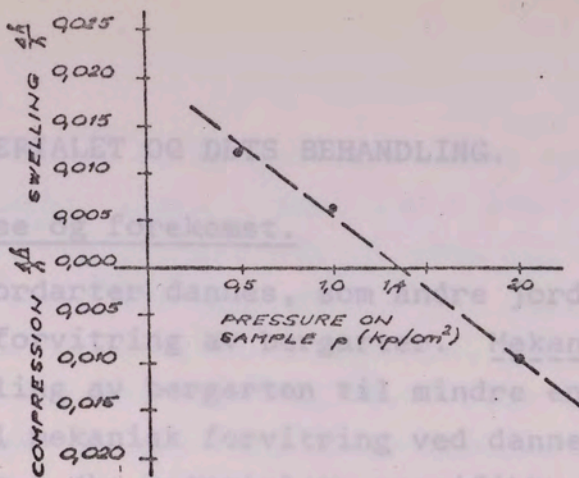
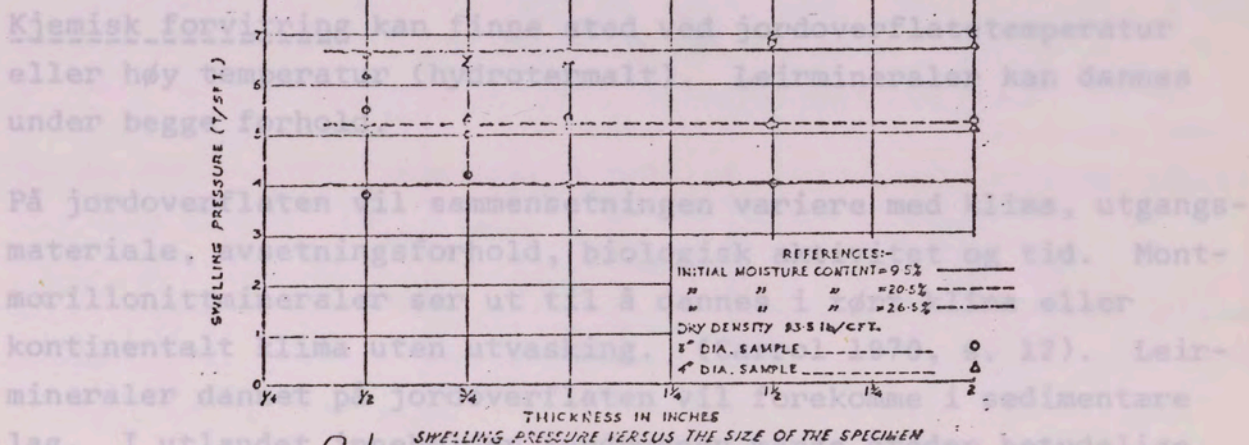


Fig. 2.28.

Swelling Pressure



SWELLING PRESSURE VERSUS THE SIZE OF THE SPECIMEN

I utlandet forekommer betydelige mengder svellende mineraler. De forekommer ofte i semi-aride strøk, hvor grunnvannstanden ligger lavt, og leir lagene over derfor er tørre. Ved byggeprosesser kan fordampningen avta slik grunnvannstanden stiger, og leirene derved tar opp vann og sveller.

Her i landet det på det bentonittlag av ordovicisk alder i Oslofeltet (Lagmann og Spjellnes 1955). Ellers har en undersøkelse av norske prosolprosjekt (1967) vist at det over hele landet finnes store profiler som har mer enn 10% montmorillonittinnhold. De fleste lagene kan føres tilbake til forekomst i undergruppen. I tillegg er det påvist at forvitring i A₂-skikket kan føre til dannelse av ekspanderende leirmineraler i løpet av få hundre år.

De hydrotermale prosesser synes å være en etterdønning fra vulkanisk eller magmatisk aktivitet. De består i gjennomstrømming av oppvarmet vann, vannløst under trykk, syrer og metallioner

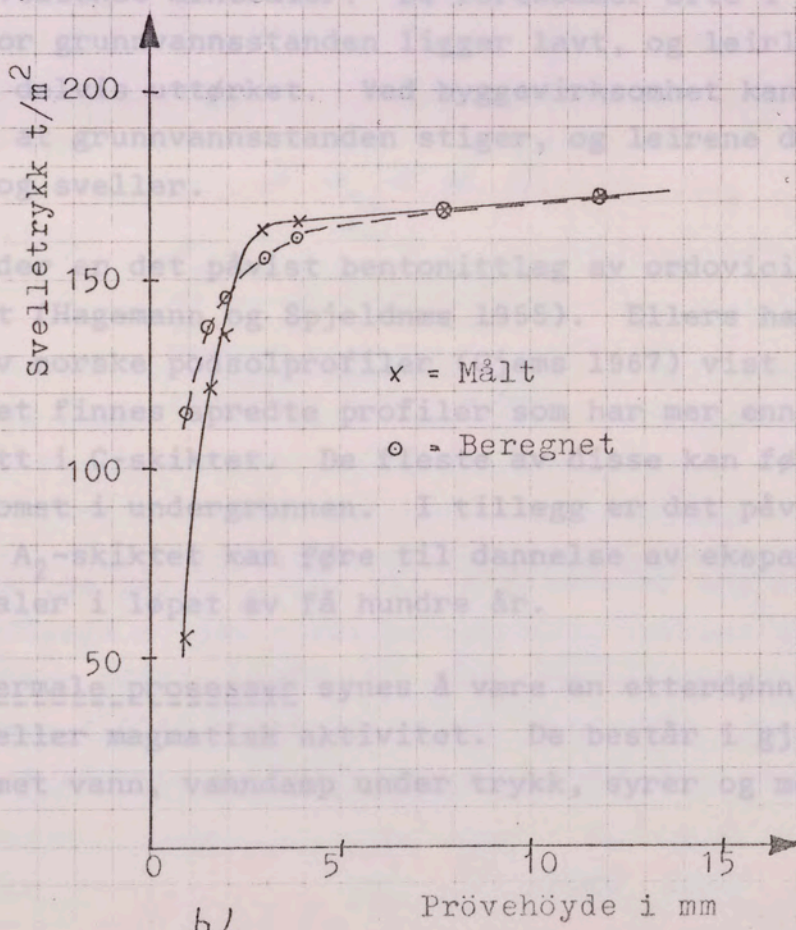


Fig. 2.29.

b)

Fig. 2.28. The graph shows the relationship between the swelling pressure and the compression ratio. The pressure on the sample is indicated in atmospheres.

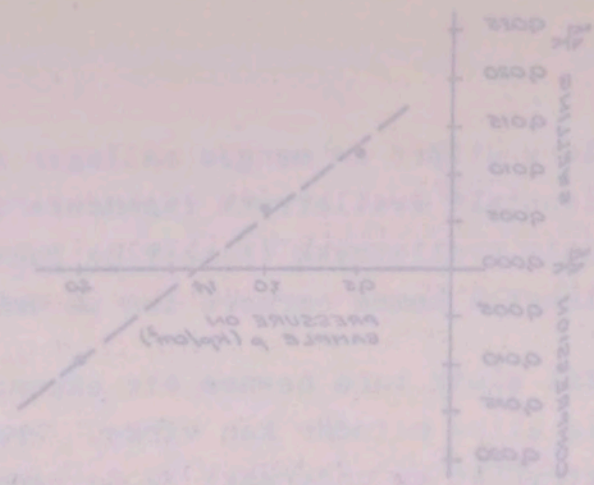


Fig. 2.28.

Swelling Pressure

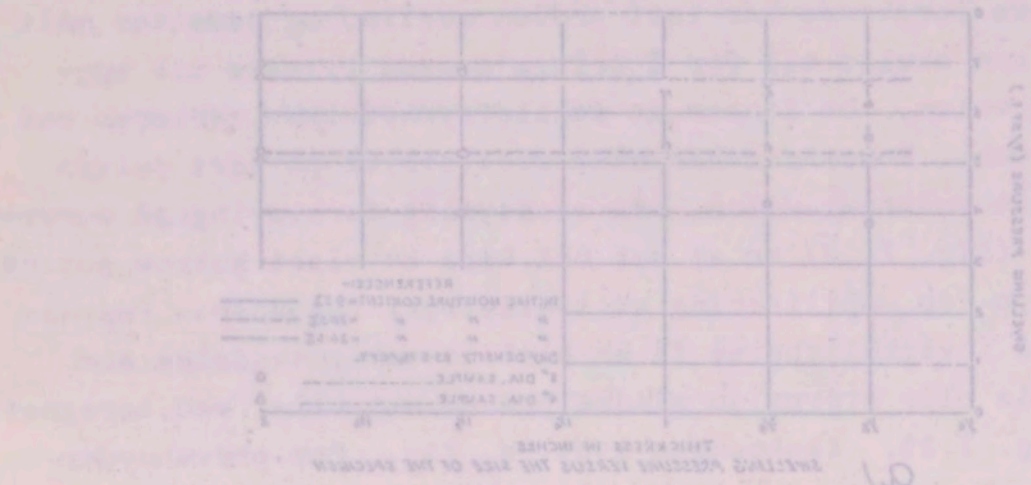


Fig. 2.29.

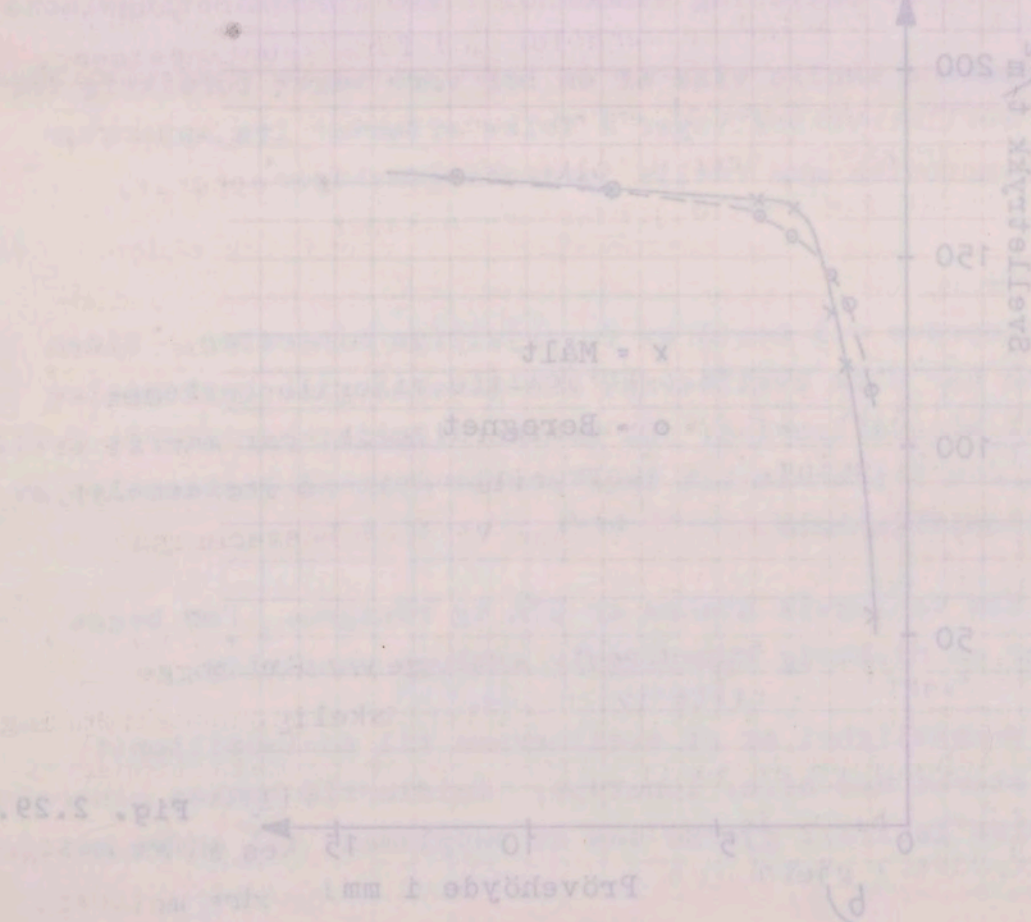


Fig. 2.30.

Prövehöjden 1 mm

3. PRØVEMATERIALET OG DETS BEHANDLING.

3.1. Dannelse og forekomst.

Svellende jordarter dannes, som andre jordarter, ved mekanisk og kjemisk forvitring av bergarter. Mekanisk forvitring vil si en oppdeling av bergarten til mindre enheter. Den viktigste effekten til mekanisk forvitring ved dannelse av svellende mineraler er å øke materialets spesifikke overflate slik at den kjemiske forvitring får større flate å virke på.

Kjemisk forvitring kan finne sted ved jordoverflatetemperatur eller høy temperatur (hydrotermalt). Leirmineraler kan dannes under begge forhold.

På jordoverflaten vil sammensetningen variere med klima, utgangsmateriale, avsetningsforhold, biologisk aktivitet og tid. Montmorillonittmineraler ser ut til å dannes i tørt klima eller kontinentalt klima uten utvasking. (Carrol 1970, s. 12). Leirmineraler dannet på jordoverflaten vil forekomme i sedimentære lag. I utlandet inneholder jordbunnen mange steder betydelige mengder svellende mineraler. De forekommer ofte i semi-aride strøk, hvor grunnvannsstanden ligger lavt, og leirlagene over derfor er delvis uttørket. Ved byggevirksomhet kan fordampningen avta slik at grunnvannsstanden stiger, og leirene derved tar opp vann og sveller.

Her i landet er det påvist bentonittlag av ordovicisk alder i Oslofeltet (Hagemann og Spjeldnæs 1955). Ellers har en undersøkelse av norske podsolprofiler (Gjems 1967) vist at det over hele landet finnes spredte profiler som har mer enn 10% montmorillonitt i C-skiktet. De fleste av disse kan føres tilbake til forekomst i undergrunnen. I tillegg er det påvist at forvitring i A₂-skiktet kan føre til dannelse av ekspanderende leirmineraler i løpet av få hundre år.

De hydrotermale prosesser synes å være en etterdønning fra vulkansk eller magmatisk aktivitet. De består i gjennomstrømmning av oppvarmet vann, vanddamp under trykk, syrer og metallioner

3. PROVMATERIALET OG DETS BEHANDLING

3.1. Dannelse af forekomst

3.1.1. Dannelse af forekomst

Svælgende jordarter dannes, som andre jordarter, ved mekanisk

og kemisk forvridning af bjergarter. Mekanisk forvridning vil

si en opdeling af bjergarten til mindre enheder. Den mekanisk

effekten af mekanisk forvridning vil dannes ved tryk og

mineraler og de resterende partikler overføres til virkings

kemiske forvridning får stund til at virke som svælgende

partikler og de resterende partikler overføres til at den

Kemisk forvridning kan finde sted ved jordoverfladeprocesser

eller høj temperatur (hydrotermal). Leireminerale kan dannes

under høje tryk og høje temperaturer i jordoverfladeprocesser

eller høj temperatur (hydrotermal). Leireminerale kan dannes

På jordoverfladen vil sammensætningen variere med klima, udgangs-

materiale, vækstingsforhold, biologisk aktivitet og tid. Mørke-

morillitter dannes ved at alle åbnes i det klime miljø, udgangs-

konkrete miljø vil være forskellige (Coxon 1970, 1971, 1972, 1973)

minerale dannes på jordoverfladen vil forekomme i sediment

lag og mineraler i sedimentet vil være forskellige (Coxon 1970, 1971, 1972, 1973)

meninger vil være forskellige. De forekommer ofte i semi-til

strukturer. Leireminerale dannes ved høje tryk og høje temperaturer

derfor vil de være forskellige. Ved høje tryk og høje temperaturer

avtalt at jordoverfladen vil være forskellige (Coxon 1970, 1971, 1972, 1973)

opretter og vil være forskellige. De vil være forskellige (Coxon 1970, 1971, 1972, 1973)

vil være forskellige. De vil være forskellige (Coxon 1970, 1971, 1972, 1973)

Her i lander er det påvist bestemtlig af ordovalisk alder i

Opfølgende af ordovalisk alder i

Olofsløst (Hagemann og Spjeltnes 1955). Ellers har en under-

ekkelst af ordovalisk alder i

høje alder (Hagemann og Spjeltnes 1955) vil være forskellige

morillitter vil være forskellige (Coxon 1970, 1971, 1972, 1973)

tilfølgende vil være forskellige (Coxon 1970, 1971, 1972, 1973)

vil være forskellige. De vil være forskellige (Coxon 1970, 1971, 1972, 1973)

leireminerale vil være forskellige (Coxon 1970, 1971, 1972, 1973)

virking af leireminerale vil være forskellige (Coxon 1970, 1971, 1972, 1973)

De hydrotermale processer vil være forskellige (Coxon 1970, 1971, 1972, 1973)

vil være forskellige. De består i gennemsnit

av hydrotermale processer vil være forskellige (Coxon 1970, 1971, 1972, 1973)

vil være forskellige. De består i gennemsnit

av hydrotermale processer vil være forskellige (Coxon 1970, 1971, 1972, 1973)

fra jordens indre og følger stort sett oppsprekningen. Vanlig temperaturområde synes å være 100 - 400°C (Kerr 1955). (Utfelling fra vann i væskeform må skje ved lavere temperaturer enn den kritiske for vann på 374°C). Hvilke mineraler som dannes vil avhenge av sidebergarten, væsken og påvirkningens varighet og intensitet. Fig. 3.1 viser noen stabilitetsforhold for silikater ved høy temperatur bestemt av Hemley, Meyer og Richter (1961).

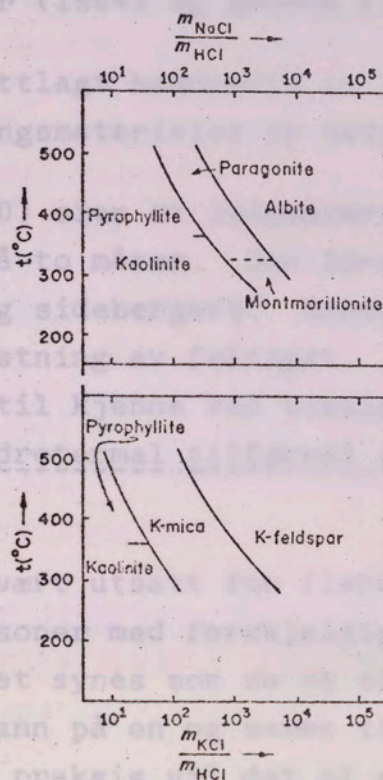


FIG. 10.9. Some stability relations in the systems $\text{Na}_2\text{O}-\text{Al}_2\text{O}_3-\text{SiO}_2-\text{H}_2\text{O}$ and $\text{K}_2\text{O}-\text{Al}_2\text{O}_3-\text{SiO}_2-\text{H}_2\text{O}$ as functions of temperature and the ratios $m_{\text{NaCl}}/m_{\text{HCl}}$ and $m_{\text{KCl}}/m_{\text{HCl}}$. Total pressure is 15,000 psi and quartz is present in excess.

Fig. 3.1. Montmorillonittmengden, og en får andre leirmineraler. Det er også ting som tyder på at dannelsene kan være meget gamle, f.eks. senkaledoniske eller for langvarige påvirkninger vil de mineraler som dannes hovedsakelig avhenge av den gjennomstrømmende væskens sammensetning og temperatur (Gillot 1968, s. 40). En vil derfor ifølge Selmer-Olsen (1970) kunne finne nær sagt alle typer leirmineraler i slepper og leirsoner uavhengig av sidebergartens

fra jordens indre og følger stort sett opsparekninngen. Vanlig temperaturområde synes å være 100 - 400°C (Kerr 1952). (Uf-felling fra vann i veskeform må skje ved lavere temperaturer enn den kritiske for vann på 374°C). Hvilke mineraler som dannes vil avhenge av sidebergrarten, vesken og påvirkningens varighet og intensitet. Fig. 3.1 viser noen stabilitetsforhold for silikater ved høy temperatur bestemt av Hemley, Meyer og Richter (1961).

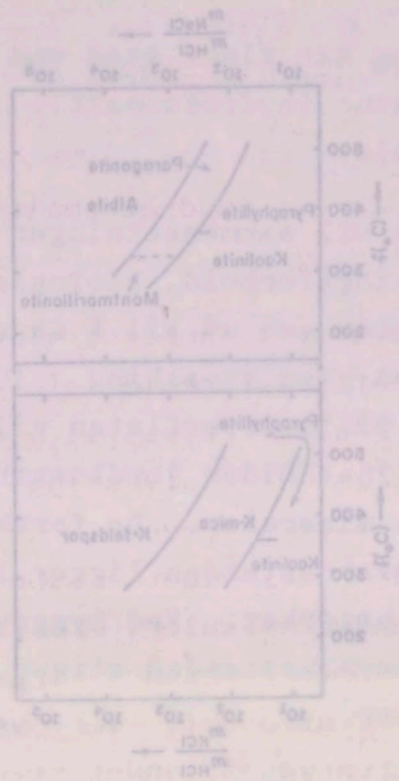


FIG. 3.1. Some stability relations in the system $\text{H}_2\text{O}-\text{Al}_2\text{O}_3-2\text{SiO}_2-\text{H}_2\text{O}$ and $\text{K}_2\text{O}-\text{Al}_2\text{O}_3-2\text{SiO}_2-\text{H}_2\text{O}$ as functions of temperature and the ratios m HCl and $\text{m H}_2\text{O}$. Total pressure is 15,000 psi and quartz is present in excess.

Fig. 3.1.

For langvarige påvirkninger vil de mineraler som dannes hovedsakelig avhenge av den gjennomstrømmende veskens sammensetning og temperatur (Gilfot 1968, s. 40). En vil derfor få Seimer-Olsen (1970) kunne finne nær sagt alle typer feldt-mineraler i stepper og feltsoner uavhengig av sidebergrarten.

petrografiske sammensetning. Det kan nok være sammenheng mellom bergartstype og mineraler i leirmaterialet. En finner således i kvartsitter ofte blandinger av kaolin, montmorillonitt og rent kvartsmel. I gabbroide bergarter kloritt og montmorillonitt og i alunskifer er grafitt ofte et hovedmineral. En kan imidlertid slå fast at montmorillonitt kan forekomme i alle typer sprekker og oppknusninger.

Tidligere forekomster av leirsoner her i landet er utførlig behandlet av Sæter (1964) og Brekke (1963).

Senere er det blottlagt hundrevis av leirsoner i norske fjellanlegg, og erfaringsmaterialet er betydelig utvidet.

Selmer-Olsen (1970) sier at leirmaterialet i en knusningssone kan være dannet på to måter. Den første er omdanning av nedknust materiale og sidebergart. Montmorillonitt dannes da vesentlig på bekostning av feltspat. I sidebergarten gir dette seg oftest til kjenne ved bleking av feltspaten. Den andre måten er hydrotermal tilførsel og avsetning som alt er omtalt.

Et område kan ha vært utsatt for flere tektoniske påkjenninger som har gitt leirsoner med forskjellig orientering og mineral-sammensetning. Det synes som om de soner som har vært påvirket av sirkulerende vann på en og samme tid har fått lik mineral-sammensetning. I praksis vil det si at parallelle leirsoner ofte inneholder samme type mineraler.

Videre sier Selmer-Olsen at det synes som om en regionalt sett kan ha flekkvise konsentrasjoner av montmorillonitt. Radialt ut fra disse områdene avtar montmorillonittmengden, og en får andre leirmineraler. Det er også ting som tyder på at dannelsene kan være meget gamle, f.eks. senkaledonske eller permiske.

Montmorillonitt forekommer i alle geologiske formasjoner i Norge. Intensiteten varierer imidlertid en del slik at en kan snakke om gunstige og mindre gunstige regioner.

Når det gjelder ikke rekrystalliserte soners form, skiller Selmer-Olsen (1972) mellom følgende grupper (fig. 3.2):

1. Strekbruddsoner. De har godt og helt sidefjell og er oftest klart definert i mektighet. De opptrer ofte i serier som fiederspalten.
2. Knusningssoner. De har en gradvis overgang via slepperikt til helt fjell på sidene og inneholder bruddstykker av bergarter og friske mineralfragmenter. Innen denne gruppen kan en skille mellom følgende undergrupper:
 - a) De grovfragmenterte soner som har litt tykkere leirlag på mer spredte sprekker og et forholdsvis grovt oppknusningsmønster.
 - b) De finfragmenterte soner som ikke inneholder leire eller bare film av leire på de utallige stikk og glideflater.
 - c) De enkle leirrike soner som har et leirrikt sentralt parti i tillegg til mere spredte leirfylte slepper i det oppknuste sidefjell.
 - d) De komplekse leirrike soner som har flere klart atskilte større leirrike soner og et svakt oppsprukket sidefjell og mellomliggende fjell med leire på en del av sprekken.
 - e) De omdannede soner hvor feltspaten i sidefjellet helt eller delvis er omdannet til leire.
- 3) En tredje gruppe leirsoner er vanlige bergartslag som inneholder et leirmineral som vanlig bergartsdannende mineral og er uten tilknytning til spesielle bruddlinjer i jordskorpen.
- 4) En fjerde gruppe leirsoner er overflateforekomster inneholdende leirmineraler. Vi møter dem i det øverste lag av fjellet. Disse skyldes ytre påvirkninger fra forholdene på jordoverflaten og ikke som de øvrige soner, prosesser inne i jordskorpen. De har vært betegnet som "råtaganger" og forvittringslag.

Denne del af rapporten omhandler de forskellige aspekter af...

1. Indledning: Denne del af rapporten omhandler de forskellige aspekter af...

2. Metode: Denne del af rapporten omhandler de forskellige aspekter af...

3. Resultater: Denne del af rapporten omhandler de forskellige aspekter af...

4. Diskussion: Denne del af rapporten omhandler de forskellige aspekter af...

5. Konklusion: Denne del af rapporten omhandler de forskellige aspekter af...

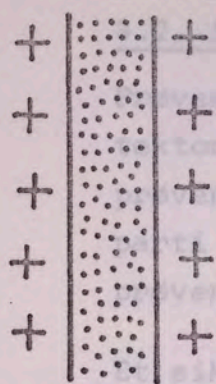
6. Referencer: Denne del af rapporten omhandler de forskellige aspekter af...

7. Bilag: Denne del af rapporten omhandler de forskellige aspekter af...

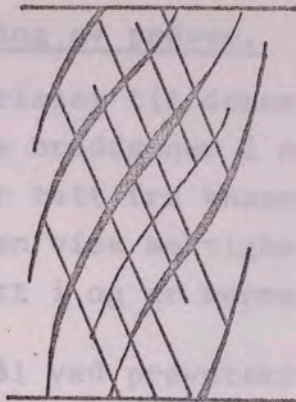
8. Sammenfatning: Denne del af rapporten omhandler de forskellige aspekter af...

9. Tilføjelser: Denne del af rapporten omhandler de forskellige aspekter af...

STREKK-
1. BRUDD

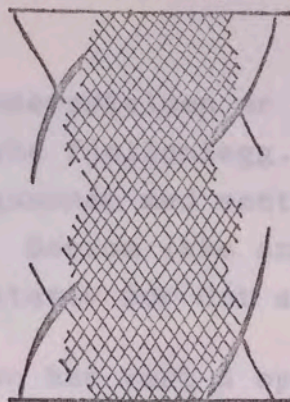


Grov-
2 A. fragmentert

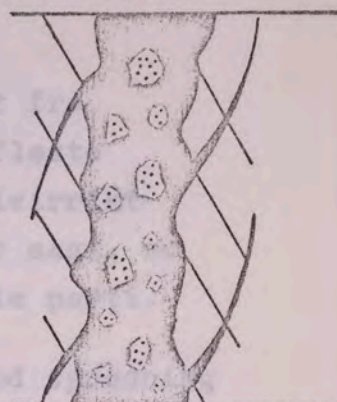


KNUSNINGSSONER.

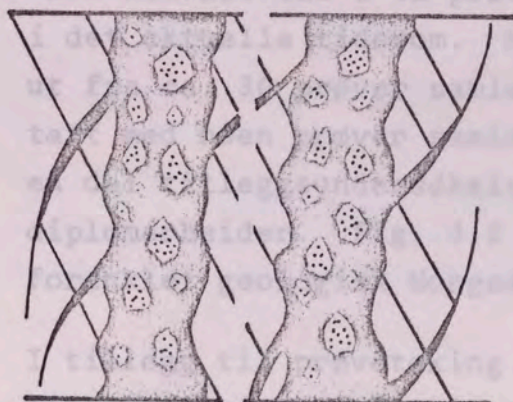
2 B. Finfragmentert



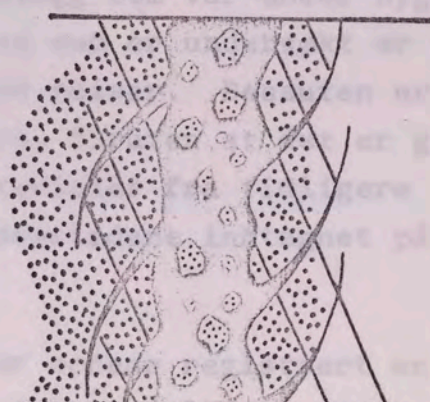
2 C. Enkel leirrik



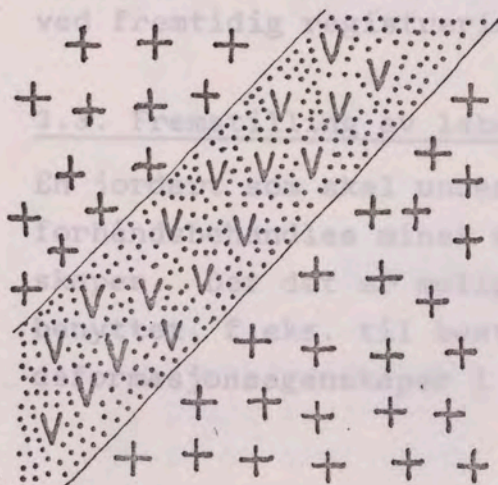
2 D. Kompleks leirrik



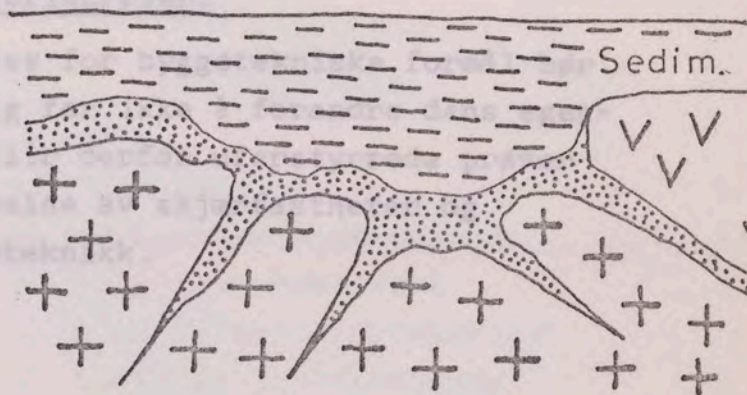
2 E. Omdannet




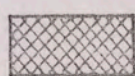
3. BERGARTSLAG.

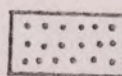


4. OVERFLATEFOREKOMSTER.



 Leir materiale

 Leirfattig småknust

 Omdannet bergart

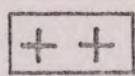
 Friskt fjell

Fig. 3.2.

KRUSNINGSSONER.

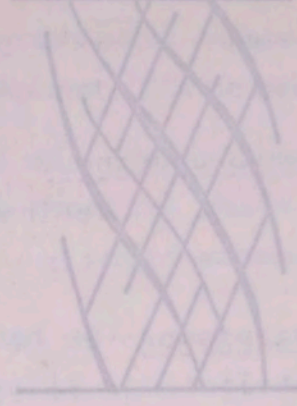
2C. Enkel leirrik



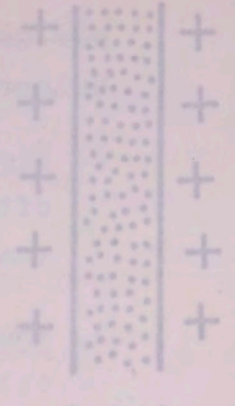
2A. Fragmentert 2 B. Infragmentert



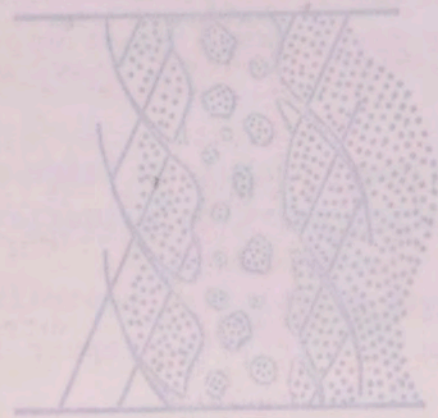
Grov- 2A. Fragmentert 2 B. Infragmentert



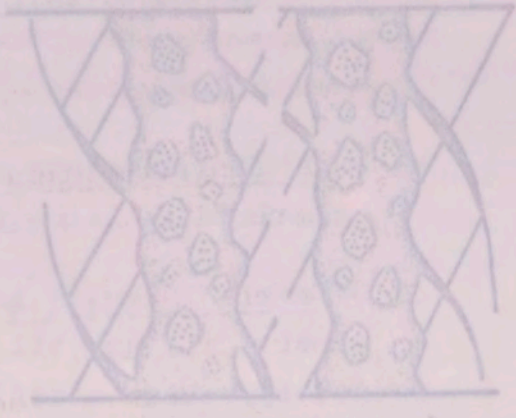
1. BRUDD STREKK-



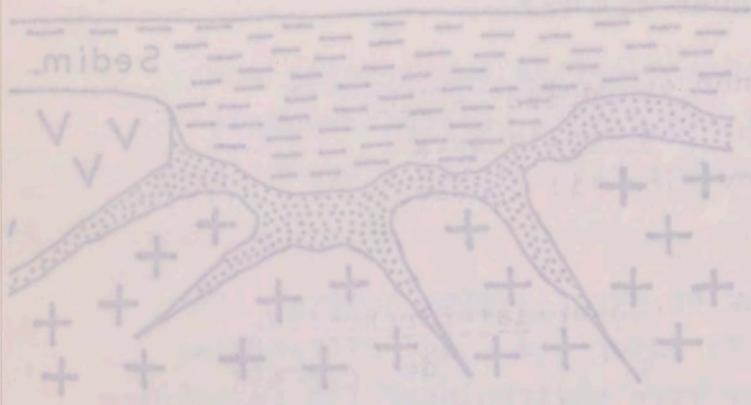
2E. Ombannet



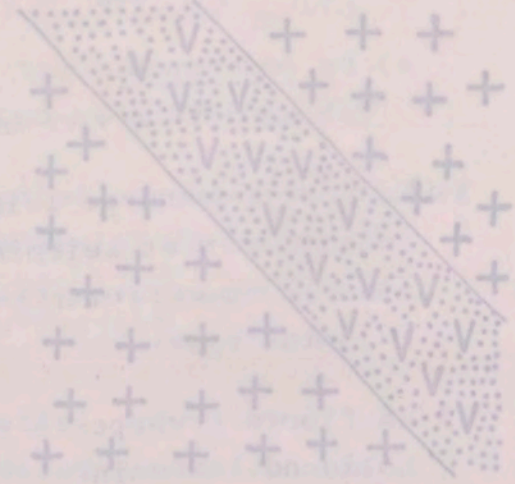
2D. Kompleks leirrik



4. OVERFLATEFOREKOMSTER.



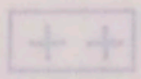
3. BERGARTSLAG.



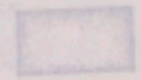
Leirfattig småkrist



Friskt fjell



Leir materiale



Ombannet bergart

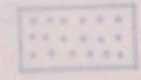


Fig. 3.2.

3.2. Samling av prøver.

Prøvematerialet til denne undersøkelsen er hentet fra tektoniske bruddsoner i norske fjellanlegg. De fleste prøvene er tatt fra knusningssoner med sentralt leirrikt parti av en viss mektighet. Dersom ikke annet er sagt, er prøven tatt i og er representativ for det sentrale parti.

Et siktemål ved prøvetakingen har vært å oppnå god spredning i materialtype og få prøver fra forskjellige geologiske formasjoner. En begrensning her er at større slepper og knusningssoner sikres før et anlegg tas i bruk. En har derfor vært henvist til å ta prøver fra anlegg som var under bygging i det aktuelle tidsrom. Materialene som er undersøkt er valgt ut fra ca. 30 prøver samlet ved egne reiser. Dessuten er det tatt med noen prøver samlet av andre, foruten at det er gjort en del tilleggsundersøkelser på materialer fra tidligere diplomarbeider. Fig. 3.3 viser prøvestedene inntegnet på et forenklet geologisk Norgeskart.

I tillegg til prøvetaking er det for sonene registrert en del feltdata (gjengitt i bilag). Det viste seg imidlertid etter en tids bruk at det benyttede skjema ble noe ufullstendig. I samråd med Selmer-Olsen ble det derfor utarbeidet et mere fullstendig skjema som er vist i fig. 3.4 og anbefales brukt ved fremtidig registrering.

3.3. Fremstilling av laboratorieprøver.

En jordart som skal undersøkes for byggetekniske formål bør forhåndsbehandles minst mulig for ikke å forandre dens egenskaper. Der det er mulig blir derfor uforstyrrede prøver benyttet, f.eks. til bestemmelse av skjærfastheter og deformasjonsegenskaper i geoteknikk.

3.2. Fremstilling af laboratorieprøver

En jordprøve skal undersøges for følgende forhold:

1. Jordens fysisk-kemiske sammensætning

2. Jordens struktur og konsistens

3. Jordens vandindhold og vandretning

4. Jordens luftindhold og luftretning

5. Jordens temperatur

6. Jordens syrebaseværdi

7. Jordens næringsstofforhold

8. Jordens mikroorganismer

9. Jordens radioaktivitet

10. Jordens andre særlige egenskaber

De nævnte undersøgelser udføres på følgende måde:

1. Fysiske undersøgelser: Bestemmelse af jordens massefylde, vandindhold, luftindhold, temperatur og syrebaseværdi.

2. Kemiske undersøgelser: Bestemmelse af jordens næringsstofforhold og andre kemiske egenskaber.

3. Mikrobiologiske undersøgelser: Bestemmelse af jordens mikroorganismer og deres aktivitet.

4. Radioaktive undersøgelser: Bestemmelse af jordens radioaktivitet.

5. Andre undersøgelser: Bestemmelse af jordens andre særlige egenskaber.

3.3. Fremstilling af laboratorieprøver

De nævnte undersøgelser udføres på følgende måde:

1. Fysiske undersøgelser: Bestemmelse af jordens massefylde, vandindhold, luftindhold, temperatur og syrebaseværdi.

2. Kemiske undersøgelser: Bestemmelse af jordens næringsstofforhold og andre kemiske egenskaber.

3. Mikrobiologiske undersøgelser: Bestemmelse af jordens mikroorganismer og deres aktivitet.

4. Radioaktive undersøgelser: Bestemmelse af jordens radioaktivitet.

5. Andre undersøgelser: Bestemmelse af jordens andre særlige egenskaber.

FELTDATA FOR LEIRSONNPRØVE NR.

Laboratorieprøve nr.

Anlegg

Adresser

Sonens beliggenhet

Profil

Prøvestedets beliggenhet i Fjellgrunnsprofilen

Vertikal over

Vinkel mellom

Kote for alle

Sidelfjellst: Fjellgrunnsprofilen

Friskt/omvand

Avstand

Karakter

Lekkasje

Leirsonn

Sonens

Sonens

Bredde

Anelåst

Sonens

Skjæringsvinkel ved anleggets skov

Inntrykk av konsolideringsgrad

Dato for frisprenning

Sikringstiltak ved frisprenning

Sonens oppførsel etter frisprenning

Sikring av sonen

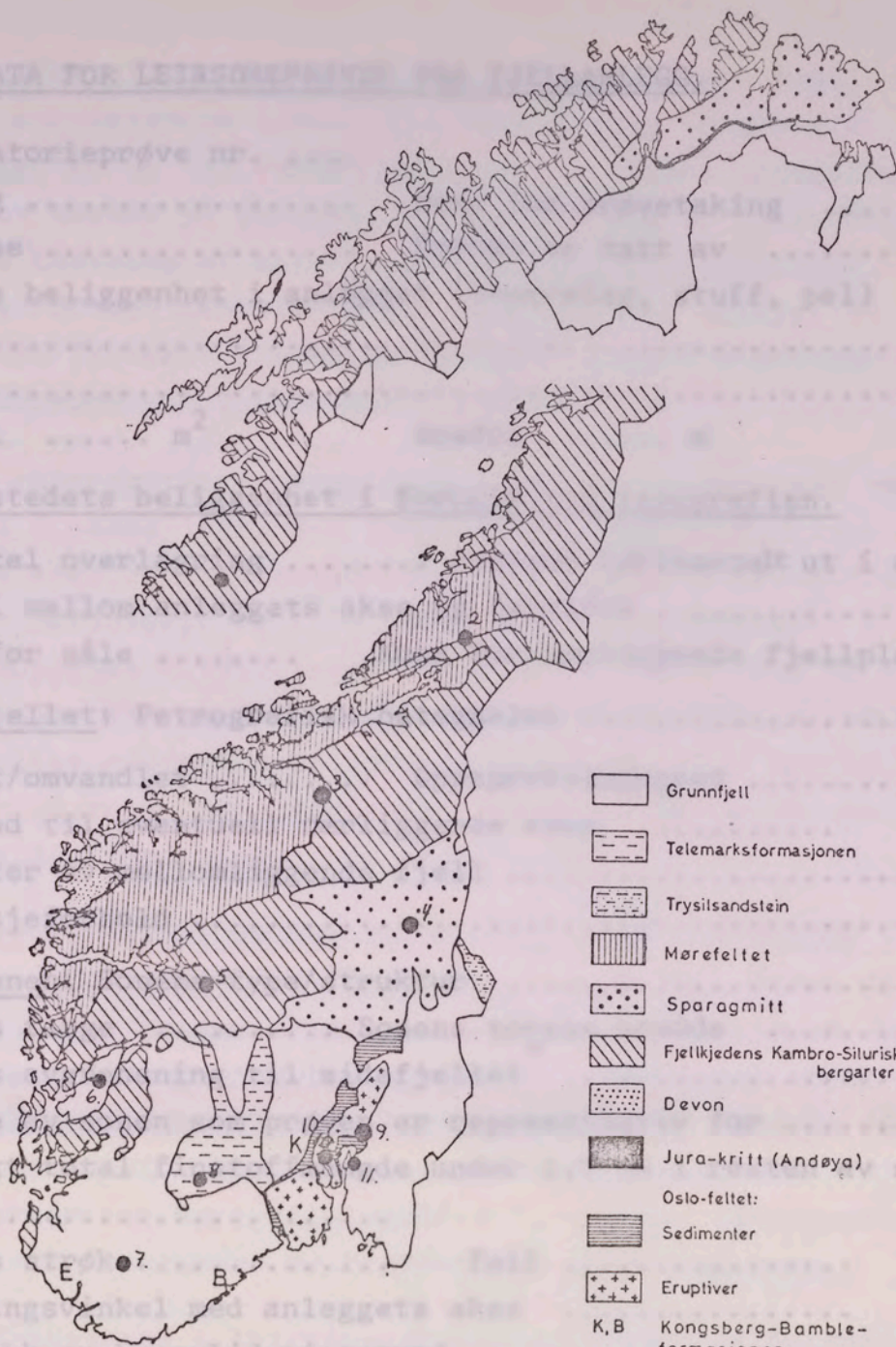
Forhold

Fjellgrunnsprofilen

Tilg

Hva

Andre opplysninger

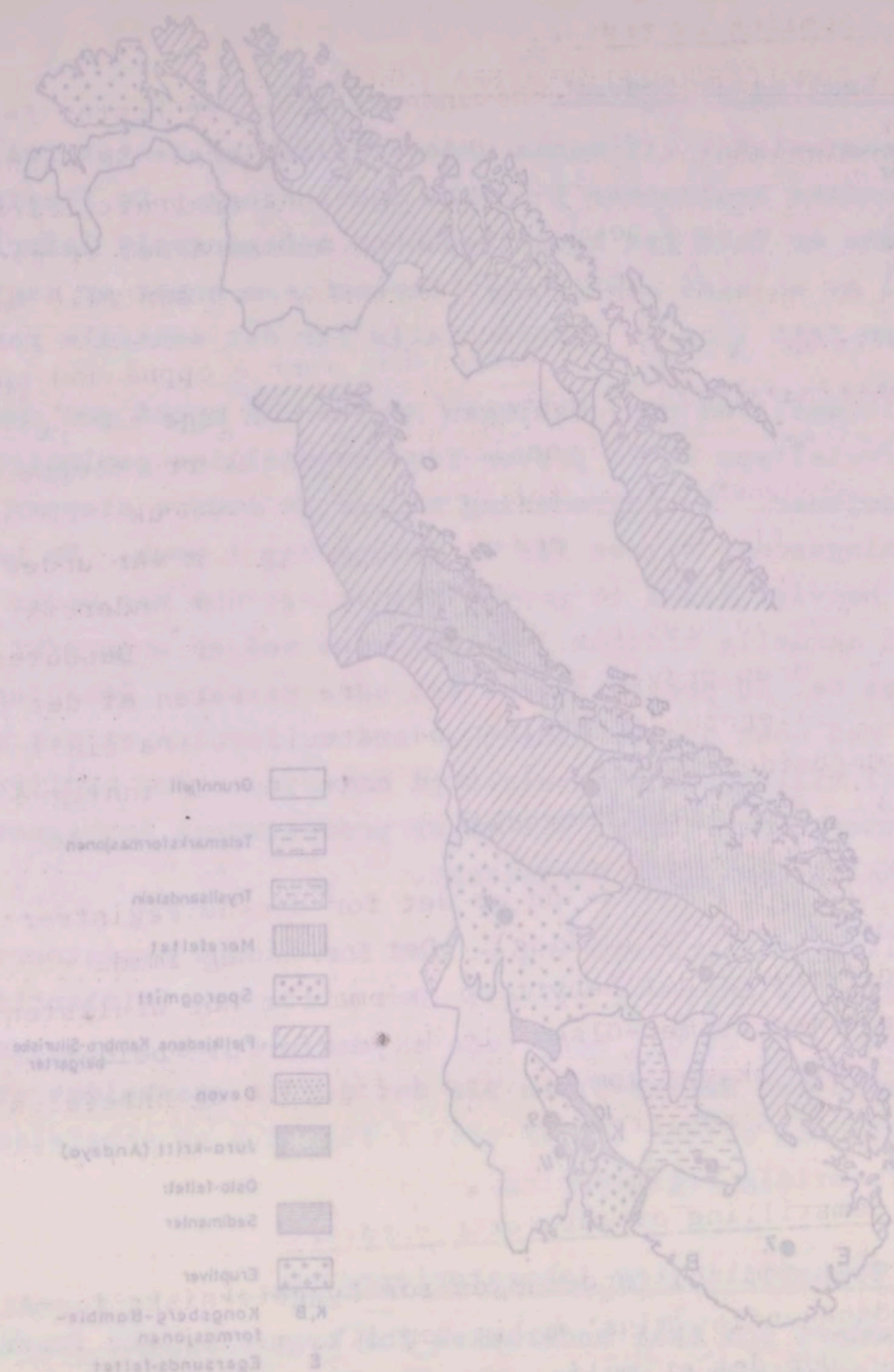


- Grunnfjell
- Telemarksformasjonen
- Trysilandsstein
- Mørefeltet
- Sparagmitt
- Fjellkjedens Kambro-Siluriske bergarter
- Devon
- Jura-kritt (Andøya) sonen
- Oslo-feltet: Sedimenter
- Eruptiver
- K, B Kongsberg-Bamble-formasjonen
- E Egersunds-feltet

Oversikt over Norges fjellgrunns geologi.

- 1. Rana-anleggene
- 2. Bogna kraftverk
- 3. Driva kraftverk
- 4. Rendalen kraftverk
- 5. Borgund kraftverk
- 6. Folgefonnaanleggene
- 7. Sira-Kvina kraftselskap
- 8. Sundsbarm kraftverk
- 9. Grorudbanens forlengelse
- 10. Lieråsen jernbanetunnel
- 11. Follo renseanlegg

Fig. 3.3.



- 1 Grundfjell
- Taternafjellmassen
- Fyllingsdalen
- Morsetfjell
- Spangsmitt
- Fjellene i Rindal og Sjøndal
- Davon
- Lura-Kitt (Andøy)
- Ostfjell
- Sedimenter
- Englevatn
- K.B. Kongedals-Bomdalen
- Eggsundfjell

Oversikt over Norges fjellmasser geologisk.

- 1. Rana-anlegg
- 2. Bogn kraftverk
- 3. Driva kraftverk
- 4. Rendalen kraftverk
- 5. Borund kraftverk
- 6. Polsethanslegg
- 7. Sira-Kvina kraftselskap
- 8. Sandness kraftverk
- 9. Grorudens forlengelse
- 10. Liersen trykktunnel
- 11. Polio tennsanlegg

Fig. 3.3.

FELTDATA FOR LEIRSONEPRØVER FRA FJELLANLEGG.

Laboratorieprøve nr.

Anlegg Dato for prøvetaking

Adresse Prøven er tatt av

Sonens beliggenhet i anlegget (tverrslag, stuff, pel)

.....

.....

Profil m² Bredder mPrøvestedets beliggenhet i forhold til topografien.

Vertikal overlaging Avstand horisontalt ut i dagen.....

Vinkel mellom anleggets akse og dalsiden

Kote for såle Kote for nærliggende fjellplatå.....

Sidefjellet: Petrografisk betegnelse

Friskt/omvandlet Oppsprekningsgrad

Avstand til eventuell nærliggende sone

Karakter av mellomliggende fjell

Lekkasjeforhold

Leirsonen: Sonens type/struktur

Sonens farge Sonens totale bredde

Sonens avgrensning til sidefjellet

Bredde av sonen som prøven er representativ for

Anslått total finstoffmengde under 0,5 mm i resten av sonen

.....

Sonens strøk Fall

Skjæringsvinkel med anleggets akse

Inntrykk av konsolideringsgrad

Dato for frisprenget

Sikringstiltak ved frisprenget

Sonens oppførsel etter frisprenget

Sikring av sonen bak stuff

Forhold vedrørende anleggets senere bruk:

Fjellrommets formål

Tilgjengelig for frost Innvendig trykk

Hva skal fjellrommet være fylt med?

Andre opplysninger

.....

Fig. 3.4.

FELTDATA FOR LEIRSONNERPROVET FRA FJELLHOLEN

Laboratorierpørve nr.
Anlegg
Date for prøvetaking
Prøven er tatt av
Adresse
Sonnens beliggenhet i anlegget (tverrsnitt, skisse, foto)
.....
.....
Profil m²
Bredde

Prøvestedets beliggenhet i forhold til konsolleringen

Vertikal overføring
Vinkel mellom anleggets akse og dalsiden
Kote for såle
Stedliggelse i forhold til konsolleringen

Trikk/omvendt
Avstand til eventuelle nærliggende soner
Karakter av konsolleringen i forhold til
Lekkesforhold

Leirsonen: Sonens type
Sonens farge
Sonens avgrensningslinje
Bredde av sonen som prøvet er tatt av
Analysert total finkollmenning under 0,2 mm i resten av sonen

Sonnens strøk
Skjningsvinkel med anleggets akse
Inntrykk av konsolleringen

Date for friprensning
Sikringsstiltak ved friprensning
Sonnens oppførsel etter friprensning
Sikring av sonen bak stoff
Forhold vedrørende anleggets soner

Fjellrommets formål
Tilgjengelig for frost
Hva skal fjellrommet være fylt med
Andre opplysninger

I de fleste leirsoner vil det imidlertid være meget vanskelig å ta uforstyrrede prøver med regelmessig form p.g.a. grove fragmenter og høy komprimeringsgrad. Denne undersøkelsen er derfor basert på omrørte prøver, noe som er tilfredsstillende for å bestemme et materiales potensielle svelleevne. For å kunne forutsi den virkelige svelling i et anlegg, må i tillegg de ytre faktorer (komprimeringsgrad, indre bindinger, struktur, vanninnhold etc.) være kjent.

I en representativ omrørt prøve må alle fraksjoner være til stede i samme innbyrdes forhold som i naturen. Innholdet av grove korn er imidlertid ofte ganske høyt i materialer fra knusningssoner. De fire prøvene som ble undersøkt i Sandberg's hovedoppgave (1968) inneholdt alle 30 - 40% grus og stein (fraksjon større enn 2 cm). Dette medfører bl.a. at kjøring i vanlige ødometere med prøve høyde 2 cm, blir umulig. En må dessuten regne med stor spredning i forsøksresultatene p.g.a. tilfeldig fordeling av de største kornene.

Ved fremstilling av laboratorieprøver er det derfor valgt å fjerne grovfraksjonen fra den totale prøve. Siden de største forskjeller hos materialene ligger i finfraksjonen, kan dette gjøres. Terzaghi og Peck (1967, s. 22) hevder at en jordarts egenskaper hovedsakelig blir bestemt av de fineste 20%. En kan til en viss grad sammenligne med betong, hvor 70 - 80% av vekten kan være tilslagsmaterialer, men egenskapene likevel vesentlig bestemmes av bindemidlet sement og vann.

Grovfraksjonen i leirsonematerialer består av bergartsfragmenter eller mineraler som feltspat, kvarts etc. som bidrar lite til den potensielle svelleevne. De vil imidlertid tynne ut prøven slik at målt svelleevne øker når grovfraksjonen fjernes. En må derfor holde rede på hvor stor del av den totale prøven som fjernes.

Valg av maksimal kornstørrelse fortjener atskillig oppmerksomhet. Brekke valgte i sitt licentiatgradsarbeide (1963) å slemme av materiale mindre enn 20 μm . Han påpeker at denne metode er

I de fleste af de undersøgte virksomheder er der en vis grad af specialisering af arbejdet, og det er især i de større virksomheder, at denne specialisering er udpræget. Dette betyder, at arbejderne kun beskæftiges med en eller få bestemte arbejdsopgaver, og det har til følge, at de får en dyb viden om deres arbejde og de maskiner og værktøjer, som de arbejder med. Denne specialisering har en række fordele, som f.eks. at den giver anledning til en hurtig og effektiv uddannelse af arbejderne, og at den giver anledning til en høj produktivitet og kvalitet af arbejdet.

I en repræsentativ undersøgelse af 100 virksomheder er det blevet konstateret, at der er en klar tendens til, at arbejderne i de større virksomheder er mere specialiserede end arbejderne i de mindre virksomheder. Dette skyldes, at de større virksomheder har en større mængde af arbejdsopgaver, som kan dele op i mange små og specielle arbejdsopgaver. I de mindre virksomheder er arbejdet derimod mere generelt og mindre specialiseret. Dette betyder, at arbejderne i de større virksomheder får en mere omfattende og dyb viden om deres arbejde, og det har til følge, at de er mere produktive og kvalitetsbevidste end arbejderne i de mindre virksomheder.

Ved at specialisere arbejdet kan virksomhederne opnå en række fordele, som f.eks. at de kan reducere deres omkostninger og øge deres produktivitet. Dette skyldes, at arbejderne i de specialiserede virksomheder får en hurtig og effektiv uddannelse, og at de derfor kan arbejde hurtigere og mere effektivt end arbejderne i de generelle virksomheder. Desuden kan specialiseringen også give anledning til en høj kvalitet af arbejdet, fordi arbejderne får en dyb viden om deres arbejde og de maskiner og værktøjer, som de arbejder med.

Men specialiseringen har også nogle ulemper, som f.eks. at den kan give anledning til en ensformig og kedelig arbejdsdag for arbejderne. Dette skyldes, at arbejderne kun beskæftiges med en eller få bestemte arbejdsopgaver, og det kan derfor være svært for dem at holde sig interesseret og motiverede. Desuden kan specialiseringen også give anledning til en høj arbejdsløshed, fordi de specialiserede arbejderne kun kan arbejde i de virksomheder, som de er specialiserede til, og det kan derfor være svært for dem at finde arbejde, hvis de bliver arbejdsløse.

Alt i alt er specialiseringen af arbejdet en vigtig faktor for virksomhedernes produktivitet og kvalitet af arbejdet. Men det er vigtigt at være opmærksom på de ulemper, som specialiseringen kan give anledning til, og at tage disse ulemper i betragtning, når man beslutter sig for at specialisere arbejdet i en virksomhed.

lite tilfredsstillende (s. 102) siden det p.g.a. fnokking vil kunne bli stor variasjon i virkelig maksimal kornstørrelse, noe som vil ha betydning for potensiell svelleevne.

For å holde kontroll med øvre kornstørrelse, synes det derfor best å bruke sikting. Nederste praktiske grense vil da bli omkring sikt 200 (ca. 0,07 mm). Øvre grense for kjøring av tynne prøver i ødometer blir ca. 2 - 3 mm. I dette intervall er det flere forhold som spiller inn, noe som vil bli nærmere behandlet under diskusjonen i avsnitt 9. I dette arbeide er det fremstilt laboratorieprøver med maksimal kornstørrelse 0,5 mm av de undersøkte materialer. For en del materialer er sikt 200 og andre grenser benyttet i tillegg.

Det er kjent at uttørking og varmebehandling vil kunne forandre et leirmaterialers egenskaper. Dette vil bl.a. komme til uttrykk i konsistensgrensene. Fig. 3.5 viser resultater fra forsøk av Chandrasekharam et al. (1969). "Black cotton soil" har montmorillonitt som dominerende mineral, "lateritic soil" har kaolin og jern- og aluminiumsoksyder. En ser at både flytegrense og utrullingsgrense synker med økende tørketemperatur. Dette skyldes at partiklene kommer svært nær hverandre. Derved kan de tiltrekkende kreftene bli store nok til å hindre vann i å trenge mellom på nytt. For lufttørkede prøver er forholdene mer uklare. Lambe (1965) omtaler en leirprøve hvor flytegrensen steg 20% etter lufttørking. Dette blir forklart med at bindingskreftene minsker og partikkelstørrelsen derved avtar. Lambe sier imidlertid at en for montmorillonittleirer ikke kan forutsi virkningen av en uttørking. Også for andre leirer kan imidlertid flytegrensen synke etter lufttørking. For å unngå uttørking er våtsikting anvendt.

Siktetiden vil ha en viss betydning, idet materialet kan males ned. Det er benyttet siktetid ca. 10 min., og forholdsvis små porsjoner om gangen. Til siktingen er det brukt minst mulig vann, men det vil likevel bli noe overskuddsvann som må fjernes.

Følgende metoder er vurdert:

- a) Tørking i varmeskap.
- b) Sentrifugering.
- c) Avsuging med undertrykk.

Ved avdamping i varmeskap kan en risikere å få så sterk uttørking av prøven at egenskapene forandres, samt miste noe finstoff på veggene av karet. For å unngå dette må prøven passes ganske omhyggelig. Avdamping av større vannmengder tar også ganske lang tid.

Sentrifugering ble forsøkt i hovedoppgavene til Fitje og Riise (1970). Det viste seg imidlertid at iallfall utstyret ved Geologisk Institutt var lite egnet til dette formål.

Avsuging med undertrykk kan skje ved en oppstilling som vist i fig. 3.6. En kan der slå materialet opp i skåla, skru på vannet og la det hele stå. Det vil være en viss fare for tap av finstoff, men materialet vil etter hvert bygge opp et naturlig filter. Ved å samle opp avløpsvannet, og eventuelt helle det opp en gang til, kan det hele tiden holdes kontroll med eventuelt tap av finstoff. Ut fra de erfaringer en har gjort synes avsuging med undertrykk å være en hensiktsmessig metode å fjerne overskuddsvannet på. Etter avsugingen av vann ble prøvene omhyggelig homogenisert ved manuell omrøring. Prøvene ble deretter oppbevart på norgesglass med tett lokk for å hindre uttørking.

For sammenligning er det i tillegg fremstilt laboratorieprøver på konvensjonell metode (Brekke 1963). Den groveste fraksjonen er fjernet ved å slemme av materiale mindre enn 20 μm . Finfraksjonen tørkes i varmeskap (105°C) og det inntørkede materialet males ned i porselensmølle til mest mulig lik komgradering fra gang til gang. Det skal være lett formbart, og enkeltkorn skal ikke kjennes mellom fingrene ("dødmalt").

Widerstande werden an vordere

folgende werden an vordere

folgende werden an vordere

a) Faltung i vordere

b) Gentrifugierung

c) Auszugung und untertryk

der vordere... an vordere... i i af storke

der vordere... i vordere... an vordere... i i af storke

der vordere... an vordere... i i af storke

der vordere... an vordere... i i af storke

der vordere... an vordere... i i af storke

anderet var ogsa ganske lang tid

der vordere... i i af storke

der vordere... an vordere... i i af storke

der vordere... an vordere... i i af storke

der vordere... an vordere... i i af storke

der vordere... an vordere... i i af storke

der vordere... an vordere... i i af storke

der vordere... an vordere... i i af storke

der vordere... an vordere... i i af storke

der vordere... an vordere... i i af storke

der vordere... an vordere... i i af storke

der vordere... an vordere... i i af storke

der vordere... an vordere... i i af storke

der vordere... an vordere... i i af storke

der vordere... an vordere... i i af storke

der vordere... an vordere... i i af storke

der vordere... an vordere... i i af storke

der vordere... an vordere... i i af storke

der vordere... an vordere... i i af storke

der vordere... an vordere... i i af storke

der vordere... an vordere... i i af storke

der vordere... an vordere... i i af storke

der vordere... an vordere... i i af storke

der vordere... an vordere... i i af storke

der vordere... an vordere... i i af storke

der vordere... an vordere... i i af storke

4. BESKRIVELSE AV DE NYTTIGE LABORATORIEMETODER.

4.1. Rutineundersøkelser.

Naturlig vanninnhold.

Vanninnholdet

i prøven uttrykkes som prosent av vanninnholdet i prøven som vekt av vann i prøven uttrykt som prosent av tørrstoffvekt. Med tørrstoffvekt menes tørrestoffvekten etter tørking i tørkeskap (105°C) til den har oppnådd konstant vekt (vanligvis 24 timer).

Den viktigste feilkilden er feil i måling av vanninnhold hos fin-kornige jordarter som følge av ufullstendig tørring av prøven.

Fig. 4.1 viser hvordan vanninnholdet i jordarter som består av del av vannet er drevet av ved 105°C, de siste vannlagene forsvinner først ved langt høyere temperaturer. Det blir imidlertid bare en definisjonsmessig feil.

Influence of heat treatment on consistency properties.

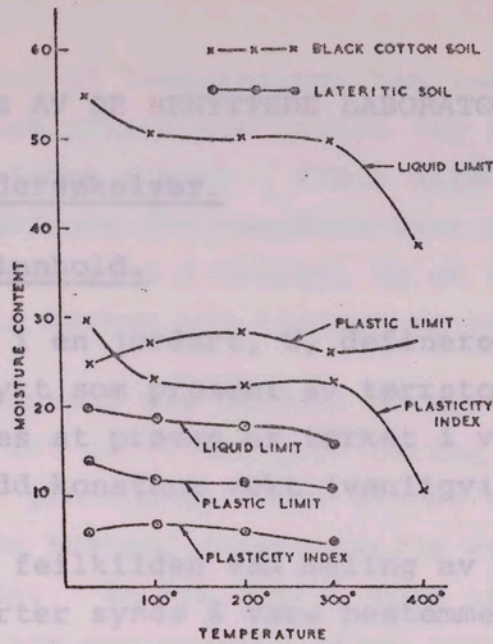


Fig. 3.5.

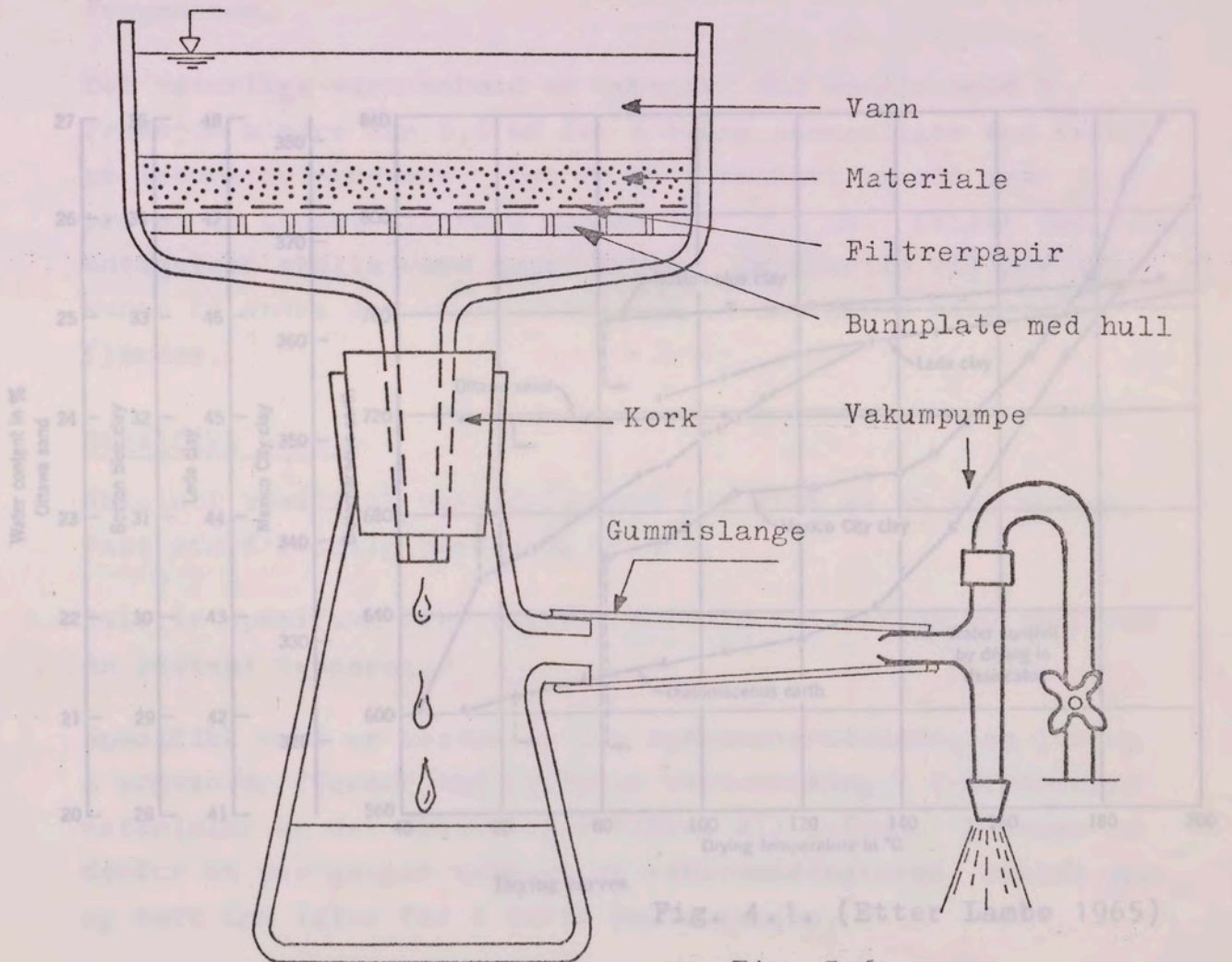
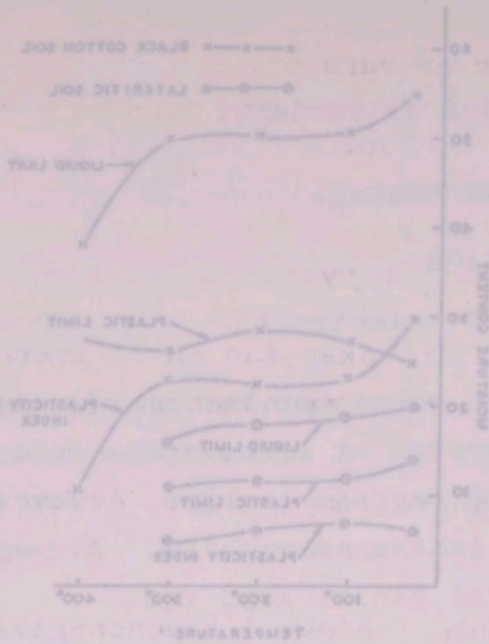


Fig. 4.1. (Etter Lunde 1965)

Fig. 3.6.



Influence of heat treatment on consistency properties.

Fig. 3.5.

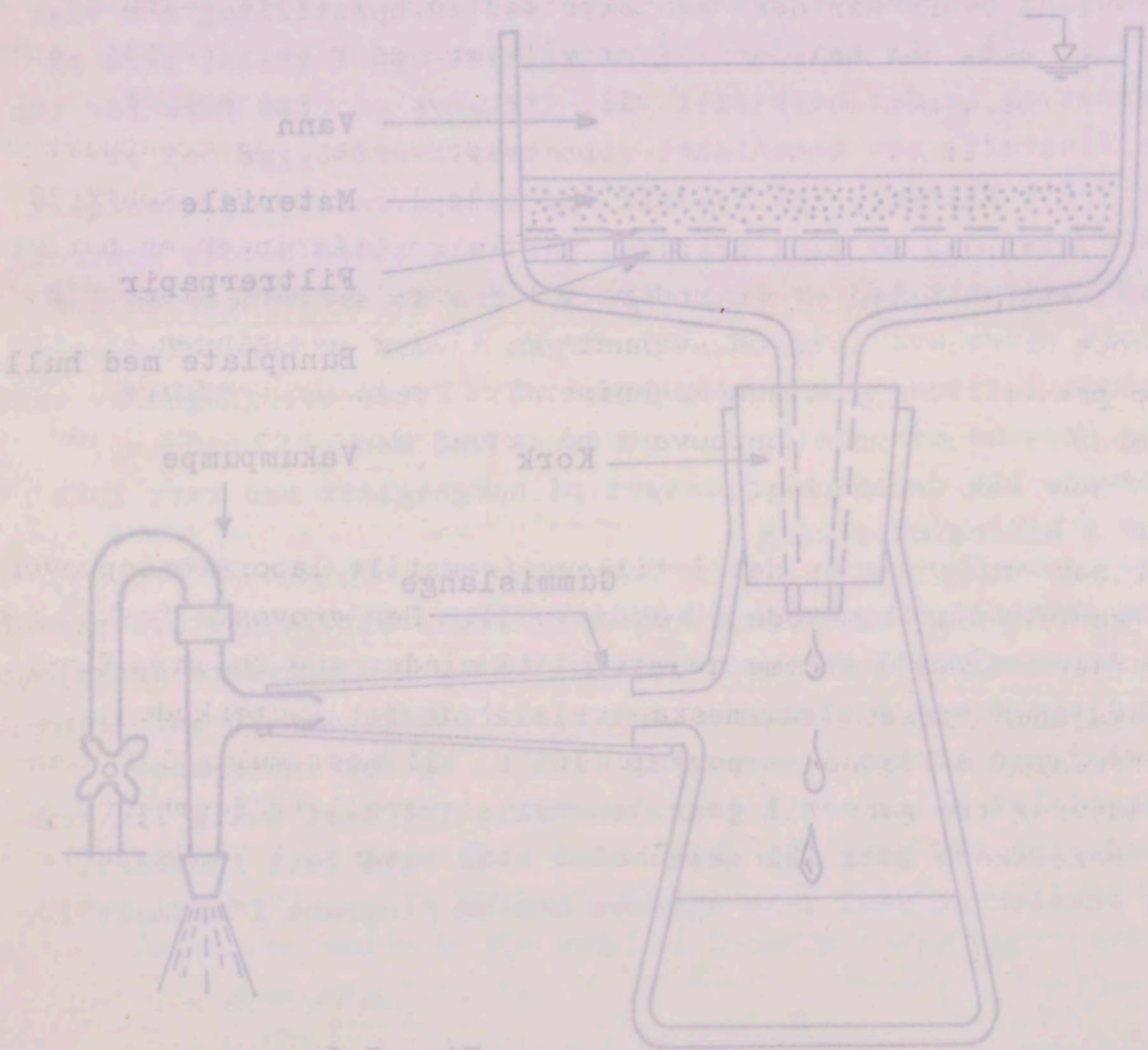


Fig. 3.6.

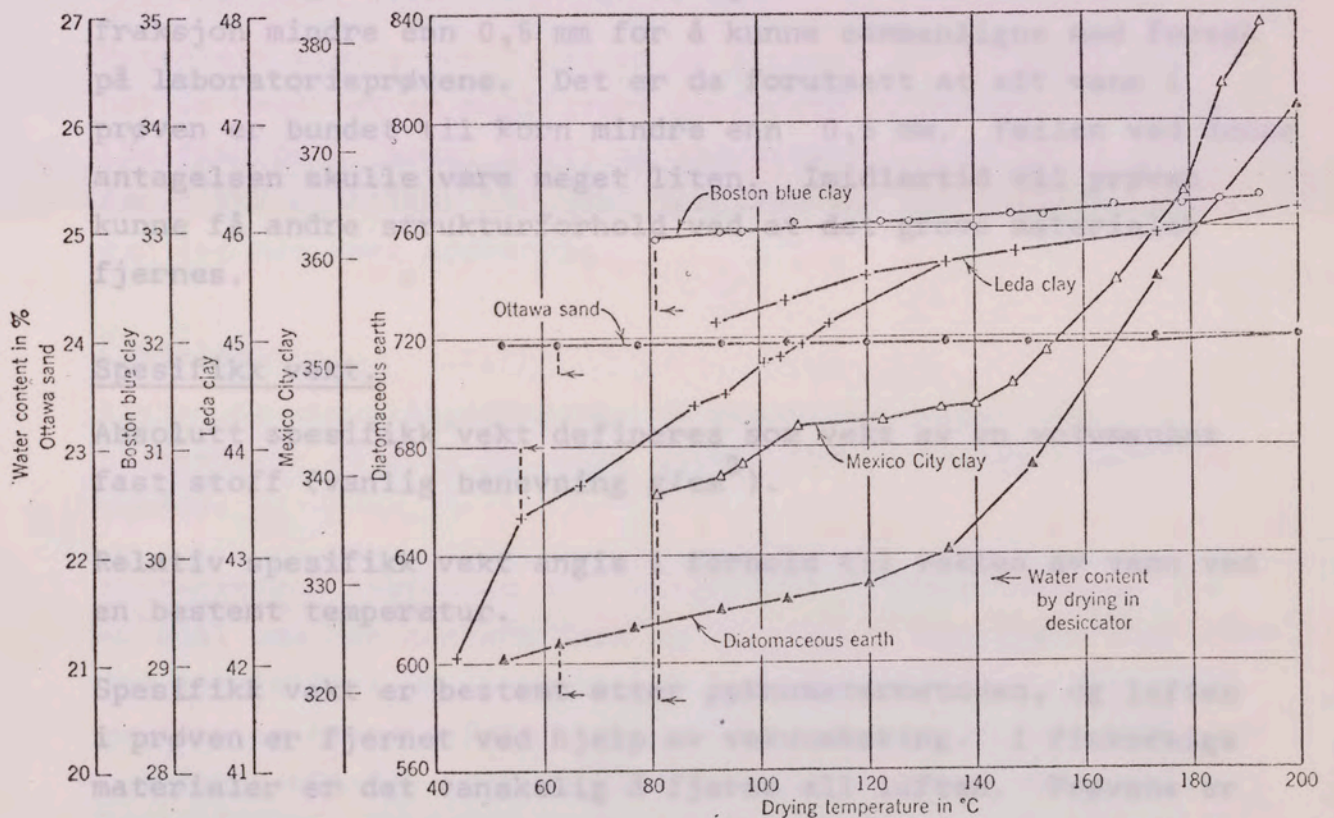
4. BESKRIVELSE AV DE BENYTTETE LABORATORIEMETODER.

4.1. Rutineundersøkelser.

Naturlig vanninnhold.

Vanninnholdet i en jordart, W , defineres som vekt av vann i prøven uttrykt som prosent av tørrstoffvekten. Med tørrstoffvekt menes at prøven er tørket i varmeskap (105°C) til den har oppnådd konstant vekt (vanligvis 24 timer).

Den viktigste feilkilden ved måling av vanninnhold hos fin-kornige jordarter synes å være bestemmelse av tørrvekten. Fig. 4.1 viser tørkekurver for ulike materialer. Bare en del av vannet er drevet av ved 105°C , de siste vannlagene forsvinner først ved langt høyere temperaturer. Det blir imidlertid bare en definisjonssak.



Drying curves.

Fig. 4.1. (Etter Lambe 1965)

4. BESKRIVELSE AV DE BENYTTETE LABORATORIEMETODER.

4.1. Rutineundersøkelser.

Naturlig vanninnhold.

Vanninnholdet i en jordart, W, defineres som vekt av vann i prøven uttrykt som prosent av tørrestoffvekten. Med tørrestoffvekt menes at prøven er tørket i varmeskap (105°C) til den har oppnådd konstant vekt (vanligvis 24 timer).

Den viktigste felikilden ved måling av vanninnhold hos fine kornige jordarter synes å være bestemmelse av tørreketen. Fig. 4.1 viser tørkekurver for ulike materialer. Bare en del av vannet er drevet av ved 105°C, de siste vannlagene forsvinner først ved langt høyere temperaturer. Det blir imidlertid bare en definisjonsak.

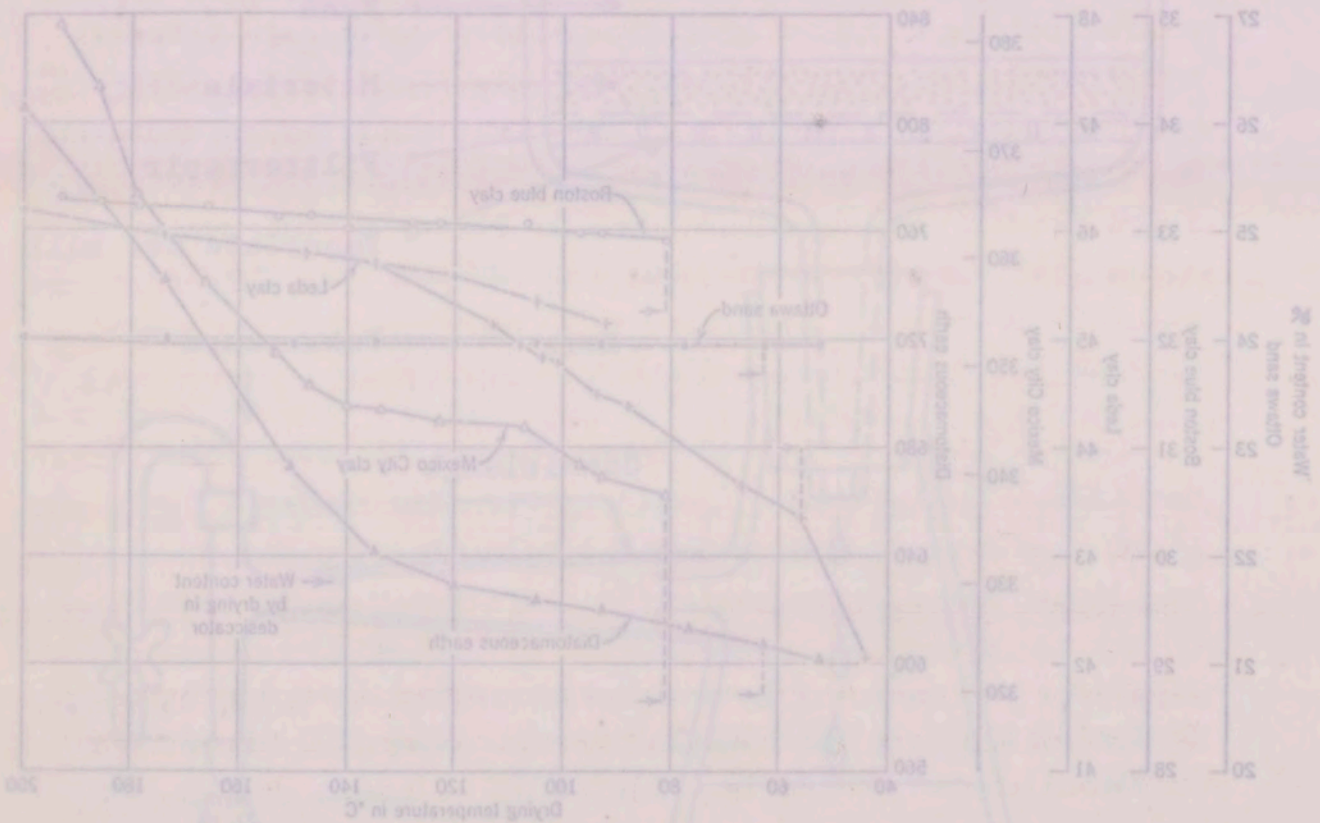


Fig. 4.1. (Etter Janbe 1952)

Viktigere er det at temperaturen kan variere rundt i tørkeskapet. Fuktige prøver som settes inn til tørking vil også kunne påvirke tørre prøver. For å eliminere disse feilkildene, ble prøvene som vanninnholdet skulle bestemmes i plassert på samme sted i skapet, og en har prøvd å unngå at skapet samtidig brukes til inndamping av større vannmengder.

Naturlig vanninnhold ble bestemt på mest mulig representative prøver på ca. 100 g. Etter prøvetaking ble materialene oppbevart i tette plastposer for å hindre uttørking, og naturlig vanninnhold ble bestemt snarest mulig etter at prøvene kom til laboratoriet. En kan derfor anta at vanninnholdet ikke har forandret seg nevneverdig etter prøvetaking.

Det ble tatt to prøver av hvert materiale, og forskjellen i vanninnhold var stort sett under 2%. Større avvik lot seg delvis forklare ved forskjellig innhold av grove bergartsfragmenter.

Det naturlige vanninnhold er omregnet til vanninnhold i fraksjon mindre enn 0,5 mm for å kunne sammenligne med forsøk på laboratorieprøvene. Det er da forutsatt at alt vann i prøven er bundet til korn mindre enn 0,5 mm. Feilen ved denne antagelsen skulle være meget liten. Imidlertid vil prøven kunne få andre strukturforhold ved at det grove materialet fjernes.

Spesifikk vekt.

Absolutt spesifikk vekt defineres som vekt av en volumenhet fast stoff (vanlig benevning g/cm^3).

Relativ spesifikk vekt angis i forhold til vekten av vann ved en bestemt temperatur.

Spesifikk vekt er bestemt etter pyknometermetoden, og luften i prøven er fjernet ved hjelp av vakuumkoking. I finkornige materialer er det vanskelig å fjerne all luften. Prøvene er derfor et par ganger tatt ut av vakuumeksikatoren, rystet opp og satt inn igjen for å lette luftavgangen.

Viktige er det at temperaturen kan variere rundt i 10-15
grader. Følgelig prøver man ved at lufte vil også
kunne påvirke våre prøver. For å eliminere disse feil-
kildene, blir prøvene som vanninnholdet skulle bestemmes i
plassert på samme sted i skåpet, og en har prøvd å unngå at
skåpet samtidig brukes til innblanding av store vannmengder.

Naturlig vanninnhold blir bestemt på mest mulig representative
prøver på ca. 100 g. Etter prøvetaking blir materialene opp-
bevart i rette plastposer for å hindre uttørring, og naturlig
vanninnhold blir bestemt sårest mulig etter at prøvene kom
til laboratoriet. En kan derfor anta at vanninnholdet ikke
har forandret seg nødvendigvis etter prøvetaking.

Det blir tatt to prøver av hvert materiale, og forskjellen i
vanninnhold var stort sett under 1%. Store forskjeller var
selvs forskjeller ved forskjellige innhold av grove partikler.
Eksponenter:

Det naturlige vanninnhold er omgitt til vanninnhold i
reaksjon mindre enn 0,5 mm for å kunne sammenligne med forsker
på laboratoriet. Det er da forutsatt at alt vann i
prøven er bundet til kom mindre enn 0,5 mm. Feilen ved denne
antagelsen skulle være meget liten. Imidlertid vil prøven
kunne få større vanninnhold ved at det grove materialet
ligger.

Spesifikk vekt.

Absolutt spesifikk vekt bestemmes som vekt av en volumenhets
fås: $\rho = \frac{m}{V}$ (dennings betegnelse).
Relativ spesifikk vekt er i forhold til vekten av vann ved
en bestemt temperatur.

Spesifikk vekt er bestemt etter pyknometermetoden, og luftens
i prøven fjernes ved hjelp av vakuumkoking. I linkevis
måretiden er det vanskelig å fjerne all luft. Prøvene er
derfor et par ganger tatt ut av vakuumkokeren, trykkes opp
og satt inn igjen for å fjerne luftvannet.

Den spesifikke vekt er bestemt som gjennomsnitt av to målinger. Største avvik var $0,06 \text{ g/cm}^3$, to materialer hadde $0,04$, ett $0,03$ og de øvrige 14 hadde $0,02$ eller mindre. Siden spesifikk vekt her bare benyttes som hjelpemiddel i kornfordelingsanalysen, er denne nøyaktigheten tilstrekkelig. For de 18 undersøkte materialene varierer spesifikk vekt fra $2,69$ til $3,02 \text{ g/cm}^3$ med middelvei $2,80 \text{ g/cm}^3$.

Kornfordeling.

Materialenes kornfordelingskurver er bestemt ved kombinert sikte- og slemmeanalyse.

Laboratorieprøven ble fremstilt ved å ta ut materiale mindre enn $0,5 \text{ mm}$ av ca. 2 kg total prøve. Materiale større enn $0,5 \text{ mm}$ ble bestemt som % av total, og tørrsiktet på sikt med kvadratisk åpning $1, 2, 4, 8$ og 16 mm .

Kornfordeling i intervallet $0,5$ til $0,074 \text{ mm}$ er bestemt ved våtsikting av ca. 100 g prøve på sikt $0,250, 0,125$ og $0,074 \text{ mm}$.

Materiale mindre enn $0,074 \text{ mm}$ er bestemt ved slemmeanalyse. Det er benyttet en modifisert professor Andreassen's metode (Beitnes pers. komm. 1972) og prøvestørrelse på ca. 5 g . Ammoniakk og calgon har vært benyttet som dispergeringsmiddel der det har vært nødvendig.

Plastisitet.

Flyte- og utrullingsgrensene er empiriske metoder for bestemmelse av øvre og nedre grense for en leires plastiske område.

Flytegrensen bestemmes ved Casagrandes flytegrenseapparat, en skål som har bestemt form og vekt og er opplagret slik at den kan falle 1 cm . Materialet legges i skåla, og det lages en fure av bestemt form i det. Flytegrensen er vanninnholdet i prosent når det skal 25 slag til for at fugen skal flyte sammen over en strekning på $1,25 \text{ cm}$ ($0,5''$).

Den egentlige vægt i bestand del af sammensætningen af de enkelte bestanddele. Den egentlige vægt af den samlede bestanddel er 0,08 g/cm³. Den samlede vægt af de enkelte bestanddele er 0,03 og de øvrige 0,05. Den samlede vægt af de enkelte bestanddele er 0,03 og de øvrige 0,05. Den samlede vægt af de enkelte bestanddele er 0,03 og de øvrige 0,05.

Materialanalyse

Korforbindelse

Materialanalyse af korforbindelse er bestemt ved kombineret sikte- og elementanalyse. Den samlede vægt af de enkelte bestanddele er 0,03 og de øvrige 0,05. Den samlede vægt af de enkelte bestanddele er 0,03 og de øvrige 0,05. Den samlede vægt af de enkelte bestanddele er 0,03 og de øvrige 0,05.

Materialer

Plastmateriale

Flyttestoffet er et plastmateriale, som er bestemt ved en fysisk metode. Den samlede vægt af de enkelte bestanddele er 0,03 og de øvrige 0,05. Den samlede vægt af de enkelte bestanddele er 0,03 og de øvrige 0,05. Den samlede vægt af de enkelte bestanddele er 0,03 og de øvrige 0,05.

Settes vanninnholdet av i lineær skala mot antall slag i logaritmisk skala, blir sammenhengen rettlinjet. En kan derfor ta flytegrensen ut av diagrammet uten å være nødt til å treffe nøyaktig på 25 slag. Det er bestemt tre vanninnhold, ved henholdsvis ca. 20, 25 og 30 slag. For å få like forhold er det brukt prøver med overskudd av vann, som gradvis har tørket ut.

Utrullingsgrensen for en jordart er vanninnholdet i prosent når materialet såvidt kan rulles ut til en streng med 3 mm (1/8") tykkelse. Utrullingsgrensen er bestemt som gjennomsnitt av tre forsøk.

Alle flyte- og utrullingsgrensebestemmelser er gjort under like forhold og av samme operatør. De skulle derfor være innbyrdes sammenlignbare. Verdiene er angitt på nærmeste hele eller halve prosent. For flytegrensen er dette realistisk, men utrullingsgrensen kan nok i enkelte tilfeller ha en usikkerhet på 2 - 3%. Ved sammenligning med forsøk gjort av andre blir sannsynligvis usikkerheten en del større.

Plastisitetsindeks er differensen mellom flytegrense og utrullingsgrense.

Aktivitet i en leire er lik plastisitetsindeks dividert med % materiale mindre enn 2 μm .

4.2. Deformasjonegenskaper.

Laboratorieprøvenes konsoliderings- og svelleegenskaper er undersøkt ved på- og avlastning i ødometer. Det ble benyttet prøver med totalvekt ca. 50 g. Vanninnholdet ved pakking i ødometeret lå noen prosent over flytegrensen. Det er benyttet ødometer fra Geonor med prøvesylinder som har indre areal 20 cm² og høyde 2 cm. Den omsluttet av en sperrering som hindrer sideutvidelse. Ødometerforsøket er altså en en-dimensjonal deformasjonsmodell. Filter over og under prøven ga tosidig fri drenering.

gattes vanninnholdet av i lignet skal med entall slag i
 logaritisk skala, slik sammenhengt rettlinjer. En kan
 derfor se flytningen ut av diagrammet uten å være ned til
 Å tredje nykasting på 35 slag. Det er bestemt tre vanninnhold
 ved henholdsvis ca. 20, 35 og 50 slag. For å få like forhold
 er det brutt prøven med overskudd av vann, som gir de samme
 trykkes ut.

Uttrykket for en Jordart er vanninnholdet i prosent
 når materialet prøvet kan tåles til en styrke med 2 mm
 (1/8") tykkelse. Uttrykket er bestemt som $k = \frac{w}{d}$
 snitt av tre forsøk.

Alle flyte- og strømlingsegenskaper er gjort under
 like forhold og av samme operatører. De skulle derfor være
 innbyrdes sammenlignbare. Verdiene er angitt på nærings
 hele eller halve prosent. For flytningen er dette vist i tabell
 men strømlingen kan nok i enkelte tilfeller ha en visst
 bet på 3-5% ved sammenligning med forsøk gjort av andre
 på samme måte. Det er naturligvis en del spore.

En forskjell mellom flyte- og strømlingsegenskaper er
 forskjellen i differansen mellom flytningen og ut-
 strømlingen.

En del av de fysiske egenskapene er å forholde seg til
 med 2 meter i mindre enn 2 mm.

4.3. Plastisitetsegenskaper.

Lab. i Norge og i Sverige konsolideres og sveiesseskaper er
 utført ved og på avstivning i 20 meter. Det ble benyttet
 med vanninnholdet av ca. 20%. Vanninnholdet ved pakning i
 laboratorium er som vanlig i flytningen. Det ble benyttet
 for å se på forskjeller i prøvelinjer som har andre stør
 20 cm i høyde. En spesiell som
 på en omgittet av en sperre som
 bindes med et slir eller en en-
 lignende arbeidsmodell. Hittil er det prøvet
 på forskjellige drenering.

Etter pakking fikk prøven stabilisere seg med 1 t/m^2 belastning i 1 til 2 timer. Lasten ble påført trinnvis med følgende lasttrinn:

Konsolidering:	2,5	5	10	25	50	100	200 t/m^2	
Svelling	:	100	50	25	10	5	2,5	1 t/m^2

Trinntiden ble holdt konstant lik 0,5 time. For hvert trinn ble deformasjonen avlest ved 0,1, 0,25, 0,5 min., for hvert minutt til 10 - 12 minutter og videre for hvert 5. minutt.

Høydeuret som ble benyttet har en avlesningsnøyaktighet på $1/1000 \text{ mm}$, og selv små vibrasjoner fra smell i dører etc. kan gi utslag. Forsøkene ble derfor kjørt ettermiddag og kveld for å sikre mot forstyrrelser.

Prøvehøyden ble målt ved 200 t/m^2 belastning. Prøvene kan bli noe skjeve, og høyden er tatt som gjennomsnitt av tre målinger med 120° avstand rundt ødometerskålen. Høyden er bestemt ved avtrykk i plastmasse som vist i fig. 4.2.

Prøvehøydene var ca. 1 cm. Med tosidig drenering vil en da få med primærforløpet for leirer med konsolideringskoeffisient

$$C_v \geq \frac{h^2}{t_p} \approx \frac{0,5^2}{30} \approx 0,01 \text{ cm}^2/\text{min.}$$

Laboratorieprøvene ble også undersøkt ved avlasting i ødometer. Bortsett fra på- og avlasting ble det benyttet samme prøvebetingelser som for fullstendige ødometerforsøk.

Følgende pålastingssyklus ble benyttet:

Tid (min.):	0	2	5	10	15	20	25	30
Last (t/m^2):	1	2,5	5	10	25	50	100	200

Ved for rask pålasting kan en risikere at materialet presses ut av prøvesylinderen. For materialer som trenger lang tid på primærsetningen, må derfor pålastingen antagelig foregå noe langsommere.

Etter bakning fikk prøven stabiliserte seg med 1 1/2 timer. Lasten ble påført trinnsvis med følgende lasterinn:

Konsolideringsgrad	2.5	5	10	25	50	100	100	100
Sveffelst	100	60	35	10	5	2.5	2.5	2.5

Trinntiden ble holdt konstant lik 0.5 timer for hvert trinnsvis. De deformasjonene avlest ved 0.1, 0.25, 0.5 min., for hvert trinnsvis. Minst 10-12 målinger og videregående for hvert 5. minutt. Høydeutret som ble benyttet har en avlesningsnøyaktighet på 0.001 mm, og selv små videregående ble tatt i betraktning og kan gi utslag. Forsøkene ble derfor gjort ettermidde og kveld for å sikre god forstyrrelse.

Prøvehøyden ble målt ved 100 r/m belastning. Deformasjonen ble målt med et mikrometer og høyden er blitt noe økt, og høyden er blitt noe mindre. Målinger med 100 avstand under komprimeringen. Høyden ble bestemt ved uttrykk i glassmasse som vist i fig. 1.

Prøvehøyden var ca. 1 cm, med følgende komprimeringskoeffisienter: $\frac{1}{30} \approx 0.01$ cm/min.

Prøvehøyden ble også undersøkt ved avlesning i laboratorierne. De deformasjonene ble også undersøkt ved avlesning i laboratorierne for lutittendige ødemer. Bortsett fra på- og avlesning ble resten av prøven betingelser som for lutittendige ødemerforøkt.

Følgende målingstidspunkt ble benyttet:	0	5	10	15	20	25	30
Tid (min)	0	5	10	15	20	25	30

Ved for svak belastning ble det observert at materialet ble noe mindre. Ved for svak belastning kan en visning av materialet observeres på primærstadiet, og derfor pålastningen uttrykkelig foregå på primærstadiet, må derfor pålastningen antagelig foregå noe langsommere.

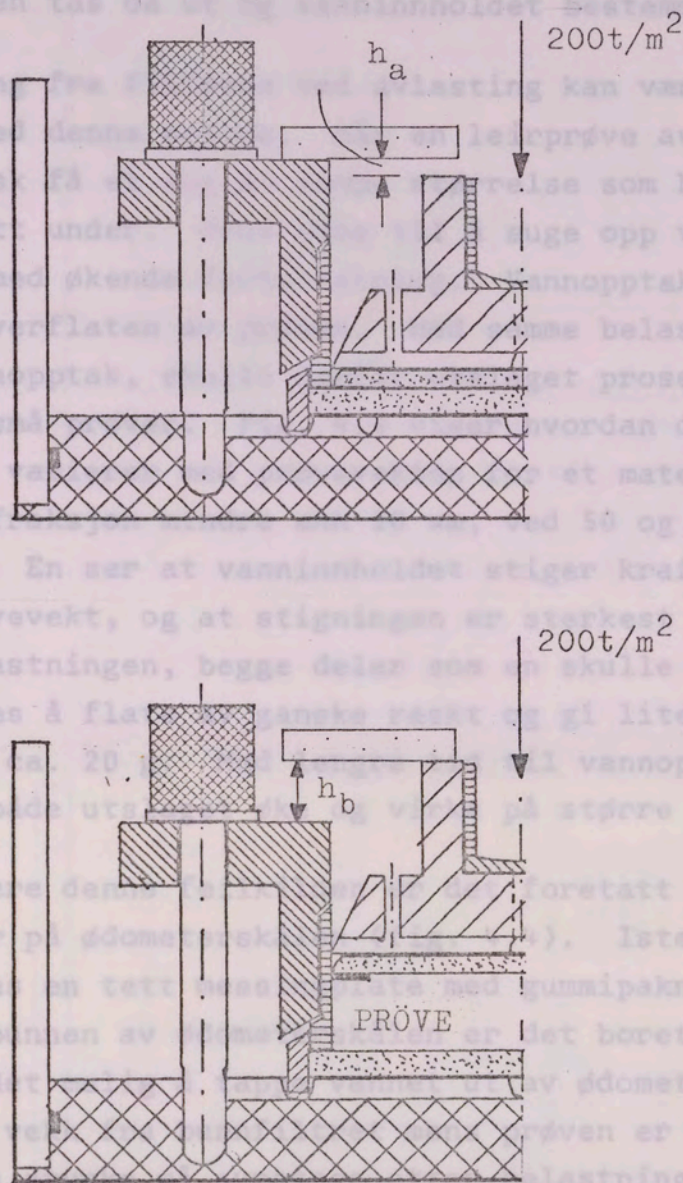
Prøvene fikk konsolidere i ytterligere 2,5 time. Prøvehøyden ble målt, prøven avlastet i et trinn til $2,5 \text{ t/m}^2$ og deformasjonsforløpet registrert. Deformasjonen etter tre timer ble benyttet som mål for svellingen. Over flytegrensen plasseres i en ødometerskål med fri tilgang på vann. Prøven påføres konstant belastning, og får konsolidere i ett døgn. Prøven tas da ut og vanninnholdet bestemmes.

Vannoppsugingen fra filterne ved belastning kan være en alvorlig feilkilde ved denne prøvetypen. Når prøven avlastes, vil den teoretisk få en oppsvelling som belastningen den har stått under. Hvis vannet ikke opp vann skulle derfor øke med økende belastning. Vannopptaket vil begynne i overflaten av prøven ved samme belastning og lik tid til vannopptak, og vannopptaket prosentvis bli størst for små prøver. Hvordan det målte vanninnhold i prøven er et materiale fra Øgreyfoss, fikk prøver med 50 og 100 t/m^2

belastning. En ser at vanninnholdet stiger kraftig med avtagende prøvevekt, og at stigningen er størst for den største belastningen, begge deler som skulle vente. Kurvene synes å flate ut på høyeste punkt og gi lite utslag for prøver over ca. 20 t/m^2 . I vannopptak vil imidlertid både utslag og vekt være på større prøver.

For å redusere denne vannoppsugingen er foretatt noen forandringer på ødometerskålen (se Fig. 4.2). Istedenfor toppfilter brukes en tett gummapakning langs kanten. I bunnen av ødometerskålen er det boret et hull. Dette gjør det mulig å suges vannet ut av prøven er belastet. Vakuumsuget påføres belastningen. Ved

liten belastning kan vann suges ut av prøven. Dette kan imidlertid lett kontrolleres med høydeuret på ødometeret. På denne måte skulle vannoppsugingen fra filterne bli svært begrenset.

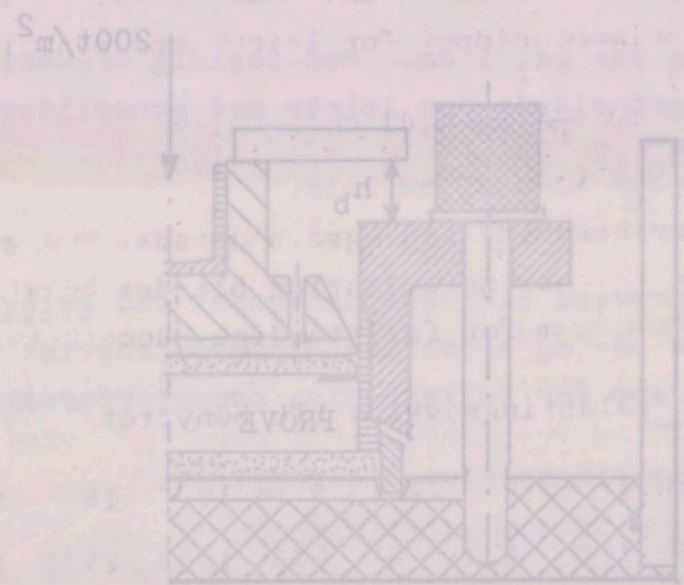
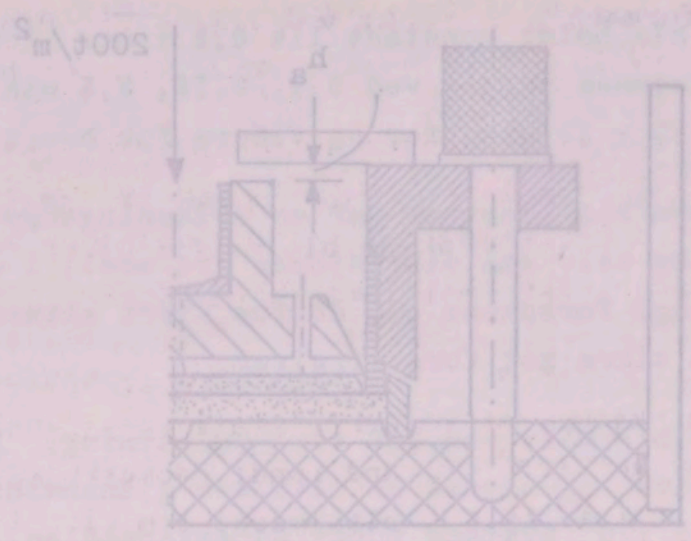


Måling av prøvehøyde

$$h = h_a + h_b$$

Fig. 4.2.

Prøvene fikk konsolidere i ytterligere 2,5 time. Prøve-
 høyden ble målt, prøven avlastet i et trin til 2,5 t/m²
 og deformasjonsforløpet registrert. Deformasjonen etter
 tre timer ble benyttet som mål for sveilingen.



Måling av prøvehøyde
 Fig. 4.12. h_a + h_p

4.3. Vanninnhold i pålastingssyklus.

Laboratorieprøvenes vanninnhold ved 2,5, 10, 50 og 200 t/m² belastning er bestemt ved vannutpressing i ødometer. En prøve på ca. 50 g med vanninnhold lik eller noe over flytegrensen plasseres i en ødometerskål med fri tilgang på vann. Prøven påføres konstant belastning, og får konsolidere i ett døgn. Prøven tas da ut og vanninnholdet bestemmes.

Vannoppsuging fra filterene ved avlastning kan være en alvorlig feilkilde ved denne metode. Når en leirprøve avlastes, vil den teoretisk få et sug av samme størrelse som belastningen den har stått under. Dens evne til å suge opp vann skulle derfor øke med økende forbelastning. Vannopptaket vil begynne i overflaten av prøven. Med samme belastning og lik tid til vannopptak, skulle derfor utslaget prosentvis bli størst for små prøver. Fig. 4.3 viser hvordan det målte vanninnhold varierer med prøvevekten for et materiale fra Øgreyfoss, fraksjon mindre enn 20 µm, ved 50 og 100 t/m² belastning. En ser at vanninnholdet stiger kraftig med avtagende prøvevekt, og at stigningen er sterkest for den største belastningen, begge deler som en skulle vente. Kurvene synes å flate av ganske raskt og gi lite utslag for prøver over ca. 20 g. Med lengre tid til vannopptak vil imidlertid både utslaget øke og virke på større prøver.

For å redusere denne feilkilden er det foretatt noen forandringer på ødometerskålen (fig. 4.4). Istedenfor toppfilter brukes en tett messingplate med gummipakning langs kanten. I bunnen av ødometerskålen er det boret et hull. Dette gjør det mulig å tappe vannet ut av ødometerskålen og suge vannet vekk fra bunnfiltret mens prøven er belastet. Vakuumsugets styrke må avpasses etter belastningen. Ved liten belastning kan en risikere at vann suges ut av prøven. Dette kan imidlertid lett kontrolleres med høydeuret på ødometeret. På denne måte skulle vannoppsugingen fra filterene bli svært begrenset.

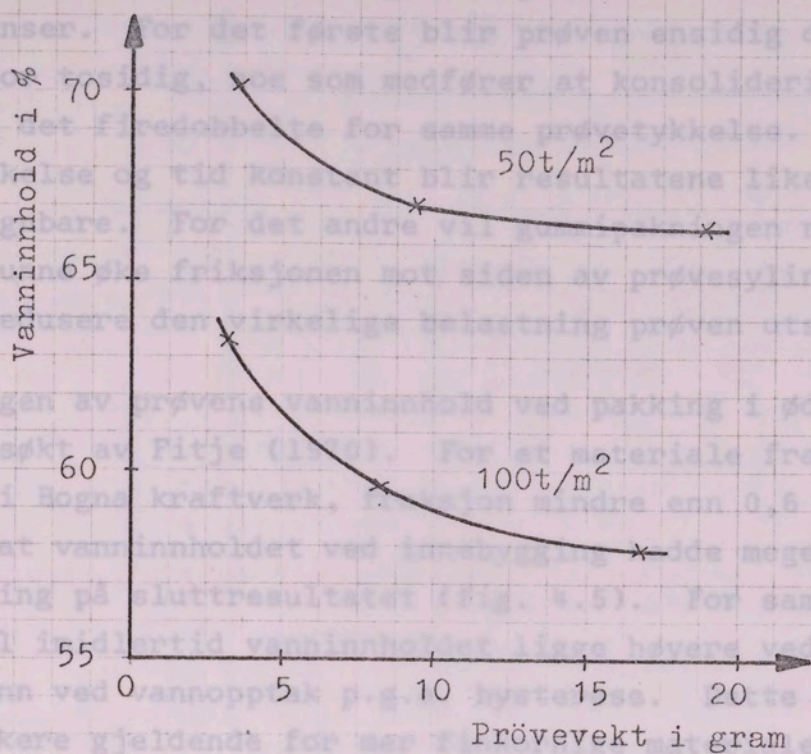
4.3. Vanninnhold i løselige stoffer

Laboratorierens vanninnhold ved 100, 50 og 200 mm tryk på ca. 50 g med vanninnhold 100 g eller 200 g vann. Grensen plasseres i en kometertikkel med fri tilgang vann. Prøven påføres konstant belastning, og får konsolideres dagen. Prøven tas da ut og vanninnholdet bestemmes.

Vannoppsugning fra filterne ved svikting kan være en alvorlig feilkilde ved denne metode. Når en feilprøve sviktes, vil den teoretisk få et sug av samme størrelse som belastningsgrensen har stått under. Dette er tilfelle i sug og vann skal tas bort like med økende forbelastning. Vannopptaket vil begynne i overflaten av prøven med samme belastningsgrensen tid til vannopptak, mens det for utslaget prosessvolumet er et stort for små prøver. Fig. 4.3 viser hvordan det målte vanninnhold varierer med prøvestørrelse for et material med høy trykloss, fraksjon mindre enn 100 µm, ved 50 og 100 mm trykbelastning. En ser at vanninnholdet stiger kraftig med økende belastning, og at utslaget er størst for den største belastningen. Dette betyr som en skulle vente. Kurvene synes å ligne på generelle rækt og gi lite utslag for prøver over ca. 20 g. Med lengre tid til vannopptak vil imidlertid både utslaget øke og vikle på større prøver.

For å redusere denne feilkilden er det foreslått noen forandringer på bestemmelsesmetoden (Fig. 4.3). I stedet for å bruke en tett metallgitter med gummipløkk i kanten, i bunnen av komertikkelen er det foreslått å bruke et gitter med større åpninger. Dette gjør det mulig å legge vannet ut av komertikkelen og sug vannet vekselvis inn og ut av prøven er belastet. Vakuumuggete trykkes ut av prøven etter belastningen. Ved liten belastning kan en risikere at vann suges ut av prøven. Dette kan imidlertid lett kontrolleres ved hjelpen på komertikken. På denne måte skal vannoppsugningen fra filterne bli svært begrenset.

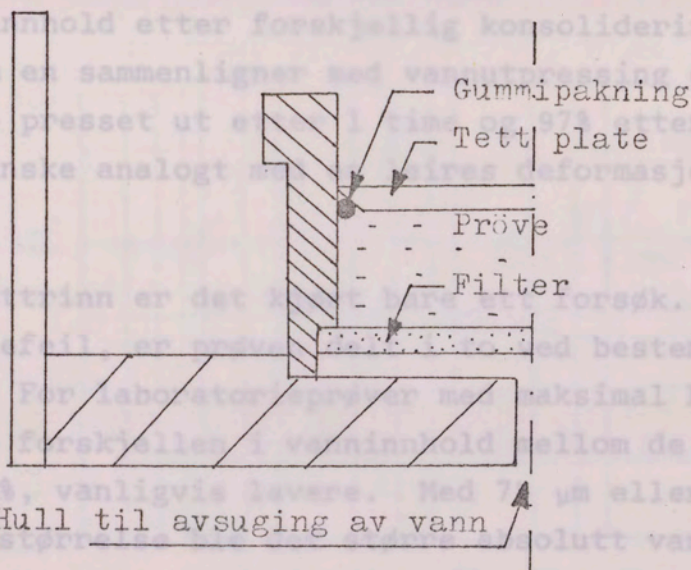
Utføringen har imidlertid også et par mindre heldige konsekvenser. For det første blir prøven ensidig drenert istedenfor symmetrisk, som medfører at konsolideringstiden øker til det firedobbelte for samme prøvetykkelse. Med prøvetykkelse og tid konstant blir resultatene likevel sammenlignbare. For det andre vil vannet som er rundt toppen kunne slippe ut gjennom friksjonen mot siden av prøvesylinderen og derved redusere den virkelige belastning prøven utsettes for.



Betydningen av prøvens vanninnhold ved pakking i ødometeret er undersøkt av Pitje (1961). For et materiale fra kabelstollen i Høgna kraftverk, som har en maksimal kornstørrelse mindre enn 0,5 mm, viste det seg at vanninnholdet ved innbygging hadde meget liten innvirkning på sluttresultatet (Fig. 4.5). For samme mottrykk vil imidlertid vanninnholdet ha en betydning ved vannavgang enn ved vannoppbyggelse. Dette vil gjøre seg sterkere gjeldende for mer permeable materialer. For å få sammenlignbare resultater, synes det derfor best å benytte en prøve som har overskudd av vann ved pakking.

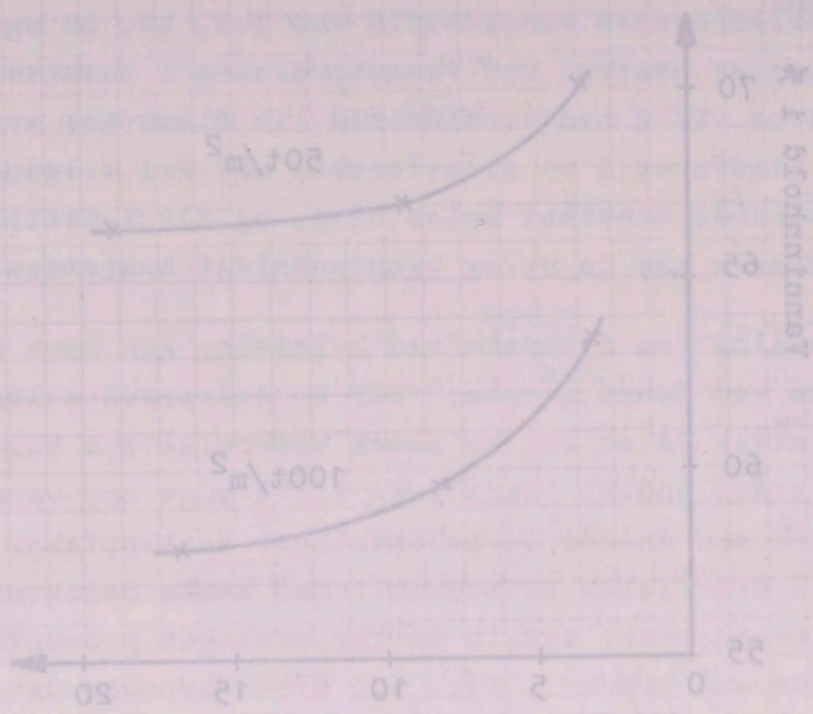
Fig. 4.3.

Deformasjonene til en leirprøve vil være meget langvarige, og vanninnholdet som bestemmes vil selvsagt avhenge av konsolideringstiden. Pitje har for samme materiale, som nevnt ovenfor, bestemt vanninnhold etter forskjellig konsolideringstid (fig. 4.6). Dersom en sammenligner med vanninnholdet etter 24 timer, er 92% presset ut etter 5 timer. Dette blir ganske analogt med leires deformasjon i ødometerforsøk.



For hvert lastetrinn er det gjort to ødometerforsøk. For å eliminere veifall er prøven i ødometeret pakket med bestemmelse av vanninnhold. For laboratorprøver med maksimal kornstørrelse 0,5 mm, holdt forskjellig vanninnhold mellom de to halvdelene seg under 0,5%, vanligvis lavere. Med 7 μm eller 20 μm som maksimal kornstørrelse er det observert en større absolutte sluttvariasjon, men prosentvis omtrent det samme.

Fig. 4.4.



Prøvevækt i gram

Fig. 4.3.

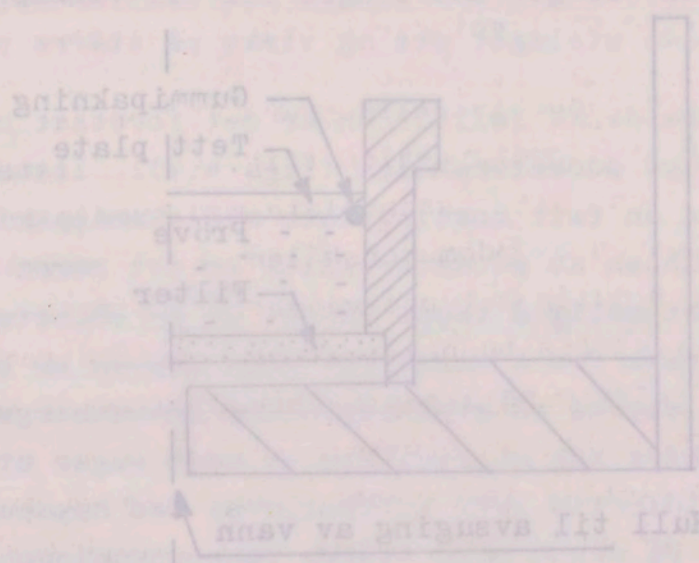


Fig. 4.4.

Utformingen har imidlertid også et par mindre heldige konsekvenser. For det første blir prøven ensidig drenert istedenfor tosidig, noe som medfører at konsolideringstiden øker til det firedobbelte for samme prøvetykkelse. Med prøvetykkelse og tid konstant blir resultatene likevel sammenlignbare. For det andre vil gummipakningen rundt toppen kunne øke friksjonen mot siden av prøvesylindren og derved redusere den virkelige belastning prøven utsettes for.

Betydningen av prøvens vanninnhold ved pakking i ødometeret er undersøkt av Fitje (1970). For et materiale fra kabelstollen i Bogna kraftverk, fraksjon mindre enn 0,6 mm, viste det seg at vanninnholdet ved innebygging hadde meget liten innvirkning på sluttresultatet (fig. 4.5). For samme mottrykk vil imidlertid vanninnholdet ligge høyere ved vannavgang enn ved vannopptak p.g.a. hysteres. Dette vil gjøre seg sterkere gjeldende for mer finkornige materialer. For å få sammenlignbare resultater, synes det derfor best å benytte en prøve som har overskudd av vann ved pakkingen.

Deformasjonene til en leirprøve vil være meget langvarige, og vanninnholdet som bestemmes vil selvsagt avhenge av konsolideringstiden. Fitje har for samme materiale, som nevnt ovenfor, bestemt vanninnhold etter forskjellig konsolideringstid (fig. 4.6). Dersom en sammenligner med vannutpressing etter 24 timer, er 92% presset ut etter 1 time og 97% etter 5 timer. Dette blir ganske analogt med en leires deformasjon i ødometerforsøk.

For hvert lasttrinn er det kjørt bare ett forsøk. For å eliminere veiefeil, er prøven delt i to ved bestemmelse av vanninnhold. For laboratorieprøver med maksimal kornstørrelse 0,5 mm, holdt forskjellen i vanninnhold mellom de to halvdelene seg under 0,5%, vanligvis lavere. Med 74 μm eller 20 μm som maksimal kornstørrelse ble det større absolutt variasjon, men prosentvis omtrent det samme.

Vanninnholdet er angitt sin gjennomsnittet for de to halvdelene på næraste...

Metodens nøyaktighet er undersøkt ved å sammenligne resultatene med 10 vanninnholdsbestemmelser...

var 0,5 eller 1,0 mm av et...

4.4. Mineralogi.

Binokularundersøkelse.

Det er foretatt en rask binokularundersøkelse større enn 0,074 mm (sikt 200). Undersøkelsen er begrenset til å skille ut kvarts, feltspat, glimmer, andre mørke mineraler, kis og kalkspat. Ellers gir den et inntrykk av kornenes farge, form, eventuelt belagg etc.

Fargetester

Enkelte fargestoffer vil gi karakteristiske farger på prøvene. (Mielenz og King 1951) Følgende er en liste over fargestoffer som brukes til identifikasjon. Følgende er en liste over fargestoffer som brukes til identifikasjon, spesielt hvis farge er fargeomslett og farge er fargeomslett. Til hver av prøvene...

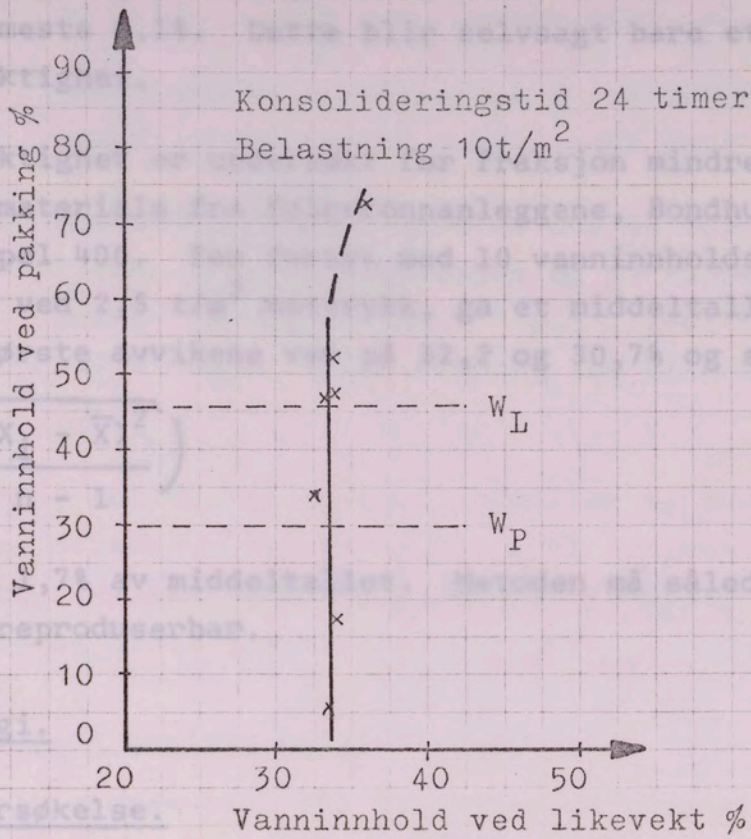


Fig. 4.5.

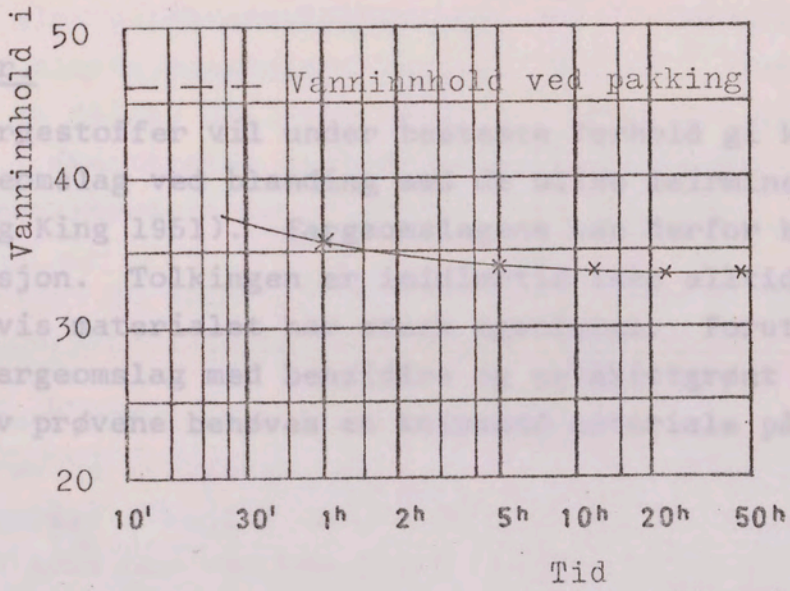


Fig. 4.6.

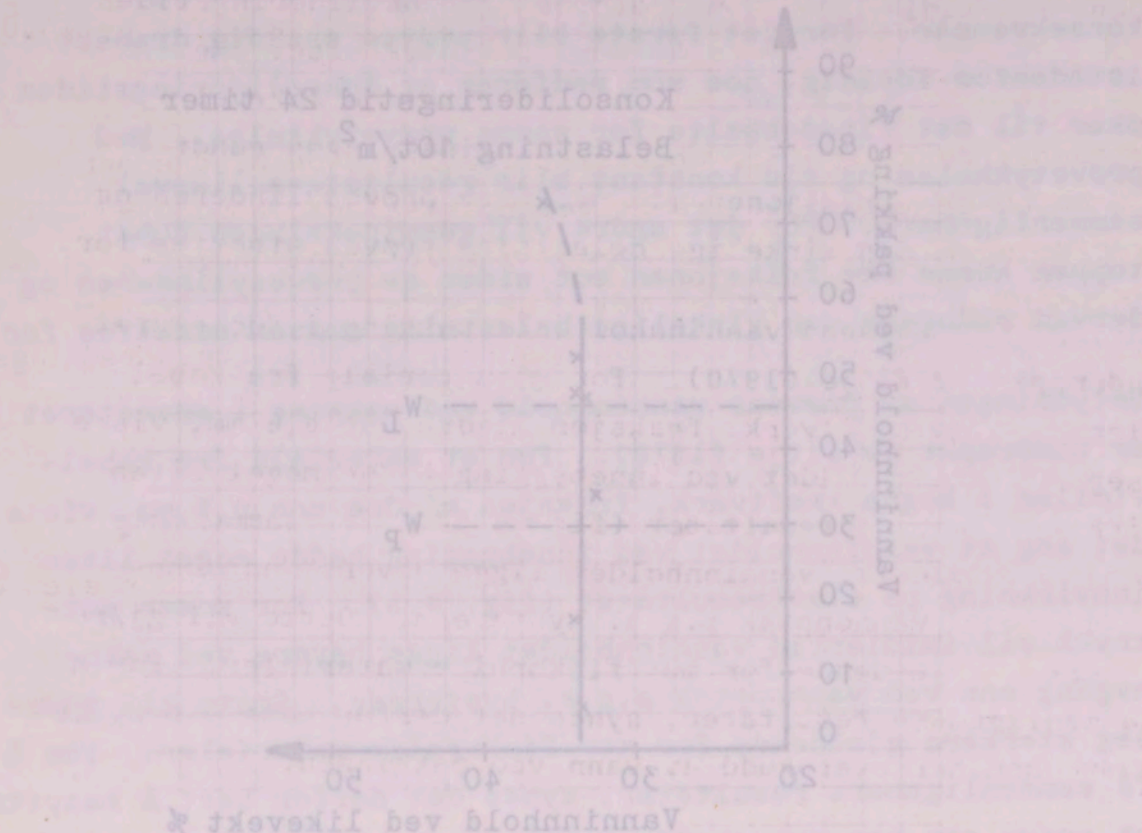


Fig. 4.5. Tid og vanninnhold ved likevekt for et materiale under en belastning av 10 t/m².

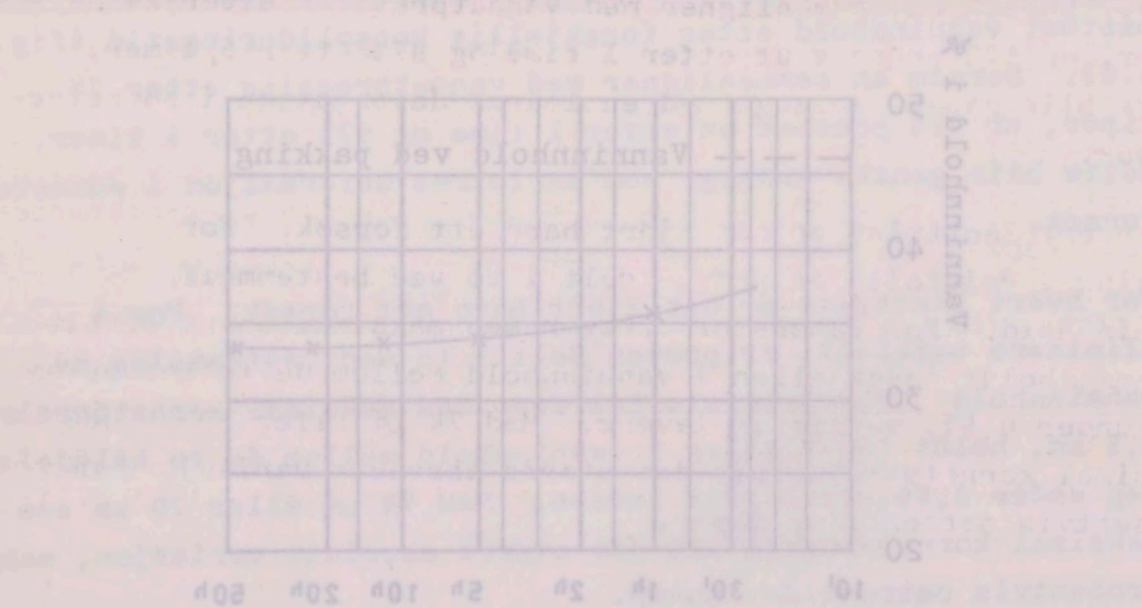


Fig. 4.6. Tid og vanninnhold ved pakking for et materiale.

Vanninnholdet er angitt som gjennomsnittet for de to halvdelene på nærmeste 0,1%. Dette blir selvsagt bare et uttrykk for regnenøyaktighet.

Metodens nøyaktighet er undersøkt for fraksjon mindre enn 0,5 mm av et materiale fra Folgefonnanleggene, Bondhusoverføringen pel 400. Fem forsøk med 10 vanninnholdsbestemmelser, ved 2,5 t/m² mottrykk, ga et middeltall $X = 31,3\%$. De største avvikene var på 32,2 og 30,7% og spredningen

$$S = \sqrt{\frac{(X_i - \bar{X})^2}{n - 1}}$$

var 0,5 eller 1,7% av middeltallet. Metoden må således sies å være meget reproducerbar.

4.4. Mineralogi.

Binokularundersøkelse.

Det er foretatt en rask binokularundersøkelse av materiale større enn 0,074 mm (sikt 200). Undersøkelsen er begrenset til å skille ut kvarts, feltspat, glimmer, andre mørke mineraler, kis og kalkspat. Ellers gir den et inntrykk av kornenes friskhet, form, eventuelt belegg etc.

Fargetester.

Enkelte fargestoffer vil under bestemte forhold gi karakteristiske fargeomslag ved blanding med de ulike leirmineraler. (Mielenz og King 1951). Fargeomslagene kan derfor brukes til identifikasjon. Tolkingen er imidlertid ikke alltid entydig, spesielt hvis materialet har sterk egenfarge. Foruten egenfarge er fargeomslag med benzydine og malakittgrønt undersøkt. Til hver av prøvene behøves en knivsodd materiale på et urglass.

- Egenfarge: Prøvematerialet tilsettes noen dråper destillert vann som blandes godt inn.
- Benzidine: Prøvematerialet tilsettes 3 - 4 dråper benzidineoppløsning som blandes godt inn.
- Malakittgrønt: Prøvematerialet behandles med 6% HCl for å fjerne eventuell kalkspat og gi vannet i prøven pH mindre enn 2. Det tilsettes så 3 - 4 dråper malakittgrønt som blandes godt inn.

De tre urglassene settes til langsom avdamping og eventuelle fargeomslag kan avleses. Benzidine gir gult fargeomslag for montmorillonitt. Malakittgrønt gir rødt fargeomslag for montmorillonitt og blått for kaolin.

Differentialtermisk analyse (DTA).

Når et materiale varmes opp, vil det kunne skje reaksjoner som frigir eller forbruker varme. Mange mineraler vil ved bestemte temperaturer forandre sin krystallstruktur. Til avdamping av vann kreves varme, mens avbrenning av kull og kis frigir varme. Den differentialtermiske analyse består i en registrering av disse varmetoninger.

Kvalitativ mineralbestemmelse foregår ved å sammenligne utslagene med kjente mineralers kurver. Fig. 4.7 viser DTA-kurver for en del av de identifiserbare mineraler i sleppe-materialer. Kvantitativ analyse er mulig for mineraler som har meget karakteristiske og skarpe varmetoninger.

Det er benyttet en apparatur bygget ved Geologisk Institutt, N.T.H., av Selmer-Olsen og beskrevet i NTNf-rapport (1961).

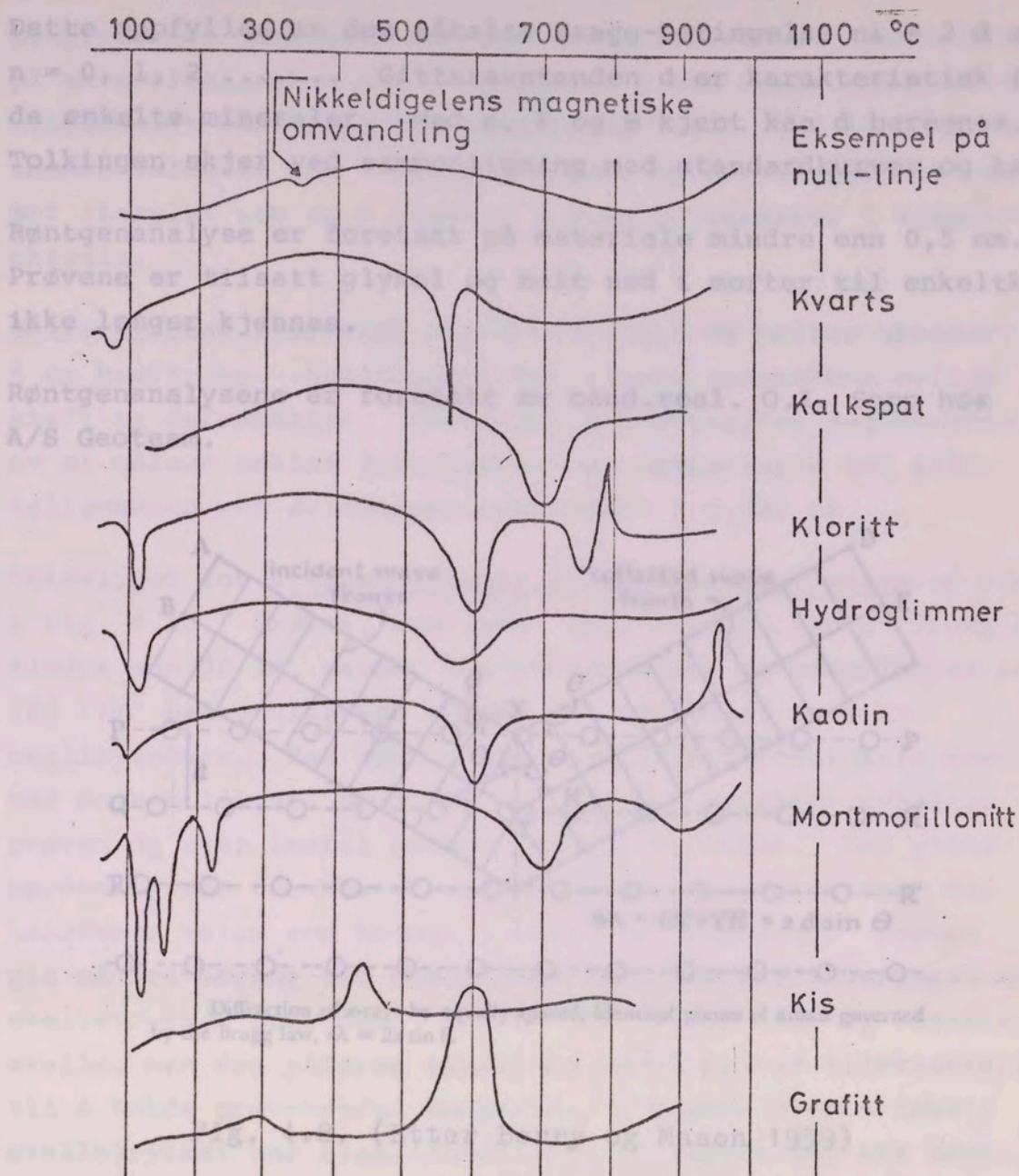
Det er bestemt DTA-kurver for fraksjon større og mindre enn 0,5 mm. Prøvene er tørket, malt 1,5 min. i skivemølle og senere oppbevart i vanlig værelsesatmosfære. Kjøringen er foretatt av Arne Hov ved Geologisk Institutt.

De tre prøvene er alle af samme art og indeholder samme mineraler. De tre prøvene er alle af samme art og indeholder samme mineraler. De tre prøvene er alle af samme art og indeholder samme mineraler.

De tre prøvene er alle af samme art og indeholder samme mineraler. De tre prøvene er alle af samme art og indeholder samme mineraler. De tre prøvene er alle af samme art og indeholder samme mineraler.

De tre prøvene er alle af samme art og indeholder samme mineraler. De tre prøvene er alle af samme art og indeholder samme mineraler. De tre prøvene er alle af samme art og indeholder samme mineraler.

De tre prøvene er alle af samme art og indeholder samme mineraler. De tre prøvene er alle af samme art og indeholder samme mineraler. De tre prøvene er alle af samme art og indeholder samme mineraler.

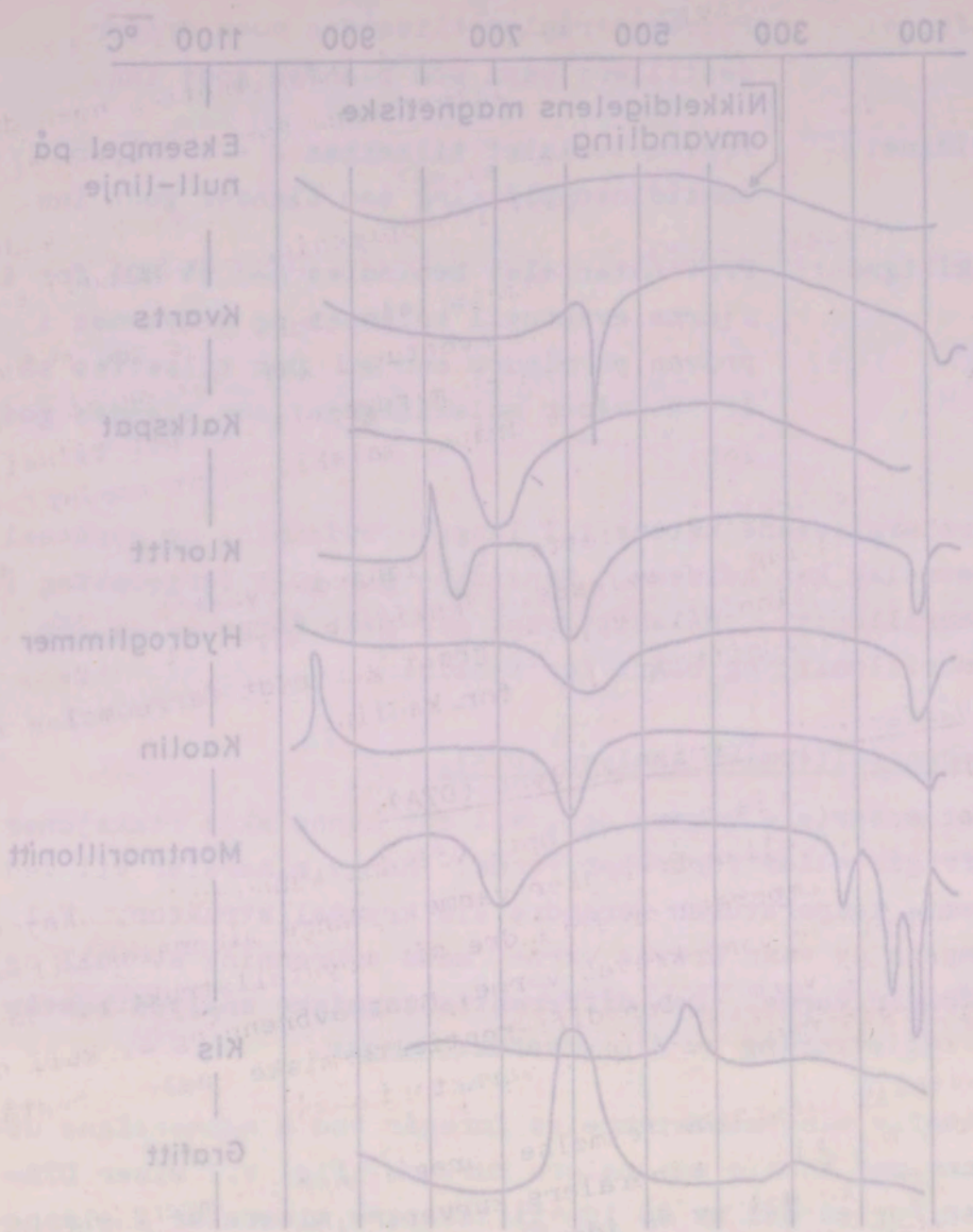


Eksempler på DTA-kurver Fig. 4.7.

4.5. Svelletrykk.

Til forsøkene brukes edometar fra Geonor med trinnlige Røntgen-diffraksjonsanalyse.

Analysen er basert på å registrere den interferens som inn-treffer når røntgenstråler avbøyes i prøvemineralenes krystall-gitter. I et mineral med regelmessig krystallstruktur vil den reflekterte stråling fra de ulike plan forsterke hverandre når gangforskjellen er lik et helt antall bølgelengder (fig. 4.8).



Exempel på DTA-kurver se fig. 4.7.

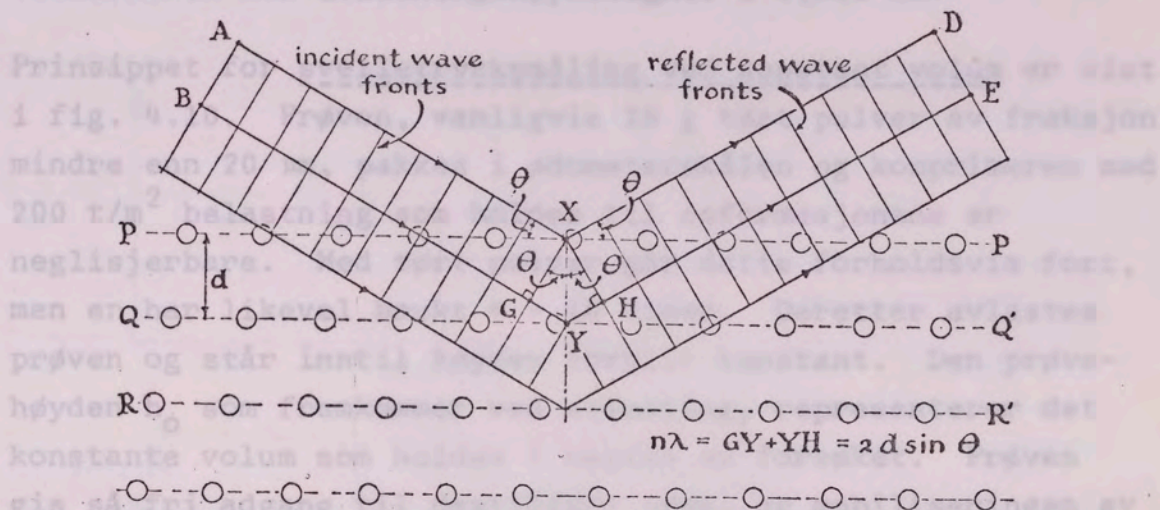
Röntgen-diffractionsanalysen

Analysen er basert på å registrere den interferens som inn-
 treffer når röntgenstråler svøyres i prøvemateriales krystall-
 gitter. I et mineral med regelmessig krystallstruktur vil den
 reflekterte stråling fra de ulike plan forsterkes hverandre når
 gangforskjellen er lik et helt antall bølgelengder (fig. 4.8).

Dette oppfylles av den såkalte Bragg-betingelse $n\lambda = 2d \sin \theta$
 $n = 0, 1, 2 \dots\dots$ Gitteravstanden d er karakteristisk for
 de enkelte mineraler. Med n , λ og θ kjent kan d beregnes.
 Tolkingen skjer ved sammenligning med standardkurver og kartotek.

Røntgenanalyse er foretatt på materiale mindre enn 0,5 mm.
 Prøvene er tilsatt glykol og malt ned i morter til enkeltkorn
 ikke lenger kjennes.

Røntgenanalysene er foretatt av cand.real. O.I. Sopp hos
 A/S Geoteam.



Diffraction of x-rays by equally spaced, identical planes of atoms governed
 by the Bragg law, $n\lambda = 2d \sin \theta$.

Fig. 4.8. (Etter Berry og Mason 1959)

4.5. Svelletrykk.

Til forsøkene brukes ødometer fra Geonor med trinnløs
 belastningsvariasjon. (Prinsippskisse fig. 4.9). Prøve-
 cellen er en stålsylinder med indre areal 20 cm^2 . Den er
 omsluttet av en sperrering som hindrer sideutvidelse. Prøven
 pakkes mellom to messingfiltre. Det øvre filter ligger an
 mot et stålstempel, og kan sammen med dette bevege seg fritt
 i cylinderen. Prøvecellen er plassert i en ødometerskål som

Dette oppfylles av den såkalte Bragg-betingelse $n\lambda = 2d \sin \theta$
 for $n = 0, 1, 2, \dots$. Gitteravstanden d er karakteristisk for
 de enkelte mineraler. Med n, λ og θ kjent kan d beregnes.
 Tolkingen skjer ved sammenligning med standardkurver og kartotek.

Røntgenanalyse er foretatt på materiale mindre enn 0,5 mm.
 Prøvene er tilstett glykol og malt ned i morter til enkeltkorn
 ikke lenger kjennes.

Røntgenanalyse er foretatt av cand. real. O.I. Søpp hos
 A/S Geoteam.

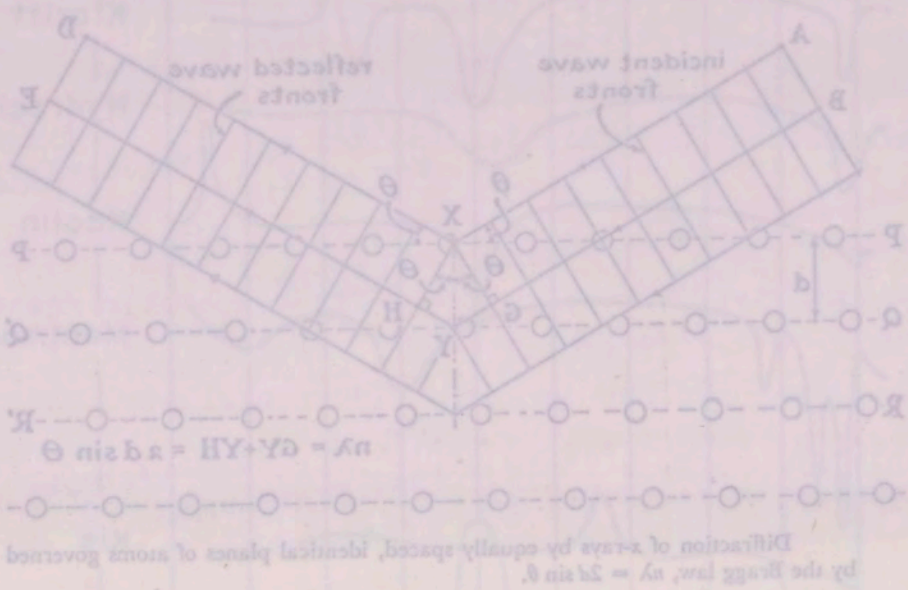


Fig. 4.8. (Etter Berry og Mason 1959)

4.2. Svelletrykk.

Til forsøkene brukes ødometer fra Geonor med trinnsvis
 belastningsvariasjon. (Prinsippskisse fig. 4.9). Prøve-
 cellen er en stålsylinder med indre areal 20 cm². Den er
 omstøttet av en sperrering som hindrer sidesveidelse. Prøven
 pakkes mellom to messingfilter. Det øvre filter ligger an
 mot et stålstempel, og kan sammen med dette bevege seg fritt
 i sylinderen. Prøvecellen er plassert i en ødometerskål som

benyttes som vannreservoar ved svelleforsøkene. Denne hviler på en ståltallerken som er opphengt i den korte armen på en utbalansert vektstang med utveksling 1:10. Ved hjelp av en snekke belastes den lange vektarmen, og prøven presses opp mot stemplet som er i kontakt med en justerskrue i apparatets chassis.

Belastningens størrelse registreres med et måleur plassert i en kraftring. Kraftringen har lineær sammenheng mellom kraft og deformasjon. Endringer i prøvehøyden registreres av et måleur mellom justerskrue og opplagringen til ståltallerkenen med avlesningsnøyaktighet $\pm 0,001$ mm.

Prinsippet for svelletrykksmåling ved konstant volum er vist i fig. 4.10. Prøven, vanligvis 20 g tørt pulver av fraksjon mindre enn 20 μm , pakkes i ødometerskålen og komprimeres med 200 t/m^2 belastning som holdes til deformasjonene er neglisjerbare. Med tørt pulver går dette forholdsvis fort, men en har likevel brukt 4 - 10 timer. Deretter avlastes prøven og står inntil høyden forblir konstant. Den prøvehøyden h_0 som fremkommer ved avlastning, representerer det konstante volum som holdes i resten av forsøket. Prøven gis så fri adgang til destillert vann, og mobiliseringen av svelletrykket begynner. Prøven vil ta opp vann og forsøke å svelle, men den påføres stadig et trykk som er tilstrekkelig til å holde prøvehøyden konstant. Forsøket kjøres inntil svelletrykket har stabilisert seg, vanligvis ca. ett døgn. Det trykk som er påført for å holde prøvehøyden konstant ved forsøkets avslutning, defineres som svelletrykk ved konstant volum. Tidsforløpet kan tegnes opp i et svelletrykk-tid-diagram.

Ødometeret er en forholdsvis myk konstruksjon, som ved belastning vil få en apparatdeformasjon. Avhengigheten mellom belastning og deformasjon er bestemt eksperimentelt på elastisk støpemasse. Apparatdeformasjonen inkluderer deformasjonen i justerskruen, dens feste til chassiset, stålstemplet, bunnplaten og filtrene, samt i opplagringen av stål-

I forbindelse med den nævnte undersøgelse er det blevet påvist, at der forekommer en række forskellige typer af
 arrangementer, som kan betegnes som "arrangementer af første og anden række". Disse arrangementer kan opdeles i to hovedgrupper:

1. **Arrangementer af første række:** Disse arrangementer er karakteriseret ved, at de indeholder en række af de mest væsentlige og vigtige oplysninger, som er nødvendige for at forstå den aktuelle situation. Disse arrangementer er typisk opbygget som en række af korte og præcise sætninger, som giver en klar og tydelig oversigt over de forskellige aspekter af sagen.

2. **Arrangementer af anden række:** Disse arrangementer er karakteriseret ved, at de indeholder de mindre væsentlige og mindre vigtige oplysninger, som er nødvendige for at forstå den aktuelle situation. Disse arrangementer er typisk opbygget som en række af længere og mere detaljerede sætninger, som giver en mere dybtgående og omfattende beskrivelse af de forskellige aspekter af sagen.

Det er vigtigt at bemærke, at disse arrangementer ikke nødvendigvis er adskilt fra hinanden, men kan forekomme sammen og påvirke hinanden. Derfor er det vigtigt at tage hensyn til den samlede sammenhæng, når man vurderer de forskellige typer af arrangementer.

I forbindelse med den nævnte undersøgelse er det blevet påvist, at der forekommer en række forskellige typer af arrangementer, som kan betegnes som "arrangementer af første og anden række". Disse arrangementer kan opdeles i to hovedgrupper:

1. **Arrangementer af første række:** Disse arrangementer er karakteriseret ved, at de indeholder en række af de mest væsentlige og vigtige oplysninger, som er nødvendige for at forstå den aktuelle situation. Disse arrangementer er typisk opbygget som en række af korte og præcise sætninger, som giver en klar og tydelig oversigt over de forskellige aspekter af sagen.

2. **Arrangementer af anden række:** Disse arrangementer er karakteriseret ved, at de indeholder de mindre væsentlige og mindre vigtige oplysninger, som er nødvendige for at forstå den aktuelle situation. Disse arrangementer er typisk opbygget som en række af længere og mere detaljerede sætninger, som giver en mere dybtgående og omfattende beskrivelse af de forskellige aspekter af sagen.

Det er vigtigt at bemærke, at disse arrangementer ikke nødvendigvis er adskilt fra hinanden, men kan forekomme sammen og påvirke hinanden. Derfor er det vigtigt at tage hensyn til den samlede sammenhæng, når man vurderer de forskellige typer af arrangementer.

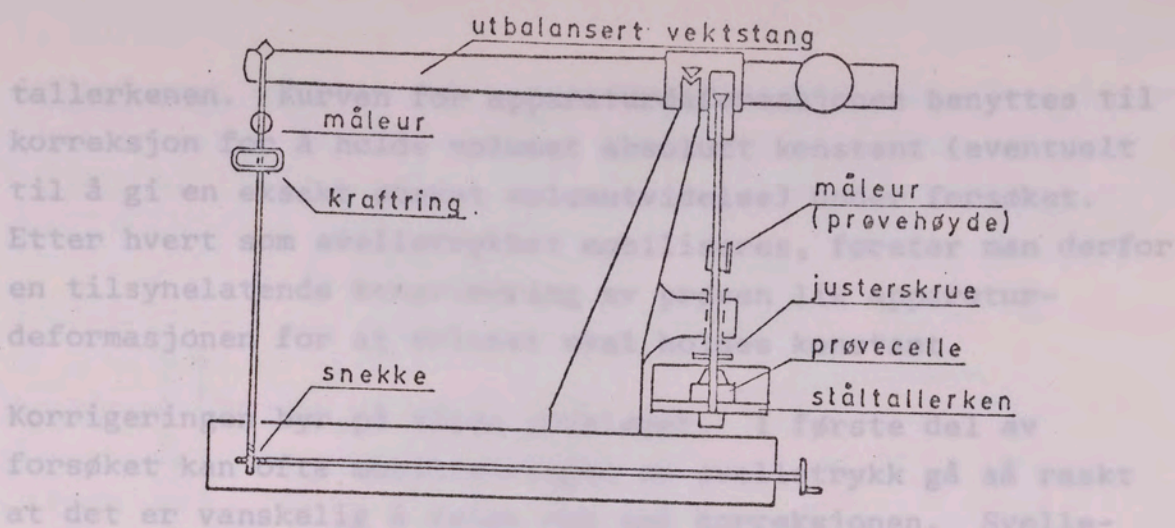


Fig. 4.9.

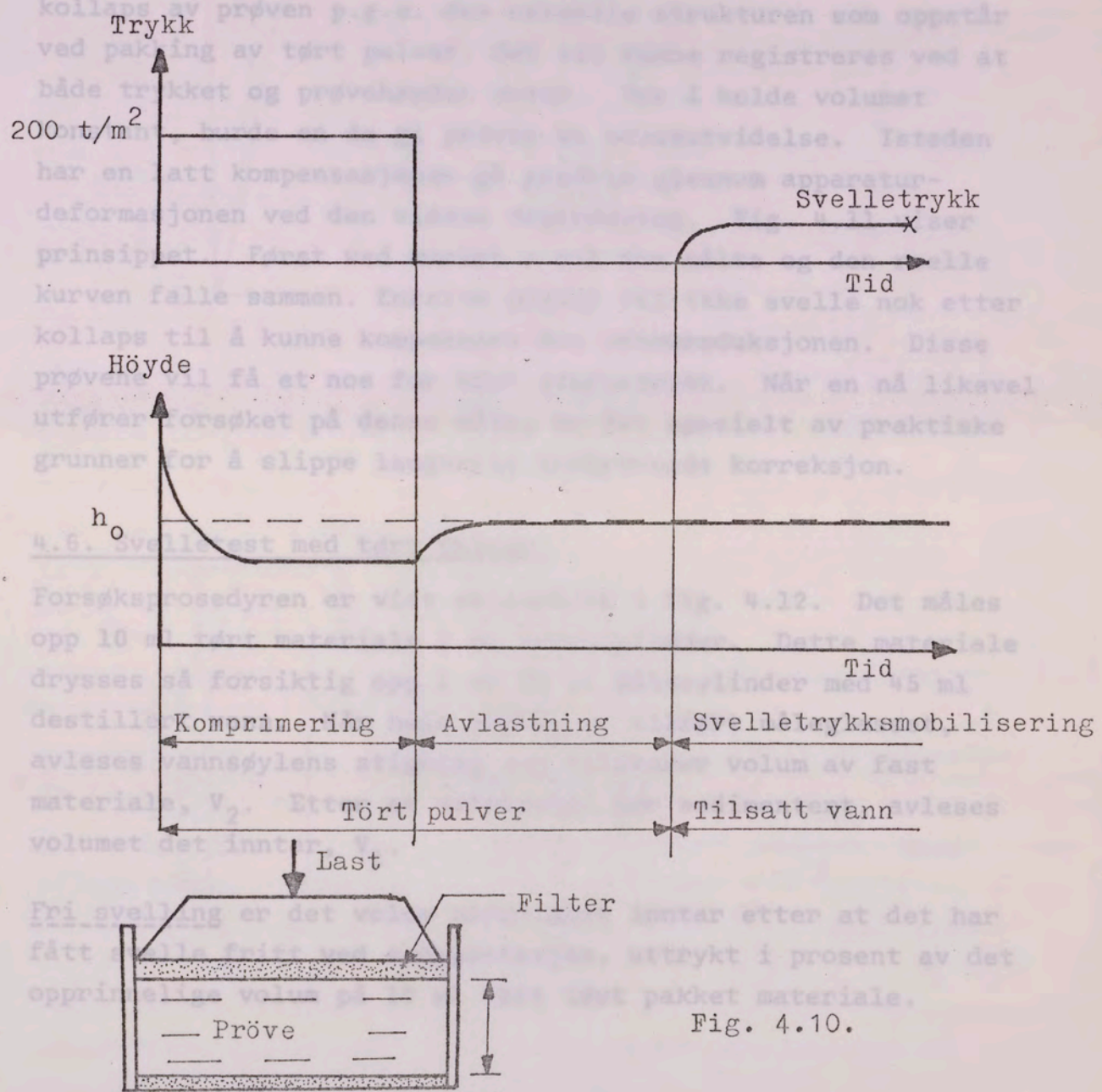


Fig. 4.10.

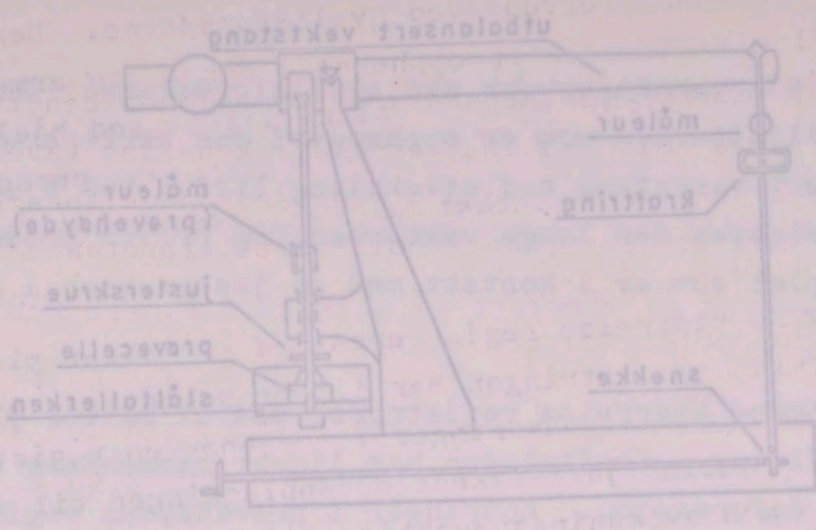


Fig. 4.9.

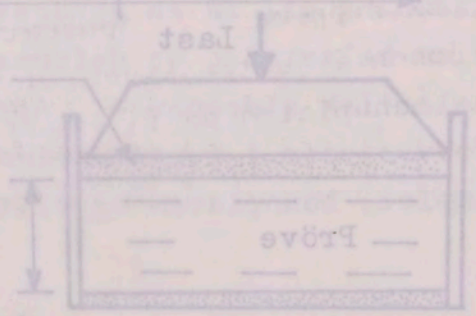
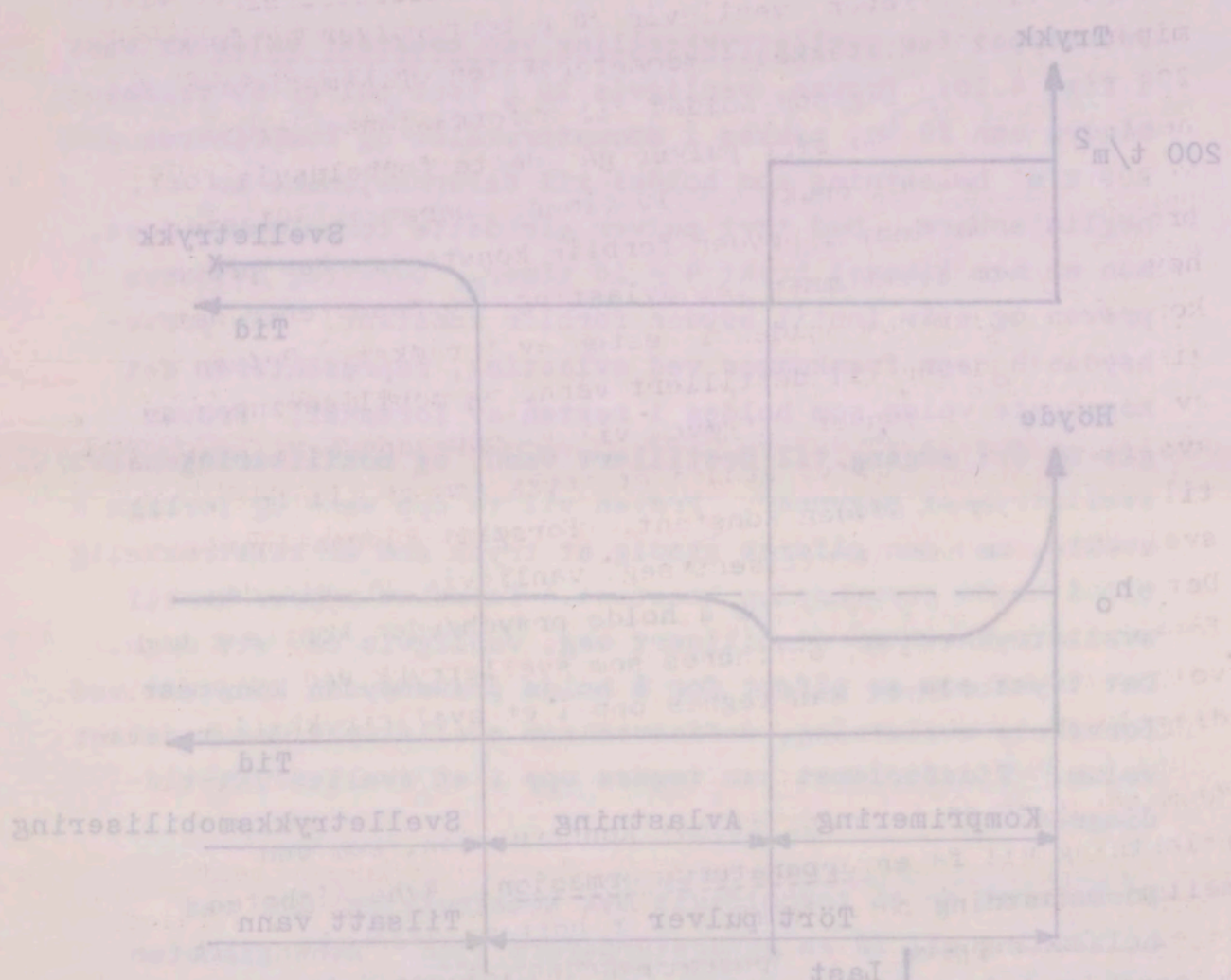


Fig. 4.10.

tallerkenen. Kurven for apparaturdeformasjonen benyttes til korreksjon for å holde volumet absolutt konstant (eventuelt til å gi en eksakt ønsket volumutvidelse) under forsøket. Etter hvert som svelletrykket mobiliseres, foretar man derfor en tilsynelatende komprimering av prøven lik apparaturdeformasjonen for at volumet skal holdes konstant.

Korrigeringen byr på visse problemer. I første del av forsøket kan ofte mobiliseringen av svelletrykk gå så raskt at det er vanskelig å følge opp med korreksjonen. Svelletrykket vil derfor stige enda raskere enn svelletrykk-tid-diagrammet gir inntrykk av. Etter en tid får en gjerne kollaps av prøven p.g.a. den ustabile strukturen som oppstår ved pakking av tørt pulver. Det vil kunne registreres ved at både trykket og prøvehøyden avtar. For å holde volumet konstant, burde en da gi prøven en volumutvidelse. Isteden har en latt kompensasjonen gå gradvis gjennom apparaturdeformasjonen ved den videre trykkøkning. Fig. 4.11 viser prinsippet. Først ved merket a vil den målte og den reelle kurven falle sammen. Enkelte prøver vil ikke svulle nok etter kollaps til å kunne kompensere for volumreduksjonen. Disse prøvene vil få et noe for høyt svelletrykk. Når en nå likevel utfører forsøket på denne måte, er det spesielt av praktiske grunner for å slippe langvarig tidkrevende korreksjon.

4.6. Svelletest med tørt pulver.

Forsøksprosedyren er vist skjematisk i fig. 4.12. Det måles opp 10 ml tørt materiale i en prøvesylinder. Dette materiale drysses så forsiktig opp i en 50 ml målesylinder med 45 ml destillert vann. Når hele prøven er tilført måleglasset, avleses vannsøylens stigning som tilsvarer volum av fast materiale, V_2 . Etter at materialet har sedimentert, avleses volumet det inntar, V_1 .

Fri svelling er det volum materialet inntar etter at det har fått svulle fritt ved sedimentasjon, uttrykt i prosent av det opprinnelige volum på 10 ml tørt løst pakket materiale.

faller. Kunne low apparaturbeholdningen benyttes til
 korreksjon for å holde volumet konstant (eventuelt
 til å gi en eksakt trykkt volumutvidelse) under forsøket.
 Etter hvert som sveiletrykket mottas, forsterker man derfor
 en tilsvarende kompensering av prøven i apparatur-
 beholdningen for at volumet skal holdes konstant.

Korreksjonen blir på visse problemer. I første del av
 forsøket kan det være nødvendig av sveiletrykk på så pass
 at det er vanskelig å følge opp med korreksjonen. Sveile-
 trykket vil derfor stige enda raskere enn sveiletrykk-tid-
 diagrammet gir inntrykk av. Etter en tid får en gjerne
 kollaps av prøven p.g.a. den statiske strukturen som oppstår
 ved påking av fast pulver. Det vil kunne registreres ved at
 både trykket og prøvedyden øker. For å holde volumet
 konstant, må en da gi prøven en volumutvidelse. I stedet
 når en litt kompensasjon på prøven gjennom apparatur-
 beholdningen ved den videre trykkøking. Fig. 2.11 viser
 prinsippet. Først ved merket A vil den målte og den vesle
 prøven falle sammen. Enkelte prøver vil ikke sveile nok etter
 kollaps til å kunne kompensere for volumøkningen. Disse
 prøver vil så et noe høyere sveiletrykk. Når en nå fixerer
 utløst trykk på denne måte, er det spesielt av praktiske
 grunner for å stikke innvarmig tilknevende korreksjon.

2.2. Sveiletrykk med fast pulver

Forsøket består av vist skematisk i fig. 2.12. Det vil
 opp til en viss grad i en prøvelinje. Dette materialet
 brukes til forsøket opp i en 50 ml. aluminiumsbeholder med 25 ml
 destillert vann. Når de prøven er tilført målestørrelsen,
 økes vannnivået stasjon som tilsvarende volum av fast
 materiale. V. Etter at materialet har sedimentert, vil vann
 volumet bli mindre. V.

Det er viktig at det vannmestende vannet er det samme
 i alle forsøkene. Dette er spesielt viktig i forbindelse med
 opprinnelige volum på 10 ml. Det faste materiale.

5. FORSØKSRESULTATER.

Fritt svellevolum er det volum vann leirmineralprøven inneholder etter at den har fått svelle fritt i vann ved en sedimentasjon, uttrykt i prosent av volum tørt materiale.

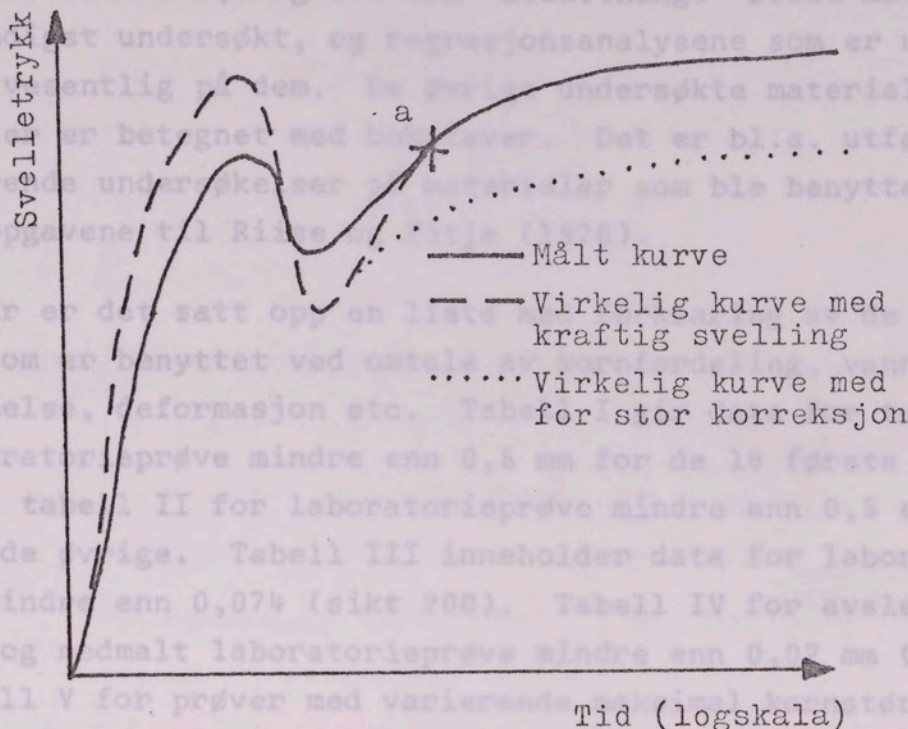


Fig. 4.11.

Enkelte forsøksresultater som f.eks. hygroskopisitet, deformasjonsegenskaper og kjøring på uforstyrrede prøver, er tatt med direkte under diskusjonen. Data fra feltobservasjoner, kornfordelingsmålinger og deformasjonsforsøk er samlet i egne bilag til slutt i avhandlingen.

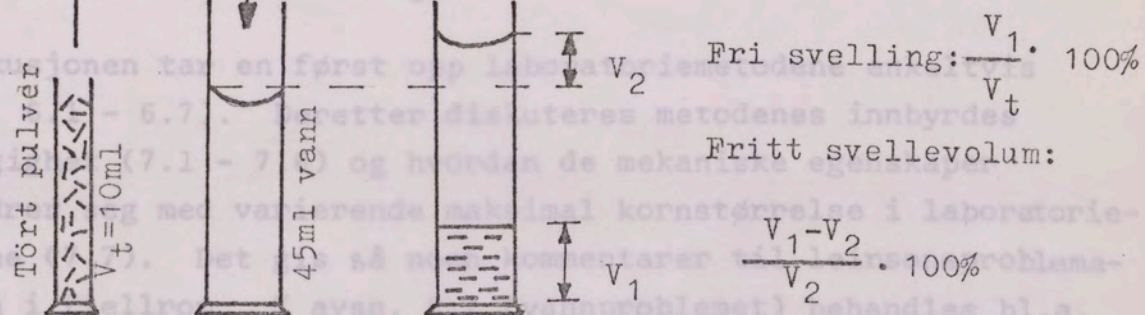


Fig. 4.12.

materialenes hygroskopisitet, og i avsn. 8.2 uli... bestemme prekonsolideringsgrad på. I kap. 9 vurderes de ulike laboratoriemetodenes egnethet for klassifisering av leirsoner... materialers potensielle svellevolum og de ytre betingelser... sonene står under.

Fritt avjellevolum er det volum vann leiminnervipræven inneholder etter at den har fått avjelle fritt i vann ved en sedimentasjon, uttrykt i prosent av volum fritt materiale.

Etter at den har fått avjelle fritt i vann ved en sedimentasjon, uttrykt i prosent av volum fritt materiale.

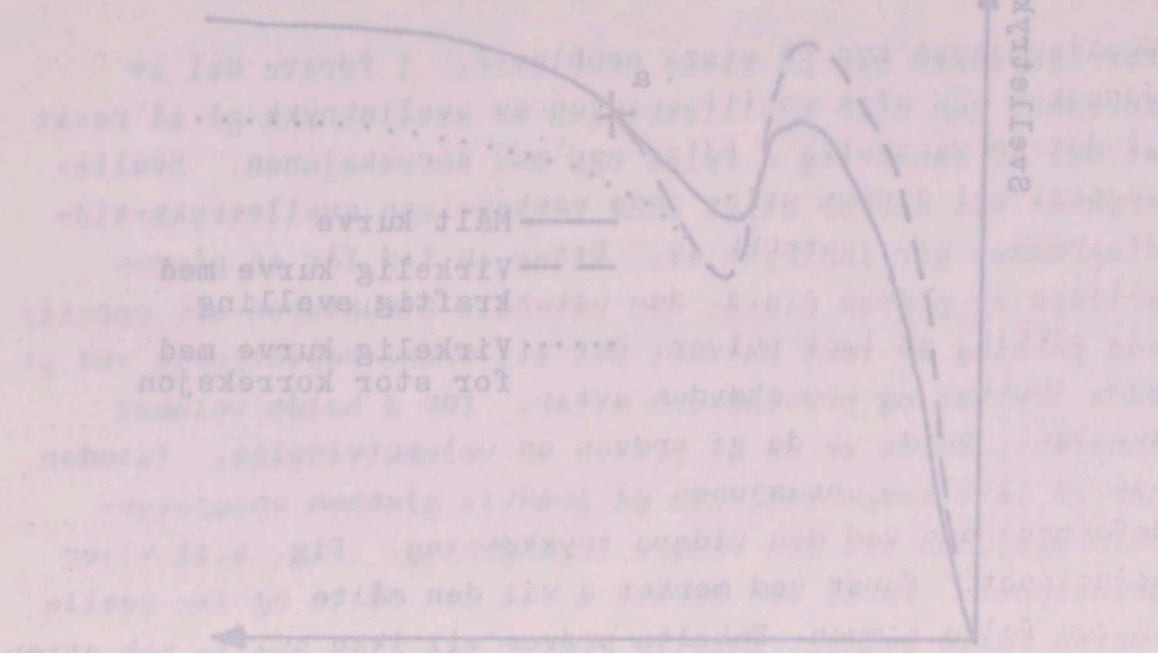


Fig. 4.11. Tid (logskala) vs. Kvættelstetthet. Legend: — Virkelig kurve med kvættelstetthet, --- Virkelig kurve med fritt avjellevolum, --- Korrektionskurve for stor korreksjon.

4.2. Bestemmelse av fritt avjellevolum

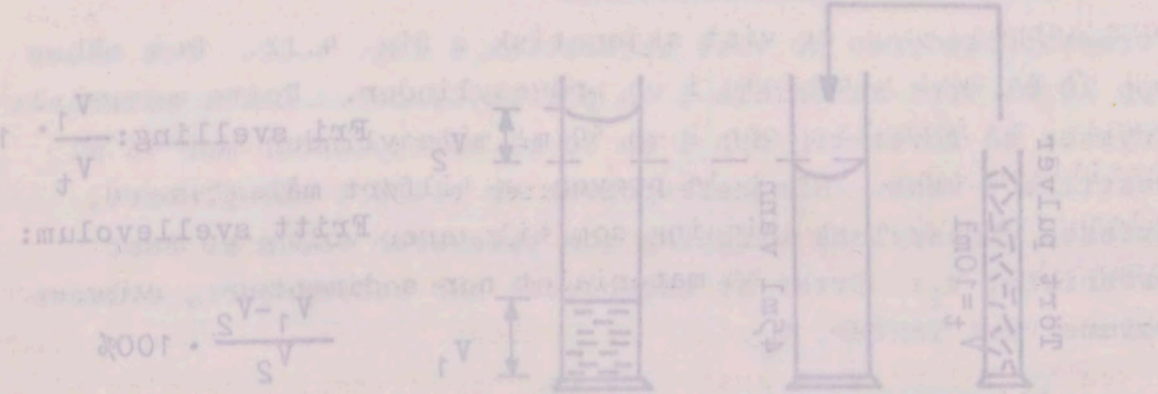


Fig. 4.12. Bestemmelse av fritt avjellevolum ved hjelp av tre glassrør.

Bestemmelse av fritt avjellevolum ved hjelp av tre glassrør. Diagrammet viser hvordan volumene V1, V2 og V3 (som er summen av V1 og V2) brukes til å beregne fritt avjellevolum.

5. FORSØKSRESULTATER.

Et sammendrag av forsøksresultatene er satt opp i de etterfølgende tabeller. Det gis først en fortegnelse over de undersøkte materialer med angivelse av lokalitet. De 18 første prøvene er nummerert etter avtagende vanninnholds-differens mellom 2,5 og 200 t/m² belastning. Disse materialene er grundigst undersøkt, og regresjonsanalysene som er utført bygger vesentlig på dem. De øvrige undersøkte materialer og mineraler er betegnet med bokstaver. Det er bl.a. utført supplerende undersøkelser på materialer som ble benyttet i hovedoppgavene til Riise og Fitje (1970).

Deretter er det satt opp en liste med forklaring av de symboler som er benyttet ved omtale av kornfordeling, vanninnholdsbestemmelse, deformasjon etc. Tabell I gir data for total prøve og laboratorieprøve mindre enn 0,5 mm for de 18 første materialene, og tabell II for laboratorieprøve mindre enn 0,5 eller 0,6 mm for de øvrige. Tabell III inneholder data for laboratorieprøve mindre enn 0,074 (sikt 200). Tabell IV for avslemmet, tørket og nedmalt laboratorieprøve mindre enn 0,02 mm (20 µm) og tabell V for prøver med varierende maksimal kornstørrelse. Til slutt er tatt med resultater fra de mineralogiske undersøkelser med DTA og røntgen.

Enkelte forsøksresultater som f.eks. hygroskopisitet, deformasjonsegenskaper og kjøring på uforstyrrede prøver, er tatt med direkte under diskusjonen. Data fra feltobservasjoner, kornfordelingsanalyser og deformasjonsforsøk er samlet i egne bilag til slutt i avhandlingen.

I diskusjonen tar en først opp laboratoriemetodene enkeltvis (avsn. 6.1 - 6.7). Deretter diskuteres metodenes innbyrdes avhengighet (7.1 - 7.6) og hvordan de mekaniske egenskaper forandrer seg med varierende maksimal kornstørrelse i laboratorieprøvene (7.7). Det gis så noen kommentarer til leirsoneproblematikken i fjellrom. I avsn. 8.1 (vannproblemet) behandles bl.a. materialenes hygroskopisitet, og i avsn. 8.2 ulike metoder å bestemme prekonsolideringsgrad på. I kap. 9 vurderes de ulike laboratoriemetodenes egnethet for klassifisering av leirsone-materialers potensielle svelleevne og de ytre betingelser sonene står under.

Materialer som er grundig undersøkt.

Prøve- betegnelse	Lokalitet
1	Folgefonnaanleggene, Mauranger, ca. 30 m fra topp trykksjakt (lys).
2	Driva kraftanlegg, Vassli h pel 615.
3	Driva kraftanlegg, Vassli h pel 500 (rød).
4	Folgefonnaanleggene, Mauranger, ca. 30 m fra topp trykksjakt (grønn).
5	Folgefonnaanleggene, Bondhusoverføringen pel 740.
6	Driva kraftanlegg, Vassli h pel 500 (grå).
7	Folgefonnaanleggene, Mysevannsområdet, tilløp pel 335.
8	Lieråsen jernbanetunnel, pel 435 + 8.
9	Grorudbanens forlengelse, pel 703.
10	Ranaanleggene, Leirbotn v ca. pel 2900 (lys).
11	Borgund kraftverk, tverrslag Stardalen ca. pel 140.
12	Folgefonnaanleggene, Bondhusoverføringen pel 400 (mot sjakt).
13	Sundsbarm kraftanlegg, søkestoll (rød).
14	Ranaanleggene, Leirbotn v ca. pel 2960 (mørk).
15	Folgefonnaanleggene, Mysevannsområdet, tilløp pel 1200.
16	Follo renseanlegg, pel 435.
17	Sundsbarm kraftanlegg, søkestoll (svart).
18	Ranaanleggene, Bjerka tilløp pel 3510.

Materiaaler som er grundlag for undersøkt.

Prove- betegnelse	Lokalitet
1	Folgermannlagene, Mørungen, ca. 30 m fra topp trykakt (lys).
2	Grive kraftlag, Vassli h. del 818.
3	Grive kraftlag, Vassli h. del 802 (med).
4	Folgermannlagene, Mørungen, ca. 30 m fra topp trykakt (gryn).
5	Folgermannlagene, Bondhusoverfløingen del 790.
6	Grive kraftlag, Vassli h. del 802 (lys).
7	Folgermannlagene, Mysevernsmøkket, del 882.
8	Lisåsen jernbæretunnel, del 435 - 8.
9	Grøvelbanens forlengelse, del 795.
10	Kaasdalagene, Lødbotn v. ca. del 202 (lys).
11	Bakken kraftverk, treursky grutelag ca. del 140.
12	Folgermannlagene, Bondhusoverfløingen del 790 (mot øst).
13	Grutelag, Kaasdalagene, øst for del 202.
14	Kaasdalagene, Lødbotn v. ca. del 202 (med).
15	Folgermannlagene, Mysevernsmøkket, del 882 1202.
16	Polle masselag, del 880.
17	Grutelag, Kaasdalagene, øst for del 202.
18	Kaasdalagene, Øst for del 202.

Materialer det er utført supplerende undersøkelser på.

Prøve- betegnelse	Lokalitet
A	Aurlandsanleggene, overføring Vetlebotn - Rausmesdalen.
SK	Sira-Kvina kraftselskap, Solhom kraftverk avløp pel 2100.
BT	Bogna kraftverk, tilløp pel 3005.
BK	Bogna kraftverk, kabelstoll.
G	Rendalen kraftverk, Groven pel 890.
Sa	Savalen kraftverk, rasmasser tilløp.
V	Vegskjæring ved Storsjøen i Rendalen.
Ø	Øgreyfoss kraftverk, Eigersund.
KL	Kvartær leire, nye universitetsområdet Trondheim.
Be	Bentonitt OA.
F	Feltspat.
Ka	Kaolin, Kragerø

Verzeichnis der in der Schweiz vorhandenen Museen

Ort	Verzeichnis
Basel	Museum für Kunst und Geschichte
Bern	Museum für Kunst und Geschichte
Geneve	Museum für Kunst und Geschichte
Lausanne	Museum für Kunst und Geschichte
Lucerne	Museum für Kunst und Geschichte
Neuchâtel	Museum für Kunst und Geschichte
Sion	Museum für Kunst und Geschichte
St. Gallen	Museum für Kunst und Geschichte
Thurgau	Museum für Kunst und Geschichte
Uri	Museum für Kunst und Geschichte
Vaud	Museum für Kunst und Geschichte
Vernon	Museum für Kunst und Geschichte
Zürich	Museum für Kunst und Geschichte

Symbolliste.Kornfordeling.

- d = korndiameter.
 $d_{\max.}$ = maksimal kornstørrelse.
 d_{75} = 75% gjennomgang ved sikting.
 d_{25} = 25% gjennomgang ved sikting.
 M_d = midlere kornstørrelse = 50% gjennomgang.
 S_o = $\log \frac{d_{75}}{d_{25}}$ = sortering.
 ϕ = uttrykk for kornstørrelse hvor $d = 2^{-\phi}$.

Vanninnhold.

- $W_{\text{nat.}}$ = naturlig vanninnhold.
 W_L = flytegrense.
 W_P = utrullingsgrense.
 W_S = krympningsgrense.
 I_P = plastisitetsindeks = $W_L - W_P$.
 I_S = krympningsindeks = $W_L - W_S$.
 I_L = flyteindeks = $\frac{W_{\text{nat.}} - W_P}{W_L - W_P}$
 $W_{\text{e.sv.}}$ = vanninnhold i prøve etter svelleforsøk.
 $W_{2,5}$ = vanninnhold ved 2,5 t/m² belastning.
 W_{10} = vanninnhold ved 10 t/m² belastning.
 W_{50} = vanninnhold ved 50 t/m² belastning.
 W_{200} = vanninnhold ved 200 t/m² belastning.
 $W_{2,5} - 200$ = vanninnholdsdifferens mellom 2,5 og 200 t/m² belastning
 P_W = "ekvivalent konsolideringstrykk" (t/m²) = den belastning en prøve må settes under for at den når vannutpressingen er avsluttet, skal ha et vanninnhold lik det naturlige for jordarten.

Symmetri

Kornfordeling

f_{max} = maksimal kornfordeling
 d_{75} = størrelsen ved 75% kumuleret vægt
 d_{25} = størrelsen ved 25% kumuleret vægt
 M_d = midlere kornstørrelse = 10% Størrelsen
 d_{10} = størrelsen ved 10% kumuleret vægt
 d_{30} = størrelsen ved 30% kumuleret vægt
 d_{60} = størrelsen ved 60% kumuleret vægt
 d_{90} = størrelsen ved 90% kumuleret vægt

Vannindhold

W_{nat} = naturlig vannindhold
 W_L = flyttestørrelse
 W_P = krympningsstørrelse
 W_S = krympningsstørrelse
 I_P = plastisitetstallet = $W_L - W_P$
 I_S = krympningsstørrelse = $W_L - W_S$
 I_L = flyttestørrelse = $\frac{W_{nat} - W_P}{W_L - W_P}$
 W_{sv} = vannindhold i prøve etter evakuering
 $W_{2.5}$ = vannindhold ved 2.5 t/m² belastning
 W_{10} = vannindhold ved 10 t/m² belastning
 W_{50} = vannindhold ved 50 t/m² belastning
 W_{200} = vannindhold ved 200 t/m² belastning
 $W_{2.5-200}$ = vanninholdsdifferens mellom 2.5 og 200 t/m² belastning
 U_c = effektiv konsolideringstærke (t/m²) i den belastning
 en prøve er satt under for at konsolideringsprosessen
 er avsluttet, skal ha et vanninhold som er lik den
 for prøvetilstanden.

Deformasjon.

(Indeks k for konsolidering og s for svelling).

ϵ = relativdeformasjon.

σ' = P' = effektivspenning.

P'_c = prekonsolideringstrykk.

P'_o , P'_o = totalt, effektivt overlageringstrykk.

C_v = konsolideringskoeffisient.

t_p = tid for primæravsetning.

M = modul (t/m^2) = $\frac{d\sigma}{d\epsilon}$

m = modultall (dimensjonsløst).

a = spenningsekspONENT (dimensjonsløst).

R = tidsmotstand = $\frac{dt}{d\epsilon}$

r = tidsmotstandstall (dimensjonsløst).

Diverse.

A = aktivitet = $\frac{I_p}{\% < 2 \mu m}$

h_o = konstant prøvehøyde ved svelletrykksmålinger.

\ln = naturlig logaritme.

n = porøsitet.

P_d = damptrykket i lufta.

r = korrelasjonskoeffisient.

R.H. = relativ fuktighet.

t = temperatur i °C.

γ_d = tørr romvekt.

γ_s = spesifikk vekt fast stoff.

γ_w = spesifikk vekt vann.

τ = skjærfasthet.

1947

(Classification of the following)

1. The following is a list of the

2. The following is a list of the

3. The following is a list of the

4. The following is a list of the

5. The following is a list of the

6. The following is a list of the

7. The following is a list of the

8. The following is a list of the

9. The following is a list of the

10. The following is a list of the

11. The following is a list of the

12. The following is a list of the

13. The following is a list of the

14. The following is a list of the

15. The following is a list of the

16. The following is a list of the

17. The following is a list of the

18. The following is a list of the

19. The following is a list of the

20. The following is a list of the

21. The following is a list of the

22. The following is a list of the

23. The following is a list of the

24. The following is a list of the

25. The following is a list of the

Tabell I.

Prøve	Total prøve										Fraksjon < 0,5 mm										W _{e,sv.}	Anm.
	W _{nat.}	M _a mm	S _o	Σ < 2 μm	Σ _s	Del av total %	F _{nat.} omregnet	Σ < 20 μm	Σ < 2 μm	W _L	M _p	I _p	I _L	A	W _{2,5}	W ₁₀	W ₅₀	W ₂₀₀	W _{2,5} - W ₂₀₀	P _W t/m ²		
1	25,5	0,11	2,27	12,8	2,84	67	42,0	53	19,1	61,5	34,5	27	0,28	1,4	57,4	46,6	36,7	28,1	29,3	25	10,6	32,7
2	25,7	0,35	2,19	3,2	2,69	56,5	42,8	42	5,7	48	29,5	18,5	0,72	3,2	43,6	34,4	23,7	16,3	27,3	3	21,6	23,5
3	9,6	0,30	1,94	4,9	2,82	55	20,8	40	9,0	46	25	21	-0,20	2,3	38,8	31,4	22,3	15,4	23,4	70	11,6	20,0
4	18,5	0,016	0,925	10,3	2,94	98	20,6	55	10,5	46	25,5	20,5	-0,24	2,0	40,4	34,4	25,7	18,7	21,7	140	10,8	22,8
5	22,8	0,17	1,50	4,3	2,85	70	30,8	34	6,2	52	29	23	0,08	3,7	45,4	39,7	32,5	24,9	20,5	60	8,4	28,8
6	9,4	0,60	1,43	2,5	2,81	48	20,0	23	5,5	42,5	29	13,5	-0,67	2,5	38,2	32,3	24,6	17,9	20,3	130	10,0	22,2
7	13,9	0,18	2,17	6,5	2,75	60	23,5	46	10,7	44	22,5	21,5	0,05	2,0	37,4	31,2	23,6	18,0	19,4	50	8,6	21,3
8	14,1	0,055	2,04	18,5	2,92	75	18,9	50	25,0	40,5	18,5	22	0,02	0,88	33,9	27,9	20,5	14,5	19,4	75	17,5	21,6
9	19,6	0,40	1,37	2,0	2,77	54	35,6	17	3,5	51,5	35	16,5	0,04	4,7	44,5	39,7	32,2	25,8	18,7	20	6,7	28,3
10	19,6	0,25	1,33	3,7	2,78	65	33,6	25	5,7	45	32	13	0,12	2,3	39,0	33,5	26,4	20,7	18,3	10	6,5	23,0
11	10,9	0,125	2,38	8,0	2,92	58	16,7	52	13,5	39,5	22,5	17	-0,34	1,3	32,8	28,7	21,7	16,7	16,1	200	8,0	19,6
12	13,8	0,20	2,28	5,3	2,70	58	20,4	43	9,0	35,5	16,5	19	0,21	2,1	32,0	26,9	21,2	16,0	16,0	60	7,2	18,6
13	12,6	0,04	1,22	10,5	3,02	96	13,8	40	11,0	33	22,5	10,5	-0,83	0,96	29,4	26,2	21,0	16,4	13,0	450	7,0	18,4
14	12,7	0,13	0,84	2,2	2,83	79	22,9	16	2,7	31	27,5	3,5	-1,31	1,3	30,7	27,6	23,2	18,4	12,3	40	5,4	19,4
15	9,0	0,075	1,71	4,8	2,99	70	11,8	32	6,8	28	19	9	-0,72	1,3	25,3	22,0	18,4	13,6	11,7	350	6,3	15,5
16	11,6	0,35	1,29	2,7	2,82	57	22,1	22	4,7	28	21	7	0,16	1,5	28,9	26,8	22,1	17,4	11,4	50	10,0	20,5
17	11,8	0,085	0,78	2,3	2,94	91	13,5	15	2,5	28	26	2	-6,25	0,80	32,3	30,1	26,0	21,3	11,0	500	6,0	22,0
18	1,8	6,0	1,37	0,5	2,91	25	10,0	16	2,0	20,5	19	1,5	-6,00	0,75	20,9	18,4	15,9	11,6	9,3	300	4,7	13,0

W₁₀ stift
2 g/dgn

Tabell II.

Fraksjon < 0,6 mm

Prøve	Del av total %	W ^{nat.} omregnet	W _L	W _p	I _p	% > 20 µm	% > 2 µm	A	W _M ^{2,5}	W ₂₀₀	W _{2,5-200}	svelling ₂₀₀	W _{e.s.v.}	Ann. < 0,5 mm
SK	35	47	-	-	-	-	-	-	49,6	28,9	20,7	16,7	34,1	< 0,5 mm
BT	65 ^{1,2}	37,7 ^{1,2}	52 ¹	27 ¹	25 ¹	35 ^{1,2}	4 ^{1,2}	6,8 ¹	44,6	19,1 ²	25,5	7,6	23,3	
BK	35 ^{1,2}	41,8 ^{1,2}	46 ¹	30 ¹	16 ¹	32 ^{1,2}	4 ^{1,2}	4,0 ¹	38,7	18,6 ²	20,1	11,0	25,4	
G	34 ^{1,2}	17,1 ^{1,2}	22 ¹	16 ¹	6 ¹	40 ^{1,2}	9 ^{1,2}	0,7 ¹	19,9	12 ²	7,9	6,7	14,2	
V	-	-	36 ¹	26 ¹	10 ¹	41 ^{1,2}	4 ^{1,2}	2,9 ¹	32,3	15,4 ²	16,9	7,4	19,1	
Ø	24 ^{1,2}	20,1 ^{1,2}	51 ¹	35 ¹	16 ¹	36 ^{1,2}	5 ^{1,2}	3,0 ¹	46,8	28,2 ²	18,6	6,0	31,9	
KL	100	41,6 ^{1,2}	22 ¹	17 ¹	5 ¹	94 ^{1,2}	38 ^{1,2}	0,13 ¹	25,3	16,3 ²	9,0	4,2	19,1	

1. Data fra Riise (1970). 2. Data fra Fitje (1970).

Medknot
< 20 µm

1. DATA FOR WITNES (TABLE) S. DATA FOR WITNES (TABLE)

KT	100	41'e ₁ 's	33 _T	11 _T	2 _T	24 _T 's	38 _T 's	0'13 _T	32'3	1e'3 _S	2'0	4's	12'1
0	54 _T 's	50'1 _T 's	2 _T	32 _T	1e _T	3e _T 's	2 _T 's	3'0 _T	4e'8	58'5 _S	18'e	e'0	31'2
A	-	-	3e _T	3e _T	10 _T	4 _T 's	4 _T 's	5'2 _T	35'3	12'4 _S	1e'2	1'4	12'1
G	34 _T 's	11'1 _T 's	33 _T	1e _T	e _T	40 _T 's	2 _T 's	0'11 _T	12'2	1 _S	1'2	e'1	14's
BK	32 _T 's	41'8 _T 's	4e _T	30 _T	1e _T	35 _T 's	4 _T 's	4'0 _T	38'1	18'e _S	50'T	11'0	52'4
BL	22 _T 's	31'1 _T 's	25 _T	31 _T	52 _T	32 _T 's	4 _T 's	e'8 _T	44'e	12'1 _S	52'2	1'e	53'3
2K	32	41	-	-	-	-	-	-	42'e	58'2	50'1	1e'1	34'T < 0'2

1. DATA FOR WITNES (TABLE)

TABLE II

Tabell III.

Fraksjon < 0,074 mm (sikt 200)

Prøve	Del av total %	Del av matr. < 2 mm	W _L	W _P	I _P	m _k	m _s	W _{2,5}	W ₂₀₀	W _{2,5 - 200}	Ann.
1	43,2	53,3	96,5	36	60,5	7,1	33,2	-	-	-	
3	33,7	47,4	72	32	40	6,9	26	54,0	19,0	35,0	
4	86,0	86,0	60	28	32	8,4	39	48,5	20,9	27,6	< sikt 230
5	38,0	44,8	84	39,5	44,5	8,9	40	68,3	33,5	34,8	
7	40,9	55,3	62	26,5	35,5	9,3	49	51,5	22,3	29,2	
9	25,4	31,0	98	52	46	8,2	37	74,5	36,7	37,8	
10	27,1	34,2	85,5	43	42,5	7,9	39	67,7	30,3	37,7	< sikt 230
15	50,5	64,7	38	24	14	12,3	68	34,5	16,8	17,7	
16	25,1	31,4	51	31,5	19,5	7,1	22,5	-	-	-	
18	9,7	30,3	31,5	23	8,5	12,1	84,5	31,3	17,7	13,6	
A	-	-	49,5	30	19,5	-	-	-	-	-	
SK	-	-	83	47	36	6,2	17,7	-	-	-	
G	-	-	36	21	15	14,5	51	31,8	19,0	12,8	
KL	100	100	22	17	5	24,5	135	25,3	16,3	9,0	
Be	100	100	225	52	173	3,6	28 (18)	146,5	55,1	91,4	* 1 døgn
F	-	-	-	-	≈ 0	67	260	28,3	26,7	1,6	Nedknust < 20 μm

Б	-	-	-	-	-	+	+	+	0	еу	500	38'3	50'1	Т'е	< 50 мм негкунег
Be	100	100	532	23	113	3'е	38'08)	140'2	22'1	22'1	22'1	140'2	22'1	21'4	Т'е
KT	100	100	55	11	2	54'2	132	32'3	10'3	10'3	32'3	32'3	10'3	2'0	Т'е
G	-	-	30	57	12	14'2	21	31'8	12'0	12'0	31'8	31'8	12'0	13'8	Т'е
2K	-	-	83	41	30	0'3	11'1	-	-	-	-	-	-	-	-
Y	-	-	40'2	30	12'2	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
18	2'1	30'3	31'2	53	8'2	15'7	84'2	31'3	11'1	11'1	31'3	31'3	11'1	13'0	Т'е
10	52'1	31'4	21	31'2	12'2	1'7	55'2	-	-	-	-	-	-	-	-
12	20'2	04'1	38	54	14	13'3	08	34'2	10'8	10'8	34'2	34'2	10'8	11'1	Т'е
10	51'1	34'5	62'2	43	45'2	1'2	30	01'1	30'3	30'3	01'1	01'1	30'3	31'1	Т'е
2	52'4	31'0	08	25	40	8'5	31	14'2	30'1	30'1	14'2	14'2	30'1	31'8	Т'е
1	40'2	22'3	05	50'2	32'2	2'3	40	21'2	55'3	55'3	21'2	21'2	55'3	50'5	Т'е
2	38'0	44'8	04	30'2	44'2	8'2	40	08'3	33'2	33'2	08'3	08'3	33'2	34'8	Т'е
4	00'0	00'0	00	58	35	8'4	30	48'2	50'2	50'2	48'2	48'2	50'2	51'0	Т'е
3	33'1	41'4	15	32	40	0'2	50	24'0	12'0	12'0	24'0	24'0	12'0	32'0	Т'е
1	43'5	23'3	00'2	30	00'2	1'1	33'5	-	-	-	-	-	-	-	-
Блоке	fofBT 0 DeT 0A	< 5 мм DeT 0A мфл.	MГ	MБ	IB	шк	ш ²	MЗ'2	M500	M500	MЗ'2	MЗ'2	M500	MЗ'2 - 300	уш.

Блокҳои < 0'014 мм (еикф 500)

БЛОК III'

Tabell IV

Fraksjon < 0,02 mm (20 µm). Slemmet, tørket og nedmalt.

Prøve	Fri svelling	Svelle- trykk	We.sv.	n ₀ mm	n Porøsi- tet	W _{2,5}	W ₂₀₀	W _{2,5} 200	Ann.
1	140	43	44,4	7,52	59	80,5	32,0	48,5	
2	115	17	48,1	7,28	66	66,9	22,5	44,4	
3	160	51	38,9	6,48	60	77,8	32,5	45,3	
4	120	18	41,3	6,62	62,5	52,2	24,4*	27,6	*Liten prøve
5	200	260	38,8	6,35	61	115	48	67	
6	145	47	40,7	6,64	61,5	85,0	32,1	52,9	
7	175	118	37,1	6,85	54	84,4	38,6	45,8	
8	145	22	44,2	7,02	63	76,6	28,5	48,1	
9	215	150	45,0	6,89	65,5	115	52	63	
10	200	104	35,0	6,50	54	88,8	41,5	47,3	
11	145	45	41,2	6,70	61	74,3	30,1	44,2	
12	150	30	41,2	7,25	57	72,4	28,1	44,3	
13	110	28	38,8	7,03	55	57,8	26,8	31,0	
14	115	40	54,1	8,13	66,5	85,0	36,8	48,2	
15	165	46	38,3	6,65	57,5	71,6	28,3	43,3	
16	100	12	51,2	7,33	70	56,9	22,5	34,4	
17	85	28	56,7*	8,54	66	64,8	30,4	34,4	*Veie- feil?
18	105	14	-	-	-	-	-	-	Lite matr.
SK	100	7	70,3	8,67	81	81,4	35,5	45,9	
G	90	10	43,6	6,73	65	42,7	25,6	17,1	
Sa	125	17	37,4	5,57	67	53,4	20,2	33,2	
KL	65	4,5	-	-	-	-	-	-	
Be	360	ca. 50	-	-	-	146,5	55,1	91,4	
F	75	3	-	-	-	28,3	26,7	1,6	
Ka	-	15	46,2	7,65	60	50,7	33,6	17,1	

Tabell IV

Fraksjon < 0,02 mm (20 µm). Slernest, tørket og nedmalte.

Fraksjon	Slernest	Slernest sveilt	Slernest sveilt sveilt	Slernest sveilt sveilt sveilt	Slernest sveilt sveilt sveilt sveilt	Slernest sveilt sveilt sveilt sveilt sveilt	Slernest sveilt sveilt sveilt sveilt sveilt sveilt	Slernest sveilt sveilt sveilt sveilt sveilt sveilt sveilt	Slernest sveilt sveilt sveilt sveilt sveilt sveilt sveilt sveilt	Slernest sveilt sveilt sveilt sveilt sveilt sveilt sveilt sveilt sveilt
Ka	-	15	46,2	7,62	60	20,7	33,6	17,1		
P	75	3	-	-	-	28,3	26,7	1,6		
Be	360	ca. 20	-	-	-	146,2	22,1	91,4		
KL	62	4,2	-	-	-	-	-	-		
Sa	122	17	37,4	2,27	67	23,4	20,2	33,2		
G	90	10	43,6	6,73	62	42,7	22,6	17,1		
BK	100	7	70,3	8,67	81	81,4	32,2	42,9		
18	102	14	-	-	-	-	-	-		
17	82	28	26,7*	8,24	66	64,8	30,4	34,4		*Vekt- feil?
16	100	12	61,2	7,33	70	26,9	22,2	34,4		
15	162	46	38,3	6,62	27,2	21,6	28,3	43,3		
14	112	40	24,1	8,13	66,2	82,0	36,8	48,2		
13	110	28	38,8	7,03	22	27,8	26,8	31,0		
12	150	30	41,2	7,22	27	22,4	28,1	44,3		
11	142	42	41,2	6,70	61	74,3	30,1	44,2		
10	200	104	32,0	6,20	24	88,8	41,2	47,3		
9	212	120	42,0	6,89	62,2	112	22	63		
8	142	22	44,2	7,02	63	76,6	28,2	48,1		
7	172	118	27,1	6,82	24	84,4	38,6	42,8		
6	142	47	40,7	6,64	61,2	82,0	32,1	22,9		
5	200	260	38,8	6,32	61	112	48	67		
4	120	18	41,3	6,62	62,2	22,2	24,4*	27,6		*Liten prose
3	160	21	38,9	6,48	60	77,8	32,2	42,3		
2	112	17	48,1	7,28	66	66,9	22,2	44,4		
1	140	43	44,4	7,22	29	80,2	32,0	48,2		

Tabell V.

Varierende maksimal kornstørrelse.								
Kolonne nr.	700°	1	2	3	4	5	6	minerale
Prøve nr.	d _{max.} mm	W _{2,5}	W ₂₀₀	W _{2,5} - 200	Del av matr. < 2 mm	1	3	Anm.
2	2	28,3	12,4	15,9	1,00	28,3	15,9	
3	0,5	38,8	15,4	23,4	0,775	30,0	18,2	
3	0,250	43,6	16,5	27,1	0,675	29,5	18,2	
5	0,074	54,0	19,0	35,0	0,480	26,0	16,8	
6	0,020	77,8	32,5	45,3	0,295	22,9	13,4	Tørt pulver
7	2	35,3	16,7	18,6	1,00	35,3	18,6	
8	0,5	40,4	18,6	21,7	0,98	39,5	21,3	
4	0,250	41,3	19,0	22,3	0,96	39,6	21,4	
10	0,063	48,5	20,9	27,6	0,81	39,2	22,4	
11	0,020	52,0	24,4	27,6	0,55	28,6	15,2	Tørt pulver
12	2	33,2	18,0	15,2	1,00	33,2	15,2	
13	0,5	39,0	20,7	18,3	0,81	31,6	14,8	
14	0,250	46,8	22,6	24,2	0,645	30,2	15,6	
10	0,125	56,7	26,3	30,4	0,46	26,1	14,0	
15	0,063	67,7	30,0	37,7	0,32	21,6	12,1	
16	0,020	88,7	36,0	52,7	0,20	17,8	10,5	
17	0,020	88,8	41,0	47,3	0,20	17,8	9,5	Tørt pulver

For kortelser: mont. = montmorillonitt,
 kis = syvvelkis og
 carb. = karbonat.

-Tabelle V.

Variierende maximale Korngrößen

Kolonne nr.	Größe in mm	1	2	3	4	5	6
1	0,2	38,3	12,4	12,4	1,00	28,3	12,9
2	0,5	38,8	12,4	23,4	0,775	30,0	18,2
3	0,250	43,6	16,2	27,1	0,675	29,2	18,2
4	0,074	24,0	19,0	32,0	0,480	26,0	16,8
5	0,020	27,8	32,2	42,3	0,292	22,9	13,4
6	2	32,3	16,7	18,6	1,00	32,3	18,6
7	0,2	40,4	18,6	21,7	0,98	39,2	21,3
8	0,250	41,3	19,0	22,3	0,96	39,6	21,4
9	0,063	48,2	20,9	27,6	0,81	39,2	22,4
10	0,020	22,0	24,4	27,6	0,22	28,6	12,2
11	2	33,2	18,0	12,2	1,00	33,2	12,2
12	0,2	39,0	20,7	18,3	0,81	31,6	14,8
13	0,250	46,8	22,6	24,2	0,642	30,2	12,6
14	0,125	26,7	26,3	30,4	0,46	26,1	14,0
15	0,063	67,7	30,0	37,7	0,32	21,6	12,1
16	0,020	88,7	36,0	22,7	0,20	17,8	10,2
17	0,020	88,8	41,0	47,3	0,20	17,8	9,2

Tort
pulver

Tort
pulver

Resultater fra DTA.

Prøve	Fraksjon < 0,5 mm			Fraksjon > 0,5 mm	
	Areal 700° utslag for mont. (mm ²)	Kvarts %	Andre mineraler	Kvarts %	Andre mineraler
1	180	0	-	0	-
2	10 (?)	0 (?)	kaolin	40-45	-
3	120	4-5	illitt	30-35	mont.
4	65	0	kis, kloritt, karb. illitt (?)	0	kis, karb.
5	250	10-15	kis	30	mont., kis
6	220	4-5	illitt	35	mont.
7	90	5	illitt (?)	10-15	spor mont.
8	0	0 (?)	kis, karb., illitt	0 (?)	kis, karb., kloritt
9	50	3-4	karb.	3-4	karb.
10	105	25-30	kis	25-30	mont., kis, karb.
11	25 (?)	3-4	karb.	10-15	karb.
12	65	10-15	kis (?)	20-25	mont. (?), kis
13	10 (?)	0 (?)	kaolin, kloritt	30	kloritt, illitt
14	85	25-30	kis, karb.	30-35	mont., kis, karb.
15	0	2	kis, karb. illitt	2	kis, karb.
16	0	0	kis, karb.	0 (?)	karb.
17	20 (?)	10	kaolin, kloritt	4-5	kloritt
18	0	2-3	kloritt	5-10	kloritt

Forkortelser: mont. = montmorillonitt,
kis = svovelkis og
karb. = karbonat.

Resultater fra DTA.

Prøve	Areal 700° utslip for mont. (mm ²)	Fraksjon > 0,5 mm		Fraksjon < 0,5 mm	
		Kvart	Andre mineraler	Kvart	Andre mineraler
1	180	0	-	0	-
2	10 (?)	0 (?)	kaolin	40-45	-
3	120	4-5	illitt	30-35	mont.
4	65	0	kis, kloritt, karp. illitt (?)	0	kis, karp.
5	250	10-15	kis	30	mont., kis
6	220	4-5	illitt	35	mont.
7	90	5	illitt (?)	10-15	spor mont.
8	0	0 (?)	kis, karp., illitt	0 (?)	kis, karp., kloritt
9	50	3-4	karp.	3-4	karp.
10	105	25-30	kis	25-30	mont., kis, karp.
11	25 (?)	3-4	karp.	10-15	karp.
12	65	10-15	kis (?)	20-25	mont. (?), kis
13	10 (?)	0 (?)	kaolin, kloritt	30	kloritt, illitt
14	85	25-30	kis, karp.	30-35	mont., kis, karp.
15	0	2	kis, karp., illitt	2	kis, karp.
16	0	0	kis, karp.	0 (?)	karp.
17	20 (?)	10	kaolin, kloritt	4-5	kloritt
18	0	2-3	kloritt	5-10	kloritt

Forkortelser: mont. = montmorillonitt,
 kis = svovelkis og
 karp. = karbonat.

Røntgenundersøkelse, tilsendte prøver fra NTH.

Hermed oversendes resultatene av røntgenundersøkelser utført på 18 tilsendte prøver.

Utførelsen av undersøkelsen er gjort i overensstemmelse med avtale, etter de metoder til vurdering av mineralsammensetning som anvendes hos A/S Geoteam.

Mens det i de fleste tilfelle har vært forholdsvis enkelt å vurdere prøvenes kvalitative sammensetning, er den kvantitative vurdering sannsynligvis beheftet med en forholdsvis stor grad av usikkerhet. Denne usikkerhet varierer fra prøve til prøve, ikke minst fordi de tilsendte prøver hadde en del forskjell i nedmalingsgrad. De kvantitative utsagn bør derfor anvendes med forsiktighet.

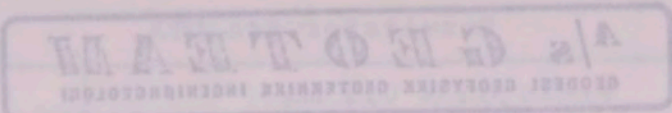
Som det fremgår av tabellen er kloritt og vermikulitt slått sammen til en gruppe. Disse mineraler kan normalt ikke adskilles uten tilleggsundersøkelser. I de fleste tilfeller er det vel sannsynlig at det er kloritt som er tilstede. I en del prøver (2, 3, 6 og muligens 5) mangler den karakteristiske klorittlinje på ca. 14 Å, og en har forsøksvis konkludert med tilstedeværelsen av kaolin, et minderal som ellers normalt ikke sikkert kan påvises uten tilleggsundersøkelser.

I tillegg til det som er angitt i tabellen inneholder de fleste prøver mindre mengde blandskiktmineraler, samt en del røntgenamorft materiale. Videre et pyritt observert i prøve 15 og 17, samt muligens i prøve 3 og 18. Det er ikke tatt hensyn til disse mineraler under bedømmelsen.

Prøve 8 inneholder i tillegg til vanskelig identifiserbare blandskiktmineraler med glimmergruppen også muligens vermikulitt eller svellende kloritt i tillegg til normal kloritt/vermikulitt, eller muligens svellende blandskiktmineraler mellom montmorillomitt og glimmer. Røntgenopptaket egner seg dårlig til kvantitative vurderinger ut over det som er antydnet.

Prøve 15 inneholder i tillegg til det som er anført i tabellen et ikke klart identifisert mineral med et sterkt utslag på 3,43 Å. Enkelte rene Al-silikater (Al_2SiO_5 -gruppen) har denne linje, og den er observert hos en del lav-plagioklaser (men ikke så sterk), samt som en sterkt linje hos de fleste apatitter.

Spørsmålsteget i tabellen betyr at mineralet muligens er tilstede, men at det ikke sikkert kan identifiseres, eller at de anslåtte mengder er svært usikre. Kryss i tabellen betyr at et mineral er sikkert identifisert, men er tilstede kun i ubetydelige mengder.



Röntgenundersøkelser, tilsendte prøver fra NTH.

Hermed oversendes resultatene av röntgenundersøkelser utført på 18 tilsendte prøver.

Utførelsen av undersøkelsen er gjort i overensstemmelse med avtale, etter de metoder til vurdering av mineral sammensetning som anvendes hos A/S Geotekn.

Mens det i de fleste tilfelle har vært forholdsvis enkelt å vurdere prøvenes kvalitative sammensetning, er den kvantitative vurdering sannsynligvis befestet med en forholdsvis stor grad av usikkerhet. Denne usikkerhet varierer fra prøve til prøve, ikke minst fordi de tilsendte prøver hadde en del forskjell i nedmålingsgrad. De kvantitative utslag på derfor anvendes med forsiktighet.

Som det fremgår av tabellen er kloritt og vermiculitt slått sammen til en gruppe. Disse mineraler kan normalt ikke adskilles uten tilleggsundersøkelser. I de fleste tilfelle er det vel sannsynlig at det er kloritt som er tilstede. I en del prøver (2, 3, 6 og muligens 5) mangler den karakteristiske klorittlinje på ca. 14 Å, og en har forholdsvis konkubert med tilstedeværelsen av kaolin, et mineral som ellers normalt ikke sikkert kan påvises uten tilleggsundersøkelser.

I tillegg til det som er angitt i tabellen inneholder de fleste prøver mindre mengde blandkvikmineraler, samt en del røntgenamorf materiale. Videre er pyritt observert i prøve 15 og 17, samt muligens i prøve 3 og 18. Det er ikke tatt hensyn til disse mineraler under bedømmelsen.

Prøve 8 inneholder i tillegg til vanskelig identifiserbare blandakktmineraler med glimmergruppen også muligens vermiculitt eller svevende kloritt i tillegg til normal klorittvermiculitt eller muligens svevende blandkvikmineraler mellom montmorillonitt og glimmer. Røntgenopptaket egner seg dårlig til kvantitative vurderinger ut over det som er angitt.

Prøve 15 inneholder i tillegg til det som er angitt i tabellen et ikke klart identifisert mineral med et sterkt utslag på 3,43 Å. Enkelte rene Al-silikater (Al₂SiO₅-gruppen) har denne linje, og den er observert hos en del lav-plagioklasser (men ikke så sterk), samt som en sterkt linje hos de fleste apatitter.

Spørsmålet om i tabellen betyr at mineralet muligens er tilstede, men at det ikke sikkert kan identifiseres, eller at de angitte mengder er svært usikre. Kryss i tabellen betyr at et mineral er sikkert identifisert, men er tilstede kun i ubetydelige mengder.

Prøve med anslått mineralinnhold i prosent.

Tabell 1.

	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Montmorillonitt	60	5-10	30	50-60	50-60	50-60	50-60		30
Kloritt, vermiculitt	x	?	?	5-10			2-3	15	x
Kaolin		20-30?	10?			5?			
Glimmer	10-15	20	15	5	10-15	15-20	10-15	10-?	2-5
Kvarts	10	20	30	5-10	15-20	10-15	15-20	10-15	10-15
Na-feltspat	10	x		10	5-10		2-5	x	10
Kalifeltspat	5-10	20	10	5-10	10	5-10	10-15	2-5	30
Kalk				?	x	1-2	x	2	10
Amfibol	2-5	2-5	2-5	2-5	2-5	2-5	2-5	x	2-5
Talk	x	1-3			x	?	1-3	?	?

Tabell 2.

	10	11	12	13	14	15	16	17	18
Montmorillonitt	50-60	30-40	35-45	10	30	2-5	5	30	20-25
Kloritt, vermiculitt		10	2-5	60		5	10	40	10
Kaolin					?				
Glimmer	5	10-15	15	2-5	40-50	30	50-60	2-5	20-25
Kvarts	10-15	20	20-25	15	15-20	5-10	5-10	15	5-10
Na-feltspat	10-15	5	5	x	2-5				
Kalifeltspat	10	10	20-25	5		5	15	5	5-10
Kalk		2	2-3	x	5	4-6	6-8	2	1-2
Amfibol	2-5	2-5	2-5	x	5		x	x	10-15?
Talk		x			6	5			15-20?

Prøve med analysert mineralinnhold i prosent.

Tabell 1.

	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Montmorillonitt	60	5-10	30	50-60	50-60	50-60	50-60		30
Kloritt, vermi- kullitt	x	?	?	5-10			2-3	15	x
Kaolin		20-30?	10?			5?			
Glimmer	10-15	20	15	5	10-15	15-20	10-15	10-?	2-5
Kvarts	10	20	30	5-10	15-20	10-15	15-20	10-15	10-15
Na-feltspat	10	x	10	5-10			2-5	x	10
Kalifeltspat	5-10	20	10	5-10	10	5-10	10-15	2-5	30
Kalk				?	x	1-2	x	2	10
Amfibol	2-5	2-5	2-5	2-5	2-5	2-5	2-5	x	2-5
Talk	x	1-3		x	?	?	1-3	?	?

Tabell 2.

	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Montmorillonitt	50-60	30-40	35-45	10	30	2-5	5	30	20-25
Kloritt, vermi- kullitt		10	2-5	60		5	10	40	10
Kaolin				?					
Glimmer	5	10-15	15	2-5	40-50	30	50-60	2-5	20-25
Kvarts	10-15	20	20-25	15	15-20	5-10	5-10	15	5-10
Na-feltspat	10-15	5	5	x	2-5				
Kalifeltspat	10	10	20-25	5	5	5	15	5	5-10
Kalk		2	2-3	x	5	4-6	6-8	2	1-2
Amfibol	2-5	2-5	2-5	x	5		x	x	10-15?
Talk		x			6	5			15-20?

6. VURDERING AV LABORATORIEMETODENE.

6.1. Kornfordeling.

For 18 materialer er det utført kornfordelingsanalyse som beskrevet i avsnitt 4.1. Kornfordelingskurvene er gjengitt i bilag, og en skal her bare gi noen kommentarer til resultatene.

To av de undersøkte materialene inneholdt over 60% av en bestemt fraksjon. Det groveste (nr. 18) hadde ca. 65% større enn 2 mm, og det mest finkornige (nr. 4) ca. 70% av fraksjonen 0,06 til 0,002 mm. Disse materialene vil derfor ut fra kornfordeling benevnes henholdsvis grus og silt.

For to prøver utgjorde fraksjon mindre enn 2 μm over 15% av materiale under 2 mm. (Materiale nr. 1 hadde 16% og nr. 8 hadde 23%). Etter vanlig terminologi vil disse materialene kalles magre leirer og de øvrige leirholdige til leirfattige materialer. En må imidlertid være klar over at det er tatt gjennomsnittsprøver, og kornfordelingen kan variere en del fra sted til sted i svakhetssonene.

Av materialene ble det laget laboratorieprøver med varierende maksimal kornstørrelse. Fraksjon mindre enn 0,5 mm utgjorde fra 98% til 25% av total prøve. For 12 av prøvene lå den mellom 70% og 45%. Bare en var lavere (nr. 18) og 5 høyere med 3 over 90%. For disse laboratorieprøvene varierte leirinnholdet fra 25% til 2% og fraksjon mindre enn 20 μm fra 55% til 15%. Lineær regresjonsanalyse mellom materiale mindre enn 2 μm og 20 μm ga korrelasjonskoeffisient $r = 0,8$ (se avsnitt 7.1).

Laboratorieprøvene mindre enn sikt 200 (0,074 mm) utgjorde fra 86% til 10% av total prøve.

En jordarts kornfordeling vil ofte kunne fortelle om dannelsesmåten. Flere metoder brukes for å gjengi måledataene slik at de gir mest mulig informasjon. I dette arbeide er det forsøkt

STUDIE I VÆRDIENDE AF LABORATORIEMETODER

For at undersøge den indvirkning som de forskellige metoder har på resultatet af analysen, er der foretaget følgende forsøg:

1. Ved at undersøge indholdet af stoffet i prøverne, som er taget fra de forskellige dele af anlægget, kan man se, om der er nogen forskelligheder i indholdet.

2. Ved at undersøge indholdet af stoffet i prøverne, som er taget fra de forskellige dele af anlægget, kan man se, om der er nogen forskelligheder i indholdet.

3. Ved at undersøge indholdet af stoffet i prøverne, som er taget fra de forskellige dele af anlægget, kan man se, om der er nogen forskelligheder i indholdet.

4. Ved at undersøge indholdet af stoffet i prøverne, som er taget fra de forskellige dele af anlægget, kan man se, om der er nogen forskelligheder i indholdet.

to metoder: Midlere kornstørrelse og sortering, samt opp-tegning etter log-normalfordeling.

Midlere kornstørrelse og sortering brukes for enkelt å karakterisere kornfordelingskurven (Selmer-Olsen 1954).

Midlere kornstørrelse, M_d , er kornstørrelsen i mm som tilsvare 50% gjennomgang ved sikting. Sorteringen, S_o , er lik $\log \frac{d_{75}}{d_{25}}$ hvor d_{75} og d_{25} er kornstørrelsene som tilsvare

henholdsvis 75% og 25% gjennomgang. Sorteringen tas enklest ut grafisk.

På fig. 6.1 er M_d og S_o for leirsonematerialene sammenlignet med data for kvartære jordarter. Kornfordelingen for de fleste ligner på morenematerialer, noe som også synes rimelig med tanke på dannelse ved mekanisk nedknusing. Enkelte materialer skilte seg likevel ut. Nr. 18 var en nærmest fylltisk sone med svært lite finstoffinnhold og granatglimmerskifer som sidebergart. Videre hadde noen materialer lav M_d og S_o . Dette gjaldt spesielt nr. 4, men også 13, 14 og 17.

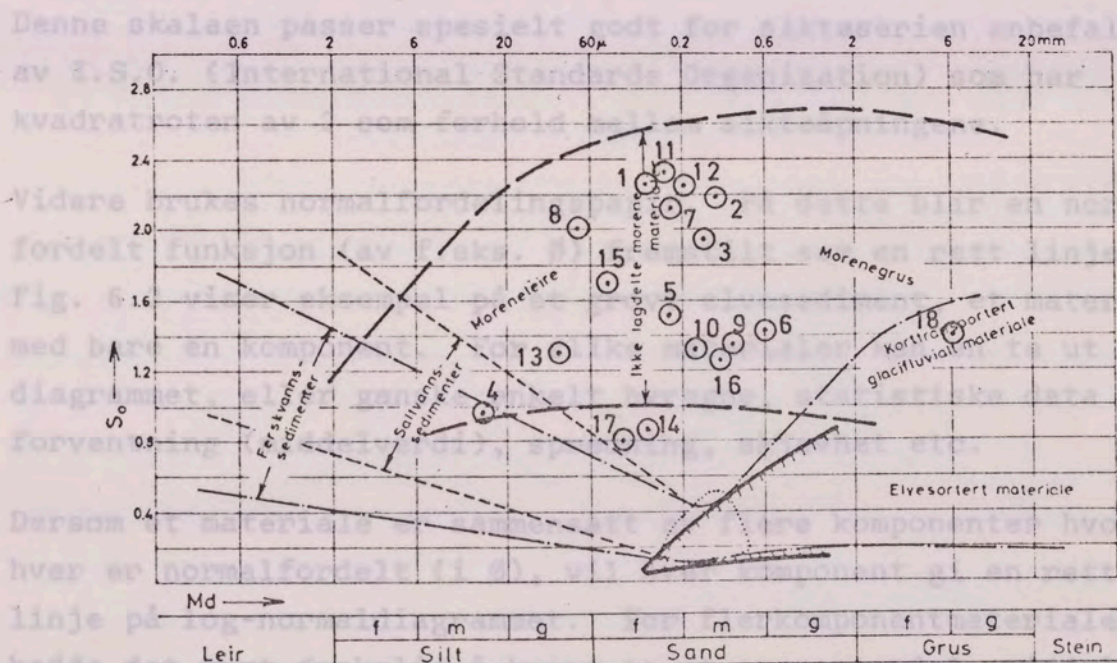


Fig. 6.1.

to metoder: Midlere kornstørrelse og sortering, samt opp-
tegning etter log-normalfordeling.

Midlere kornstørrelse og sortering brukes for enkelt å
karakterisere kornfordelingskurven (Seimer-Olsen 1954).
Midlere kornstørrelse, M_d , er kornstørrelsen i mm som til-
svarer 50% gjennomgang ved siktning. Sorteringen, S_u , er lik
log $\frac{d_{75}}{d_{25}}$ hvor d_{75} og d_{25} er kornstørrelsene som tilsvare
henholdsvis 75% og 25% gjennomgang. Sorteringen tas enklast
ut grafisk.

På fig. 6.1 er M_d og S_u for leirsonematerialiene sammenlignet
med data for kvartære jordarter. Kornfordelingen for de fleste
ligner på morenematerialier, noe som også synes rimelig med
tanke på dannelse ved mekanisk nedkussning. Enkelte materialier
skilte seg likevel ut. Nr. 18 var en nærmest fyltittisk sone
med svært lite finstoffinnhold og granatlimmerakler som
sidsberget. Videre hadde noen materialier lav M_d og S_u . Dette
gjaldt spesielt nr. 4, men også 13, 14 og 15.

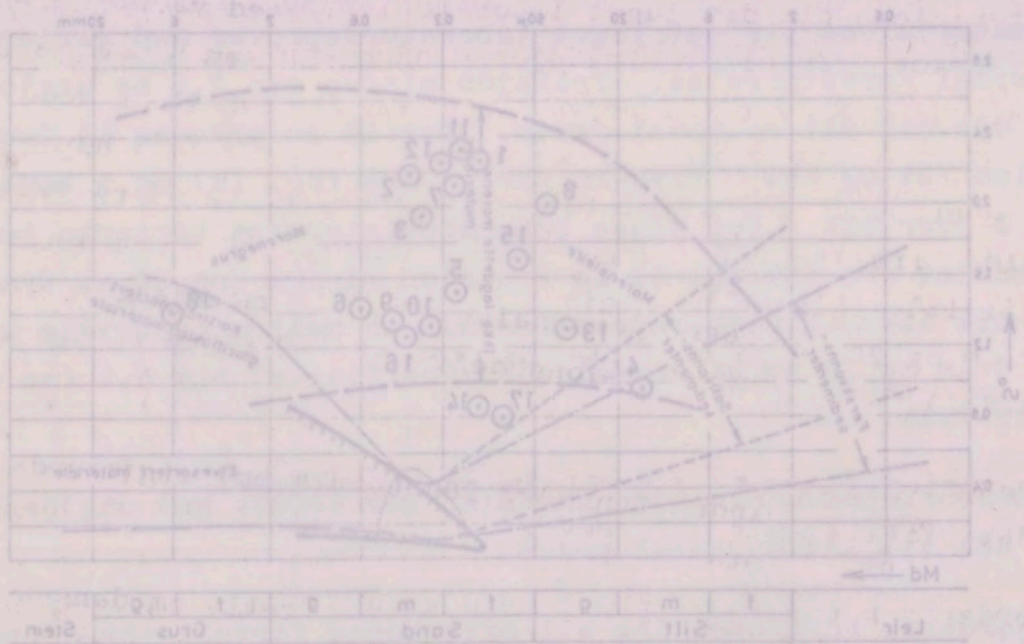


Fig. 6.1.

Disse materialene falt, som en ser i M_d-S_o -diagrammet, i eller nær området for vanntransporterte sedimenter avsatt i saltvann. For leirsonematerialene synes det derfor nærliggende å tenke på avsetning fra hydrotermal strømming.

Nå er imidlertid metoden oppbygd for materialer med en hovedkomponent, og for sammensatte materialer vil resultatene kunne bli forholdsvis tilfeldige.

Log-normalfordeling.

Data fra kornfordelingsanalyser kan bearbejdes statistisk på ulike måter. Den såkalte fi-skalaen er mye brukt (beskrevet f.eks. hos Griffiths 1967, s. 77 ff). Dette er en logaritmisk skala med to som enhet:

$$d = 2^{-\phi}$$

hvor d er korndiameter i mm.

$$\log d = -\phi \log 2$$

$$\log d = -0,3010 \cdot \phi$$

Denne skalaen passer spesielt godt for sikteserien anbefalt av I.S.O. (International Standards Organization) som har kvadratroten av 2 som forhold mellom sikteåpningene.

Videre brukes normalfordelingspapir. På dette blir en normalfordelt funksjon (av f.eks. ϕ) fremstilt som en rett linje. Fig. 6.2 viser eksempel på et grovt elvesediment, et materiale med bare en komponent. For slike materialer kan en ta ut av diagrammet, eller ganske enkelt beregne, statistiske data som forventning (middelverdi), spredning, skjevhet etc.

Dersom et materiale er sammensatt av flere komponenter hvor hver er normalfordelt (i ϕ), vil hver komponent gi en rett linje på log-normaldiagrammet. For flerkomponentmaterialer hadde det vært ønskelig å kunne ta ut prosentandel, middel-tall og spredning for hver enkelt komponent. I så fall kunne materialene meget nøyaktig spaltes opp som vist i fig. 6.3, og derved gitt mulighet for å undersøke hver enkelt komponent.

i den forbindelse, hvor der er tale om en
 enkeltkomponent, vil det være nødvendigt at
 undersøge, om der er tale om en enkeltkomponent
 eller om der er tale om en sammensat komponent.
 Dette kan gøres ved at undersøge, om der er
 tale om en enkeltkomponent eller om der er
 tale om en sammensat komponent.

Enkeltkomponenter

En enkeltkomponent er en komponent, der
 består af en enkelt del. Dette kan være en
 enkeltkomponent eller en sammensat komponent.
 Dette kan gøres ved at undersøge, om der er
 tale om en enkeltkomponent eller om der er
 tale om en sammensat komponent.

hvor der er tale om en enkeltkomponent.

log d = 2 log 2

log d = 2 log 2

Denne skæbne passer godt til den tidligere
 af I.R.O. (International Research Organization) som har
 undersøgt og er blevet kendt som den tidligere

Videre er det bemærket, at der er tale om en
 enkeltkomponent (og ikke om en sammensat komponent).
 Dette kan gøres ved at undersøge, om der er
 tale om en enkeltkomponent eller om der er
 tale om en sammensat komponent.

Person af interesse er især komponenter hvor
 der er tale om en enkeltkomponent (1) og (2) vil
 være komponenter og (3) vil være komponenter.
 Dette kan gøres ved at undersøge, om der er
 tale om en enkeltkomponent eller om der er
 tale om en sammensat komponent.

På grunn av overlapping mellom komponentene er det imidlertid ikke mulig å gjøre en nøyaktig oppdeling. Men selv en grov inndeling kan være nyttig ved vurdering av et gitt materiale. For transport av masser vil det fremkomme kurver som, ialt sett, er karakteristiske for transport av masser. Visser (1989) gir eksempler på en slik inndeling blir imidlertid lite anvendbar for leirsone- og sandmasser som kan ha en langt mer kompleks dannelseshistorie.

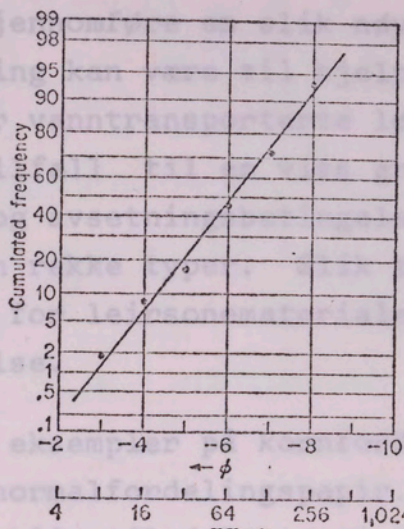
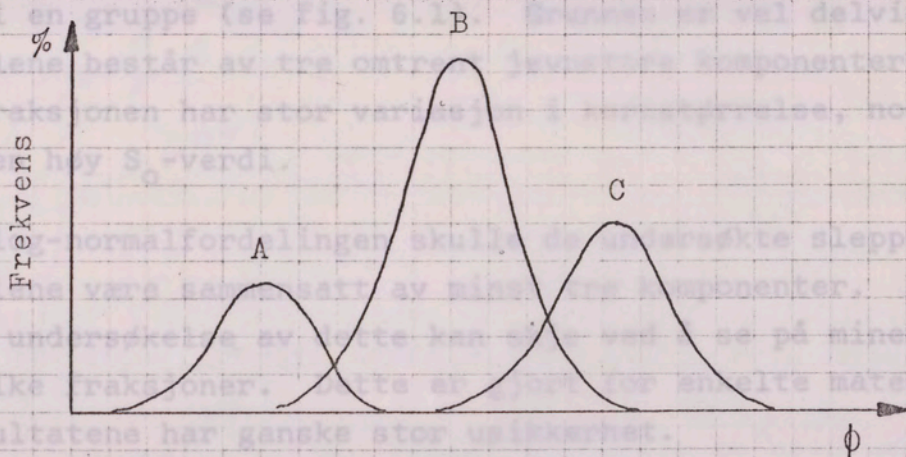


Fig. 6.4 viser et eksempel på en slik inndeling til leirsone- og sandmasser på normalfordelingen (se også i bilag). Det blir til og med mulig å se sammenhenger, slik at de fleste prøver kan deles opp i 3 - 5 segmenter. For enkelte prøver er størrelsen ganske stor p.g.a. få punkter. Det ser imidlertid ut til at samtlige materialer består av en grovfraksjon (A) og en finfraksjon (C) foruten en eller flere mellomfraksjoner (B₁, B₂ etc.).

Fig. 6.2. (Etter Krumbein and Graybill 1965)

Materialene får forskjellig kurveform som vist i fig. 6.3. Det synes å være en tendens til at materialer med lik kurveform samler seg i grupper på M₀-S₀-diagrammet. Dette gjelder spesielt materialene 1, 3, 7, 11 og 12, som sammen med nr. 2 faller i en gruppe (se fig. 6.1). Dette er vel delvis at materialene består av tre eller flere komponenter hvor mellomfraksjonen har stor verdi, noe som vil gi en høy S₀-verdi.



Ut fra log-normalfordelingen skulle de undersøkte slappe-materialene være sammensatt av mindre komponenter. En nærmere undersøkelse av disse kan kanskje avsløre noe på mineralogien i de ulike fraksjonene. Dette er spesielt for enkelte materialer, men resultatene har ganske stor usikkerhet.

Fig. 6.3.

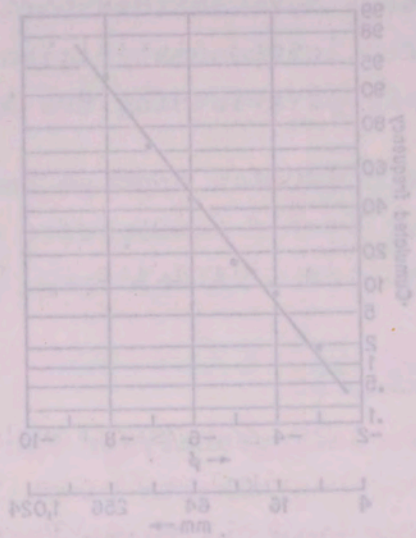


Fig. 6.2. (Efter Krambein and Graybill 1962)
 Data from Wolman, 1954.
 Probability graph of stream pebbles and cobbles.

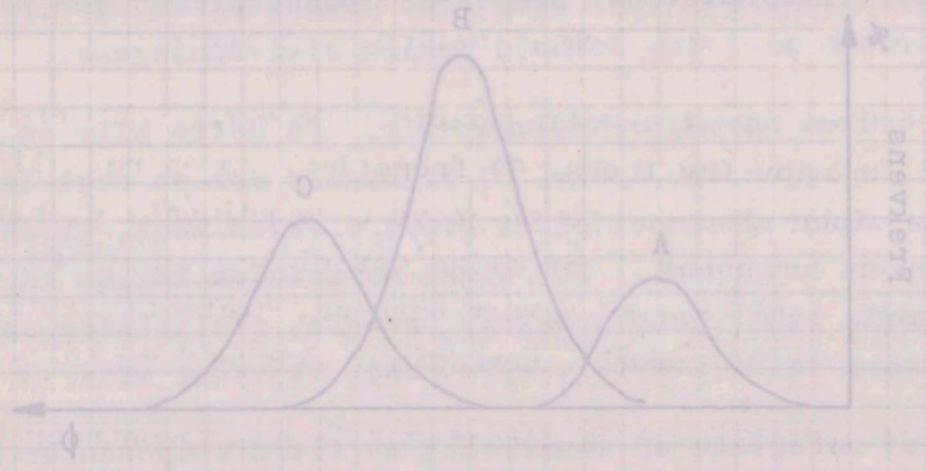


Fig. 6.3.

På grunn av overlapping mellom komponentene er det imidlertid ikke mulig å gjennomføre en slik nøyaktig oppdeling. Men selv en grov inndeling kan være til hjelp ved vurdering av et gitt materiale. For vanntransporterte løsmasser vil det fremkomme kurver som, iallfall til en viss grad, er karakteristiske for transport og avsetningsbetingelser. Visher (1969) gir eksempler på en rekke typer. Slik tolking blir imidlertid lite anvendbar for leirsonematerialer som kan ha en langt mer kompleks dannelselse.

Fig. 6.4 viser eksempler på kornfordeling til leirsone-materialer på normalfordelingspapir. (De øvrige er gjengitt i bilag). Det blir til dels meget gode rettlinjede sammenhenger, slik at kornfordelingskurvene kan deles opp i 3 - 5 segmenter. For enkelte segmenter er usikkerheten ganske stor p.g.a. få punkter. Det ser imidlertid ut til at samtlige materialer består av en grovfraksjon (A) og en finfraksjon (C) foruten en eller flere mellomfraksjoner (B_1 , B_2 etc.). Materialene får forskjellig kurveform som vist i fig. 6.5. Det synes å være en tendens til at materialer med lik kurveform samler seg i grupper på M_d - S_o -diagrammet. Dette gjelder spesielt materialene 1, 3, 7, 11 og 12, som sammen med nr. 2 faller i en gruppe (se fig. 6.1). Grunnen er vel delvis at materialene består av tre omtrent jevnstore komponenter hvor mellomfraksjonen har stor variasjon i kornstørrelse, noe som vil gi en høy S_o -verdi.

Ut fra log-normalfordelingen skulle de undersøkte sleppe-materialene være sammensatt av minst tre komponenter. En nærmere undersøkelse av dette kan skje ved å se på mineralogien i de ulike fraksjoner. Dette er gjort for enkelte materialer, men resultatene har ganske stor usikkerhet.

På grunn av overlapping mellom komponentene er det imidlertid ikke mulig å gjengjøre en slik nøyaktig oppdeling. Men selv en grov inndeling kan være til nytte ved vurdering av et materiale. For vanntransporter er inndelingen vist framkomme kurver som, iallfall, til en viss grad er karakteristiske for transport og avsetningsforholdene. Visher (1968) gir eksempler på en slik typisk. Slik tolking blir imidlertid lite anvendbar for leirtransporter som kan ha en langt mer kompleks dannelse.

Fig. 8.4 viser eksempler på korrelasjoner til leirtransporter på normalforbudsforhold. (De øvrige er gjengitt i bilag). Det blir til dels meget gode korrelasjoner sammenhengende med at korrelasjonskurvene kan deles opp i 2 segmenter. For enkelte segmenter er usikkerheten ganske stor p.g.a. få punkter. Det er imidlertid ut til at samtlige materialer består av en fraksjon (A) og en fraksjon (C) foruten en eller flere mellomfraksjoner (B, B, etc.). Materialene får forskjellige kurver som vist i fig. 8.4. Det synes å være en tendens til at materialer med lik kurverform samler seg i grupper på M-2-diagramet. Dette gjelder for kjolitt, illitt og kaolitt som sammen med nr. 3 og 4 er sammenhengende med en tendens til å falle i en gruppe (se fig. 8.1). Gruppen er vel delvis av karakteristisk for de enkelte leirtransporter som materialene består av. De enkelte leirtransporter som mellomfraksjonen har stor variasjon i korrelasjon, noe som vil gi en høy 2-verdi.

Det er imidlertid ikke alle materialer som har en slik karakteristisk kurverform. Ut fra log-normale fordelinger av undersøkta stoffe-materialene våre sammenlagt av minst tre komponenter. En nærmere undersøkelse av dette kan ske ved å se på mineralogien av de enkelte leirtransporter skulle de underleires i de ulike fraksjoner. Dette er gjort for enkelte materialer i tabell 8.4. Sammenlagt av minst tre komponenter med resultatene kan man undersøke om de kan skje ved å se på mineralogien i de ulike fraksjoner. Dette er gjort for enkelte materialer med resultatene har ganske stor usikkerhet.

—x—x—x—
 —△—△—△—
 —○—○—○—

Pröve nr. 1
 Pröve nr. 11
 Pröve nr. 14

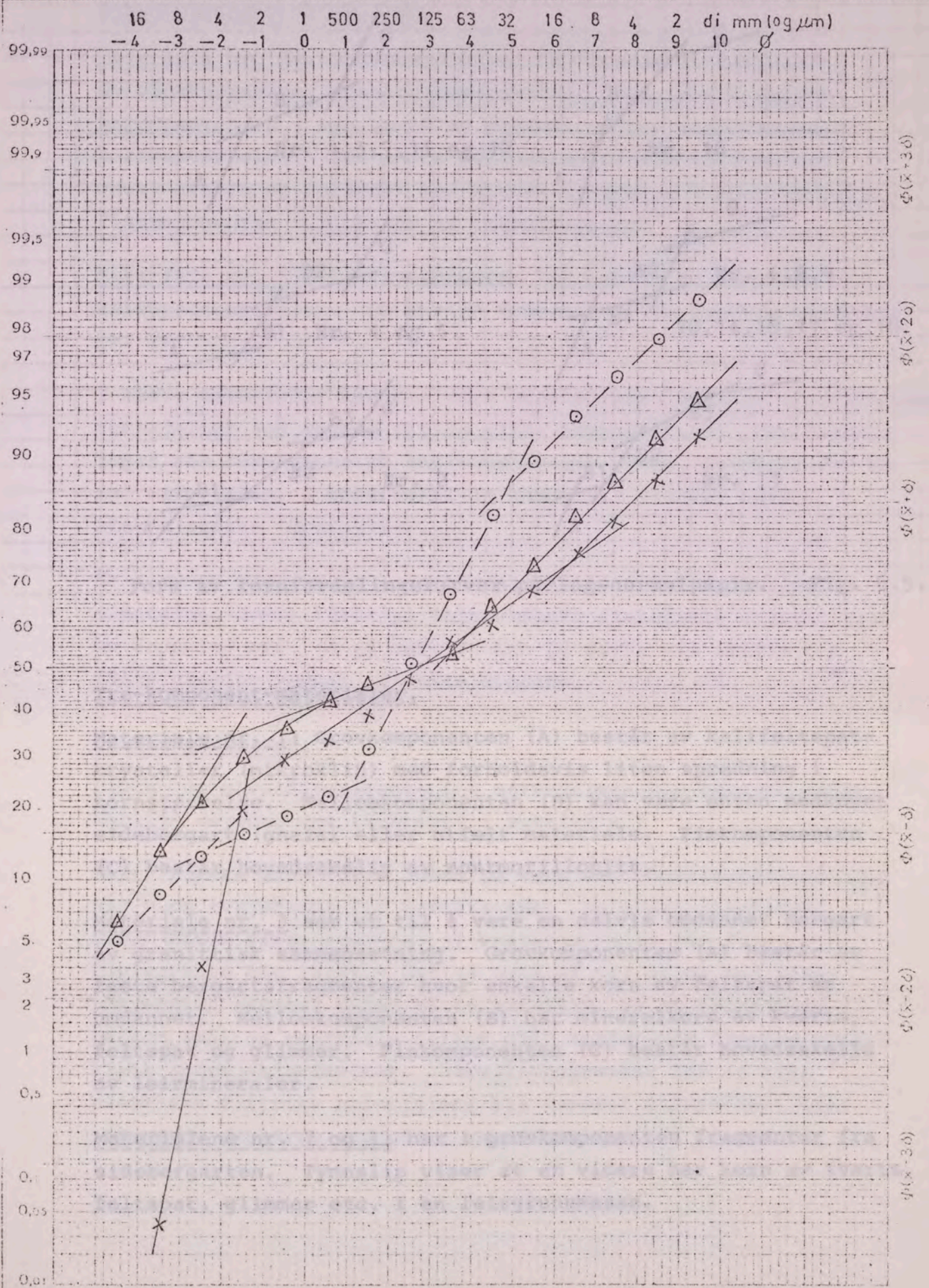


Fig. 6.4.

88)	Pröve nr. 1	—x—x—x—
	Pröve nr. 11	—△—△—△—
	Pröve nr. 14	—○—○—○—

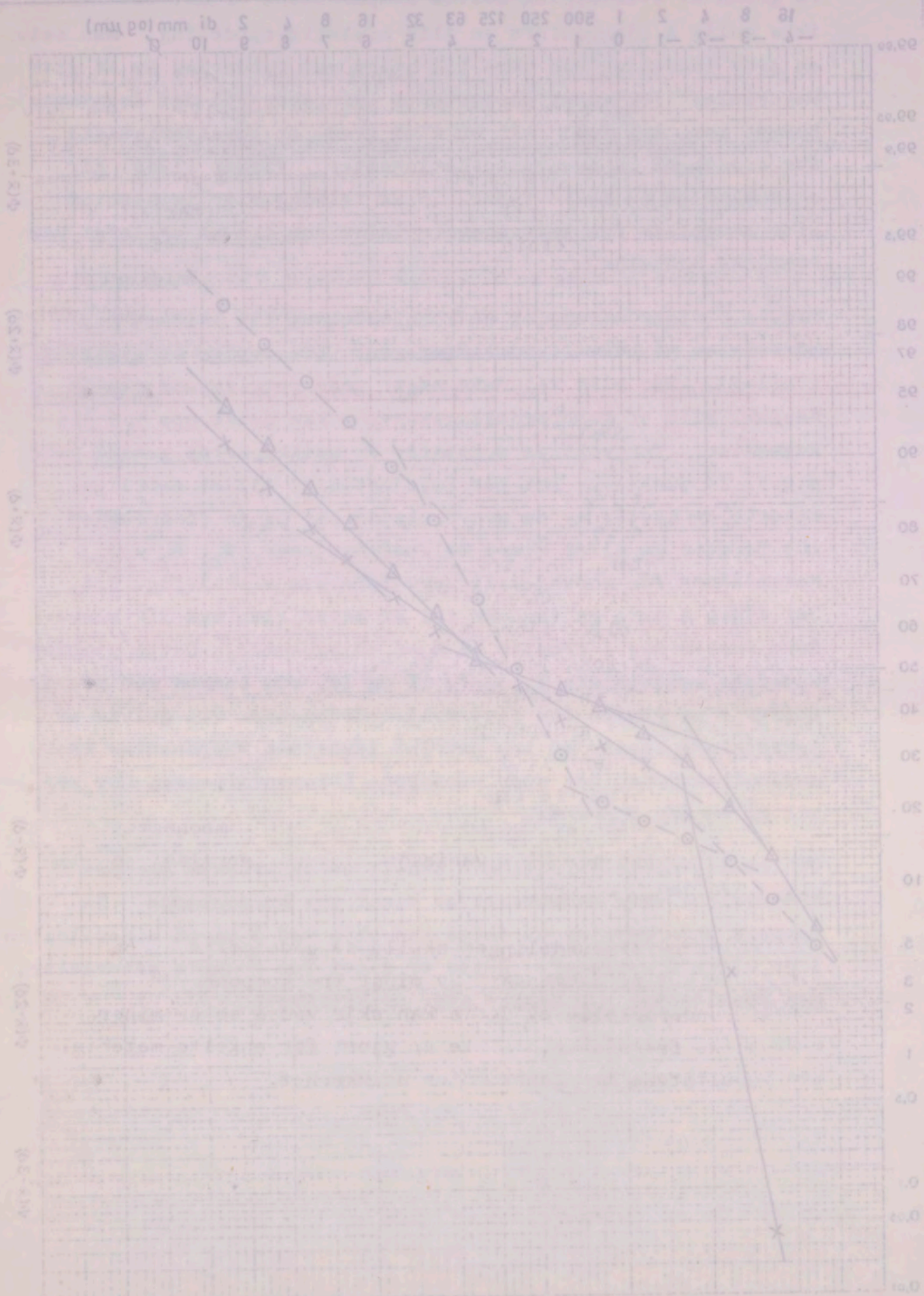
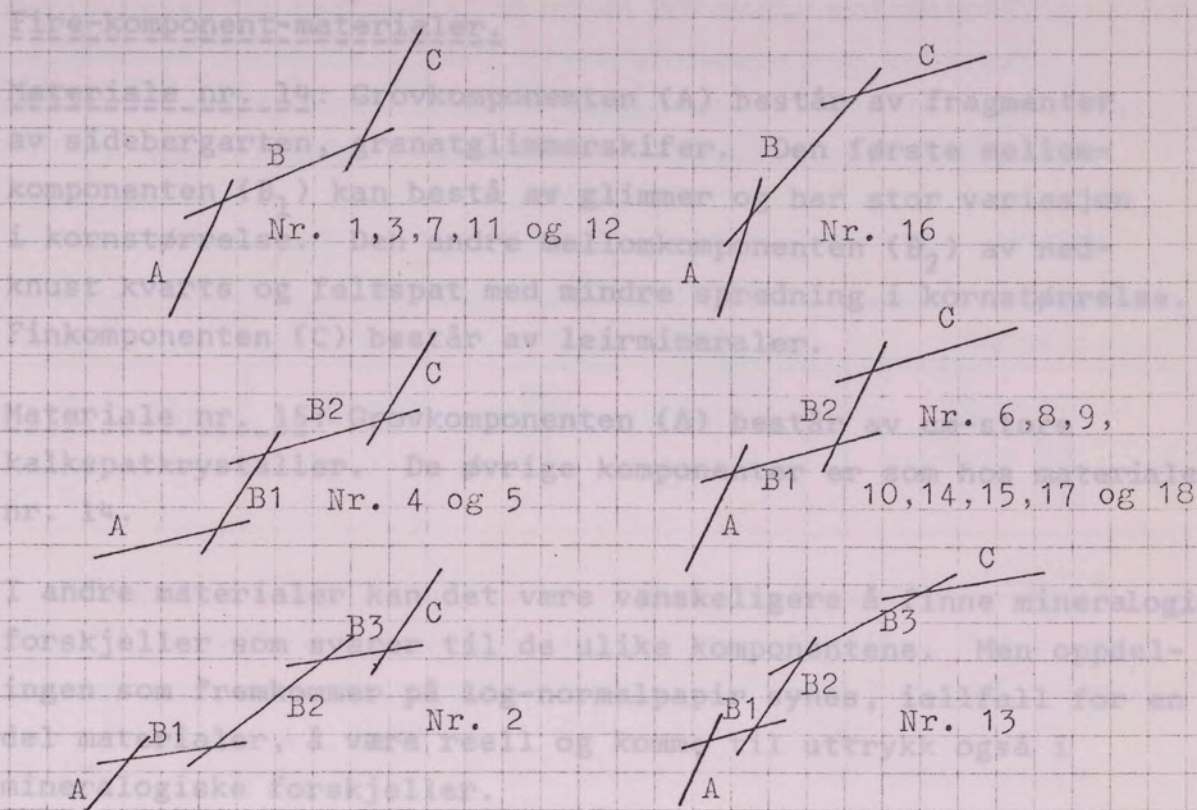


Fig. 6.1.



Et Form av kornfordelingskurver på log-normalpapir. Fig. 6.5.

Tre-komponent-materialer.

Materiale nr. 1: Grovkomponenten (A) består av kalifeltspatkrystaller (mikroklin) med forholdsvis liten spredning i kornstørrelse. Mellomkomponenten (B) kan være enten nedknust sidebergart (gneis) eller utfelt materiale. Finkomponenten (C) består hovedsakelig av montmorillonitt.

Materiale nr. 3 ser ut til å være en delvis omdannet bergart av granittisk sammensetning. Grovkomponenten (A) består av faste bergartsfragmenter hvor enkelte korn av feltspat er omdannet. Mellomkomponenten (B) har mineralkorn av kvarts, feltspat og glimmer. Finkomponenten (C) består hovedsakelig av leirmineraler.

Materialene nr. 7 og 11 har i grovkomponenten fragmenter fra sidebergarten. Tynnslip viser at en videre har korn av kvarts, feltspat, glimmer etc. i en leirgrunnmasse.

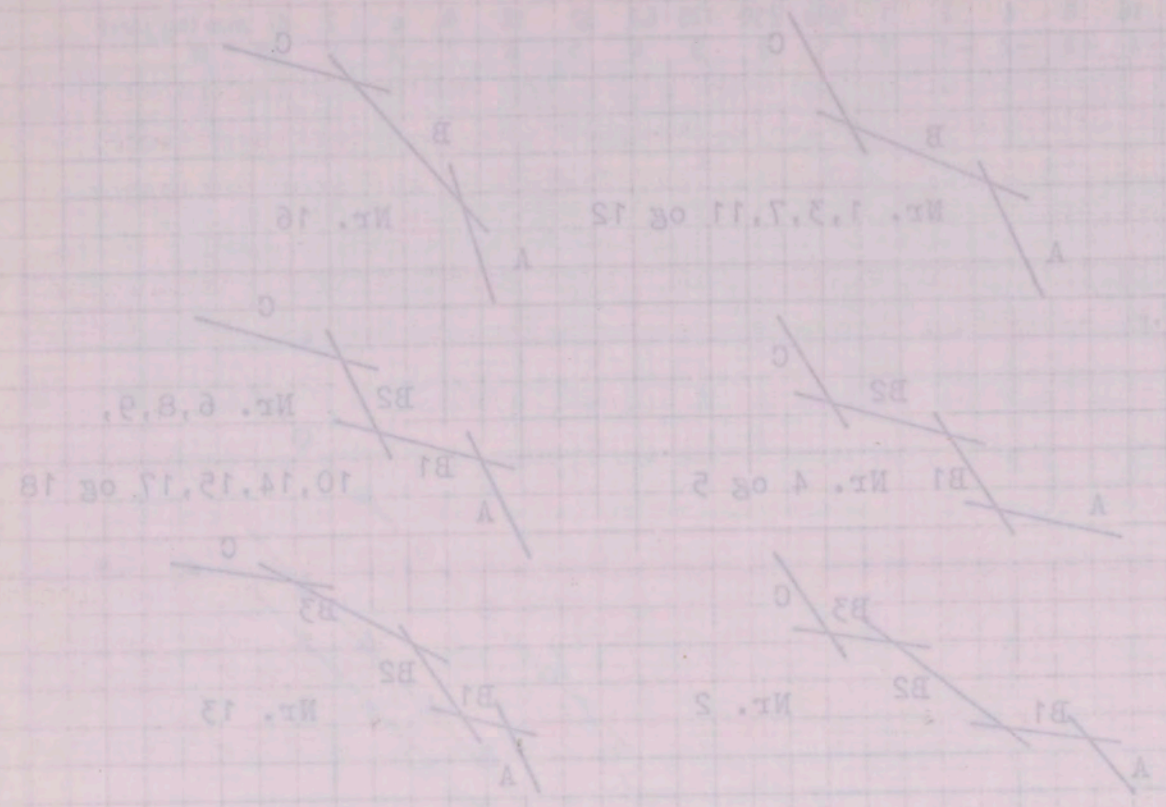
Materialene nr. 7 og 11 har i grovkomponenten fragmenter fra
 sideberarten. Tynslig viser at en videre har korn av kvarte,
 feltspat, glimmer etc. i en feigrunnmasse.

Materialene nr. 3 ser ut til å være en delvis omdannet berarte
 av granittisk sammensetning. Grovkomponenten (A) består av
 faste berartefragmenter hvor enkelte korn av feltspat er
 omdannet. Mellomkomponenten (B) har mineralikorn av kvarte,
 feltspat og glimmer. Finkomponenten (C) består hovedsakelig
 av feimineraler.

(C) består hovedsakelig av montmorillonitt.
 sideberarte (gneis) eller utfelt materiale. Finkomponenten
 kornstørrelse. Mellomkomponenten (B) kan være enten nedkuttet
 krystaller (mikroklin) med forholdsvis liten spredning i
 Materialene nr. 1: Grovkomponenten (A) består av kalfeltspat-

Tre-komponent-materialer.

Form av kornfordelingskurver på log-normalpapir. Plg. 6.5.



Fire-komponent-materialer.

Materiale nr. 14: Grovkomponenten (A) består av fragmenter av sidebergarten, granatglimmerskifer. Den første mellomkomponenten (B_1) kan bestå av glimmer og har stor variasjon i kornstørrelse. Den andre mellomkomponenten (B_2) av nedknust kvarts og feltspat med mindre spredning i kornstørrelse. Finkomponenten (C) består av leirmineraler.

Materiale nr. 15: Grovkomponenten (A) består av cm-store kalkspatkrystaller. De øvrige komponenter er som hos materiale nr. 14.

I andre materialer kan det være vanskeligere å finne mineralogiske forskjeller som svarer til de ulike komponentene. Men oppdelingen som fremkommer på log-normalpapir synes, iallfall for en del materialer, å være reell og komme til uttrykk også i mineralogiske forskjeller.

Et nærmere studium av leirsonematerialenes kornfordeling og mineralogi burde kunne gi interessante geologiske opplysninger om dannelselse etc. Å gå nærmere inn på dette vil imidlertid falle utenfor rammen av dette arbeide.

6.2. Plastisitet.

Flyte- og utrullingsgrense for materialene ble bestemt etter vanlige metoder som beskrevet i avsnitt 4.1.

Materialenes evne til å holde på vann ved korttidspåkjenninger vil være avgjørende for resultatene. De minst plastiske materialene viste tendens til kraterdannelse når furen til flytegrense ble laget. Det så også ut til at de ved slagpåkjenning nærmest skled på en vannfilm, og at friksjonen mellom skål og materiale derfor blir avgjørende fremfor materialets indre skjærfasthet. Utrullingsgrensen for de lite plastiske siltrike materialene ble nærmest illusorisk, idet strengene smuldret opp etter sammenknaing.

Dette og andre forhold gjør at en må regne med betydelig usikkerhet i resultatene. Flere forskere har undersøkt metodenes reproduserbarhet. Dawson (1969) sendte like prøver til ni kommersielle laboratorier. Resultatene er vist i tabellen.

Sample	Average liquid limit	Range
A	25	20 - 30
B	67	65 - 70
C	62	58 - 71

I et laboratorium utførte en tekniker 20 forsøk på samme materiale over en periode på seks uker. Verdiene for flytegrensen varierte fra 60 til 68.

På tross av svakhetene er vel plastisitet den mest brukte klassifiseringsmetode for finkornige jordarter. I Unified Soil Classification System (Casagrande 1948) deles de finkornige jordarter i tre grupper: Uorganisk silt, uorganisk leire og organisk silt og leire. For de uorganiske jordarter skiller A-linjen ($I_P = 0,73(W_L - 20)$) mellom leire og silt. Materialene deles videre inn etter flytegrense som vist i fig. 6.6.

For laboratorieprøvene mindre enn 0,5 mm ble det funnet følgende variasjoner: Flytegrense $W_L = 20,5 - 61,5\%$, utrullingsgrense $W_p = 16,5 - 35\%$ og plastisitetsindeks $I_P = 1,5 - 27\%$. Etter inndelingen som er nevnt ovenfor vil omtrent halvparten kalles leirer og halvparten silt (fig. 6.7).

Laboratorieprøvene mindre enn sikt 200 (0,074 mm) hadde $W_L = 31,5 - 98\%$, $W_p = 23 - 52\%$ og $I_P = 8,5 - 60,5\%$. Fig. 6.8 viser hvordan materialene forflytter seg i W_L - I_P -diagrammet når den groveste fraksjonen fjernes.

Denne undersøgelse er en del af en større undersøgelse af den kvantitative analyse af jordbær og jordbærprodukter. Resultaterne af denne undersøgelse er vist i tabellen nedenfor.

Sample	Average Lipid Limit	Range
A	52	30 - 70
B	52	30 - 70

I et laboratorie forsøg er teknisk 20 liter jordbær og jordbærprodukter blevet undersøgt. Resultaterne af dette forsøg er vist i tabellen nedenfor.

I materialet over en periode på seks uger. Vedtaget for første gang er materialet fra 50 til 68. I løbet af undersøgelsen er der foretaget flere forsøg på at klassificere jordbær og jordbærprodukter. Resultaterne af disse forsøg er vist i tabellen nedenfor.

Materialet blev videre undersøgt i et forsøg på at klassificere jordbær og jordbærprodukter. Resultaterne af dette forsøg er vist i tabellen nedenfor.

For laboratorieforsøgene mindre end 0,5 ml olie var tilstrækkelig til at klassificere materialet. Resultaterne af disse forsøg er vist i tabellen nedenfor.

Etter undersøgelsen og halvparten silt (100 g) blev materialet undersøgt i et forsøg på at klassificere jordbær og jordbærprodukter. Resultaterne af dette forsøg er vist i tabellen nedenfor.

laboratorieforsøgene mindre end 200 (0,074 mm) partikler. Resultaterne af disse forsøg er vist i tabellen nedenfor.

W = 37, P = 98%, W = 22, P = 92% af I_p = 3,5 - 6,5. Fig. 6.8 viser et eksempel på materialet. I tabellen er vist I_p-diagrammet for materialet. Resultaterne af disse forsøg er vist i tabellen nedenfor.

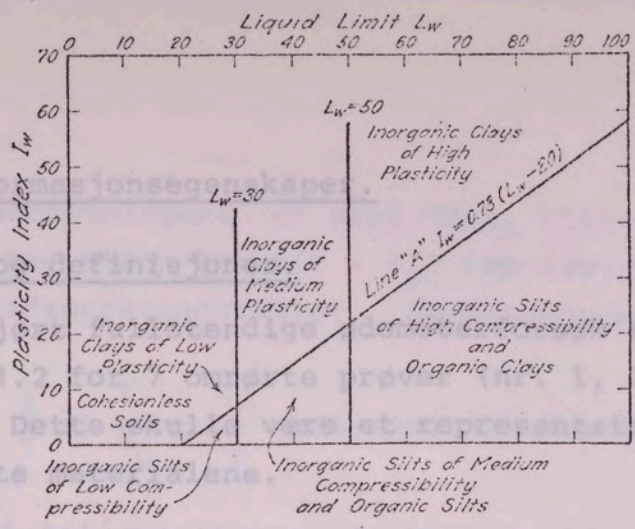
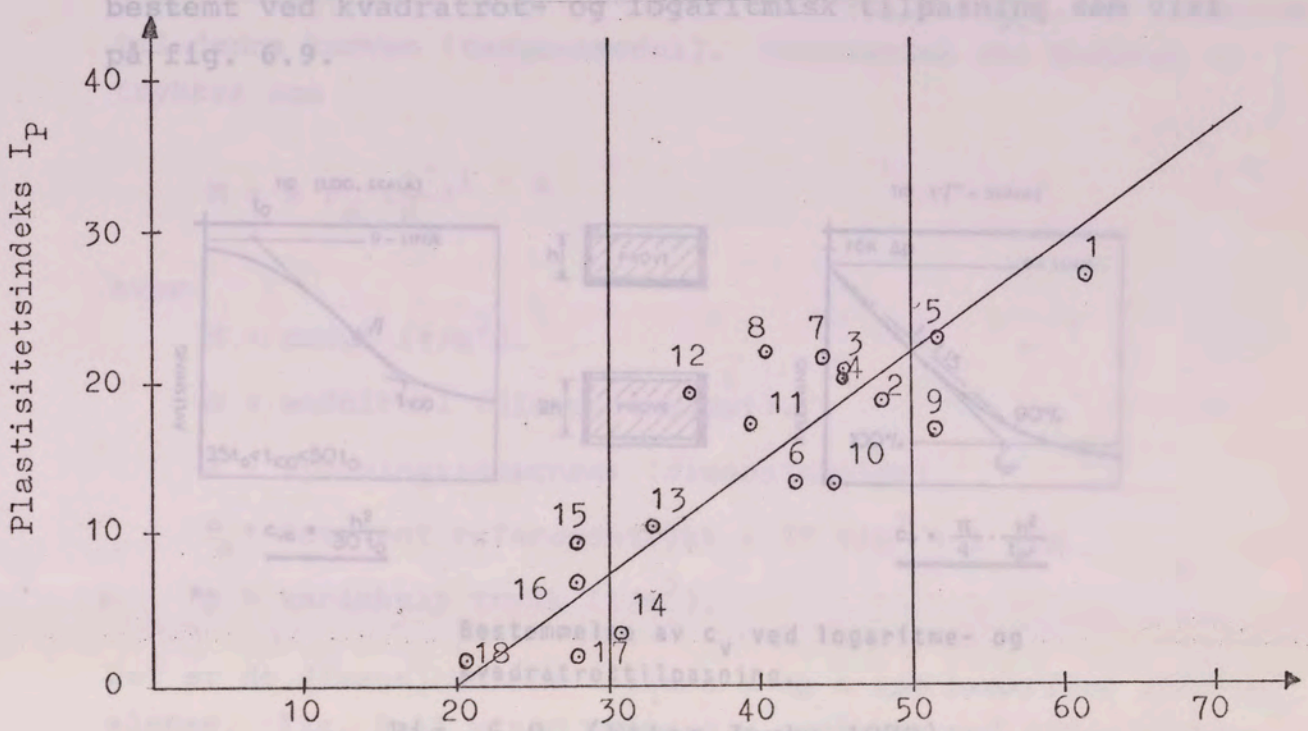


Fig. 6.6.

Plasticity chart (after A. Casagrande 1932a).



Flytegrense W_L Fig. 6.7

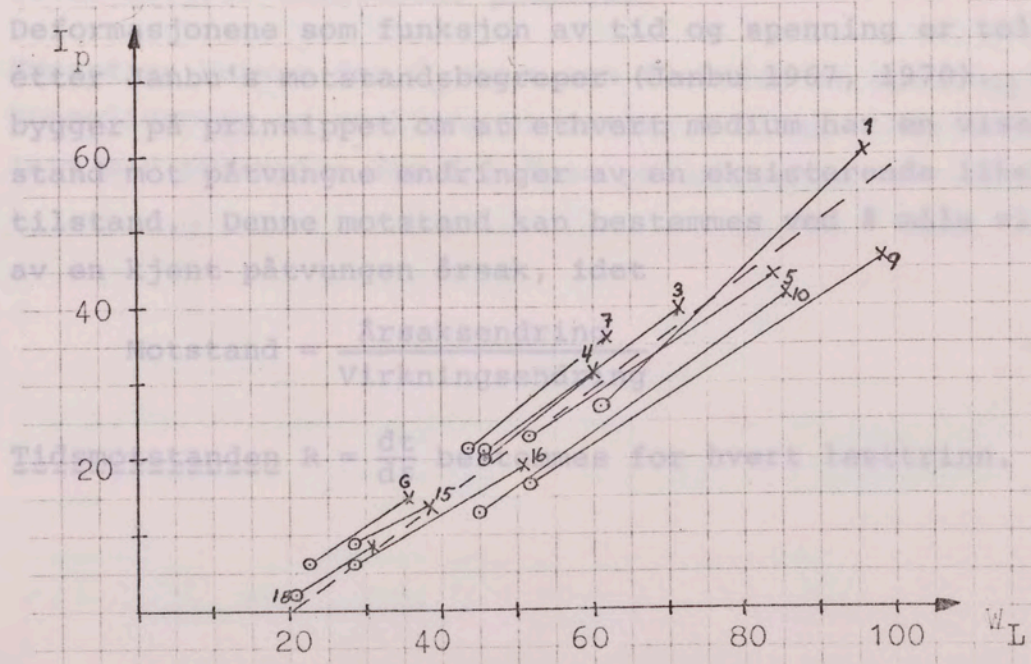
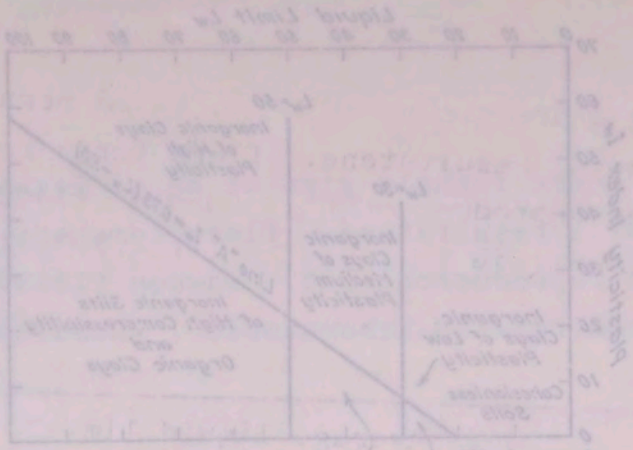


Fig. 6.8.

Fig. 6.6.



Plasticity chart (after A. Casagrande 1925a).

Fig. 6.7.

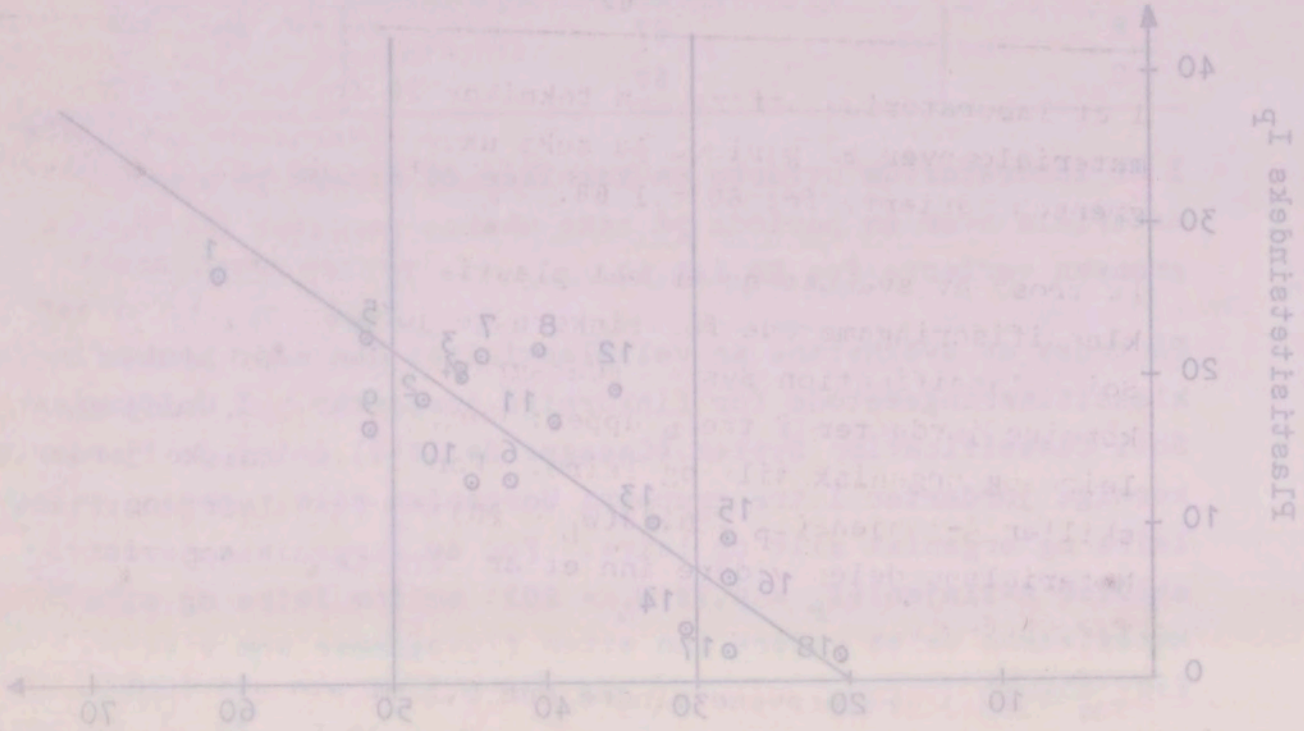
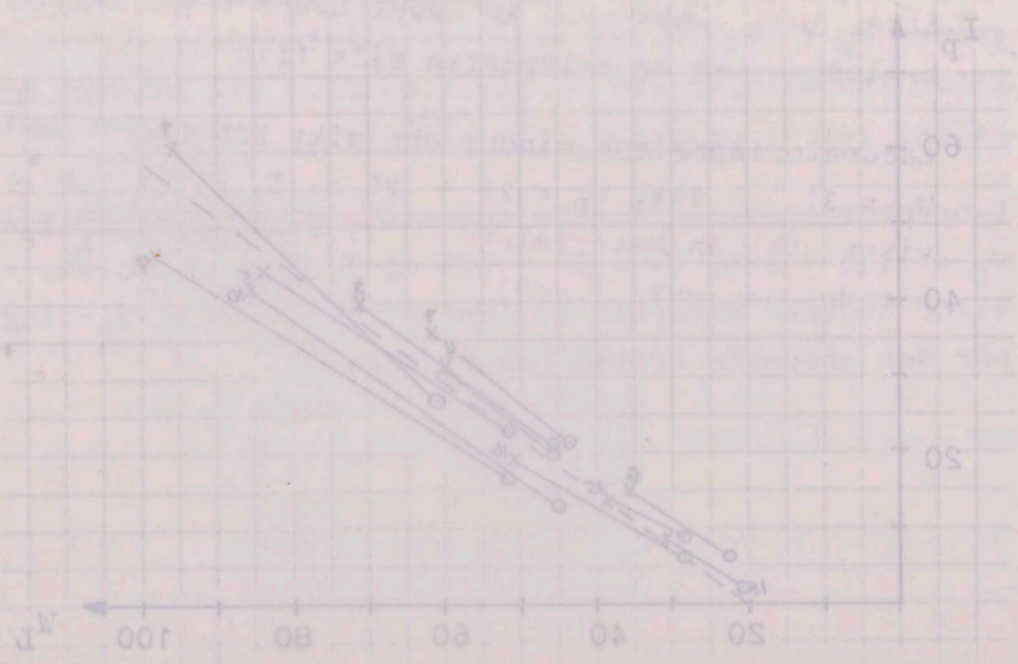


Fig. 6.8.

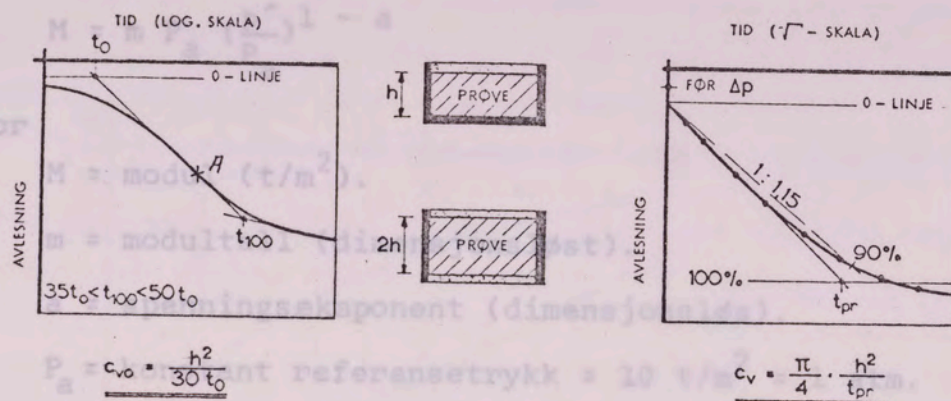


6.3. Deformasjonsegenskaper.

Tolking og definisjoner.

Det er kjørt fullstendige ødometerforsøk som beskrevet i avsnitt 4.2 for 7 omrørte prøver (nr. 1, 3, 6, 8, 9, 16 og 17). Dette skulle være et representativt utvalg av de undersøkte materialene.

For hvert lasttrinn er konsolideringskoeffisienten, C_v , bestemt ved kvadratrot- og logaritmisk tilpasning som vist på fig. 6.9.



Bestemmelse av C_v ved logaritme- og kvadratrottilpasning.

Det er de dimensjonsløse parametrene a og b som beskriver deformasjonen. Fig. 6.9. (Etter Janbu 1970) med p' for ulike verdier av a . $EE(a = 1)$ står for ekvivalent elastisk og $PL(a = 0)$ for ekvivalent plastisk.

Deformasjonene som funksjon av tid og spenning er tolket etter Janbu's motstandsbegreper (Janbu 1967, 1970). De bygger på prinsippet om at ethvert medium har en viss motstand mot påtvungne endringer av en eksisterende likevekts-tilstand. Denne motstand kan bestemmes ved å måle virkningen av en kjent påtvungen årsak, idet

$$\text{Motstand} = \frac{\text{Årsaksendring}}{\text{Virkningsendring}}$$

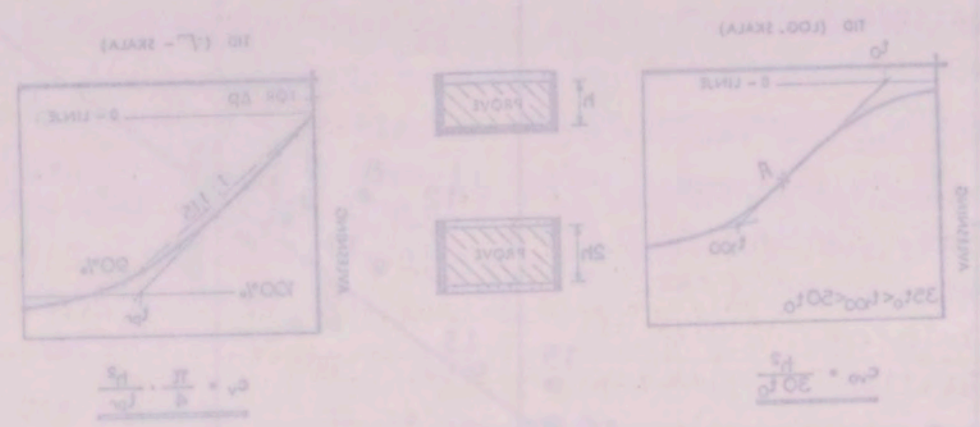
Tidsmotstanden $R = \frac{dt}{d\varepsilon}$ bestemmes for hvert lasttrinn.

6.3. Deformasjonsendringer.

Tolkning og definisjoner.

Det er kjørt fullstendige ødemeterforsøk som beskrevet i avsnitt 4.2 for 7 omrørte prøver (nr. 1, 2, 6, 8, 9, 16 og 17). Dette skulle være et representativt utvalg av de undersøkte materialene.

For hvert fasttinn er konsolideringskoeffisienten, C_v , bestemt ved kvadratt- og logaritmsk tilpassning som vist på fig. 6.9.



Bestemmelse av C_v ved logaritmsk- og kvadratttilpassning.

Fig. 6.9. (Etter Janbu 1970)

Deformasjonene som funksjon av tid og spenning er tolket etter Janbu's motstandsbegreper (Janbu 1967, 1970). De bygger på prinsippet om at ethvert medium har en viss motstand mot påtvungne endringer av en eksisterende likevekts-tilstand. Denne motstand kan bestemmes ved å måle virkningen av en kjent påtvungen årsak, idet

$$\text{Motstand} = \frac{\text{Årsaksendring}}{\text{Virkningsendring}}$$

$$\text{Tidsmotstanden } R = \frac{dt}{dc} \text{ bestemmes for hvert fasttinn.}$$

Når primærsetningene er avsluttet, blir forløpet omtrent lineært med tiden $R = r(t - t_r)$ som vist i fig. 6.10. r kalles tidsmotstandstallet. Deformasjonen blir da

$$\epsilon = \frac{1}{r} \ln \frac{t - t_r}{t_p - t_r} \quad \text{som spesielt for } t_r = 0 \text{ blir meget enkel.}$$

Basert på deformasjonen ved slutten av hvert lasttrinn tegnes ϵ - σ' -kurven opp, og spenningsmotstanden, $M = \frac{d\sigma'}{d\epsilon}$, er tangenten til denne kurven (tangentmodul). Matematisk kan modulen uttrykkes som

$$M = m P_a \left(\frac{p'}{P_a} \right)^{1-a}$$

hvor

$$M = \text{modul (t/m}^2\text{)}.$$

$$m = \text{modultall (dimensjonsløst)}.$$

$$a = \text{spenningsekspONENT (dimensjonsløs)}.$$

$$P_a = \text{konstant referansetrykk} = 10 \text{ t/m}^2 = 1 \text{ atm.}$$

$$p = \text{variabelt trykk (t/m}^2\text{)}.$$

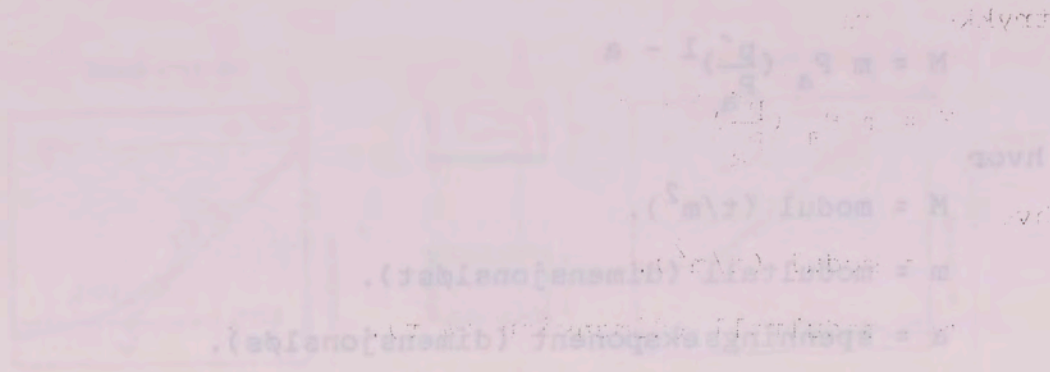
Det er de dimensjonsløse tallene m og a som beskriver deformasjonen. Fig. 6.11 viser hvordan m varierer med p' for ulike verdier av a . $EE(a = 1)$ står for ekvivalent elastisk og $PL(a = 0)$ for ekvivalent plastisk.

Nøyaktige kurver for C_v og r som funksjon av spenning både i konsolidering og svelling er samlet i bilag. Her er bare tatt med eksempler for å belyse prinsippene.

Når prøveretningen er avsluttet, blir forløpet omtrent
linært med tiden $\epsilon = \sigma(t) / E$ som viser til-
kallede tidsmomentet. Deformasjonen blir da

$$\epsilon = \frac{1}{E} \int_0^t \dot{\sigma} dt \quad \text{som spesielt for } t = 0 \text{ blir meget enkel.}$$

Basert på deformasjonen ved slutten av hvert lasttrinng
last-kurven opp og spenningsretningen, og de to
last-observasjoner (tangensmodul, duktilitet) som
til disse observasjonene er relaterte.



$E =$ konstant referansestivhet $= 10^4 \text{ t/m}^2 = 1 \text{ atm}$
 $E =$ variabelt referansestivhet $= 10^4 \text{ t/m}^2 = 1 \text{ atm}$

Det er de dimensjonløse tallene n og a som beskriver de-
formasjonen. De dimensjonløse tallene n og a som beskriver de-
formasjonen, er i tillegg relaterte til de dimensjonløse
tallene n og a som beskriver de-
formasjonen.

Høyeste kurver for C_1 og C_2 som funksjon av spennings-
momentet. Høyeste kurver for C_1 og C_2 som funksjon av spennings-
momentet. Høyeste kurver for C_1 og C_2 som funksjon av spennings-
momentet.

kurven (f.eks. ved punkt A i fig. 6.9). Siden rottilpasning vel idag regnes for å være best, er tallverdiene som refereres i det følgende vesentlig bestemt etter denne metode.

For materiale nr. 1 ligger konsolideringskoeffisienten lavt, $C_v \approx 0,01 \text{ cm}^2/\text{min}$. For materialene 1, 3 og 6 er $C_v = 0,05 - 0,2$, 9 og 16 har $C_v = 0,05 - 0,2$ og for materiale 17 ligger C_v så høyt at den ikke lar seg bestemme nøyaktig.

Tidsmotstandstallet r_p som funksjon av spenning er vist i fig. 6.13. En ser at tidsmotstandstallet synker med økende spenninger. Et unntak er materiale nr. 8, men der tok primærsetningen så lang tid at den ikke er vist.

Fig. 6.10. (Etter Janbu 1970)

Fig. 6.14 viser det normale forløp av r_p for en uomrørt leirprøve. Det ligger høyt til opp mot prekonsolideringstrykket. Der faller det kraftig i seg selv etter en svak stigning.

At tidsmotstandstallet for undersøkte omrørte leirsonematerialer skulle synke med økende lastning, var overraskende. En lysse først på en det skyldtes at i prøvetilberedningsprosedyren, det foreslått ble utført med dobling av lasttrinnene. Forsøkene ble utført med dobling av lasttrinnene. Forsøkene ble utført med dobling av lasttrinnene. Nyere forsøk (Janbu 1973 og Senneset 1973) viser imidlertid at like eller doblede lasttrinn har en innvirkning på resultatene.

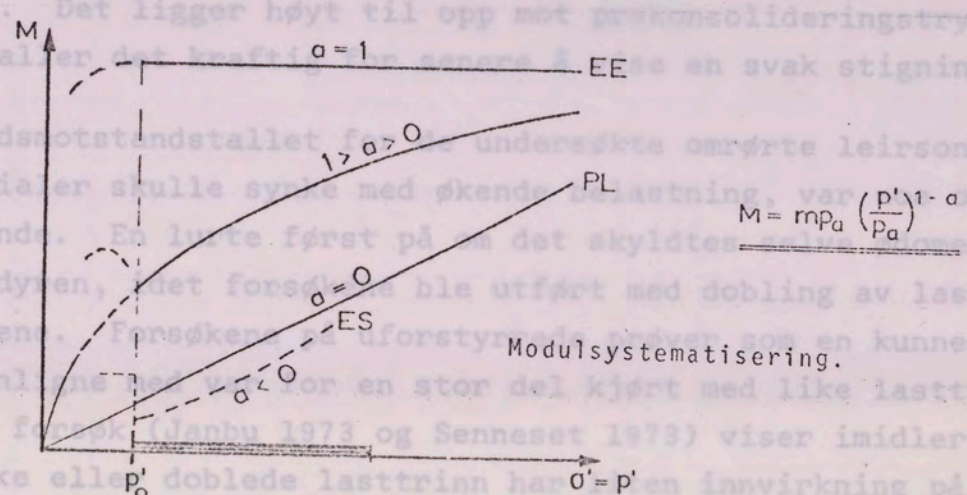


Fig. 6.11. Etter Janbu 1970)

Forklaringen kan da muligens ligge i materialenes dannelseshistorie. Leirsonematerialene har høy prekonsolideringsgrad (opptil flere hundre t/m^2 eller mer). Laboratorieprøvene

Forsøksresultatene for konsolidering stemmer bra overens med erfaringer fra kvartære jordarter. Fig. 6.12 viser hvordan konsolideringskoeffisienten varierer med spenning for materiale nr. 1. En ser at det ble ganske stor forskjell på rottilpasning og logtilpasning. Rottilpasningen gir de høyeste C_v -verdiene (primærsetningen tar kortere tid). Det vil si at primærsetningen i virkeligheten avsluttes på den midtre lineære del av ϵ -logt-røring, gir seg også til kjenne ved at flytegrensen kan ligge høyere for lufttørkede prøver enn for omrørte (f.eks. Lunde 1965 og Bjerrum 1968).

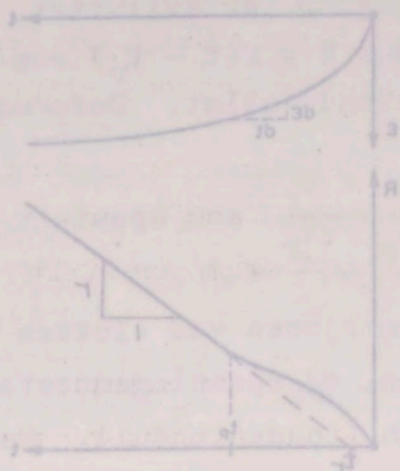


Fig. 6.10. (Efter Janda 1970)

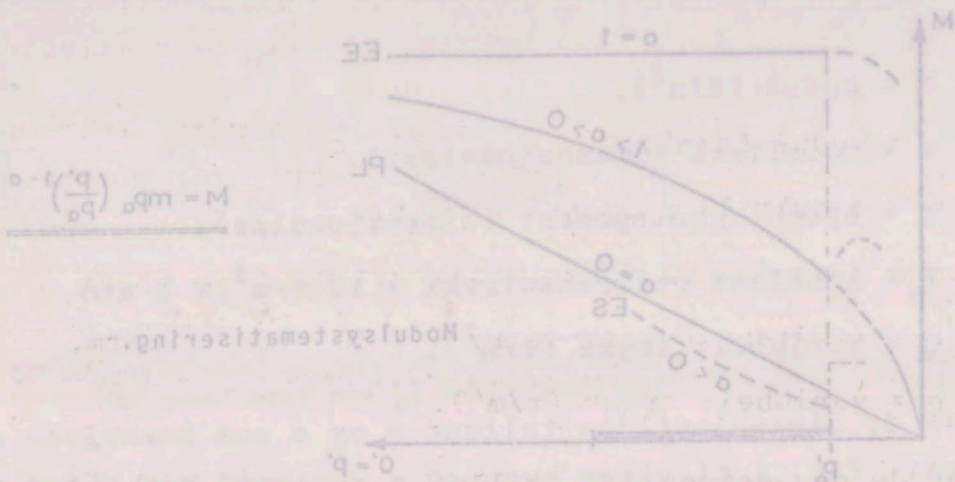


Fig. 6.11. (Efter Janda 1970)

Konsolidering.

Forsøksresultaterne for konsolidering stemmer bra overens med erfaringer fra kvartene jordarter. Fig. 6.12 viser hvordan konsolideringskoeffisienten varierer med spenning for materiale nr. 1. En ser at det ble ganske stor forskjell på rotlløsning og lodtlløsning. Rotlløsningen gir de høyeste C_v -verdiene (primærsetningen tar kortere tid). Det vil si at primærsetningen i virkeligheten avsluttes på den midtre lineære del av e -log-

kurven (f.eks. ved punkt A i fig. 6.9). Siden rottilpasning vel idag regnes for å være best, er tallverdiene som refereres i det følgende vesentlig bestemt etter denne metode.

For materiale nr. 8 ligger konsolideringskoeffisienten lavt, $C_v \approx 0,01 \text{ cm}^2/\text{min}$. For materialene 1, 3 og 6 er $C_v = 0,05 - 0,2$, 9 og 16 har $C_v = 0,05 - 0,7$ og for materiale 17 ligger C_v så høyt at den ikke lar seg bestemme nøyaktig.

Tidsmotstandstallet r_k som funksjon av spenning er vist i fig. 6.13. En ser at tidsmotstandstallet synker med økende spenninger. Et unntak er materiale nr. 8, men der tok primærsetningen så lang tid at bestemmelsen av r ble meget usikker. Fig. 6.14 viser det normale forløp av r_k for en uomrørt leirprøve. Det ligger høyt til opp mot prekonsolideringstrykket. Der faller det kraftig for senere å vise en svak stigning.

At tidsmotstandstallet for de undersøkte omrørte leirsone-materialer skulle synke med økende belastning, var noe overraskende. En lurte først på om det skyldtes selve ødometerprosedyren, idet forsøkene ble utført med dobling av lasttrinnene. Forsøkene på uforstyrrede prøver som en kunne sammenligne med var for en stor del kjørt med like lasttrinn. Nyere forsøk (Janbu 1973 og Senneset 1973) viser imidlertid at like eller doblede lasttrinn har liten innvirkning på resultatene.

Forklaringen kan da muligens ligge i materialenes dannelseshistorie. Leirsonematerialene har høy prekonsolideringsgrad (til dels flere hundre t/m^2 eller mer). Laboratorieprøvene er fremstilt ved våtsikting, fjerning av fraksjon større enn 0,5 mm og mekanisk omrøring for å homogenisere prøven. Deler av laboratorieprøven har muligens, på tross av denne behandling, beholdt sin opprinnelige struktur og bryter bare gradvis sammen ved økende belastninger. Dette skulle iallfall gi en variasjon av r_k med spenningen som stemmer med forsøksresultatene. At strukturen i en prøve ikke brytes helt ned ved mekanisk omrøring, gir seg også til kjenne ved at flytegrensen kan ligge høyere for lufttørkede prøver enn for omrørte (f.eks. Lambe 1965 og Bjerrum 1966).

... sidan fortjappning
... sidan fortjappning
... sidan fortjappning
... sidan fortjappning

... sidan fortjappning
... sidan fortjappning
... sidan fortjappning
... sidan fortjappning

... sidan fortjappning
... sidan fortjappning
... sidan fortjappning
... sidan fortjappning

... sidan fortjappning
... sidan fortjappning
... sidan fortjappning
... sidan fortjappning

... sidan fortjappning
... sidan fortjappning
... sidan fortjappning
... sidan fortjappning

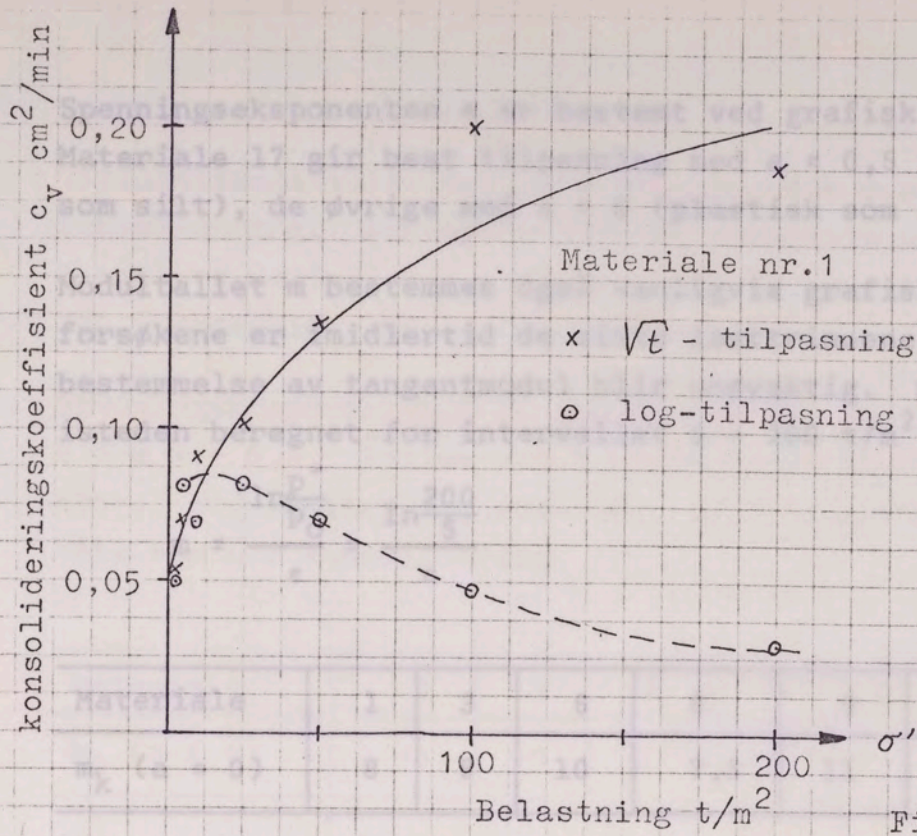
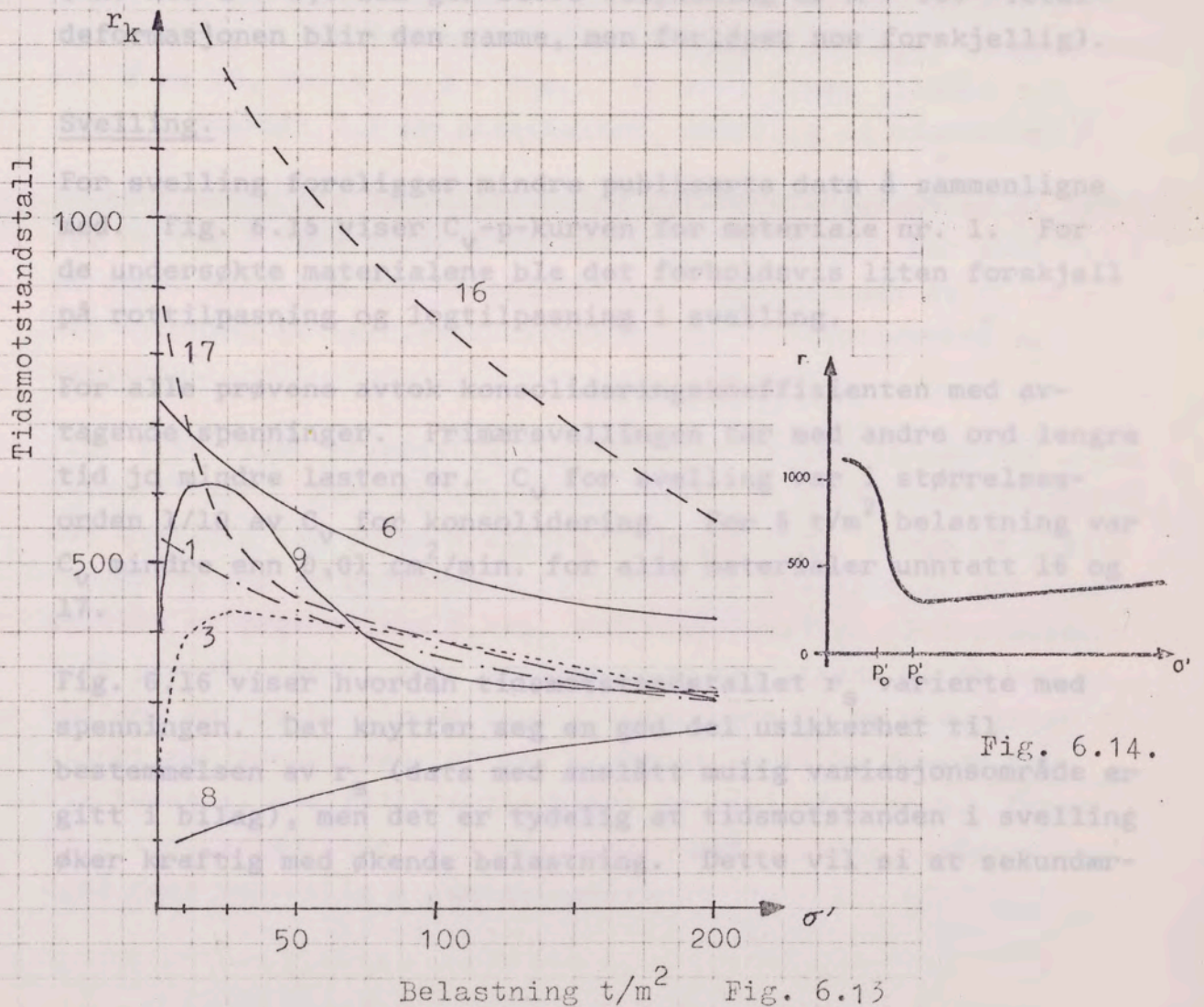


Fig. 6.12.



Materiale nr. 1
x \sqrt{v} - tilpasning
o log-tilpasning

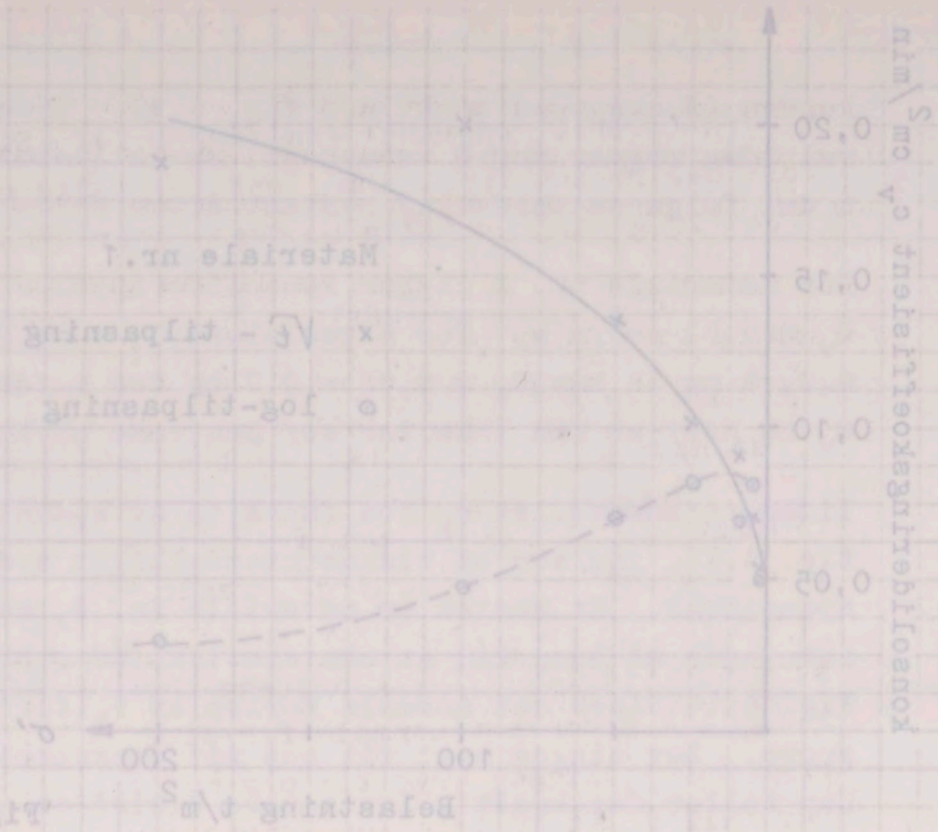


Fig. 6.12.

Udledningsformler

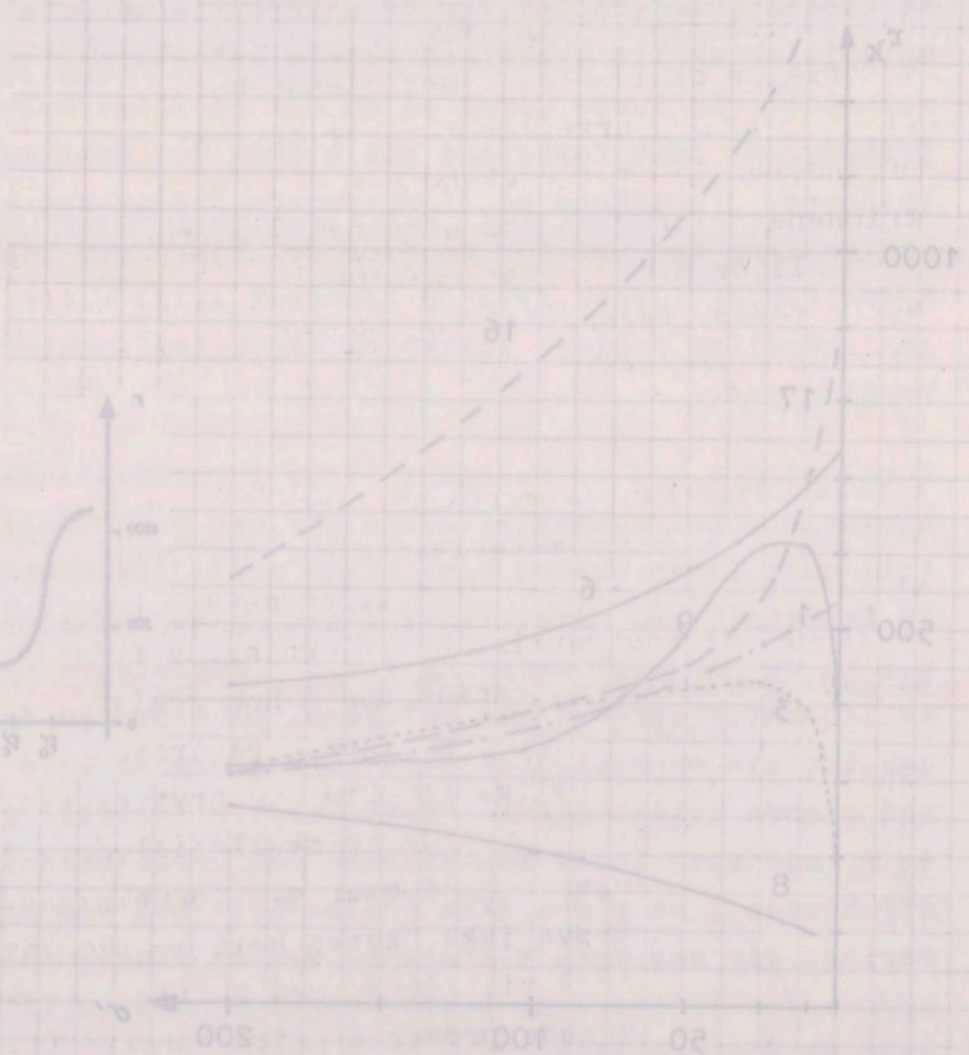


Fig. 6.13

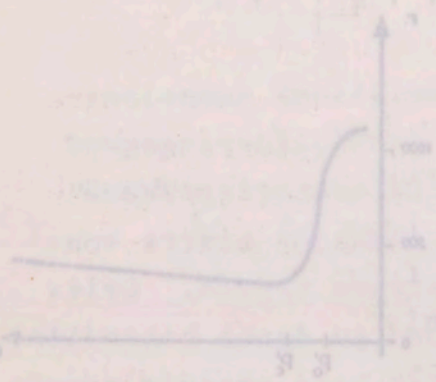


Fig. 6.14.

SpenningssekspONENTEN a er bestemt ved grafisk opptegning. Materiale 17 gir best tilpasning med $a = 0,5$ (elasto-plastisk som silt), de øvrige med $a = 0$ (plastisk som leire).

Modultallet m bestemmes også vanligvis grafisk. I disse forsøkene er imidlertid de siste lasttrinnene så store at bestemmelse av tangentmodul blir unøyaktig. m er derfor isteden beregnet for intervallet $5 - 200 \text{ t/m}^2$. Med $a = 0$ blir

$$m = \frac{\ln \frac{P}{P_0}}{\epsilon} = \frac{\ln \frac{200}{5}}{\epsilon}$$

Materiale	1	3	6	8	9	16	17
m_k ($a = 0$)	8	8	10	7,5	11	12	13,5 ^{x)}

(x) Med $a = 0,5$ som gir bedre tilpasning er $m = 28$. Totaldeformasjonen blir den samme, men forløpet noe forskjellig).

Svelling.

For svelling foreligger mindre publiserte data å sammenligne med. Fig. 6.15 viser C_v -p-kurven for materiale nr. 1. For de undersøkte materialene ble det forholdsvis liten forskjell på rotilpasning og logtilpasning i svelling.

For alle prøvene avtok konsolideringskoeffisienten med avtagende spenninger. Primærsvellingen tar med andre ord lengre tid jo mindre lasten er. C_v for svelling var i størrelsesorden $1/10$ av C_v for konsolidering. For 5 t/m^2 belastning var C_v mindre enn $0,01 \text{ cm}^2/\text{min}$. for alle materialer unntatt 16 og 17.

Fig. 6.16 viser hvordan tidsmotstandstallet r_s varierte med spenningen. Det knytter seg en god del usikkerhet til bestemmelsen av r_s (data med anslått mulig variasjonsområde er gitt i bilag), men det er tydelig at tidsmotstanden i svelling øker kraftig med økende belastning. Dette vil si at sekundær-

svellingen, $\epsilon = \frac{1}{r_s} \ln \frac{t}{t_p}$ avtar sterkt for økende mottrykk. Tidsmotstandstallet varierte sterkere for svelling enn for konsolidering. Eksempelvis hadde materiale nr. 3 fra 50 til 5 t/m^2 en variasjon i r på ca. 4000 for svelling mot under 200 i konsolidering.

Spenningskomponenten a lå noe lavere enn for konsolidering, $0 > a > -0,5$. Feilen ved å sette $a = 0$ ble imidlertid ikke stor. Modultallet for svelling, m_s , ble bestemt på samme måte som for konsolidering.

Materiale	1	3	6	8	9	16	17
m_s ($a = 0$)	44	40	55	25	70	46	77

Fig. 6.17 viser sammenhengen mellom modultall for konsolidering og svelling. For fem materialer er $m_s = 5 - 7 m_k$. De to siste, nr. 8 og 16, har $m_s = 3 - 4 m_k$. En skal komme tilbake til dette i avsnitt 7.5 om plastisitet, svelling og mineralogi.

En konklusjon fra de fullstendige ødometerforsøkene er at det ser ut til å være mulig å bestemme C_v , m , a og r for svelling på samme måte som for konsolidering. Variasjonen av C_v og r med spenning er imidlertid forskjellig i konsolidering og svelling.

Fig. 6.18 viser skjematisk tidsforløpet av svellingen for ulike belastninger. Sekundærsvellingen øker med avtagende belastning, men samtidig tar primærsvellingen lengre tid. Mange av svelleforsøkene som er referert i litteraturen består i at det fremstilles et prøvestykke f.eks. ved komprimering. Det plasseres i en prøvesylinder, vann tilsettes og svellingen måles ved et bestemt mottrykk, gjerne lavt. Siden både C_v og r varierer sterkt med spenningen, er det klart at et slikt forsøk ikke vil kunne gi noe fullstendig bilde av svelleforløpet. Forsøk hvor tid, belastning og andre forsøksbetingelser varierer kan også være vanskelig å sammenligne.

svellingen $\epsilon = \frac{1}{E} \ln \frac{L}{L_0}$ svarer stærkt for blønde motorcykl.
 Tidsmaterialellet varierer stærkere for svelling enn for
 konsolidering. Eksperimentelt hadde materialet nr. 3 fra 20 til
 5 t/m en variasjon $\pm r$ på ca. 2000 for svelling mot under
 100 i konsolidering.

Spenningskomponenten σ i noe lavere enn for konsolidering,
 $\sigma > \sigma_0 - \sigma_1$ Feilen ved å sette $\sigma = 0$ blir imidlertid ikke
 stor. Modultallet for svelling, m , blir bestemt på samme
 måte som for konsolidering.

Materialnr.	1	2	3	4	5	6	7
m (10)	44	40	55	55	70	70	77

Fig. 6.17 viser sammenhengen mellom modultall for konsolidering
 og svelling for fem materialer nr. 1 - 5. De to siste
 nr. 6 og 7, har $m = 3 - 4$. En skal kunne tilpasse til
 dette i avsnitt 7.5 om plastisitet, svelling og mineralogi.

En konklusjon fra de tidligere bidragsforskningene er at det
 ser ut til å være mulig å bestemme C , m , σ og r for svelling
 på samme måte som for konsolidering. Variasjonen av C og r
 med spennning er imidlertid forskjellig i konsolidering og
 svelling.

Fig. 6.18 viser skematisk tidsforløp av svellingen for ulike
 belastninger. Sekundærsvellingen øker med avtagende belastning
 men samtidig tar primærsvellingen lengre tid. Mange av svei-
 forsøkene som er referert i litteraturen består i at det frem-
 stilles et prøvestykke f.eks. ved komprimering. Det plasseres
 i en prøvesylinder vann tilsettes og svellingen måles ved et
 bestemt mottrykk. Gjennom lavt. Siden både C og r varierer
 sterkt med spennningen, er det klart at et slikt forsøk ikke
 vil kunne gi noe fullstendig bilde av sveielseforløpet. Forsøk
 over tid, belastning og andre forsøksbetingelser vil derfor kan
 også være vanskelig å sammenligne.

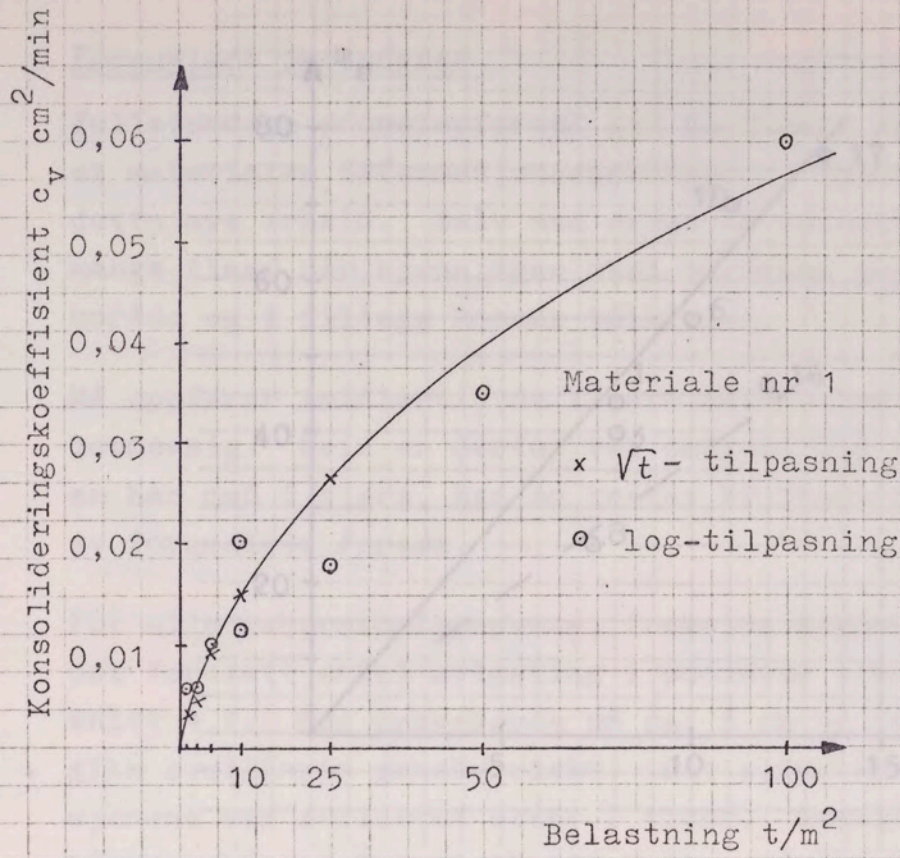


Fig. 6.15.

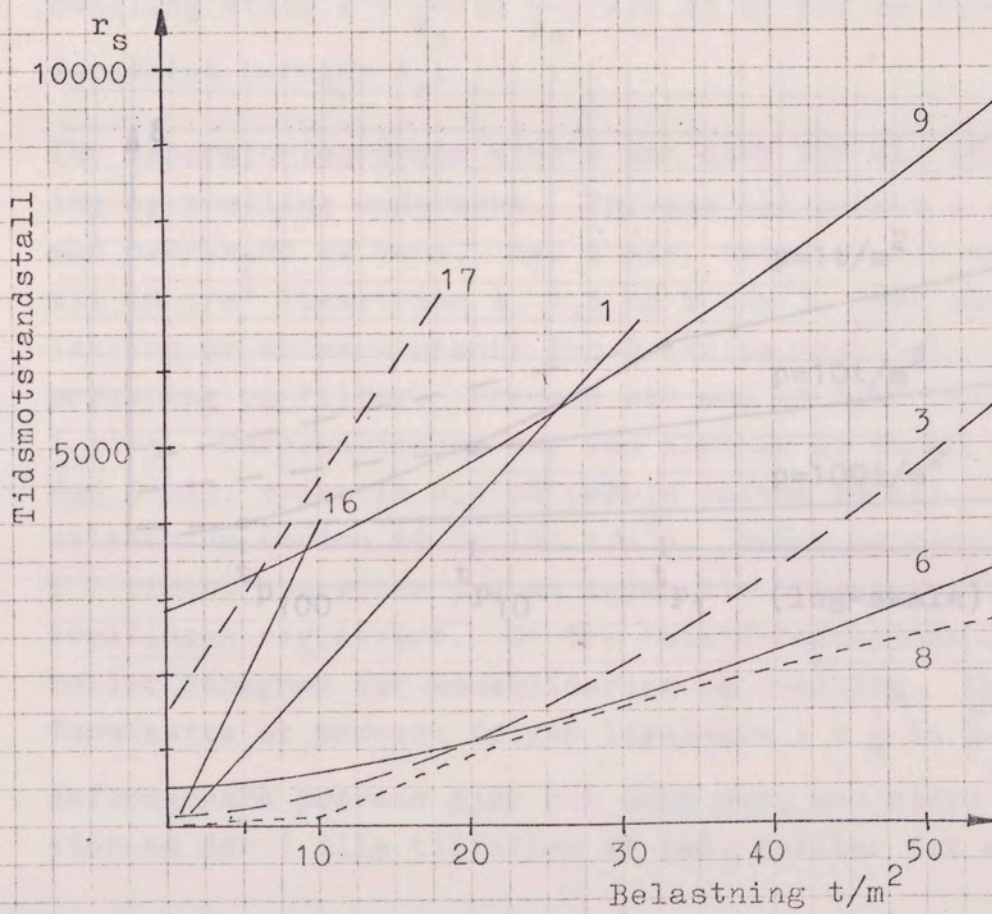


Fig. 6.16.

Fig. 6.15.

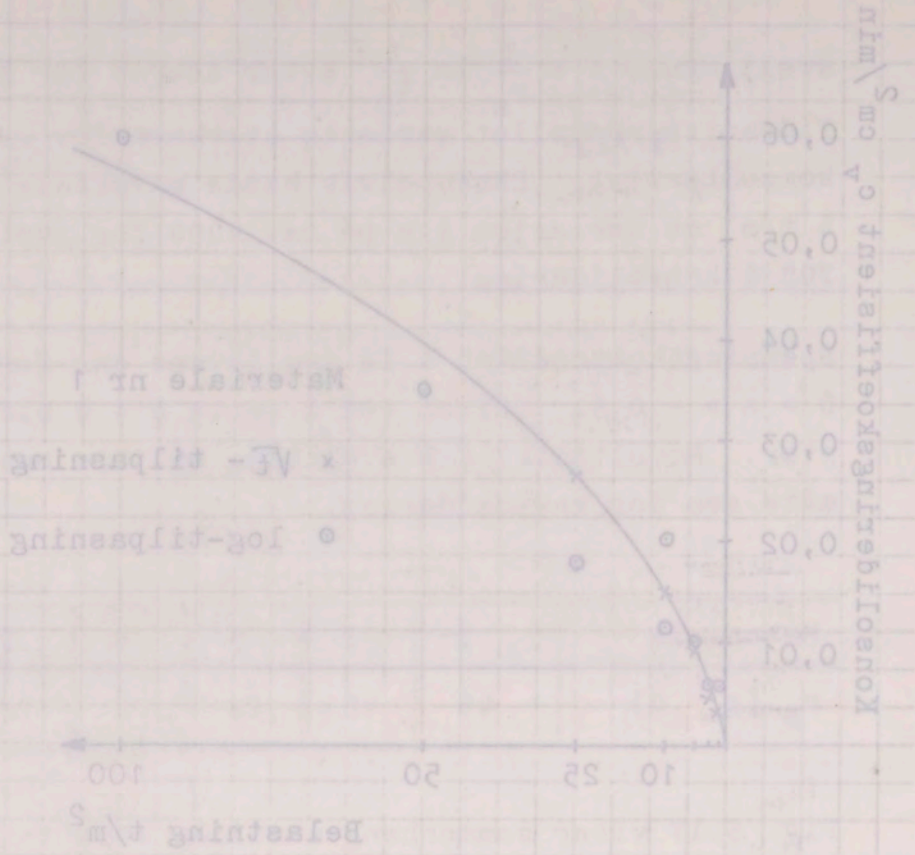
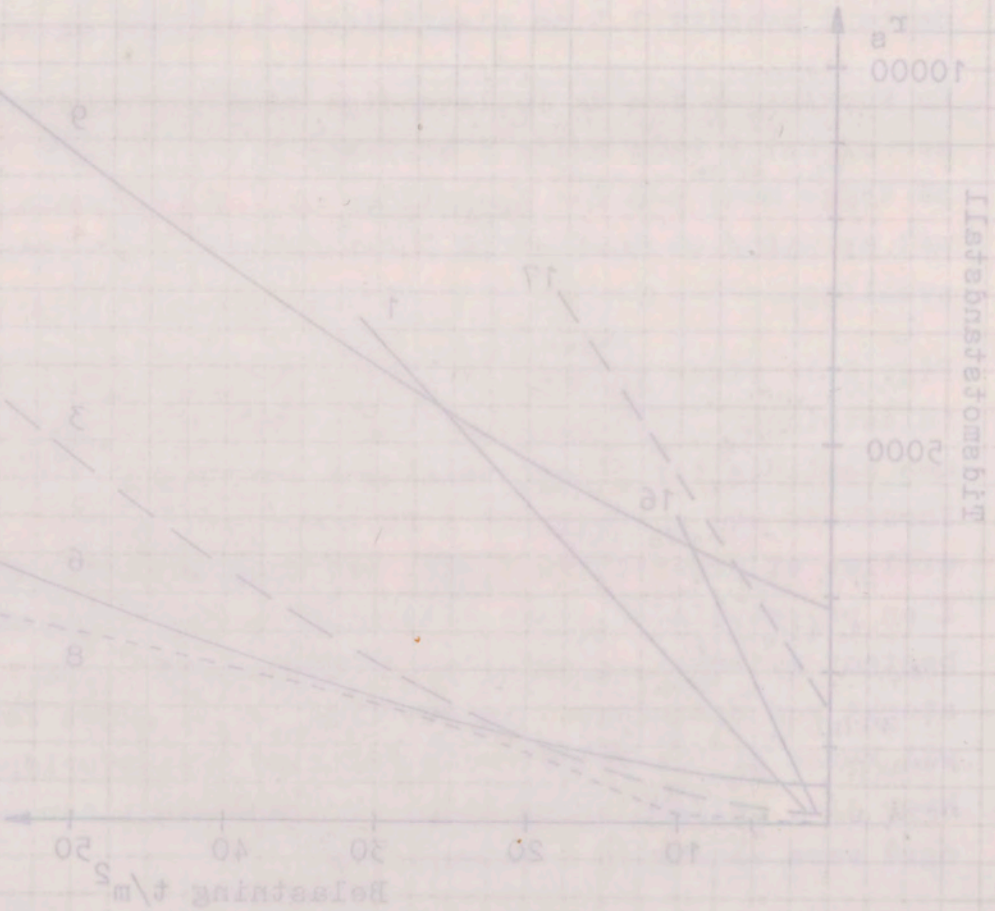


Fig. 6.16.



Forenklete P_s - m_k diagram.

Fullstendige konsolideringsforsøk gir de fleste oppløsninger av et materiales deformasjonsegenskaper. Tilsvarende krever dette mye arbeid. Selv med redusert triantid tar forsøket mange timer. I denne sammenheng skal vi se på et stort område og se på forenklete forsøk.

Nå oppfører midlertidig de fleste prøver seg, forholdsvis lovmessig, hvis en derfor kan finne ut hva slags materiale en har med å gjøre. Kan man finne bruksbare oppløsninger ut av forenklete forsøk?

For alle laboratorieprøvene mindre enn 200 mm, ble det foretatt enkel avlastning i sylinder for prøvet i avsnitt 4.2. Ved prøvetrykninger på 10 og 100 t/m² ble avlastning gitt i 2 timer, og ved prøvetrykninger på 1 t/m² ble avlastning gitt i 10 minutter. Avlastningsprosessen var avsluttet etter 10 minutter. Svellingstidene i timer varierte fra 21,54 til 4,76. Siden de undersøkte sleppe-

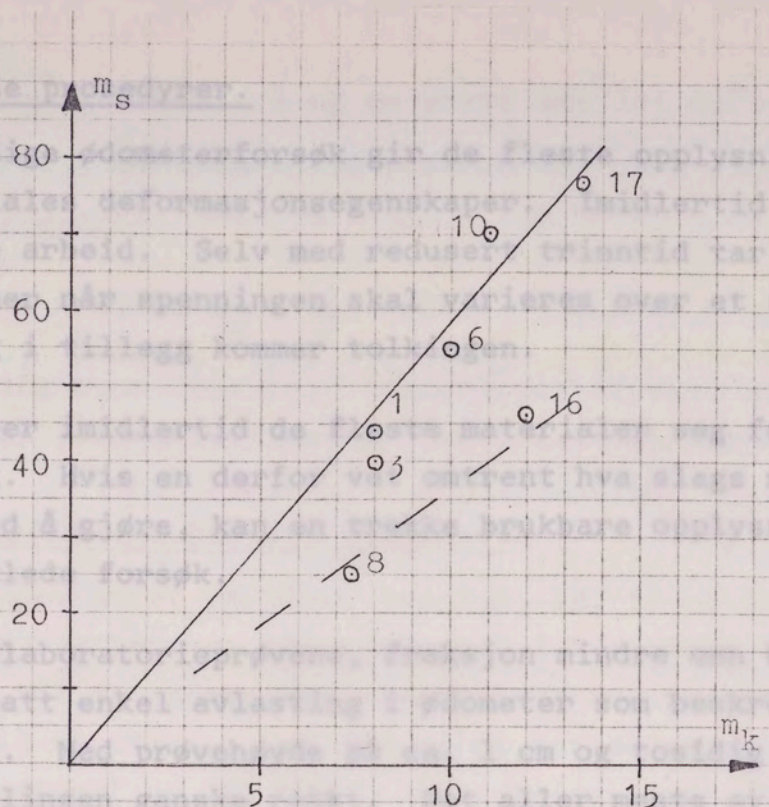


Fig. 6.17.

materialer ser ut til å oppføre seg forholdsvis lovmessig i svelling etter $\epsilon = \frac{1}{m_s} \ln \frac{p}{p_0}$, kan en ut fra de forenklete forsøkene beregne m_s .

For laboratorieprøvene mindre enn 200 mm ble både konsolidering og svelling undersøkt. Prøvene ble pakket i sylinder med overskudd av vann. Med 5 min. triantid ble prøvet opp til 10 t/m² (lasttrinns 1, 2, 5 og 5 t/m²). Den raskeste pålastning er en bare utsett for 10 min. Etter pålastning ut mellom prøvering og filter ble prøvet i 10 min. Etter pålastning i 1 time. Deformasjoner ble registrert ved slutten av t_{p100}, t_{p10} og t_{p1}. Med 1 min. triantid ble så prøven lastet opp til 100 t/m² i 2 timer, og etter 10 min. triantid ble prøvet lastet opp til 10 t/m² og svellingen registrert. Ut fra totaldeformasjonene ble konsolideringstallet beregnet for konsolidering og svelling. En må da forutsette at prøvene følger ligningen $\epsilon = \frac{1}{m_s} \ln \frac{p}{p_0}$. De minst deformerbare prøvene gjør nok ikke det, men siden deformasjonene der i alle tilfeller er små, spiller det mindre rolle.

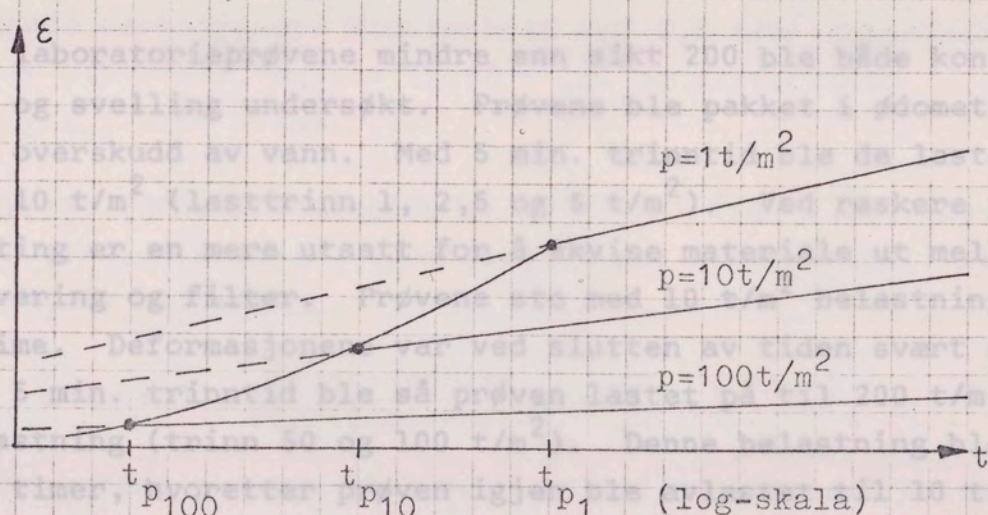


Fig. 6.18.

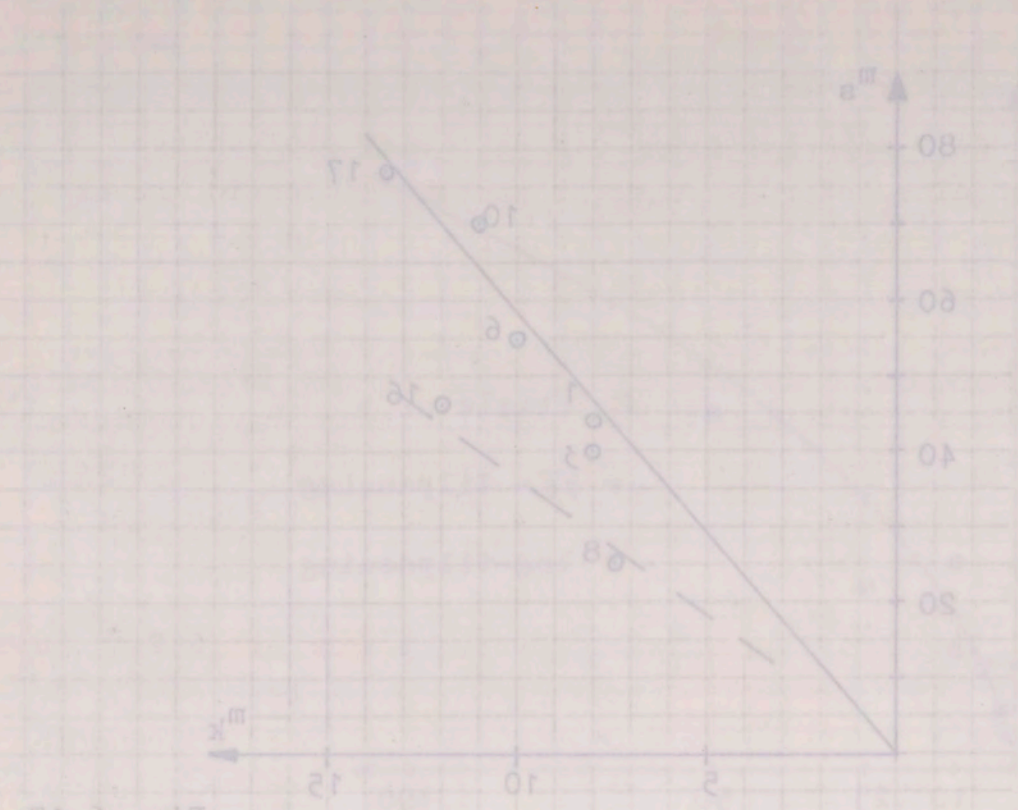


Fig. 6.17.

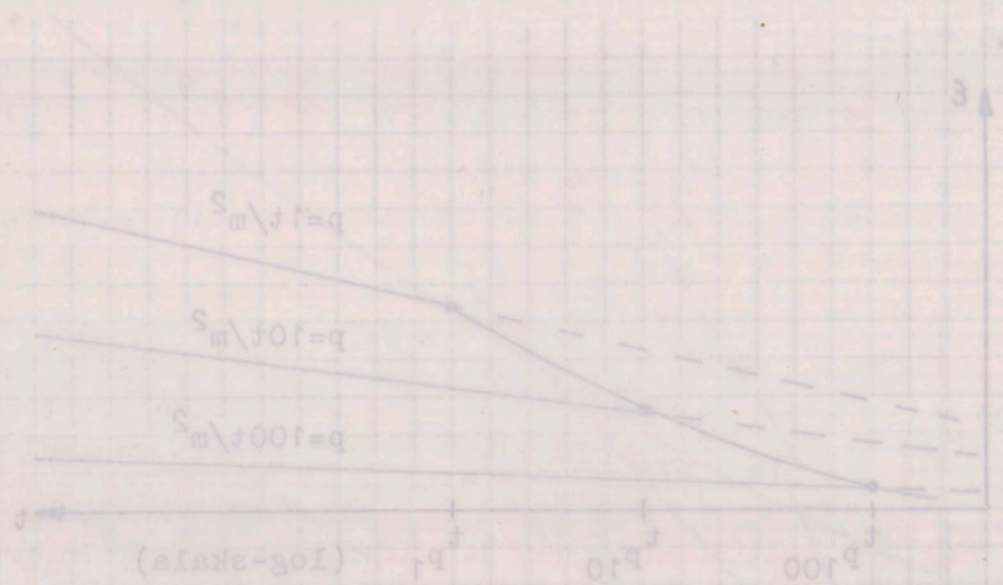


Fig. 6.18.

Forenklete prosedyrer.

Fullstendige ødometerforsøk gir de fleste opplysninger om et materiales deformasjonsegenskaper. Imidlertid krever dette mye arbeid. Selv med redusert trinntid tar forsøket mange timer når spenningen skal varieres over et stort område og i tillegg kommer tolkingen.

Nå oppfører imidlertid de fleste materialer seg forholdsvis lovmessig. Hvis en derfor vet omtrent hva slags materiale en har med å gjøre, kan en trekke brukbare opplysninger ut av forenklete forsøk.

For alle laboratorieprøvene, fraksjon mindre enn 0,5 mm, ble det foretatt enkel avlasting i ødometer som beskrevet i avsnitt 4.2. Med prøvehøyde på ca. 1 cm og tosidig drenering gikk svellingen ganske raskt. Det aller meste av deformasjonene var avsluttet etter 2 timer. Svellingen etter 3 timer varierte fra 21,6% til 4,7%. Siden de undersøkte sleppe-materialer ser ut til å oppføre seg forholdsvis lovmessig i svelling etter $\epsilon = \frac{1}{m_s} \ln \frac{P}{P_0}$, kan en ut fra de forenklete forsøkene beregne m_s .

For laboratorieprøvene mindre enn sikt 200 ble både konsolidering og svelling undersøkt. Prøvene ble pakket i ødometeret med overskudd av vann. Med 5 min. trinntid ble de lastet opp til 10 t/m^2 (lasttrinn 1, 2,5 og 5 t/m^2). Ved raskere pålasting er en mere utsatt for å skvise materiale ut mellom prøvering og filter. Prøvene sto med 10 t/m^2 belastning i 1 time. Deformasjonene var ved slutten av tiden svært små. Med 5 min. trinntid ble så prøven lastet på til 200 t/m^2 belastning (trinn 50 og 100 t/m^2). Denne belastning ble holdt i 2 timer, hvoretter prøven igjen ble avlastet til 10 t/m^2 og svellingen registrert. Ut fra totaldeformasjonene kan modul-tallet beregnes for konsolidering og svelling. En må da forutsette at prøvene følger ligningen $\epsilon = \frac{1}{m} \ln \frac{P'}{P_0}$. De minst deformerbare prøvene gjør nok ikke det, men siden deformasjonene der i alle tilfeller er små, spiller det mindre rolle.

Forarbejdet

Den vigtigste bestanddel af det samlede materiale er
den kvartzykliske, som er karakteristisk for de fleste
af de undersøgte prøver. Imidlertid kræver
det en meget stor mængde af det samlede materiale
for at kunne opnå et stort
resultat og i tilfælde kommer til udtryk.

De undersøgte prøver af de fleste materialer og forarbejdet
lovet. Hvis der er tale om et stort mængde af
en prøve, kan en række forskellige oplysninger
af forskellige prøver.

For alle laboratorieprøver, prøver mindst en 0,5 mm. Hvis
det forarbejdede materiale er svækket i forhold til
prøve 1.2. Med prøvetypen på 0,5 mm og en sådan behandling
gikk svejlingen ganske godt. Det vil sige, at de for-
søgene var afsluttet efter 2 timer. Svejlingen efter 2

timer varerne til 1,5 mm til 1,5 mm. I den af undersøgte slapper
materiale set til i oplysning og forarbejdet. I overensstemmelse
svejlning efter 2 timer i $\frac{1}{2}$ og $\frac{1}{4}$ kan man til den af undersøgte
forsøgene beregne m.

For laboratorieprøven mindst en 0,5 mm sådanne prøver
ing og svejling undersøgt. Prøvene blev gik i forhold til
en prøvetypen på 0,5 mm. I den af undersøgte slapper
til 1,5 mm (1,5 mm og 2 mm). Ved prøvetypen på
lasten er en prøve af 1,5 mm. Prøvene sto med 10 mm
prøvetypen på 1,5 mm. Prøvene sto med 10 mm
I den af undersøgte slapper var ved slutten af tiden en prøve af 0,5 mm.

Med en prøve af 1,5 mm så prøven laster på 10 mm
prøvetypen (10 mm og 10 mm). Denne prøvetypen på 10 mm
i 2 timer, prøven prøvetypen på 10 mm og
svejlning undersøgt. De første undersøgte prøver var af 0,5 mm
til den af undersøgte slapper og ved slutten af tiden en prøve af 0,5 mm.

Prøvetypen på 10 mm og 10 mm. Denne prøvetypen på 10 mm
i 2 timer, prøven prøvetypen på 10 mm og
svejlning undersøgt. De første undersøgte prøver var af 0,5 mm
til den af undersøgte slapper og ved slutten af tiden en prøve af 0,5 mm.

Nå er $\ln \frac{200}{10} = \ln 20 = 3$ og en prøve med 10% deformasjon får $m = \frac{3}{0,1} = 30$. De undersøkte prøvene har hatt følgende variasjonsområde:

$$m_K = 4 - 65 \text{ og } m_S = 20 - 250.$$

For svelling sier dessuten tidsforløpet (f.eks. uttrykt ved C_V og r) en del om hvilken type materiale en har med å gjøre.

6.4. Vanninnhold i pålastingssyklus.

Vanninnholdet etter 24 timer med 2,5, 10, 50 og 200 t/m² belastning ble bestemt som beskrevet i avsnitt 4.3. Primærsetningen til de undersøkte materialene tok fra sekunder til noe over 10 minutter. Det vil si at forholdet mellom total tid til forsøket og tid før primærsetningen er unnagjort ($\frac{t}{t_P}$) blir ca. 100 eller større. Store deler av sekundærsetningene vil altså avsluttes i løpet av forsøket. Materialenes evne til å holde på vann ved langtidspåkjenninger blir derfor avgjørende for resultatene.

For laboratorieprøvene mindre enn 0,5 mm ble det funnet følgende variasjoner: Vanninnhold ved 2,5 t/m² belastning, $W_{2,5} = 21\% - 57\%$, $W_{200} = 11,5\% - 28\%$ og differensen $W_{2,5} - 200 = 9\% - 30\%$.

En typisk vannutpressingskurve er vist i fig. 6.19. En ser at motstanden mot vannutpressing (i det følgende kalt K) øker med økende belastning.

$$\text{Motstand} = \frac{\text{Årsaksendring}}{\text{Virkningsendring}} = \frac{dP}{dW} = K$$

Med bare fire punkter på kurven er det vanskelig å bestemme et nøyaktig forløp, men K ser ut til å variere omtrent lineært med P som vist i fig. 6.20.

Nå er $\ln \frac{200}{10} = \ln 20 = 3$ og en prøve med 10% deformation får
 $n = \frac{3}{0.1} = 30$. De undersøkte prøvene har hatt følgende
 varietasjonsområde:

$$n_K = 1 - 0.8 \text{ og } n_{\frac{1}{2}} = 30 - 150.$$

For sveiling sier dessuten tidforløpet (f.eks. uttrykt ved
 C_v og τ) en del om hvilken type materiale en har med å gjøre.

6.4. Vanninnhold i påklistningskleb

Vanninnholdet etter 24 timer med 2,5, 10, 50 og 200 t/m²
 belastning ble bestemt som beskrevet i avsnitt 6.3. Prøve-
 serien til de undersøkte materialene tok fra sekundet til
 noe over 10 minutter. Det vil si at forholdet mellom total
 tid til forsøket og tid for primærsetningen er uansgjort $(\frac{t}{t_p})$
 blir ca. 100 eller større. Store deler av sekundær-
 ningene vil altså avsluttes i løpet av forsøket. Materialenes
 evne til å holde på vann ved langtidspåkjenninger blir derfor
 avgjørende for resultatene.

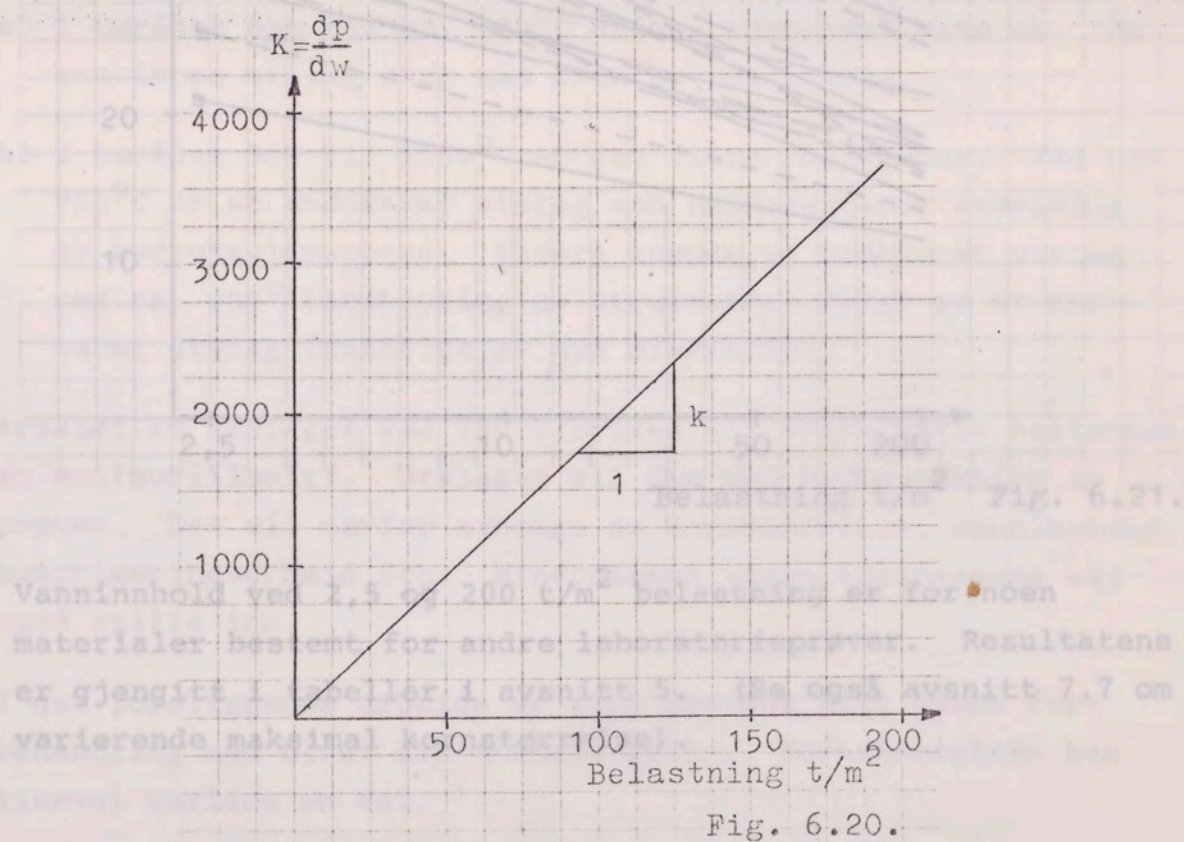
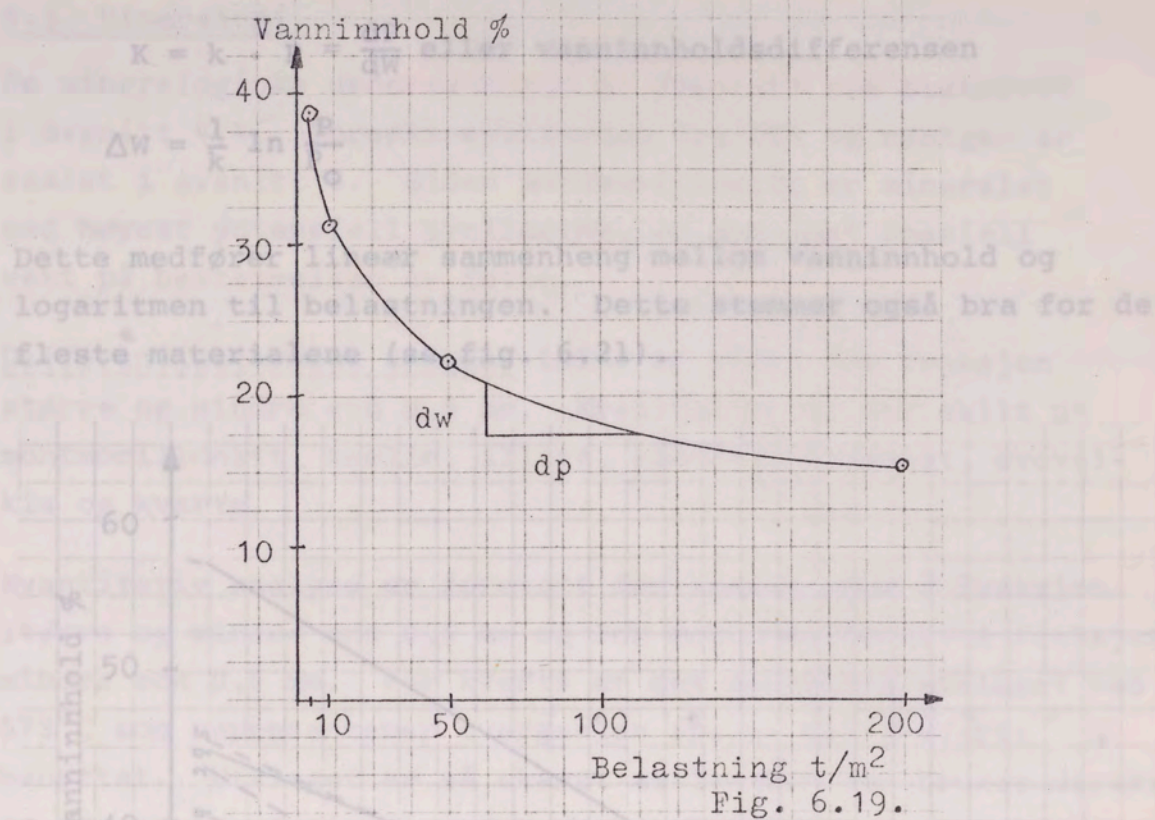
For laboratorieprøvene mindre enn 0,5 mm ble det funnet
 følgende varietasjoner: Vanninnhold ved 2,5 t/m² belastning,
 $W_{2,5} = 21\% - 27\%$, $W_{200} = 11,5\% - 28\%$ og differansen
 $W_{2,5} - 200 = 2\% - 30\%$.

En typisk vannutpressingskurve er vist i fig. 6.19. En ser
 at motstanden mot vannutpressing (i det følgende kalt K) øker
 med økende belastning.

$$\text{Motstand} = \frac{\text{Årsaksendring}}{\text{Virkningsendring}} = \frac{dP}{dW} = K$$

Med bare fire punkter på kurven er det vanskelig å bestemme et
 høyaktig forløp, men K ser ut til å variere omtrent lineært
 med P som vist i fig. 6.20.

En får da:



Vanninnhold %

40

30

20

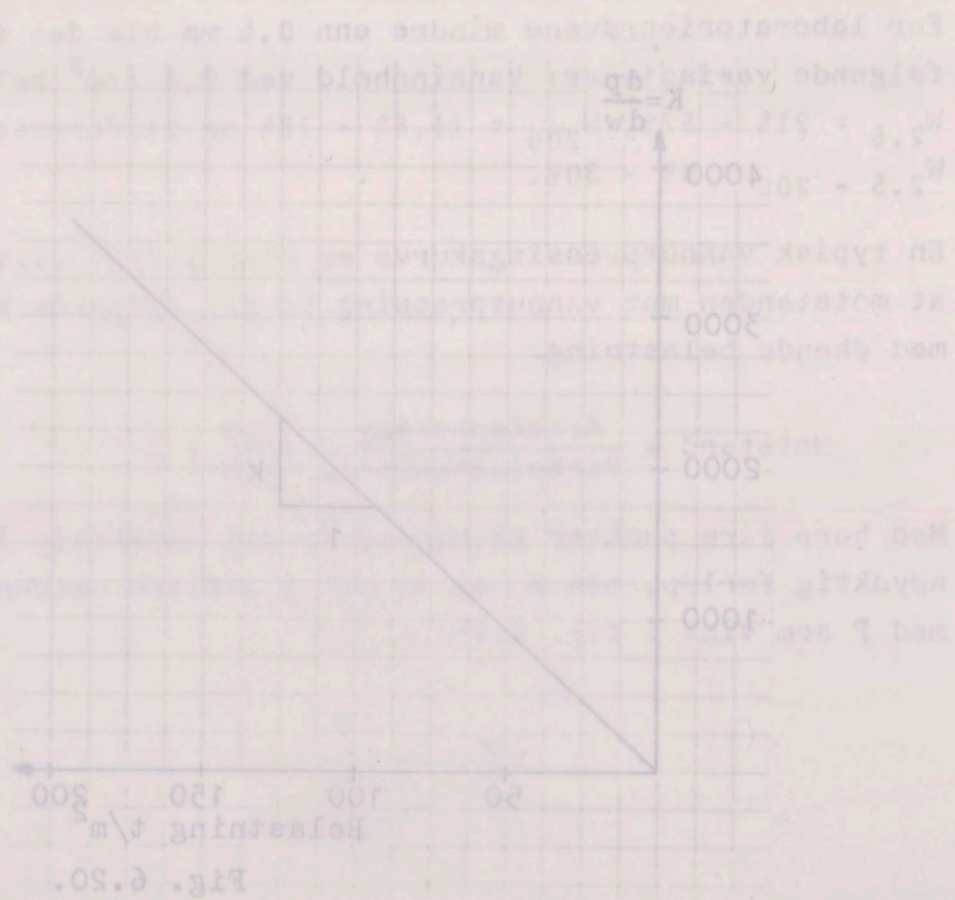
10

0

0 50 100 150 200 250

Belasting t/m²

Fig. 6.19.



En får da:

6.5. Mineralogi.

$$K = k \cdot P = \frac{dP}{dW} \text{ eller vanninnholdsdifferensen}$$

De mineralogiske undersøkelser er foretatt som beskrevet

i avsnitt 5. Siden montmorillonitt er mineralat

med høyest potensiell svullesvne, er det lagt spesiell

Dette medfører lineær sammenheng mellom vanninnhold og

logaritmen til belastningen. Dette stemmer også bra for de

flESTE materialene (se fig. 6.21).

større og mindre enn 0,5 mm. Kvalitativt er det skilt ut

montmorillonitt, kaolin, illitt, kloritt, karbonat, avovel-

Kvalitativ analyse er foretatt for kvartsett i fraksjon

større enn 0,5 mm. Kvalitativt er det skilt ut

mineraler som kaolin, illitt, kloritt, karbonat, avovel-

573 som presenterer overgangen fra a- til b-kvaris

berørte avdelinger av kvartsett i fraksjon

og

DTA-kurve for

(Mac)

a) I området 500 til 1000°C er det et endotermt utslag som

b) I området 100 til 500°C er det et endotermt utslag som

700°C er et endotermt utslag som

av drivning

av oksylogruppens. Videre kommer et endotermt utslag

ved ca. 200°C (melting av strukturen) og et akso-

term utslag (dannelse av nye mineraler).

Arealstørrelset ved 200°C brukes

av montmorillonitt. Utslaget vil

prøven. Det vil derfor avhenge av

komprimeringsgrad, etc. Min

og

lik

lik

lik

lik

lik

lik

lik

lik

lik

lik

lik

lik

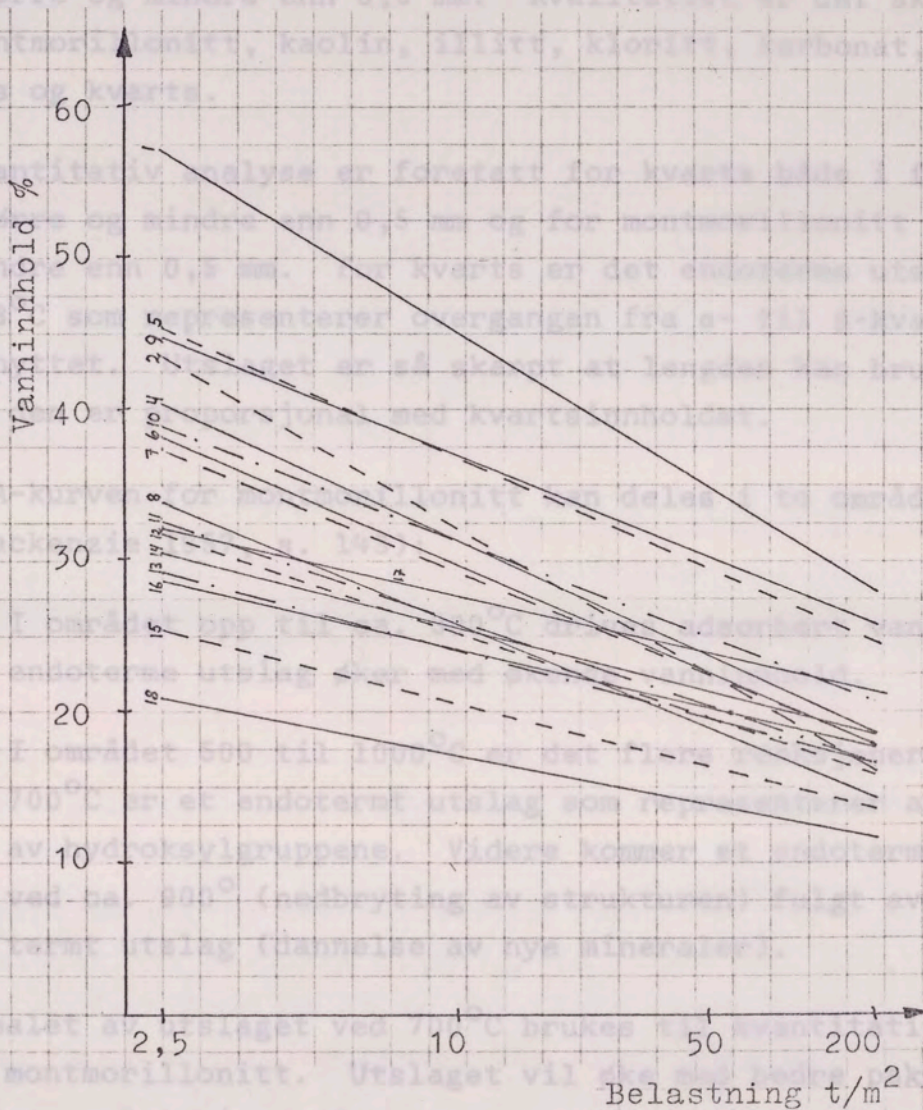


Fig. 6.21.

Vanninnhold ved 2,5 og 200 t/m² belastning er for noen materialer bestemt for andre laboratorieprøver. Resultatene er gjengitt i tabeller i avsnitt 5. (Se også avsnitt 7.7 om varierende maksimal kornstørrelse).

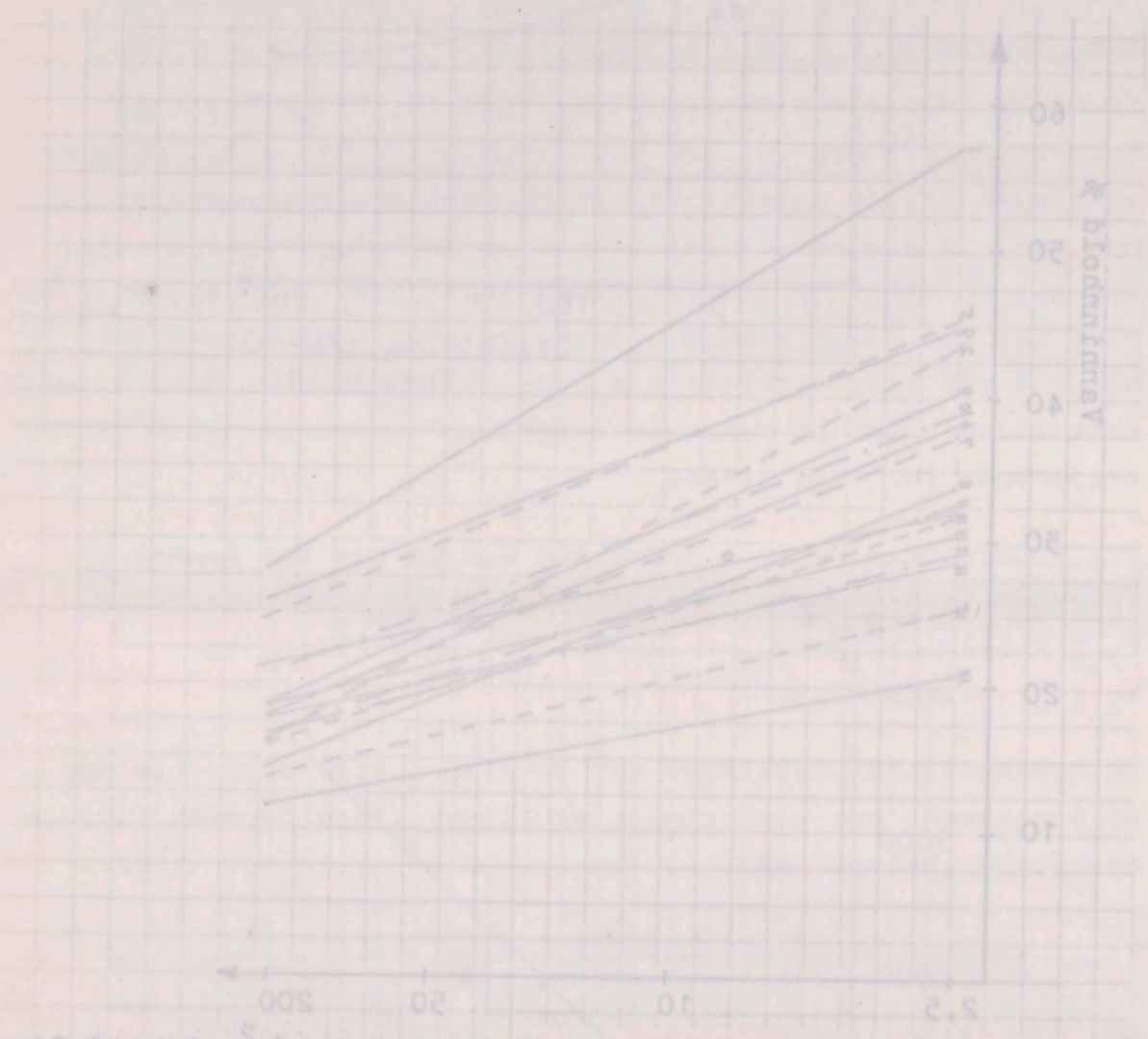
likevel variere en del.

En får da:

$$K = k \cdot p = \frac{dV}{dW} \text{ eller vanninnholdsdifferansen}$$

$$\Delta W = \frac{1}{K} \ln \frac{p}{p_0}$$

Dette medfører lineær sammenheng mellom vanninnhold og logaritmen til belastningen. Dette stemmer også bra for de fleste materialene (se fig. 6.21).



Belastning i kg/cm². Fig. 6.21.

Vanninnhold ved 2,5 og 200 kg/cm² belastning er for noen materialer bestemt for andre laboratorieprøver. Resultatene er gjengitt i tabellen i avsnitt 5. (Se også avsnitt 7.7 om varierende maksimal komprimering).

6.5. Mineralogi.

De mineralogiske undersøkelser er foretatt som beskrevet i avsnitt 4.4. Forsøksresultatene fra DTA og røntgen er samlet i avsnitt 5. Siden montmorillonitt er mineralet med høyest potensiell svelleevne, er det lagt spesiell vekt på bestemmelsen av dette.

Differentialtermisk analyse (DTA) er kjørt for fraksjon større og mindre enn 0,5 mm. Kvalitativt er det skilt ut montmorillonitt, kaolin, illitt, kloritt, karbonat, svovelkis og kvarts.

Kvantitativ analyse er foretatt for kvarts både i fraksjon større og mindre enn 0,5 mm og for montmorillonitt i fraksjon mindre enn 0,5 mm. For kvarts er det endoterme utslaget ved 573°C som representerer overgangen fra α - til β -kvarts benyttet. Utslaget er så skarpt at lengden kan brukes direkte, og den er proporsjonal med kvartsinholdet.

DTA-kurven for montmorillonitt kan deles i to områder (Mackenzie 1957, s. 143):

- a) I området opp til ca. 300°C drives adsorbent vann av. De endoterme utslag øker med økende vanninnhold.
- b) I området 500 til 1000°C er det flere reaksjoner. Ved ca. 700°C er et endotermt utslag som representerer avdriving av hydroksylgruppene. Videre kommer et endotermt utslag ved ca. 900° (nedbryting av strukturen) fulgt av et ekso-termt utslag (dannelse av nye mineraler).

Arealet av utslaget ved 700°C brukes til kvantitativ bestemmelse av montmorillonitt. Utslaget vil øke med bedre pakking av prøven. Det vil derfor avhenge av kornstørrelse, vanninnhold, komprimeringsarbeid etc. Mineralenes varmeledningsevne vil også spille inn.

I det foreliggende arbeide er alle prøvene gitt samme forbehandling med bl.a. lik nedmalings- og tørkingstid. Kornstørrelsen kan likevel variere en del.

Som referansemateriale ble valgt en prøve fra Folgefonn-anleggene, Bondhusoverføringen, pel 740 (nr. 5), fraksjon mindre enn 20 μm . Kjøring på røntgen viste bare spor av andre mineraler enn montmorillonitt. En må derfor kunne anta at prøven var temmelig ren.

Prøven ble gitt samme forbehandling som de øvrige materialene og kjørt i DTA blandet med kjente kvartsmengder. Resultatene er vist i fig. 6.22.

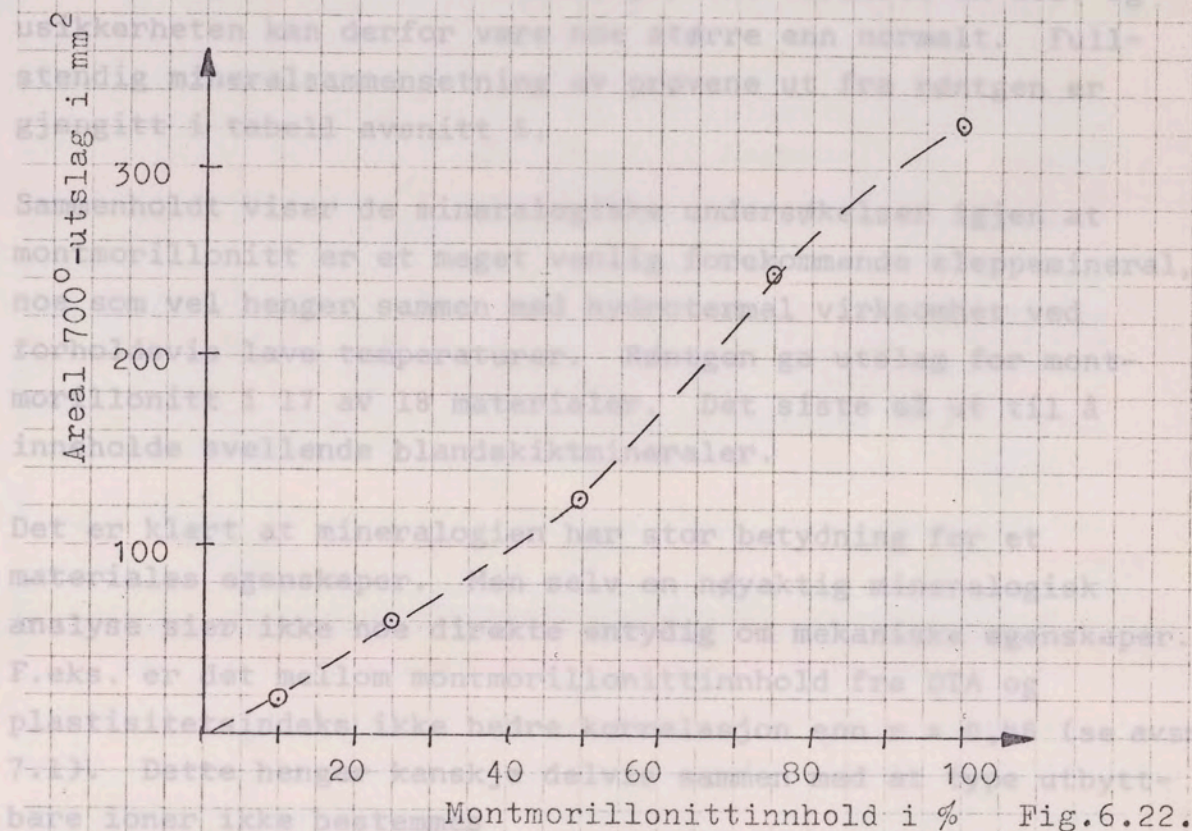
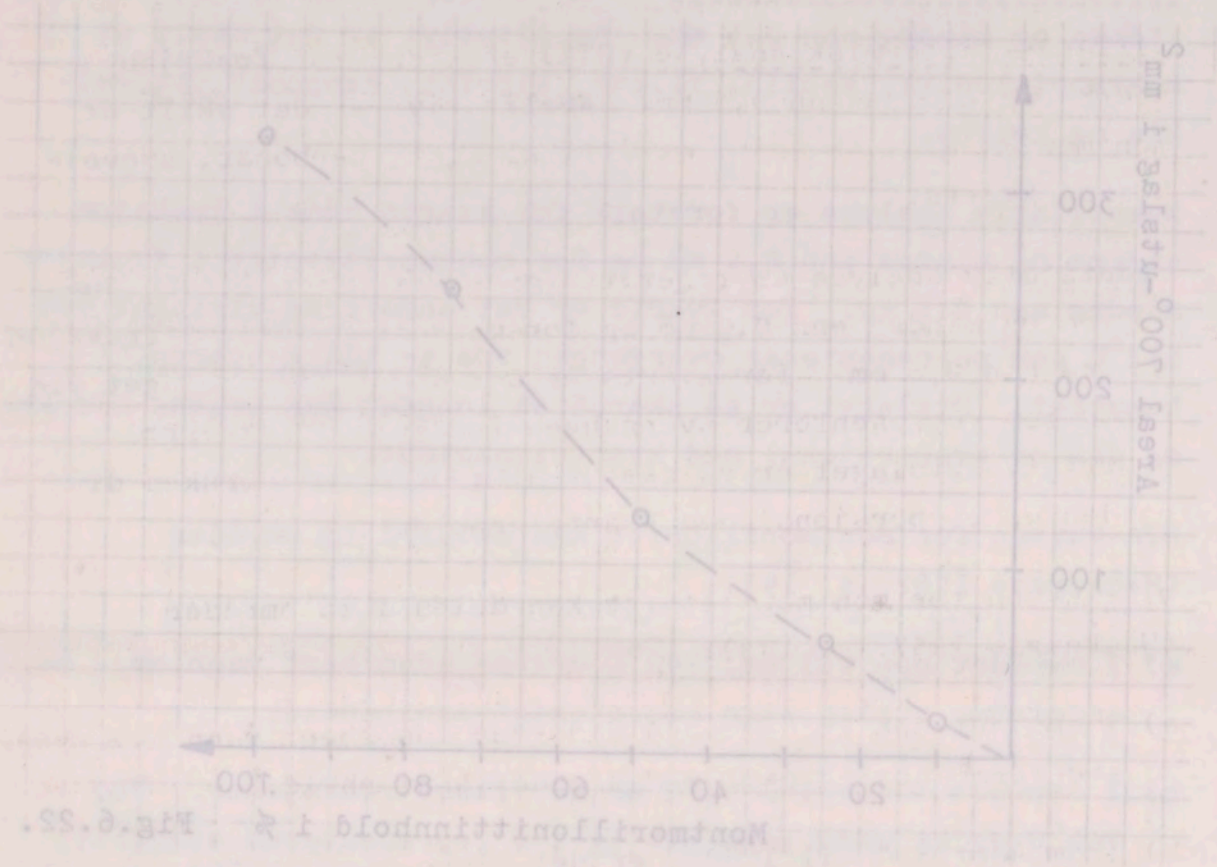


Fig. 6.22.

Forsøk på prøver med varierende fuktighet viste at 700°-utslaget ble påvirket forholdsvis lite. Det bør vel her tas et forbehold om at en har flere typer montmorillonitt (Na, Ca, K etc.). Muligens kan størrelsen av DTA-utslagene variere noe for de ulike typer. Men under forutsetning av at arealene fra referansematerialet er representativt også for de andre prøvene, varierte montmorillonittinnholdet i laboratorieprøvene mindre enn 0,5 mm fra ca. 0% til 80%.

Som referansemateriale ble valgt en prøve fra Folgefonn-anleggene, Bondhusoverfæringen, del 740 (nr. 5), fraksjon mindre enn 30 μ m. Kjøring på røntgen viste bare spor av andre mineraler enn montmorillonitt. En må derfor kunne anta at prøven var temmelig ren.

Prøven ble gitt samme forbehandling som de øvrige materialene og kjørt i DTA bladet med kjente kvartsmengder. Resultatene er vist i fig. 6.22.



Forsk på prøver med varierende fuktighet viste at 700-utslaget ble påvirket forholdsvis lite. Det bør vel her tas et forbehold om at en har flere typer montmorillonitt (Na, Ca, K etc.). Muligens kan størrelsen av DTA-utslagene variere noe for de ulike typer. Men under forsetning av at arealene fra referansematerialet er representativt også for de andre prøvene, varierte montmorillonittinnholdet i laboratoriprøvene mindre enn 0,5 mm fra ca. 0,5 til 80%.

Røntgen er benyttet til både kvalitativ og kvantitativ analyse. En rekke mineraler kan identifiseres ved hjelp av røntgen, og til dette formål regnes vel av de fleste metoden for å være den beste.

Den kvantitative bestemmelse er relativt usikker. For å holde flest mulig faktorer konstant, er det av stor betydning at preparatene fremstilles så likt som mulig fra gang til gang. Nedmalingsgraden i de innsendte prøvene varierte en del, og usikkerheten kan derfor være noe større enn normalt. Fullstendig mineralsammensetning av prøvene ut fra røntgen er gjengitt i tabell avsnitt 5.

Sammenholdt viser de mineralogiske undersøkelser igjen at montmorillonitt er et meget vanlig forekommende sleppeminerale, noe som vel henger sammen med hydrotermal virksomhet ved forholdsvis lave temperaturer. Røntgen ga utslag for montmorillonitt i 17 av 18 materialer. Det siste så ut til å inneholde svellende blandskiktmineraler.

Det er klart at mineralogien har stor betydning for et materiales egenskaper. Men selv en nøyaktig mineralogisk analyse sier ikke noe direkte entydig om mekaniske egenskaper. F.eks. er det mellom montmorillonittinnhold fra DTA og plastisitetsindeks ikke bedre korrelasjon enn $r = 0,46$ (se avsn. 7.1). Dette henger kanskje delvis sammen med at type utbyttable ioner ikke bestemmes

Et stort spørsmål er dessuten hvor nøyaktige de mineralogiske analyser egentlig er. Fig. 6.23 viser sammenhengen mellom montmorillonittinnhold bestemt ved DTA og røntgen. Fargetestene ga positive utslag for alle materialer som inneholdt over ca. 5% montmorillonitt etter DTA.

For kvarts ble sammenhengen som vist i fig. 6.24.

Den danske sprogskolen kan identificeres ved hjælp af følgende oplysninger:

1. Den danske sprogskole er et offentligt skolevæsen, som er organiseret i kommuner og landkommuner. Den er finansieret af staten og kommunerne.

2. Den danske sprogskole er et obligatorisk skolevæsen, som alle børn i Danmark er pålagt at gå på. Det betyder, at alle børn i Danmark er pålagt at lære dansk som deres modersmål.

3. Den danske sprogskole er et skolevæsen, som er organiseret i klasser og hold. Den er opdelt i forskellige niveauer, som starter med børnehaven og går op til gymnasiet.

4. Den danske sprogskole er et skolevæsen, som er organiseret i skoleår. Det betyder, at alle børn i Danmark starter på skole på samme tidspunkt og følger den samme læreplan.

5. Den danske sprogskole er et skolevæsen, som er organiseret i skolebøger og lærebøger. Det betyder, at alle børn i Danmark bruger de samme lærebøger og skolebøger.

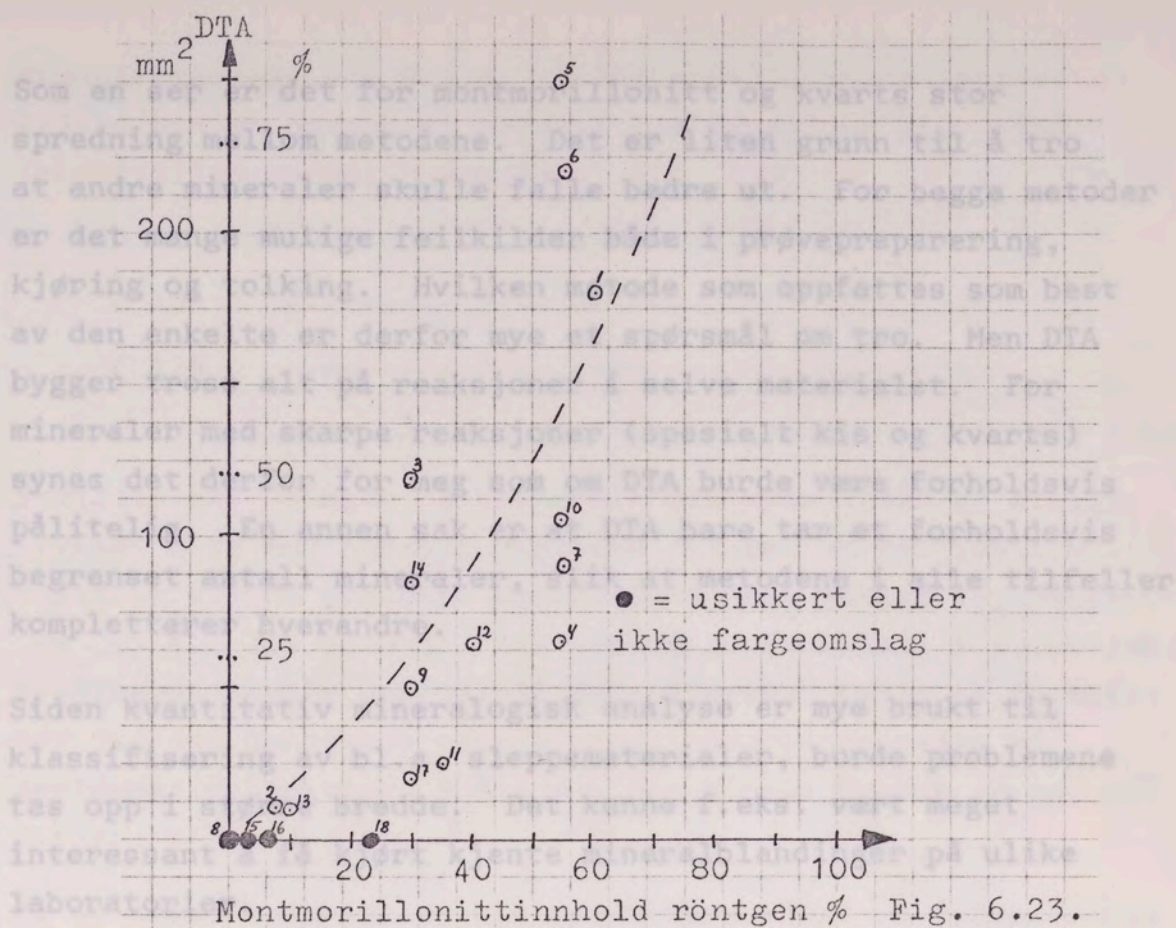
6. Den danske sprogskole er et skolevæsen, som er organiseret i skolelærere og lærere. Det betyder, at alle børn i Danmark er undervist af kvalificerede lærere og skolelærere.

7. Den danske sprogskole er et skolevæsen, som er organiseret i skoleaktiviteter og projekter. Det betyder, at alle børn i Danmark deltager i forskellige aktiviteter og projekter på skolen.

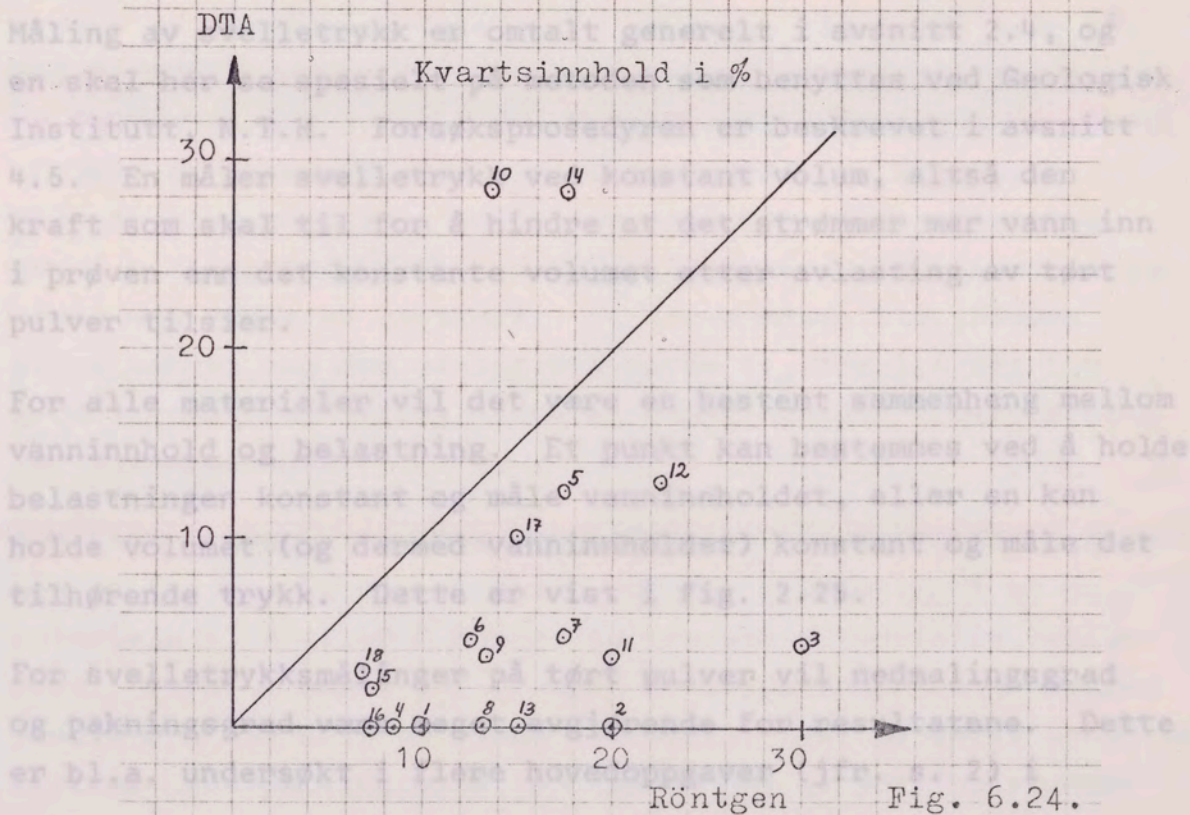
8. Den danske sprogskole er et skolevæsen, som er organiseret i skolefester og arrangementer. Det betyder, at alle børn i Danmark deltager i forskellige fester og arrangementer på skolen.

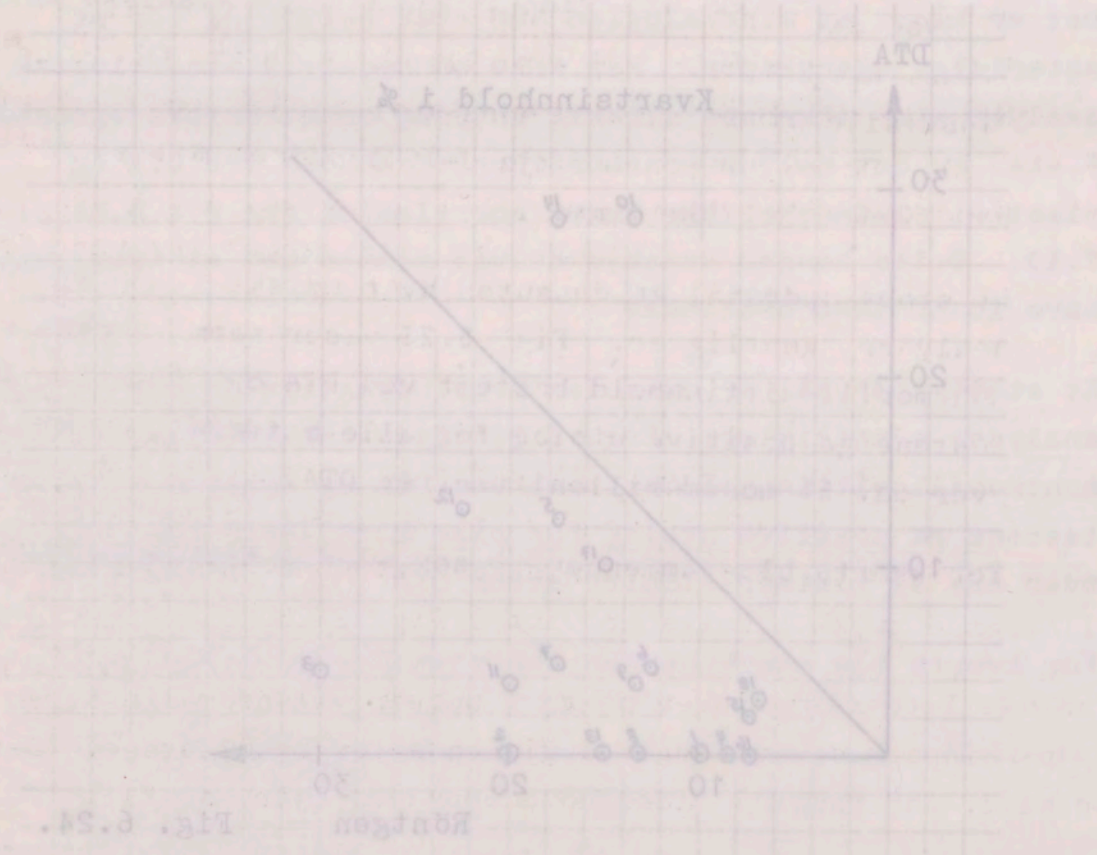
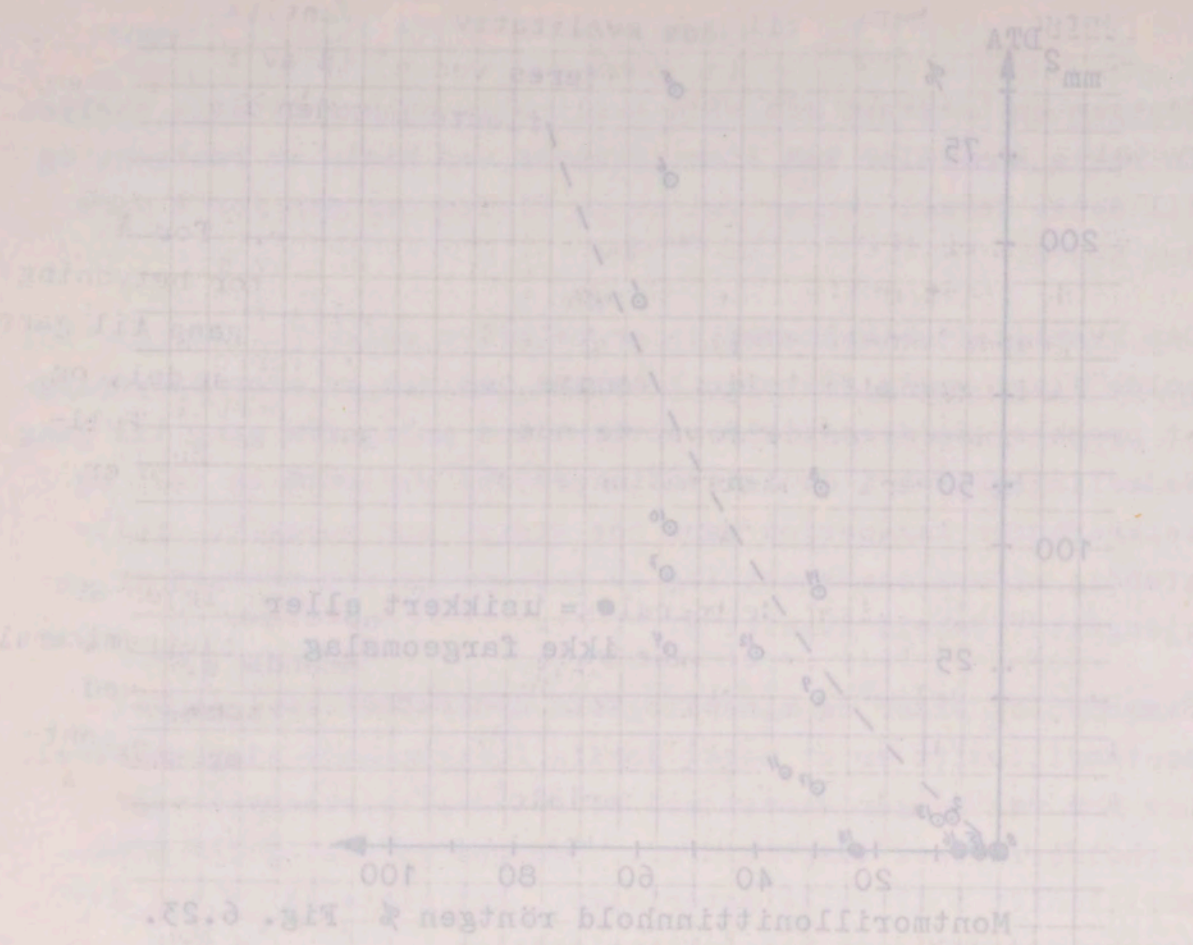
9. Den danske sprogskole er et skolevæsen, som er organiseret i skolekonkurrencer og prøver. Det betyder, at alle børn i Danmark deltager i forskellige konkurrencer og prøver på skolen.

10. Den danske sprogskole er et skolevæsen, som er organiseret i skoleinspektioner og evalueringer. Det betyder, at alle børn i Danmark er underlagt forskellige inspektioner og evalueringer på skolen.



5.6. Svalletrykk.





Som en ser er det for montmorillonitt og kvarts stor spredning mellom metodene. Det er liten grunn til å tro at andre mineraler skulle falle bedre ut. For begge metoder er det mange mulige feilkilder både i prøvepreparering, kjøring og tolking. Hvilken metode som oppfattes som best av den enkelte er derfor mye et spørsmål om tro. Men DTA bygger tross alt på reaksjoner i selve materialet. For mineraler med skarpe reaksjoner (spesielt kis og kvarts) synes det derfor for meg som om DTA burde være forholdsvis pålitelig. En annen sak er at DTA bare tar et forholdsvis begrenset antall mineraler, slik at metodene i alle tilfeller kompletterer hverandre.

Siden kvantitativ mineralogisk analyse er mye brukt til klassifisering av bl.a. sleppematerialer, burde problemene tas opp i større bredde. Det kunne f.eks. vært meget interessant å få kjørt kjente mineralblandinger på ulike laboratorier.

6.6. Svelletrykk.

Måling av svelletrykk er omtalt generelt i avsnitt 2.4, og en skal her se spesielt på metoden som benyttes ved Geologisk Institutt, N.T.H. Forsøksprosedyren er beskrevet i avsnitt 4.5. En måler svelletrykk ved konstant volum, altså den kraft som skal til for å hindre at det strømmes mer vann inn i prøven enn det konstante volumet etter avlastning av tørt pulver tilsier.

For alle materialer vil det være en bestemt sammenheng mellom vanninnhold og belastning. Et punkt kan bestemmes ved å holde belastningen konstant og måle vanninnholdet, eller en kan holde volumet (og dermed vanninnholdet) konstant og måle det tilhørende trykk. Dette er vist i fig. 2.25.

For svelletrykksmålinger på tørt pulver vil nedmalingsgrad og pakningsgrad være meget avgjørende for resultatene. Dette er bl.a. undersøkt i flere hovedoppgaver (jfr. s. 2) i

Som en ser er det for montanologien og kvartar stor
 spredning mellom metodene. Det er liten grunn til å tro
 at andre mineraler skulle la seg bestemme med disse
 er det mange forskjellige feliklitter både i prøvepreparering,
 klaring og tolking. Hvilken metode som oppgaves som best
 av den enkelte er derfor mye et spørsmål om. Men DTA
 bygger tross alt på reaksjoner i selve materialet. For
 mineraler med skarpe reaksjoner (spesielt kis og kvartar)
 synes det derfor for meg som om DTA burde være forholdsviss
 pålitelig. En annen sak er at DTA bare tar et forholdsviss
 begreper ennåll mineraler, slik at metodene i alle tilfeller
 kompletterer hverandre.

Stiden kvantitativ mineralogisk analyse er mye brukt til
 klassifisering av bl.a. slappematerialer, burde problemene
 tas opp i større bredde. Det kunne f.eks. være meget
 interessant å få kjente mineralblandinger på ulike
 laboratorier.

4.4. Sveletrykk

Måling av sveletrykk er omgitt generelt i avsnitt 2.8. og
 en skal her se spesielt på metoden som benyttes ved Geologisk
 Institutt, N.I.H. Forsøksprosedyren er beskrevet i avsnitt
 4.3. En måler sveletrykk ved konstant volum, altså den
 kraft som skal til for å hindre at det strømmar når vann inn
 i prøven når det konstante volumet etter økning av tryk
 gultv. iiser.

For alle materialer vil det være en bestemt sammensetning mellom
 vanninnhold og belastning. Et punkt kan bestemmes ved å holde
 belastningen konstant og måle vanninnholdet, eller en kan
 holde volumet (og dermed vanninnholdet) konstant og måle det
 tilhørende trykk. Dette er vist i fig. 2.20.
 For sveletrykkmålinger på jord gultv vil nedslingsgrad
 og pakningsgrad være meget avgjørende for resultatene. Dette
 er bl.a. undersøkt i flere hovedoppgaver (fig. 2.1) i

ingeniørgeologi ved N.T.H. I Rokoengen's hovedoppgave (1969) ble en omvandlet bergart fra Øgreyfoss gitt fire forskjellige nedmalingsgrader:

A 32 % mindre enn 2 μm (dødmalt).

B 15% ----- " -----

C 12% ----- " -----

b 2% mindre enn 2 μm (grovknust, med korn opp til 2 mm).

Svelletrykksmålinger på konvensjonell måte viste at svelletrykket økte med nedmalingsgraden fra ca. 10 til 100 t/m^2 . Samtidig ble de groveste materialene best pakket (γ_d varierte fra 1,7 til 1,4 g/cm^3). Den virkelige forskjell i potensiell svelleevne skulle derfor bli enda større. Dette er en svakhet ved den benyttede metode, hvor nedmalingsgraden må bestemmes subjektivt, noe som i det minste krever en god del øvelse.

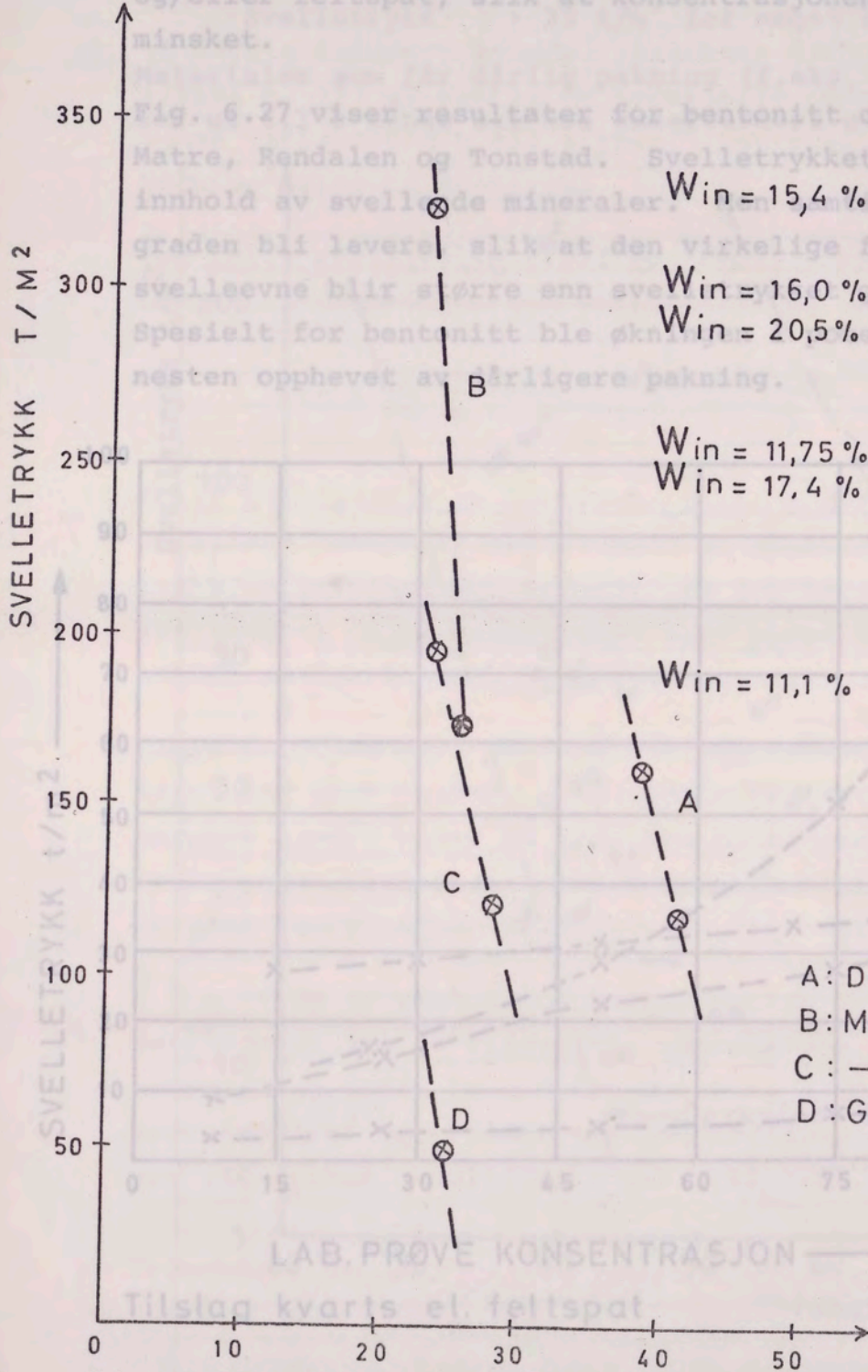
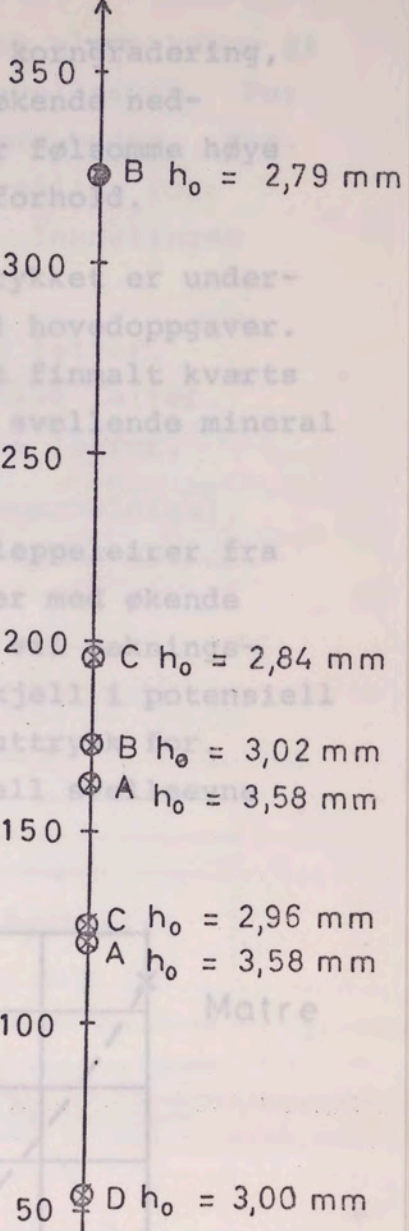
På de samme materialene ble det videre kjørt en forsøksserie hvor prøvene ble bedre pakket. Oppveide prøver ble plassert i eksikator med 100% relativ fuktighet i minst 3 uker. Andre prøver av samme materiale viste at denne tiden var lang nok til å få tilnærmet likevekt mellom vanninnholdet i prøvene og fuktigheten i lufta. Den hygroskopiske fuktighet varierte en del, og økte med økende nedmalingsgrad (se fig. 6.25). Prøvene ble som vanlig komprimert med 200 t/m^2 belastning, men i tillegg tørket en prøven ut i løpet av 16 timer (natten over) ved hjelp av varmluft. På denne måten ble prøvene bedre pakket enn ved vanlig prosedyre (γ_d fra 1,8 til 1,4 g/cm^3). Kontrollveiling viste at vanninnholdet etter tørking var tilnærmet null.

Som vist i fig. 6.25, ble svelletrykket for materiale D lavest, men ut fra svelletrykket alene var det ikke mulig å si om materiale A, B eller C hadde den høyeste potensielle svelleevne. Verdt å merke seg er også de store forskjeller mellom svelletrykkene målt på samme materiale. Det må antas at dette skyldes ulik pakningsgrad, med andre ord at det "konstante" volum ved svelletrykksmålingene varierer. I fig. 6.26 er svelletrykkene satt av mot vanninnhold etter svelling.

Materialene A, B, C og D ordner seg der etter kornfadering, slik at den potensielle svulleevnen øker med økende nedmalingsgrad. Støffhete av kurvens viser hvor høye svulletrykk er for små variasjoner i de ytre forhold.

Mineralsammensetningens betydning for svullet er undersøkt i Palmstrøm's (1967) og Sandberg's (1968) hovedoppgaver. Bentonitt og avslemmet sletteleire ble tilsatt finmalt kvarts og/eller feltspat, slik at konsentrasjonen av svullende mineral minsket.

$W_{initialt} = 16,7\%$



- A: Dödmalt (32% < 2 μ)
- B: Malt 90 min (15 " ")
- C: " 50 min (12 " ")
- D: Grovknust (2 " ")

Fig. 6.25

Fig.6.26 VANNINNHOLD ETTER SVELLING

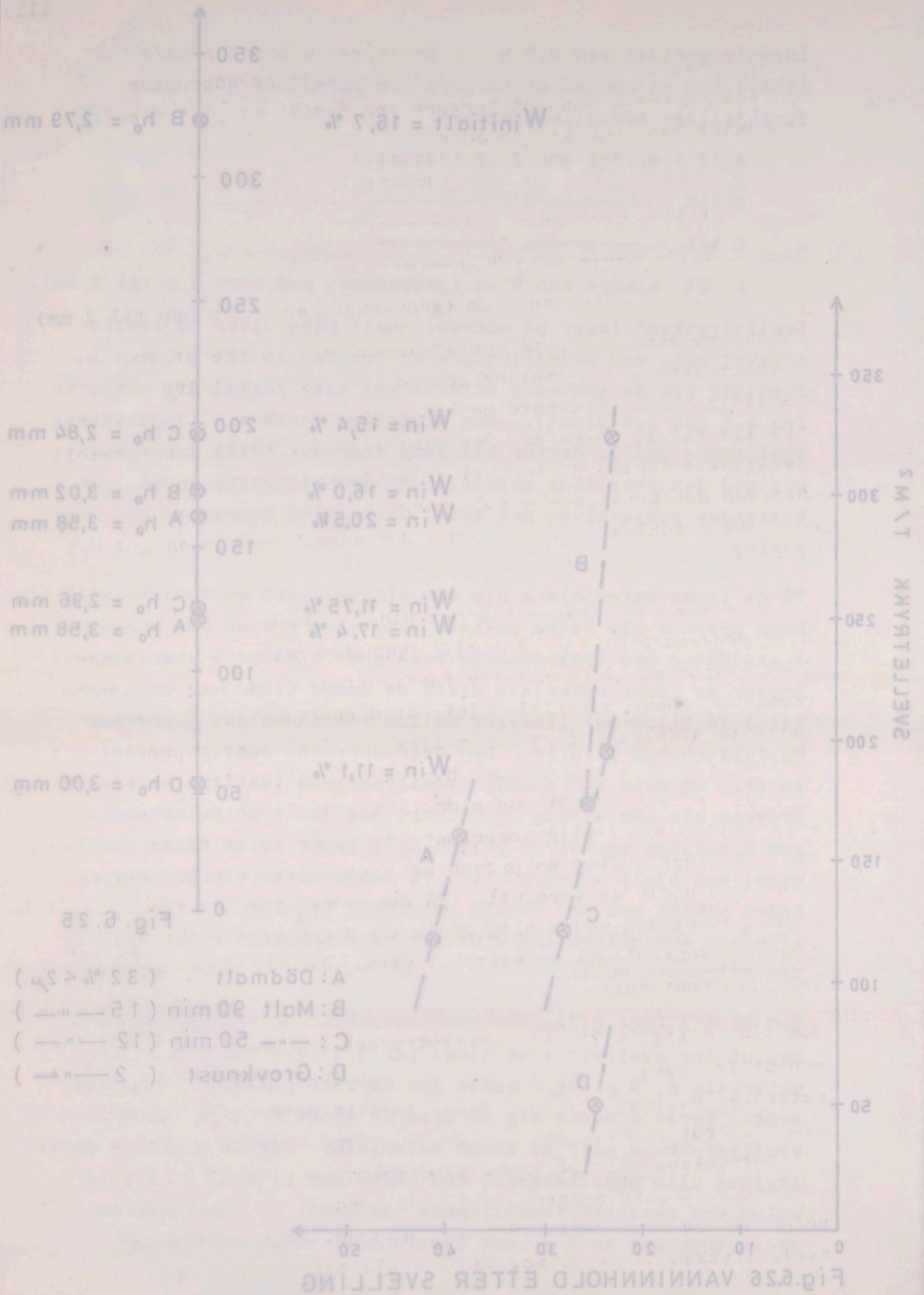


Fig. 6.28 VANNINGSHOLD ETTER SVELLING

Materialene A, B, C og D ordner seg der etter korngradering, slik at den potensielle svelleevnen øker med økende nedmalingsgrad. Steilheten av kurvene viser hvor følsomme høye svelletrykk er for små variasjoner i de ytre forhold.

Mineralsammensetningens betydning for svelletrykket er undersøkt i Palmstrøm's (1967) og Sandberg's (1968) hovedoppgaver. Bentonitt og avslemmet sleppeleire ble tilsatt finmalt kvarts og/eller feltspat, slik at konsentrasjonen av svellende mineral minsket.

Fig. 6.27 viser resultater for bentonitt og sleppeleirer fra Matre, Rendalen og Tonstad. Svelletrykket øker med økende innhold av svellende mineraler. Men samtidig vil pakningsgraden bli lavere, slik at den virkelige forskjell i potensiell svelleevne blir større enn svelletrykket gir uttrykk for. Spesielt for bentonitt ble økningen i potensiell svelleevne nesten opphevet av dårligere pakning.

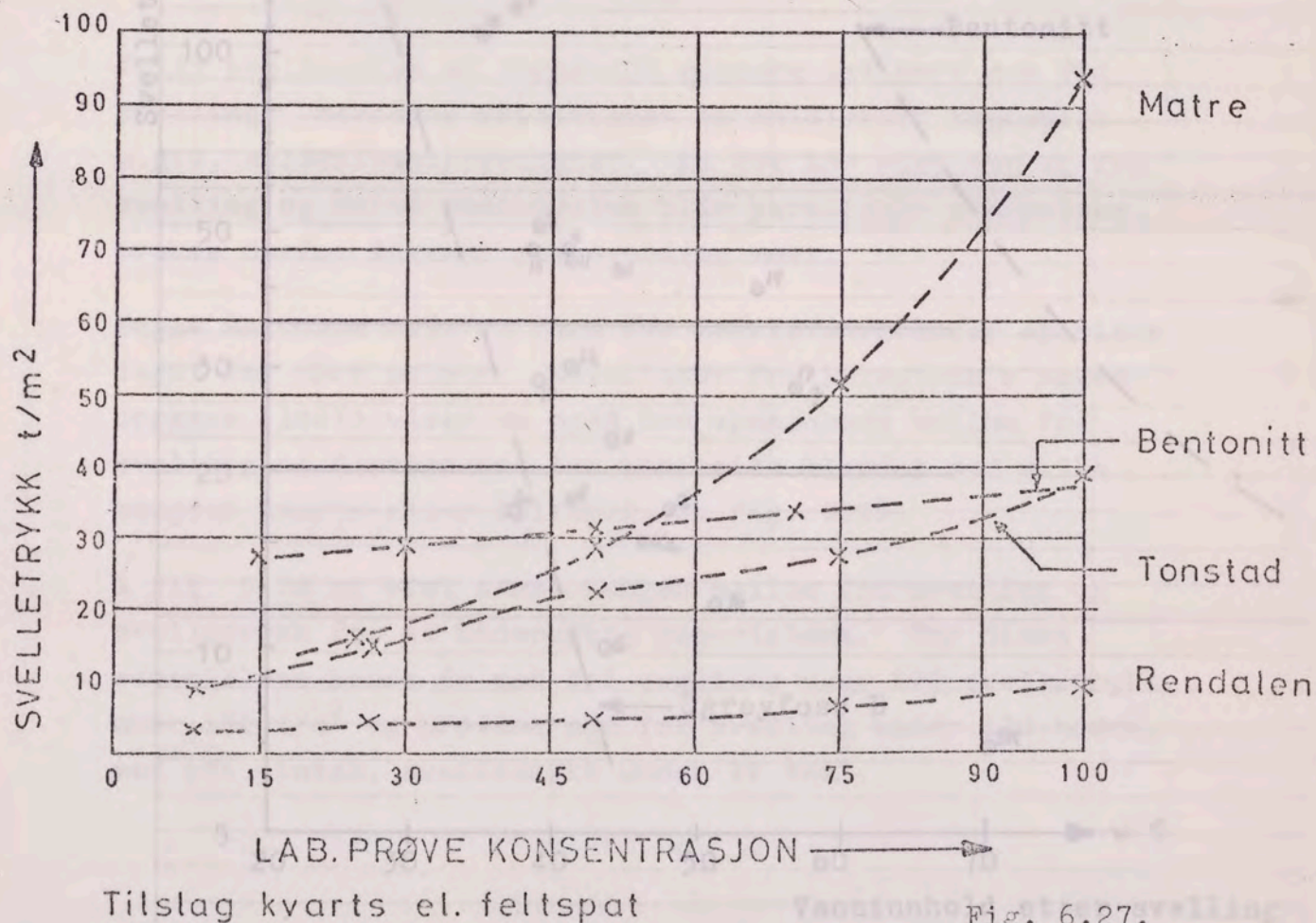


Fig. 6.27.

Materialene A, B, C og D ordnet seg der etter korngradering, slik at den potensielle sveileevnen øker med økende nedmalingsgrad. Stettheten av kurvene viser hvor fåsammne høye sveiletrykk er for små variasjoner i de ytre forhold.

Mineral sammensetningens betydning for sveiletrykket er undersøkt i Palmstrøm's (1967) og Sandberg's (1968) hovedoppgaver. Bentonitt og avsløttet slippelste ble tilsett tilsmalt kvarts og/eller fetspat, slik at konsentrasjonen av sveilende mineral minsket.

Fig. 6.27 viser resultater for bentonitt og slippelste for Matre, Rendalen og Tonstad. Sveiletrykket øker med økende innhold av sveilende mineraler. Men samtidig vil pakningsgraden bli lavere, slik at den virkelige forskjell i potensiell sveileevne blir større enn sveiletrykket gir uttrykk for. Spesielt for bentonitt ble økningen i potensiell sveileevne nesten opphevet av dårligere pakning.

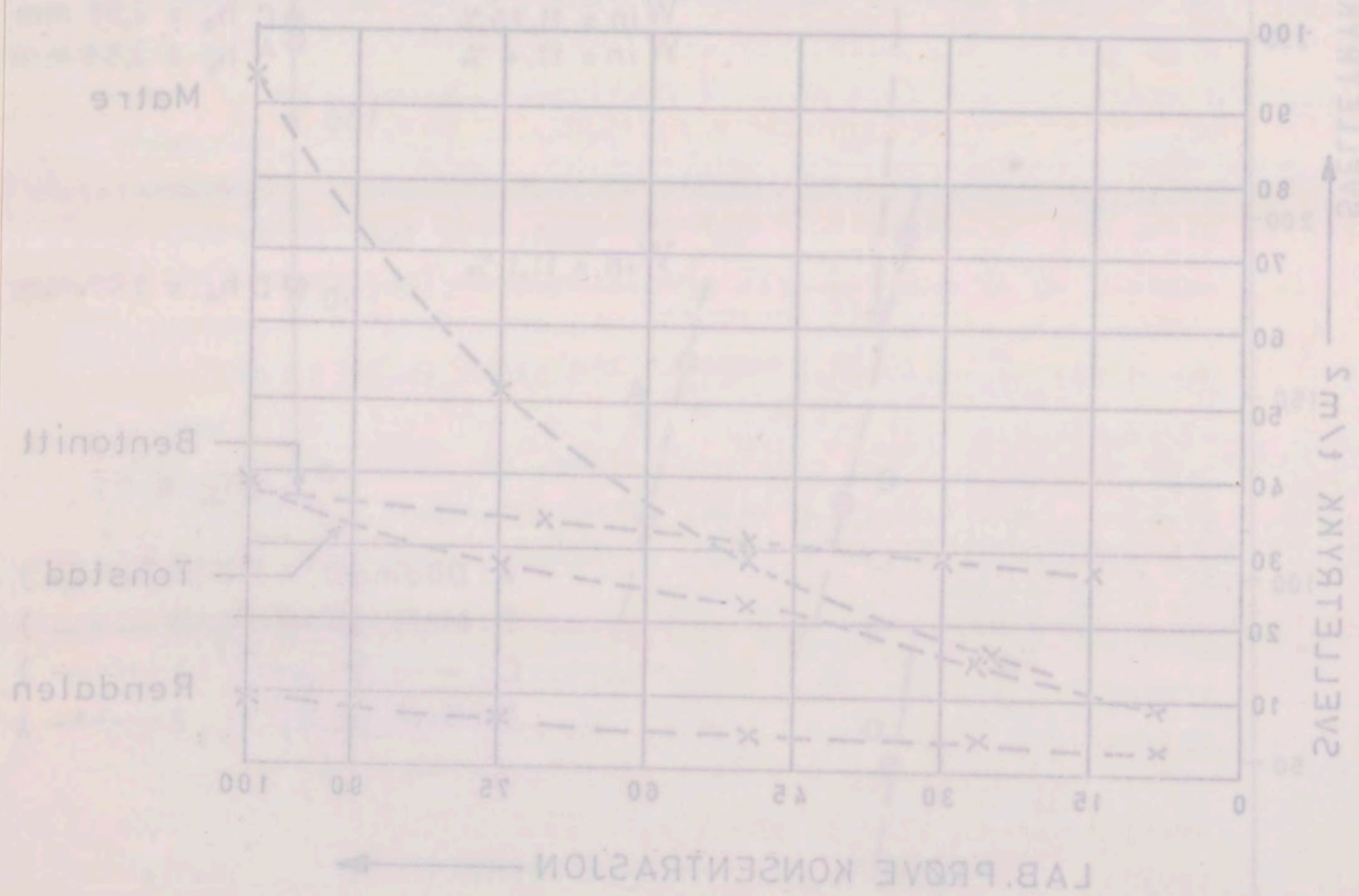


Fig. 6.27. Tilsatt kvarts el. fetspat LAB. PROVE KONSENTRASJON

Under spesielle forhold vil altså svelletrykket alene kunne gi et usikkert mål av et materiales potensielle svelleevne. For vanlige prøver skulle imidlertid forholdene være bedre. Fig. 6.28 viser svelletrykk og vanninnhold etter svelling for materialene som er undersøkt i dette arbeide. Inndelingen etter svelletrykk er også tegnet opp:

- Ved fri svelling
- Svelletrykk $< 20 \text{ t/m}^2$ for lite aktive leirer.
 - Svelletrykk $20 - 35 \text{ t/m}^2$ for middels aktive leirer.
 - Svelletrykk $> 35 \text{ t/m}^2$ for meget aktive leirer.

Materialer som får dårlig pakning (f.eks. glimmerholdige), ser ut til å kunne bli noe undervurdert etter denne metode.

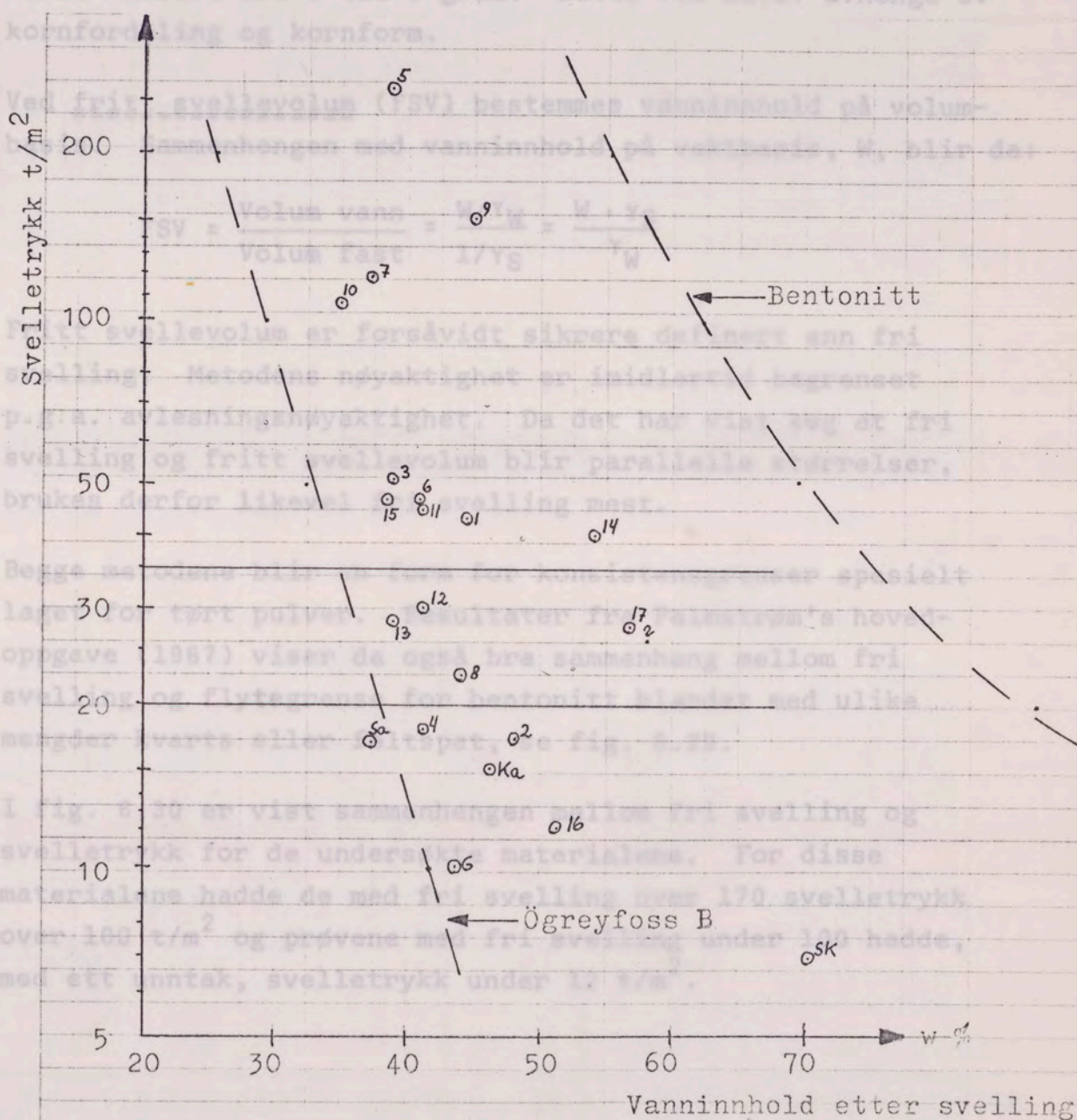


Fig. 6.28.

Under spesielle forhold vil altså svelettrykket alene kunne gi et usikkert mål av et materiales potensielle sveleevne. For vanlige prøver skulle imidlertid forholdene være bedre. Fig. 6.28 viser svelettrykk og vanninnhold etter sveiling for materialene som er undersøkt i dette arbeide. Innstillingen etter svelettrykk er også tegnet opp:

- Svelettrykk $> 30 \text{ t/m}^2$ for lite aktive leirer.
- Svelettrykk 20 - 35 t/m^2 for midtels aktive leirer.
- Svelettrykk $> 35 \text{ t/m}^2$ for meget aktive leirer.

Materialer som får dårlig pakning (f.eks. glimmerholdige), ser ut til å kunne bli noe underverdige etter denne metode.

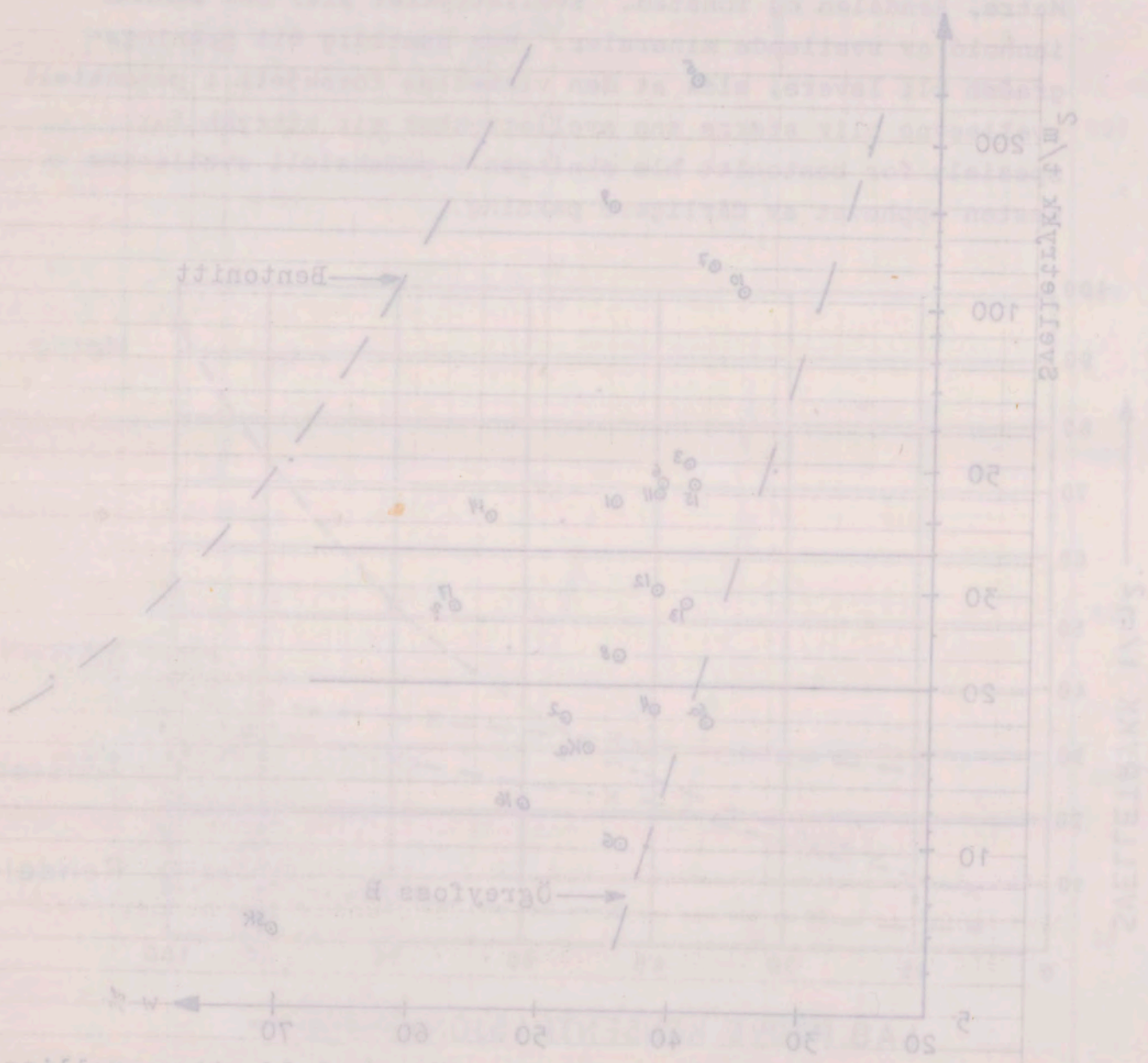


Fig. 6.28. Vanninnhold etter sveiling

6.7. Svulletest med tørt pulver.

Forsøksprosedyrene er beskrevet i avsnitt 4.6. Formålet med metoden er å gi en rask vurdering av et materiales svelleevne.

Ved fri svelling måles det volum 10 ml tørt løst pakket materiale inntar etter å ha fått svulle fritt i vann ved sedimentasjon. Nå er imidlertid 10 ml løst pakket materiale en dårlig definert mengde. Sandberg fant i sin hovedoppgave (1968, s. 27) at vekten av parallelle prøver av samme materiale kunne variere fra 6 til 9 gram. Dette vil bl.a. avhenge av kornfordeling og kornform.

Ved fritt svellevolum (FSV) bestemmes vanninnhold på volumbasis. Sammenhengen med vanninnhold på vektbasis, W , blir da:

$$FSV = \frac{\text{Volum vann}}{\text{Volum fast}} = \frac{W/\gamma_W}{1/\gamma_S} = \frac{W \cdot \gamma_S}{\gamma_W}$$

Fritt svellevolum er forsåvidt sikrere definert enn fri svelling. Metodens nøyaktighet er imidlertid begrenset p.g.a. avlesningsnøyaktighet. Da det har vist seg at fri svelling og fritt svellevolum blir parallelle størrelser, brukes derfor likevel fri svelling mest.

Begge metodene blir en form for konsistensgrenser spesielt laget for tørt pulver. Resultater fra Palmstrøm's hovedoppgave (1967) viser da også bra sammenheng mellom fri svelling og flytegrense for bentonitt blandet med ulike mengder kvarts eller feltspat, se fig. 6.29.

I fig. 6.30 er vist sammenhengen mellom fri svelling og svelletrykk for de undersøkte materialene. For disse materialene hadde de med fri svelling over 170 svelletrykk over 100 t/m^2 og prøvene med fri svelling under 100 hadde, med ett unntak, svelletrykk under 12 t/m^2 .

8.7. Sveifletur á milli...
Forskiptur á milli...
með notkun...
svellings...

Ved frið sveiflevjum...
mataralega...
sedimentar...
en hátt...
(1988, s. 27) af vektun...
kann...
kornleifar og korn...

Ved frið sveiflevjum (FSV) þessum...
þessi: Sammenheng...
þessi: Sammenheng...
þessi: Sammenheng...

$$FSV = \frac{\text{Voluum vatn} - W_{100}}{\text{Voluum hart} - W_{100}}$$

Frið sveiflevjum...
svelling...
P. 8. 8. af...
svelling og...
þrúkað...

Þessi...
lagar...
þessi...
þessi...
þessi...

I...
svellings...
mataralega...
over 100...
med...

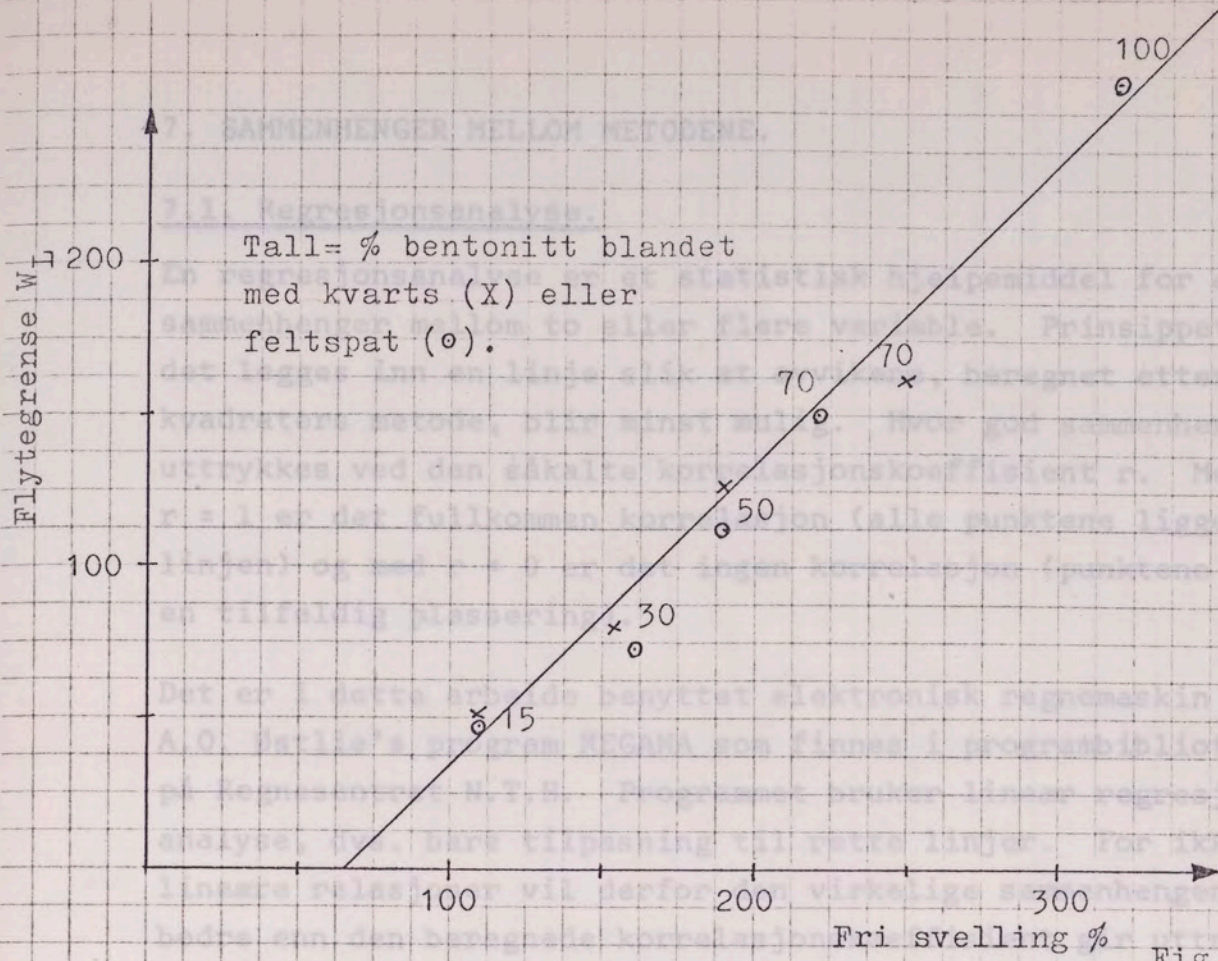


Fig. 6.29.

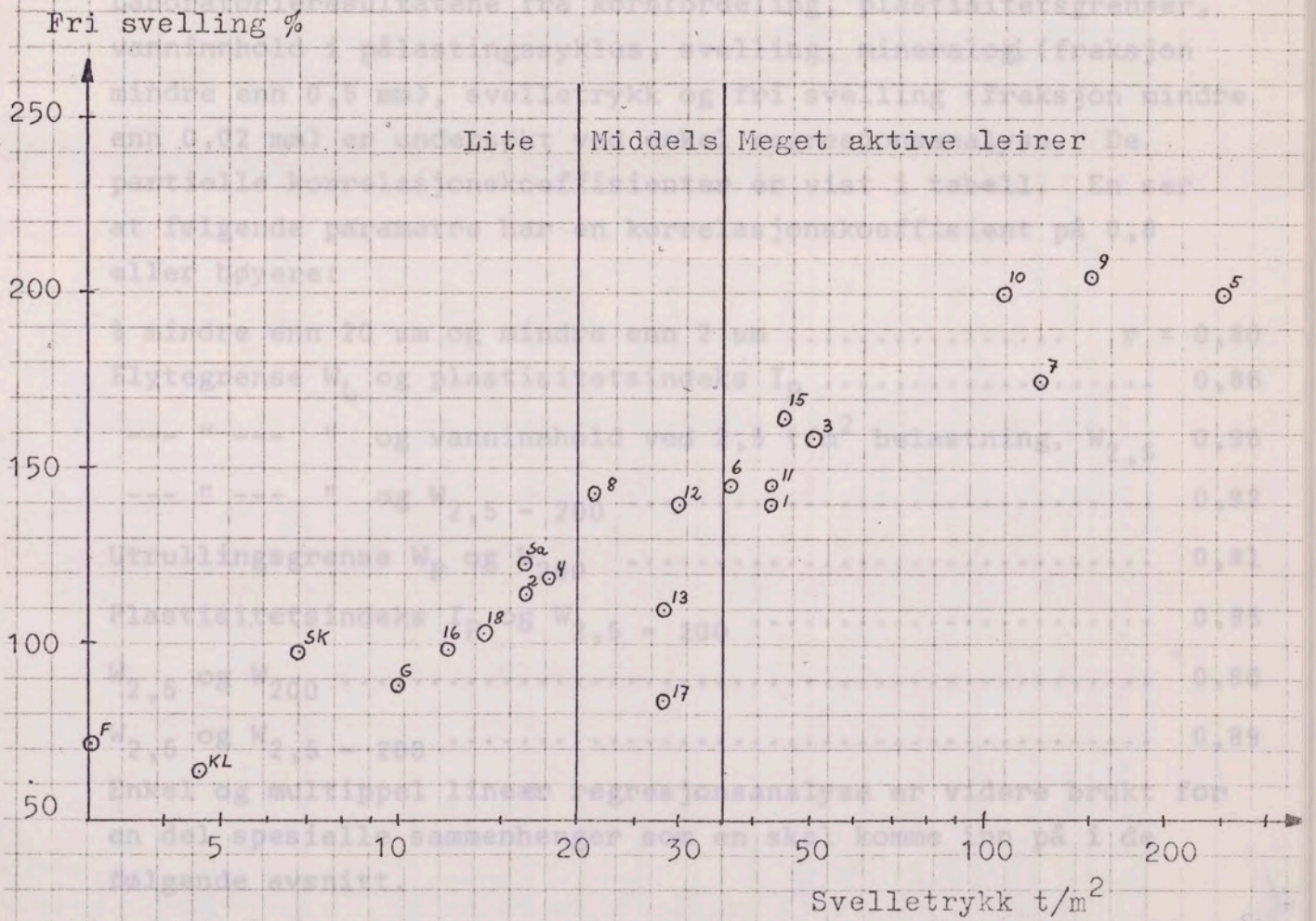
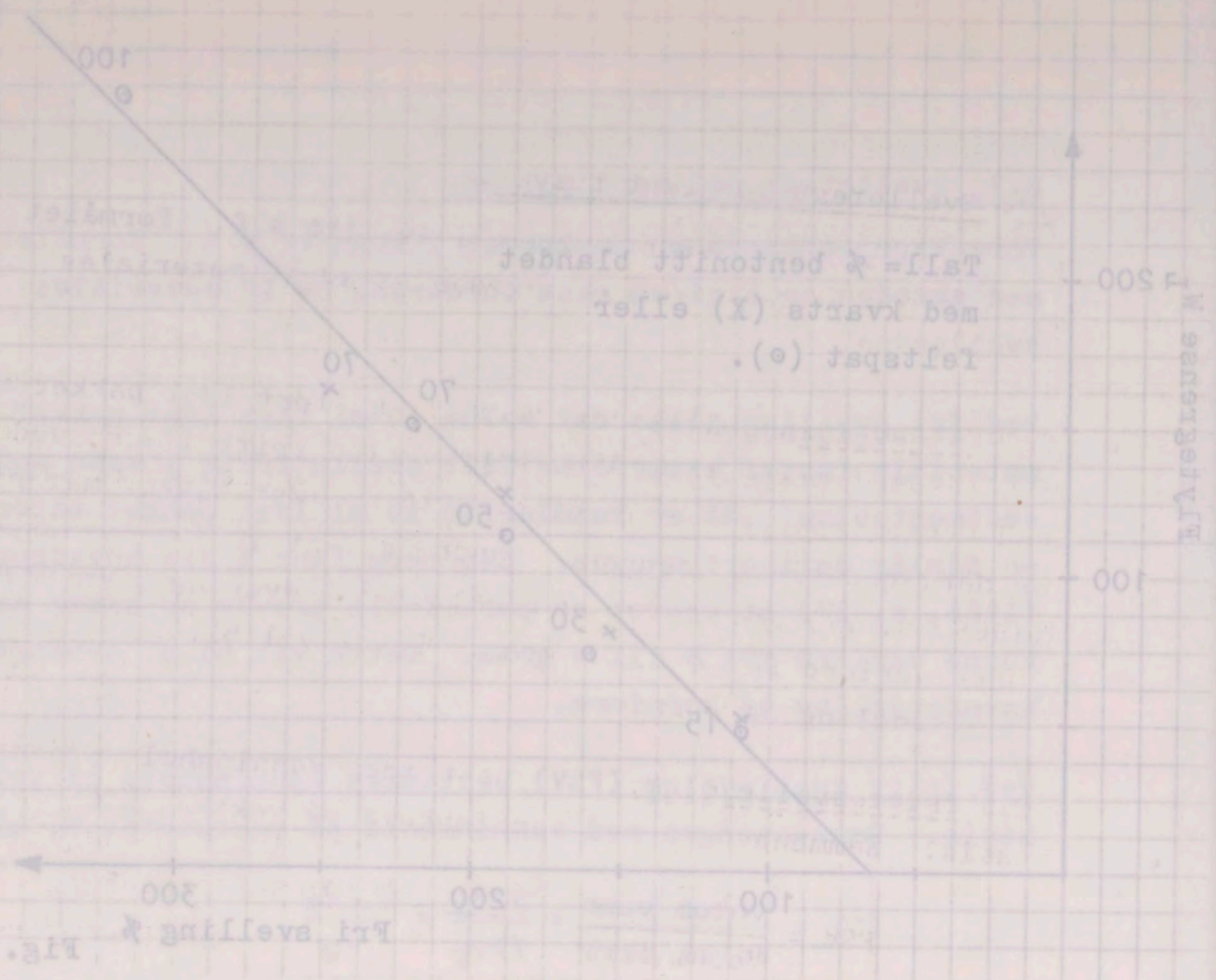
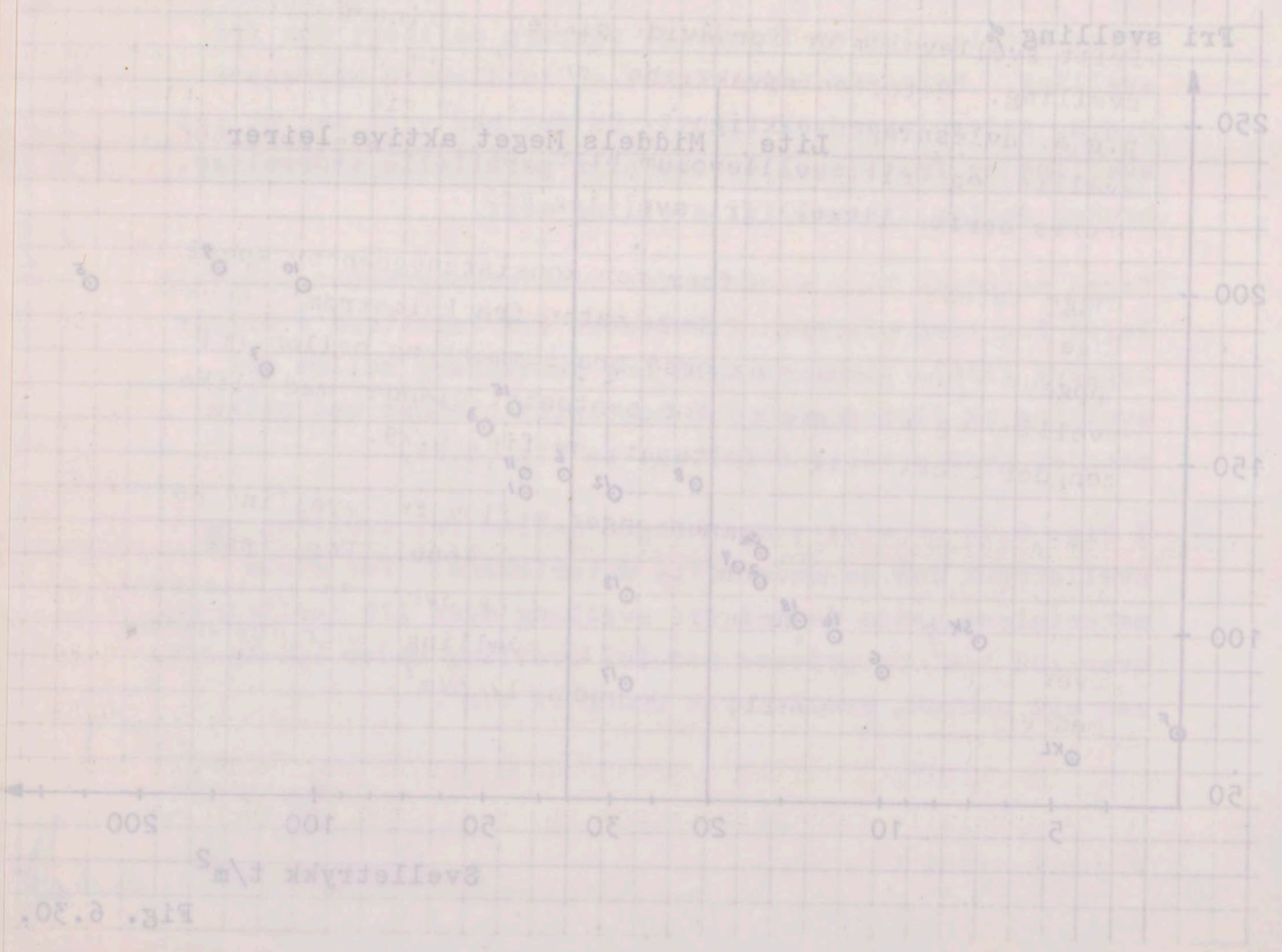


Fig. 6.30.

(11a)



Fri aveling % Fig. 6.29.



Fri aveling % Fig. 6.30.

7. SAMMENHENGER MELLOM METODENE.

7.1. Regresjonsanalyse.

En regresjonsanalyse er et statistisk hjelpemiddel for å teste sammenhenger mellom to eller flere variable. Prinsippet er at det legges inn en linje slik at avvikene, beregnet etter minste kvadraters metode, blir minst mulig. Hvor god sammenhengen er, uttrykkes ved den såkalte korrelasjonskoeffisient r . Med $r = 1$ er det fullkommen korrelasjon (alle punktene ligger på linjen) og med $r = 0$ er det ingen korrelasjon (punktene har en tilfeldig plassering).

Det er i dette arbeide benyttet elektronisk regnemaskin med A.O. Østlie's program REGANA som finnes i programbiblioteket på Regnesentret N.T.H. Programmet bruker lineær regresjonsanalyse, dvs. bare tilpasning til rette linjer. For ikke-lineære relasjoner vil derfor den virkelige sammenhengen være bedre enn den beregnede korrelasjonskoeffisient gir uttrykk for.

Laboratorieresultatene fra kornfordeling, plastisitetstgrenser, vanninnhold i pålastingssyklus, svelling, mineralogi (fraksjon mindre enn 0,5 mm), svelletrykk og fri svelling (fraksjon mindre enn 0,02 mm) er undersøkt ved enkel regresjonsanalyse. De partielle korrelasjonskoeffisienter er vist i tabell. En ser at følgende parametre har en korrelasjonskoeffisient på 0,8 eller høyere:

% mindre enn 20 μ m og mindre enn 2 μ m	$r = 0,80$
Flytegrense W_L og plastisitetsindeks I_P	0,86
--- " --- " og vanninnhold ved 2,5 t/m ² belastning, $W_{2,5}$	0,96
--- " --- " og $W_{2,5} - 200$	0,92
Utrullingsgrense W_P og W_{200}	0,81
Plastisitetsindeks I_P og $W_{2,5} - 200$	0,85
$W_{2,5}$ og W_{200}	0,80
$W_{2,5}$ og $W_{2,5} - 200$	0,89

Enkel og multippel lineær regresjonsanalyse er videre brukt for en del spesielle sammenhenger som en skal komme inn på i de følgende avsnitt.

Partielle lineære korrelasjonskoeffisienter (r).

	% < 20 μm	% < 2 μm	W_L	W_p	I_p	A	$W_{2,5}$	W_{200}	$W_{2,5-200}$	% svelling	DTA ₇₀₀	Svelletrykk	Fri svelling
% < 20 μm	-	0,802	0,491	- 0,165	0,789	- 0,092	0,379	- 0,022	0,591	0,496	0,048	- 0,107	+ 0,073
% < 2 μm	0,802	-	0,397	- 0,166	0,662	- 0,287	0,307	0,026	0,447	0,457	0,003	- 0,156	0,072
W_L	0,491	0,397	-	0,705	0,861	0,621	0,964	0,697	0,916	0,416	0,620	0,497	0,564
W_p	- 0,165	- 0,166	0,705	-	0,246	0,588	0,785	0,812	0,560	0,068	0,541	0,427	0,359
I_p	0,789	0,662	0,861	0,246	-	0,427	0,754	0,370	0,851	0,514	0,460	0,348	0,514
A	- 0,092	- 0,287	0,621	0,588	0,427	-	0,569	0,488	0,478	0,182	0,430	0,675	0,678
$W_{2,5}$	0,379	0,307	0,964	0,785	0,569	0,569	-	0,802	0,890	0,382	0,632	0,420	0,416
W_{200}	- 0,022	0,026	0,697	0,812	0,370	0,488	0,802	-	0,442	- 0,114	0,574	0,571	0,389
$W_{2,5-200}$	0,591	0,447	0,916	0,560	0,851	0,478	0,890	0,442	-	0,660	0,511	0,193	0,327
% svelling	0,496	0,457	0,416	0,068	0,514	0,182	0,382	- 0,114	0,660	-	- 0,068	- 0,212	- 0,114
DTA ₇₀₀	0,048	0,003	0,620	0,541	0,460	0,430	0,632	0,574	0,511	0,600	0,600	0,600	0,458
Svelletrykk	- 0,107	- 0,156	0,479	0,427	0,348	0,675	0,420	0,571	0,193	0,212	0,600	-	0,780
Fri svelling	+ 0,073	0,072	0,564	0,359	0,514	0,678	0,416	0,389	0,327	0,114	0,458	0,780	-

БТ	0'017	0'037	0'204	0'323	0'274	0'418	0'416	0'389	0'751	0'774	0'428	0'380	-
БТ	0'701	0'128	0'433	0'451	0'346	0'412	0'450	0'217	0'183	0'375	0'650	-	0'180
БТ	0'049	0'002	0'050	0'261	0'400	0'430	0'405	0'214	0'271	0'008	-	0'400	0'428
БТ	0'280	0'421	0'478	0'008	0'274	0'185	0'385	0'774	0'000	-	0'008	0'575	0'774
БТ	0'287	0'441	0'087	0'220	0'927	0'438	0'920	0'445	-	0'000	0'247	0'783	0'351
БТ	0'055	0'058	0'001	0'875	0'110	0'468	0'805	-	0'445	0'774	0'214	0'217	0'388
БТ	0'211	0'301	0'204	0'102	0'124	0'203	-	0'805	0'800	0'385	0'835	0'450	0'470
БТ	0'033	0'381	0'037	0'288	0'451	-	0'288	0'488	0'418	0'783	0'430	0'818	0'818
БТ	0'388	0'685	0'867	0'548	-	0'451	0'124	0'310	0'927	0'274	0'400	0'380	0'214
БТ	0'782	0'782	0'102	-	0'548	0'288	0'382	0'075	0'260	0'008	0'267	0'451	0'328
БТ	0'407	0'381	-	0'102	0'887	0'037	0'887	0'001	0'078	0'478	0'850	0'401	0'284
БТ	0'805	-	0'381	0'102	0'005	0'581	0'201	0'038	0'141	0'421	0'003	0'728	0'033
БТ	-	0'805	0'407	0'102	0'188	0'005	0'718	0'055	0'287	0'438	0'048	0'701	0'033
БТ	30'00	5'00	10'	15'	20'	25'	30'	35'	40'	45'	50'	55'	60'

БТ

7.2. Plastisitet og vanninnhold i pålastingssyklus.

Figurene 7.1 til 7.3 viser sammenhengen mellom henholdsvis W_L og $W_{2,5}$, W_P og W_{200} og I_P og $W_{2,5} - 200$. Som det fremgår både av figurene og den utførte regresjonsanalyse, er det god korrelasjon mellom metodene. Dette er for såvidt naturlig siden begge metoder består i å bestemme materialers vanninnhold ved bestemte mekaniske påkjenninger.

Sammenhengen mellom jordartenes plastisitetsgrenser og sug (soil suction) er undersøkt av flere forskere. Russel og Mickle (1970) har utført et større arbeid for å finne ut om vanninnhold og sug kunne erstatte plastisitetsgrenser. De har bestemt i alt 8 punkter på sug-vanninnholdskurven (fig. 7.4). Vendepunktene for kurven ("the flex points") defineres som ekvivalent med henholdsvis flyte- og utrullingsgrense og avstanden mellom vendepunktene ("the unloading region") som plastisitetsindeks. Som det delvis fremgår av fig. 7.4, vil det kunne være vanskelig å bestemme vendepunktene, spesielt det øvre. Den fysikalske betydning av dem synes også noe uklar. Russel's og Mickle's konklusjon er imidlertid at en kan erstatte konvensjonelle plastisitetsgrensebestemmelser med undersøkelse av vanninnhold og sug.

Ut fra egne forsøk med 4 punkter er det ikke mulig å bestemme vendepunkter. Det ble i området 2,5 til 200 t/m² tilnærmet lineær sammenheng mellom vanninnhold og logaritmen til trykket (se avsnitt 6.4). Trykket som gir et vanninnhold lik flytegrensen varierer. Det ligger lavt for de mest plastiske materialene (0,5 - 1 t/m²) og høyere for siltige materialer (opp til 10 t/m²).

Dette gjenspeiler etter min mening den prinsipielle forskjell på metodene. Flytegrensen bestemmes ved en korttidsbelastning, mens vanninnhold ved ulike mottrykk, slik forsøkene utføres, blir langtidsbelastninger.

7.2. Plastiser og vanninnhold i pålestingskyllua.

Figuren 7.1 til 7.3 viser sammenhengen mellom henholdsvis W_L og $W_{0.5}$, W_P og W_{100} og I_P og I_{100} . Som det fremgår både av figurene og den utførte regresjonsanalyse, er det god korrelasjon mellom metodene. Dette er forøvrigt naturlig siden begge metoder består i å bestemme materialers vanninnhold ved bestemte mekaniske påkjenninger.

Sammenhengen mellom jordartens plastisitetegrener og sug (soli suction) er undersøkt av flere forskere. Russel og Mickie (1970) har utført et stort arbeid for å finne ut om vanninnhold og sug kunne erstatte plastisitetegrener. De har bestemt i alt 8 punkter på sug-vanninnholdskurven (fig. 7.4). Vendepunktene for kurven ("the flex points") defineres som ekvivalent med henholdsvis flyte- og utvillingsgrense og avstanden mellom vendepunktene ("the unloading region") som plastisitetendekke. Som det delvis fremgår av fig. 7.4 vil det kunne være vanskelig å bestemme vendepunktene, spesielt det første. Den fysiske betydning av dem synes også noe uklare. Russel's og Mickie's konklusjon er imidlertid at en kan erstatte konvensjonelle plastisitetegrensbestemmelse med undersøkelse av vanninnhold og sug.

Ut fra egne forsøk med 4 punkter er det ikke mulig å bestemme vendepunktene. Det ble i området 2,5 til 100 t/m^2 tilnærmet lineær sammenheng mellom vanninnhold og logaritmen til trykket (se avsnitt 6.4). Trykket som gir et vanninnhold lik flytegrensen varierer. Det ligger lavt for de mest plastiske materialene (0,5 - 1 t/m^2) og høyere for stivere materialer (opp til 10 t/m^2).

Dette gjenspeiler etter min mening den prinsipielle forskjell på metodene. Flytegrensen bestemmes ved en korttidsbelastning mens vanninnhold ved ulike trykk, slik forskerne vil foreslå, blir langtidsbelastninger.

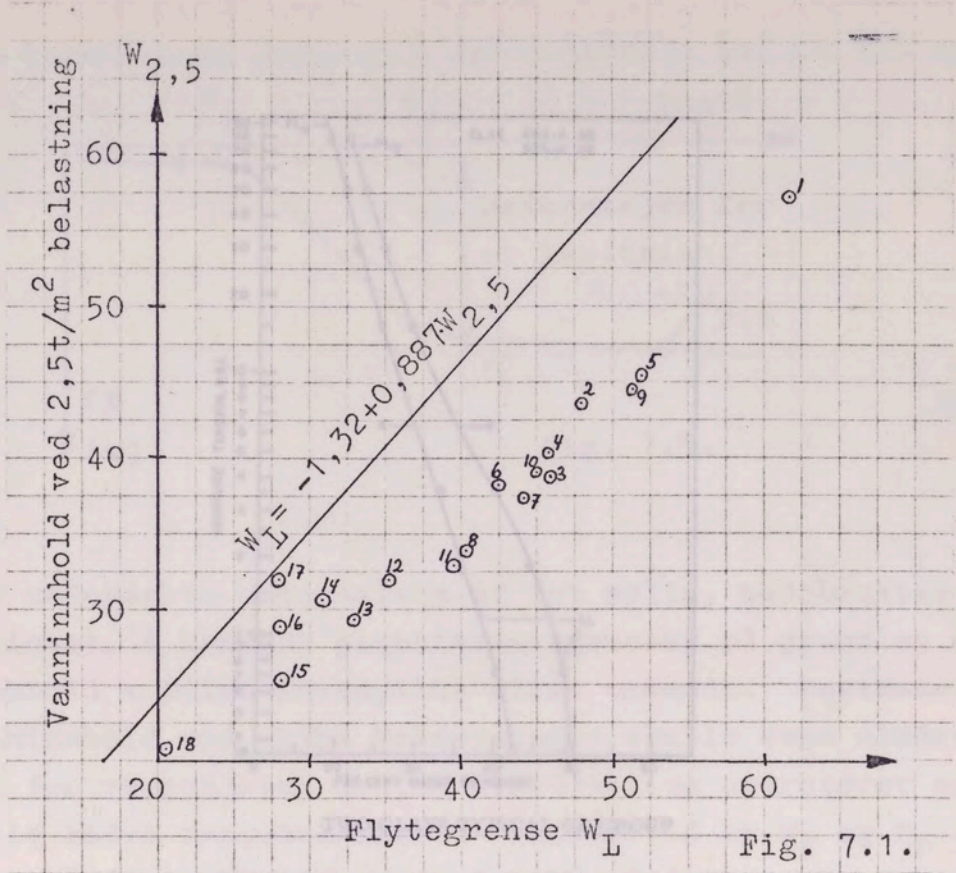


Fig. 7.1.

Fig. 7.4.

Fig. 7.5 viser hvor på tids-deformasjonskurven en kan tenke seg at henholdsvis W_{200} og $W_{2,5-200}$ blir bestemt. En skulle derfor

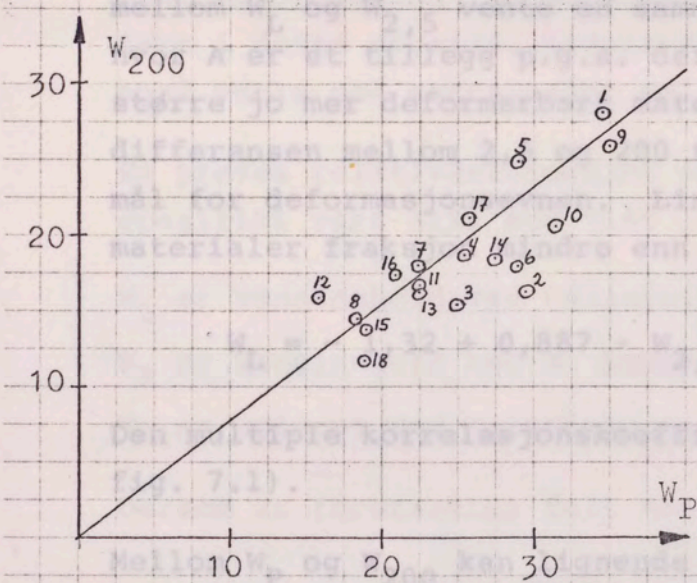


Fig. 7.2.

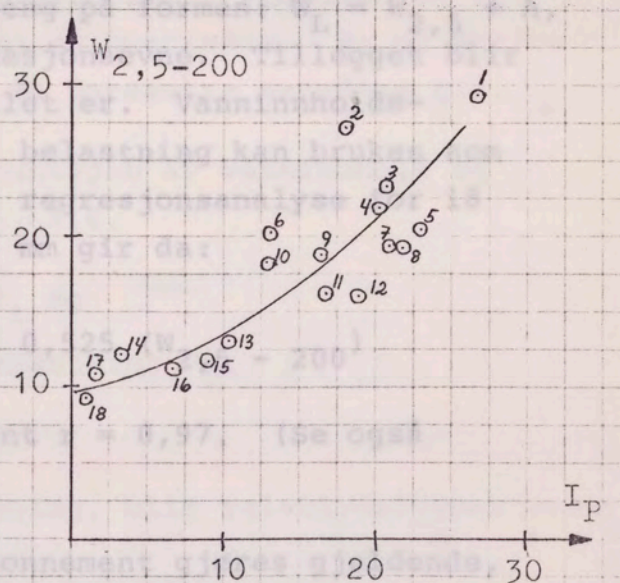


Fig. 7.3.

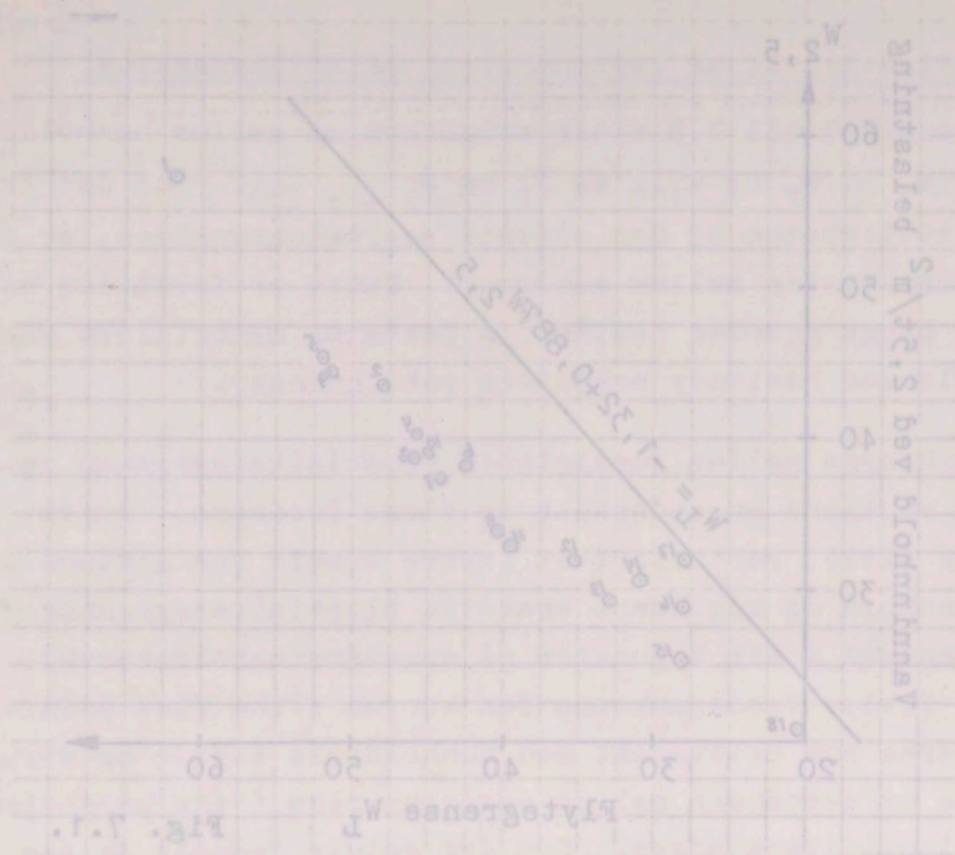


Fig. 7.1.

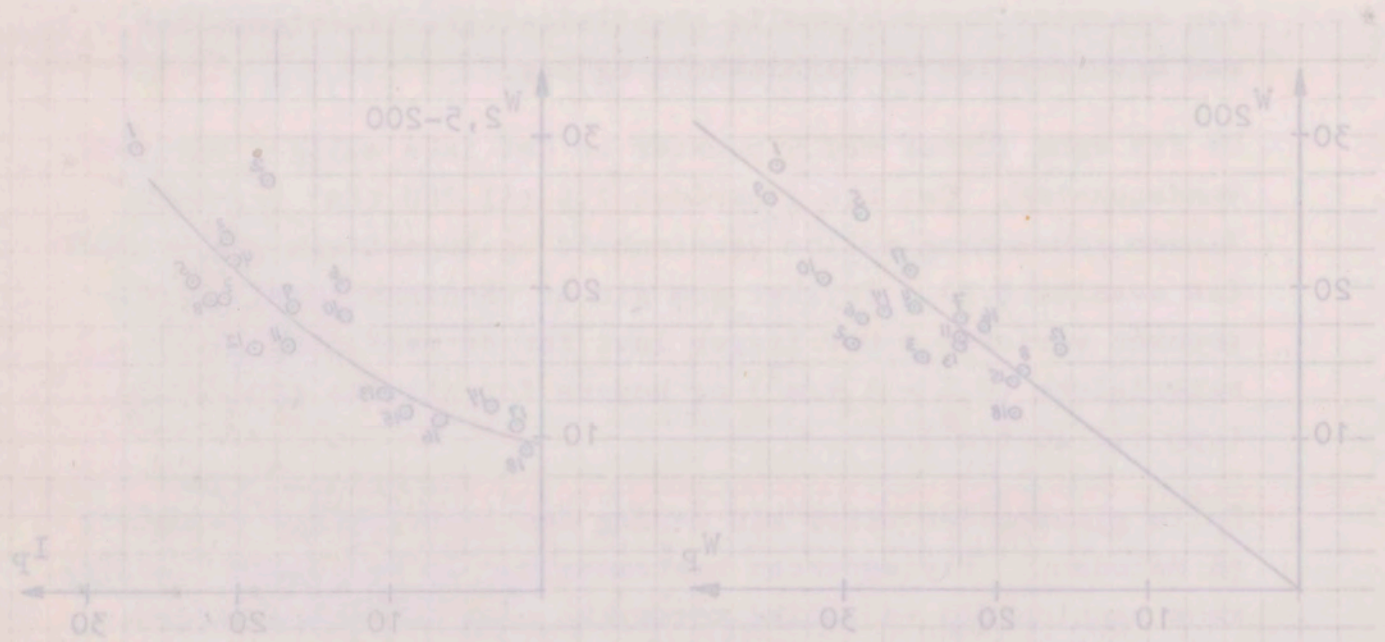
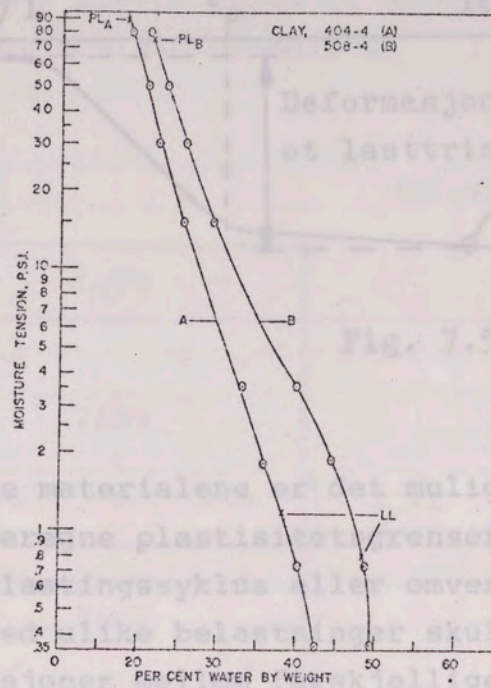


Fig. 7.2.

Fig. 7.3.



TWO CLAYS TYPICAL OF GROUP

Fig. 7.4.

Fig. 7.5 viser hvor på tids-deformasjonskurven en kan tenke seg at henholdsvis W_L og $W_{2,5}$ blir bestemt. En skulle derfor mellom W_L og $W_{2,5}$ vente en sammenheng på formen: $W_L = W_{2,5} + A$, hvor A er et tillegg p.g.a. deformasjonsevne. Tillegget blir større jo mer deformerbart materialet er. Vanninnholds-differensen mellom 2,5 og 200 t/m² belastning kan brukes som mål for deformasjonsevnen. Lineær regresjonsanalyse for 18 materialer fraksjon mindre enn 0,5 mm gir da:

W_1 er vanninnhold ved belastning P_1 og

$$W_L = -1,32 + 0,887 \cdot W_{2,5} + 0,525 (W_{2,5} - 200)$$

Den multiple korrelasjonskoeffisient $r = 0,97$. (Se også fig. 7.1).

Dersom en forutsetter full vannmetning, blir relativdeformasjonen:

Mellom W_P og W_{200} kan lignende resonnement gjøres gjeldende, men utrullingsgrensen har større usikkerhet.

$$\epsilon = \frac{\Delta V}{V} = \frac{Y_W - Y_S}{Y_S} = \frac{1}{Y_S} \left(\frac{Y_W - Y_S}{1 + \frac{W_2 - Y_S}{Y_W}} \right) = \frac{Y_W - Y_S}{Y_S + W_2}$$

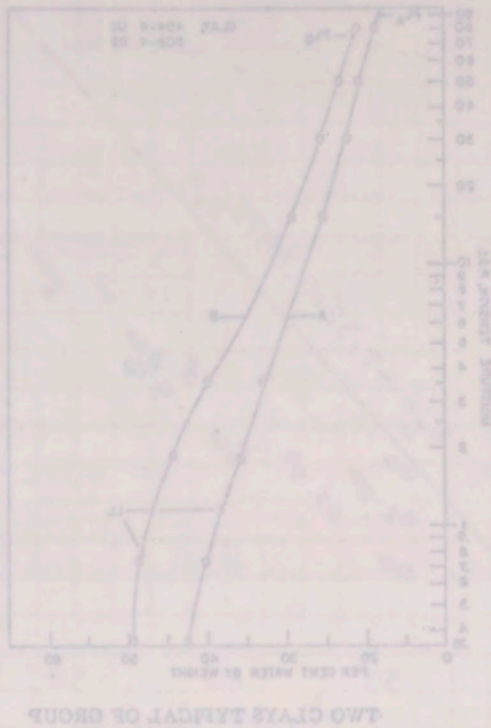


Fig. 7.4.

Fig. 7.5 viser hvor på tids-deformasjonskurven en kan tenke seg at henholdsvis W_L og $W_{2,5}$ blir bestemt. En skilje derfor mellom W_L og $W_{2,5}$ venter en sammenheng på formen: $W_L = W_{2,5} + A$, hvor A er et tillegg p.g.a. deformasjonene. Tillegget blir større jo mer deformerbart materialet er. Vanninnholdsdifferensen mellom 2,5 og 200 t/m^2 belastning kan brukes som mål for deformasjonene. Linær regresjonsanalyse for 18 materialer fra koston mindre enn 0,5 mm gir da:

$$W_L = -1,32 + 0,887 \cdot W_{2,5} + 0,525 (W_{2,5} - 200)$$

Den multiple korrelasjonskoeffisient $r = 0,97$. (Se også fig. 7.1).

Mellom W_p og W_{200} kan lignende resonnerment gjøres gjeldende, men utvillinggrensen har større usikkerhet.

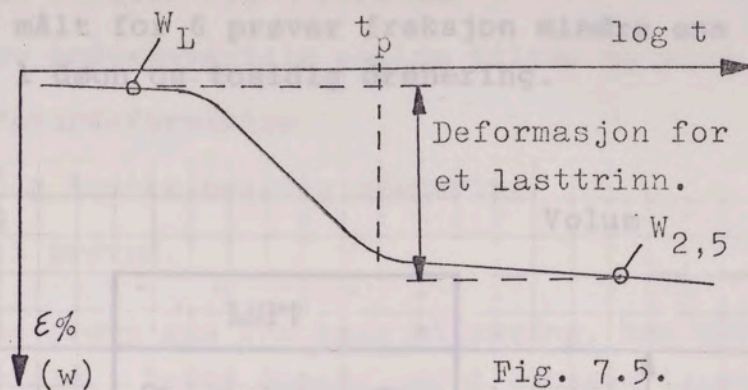


Fig. 7.5.

For de undersøkte materialene er det mulig, med brukbar nøyaktighet, å beregne plastisitetensgrenser på grunnlag av vanninnhold i pålastingssyklus eller omvendt. Bestemmelse av vanninnhold ved ulike belastninger skulle være mindre utsatt for variasjoner mellom forskjellige operatører og følgelig bedre reproducerbart. Imidlertid er W_L og W_P så fast etablert at hittil ingen forsøk på å erstatte dem med andre metoder har slått virkelig gjennom.

7.3. Deformasjonsegenskaper og vanninnhold i pålastingssyklus.

Slik deformasjons- og vannutpressingsforsøk i ødometer er utført i dette arbeide, ligner de mye på hverandre. En må derfor også vente god korrelasjon mellom de parametre metodene gir.

En prøves relativdeformasjon som funksjon av vanninnhold og spesifikk vekt blir som vist i fig. 7.6.

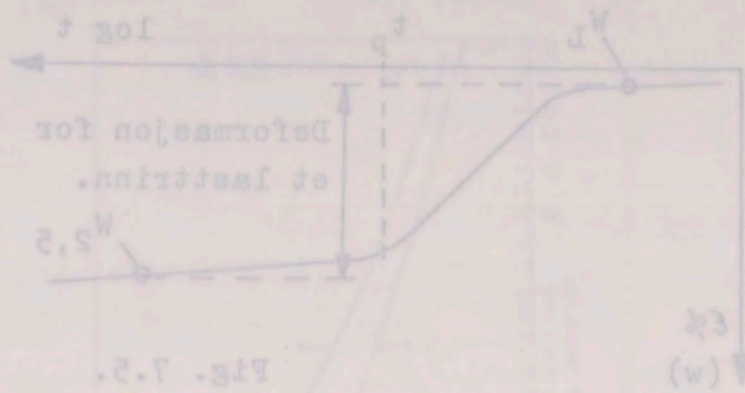
W_1 er vanninnhold ved belastning P_1 og

W_2 er vanninnhold ved en høyere belastning P_2 .

V er volumet ved belastningen P_2 .

Dersom en forutsetter full vannmetning, blir relativdeformasjonen:

$$\epsilon = \frac{\Delta V}{V} = \frac{(W_1 - W_2) \gamma_S}{1 + \frac{W_2 \cdot \gamma_S}{\gamma_W}} = \frac{W_1 - W_2}{\frac{\gamma_W}{\gamma_S} + W_2}$$



For de undersøkte materialene er det mulig, med brukbar nøyaktighet, å beregne plastisitetstegnener på grunnlag av vanninnhold i pålastingsøyeblikket eller omvendt. Bestemmelse av vanninnhold ved ulike belastninger skulle være mindre utsett for variasjoner mellom forskjellige operatører og følgelig bedre reproducerbar. Imidlertid er W_L og W_p så fast etablert at littl ingen forsøk på å erstatte dem med andre metoder har sålt virkelig gjennom.

7.3. Deformasjonsendringer og vanninnhold i pålastingsøyeblikket.

Slik deformasjons- og vanninnholdsforsøk i ødometer er utført i dette arbeide, ligner de mye på hverandre. En må derfor også vente god korrelasjon mellom de parametre metodene gir.

En prøves relativdeformasjon som funksjon av vanninnhold og spesifikk vekt blir som vist i fig. 7.6.

W_1 er vanninnhold ved belastning P_1 og

W_2 er vanninnhold ved en høyere belastning P_2 .

V er volumet ved belastningen P_2 .

Derom en forutsetter full vannmetning, blir relativdeformasjonen:

$$\epsilon = \frac{\Delta V}{V} = \frac{W_1 - W_2}{W_2} \cdot \frac{W_2}{W_2 + W_2} = \frac{W_1 - W_2}{W_2} \cdot \frac{W_2}{W_2 + W_2}$$

Som en kontroll på dette ble deformasjonen mellom 2,5 og 200 t/m² målt for 6 prøver fraksjon mindre enn 0,5 mm. Trinntid 1 døgn og tosidig drenering.

b) Apparatdeformasjon.

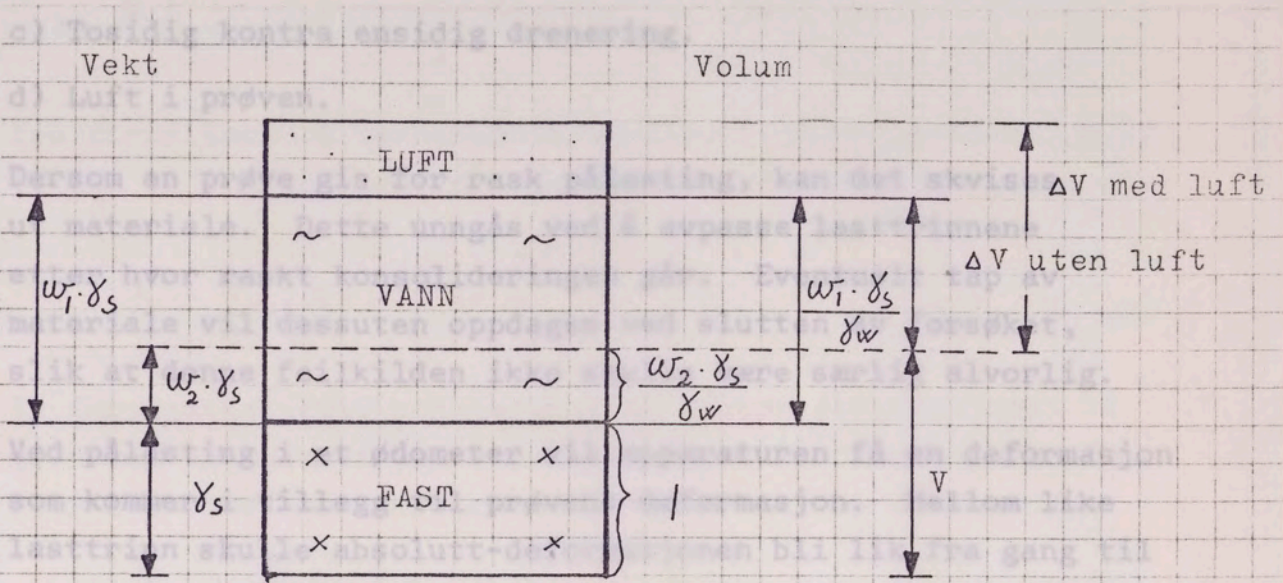


Fig. 7.6.

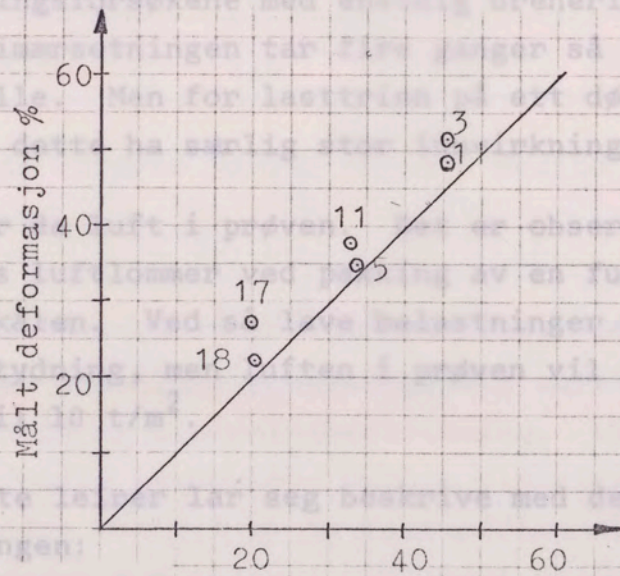
Sammenhengen var god, men de målte deformasjoner ble noe høyere enn de beregnede, som vist i fig. 7.7.

Deformasjonsforsøkene er kjørt med tosidig drenering og vannutpressingsforsøkene med ensidig drenering. Dette medfører at prøvetilstanden tar seg lang tid i det siste tilfellet. Men for lasttilstander som skal være vel heller ikke er det så stort et problem.

Tilbake står i prøver som er observert at det vil kunne dannes luftbobler i prøven ved en luftig omrørt prøve i ødometerskålen. Ved slike belastninger som 1,5 t/m² vil dette ha betydning for resultatene. Ved større belastninger vil redukeres sterkt alt ved 5 t/m².

De undersøkte leire lar seg beskrive med deformasjonsmodul etter ligningen:

$$e = \frac{1}{m} \ln \frac{P_2}{P_1}$$



Beregnet deformasjon Fig. 7.7.

Som en kontroll på dette ble deformasjonen mellom 2,5 og 200 t/m² målt for 6 prøver fra skjon mindre enn 0,5 mm. Trinnvis i åpn og tetsidig dreiering.

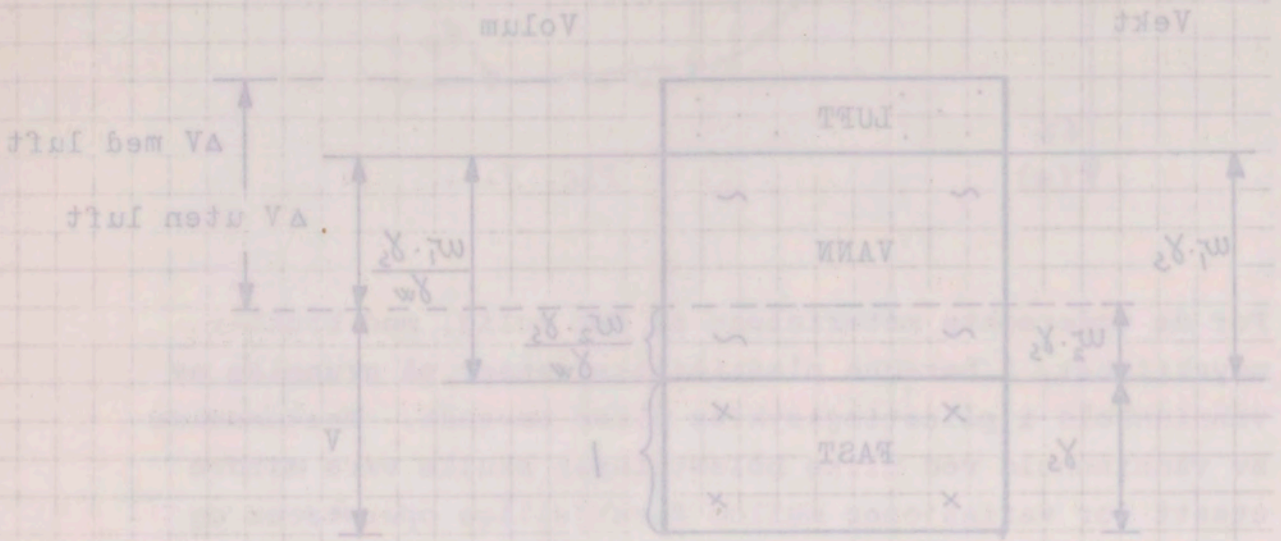
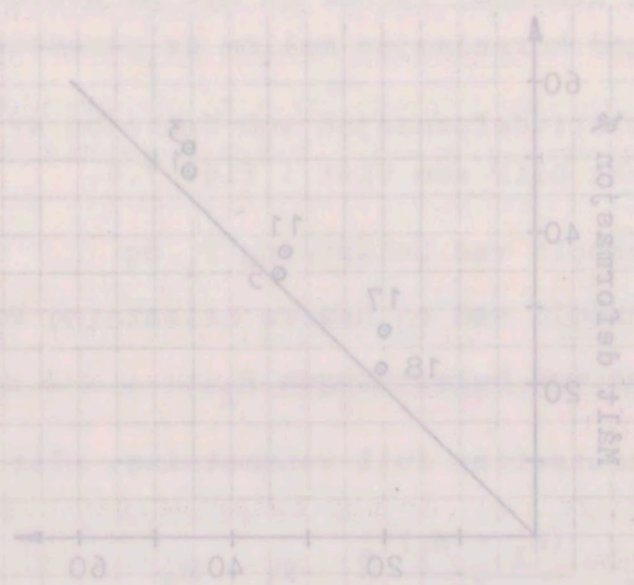


Fig. 7.6.

Sammenhengen var god, men de målte deformasjoner ble noe høyere enn de beregnede, som vist i fig. 7.7.



Beregnet deformasjon Fig. 7.7.

Dette kan skyldes flere forhold:

- a) Tap av prøvemateriale mellom filter og ring.
- b) Apparatdeformasjon.
- c) Tosidig kontra ensidig drenering.
- d) Luft i prøven.

Dersom en prøve gis for rask pålasting, kan det skvises ut materiale. Dette unngås ved å avpasse lasttrinnene etter hvor raskt konsolideringen går. Eventuelt tap av materiale vil dessuten oppdages ved slutten av forsøket, slik at denne feilkilden ikke skulle være særlig alvorlig.

Ved pålasting i et ødometer vil apparaturen få en deformasjon som kommer i tillegg til prøvens deformasjon. Mellom like lasttrinn skulle absolutt-deformasjonen bli lik fra gang til gang. Den relative betydning vil derfor avhenge av prøve-høyde og reelle deformasjoner. For materialer med så stor deformasjonsevne som de fleste undersøkte sleppematerialer blir apparaturdeformasjonen liten i forhold til de totale deformasjoner, og en har derfor sett bort fra den.

Deformasjonsforsøkene er kjørt med tosidig drenering og vannutpressingsforsøkene med ensidig drenering. Dette medfører at primærsetningen tar fire ganger så lang tid i det siste tilfelle. Men for lasttrinn på ett døgn skulle vel heller ikke dette ha særlig stor innvirkning.

Tilbake står da luft i prøven. Det er observert at det vil kunne dannes luftlommer ved pakking av en fuktig omrørt prøve i ødometerskålen. Ved så lave belastninger som $2,5 \text{ t/m}^2$ vil dette ha betydning, men luften i prøven vil reduseres sterkt alt ved 5 til 10 t/m^2 .

De undersøkte leirer lar seg beskrive med deformasjonsmodul etter ligningen:

$$\epsilon = \frac{1}{m} \ln \frac{P_2}{P_1}$$

Debet kan vidare delas upp i:

- (a) Top av maskinmaterial som ligger på lager
- (b) Apparaturmaterial
- (c) Föreläsningskostnader som tillhör föreläsaren
- (d) Litteratur

Debet kan vidare delas upp i följande grupper:

- (a) Materialkostnader för föreläsningen
- (b) Kostnader för apparaturmaterial
- (c) Kostnader för föreläsningen
- (d) Kostnader för litteratur

Vid beräkningen av de kostnader som tillkommer för en föreläsning, bör man utgå från de kostnader som tillkommer för en föreläsning. Detta innebär att man bör utgå från de kostnader som tillkommer för en föreläsning. Detta innebär att man bör utgå från de kostnader som tillkommer för en föreläsning.

De kostnader som tillkommer för en föreläsning kan delas upp i följande grupper:

- (a) Materialkostnader
- (b) Kostnader för apparaturmaterial
- (c) Kostnader för föreläsningen
- (d) Kostnader för litteratur

De kostnader som tillkommer för en föreläsning kan delas upp i följande grupper:

- (a) Materialkostnader
- (b) Kostnader för apparaturmaterial
- (c) Kostnader för föreläsningen
- (d) Kostnader för litteratur

De kostnader som tillkommer för en föreläsning kan delas upp i följande grupper:

- (a) Materialkostnader
- (b) Kostnader för apparaturmaterial
- (c) Kostnader för föreläsningen
- (d) Kostnader för litteratur

$$e = \frac{1}{1 + \frac{p}{m}}$$

Modultallet kan følgelig uttrykkes som:

$$m = \frac{\ln \frac{P_2}{P_1}}{\epsilon} = \frac{\ln \frac{P_2}{P_1} \left(\frac{\gamma_W}{\gamma_S} + W_2 \right)}{W_1 - W_2}$$

Fra forsøkene med vanninnhold i pålastingssyklus (avsn. 6.4) så det ut til at vanninnholdsdifferensen kunne uttrykkes som:

$$W_1 - W_2 = \Delta W = \frac{1}{k} \ln \frac{P_2}{P_1}$$

En forutsetter full vannmetning og regner deformasjonen på grunnlag av volumet ved belastning P_2 . For samme lasttrinn blir forholdet mellom utpresset vannmengde og deformasjon:

$$\frac{\Delta W}{\epsilon} = \left(\frac{m}{k} \right) = \frac{W \left(\frac{\gamma_W}{\gamma_S} + W_2 \right)}{W} = \frac{\gamma_W}{\gamma_S} + W_2$$

For $\gamma_S \approx 2,8$ får en da:

W_2	0	0,15	0,25	0,35	0,65
$\frac{\Delta W}{\epsilon}$	0,35	0,5	0,6	0,7	1,0

W_{200} har i de utførte forsøk variert mellom ca. 12% (nr. 18) til 55% (bentonitt).

7.4. Plastisitet, kornfordeling og mineralogi.

Et materiales plastiske egenskaper vil være en funksjon av finstoffinnhold og mineralsammensetning. Lineær regresjonsanalyse gir bedre sammenheng mellom plastisitetsindeks av fraksjon mindre enn 0,5 mm og finstoffinnhold når andel mindre enn 20 μm brukes som mål enn når andel mindre enn 2 μm brukes (r henholdsvis 0,79 og 0,66). Dette synes å støtte antagelsen om at leirmineraler i slepper kan ha høyere kornstørrelse enn

Modultallet kan tilsvarende uttrykkes som:

$$m = \frac{1}{\frac{1}{W_1} + \frac{1}{W_2}} = \frac{W_1 W_2}{W_1 + W_2}$$

For forskene med vanninnhold i pålestuskyt (savn, 6.4) så det ut til at vanninnholdsdifferensen kunne uttrykkes som:

$$W_1 - W_2 = \Delta W = \frac{1}{K} \ln \frac{P_1}{P_2}$$

En forutsetter full vannetpning og regner deformasjonen på grunnlag av volumer ved betjening P₁ for samme lastning. Dette forholdet mellom utpresset vannmengde og deformasjon:

$$\frac{\Delta W}{K} = \frac{W_1 - W_2}{K} = \frac{1}{K} \ln \frac{P_1}{P_2} = \frac{W_1 - W_2}{W_1 + W_2} \ln \frac{P_1}{P_2}$$

For γ = 0.8 får en da:

W ₁	0	0.25	0.5	0.75	1.0
ΔW	0	0.15	0.3	0.45	0.6

W₂₀₀ har i de utførte forsøk variert mellom ca. 1.5 (nr. 18) til 2.5 (Centonier).

V. W. Passerelli: Mineralogische Untersuchung der Kalkstein- und Marmorarten.
 Et materielle plastiske egenskaper vil være en funksjon av
 finstoffinnhold og mineralsammensetning. Linær regressions-
 analyse gir bedre sammenheng mellom plastisitetindeks av
 fraktesjondens enn 0.5 og finstoffinnhold når andel mindre
 enn 20 μm brukes som mål enn når andel mindre enn 2 μm brukes
 (r. henholdsvis 0.73 og 0.66). Dette synes å støtte antagelsen
 om at leirmineraler i steper kan ha høyere korneretning enn

i kvartære leirer og bli godt over 2 μm (Brekke 1963).
Fig. 7.8 viser sammenhengen mellom I_p og andel mindre enn 20 μm .

Plastisitetsindeksen vil påvirkes av mange typer leirmineraler. Sterkest vil den øke med økende innhold av montmorillonitt. Korrelasjonen mellom I_p og montmorillonittinnhold alene blir ikke særlig god, $r = 0,46$ for DTA og $r = 0,40$ for røntgen. Grunnen til dette er nok at de undersøkte materialer er forholdsvis lite plastiske (I_p mindre enn 27) slik at de plastiske egenskaper kan skyldes andre leirmineraler enn montmorillonitt. Dersom plastisiteten undersøkes på en finere fraksjon, vil sannsynligvis korrelasjonen til montmorillonittinnhold bli bedre.

På fig. 7.9 er prosent mindre enn 20 μm og montmorillonittinnhold fra DTA kombinert.

Multipel regresjonsanalyse gir:

$$I_p = - 2,70 + 0,42 X_1 + 0,042 X_2$$

hvor X_1 = del av laboratorieprøve mindre enn 20 μm og

X_2 = areal av DTA-utslag for montmorillonitt ved 700°C i mm^2 .

Korrelasjonskoeffisienten $r = 0,89$ viser at mye av de undersøkte materialenes plastiske egenskaper lar seg forklare ut fra kornfordeling og montmorillonittinnhold.

Med resultatene fra røntgen gir regresjonsanalyse:

$$I_p = - 2,71 + 0,41 X_1 + 0,108 X_2$$

hvor X_1 = del av laboratorieprøve mindre enn 20 μm og

X_2 = % montmorillonitt bestemt ved røntgen.

Korrelasjonskoeffisienten blir her $r = 0,84$, altså noe svakere sammenheng.

1 kvartier for en
1 kvartier for en
1 kvartier for en

1 kvartier for en
1 kvartier for en
1 kvartier for en

1 kvartier for en
1 kvartier for en
1 kvartier for en

1 kvartier for en
1 kvartier for en
1 kvartier for en

1 kvartier for en
1 kvartier for en
1 kvartier for en

1 kvartier for en
1 kvartier for en
1 kvartier for en

1 kvartier for en
1 kvartier for en
1 kvartier for en

1 kvartier for en
1 kvartier for en
1 kvartier for en

1 kvartier for en
1 kvartier for en
1 kvartier for en

1 kvartier for en
1 kvartier for en
1 kvartier for en

1 kvartier for en
1 kvartier for en
1 kvartier for en

1 kvartier for en
1 kvartier for en
1 kvartier for en

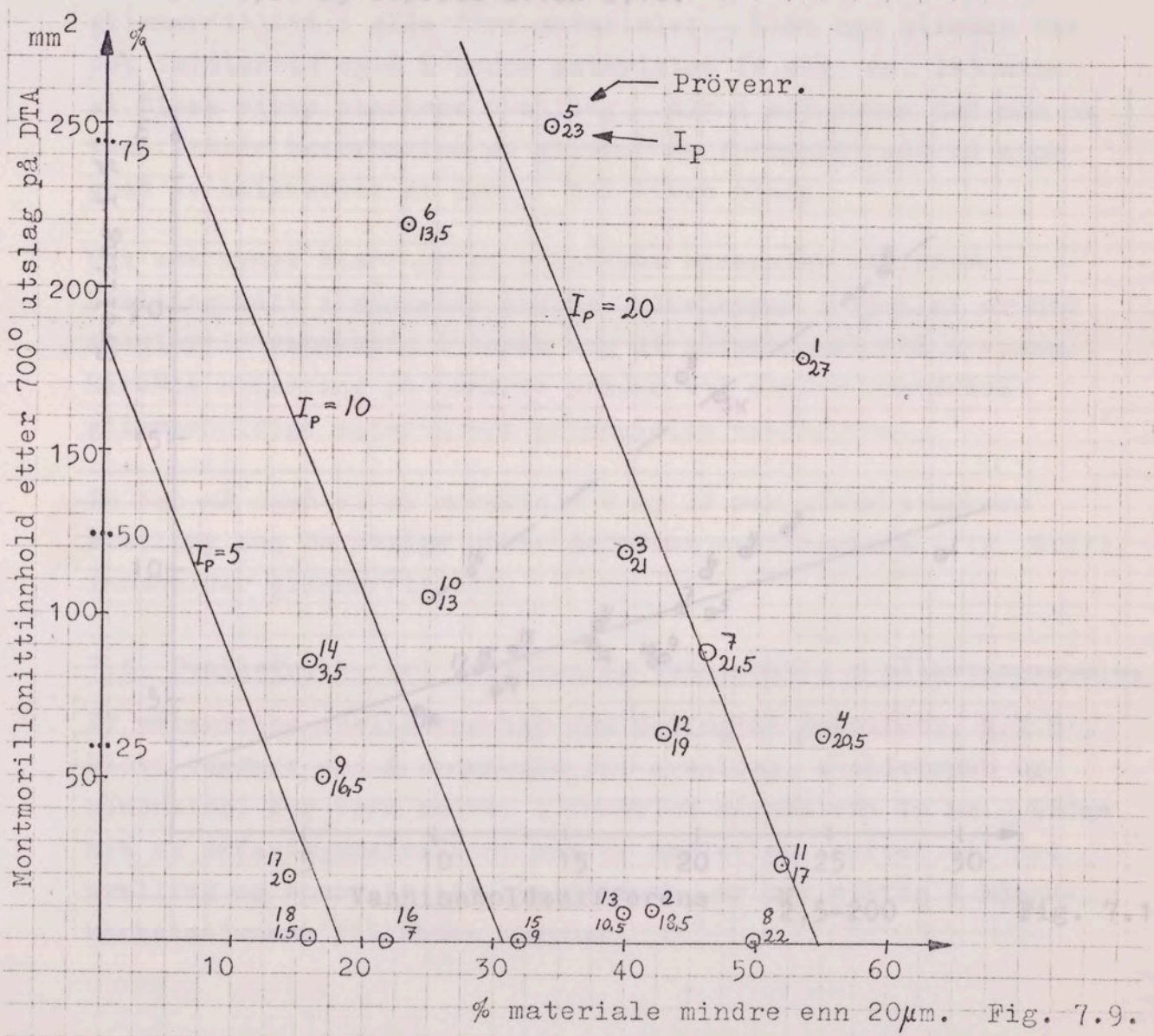
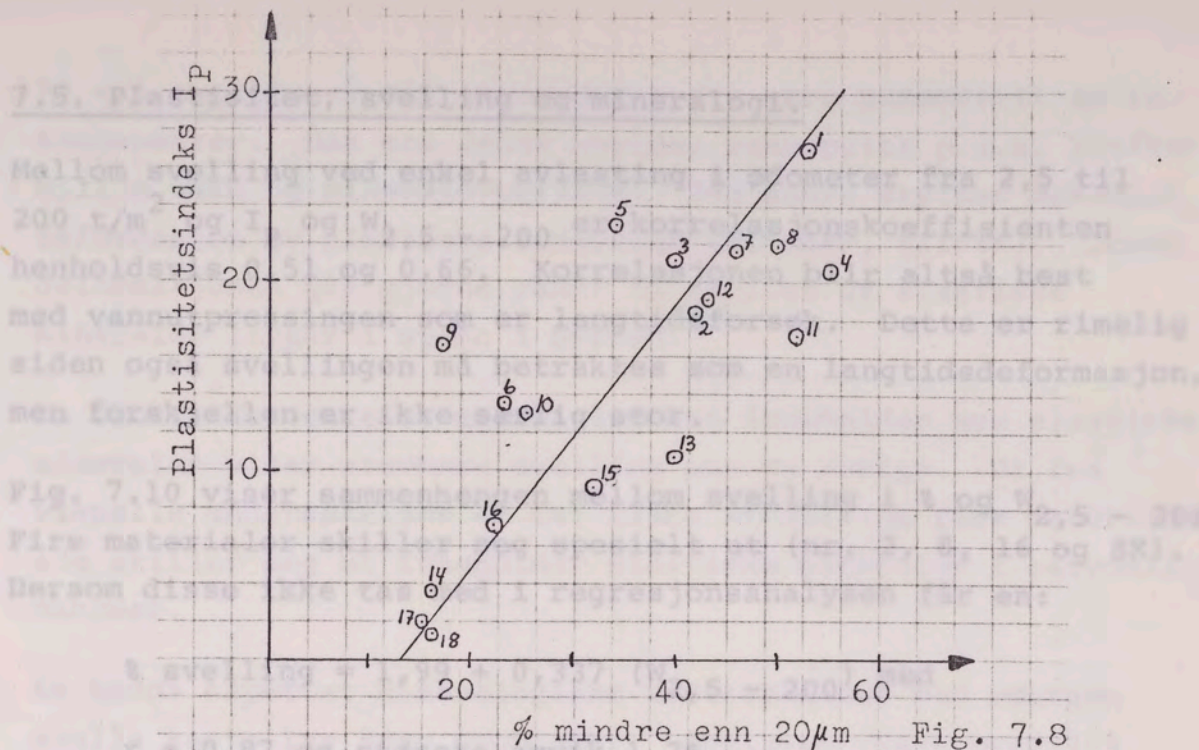
1 kvartier for en
1 kvartier for en
1 kvartier for en

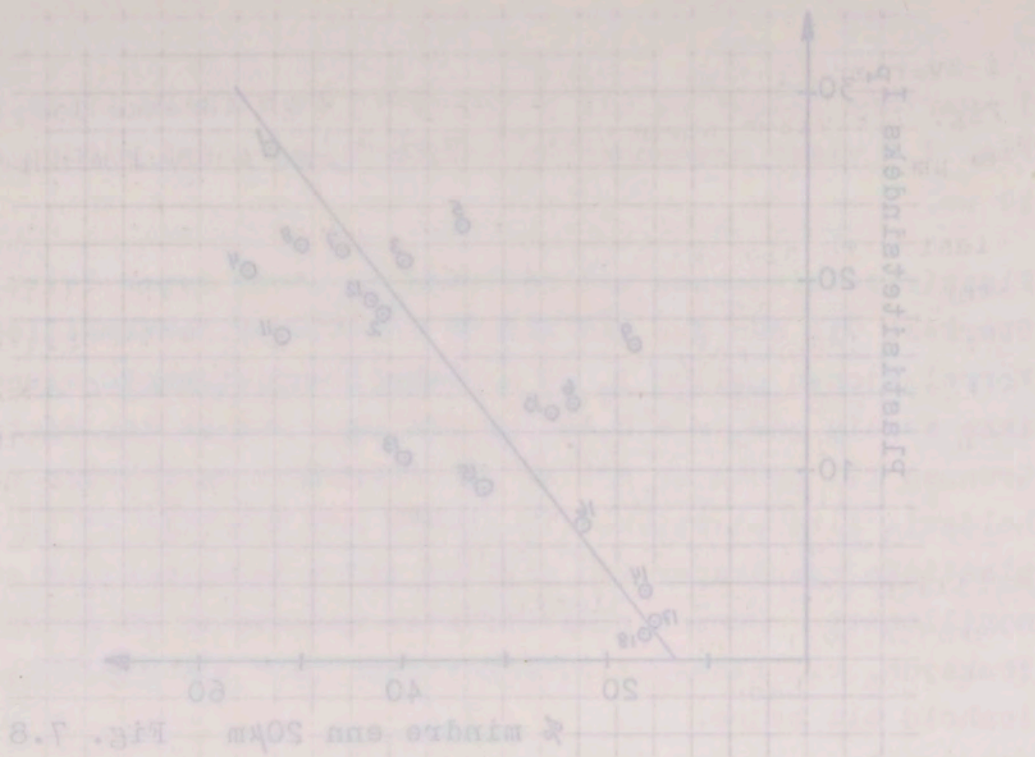
1 kvartier for en
1 kvartier for en
1 kvartier for en

1 kvartier for en
1 kvartier for en
1 kvartier for en

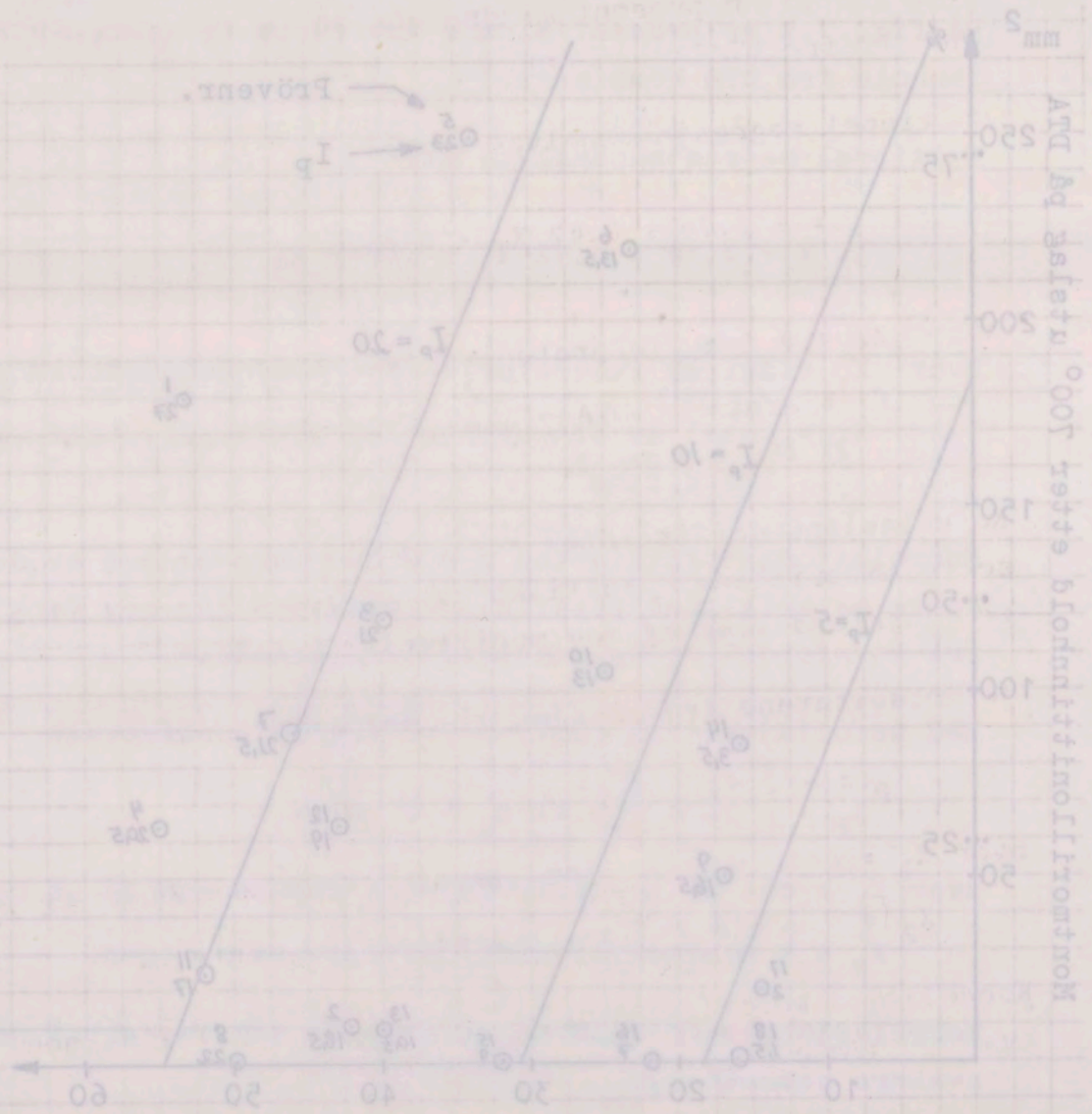
1 kvartier for en
1 kvartier for en
1 kvartier for en

1 kvartier for en
1 kvartier for en
1 kvartier for en





* mindre enn 20km. Fig. 7.8



* materiale mindre enn 20km. Fig. 7.9

7.5. Plastisitet, svelling og mineralogi.

Mellom svelling ved enkel avlastning i ødometer fra 2,5 til 200 t/m² og I_P og $W_{2,5-200}$ er korrelasjonskoeffisienten henholdsvis 0,51 og 0,66. Korrelasjonen blir altså best med vannutpressingen som er langtidsforsøk. Dette er rimelig siden også svellingen må betraktes som en langtidsdeformasjon, men forskjellen er ikke særlig stor.

Fig. 7.10 viser sammenhengen mellom svelling i % og $W_{2,5-200}$. Fire materialer skiller seg spesielt ut (nr. 2, 8, 16 og SK). Dersom disse ikke tas med i regresjonsanalysen får en:

$$\% \text{ svelling} = 1,99 + 0,337 (W_{2,5-200}) \text{ med}$$

$$r = 0,87 \text{ og største avvik } 1,7\%.$$

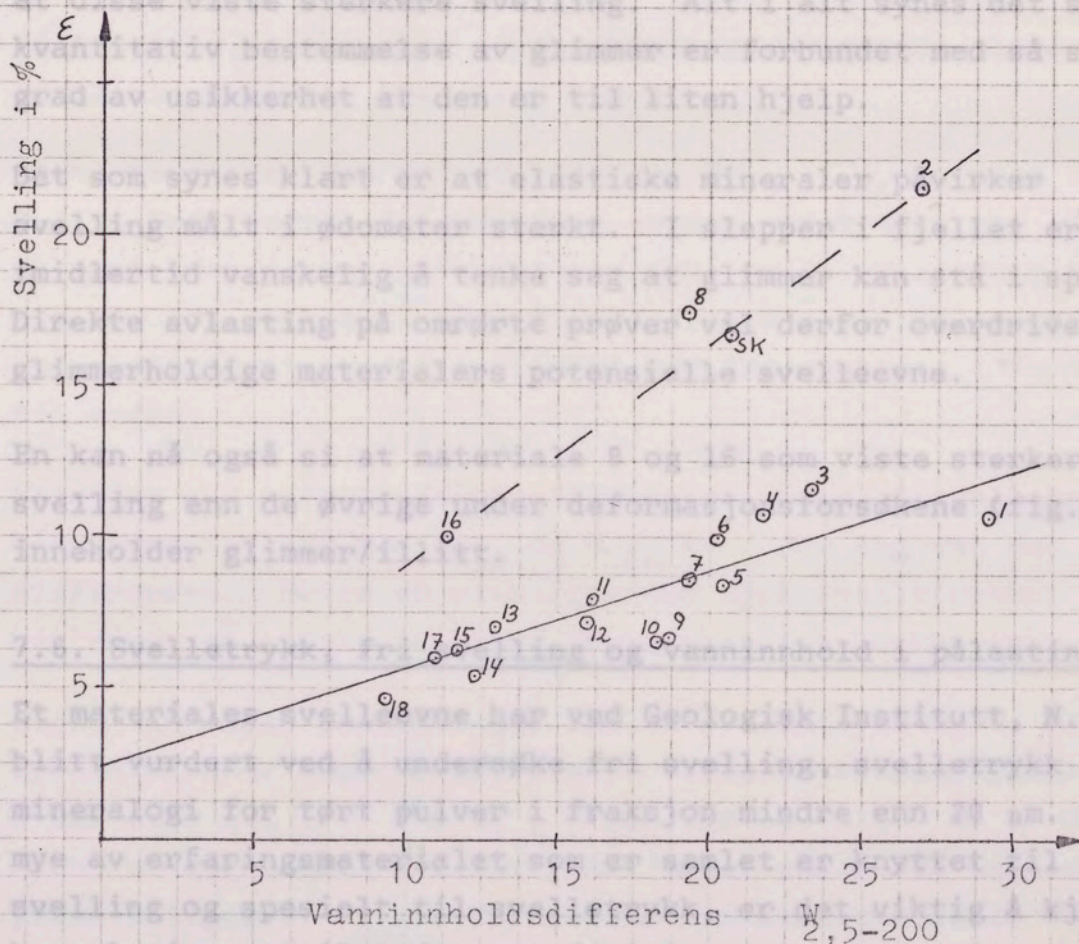


Fig. 7.10.

7.5. Plaststatist, sveiling og mineralogi.

Mellom sveiling ved enkel avlastning i 2,5 til 200 t/m² og I_p og W_{2,5} - 200 er korrelasjonskoeffisienten henholdsvis 0,51 og 0,66. Korrelasjonen blir altså best med vannutpressingen som er langtidsforsk. Dette er rimelig siden også sveilingen må betraktes som en langtidsformasjon, men forskjellen er ikke særlig stor.

Fig. 7.10 viser sammenhengen mellom sveiling i 2 og W_{2,5} - 200. Fire materiale skiltes ut spesielt ut (nr. 2, 8, 16 og 24). Deres disse ikke tas med i regresjonsanalysen får en:

sveiling = 1,99 + 0,337 (W_{2,5} - 200) med

r = 0,87 og største avvik 1,78.

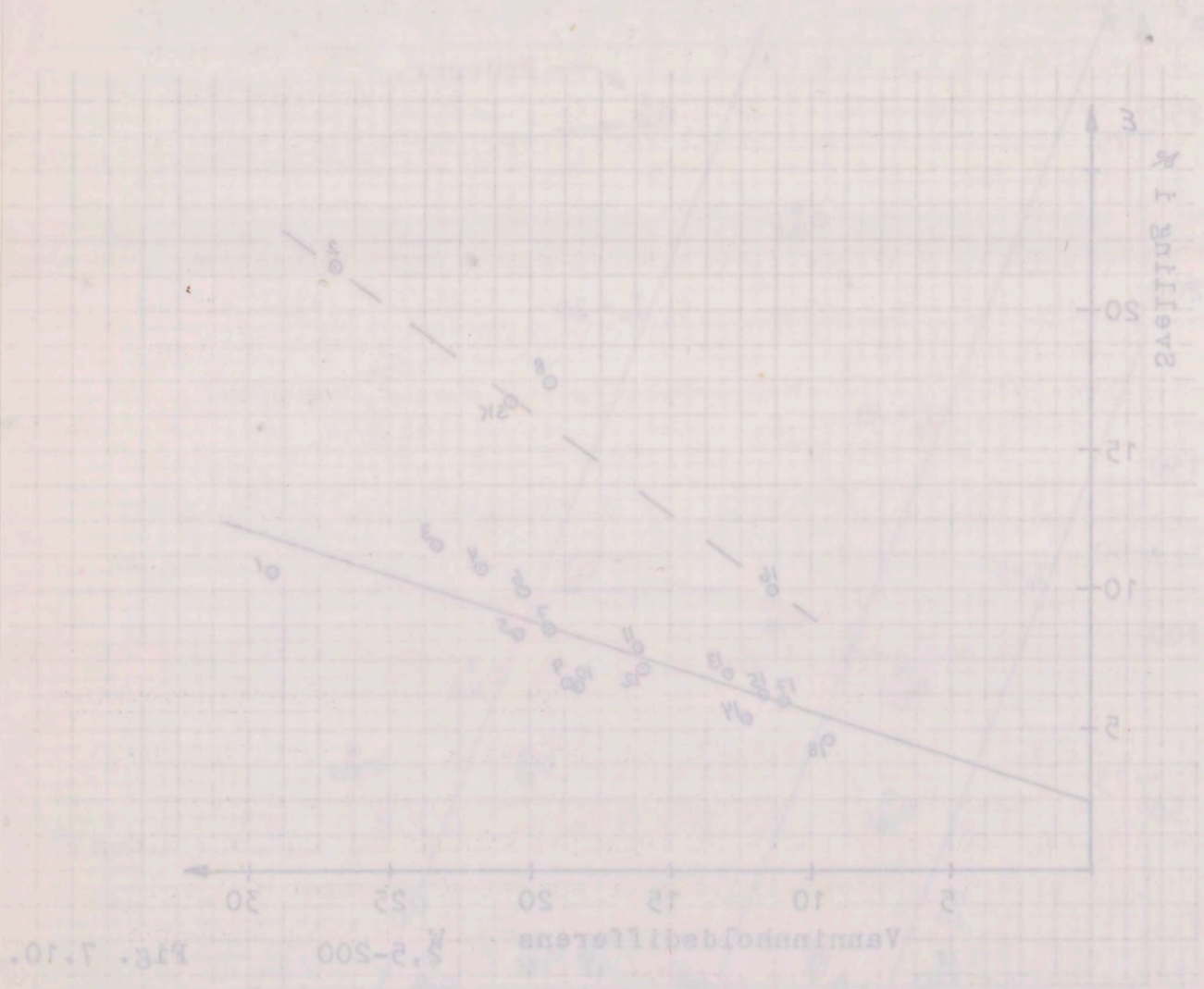


Fig. 7.10.

Nå vil svellingen til en omrørt prøve være sammensatt av to komponenter. Den ene delen skyldes vannopptak p.g.a. krefter mellom vann og mineraloverflate. Den andre skyldes mekanisk deformasjon av elastiske mineraler (glimmer, illitt). Denne deformasjonen går gjerne raskt og skyldes at elastiske mineraler ligger i spenn i prøven.

En skulle da vente at materialer som inneholder mye elastiske mineraler viser sterkere svelling enn de øvrige. Ut fra visuelle undersøkelser er det klart at alle de fire materialene som skiller seg ut inneholder elastiske mineraler i betydelige mengder.

En hadde håpet at mineralogiske undersøkelser med røntgen skulle kaste lys over problemet. Analysen viste over 20% glimmer/illitt i alle fire materialer. Like mye glimmer var det imidlertid også i andre materialer (f.eks. nr. 14) uten at disse viste sterkere svelling. Alt i alt synes det som om kvantitativ bestemmelse av glimmer er forbundet med så stor grad av usikkerhet at den er til liten hjelp.

Det som synes klart er at elastiske mineraler påvirker svelling målt i ødometer sterkt. I slepper i fjellet er det imidlertid vanskelig å tenke seg at glimmer kan stå i spenn. Direkte avlastning på omrørte prøver vil derfor overdrive glimmerholdige materialers potensielle svelleevne.

En kan nå også si at materiale 8 og 16 som viste sterkere svelling enn de øvrige under deformasjonsforsøkene (fig. 6.17), inneholder glimmer/illitt.

7.6. Svelletrykk, fri svelling og vanninnhold i pålastingsyklus.

Et materiales svelleevne har ved Geologisk Institutt, N.T.H., blitt vurdert ved å undersøke fri svelling, svelletrykk og mineralogi for tørt pulver i fraksjon mindre enn 20 μm . Siden mye av erfaringsmaterialet som er samlet er knyttet til fri svelling og spesielt til svelletrykk, er det viktig å kjenne korrelasjonene til andre metoder.

For å undersøke dette er det tørkede og nedmalte pulveret fuktet opp, og en bestemte $W_{2,5}$ og W_{200} som beskrevet i avsnitt 4.3. Dette ble gjort for i alt 15 materialer. For disse materialene ble det kjørt lineær regresjonsanalyse som ga følgende partielle korrelasjonskoeffisient:

	$W_{2,5}$	W_{200}	$W_{2,5} - 200$	Fri svelling	Svelletrykk
W_{200}	0,945	-	0,817	0,930	0,895
$W_{2,5} - 200$	0,960	0,817	-	0,796	0,791
Fri svelling	0,900	0,930	0,796	-	0,801
Svelletrykk	0,880	0,895	0,791	0,801	-

På tross av at metodene er forskjellige, viser de altså en korrelasjon på ca. 0,8 eller bedre.

Sammenhengen mellom fri svelling og $W_{2,5} - 200$ er vist i fig. 7.11. Prøvene til fri svelling er som nevnt målt opp lik 10 ml tørt løst pakket materiale og ikke veid. Bladige mineraler som får løs pakking i tørr tilstand, men parallellorienteres ved sedimentasjon, vil derfor få lav fri svelling i forhold til andre.

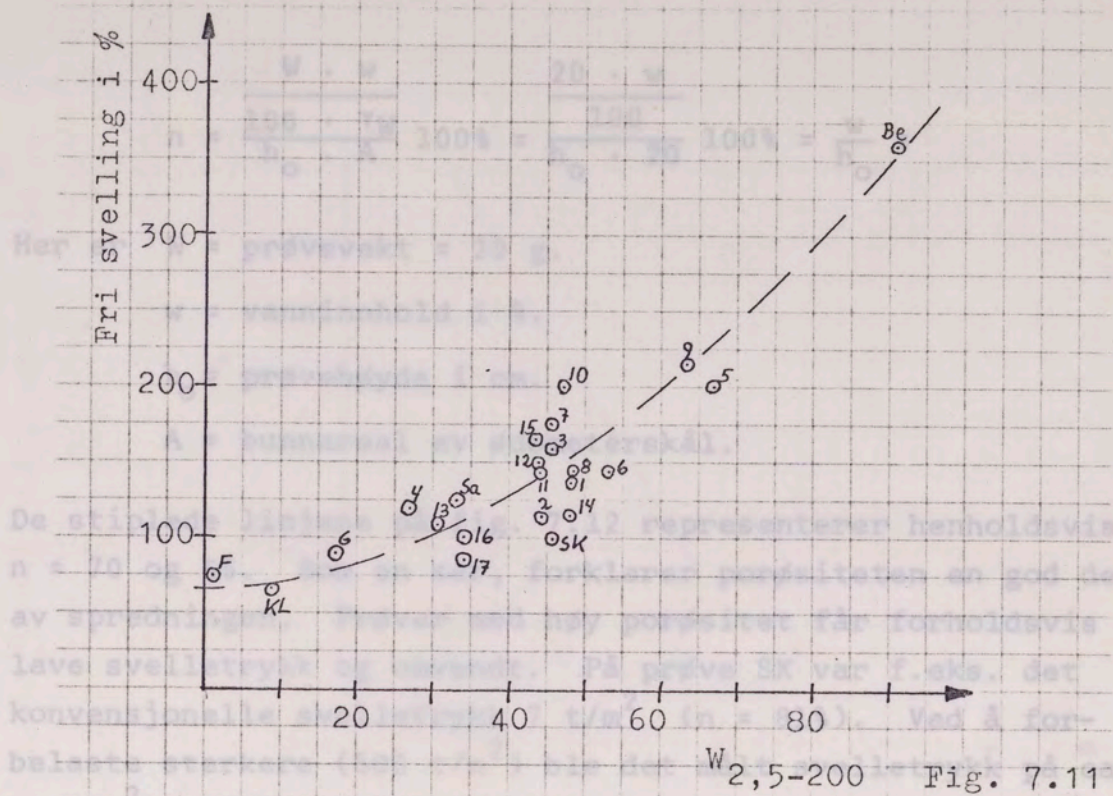
Tabellen med korrelasjonskoeffisienter viser at svelletrykk har bedre samsvar med $W_{2,5}$ og W_{200} hver for seg enn med differensen. Dette er rimelig siden også svelletrykket bare bestemmer et enkelt punkt på trykk-vanninnholdskurven.

Fig. 7.12 viser sammenhengen mellom svelletrykk og $W_{2,5} - 200$. Spredningen er meget stor, f.eks. varierer svelletrykket fra 7 til over 100 t/m² for $W_{2,5} - 200$ lik ca. 45%. Nå er det kjent at forholdene svelletrykket måles under kan variere fra prøve til prøve. Disse forholdene kan karakteriseres ved f.eks. porøsitet $n = \frac{\text{Porevolum}}{\text{Totalvolum}}$. Dersom en forutsetter full vannmetning, blir da:

For 2 undersøgte dette er det tørkede og nedbrudte pulveret
 for 3 undersøgte er det tørkede og nedbrudte pulveret
 for 4 undersøgte er det tørkede og nedbrudte pulveret
 for 5 undersøgte er det tørkede og nedbrudte pulveret
 for 6 undersøgte er det tørkede og nedbrudte pulveret
 for 7 undersøgte er det tørkede og nedbrudte pulveret
 for 8 undersøgte er det tørkede og nedbrudte pulveret
 for 9 undersøgte er det tørkede og nedbrudte pulveret
 for 10 undersøgte er det tørkede og nedbrudte pulveret

	W 200	W 250	W 300	W 350	W 400
Svejltryk	0,880	0,930	0,970	0,980	0,985
Svejltryk	0,880	0,930	0,970	0,980	0,985
Svejltryk	0,880	0,930	0,970	0,980	0,985
Svejltryk	0,880	0,930	0,970	0,980	0,985
Svejltryk	0,880	0,930	0,970	0,980	0,985
Svejltryk	0,880	0,930	0,970	0,980	0,985
Svejltryk	0,880	0,930	0,970	0,980	0,985
Svejltryk	0,880	0,930	0,970	0,980	0,985
Svejltryk	0,880	0,930	0,970	0,980	0,985
Svejltryk	0,880	0,930	0,970	0,980	0,985

Tabellen med korrelationskoefficienter viser at
 korrelationen mellem de forskellige værdier er
 meget høj, hvilket tyder på en stærk sammenhæng
 mellem de undersøgte faktorer. De høje værdier
 i tabellen indikerer, at de forskellige prøver
 er meget ensartede og viser en høj grad af
 reproducerbarhed. Dette er et vigtigt resultat
 for den aktuelle undersøgelse, da det bekræfter
 den pålidelighed af de anvendte metoder og
 de indsamlede data. De høje korrelationsværdier
 understøtter den hypotesis, at de undersøgte
 faktorer er tæt forbundede og påvirker hin
 anden i en betydelig grad. Dette resultat er
 særligt interessant, fordi det viser, at selv
 når prøverne er taget fra forskellige steder
 og til forskellige tidspunkter, er der stadig
 en meget høj grad af ensartethed og sammenhæng
 mellem de forskellige værdier. Dette kan være
 et tegn på, at de undersøgte faktorer er
 meget stabile og påvirkede af de samme
 mekanismer. De høje værdier i tabellen er
 derfor et vigtigt bevis på den pålidelighed af
 de anvendte metoder og de indsamlede data.
 Dette resultat er særligt interessant, fordi det
 viser, at selv når prøverne er taget fra
 forskellige steder og til forskellige tidspunkter,
 er der stadig en meget høj grad af ensartethed
 og sammenhæng mellem de forskellige værdier.
 Dette kan være et tegn på, at de undersøgte
 faktorer er meget stabile og påvirkede af de
 samme mekanismer. De høje værdier i tabellen
 er derfor et vigtigt bevis på den pålidelighed
 af de anvendte metoder og de indsamlede data.
 Dette resultat er særligt interessant, fordi det
 viser, at selv når prøverne er taget fra
 forskellige steder og til forskellige tidspunkter,
 er der stadig en meget høj grad af ensartethed
 og sammenhæng mellem de forskellige værdier.
 Dette kan være et tegn på, at de undersøgte
 faktorer er meget stabile og påvirkede af de
 samme mekanismer. De høje værdier i tabellen
 er derfor et vigtigt bevis på den pålidelighed
 af de anvendte metoder og de indsamlede data.



W_{2,5-200} Fig. 7.11

De stierne repræsenterer henholdsvis n = 10 og n = 20. De enkelte prøver er af forskellige størrelser og har forskellige lave svellertrykke. De fleste prøver er af konventionelle typer, men der er en af den belastede type. Ved en belastning på 40 t/m² med en porøsitet på 50% er det en stor usikkerhed forbundet med bestemmelse af n (anslægsvis ± 5%), slik at en ikke kan forklare afvikene i detalj. Men materialer som får høj porøsitet ved pakning i tørr tilstand vil kunne bli under- vurderet dersom en ser på bare svellertrykket.

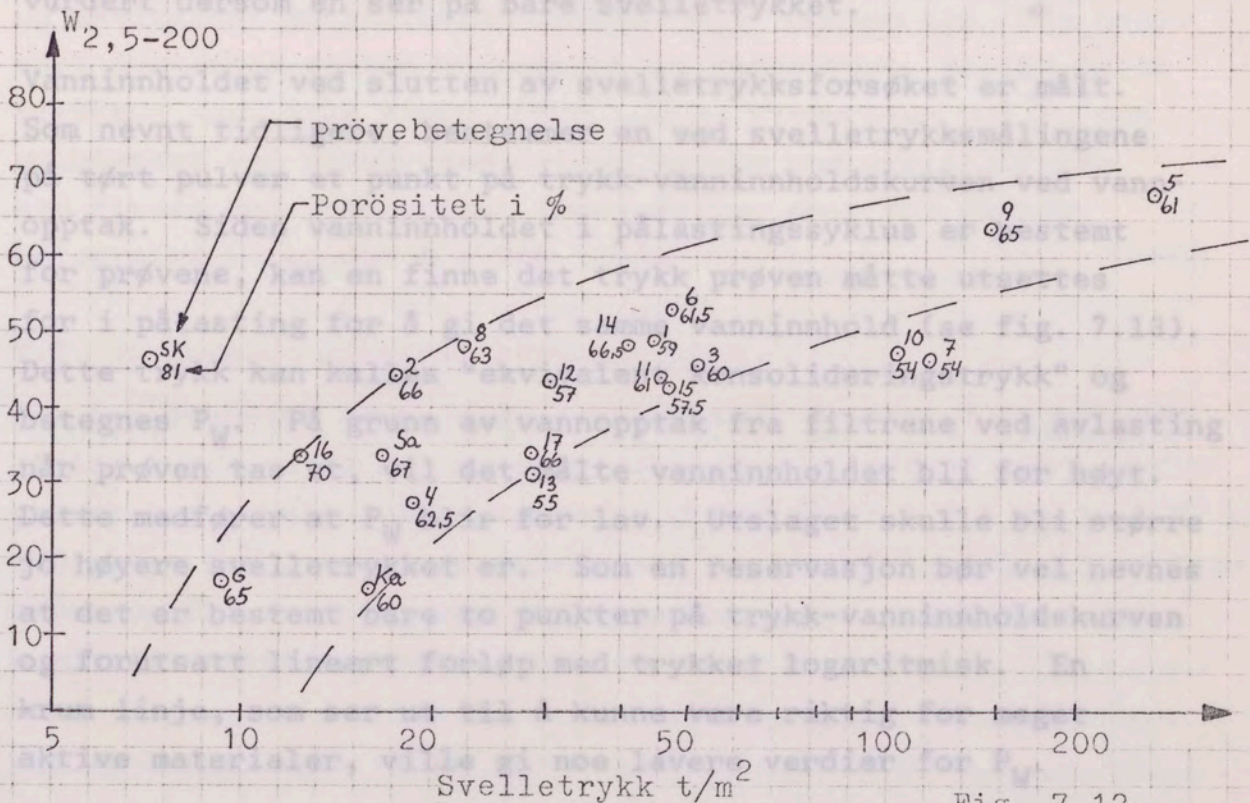
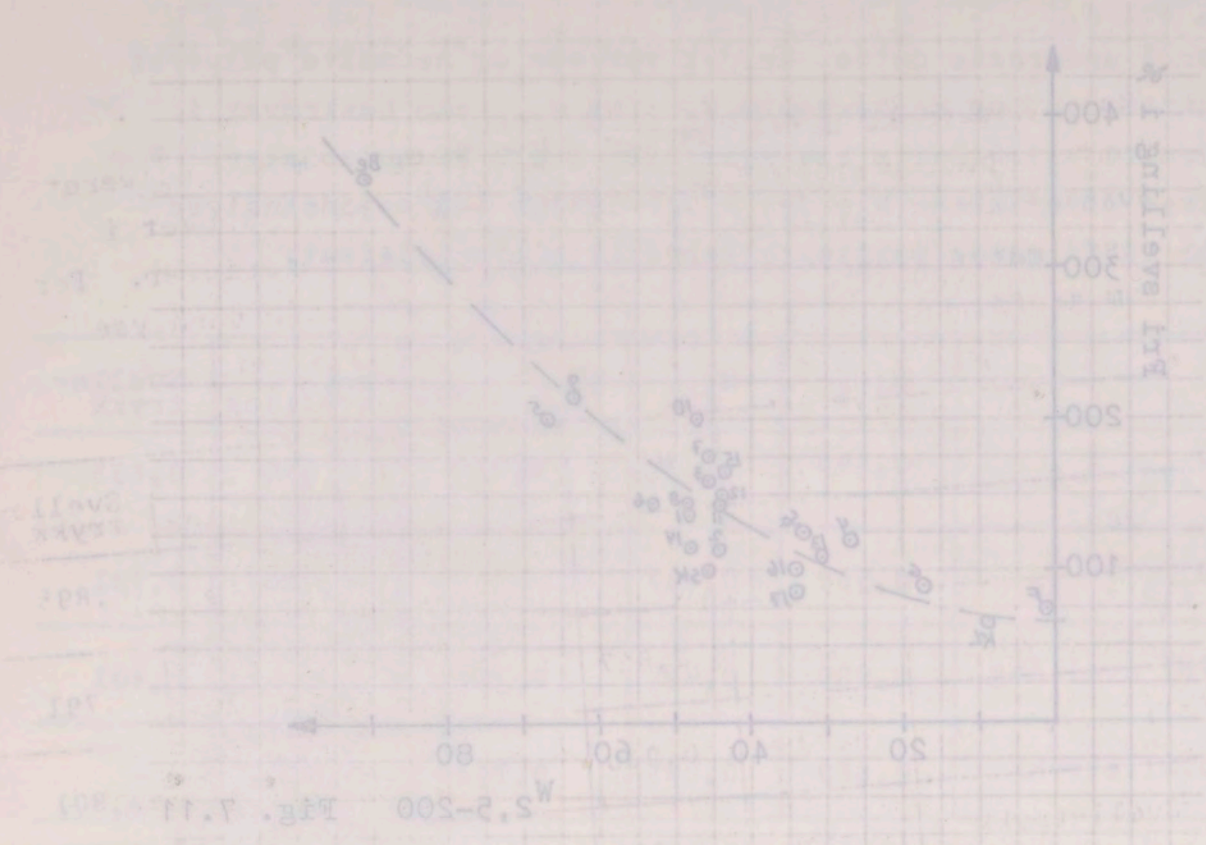


Fig. 7.12.



W.S. 2-500 Fig. 7.11.1903

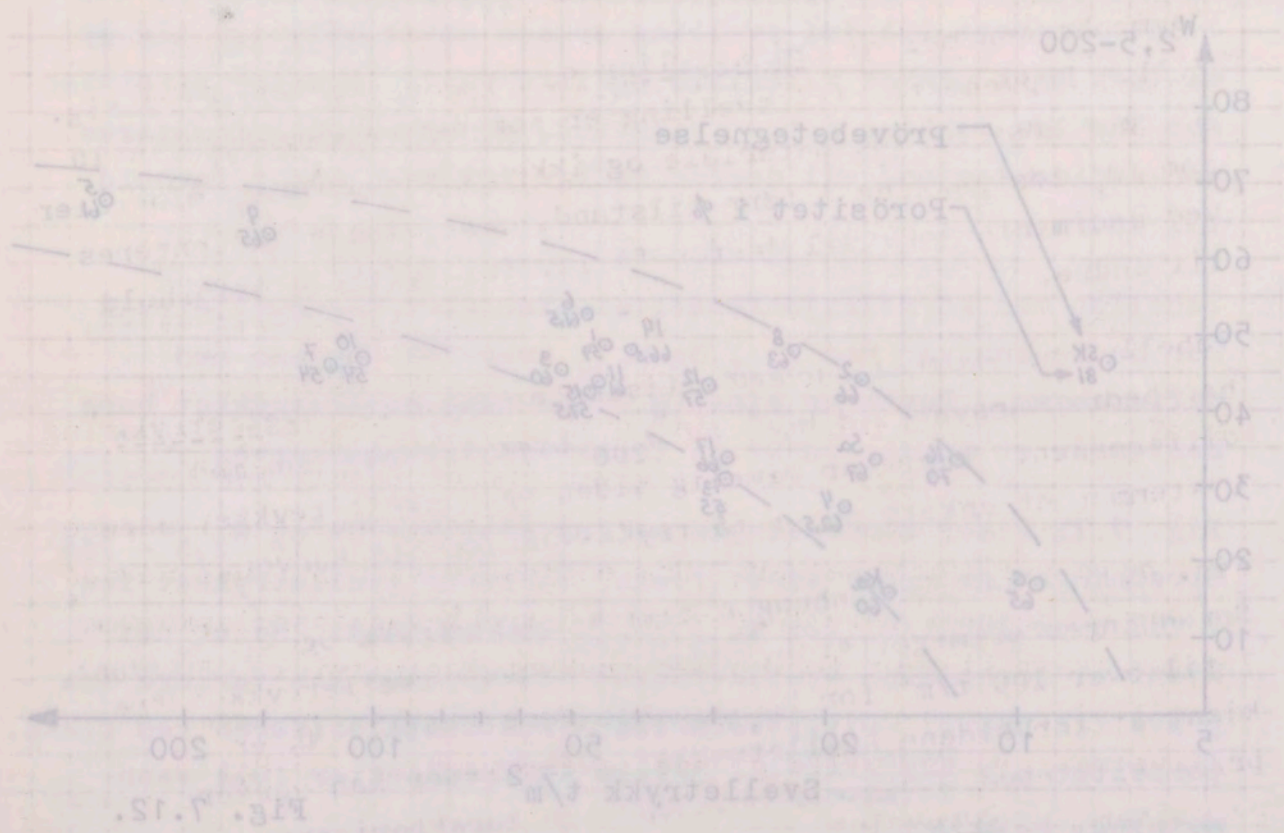


Fig. 7.12.

$$n = \frac{W \cdot w}{h_0 \cdot A} 100\% = \frac{20 \cdot w}{h_0 \cdot 20} 100\% = \frac{w}{h_0} \%$$

Her er $W = \text{prøvevekt} = 20 \text{ g.}$

$w = \text{vanninnhold i \%}.$

$h_0 = \text{prøvehøyde i cm.}$

$A = \text{bunnareal av ødometerskål.}$

De stiplede linjene på fig. 7.12 representerer henholdsvis $n = 70$ og 55 . Som en ser, forklarer porøsiteten en god del av spredningen. Prøver med høy porøsitet får forholdsvis lave svelletrykk og omvendt. På prøve SK var f.eks. det konvensjonelle svelletrykk 7 t/m^2 ($n = 81\%$). Ved å forbelaste sterkere (500 t/m^2) ble det målt svelletrykk på ca. 40 t/m^2 med $n \approx 65\%$. Men det er stor usikkerhet forbundet med bestemmelse av n (anslagsvis $\pm 5\%$), slik at en ikke kan forklare avvikene i detalj. Men materialer som får høy porøsitet ved pakking i tørr tilstand vil kunne bli undervurdert dersom en ser på bare svelletrykket.

Vanninnholdet ved slutten av svelletrykksforsøket er målt. Som nevnt tidligere, bestemmer en ved svelletrykksmålingene på tørt pulver et punkt på trykk-vanninnholdskurven ved vannopptak. Siden vanninnholdet i pålastingssyklus er bestemt for prøvene, kan en finne det trykk prøven måtte utsettes for i pålasting for å gi det samme vanninnhold (se fig. 7.13). Dette trykk kan kalles "ekvivalent konsolideringstrykk" og betegnes P_W . På grunn av vannopptak fra filterne ved avlastning når prøven tas ut, vil det målte vanninnholdet bli for høyt. Dette medfører at P_W blir for lav. Utslaget skulle bli større jo høyere svelletrykket er. Som en reservasjon bør vel nevnes at det er bestemt bare to punkter på trykk-vanninnholdskurven og forutsatt lineært forløp med trykket logaritmisk. En krum linje, som ser ut til å kunne være riktig for meget aktive materialer, ville gi noe lavere verdier for P_W .

$$n = \frac{100 \cdot YW}{h_0 \cdot A} \cdot 100\% = \frac{100 \cdot YW}{h_0 \cdot 20} \cdot 100\%$$

$$\frac{v}{h_0} = 100\% = \frac{v}{h_0} \cdot 100\%$$

Her er W = prøvevekt = 20 g.

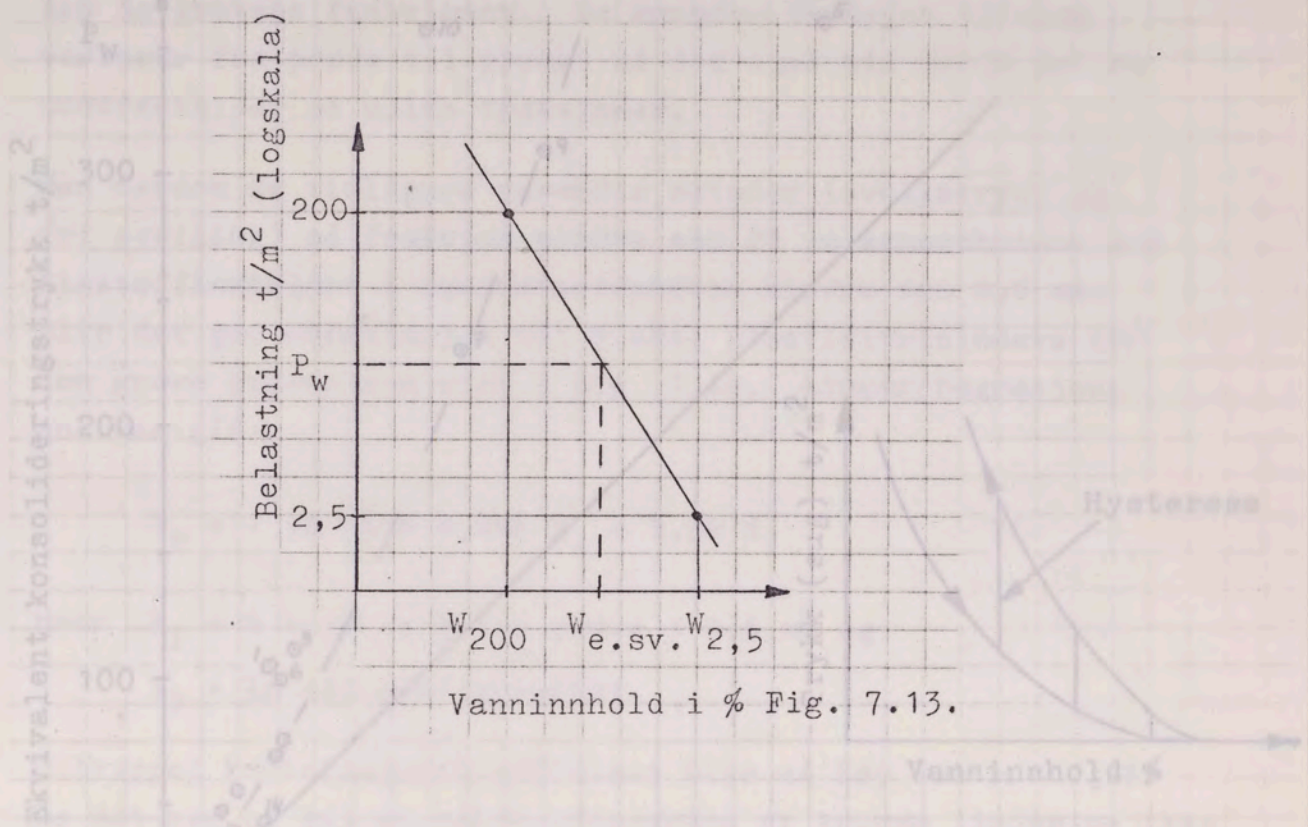
w = vanninnhold i %.

h₀ = prøvehøyde i centimeter.

A = tverrsnitt av prøvestykket.

De strålede linjene på fig. 7.11 representerer vanninnholdet i prøvestykket før og etter prøvetidspunktet. Som en ser, forklarer prøvetidspunktet en god del av spredningen. Prøver med høy porøsitet får vanninnholdet å øke raskt. På prøve nr. 1 og 2 er vanninnholdet i prøvestykket stort nok til å gi en god del av spredningen. Men det er stor forskjell i vanninnholdet mellom prøvetidspunktet og prøvetidspunktet for de to prøvene. Dette skyldes at prøvestykket i fig. 7.11 er et stort uisoleret forbundt objekt (500 t/m³) som har en høy vanninnhold (50%). Dette betyr at det er stor forskjell i vanninnholdet mellom prøvetidspunktet og prøvetidspunktet. Dette skyldes at prøvestykket i fig. 7.11 er et stort uisoleret forbundt objekt (500 t/m³) som har en høy vanninnhold (50%). Dette betyr at det er stor forskjell i vanninnholdet mellom prøvetidspunktet og prøvetidspunktet.

Vanninnholdet ved slutten av sveietykkelsen er høyt. Som nevnt tidligere, bestemmer en ved sveietykkelsen på et punkt på trykk-vanninnholdskurven ved vannopptak. Siden vanninnholdet i prøvestykket er bestemt for prøven, kan en finne det samme vanninnholdet (50%) for i pålastering for å gi det samme vanninnholdet (50%). Dette trykk kan kalles "ekvivalent konsollid trykk" og betegnes P₀. På grunn av vannopptak fra tilfylling ved avslutning når prøven tar ut, vil det være vanninnholdet til for høy. Dette medfører at P blir for lav. Utvalget skulle bli større enn det som er bestemt på punktet i trykk-vanninnholdskurven og forutsatt lineært forhold med trykket logaritmisk, kan man finne ut at P₀ er lavere enn det som er bestemt på punktet i trykk-vanninnholdskurven. Dette medfører at P blir for lav. Utvalget skulle bli større enn det som er bestemt på punktet i trykk-vanninnholdskurven og forutsatt lineært forhold med trykket logaritmisk, kan man finne ut at P₀ er lavere enn det som er bestemt på punktet i trykk-vanninnholdskurven.

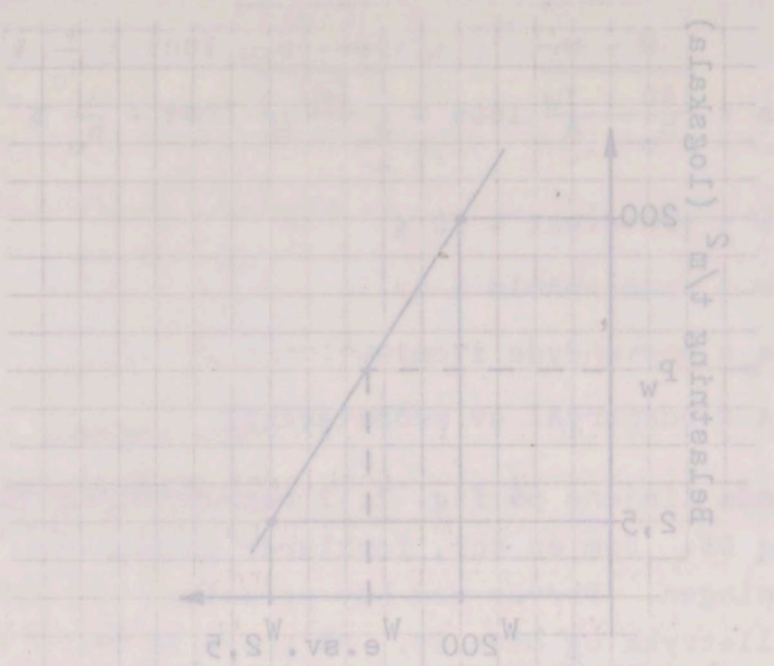


Vanninnhold i % Fig. 7.13.

Fig. 7.14 viser sammenhengen mellom konvensjonelt svelletrykk og ekvivalent konsolideringstrykk, P_W . Dersom det ikke hadde vært hysteresse mellom vannopptak og vannavgang, skulle de to trykkene vært like store. Men p.g.a. hysteresen vil P_W som er bestemt ved vannavgang, ligge høyere enn svelletrykket som finnes ved vannopptak. Forskjellen øker med økende belastning i området 0 - 200 t/m².

7.7. Varierende maksimal kornstørrelse.

Som det fremgikk av regresjonsanalysen i avsnitt 7.1, ble det dårlig korrelasjon mellom undersøkelsene utført på laboratorieprøver med maksimal kornstørrelse på henholdsvis 0,5 mm og 0,02 mm (20 μ m). Den parameteren som viste best korrelasjon til svelletrykk og fri svelling var aktiviteten A , med $r = 0,68$. Men i aktiviteten kommer prosent mindre enn 2 μ m inn. 20 μ m inneholder vesentlig materiale fra den fineste fraksjonen. Laboratorieprøven mindre enn 0,5 mm har i tillegg mindre aktivt materiale



Vanninnhold i Fig. 7.13.

Fig. 7.14 viser sammenhengen mellom konsentrasjonen av sveletrykk og ekvivalent konsolideringstrykk, P_w . Dermed det ikke hadde vært hysterese mellom vannopptak og vannavgang, skulle de to trykkene vært like store. Men p.g.a. hysterese vil P_w som er bestemt ved vannavgang, ligge høyere enn sveletrykket som finnes ved vannopptak. Forskjellen øker med økende

7.7. Varierende maksimal kornerstørrelse.

Som det fremgikk av regresjonsanalysen i avsnitt 7.1, ble det dårlig korrelasjon mellom undersøkelsene utført på laboratorieprøver med maksimal kornerstørrelse på henholdsvis 0,5 mm og 0,02 mm (20 μ m). Den parameteren som viste best korrelasjon til sveletrykk og frit sveiling var aktiviteten A , med $r = 0,68$. Men i aktiviteten kommer prosent mindre enn 2 μ m inn.

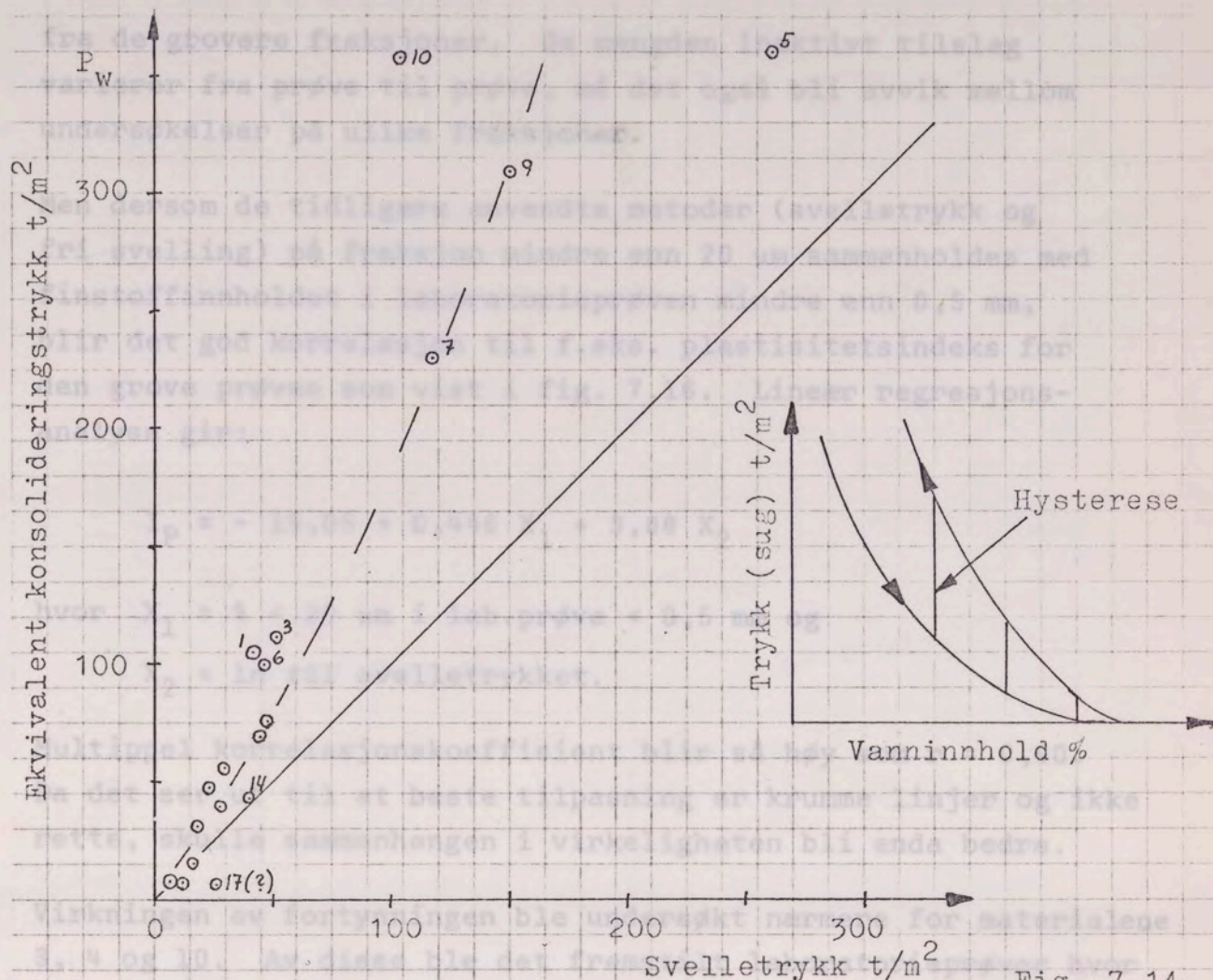


Fig. 7.14.

For alle andre parametre ble r mindre enn 0,6. F.eks. ble det mellom plastisitetsindeks (0,5 mm) og svelletrykk (0,02 mm) en lineær korrelasjonskoeffisient på bare 0,35, se fig. 7.15.

Sammenhengen ble en del dårligere enn ventet på forhånd. Når en ser nærmere på de undersøkte leirsonematerialene, er det imidlertid ganske opplagt at det måtte bli slik. Som vist bl.a. ved kornfordelingsanalysen, er materialene sammensatt av flere komponenter, og de sterkt svellende mineraler finnes i finfraksjonen. Laboratorieprøven mindre enn 20 μm inneholder vesentlig materiale fra den fineste fraksjonen. Laboratorieprøven mindre enn 0,5 mm har i tillegg mindre aktivt materiale

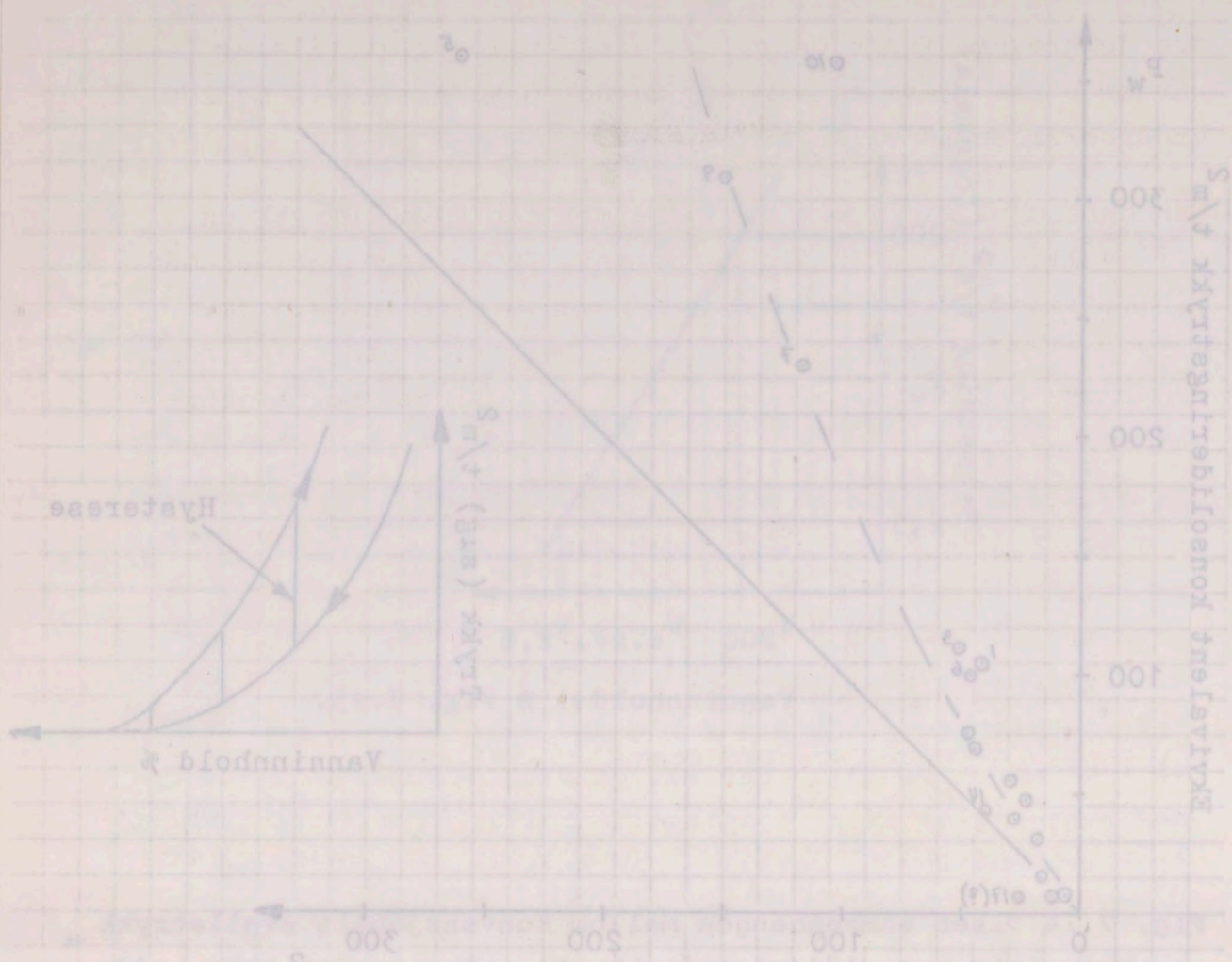


Fig. 7.14.

For alle andre parametre ble r mindre enn 0,6. F.eks. ble det mellom plastisitetstallet (0,5 mm) og svelettrykk (0,02 mm) en lineær korrelasjonskoeffisient på bare 0,35, se fig. 7.15.

Sammenhengen ble en del dårligere enn ventet på forhånd. Når en ser nærmere på de undersøkte leiresmarterne, er det imidlertid ganske opplagt at det måtte bli slik. Som vist bl.a. ved kornfordelingsanalysen, er materialene sammensatt av flere komponenter, og de sterke sveilende mineraler finnes i fraksjonen. Laboratoriprøven mindre enn 20 µm inneholder vesentlig materiale fra den fineste fraksjonen. Laboratorieprøven mindre enn 0,5 mm har i tillegg mindre aktive materiale

fra de grovere fraksjoner. Da mengden inaktivt tilslag varierer fra prøve til prøve, må det også bli avvik mellom undersøkelser på ulike fraksjoner.

Men dersom de tidligere anvendte metoder (svelleteytrykk og fri svelling) på fraksjon mindre enn 20 μm sammenholdes med finstoffinnholdet i laboratorieprøven mindre enn 0,5 mm, blir det god korrelasjon til f.eks. plastisitetsindeks for den grove prøven som vist i fig. 7.16. Lineær regresjonsanalyse gir:

$$I_p = - 15,05 + 0,446 X_1 + 3,88 X_2$$

hvor $X_1 = \% < 20 \mu\text{m}$ i lab.prøve $< 0,5 \text{ mm}$ og

$X_2 = \ln$ til svelleteytrykket.

Multippel korrelasjonskoeffisient blir så høy som $r = 0,90$. Da det ser ut til at beste tilpasning er krumme linjer og ikke rette, skulle sammenhengen i virkeligheten bli enda bedre.

Virkingen av fortynningen ble undersøkt nærmere for materialene 3, 4 og 10. Av disse ble det fremstilt laboratorieprøver hvor maksimal kornstørrelse varierte fra 2 til 0,02 mm, og vanninnholdet i pålastingssyklus ved 2,5 og 200 t/m^2 belastning ble bestemt. Resultatene er vist i fig. 7.17.

En ser at dersom vanninnholdsdifferensen $W_{2,5} - 200$ brukes som mål for svelleevnen, vil den innbyrdes rekkefølge av materialene skifte ved å forandre maksimal kornstørrelse. Dette burde ganske tydelig vise hvor forskjellig et materiale vil kunne bli vurdert alt etter hvilken fraksjon som undersøkes. En må anta at dette skyldes forskjeller i kornfordeling og mineralogi foruten eventuelle effekter fra selve undersøkelsesmetodene.

fra de grovere fraksjoner. Da mengden aktivitetstetthet varierer fra prøve til prøve, må det også bli avvik mellom undersøkelsen på ulike fraksjoner.

Men dersom de tidligere anvendte metoder (sveletrykk og fri svelelag) på fraksjon mindre enn 20 µm sammenholdes med finstoffsinnholdet i laboratorieprøven mindre enn 0,5 mm, blir det god korrelasjon til f.eks. plaststatistikkens for den grove prøven som vist i fig. 7.16. Lineær regresjons-

analyse gir:

$$I_p = - 15,05 + 0,448 X_1 + 3,88 X_2$$

hvor $X_1 = \phi < 20 \mu m$ i lab. prøve $\times 0,5$ mm og $X_2 = I_n$ til sveletrykket.

Multippel korrelasjonskoeffisient blir så høy som $r = 0,90$.

Da det ser ut til at beste tilpassning er kurven linær og ikke

etter skalle sammenhengen i virkeligheten bli enda bedre.

Virkingen av fortykningen ble undersøkt nærmere for materialene

3, 4 og 10. Av disse ble det spesielt laboratorieprøver hvor

maksimal korrelasjon var observert fra 2 til 0,5 mm, og vann-

innholdet i pålastingsprøve ved 2,5 og 200 vsm belastning

ble bestemt. Resultatene er vist i fig. 7.17.

En ser at dersom vanninnholdet i prøven $W_{2,5} - 200$ brukes

som X_1 for sveletrykket, vil den anvendte rekkefølge av

materialene skille ved å forendre maksimal korrelasjon.

Dette punkt ganske tydelig viser hvor forskjellig et materiale

vil kunne bli under et eller høyere fraksjon som under-

skjedes. En må altså at dette skyldes forskjeller i kornerfordeling

og mineralogi for den eventuelle effekten fra selve under-

skjeksjonsforholdene.

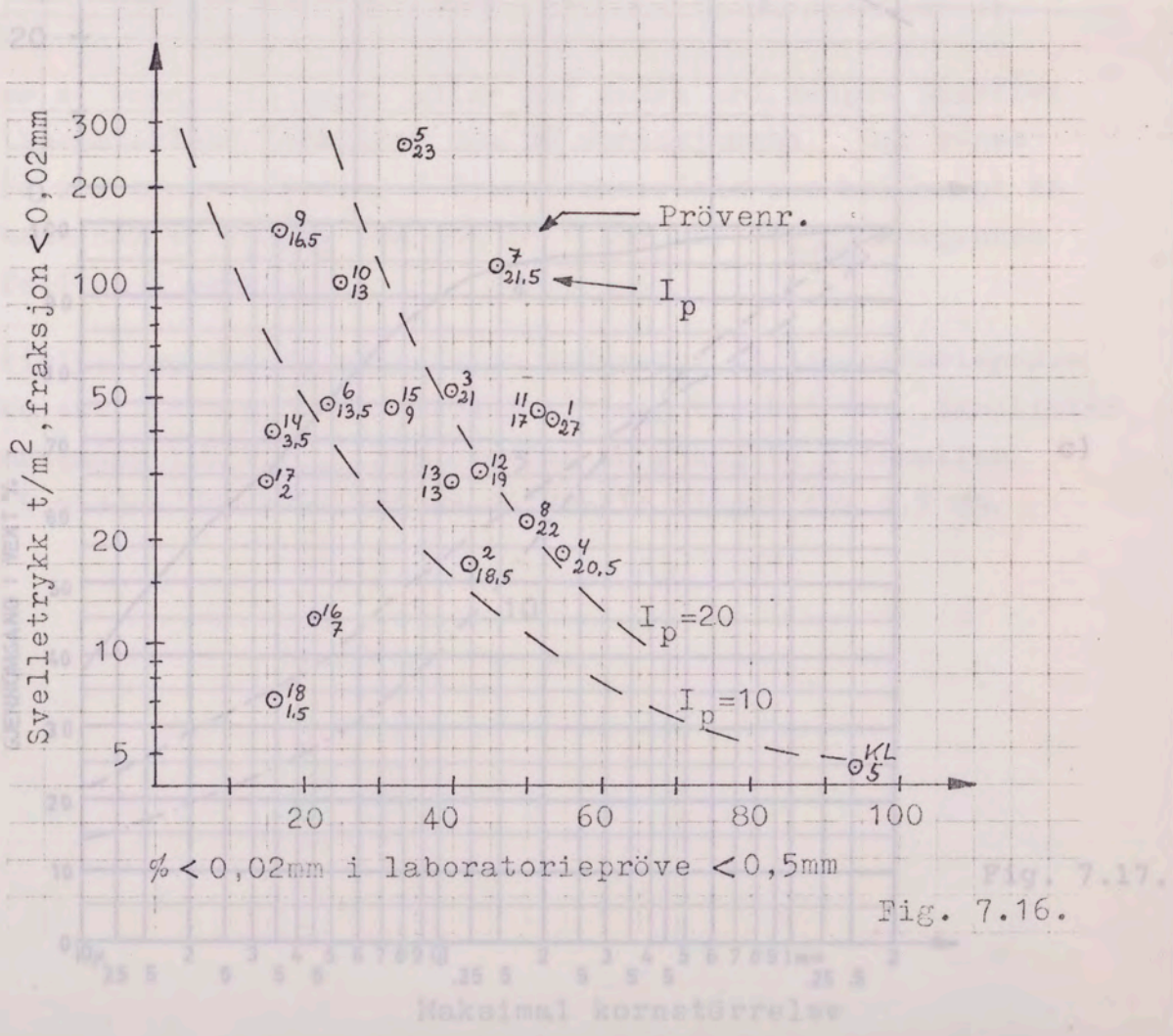
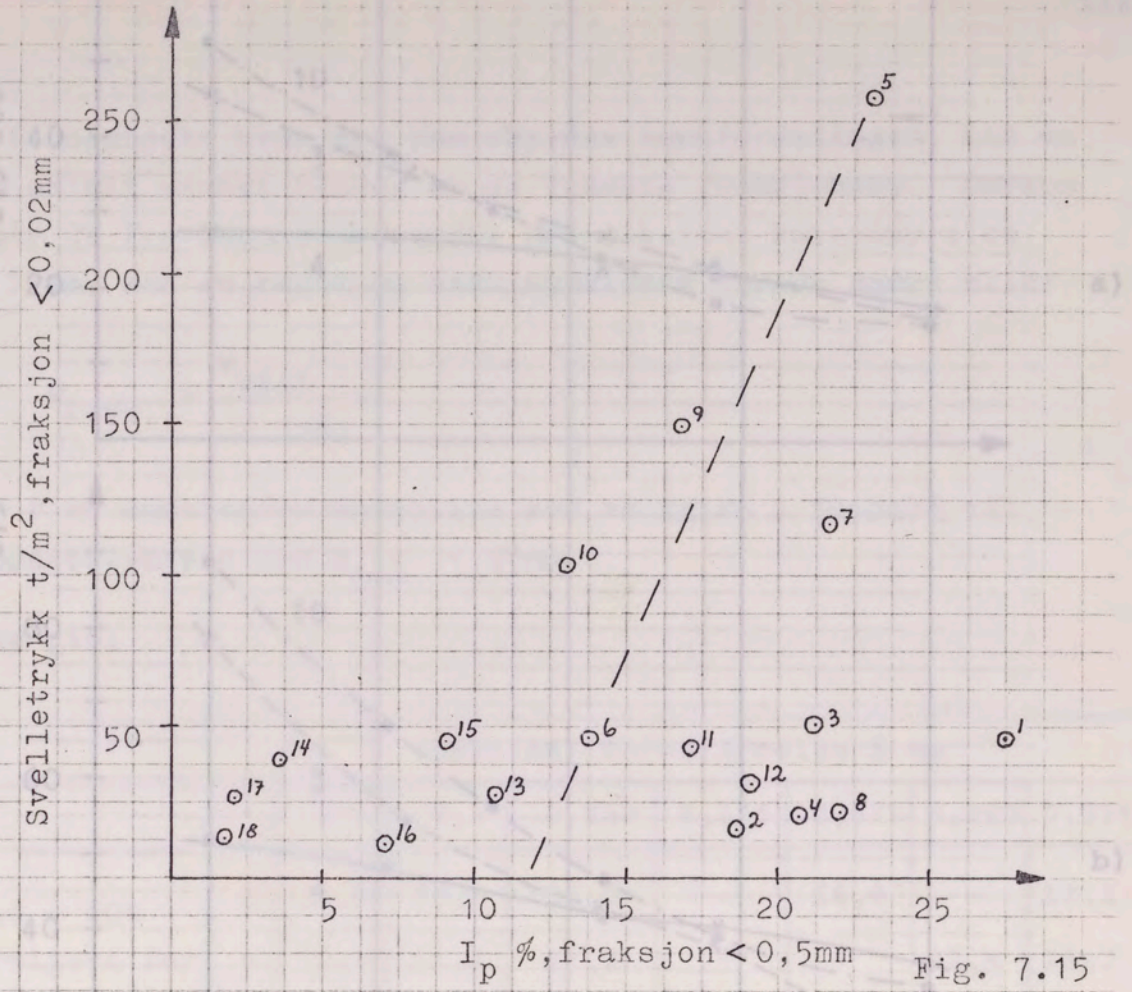


Fig. 7.16.

Fig. 7.17.

Maksimal korstørrelse

Fig. 7.15

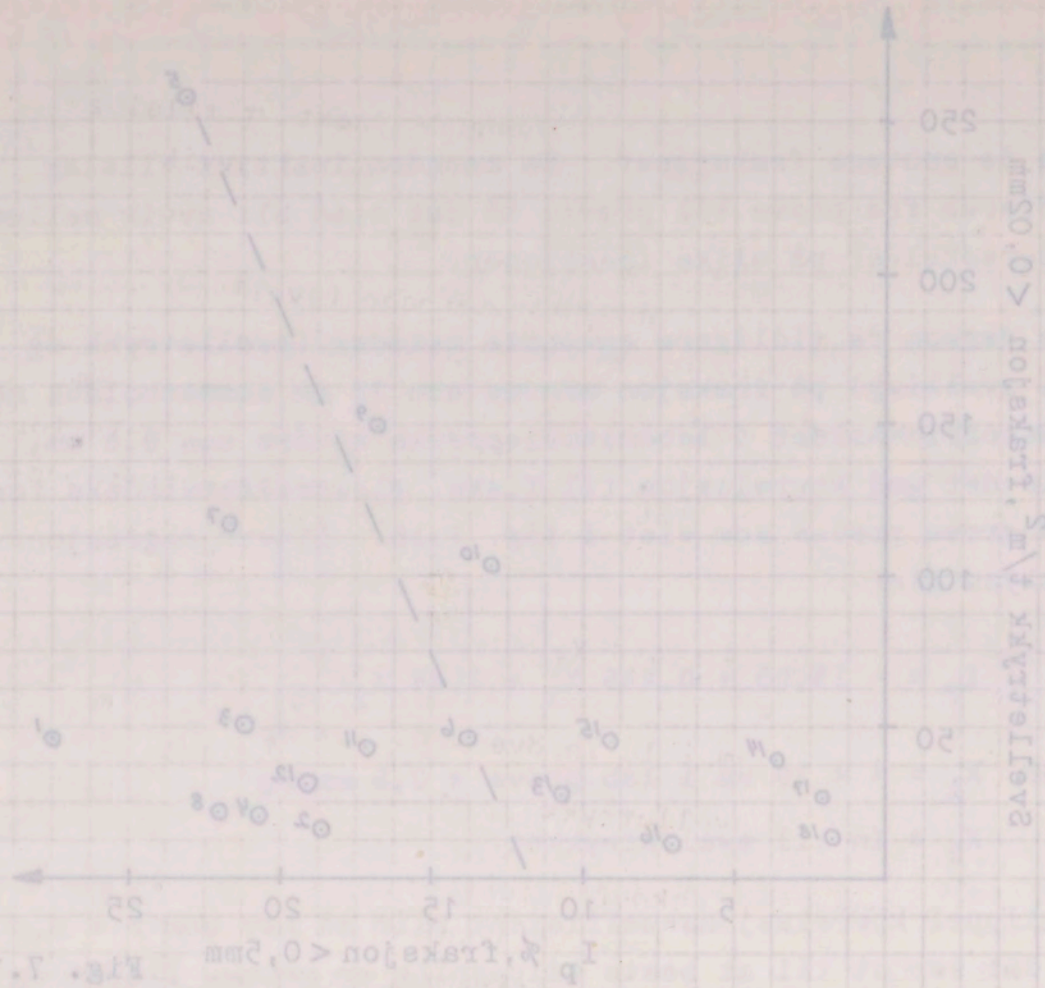
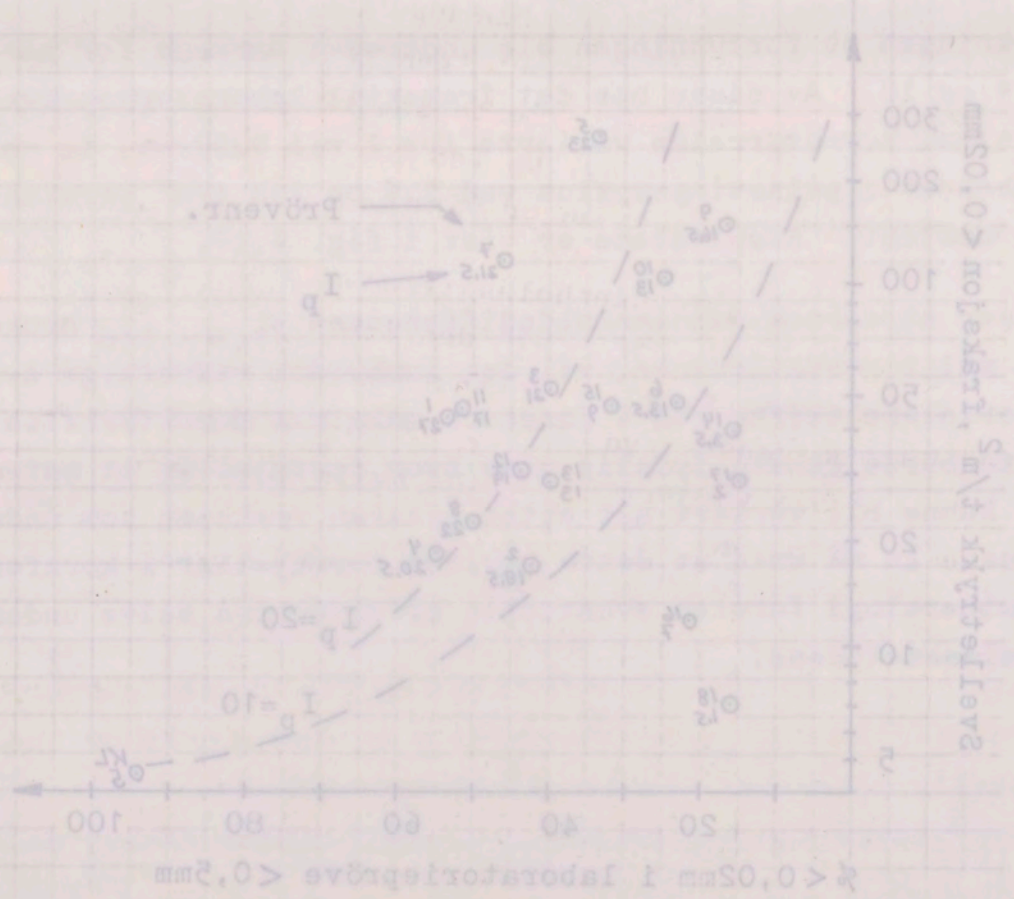


Fig. 7.16



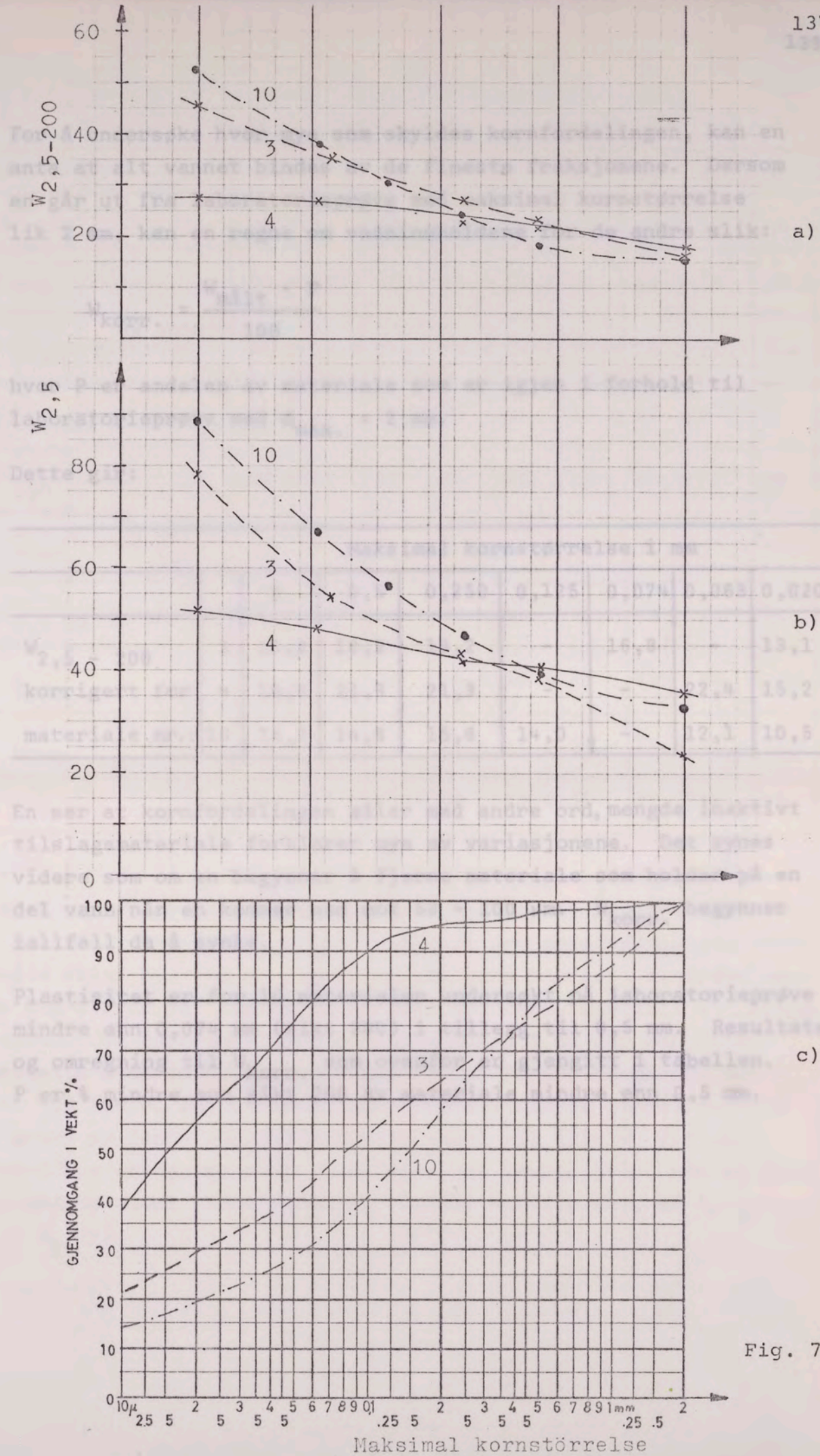
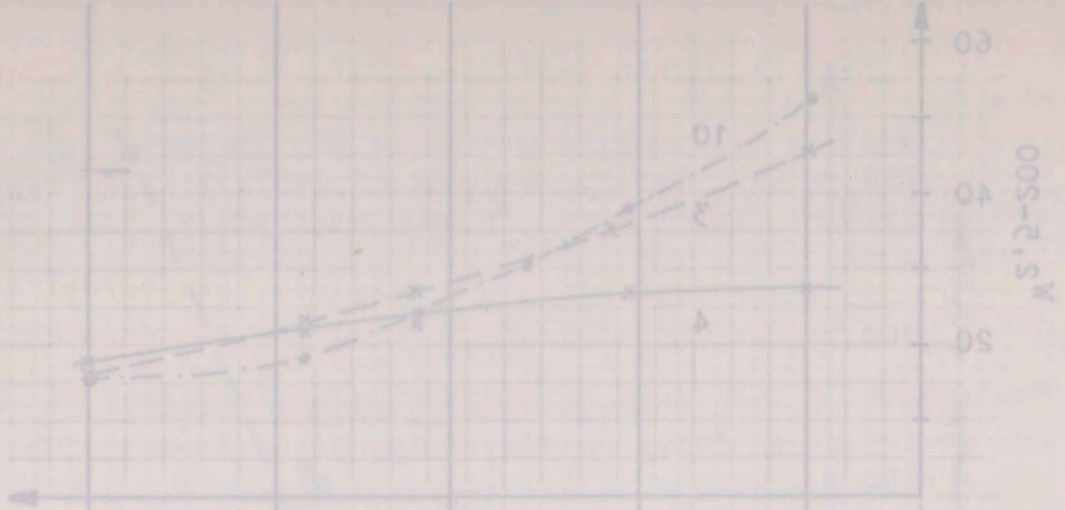
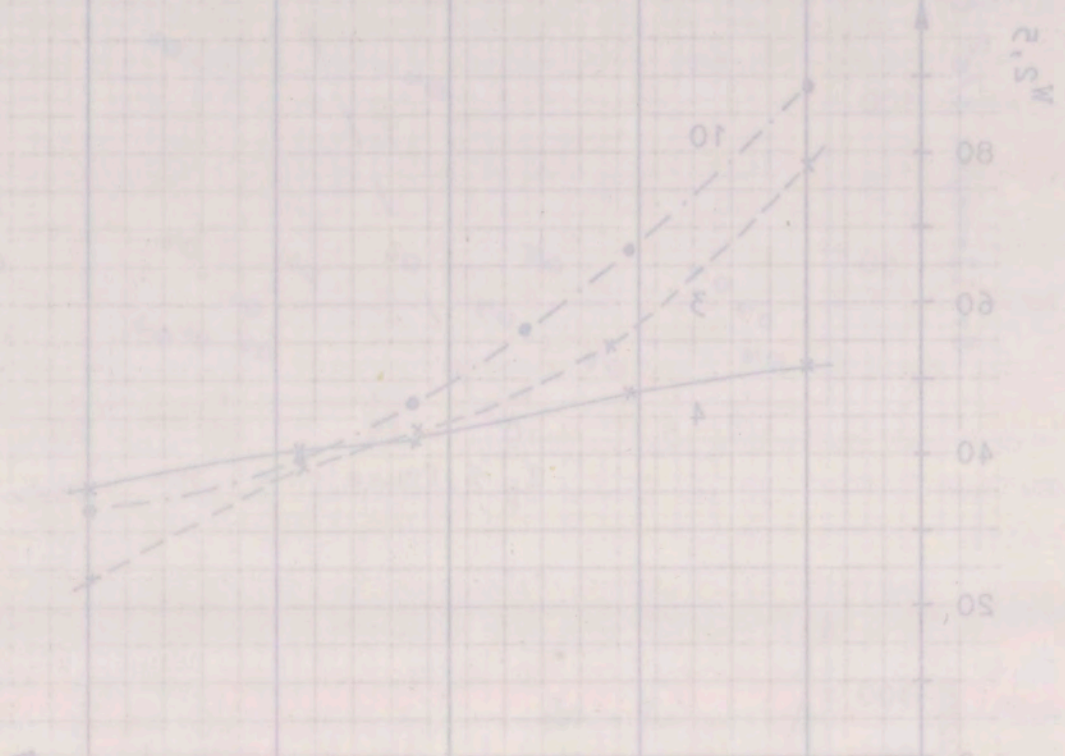


Fig. 7.17.

(a)



(d)



(c)

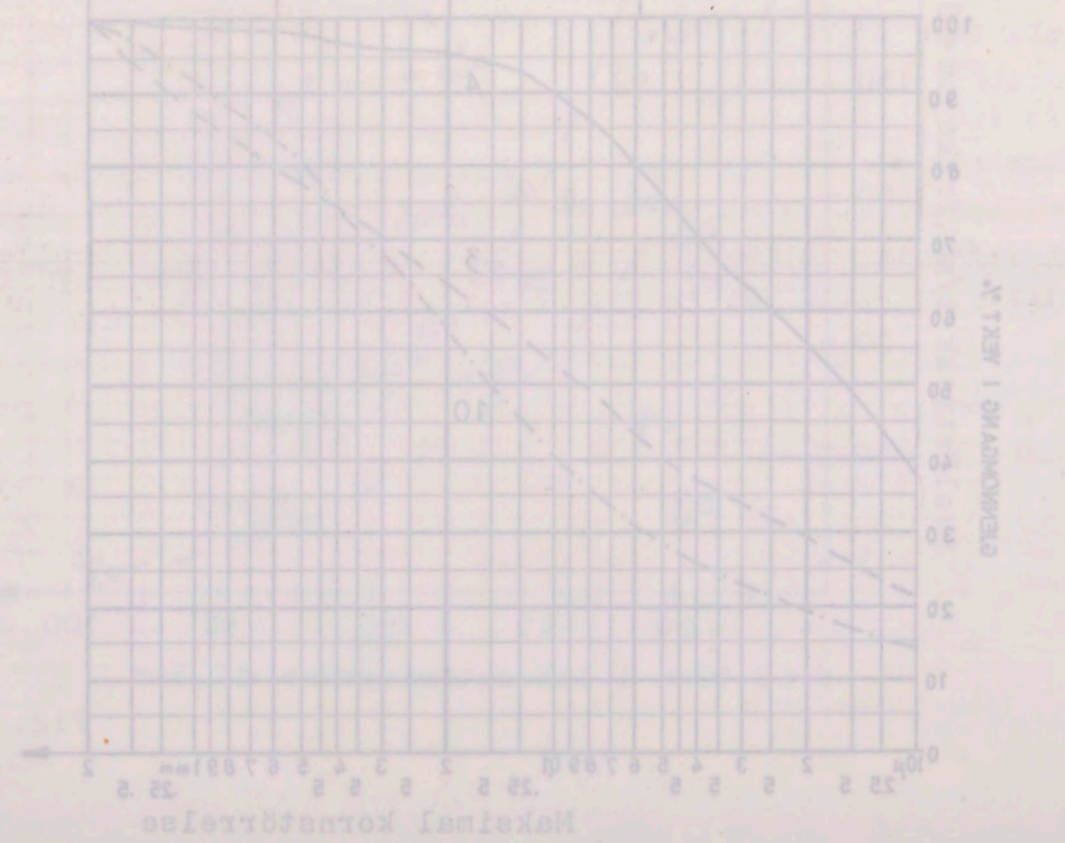


Fig. 7.17.

Максимал корнострелна

For å undersøke hvor mye som skyldes kornfordelingen, kan en anta at alt vannet bindes av de fineste fraksjonene. Dersom en går ut fra laboratorieprøve med maksimal kornstørrelse lik 2 mm, kan en regne om vanninnholdene for de andre slik:

$$W_{\text{korr.}} = \frac{W_{\text{målt}} \cdot P}{100}$$

hvor P er andelen av materiale som er igjen i forhold til laboratorieprøve med $d_{\text{max.}} = 2 \text{ mm}$.

Dette gir:

		Maksimal kornstørrelse i mm						
		2	0,5	0,250	0,125	0,074	0,063	0,020
$W_{2,5 - 200}$	3	15,9	18,2	18,2	-	16,8	-	13,1
korrigert for	4	18,6	21,3	21,3	-	-	22,4	15,2
materiale nr.:	10	15,2	14,8	15,6	14,0	-	12,1	10,5

En ser at kornfordelingen eller med andre ord, mengde inaktivt tilslagsmateriale forklarer mye av variasjonene. Det synes videre som om en begynner å fjerne materiale som holder på en del vann når en kommer ned mot 50 - 100 μm . $W_{\text{korr.}}$ begynner iallfall da å synke.

Plastisitet er for 10 materialer undersøkt på laboratorieprøve mindre enn 0,074 mm (sikt 200) i tillegg til 0,5 mm. Resultater og omregning til $W_{\text{korr.}}$ som ovenfor er gjengitt i tabellen. P er % mindre enn sikt 200 av materiale mindre enn 0,5 mm.

for å undersøke hvor mye som skyldes kornfordelingen, kan en
 anta at alt vannet bindes av de lineære fraksjonene. Dermed
 en går ut fra laboratorieresultatene med maksimal kornfor-
 deling som en grunn og vanninnholdene for de andre stik-
 kene som er angitt i tabellen nedenfor for de andre stik-

$$W_{\text{kor}} = \frac{W_{\text{max}} \cdot P}{100}$$

hvor P er andelen av materiale som er igjen i forhold til
 maksimumskornforholdet og W_{max} = 2 mm.
 Dette gir:

Maksimal kornforholdet	0,2	0,5	0,750	1,125	0,750	0,500
Material nr. 10	18,2	18,2	18,2	18,2	18,2	18,2
Korrigert for	18,2	18,2	18,2	18,2	18,2	18,2
Material nr. 3	18,2	18,2	18,2	18,2	18,2	18,2

En ser at kornfordelingen etter med andre ord, men de inaktivt
 tilsetningsstoffene forklarer mye av variasjonene. Det synes
 videre som om en begynner å få noe materiale som holder på en
 del vann når en kommer ned mot 0,5 - 100 mm. W_{kor} begynner
 å falle på å synke.

Resultatene for 10 materialer undersøkt på laboratorieresultatene
 mindre enn 0,5 mm (stikk 200) i tillegg til 0,5 mm. Resultatene
 og omsetningen W_{kor} som ovenfor er angitt i tabellen.
 P er 2 stikene som er angitt i tabellen mindre enn 0,5 mm.

Prøve nr.	1	3	4	5	7	9	10	15	16	18
P %	64,5	62	86	55	68	47	43	72	44	39
I_P 200	60,5	40	32	44,5	35,5	46	42,5	14	19,5	8,5
I_P korr. = $\frac{I_P 200 P}{100}$	39,0	24,8	27,5	24,4	24,2	21,6	18,3	10,1	8,6	3,3
I_P 0,5 mm	27	21	20,5	23	21,5	16,5	13	9	7	1,5
W_L 200	96,5	72	60	84	62	98	85,5	38	51	31,5
W_L korr. = $\frac{W_L 200 P}{100}$	62	44,7	51,5	46,2	41,5	46	36,8	27,4	22,4	12,3
W_L 0,5 mm	61,5	46	46	52	44	51,5	45	28	28	20,5
W_P 200	36	32	28	39,5	26,5	52	43	24	31,5	23
W_P korr. = $\frac{W_P 200 P}{100}$	24,2	19,8	24	21,8	18,0	24,4	18,5	17,3	16,1	7,1
W_P 0,5 mm	34,5	25	25,5	29	22,5	35	32	24	21	19

Det synes litt paradoksalt at den omregnede plastisitetsindeks ligger høyere enn den målte for samtlige prøver. Dette sier jo at plastisitetsindeksen stiger sterkere enn kornfordelingen alene skulle tilsi selv om en regner at alt vann bindes i finfraksjonen. For meg virker det som dette skyldes metodene, spesielt utrullingsgrensen. På laboratorieprøve mindre enn 0,5 mm var den ofte vanskelig å utføre p.g.a. oppsmuldring. På prøven mindre enn sikt 200 lot W_P seg bestemme ganske greit for de fleste metoder. På grunn av denne oppsmuldringstendensen vil ikke W_P øke så sterkt som omregning etter kornfordeling skulle tilsi når en går ned med maksimal kornstørrelse. Og når W_P blir lav, må $I_P = W_L - W_P$ øke.

Prøve nr.	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
Wp 200	82,5	82,5	82,5	82,5	82,5	82,5	82,5	82,5	82,5	82,5	82,5	82,5	82,5	82,5	82,5
Wp 0,2 mm	82,5	82,5	82,5	82,5	82,5	82,5	82,5	82,5	82,5	82,5	82,5	82,5	82,5	82,5	82,5
Wp 200	82,5	82,5	82,5	82,5	82,5	82,5	82,5	82,5	82,5	82,5	82,5	82,5	82,5	82,5	82,5
Wp 0,2 mm	82,5	82,5	82,5	82,5	82,5	82,5	82,5	82,5	82,5	82,5	82,5	82,5	82,5	82,5	82,5
Wp 200	82,5	82,5	82,5	82,5	82,5	82,5	82,5	82,5	82,5	82,5	82,5	82,5	82,5	82,5	82,5
Wp 0,2 mm	82,5	82,5	82,5	82,5	82,5	82,5	82,5	82,5	82,5	82,5	82,5	82,5	82,5	82,5	82,5
Wp 200	82,5	82,5	82,5	82,5	82,5	82,5	82,5	82,5	82,5	82,5	82,5	82,5	82,5	82,5	82,5
Wp 0,2 mm	82,5	82,5	82,5	82,5	82,5	82,5	82,5	82,5	82,5	82,5	82,5	82,5	82,5	82,5	82,5
Wp 200	82,5	82,5	82,5	82,5	82,5	82,5	82,5	82,5	82,5	82,5	82,5	82,5	82,5	82,5	82,5
Wp 0,2 mm	82,5	82,5	82,5	82,5	82,5	82,5	82,5	82,5	82,5	82,5	82,5	82,5	82,5	82,5	82,5

Det er en del af den samlede undersøgelse af de forskellige prøver. Dette er et eksempel på de resultater, der er opnået ved anvendelse af de forskellige prøver. De resultater, der er opnået ved anvendelse af de forskellige prøver, er vist i tabellen ovenfor. De resultater, der er opnået ved anvendelse af de forskellige prøver, er vist i tabellen ovenfor.

På grund af denne opmærksomhed vil ikke Wp 200 og Wp 0,2 mm være de bedste metoder til at bestemme størrelsen af de forskellige prøver. De resultater, der er opnået ved anvendelse af de forskellige prøver, er vist i tabellen ovenfor.

Wp - Wp 200

8. KOMMENTARER TIL LEIRSONEPROBLEMATIKKEN I FJELLROM.

8.1. Vannproblemet.

Generelt øker stabilitetsproblemene i fjellanlegg med økende vanntilgang. Dette skyldes både svelling av leirsoner og at materialstyrken reduseres ved vannopptak.

En svakhetssone vil normalt være vannmettet under grunnvannsstanden. Når en tunnel drives gjennom, skapes det kraftige gradienter inn mot åpningen, og sonens vanninnhold vil etter hvert forandre seg. Terzaghi (1950) refererer vanninnholdsmålinger fra en tunnel i tertiær leire nær Paris. Leiren (såkalt "argile plastique") hadde $I_p = 60 - 80\%$. Før driving var vanninnholdet konstant ca. 56%. Ved utgravingen oppsto avlastning i de ytre deler og spenningsoverføring til dypere deler. I overflaten steg vanninnholdet i løpet av noen uker til 90 - 130%, mens det lenger fra tunneloverflaten avtok og nådde et minimum på 46% ca. 4 m fra tunnelveggen. Prinsipp-skisse er vist i fig. 8.1.

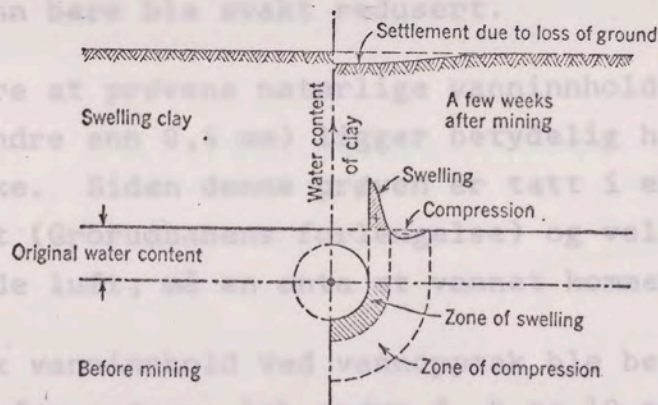


Diagram illustrating the mechanics of the swelling of stiff clay in a tunnel. The change in the distribution of the water content caused by the mining operations is shown on the right-hand side.

Fig. 8.1.

Vannopptaket i overflaten av en leirsoner kan foregå fra omgivende leire og sidefjell (fra det indre) eller fra luften i tunnelen. I selve leirsonen vil ofte permeabiliteten være lav, og mye av vanntilførselen skjer etter alt å dømme gjennom

8. KOMMENTARER TIL LEIRSONEPROBLEMATIKKEN I TUNNELROM.

8.1. Vannproblemet.

Generelt øker stabilitetsproblemene i fjellanlegg med økende vannføring. Dette skyldes både øveling av leirsoner og at materialstyrken reduseres ved vannopptak.

En svakhetssone vil normalt være vannmettet under grunnvannsstanden. Når en tunnel drives gjennom, skapes det kraftige gradienter inn mot åpningen, og sonens vanninnhold vil etter hvert forandre seg. Terzaghi (1920) reiser vanninnholdsmålinger fra en tunnel i tertiar leire nær Paris. Leiren (såkalt "argille plastique") hadde $I_p = 60 - 80\%$. For driving var vanninnholdet konstant ca. 56% . Ved utgravningen oppsto avlasting i de ytre deler og spenningsoverføring til dypere deler. I overflaten steg vanninnholdet i løpet av noen uker til $90 - 130\%$, mens det lenger fra tunneloverflaten avtok og nådde et minimum på 46% ca. 4 m fra tunnelveggen. Prinsipp-skisse er vist i fig. 8.1.

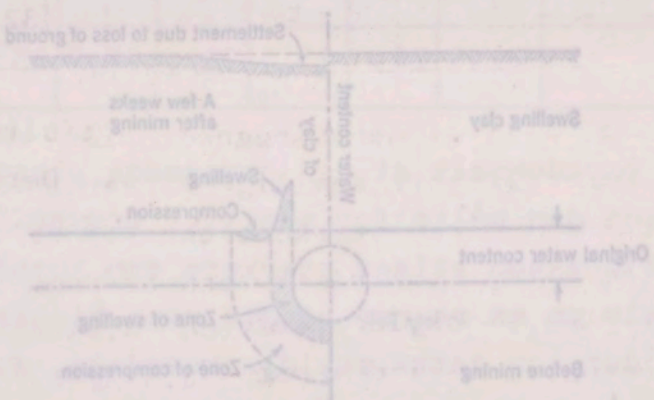


Diagram illustrating the mechanics of the swelling of till clay in a tunnel. The change in the distribution of the water content caused by the mining operations is shown on the right-hand side.

Fig. 8.1.

Vannopptaket i overflaten av en leirsoner kan føre til omgivende leire og siderfell (fra det indre) eller fra luften i tunnelen. I selve leirsonen vil ofte permeabiliteten være lav, og mye av vanntransporten skjer etter alt å dømme gjennom

oppknust sidefjell. Blant andre hevder Terzaghi (1950) at vannopptak fra det indre er viktigst. Det har likevel vært vanlig antatt at hygroskopisk vannopptak fra luften spiller en ikke uvesentlig rolle ved svelling.

For å belyse problemet er i dette arbeide hygroskopisk vanninnhold sammenlignet med vanninnhold ved ulike belastninger. Det hygroskopiske vanninnhold er ingen absolutt konstant størrelse, men ser bl.a. ut til å avta med synkende temperatur og økende avstand fra væskeoverflaten.

På laboratorieprøve med maksimal kornstørrelse 0,5 mm av materiale nr. 9 ble hygroskopisk fuktighet bestemt både ved vannavgang og vannopptak. Resultatene er vist i fig. 8.2. (lignende forsøk er referert av Rode (1969, s. 69). Det fremgår at hysteresen mellom vannopptak og vannavgang ble forholdsvis liten, og vanninnholdet ved hygroskopisk metning lå på ca. 17%. Dette er nesten 10% lavere enn vanninnholdet ved 200 t/m² belastning. En mulig feilkilde er tørkingen av prøven ved 105°C, men forsøk viste at materialets evne til å holde på vann bare ble svakt redusert.

En ser videre at prøvens naturlige vanninnhold (omregnet til fraksjon mindre enn 0,5 mm) ligger betydelig høyere enn det hygroskopiske. Siden denne prøven er tatt i en tunnel som endte blindt (Grorudbanens forlengelse) og vel hadde ganske stillestående luft, må en anta at vannet kommer fra det indre.

Hygroskopisk vanninnhold ved vannopptak ble bestemt på ytterligere fem prøver: Lab.prøve 3, 4 og 10 med maksimal kornstørrelse 0,5 mm og prøvene 5 og 9 med maksimal kornstørrelse 0,02 mm (20 µm). For å hindre kondens ble det brukt eksikator med ca. 98% relativ fuktighet. Fig. 8.3 viser det hygroskopiske vannopptak med tiden i log.skala. En ser at kurveforløpet minner mye om vannopptak-tid-kurven for svelling. Selv om det kunne være interessant, vil en ikke gå inn på å diskutere hvorvidt knekkpunktene på kurven er reelle eller en effekt av log.skalaen.

opklæret sig selv. Blandt andre hævder Torvald (1950) at
vannopptak fra det indre er viktigere enn det ytre, og at
vanligvis er det indre vannopptak fra indre vannkilder
en ikke vesentlig rolle ved snøsmeltning. Dette er
for å belyse problemet er i dette arbeide hydrologisk vann-
innhold sammenlignet med vanninnhold ved ulike belastinger.
Det hydrologiske vanninnhold er laget absolutt konstant, og
ettersom, men ser på åndstilt å være med åndstempertur
og åndstilt fra vannoverflaten.

På laboratorier har med maksimal konstant 0,5 m av
materiale med 8 die hydrologisk fordeling bestemt både ved
vannføring og vannopptak. Resultatene er vist i fig. 8.2.
(Lignende forsøk er utført av Hede (1959) s. 69). Det
fremgår at hydrologisk vannopptak og vannføring die
forholdvis litten, og vanninnhold ved hydrologisk
i å på ca. 17%. Dette er nærmest 100% i alle vanninnhold
ved 200 mm belasting. En mulig feilkilde er trolig at
prøven ved 100 mm belasting viste at materielle avne til å
holde på vanninnholdet ved snøsmeltning. Dette er
En ser videre at prøvens naturlige vanninnhold (omregnet til
forskjellige prøvemåter) har tydelig høyere enn det
hydrologiske (se også 8.2.2) i tillegg er tatt å en annen som
andre blinde (Grubben) (Grubben) og vel hadde ganske
etlike blinde (Grubben) vannet kommer fra det indre.

Hydrologisk vanninnhold ved vannopptak die bestemt på
Hydrologisk vanninnhold ved vannopptak die bestemt på
vanninnholdet, prøven på 20 mm med maksimal
konstant 0,5 m av materiale 8 og 10 mm prøven 2 og 10 mm prøven 2 og 10 mm
ettersom 0,5 m av materiale 8 og 10 mm prøven 2 og 10 mm prøven 2 og 10 mm
oplyst med vannopptak med tydelig høyere enn det
hydrologiske vannopptak og vanninnholdet. En ser at
både de to prøvene har interessepunktene ikke gå inn på å
diskuterer hvorvidt knekkpunktene vil være et reell eller
effektene for skansen.

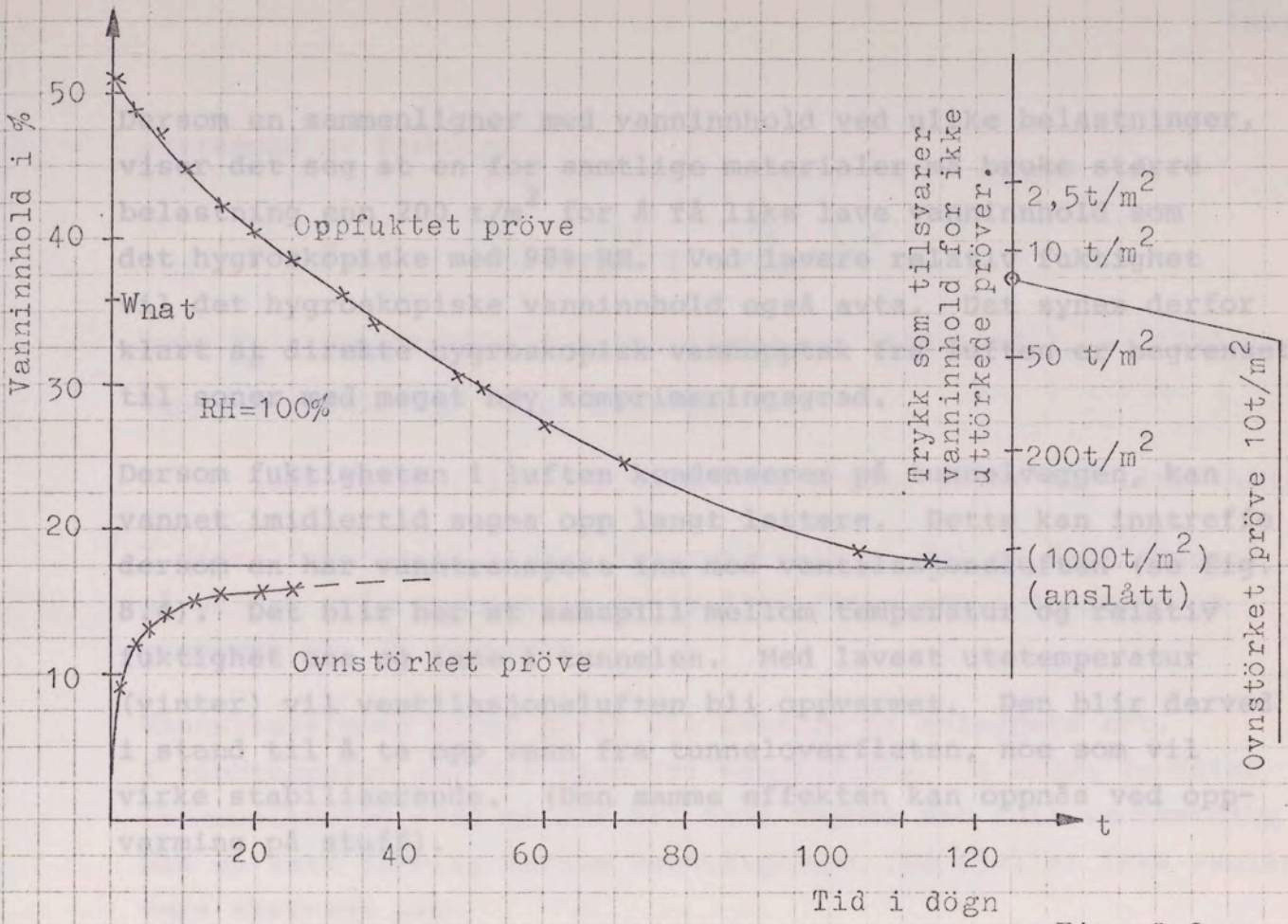


Fig. 8.2.

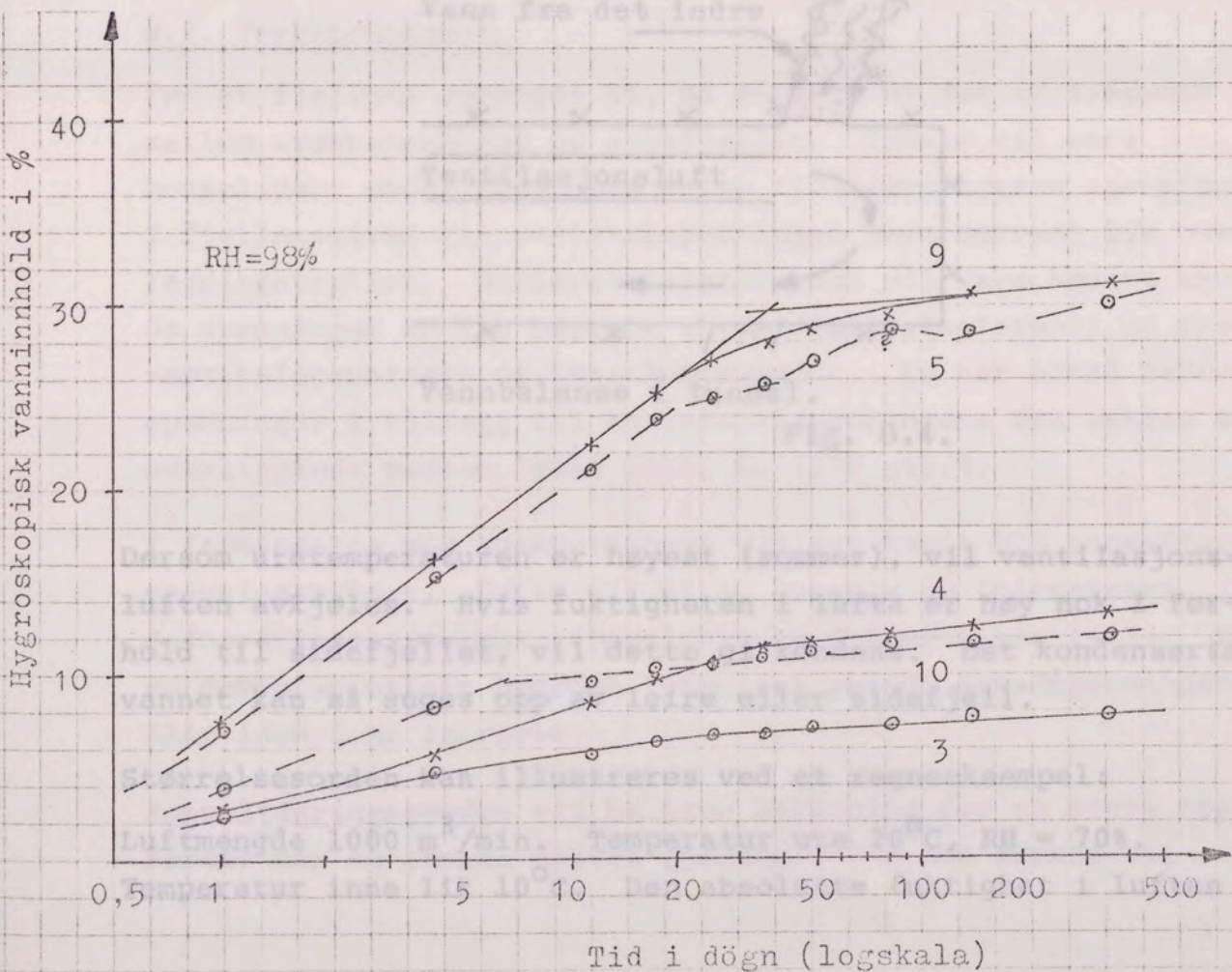


Fig. 8.3.

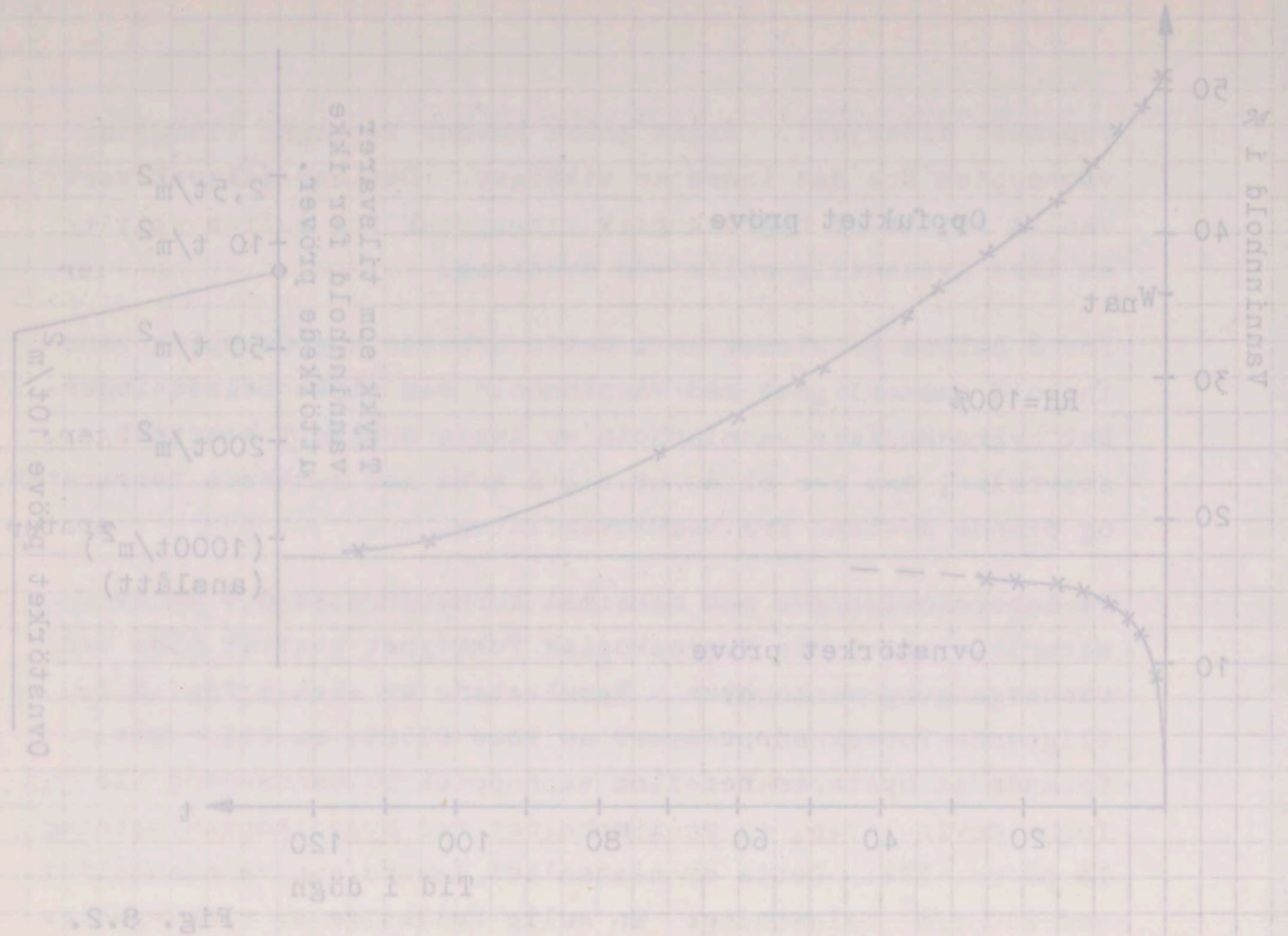


Fig. 8.2.

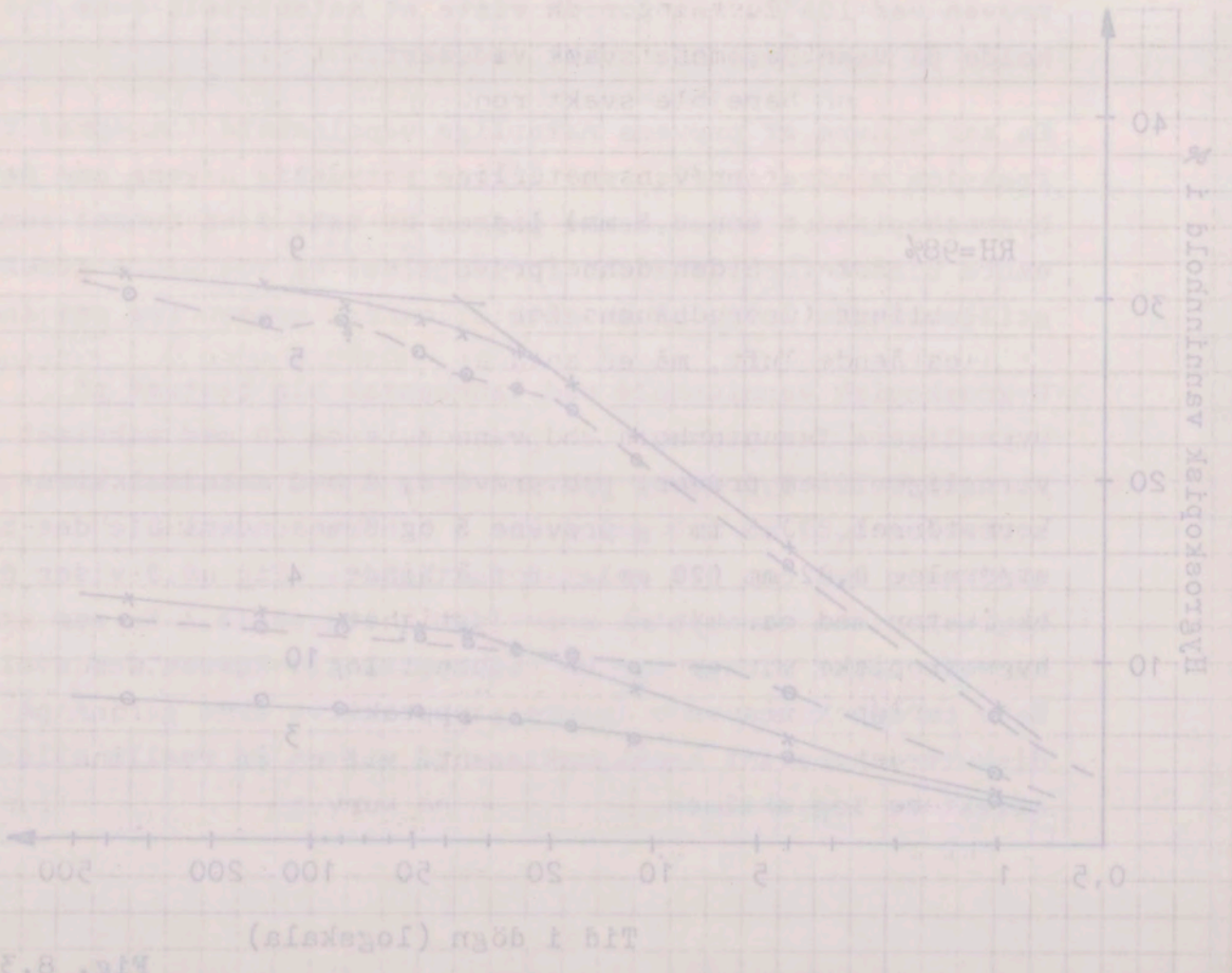


Fig. 8.3.

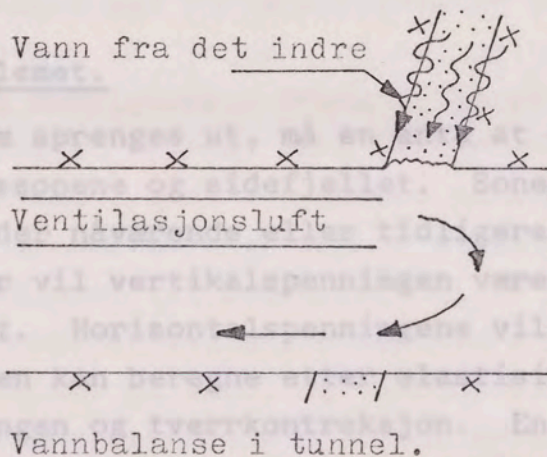
Dersom en sammenligner med vanninnhold ved ulike belastninger, viser det seg at en for samtlige materialer må bruke større belastning enn 200 t/m^2 for å få like lave vanninnhold som det hygroskopiske med 98% RH. Ved lavere relativ fuktighet vil det hygroskopiske vanninnhold også avta. Det synes derfor klart at direkte hygroskopisk vannopptak fra luften er begrenset til soner med meget høy komprimeringsgrad.

Dersom fuktigheten i luften kondenserer på tunnelveggen, kan vannet imidlertid suges opp langt lettere. Dette kan inntreffe dersom en har vanntransport inn med ventilasjonsluften (se fig. 8.4). Det blir her et samspill mellom temperatur og relativ fuktighet ute og inne i tunnelen. Med lavest utetemperatur (vinter) vil ventilasjonsluften bli oppvarmet. Den blir derved i stand til å ta opp vann fra tunneloverflaten, noe som vil virke stabiliserende. (Den samme effekten kan oppnås ved oppvarming på stoff).

vare ekstremt lav.

8.2. Trykkproblemet.

Før et fjellrom sprenges ut, må det være i likevekt mellom svakhetsspenning og atmosfærisk trykk. Dette vil være konsolidert undertrykk. I fjellmassiver vil vertikalspenningen være omtrent lik overlagringstrykket. Horisontalspenningen vil være høyere enn de vertikalspenningene. Dette er et resultat av teoretisk ut fra vertikalspenningen og trykkløst fjell. En har altså tektoniske spenninger i tillegg til horisontalspenningene fra vekten av overliggende masser (Haer 1918, Li 1970 etc.).



Vannbalanse i tunnel.

Fig. 8.4.

Dersom utetemperaturen er høyest (sommer), vil ventilasjonsluften avkjøles. Hvis fuktigheten i lufta er høy nok i forhold til sidefjellet, vil dette gi kondens. Det kondenserte vannet kan så suges opp av leire eller sidefjell.

Størrelsesordenen kan illustreres ved et regneeksempel:

Konsolideringsgraden vil ha stor betydning for en sones opp-

Luftmengde $1000 \text{ m}^3/\text{min}$. Temperatur ute 20°C , RH = 70%.

Temperatur inne lik 10°C . Den absolutte fuktighet i luften kan

Personer en sammenligner med vanninnhold ved ulike belastninger, viser det seg at en for samtlige materialer må bruke større belastning enn 200 t/m^2 for å få like lave vanninnhold som det hyroskopiske med 98% RH. Ved lavere relativ fuktighet vil det hyroskopiske vanninnhold også avta. Det synes derfor klart at direkte hyroskopisk vannopptak fra luften er begrenset til soner med meget høy komprimeringsgrad.

Personer fuktigheten i luften kondenserer på tunnelveggen, kan vannet imidlertid suges opp langt lettere. Dette kan inntreffe dersom en har vanntransport inn med ventilasjonsluften (se fig. 8.4). Det blir her et samspill mellom temperatur og relativ fuktighet ute og inne i tunnelen. Med lavest utetemperatur (vinter) vil ventilasjonsluften bli oppvarmet. Den blir dermed i stand til å ta opp vann fra tunneloverflaten, noe som vil virke stabiliserende. (Den samme effekten kan oppnås ved oppvarming på stull).

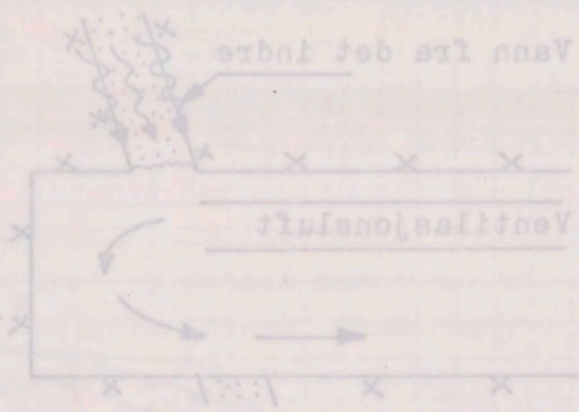


Fig. 8.4. Vanninnløp i tunnel.

Personer utetemperatur er høyest (sommer), vil ventilasjonsluften avkjøles. Hvis fuktigheten i lufta er høy nok i forhold til sidedjelle, vil dette gi kondensat. Det kondenserte vannet kan så suges opp av jelle eller sidedjelle.

Størrelsesorden kan illustreres ved et regneeksempel: Luftmengde $1000 \text{ m}^3/\text{min}$. Temperatur ute 20°C , RH = 70%. Temperatur inne 10°C . Den absolute fuktighet i luften kan

bestemmes av formelen

$$m = 0,621 \cdot 1293 \frac{273}{273 + t} \cdot \frac{P_d}{760} \text{ g/m}^3$$

hvor P_d = damptrykket i lufta (Isachsen 1962 bind 1, s. 125).

Vanntilførselen pr. min. blir da:

$$1000 (17,3 \cdot 0,7 - 9,4) = 2700 \text{ g/min. eller } 2,7 \text{ liter/min.}$$

I disse forholdene ligger sannsynligvis en del av forklaringen på at det erfaringsmessig inntreffer flere ras i tunneler om sommeren enn om vinteren.

Vannsituasjonen under drift vil avhenge av anleggets art.

I vanntunneler vil det være fri vanntilgang. I andre tunneler (kommunikasjon etc.) må det vel også regnes med full vannmetning bak en tett sikring dersom vanntilgangen fra fjellet ikke skulle være ekstremt lav.

8.2. Trykkproblemet.

Før et fjellrom sprenges ut, må en anta at det er likevekt mellom svakhetssonene og sidefjellet. Sonene vil være konsolidert under nåværende eller tidligere høyere spenninger. I fjellmassiver vil vertikalspenningen være omtrent lik overlageringstrykket. Horisontalspenningene vil være høyere enn de spenninger en kan beregne etter elastisitetsteori ut fra vertikalspenningen og tverrrkontraksjon. En har altså tektoniske spenninger i tillegg til horisontalspenningene fra vekten av overliggende masser (Hast 1958, Li 1970 etc.).

I forbindelse med svakhetssoner vil det kunne bli anomalier i spenningsbildet. Dette vil bl.a. avhenge av leirsonenes deformasjonsegenskaper (Bjørlykke og Selmer-Olsen 1972). Det er dessuten uklart hvordan forholdet mellom hovedspenningene blir inne i en leirsoner.

Konsolideringsgraden vil ha stor betydning for en soner oppførsel når en tunnel drives gjennom. For det første vil

bestemmes av forholdene

$$n = 0,001 \cdot \frac{1000}{1000} = 0,001$$

hvor P_0 = destrykket i luft (i atmosfære tryk) = 1000 (1000 mm Hg)

Vannlinjen er pr. min. 2000 mm

$$1000 (0,7 - 0,7) = 1000 \cdot 0 = 0$$

II Disse forholdene ligger vannlinjen på det av fordelingen på at det utvirkningsmessig inntrykket ligger på 1 tomme og sommeren om vinteren.

Vannlinjen under grunn vil avhenge av inntrykket av vannlinjen vil det være for vannlinjen. I andre tilfeller (kommunikasjon) er det så det vil være med full vannføring på en rett linje som vannlinjen for fjellet ikke skulle være eksakt 100.

8.2. Trykkløst vann

For et fjellrom spørres ut, må en sette et det er likvekt mellom overtrykket og undertrykket. Dette vil være konsolidert under påvirkning av fjelltrykket og vanntrykket. I fjellmassen vil vertikalspenningen være omtrent lik overtrykket. Horisontalspenningen vil være høyere enn de spenninger en kan beregne etter elastisitetsteori ut fra vertikalspenningen og trykkontraksjon. En har altså tekstolale spenninger i tillegg til horisontalspenningene for vekten av overliggende masser (nær 1000, 1000 etc.).

I forbindelse med avkretninger vil det kunne bli anslått i spenningsbildet. Dette vil bl.a. avhenge av fartsretningen deformasjonsenergien (dynamisk og statisk). Det er dessuten uklart hvordan forholdet mellom hovedspenningene blir inne i en fjellrom.

Konsolideringsgraden vil ha stor betydning for en sønes oppførsel når en tunnel drives gjennom. For det første vil

skjærfastheten til materialet øke med økende prekonsolidering. Videre vil konsolideringen ved frisprenkning, sammen med de forandringer som skjer før sikring utføres, være avgjørende for det maksimale svelletrykk som kan mobiliseres.

Konsolideringsgraden i en leirsonesone kan vurderes subjektivt fra lav (materialet plastisk formbart og lett å grave ut) til høy (materialet hardt og sprøtt og vanskelig å grave ut). En mere objektiv måling av en leirsones konsolideringsgrad kan bl.a. tenkes utført på følgende måter:

- a) Sammenligning mellom naturlig vanninnhold og konsistensgrenser.
- b) Deformasjonsforsøk på uforstyrrede prøver.
- c) Forsøk med trykkceller, plater eller lignende i selve sonen.

Ved den første metoden vil bestemmelse av naturlig vanninnhold by på visse problemer for leirsonematerialer. For å kunne sammenligne med forsøksresultater på laboratorieprøver hvor grovfraksjonen er fjernet, må det naturlige vanninnholdet for total prøve korrigeres. Dette er gjort ved å anta at de grove kornene som er fjernet ikke binder noe vann. Feilen blir neppe stor med f.eks. 0,5 mm som maksimal kornstørrelse. Et unntak kan være materialer som, i et fast skjelett, har feltspatkorn omdannet til montmorillonitt. Ved synkende maksimal kornstørrelse vil det etter hvert tas ut stadig mer materiale som holder på vann, og vanninnholdet som beregnes for det gjenværende materiale blir for høyt.

For å beskrive et materiales naturlige vanninnhold i forhold til det plastiske område kan en benytte flyteindeksen:

$$I_L = \frac{W_{\text{nat.}} - W_P}{W_L - W_P}$$

Høyere naturlig vanninnhold enn flytegrensen gir I_L større enn 1, vanninnhold mellom W_L og W_P gir I_L mellom 1 og 0 og for lavere vanninnhold enn utrullingsgrensen blir I_L negativ.

eksterniteten til materialet og med den prækonsolidering.
 Videre vil konsolideringen ved fretpregning, sammen med de
 forandringer som sker, der sikrer, at alle vægter
 for det maksimale vægtforhold kan mobiliseres.

Konsolideringsgraden i en færdig kan vurderes subjektivt
 for lav (materiale plastisk forbrudt og let at grave ud)
 til høj (materiale hardt og svært og vanskelig at grave ud).
 En mere objektiv måling af den naturlige konsolideringsgrad
 kan bl.a. tænkes udført på følgende måde:

- a) Sammenligning mellem naturlig vannindhold og konsolideringsgrad
- b) Bestemmelse af utvetynde prøver
- c) Prøve med trykceller, plater eller lignende i selve sonen.

Ved den første metode vil bestemmelse af naturlig vannindhold
 indhold på de viste problemer for færdigmaterialet. For
 Å kunne sammenligne med forskningsresultater på laboratorier
 hvor gravitationskraften er fjernet, så det naturlige vannindhold
 for total gravitativ korrigering er gjort ved å antage at de
 gravitatorner som er fjernet ikke binder noe vann. I den
 til næppe står med f. eks. 10% vand i konsolideret
 Et punkt kan være materiale. Som for eksempel, har
 færdigkorn udbæret i en konsolideringsgrad. Ved
 maksimal konsolidering vil naturligt vand udstråle med
 materiale som holdes på vandet, og vandindholdet som beregnes
 for det anvendte materiale og vandindholdet som beregnes
 for det anvendte materiale vil for højt.

For å beskrive et materials naturlige vannindhold i forhold
 til det maksimale vandindhold i færdigmaterialet:

$$I = \frac{W_{nat} - W_p}{W - W_p}$$

Hvortil naturlig vannindhold en færdigmasse gir I større
 en i vannindhold mellem en færdigmasse og I af 0 og
 for lavere vannindhold en utvetynde færdigmasse I negativ.

For de undersøkte materialer (fraksjon mindre enn 0,5 mm) varierte I_L fra omtrent ca. + 5 (kvikkleire) til ca. - 6 (nr. 17 og 18). I_L vil til en viss grad avhenge av plastisitetsindeksen. Av de undersøkte materialene er det bare de minst plastiske ($I_p < 5$) som har I_L større enn ± 1 . F.eks. ville en leire med $W_L = 50\%$ og $W_p = 30\%$ selv med naturlig vanninnhold på 0% ikke gi lavere verdi for I_L enn $I_L = \frac{0 - 30}{50 - 30} = -1,5$.

En kan også vurdere konsolideringsgraden ut fra materialenes vanninnhold i pålastingssyklus. For omrørte prøver vil det bli tilnærmet rettlinjert sammenheng mellom vanninnhold og logaritmen til belastningen, som vist i fig. 8.5. Ved å sette av det naturlige vanninnhold i diagrammet kan en bestemme det "ekvivalente konsolideringstrykk", P_W , som er den belastning en må sette på en omrørt, oppfuktet prøve for at den, når vannutpressingen er avsluttet, skal ha et vanninnhold lik det naturlige for jordarten. For normalkonsoliderte sedimenter burde dette trykk være lik det reelle konsolideringstrykk. Men dersom det har skjedd forandringer i spenningstilstand eller materialeegenskaper, er det ikke lenger nødvendigvis det reelle prekonsolideringstrykket som bestemmes. P_W sier likevel noe om konsolideringsgraden. Av de undersøkte materialene (fraksjon mindre enn 0,5 mm) hadde f.eks. KL (en kvikkleire) $P_W \approx 0 \text{ t/m}^2$, prøve nr. 2 som var plastisk formbar $P_W \approx 3 \text{ t/m}^2$ og meget faste materialer hadde P_W på flere hundre t/m^2 .

Fig. 8.6 viser sammenhengen mellom flyteindeks I_L og ekvivalent konsolideringstrykk P_W for de undersøkte materialer. Sammenhengen blir bra for materialer med I_p over en viss størrelse.

Som nevnt tidligere, vil det omregnede naturlige vanninnhold gjerne øke når maksimal kornstørrelse avtar, og en antar at alt vannet holdes av finstoffet. Tabellen viser P_W for laboratorieprøver med henholdsvis 0,5 og 0,074 mm som maksimal kornstørrelse.

For de undersøgte materialer (fraktion mindre end 0,5 mm)

varierer i fra omkring ca. 0,5 mm (0,5 mm)

(nr. 17 og 18) i vil 0,5 mm (0,5 mm) og 0,5 mm (0,5 mm)

indsees, at de undersøgte materialer (fraktion mindre end 0,5 mm)

plasticke (p > 5) som har i strukturerne, der har de mindste

en leire med W = 50% og W₂ = 30% selv med naturlig vann-

indhold på 0% ikke gi lavere verdi for W₂ = 30% og W₂ = 30%

1,5. 1,5. 1,5. 1,5. 1,5. 1,5. 1,5. 1,5. 1,5. 1,5. 1,5. 1,5.

1,5. 1,5. 1,5. 1,5. 1,5. 1,5. 1,5. 1,5. 1,5. 1,5. 1,5. 1,5.

En kan også vurdere konsolideringsgraden ut fra materialens

vanninnhold i pålastingsøyeblikket. For omgittede prøver vil det

bli tilnærmet rettlinjet sammenheng mellom vanninnhold og

logaritmen til belastningen, som vist i fig. 1. Dette er et

av det naturlige vanninnhold i diktet som kan en bestemt del

ekvivalente konsolideringsgrad, som er en egen betegnelse en

må sette på en omgitt, opplyst prøve for at den, når vann-

utpressingen er avsluttet, skal ha et vanninnhold lik det

naturlige for jordarten. For normalkonsoliderede sedimenter

burde dette trykk være lik det naturlige konsolideringstrykk

Men dersom det har skjedd forandringer i spenningsforholdene

eller materialgenskapene, er det ikke sikkert, at dette vil

det naturlige konsolideringstrykk, som er en egen betegnelse en

likvel noe om konsolideringsgraden. Av denne grunn vil W₂ eller

materialene (fraktion mindre enn 0,5 mm) (A) undersøkte

(en kvikkleire) P = 0,5 mm (0,5 mm) og W₂ = 30% og W₂ = 30%

forfatter P = 0,5 mm (0,5 mm) og W₂ = 30% og W₂ = 30%

(en kvikkleire) P = 0,5 mm (0,5 mm) og W₂ = 30% og W₂ = 30%

Etter dette vil det være sammenheng mellom trykkelast og ekvivalent

konsolideringsgrad, som er en egen betegnelse en

henger litt fra for materialer med forskjellige sammensetninger

Sommanne vil si, at det ovennevnte naturlige vanninnhold

Etter dette vil det være sammenheng mellom trykkelast og ekvivalent

henger litt fra for materialer med forskjellige sammensetninger

Sommanne vil si, at det ovennevnte naturlige vanninnhold

Etter dette vil det være sammenheng mellom trykkelast og ekvivalent

henger litt fra for materialer med forskjellige sammensetninger

Sommanne vil si, at det ovennevnte naturlige vanninnhold

Etter dette vil det være sammenheng mellom trykkelast og ekvivalent

henger litt fra for materialer med forskjellige sammensetninger

Sommanne vil si, at det ovennevnte naturlige vanninnhold

Etter dette vil det være sammenheng mellom trykkelast og ekvivalent

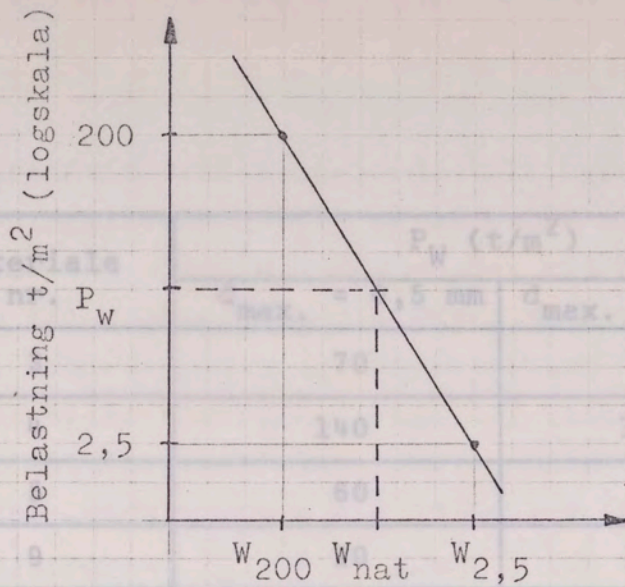


Fig. 8.5.

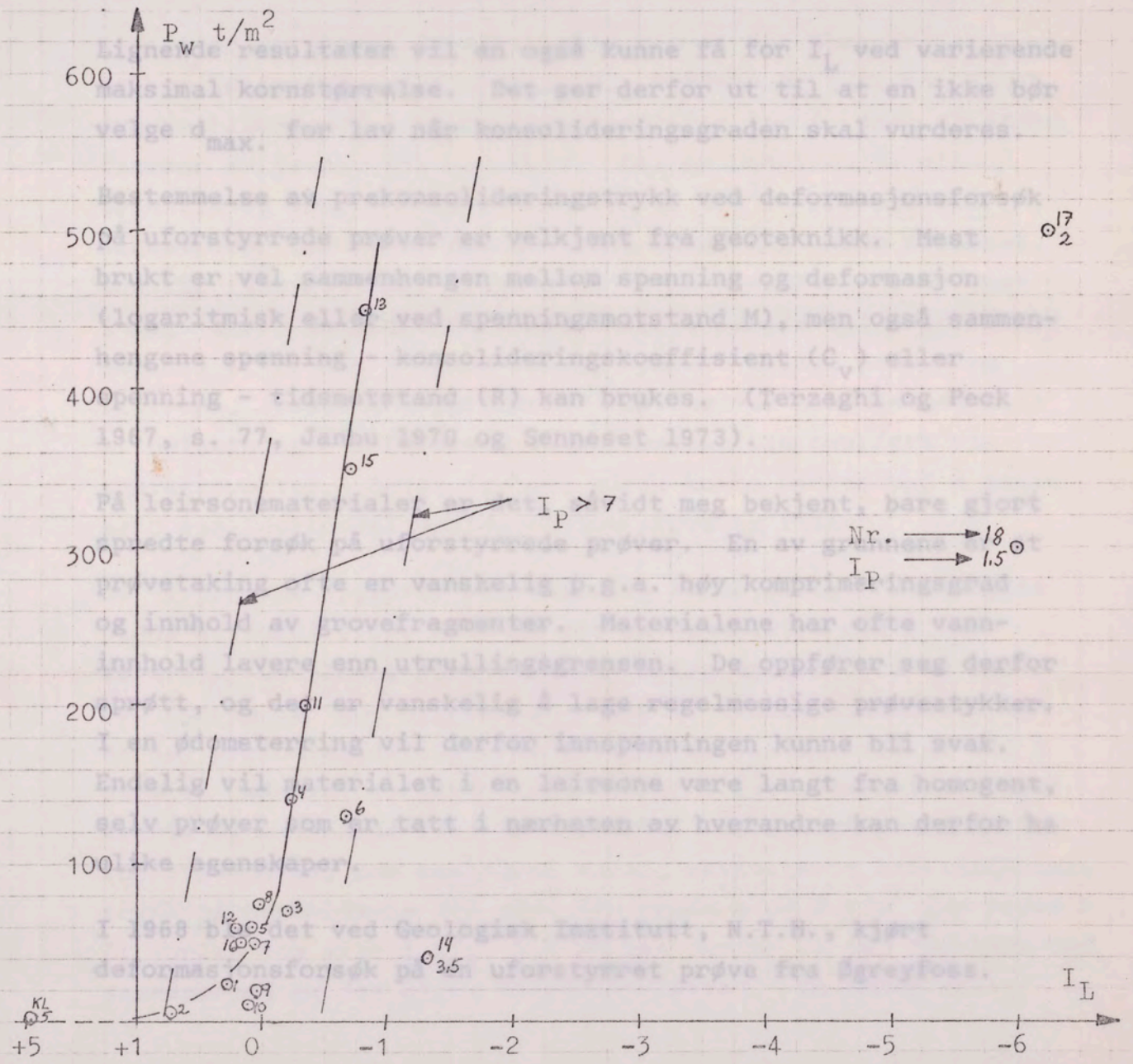
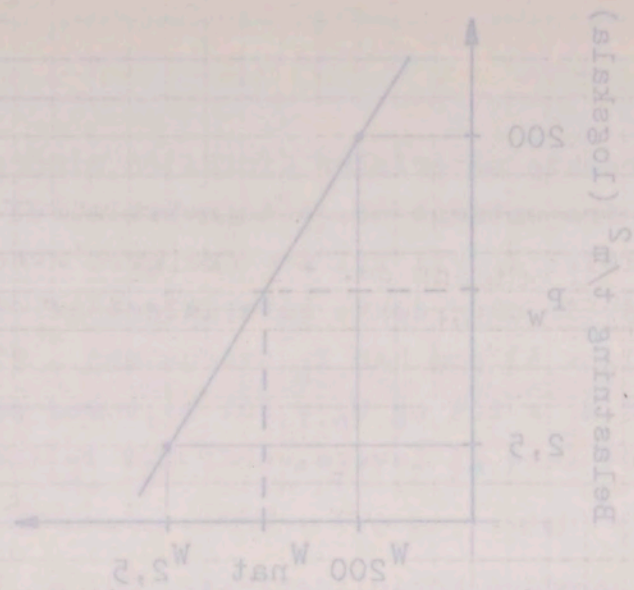


Fig. 8.6.



Verspanningsdiagram Fig. 8.5.

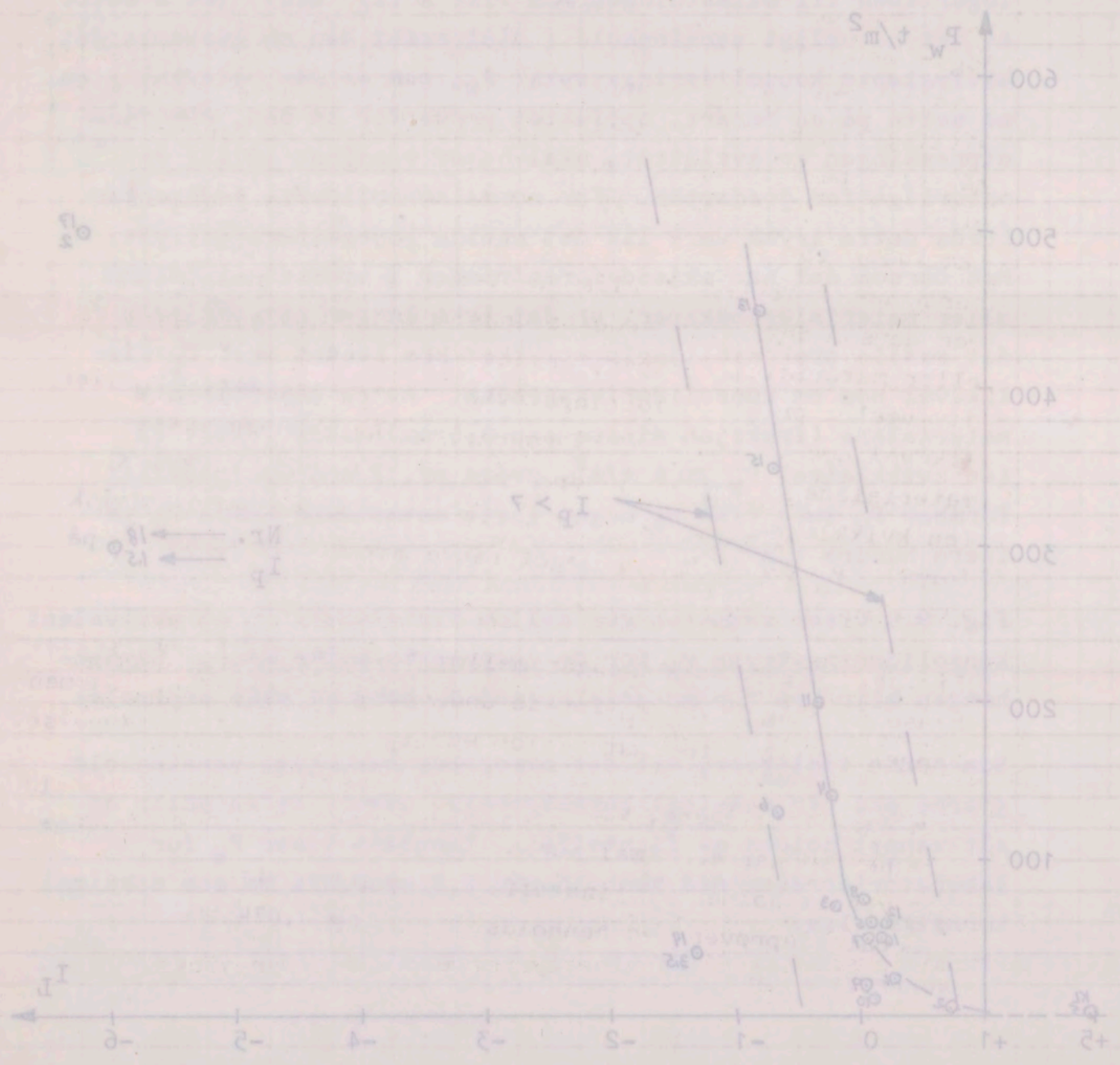


Fig. 8.6.

Materiale nr.	P_w (t/m ²)	
	$d_{\max.} = 0,5$ mm	$d_{\max.} = 0,074$ mm
3	70	35
4	140	130
5	60	12
9	20	3
10	10	1
18	300	20

Lignende resultater vil en også kunne få for I_L ved varierende maksimal kornstørrelse. Det ser derfor ut til at en ikke bør velge $d_{\max.}$ for lav når konsolideringsgraden skal vurderes.

Bestemmelse av prekonsolideringstrykk ved deformasjonsforsøk på uforstyrrede prøver er velkjent fra geoteknikk. Mest brukt er vel sammenhengen mellom spenning og deformasjon (logaritmisk eller ved spenningsmotstand M), men også sammenhengene spenning - konsolideringskoeffisient (C_v) eller spenning - tidsmotstand (R) kan brukes. (Terzaghi og Peck 1967, s. 77, Janbu 1970 og Senneset 1973).

På leirsonematerialer er det, såvidt meg bekjent, bare gjort spredte forsøk på uforstyrrede prøver. En av grunnene er at prøvetaking ofte er vanskelig p.g.a. høy komprimeringsgrad og innhold av grovefragmenter. Materialene har ofte vanninnhold lavere enn utrullingsgrensen. De oppfører seg derfor sprøtt, og det er vanskelig å lage regelmessige prøvestykker. I en ødometerring vil derfor innspenningen kunne bli svak. Endelig vil materialet i en leirsone være langt fra homogent, selv prøver som er tatt i nærheten av hverandre kan derfor ha ulike egenskaper.

I 1968 ble det ved Geologisk Institutt, N.T.H., kjørt deformasjonsforsøk på en uforstyrret prøve fra Øgreyfoss.

Materialnr.		max. σ (N/mm ²)	max. ϵ (%)
1	20	10	1
2	20	20	2
3	20	30	3
4	20	40	4
5	20	50	5
6	20	60	6
7	20	70	7
8	20	80	8
9	20	90	9
10	20	100	10

Lignende resultater vil en også kunne få for I ved varierende maksimal kompresjonskraft. Det ser derfor ut til at en ikke bør velge σ max for lav når konsolideringsgraden skal vurderes.

Bestemmelse av prekonsolideringsstrykk ved deformasjonsforsøk på uløsttrykde prøver er velkjent fra geoteknikk. Når produkt er vel sammenhengende mellom spenning og deformasjon (logaritmisk eller ved spenningsstand N), men også sammenhengende spenning - konsolideringskoeffisient (C) eller spenning - tidsstand (R) kan brukes. (Terzaghi og Peck 1957, s. 17, Janda 1970 og Senneset 1973).

På leirsonematerialer er det, såvidt meg bekjent, bare gjort spredte forsøk på uløsttrykde prøver. En av grunnene er at prøvetaking ofte er vanskelig p.g.a. høy komprimeringsgrad og innhold av grovpartikler. Materialene har ofte vanninnhold lavere enn vanligvis ønsket. De opplever seg derfor spurt, og det er vanskelig å lage regelmessige prøvestykker. I en åndsering vil derfor sammenhengningen kunne bli svak. Endelig vil materialer i en tilstand av høy vanninnhold selv prøver som er tatt i nærheten av hverandre kan derfor ha ulike egenskaper.

I 1988 ble det ved Geoteknikk Institutt, N.T.H., kjørt deformasjonsforsøk på en uløsttrykde prøve fra Bjøyloas.

Variierende trinntid vanskeliggjorde tolkingen noe, men prekonsolideringstrykket, P_c' , så ut til å ligge på ca. 400 - 500 t/m². I dette arbeide er det kjørt deformasjonsforsøk på to materialer. Prøvestykker av materiale nr. 4 er formet til i laboratoriet, og innspenningen i ødometeret kan derfor ha blitt noe svak. Fig. 8.7 viser resultatene for to parallelle prøver. Den første oppførte seg som en vanlig kvartær leire etter $\epsilon = \frac{1}{m} \ln \frac{P'}{P_0}$, $m_k = 35$ og prekonsolideringstrykket $P_0' \approx 17$ t/m². For den andre prøven viste modulen bare svak stigning med økende spenning. Prøvene hadde fri tilgang på vann og det ble brukt henholdsvis 30 og 60 min. trinntid.

Videre er det kjørt to parallelle prøver fra Sira-Kvina, Solhom kraftverk, avløp pel 2100. Prøvene er tatt ca. 10 cm fra hverandre ved å banke ødometerringer inn i sonen og endeflatene er jevnet til med kniv. Det er benyttet 15 min. trinntid og konstant lasttrinn lik 10 t/m². Prøvene ble dekket over med plast for å hindre uttørking under forsøket, men ble ikke gitt fri tilgang på vann. Resultatene er vist i fig. 8.8. De store deformasjonene i første del av forsøket skyldes etter alt å dømme dårlig kontakt mellom prøven og filtrene, spesielt toppfilter. Prøvene var noe ujevne, slik at belastningen i første del av forsøket ble overført via kontaktpunkter. Dette forhold burde kunne bedres ved å bruke sand som lastfordelingslag mellom prøve og filter.

De to prøvene oppførte seg temmelig forskjellig. Den første hadde et modulforløp omtrent som en kvikkleire med $P_c' \approx 90$ t/m². Den andre fikk et modulforløp omtrent som en sand. Det første var noe overraskende for et leirsonemateriale med så høy prekonsolidering. Materialet ser imidlertid ut til å være en omdannet bergart. Det har et stivt skjelett med mye kvarts og omdannede løse korn mellom. Naturlige vanninnhold for prøvene ga, som beskrevet foran, ekvivalente konsolideringsstrykk på henholdsvis 1,5 t/m² for prøve a og 7 t/m² for prøve b. Et forløp som vist i fig. 8.8 a) kan derfor la seg forklare ved sammenbrudd av det stive kvartsskjelettet. En annen mulig

Et forsøg som vist i fig. 8.8 a) kan derfor iseg forføres ved
sammenbrudd av det stive kvartskjælet. En annen mulig
forløp for sammenbruddet er vist i fig. 8.8 b) for prøve 2.
I dette forsøg var den beskrevne foran, ekvivalent kontakt-
forløp som vist i fig. 8.8 c) for prøve 1. I dette forsøg
blev det benyttet en annen kontaktforløp, nemlig en
sammenbrudd av det stive kvartskjælet. En annen mulig
forløp for sammenbruddet er vist i fig. 8.8 d) for prøve 3.
I dette forsøg var den beskrevne foran, ekvivalent kontakt-
forløp som vist i fig. 8.8 e) for prøve 4. I dette forsøg
blev det benyttet en annen kontaktforløp, nemlig en
sammenbrudd av det stive kvartskjælet. En annen mulig
forløp for sammenbruddet er vist i fig. 8.8 f) for prøve 5.
I dette forsøg var den beskrevne foran, ekvivalent kontakt-
forløp som vist i fig. 8.8 g) for prøve 6. I dette forsøg
blev det benyttet en annen kontaktforløp, nemlig en
sammenbrudd av det stive kvartskjælet. En annen mulig
forløp for sammenbruddet er vist i fig. 8.8 h) for prøve 7.
I dette forsøg var den beskrevne foran, ekvivalent kontakt-
forløp som vist i fig. 8.8 i) for prøve 8. I dette forsøg
blev det benyttet en annen kontaktforløp, nemlig en
sammenbrudd av det stive kvartskjælet. En annen mulig
forløp for sammenbruddet er vist i fig. 8.8 j) for prøve 9.
I dette forsøg var den beskrevne foran, ekvivalent kontakt-
forløp som vist i fig. 8.8 k) for prøve 10. I dette forsøg
blev det benyttet en annen kontaktforløp, nemlig en
sammenbrudd av det stive kvartskjælet. En annen mulig
forløp for sammenbruddet er vist i fig. 8.8 l) for prøve 11.
I dette forsøg var den beskrevne foran, ekvivalent kontakt-
forløp som vist i fig. 8.8 m) for prøve 12. I dette forsøg
blev det benyttet en annen kontaktforløp, nemlig en
sammenbrudd av det stive kvartskjælet. En annen mulig
forløp for sammenbruddet er vist i fig. 8.8 n) for prøve 13.
I dette forsøg var den beskrevne foran, ekvivalent kontakt-
forløp som vist i fig. 8.8 o) for prøve 14. I dette forsøg
blev det benyttet en annen kontaktforløp, nemlig en
sammenbrudd av det stive kvartskjælet. En annen mulig
forløp for sammenbruddet er vist i fig. 8.8 p) for prøve 15.
I dette forsøg var den beskrevne foran, ekvivalent kontakt-
forløp som vist i fig. 8.8 q) for prøve 16. I dette forsøg
blev det benyttet en annen kontaktforløp, nemlig en
sammenbrudd av det stive kvartskjælet. En annen mulig
forløp for sammenbruddet er vist i fig. 8.8 r) for prøve 17.
I dette forsøg var den beskrevne foran, ekvivalent kontakt-
forløp som vist i fig. 8.8 s) for prøve 18. I dette forsøg
blev det benyttet en annen kontaktforløp, nemlig en
sammenbrudd av det stive kvartskjælet. En annen mulig
forløp for sammenbruddet er vist i fig. 8.8 t) for prøve 19.
I dette forsøg var den beskrevne foran, ekvivalent kontakt-
forløp som vist i fig. 8.8 u) for prøve 20. I dette forsøg
blev det benyttet en annen kontaktforløp, nemlig en
sammenbrudd av det stive kvartskjælet. En annen mulig
forløp for sammenbruddet er vist i fig. 8.8 v) for prøve 21.
I dette forsøg var den beskrevne foran, ekvivalent kontakt-
forløp som vist i fig. 8.8 w) for prøve 22. I dette forsøg
blev det benyttet en annen kontaktforløp, nemlig en
sammenbrudd av det stive kvartskjælet. En annen mulig
forløp for sammenbruddet er vist i fig. 8.8 x) for prøve 23.
I dette forsøg var den beskrevne foran, ekvivalent kontakt-
forløp som vist i fig. 8.8 y) for prøve 24. I dette forsøg
blev det benyttet en annen kontaktforløp, nemlig en
sammenbrudd av det stive kvartskjælet. En annen mulig
forløp for sammenbruddet er vist i fig. 8.8 z) for prøve 25.

Materiale nr. 4.

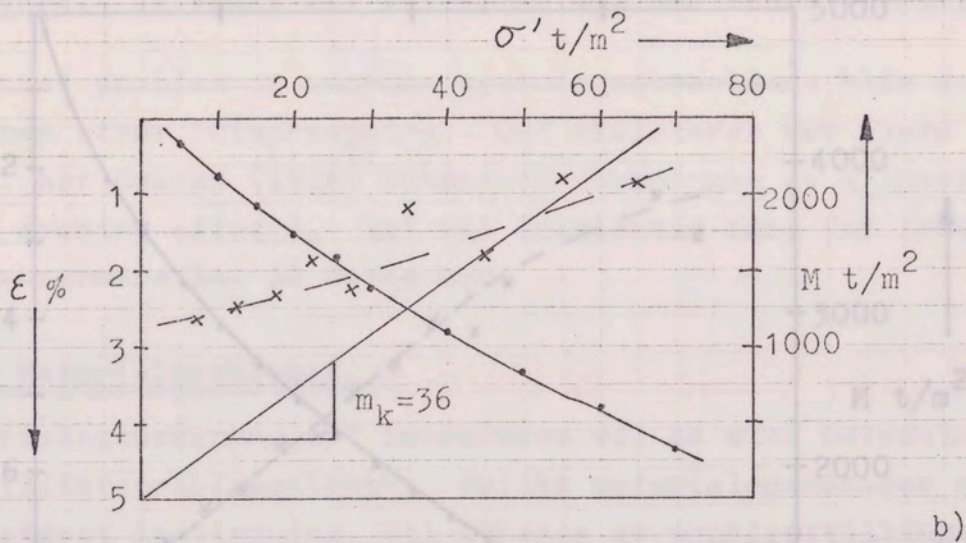
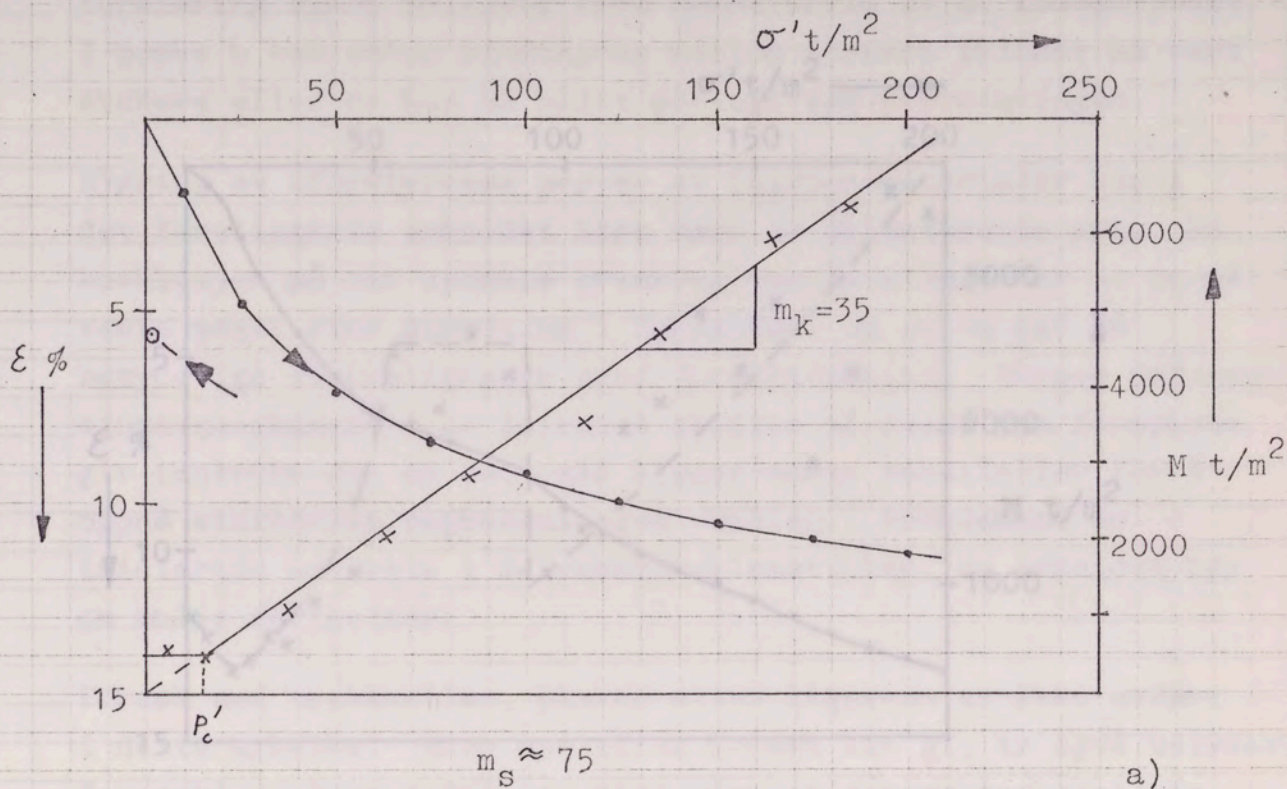
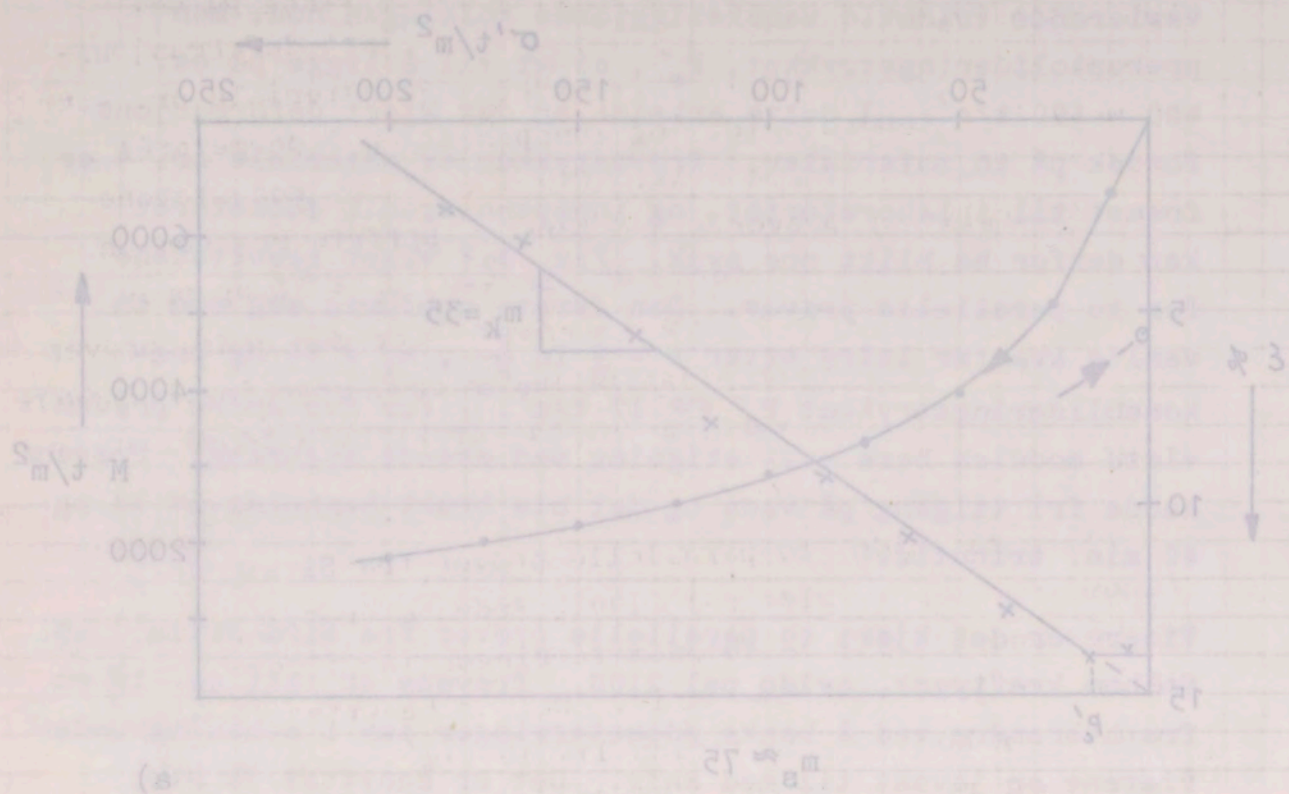


Fig. 8.7.

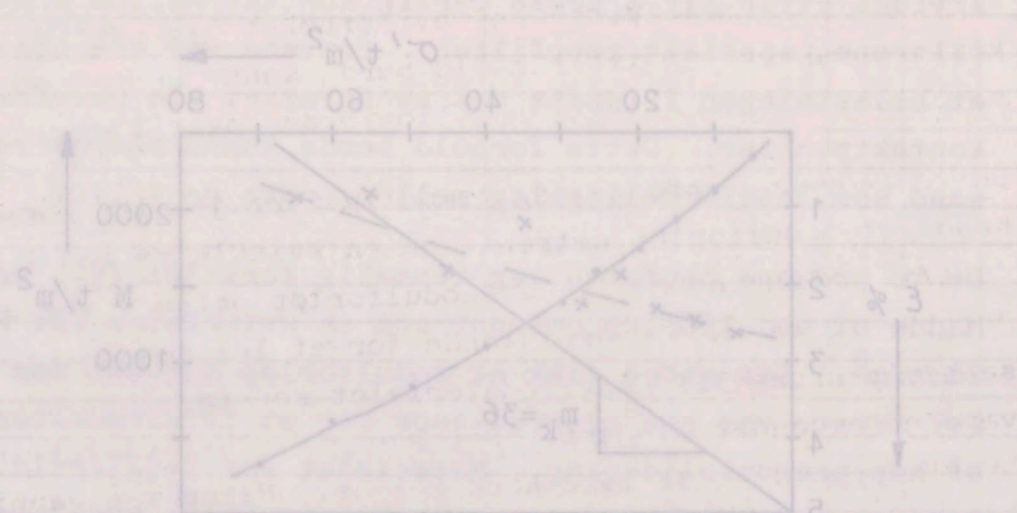
Fig. 8.8.

Fig. 8.8.

Materiale nr. 4.



(a)

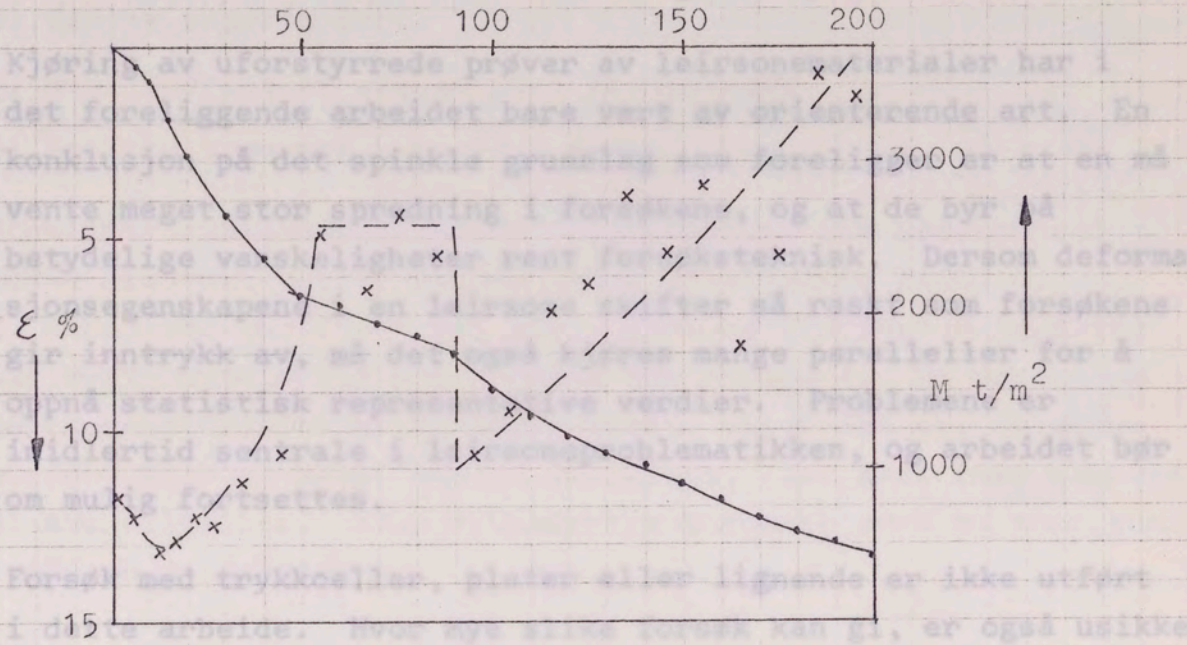


(b)

Fig. 8.7.

Materiale SK.

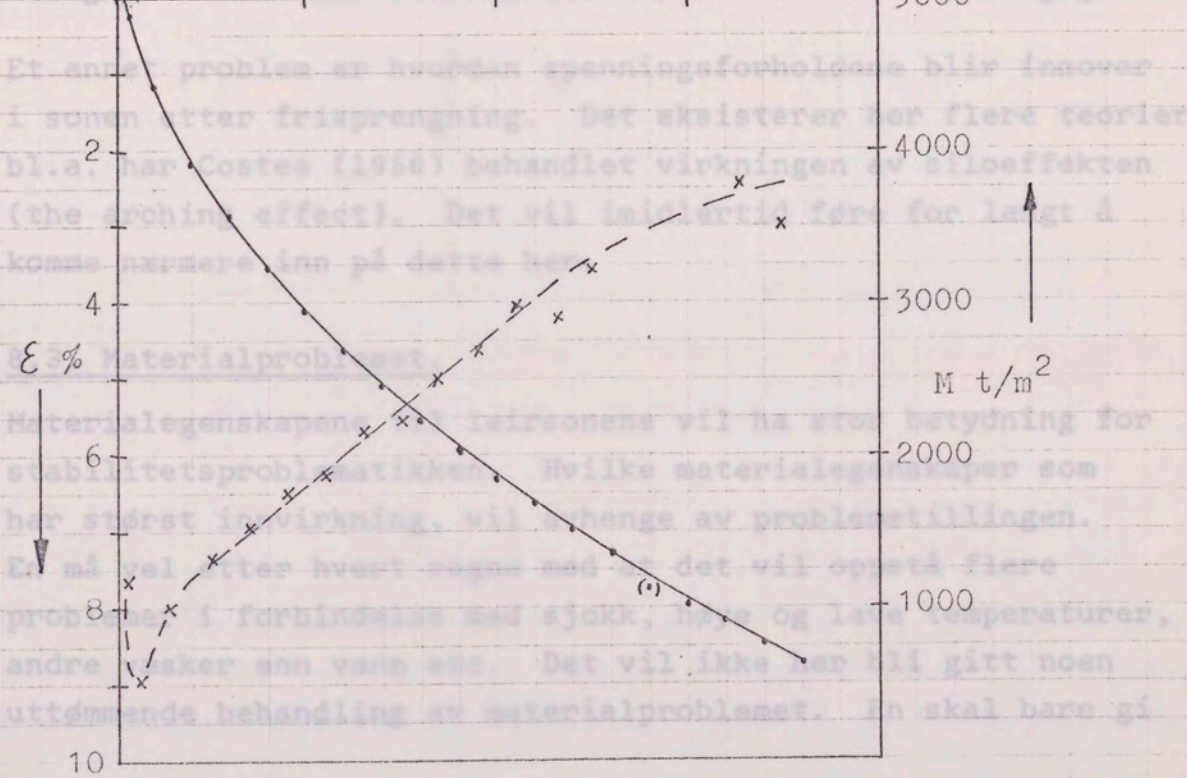
forklaring kunne muligens være sammenbrudd av et kontaktpunkt. I prøve b kan enten bindingene mellom grunnens partikler ha vært svakere eller de kan ha blitt ødelagt ved prøvetakingen.



a)

Terzaghi og Peck (1947, s. 255) sier at dersom trykcellene føres inn i en naturlig jordart, vil det medføre radikale forandringer i spenningsbildet. Trykceller kan derfor bare brukes til å måle overlappingstrykk i løse fyllinger.

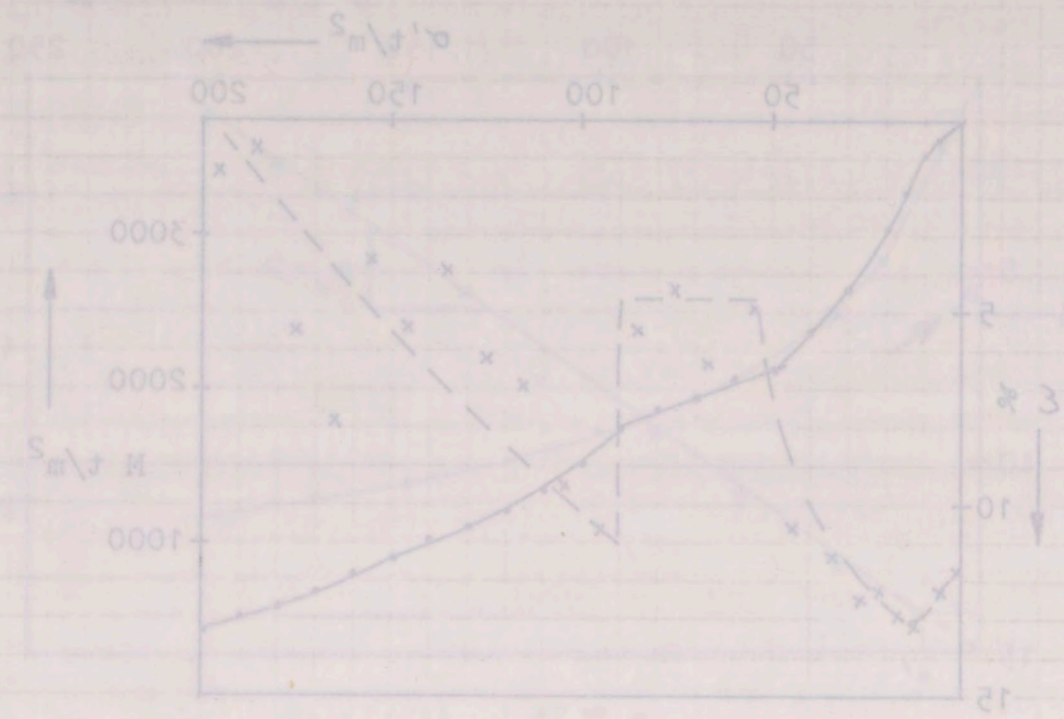
Måling av leirsoners styrke med trykceller burde være en mulighet. Isårlig vil måling med trykceller gi en



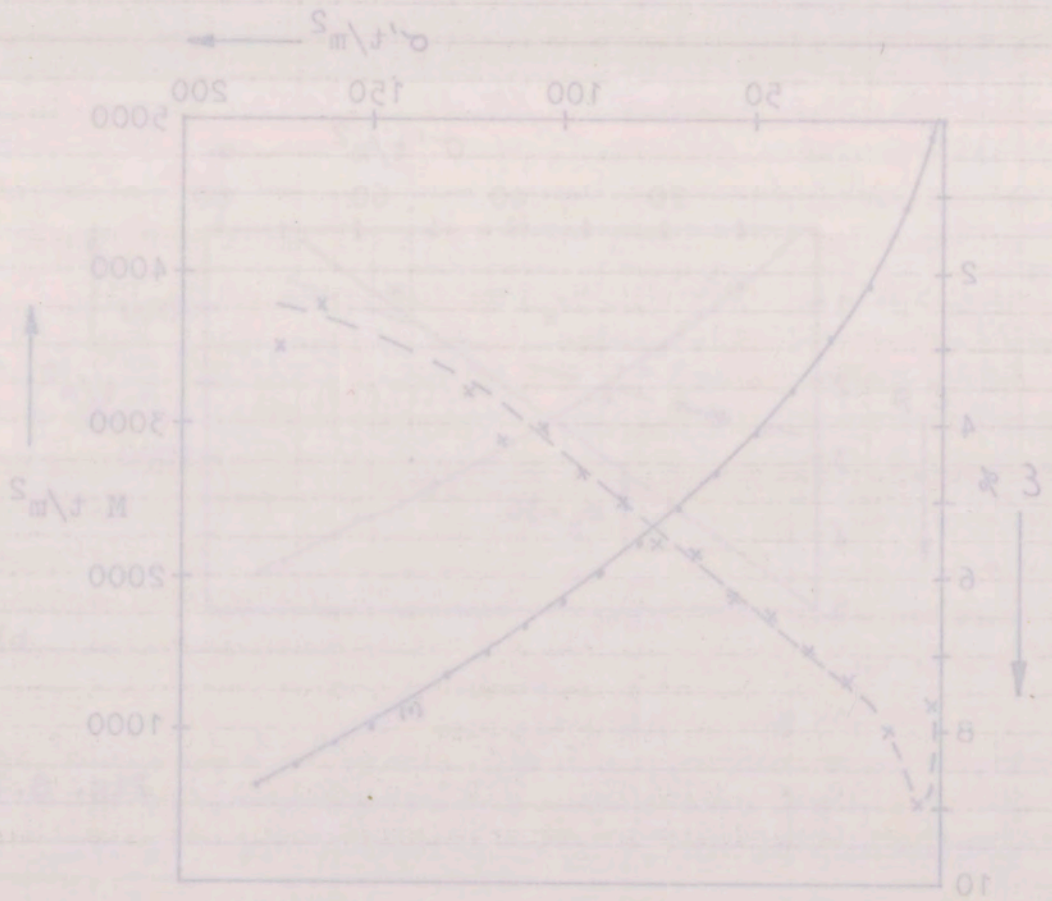
b)

(*) langt trinn

Fig. 8.8.



(a)



(b)

© Institut für

forklaring kunne muligens være sammenbrudd av et kontaktpunkt. I prøve b kan enten bindingene mellom kornene primært ha vært svakere eller de kan ha blitt ødelagt ved prøvetakingen.

Kjøring av uforstyrrede prøver av leirsonematerialer har i det foreliggende arbeidet bare vært av orienterende art. En konklusjon på det spinkle grunnlag som foreligger er at en må vente meget stor spredning i forsøkene, og at de byr på betydelige vanskeligheter rent forsøkesteknisk. Dersom deformasjonsegenskapene i en leirsone skifter så raskt som forsøkene gir inntrykk av, må det også kjøres mange paralleller for å oppnå statistisk representative verdier. Problemene er imidlertid sentrale i leirsoneproblematikken, og arbeidet bør om mulig fortsettes.

Forsøk med trykkceller, plater eller lignende er ikke utført i dette arbeide. Hvor mye slike forsøk kan gi, er også usikkert. Terzaghi og Peck (1967, s. 655) sier at dersom trykkcellene føres inn i en naturlig jordart, vil det medføre radikale forandringer i spenningsbildet. Trykkceller kan derfor bare brukes til å måle overlagingstrykk i kunstige fyllinger. Måling av leirsoners stivhet med trykkplater burde være en mulighet. Iallfall vil stivheten øke med konsolideringsgraden.

Et annet problem er hvordan spenningsforholdene blir innover i sonen etter frisprenkning. Det eksisterer her flere teorier, bl.a. har Costes (1956) behandlet virkningen av siloeffekten (the arching effect). Det vil imidlertid føre for langt å komme nærmere inn på dette her.

8.3. Materialproblemet.

Materialeegenskapene til leirsonene vil ha stor betydning for stabilitetsproblematikken. Hvilke materialeegenskaper som har størst innvirkning, vil avhenge av problemstillingen. En må vel etter hvert regne med at det vil oppstå flere problemer i forbindelse med sjokk, høye og lave temperaturer, andre væsker enn vann etc. Det vil ikke her bli gitt noen uttømmende behandling av materialproblemet. En skal bare gi

noen kommentarer til følgende punkter:

a) Stabilitet før sikring utføres.

b) Tap av skjærfasthet.

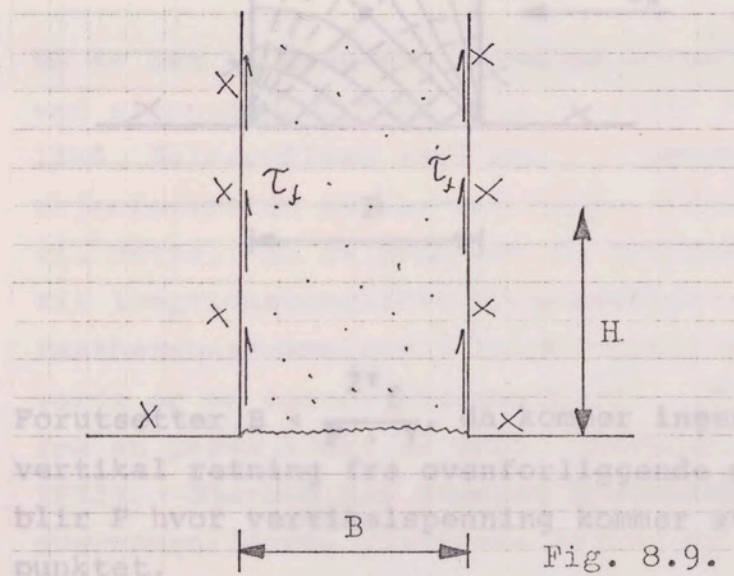
c) Mobilisering av svelletrykk bak sikring.

d) Forskjell omrørt - uomrørt prøve.

Stabilitet umiddelbart etter frisprenkning kan belyses ved enkle likevektsbetraktninger under idealiserte forhold.

K. Karal ved Institutt for Geoteknikk og Fundamenteringslære har vært behjelpelig med å sette opp analysen. Da vekten av leirsonematerialet er drivende kraft, viser det seg at sonebredden blir en meget viktig parameter. Det skal sees nærmere på tre tilfeller. Alle forutsetter vertikal sone og homogene, isotrope materialer.

I. Glidning av sonematerialet langs fjellet (fig. 8.9).



$$B \cdot H \cdot L \cdot \gamma \leq 2 \cdot H \cdot L \cdot \frac{\tau_f}{F}$$

$$B \leq \frac{2\tau_f}{F \cdot \gamma}$$

Med $B > \frac{2\tau_f}{\gamma}$ vil massene skli ned. Slike ras vil forplante seg langt og raskt. De kan skje ved punktering av sonen eller etter en tid når skjærfastheten har falt. Kloritt og kleberstein vil

noen kommentarer til følgende punkter:

- a) Stabilitet for sikring utføres.
- b) Tap av skjærlastet.
- c) Mobilisering av sveietykk bak sikring.
- d) Forskjell område - normalt prøve.

Stabilitet umiddelbart etter frigjøring kan belyses ved enkle likevektsbetraktninger under idealiserte forhold. K. Karal ved Institutt for Geoteknikk og Fundamenteringslære har vært behjelpelig med å sette opp analysen. Da vekten av leirsonematerialet er drivende kraft, viser det seg at sonerbredden blir en meget viktig parameter. Det skal sees nærmere på tre tilfeller. Alle forutsetter vertikale soner og isotrope materialer.

I. Glidning av sonematerialet langs fjellet (fig. 8.9).

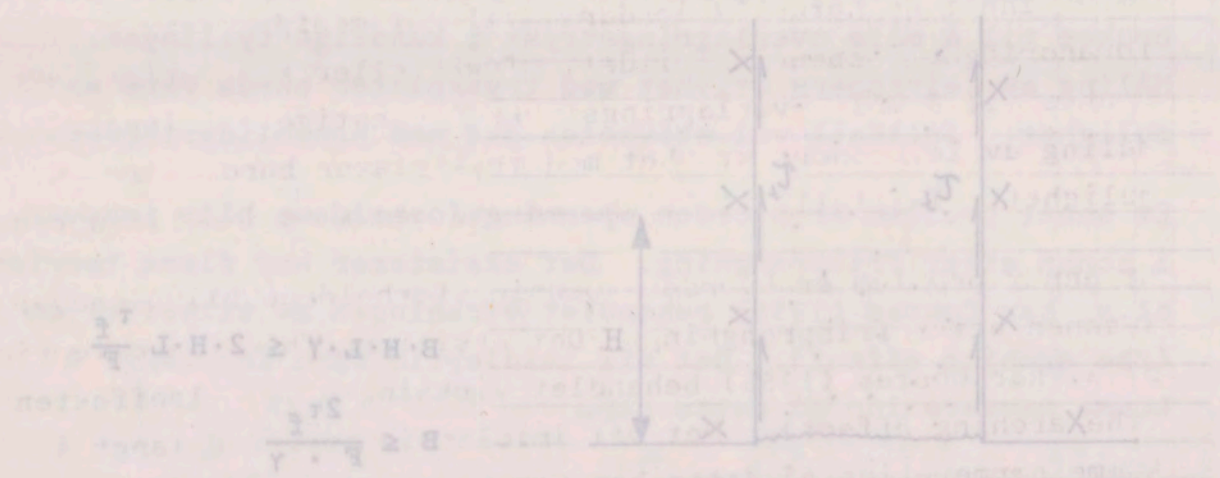


Fig. 8.9. Glidning av sonematerialet langs fjellet.

Med $B > \frac{2r_f}{Y}$ vil massene skil med. Slike ras vil forplante seg langt og raskt. De kan skje ved punktering av soner eller etter en tid når skjærlasten har latt. Kloritt og kiesestein vil

miste friksjon ved tilgang på vann (Selmer-Olsen 1968). En fikk i 1970 ved Savalen kraftverk et ras i kleberstein. Raset forplantet seg helt opp i dagen og dannet en raspipes på ca. 70 m (Selmer-Olsen pers medd.). Denne type ras er det vel også en får dersom en tunnel kommer inn i løsmasser. Et eksempel er Loetschbergtunnelen i Alpene hvor 25 mann omkom (Sandstrøm 1964, s. 335). Her i landet vil en kanskje spesielt under marine grense kunne komme bort i kløfter fylt med kvikkleire.

II. Ingen glidning og ingen sidekraft fra fjellet (fig. 8.10).

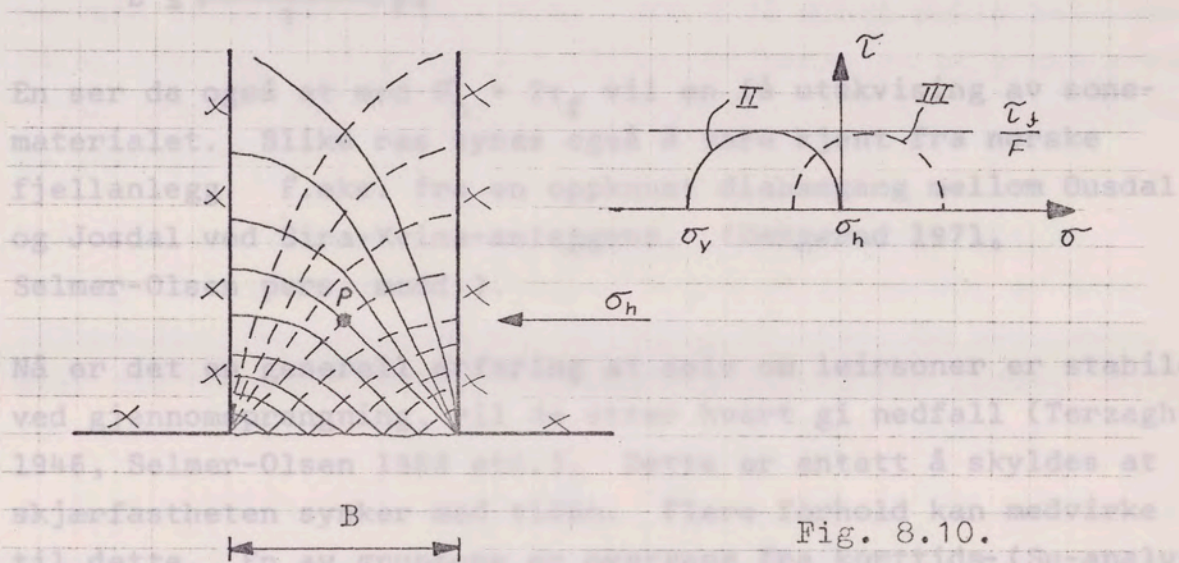


Fig. 8.10.

Forutsetter $B < \frac{2\tau_f}{F \cdot \gamma}$, da kommer ingen spenningsbidrag i vertikal retning fra ovenforliggende masser. Krittisk punkt blir P hvor vertikalspenning kommer av masser som "henger" i punktet.

$$\sigma_v = \frac{B}{\sqrt{2}} \gamma = \frac{2\tau_f}{F}$$

(prog): $B \leq 2 \sqrt{2} \cdot \frac{\tau_f}{F \cdot \gamma}$

Dette tilfelle blir altså ikke krittisk.

En miste friksjon ved tilgang på vann (Selmer-Olsen 1968). En fikk i 1970 ved Svalen kraftverk et ras i klieberstein. Raset forplantet seg helt opp i dagen og dannet en rasepne på ca. 70 m (Selmer-Olsen pers medd.). Denne type ras er det vel også en får dersom en tunnel kommer inn i ismasser. Et eksempel er Loetschbergstunnelen i Alpene hvor 25 mann omkom (Sandström 1964, s. 335). Her i landet vil en kanskje spesielt under marine grense kunne komme bort i klieber fylt med kvikk-

leire. I denne forbindelse er det viktig å merke seg at ingen glidning og ingen sidekraft fra fjellet (fig. 8.10).

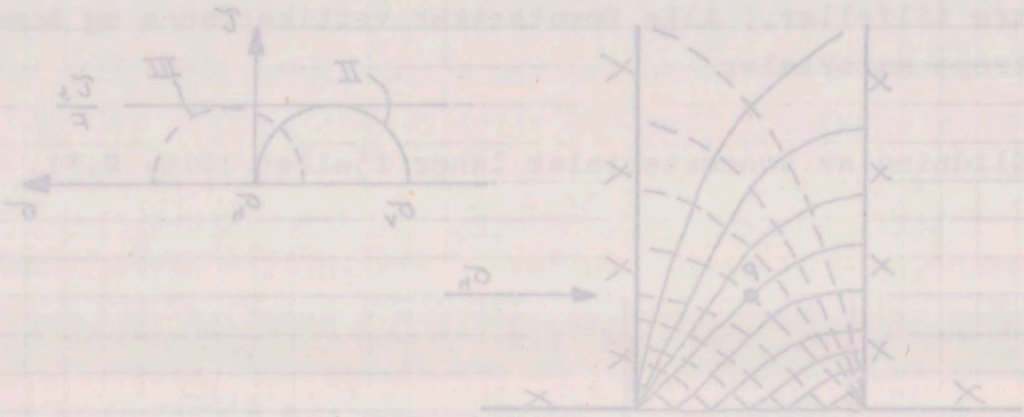


Fig. 8.10.

Forutsetter $B > \frac{2\tau}{\gamma}$, da kommer ingen spenningsbidrag i vertikal retning fra ovenforliggende masser. Kritisk punkt blir p hvor vertikalspenning kommer av masser som "henger" i punktet.

$$q_v = \frac{B}{\sqrt{2}} \gamma = \frac{2\tau}{\sqrt{2}}$$

med $B \leq 2 \sqrt{\frac{2\tau}{\gamma}}$ Dette tilfellet blir altså ikke kritisk.

III. Som II, men med horisontalspenning fra fjellet (se fig. 8.10).

$$\sigma_v - \sigma_h - 2\tau_f = 0$$

σ_v er strekk, σ_h trykk, noe som gir

$$\sigma_v + \sigma_h - 2\tau_f = 0$$

$$\sigma_v = 2\tau_f - \sigma_h$$

$$\frac{B}{\sqrt{2}} = \frac{2\tau_f}{F} - \sigma_h$$

$$B \leq \left(\frac{2\tau_f}{F} - \sigma_h \right) \sqrt{2}$$

En ser da også at med $\sigma_h > 2\tau_f$ vil en få utskvisning av sone- materialet. Slike ras synes også å være kjent fra norske fjellanlegg. F.eks. fra en oppknust diabasgang mellom Ousdal og Josdal ved Sira-Kvina-anleggene. (Dengerud 1971, Selmer-Olsen pers. medd.).

Nå er det en generell erfaring at selv om leirsoner er stabile ved gjennomsprenning, vil de etter hvert gi nedfall (Terzaghi 1946, Selmer-Olsen 1968 etc.). Dette er antatt å skyldes at skjærfastheten synker med tiden. Flere forhold kan medvirke til dette. En av grunnene er overgang fra korttids- (Su-analyse) til langtidsstabilitet (c- ϕ -analyse). Ellers vil en ved skjærfasthetsbestemmelser i laboratoriet få bestemt en maksimalverdi og en lavere residualverdi. Fig. 8.11 viser eksempel fra en prøve kjørt av SWECO (Reinius, Eurenus og Selmer-Olsen 1972). Bjerrum har studert bruddmekanismen i skråninger med overkonsoliderte plastiske leirer og leirskifre. Dersom en beregner de skjærfastheter som har virket ved kjente ras i slike sedimenter, viser det seg at de er lavere enn toppverdien for lab.forsøk og ofte ligger i nærheten av residualverdien. Bjerrum tilskriver dette gradvis utvikling av bruddplanet (progressive failure), men påpeker at problemet er meget komplekst. Det vil således ofte i nærheten av rassteder være stabile skråninger og skjæringer med skjærspenninger høyere enn residualverdien.

I hvilken grad et materiale kan mobilisere svelletrykk bak en sikring vil bl.a. avhenge av følgende faktorer:

- a) Konsolideringstrykk.
- b) Deformasjonsmuligheter.
- c) Finstoffets svelleevne (aktivitet).
- d) Mengde finstoff.

De to første punktene avgjøres av ytre betingelser, mens de to siste utgjør leirsonematerialets potensielle svelleevne. For samme ytre betingelser vil svelletrykket øke med økende finstoffinnhold og aktivitet. Erfaringene med dette vil bli nærmere behandlet i avsn. 8.4. For å få minst mulig belastning på en sikring, bør sonen gis så mye deformasjon at store svelletrykk unngås, men ikke så stor at en får nedfall og oppbygging av jordtrykk.

Det er i dette arbeide vesentlig benyttet omrørte prøver. Forskjellen på omrørte og uomrørte prøver er derfor av stor interesse. Det er velkjent at leires potensielle svelleevne øker med omrøring. Fig. 8.12 viser svelling for intakt, delvis forvitret og helt omrørt leire fra Lille-Belt (Bjerrum 1966).

Schmertmann (1969) omtaler også flere eksempler på at omrørte prøver sveller mer enn uomrørte. Dersom uforstyrrede prøver belastes over prekonsolideringstrykket før testing, vil de senere gi sterkere svelling. En får nedbrytning av strukturen og en slags omrøring. Schmertmann nevner også eksempler fra praktisk fundamentering på overkonsoliderte plastiske leirer. Flere steder har en under byggingen prøvd å komprimere leiren ytterligere. Resultatet har imidlertid blitt omrøring med større resulterende svelling.

Det er vel grunn til enda en gang å understreke at det som kan bestemmes på omrørte prøver er potensiell svelleevne. Det bør derfor utvises forsiktighet med å trekke vidtgående slutninger for uomrørte materialer på grunnlag av forsøk med omrørte prøver.

Innledende ord og forord til den første udgave af denne bog.

a) Kvalitetssikring

b) Deformationssikkerhed

c) Færdighedsprøven (teoretisk)

d) Mængdeprøven

Den første del af bogen omhandler de teoretiske aspekter af kvalitetsstyring og de forskellige metoder til måling af kvalitet. Den anden del omhandler de praktiske aspekter af kvalitetsstyring og de forskellige metoder til måling af kvalitet.

Den tredje del af bogen omhandler de praktiske aspekter af kvalitetsstyring og de forskellige metoder til måling af kvalitet. Den fjerde del omhandler de praktiske aspekter af kvalitetsstyring og de forskellige metoder til måling af kvalitet.

Den femte del af bogen omhandler de praktiske aspekter af kvalitetsstyring og de forskellige metoder til måling af kvalitet. Den sjette del omhandler de praktiske aspekter af kvalitetsstyring og de forskellige metoder til måling af kvalitet.

Den syvende del af bogen omhandler de praktiske aspekter af kvalitetsstyring og de forskellige metoder til måling af kvalitet. Den ottende del omhandler de praktiske aspekter af kvalitetsstyring og de forskellige metoder til måling af kvalitet.

8.4. Erfaringer fra prøveløp.

Stabiliteten i fjellanlegg avhenger av en rekke faktorer.

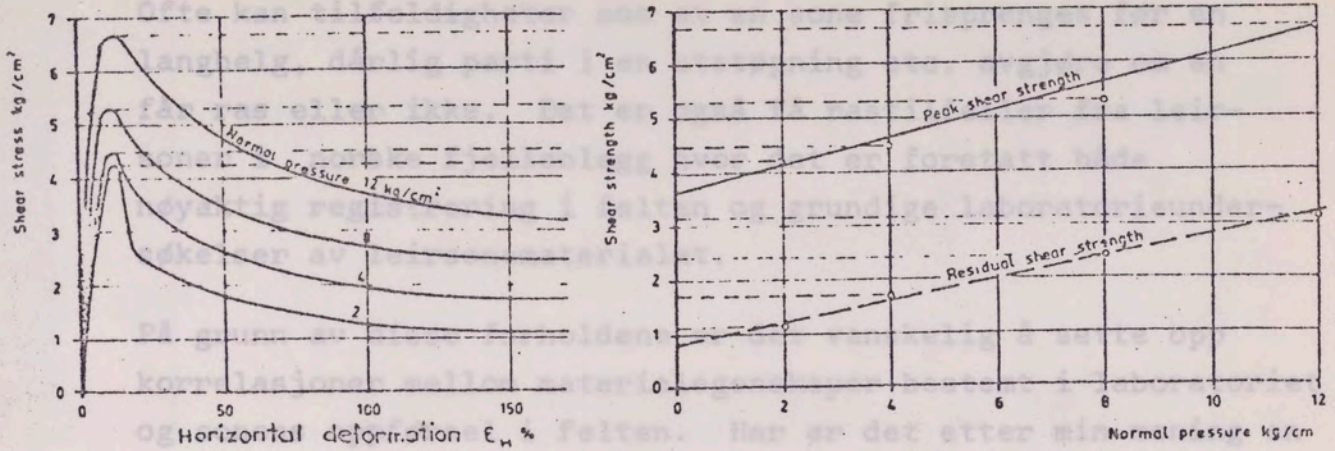
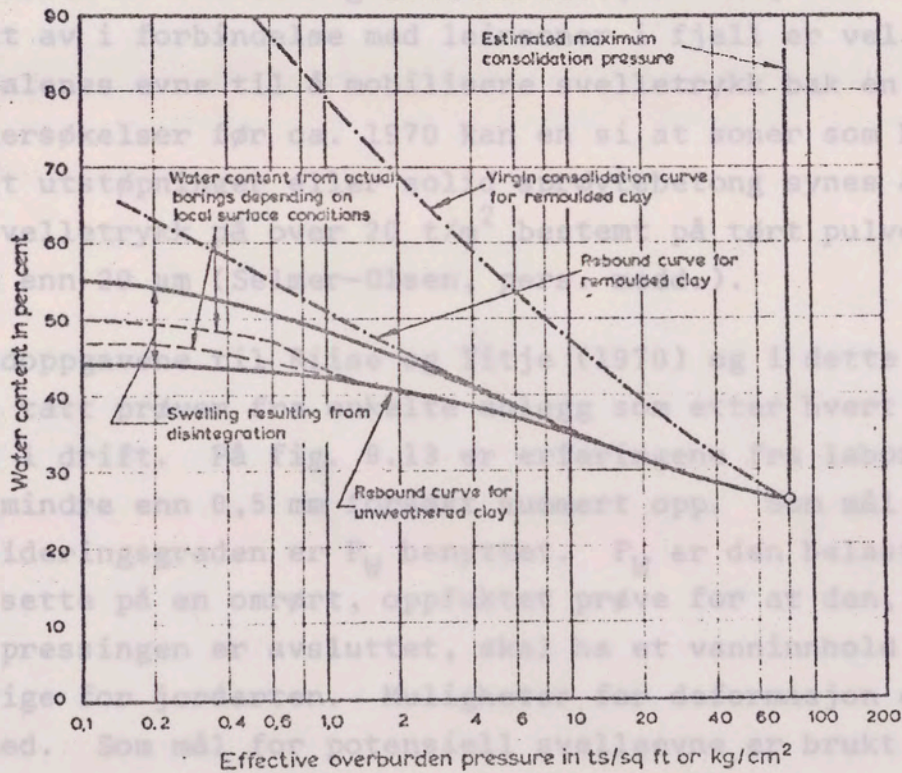


Fig. 8.11.

meget viktig oppgave i årens som kommer. Bare ved systematisk innsamling av feltdata og grundige undersøkelser av materialene kan erfaringsmaterialet utvides og systematiseres. Dette er nødvendig for å kunne utveksle erfaringer og derved utvikle nye og sikrere metoder.

Geological history of Little Belt clay.



Geological history of Little Belt clay.

Fig. 8.12.

$W_{2.5} - 200$. Denne faktor påvirkes både av mengde og aktivitet av finstoffet.

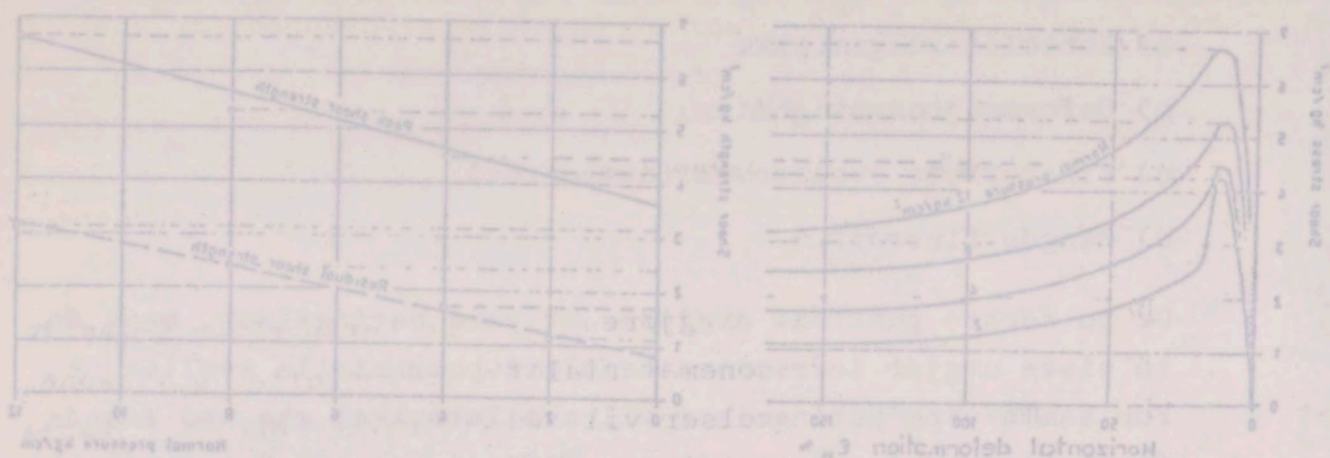


Fig. 8.11. (Continued) Geotechnical Engineering

LITTLE BELT CLAY

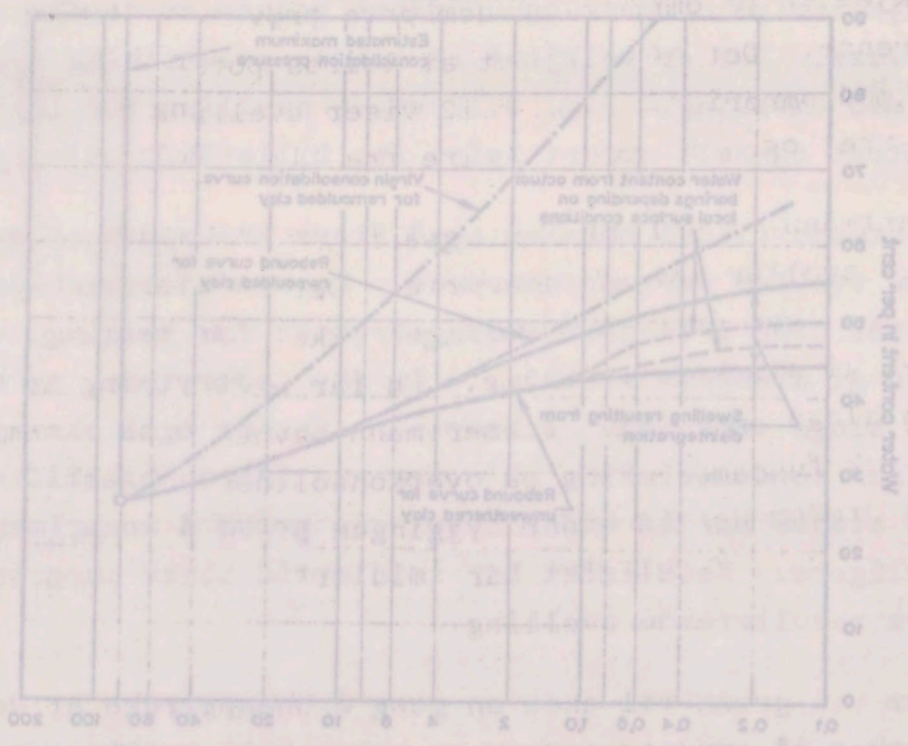


Fig. 8.12. Geological history of Little Belt clay. Geotechnical Engineering

8.4. Erfaringer fra praksis.

Stabiliteten i fjellanlegg avhenger av en rekke faktorer. Ofte kan tilfeldigheter som at en sone frisprenget før en langhelg, dårlig parti i en utstøpning etc. avgjøre om en får ras eller ikke. Det er også få rastilfeller fra leirsoner i norske fjellanlegg hvor det er foretatt både nøyaktig registrering i felten og grundige laboratorieundersøkelser av leirsonematerialet.

På grunn av disse forholdene er det vanskelig å sette opp korrelasjoner mellom materialelegenskaper bestemt i laboratoriet og sonens oppførsel i felten. Her er det etter min mening en meget viktig oppgave i årene som kommer. Bare ved systematisk innsamling av feltdata og grundige undersøkelser av materialene kan erfaringsmaterialet utvides og systematiseres. Dette er nødvendig for å kunne utveksle erfaringer og derved utvikle nye og sikrere metoder.

Det problem en ved Geologisk Institutt, N.T.H., har vært mest opptatt av i forbindelse med leirsoner i fjell er vel materialenes evne til å mobilisere svelletrykk bak en sikring. Av undersøkelser før ca. 1970 kan en si at soner som har ødelagt utstøpninger eller solid sprøytebetong synes å ha hatt svelletrykk på over 20 t/m^2 bestemt på tørt pulver fraksjon mindre enn $20 \mu\text{m}$ (Selmer-Olsen, pers. medd.).

I hovedoppgavene til Riise og Fitje (1970) og i dette arbeide er det tatt prøver fra enkelte anlegg som etter hvert har kommet i drift. På fig. 8.13 er erfaringene fra laboratorieprøve mindre enn $0,5 \text{ mm}$ forsøkt summert opp. Som mål for konsolideringsgraden er P_W benyttet. P_W er den belastning en må sette på en omrørt, oppfuktet prøve for at den, når vannutpressingen er avsluttet, skal ha et vanninnhold lik det naturlige for jordarten. Muligheter for deformasjon er ikke tatt med. Som mål for potensiell svelleevne er brukt $W_{2,5} - 200$. Denne faktor påvirkes både av mengde og aktivitet av finstoffet.

8.2. Erlæringer fra praksis

Stabiliteten i tjenestetilværelsen svanger av en rekke faktorer. Ofte kan stillingsforholdene som et av dem tilskrives betydning. Ofte kan stillingsforholdene som et av dem tilskrives betydning. Ofte kan stillingsforholdene som et av dem tilskrives betydning. Ofte kan stillingsforholdene som et av dem tilskrives betydning.

På grunn av disse forholdene er det vanskelig å sette opp forutsetninger mellom materielle og immaterielle forhold. Forutsetninger mellom materielle og immaterielle forhold. Forutsetninger mellom materielle og immaterielle forhold. Forutsetninger mellom materielle og immaterielle forhold.

Der problem er ved Geologisk Institutt, N.T.H., har vært mest opprettelse av forutsetninger og løsninger i tillegg er viktig av materielle forhold som til å modellere sveitsetype eller styrking. Av undersøkelsen for ca. 1970 kan en si at løsningen som nevnt.

Forutsetningene eller solid sprøyteforhold synes å ha hatt sveitsetype på over 20 cm. Det betyr på tross påvirkning mindre enn 10 cm (Solmer-Glass, pers. meddelelse) som var årsaken til dette arbeidet.

I hovedoppgavene til Riise og Fritze (1970) og i dette arbeidet er det tatt hensyn til enkelte anlegg som etter hvert har blitt kommet i bruk. Dette er et eksempel på laboratorie- og fysiske mindre enn 0,5 cm for eksempel. Som mål for arbeidsforholdene er det tatt hensyn til de forskjellige forholdene som kan være vanskelige å sette opp og målte på. Dette er et eksempel på arbeidsforholdene som kan være vanskelige å sette opp og målte på.

W. 2. 500. Denne faktor påvirker både menneskelige aktiviteter og maskiner. Denne faktor påvirker både menneskelige aktiviteter og maskiner. Denne faktor påvirker både menneskelige aktiviteter og maskiner.

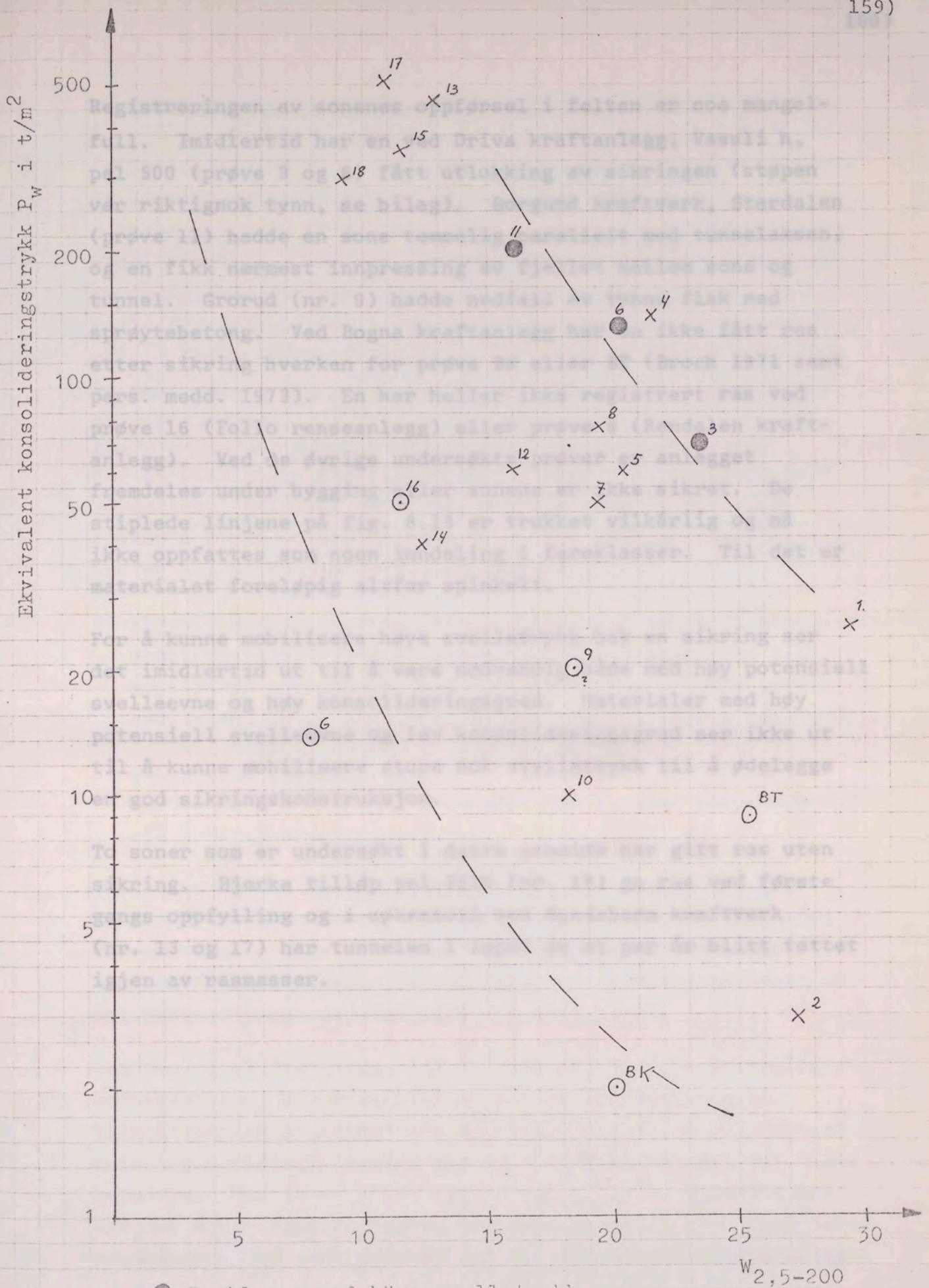
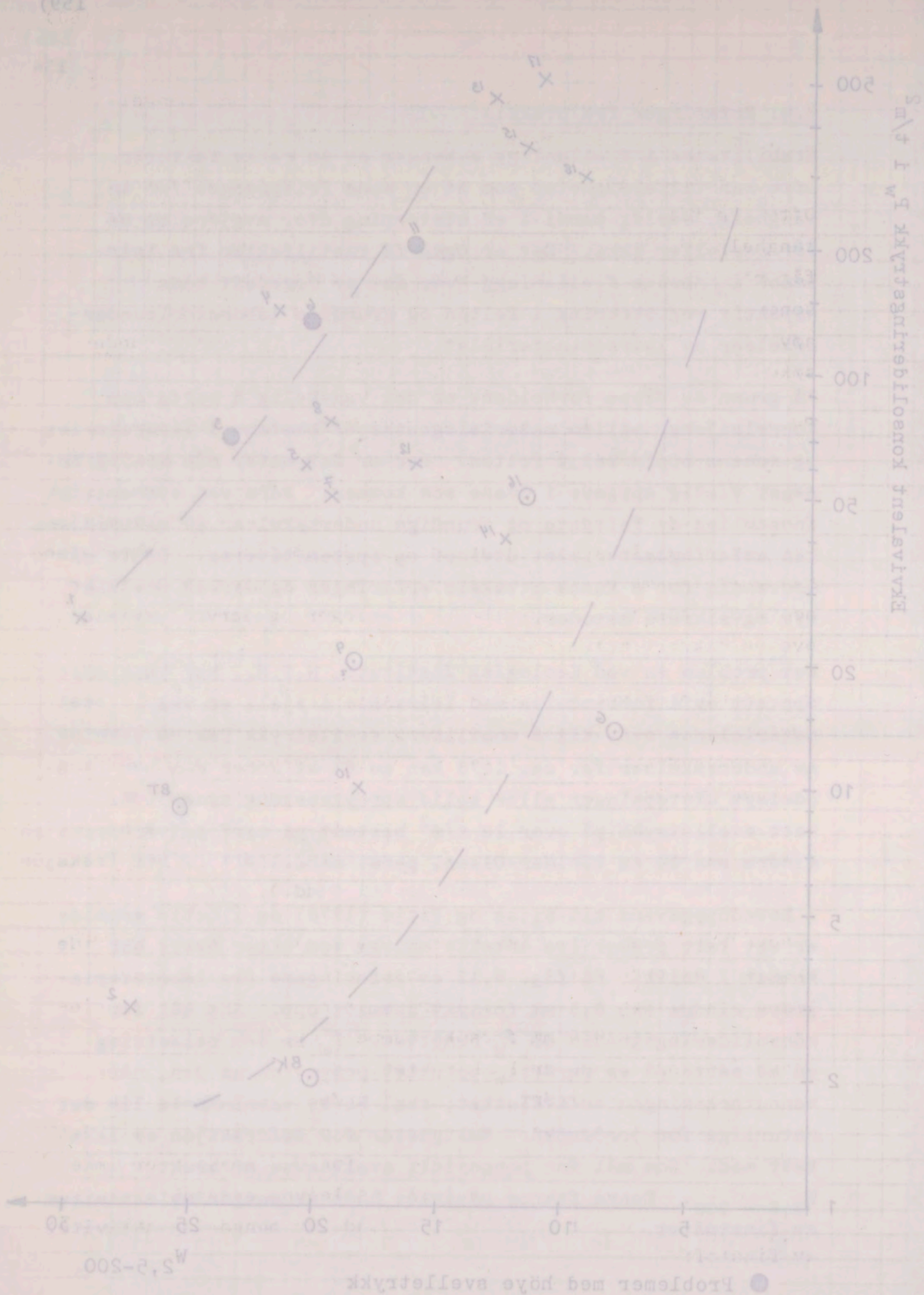


Fig. 8.13.



● Problemer med høye sveletrykk
 ○ Sikring intakt
 X Ikke i drift eller ikke sikret

Fig. 8.13.

Registreringen av sonenes oppførsel i felten er noe mangelfull. Imidlertid har en ved Driva kraftanlegg, Vassli h, pel 500 (prøve 3 og 6) fått utlokking av sikringen (støpen var riktignok tynn, se bilag). Borgund kraftverk, Stardalen (prøve 11) hadde en sone temmelig parallelt med tunnelaksen, og en fikk nærmest innpressing av fjellet mellom sone og tunnel. Grorud (nr. 9) hadde nedfall av tynne flak med sprøytebetong. Ved Bogna kraftanlegg har en ikke fått ras etter sikring hverken for prøve BK eller BT (Broch 1971 samt pers. medd. 1973). En har heller ikke registrert ras ved prøve 16 (Follo renseanlegg) eller prøve 6 (Rendalen kraftanlegg). Ved de øvrige undersøkte prøver er anlegget fremdeles under bygging eller sonene er ikke sikret. De stiplede linjene på fig. 8.13 er trukket vilkårlig og må ikke oppfattes som noen inndeling i fareklasser. Til det er materialet foreløpig altfor spinkelt.

For å kunne mobilisere høye svelletrykk bak en sikring ser det imidlertid ut til å være nødvendig både med høy potensiell svelleevne og høy konsolideringsgrad. Materialer med høy potensiell svelleevne og lav konsolideringsgrad ser ikke ut til å kunne mobilisere store nok svelletrykk til å ødelegge en god sikringskonstruksjon.

To soner som er undersøkt i dette arbeide har gitt ras uten sikring. Bjerka tilløp pel 3510 (nr. 18) ga ras ved første gangs oppfylling og i søkestoll ved Sundsbarm kraftverk (nr. 13 og 17) har tunnelen i løpet av et par år blitt tettet igjen av rasmasser.

Registreringen av koncernens aktiviteter i Sverige är som tidigare
 till. Inskattningen har en viss ökning jämfört med föregående
 år (se avsnitt 3.2) till följd av ökad verksamhet i Sverige
 och utländska verksamheter. Koncernens resultat för 2008
 (se avsnitt 3.2) har varit positivt jämfört med föregående
 år och beror på en stark koncernimpulsering av tilläggssäljning
 i Sverige. Överordnad (se avsnitt 3.2) har varit positiv jämfört
 med föregående år. Vid denna koncernrapportering har en viss ökning
 efter att ha varit negativ för 2007 och 2006 till följd av
 förs. med. 2008. De här beloppen är registrerade till och
 för 2008 (se avsnitt 3.2) eller för 2007 (se avsnitt 3.2).
 (se avsnitt 3.2). Vid de övriga undersökta åren är resultatet
 resultatet under byggnad eller annan anläggning. De
 utgående linjerna på till. 8.12 är resultatet till följd av
 inte omfattas som nämns i avsnitt 3.2. Till följd av
 materialiserat föreläggande är det positivt.

För å komna möjligheter nya investeringar har en ökning till
 det iakttagande av till å komna utvärdering både med nya potentiella
 utvärdering av nya kommersiella investeringar. Materialiserat med nya
 potentiella utvärdering av nya kommersiella investeringar som till å
 till å komna möjligheter nya investeringar till å komna
 en god aktörskonsekvens.

De som har en betydande i detta avsnitt har till följd av
 ökning. Överordnad till följd av till å komna utvärdering
 gamla investeringar av å komna utvärdering och kommersiella investeringar
 (se avsnitt 3.2) har till följd av till å komna utvärdering
 till å komna utvärdering.

9. KONKLUSJONER OM METODER OG KLASSIFISERING.

Dette arbeide har vesentlig tatt opp laboratorieundersøkelser av leirsonematerialer. En må være klar over at material-egenskapene bare er en av faktorene som teller i stabilitetsproblematikken. For å komme frem til et sikrere vurderingsgrunnlag, vil det være minst like viktig å registrere og samle feltdata og erfaringer på en hensiktsmessig og enhetlig måte. Skjemaet for feltdata som er vist på fig. 3.4 (s. 47) er ment som en hjelp til dette, men det bør arbeides videre på dette område.

Når en skal velge klassifiseringsmetoder, vil mange forhold komme inn. Et meget vesentlig punkt er hva en egentlig ønsker å bruke undersøkelsene til. For leirsonematerialer kan en vel sette opp to hovedmomenter:

- a) Klassifisering av materialegenskaper med tanke på stabilitetsproblematikken. For å undersøke materialenes evne til å mobilisere svelletrykk bak en sikring bør da både potensiell svelleevne og de ytre betingelser karakteriseres best mulig.
- b) Samling av erfaringsdata for å komme frem til sikrere vurderingsgrunnlag, og eventuelt for å kunne korrelere med nye undersøkelsesmetoder.

Tidsfaktoren vil også ha avgjørende betydning ved valg av klassifiseringsmetoder. For vurdering av permanent sikring kan en sende prøver til et laboratorium og få dem undersøkt i løpet av noen dager. For vurdering av rasfare på stoff er det behov for metoder som bare tar noen timer.

Ved Geologisk Institutt, N.T.H., har en, foruten mineralogiske undersøkelser, benyttet svelletrykk og fri svelling til klassifisering av leirsoners potensielle svelleevne. Mye av erfaringsmaterialet som er samlet er derfor knyttet til disse metodene. Men etter hvert som en ved hjelp av metodene har utvidet erfaringsgrunnlaget, har en også blitt klar over deres svakheter. Den viktigste er vel at både materialpreparering

87 KONKLUSJONER OM METODER OG KLASIFISERING

Dette arbeide har vesentlig tatt opp laboratorieundersøkelser av leirsonematerialer. En må være klar over at materialegenskapene bare er en av faktorene som teller i stabilitetsproblematikken. For å komme frem til et sikrere vurderingsgrunnlag, vil det være minst like viktig å registrere og samle feltdata og erfaringer på en hensiktsmessig og enhetlig måte. Skjematet for feltdata som er vist på fig. 2.4 (s. 47) er ment som en hjelp til dette, men det bør arbeides videre på dette område.

Når en skal velge klassifiseringsmetoder, vil mange forhold komme inn. Et meget vesentlig punkt er hva en egentlig ønsker å bruke undersøkelsene til. For leirsonematerialer kan en vel sette opp to hovedmomenter:

a) Klassifisering av leirsonematerialer med tanke på stabilitetsproblematikken. For å gi gode mobiliserte sveiletrykk og de ytre betingelser karakteriseres best mulig

b) Samling av erfaringer for å komme frem til sikrere vurderingsgrunnlag, og eventuelt for å kunne korrelere med nye undersøkelsesmetoder.

Tidofaktoren vil også ha avgjørende betydning ved valg av klassifiseringsmetoder. For vurdering av permanent sikring kan en sende prøver til et laboratorum og lå dem undersøkt i løpet av noen dager. For vurdering av raslære på stoff er det behov for metoder som tar noen timer.

Ved Geologisk Institutt, N.T.H., har en, foruten mineralogiske undersøkelser, benyttet sveiletrykk og fri sveiling til klassifisering av leirsoners potensielle sveileevne. Nye av erfaringsmateriale som er samlet er derfor knyttet til disse metodene. Men etter hvert som en ved hjelp av metodene har utvidet erfaringsgrunnlaget, har en også blitt klar over deres svakheter. Den viktigste er vel at både materialpreparering

og kjøring av svelletrykk er såvidt komplisert at det kreves forholdsvis lang trening for å få reproduserbare resultater. En undersøker dessuten normalt bare fraksjon mindre enn 20 μm og bestemmer som nevnt bare potensiell svelleevne.

Hovedhensikten med dette arbeide var, med bakgrunn i tidligere erfaringsmateriale, å finne frem til forbedrede prosedyrer for materialpreparering og klassifisering. Det er utført grundige undersøkelser av 18 materialer og supplerende forsøk på 12 prøver.

Materialprepareringen foreslåes utført som beskrevet i avsnitt 3.3 for å unngå tidligere benyttet uttørking og senere nedmaling: Materiale større enn en valgt maksimal kornstørrelse fjernes ved våtsikting. Det oppslemmede materialet plasseres så i en trakt med filterpapir i bunnen og overskuddsvannet fjernes med vakuumsug (se fig. 3.6). Prøvene homogeniseres ved mekanisk omrøring. Dersom det går over et par timer mellom materialpreparering og testing, oppbevares laboratorieprøvene på tette glass for å hindre uttørking.

Maksimal kornstørrelse bør, som nevnt i avsnitt 3.3, velges i området fra omkring 0,07 mm (sikt 200) til 2 - 3 mm. Ved valg i dette intervall er det flere forhold som bør tas med i vurderingen. Til plastisitetstegrebestemmelser brukes materiale mindre enn 0,42 mm (sikt 40). Ellers er sikt 200 et vanlig skille mellom grov- og finfraksjon (Terzaghi og Peck 1967).

I kornfordeling har en etter geoteknisk skala følgende skiller mellom fraksjonene: 0,06 mm mellom silt og sand, 0,2 mm mellom fin og middels sand, 0,6 mm mellom middels og grov sand og 2 mm mellom sand og grus.

Sikteserien anbefalt brukt av ISO (International Standards Organization) har følgende maskevidder i mm: 2,83, 2,00, 1,41, 1,00, 0,707, 0,500, 0,354, 0,250, 0,177, 0,125, 0,088, 0,063.

og kirkning av sveletykk av avlidt komplant av det kirknes
sveldt kirknes av det kirknes
forholdet lang tid for 4 1/2 republikanske republikaner
En undersøker desuten normalt bare kirknes mindre enn 20 mm
og bestemt som nevnt bare potensial sveletykk
forholdet av kirknes

Hovedopgavet med dette arbeid var, med bakgrunn i tidligere
erfaringer, å finne frem til forbedrede prosedyrer for
materialepreparering og klassifisering. Det er utvilsomt
undersøker av 18 materialer og supplerende forløp på 12
prover.

Materialeprepareringen foretogs utvilsomt som beskrevet i avsnitt
1.1.1. I tillegg ble det gjort en rekke forsøk på å finne frem til
forbedrede prosedyrer for materialepreparering og klassifisering.
Det er utvilsomt at disse forsøkene har gitt en rekke nyttige
opplysninger om de ulike materialenes egenskaper og hvordan de
best kan behandles for å gi de beste resultatene. Dette gjelder
særlig de materialer som er vanskeligere å behandle, som de
som er svært harde eller som har en spesiell struktur. Det er
derfor viktig å være oppmerksom på disse forskjellene og tilpasse
prosedyrene til de enkelte materialene. Dette gjelder spesielt
de materialer som er vanskeligere å behandle, som de som er
svært harde eller som har en spesiell struktur. Det er derfor
viktig å være oppmerksom på disse forskjellene og tilpasse
prosedyrene til de enkelte materialene.

Maksimal korneradius har, som nevnt i avsnitt 1.1.1, vært
0,07 mm (slik 200) til 2 - 3 mm. Ved
1 omrørt i vannet, 0,07 mm (slik 200) til 2 - 3 mm. Ved
valg i dette intervall er det flere forhold som bør tas med
regning. Det er først og fremst størrelsen på partiklene som
er viktig. Hvis partiklene er for store, kan de være vanskeligere
å behandle og kan gi dårlige resultater. Derfor er det viktig
å velge en størrelse som er egnet for de ulike materialene.
Dette gjelder spesielt de materialer som er vanskeligere å
behandle, som de som er svært harde eller som har en spesiell
struktur. Det er derfor viktig å være oppmerksom på disse
forskjellene og tilpasse prosedyrene til de enkelte materialene.
Dette gjelder spesielt de materialer som er vanskeligere å
behandle, som de som er svært harde eller som har en spesiell
struktur. Det er derfor viktig å være oppmerksom på disse
forskjellene og tilpasse prosedyrene til de enkelte materialene.

I konklusjonen har en etter geoteknisk eksperimentelle
resultater vist at det er viktig å være oppmerksom på disse
forskjellene og tilpasse prosedyrene til de enkelte materialene.
Dette gjelder spesielt de materialer som er vanskeligere å
behandle, som de som er svært harde eller som har en spesiell
struktur. Det er derfor viktig å være oppmerksom på disse
forskjellene og tilpasse prosedyrene til de enkelte materialene.

De følgende tabellene viser resultatene fra de ulike forsøkene.
De er ordnet etter størrelse på partiklene og etter materialer.
De viser blant annet størrelsen på partiklene og hvordan de
best kan behandles for å gi de beste resultatene. Dette gjelder
særlig de materialer som er vanskeligere å behandle, som de
som er svært harde eller som har en spesiell struktur. Det er
derfor viktig å være oppmerksom på disse forskjellene og tilpasse
prosedyrene til de enkelte materialene.

Potensiell svelleevne kan forsåvidt bestemmes på hvilken som helst fraksjon når både finstoffets svelleaktivitet og andel av total prøve tas i betraktning (jfr. avsn. 7.7). Dersom en ønsker å karakterisere de ytre betingelser ved hjelp av naturlig vanninnhold, må en velge maksimal kornstørrelse en del høyere enn sikt 200 (jfr. avsn. 8.2). Det blir også lettere og raskere å fremstille en laboratorieprøve ved våtsikting jo større den maksimale kornstørrelsen, $d_{\max.}$, velges.

For å kunne sammenligne med forsøk fra utlandet, bør en velge $d_{\max.}$ i nærheten av 0,42 mm. Med den kornfordeling de undersøkte leirsonematerialer har, blir det imidlertid liten forskjell på laboratorieprøve med maksimal kornstørrelse på henholdsvis 0,42 og 0,5 mm (jfr. avsn. 7.7). Jeg synes hensynet til standardisering bør telle ganske sterkt, og 0,5 mm er også et greiere tall for praktisk bruk. Det anbefales derfor at 0,5 mm velges som maksimal kornstørrelse ved fremstilling av laboratorieprøver av materialer fra leirsoner.

For vurdering av laboriemetodene vil nok det undersøkte antall materialer være noe lite, men en kan likevel si endel.

Kornfordelingen sier ingenting om hva finstoffet i prøven består av. For materialer med ulik mineralogisk sammensetning er derfor kornfordelingen alene ikke særlig velegnet til klassifisering av potensiell svelleevne.

Mineralogiske undersøkelser burde gi gode resultater. Men det viste seg at montmorillonittinnhold ga dårlig korrelasjon til mekaniske egenskaper. Dette kan nok delvis skyldes at de kvantitative analyser er temmelig usikre (avsn. 6.5). Men dominerende ionetype som har stor betydning for potensiell svelleevne, bestemmes heller ikke. Sammenholdt gir kornfordeling og montmorillonittinnhold brukbar korrelasjon til mekaniske egenskaper som f.eks. plastisitetsindeks (avsn. 7.4). Men siden det ved klassifisering er de mekaniske egenskaper en er interessert i, synes det likevel bedre å måle disse direkte enn å foreta en indirekte bestemmelse ved hjelp av

kornfordeling og mineralogi selv om det siste i tillegg kan forklare hvorfor et materiale har høy eller lav potensiell svelleevne.

De mekaniske egenskaper som er undersøkt i dette arbeide, er plastisitet, vanninnhold i pålastingssyklus og deformasjonsegenskaper bestemt i ødometer. Det er til dels funnet god sammenheng mellom metodene når en tar hensyn til de prinsipielle forskjeller mellom dem (avsn. 7.2 og 7.3). Deformasjonsparametrene bestemt ved fullstendige ødometerforsøk (a , m , r og C_v) skulle gi en god beskrivelse av et materiales svelleevne. Metodene er vel imidlertid altfor arbeidskrevende for rutineundersøkelser. Ved forenklede prosedyrer kommer deformasjon av elastiske mineraler sterkt inn (avsn. 7.5). En fordel med deformasjonsforsøk er at en ikke behøver å bestemme noe vanninnhold, og en sparer derfor tid. Plastisitetsgrensene W_L og W_P samt plastisitetsindeks I_P er internasjonalt mye brukt til klassifisering (jfr. avsn. 2.4). Metodene bygger imidlertid på korttidsbelastninger, og kan også gi ganske stor spredning fra operatør til operatør.

Vanninnhold i pålastningssyklus blir, med $t = 24$ timer, en langtidsbelastning. Dette burde passe for klassifisering av potensiell svelleevne siden også svelling er et langtidsfenomen. Metoden skulle dessuten være meget reproduserbar og mindre operatøravhengig enn W_L og W_P (jfr. avsn. 4.3). En må imidlertid holde klart at det som virkelig måles er hvor mye vann som presses ut av et materiale ved konsolidering. For å bruke f.eks. $W_{2,5} - 200$ til klassifisering av potensiell svelleevne, må det forutsettes parallellitet mellom konsoliderings- og svellingsegenskaper. Dette er best oppfylt for materialer som ikke inneholder elastiske mineraler.

Begge metodene kan brukes til vurdering av konsolideringsgrad ved henholdsvis flyteindeks $I_L = \frac{W_{nat.} - W_P}{W_L - W_P}$ og ekvivalent konsolideringstrykk, P_W . Det sistnevnte defineres som den belastning en må sette på en omrørt, oppfuktet prøve for at den, når vannutpressingen er avsluttet, skal ha et vanninnhold

Korn: Kornet er af god kvalitet og har et højt indhold af næringsstoffer. Det er derfor meget vigtigt at sikre, at kornet er godt opbevaret og beskyttet mod skadedyr og sygdomme.

Løsk: Løsk er af god kvalitet og har et højt indhold af næringsstoffer. Det er derfor meget vigtigt at sikre, at løsk er godt opbevaret og beskyttet mod skadedyr og sygdomme.

Svelle: Svelle er af god kvalitet og har et højt indhold af næringsstoffer. Det er derfor meget vigtigt at sikre, at swell er godt opbevaret og beskyttet mod skadedyr og sygdomme.

De forskellige typer af korn og løsk er meget vigtige for den danske landbrugsproduktion. De er derfor meget vigtige at sikre, at de er godt opbevaret og beskyttet mod skadedyr og sygdomme.

De forskellige typer af swell er meget vigtige for den danske landbrugsproduktion. De er derfor meget vigtige at sikre, at de er godt opbevaret og beskyttet mod skadedyr og sygdomme.

De forskellige typer af korn og løsk er meget vigtige for den danske landbrugsproduktion. De er derfor meget vigtige at sikre, at de er godt opbevaret og beskyttet mod skadedyr og sygdomme.

De forskellige typer af swell er meget vigtige for den danske landbrugsproduktion. De er derfor meget vigtige at sikre, at de er godt opbevaret og beskyttet mod skadedyr og sygdomme.

De forskellige typer af korn og løsk er meget vigtige for den danske landbrugsproduktion. De er derfor meget vigtige at sikre, at de er godt opbevaret og beskyttet mod skadedyr og sygdomme.

De forskellige typer af swell er meget vigtige for den danske landbrugsproduktion. De er derfor meget vigtige at sikre, at de er godt opbevaret og beskyttet mod skadedyr og sygdomme.

De forskellige typer af korn og løsk er meget vigtige for den danske landbrugsproduktion. De er derfor meget vigtige at sikre, at de er godt opbevaret og beskyttet mod skadedyr og sygdomme.

De forskellige typer af swell er meget vigtige for den danske landbrugsproduktion. De er derfor meget vigtige at sikre, at de er godt opbevaret og beskyttet mod skadedyr og sygdomme.

De forskellige typer af korn og løsk er meget vigtige for den danske landbrugsproduktion. De er derfor meget vigtige at sikre, at de er godt opbevaret og beskyttet mod skadedyr og sygdomme.

De forskellige typer af swell er meget vigtige for den danske landbrugsproduktion. De er derfor meget vigtige at sikre, at de er godt opbevaret og beskyttet mod skadedyr og sygdomme.

De forskellige typer af korn og løsk er meget vigtige for den danske landbrugsproduktion. De er derfor meget vigtige at sikre, at de er godt opbevaret og beskyttet mod skadedyr og sygdomme.

De forskellige typer af swell er meget vigtige for den danske landbrugsproduktion. De er derfor meget vigtige at sikre, at de er godt opbevaret og beskyttet mod skadedyr og sygdomme.

lik det naturlige for jordarten (se avsn. 8.2). Feilkildene skulle bli omtrent de samme for begge parametrene. Sammenhengen mellom dem er også brukbar, som vist i fig. 8.6.

Det må bli en vurderingssak hvor mye tilleggsundersøkelser en vil utføre på et materiale med tanke på samling av erfaringsdata. For en rask vurdering av potensiell svelleevne synes forenklete deformasjonsforsøk å være en brukbar mulighet (avsn. 6.3).

For undersøkelser som kan ta en viss tid, foreslås det utført laboratorieforsøk som vist i fig. 9.1. Vanninnholdsdifferensen mellom 2,5 og 200 t/m², $W_{2,5 - 200}$, benyttes som mål for potensiell svelleevne. Fig. 7.16 viser korrelasjonen med tidligere anvendte svelletrykksmålinger. Med ca. 40% mindre enn 20 μm i laboratorieprøven mindre enn 0,5 mm svarer 20 t/m² svelletrykk omtrent til $I_p = 10\%$ og 35 t/m² svelletrykk til $I_p = 20\%$. Tilsvarende verdier for $W_{2,5 - 200}$ blir omtrent 12% og 20% (se fig. 7.3). Samme inndeling som tidligere gir følgende klasser:

$W_{2,5 - 200} < 12\%$, lav potensiell svelleevne.

$W_{2,5 - 200} 12 - 20\%$, middels potensiell svelleevne.

$W_{2,5 - 200} > 20\%$, høy potensiell svelleevne.

For det ekvivalente konsolideringstrykk kan en sette opp følgende forslag:

$P_W > 1000 \text{ t/m}^2$, meget høy konsolideringsgrad.

$P_W 1000 - 100 \text{ t/m}^2$, høy konsolideringsgrad.

$P_W 100 - 10 \text{ t/m}^2$, middels konsolideringsgrad.

$P_W 10 - 1 \text{ t/m}^2$, lav konsolideringsgrad.

$P_W < 1 \text{ t/m}^2$, meget lav konsolideringsgrad.

ILM den naturlige for jordarten (se oven, 8.2). Felicitetens
skulle bli omgæret de samme for begge partierne. Felicitetens
hænger mellem dem er også præget som vist i fig. 8.3. Sammen-

Det så bli en vurderingssag hvor nye tilfølgelsesundersøkelser en
vil være på et materiale med tanks på særlig tilfølgelses-
data. For en rask vurdering af potentiell svejlselvsyns-
forskielsde forspændingsforsk 4 vars en præget muligvis
(oven, 8.3).

For undersøkelser som kan ta en viss tid, foreslås det at
laboratorieforsk som vist i fig. 9.1. Vanninnholdsbildesten
i fig. 9.1. W₂ = 200; benyttes som mål for
potentiell svejlselvsyns. W₂ = 200 viser korrelasjonen med
tidligere undersøkte svejlselvsyns. Med ca. 200 andre
enn 80 mm i laboratorieforsk mindre enn 0.5 mm svarer 200 til
svejlselvsyns emntant til P = 10% og 35 til svejlselvsyns til
P = 20%. Tilsvarende verdier for W₂ = 200 - 300
svejlselvsyns (se fig. 9.2). Samme innledning som tidligere gir
tilsvarende verdier for W₂ = 200. Samme innledning som tidligere gir

W₂ = 200, høy potensiell svejlselvsyns.
W₂ = 200, middels potensiell svejlselvsyns.
W₂ = 200, lav potensiell svejlselvsyns.

Følgelig kan konsolideringsgraden for dette materialet
vurderes som følger:

W₂ = 200 > 1.000 tilsvarende høy konsolideringsgrad.
W₂ = 100 tilsvarende middels konsolideringsgrad.
W₂ = 10 tilsvarende lav konsolideringsgrad.
W₂ = 200 > 1.000 tilsvarende høy konsolideringsgrad.

LABORATORIEDATA FOR LEIRSONEMATERIALE.

Laboratorieprøve nr.1.....

Anlegg .Folgefonnaanleggene..... Dato for prøvetaking .5/10-71.....

Naturlig vanninnhold.

Vekt våt	327,65		
Vekt tørr	297,22		
Vekt vann	30,43	Vekt tørr m/skål	297,22
Vekt tørr	297,22	Vekt matr. > 0,5 mm m/skål	224,68
Vekt skål	177,75	Vekt matr. < 0,5 mm	72,54
Vekt matr.	119,47		

Vanninnhold total prøve 25,5% Vanninnhold lab. prøve < 0,5 mm 42,0%
 Andel av total prøve 0,5 mm 61%

Vanninnhold i pålastningssyklus.

$W_{2,5} = 57,4\%$ $W_{200} = 28,1\%$ $W_{2,5} - 200 = 29,3\%$

Mineralogi.

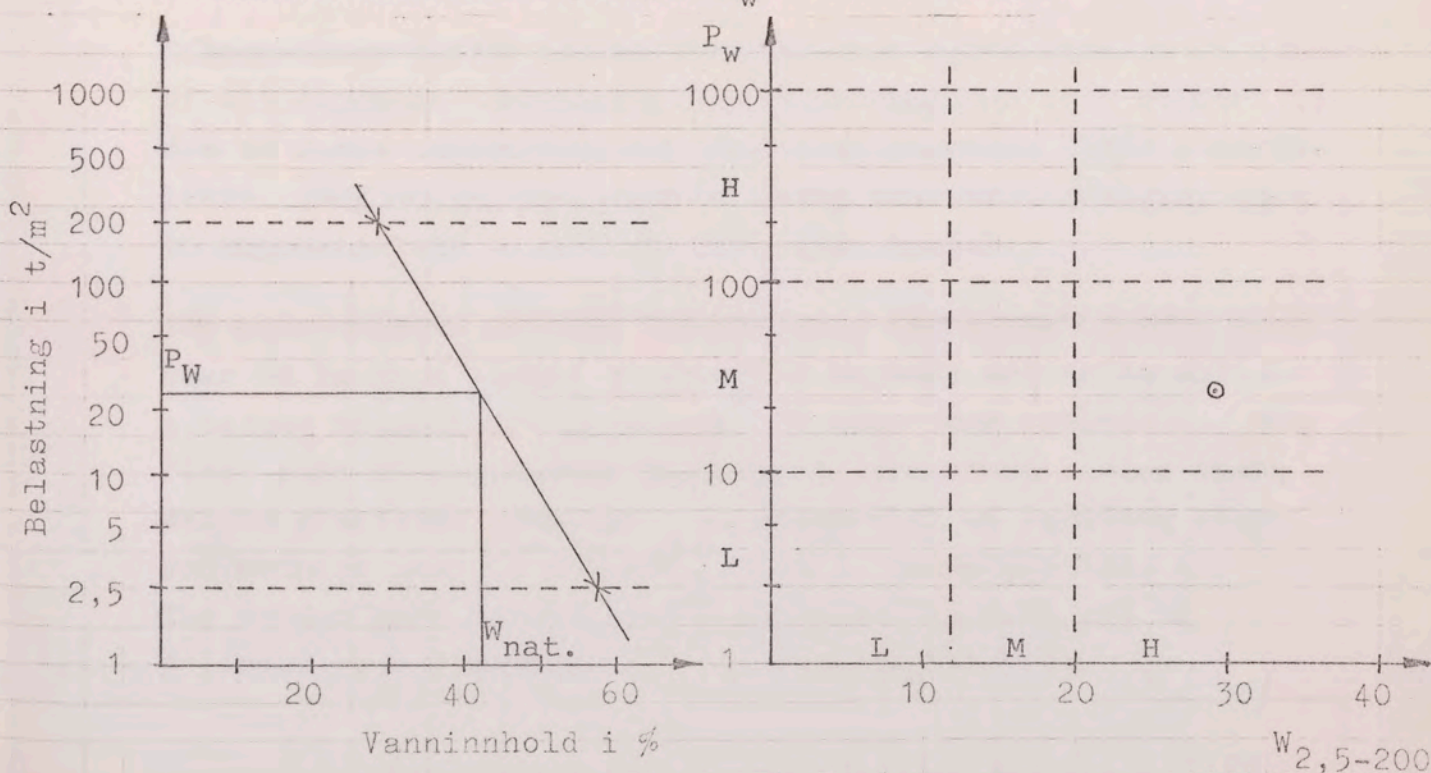
Fargetester: Egenfarge Lys.grå Malakittgrønt .Rød. Benzidine .Gul.....

DTA: Observerte mineraler i prøve < 0,5 mm Kun.montmorillonitt.....

Kvantitativ analyse: Kvartsinnhold = 0%.....

700° utslag for montmorillonitt: Areal .180 mm som tilsvarer ca.60-65%

Ekvivalent konsolideringstrykk $P_w = 25 \text{ t/m}^2$



Konklusjon: Prøven har høy potensiell svelleevne og middels konsolideringsgrad.....

Fig. 9.1.

LABORATORIEDATA FOR LEIRSONEMATERIALA.

Laboratorieprøve nr.
Anlegg. Folgefornningssteden.
Date for prøvetaking. 5/10-71

Naturlig vanninnhold.

Vekt matr.	119,47
Vekt skål	177,75
Vekt tørr	297,22
Vekt vann	30,43
Vekt tørr	297,22
Vekt våt	327,65

Vanninnhold total prøve 25,25
Vanninnhold lab. prøve < 0,5 mm 42,08
Andel av total prøve 0,5 mm 618

Vanninnhold i påslutningskyllus.

$$W_{2,5} = 57,48$$

$$W_{200} = 28,18$$

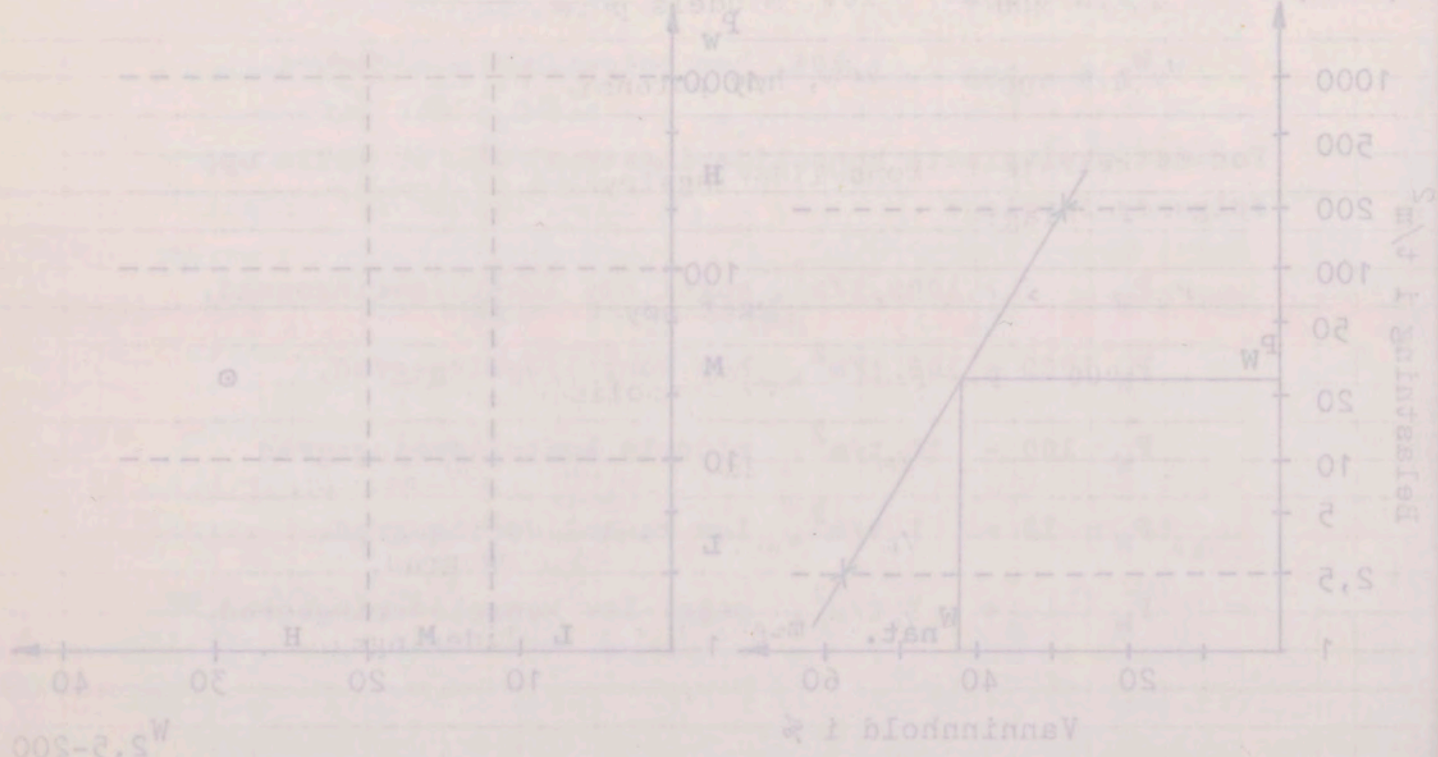
$$W_{2,5} - 200 = 29,30$$

Mineralogi.

DTA: Observerte mineraler i prøve < 0,5 mm Ksp. montmorillonitt
Fargestester: Egentlige lys grå Malakittgrønt. Rød. Benstine. Gul

Kvantitativ analyse: Kvarsteinnhold = 08

700° utslag for montmorillonitt: Areal 180 mm som tilsvare ca 60-62
Ekvivalent konsolideringsstrykk $P = 25 \text{ t/m}^2$



Konklusjon: Prøven har høy potensiel avleevne og midtels konsolideringsgrad

10. SUMMARY IN ENGLISH.

Det må imidlertid i begge tilfeller anbefales at tallverdiene brukes fremfor bare klasseinndelingen, siden det hele tiden er snakk om gradvise overganger.

Ved bestemmelse av P_w må en være klar over at det naturlige vanninnholdet både kan variere i sonen og forandre seg med tiden. Det siste er et uttrykk for at de ytre forhold er tidsavhengige.

I tillegg bør mineralogien undersøkes. Dette kan gi opplysninger om hvorvidt materialets potensielle svelleevne skyldes montmorillonitt eller finstoffinnhold.

- 2) The especially low cohesion and friction in faults, joints, and fissures carrying chlorite, talc, graphite etc.
- 3) The solubility of calcite, especially when the calcite is porous or flaky.
- 4) Rock pressure phenomena.
- 5) Washing out or downfall of low consolidated inactive clay material from joints and fault fillings.
- 6) The swelling of the montmorillonite clay minerals.

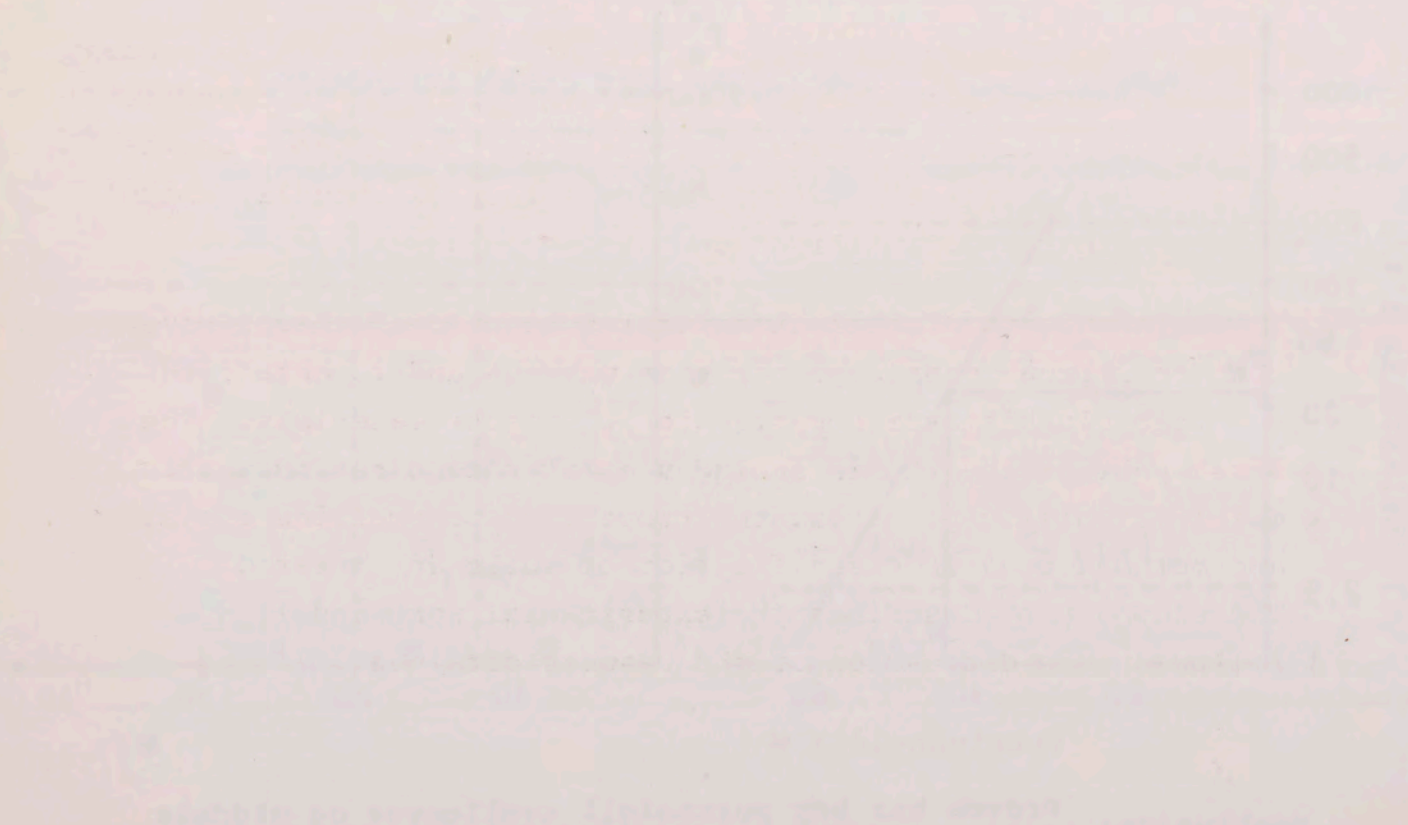
Selmer-Olsen (1970) claims further that approximately 75 percent of all expenses concerning rock improving and rock support is due to zones containing swelling clay minerals (items 6 on the list). Neglecting the cost of delay this will amount to approximately 50 million Norwegian kroner.

The main objects of this "Licentiate's technical" thesis have been to improve sample preparation methods and to establish a better classification system for clay zone materials. The first part of the thesis includes a literature review where mainly stability problems, the properties of swelling clays, and methods used in classification of soils are treated. The second part describes the experimental work and is followed by a discussion of the results obtained.

Det må imidlertid i begge tilfælde antages at talværdien
præges fremover af klasseniveauet, alene det hele tiden
er snakk om gradvis overgang.

Ved bestemmelse av P må en være klar over at det naturlige
vanningsforhold ikke kan variere i sønen og forandre sig med
tiden. Det står et uttryk for at de vte forhold er
tidssvarende.

I tilleg bør mineralogien undersøkes. Dette kan gi opp-
lysninger om hvorvidt materielle potensialer svekkes
skjedes montmorillonitt eller lignende.



10. SUMMARY IN ENGLISH.

In a survey of the main factors influencing the stability of underground constructions in Norway Brekke and Selmer-Olsen (1968) conclude that engineering-geological experience from approximately 250 underground works in Norway has proved that the following factors or combinations of them are the most important causes of stability problems in underground constructions in Norway:

- 1) Unfavourable directions and combinations of faults, joints, and fissures in relation to the construction site.
- 2) The especially low cohesion and friction in faults, joints, and fissures carrying chlorite, talc, graphite etc.
- 3) The solubility of calcite, especially when the calcite is porous or flaky.
- 4) Rock pressure phenomena.
- 5) Washing out or downfall of low consolidated inactive clay material from joints and fault fillings.
- 6) The swelling of the montmorillonite clay minerals.

Selmer-Olsen (1970) claims further that approximately 75 percent of all expenses concerning rock improving and rock support is due to zones containing swelling clay minerals (item 6 on the list). Neglecting the cost of delay this will annually amount to approximately 50 million Norwegian kroner.

The main objects of this "Licentiatus technicae" thesis have been to improve sample preparation methods and to establish a better classification system for clay zone materials. The first part of the thesis includes a literature review where mainly stability problems, the properties of swelling clays, and methods used in classification of soils are treated. The second part describes the experimental work and is followed by a discussion of the results obtained.

10. SUMMARY IN ENGLISH.

In a survey of the main factors influencing the stability of underground constructions in Norway, Brakke and Selmer-Olsen (1958) conclude that engineering-geological experience from approximately 550 underground works in Norway has proved that the following factors or combinations of them are the most important causes of stability problems in underground constructions in Norway:

- 1) Unfavourable directions and combinations of faults, joints and fissures in relation to the construction site.
 - 2) The especially low cohesion and friction in faults, joints and fissures carrying chlorite, talc, graphite etc.
 - 3) The solubility of calcite, especially when the calcite is porous or flaky.
 - 4) Rock pressure phenomena.
 - 5) Washing out or downfall of low consolidated inactive clay material from joints and fault fillings.
 - 6) The swelling of the montmorillonite clay minerals.
- of all experience concerning rock engineering and rock support is due to some containing swelling clay minerals (clay is on the list). Neglecting the cost of this will usually amount to approximately 50 million Norwegian kroner.
- The main objective of this "Licentiate thesis" is to have the main objective of this "Licentiate thesis" have been to improve some preparatory methods and to establish a better classification system for clay zone materials. The first part of the thesis includes a literature review where mainly stability problems in classification of soils are treated, and methods used in classification of soils are treated. The second part describes the experimental work and is followed by a discussion of the results obtained.

With a few exceptions the analyzed materials have been collected from clay zones in Norwegian underground openings and tunnels. In the laboratory chips of rock, greater than a chosen minimum grain size, have been separated from the samples by wet sieving. Excess water has been removed by vacuum suction (fig. 3.6). The samples have then been homogenized by mechanical stirring and kept in airproof jars to prevent drying out. 30 samples were analyzed. 18 of these followed a comprehensive analyzing scheme and 12 samples were treated in a somewhat simpler way.

The grain-size distribution of the materials (expressed by $M_d = d_{50}$ and $S_o = \log \frac{d_{75}}{d_{25}}$) resembled that of till (fig. 6.1). By plotting the results on log-normal probability paper it seems possible to divide the materials into components of different origin and mineralogical composition (fig. 6.4).

The Atterberg limits were found for 18 samples with maximum grain-size 0,5 mm. The liquid limit, W_L , varied from 20,5% to 61,5% and the plasticity index, I_p , from 1,5% to 27%. For materials with a low plasticity index, e.g. containing much of sand and silt, it was difficult to find the liquid and especially the plastic limit.

To investigate how the water content varied with the stress condition of the materials, samples were placed in an oedometer cell (fig. 4.4). The samples were loaded and kept under constant pressure for 24 hours. With a sample height of approximately 1 cm the deformations were then nearly completed. For each material water contents were measured at 2,5, 10, 50, and 200 t/m² pressure. Within this range the "resistance against loosing water", $\frac{dP}{dW}$, increased linearly with the increase in pressure. Hence there should be a linear relationship between the water content and the logarithm of the pressure (fig. 6.19 - 6.21). The water content at 2,5 t/m² pressure, $W_{2,5}$, varied from 21% to 57% and the difference in water content between 2,5 and 200 t/m², $W_{2,5} - 200$, from 9% to 30%.

With a few exceptions the analyzed materials have been collected from clay zones in Norwegian underground openings and tunnels. In the laboratory chips of rock, greater than a chosen minimum grain size, have been separated from the samples by wet sieving. Excess water has been removed by vacuum suction (fig. 3.6). The samples have then been homogenized by mechanical stirring and kept in desiccators to prevent drying out. 30 samples were analyzed. 18 of these followed a comprehensive analyzing scheme and 12 samples were treated in a somewhat simpler way.

The grain-size distribution of the materials (expressed by $M_d = d_{50}$ and $S = \log \frac{d_{75}}{d_{25}}$) resembled that of till (fig. 3.1). By plotting the results on log-normal probability paper it seems possible to divide the materials into components of different origin and mineralogical composition (fig. 3.4).

The Atterberg limits were found for 18 samples with maximum grain-size 0.2 mm. The liquid limit, w_L , varied from 30.24 to 61.52 and the plasticity index, I_p , from 1.52 to 10.72. For materials with a low plasticity index, e.g. containing much of sand and silt, it was difficult to find the liquid

and especially the plastic limit. To investigate how the water content varied with the stress condition of the materials, samples were placed in an oedometer cell (fig. 3.4). The samples were loaded and kept under constant pressure for 14 hours. With a sample height of approximately 1 cm the deformations were then nearly

completed. For each material water contents were measured at 2.5, 10, 50, and 200 t/m² pressure. Within this range the "resistance against flowing water", $\frac{dw}{d\sigma}$, increased linearly with the increase in pressure. Hence there should be a linear relationship between the water content and the

logarithm of the pressure (fig. 3.11). The water content at 2.5 t/m² pressure, $w_{2.5}$, varied from 57 to 87 and the difference in water content between 2.5 and 200 t/m², $w_{2.5} - w_{200}$, from 9 to 30.

For 7 samples with maximum grain-size 0,5 mm the deformation properties during consolidation and swelling were investigated by oedometer tests. Pressures from 1 to 200 t/m² were used, and the samples were drained to both sides. The pressures were doubled for each loading, and each pressure was kept for 30 minutes. The experiments were interpreted by means of the resistance concepts of Janbu (1970). The results for consolidation were in agreement with earlier experience. The tangent modulus $M = \frac{dp'}{d\epsilon}$, was nearly proportional to the pressure, $M = m_k \cdot p'$. The clay zone materials behaved thus like normal Norwegian quaternary clays. The modulus number, m_k , varied between 7,5 and 13 (when ϵ is found as part of the volume at 200 t/m² pressure). The time resistance is defined as $R = \frac{dt}{d\epsilon}$ (fig. 6.10). The time resistance number, r_k , varied little, but showed - somewhat surprisingly - a slight decrease with increasing pressures for 6 of 7 materials (fig. 6.13). In the authors opinion this may be due to the high pre-consolidation of the clay zones. It may seem as the materials still have some of the original structure left in spite of wet sieving and mechanical stirring.

For swelling properties there was less published results to compare with. The consolidation coefficient, C_v , decreased with decreasing pressure. Thus the time needed to complete the primary swelling increased with decreasing loads. With pressures less than 5 t/m² C_v was less than 0,01 cm²/min. for 5 of 7 samples. Even for swelling the modulus M was proportional to the pressure. The modulus number m_s varied from 25 to 77. When $\epsilon = \frac{1}{m} \ln \frac{P'}{P_0}$ that will say that the deformation in consolidation was 3 - 7 times that in swelling.

The time resistance number, r_s , increased with increasing pressure (fig. 6.16). The secondary swelling $\epsilon = \frac{1}{r_s} \ln \frac{t}{t^p}$, will therefore decrease rapidly with increasing pressure.^p The variation with load was much greater than for consolidation.

Swelling was also measured for simple unloading from 200 to 2,5 t/m². After 3 hours when the deformations were practically

For 7 samples with maximum grain-size 0.2 mm the deformation properties during consolidation and swelling were investigated by oedometer tests. Pressures from 1 to 200 t/m² were used, and the samples were drained to both sides. The pressures were doubled for each loading, and each pressure was kept for 30 minutes. The experiments were interpreted by means of the resistance concept of Janbu (1950). The results for consolidation were in agreement with earlier experience. The tangent modulus $M = \frac{d\sigma}{d\epsilon}$ was nearly proportional to the pressure, $M = k_p \cdot p$. The clay zone materials behaved thus like normal Norwegian quartzary clays. The modulus number m_k varied between 7.5 and 13 (when ϵ is found as part of the volume at 200 t/m² pressure). The time resistance is defined as $R = \frac{d\epsilon}{dt}$ (Fig. 8.10). The time resistance number, r_s , varied little, but showed - somewhat surprisingly - a slight decrease with increasing pressures for 5 of 7 materials (Fig. 8.11). In the authors opinion this may be due to the high pre-consolidation of the clay zones. It may seem as the materials will have some of the original structure left in spite of wet sieving and mechanical straining.

For swelling properties there was less published results to compare with. The consolidation coefficient, C_v , decreased with decreasing pressure. Thus the time needed to complete the primary swelling increased with decreasing loads. With pressures less than 5 t/m² C_v was less than 0.01 cm²/min. for 5 of 7 samples. Even for swelling the modulus M was proportional to the pressure. The modulus number m_k varied from 15 to 20. When $\epsilon = \frac{1}{10}$ in $\frac{p}{p_0}$ that will say that the deformation in consolidation was 3 - 7 times that in swelling.

The time resistance number, r_s , increased with increasing pressure (Fig. 8.10). The secondary swelling $\epsilon = \frac{1}{r_s} \ln \frac{p}{p_0}$ will therefore decrease rapidly with increasing pressure. The variation with load was much greater than for consolidation. Swelling was also measured for sample unloading from 100 to 2.5 t/m². After 3 hours from the deformations were practically

completed, the swelling varied from 4,7% to 21,6%.

In the mineralogical investigations on samples with maximum grain-size 0,5 mm one has mainly been concerned with the content of montmorillonite since that mineral has the highest potential swellability. Differential thermal analysis (DTA) showed that the amount of montmorillonite varied from 0 to 80%. X-ray diffraction analyses of the same samples showed that 17 samples contained montmorillonite. One of the samples seemed to contain swelling interlayer minerals. According to X-ray analysis the amount of montmorillonite varied between 0 and 60%. The correlation between quantitative analysis with DTA and X-ray analysis was relatively poor (fig. 6.23).

Staining tests with "malachite green" and "benzidine" gave colour changes to respectively red and yellow for the 14 samples that according to DTA contained more than 5% montmorillonite.

Dry laboratory samples were also prepared with a maximum grain-size of 0,02 mm (20 μm). On these samples free swell test and swelling pressure measurements were carried out as described by Brekke (1965). Free swell values varied from 85% to 215% and swelling pressure from 14 to 260 t/m^2 . 4 samples had swelling pressures higher than 100 t/m^2 . These materials had also the highest free swell values (from 175% to 215%, fig. 6.30).

For the 18 materials that were most thoroughly investigated, linear regression analysis have been made to confirm correlation between different methods. It was high correlation between Atterberg limits and water content at different pressures (fig. 7.1 - 7.3). Linear regression analyses showed that liquid limit may be calculated from the equation:

$$W_L = - 1,32 + 0,887 \cdot W_{2,5} + 0,526 \cdot W_{2,5} - 200$$

Multiple correlation coefficient $r = 0,97$.

... ..

completed, the swelling varied from 0.7% to 21.8%.

In the mineralogical investigations on samples with maximum grain-size 0.5 mm one has mainly been concerned with the content of montmorillonite since that mineral has the highest potential swellability. Differential thermal analysis (DTA) showed that the amount of montmorillonite in samples 0, 1 and 2, X-ray diffraction analysis of the same samples showed that 17 samples contained montmorillonite. The other samples seemed to contain swelling interstratified minerals. The amount of montmorillonite in samples 0 and 20% is relatively poor (fig. 8.33).

Staining tests with potassium permanganate and methylene blue gave samples colour changes to red-brown and yellow brown. According to DTA contained more than 5% montmorillonite.

Dry laboratory samples were prepared with a maximum grain size of 0.5 mm (20 mm) and samples free swellings and swelling pressure measurements were carried out as described by Broek (1963). Free swellings varied from 0.5% to 21.8% and swelling pressure from 0.001 to 0.002. These materials had also the highest free swell values (from 17% to 21%, fig. 8.30).

The 16 materials that were investigated for the 18 materials that were investigated thoroughly investigated linear regression analysis has been made to confirm correlation between different methods. Present high correlation between Atterberg limits and linear regression analysis showed that (fig. 7.1 - 7.3). Linear regression analysis showed that liquid limit may be calculated from the equation:

$$W = -1.32 + 0.887 W_s + 0.528 W_{2.5} - 200$$

Multiple correlation coefficient $r = 0.87$

Good correlation was also found between deformation properties and water content at different pressures. For saturated samples the deformation is:

$$\epsilon = \frac{W_1 - W_2}{\frac{\gamma_W}{\gamma_S} + W_2}$$

where W_1 is water content at pressure P_1 , and W_2 water content at a higher pressure P_2 and ϵ is found as part of the volume at 200 t/m^2 pressure (fig. 7.6). For materials obeying the equation $M = m \cdot p'$ the modulus number can also be expressed in terms of water content as:

$$m = \frac{\ln \frac{P_1}{P_2} \left(\frac{\gamma_W}{\gamma_S} + W_2 \right)}{W_1 - W_2}$$

The plastic range of materials may be explained by grain-size distribution and content of montmorillonite. Regression analyses gave:

$$I_P = - 2,70 + 0,42 X_1 + 0,042 X_2$$

where X_1 = Part of laboratory sample less than $20 \mu\text{m}$

and X_2 = Area in mm^2 of the DTA-peak for montmorillonite at 700°C for the apparatus used.

Correlation coefficient $r = 0,89$ (see fig. 6.22).

Percent swelling measured in oedometer between 200 and $2,5 \text{ t/m}^2$ pressure increased with increasing I_P and $W_{2,5-200}$. For remoulded samples swelling is a result of a combination of two effects: 1) Sorption of water due to forces between water and mineral surfaces and 2) Mechanical deformation of elastic minerals (mica and hydromica). Samples showing greater swelling than should be expected from plasticity index contained all elastic minerals in considerable amounts (fig. 7.10).

Good correlation was also found between deformation properties and water content at different pressures. For saturated samples the deformation is:

$$\epsilon = \frac{W_1}{W_2} \frac{Y_1}{Y_2}$$

where W_1 is water content at pressure P_1 and W_2 water content at a higher pressure P_2 and ϵ is found as part of the volume at 200 r/m² pressure (fig. 7.8). For materials obeying the equation $M = n \cdot P$, the modulus number can also be expressed in terms of water content as:

$$M = \frac{\ln \frac{P_1}{P_2} \left(\frac{Y_1}{W_1} + W_2 \right)}{\frac{W_1}{W_2} - 1}$$

The plastic range of materials may be explained by grain-size distribution and content of montmorillonite. Regression analyses gave:

$$I_p = 2.70 + 0.42 X_1 + 0.042 X_2$$

where X_1 = Part of laboratory sample less than 20 μ and X_2 = Area in m² of the DTA-peak for montmorillonite at 700°C for the apparatus used.

Correlation coefficient $r = 0.89$ (see fig. 8.22).

Percent swelling measured in cadasters between 200 and 2.5 r/m² pressure increased with increasing I_p and W_2 . For remoulded samples swelling is a result of a combination of two effects: 1) Sorption of water due to forces between water and mineral surfaces and 2) Mechanical deformation of elastic minerals (mica and hydroxides). Samples showing greater swelling than should be expected from plasticity index contained all elastic minerals in considerable amounts (fig. 7.10).

For samples with maximum grain-size 0,02 mm the free swell test and swelling pressure measurement were compared with water content at different pressures ($W_{2,5}$, W_{200} and $W_{2,5 - 200}$). Linear regression analysis gave r higher than 0,8 between all the variables. Between swelling pressure and $W_{2,5 - 200}$ the scatter was rather high (fig. 7.12). Parts of the scatter may be explained by the porosity of the samples on which the swelling pressure was measured. Samples with high porosity gave low swelling pressures and vice versa.

Rather poor correlation was obtained between investigations on laboratory samples with maximum grain-size of 0,5 mm and 0,02 mm (20 μ m) respectively. For instance was the correlation coefficient between plasticity index (- 0,5 mm) and swelling pressure (- 0,02 mm) as low as 0,35 (fig. 7.15). This is explained by the fact that clay zone materials consist of more than one component. The most active clay minerals are in the finer fractions, and thus the - 0,02 mm samples contain relatively more active clay minerals than the - 0,5 mm samples. As the amount of inactive material varies from sample to sample, deviating results of the analysis on samples with different grain-sizes must be expected.

When the swelling pressure was used as a measure for the activity of the finer fractions and percentage less than 20 μ m as a measure of the amount of the finest fraction, correlation to analysis made on coarser laboratory samples became good. For instance was the plasticity index for sample - 0,5 mm found to be:

$$I_P = - 15,05 + 0,446 X_1 + 3,89 X_2$$

where X_1 = % less than 0,02 mm in laboratory sample less than 0,5 mm

and X_2 = ln swelling pressure (sample - 0,02 mm).

Multiple linear correlation coefficient was 0,90 (fig. 7.16).

For samples with maximum grain-size 0.02 mm the swelling test and swelling pressure measurements were compared with water content at different pressures ($W_{2.5} - 200$). Linear regression analysis gave a relationship between swelling pressure and $W_{2.5} - 200$. The scatter was rather high (fig. 7.15). The scatter may be explained by the porosity of the samples on which the swelling pressure was measured. Samples with high porosity gave low swelling pressures and vice versa.

Rather poor correlation was obtained between investigations on laboratory samples with maximum grain-size of 0.5 mm and 0.02 mm (20 μ m) respectively. For instance the correlation coefficient between plasticity index (-0.25) and swelling pressure (-0.02 mm) as low as 0.28 (fig. 7.15). This is explained by the fact that clay minerals consist of more than one component. The most active clay minerals are in the finer fractions, and thus the 0.02 mm samples contain relatively more active clay minerals than the 0.5 mm samples. As the amount of inactive material varies from sample to sample, deviating results of the analysis on samples with different

grain-sizes must be expected. When the swelling pressure was used as a measure for the activity of the finer fractions and percentage less than 20 μ m as a measure of the amount of the finest fraction, correlation to analysis made on coarser laboratory samples became good. For instance was the plasticity index for sample - 0.5 mm

found to be:

$$I_p = -15.05 + 0.44 X_1 + 3.88 X_2$$

where $X_1 =$ less than 0.02 mm in laboratory sample less than 0.5 mm

and $X_2 =$ in swelling pressure (sample - 0.02 mm) (fig. 7.15)

Multiple linear correlation coefficient was 0.80 (fig. 7.15)

All tests and analyses have been made on remoulded samples, and hence one should be very careful with transformation of absolute values from the laboratory results to in situ clay zones in hard rock.

According to Selmer-Olsen (1970) there are four major factors affecting the stability of clay zones:

- 1) The orientation, thickness and structure of the clay zone.
- 2) The degree of consolidation of the clay.
- 3) The water conditions, and
- 4) The mineralogical composition.

In general stability problems in underground works will increase with increasing access to water. This is due to both the swelling of clay minerals and the general decrease of strength wetting causes to most materials. The water needed for swelling can be taken from adjoining clay and rock or from the air in the tunnel. In order to evaluate the relative importance of these possibilities hygroscopic moisture content at RH = 98% was determined for 6 samples. The water content in oven-dry samples increased most rapidly at the beginning, but continued to increase for several months (fig. 8.3). The hygroscopic moisture content may be compared with the water content at different pressures. For all the samples it was necessary to use pressures higher than 200 t/m^2 to obtain water contents as low as the hygroscopic at RH = 98%. For decreasing RH the hygroscopic water content also decreases. It therefore seems evident that sorption of water directly from the air is only possible for clay zones with a high degree of consolidation. With warm and moist ventilation air one can, however, get water transport into the tunnel with condensation and sorption of water at the tunnel walls.

The behaviour of a clay zone is greatly influenced by its degree of consolidation. The preconsolidation is of special importance for the shear-strength of the material and the maximum swelling pressure that can be developed behind a tunnel lining.

... All tests and analyses were made on remolded samples, and hence one should be very careful with interpretation of the absolute values in the laboratory results in situ clay zones in hard rock.

According to Terzaghi (1955) there are four major factors affecting the stability of clay zones:

- 1) The orientation, thickness and structure of the clay zone.
- 2) The degree of consolidation of the clay.
- 3) The water conditions, and
- 4) The geomechanical composition.

In general, stability problems in underground works will increase with increasing access to water. This is due to both the swelling of clay minerals and the general decrease of strength of clays in water. The water needed for swelling can be taken from adjoining clay and rock or from the air in the tunnel. In order to evaluate the relative importance of these possibilities, hydroscopic moisture content was determined for 8 samples. The water content in water-saturated samples increased most rapidly at the beginning but continued to increase for several months (Fig. 2.8.2). The hydroscopic moisture content may be compared with the water content at different pressures. For all the samples it was necessary to use pressures higher than 200 atm to obtain water contents as low as the hydroscopic at $R_H = 98\%$. The decreasing R_H the hydroscopic water content also decreases. It therefore seems evident that sorption of water directly from the air is only possible for clay zones with a high degree of consolidation. With water and moist ventilation in the tunnel, gas water transport into the tunnel with condensation and sorption of water at the tunnel walls.

The behavior of a clay zone is greatly influenced by the degree of consolidation. The consolidation is of special importance for the shear strength of the material and the maximum swelling pressure that can be developed behind a tunnel lining.

The degree of consolidation may be estimated by comparing natural water content with Atterberg limits. Since the coarser material has been removed from the laboratory sample, the natural water content must be recalculated. This is done by assuming that the removed material (+ 0,5 mm) do not contain any water. Liquidity index $I_L = \frac{W_{nat.} - W_P}{W_L - W_P}$ varied from + 4 (quick clay) to about - 6. Since $\frac{W_L - W_P}{W_L - W_P} = I_P$ is the denominator, only samples with I_P less than 5 got I_L higher than ± 1 .

The degree of consolidation can also be estimated from the water contents at different pressures. For remoulded samples there is a linear relationship between water content and the logarithm of the pressure (fig. 8.5). By plotting natural water content in the diagram one can find the "equivalent consolidation pressure", P_W . This is defined as the pressure needed on a remoulded sample to obtain the materials natural water content when the outpressing of water has stopped. P_W varied from ≈ 0 t/m² for quick clay to several hundred t/m² for very hard materials. Samples with I_P higher than 6 - 7% showed good correlation between I_L and P_W (fig. 8.6).

The preconsolidation pressure in clay zones may also be determined by means of oedometer test on undisturbed samples. This test is well known from soil mechanics. From clay zones, however, it is difficult to obtain undisturbed samples owing to high preconsolidation pressures and contents of chips of rock. In addition the materials have water content lower than the plastic limit and are therefore stiff. Hence it is rather difficult to make regularly shaped samples. For these reasons oedometer tests on in situ samples are difficult to carry out, and the few tests done show a considerable scatter for parallel samples (fig. 8.7 and 8.8).

Regarding classification of soils, the importance of the different material properties will vary from problem to problem. The properties can be divided into two groups. The potential swellability depends basicly upon the type and amount of clay

The degree of consolidation may be estimated by comparing natural water content with Atterberg limits. Since the coarser material has been removed from the laboratory sample, the natural water content must be recalculated. This is done by assuming that the removed material (4-5.5 and does not contain any water. Liquid limit $I_L = \frac{W_L - W_p}{W_p} \times 100$ varied from 40 to 60 (quick clay) to about 60. Since $W_L - W_p = I_L \times \frac{W_p}{100}$, the denominator, only samples with I_L less than 60 for I_L higher than 60.

The degree of consolidation can also be estimated from the water contents at different pressures. For remoulded samples there is a linear relationship between water content and the logarithm of the pressure (Fig. 8.5). By plotting natural water content in the diagram one can find the "equivalent consolidation pressure" P_e . This is defined as the pressure needed on a remoulded sample to obtain the natural water content when the outgassing of water has stopped. It varied from 0.5 to 1.5 atm for quick clay to several hundred atm for very hard material. Samples with I_L higher than 60 showed good correlation between I_L and P_e (Fig. 8.6).

The preconsolidation pressure in clay zones may also be determined by means of oedometer test on undisturbed samples. This test is well known from soil mechanics. From clay zones however, it is difficult to obtain undisturbed samples owing to high preconsolidation pressure and zones of collapse. In addition the materials are very sensitive to flow. The plastic limit and the shrinkage limit are also difficult to make regularly shaped samples. Oedometer tests on in situ samples are difficult to carry out and the tests done show a considerable scatter. For the samples (Fig. 8.7 and 8.8).

Regarding classification of soils, the importance of the different material properties will vary from problem to problem. The properties can be divided into two groups. The potential swellability depends basically upon the type and amount of clay.

minerals and exchangeable ions. The placement conditions decide whether the potential swelling properties will be mobilized or not. Important factors are: Degree of consolidation, natural water content, unit weight, bonds between particles etc.

At Geological Institute, N.T.H., much research work has been done to evaluate a material's ability to mobilize swelling pressure behind a tunnel lining. The potential swellability has been classified according to the free swell test, and especially the swelling pressure measured on dry samples - 0,02 mm. The following classes have been used:

Swelling pressure < 20 t/m², low active clay.

Swelling pressure 20 - 35 t/m², slightly active clay.

Swelling pressure > 35 t/m², very active clay.

These methods are rather complicated both in preparation of samples and performance of the experiments. To get reliable results it is therefore necessary with a trained operator.

Other tests with rather good correlation may be used for classification. The author suggests that classification tests shall be conducted on samples of material - 0,5 mm, where coarser material is removed by wet sieving. The difference in water content between 2,5 and 200 t/m², $W_{2,5} - 200$, shall be used as a measure for potential swellability. The same classes as used before give than the following limits (for materials with about 40% less than 20 μ m, fig. 7.3 and 7.16):

$W_{2,5} - 200$ < 12%, low potential swellability.

$W_{2,5} - 200$ 12 - 20%, medium potential swellability.

$W_{2,5} - 200$ > 20%, high potential swellability.

Further the author suggests that the "equivalent consolidation pressure", P_W , shall be used to evaluate the consolidation pressure of clay zones. One must, however, take into account

minerals and exchangeable ions. The placement conditions decide whether the potential swelling properties will be mobilized or not. Important factors are: degree of consolidation, natural water content, and weight, bonds between particles etc.

At Geological Institute, Lund, H. F. much research work has been done to evaluate the potential swelling properties of soils. The potential swelling pressure is determined by the potential swelling. The potential swelling has been determined according to the free swell test, and especially the swelling pressure is determined on dry samples - 0.02 mm. The following classification has been used:

- Swelling pressure > 30 x 10³ kN/m² for active clay
- Swelling pressure > 10 x 10³ kN/m² for active clay
- Swelling pressure > 5 x 10³ kN/m² for active clay

These methods are rather complicated and the preparation of samples and performance of the experiments is not reliable. Results of the tests are therefore not very accurate.

Other methods for determining the swelling pressure may be used for classification. The Swelling Index (SI) is a good test. The SI shall be determined on samples of material 2 mm. The SI shall be determined by removing the water in the sample and in water content and between 2% and 5% shall be used as a measure for potential swelling. The same classes as used before give then the following classification (see material with about 20 mm. (SI > 100) (SI > 100) (SI > 100))

- W₂ > 200% = 100% low potential swelling
- W₂ > 200% = 100% medium potential swelling
- W₂ > 200% = 100% high potential swelling

For the purpose of classification, the SI is a good test. The SI shall be determined on samples of material 2 mm. The SI shall be determined by removing the water in the sample and in water content and between 2% and 5% shall be used as a measure for potential swelling. The same classes as used before give then the following classification (see material with about 20 mm. (SI > 100) (SI > 100) (SI > 100))

the possible variation of the natural water content with time. In addition it is advisable to make mineralogical analysis.

Experiences with the new methods are rather limited. However, it seems that clay zones destroying tunnel linings must have both high potential swellability and high consolidation pressure. It seems also that clay zones with low consolidation pressures are unable to mobilize high swelling pressures even if the potential swellability is high.

In addition to laboratory tests it is important to collect field data and experiences. This collecting needs intensification.

This work has been carried out under the supervision of Professor R. Selmer-Olsen, Geological Institute at The University of Trondheim, The Norwegian Institute of Technology. The author wants to express his sincere thanks to him and other staff members of the Institute.

7. BJERRUM, L. (1967): "Mechanism of progressive failure in slopes of overconsolidated plastic clays and clay shales." Third Terzaghi Lecture. Journal of the Soil Mechanics and Foundation Division, Proc. ASCE 94, 1967.
8. BJØRLLYCKE, S. og SELMER-OLSEN, R. (1972): "Nødvendig overdekning i delvisler ved fjellros med høyt innvendig vann eller lufttrykk." Rapport til WNSF av 11/10-72 med tillegg av 27/4-73. Upubl.
9. BOLT, G.W. (1958): "Physico-chemical analysis of the compressibility of pure clay." Geotechnique, Vol. 8, No. 2, 1958.
10. BREKKE, T.L. (1963): "Om samløstiltrentfremde leirelapper og ren i fjellenslegg." Avhandling for den tekniske licentiatgrad, N.T.H. Upubl.

The possible variation of the natural water content with time. In addition it is advisable to make mineralogical analysis.

Experts with the new methods are rather limited. However, it seems that clay zones bearing tunnel lining must have both high potential swellability and high consolidation pressure. It seems also that clay zones with low consolidation pressure are unable to mobilize high swelling pressures even if the potential swellability is high.

In addition to laboratory tests it is important to collect field data and experience. This collecting needs investigation.

This work has been carried out under the supervision of Professor R. Selmer-Olsen, Geological Institute at the University of Tromsø, The Norwegian Institute of Technology. The author wishes to express his thanks to him and other staff members of the Institute.

11. LITTERATUR.

1. ALTMAYER, W.T. (1956): Discussion of "Engineering properties of expansive clays." Trans. ASCE 121, p. 666 - 669.
2. BARBER, E.S. (1956): Discussion of "Engineering properties of expansive clays." Trans. ASCE 121, p. 669 - 673.
3. BEITNES, A. (1972): Pers. komm.
4. BERGE, I., LI, B. og MYRVANG, A. (1971): "Bergmekaniske data fra endel norske gruver og anlegg." Teknisk Ukeblad Bd. 118, nr. 7, febr. 1971.
5. BERRY, L.G. and MASON, B. (1959): "Mineralogy." W.H. Freeman and company, San Francisco and London.
6. BJERRUM, L., BREKKE, T., MOUM, J. and SELMER-OLSEN, R. (1964): "Some Norwegian studies and experiences with swelling materials in rock gouges." Norges Geotekniske Institutt, publ. nr. 57
7. BJERRUM, L. (1967): "Mechanism of progressive failure in slopes of overconsolidated plastic clays and clay shales." Third Terzaghi lecture. Journal of the Soil Mechanics and Foundation Division, Proc. ASCE 93, 1967.
8. BJØRLYKKE, S. og SELMER-OLSEN, R. (1972): "Nødvendig overdekning i dalsider ved fjellrom med høyt innvendig vann- eller lufttrykk." Rapport til NTNF av 11/10-72 med tillegg av 27/473. Upubl.
9. BOLT, G.H. (1956): "Physico-chemical analysis of the compressibility of pure clay." Geotechnique, Vol. 6, No. 2, 1956.
10. BREKKE, T.L. (1963): "Om montmorillonittførende leirslepper og ras i fjellanlegg." Avhandling for den tekniske licentiatgrad, N.T.H. Upubl.

LITERATURE

1. ALTMAYER, W. T. (1958) Die Eigenschaften der ...
 2. BARBERIS, E. S. (1958) Die Eigenschaften der ...
 3. BRITTON, A. (1957) ...
 4. BRITTON, A. (1957) ...
 5. BRITTON, A. (1957) ...
 6. BRITTON, A. (1957) ...
 7. BRITTON, A. (1957) ...
 8. BRITTON, A. (1957) ...
 9. BRITTON, A. (1957) ...
 10. BRITTON, A. (1957) ...

11. BREKKE, T.L (1964): "Om årsaken til og måling av svelle-
evnen hos montmorillonittgruppens mineraler." Tidsskrift
for kjemi, bergvesen og metallurgi, 8 - 9 (1964), s. 141 -
146.
12. BREKKE, T.L. (1965): "On the measurement of the relative
potential swellability of hydrothermal montmorillonite clay
from joints and faults in precambrian and paleozoic rock
in Norway." International Journal of Rock Mechanics and
Mining Sciences, Vol. 2, p. 155 - 165. Pergamon Press 1965.
13. BREKKE, T.L. and SELMER-OLSEN, R. (1965): "Stability
problems in underground constructions caused by mont-
morillonite-carrying joints and faults." Engineering
Geology, Vol. 1 (1965).
14. BREKKE, T.L. and SELMER-OLSEN, R. (1966): "A survey of
the main factors influencing the stability of underground
constructions in Norway." Proc. First International
Conference on Rock Mechanics.
15. BROCH, E. (1971): "Ingeniørgeologien ved Bogna kraftverk."
Rapport nr. 5, Geologisk Institutt, Ingeniørgeologi, N.T.H.
16. CARROLL, D. (1970): "Rock weathering." Plenum press,
New York and London.
17. CASAGRANDE, A. (1932): "Research on the Atterberg limits of
soils." Public roads 13, p. 121 - 136.
18. CASAGRANDE, A. (1948): "Classification and identification of
soils." Trans. ASCE 113, p. 901 - 992.
19. CHANDRASEKHARAM, E.C., BOOMINATHAN, S., NARAYNASWAMY, and
SETTY, K.R. (1969): "Influence of heat treatment on the
pulverization and stabilization characteristics of typical
tropical soils." Highway Research Board. Special report
No. 103.

111. BRANDE, T. L. (1985): "On the measurement of the stability of joints in rock masses." *International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences*, Vol. 22, No. 3, pp. 241-250.

112. BRANDE, T. L. (1985): "On the measurement of the stability of joints in rock masses." *International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences*, Vol. 22, No. 3, pp. 241-250.

113. BRANDE, T. L. (1985): "On the measurement of the stability of joints in rock masses." *International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences*, Vol. 22, No. 3, pp. 241-250.

114. BRANDE, T. L. (1985): "On the measurement of the stability of joints in rock masses." *International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences*, Vol. 22, No. 3, pp. 241-250.

115. BRANDE, T. L. (1985): "On the measurement of the stability of joints in rock masses." *International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences*, Vol. 22, No. 3, pp. 241-250.

116. BRANDE, T. L. (1985): "On the measurement of the stability of joints in rock masses." *International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences*, Vol. 22, No. 3, pp. 241-250.

117. BRANDE, T. L. (1985): "On the measurement of the stability of joints in rock masses." *International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences*, Vol. 22, No. 3, pp. 241-250.

118. BRANDE, T. L. (1985): "On the measurement of the stability of joints in rock masses." *International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences*, Vol. 22, No. 3, pp. 241-250.

119. BRANDE, T. L. (1985): "On the measurement of the stability of joints in rock masses." *International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences*, Vol. 22, No. 3, pp. 241-250.

120. BRANDE, T. L. (1985): "On the measurement of the stability of joints in rock masses." *International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences*, Vol. 22, No. 3, pp. 241-250.

20. COSTES, N.C. (1956): "Factors affecting vertical loads on underground ducts due to arching." Highway Research Board, Bull. 125, p. 12 - 57.
21. DAWSON, R.F. (1956): "Discussion of Engineering properties of expansive clays." Trans. ASCE 121, p. 664 - 666.
22. DAWSON, R.F. (1959): "Investigations of the liquid limit test on soils, symposium on Atterberg limits." American Society for Testing and Materials. Special Technical Publication No. 254, p. 190 - 195.
23. DE BRUYN, C.M.A., COLLINS, L.E., and WILLIAMS, A.A.B. (1957): "The specific surface, water affinity, and potential expansiveness of clays." Clay Minerals, Bull. 3, p. 120 - 128.
24. DEERE, D.V., PECK, R.B., PARKER, H.W., MONSEES, J.E., and SCHMIDT, B. (1970): "Design of tunnel support systems." Highway Research Record 339, p. 26 - 33.
25. DENGERUD, A. (1972): "Midlertidig stabilisering av vegger og tak i tunnel ved frysing." Foredrag fra Konferanse i Fjellsprengningsteknikk, Oslo 18. november 1971.
26. DUNCAN, N. and SHEERMAH-CHASE, A. (1966): "Planning, design and construction - Rock mechanics in civil engineering works." Reprint from Civil Engineering des. 1965, febr., mars, april, mai og juni 1966. 8 Buckinham Street, London W.C.2.
27. FITJE, R. (1970): "Leirers vanninnhold i på- og avlastnings-syklus." Hovedoppgave i Ingeniørgeologi, Geologisk Institutt, N.T.H.
28. GARRELS, R.M. and CHRIST, C.L. (1965): "Solutions, minerals and equilibria." Harper international student reprint. Harper & Row, New York, Evanston and London, and John Weatherhill Inc., Tokyo. 450 p.

20. COSTER, M.C. (1956): "Factors affecting vertical loads on underground ducts due to arching." Highway Research Board, Bull. 35, p. 12-27.

21. DAWSON, R.F. (1958): "Discussion of Engineering Properties of expansive clays." Trans. ASCE 72, p. 222-232.

22. DAWSON, R.F. (1959): "Investigations of the liquid limit test on soils, symposium on Atterberg limits." American Society for Testing and Materials, Special Technical Publication No. 259, p. 199-195.

23. DE BRUYN, C.M.A., COLLINS, L.E., and WILLIAMS, A.A.B. (1957): "The specific surface, water affinity, and potential expansiveness of clay." Clay Minerals, Bull. 2, p. 112-118.

24. DEERE, D.V., PECK, R.B., PARKER, H.W., MONTEZ, J.E., and SCHMIDT, S. (1957): "Design of tunnel support systems." Highway Research Record 33, p. 25-33.

25. DENGROUD, A. (1953): "Mikrobiell stabilisering av vegetation i tunneler." Foredrag for Kongskaaforsamlingen i Jylland, Odense, 18. november 1953.

26. DUNCAN, N. and SHEERMAN-CHASE, A. (1955): "Practical design and construction - Rock mechanics in civil engineering." Report from Civil Engineering Dept., London, 1955.

27. FITZ, R. (1950): "Lekturs vagnmodell i 1/4-skala." Geoteknisk Institut, Hovedopgave i Ingeniørvidenskab, Geoteknik, Nr. 1.

28. GARRELS, R.H. and CHRIST, C.J. (1955): "Solutions, drainage and equilibrium." Harper International student reprint. Harper & Row, New York, Evanston and London, and John Wiley & Sons, Inc., Tokyo, 450 p.

29. GEOTEAM A/S: Oppdrag I - G 20. "Mineralogisk bestemmelse ved hjelp av røntgendiffraktometri." Internt notat. Upubl.
30. GILLOT, J.E. (1968): "Clay in engineering geology." Elsevier Publishing Company, Amsterdam, London and New York.
31. GJEMS, O. (1967): "Studies on clay minerals and clay mineral formation in soil profiles in Scandinavia." Meddelelse fra Det norske skogforsøksvesen, nr. 81, Bind XXI, Hefte 4. Vollebekk.
32. GRIFFITHS, J.C. (1967): "Scientific method in analysis of sediments." McGraw-Hill Book Company.
33. GUTTMAN, I. and WILKS, S.C. (1965): "Introductory engineering statistics." John Wiley & Sons, Inc., New York, London, Sydney.
34. HAGEMANN, F. and SPJELDNÆS, N. (1955): "The middle Ordovician of the Oslo region, Norway." 6. Notes on bentonites (K-bentonites) from the Oslo - Asker district. Norsk Geologisk Tidsskrift, Bind 35, p. 29 - 51.
35. HAST, N. (1958): "The measurement of rock pressure in mines." Sveriges Geologiska Undersøking, Årsbok 52 (1958), nr. 3. Stockholm.
36. HEMLEY, J.J., MEYER, C., and RICHTER, D.H. (1961): U.S. Geological Survey, Prof. paper, 424-D 338.
37. HOLTZ, W.G. and GIBBS, H.J. (1956): "Engineering properties of expansive clays." Trans. ASCE, Vol. 121, p. 641 - 663.
38. ISAACHSEN, D. (1962): "Lærebok i fysikk." Revidert utgave, 16. opplag, ved Johan Holtsmark. H. Aschehoug & Co. (W. Nygaard). Oslo 1962.
39. JANBU, N. (1967): "Settlement calculations based on the tangent modulus concept." Institutt for Geoteknikk og Fundamenteringslære. Meddeløse 2. Bulletin.

29. GEOTERM A/S: Oppdrag L. 28. "Mineralogisk bestemmelse ved hjælp av røntgenstrålektrometri." Internat. notat, Uppsala, 1952.

30. GILLOT, J.E. (1952): "Clay in engineering geology." Elsevier Publishing Company, Amsterdam, London and New York.

31. GLENN, O. (1957): "Studies on clay minerals and clay minerals formation in norsk granit." Meddelelse fra Det Norske Skogforskningsselskap, nr. 81, Bind XXI, Hefte #. Vollerbekk.

32. GRITZNER, J.C. (1957): "Sediment analysis in analysis of sediments." McGraw-Hill Book Company.

33. GUTMAN, I. and WALKER, S.C. (1955): "Introduction to engineering geology." John Wiley & Sons, Inc., New York, London, Sydney.

34. HANSEN, J. and SPILLINGS, M. (1952): "The middle Oslo district (Kviteseid) in the Oslo - Askar district." Norsk Geologisk Tidsskrift, Bind 35, p. 25 - 31.

35. HANSEN, J. (1958): "Measurement of rock pressure in mines." Sveriges Geologiska Undersökning, Årsbok 52 (1958), nr. 37.

36. HEMMERT, G. and RICHTER, D.H. (1951): "The middle Oslo district (Kviteseid) in the Oslo - Askar district." Norsk Geologisk Tidsskrift, Bind 34, p. 1 - 10.

37. HOLT, H. (1955): "Engineering properties of expansive clays." Trans. ASCE, Vol. 121, p. 641 - 663.

38. HOLT, H. (1952): "Laveok i Fysek." Revideret utgave, H. Aschenberg & Co. (W. Nygaard), Oslo 1952.

39. HOLT, H. (1957): "Settlement calculation on the permanent reduction method." Institut for Geoteknikk og Fundamenteringer, Meddelelse 2, Bulletin.

40. JANBU, N. (1970): "Grunnlag i geoteknikk." Tapir forlag, Trondheim.
41. JANBU, N. (1973): "Tolkning av ødometerforsøk." Nordisk kurs: Setninger i teori og praksis. Kursdagene ved N.T.H. januar 1973.
42. KARAL, K. (1973): Pers. komm. Institutt for Geoteknikk og Fundamenteringslære, N.T.H.
43. KASSIF, G. and BAKER, R. (1969): "Swell pressure measured by uni- and triaxial techniques." Proc. 7th ICSMFE, Mexico 1969.
44. KASSIF, G. and BAKER, R. (1971): "Aging effects on swell potential of compacted clay." Journal of the Soil Mechanics and Foundation Division. Proc. ASCE, March 1971, p. 529 - 540.
45. KERR, P.F. (1955): "Hydrothermal alteration and weathering." In: "The crust of the earth" edited by A. Poldevaart. Geol. Soc. Am., Special papers 62, p. 525 - 543.
46. KOMORNIK, A. and ZEITLEN, J.G. (1965): "An apparatus for measuring lateral soil swelling pressure in the laboratory." Proc. 6th ICSMFE, Toronto 1965.
47. KOMORNIK, A. and DAVID, D. (1969): "Prediction of swelling pressure of clays." Journal of the Soil Mechanics and Foundation Division. Proc. ASCE Jan. 1969, p. 209 - 225.
48. KOMORNIK, A. and ZEITLEN, J.G. (1970): "Laboratory determination of lateral and vertical stresses in compacted swelling clay." Journal of materials, JMLSA, Vol. 5, No. 1, March 1970, p. 108 - 128.
49. KRUMBEIN, W.C. and GRAYBILL, F.A. (1965): "An introduction to statistical models in geology." McGraw-Hill Book Company.

40. JANBU, N. (1970): "Grunnlag i geoteknik." Tapir forlag, Trondheim.

41. JANBU, N. (1973): "Tolkning av edometerforsok." Nordisk kurs: Besyninger i teori og praksis. Kursdagene ved N.T.H. januar 1973.

42. KARAL, K. (1974): "Fundamenteringsteori." Institutt for Geoteknikk og Fundamenteringsteori, N.T.H.

43. KASSIF, G. and BAKER, K. (1971): "Swell pressure measured by uni- and triaxial techniques." Proc. 7th ICSMFE, Mexico 1969.

44. KASSIF, G. and BAKER, K. (1971): "Swell effects on swelling potential of compacted clays." Journal of the Soil Mechanics and Foundation Division, Proc. ASCE, March 1971, p. 529 - 540.

45. KERR, P.F. (1955): "The crust of the earth." Geol. Soc. Am., Special paper 82, p. 525 - 543.

46. KOMORNIK, A. and WEITZEL, G. (1957): "An apparatus for measuring lateral soil swelling pressure in the laboratory." Proc. 6th ICSMFE, Toronto 1955.

47. KOMORNIK, A. and DAVID, D. (1955): "Prediction of swelling pressure of clays." Journal of the Soil Mechanics and Foundation Division, Proc. ASCE, Jan 1955, p. 208 - 225.

48. KOMORNIK, A. and WEITZEL, G. (1957): "Laboratory determination of lateral and vertical stresses in compacted swelling clay." Journal of Materials, JMSA, Vol. 5, No. 1, March 1957, p. 108 - 128.

49. KRUMBEIN, W.C. and GRAYBILL, J.W. (1953): "An introduction to statistical models in geology." McGraw-Hill Book Company.

50. LADD, C.C. (1960): "Mechanisms of swelling by compacted clay." Highway Research Board, Bull. 245, p. 10 - 25.
51. LAGUROS, J.G. (1969): "Effect of temperature on some engineering properties of clay soils." Highway Research Board. Special report No. 103.
52. LAMBE, T.W. (1960 a): "The structure of compacted clay." Trans. ASCE. Reprint paper 3041, Vol. 125.
53. LAMBE, T.W. (1960 b): "Soil PVC-meter. The character and identification of expansive soils." A technical studies report. Federal Housing Administration.
54. LAMBE, T.W. (1965): "Soil testing for engineers." John Wiley & Sons, New York, London, Sydney.
55. LI, B. (1970): "Natural stress-values obtained in different parts of the Fennoscandian rock masses." Theme 1, No. 28, Proc. 2nd Congress of the International Society for Rock Mechanics, Beograd 1970.
56. LIVNEH, M., KASSIF, G., and WISEMAN, G. (1969): "The use of index properties in the design of pavements on expansive clays." Technicon - Israel Institute of Technology, Faculty of Civil Engineering. Publ. No. 121.
57. MACKENZIE, R.C. (1957): "The differential thermal investigation of clays." Mineralogical Society (Clay minerals group), London.
58. MIELENZ, R.C. and KING, M.E. (1951): "Identification of clay minerals by staining tests." American Society for Testing and Materials. Special Technical Publication No. 254, p. 190 - 195.
59. MOUM, J. (1962): "Investigations of some clay materials from rock gouges in Norway." Norges Geotekniske Institutt, publ. nr. 61.

50. LADD, G.C. (1950): "Mechanisms of swelling by compacted clay." Highway Research Board, Bull. 29, p. 10 - 25.

51. LACROIX, J.E. (1953): "Effect of temperature on some engineering properties of clay." Highway Research Board, Special Report No. 114.

52. LAMB, T.W. (1950): "The structure of compacted clay." Trans. Assoc. Reprint from International Conference on Soil Testing for Engineers, London, 1950, Vol. 1, p. 125.

53. LAMB, T.W. (1950): "Soil PVC-meter. The character and identification of expansive clays." Trans. Assoc. Reprint from International Conference on Soil Testing for Engineers, London, 1950, Vol. 1, p. 125.

54. LAMB, T.W. (1955): "Soil testing for engineers." Trans. Assoc. Reprint from International Conference on Soil Testing for Engineers, London, 1955, Vol. 1, p. 125.

55. LAMB, T.W. (1950): "Natural stress-values obtained in different parts of a clay." Trans. Assoc. Reprint from International Conference on Soil Testing for Engineers, London, 1950, Vol. 1, p. 125.

56. LAMB, T.W. (1950): "The differential thermal analysis of clay." Trans. Assoc. Reprint from International Conference on Soil Testing for Engineers, London, 1950, Vol. 1, p. 125.

57. LAMB, T.W. (1950): "The differential thermal analysis of clay." Trans. Assoc. Reprint from International Conference on Soil Testing for Engineers, London, 1950, Vol. 1, p. 125.

58. LAMB, T.W. (1950): "The differential thermal analysis of clay." Trans. Assoc. Reprint from International Conference on Soil Testing for Engineers, London, 1950, Vol. 1, p. 125.

59. LAMB, T.W. (1950): "The differential thermal analysis of clay." Trans. Assoc. Reprint from International Conference on Soil Testing for Engineers, London, 1950, Vol. 1, p. 125.

60. LAMB, T.W. (1950): "The differential thermal analysis of clay." Trans. Assoc. Reprint from International Conference on Soil Testing for Engineers, London, 1950, Vol. 1, p. 125.

60. MYSLIVEC, A. (1960): "Experimental study of uniaxial swelling of clay in time." Proc. 7th ICSMFE, Mexico 1969.
61. NALEZNY, C.L. and LI, M.C. (1967): "Effect of soil structure and thixotropic hardening on the swelling behaviour of compacted clay soils." Highway Research Record No. 209, p. 1 - 19.
62. OFTEDAHL, Chr. (1970): "Norges geologi." Et kompendium for studenter ved N.T.H. Annen reviderte utgave. Geologisk Institutt, N.T.H.
63. PALMSTRØM, A. (1967): "En undersøkelse av et montmorillonittmateriales svelling som funksjon av pakking og montmorillonittinnhold." Hovedoppgave i Ingeniørgeologi, Geologisk Institutt, N.T.H. Upubl.
64. PARCHER, J.V. and LIU, P.C. (1965): "Some swelling characteristics of compacted clays." Journal of the Soil Mechanics and Foundation Division. Proc. ASCE, May 1965.
65. PECK, R.B. (1969): "Deep excavations and tunneling in soft ground." State of the art report. 7th ICSMFE, Mexico 1969.
66. PIETKOWSKI, R. and CZARNOGA-BOIARSKI, R. (1968): "Absorbed water in soils." 3rd Budapest Conf. on Soil Mechanics and Foundation Engineering, Oct. 1969.
67. RANGANATHAM, B.V. and SATYANARAYANA, B. (1965): "A rational method of predicting swelling potential for compacted expansive clays." Proc. 6th ICSMFE, Toronto 1965.
68. REINIUS, E., EURENIUS, J., and SELMER-OLSEN, R. (1972): "Memo 1 on tunnel support system." Sao Paulo Water Supply System. Tunnel 5 and 6.
69. RIISE, O. (1970): "Svelling og plastisitet hos leirer." Hovedoppgave i Ingeniørgeologi, Geologisk Institutt, N.T.H. Upubl.

- 60. MYSLIVEC, A. (1980): "Experimental study of anisotropic swelling of clay in time." Proc. 7th ICSMFE, Mexico 1980.
- 61. NALBENY, C.J. and LI, M.C. (1987): "Effect of soil structure and thixotropic hardening on the swelling behaviour of compacted clay soils." Highway Research Record No. 208, p. 1 - 18.
- 62. OTTEBARI, Chr. (1970): "Notas Resolvidas." Et Kongskaft for studenter ved N.T.H. Aarsen reviderede tilgange. Geologisk Institut, N.T.H.
- 63. PALMSTRAN, A. (1987): "En undersøkelse av et montmorillonittmateriale som sveller som funksjon av pakning og vanninnhold." Hovedoppgave i Ingegnørgeologi. Geologisk Institut, N.T.H. Uppbl.
- 64. PARCER, J.V. and LIU, P.C. (1985): "Some swelling characteristics of compacted clays." Journal of the Soil Mechanics and Foundation Division, Proc. ASCE, May 1985.
- 65. PECK, R.B. (1980): "Deep excavations and tunnels in soft ground." State of the art report. 7th ICSMFE, Mexico 1980.
- 66. PIETKOWSKI, R. and CZARNOJA-SOJAKSKI, R. (1988): "Assessment of water in soils." 7th Budapest Conf. on Soil Mechanics and Foundation Engineering, Oct. 1988.
- 67. RANGANATHAN, B.V. and SATYANARAYANA, K. (1985): "A rational method of predicting swelling potential for compacted expansive clays." Proc. 6th ICSMFE, Toronto 1985.
- 68. REINIS, E., BURKHOFF, J., and SELMER-OERSM, R. (1977): "System 1 on tunnel support system." 5th South Water Supply System, Tunnel 6 and 8.
- 69. RITSE, O. (1970): "Swelling of clastic rocks (see paper)." Hovedoppgave i Ingegnørgeologi. Geologisk Institut, N.T.H. Uppbl.

70. RODE, A.A. (1969): "Theory of soil moisture." Israel Program for Scientific Translation, Jerusalem 1969.
71. ROKOENGEN, K. (1969): "Måling av svelletrykk hos sleppeleirer." Hovedoppgave i Ingeniørgeologi, Geologisk Institutt, N.T.H. Upubl.
72. ROKOENGEN, K. (1973): "Svelleleirens egenskaper." Nordisk kurs om stabilitet og sikring av fjellrom. Kursdagene ved N.T.H. januar 1973.
73. ROSENQVIST, I. Th. (1961): "Forelesninger i mikro- og kolloidmineralogi." Universitetsforlaget, Oslo.
74. RUSSEL, E.R. and MICKLE, J.L. (1970): "Liquid limit values by soil moisture tension." Journal of the Soil Mechanics and Foundation Division. Proc. ASCE, May 1970, p. 967 - 989.
75. SANDBERG, J. (1968): "Undersøk fri svelling og svelletrykkets variasjon med montmorillonittinnholdet. Hovedoppgave i Ingeniørgeologi, Geologisk Institutt, N.T.H. Upubl.
76. SANDSTRØM, G.E. (1963): "Sex tusen år under jorden." Tidens førslag, Stockholm.
77. SATYANARAYANA, B. and RANGANATHAM, B.V. (1969): "Interaction of primary factors on swell and swell pressure." Journal of the Soil Mechanics and Foundation Engineering, Vol. 8 (1969), No. 1, p. 23 - 39, New Dehli, India.
78. SCHMERTMANN, J.H. (1969): "Swell sensitivity." Geotechnique, Vol. 19, No. 4, 1969, p. 530 - 533.
79. SEED, H.B., MITCHELL, J.K., and CHAN, C.K. (1962): "Studies of swell and swell pressure characteristics of compacted clays." Highway Research Board, Bull. 313, p. 12 - 39.

70. RODE, A.A. (1962): "Theory of soil water..."

71. ROKONGEN, K. (1962): "Mating av sveffullhet hos slagg..."

72. ROKONGEN, K. (1962): "Sveffullhetens egenskaper..."

73. ROSENQVIST, L. Th. (1961): "Forsokningar i mikro-og..."

74. RUSSEL, E.R. and NICKLE, J. (1962): "Soil moisture tension..."

75. SANDBERG, J. (1962): "Underlag for sveffullhet av slagg..."

76. SANDSTROM, E.E. (1962): "Sex tycken ar under jorden..."

77. SATYANARAYANA, B. and RANGANATHAN, B.V. (1962): "Interaction..."

78. SCHMERTMANN, J.H. (1962): "Soil sensitivity..."

79. SEED, H.B., MITCHELL, J.K., and CHAN, C.M. (1962): "Studies..."

80. ... and swell pressure characteristics of compacted...

81. ... Highway Research Board, Bull. 313, p. 12-32.

82. ...

83. ...

84. ...

85. ...

86. ...

87. ...

88. ...

89. ...

90. ...

91. ...

92. ...

93. ...

94. ...

95. ...

96. ...

97. ...

98. ...

99. ...

100. ...

80. SEED, H.B., WOODWARD, R.J., and LUNDGREN, R. (1962): "Prediction of swelling potential for compacted clay." *Journal of the Soil Mechanics and Foundation Division. Proc. ASCE*, Dec. 1962.
81. SELMER-OLSEN, R. (1954): "Om norske jordarters variasjon i korngradering og plastisitet." *Norges Geologiske Undersøkelse nr. 186*.
82. SELMER-OLSEN, R. (1961): "En regional undersøkelse av norske kvartære leirers finfraksjon basert på DTA." *Rapport til NTNf. Upubl.*
83. SELMER-OLSEN, R. (1968): "Forelesningskompendium i alminnelig geologi og ingeniørgeologi." *Tapir forlag, Trondheim*.
84. SELMER-OLSEN, R. (1968 a): "Stabilitetsforholdene i fjellanlegg - en kort oversikt over hovedfaktorene." *Foredrag nr. IV ved "Ingeniørgeologi for anlegg i fjell". Kursdagene ved N.T.H. 1968*.
85. SELMER-OLSEN, R. (1968 b): "Valg av sikringsmetode med henblikk på bruken av anlegget, årsaken til stabilitetsproblemet og vanskelighetsgraden av dette." *Foredrag nr. VII ved "Ingeniørgeologi for anlegg i fjell". Kursdagene ved N.T.H. 1968*.
86. SELMER-OLSEN, R. (1970): "Problems with swelling clays in Norwegian underground constructions in hard rock." *Publ. No. 40, Statens Geotekniska Institut, Stockholm*.
87. SELMER-OLSEN, R. (1971): "Svelleleirforekomster fra et bergforsterkningssynspunkt." *Foredrag holdt ved Vattenbyggnadsbyrå, Stockholm, 23. nov. 1971*.
88. SELMER-OLSEN, R. (1972): "Stabilitetsproblematikken i fjellrom - sikringsproblematikken." *Særkursforelesning i Ingeniørgeologi 1972*.

- 80. REED, H.B., WOODWARD, R.J., and LUNDGREN, R. (1982): "Prediction of swelling potential for compact clay." Journal of the Soil Mechanics and Foundation Division, Proc. ASCE, Dec. 1982.
- 81. SELMER-OJSEN, R. (1982): "Om norske jordarters variasjon i korneradering og plastisitet." Norges Geologiske Undersøkelser nr. 188.
- 82. SELMER-OJSEN, R. (1981): "En regional undersøkelse av norske kvartær leirens linsakasjon basert på DTA." Rapport til NTNF. Utdr.
- 83. SELMER-OJSEN, R. (1982): "Forelesningskompendium i alminnelig geologi og ingeniørgeologi." Tapir forlag, Trondheim.
- 84. SELMER-OJSEN, R. (1982 a): "Stabilitetsforholdene i fjell-anslegg - en kort oversikt over hovedfaktorene." Foredrag nr. IV ved "Ingeniørgeologi for anslegg i fjell." Kursdagene ved N.T.N. 1982.
- 85. SELMER-OJSEN, R. (1982 b): "Valg av sikringsmetode med henblik på bruken av anlegget, årsaken til stabilitetsproblemet og vanskelighetene ved å løse." Foredrag nr. VII ved "Ingeniørgeologi for anslegg i fjell." Kursdagene ved N.T.N. 1982.
- 86. SELMER-OJSEN, R. (1977): "Problems with swelling clays in Norwegian underground constructions in hard rock." Publ. no. 40, Statens Geotekniska Institut, Stockholm.
- 87. SELMER-OJSEN, R. (1977): "Stabilitetsforholdene i fjell-anslegg i Norge." Foredrag holdt ved Vårkonferansen i Stockholm, 23. nov. 1977.
- 88. SELMER-OJSEN, R. (1977): "Stabilitetsproblematikken i fjell-anslegg i Norge." Foredrag holdt ved Vårkonferansen i Stockholm, 23. nov. 1977.
- 89. SELMER-OJSEN, R. (1977): "Stabilitetsproblematikken i fjell-anslegg i Norge." Foredrag holdt ved Vårkonferansen i Stockholm, 23. nov. 1977.

89. SELMER-OLSEN, R. (1973 a): "Svakhetssoner i fjell." Nordisk kurs om stabilitet og sikring av fjellrom. Kursdagene ved N.T.H. jan. 1973.
90. SELMER-OLSEN, R. (1973 b): "Sikring av knusningssoner." Nordisk kurs om stabilitet og sikring av fjellrom." Kursdagene ved N.T.H. jan. 1973.
91. SELMER-OLSEN, R. (1973 c): "Bergartsformasjoner og stabilitetsforhold." Nordisk kurs om stabilitet og sikring av fjellrom. Kursdagene ved N.T.H. jan. 1973.
92. SENNESET, K. (1973): "Ødometerprosedyrer." Nordisk kurs om setninger i teori og praksis. Kursdagene ved N.T.H. jan. 1973.
93. SOILTEST: "Sieve testing procedyre and equipment for size analyses." Distributed by Soiltest Inc., Evanston, IU 60202.
94. SOROCHAN, E.A. (1970): "Certain regularities of the swelling of soils." Journal Soil Mechanics and Foundation Engineering, Vol. 9 (1970), No. 3, p. 293 - 304. New Delhi, India.
95. SÆTHER, E. (1964): "Clay veins in rocks in Norway." Norsk Geologisk Tidsskrift, Bind 44, Hefte 3.
96. TERZAGHI, K. (1943): "Theoretical soil mechanics." John Wiley and Sons, New York.
97. TERZAGHI, K. (1946): Introduction to tunnel geology in "Rock tunneling with steel supports". Youngstown, Ohio.
98. TERZAGHI, K. (1950): Geologic aspects of soft ground tunneling, Ch. II in "Applied sedimentation", edited by P.D. Trask. John Wiley & Sons Inc., New York. Chapman & Hall Ltd., London.

91. SEMER-OLSEN, R. (1953): "Hvordan bygges opp en jord". Nordisk kurs om jordbruk og skogbruk. Kjøbenhavn, 1953. 120 s. med 10 fig. og 1 tabell.

92. SEMER-OLSEN, R. (1953): "Hvordan bygges opp en jord". Nordisk kurs om jordbruk og skogbruk. Kjøbenhavn, 1953. 120 s. med 10 fig. og 1 tabell.

93. SEMER-OLSEN, R. (1953): "Hvordan bygges opp en jord". Nordisk kurs om jordbruk og skogbruk. Kjøbenhavn, 1953. 120 s. med 10 fig. og 1 tabell.

94. SEMER-OLSEN, R. (1953): "Hvordan bygges opp en jord". Nordisk kurs om jordbruk og skogbruk. Kjøbenhavn, 1953. 120 s. med 10 fig. og 1 tabell.

95. SEMER-OLSEN, R. (1953): "Hvordan bygges opp en jord". Nordisk kurs om jordbruk og skogbruk. Kjøbenhavn, 1953. 120 s. med 10 fig. og 1 tabell.

96. SEMER-OLSEN, R. (1953): "Hvordan bygges opp en jord". Nordisk kurs om jordbruk og skogbruk. Kjøbenhavn, 1953. 120 s. med 10 fig. og 1 tabell.

97. SEMER-OLSEN, R. (1953): "Hvordan bygges opp en jord". Nordisk kurs om jordbruk og skogbruk. Kjøbenhavn, 1953. 120 s. med 10 fig. og 1 tabell.

98. SEMER-OLSEN, R. (1953): "Hvordan bygges opp en jord". Nordisk kurs om jordbruk og skogbruk. Kjøbenhavn, 1953. 120 s. med 10 fig. og 1 tabell.

99. SEMER-OLSEN, R. (1953): "Hvordan bygges opp en jord". Nordisk kurs om jordbruk og skogbruk. Kjøbenhavn, 1953. 120 s. med 10 fig. og 1 tabell.

100. SEMER-OLSEN, R. (1953): "Hvordan bygges opp en jord". Nordisk kurs om jordbruk og skogbruk. Kjøbenhavn, 1953. 120 s. med 10 fig. og 1 tabell.

99. TERZAGHI, K. and PECK, R.B. (1967): "Soil mechanics in engineering practice." John Wiley & Sons Inc., New York, London, Sydney.
100. VAN DER MERWE, D.H. (1964): "The prediction of heave from the plasticity index and percentage clay fraction of soils." *The Civil Engineer in South Africa*, Vol. 6, p. 103 - 107.
101. VISHER, G.B. (1969): "Grain-size distribution and depositional processes." *Journal of Sedimentary petrology*, Vol. 39, No. 3, p. 1074 - 1106, Sept. 1969.
102. WOLMAN, M.G. (1954): "A method of sampling coarse river-bed material." *Trans. American Geophysical Union*, Vol. 35, p. 951 - 956.
103. YEVNIN, A. and ZASLAVSKY, D. (1970): "Some factors affecting compacted clay swelling." *Canadian Geotechnical Journal*, Vol. 7, No. 79, p. 79 - 89.
104. YONG, R.N. and WARKENTIN, B.P. (1966): "Introduction to soil behaviour." The Macmillen Company, New York.
105. YONG, R.N., CHANG, R.K., and WARKENTIN, B.P. (1969): "Temperature effect on water retentation and swelling pressure of clay soils." Highway Research Board. Special report 103.
106. ØSTLIE, A.O. (1971): "Regresjonsanalyse." Dokumentasjon for programmet REGANA. Regnesentret N.T.H., SINTEF. (Revidert utgave 1/3 1971).

99. TERZAGHI, K. and PECK, R.B. (1957): "Soil mechanics in engineering practice." John Wiley & Sons Inc., New York, London, Sydney.

100. VAN DER MERWE, D.H. (1961): "The prediction of heave from the plasticity index and percentage clay fraction of soils." The Civil Engineer in South Africa, Vol. 6, p. 103 - 107.

101. VISNER, G.B. (1962): "Grain-size distribution and depositional processes." Journal of Sedimentary Petrology, Vol. 32, No. 3, p. 1074 - 1108, Sept. 1962.

102. WOLMAN, M.G. (1954): "A method of sampling coarse river-bed material." Trans. American Geophysical Union, Vol. 35, p. 951 - 956.

103. YEVVIN, A. and ZASAVSKY, D. (1970): "Some factors affecting compacted clay swelling." Canadian Geotechnical Journal, Vol. 7, No. 2, p. 72 - 89.

104. YONG, R.N. and WAKENTIN, B.P. (1966): "Introduction to soil behavior." The Macmillan Company, New York.

105. YONG, R.N., CHANG, R.K. and WAKENTIN, B.P. (1969): "Temperature effect on water retention and swelling pressure of clay soils." Highway Research Board, Special Report 103.

106. ZILLI, A.O. (1971): "Regioanalise." Dokumentation für Programm REBANA. Regenerativer N.T.H., SINTEF. (Revised give 1/3 1971).

12. BILAG.

Feltdata	B 3 - 19
Kornfordelingskurver	B 20 - 37
Kornfordelingskurver på log-normalpapir	B 38 - 42
Deformasjonsforsøk	B 43 - 55

1 - 10
2 - 10
3 - 10
4 - 10
5 - 10
6 - 10
7 - 10
8 - 10
9 - 10
10 - 10

10
11
12
13
14
15
16
17
18
19
20

B 3 - 19 inneholder feltdata for de prøvetatte leirsoner. Feltdata mangler for materiale nr. 2. Prøvene 3 og 6 er fra en sone og er beskrevet på samme skjema. Dette gjelder også prøvene 13 og 17. Et mere omfattende skjema som anbefales brukt ved fremtidig registrering, er vist i fig. 3.4.

B 20 - 37 viser kornfordelingskurvene for total prøve og laboratorieprøve mindre enn 0,5 mm for materialene 1 til 18.

For materialene 1, 11 og 14 er kornfordelingen på log-normal-papir vist i fig. 6.4. Kornfordelingskurver på log-normal-papir for de øvrige materialer er gjengitt i B 38 - 42.

B 43 - 55 viser konsolideringskoeffisient C_v og tidsmotstandstall r som funksjon av spenning både ved konsolidering og svelling for materialene 1, 3, 6, 8, 9, 16 og 17. (De fullstendige ødometerforsøkene er omtalt i avsnitt 6.3).

Leirsoner: Data for feltprøving 1/2-11

Sonens farge, struktur etc. Geologisk sidparti 50 - 10 cm

med 10 - 20 cm vann grunns lag på siden. Utanfor opplysnings-

område ligger sonen i et stort lag

Sonens totale tykkelse 7,5 m

Størrelse av leirsoner som prøver er representative for utregningene

Lagets oppfall ca. 1 m

Sonens strek N 30° V fall 70° V

Skjæringsvinkel mot anleggets akse Ca. 80°

Sonens fasthet 100

Sonens oppførsel Stille, uendret fra de ytre opplysnings punkter

Sikkerhetsklasse 5/61 slippes ut

Andre opplysninger Sonen kommer igjen i veitunnel hvor den har vært i to år med støvling

1913

I åren 1913 har jag utfört ett antal försök för att undersöka
 inverkan av olika faktorer på den totala produktionen i
 fabriken. De viktigaste resultaten har varit följande:
 1. Den totala produktionen har ökat betydligt sedan
 införandet av den nya arbetsmetoden. Detta beror
 på att arbetarna nu kan utföra sitt arbete snabbare
 och mer effektivt. 2. Energiförbrukningen har minskat
 i samband med införandet av den nya metoden. Detta
 beror på att arbetarna nu använder sig av mindre
 energi för att utföra samma arbete. 3. Vidare har jag
 utfört försök för att undersöka inverkan av olika
 faktorer på den totala produktionen. Dessa försök
 har visat att den totala produktionen ökar i
 takt med att energiförbrukningen minskar. Detta
 beror på att arbetarna nu kan utföra sitt arbete
 snabbare och mer effektivt.



FELTBATA FOR FEIRBODSTENINGU

Laboratorleikave nr. 1

1910-11

Anlegg: Fölgjomanningane

Adresse: 578 Mannanger

Hevun or fart av

K. Rokkengen

Sonens beliggenhet i anlegg

ved lomma ca. 30 m fra topp

Anleggets profil: 34 m

Sideløfter: Petrografisk

Ekstraomvending

Opplysnings

Utsjett

Leisone: Bato for frispending

Sonens lagge, struktur etc.

med 10 - 20 cm mark grunn

omvendte lag som

Sonens totale bredde

Bredde av leisone

lomma opp til ca. 1 m

Sonens strøkt

Skjæringslinje med anleggets

Sonens lagge

Sonens opplysnings

Stikkingslinje

Andre opplysninger

stær i to

FELTDATA FOR LEIRSONEPRØVER FRA FJELLANLEGG.

Laboratorieprøve nr. 3 og 6

Anlegg Driva kraftanlegg

Prøve tatt dato 3/6-71

Adresse 7410 Lønset

Prøven er tatt av A. Beitnes/A. Hov

Sonens beliggenhet i anlegget

Vassli høyre, pel ca. 500

Anleggets profil Ca. 25 m²

Anleggets bredde 5 m

Sidefjellet: Petrografisk betegnelse Granodioritt

Friskt/omvandlet

Omvandlet og leirinfisert

Oppsprekningsgrad

Meget oppsprukket

Lekkasjeforhold

Ingen synlig

Leirsonen: Dato for frisprenngning 1/6-71

Sonens farge, struktur etc. 1/2 rød (prøve 3), 1/2 grå (prøve 6)

Sonens totale bredde Minst 20 m

Bredde av leirsone som prøven er representativ for 0,5 - 1 m (?)

Sonens strøk N 78° Ø

Fall Steilt

Skjæringsvinkel med anleggets akse 40°

Sonens fasthet Avtok etter frisprenngning fra fast til middels

fast og bløt

Sonens oppførsel Svelling med rasaktivitet en tid etter blott-

legging

Sikringstiltak Utstøpning. En seksjon presset inn og oppsprukket,

men den var bare ca. 10 cm tykk

Andre opplysninger Data fra R. Kjølberg hos Rådgiv. ing.

Ottar Kummeneje

FELTDATA FOR PERSONERNA I FÖRETAGET

FELTDATA FOR PERSONERNA I FÖRETAGET

Personer som har varit i tjänst i företaget

Personer som har varit i tjänst i företaget

Personer som har varit i tjänst i företaget

Personer som har varit i tjänst i företaget

Personer som har varit i tjänst i företaget

Personer som har varit i tjänst i företaget

Personer som har varit i tjänst i företaget

Personer som har varit i tjänst i företaget

Personer som har varit i tjänst i företaget

Personer som har varit i tjänst i företaget

Personer som har varit i tjänst i företaget

Personer som har varit i tjänst i företaget

Personer som har varit i tjänst i företaget

Personer som har varit i tjänst i företaget

Personer som har varit i tjänst i företaget

Personer som har varit i tjänst i företaget

Personer som har varit i tjänst i företaget

Personer som har varit i tjänst i företaget

Personer som har varit i tjänst i företaget

Personer som har varit i tjänst i företaget

Personer som har varit i tjänst i företaget

Personer som har varit i tjänst i företaget

Personer som har varit i tjänst i företaget

Personer som har varit i tjänst i företaget

Personer som har varit i tjänst i företaget

Personer som har varit i tjänst i företaget

Personer som har varit i tjänst i företaget

Personer som har varit i tjänst i företaget

Personer som har varit i tjänst i företaget

Personer som har varit i tjänst i företaget

Personer som har varit i tjänst i företaget

Personer som har varit i tjänst i företaget

Personer som har varit i tjänst i företaget

FELTDATA FOR LEIRSONEPRØVER FRA FJELLANLEGG.Laboratorieprøve nr. ...⁴

Anlegg Folgefonnanleggene Prøve tatt dato 5/10-71
 Adresse 5476 Mauranger Prøven er tatt av K. Rokoengen
 Sonens beliggenhet i anlegget Mysevannsområdet. Tilløpstunnel,
 ved lomme ca. 30 m fra topp trykksjakt

 Anleggets profil 24 m² Anleggets bredde 5 m

Sidefjellet: Petrografisk betingelse Gneis
 Friskt/omvandlet Leire på stikk
 Oppsprekningsgrad Middels
 Lekkasjeforhold Dryppende

Leirsonen: Dato for frisprengning 1/3-71

Sonens farge, struktur etc. Gneisaktig midtparti, 60 - 70 cm,
 med 10 - 20 cm mørk grønn leire på siden. Prøven tatt av grønn
 leire

 Sonens totale bredde 1 m

Bredde av leirsonen som prøven er representativ for 0,1 - 0,2 m

Sonens strøk N 30° V Fall 70° V
 Skjæringsvinkel med anleggets akse Ca. 90°

Sonens fasthet Temmelig fast i grønn leire

Sonens oppførsel Stadig smådryss

Sirkingstiltak Skal støpes ut

Andre opplysninger Samme sone som laboratorieprøve nr. 1

FEITLIGA TILFÆLLESPROVER FRA TILFÆLLESG.

Laboratorierne nr. 1

Ansøgers navn og adresse

Adresse

Sønens bopæl

Sønens bopæl

Sønens bopæl

Sønens bopæl

Sønens bopæl

Sønens bopæl

Sønens bopæl

Sønens bopæl

Sønens bopæl

Sønens bopæl

Sønens bopæl

Sønens bopæl

Sønens bopæl

Sønens bopæl

Sønens bopæl

Sønens bopæl

Sønens bopæl

Sønens bopæl

Sønens bopæl

Sønens bopæl

Sønens bopæl

Sønens bopæl

Sønens bopæl

Sønens bopæl

Sønens bopæl

Sønens bopæl

Sønens bopæl

Sønens bopæl

Sønens bopæl

FELTDATA FOR LEIRSONEPRØVER FRA FJELLANLEGG.

Laboratorieprøve nr. 5.

Anlegg Folgefonnanleggene

Prøve tatt dato 6/10-71

Adresse 5476 Mauranger

Prøven er tatt av K. Rokoengen

Sonens beliggenhet i anlegget

Bondhusoverføringen. Mot

Mysevann, pel 740

Anleggets profil 8,5 m²

Anleggets bredde 3 m

Sidefjellet: Petrografisk betegnelse Gneis

Friskt/omvandlet

Leire i stikk parallelt sonen

Oppsprekningsgrad

Middels

Lekkasjeforhold

Liten synlig lekkasje

Leirsonen: Dato for frisprenning 12/2-71

Sonens farge, struktur etc. Vekslende lyse og mørke lag,

nærmest gneisstruktur

Sonens totale bredde Ca. 1 m

Bredde av leirsonen som prøven er representativ for 0,3 m

Sonens strøk N - S

Fall Steilt

Skjæringsvinkel med anleggets akse 70 - 80°

Sonens fasthet Løs ytterst, fastere innover

Sonens oppførsel Smådryss

Sikringstiltak Usikret da prøven ble tatt

LEIPNANAN DÄTÄ

Laboratoriet...

Antarktis...

Adress...

Sonens...

Myvann...

Antarktis...

Sidder...

Leipn...

Oppe...

Leipn...

Leipn...

Sonens...

Sonens...

Bredde...

Sonens...

Skjær...

Sonens...

Sonens...

Sonens...

FELTDATA FOR LEIRSONEPRØVER FRA FJELLANLEGG.

Laboratorieprøve nr. 7.

Anlegg Folgefonnanleggene Prøve tatt dato 5/10-71
 Adresse 5476 Mauranger Prøven er tatt av K. Rokoengen
 Sonens beliggenhet i anlegget Mysevannsområdet. Overføring
 Mysevann - Martdalsvann, pel 335 i kurve
 Anleggets profil 20 m² Anleggets bredde 5 m (?)

Sidefjellet: Petrografisk betegnelse Gneis
 Friskt0omvandlet Friskt
 Oppsprekningsgrad Middels
 Lekkasjeforhold Liten synlig lekkasje

Leirsonen: Dato for frisprenning Nov. 1970

Sonens farge, struktur etc. Grønn og brun med tydelige glidespeil

Sonens totale bredde 0,5 m

Bredde av leirsoner som prøven er representativ for 0,5 m

Sonens strøk N 20° Ø Fall 70° Ø

Skjæringsvinkel med anleggets akse 50°

Sonens fasthet Middels

Sonens oppførsel Ganske lite utfall

Sikringstiltak Usikret da prøven ble tatt

FELTDATA FOR LEIRSONEN

Laboratoripostnr. 7

Ansökare: Föreläsningsanstalten
Adress: Södra Murargatan

Sonens belägenhet i anläggningen
Mysvann - Murargatan, del 105 & 106

Anläggningens profil 20 m

Sidellinjer: Petrolerisk påskan
Eriksbunden
Opplysningsvesen
Leksatorn

Leirsonen: Data för frihöjnings

Sonens färg, struktur etc

Sonens totala bredd 10,5 m

Bredd av leirson som provområde för 0,5 m

Sonens stryk N 200 0

Skjningsvinkel med anläggningens

Sonens laster

Sonens oplysnings

Skrivningslinj

FELTDATA FOR LEIRSONEPRØVER FRA FJELLANLEGG.

Laboratorieprøve nr. ... 8.

Anlegg Lieråsen jernbanetunnel Prøve tatt dato 8/9-71

Adresse Lier Prøven er tatt av K. Rokoengen

Sonens beliggenhet i anlegget Pel 3041 + 3. Prøven tatt i

høyre vegg

Anleggets profil 70 m² Anleggets bredde 10 m

Sidefjellet: Petrografisk betegnelse Drammensgranitt m/diabasganger

Friskt/omvandlet Diabas, noe omvandlet

Oppsprekningsgrad Middels

Lekkasjeforhold Noe lekkasje

Leirsonen: Dato for frisprenngning Aug. 1969

Sonens farge, struktur etc. Grågrønn sone med uregelmessige

lommer av svært ren leire

Sonens totale bredde 0,2 m

Bredde av leirsonen som prøven er representativ for 0,1 - 0,2 m

Sonens strøk Ca. N 45° Ø Fall 70 - 80° S

Skjæringsvinkel med anleggets akse Ca. 10 - 15°

Sonens fasthet Plastisk formbar i enkelte lommer, ellers fast

Sonens oppførsel Noe utfall øverst i veggen, og sonen har

presset sidefjellet noe ut mot tunnelen

Sikringstiltak Sprøytebetong i heng

Andre opplysninger Data fra NSB's tunnelrapport og kontor for

Fjellsprengningsteknikk

FELTDATA FOR LEIERSØNER FRA TUELLANNE
FELTDATA FOR LEIERSØNER FRA TUELLANNE

Laboratorierapport nr. 8
Anlegg
Liersean Tjernanestunnel
Adresse
Sønens beliggenhet i anlegget

843-71
843-71
Prøve tatt dato
Prøven er tatt av K. Røksengen
Prøven er tatt av K. Røksengen
Prøven er tatt av K. Røksengen
Prøven er tatt av K. Røksengen

høyne vegg
Anleggets profil

Anleggets bredde
10 m
10 m

Sidestoffet: Petrologisk beskrivelse
Lokkasetorhold
Oppprekkningsgrad
Friske/omvandlet
Lokkasetorhold

Diabas, noe omvandlet
Middels
Noe lokkasje
Noe lokkasje

Drummenparten i diabassen
Spenningsfeltet i diabassen

Leiersøner: Dato for frisprenning
Aug. 1959

Sønens farge, struktur etc.
Løsmasser av svært fin leire
Sønens totale bredde 0.2 m

Bredde av leiersøner som prøven er representativ for 0.1 - 0.2 m

Sønens styrke Ca. 45 - 50
Sønens anleggelse Ca. 10 - 15

Sønens fasthet
Sønens opplysning
Sønens utvaskning

presser sidestoffet noe ut mot tunnelen

Sirkingsstiltak Sprøytebetong i heng

Andre opplysninger Dato fra NSB's tunnelforprosjekt og kontor for
Tjelfringningsmetode

FELTDATA FOR LEIRSONEPRØVER FRA FJELLANLEGG.Laboratorieprøve nr. ...⁹

Anlegg Grorudbanen Prøve tatt dato 6/9-71
 Adresse Grorud Prøven er tatt av K. Rokoengen
 Sonens beliggenhet i anlegget Grorudbanens forlengelse,
 Grorudbutten, pel 703
 Anleggets profil 50 m² Anleggets bredde 10 m
Sidefjellet: Petrografisk betegnelse Nordmarkitt
 Friskt/omvandlet Noe omvandlet
 Oppsprekningsgrad Ikke registrerbar p.g.a. sprøytebetong
 Lekkasjeforhold Ingen synlig lekkasje
Leirsonen: Dato for frisprenkning 1965
 Sonens farge, struktur etc. Små stikk med infisert sidefjell
 Sonens totale bredde 0,9 m
 Bredde av leirsoner som prøven er representativ for 2 - 3 cm
 Sonens strøk Ca. N - S Fall 30° V
 Skjæringsvinkel med anleggets akse Ca. 90°
 Sonens fasthet Ganske løs ytterst, men øker raskt innover
 Sonens oppførsel Litt dryssing. Et par tynne sprøytebetongflak
 falt av
 Sikringstiltak Sprøytebetong
 Andre opplysninger Prøve tatt i kant sprøytebetong, derfor
 usikre data for sidebergarten, samt strøk og fall

FELTBATA FOR LEIRSONEPRØVER FRA FJELLANLEGG.

Laboratorierapport nr. 8

Prøve tatt dato 2/8-71

Anlegg Grorudbanen

Prøven er tatt av K. Rokoengen

Adresse Grorud

Grorudbanens forlengelse

Sonens beliggenhet i anlegget

Grorudbunten, del 703

Anleggets bredde 10 m

Anleggets profil 50 m

Sidelfjeller: Petrografisk betegnelse

Nordmarkitt

Friskt/omvandlet

Noe omvandlet

Oppsprekkningsgrad

Ikke registrert p.g.a. sprekkebetong

Lekkasjeforhold

Ingen synlig lekkasje

Leirsonen: Dato for friisprengning 1968

2m strikk med infisert sidelfjell

Sonens farge, struktur etc.

Sonens totale bredde 0,8 m

Bredde av leirsoner som prøven er representativ for 2 - 3 mm

Sonens strøk Ca. N - S Fall 30° V

Skjæringsvinkel med anleggets akse Ca. 90°

Sonens fasthet Ganske løs ytterst, men øker raskt innover

Sonens oppløselighet Litt brøysing. Et par tynne sprekkebetongflak

falt av

Sikringsstilskott Sprekkestasjon

Andre opplysninger Prøve tatt i kant sprekkbetong, derfor

usikre data for sidelengden, samt strøk og fall

FELTDATA FOR LEIRSONEPRØVER FRA FJELLANLEGG.

Laboratorieprøve nr. 10

Anlegg Ranaanleggene

Prøve tatt dato 7/2-72

Adresse 8600 Mo

Prøven er tatt av K. Rokoengen

Sonens beliggenhet i anlegget

Leirbotn, venstre ca. pel 2900

Anleggets profil 6,6 m²

Anleggets bredde 2 m

Sidefjellet: Petrografisk betegnelse Glimmerskifer og granatførende granittisk gneis

Friskt/omvandlet

Friskt

Oppsprekningsgrad

Middels

Lekkasjeforhold

Dryppende

Leirsonen: Dato for frisprengning --

Sonens farge, struktur etc. Hvit fylling i fiederspalter (?)

Sonens totale bredde 2 - 3 m

Bredde av leirsonen som prøven er representativ for Ca. 0,2 - 0,3 m

Sonens strøk N-S til 45° Ø (?) Fall Steilt (Ø)

Skjæringsvinkel med anleggets akse Liten

Sonens fasthet Lav

Sonens oppførsel En del smådryss

Sikringstiltak Usikret da prøven ble tatt

LEIBNIZ-RECHENKUNDE FÜR FACHMÄNNER

Laboratoriums-Nr. 10

Ansichtskarte Nr. 10000

Adresse: 10000

Sammlung: 10000

Ansichtskarte Nr. 10000

Sammlung: 10000

Leibniz-Rechenkunde
Leibniz-Rechenkunde
Leibniz-Rechenkunde

Leibniz-Rechenkunde
Leibniz-Rechenkunde

Leibniz-Rechenkunde
Leibniz-Rechenkunde

Leibniz-Rechenkunde

Leibniz-Rechenkunde

Leibniz-Rechenkunde

Leibniz-Rechenkunde

Leibniz-Rechenkunde

FELTDATA FOR LEIRSONEPRØVER FRA FJELLANLEGG.

Laboratorieprøve nr. 11

Anlegg Borgund kraftverk

Prøve tatt dato 17/1-72

Adresse 5897 Steinklepp

Prøven er tatt av K. Rokoengen

Sonens beliggenhet i anlegget

Stardalen, ca. pel 140

Anleggets profil 20 m²

Anleggets bredde 4,2 m

Sidefjellet: Petrografisk betegnelseMetamorfe kambrosilur-
sedimenter

Friskt/omvandlet

Friskt

Oppsprekningsgrad

Høy

Lekkasjeforhold

Liten lekkasje, men det var
meget kald ventilasjonsluftLeirsonen: Dato for frisprengning

Kort tid før prøvetaking

Sonens farge, struktur etc.

Grønn med hvite partier

Sonens totale bredde 0,5 m

Bredde av leirsone som prøven er representativ for

0,2 - 0,5 m

Sonens strøk 30° Ø (?)

Fall 60 - 70°

Skjæringsvinkel med anleggets akse

Ca. 15°

Sonens fasthet Høy

Sonens oppførsel En del utfall

Sikringstiltak Utstøpning

FELTDATA FOR LEIRSONEPRØVEN TIL TUELLANLEGG

Laboratorierpøve nr. 11

Prøve tallet dato LVI-72

Anlegg: Forbund kraftverk

Prøven er tatt av K. Kokkengen

Adresse: 8897 Steinkjepp

Størdaler, ca. 100 m

Sørens beliggenhet i anlegget

Anleggets bredde 40 m

Anleggets profil 20 m

Metamorfe kampprofiller

Sidelfeliet: Petrografisk beskrivelse

Trikk

Frakt\omvandlet

Høy

Oppsprekkningsgrad

Liten isokkna] som for var
messing] dets] for

Lekkasjeforhold

forhold

Kort tid for prøvetaking

Leirsonen: Dato for frisprenning

Sørens farge, struktur etc. Grunn med blide partier

Sørens totale bredde 0,2 m

Bredde av leirsoner som prøven er representativ for 0,2 m

Sørens størrelse 300 g (??) Fall 80 - 700

Skjæringsvinkel med anleggets akse

Sørens fasetter høy

Sørens opprørsel En del utfall

Sirkingsstatistikk

Sirkings

FELTDATA FOR LEIRSONEPRØVER FRA FJELLANLEGG.

Laboratorieprøve nr. 12

Anlegg Folgefonnanleggene

Prøve tatt dato 6/10-71

Adresse 5476 Mauranger

Prøven er tatt av K. Rokoengen

Sonens beliggenhet i anlegget

Bondhusoverføringen. I tunnel mot

sjakt, krysspel 400

Anleggets profil 8,5 m²

Anleggets bredde 3 m

Sidefjellet: Petrogr fisk betegnelse Gneis

Friskt/omvandlet Friskt

Oppsprekningsgrad Middels

Lekkasjeforhold Drypper ganske kraftig

Leirsonen: Dato for frisprengning Nov. 1970

Sonens farge, struktur etc. Vekslende grå, hvite og grønne lag

med faste fragmenter mellom

Sonens totale bredde 2 m

Bredde av leirsonen som prøven er representativ for 0,5 m

Sonens strøk N-S (?) Fall Steilt

Skjæringsvinkel med anleggets akse Ca. 90°

Sonens fasthet Løs ytterst, høyere innover

Sonens oppførsel Stadig dryss. Nå krater på ca. 1 m

Sikringstiltak Skal støpes ut

Andre opplysninger Sonen kommer igjen i overføringstunnel, hvor

den også skal støpes ut.

ANLÆGGET I TUNNELN

Indledende bemærkning

Prøve tatt dato 6/10-71

Prøve tatt dato 6/10-71

Prøven er tatt av K. Røssengen

Adresse

Prøve tatt dato 6/10-71

Sonens tryk

Størrelse

Anleggets bredde

Anleggets bredde

Grav

Grav

Prøve

Prøve

Middels

Middels

Prøven er tatt av K. Røssengen

Prøven er tatt av K. Røssengen

Nov. 1970

Nov. 1970

Vektende grs. hvite og grøne lag

Vektende grs. hvite og grøne lag

med faste fragmenter

Sonens tryk

Bredde av larvene som prøven er representativ for

Bredde av larvene som prøven er representativ for

Stell

Stell

Ca. 90°

Ca. 90°

De ytterste lagene inneover

De ytterste lagene inneover

Et krater på ca. 1 m

Et krater på ca. 1 m

Et krater på ca. 1 m

Sonen kommer igjen i overfløingskanal, hvor

Sonen kommer igjen i overfløingskanal, hvor

Sonen kommer igjen i overfløingskanal, hvor

FELTDATA FOR LEIRSONEPRØVER FRA FJELLANLEGG.

Laboratorieprøve nr. 13 og 17

Anlegg Sundsbarm kraftanlegg Prøve tatt dato 22/11-71

Adresse 3840 Seljord Prøven er tatt av K. Rokoengen

Sonens beliggenhet i anlegget Søkestoll i forlengelse av

kabeltunnel

Anleggets profil 7 m^2 Anleggets bredde $2,5 \text{ m}$ Sidefjellet: Petrografisk betegnelse Kvartsitt

Friskt/omvandlet Friskt

Oppsprekningsgrad Ganske høy

Lekkasjeforhold Ingen synlig lekkasje

Leirsonen: Dato for frisprenning Vinter 1968

Sonens farge, struktur etc. Prøve tatt fra rasmasser med røde

(nr. 13) og mørke (nr. 17) biter

Sonens totale bredde Ca. 2 m

Bredde av leirsone som prøven er representativ for $\sim \text{m}$ Sonens strøk Ca. $\emptyset - V$ Fall SteiltSkjæringsvinkel med anleggets akse Ca. 90°

Sonens fasthet Faste klumper som kan være lufttørket

Sonens oppførsel Stadige småras som har tettet tunnelen full-

stendig igjen

Sikringstiltak Ingen

FRITDATA FOR LETSONEPRØVER ERA TIELLANLEGG

Laboratoriebrev nr. 13 og 17

Anlegg Sundsbarn kraftanlegg
Prøve tatt dato 22/11-71

Adresse 3840 Seljord
Prøven er tatt av K. Kokoengen

Sonens beliggenhet i anlegget Sektorell i forbindelse av

Kabeltunnel
Anleggets profil 7 m
Anleggets bredde 1,5 m

Sidelfeller: Petrografisk betegnelse
Kvarstitt
Friske
Ganske nye
Ingen synlig lekkasje
Lekkesjeforbid
Oppsprekningsskall
Friske/omvandret

Leisemon: Dato for fripøngning Vinter 1988

Sonens farge, struktur etc. Prøve tatt fra rommasser med røde

(nr. 13) og (nr. 17) biter

Sonens totale bredde 0,2 m

Bredde av leisemon som prøven er representativ for 0,2 m

Sonens styrke Ca. 4-5 V Fall 2000

Skrutingsvinkel med utspilts skruer Ca. 90°

Sonens fasthet Faste klumper med små vannbitter

Sonens oppførsel Stådig anslag som har tetter tunnelen full-

stendig igjen

Sikringstypen Ingen

FELTDATA FOR LEIRSONEPRØVER FRA FJELLANLEGG.

Laboratorieprøve nr. 14

Anlegg Ranaanleggene

Prøve tatt dato 7/2-72

Adresse 8600 Mo

Prøven er tatt av K. Rokoengen

Sonens beliggenhet i anlegget

Leirbotn, venstre ca. pel 2960

Anleggets profil 6,6 m²

Anleggets bredde 2 m

Sidefjellet: Petrografisk betegnelse

Glimmerskifer og granittisk gneis

Friskt/omvandlet

Friskt

Oppsprekningsgrad

Middels

Lekkasjeforhold

Dryppende

Leirsonen: Dato for frisprenghing

Sonens farge, struktur etc. Mørk nederst (prøvetatt) og lys

øverst. Til dels gneisstruktur

Sonens totale bredde 2 m

Bredde av leirsonen som prøven er representativ for 0,3 m

Sonens strøk Ø - V

Fall 80° S

Skjæringsvinkel med anleggets akse Ca. 90°

Sonens fasthet Middels

Sonens oppførsel Smådryss

Sikringstiltak Usikret da prøven ble tatt

FELTDATA FOR LEIRSONEPRØVER FRA FUELLANLEGG.

Laboratorprøve nr. 14

Anlegg: Rannanleggene

Prøve tatt dato: 11-72

Adresse: 8600 Mo

Prøven er tatt av K. Rokengen

Sonens beliggenhet i anlegget

Leirboen, venstre ca. del 2860

Anleggets profil: 6 m

Anleggets bredde: 2 m

Sidelfjeller: Petrografisk betegnelse

Glimmerskifer og granittisk gneis

Frisk/omvandlet

Frisk

Oppsprekkningsgrad

Middels

Lekkasjeforhold

Dryppende

Leirsonen: Dato for frisprengning

Sonens farge, struktur etc. Merk nedest (prøvetatt) og iys

øverst. Til dels gneisstruktur

Sonens totale bredde: 2 m

Bredde av leksonsone som prøven er representativ for: 0,3 m

Sonens strek: 80° S

Skjæringsvinkel med anleggets akse: Ca 80°

Sonens fæstet: Middels

Sonens oppløsel: Småryper

Sikringsstatisk: Usikkert da prøven ble tatt

FELTDATA FOR LEIRSONEPRØVER FRA FJELLANLEGG.Laboratorieprøve nr 15
.....Anlegg Folgefonnanleggene Prøve tatt dato 5/10-71
.....Adresse 5476 Mauranger Prøven er tatt av K. Rokoengen
.....Sonens beliggenhet i anlegget Mysevannsområdet, tilløp
.....ca. pel 1200
.....Anleggets profil 20 m² Anleggets bredde 5 m
.....Sidefjellet: Petrografisk betegnelse Vekslende, men hovedsakelig
biotittgneis
.....Friskt/omvandlet Leirinfisert
.....Oppsprekningsgrad Høy
.....Lekkasjeforhold Drypper litt
.....Leirsonen: Dato for frisprenning Mai 1971
.....Sonens farge, struktur etc. Mørk, svart og grågrønn, kraftig
.....tektonisert og foldet
.....Sonens totale bredde 2 m og dårlig sidefjell
.....Bredde av leirsonen som prøven er representativ for 0,5 m
.....Sonens strøk N 20° V Fall 75°
.....Skjæringsvinkel med anleggets akse Ca. 50°
.....Sonens fasthet Høy (smuldrende)
.....Sonens oppførsel Drysser ganske svakt
.....Sikringstiltak Ikke sikret da prøven ble tatt
.....

PERSONLIGT BREV

Laboratoriet

Ansigt: Følgeskolevej 10, 2100 København V

Adresse: 2475 København V

Sørens beliggenhed: Følgeskolevej 10, 2100 København V

ca. del 1200

Ansigtets profil: 20 m

Sidestillet: Følgeskolevej 10, 2100 København V

Opbevaringsgrad: 100%

Opbevaringsmiddel: 100%

Personen: Data fra undersøgelse, Maj 1971

Sørens fange: 100%

tektonisk opførelse

Sørens totale bredde: 20 m

Bredde av sørens sørens er repræsentativ for 0,5 m

Sørens strøke: 200 v

Skrivningsvinkel: 200 v

Sørens færd: 100%

Sørens opførelse: 100%

Skrivningsvinkel: 100%

FELTDATA FOR LEIRSONEPRØVER FRA FJELLANLEGG.Laboratorieprøve nr. 16
.....Anlegg Follo renseanlegg Prøve tatt dato 7/9-71
.....Adresse 1400 Ski Prøven er tatt av K. Rokoengen
.....Sonens beliggenhet i anlegget Ca. pel 435. Prøven tatt i
.....
forkant av parti med sprøytebetong
.....Anleggets profil 6,5 m² Anleggets bredde 2,5 m
.....

<u>Sidefjellet:</u>	Petrografisk betegnelse	Gneis
	Friskt/omvandlet	Friskt
	Oppsprekningsgrad	Lav
	Lekkasjeforhold	Lite synlig lekkasje, men fuktig

Leirsonen: Dato for frisprenkning 20/3-70
.....Sonens farge, struktur etc. Grågrønn, men sprøytet inne
.....Sonens totale bredde 10 m
.....Bredde av leirsone som prøven er representativ for 0,1 m
.....Sonens strøk 80° Ø Fall 10° N
.....Skjæringsvinkel med anleggets akse Tvers
.....Sonens fasthet Middels til høy
.....Sonens oppførsel Problemer med nedfall ganske raskt
.....Sikringstiltak Sprøytebetong
.....Andre opplysninger Data delvis fra NoTeBy
.....

FELTDATA FOR LEIRSONEPRØVEN TRA TUELLANLEGG

Laboratorierapport nr. ...

Anlegg: Follo renessanlegg
Adresse: 1400 SKI
Prøve tatt dato: 2/8-71

Sonens beliggenhet i anlegget: ...
Anleggets profil: ...
Anleggets bredde: ...

Sidelfeller: Petrografisk betegnelse: ...
Friskelementer: ...
Opplysningsskjema: ...

Leirsonen: Dato for friisprøving: 20/3-70
Leirsonen: Dato for friisprøving: 20/3-70
Sonens farge, struktur etc. ...

Sonens totale bredde: 10 m
Bredde av leirsoner som prøven er representativ for: 0,1 m
Sonens strøk: ...

Sonens strøk: 80° E
Skjæringsvinkel med anleggets akse: ...
Sonens fester: ...

Sonens oppførsel: ...
Sikringsvinkel: ...
Andre opplysninger: ...

Andre opplysninger: ...

FELTDATA FOR LEIRSONEPRØVER FRA FJELLANLEGG.

Laboratorieprøve nr. 18

Anlegg Ranaanleggene Prøve tatt dato 8/2-72
 Adresse 8600 Mo Prøven er tatt av K. Rokoengen
 Sonens beliggenhet i anlegget Bjerka, Finnbakken tilløp pel 3510
 Anleggets profil 10 m² Anleggets bredde 3 m

Sidefjellet: Petrografisk betegnelse Granatglimmerskifer
 Friskt/omvandlet Friskt
 Oppsprekningsgrad Middels
 Lekkasjeforhold Virker tørt

Leirsonen: Dato for frisprenkning Oktober 1970

Sonens farge, struktur etc. Mørk, leire på stikkene, fastere
 biter innimellom. Mest leirrikt i "bunnen" av sonen

Sonens totale bredde 2 m (med flere parallelle stikk)

Bredde av leirsonen som prøven er representativ for 0,5 m

Sonens strøk 15° V Fall Steilt V (80°)

Skjæringsvinkel med anleggets akse 45°

Sonens fasthet Høy

Sonens oppførsel Ca. 10 m³ utfall på venstre side etter første
 gangs fylling

Sikringstiltak Boltet. Må sannsynligvis støpes ut

TEHTÄVÄT

1. 12. 18

1. Alue
2. Alue
3. Alue

4. Alue
5. Alue

6. Alue
7. Alue

8. Alue
9. Alue

10. Alue

11. Alue

12. Alue

13. Alue

14. Alue

15. Alue

16. Alue

17. Alue

18. Alue

19. Alue

20. Alue

21. Alue

22. Alue

23. Alue

24. Alue

FELTDATA FOR LEIRSONEPRØVER FRA FJELLANLEGG.Laboratorieprøve nr. A...Anlegg Aurlandsanleggene

Prøve tatt dato 13/2-73

Adresse 5745 Aurland

Prøven er tatt av K. Garshol/
U. Andersen

Sonens beliggenhet i anlegget

Overføring Vetlebotn - Raumesdalen

nær luke for "By-pass" - Aurland II

Anleggets profil 35 m²

Anleggets bredde 7 m

Sidefjellet: Petrografisk betegnelse

Gneis fra Jotundekket

Friskt/omvandlet

Noe omvandlet

Oppsprekningsgrad

....

Lekkasjeforhold

Tørt ved drift gjennom,
senere litt fuktighetLeirsonen: Dato for frisprenkning 24/1-73

Sonens farge, struktur etc. Grå, til sine tider blålig med

jernoksydutfellinger. Meget hård med enkelte kanaler. Enkelt-
stikkens bredde fra 0,5 til 15 cm

Sonens totale bredde 20 m

Bredde av leirsonen som prøven er representativ for 20 m

(samleprøve)

Sonens strøk 25 - 30^g

Fall 90°

Skjæringsvinkel med anleggets akse 80^g

Sonens fasthet Meget høy

Sonens oppførsel Har stått uten nevneverdig nedfall, kun litt

dryss fra leirstikkene

Sikringstiltak Foreløpig boltet, skal støpes ut snarest mulig

Andre opplysninger Data fra K. Garshol og U. Andersen

LETTDATA FOR LEIRBARNINGAR

Laboratorinúmer nr. A

1942-73
1972-73
Prófa tætt daga

Ávísingarskjal

Stað Áriland

Prófan er tætt av U. Andersen
Verkefnið er: Verkefnið er: Verkefnið er:
Óversýning Verkefnis - Kennitalan

Sonens þögnunartími í skilgreiningu

nar ljúka for "By-pass" - Áriland II

Árleggs prófi 35 m
Árleggs þreiddi

Síðelfing: Þrógnarmálk þögnunartími
Nafn ómáttar

Opaspektunartími
Lækkunartími
Tætt við daga
Soneru lítt ljúka

Leitun: Daga for fríþingun 20-1-73

Sonens farar struktúrartími. Ger. lítið ríðir flátt með
þrógnarmálk þögnunartími. Ger. lítið ríðir flátt með
Einkar-
Einkar-

Stíkkun þreiddi 35 m

Sonens forla þreiddi 35 m

Þreiddi av leirsonum þreiddi er 35 m
35 m leirsonum þreiddi er 35 m

(leirsonum þreiddi)

Sonens forla 35 m
Soneru lítt ljúka

Stíkkunartími með árleggs forla 35 m

Sonens forla. Mætt er 35 m
Soneru lítt ljúka. Mætt er 35 m
Har er lítt ljúka með árleggs forla, kun lítt

Þreiddi av leirsonum

Sonens forla. Mætt er 35 m
Soneru lítt ljúka. Mætt er 35 m
Har er lítt ljúka með árleggs forla, kun lítt

André oppveitunartími
Daga for M. Garholm og U. Andersen

FELTDATA FOR LEIRSONEPRØVER FRA FJELLANLEGG.Laboratorieprøve nr. .SK.
.....Anlegg Sira-Kvina kraftselskap Prøve tatt dato 6/9-72
.....Adresse 4440 Tonstad Prøven er tatt av K. Rokoengen
.....Sonens beliggenhet i anlegget Solhom kraftverk, avløp pel
.....
2100
.....Anleggets profil 65 m² Anleggets bredde 8 m
.....Sidefjellet: Petrografisk betegnelse Granittisk gneis
.....
Friskt/omvandlet Friskt
.....
Oppsprekningsgrad Middels
.....
Lekkasjeforhold Ganske sterk lekkasje
.....
midt i hengen
.....Leirsonen: Dato for frisprenngning Kveld 5/9-72
.....Sonens farge, struktur etc. Ganske vekslende
.....Sonens totale bredde Over 30 m
.....Bredde av leirsonen som prøven er representativ for
.....

Sonens strøk Fall

Skjæringsvinkel med anleggets akse

Sonens fasthet Temmelig høy
.....Sonens oppførsel Truer med å presse ut støp et stykke bak
.....
stuff (?)
.....Sikringstiltak Utstøpning på stuff
.....Andre opplysninger Nøyaktige data om sonen registrert av
.....
B. Vasshaug, Sira-Kvina kraftselskap
.....

FELTDATA FOR LEIRSONERØYER FRA TUFELANDENE

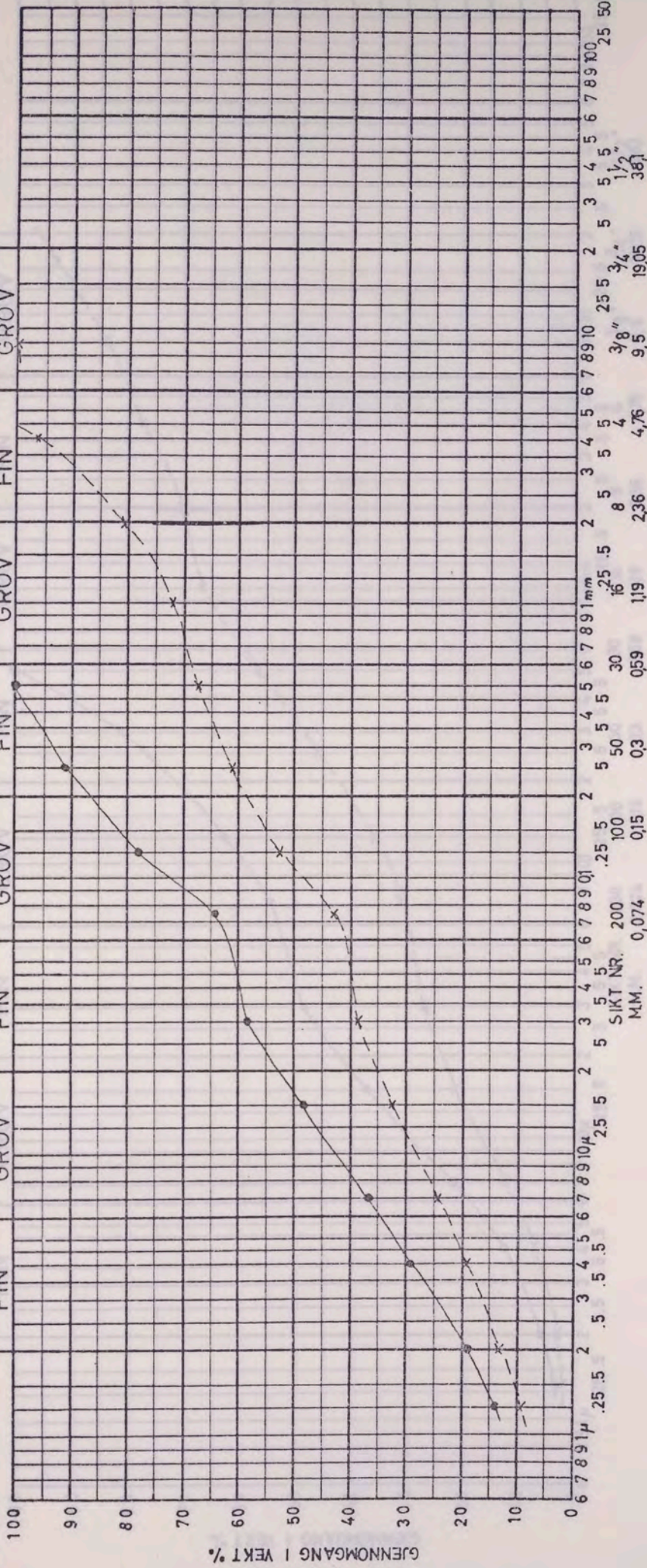
Laboratorierapport nr. 8K
 Anlegg: Sira-Kvina Krafteverk
 Adresse: 4440 Torsnes
 Sonens beliggenhet i anlegget: 00
 1100
 Anleggets profil: 8 m
 Anleggets bredde: 8 m
 Sideløst: Petrografisk betegnelse: Granulitisk gneis
 Petrografisk betegnelse: Gneis
 Praktisk betegnelse: Middels
 Ganske sterk hengen midt i hengen
 Leirsoner: Data for frieprenning: Kveid 5/8-72
 Sonens farge, struktur etc.: Ganske vekselende
 Sonens totale bredde: Over 30 m
 Bredde av leirsoner som prøven er representativ for: ...
 Sonens sterk ...
 Skjæringsvinkel med anleggets akse: ...
 Sonens fasett: Temmelig høy
 Sonens oppførsel: ...
 Stoff (1): ...
 Stoff (2): ...
 Stoff (3): ...
 Andre opplysninger: ...
 B. Vassbakk, Sira-Kvina Krafteverk

GRUS

SAND

SILT

GEOTEKN.



P R Ö V E B E T E G N E L S E

— Folgefonnaanleggene, ca 30m fra topp trykksjakt lys (1).

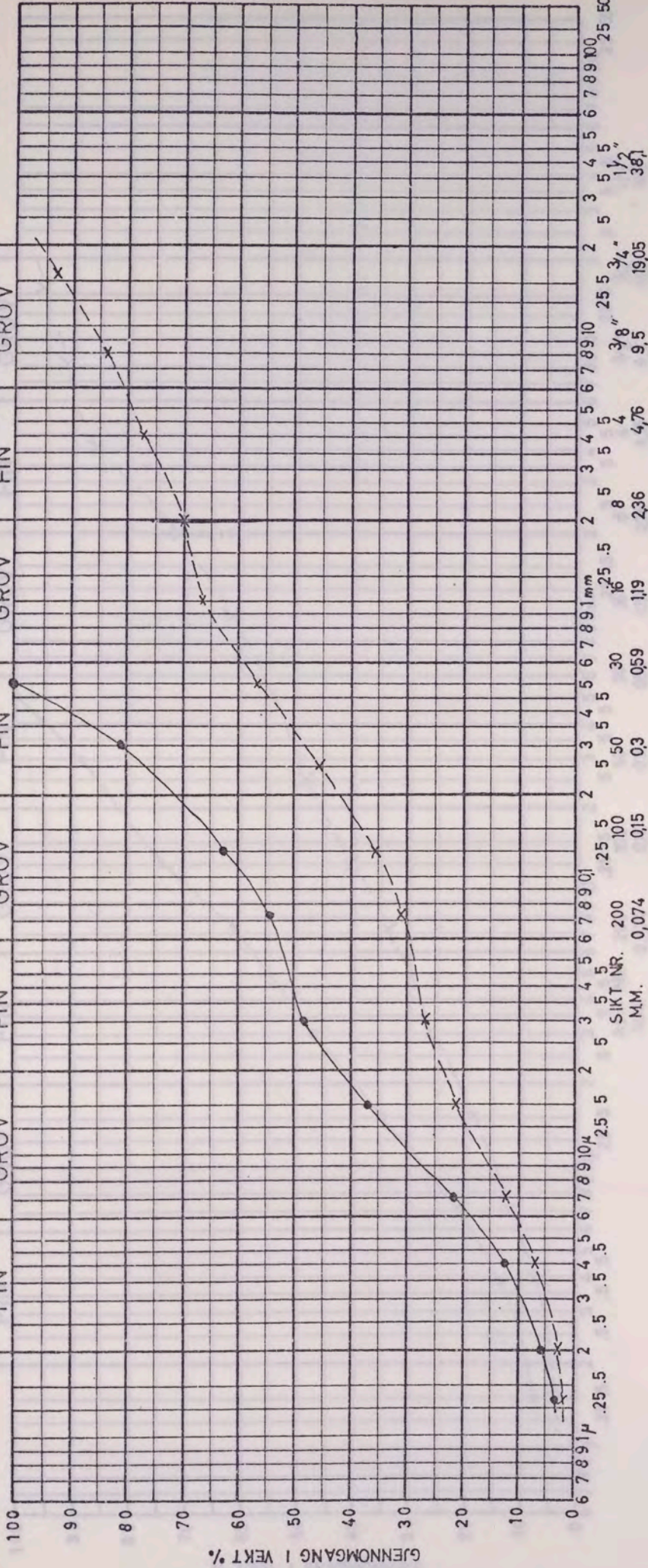
— labprøve 19,1% < 2μm, 53% < 20μm.

- - - total prøve 67% < 0,5mm, 12,8% < 2μm, Md=0,11mm, So=2,27.

NAVN: -----

KR

DATE: -----



PRÖVE BETEGNELSE

Driva kraftanlegg, Vassli h pel 615 (2)

labprøve 5,7% < 2μm, 42% < 20μm.

total prøve 56,5% < 0,5mm, 3,2% < 2μm, Md=0,35mm, So=2,19.

ИВЛМ:

КБ

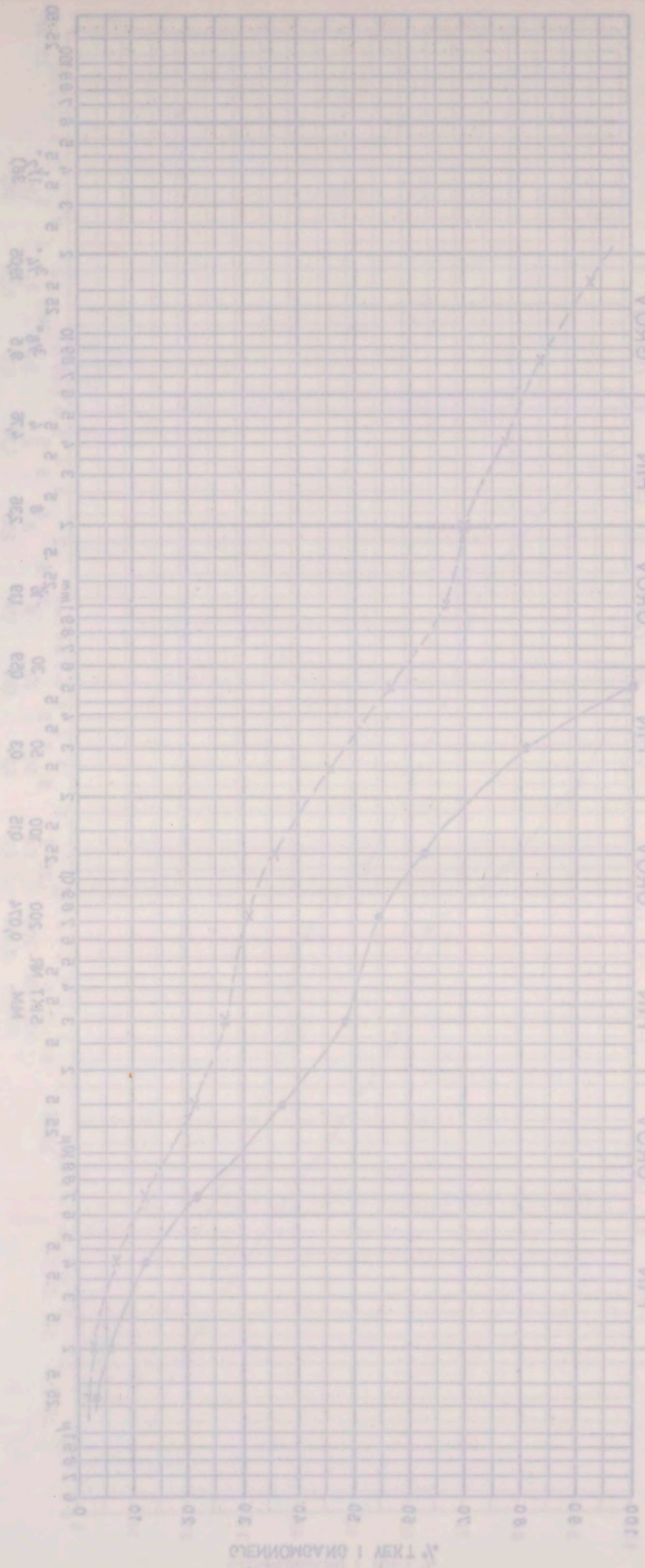
ДВЛО:

Тотал дуре 20.0, >0.2mm, 3.S. < 3.S, 1.5, 0.075mm, 2.0 = 1.0.

Испрлвае 2. 3.S < 3.S, 1.5 < 3.0mm.

Далах клалфуеѳе, Асеегг у бер елз (S)

СКОМЕ БЕЛЕЧОДЖЕ



ГЕЛ

ВЕГЕ

МО

ШАД

ГРУС

СТЕИ

ГЛОУ

МИН

ГЛОУ

МИН

ГЛОУ

МИН

ГЛОУ

МИН

ГЕОТЕКН

СИЛТ

ШАД

ГРУС

LEIR

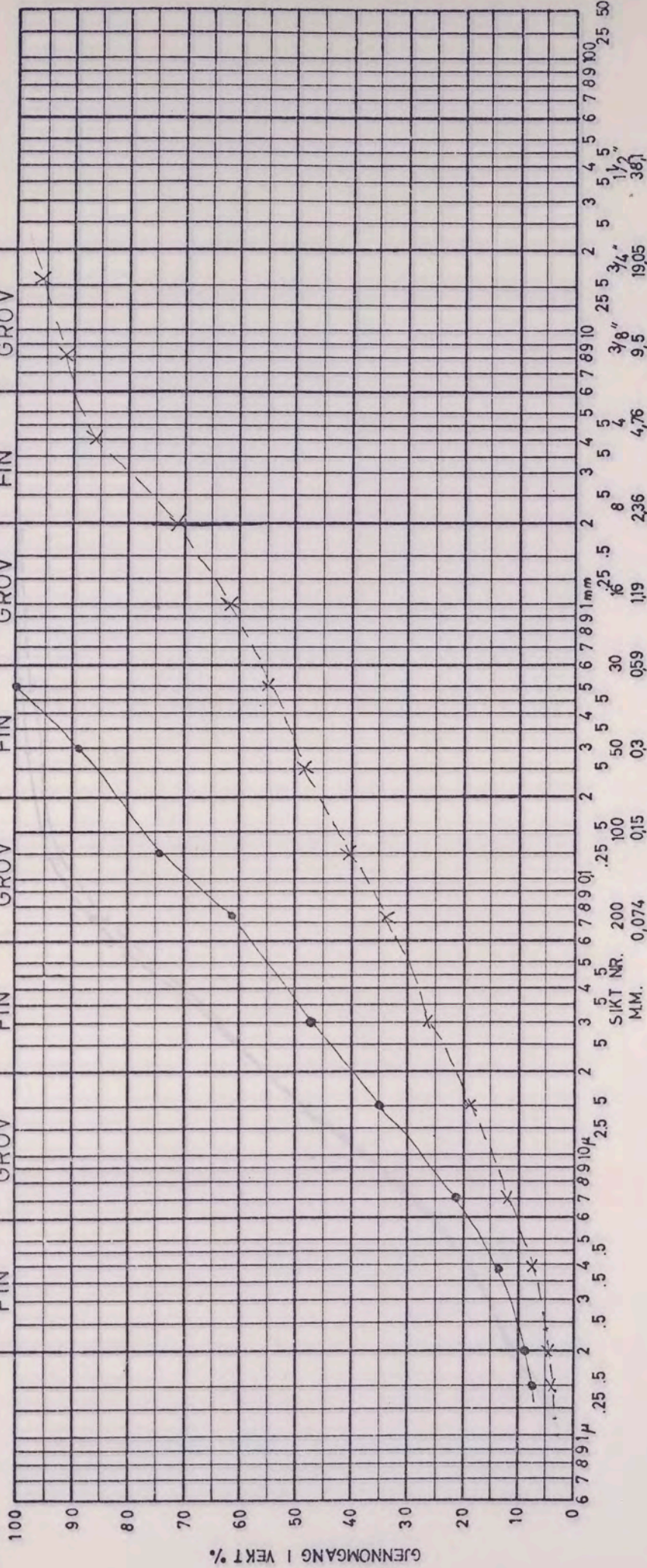
SILT

SAND

GRUS

STEIN

ATTERBERG



PRÖVE	BETEGNELSE
---	Driva, Vassli h pel 500 Röd (3)
---	labprøve 9% < 2µm, 40% < 20µm,
---	total prøve 55% < 0,5mm, 5% < 2µm, Md=0,3mm, So=1,94

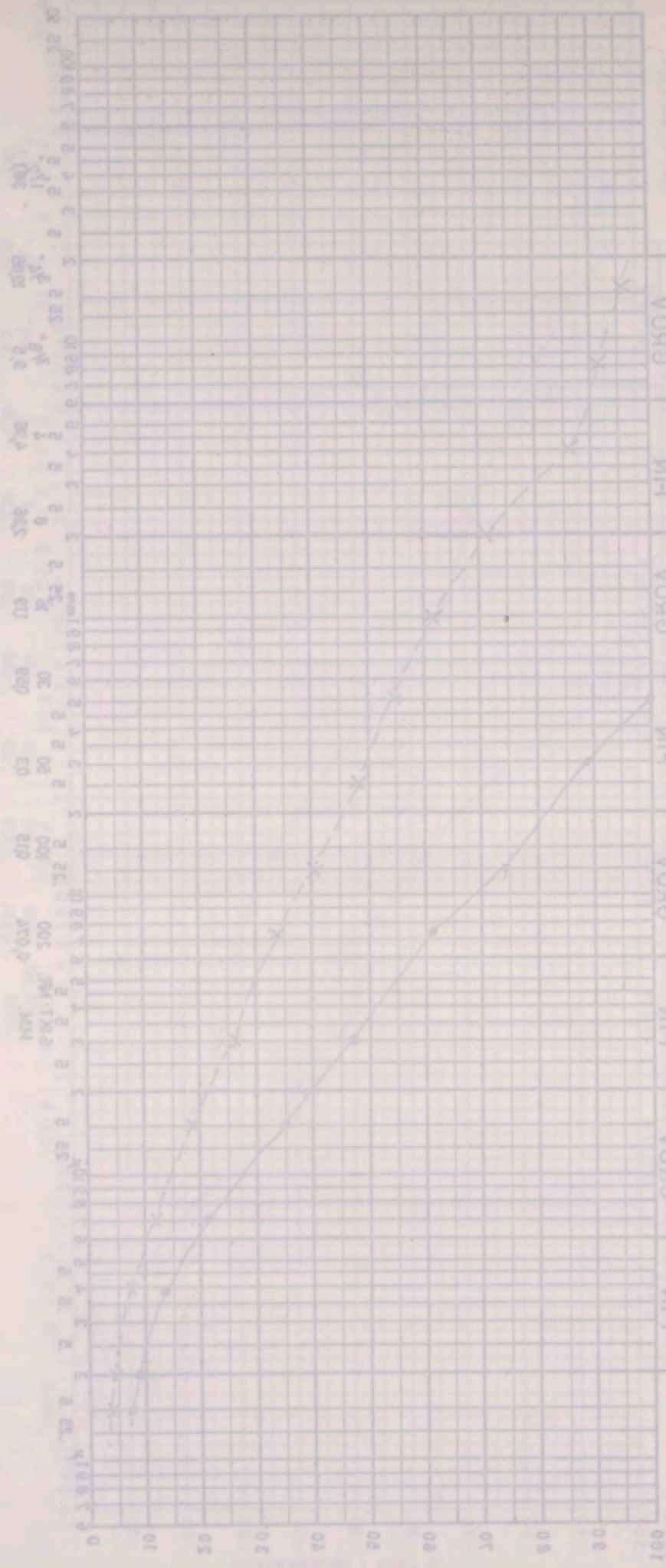
ИВАИ: КБ

ДАТА: 01.10.20

ДЛЯ АВИАЦИИ В ВЕЩАХ (2)

ДЛЯ АВИАЦИИ В ВЕЩАХ (2)

ВРЕМЯ



ИВАИ

СКОРОСТЬ

ВРЕМЯ

ОМ

МЕТРЕ

КМ/Ч

АЛЛЕГРИТА

LEIR

SILT

MO

SAND

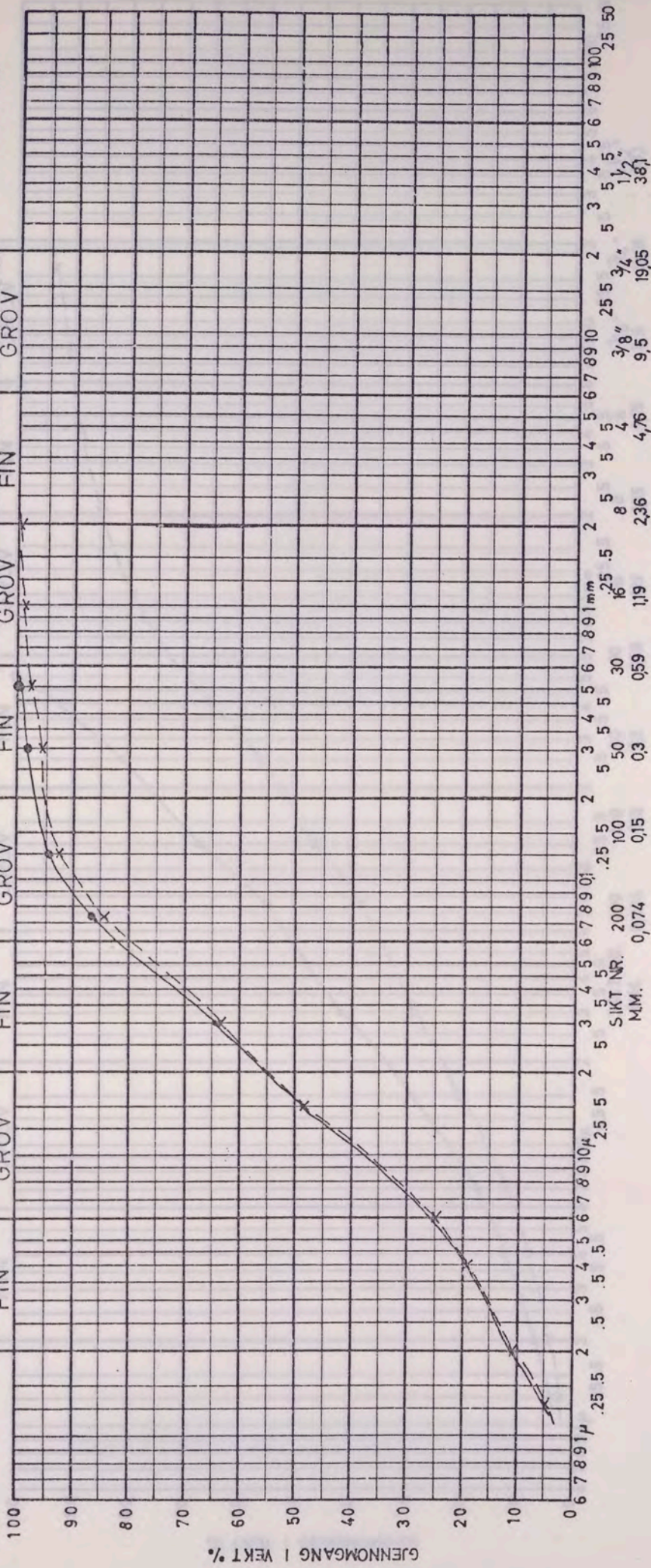
SAND

GRUS

GRUS

STEIN

ATTERBERG



PRÖVE	BETEGNELSE
	Folgefonnaanleggene, ca 30m fra topp trykksjakt (4) Grønn
	labprøve 10,5% < 2µm, 55% < 20µm.
	total prøve 98% < 0,5mm, 10,3% < 2µm, Md=0,016mm, So=0,925.

ИВАИ:

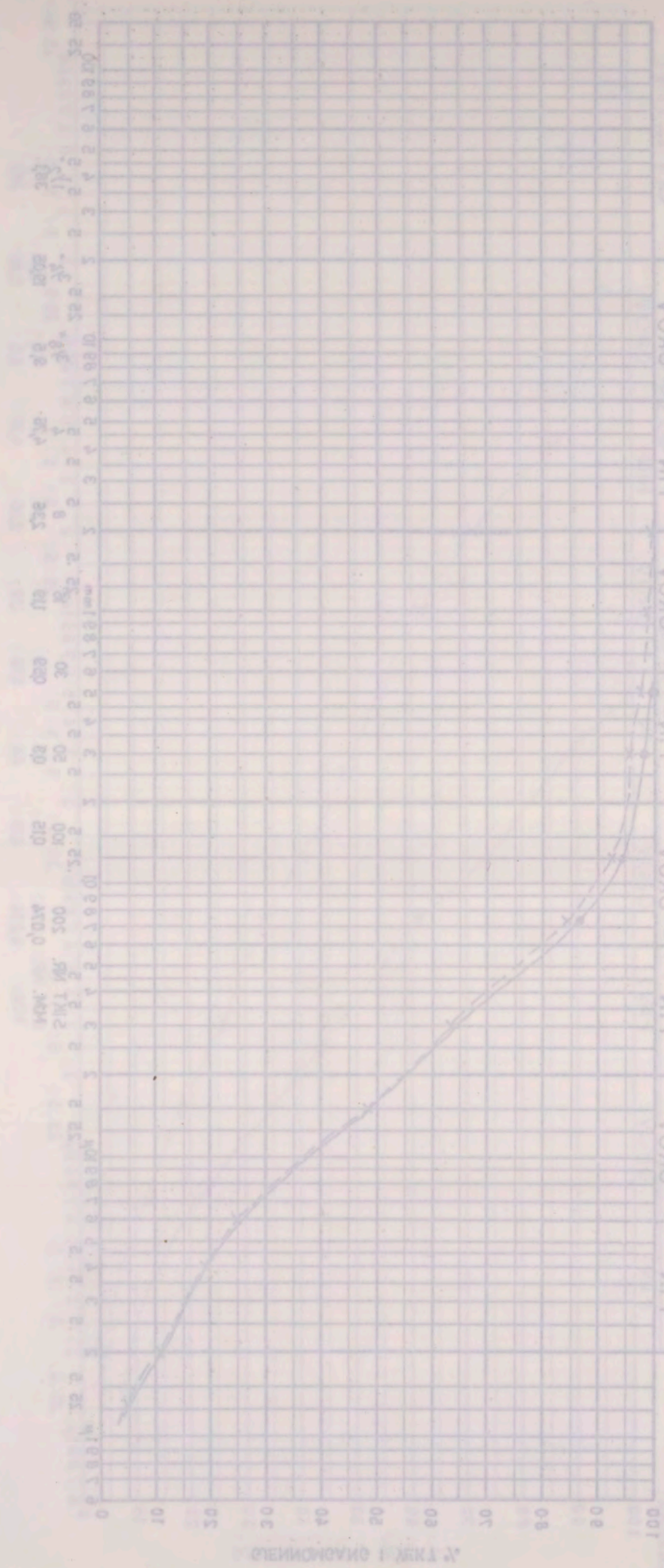
КВ

ДАТА:

Условья: $\sigma_{max} > 2,0$ т/кв. м, $\sigma_{min} > 0,1$ т/кв. м, $\sigma_{max} > 2,0$ т/кв. м, $\sigma_{min} > 0,1$ т/кв. м, $\sigma_{max} > 2,0$ т/кв. м, $\sigma_{min} > 0,1$ т/кв. м.

Условья: $\sigma_{max} > 2,0$ т/кв. м, $\sigma_{min} > 0,1$ т/кв. м, $\sigma_{max} > 2,0$ т/кв. м, $\sigma_{min} > 0,1$ т/кв. м, $\sigma_{max} > 2,0$ т/кв. м, $\sigma_{min} > 0,1$ т/кв. м.

В КРАЕ ВЕЩЕВИЗЕ



СТЕИ

СРУС

САНД

ОМ

ИЛЕЖИ

СЛЕИ

ВОЛ

ВОЛ

ВОЛ

ВОЛ

ВОЛ

ВОЛ

ВОЛ

ВОЛ

СРУС

САНД

ИЛИС

ГЕОТЕКН

LEIR

ATTERBERG

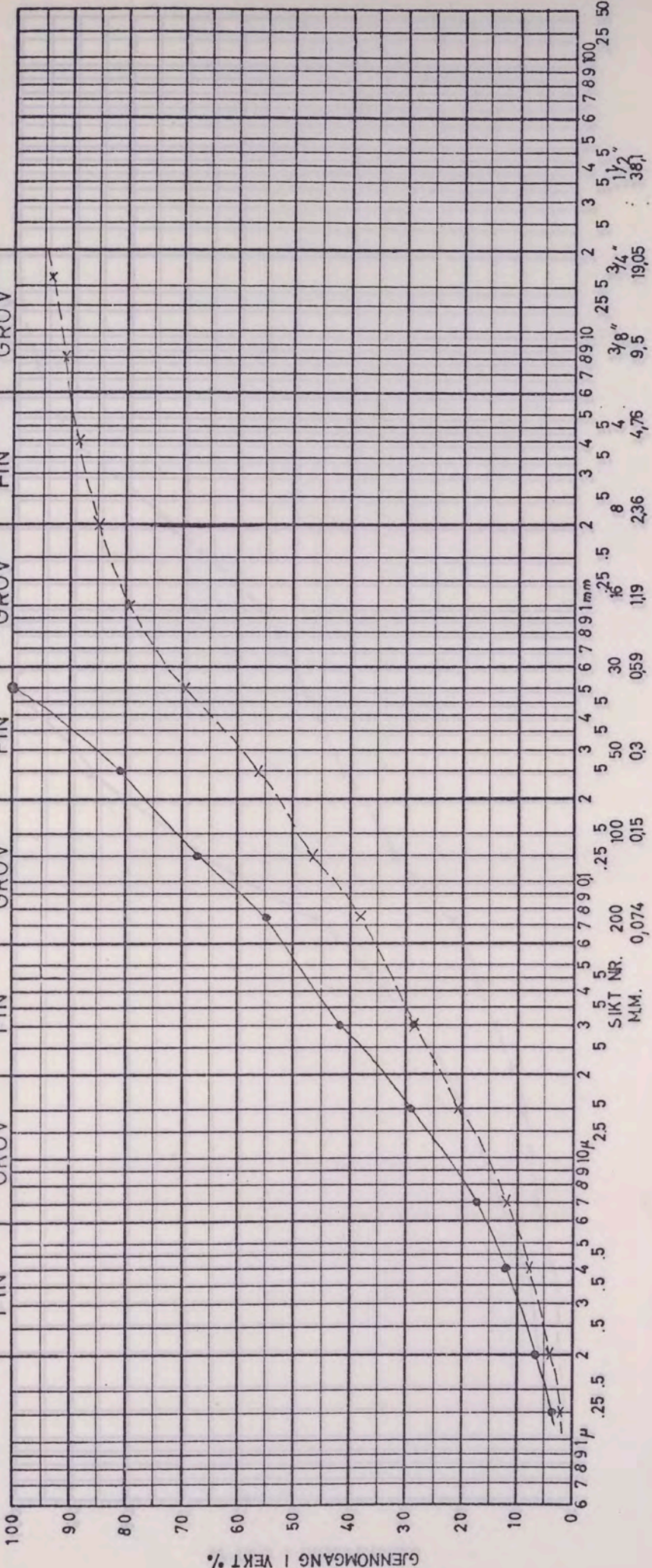
MJELE

MO

SAND

GRUS

STEIN



PRÖVE BETEGNELSE

Folgefonnaanleggene, Bondhusoverføringsen pel 720 (5)

labprøve 6,2% < 2µm, 34% < 20µm,

total prøve 70% < 0,5mm, 4.3% < 2µm, Md=0,17mm, So=1,50,

NAVN: _____ DATO: _____

KR

ИВАИ : ДАИО :

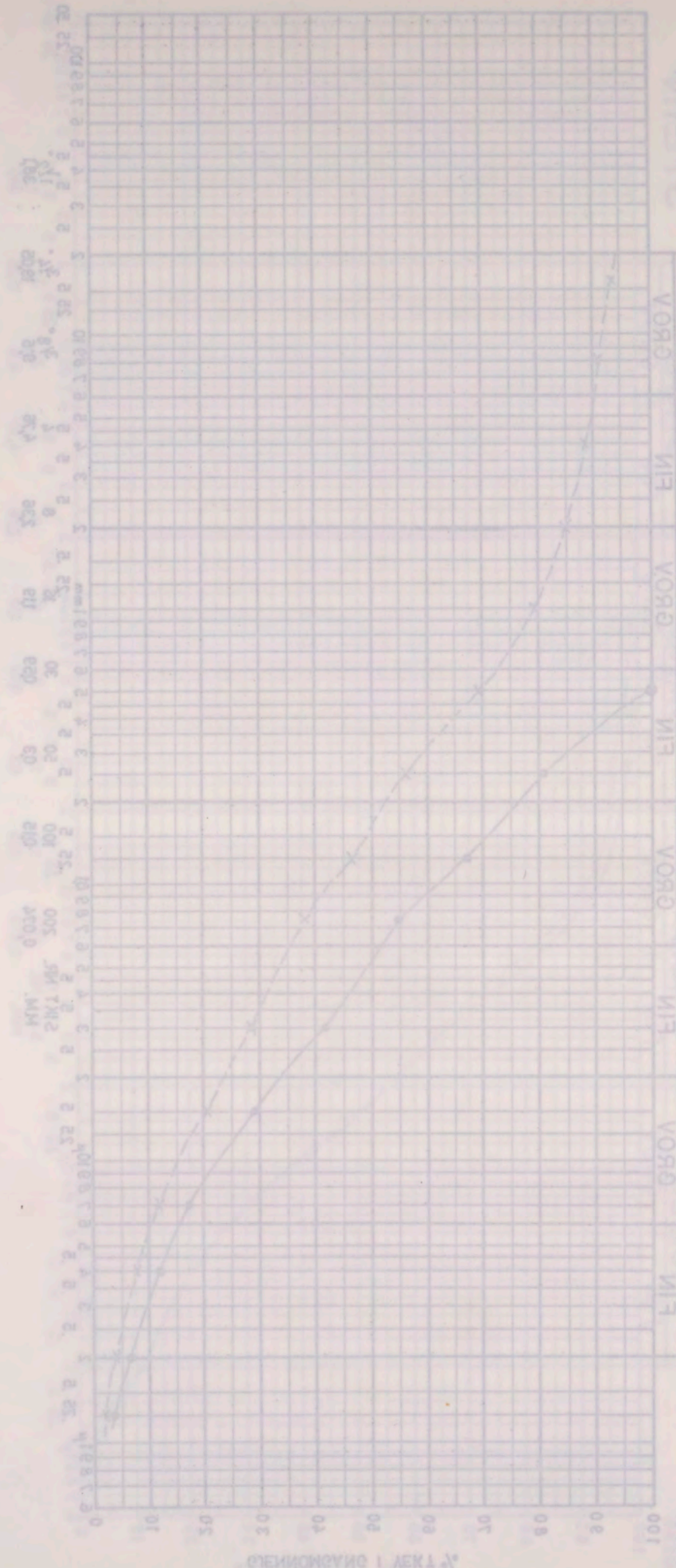
КВ

ИВАИ :

(2) OSY Ica ncaclTCTIcaBocuyhnoB ; eueggeJmnooTegJloT

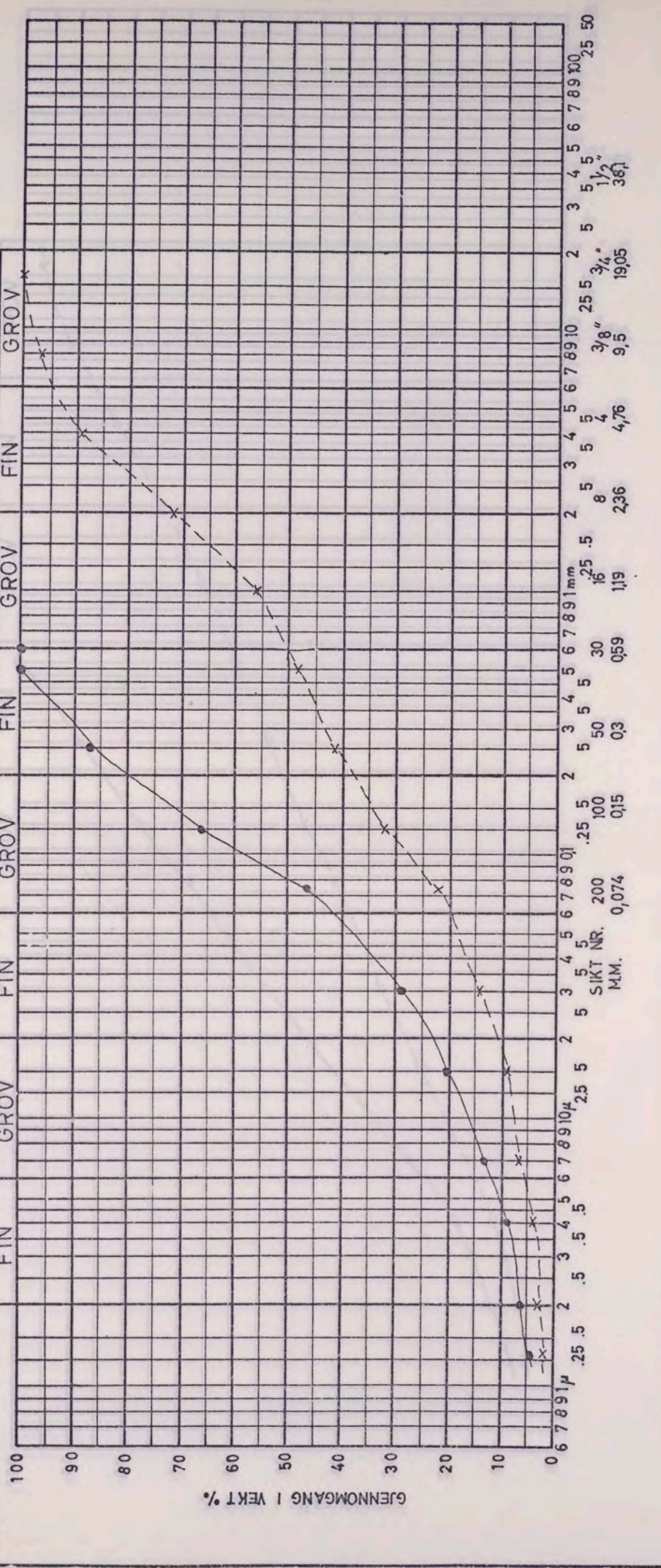
.02. I=02 .mVTI, O=0M .mMS>KX.A. mT2, O>20T eV03c I8J0T
mMS>KX .mMS>KX. 0 eV03cI
T0T0mJegReu; 0u0h0u0u0u0B

У БОМЕ БЕЛЕОМЕТРЕ



АЛТЕРБЕРГ		МЛЕТЕ		ОМ		САНД		СРУС		СТЕИИ	
ВН	ГРОВ	ВН	ГРОВ	ВН	ГРОВ	ВН	ГРОВ	ВН	ГРОВ	ВН	ГРОВ
МН	МИДДЕГ	МН	МИДДЕГ	МН	МИДДЕГ	МН	МИДДЕГ	МН	МИДДЕГ	МН	МИДДЕГ

СРЕДИНА ДИАМЕТРА - ЛЕК 1. А



P R Ø V E		B E T E G N E L S E	
Driva, Vassli h pel 500 Grå (6)			
Labprøve 5,5% < 2 μm, 23% < 20 μm.			
total prøve 48% < 0,5 mm, 2,5% < 2 μm, Md=0,6mm, So=1,43.			

NAVN:	KR	DATE:
-------	----	-------

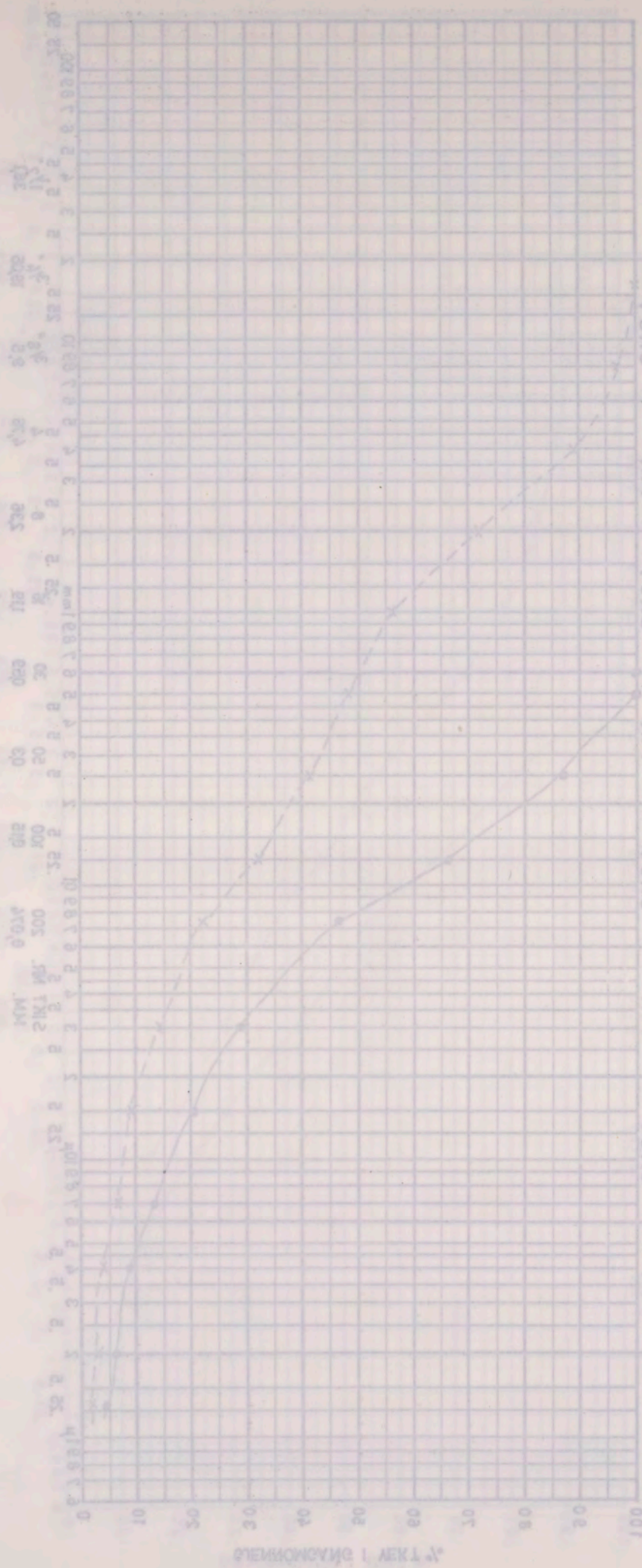
DATA:

KB

ДИАГН. АВЕРЖИ П ДИТ 200 010 (2)
 МАСС > КС, МАСС > КС, 2 СВТОРОДИЛ
 МАСС > КС, МАСС > КС, 2 СВТОРОДИЛ
 МАСС > КС, МАСС > КС, 2 СВТОРОДИЛ

ДИТ 200 010 (2)

32 ЛАБОРАТОРИЯ



УТТЕРБЕРГ
 ГЕОЛЕРКА

ПІЗІ

МІЖЕМ

ОМ

САНД

СІПІ

ВІВ

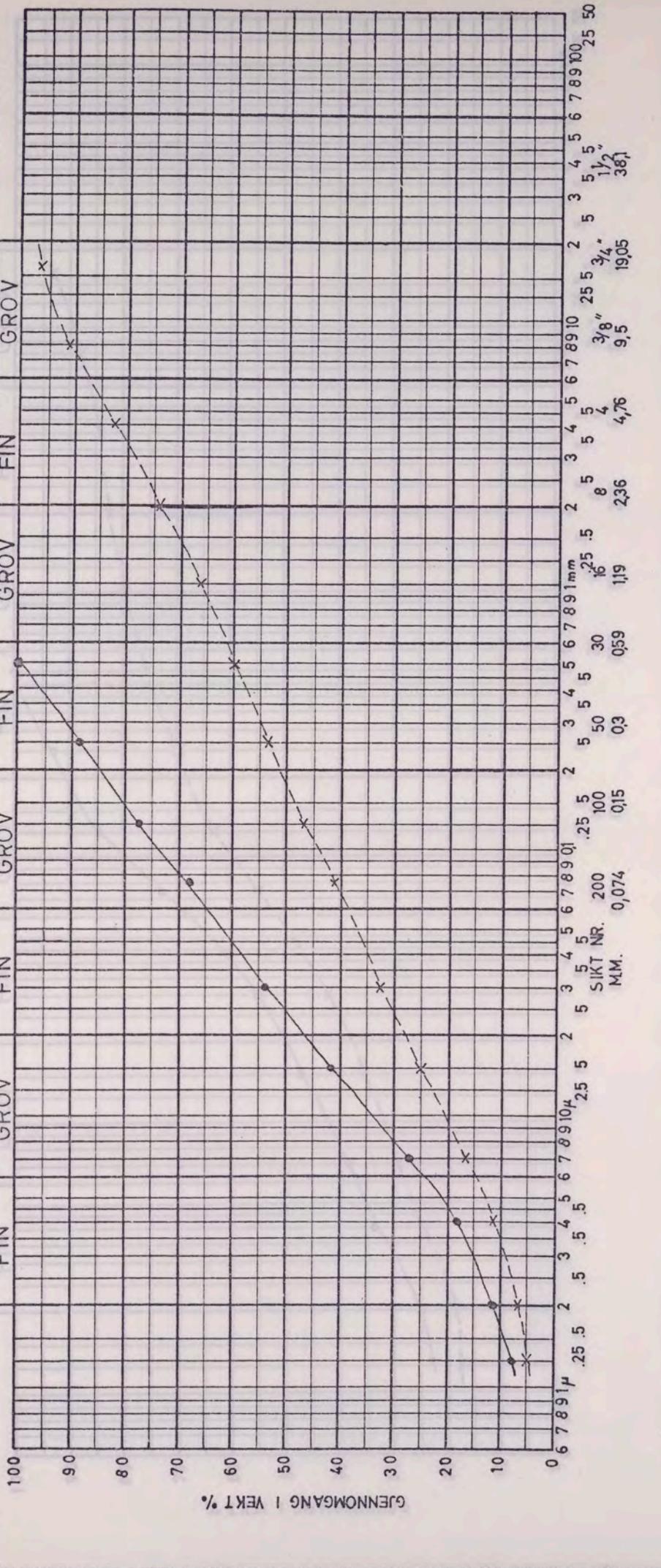
ВІВ

ВІВ

ВІВ

ВІВ

ВІВ



PRØVE	BETEGNELSE
	Folgefonnaanleggene, Mysevannsområdet tilløp pel 335 (7).
	labprøve 10,7% < 2µm, 46% < 20µm.
	total prøve 60% < 0,5mm, 6,5% < 2µm, Md=0,18mm, So=2,17

DATA

KB

KB

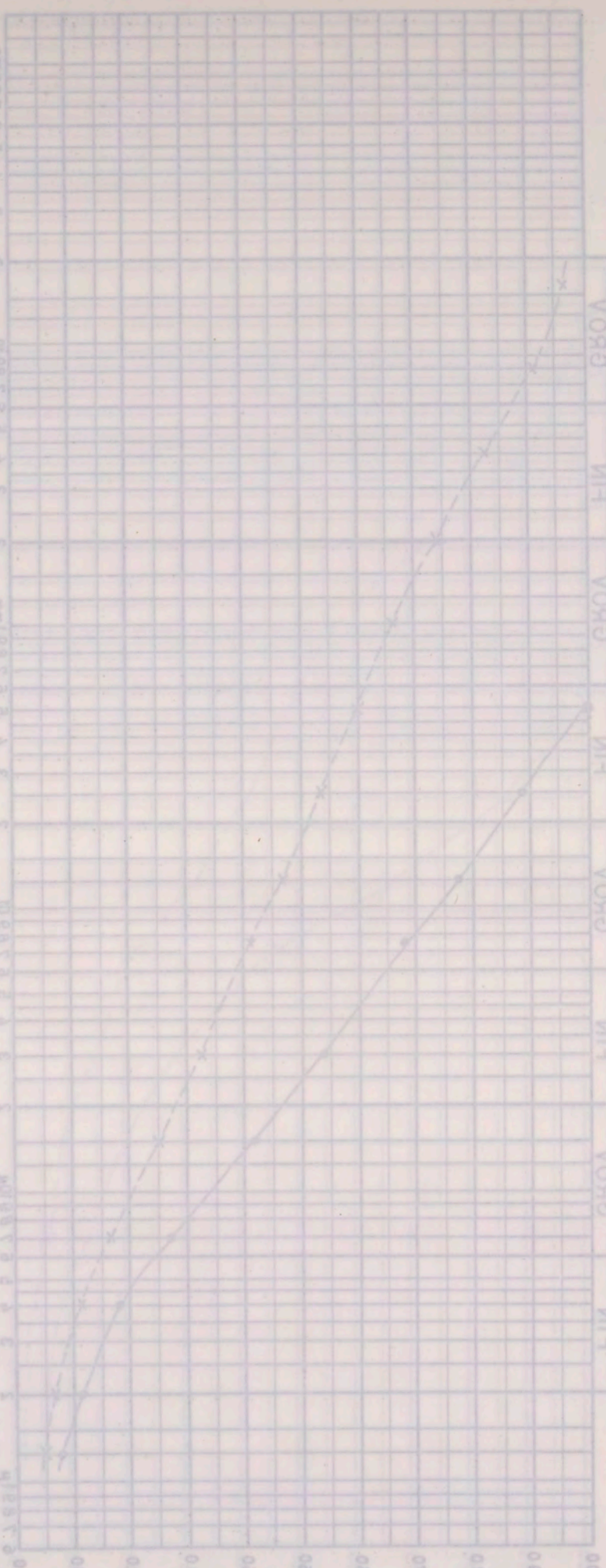
MVL

$\gamma_1 = 1.02$, $\mu_{rel} = 0.55$, $\mu_{vis} > 2$, $\mu_{vis} < 20$, $\mu_{vis} < 0.2$, $\mu_{vis} < 0.05$
 $\mu_{rel} > 0.02$, $\mu_{rel} > 0.2$, $\mu_{rel} < 0.5$

μ_{rel} < 0.05 , μ_{vis} < 20 , μ_{vis} > 2

СВОЕ РЕЧЕНИЕ

MM' 500 100 50 20 10 5
 200 100 50 20 10 5
 100 50 20 10 5
 50 20 10 5
 20 10 5
 10 5
 5
 2
 1



СКОРОСТЬ

Л. ТИВ

УГЛОМЕР

СВЕТ

УГЛОМЕР

СВЕТ

УГЛОМЕР

СВЕТ

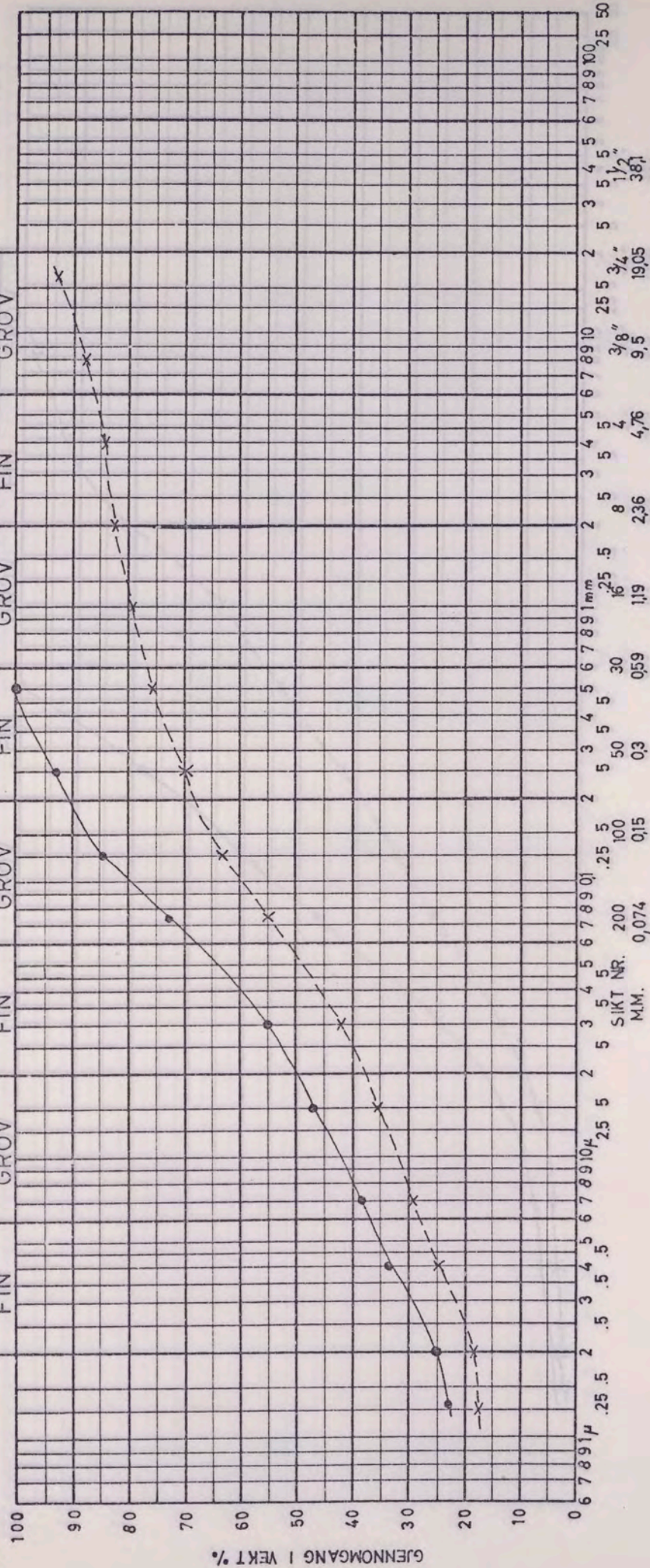
УГЛОМЕР

СКОРОСТЬ

GEOTEKN. ATTERBERG

LEIR		SILT		SAND		GRUS	
FIN	MIDDELS	FIN	GROV	FIN	GROV	FIN	GROV
MJELE		MO		SAND		GRUS	
FIN	GROV	FIN	GROV	FIN	GROV	FIN	GROV

STEIN



PRÖVE	BETEGNELSE
	Lieråsen jernbanetunnel pel 435+3 (8)
---	labprøve 25% $2\mu\text{m}$, 50% <math><2\mu\text{m}</math>
---	total prøve 75% <math><0,5\text{mm}</math>, 18,5% <math><2\mu\text{m}</math>, Md=0,055mm, So=2,04

NAVN: _____ KR _____ DATO: _____

DATA:

KB

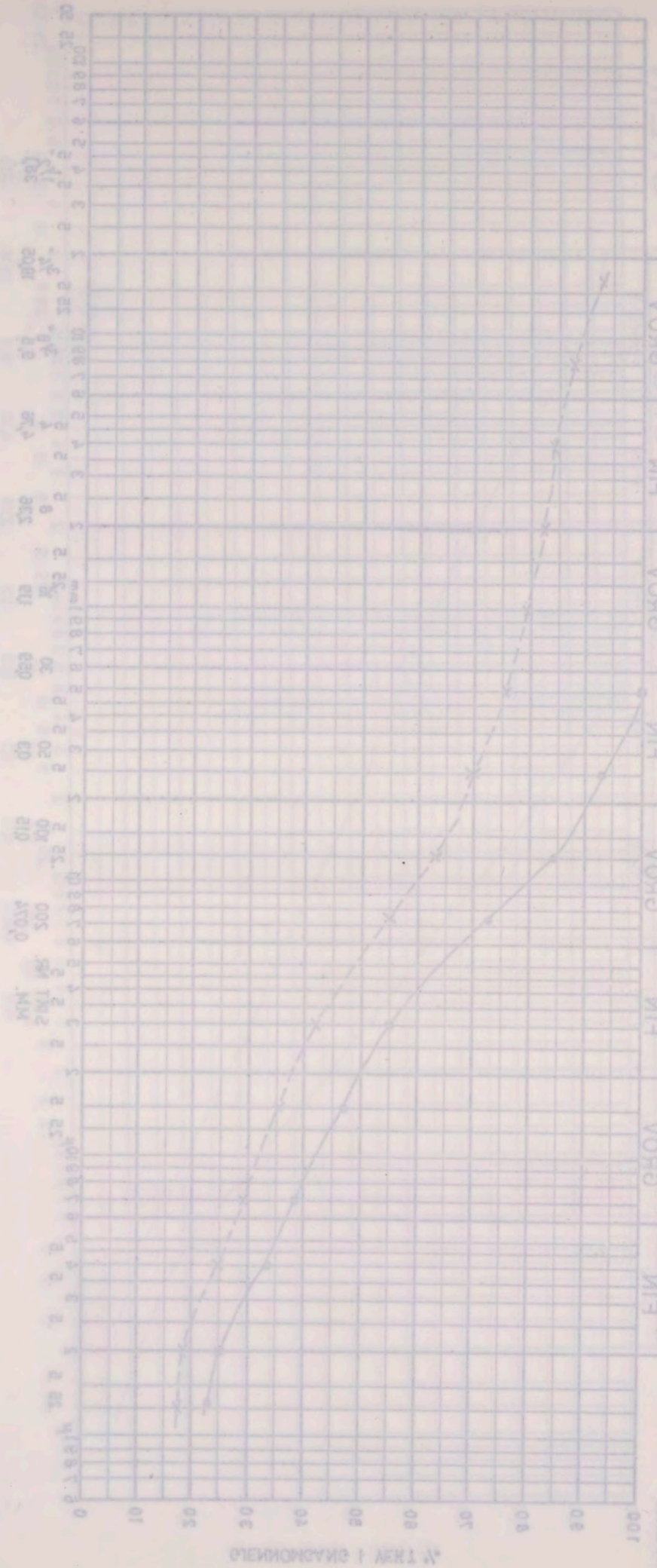
DATA:

--- 10. S=0.2, mm 250, 0=5M, MS>K2, 81, 81, mm 2, 0>K2T, 9V89q 187of

--- 0.5>K2, mm 20K<50mm.

--- 10. S=0.2, mm 250, 0=5M, MS>K2, 81, 81, mm 2, 0>K2T, 9V89q 187of

BOVE BEJEGE 28



YLLERBERG

LEIS

WLEGE

OM

SAND

GRUS

STEIN

FIN	MIDDELS	GRÖD	FIN	GRÖD	FIN	GRÖD	FIN	GRÖD	FIN	GRÖD	FIN	GRÖD

GEOTEKN

SILT

SAND

GRUS

STEIN

LEIR
MJELE
SILT
MIDDELS
FIN

MO
GROV
FIN

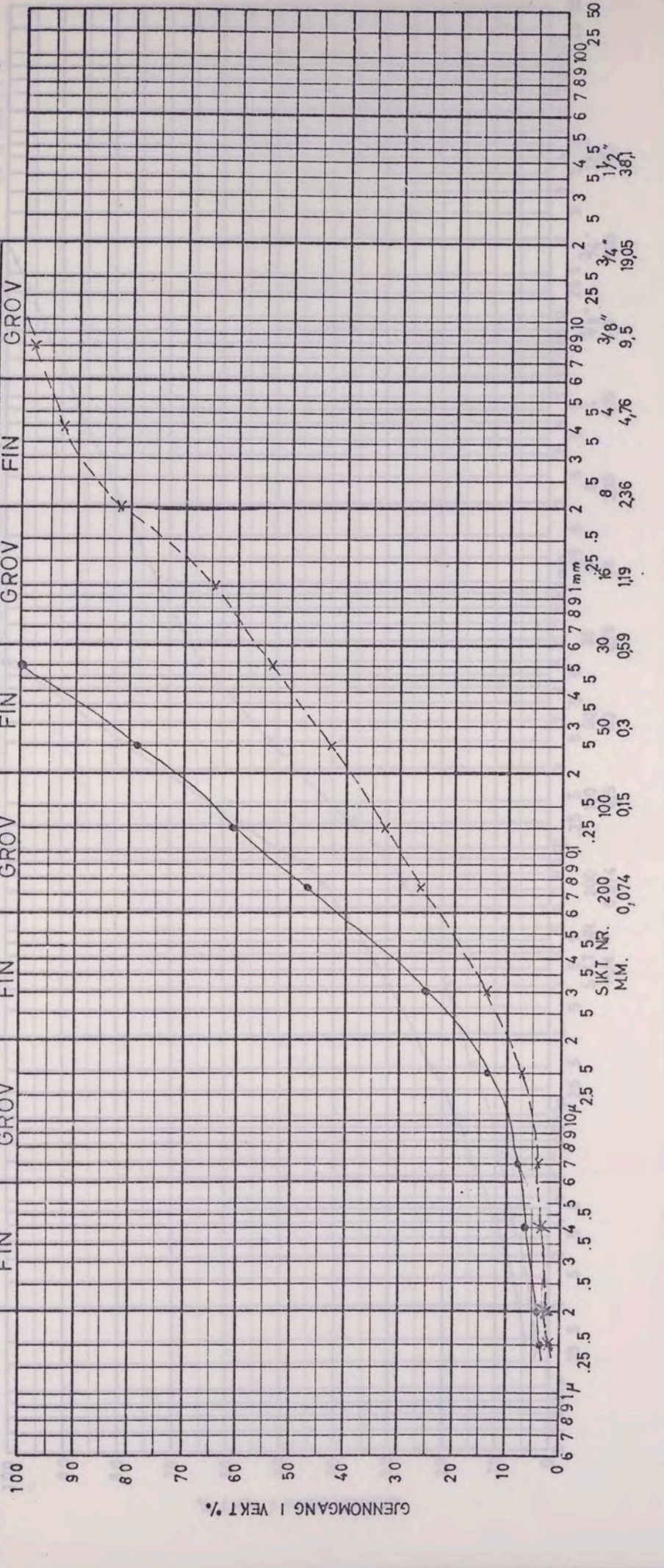
SAND
MIDDELS
FIN

GROV
FIN

SAND
MIDDELS
FIN

GRUS
MIDDELS
FIN

GROV
FIN



P R Ö V E B E T E G N E L S E

Grorubbanens forlengelse pel 703 (9)

labpröve 3,5% < 2µm, 17% < 20µm,

total prøve 54% < 0,5mm, 2% < 2µm, Md=0,4mm, So=1,37.

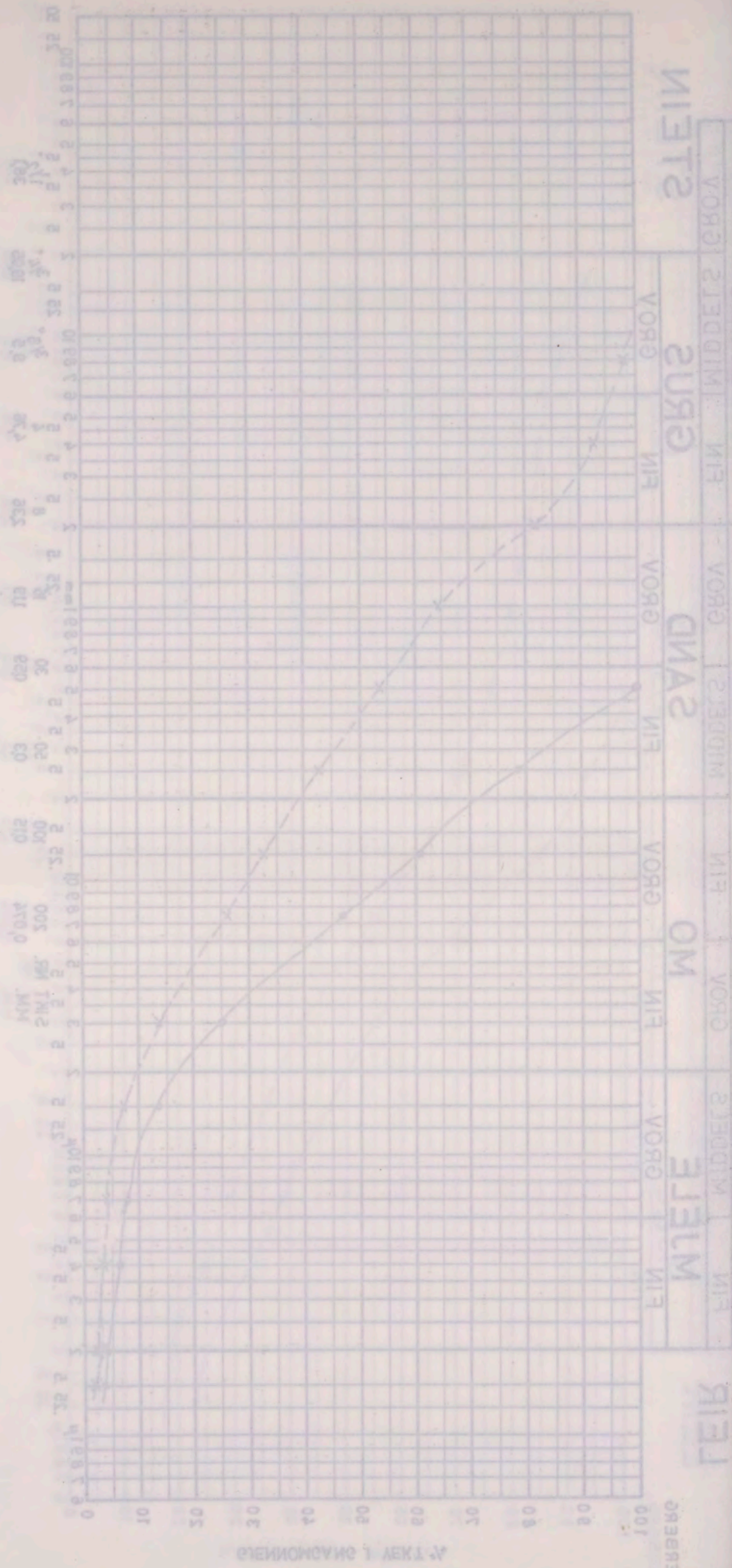
DATA:

KB

$d_{10} = 0.25 \text{ mm}$, $d_{30} = 0.4 \text{ mm}$, $d_{60} = 0.7 \text{ mm}$, $d_{80} = 1.0 \text{ mm}$, $d_{90} = 1.5 \text{ mm}$, $d_{100} = 2.0 \text{ mm}$, $d_{200} = 3.0 \text{ mm}$, $d_{400} = 4.75 \text{ mm}$, $d_{600} = 7.5 \text{ mm}$, $d_{850} = 11.75 \text{ mm}$, $d_{1000} = 15 \text{ mm}$.
 $d_{10} < 0.075 \text{ mm}$, $d_{30} < 0.15 \text{ mm}$, $d_{60} < 0.3 \text{ mm}$, $d_{80} < 0.425 \text{ mm}$, $d_{90} < 0.6 \text{ mm}$, $d_{100} < 0.85 \text{ mm}$, $d_{200} < 1.25 \text{ mm}$, $d_{400} < 2 \text{ mm}$, $d_{600} < 3 \text{ mm}$, $d_{850} < 4.75 \text{ mm}$, $d_{1000} < 7.5 \text{ mm}$.

Одобрено приложением № 103 (2)

БРОМ ВЕЩЕСТВО



АТТЕСТАЦИЯ И ВЕРИФИКАЦИЯ

АТТЕСТАЦИЯ

ГЕОТЕХН

СИЛИ

SAND

GRUS

STEIN

LEIR

MJELE

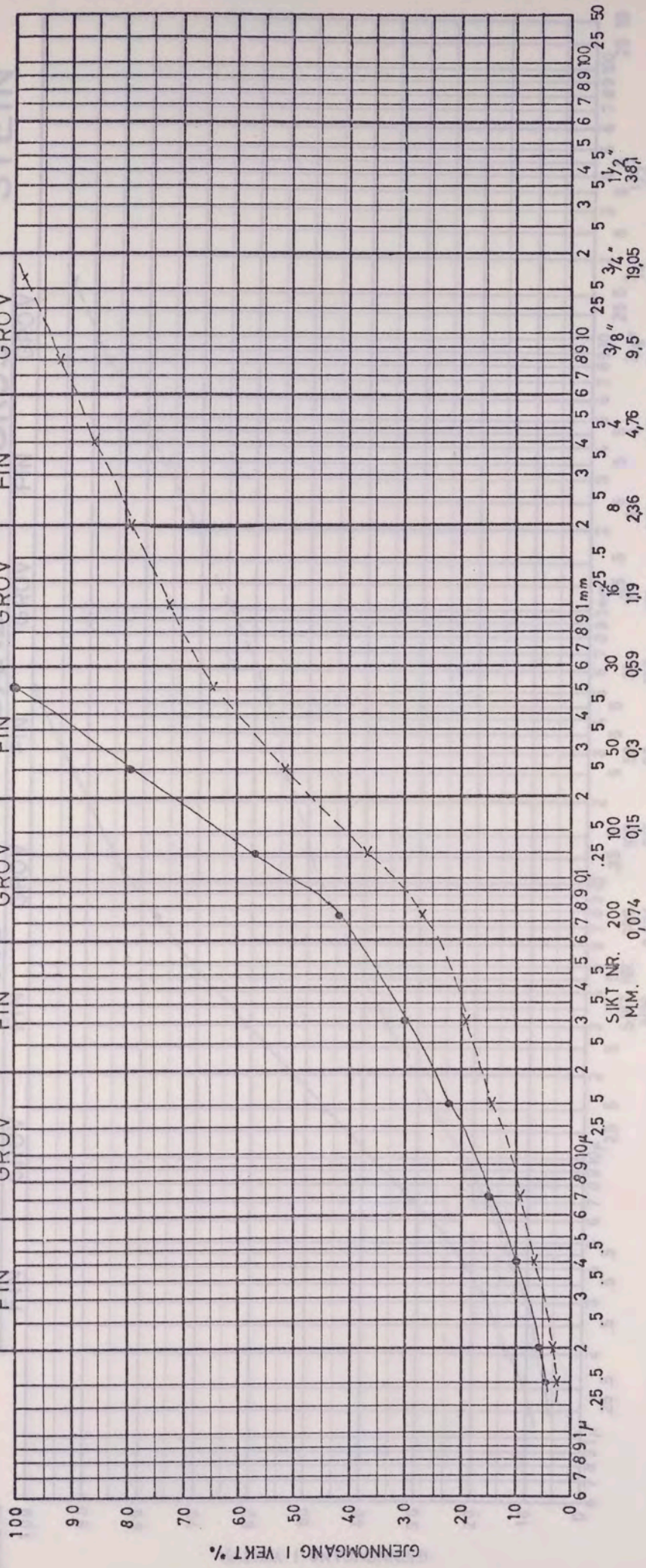
MO

SAND

GRUS

STEIN

ATTERBERG



PRÖVE BETEGNELSE

Ranaanleggene, Leirbotn v ca pel 2900 Lys (10).

labprøve 5,7% < 2µm, 25% < 20µm,

total prøve 65% < 0,5mm, 3,7% < 2µm, Md=0,25mm, So=1,33.

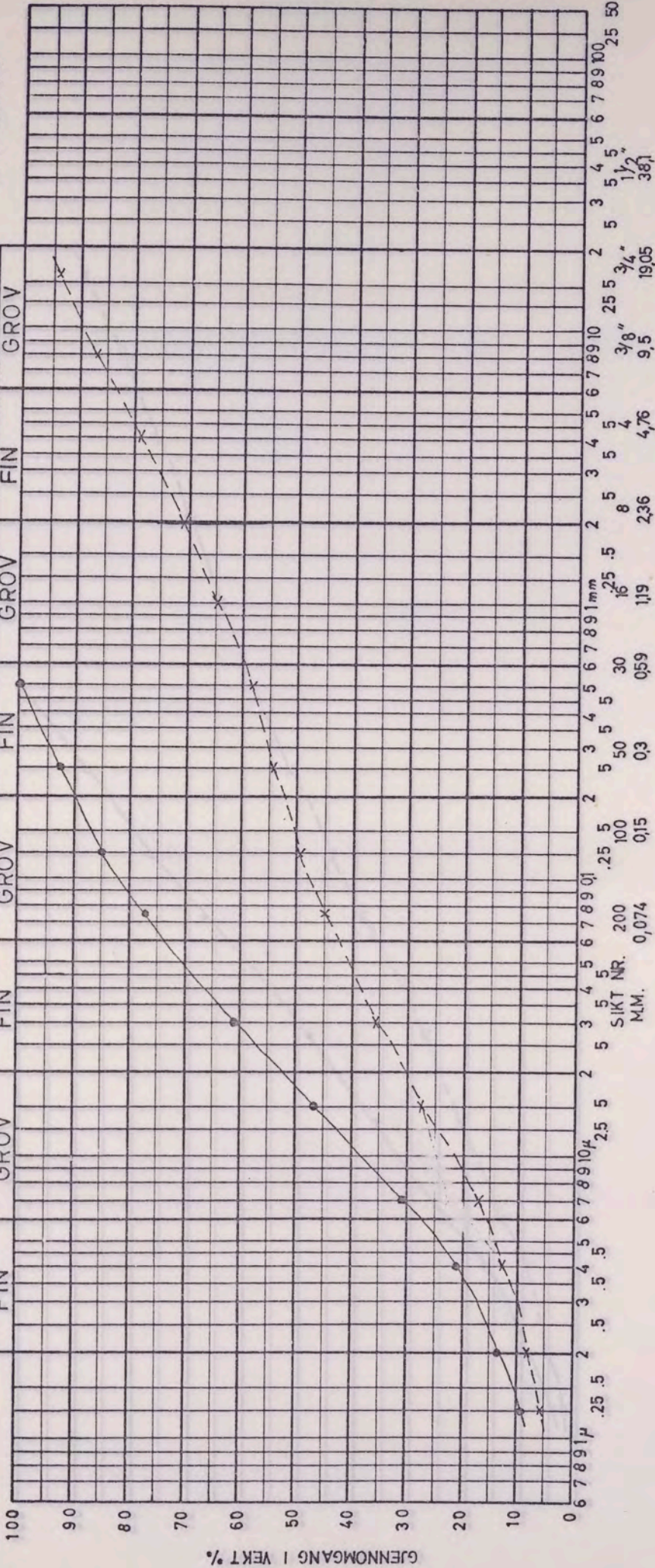
NAVN: _____

KR _____

DATO: _____

LEIR

ATTERBERG



GRUS
MIDDELS
GROV

GRUS
FIN
GROV

SAND
MIDDELS
GROV

MO
FIN
GROV

SILT
MIDDELS
GROV

MJELE
FIN
GROV

LEIR
FIN
GROV

PRÖVE	BETEGNELSE
	Borgund kraftverk, Tverrslag Stardalen (11).
---	labprøve 13,5% < 2μm, 52% < 20μm.
---	total prøve 58% < 0,5mm, 8% < 2μm, Md=0,125mm, So=2,38.

NAVN: _____ KR _____ DATO: _____

ИВЛИ: КВ. ДИЛО: 24

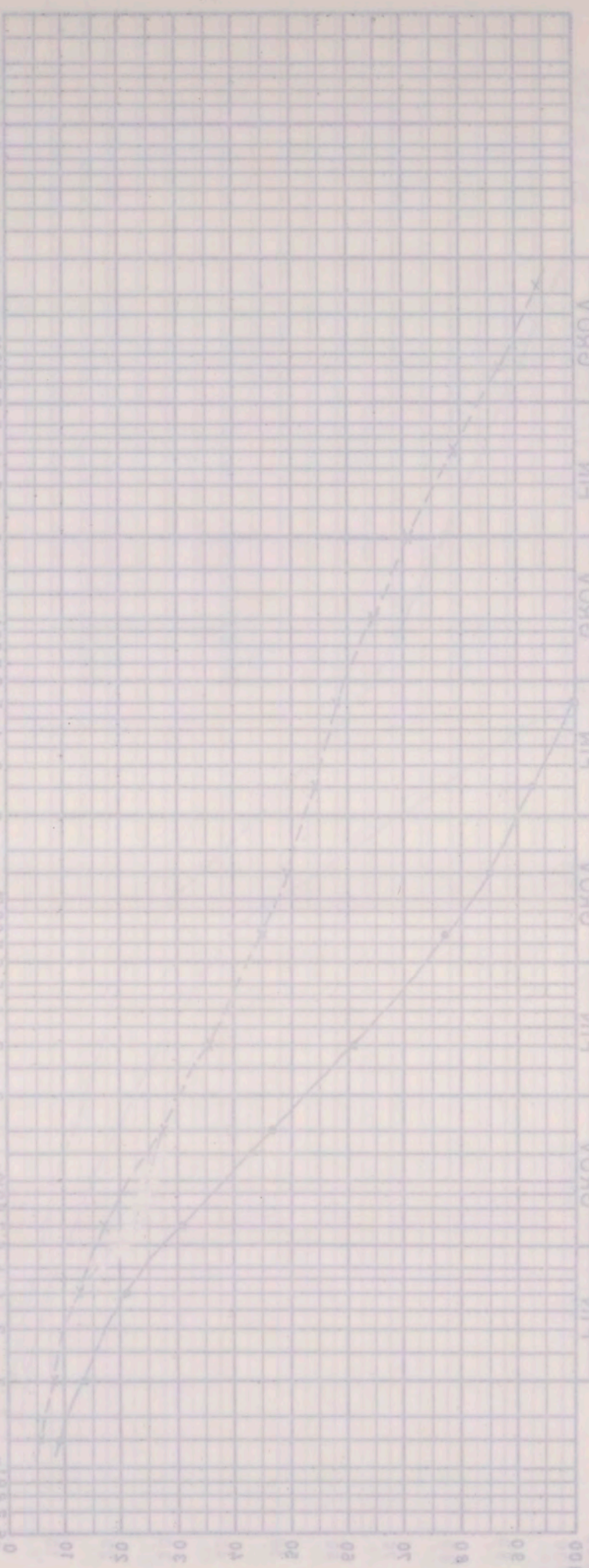
Төрөл: бөглө 20% < 0.2mm, 8% < 0.075mm, Wp = 0.152mm, 20 = 5.38%

Төрөл: 12.2% < 0.075mm, 25% < 0.15mm

Болонд кыяллык, даярлагыч аялгачы (11)*

БӨӨМӨ БЕЛЕЧЕГЭЭ

mm	0.075	0.15	0.3	0.6	1.2	2.5	5	10	20	40	80	150	300	600	1200
ММ	0.075	0.15	0.3	0.6	1.2	2.5	5	10	20	40	80	150	300	600	1200
ММ	0.075	0.15	0.3	0.6	1.2	2.5	5	10	20	40	80	150	300	600	1200



ГЕИР | МҮҮГЭ | МӨ | САНД | СҮНС | СТЕИМ

УЛСЫН ГЕОТЕХНИКА АКАДЕМИЯСЫН ГЕОТЕХНИКАЛЬНИЙ ЦЕНТР

GEOTEKN.

LEIR

ATTERBERG

SILI
MIDDELS
MJELE

GROV
FIN

MO

FIN
GROV

MIDDELS
SAND

GROV
FIN

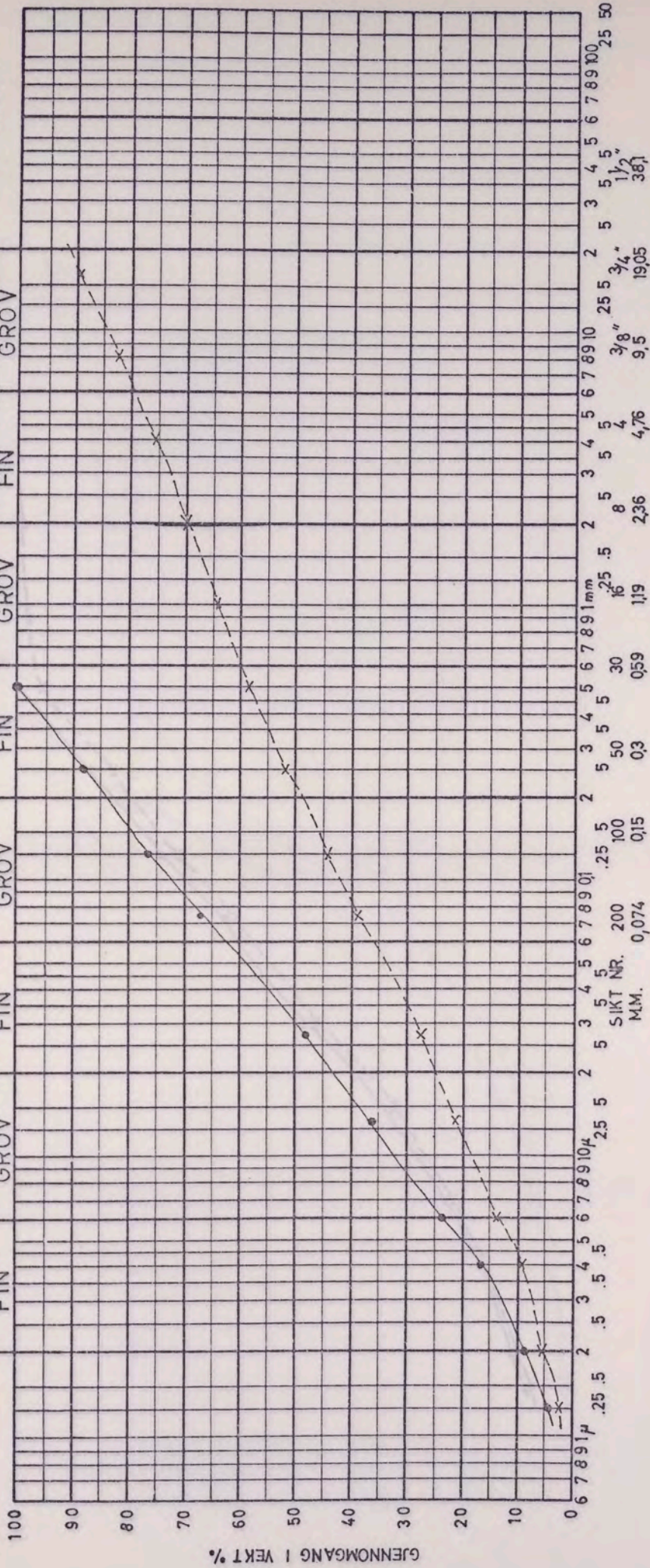
GRUS

FIN
GROV

MIDDELS
GRUS

GROV
FIN

STEIN



PRÖVE BETEGNELSE

Folgefonnaanleggene, Bondhusoverføringsen pel 400 mot sjakt (12)

labprøve 9% < 2µm, 43% < 20µm.

total prøve 58% < 0,5mm, 5,3% < 2µm, Md=0,2mm, So=2,28.

NAVN:

KR

DATO:

NIETS

GRUS

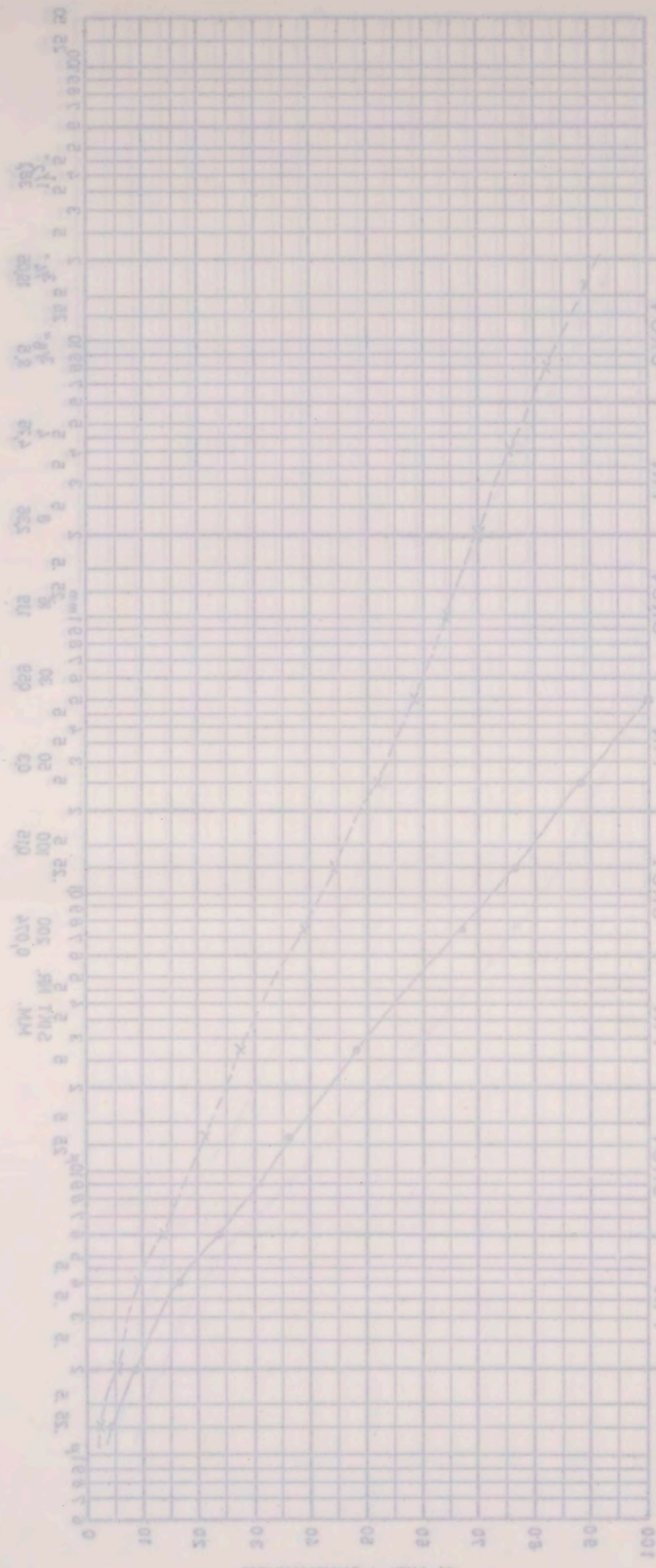
QNAS

OM

WLEGE

RIEL

VORG	FIN	MIDDELS	CRON	VORG	FIN	MIDDELS	CRON	VORG	FIN	MIDDELS	CRON	VORG	FIN	MIDDELS	CRON	VORG	FIN	MIDDELS	CRON



(S) tkale tom 004 leq negnitritrevoanibnob, eneggefnanofeglel

.mas > RFA, mas > RP, avörqdal
 .BS, S=02, mas, O=BM, mas > RFA, mas > RP, avörq, lafof

BEIENSAKKE	BEIENSAKKE

:OTAD

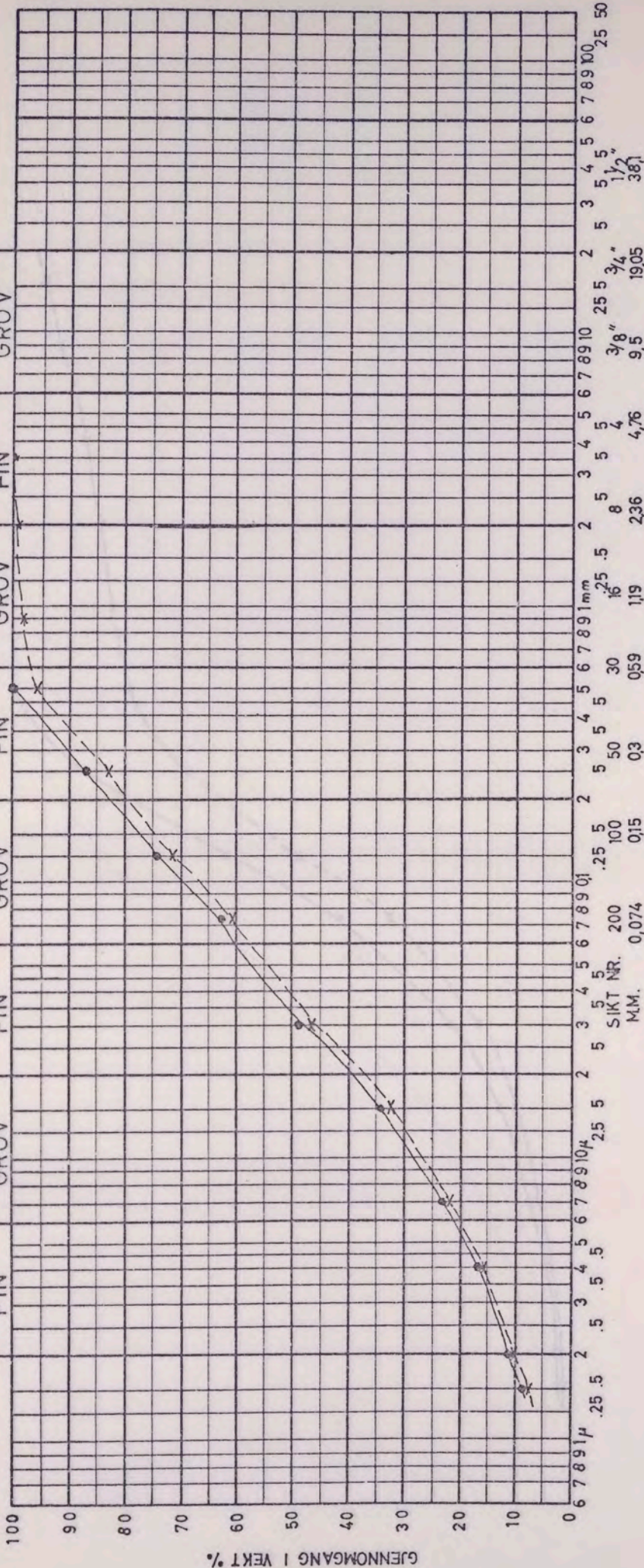
EX

:NVAN

B.3

ATTERBERG

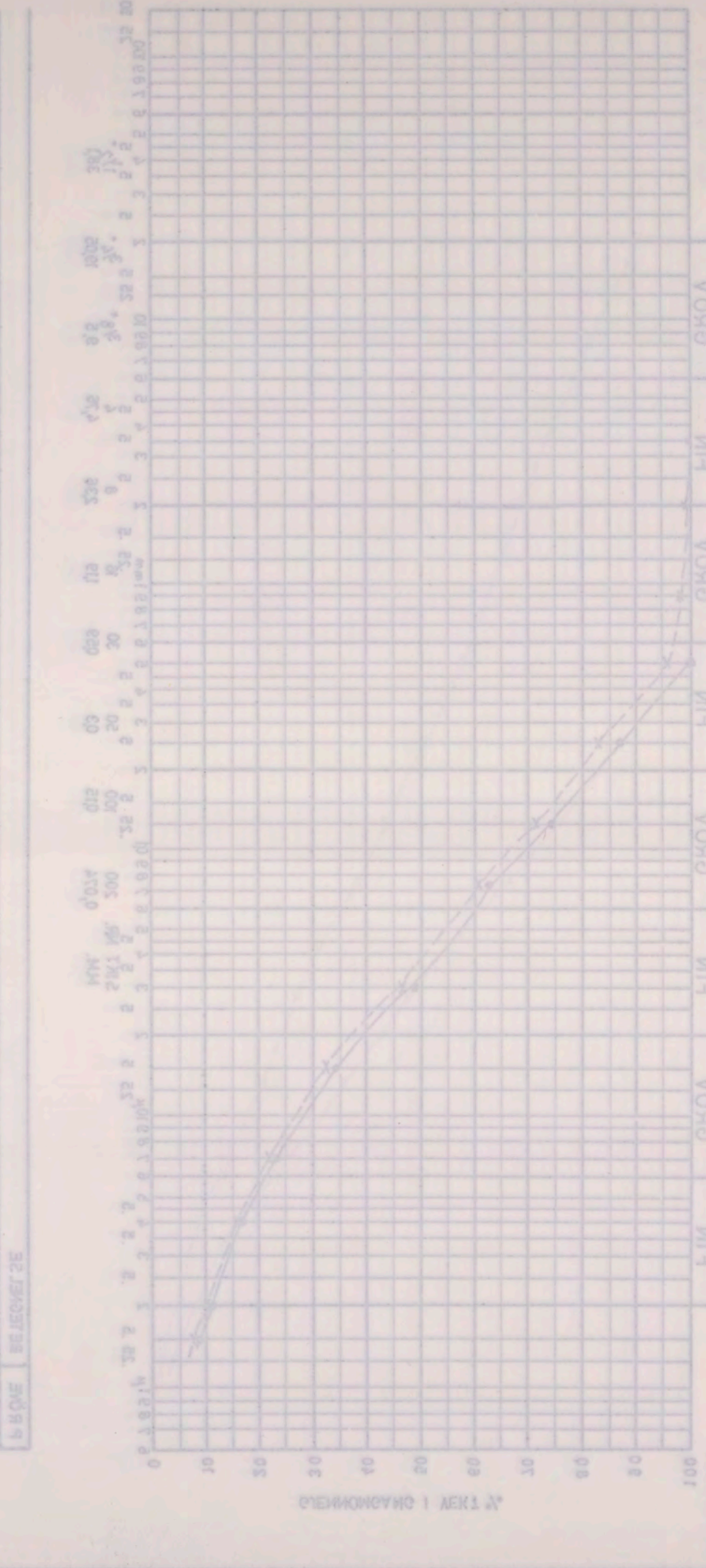
STEIN



PRÖVE	BETEGNELSE
---	Sundsbar kraftanlegg, Sökestoll Röd (13)
---	labprøve 11% < 2μm, 40% < 20μm,
---	total prøve 96% < 0,5mm, 10,5% < 2μm, Md=0,04mm, So=1,22.

DATE: _____ TIME: _____
 NAME: _____ NO: _____
 GRADE: _____

1. $\log \frac{1}{\rho} = \log \frac{1}{0.0000001} = 7$
 2. $\log \frac{1}{\rho} = \log \frac{1}{0.0000001} = 7$
 3. $\log \frac{1}{\rho} = \log \frac{1}{0.0000001} = 7$
 4. $\log \frac{1}{\rho} = \log \frac{1}{0.0000001} = 7$
 5. $\log \frac{1}{\rho} = \log \frac{1}{0.0000001} = 7$
 6. $\log \frac{1}{\rho} = \log \frac{1}{0.0000001} = 7$
 7. $\log \frac{1}{\rho} = \log \frac{1}{0.0000001} = 7$
 8. $\log \frac{1}{\rho} = \log \frac{1}{0.0000001} = 7$
 9. $\log \frac{1}{\rho} = \log \frac{1}{0.0000001} = 7$
 10. $\log \frac{1}{\rho} = \log \frac{1}{0.0000001} = 7$



GEIS WREGE OM SAND GRUN STEIN
 FIN WIDDELS GROV FIN WIDDELS GROV FIN WIDDELS GROV
 GROV WIDDELS FIN WIDDELS GROV GROV WIDDELS FIN WIDDELS GROV

LEIR

ATTERBERG

SILT

FIN MIDDELS GROV

MJELE

FIN GROV

MO

FIN GROV

SAND

FIN GROV

SAND

MIDDELS GROV

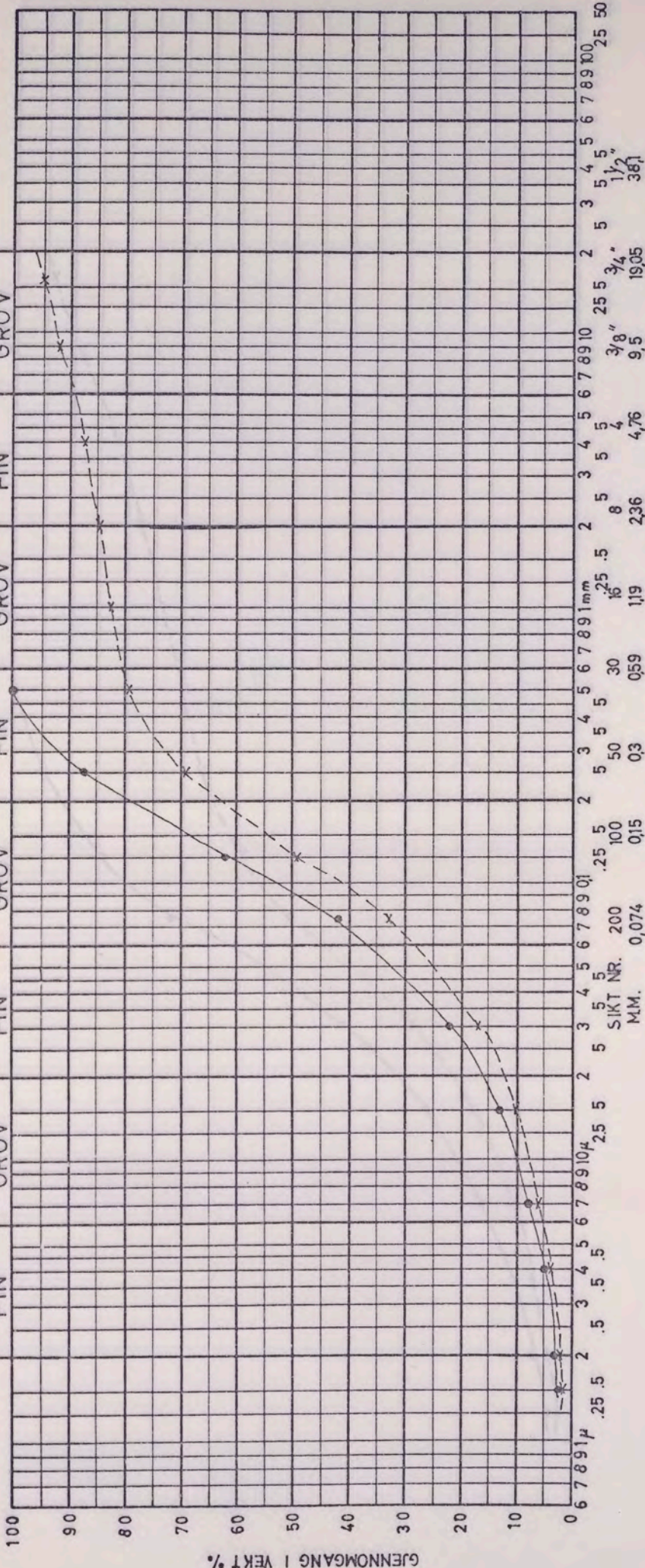
GRUS

FIN GROV

GRUS

MIDDELS GROV

STEIN



P RÖVE	BETEGNELSE
---	Ranaanleggene, Leirbotn v ca pel 2960 (14) Mørk
---	Labprøve 2, 7% < 2 μ m, 16% < 20 μ m.
---	total prøve 79% < 0,5mm, 2,2% < 2 μ m, Md = 0,13mm, So = 0,84.

NAVN: _____ KR _____ DATO: _____

DATA:

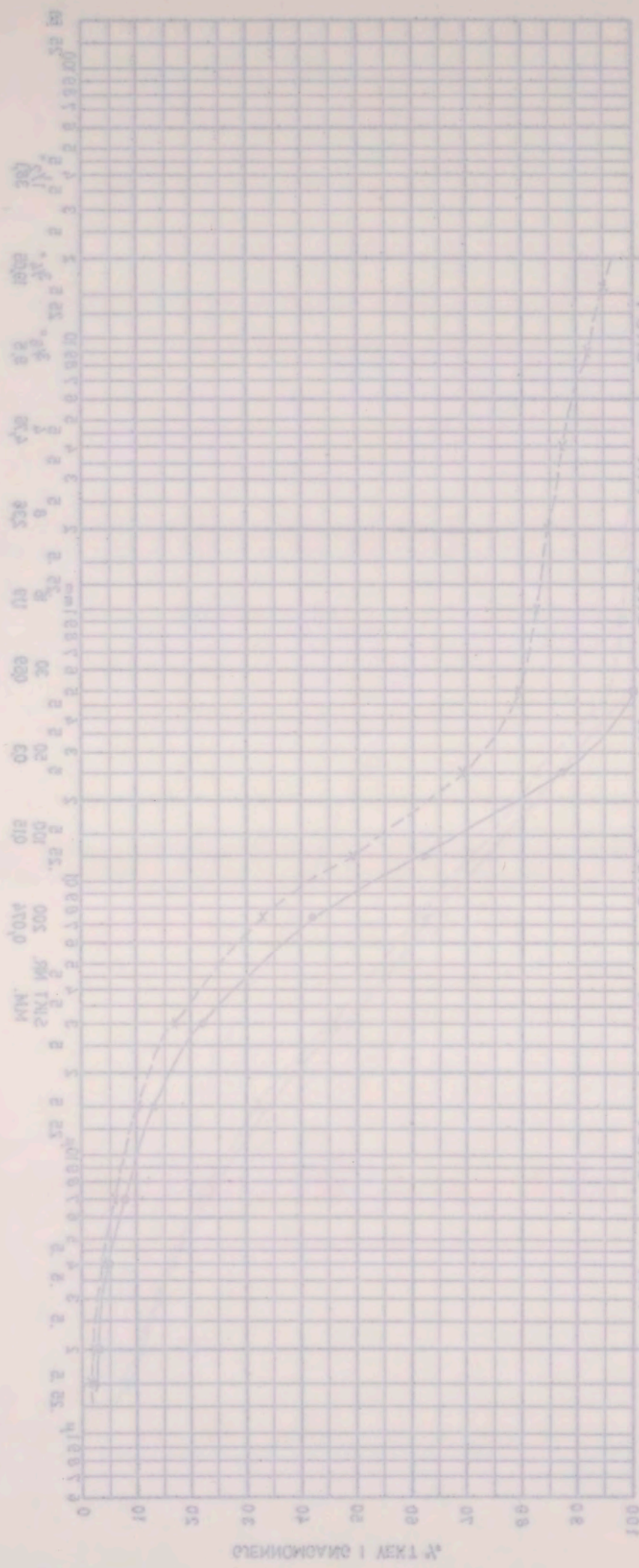
KB 23

IVAN:

1. $\sigma_{0.02} = 0.02$ мм, $\sigma_{0.05} = 0.05$ мм, $\sigma_{0.1} = 0.1$ мм, $\sigma_{0.2} = 0.2$ мм, $\sigma_{0.5} = 0.5$ мм, $\sigma_{1} = 1$ мм, $\sigma_{2} = 2$ мм, $\sigma_{5} = 5$ мм, $\sigma_{10} = 10$ мм, $\sigma_{20} = 20$ мм, $\sigma_{50} = 50$ мм, $\sigma_{100} = 100$ мм, $\sigma_{200} = 200$ мм, $\sigma_{500} = 500$ мм, $\sigma_{1000} = 1000$ мм.

Исследования. Результаты в см (14) МРІХ

5. ВОНЕ ВЕЛЕЧЕГЕ



АТТЕСТАЦИЯ

ГРЯД

ВЛЕГМ

МО

САНД

СРЯД

СТЕИМ

СРЕДНЯЯ

САНД

СРЯД

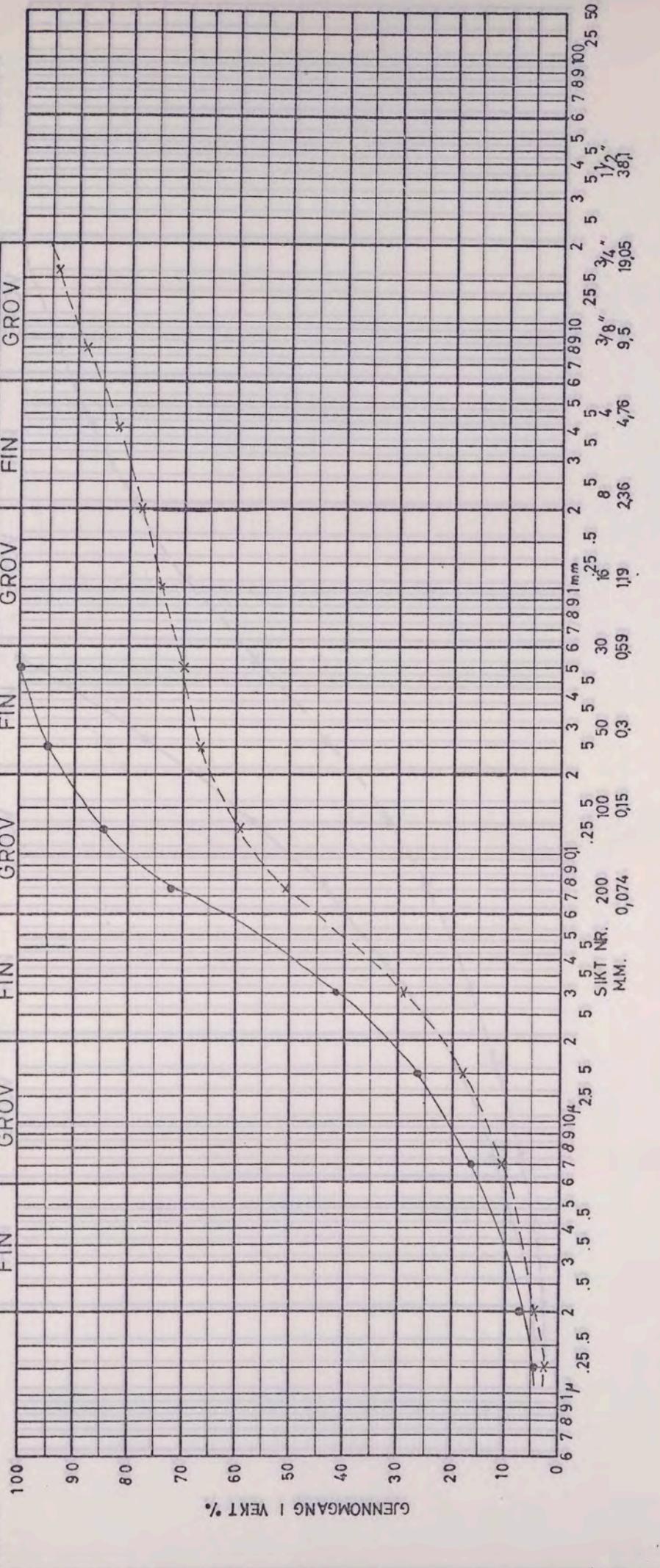
САНД

ВЛЕГМ

ГРЯД

АТТЕСТАЦИЯ

GEOTEKN. LEIR MJELE SILT SAND GRUS STEIN
 ATTERBERG FIN MIDDELS GROV FIN MIDDELS GROV FIN MIDDELS GROV FIN MIDDELS GROV



PRÖVE BETEGNELSE
 Folgefonnanleggene, Mysevannsområdet tillöp ca pel 1200 (15).
 labpröve 6,8% < 2µm, 32% < 20µm.
 total pröve 70% < 0,5mm, 4,8% < 2µm, Md=0,075mm, So=1,71.

NAVN: _____ KR _____ DATO: _____

DATE:

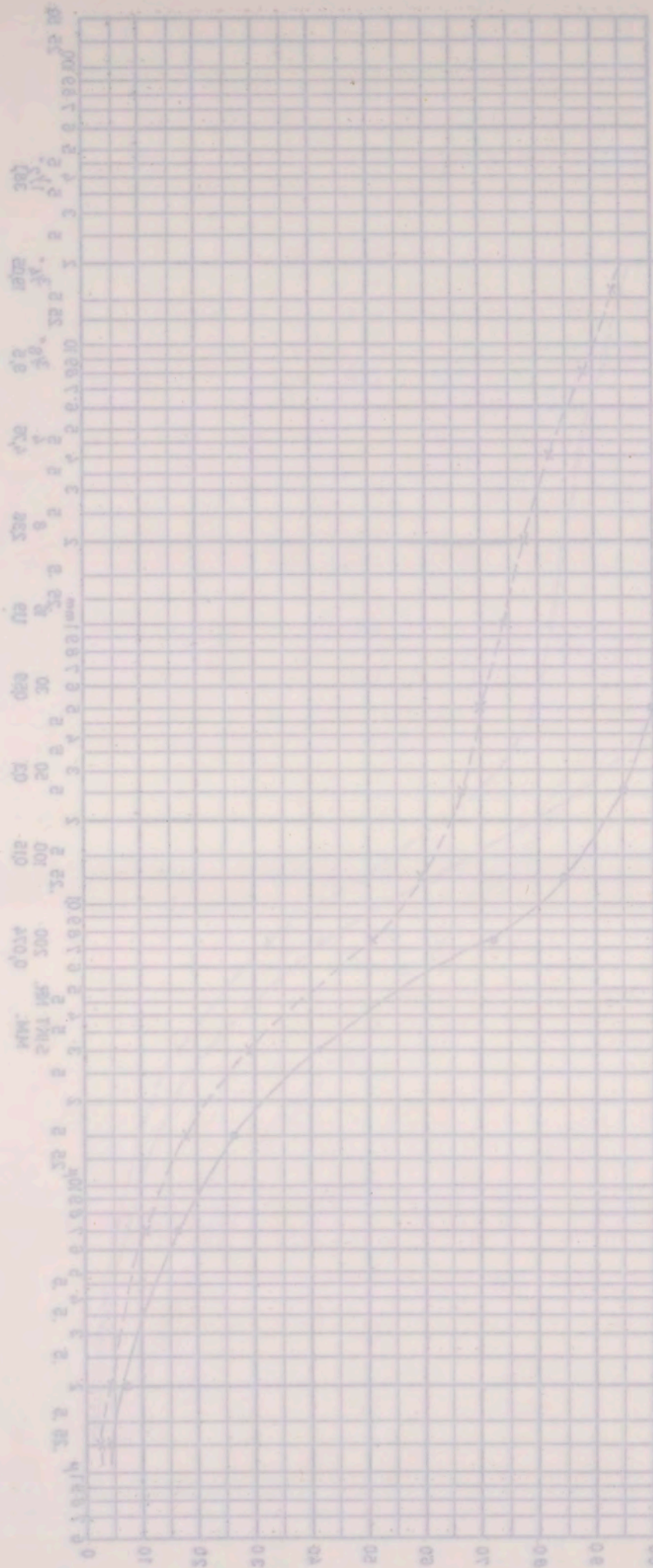
NO. KB

NAME:

1. $0.2 < d_{60} < 0.4$ mm. $d_{10} < 0.075$ mm. $U = 0.25$.
 2. $0.075 < d_{60} < 0.2$ mm. $d_{10} < 0.0475$ mm. $U = 0.25$.

3. $d_{60} < 0.075$ mm. $d_{10} < 0.025$ mm. $U = 0.25$.

4. $d_{60} < 0.075$ mm. $d_{10} < 0.025$ mm. $U = 0.25$.



GRAIN SIZE DISTRIBUTION CURVE

SCALE:

NO. KB

NAME:

DATE:

NO. KB

NAME:

DATE:

NO. KB

NAME:

LEIR

MJELE

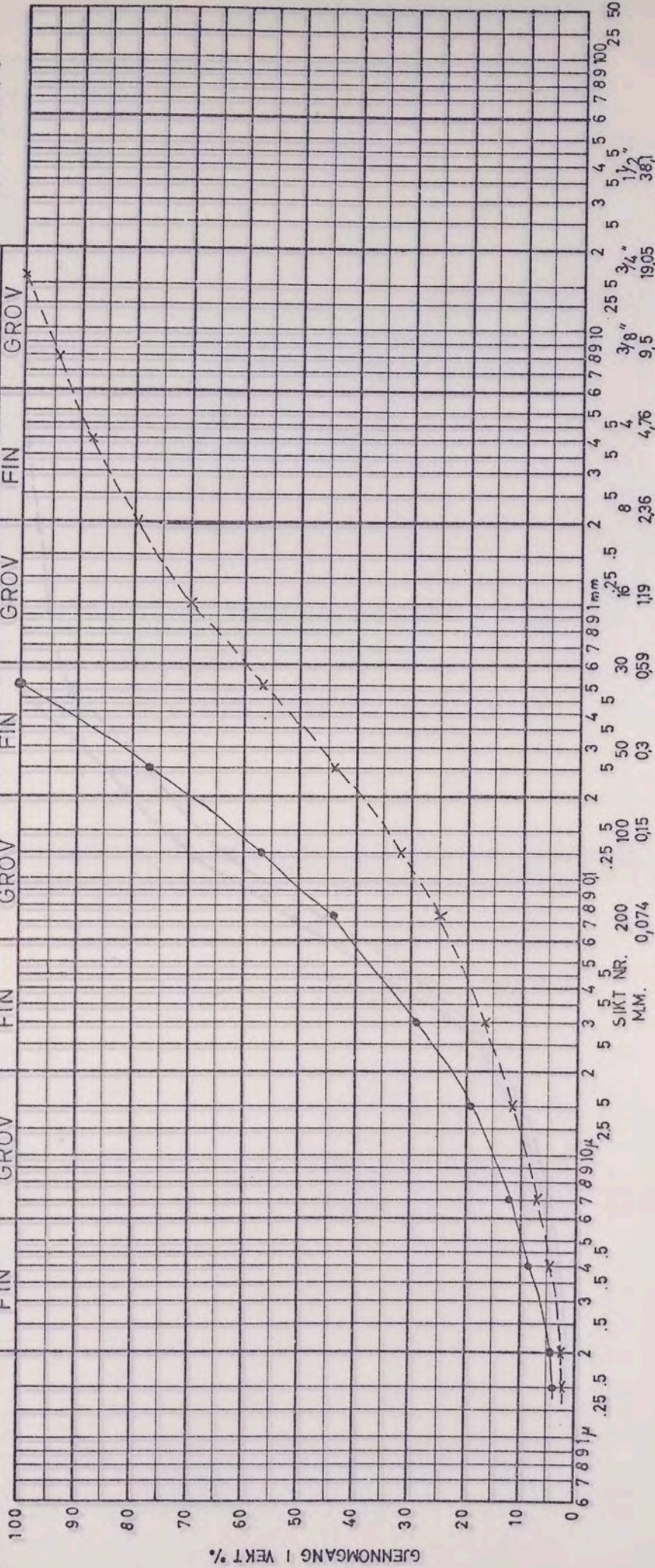
MO

SAND

GRUS

STEIN

ATTEBERG



PRÖVE BETEGNELSE

Follo renseanlegg pel 435 (16)

labprøve 4,7% < 2µm, 22% < 20µm,

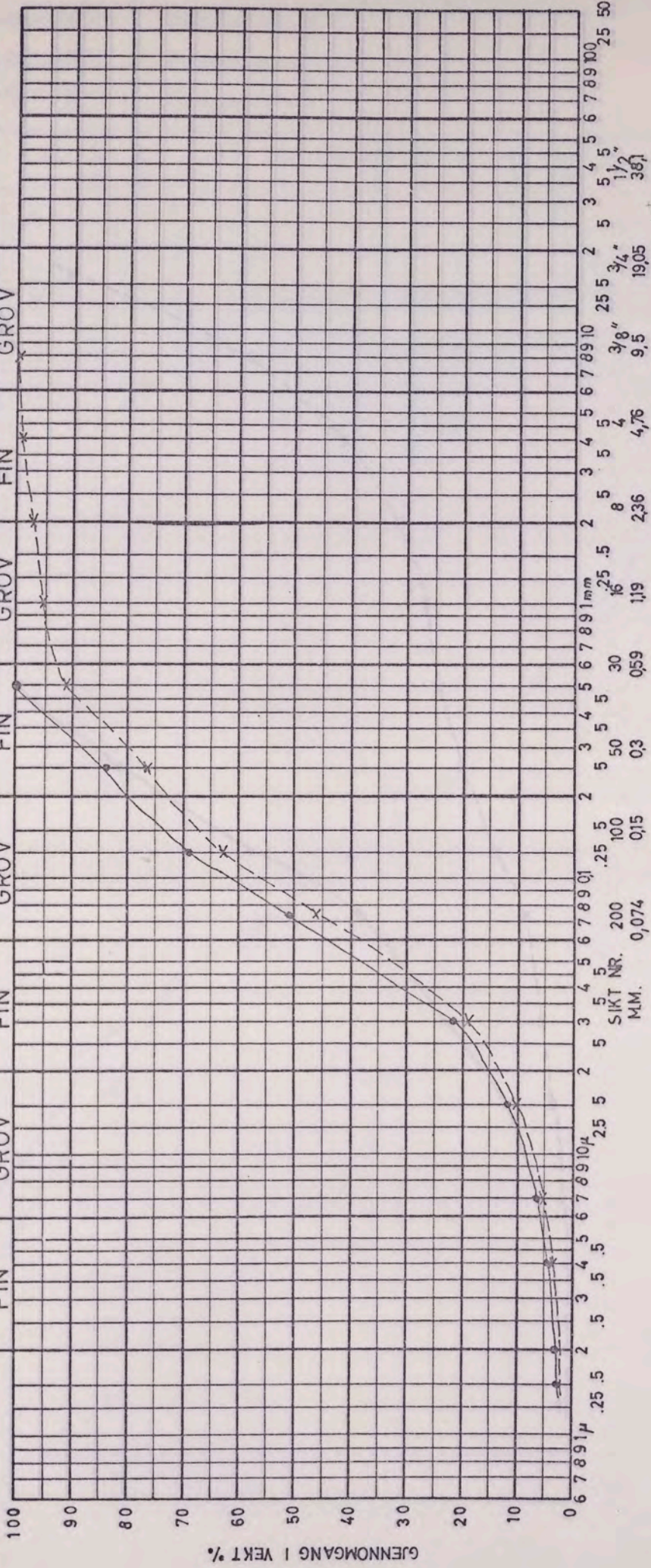
total prøve 57% < 0,5mm, 2,7% < 2µm, Md=0,35mm, So=1,29

NAVN: _____

KR _____

DATE: _____

LEIR			SILT			SAND			GRUS		
FIN	MIDDELS	GROV	FIN	MIDDELS	GROV	FIN	MIDDELS	GROV	FIN	MIDDELS	GROV
MJELE			MO			SAND			GRUS		
FIN	GROV		FIN	GROV		FIN	GROV		FIN	GROV	
									STEIN		



BETEGNELSE

Sundsbar kraftanlegg, Sökestoll Svart (17)

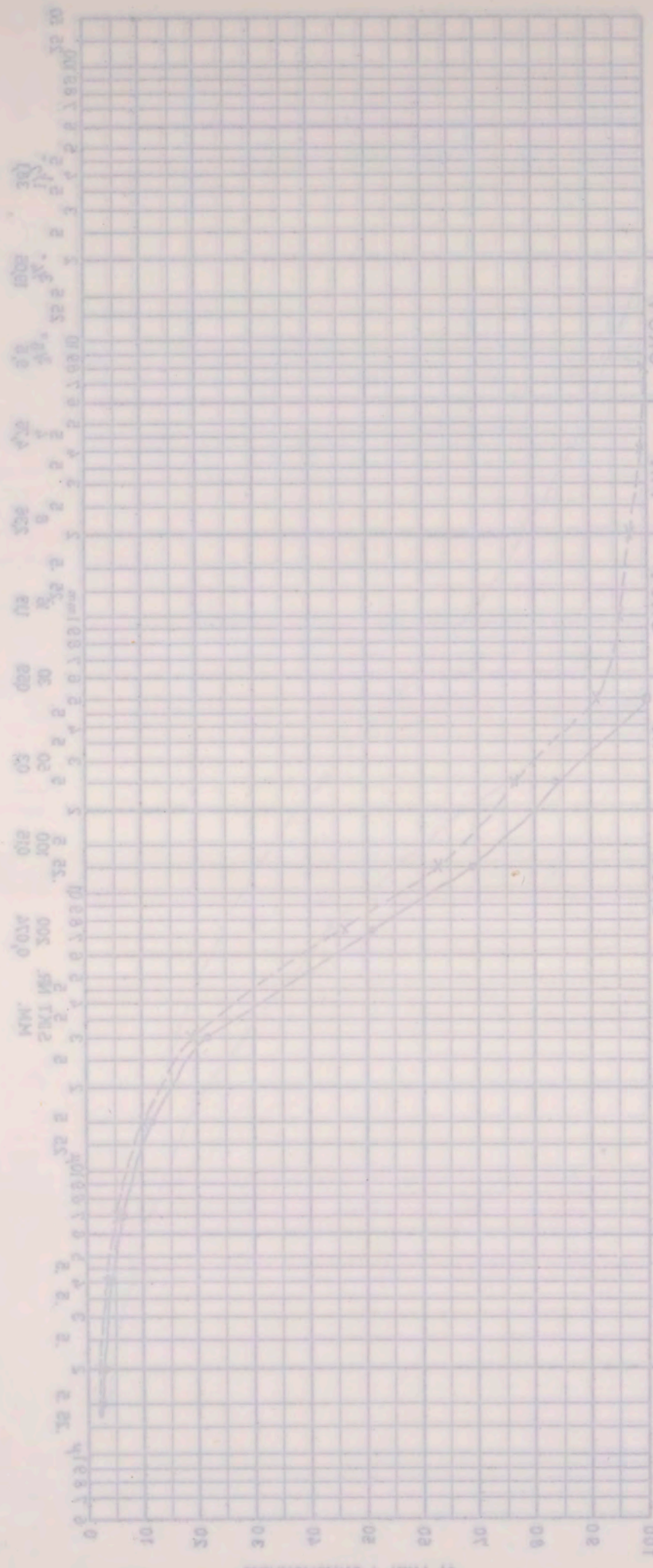
labpröve 2,5% < 2µm, 15% < 20µm,

total pröve 91% < 0,5mm, 2,3% < 2µm, Md=0,085mm, So=0,78

NAVN: _____

KRR _____

DATE: _____



ΣΤΕΙΝΟΥ	ΕΛΑΣΤΙΚΟΤΗΤΑ
10	15
20	30
30	50
40	70
50	85
60	95
70	100
80	100
90	100
100	100

(ΓΓ) ΤΡΑΧΕΛΙΑΣ ΤΕΤΡΑΕΔΡΟΥ ΜΕΤΑΣΤΑΣΙΝΟΝ

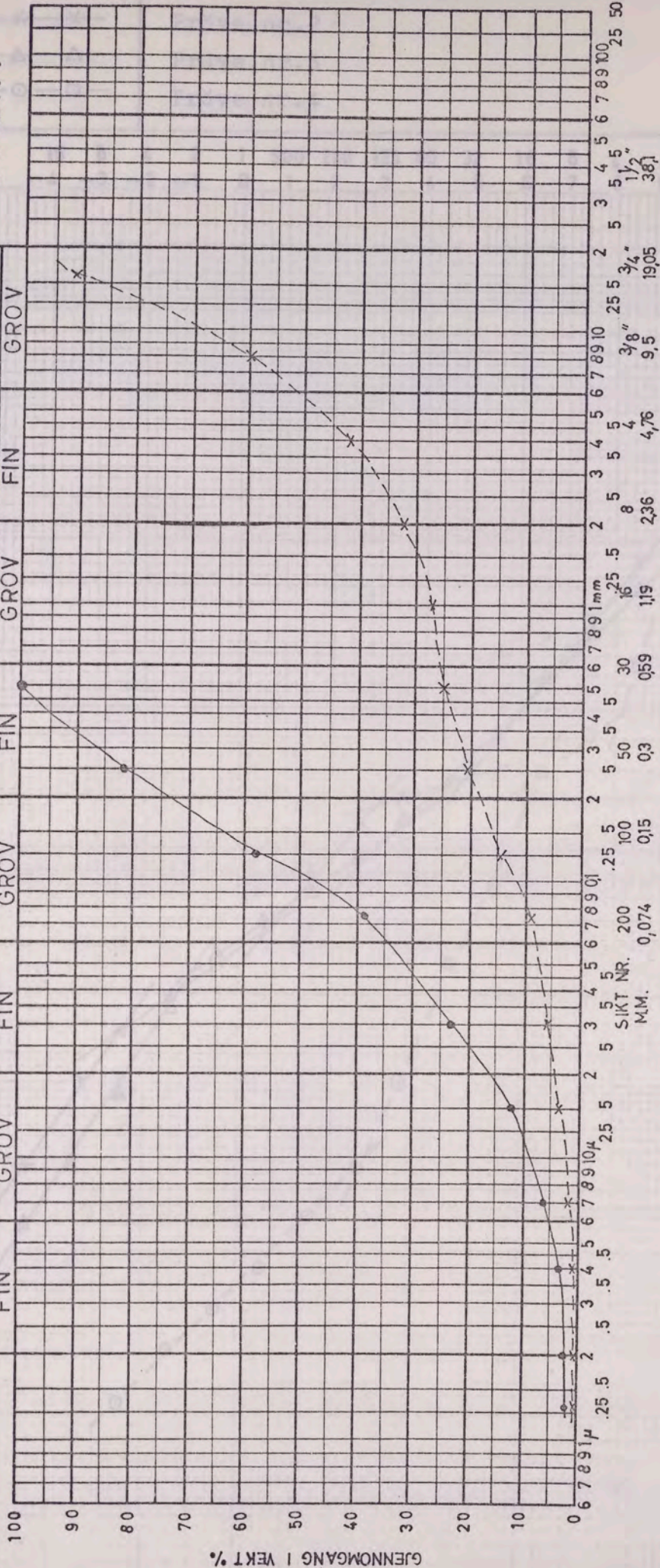
ΠΡΟΣΤΑΣΗ ΣΤΕΙΝΟΥ: 10, 20, 30, 40, 50, 60, 70, 80, 90, 100

ΕΛΑΣΤΙΚΟΤΗΤΑ (%)

ΗΜΕΡΑ: ΚΑΡΔΙΑ

ΩΡΑ: 10:00

ΔΙΑΤΙΘΕΤΑΙ: ΚΑΡΔΙΑ



P R Ö V E	BETEGNELSE
---	Rana anleggene, Bjerka tillöp pel 3510 (18)
---	labpröve 2% < 2μm, 16% < 20μm,
---	total prøve 25% < 0,5mm, 0,5% < 2μm, Md=6mm, So=1,37.

— x — x — x —

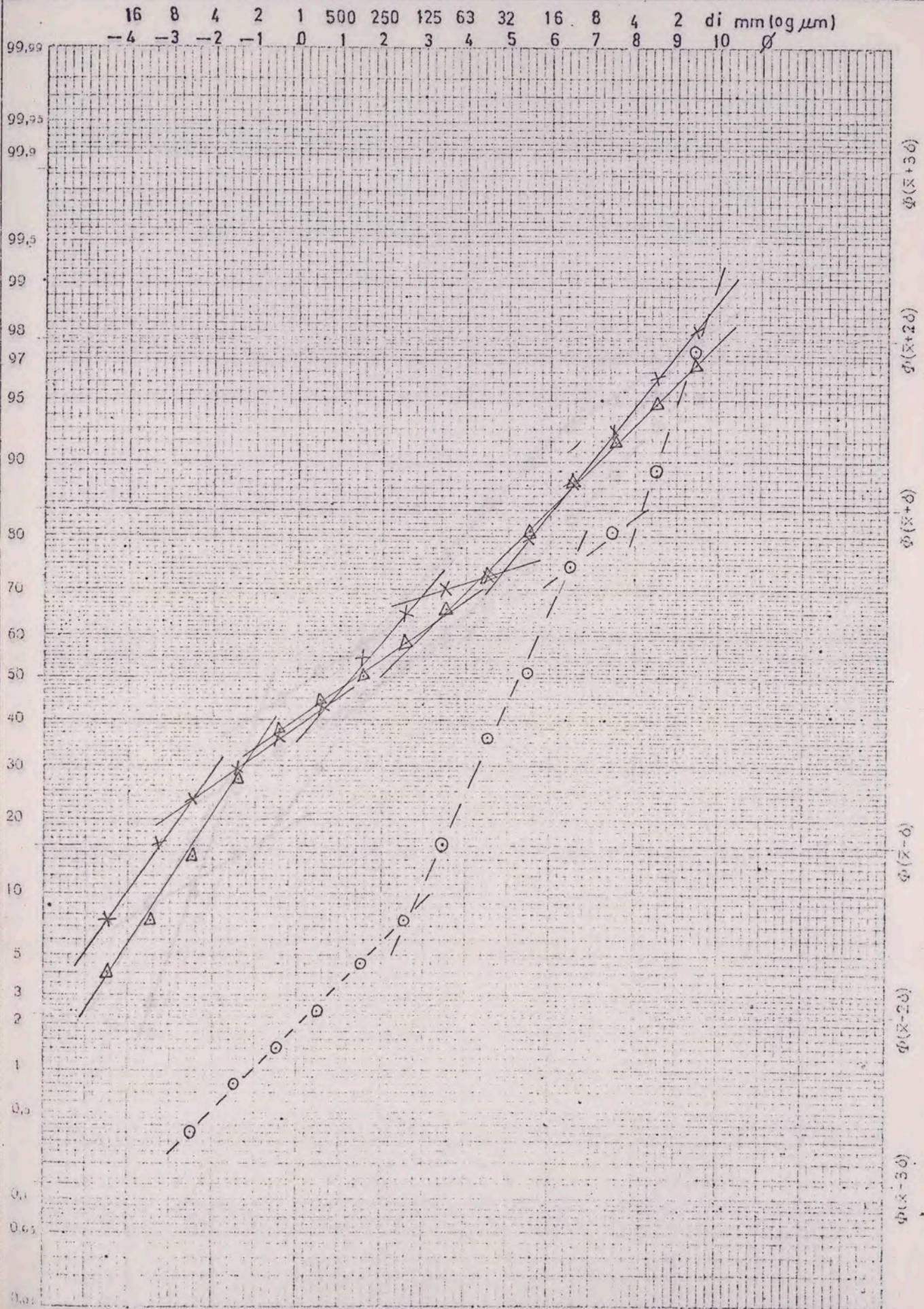
Pröve nr.2

— Δ — Δ — Δ —

Pröve nr.3

— ○ — ○ — ○ —

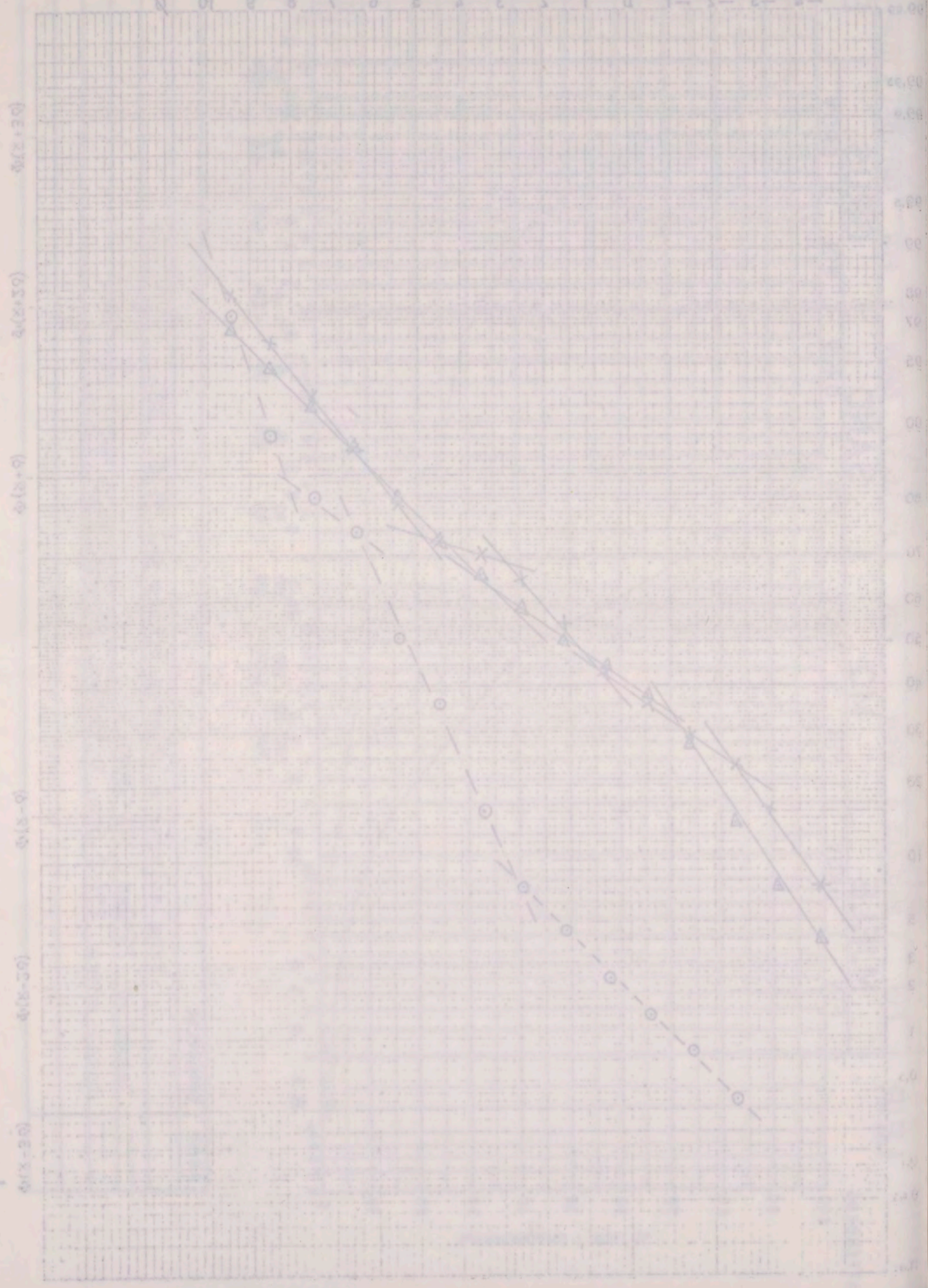
Pröve nr.4



Probe nr. 2
 Probe nr. 3
 Probe nr. 4

x
 Δ
 ○

18 8 4 2 1 200 250 125 63 32 16 8 4 2 10 5 di mm (log km)



— x — x — x —

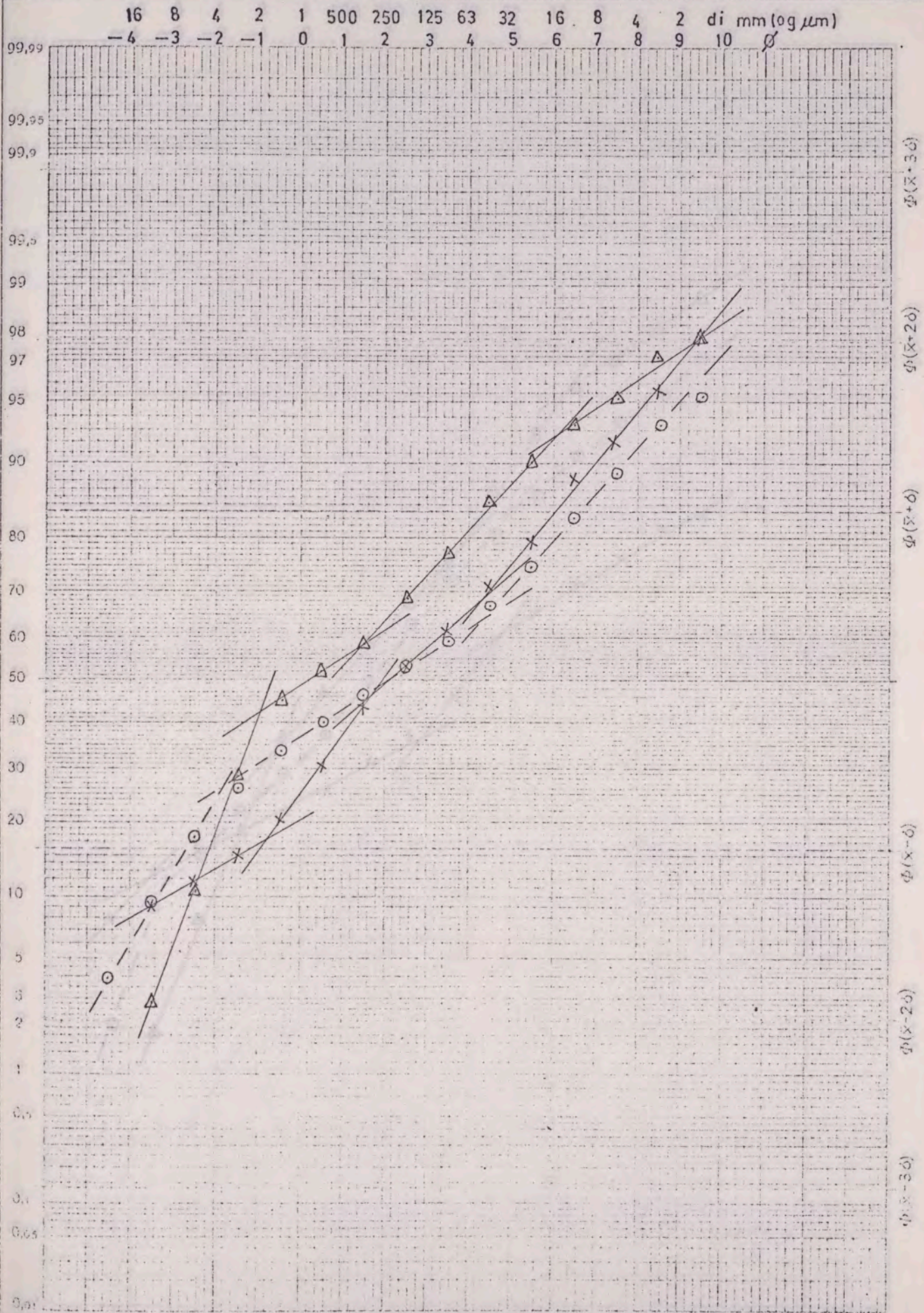
Pröve nr. 5

— Δ — Δ — Δ —

Pröve nr. 6

— ○ — ○ — ○ —

Pröve nr. 7



$\Phi(\bar{x}+3\delta)$

$\Phi(\bar{x}+2\delta)$

$\Phi(\bar{x}+\delta)$

$\Phi(\bar{x}-\delta)$

$\Phi(\bar{x}-2\delta)$

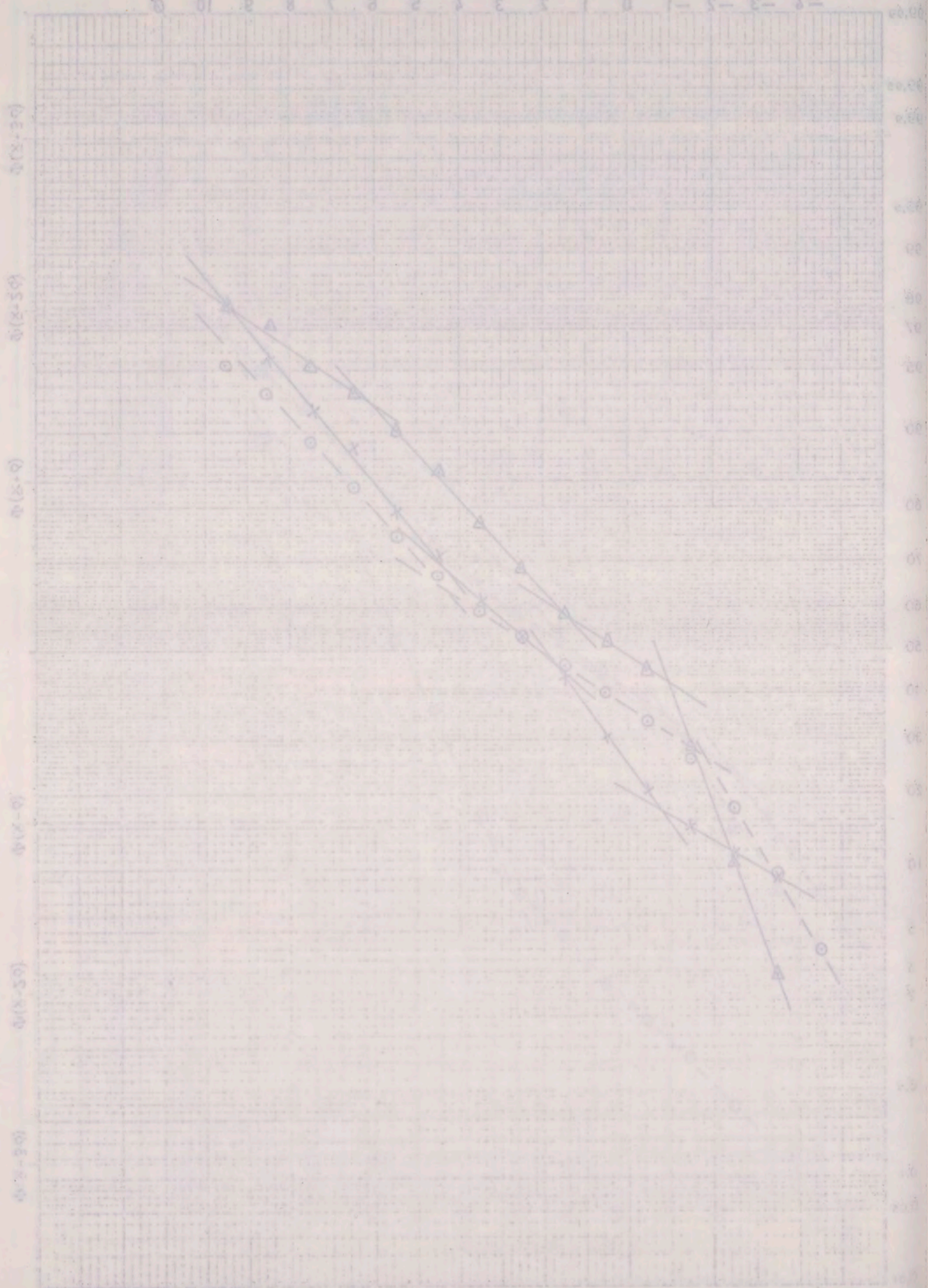
$\Phi(\bar{x}-3\delta)$

Pröve nr. 5
Pröve nr. 6
Pröve nr. 7

x
△
○

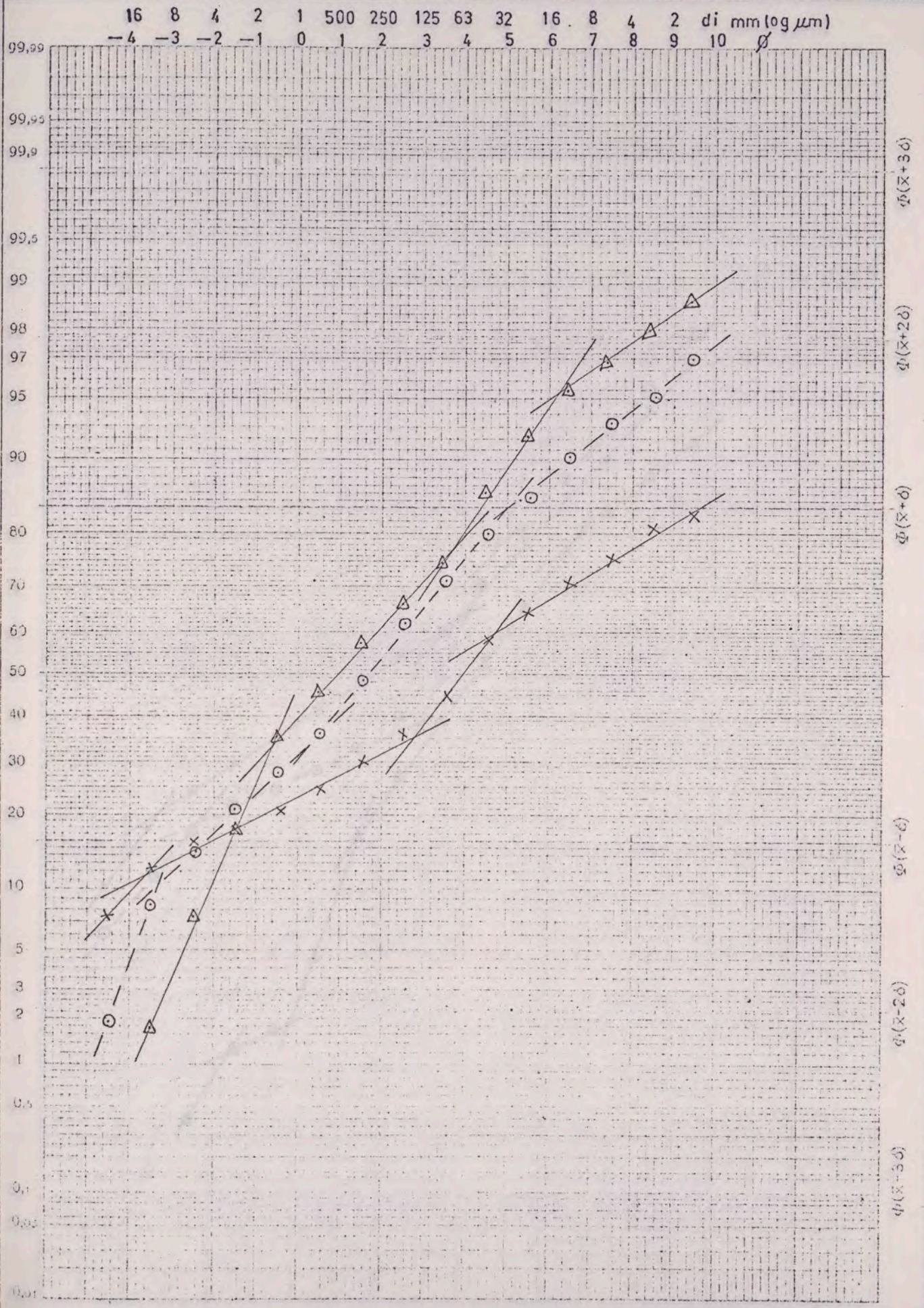
16 8 4 2 1 200 250 152 63 32 16 8 4 2 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10

(mm log mm)



- x x x
- △ △ △
- ○ ○

Pröve nr. 8
Pröve nr. 9
Pröve nr. 10



Pröve nr. 8

Pröve nr. 9

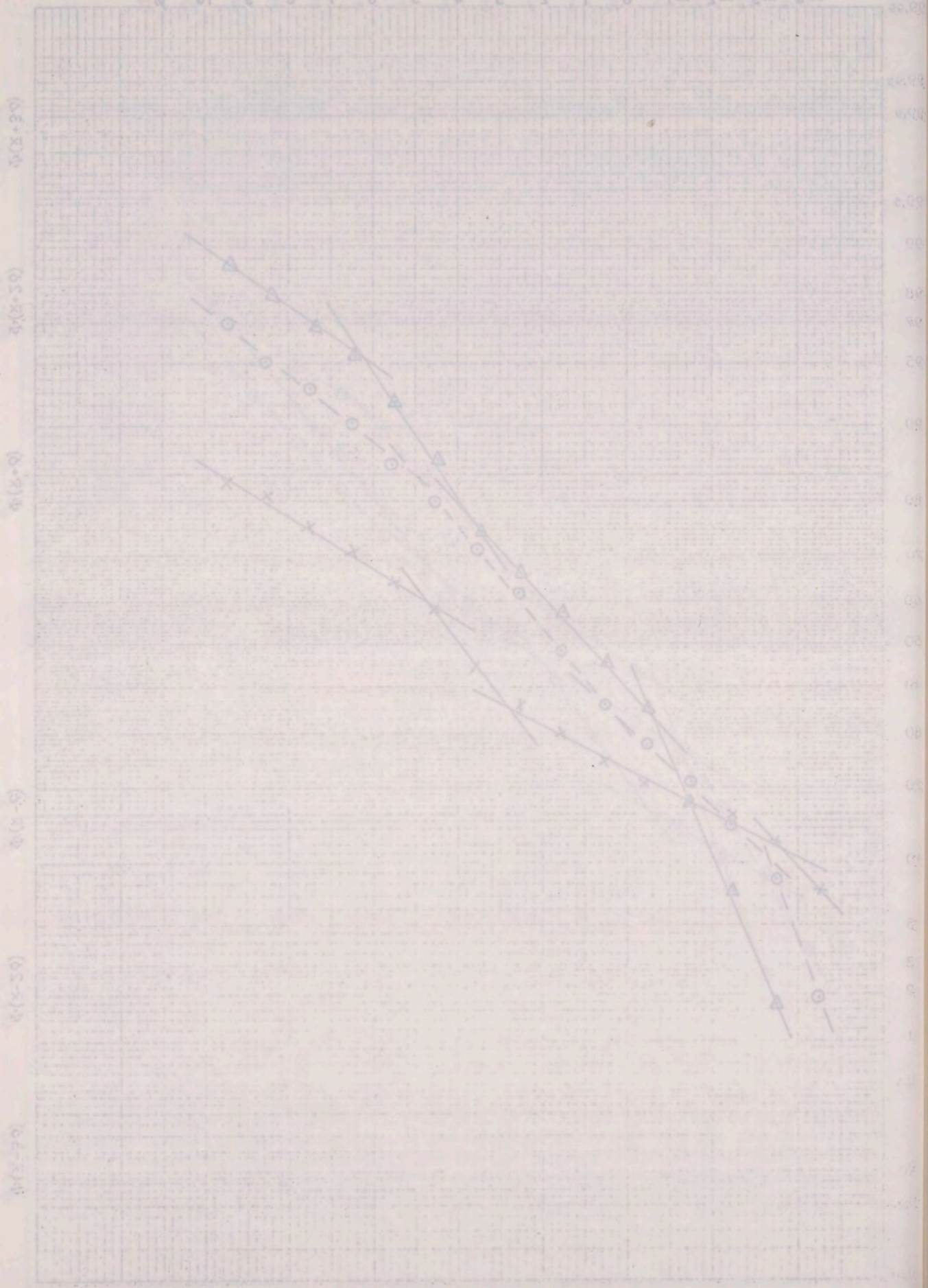
Pröve nr. 10

x-x-x

△-△-△

○-○-○

16 8 4 2 1 200 250 125 63 32 16 8 4 2 1 0 -1 -2 -3 -4

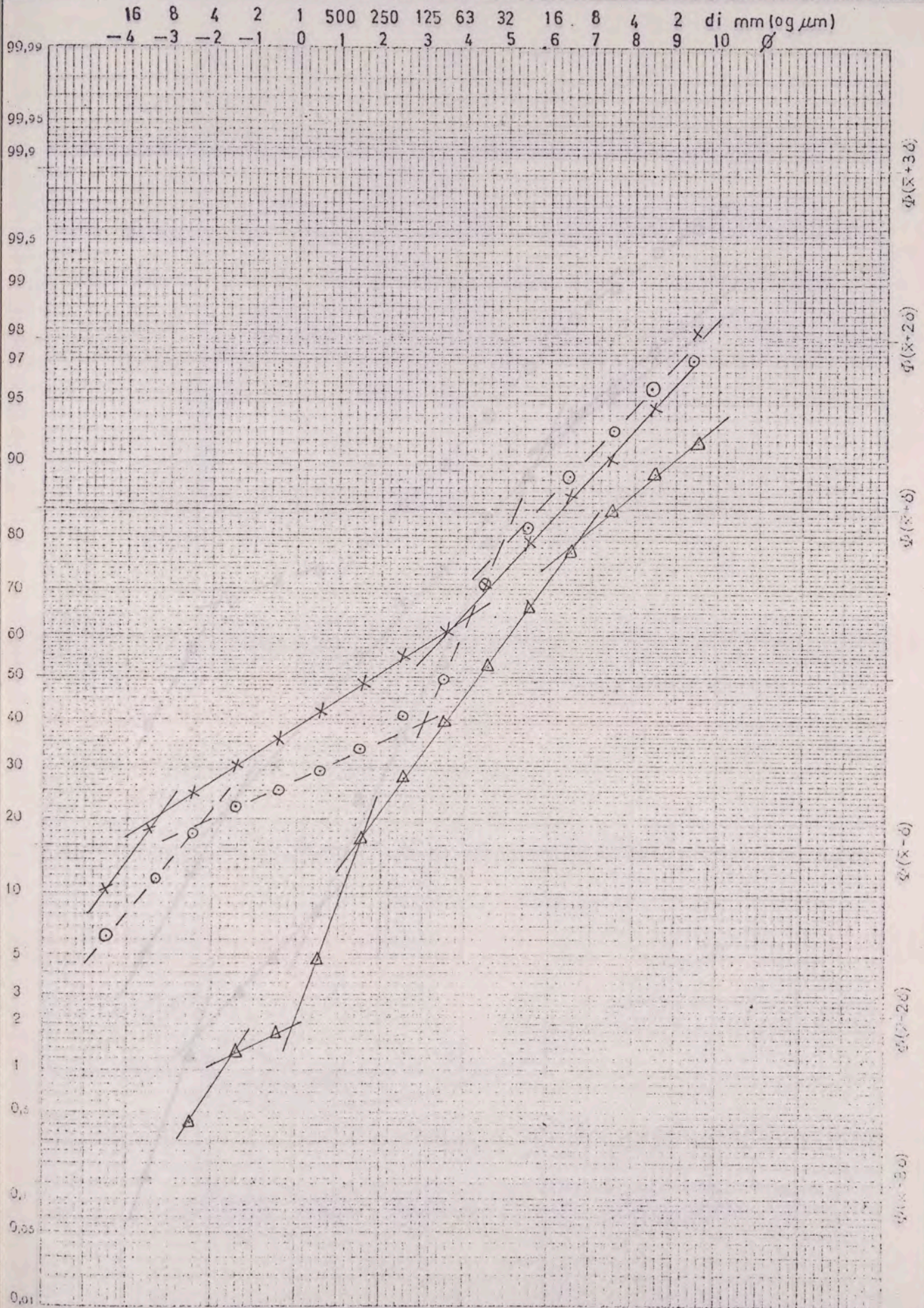


- x - x - x -
- Δ - Δ - Δ -
- ○ - ○ - ○ -

Pröve nr. 12

Pröve nr. 13

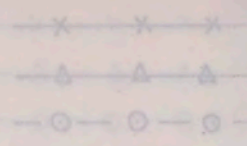
Pröve nr. 15



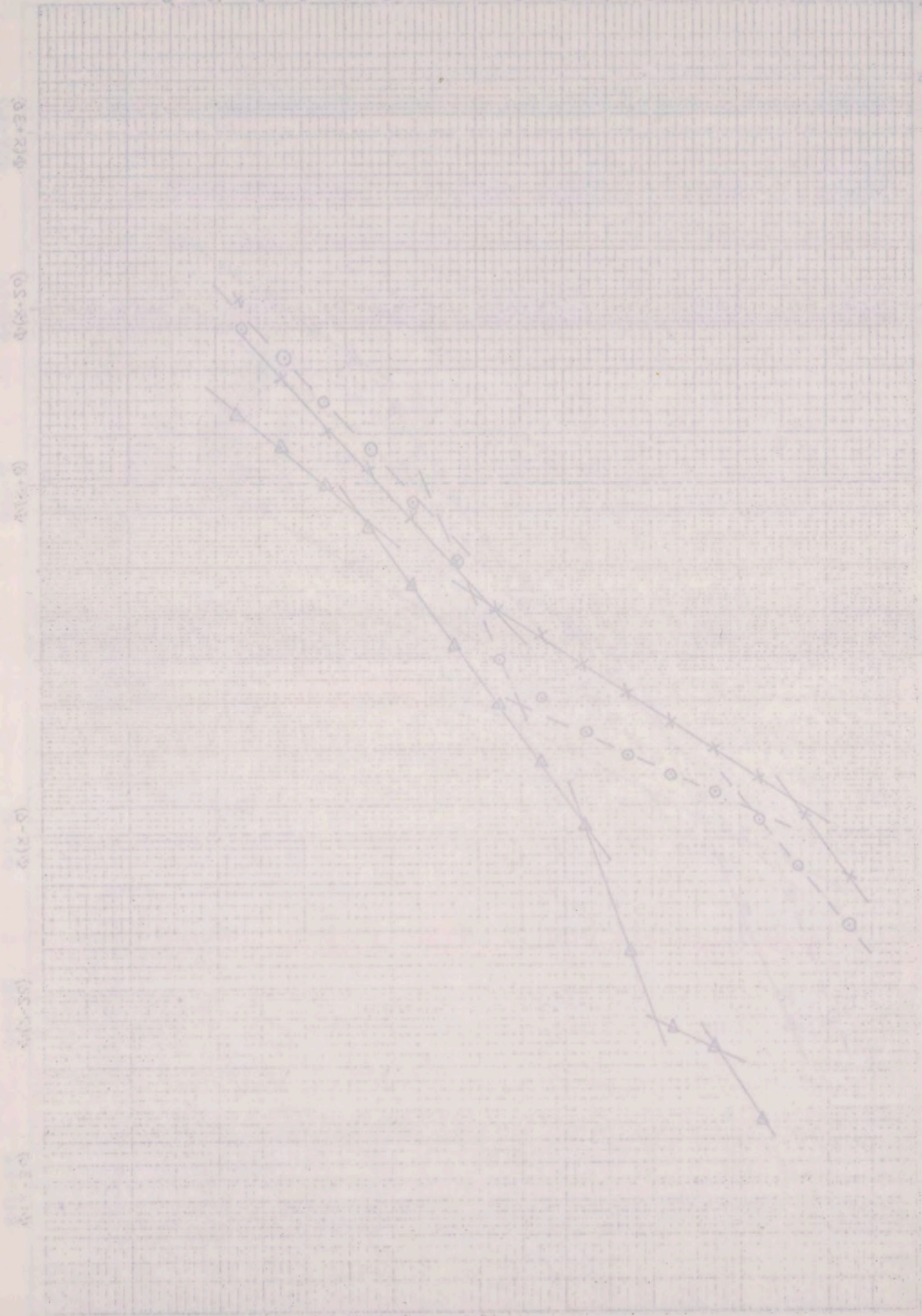
Pröve nr. 12

Pröve nr. 13

Pröve nr. 15



16 8 4 2 1 200 250 150 63 32 16 8 4 2 10 0
 -4 -3 -2 -1 0 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10



x x x

Pröve nr. 16

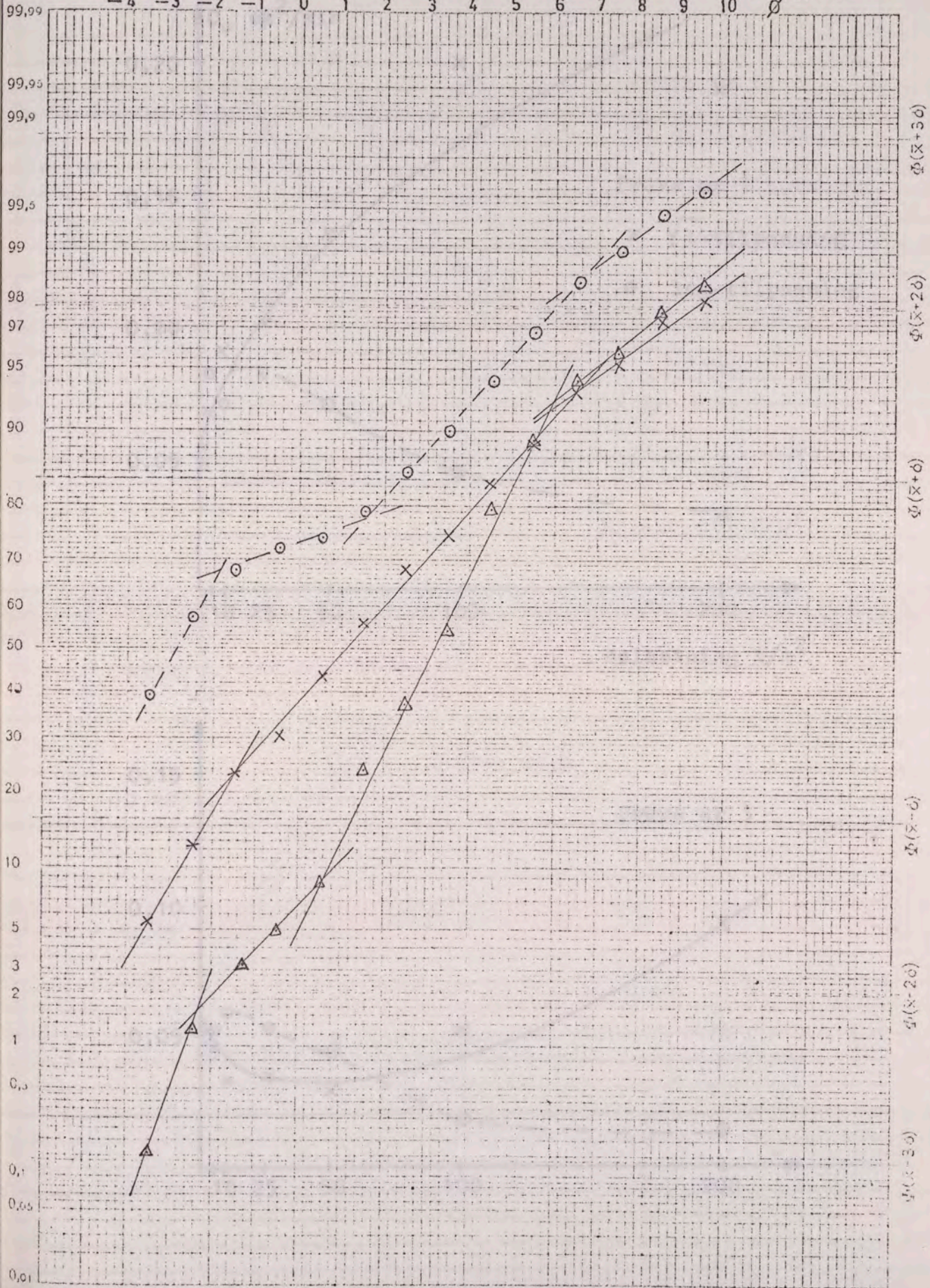
△ △ △

Pröve nr. 17

○ ○ ○

Pröve nr. 18

16 8 4 2 1 500 250 125 63 32 16 8 4 2 di mm (og μm)
 -4 -3 -2 -1 0 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 φ



Pröve nr. 16

Pröve nr. 17

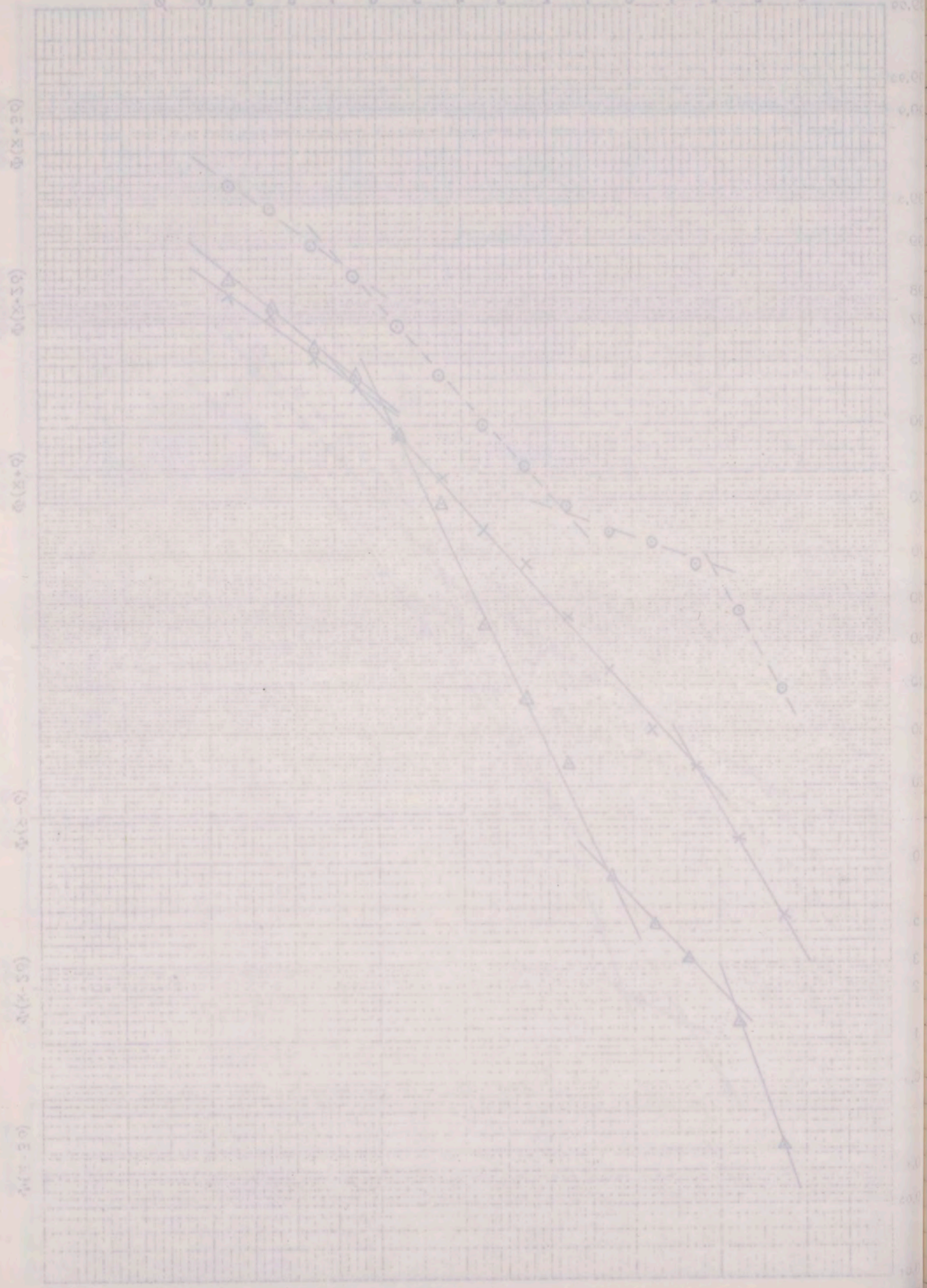
Pröve nr. 18

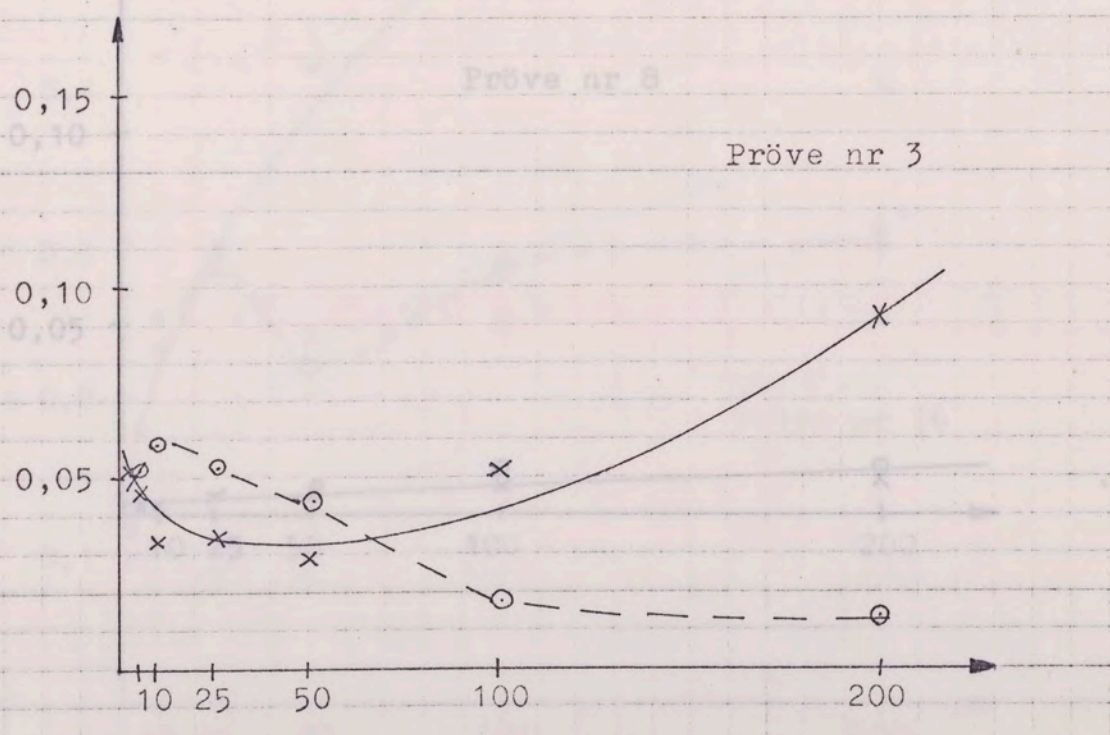
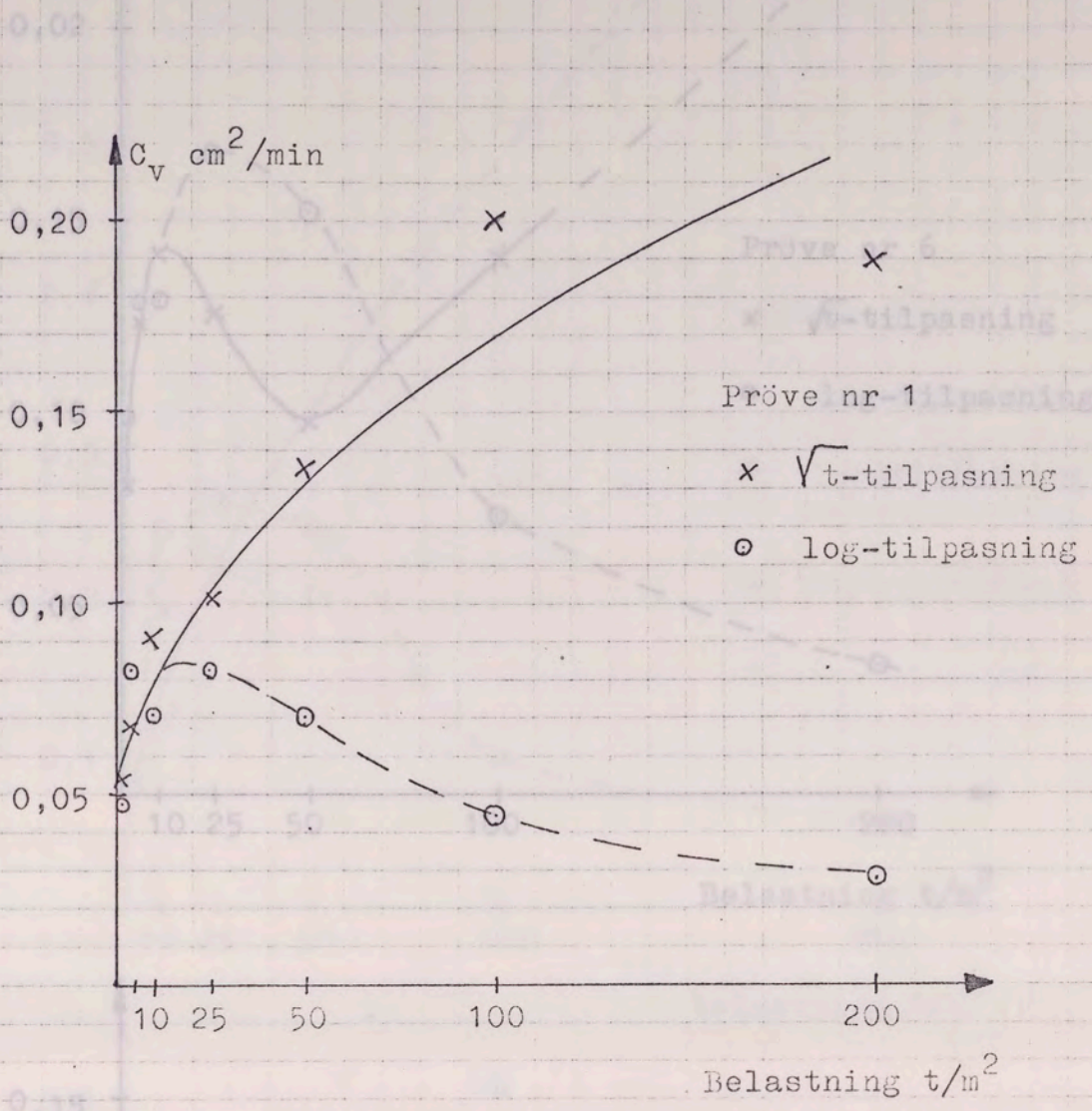
x x x

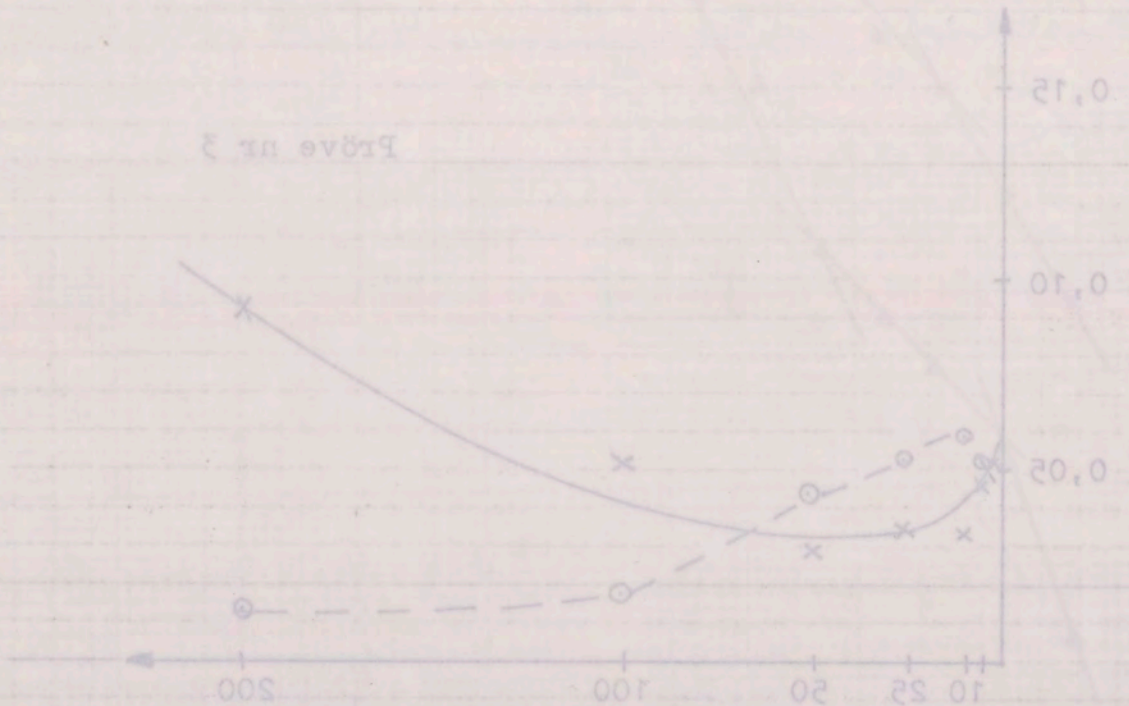
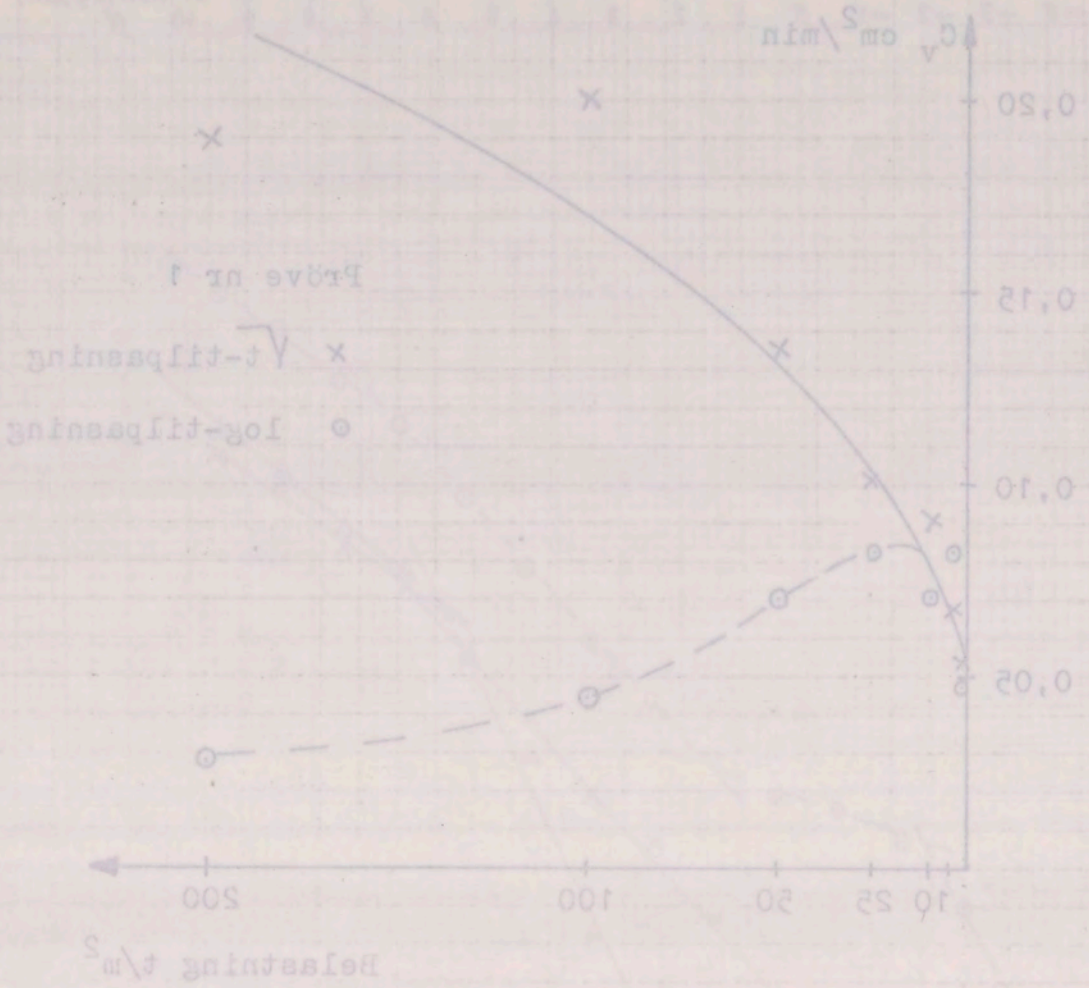
△ △ △

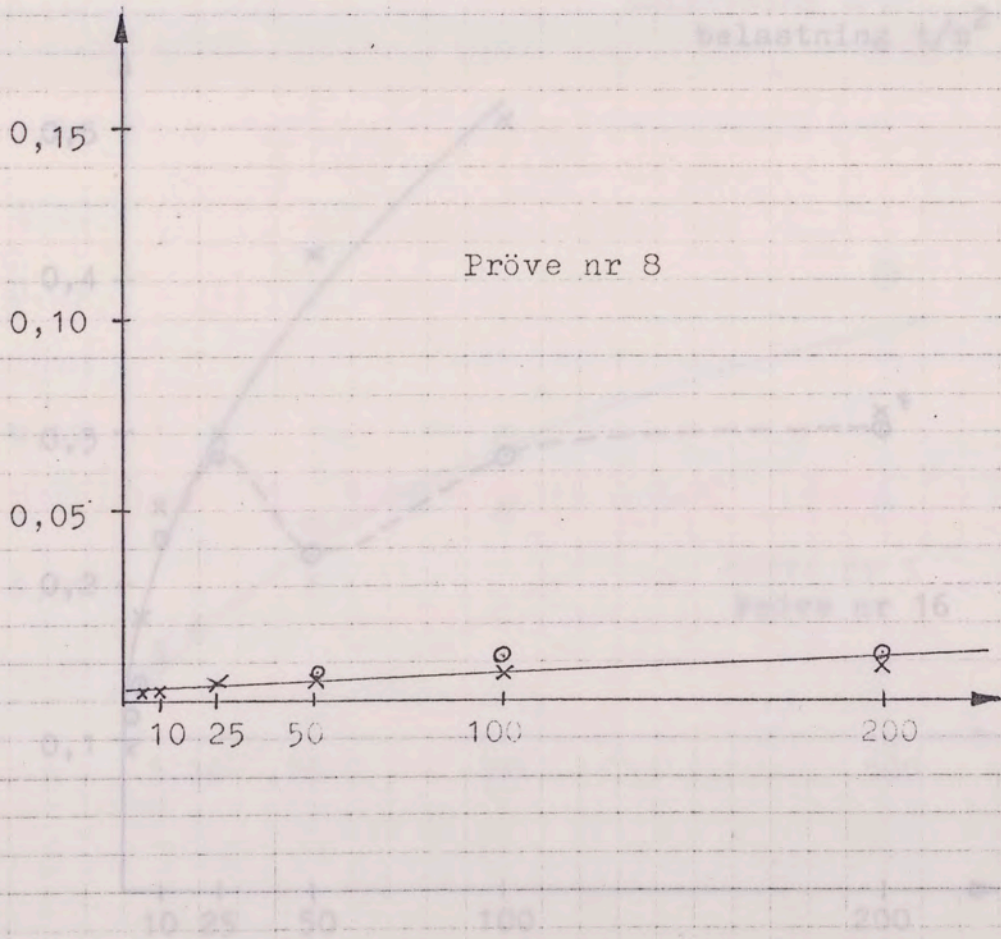
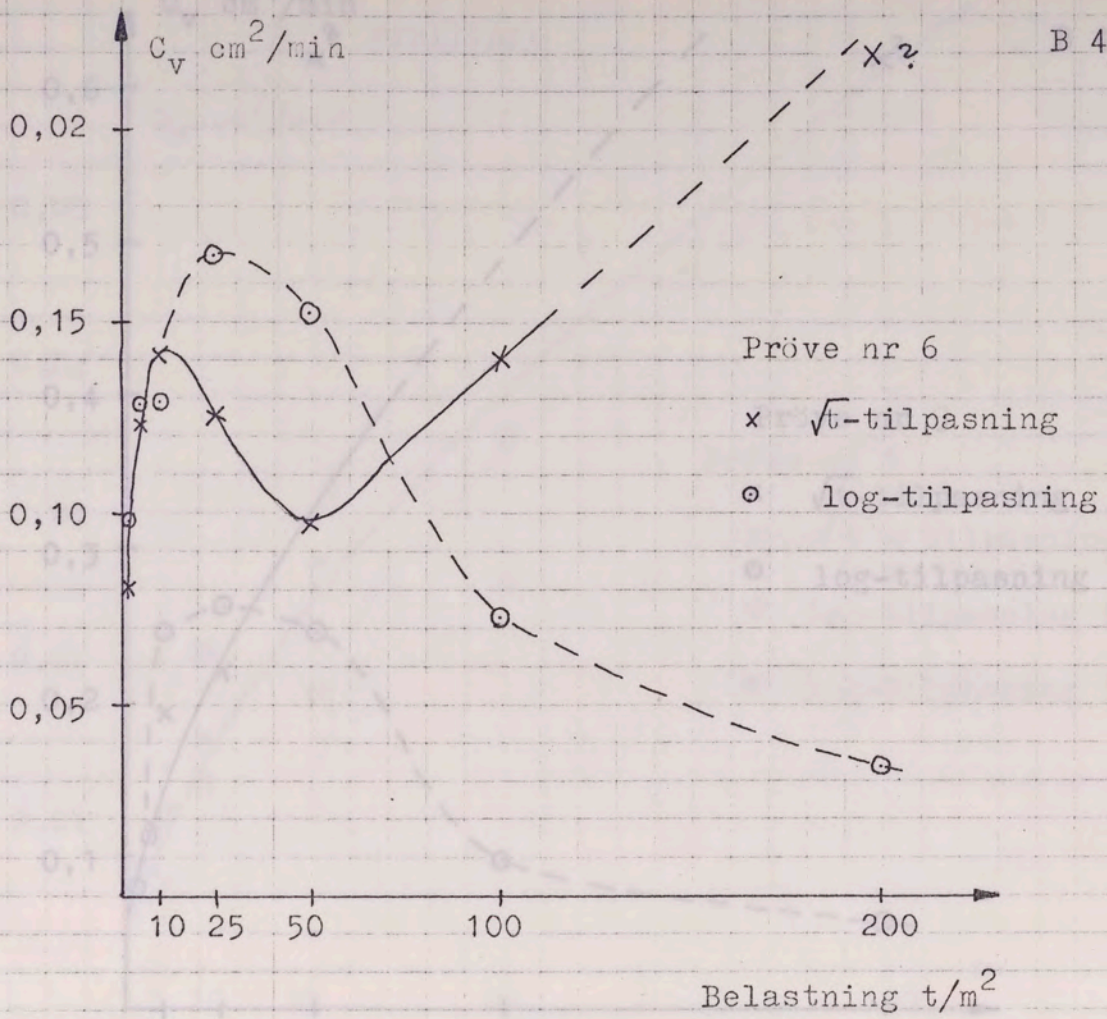
○ ○ ○

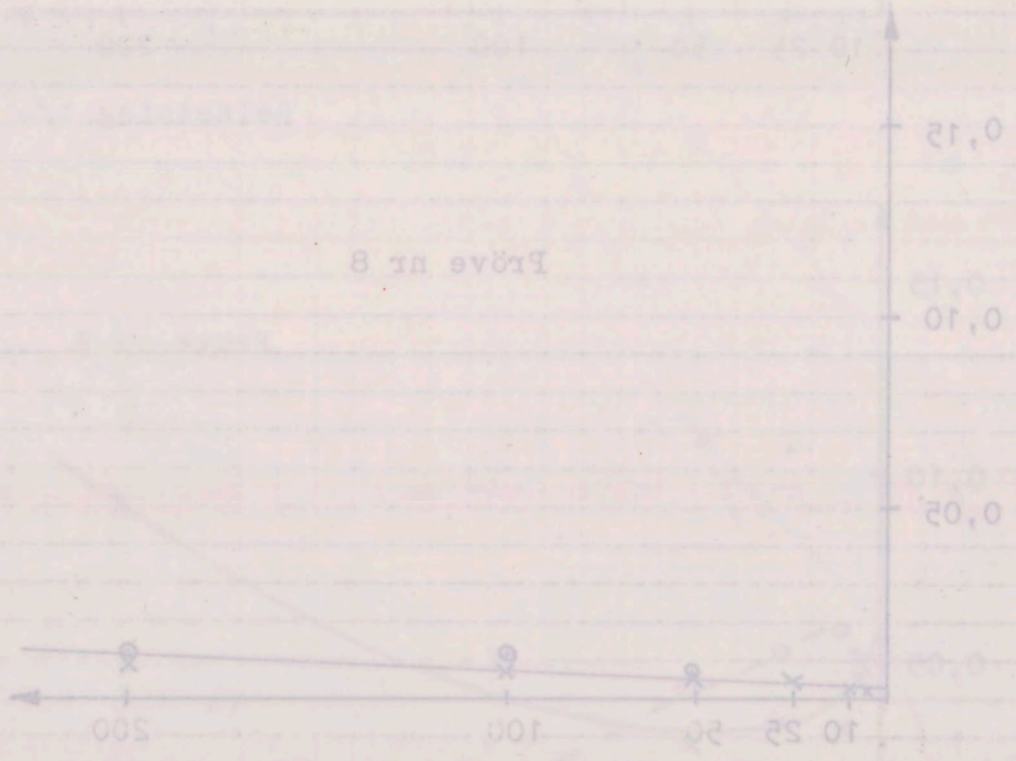
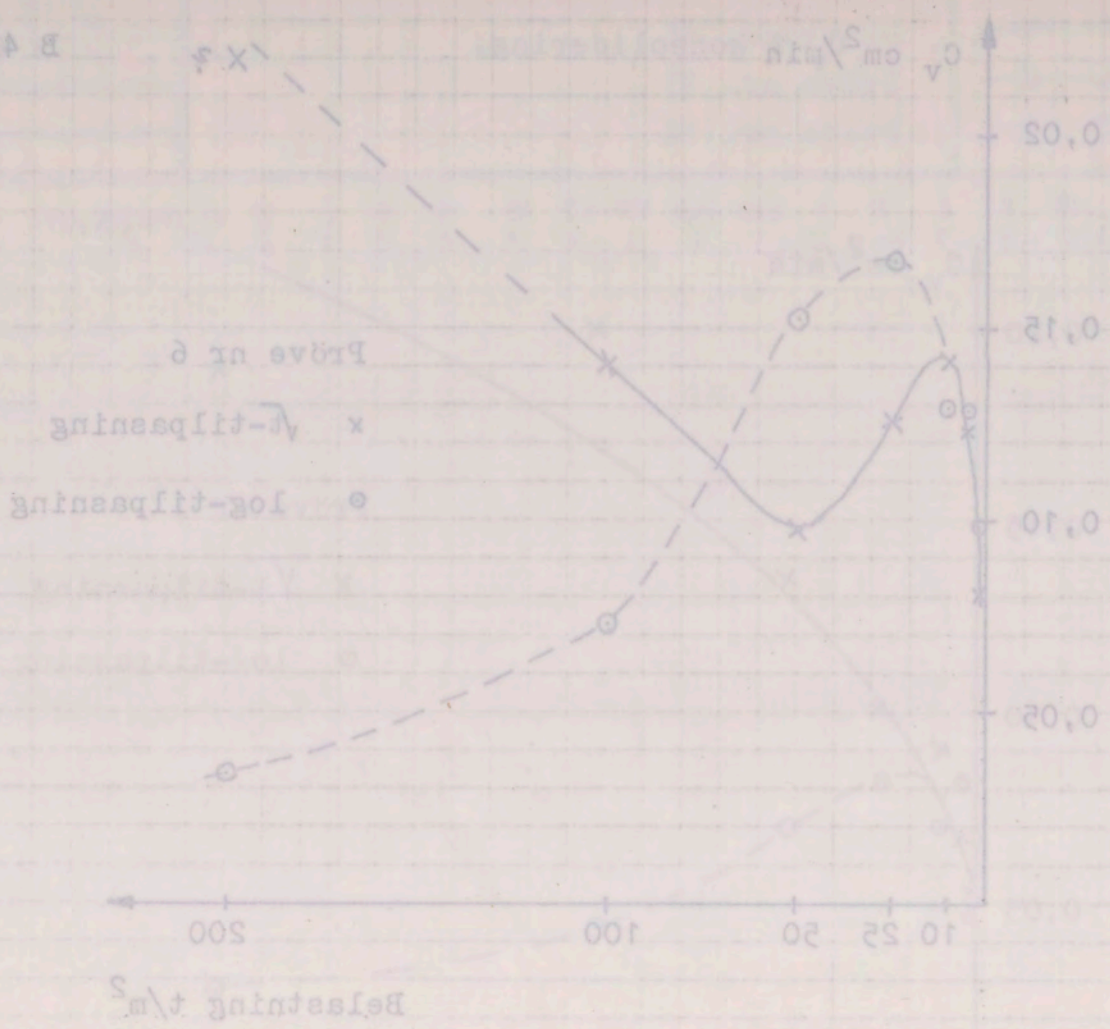
16 8 4 2 1 200 250 152 63 35 16 8 4 2 1 0 1 2 3 4 5 6 7 8 8 10 0
(di mm log mm)



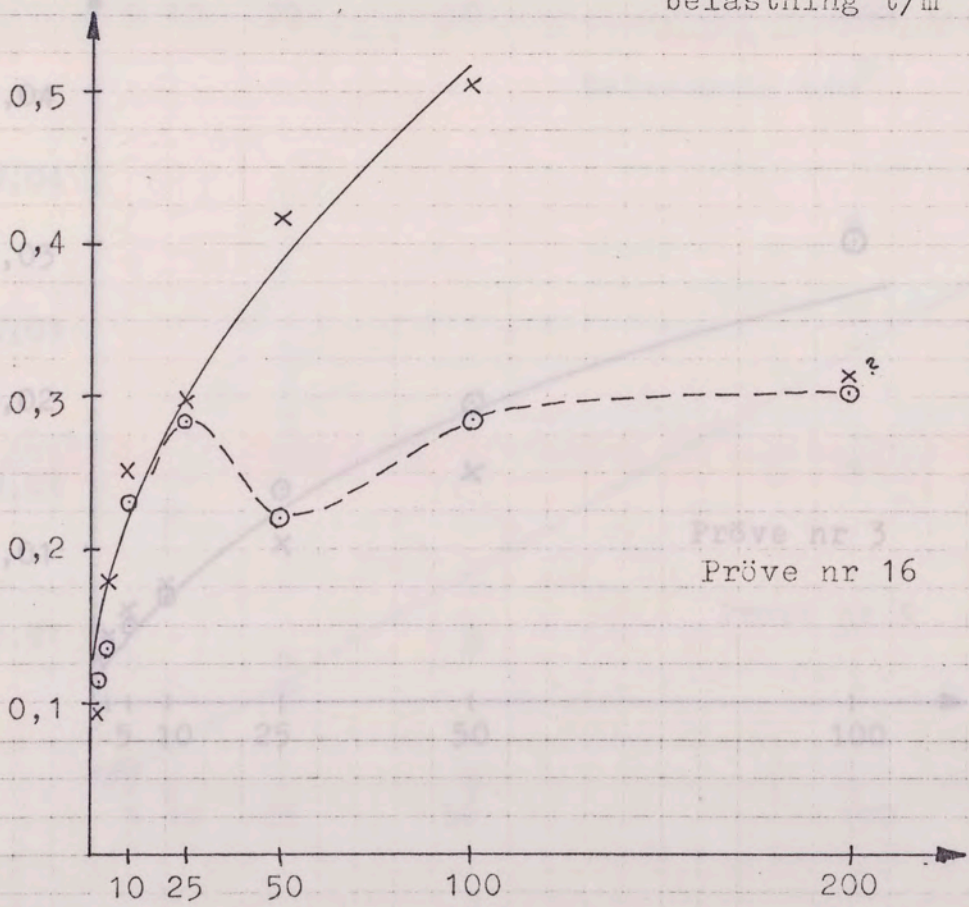
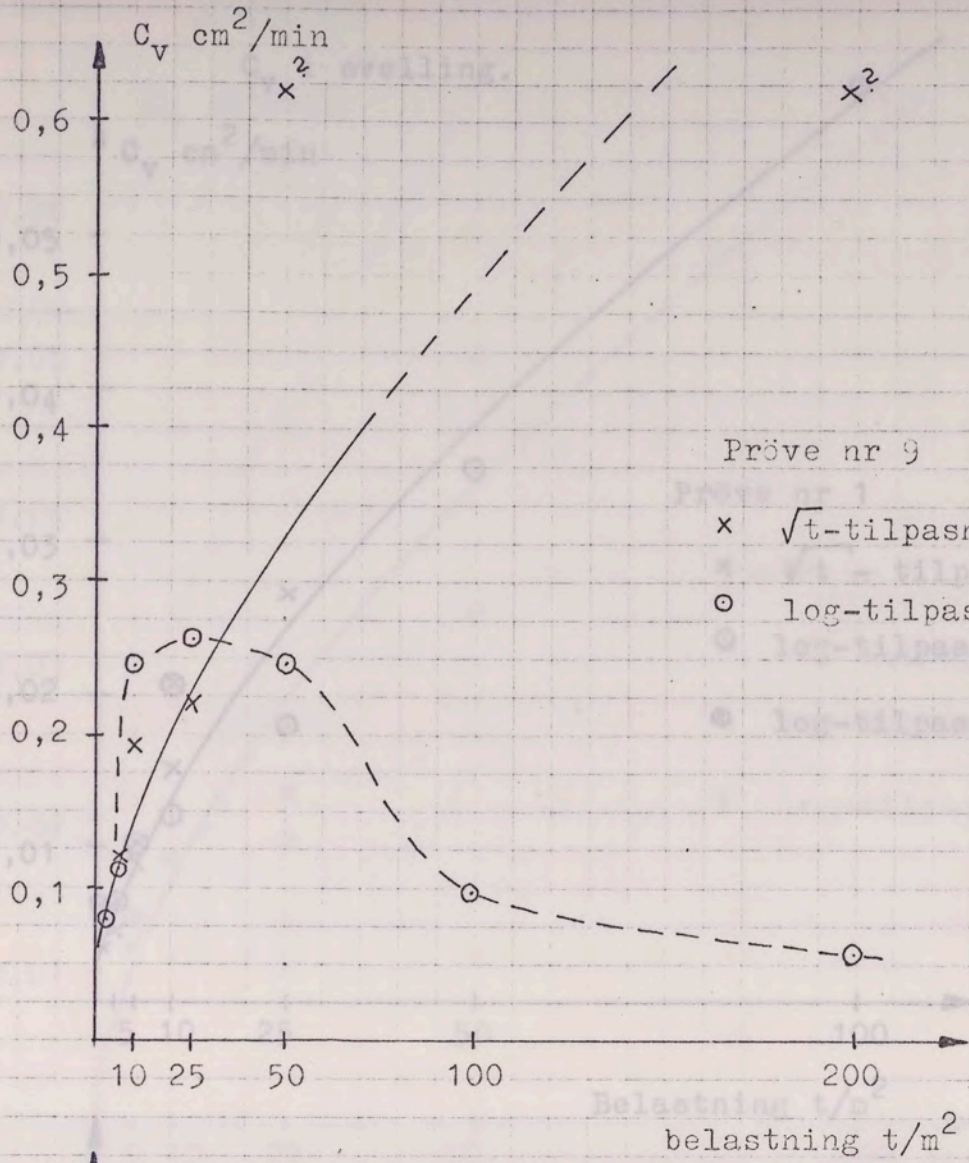


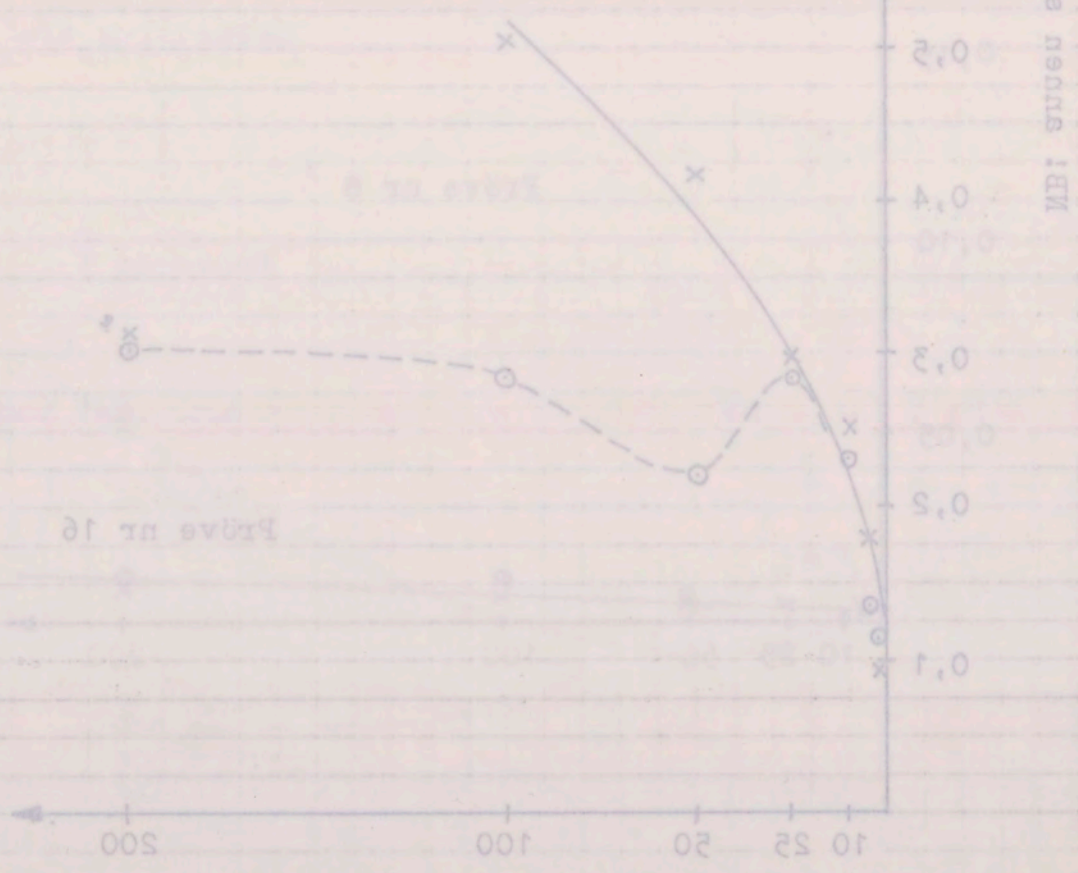
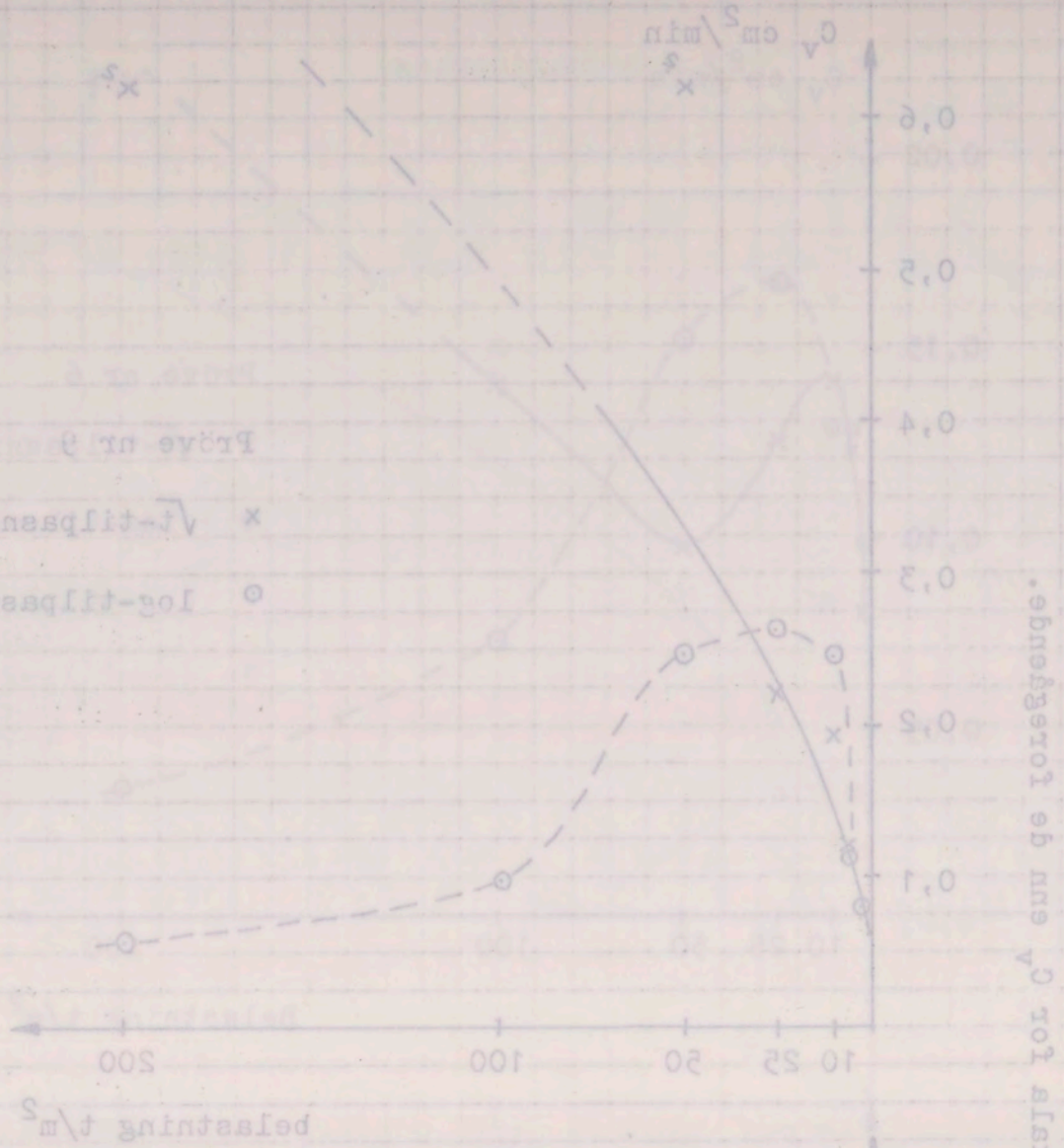




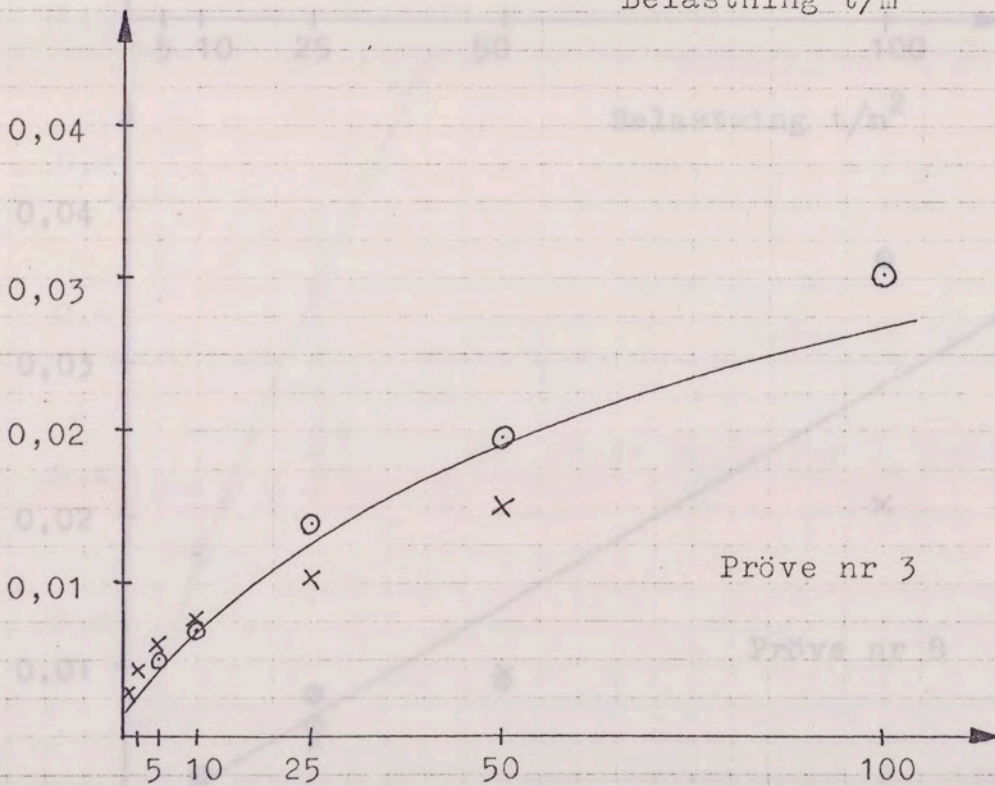
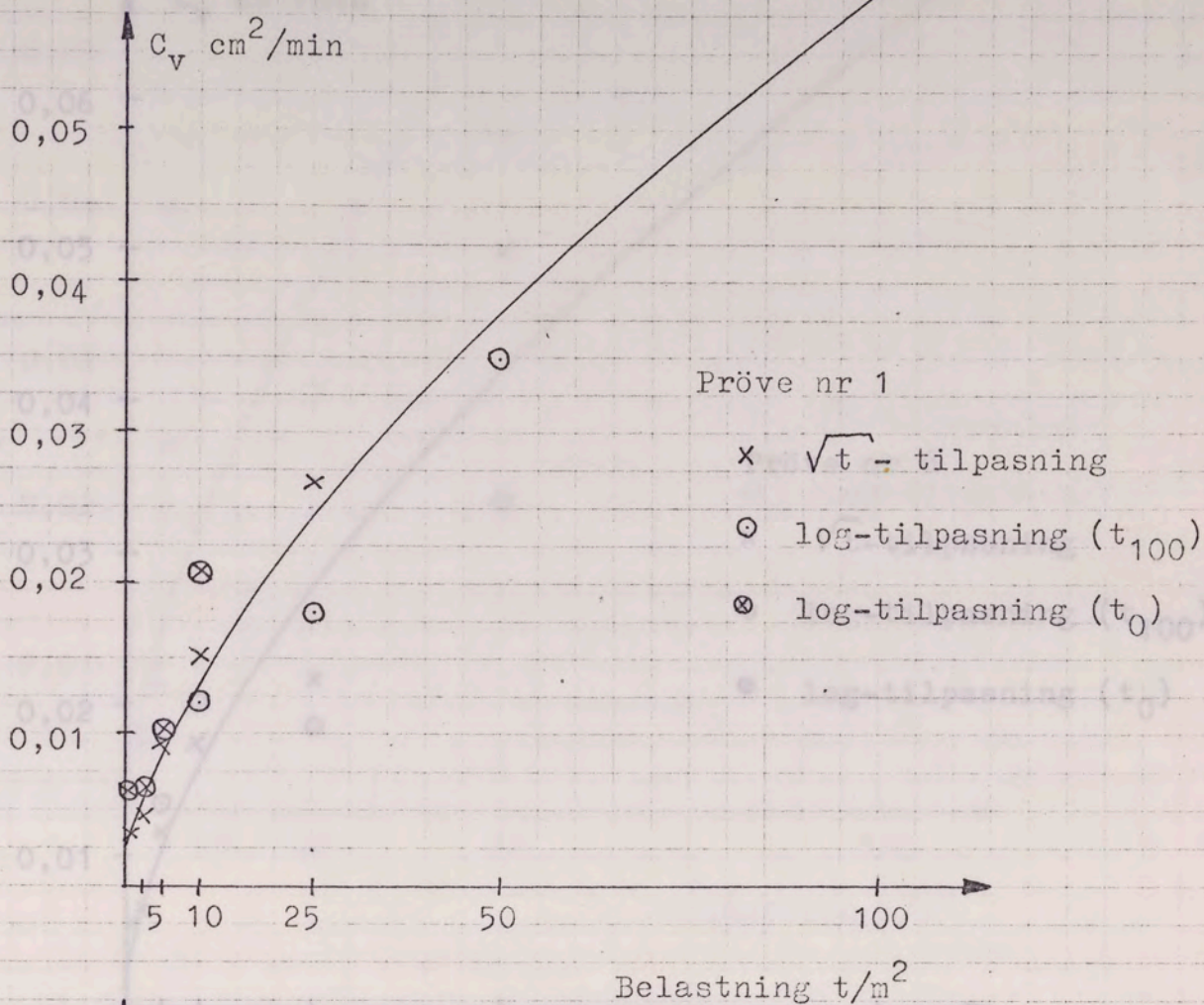


NB: annen skala for C_v enn de foregående.





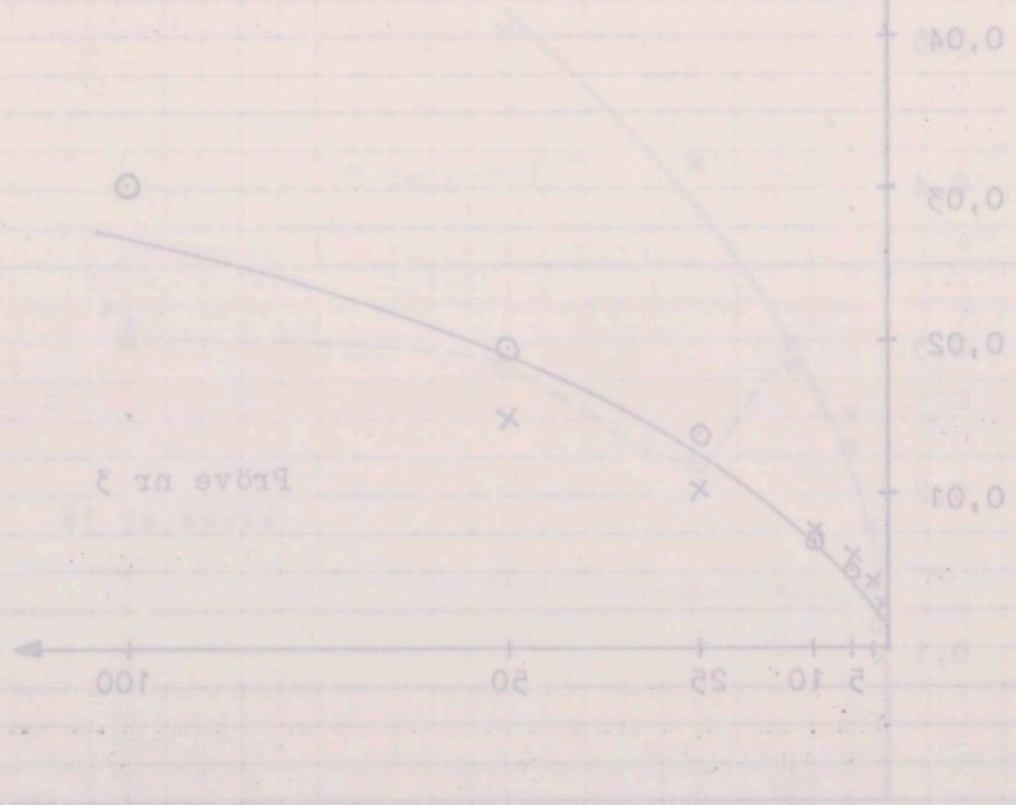
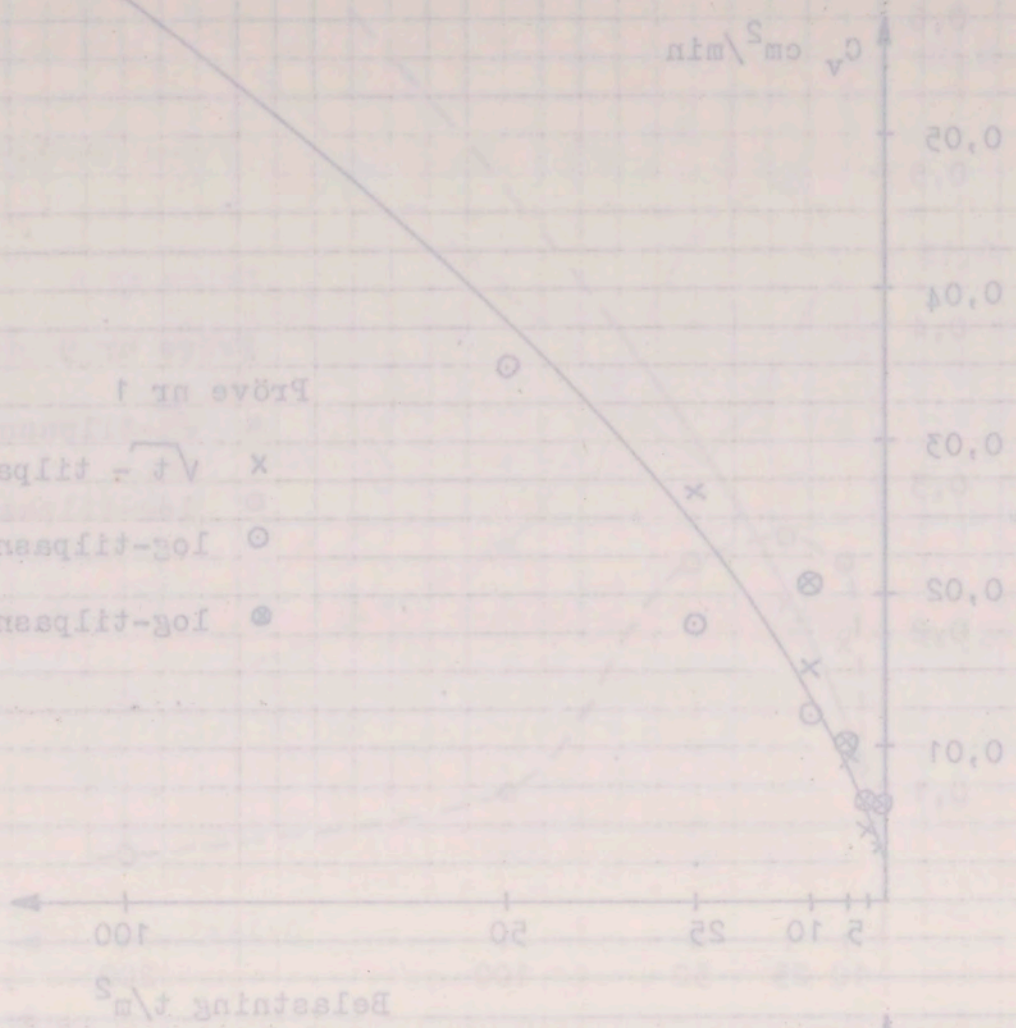
MB: unnen eyvur lot C un de torange.



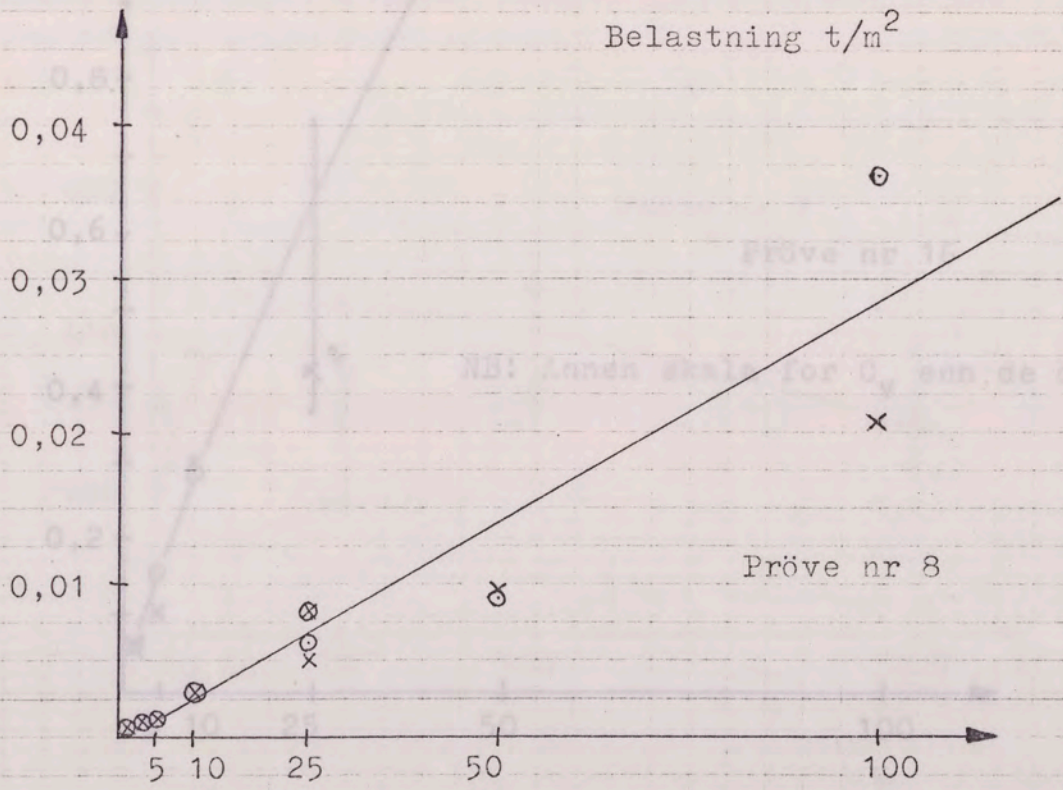
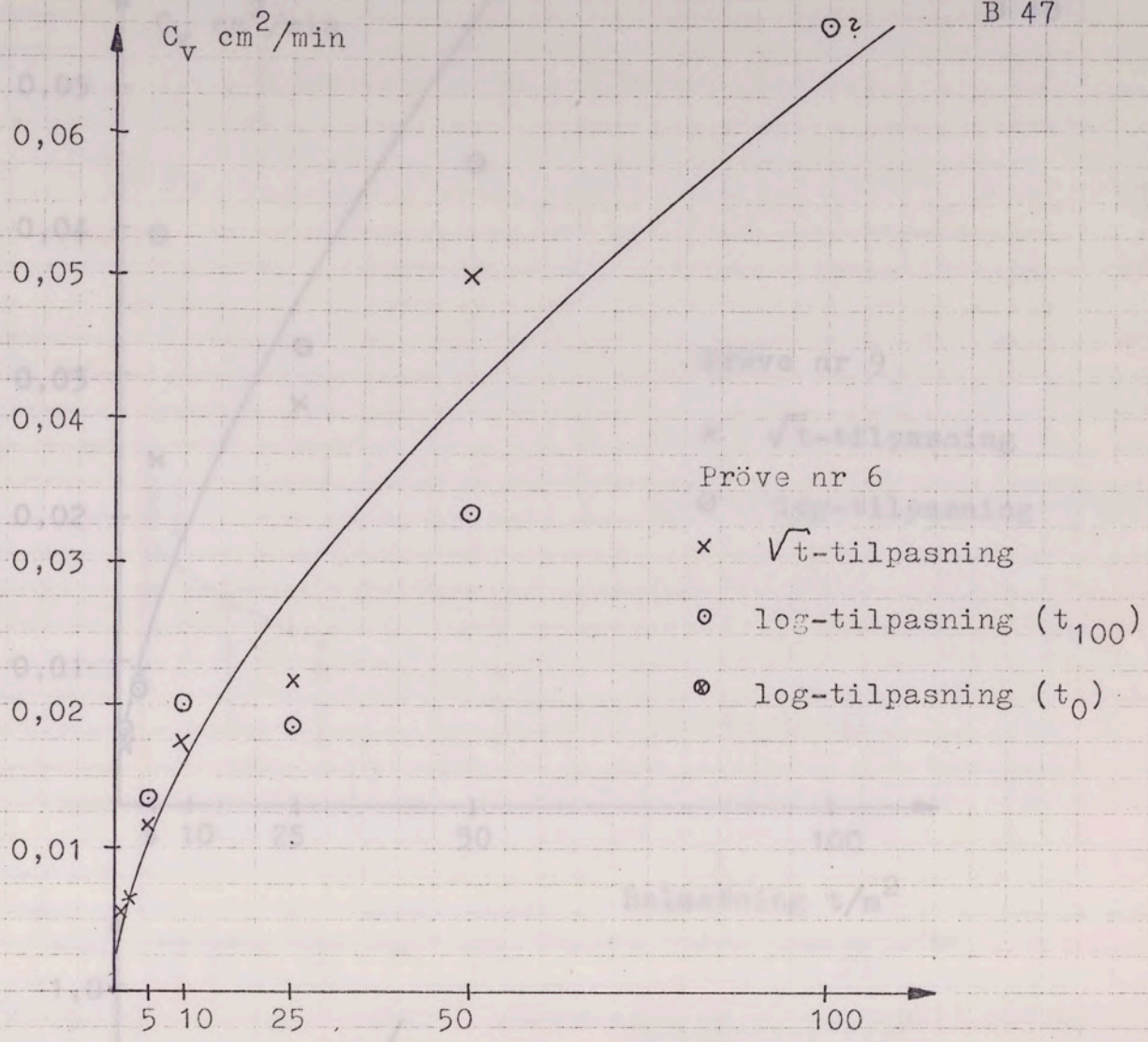
C_v i øvelling.

Prøve nr 1

$\times \sqrt{t}$ - tilpasning
 \circ log-tilpasning (t_{100})
 \bullet log-tilpasning (t_0)



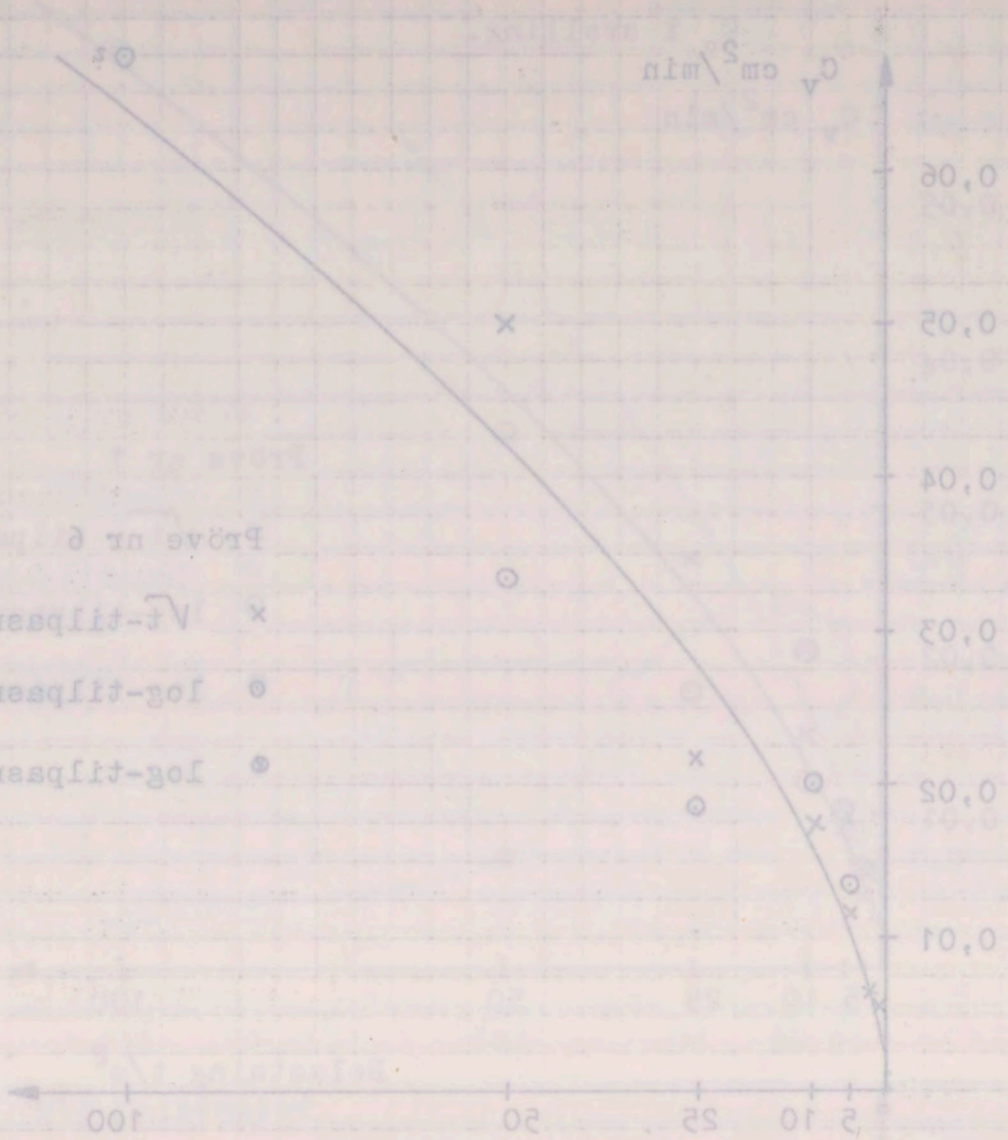
Dette ark er en del af rapporten over...



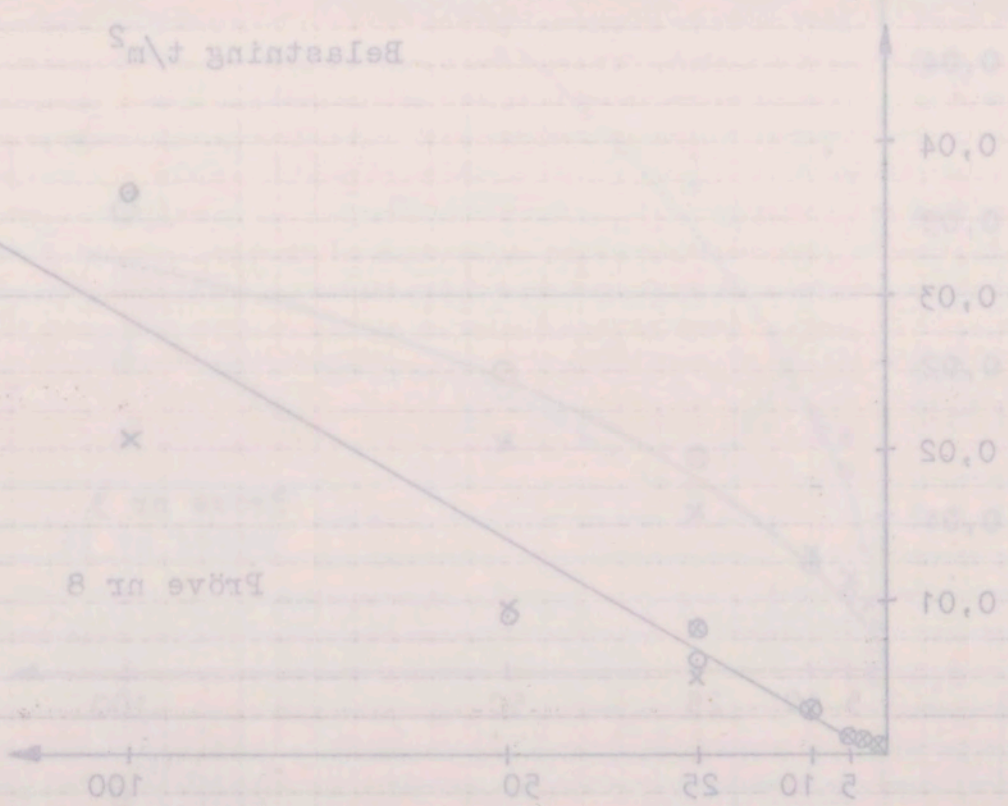
B 47

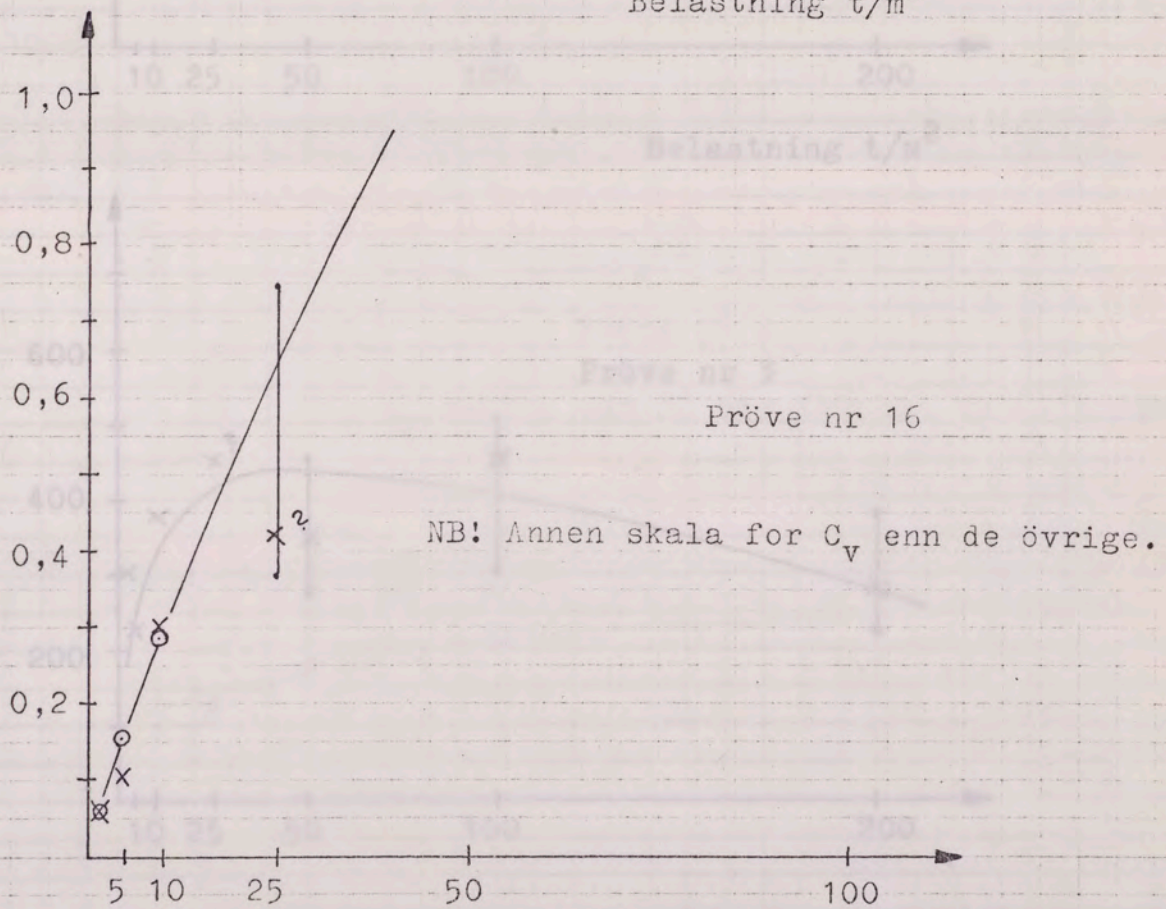
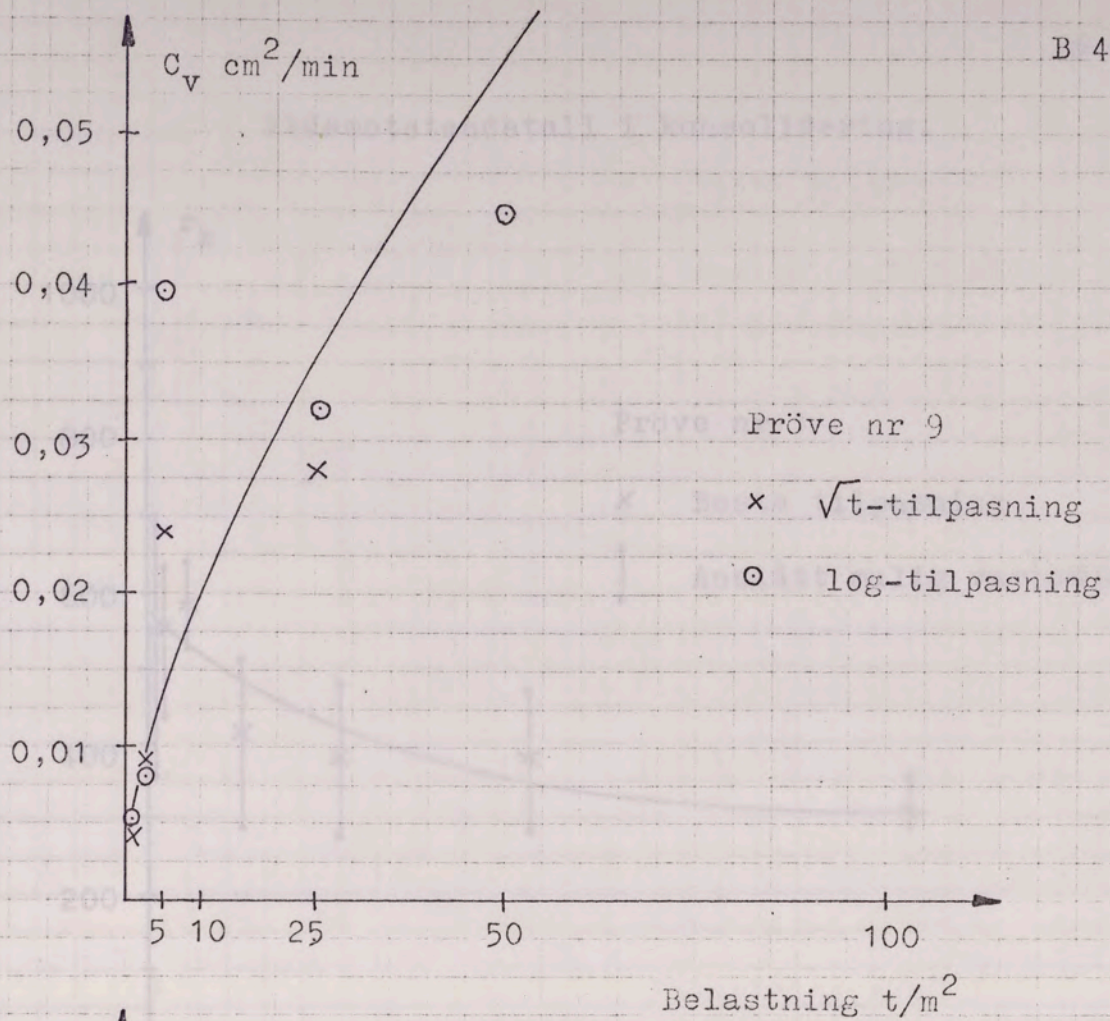
C_v cm²/min

x \sqrt{t} -tilpassning
 o log-tilpassning (t_{100})
 o log-tilpassning (t_0)

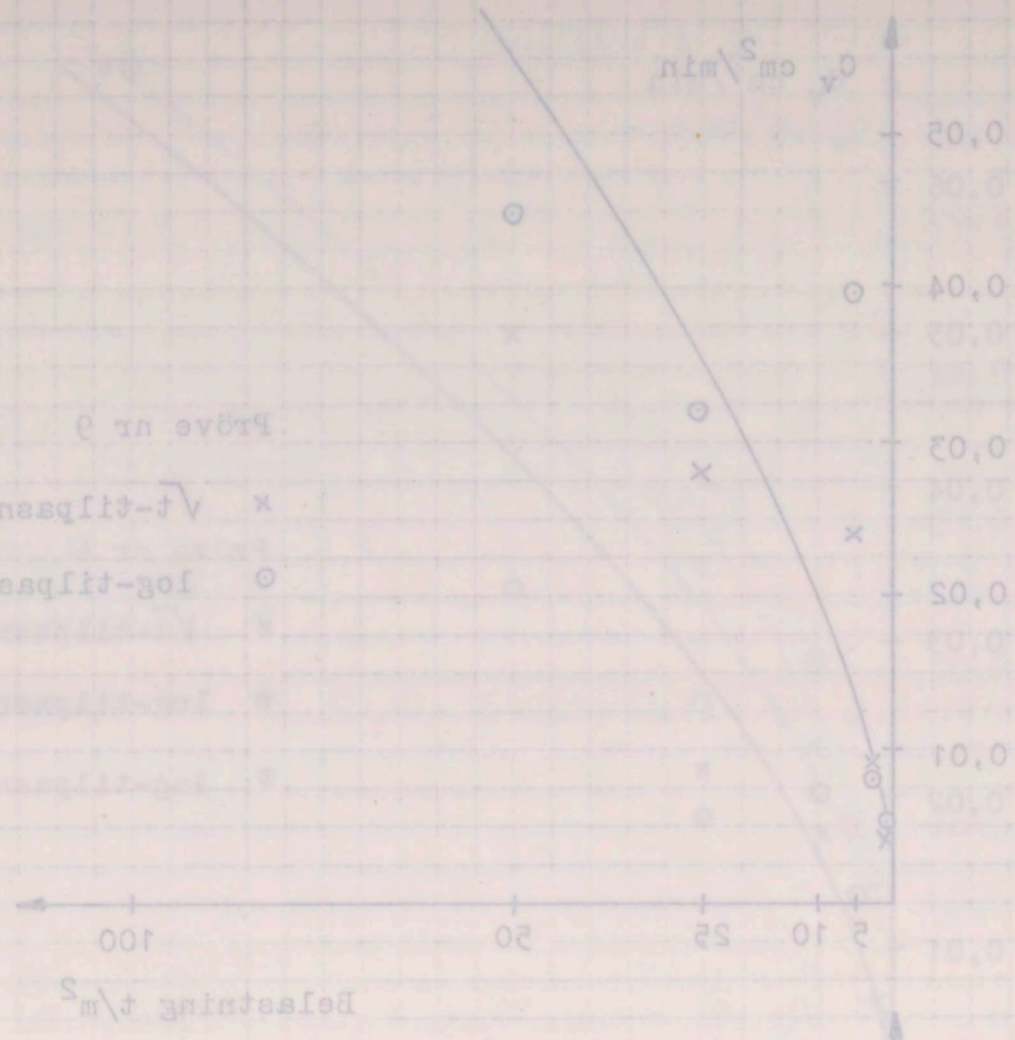


Belasting t/m^2

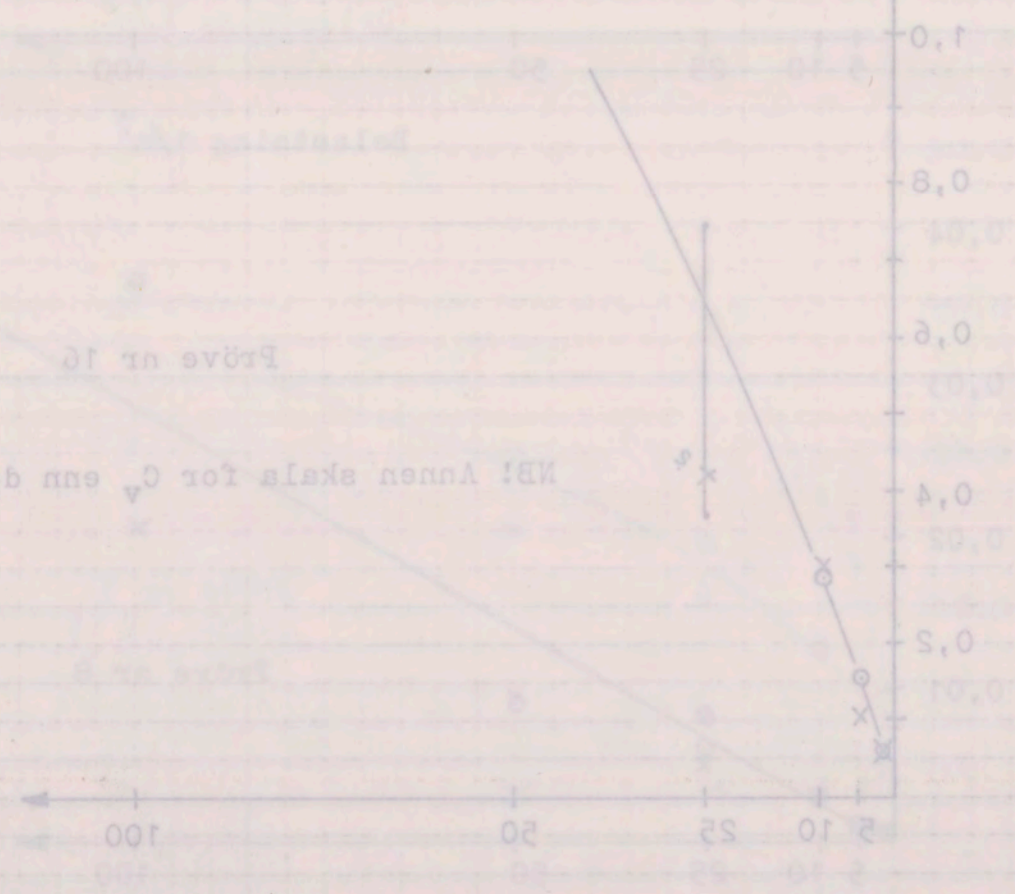




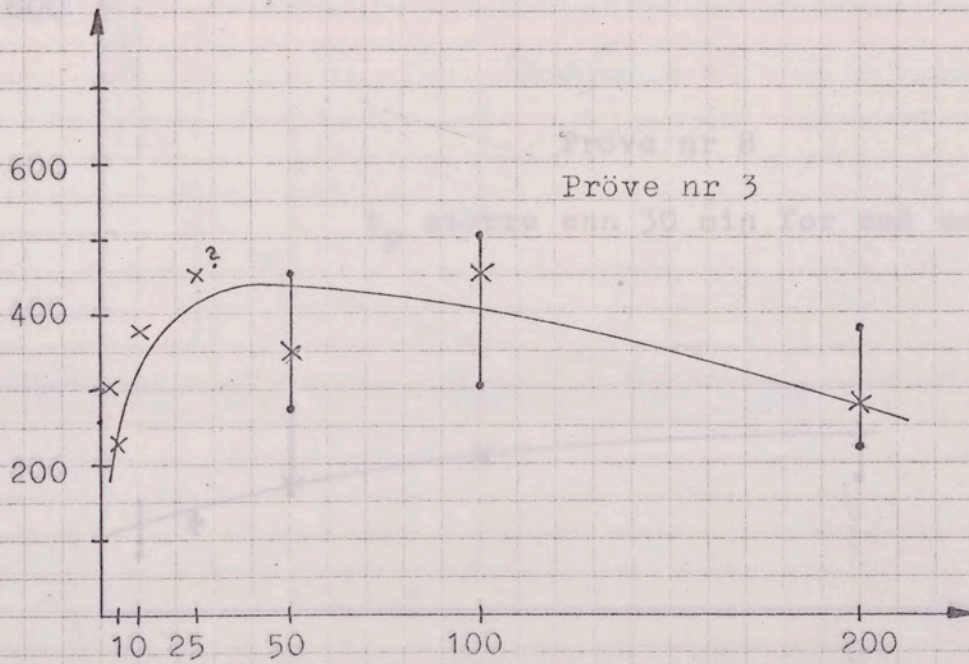
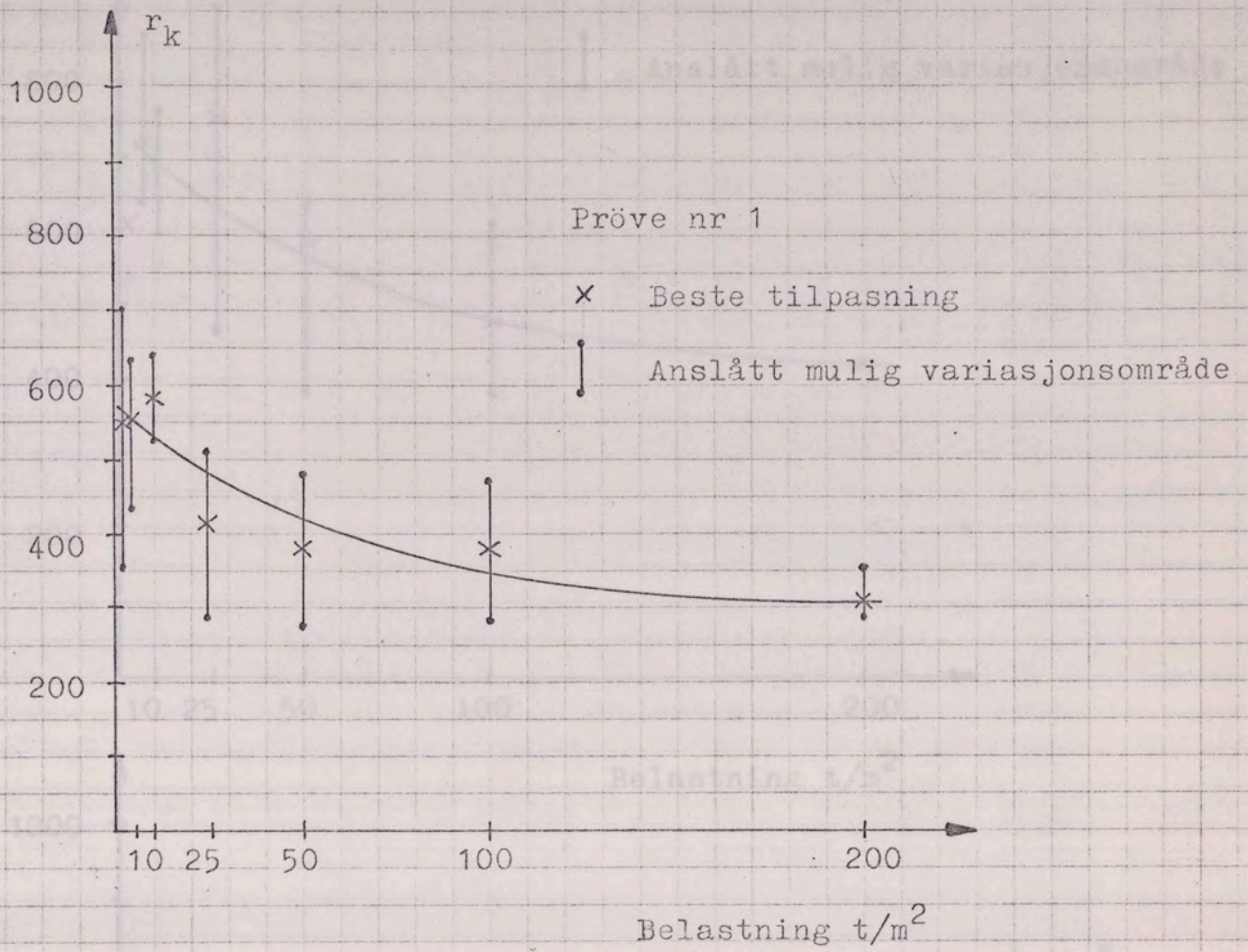
Pröve nr 9
log-tillpassning
√t-tillpassning



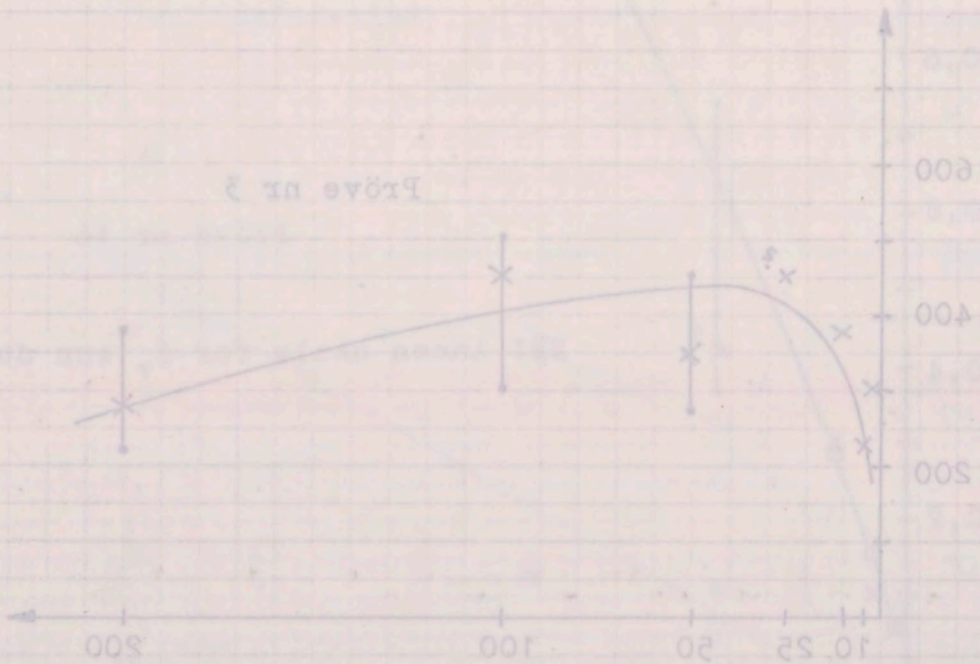
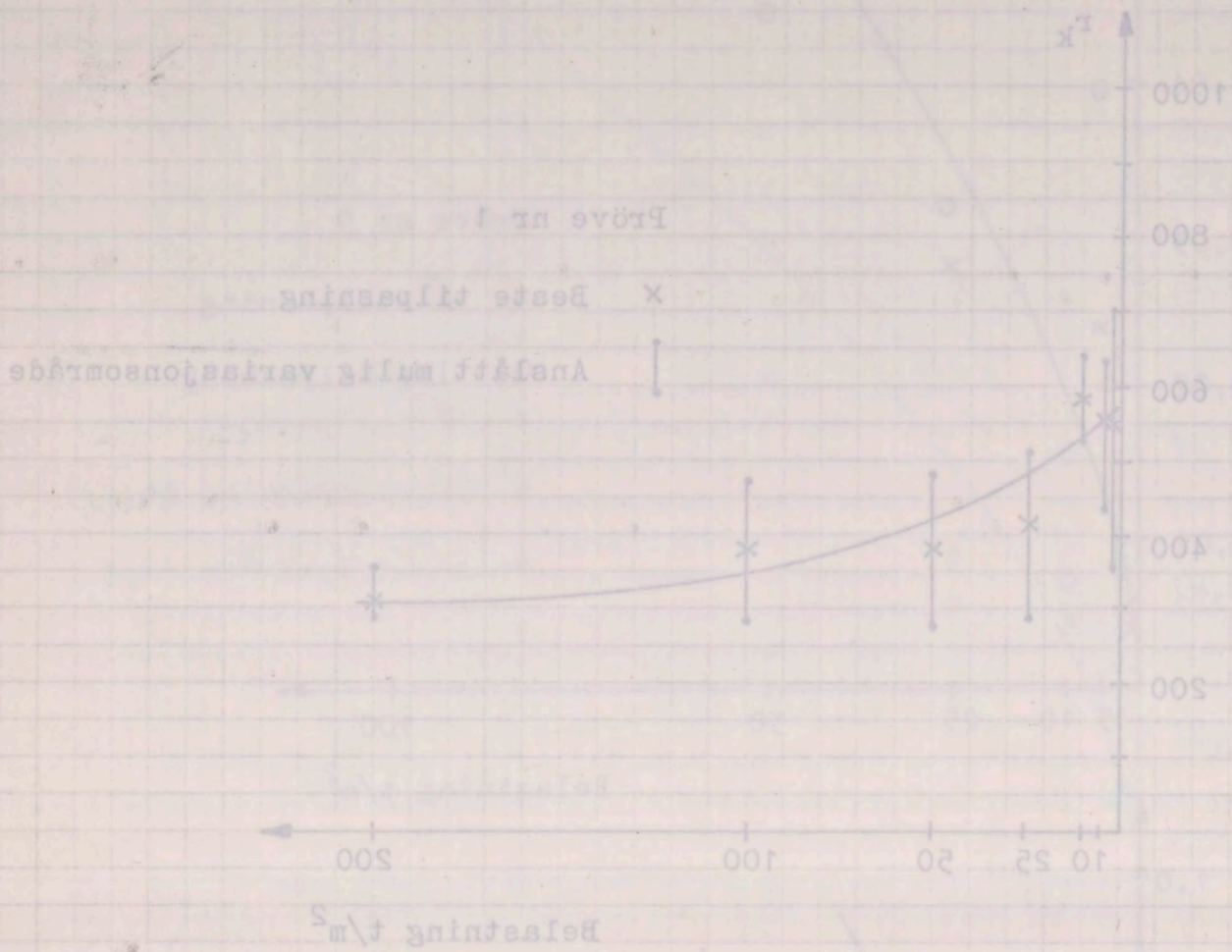
Pröve nr 10
NB! Annan skala för v enn de övriga.

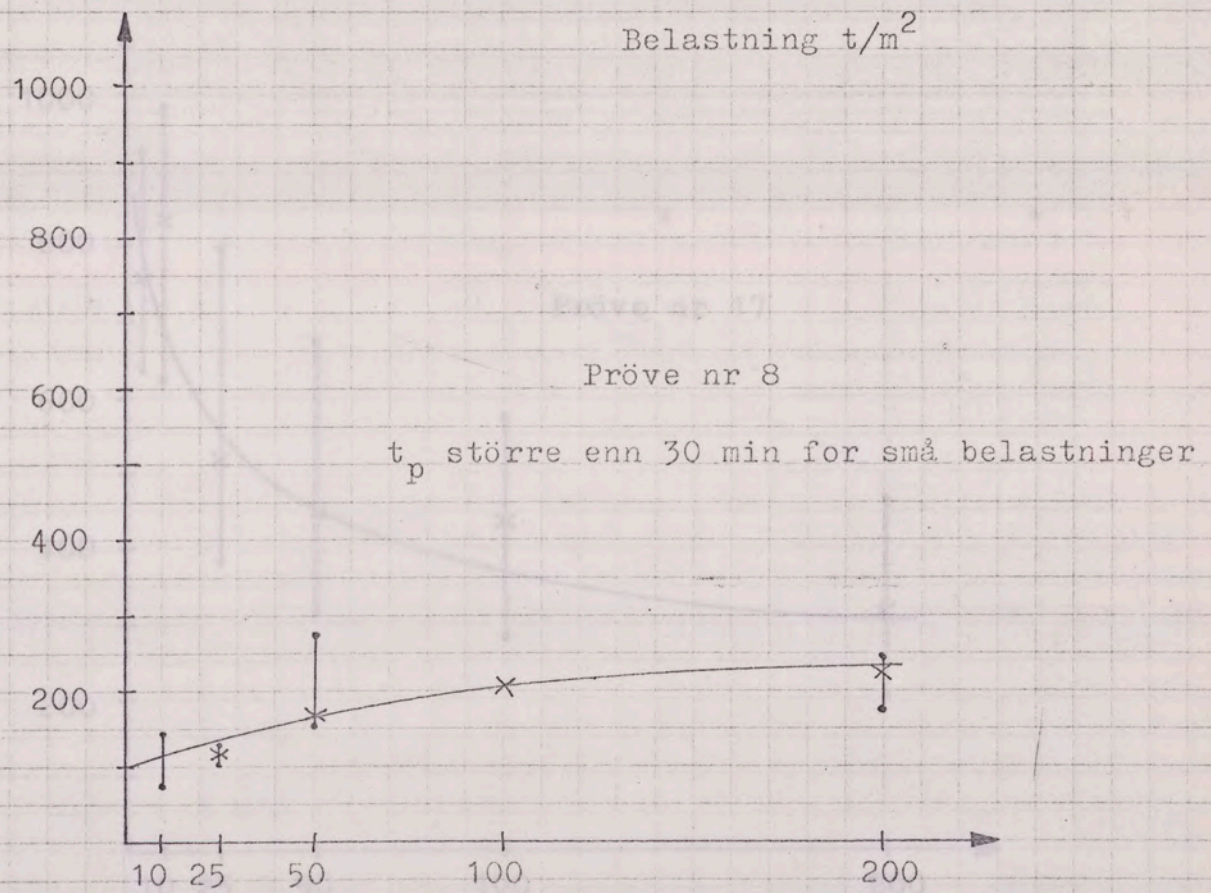
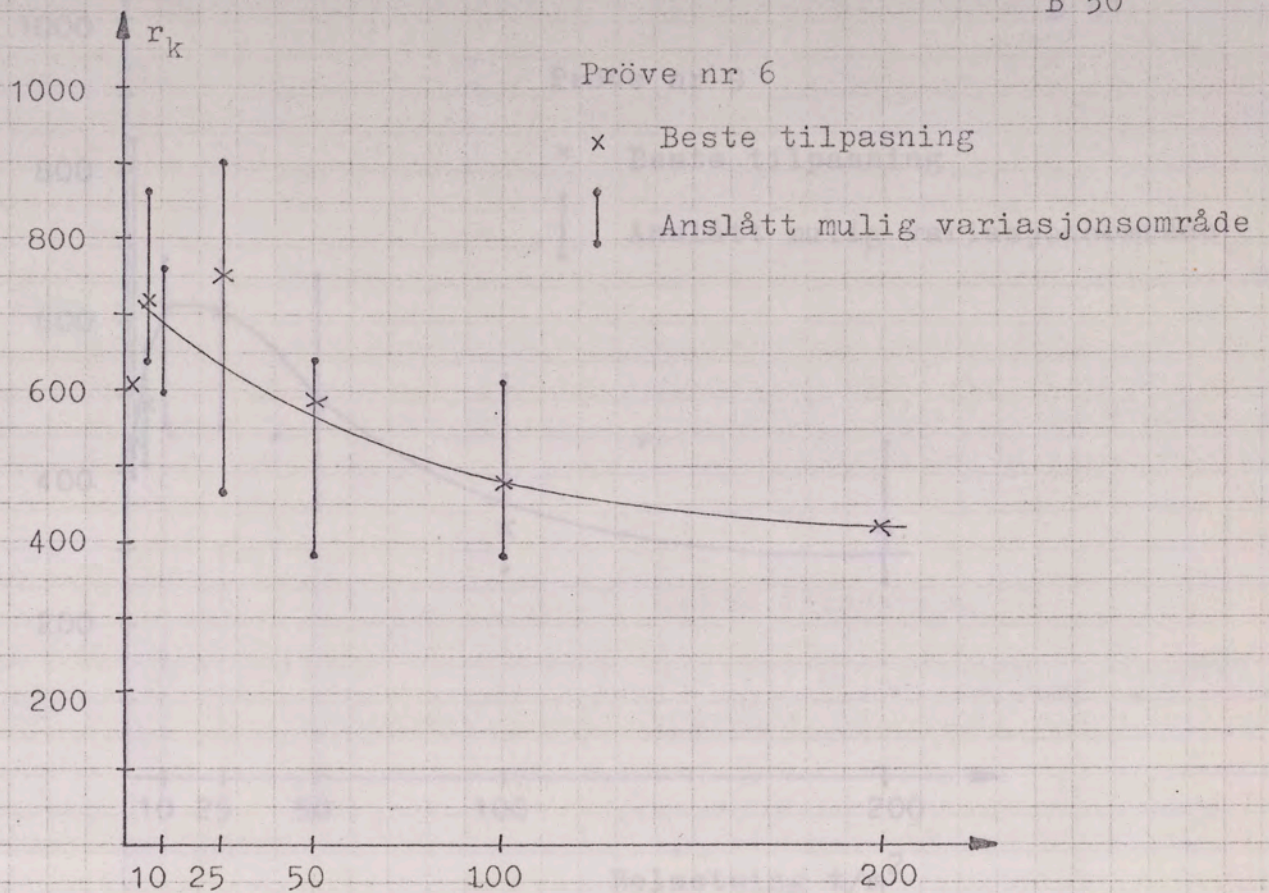


Tidsmotstandstall i konsolidering.

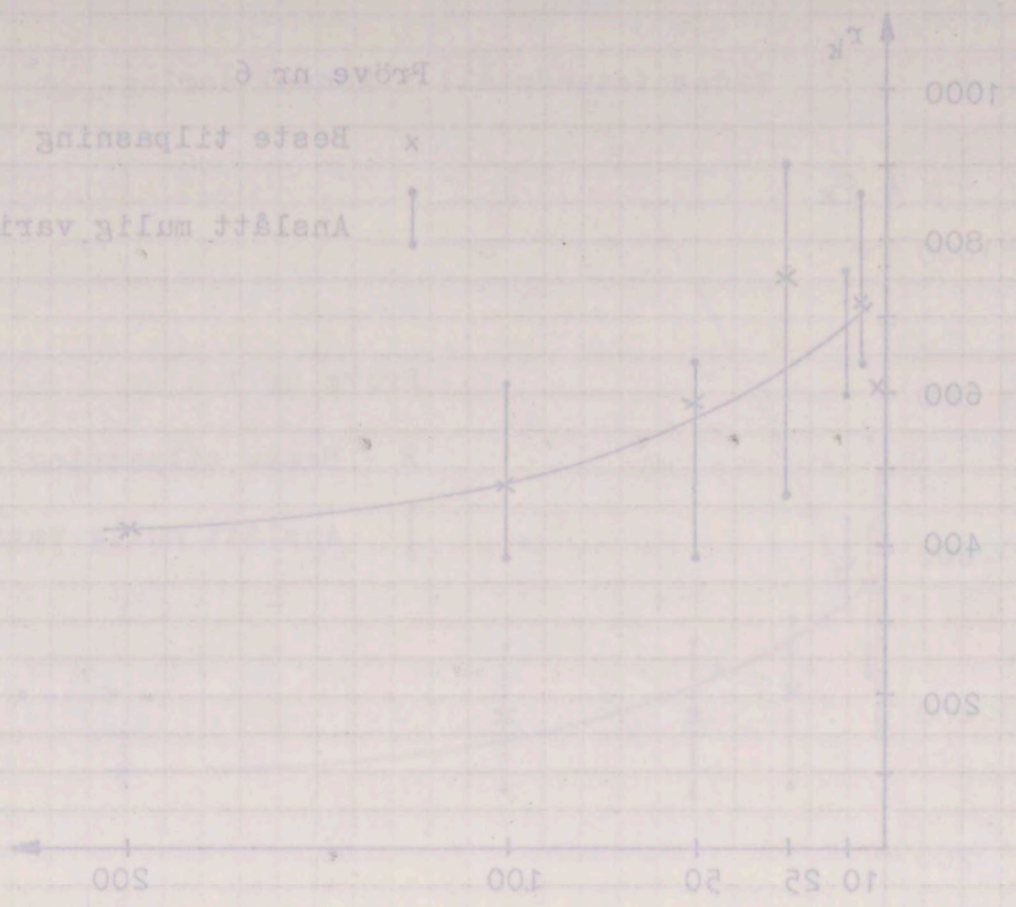


Tidomstabilitet i konsolidering.

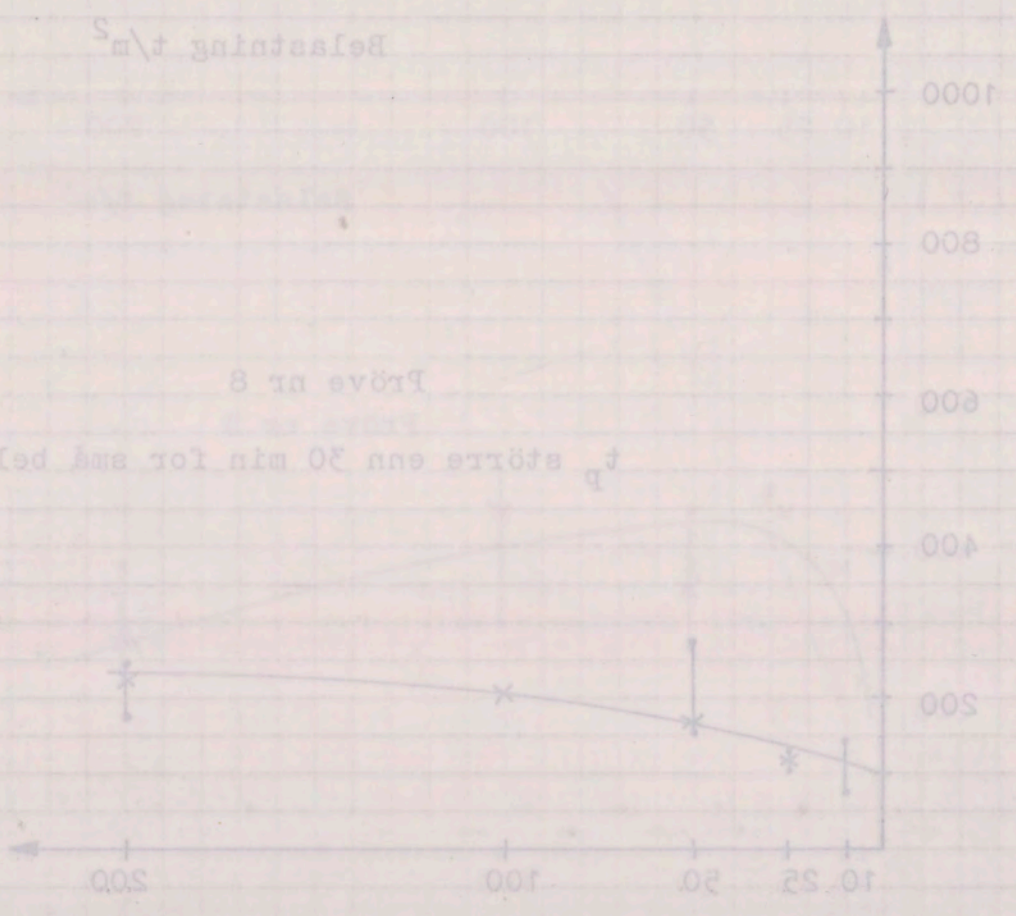


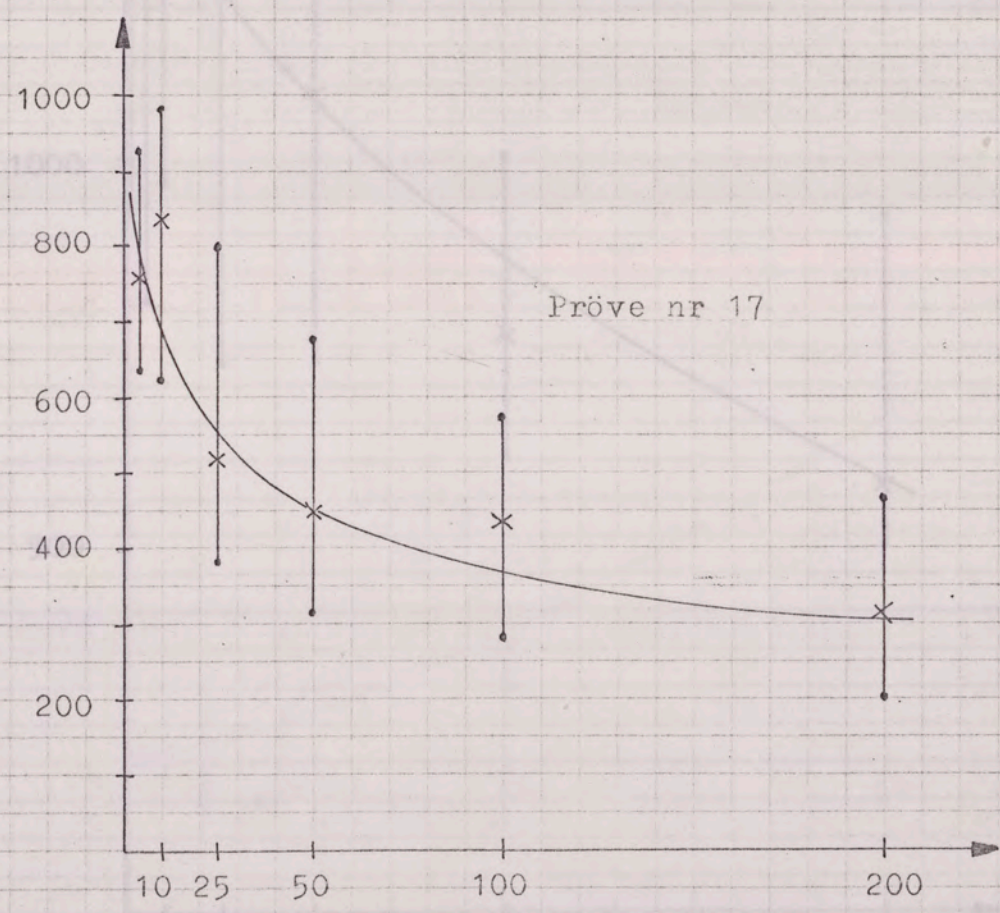
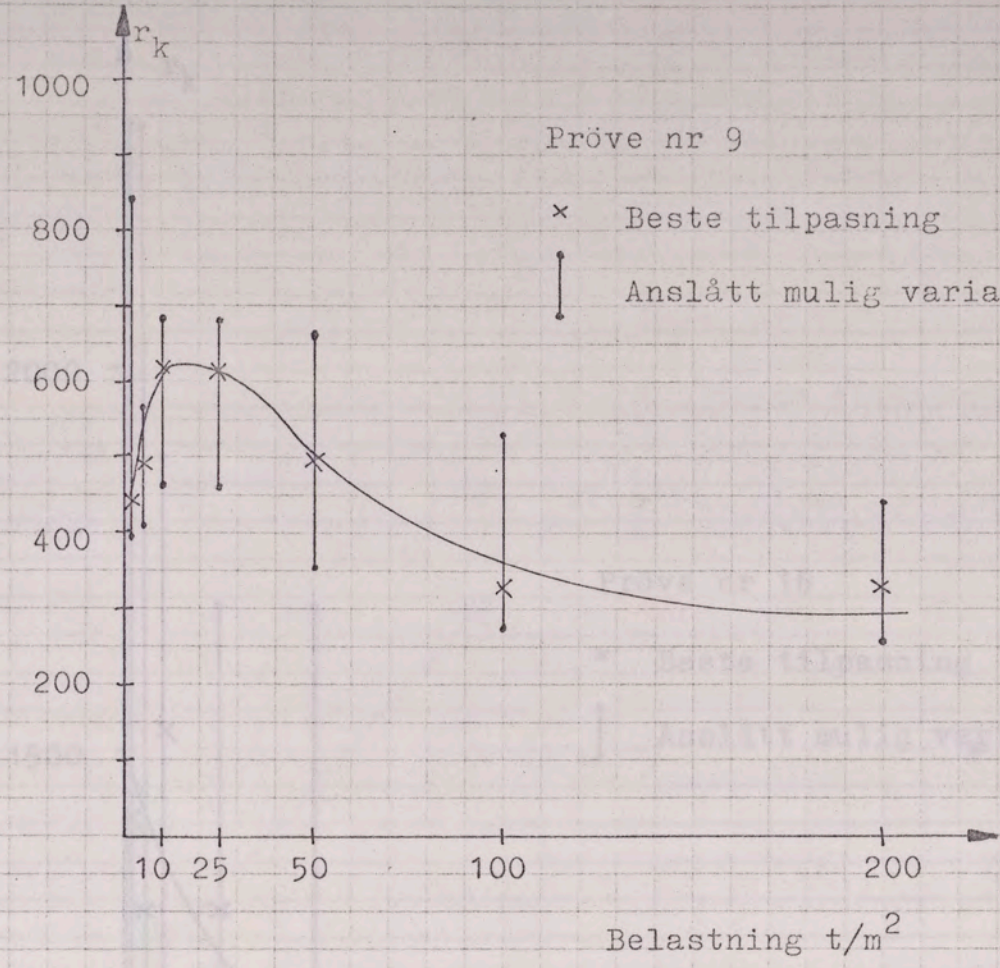


Pröve nr 6
Beste tillpassning
Analysat multig variationsområde



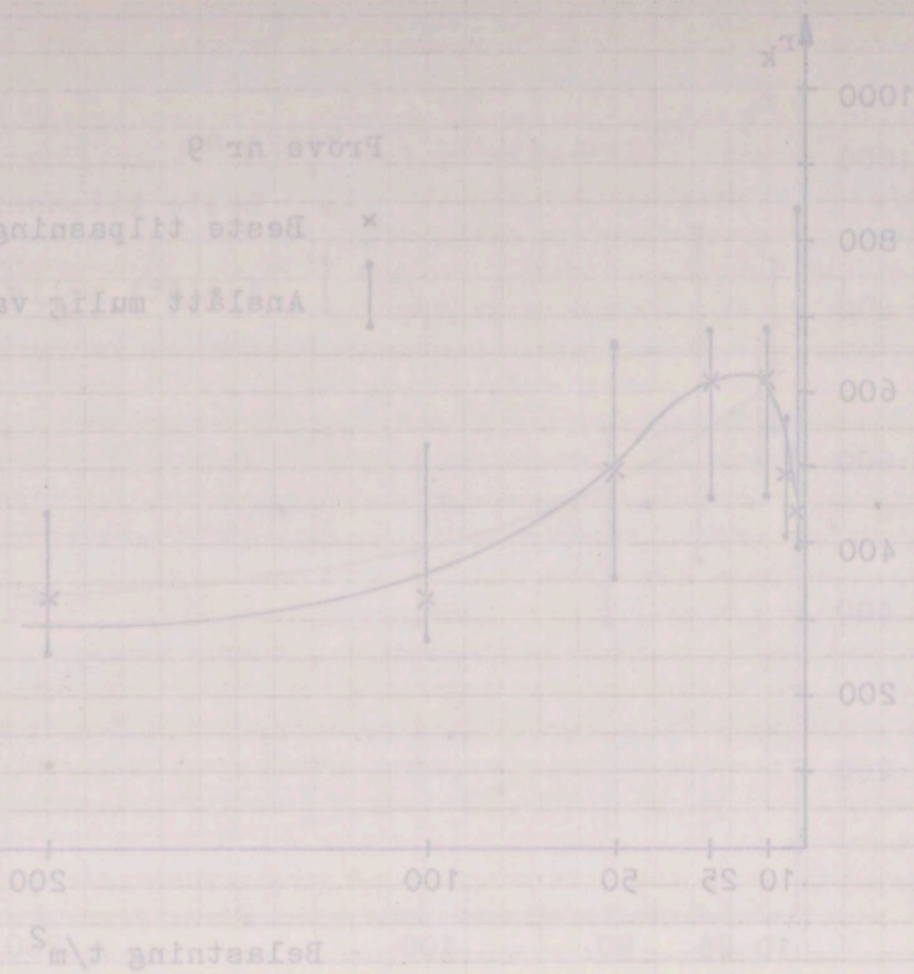
Pröve nr 8
 t_p större enn 30 min for små belastninger



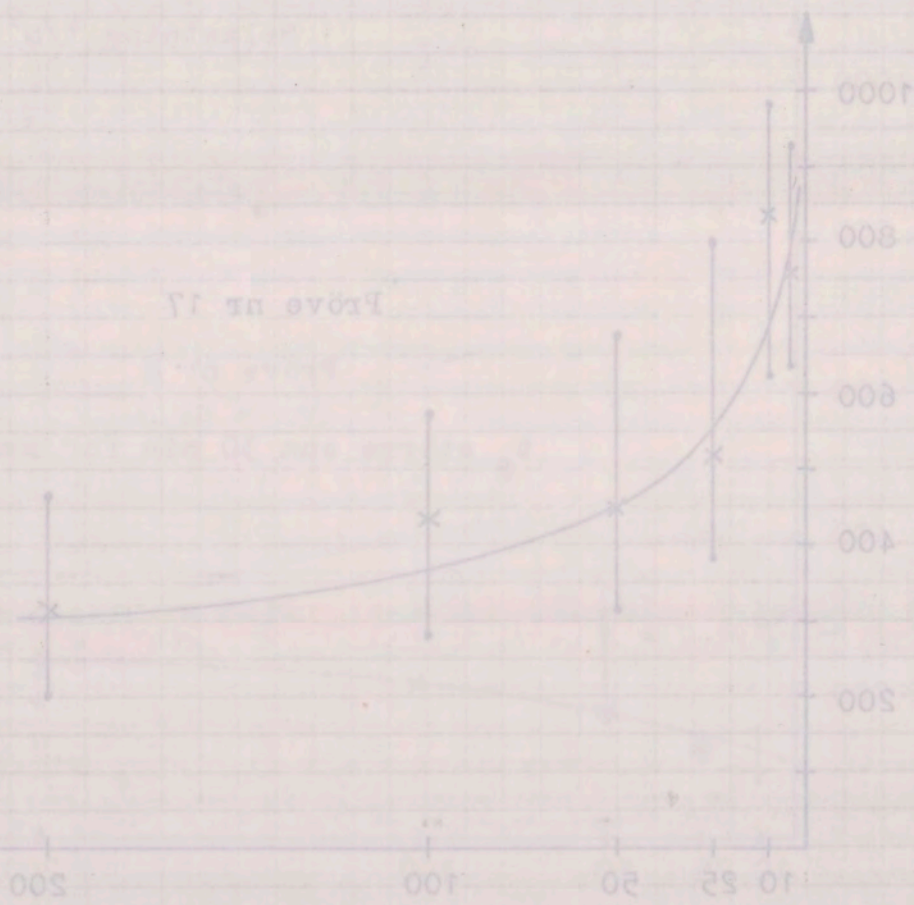


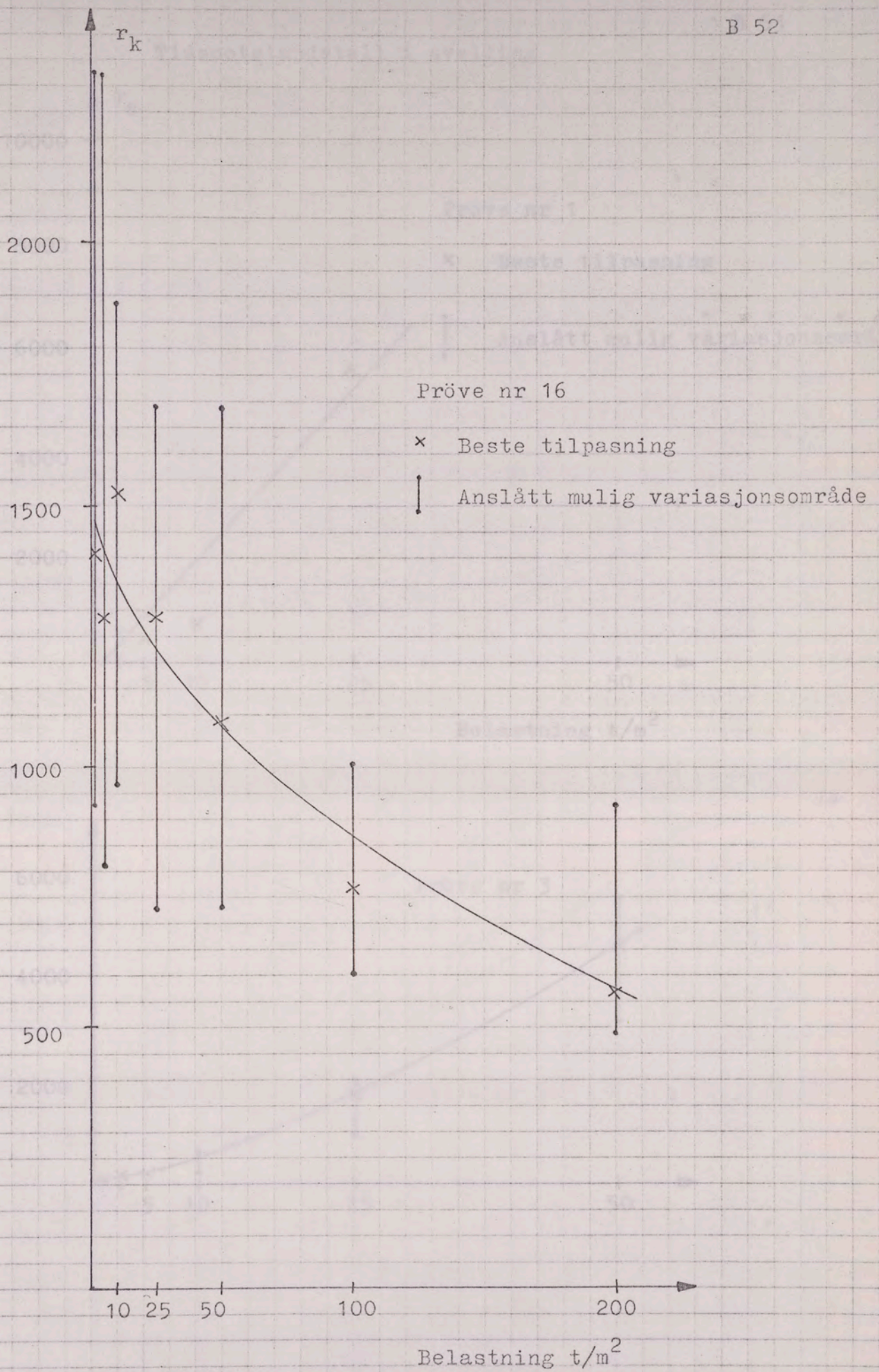
Prøve nr 9

Beste tilpassning
Analysetid i minutt

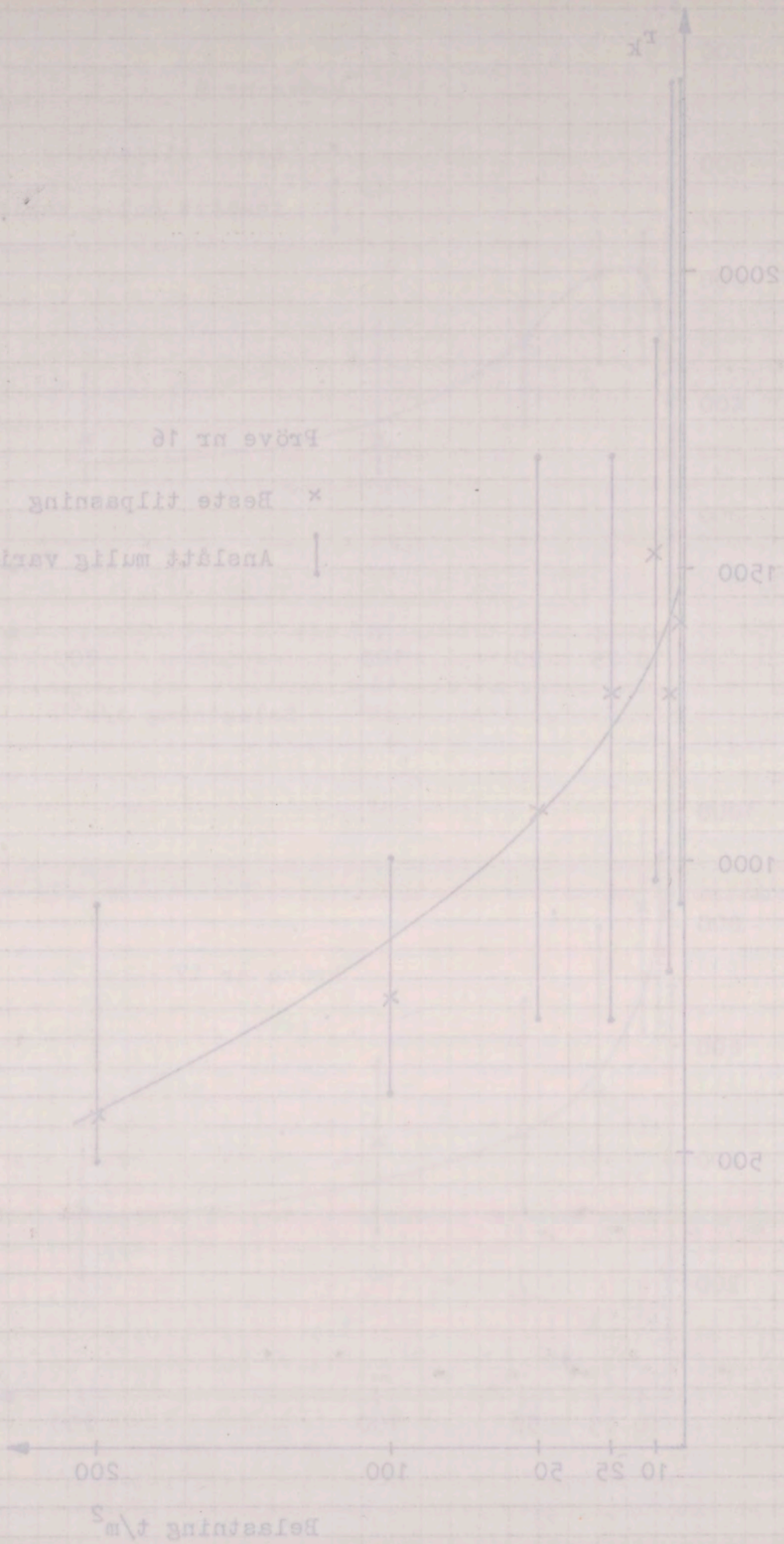


Prøve nr 17

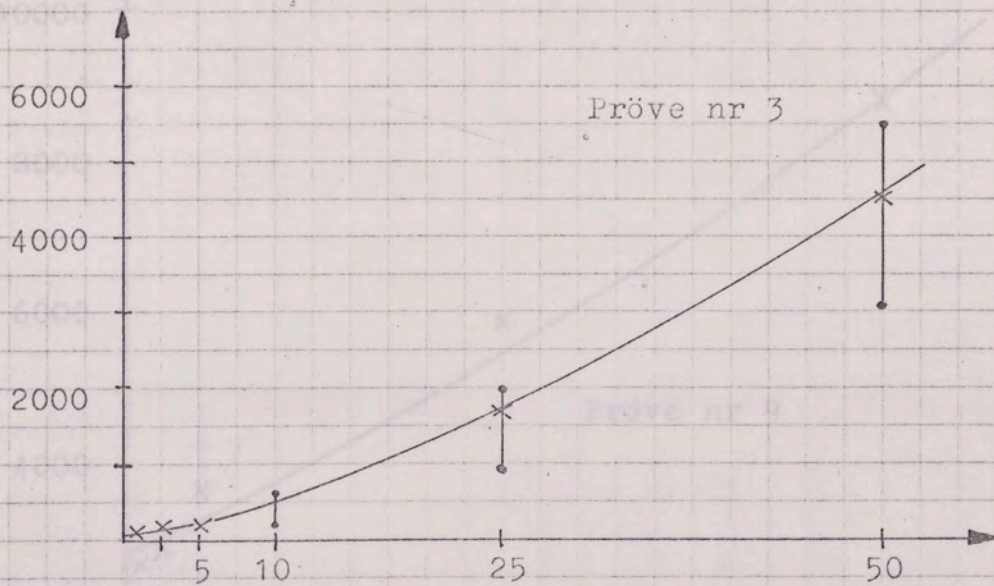
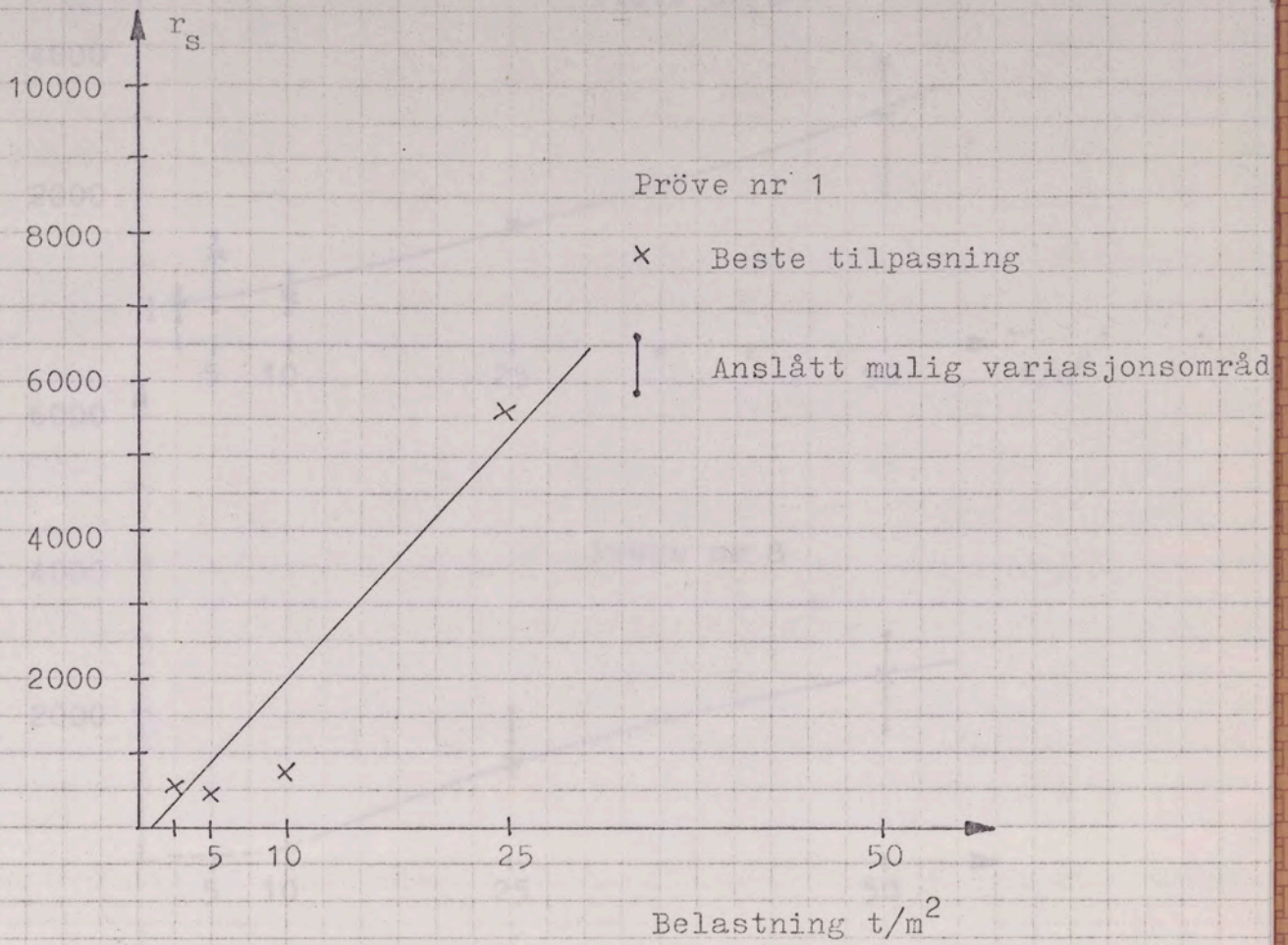


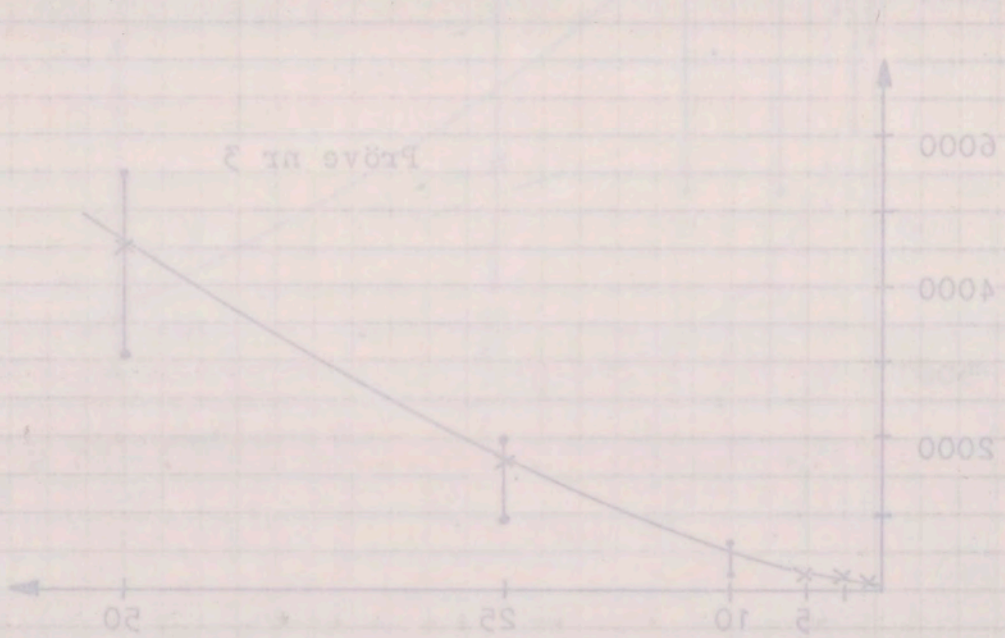
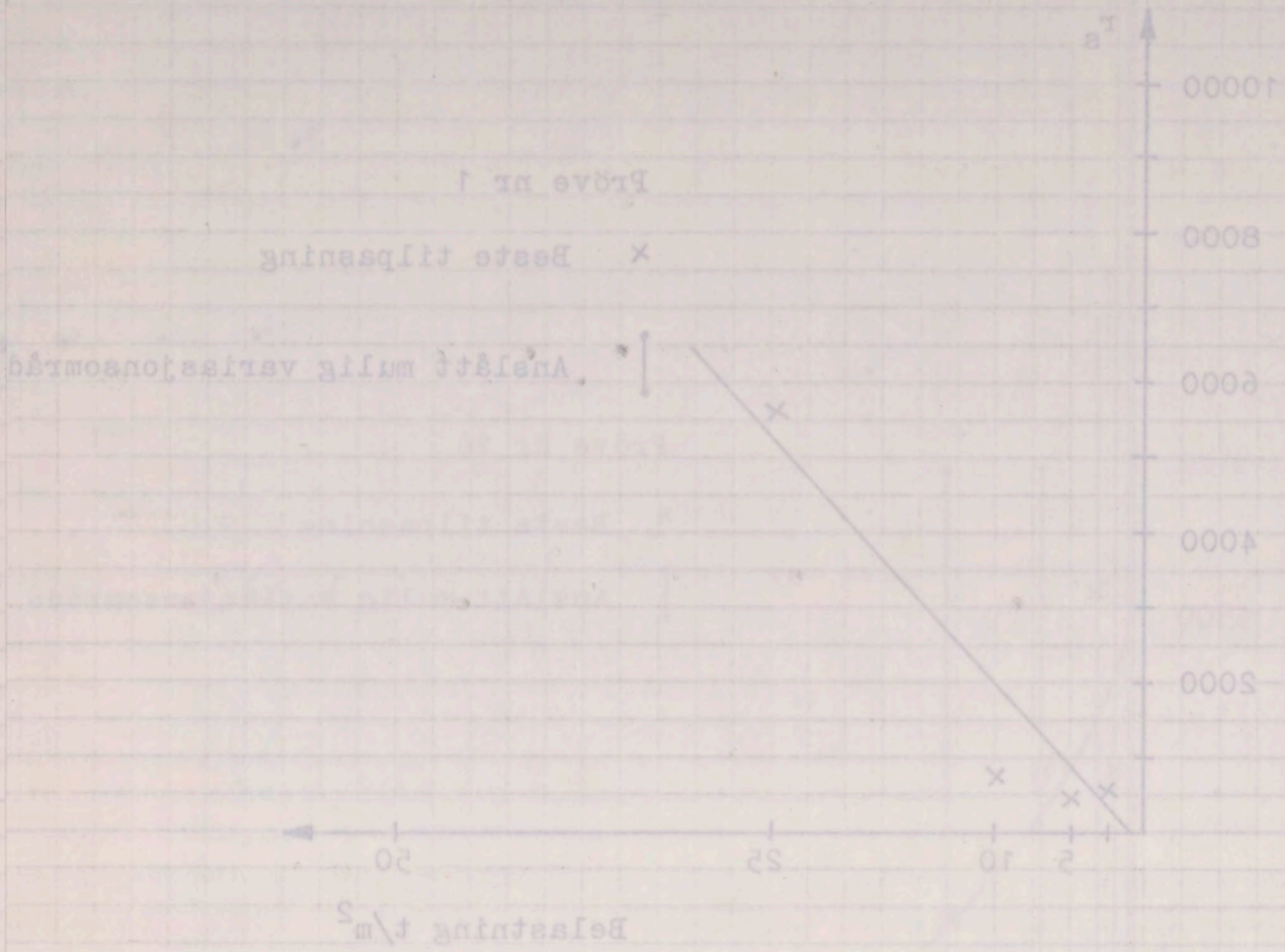


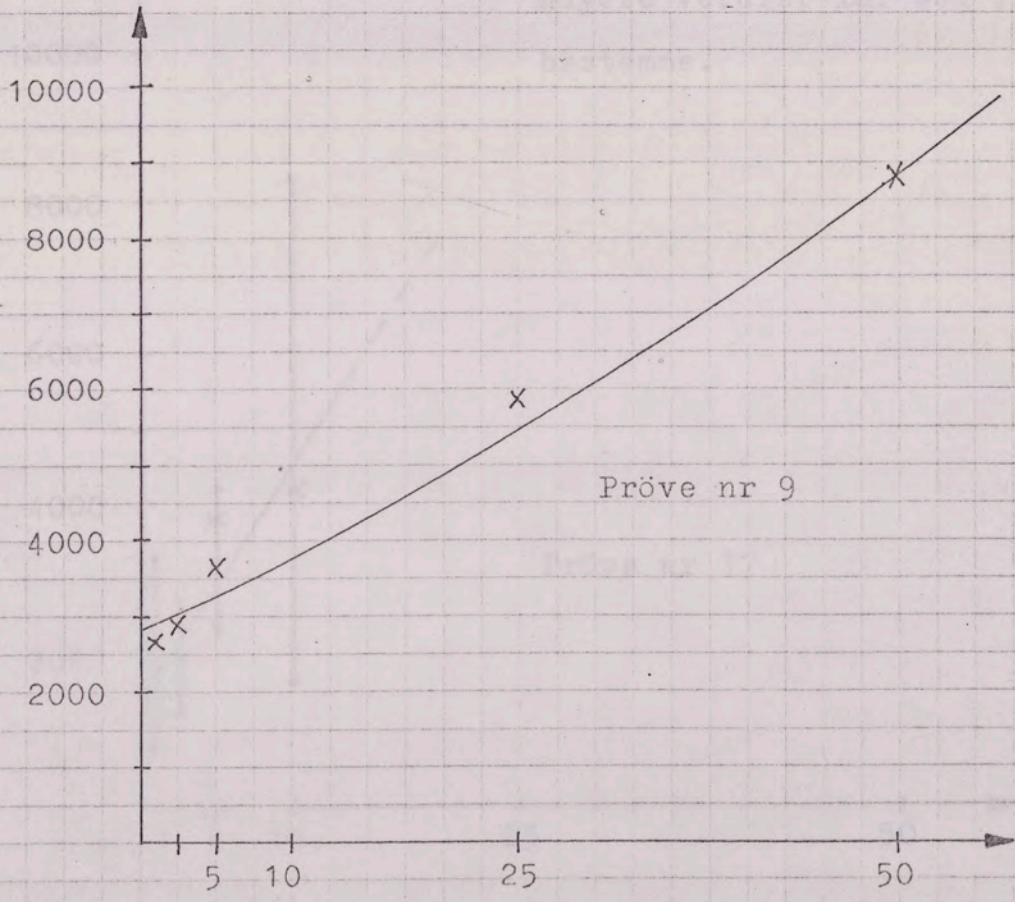
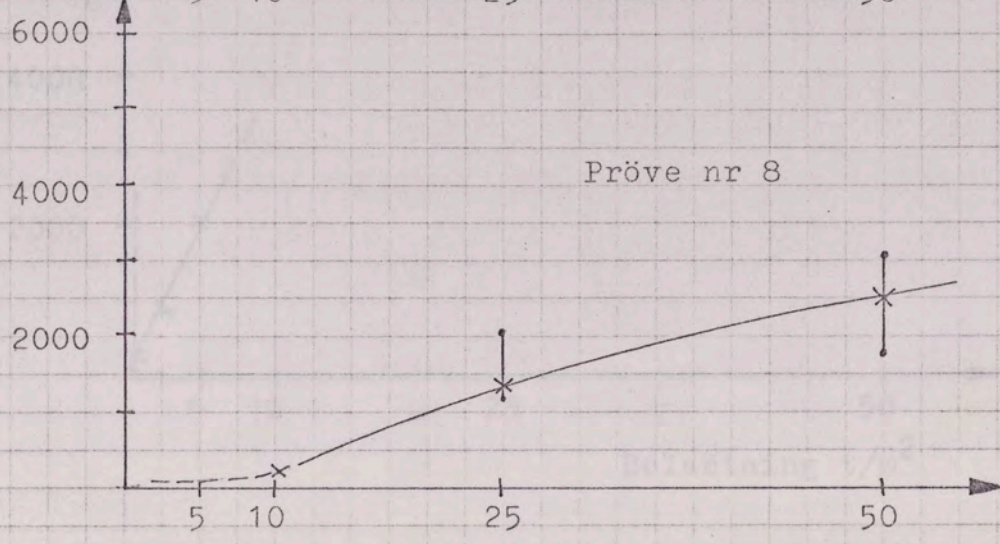
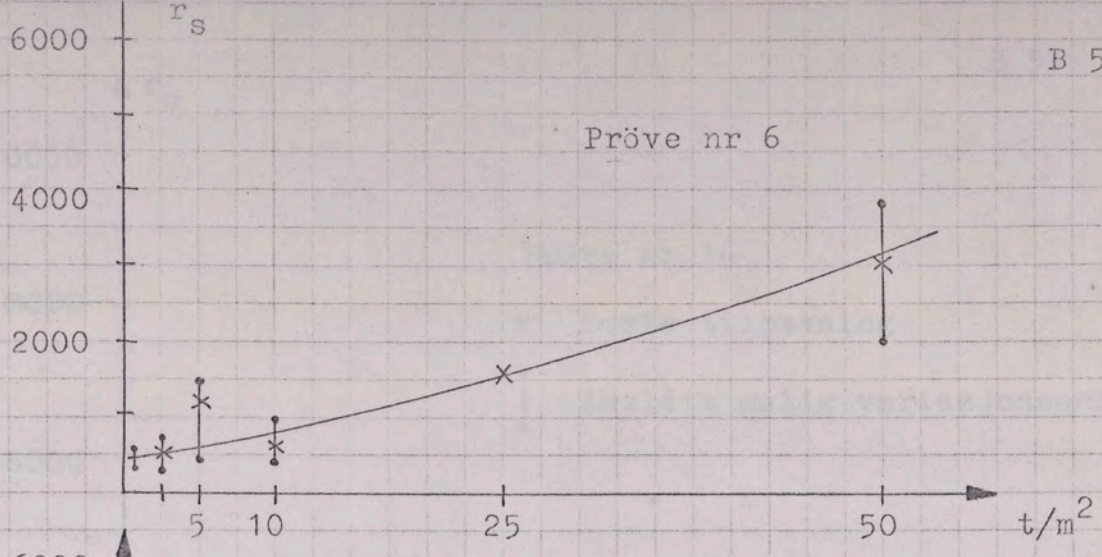
Pröve nr 16
× Beste tillpassning
| Ansluttet område



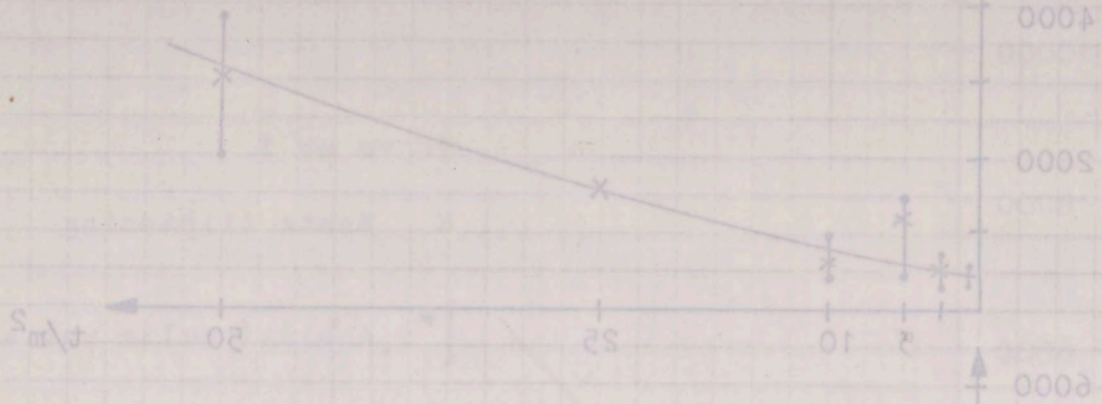
Tidsmotstandstall i svelling



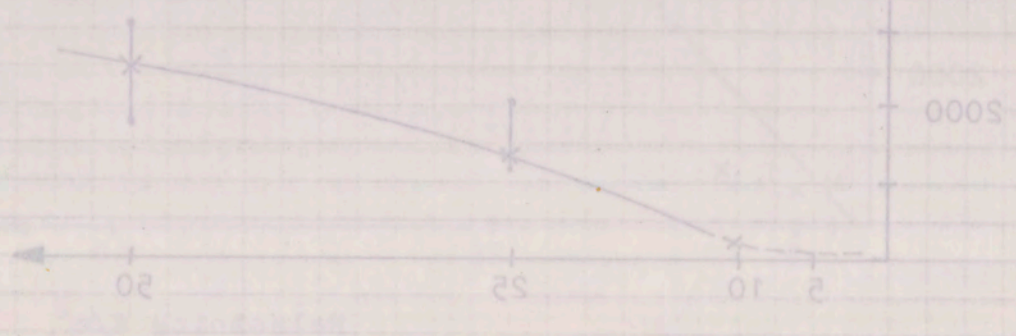




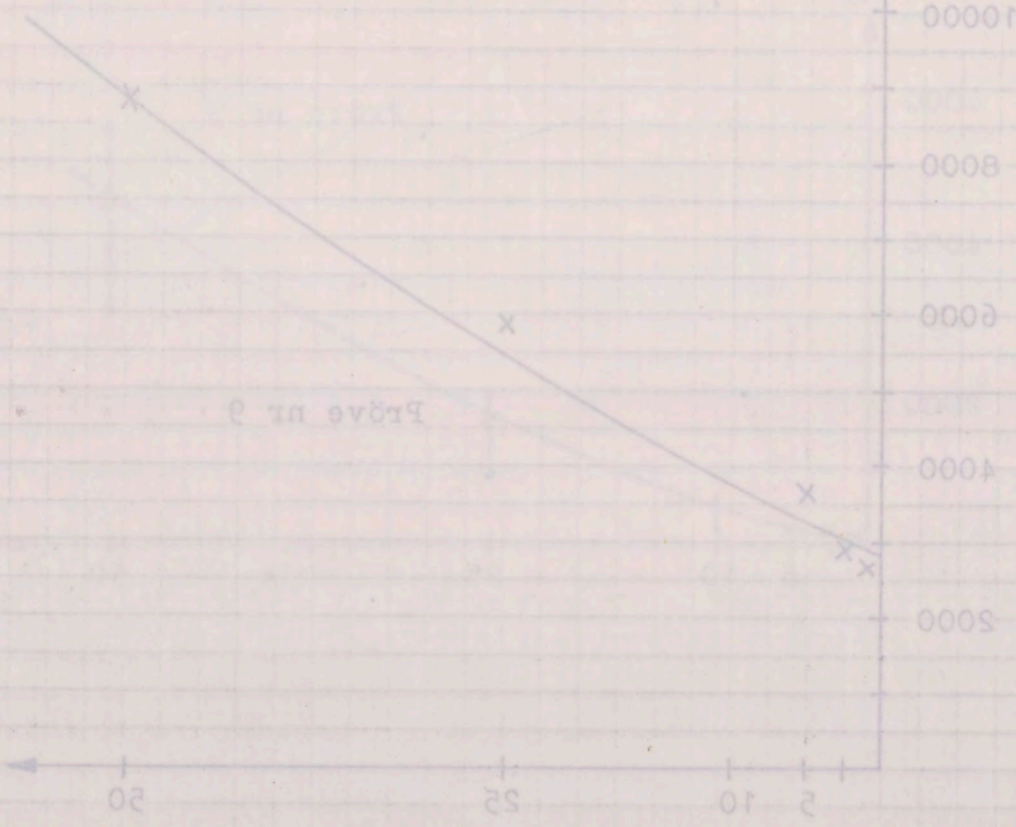
Pröve nr 6

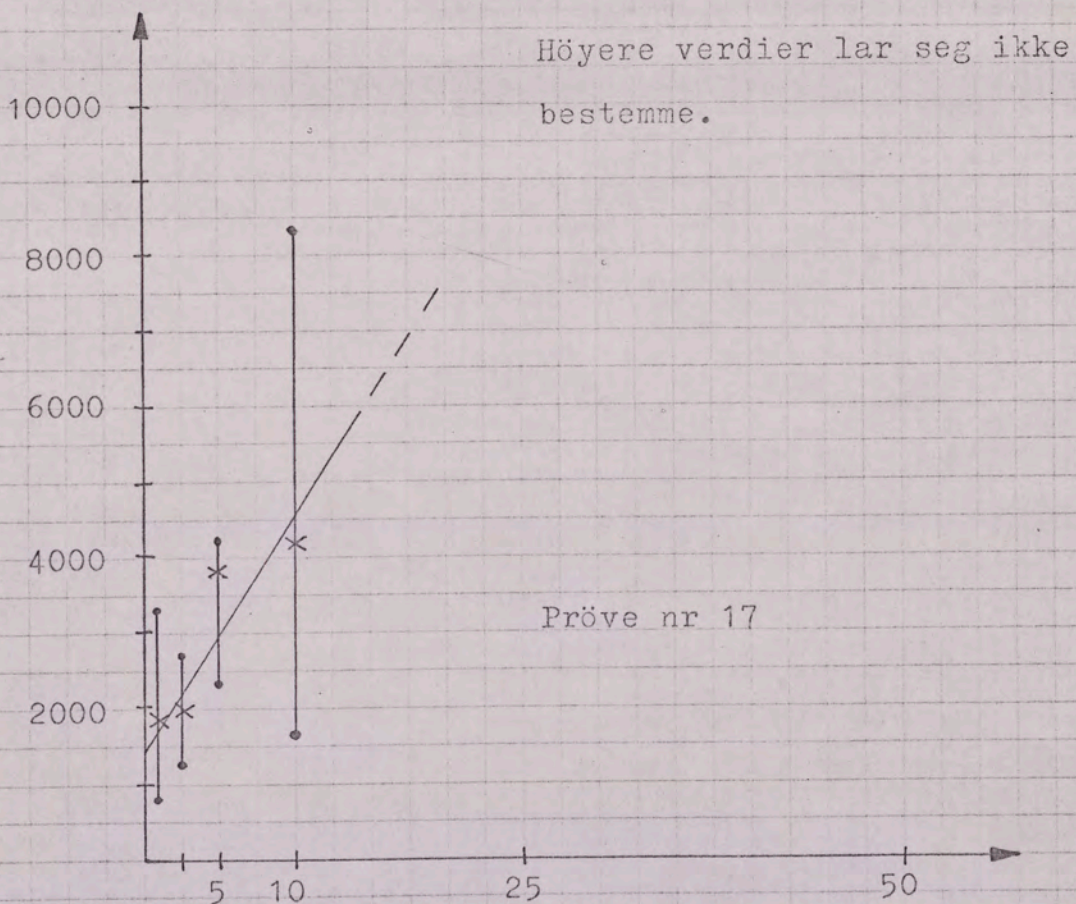
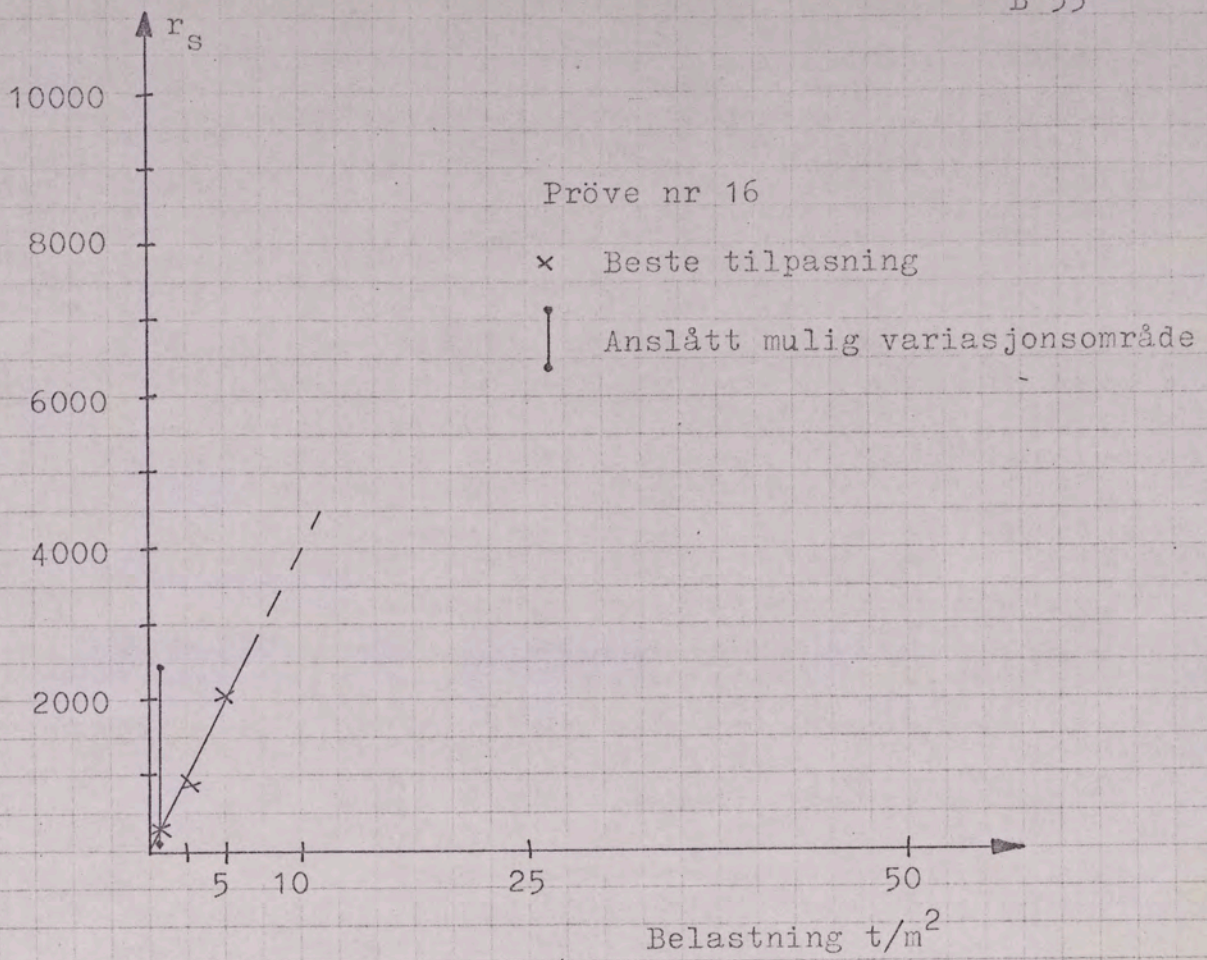


Pröve nr 8

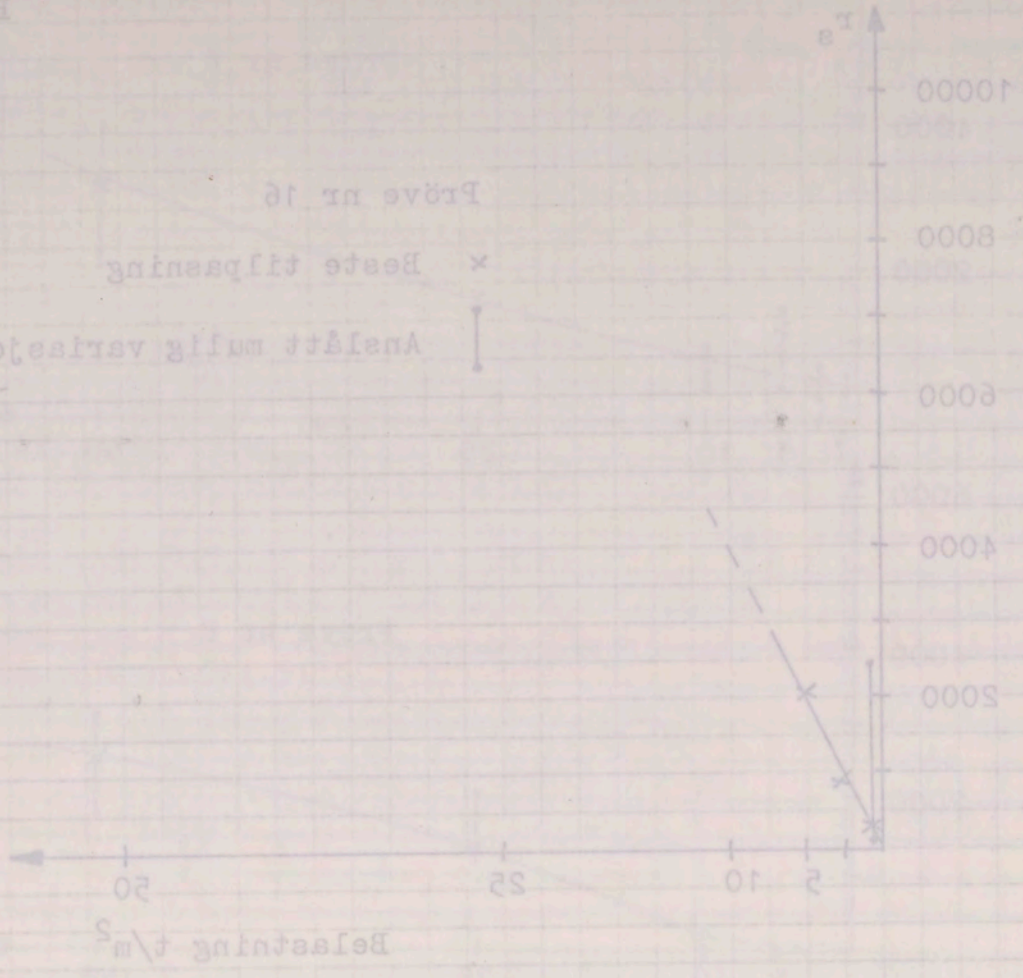


Pröve nr 9

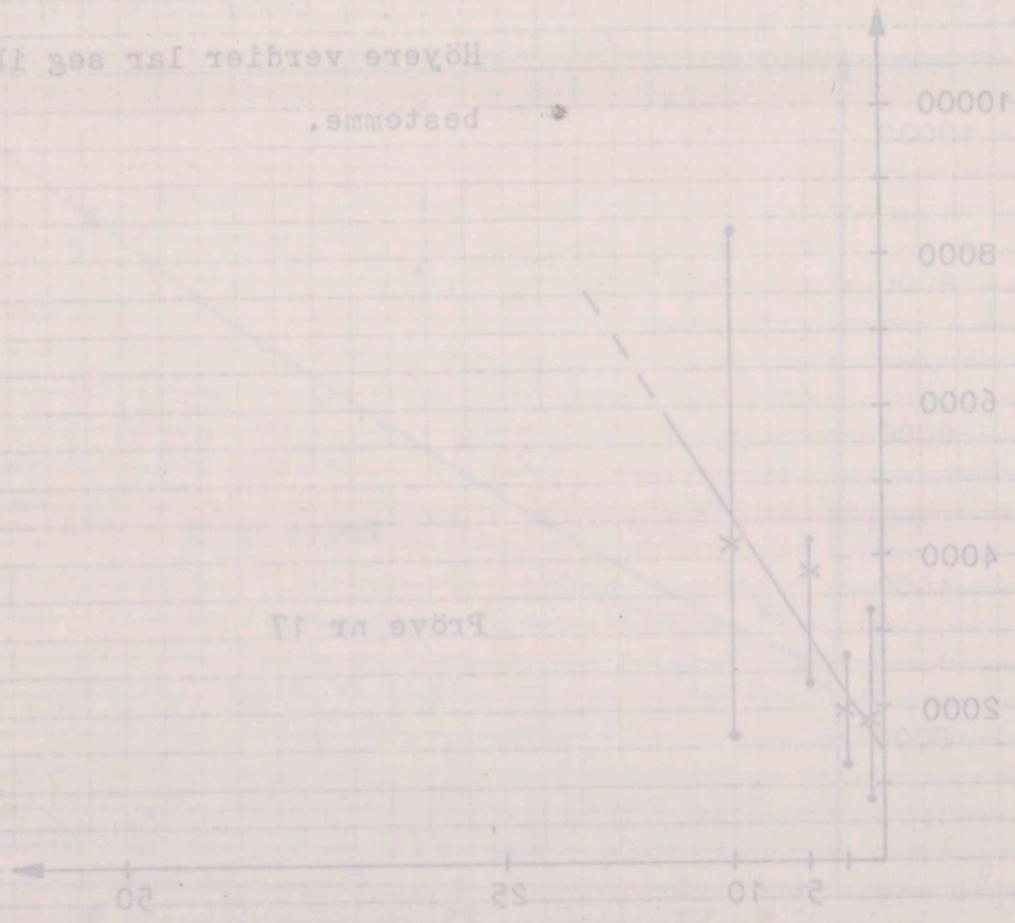


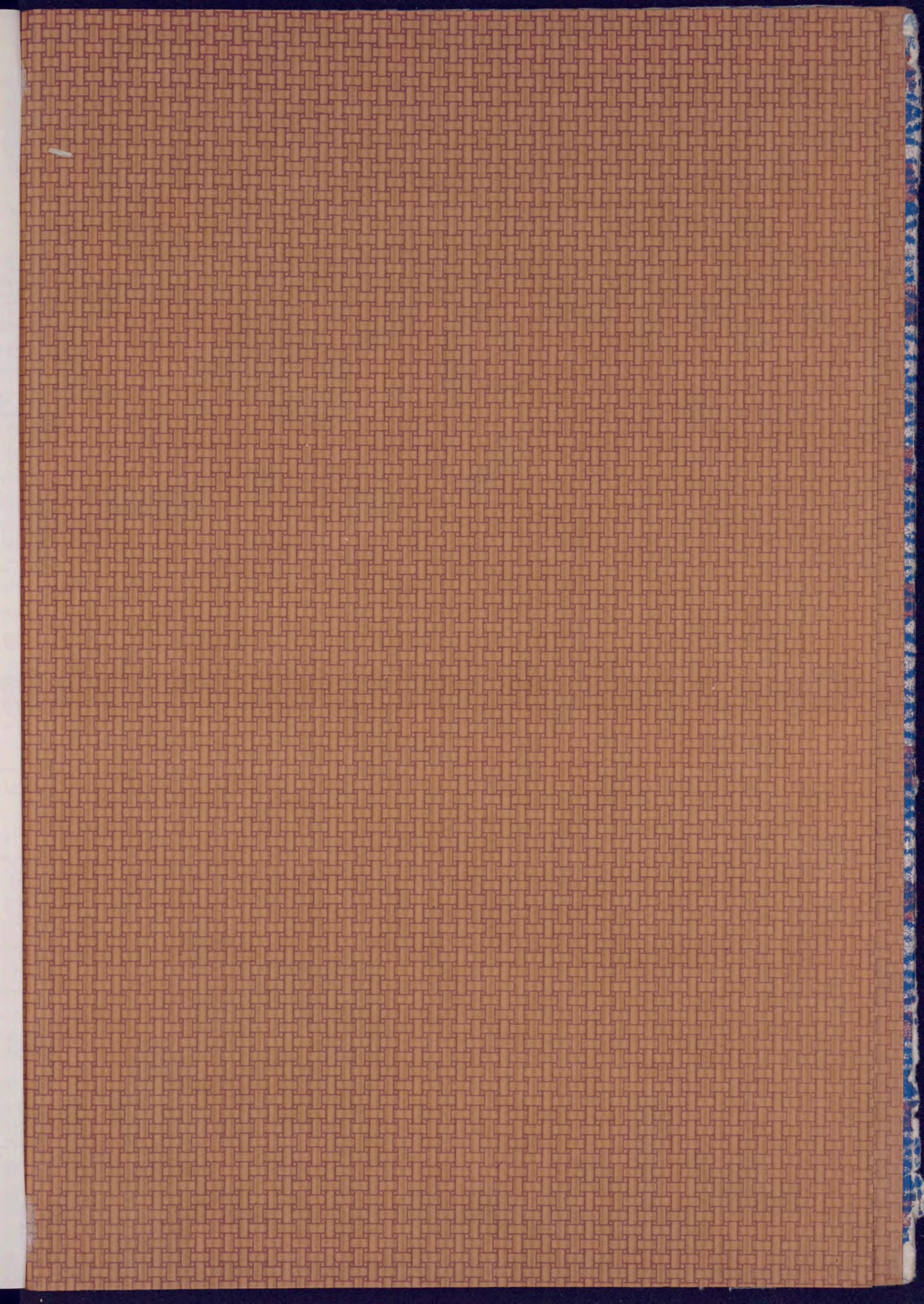


Pröve nr 16
 x Beste tilpasning
 | Anslått mulig variasjonsområde



Høyere verdier lar seg ikke
 bestemme.







624.131.221mg R635

Rokoengen;

Svelleginskaper -

UTLANETS DATUM	LANTAKERENS NAVN	INNLEVERINGS- DATO

624.131.221mg R635

TEK



75A023330

Universitetsbiblioteket i Trondheim