

NORGES GEOTEKNISKE INSTITUTT
Norwegian Geotechnical Institute

Intern rapport.

Undersøkelser over endringen
av en kvikkleires egenskaper
ved tilsetning av salter.

F. 322-1

13. juni 1967

FORSKNINGSVEIEN 1, OSLO 3 — TLF. 695880

NORGES GEOTEKNISKE INSTITUTT
Norwegian Geotechnical Institute

Intern rapport.

Undersøkelser over endringen
av en kvikkleires egenskaper
ved tilsetning av salter.

F. 322-1

13. juni 1967

FORSKNINGSVEIEN 1, OSLO 3 — TLF. 695880

INNHOLDSFORTEGNELSE

	Side
INNLEDNING	1
BESKRIVELSE AV PROFILET VED MYRER OG AV FORSØKSMATERIALET	1
TILSETNING AV SALTER	2
1. DEL. ATTERBERGSGRENSER OG OMRØRT SKJÆRFASSTHET	3
Prosedyrer og resultater	3
Diskusjon og konklusjon	4
2. DEL. KJEMISKE ANALYSER AV LEIRPRØVENE	7
Prosedyrer og resultater	8
Diskusjon av kjemiresultatene	9
KONTROLLPROSEDYRE FOR EKSTRAKSJON AV Fe OG Al	11
Diskusjon	11
BESTEMMELSE AV IONEBYTNINGS- KAPASITETEN	12
DISKUSJON AV KJEMIANALYSENE SETT I FORHOLD TIL IONEBYTNINGSEVNEN	13
ELEKTRONMIKROSKOP FOTOGRAFIER	15
SAMMENDRAG MED KONKLUSJON AV HELE FORSØKSSERIEN	16

27/6-67

BILAGSFORTEGNELSE.

- Bilag 1. Borprofil fra Myrer, Grefsen.
- Bilag 2. Kornstørrelse-fordeling.
- Bilag 3. Røntgendiffraktometeropptak.
- Bilag 4. D.T.A.-kurve.
- Bilag 5. Tabell 1. Resultater for Atterbergsgrenser og konusforsøk.
- Bilag 6. Atterbergsgrenser.
- Bilag 7. Konus-resultater.
- Bilag 8. Flytegrense og aktivitet plottet mot saltkonsentrasjon.
- Bilag 9. Flyteindeks plottet mot nyomrørt skjærfasthet.
- Bilag 10. Tabell 2. Kjemiske data for helt fersk kvikkleire.
- Bilag 11. Tabell 3. Kjemiske data for resten av forsøksserien, ordnet fortløpende.
- Bilag 12. Tabell 4. Kjemiske data for resten av forsøksserien, ordnet prøvevis.
- Bilag 13. Analysedata for Na.
- Bilag 14. Analysedata for K.
- Bilag 15. Analysedata for Mg.
- Bilag 16. Analysedata for Ca.
- Bilag 17. Analysedata for Fe.
- Bilag 18. Analysedata for Al.
- Bilag 19. Tabell 5. Oversikt over hvor meget av de tilsatte kationer som er funnet etter 26 døgns lagring.
- Bilag 20. Kontrollprosedyre, analysedata for Mg.
- Bilag 21. Kontrollprosedyre, analysedata for Fe.
- Bilag 22. Kontrollprosedyre, analysedata for Al.
- Bilag 23. Tabell 6. Analysedata for kontrollprosedyren.
- Bilag 24. Ionebytningskapasitet.
- Bilag 25. Tabell 7. Kation i porevann/kation adsorbent, for Na, K og Mg.
- Bilag 26. Tilsvarende figur.
- Bilag 27. Tabell 8. Kation adsorbent/total ionebytningsevne, for Na, K og Mg.
- Bilag 28. Tilsvarende figur.
- Bilag 29. Elektronmikroskopbilder av Selnes leire uten jern.
- Bilag 30. Elektronmikroskopbilder av Selnes leire med jern.
- Bilag 31. Elektronmikroskopbilder av "mikro glimmer" uten og med jern.
- Bilag 32. Rapport fra SI med prosedyre for fremstilling av preparater til elektronmikroskopbildene.

INNLEDNING

Flere tidligere undersøkelser på leirer (bl. a. av Rosenqvist i 1955), har vist hvordan Atterbergs-grenser forandres ved tilsetning av forskjellige salter til porevannet. Tilsvarende undersøkelser har vist forandring i leirenes skjærfasthet.

En ny forsøksserie ble planlagt, hvor både Atterbergs-grenser og omrørt skjærfasthet (bestemt ved konus) skulle utføres på en og samme prøve. Alle paralleller skulle ha samme vanninnhold. Forskjellige kationer - også Fe og Al - skulle tilsettes som klorider slik at prøvenes porevann fikk samme saltkonsentrasjon (beregnet som normalitet).

I forbindelse med en annen forsøksserie som var påbegynt for å studere "aldring" eller "forvitring" av leirprøver i laboratoriet, skulle en eventuell kjemisk forandring i leirprøvene bestemmes. Det var viktig å få kontrollert graden av nøyaktighet ved de kjemiske analysemetodene. Derfor ble de første prøvene, hvor det var tilsatt kjente mengder av forskjellige kationer, analysert. Her ble konsentrasjonen av kationene bestemt i porevannet, adsorbent til mineralfasen og løst ved Na-citrat-dithionit-behandling.

BESKRIVELSE AV PROFILET VED MYRER OG AV FORSØKSMA TERIALET.

Til denne forsøksserien ble det valgt å bruke en normalkonsolidert kvikkleire fra Myrer med meget lavt saltinnhold i porevannet.

Lokaliteten ligger innen Oslo-byområde, på Grefsenplatået. Leiren er avsatt mellom to morenetrinn fra siste istid, som demmer opp selve Maridalsvannet. Idrettsplassen, hvor prøvene er hentet fra, ligger på kote 173 m. o. h., mens den marine grensen ligger på kote 221 m. o. h. Begrenset av isfrontens tilbaketrekning fra området og frem til isolering fra Oslofjorden, som følge av den isostatiske landhevingen, gir dette et relativt kort tidsrom for avsetningen. Dette gir også en minimumsalder på ca. 9500 år.

Profilet (bilag 1) viser øverst et forvlag på ca. 1 m med vanninnhold på 150 - 300%. Uten noen forvitret toppsone (med forvitret vil her bli forstått en leire hvor det har skjedd en kjemisk forandring), følger et leirlag på 2 m, med enkelte finsand- og siltlag. Fra 3.5 m og ned til antatt fjell eller bunnmorene på

ca. 15 m dyp er det kvikkleire med enkelte siltlag. Materiale brukt til denne forsøksserien er hentet fra to prøvesylindere (54 mm prøvetager), som ble tatt fra 5.1 - 6.1 m og 6.5 - 7.5 m dyp. Et døgn etter prøveopptagning ble sylindere åpnet og materialet godt homogonisert.

Efter homogonisering ble følgende data bestemt:

Vanninnhold	44.6%	av tørrvekt
Flytegrense	29.5%	av tørrvekt
Utrullingsgrense	22.0%	av tørrvekt
Plastisitetsindeks	7.5%	
Eraksjon finere enn 2μ	44 vekt %	
Skemptions aktivitet	0.17	
Porevannets saltinnhold	0.45 g/l	(ekv. NaCl ved ledningsevne måling)
Karbonatinnhold	0.5%	av tørrvekt (gassvolumetrisk)
Humusinnhold	1.05%	av tørrvekt (gassvolumetrisk etter våtveisoksydasjon)
Ionebytningskapasitet	15.0 mekv/100 g	tørrstoff (se eget avsnitt)
Mineralogisk sammensetning:		
Kvarts	2-5%	
Feltspatt	10%	(se røntgendiffraktometer- og D.T.A-opptak bilag 3 og 4)
Glimmermin (10\AA)	65%	
Kloritt	15%	
Blandskikt	5%	

E_h målt direkte i sylindere - 160 mV og -195 mV (mot calomel-ref.)

pH målt direkte i sylindere 8.2 og 8.3. 105 g omrørt leire tilsatt 25 ml 1 N NaCl ga pH = 7.5.

TILSETNING AV SALTER.

Efter homogeniseringen ble det veid ut paralleller på 200 g omrørt kvikkleire i plastbokser med lokk. Prøvene ble tilsatt følgende salter: NaCl, KCl, $MgCl_2$, $CaCl_2$, $FeCl_2$, $FeCl_3$ og $AlCl_3$, oppløst i 5 ml destillert vann, slik at saltkonsentrasjonen i prøvenes endelige porevann ble henholdsvis 0.35 N ("høysalt" ca. 20 g/l) og 0.07 N ("lavsalt" ca. 4 g/l). De beregnede saltkonsentrasjonene uttrykt i g/l for de forskjellige tilsetningene er oppført i tabell I bilag 5.

Forsøksserien ble senere utvidet med tre ekstra prøver. To prøver ble tilsatt ca. 5 ml $Fe(OH)_3$ og $Al(OH)_3$. Dette var nyfelte geler som var vasket fri for overflødig ioner. Her er mengden av Fe og Al den samme som tilsvarende

0.35 N - (høysalt) - tilsetningene av FeCl_3 og AlCl_3 .

En tredje ekstra prøve ble tilsatt 5 g vannholdig humus, som var fremstillet ved ekstraksjon fra torv med Na-lut, utfelt med svovelsyre og vasket med vann. Den tilsatte humusmengde ble senere bestemt og viste seg da å utgjøre bare 0.15% av leirprøvens tørrvekt. Dette var meget mindre enn ventet, og har hatt liten innvirkning på leiren som hadde et opprinnelig humusinnhold på 1.05%. I de fleste bilag er derfor resultatene fra denne prøven sløyfet.

Ved tilsetningen av saltene som klorider, ble det valgt å bruke samme konsentrasjon uttrykt i normalitet. Prøvene ble derved tilsatt samme anionekonsentrasjon, uavhengig om det tilsatte kation var en-, to- eller tre-verdig. Tilsetningene av $\text{Fe}(\text{OH})_3$ og $\text{Al}(\text{OH})_3$ er regnet som treverdige, men her er ladningen etter tilsetning usikker. Disse prøvene kan derfor ikke direkte sammenlignes med tilsvarende prøver med tilsatt samme Fe og Al-konsentrasjon. Mulig ladning for disse to prøvene er diskutert senere.

1. DEL.

ATTERBERGSGRENSER OG OMRØRT SKJÆRFASTHEIT.

Prosedyrer og resultater.

Efter grundig innrøring av salttilsetningene ble prøvene lagret natten over (17 timer), mørkt ved $+7^{\circ}\text{C}$ og i 96% relativ fuktighet. Dette ble gjort for at prøvene skulle få tid til å opprette likevekt mellom mineralfasen og den nye saltkonsentrasjonen i porevannet. Ved denne lagring fikk prøvene en tiksotropisk økning av skjærfastheten. Det ble derfor utført konusforsøk på de lagrete omrørte prøvene før en ny omrøring, og derpå i helt nyomrørt materiale.

Ved både "lagret omrørt" og "helt nyomrørt" forsøk ble det brukt 60 g/60°-konus. For naturlig kvikkleire og prøve tilsatt humus, ble det brukt 10g/60°-konus. Resultatene fra disse forsøk er gjengitt i tabell 1 (bilag 5) og på bilag 7.

Atterbergsgrenser ble derpå bestemt efter standard prosedyre. Resultatene er gjengitt i tabell 1 (bilag 5) og på bilag 6.

Resterende del av materialet (ca. 100 g for hver prøve) ble lagret videre. Etter 26 døgn ble prøvene tatt ut, og skjærfasthet for "lagret omrørt" og "helt nyomrørt" ble på nytt bestemt ved konus.

Prøvene tilsatt $\text{Fe}(\text{OH})_3$, $\text{Al}(\text{OH})_3$ og humus var bare lagret i 17 døgn. Resultatene er gjengitt i tabell 1 (bilag 5) og på bilag 7.

Av hensyn til den kjemiske undersøkelsen var det ikke nok materiale til å få utført en ny bestemmelse av Atterbergsgrenser etter 26 døgn lagring.

Diskusjon og konklusjon.

Atterbergsgrenser: Ved tilsetning av salter øker flytegrensen fra 30% (for kvikkleiren) og opp til 40-50%. Utrullingsgrensen øker tilsvarende fra 22% og opp til 24-28%. Vi skal se litt nærmere på de forskjellige salt-tilsetningene etter økende innvirkning på Atterbergsgrenser.

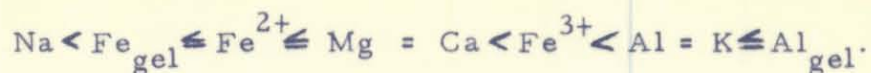
Minst økning gir tilsetning av NaCl. Høysalt og lavsalt gir den samme flytegrensen, hvilket kan bety at allerede ved lavsaltkonsentrasjon er leiren "mettet" med nødvendige Na-ioner. Saltinnholdet i den opprinnelige leirens porevann har vesentlig hatt NaCl som senere er blitt redusert ved utvasking.

Tilsetninger av tre forskjellige toverdige kationer (Mg^{++} , Ca^{++} og Fe^{++}) gir alle tilnærmet de samme verdier for Atterbergsgrenser, og med verdier som bare ligger litt over NaCl-tilsetningen.

Tilsetning av FeCl_3 øker verdiene for Atterbergsgrenser godt over de to-verdige tilsetningene. Ved tilsetning av AlCl_3 og KCl får vi enda høyere verdier. Felles for alle disse tre tilsetningene er en markert forskjell mellom tilsetning av høysalt og lavsalt. Dette kan tyde på at en økende mengde av disse kationene går inn i adsorberte posisjoner ved økende saltkonsentrasjon.

Av spesiell interesse er resultatene fra de to prøvene hvor Fe^{3+} og Al^{3+} ble tilsatt som nyfelte saltfrie hydroksydgeler. For Fe-tilsetningen er verdiene lik tilsvarende resultater ved tilsetning av toverdige kationer. Derimot gir tilsetning av $\text{Al}(\text{OH})_3$ -verdier som er litt større enn ved tilsetning av AlCl_3 . Dette viser tydelig at disse gelene er polariserbare, og at de adsorberes til mineraloverflatene.

Efter økning i Atterbergsgrenser kan virkningen av kationene settes opp i følgende rekkefølge:



Bjerrum (1954) har for norske leirer vist hvordan Skemptions-aktivitet er avhengig av saltkonsentrasjonen i porevannet. For saltinnhold mindre enn 10 g/l er det stor forandring i aktivitetene, mens det ved høyere saltkonsentrasjoner er tilnærmet konstante verdier. Rosenqvist (1955) har ved et laboratorie-eksperiment illustrert et lignende forhold uttrykt ved flytegrensen og økende saltkonsentrasjon av NaCl.

På bilag 8 er resultatene for flytegrensene ved de forskjellige kationtilsetningene på tilsvarende måte uttrykt mot saltkonsentrasjonene i normalitet. Kurvene er tegnet på grunnlag av tre punkter: naturlig kvikkleire, 0.07 N og 0.35 N salttilsetning.

Innvirkningen av kationene kommer her tydelig frem. Tilsetning av Na og toverdige ioner ligger lavest i flytegrense (eller aktivitet), og er mettet - eller nådd en konstant verdi - allerede ved lavsaltkonsentrasjon. Fe^{3+} , Al og K ligger høyere og viser en økning i flytegrensen med økende saltkonsentrasjon. Det er usikkert hvordan Al foreligger i prøvene, om det er som treverdige ion (som inntegnet) eller som hydrolysert med bare to eller en positiv ladning. Dette vil flytte saltkonsentrasjonen mot venstre, og Al-kurven får en større stigning enn inntegnet på figur 8.

Kurvene for Fe- og Al-gelene er ikke inntegnet da vi her hadde bare en konsentrasjon i tilsetningene.

Omrørte skjærfastheter:

Ved lagring i 17 timer fikk prøvene en tiksotropisk økning i sin omrørte skjærfasthet. På bilag 7 er denne "tiksotropiske-skjærfasthet" markert med en konus, mens den helt nyomrørte skjærfasthet er markert med en liten loddrett strek.

Prøvene ble så lagret i 26 døgn (bare 17 døgn for $\text{Fe}(\text{OH})_3$ og $\text{Al}(\text{OH})_3$ -tilsetningene). Et nytt sett med skjærfasthetsverdier ble bestemt, og inntegnet på bilaget rett under tilsvarende tidligere verdier. Det viste seg da at den helt

nyomrørte skjærfasthet ikke har forandret seg nevneverdig ved lagring. Den "tiksotropiske-skjærfasthet" har derimot øket ganske betydelig.

Som allerede vist ved bestemmelsen av Atterbergsgrenser, øker leirprøvenes fasthet ved salttilsetning, men ved konusbestemmelsene er dette mer markert. Fra å være en kvikkleire med omrørt skjærfasthet mindre enn 0.01 t/m^2 , er fastheten etter salttilsetning øket til $0.1 - 0.4 \text{ t/m}^2$.

Felles for alle konusresultatene er en tydelig større omrørt skjærfasthet ved tilsetning av høysalt enn ved tilsetning av lavsalt. Denne forskjellen er minst ved tilsetning av toverdige kationer.

Efter lagring i 26 døgn skiller prøvene tilsatt FeCl_2 , FeCl_3 og AlCl_3 seg ut fra de andre.

Prøvene tilsatt FeCl_2 hadde efter lagring fått en oksydert rødbrun skorpe. Ved bestemmelse av "tiksotropisk-skjærfasthet" trengte konusen gjennom denne skorpen ved å brette den ned i bløtere mindre oksydert leire. Den angitte skjærfasthet på 0.67 t/m^2 er derfor bare en midlere verdi. Verdien for helt nyomrørt skjærfasthet er også øket meget ved lagring i 26 døgn. Dette skyldes at i toppen av prøven var Fe^{2+} oksydert til Fe^{3+} slik at ved ny homogonisering av prøven var omrørt skjærfasthet øket i retning av tilsvarende skjærfasthet for den prøven hvor det var tilsatt Fe^{3+} .

For prøvene tilsatt FeCl_3 er derimot skjærfastheten for helt nyomrørte prøver ikke endret ved lagring.

Felles for både høy- og lavsalt-tilsetninger med FeCl_2 og FeCl_3 er at den "tiksotropiske-skjærfasthet" er øket meget ved lagring. Her er det verd å merke seg at prøvene har vært lagret fuktig og mørkt ved $+7^\circ\text{C}$, men i oksyderende miljø med tilgang på luft. Sammenlignet med farge og skjærfasthet i en naturlig "tørrskorpeleire" og disse prøvene med tilsatt jern, er det derfor nærliggende å legge vekt på leirprøvenes jern-innhold ved oksydasjon eller forvitring.

Den eneste prøven hvor den "tiksotropiske-skjærfasthet" er gått ned ved lagring er ved høysalt-tilsetning av AlCl_3 . Dette kan muligens forklares ved at AlCl_3 hydrolyserer i vandig miljø og danner geler, som efter 17 timer hadde begynt å krystallisere. Ved omrøring ble dette brutt i stykker, og en ny lagring på 17 døgn har ikke vært tilstrekkelig til en fullstendig nydanning av de sementerende effekter.

Også ved konusforsøkene gir tilsetning av de to nyfelte gelene en økning av leirens fasthet. Fe-gelen ligger meget lavt i omrørt skjærfasthet, mens Al-gelen har verdier som tilsvarer tilsetningene med toverdige kationer. Det kan være verd å merke seg at begge gelene gir en tydelig økning i "tikotropisk-skjærfasthet" etter 17 døgns lagring.

Ut fra økningen i omrørt skjærfasthet ved salt-tilsetning kan følgende rekkefølge for kationene settes opp:

Helt nyomrørt (begge ganger)

og lagret 17 timer: $Fe_{gel} < Na \leq Ca \leq Fe^{2+} \leq Mg < Al_{gel} < Fe^{3+} < K < Al$

Lagret 26 døgner: $Fe_{gel} < Na = Mg < Ca = Al_{gel} < K < Fe^{2+} (?) < Fe^{3+} < Al$

Efter 26 døgner er verdiene for Fe^{2+} (både ved lagret og helt nyomrørt skjærfasthet) for lave p.g.a. at prøvene var delvis oksydert, se side 6.

På bilag 9 er resultatene fra første del av forsøksserien sammenstillet ved at Atterbergsgrenser er omregnet til flyteindeks, $I_L = (W - W_p) / (W_1 - W_p)$ og plottet mot nyomrørt konus-skjærfasthet etter 17 timers lagring.

Fra den naturlige kvikkleiren som har flyteindeks på 3.0 og nyomrørt skjærfasthet mindre enn $0.01 t/m^2$, ligger resultatene for salttilsetningene på rette linjer innen et relativt smalt område. Tilsetninger med Na ligger nærmest den naturlige kvikkleiren, derpå følger de toverdige kationene godt samlet, og til slutt Fe^{III} , K og Al med høysalt-tilsetningene lengst vekk fra den naturlige leiren.

Nedenfor dette område kommer de to tilsetningene med Fe- og Al-gel. Disse to prøvene har lav flyteindeks i forhold til nyomrørt skjærfasthet.

2. DEL.

KJEMISKE ANALYSER AV LEIRPRØVENE.

Som nevnt i innledningen var det av interesse å få utarbeidet en analysemetode for kjemisk analyse av leirprøver. Ved å analysere leirprøvene fra 1.del med tilsatte kjente mengder av forskjellige kationer, kunne nøyaktigheten av analysemetoden bestemmes.

Det viste seg da at det var problemer med å bestemme mengden av Fe og Al. Dette førte til at det ble utført en kontroll-prosedyre på to prøver med tre forskjellige ekstraksjonsmetoder og hvor vaskeprosessen ble gjentatt et stort antall ganger.

I forbindelse med bestemmelse av ionebytningskapasiteten, ble det også utført en utvidet analyse på de forskjellige vaskevannene som ga et noe uventet resultat.

Tilslutt ble det tatt elektron-mikroskop-bilder av leire fra Selnes før og etter tilsetning av $\text{Fe}(\text{OH})_3$.

Prosedyre og resultater.

Efter lagring i 26 døgn ble prøvene analysert med hensyn på følgende kationer: Na, K, Mg, Ca, Fe og Al. Til analysene ble det brukt et Perkin-Elmer atomabsorbsjons-spektrofotometer, modell 290.

Prosedyren omfatter bestemmelse av katkonene:

- A, i utpresset porevann
- B, ekstrahert med NH_4 -acetat (pH = 5), som gir kationer i porevannet pluss adsorbert til mineralfasen
- B-A, adsorbert til mineralfasen
- C, ekstrahert fra geler og fra mineralfasen ved Na-citrat-dithionit (etter Mehra and Jackson).

En detaljert prosedyre er utarbeidet og beskrevet i intern rapport F 322-2.

Det ble samtidig utarbeidet et EDB-program for utregning av resultatene, se intern rapport F 325.

Resultatene fra forsøksserien er ført opp i tabell 2, 3 og 4 (bilag 10, 11 og 12) og tegnet som histogrammer på bilag 13 - 18.

På en helt fersk kvikkleireprøve fra Myrer ble det kjørt et sett med kjemiske analyser. Resultatene er ført opp i tabell 2, bilag 10. Det ble brukt den samme prosedyre som ved resten av forsøksserien, men før vi var klar over feilkildene. Ved sammenligning med senere resultater kan derfor enkelte avvik i resultatene skyldes laboratorieunøyaktighet ved denne første prøven.

Resten av forsøksmaterialet ble analysert samtidig og resultatene fra denne serien kan derfor direkte sammenlignes.

De nevnte feilkildene ved prosedyren ligger vesentlig i vaskeprosessene ved tid og temperatur. Det er derfor viktig at prosedyren følges helt punktlig. Ved analysemetoden hvor spektrofotometeret brukes er det meget stor nøyaktighet hvis man passer på å bruke riktige kalibrerings-standarder (se også F 322-2 - Laboratorieprosedyre).

Til EDB-programmet ble prøvene nummerert fortløpende. Det er derfor nederst på bilag 10 ført opp en oversikt med de prøvenummer som er brukt i bilag 11 og 12.

Diskusjon av kjemieresultatene.

Analyseresultatene og kurvene på bilag 13-18 viser både nøyaktigheten ved kjemiprosedyren og på hvilken måte de tilsatte kationene virker på leirprøven.

1. Kurven for "Porevann + Adsorbent" (svarende til B-vask = NH_4 -acetat-behandling), gir summen av de kationer som kan være med i en ionebytningsprosess, forutsatt at leirmineralene ikke angripes ved acetatbehandlingen. Hvis denne kurven er tilnærmet konstant (unntatt for det kation som er tilsatt), viser dette at prosedyren og analysemetoden er tilfredsstillende. Dette er meget godt illustrert på bilag 14 som viser resultatene hvor det er analysert på K. Noe dårligere er resultatene for Na og Mg på bilag 13 og 15.

Derimot viser kurven for Ca-analysene bilag 16 at acetatbehandlingen angriper prøver som inneholder karbonat. Ved vask med NH_4 -acetat som har $\text{pH} = 5$, går karbonatene delvis i løsning, og litt varierende behandlingstid under prepareringen gir store unøyaktigheter.

Ved analyse av Fe og Al er det ikke målbare mengder av disse kationene i porevannet slik at kurven for "Porevann + Adsorbent" blir den samme som "Adsorbent".

2. Kurvene for "Porevann" viser først hvor meget av et kation (f.eks. Na) som er i prøvens naturlige porevann (øverste kolonne på bilagene 13-18 - "Naturlig leire, Fersk"). Etter tilsetning av et annet kation, presses det første kationet ut fra adsorbent posisjon og ut i porevannet. Ved å sammenligne med mengden i naturlig porevann, kan det direkte bestemmes hvor meget de forskjellige tilsatte kationene har presset ut og innvirkningen av høysalt i forhold til lavsalt.

3. Kurvene for "Adsorbent" viser tilsvarende reduksjon av det analyserte kation som satt i adsorbent posisjon.

Ut fra kurvene for "Porevann" og "Adsorbent" er det derfor mulig å studere en del av den kjemiske innvirkning ved tilsetning av forskjellige salter til en leirprøve.

4. For å bestemme en annen del av den kjemiske innvirkning på en leirprøve - nemlig sementerende effekter ved kornkontaktene - ble prøvene behandlet med Na-citrat-dithionit. Kurvene for "Na-citrat-behandlet" har derfor størst interesse for Fe og Al (bilag 17 og 18), hvor amorfe Fe- og Al-forbindelser er frigjort fra leirprøvene.

Ved en senere kontrollanalyse er det påvist at også mineralene angripes ved citrat-dithionit-behandlingen. Dette forstyrrer derfor resultatene, og det er mulig at K, Mg og Ca ved "Na-citrat"-kurvene skriver seg fra mineraler som er angrepet (se eget avsnitt).

I tabell 5 på bilag 19 er kjemiresultatene fra den ferske kvikkleiren pluss mengden av de tilsatte kationene sammenlignet med hvor meget som er funnet igjen etter 26 døgns lagring. Ideelt skulle disse to summene vært like store hvis kjemiprosedyren hadde vært helt tilfredsstillende. Det kan imidlertid konkluderes med at for Na, K og Mg er det tilnærmet brukbare resultater. Derimot for Ca er det NH_4 -acetatbehandlingen som delvis har løst karbonat, og for Fe og Al er det Na-citrat-behandlingen som har angrepet mineralene som gir usikre resultater. Fra tabellen er verdiene for AlCl_3 tallmessig gode, men de er i virkeligheten meget usikre (se eget avsnitt).

Mulige unøyaktigheter kan også foreligge ved tilsetningene. NaCl , KCl og AlCl_3 er tilsatt i nøyaktige mengder, mens tilsetning av MgCl_2 , CaCl_2 , FeCl_2 og FeCl_3 er mer usikre på grunn av varierende mengde krystallvann og grad av hygroskopisitet.

Ved nesten alle analyser er det funnet for meget etter lagring. Dette kan skyldes at citratbehandlingen har vært mer effektiv ved serieanalysen enn ved den første ferske kvikkleireprøven (se side 8).

En lignende tabell er satt opp hvor det i stedet for resultatene fra fersk naturlig prøve er brukt resultatene fra naturlig leire lagret 26 døgn. Denne tabellen gir noe andre tall, men ingen endring i nøyaktighet for hvor meget av de tilsatte kationene som er funnet igjen etter lagring av prøvene.

KONTROLLPROSEDYRE FOR EKSTRAKSJON AV Fe OG Al.

På grunn av problemet med å bestemme Fe og Al i prøvene, ble det startet en kontrollprosedyre for eventuelt å finne frem til feilkilder ved den anvendte prosedyren.

To prøver, tilsatt $\text{Fe}(\text{OH})_3$ og $\text{Al}(\text{OH})_3$, ble delt i tre paralleller. De ble vasket etter standard prosedyre med NH_4 -acetat (pH = 5) for å fjerne kationer i porevannet og adsorbent til mineralfasen.

1. En parallell fra hver prøve ble vasket med Na-citrat
2. Et annet sett paralleller ble vasket med EDTA
3. Det siste sett paralleller ble vasket med NH_4 -oksalat (etter Goldschmidt).

Ved Na-citrat-behandlingen (pH = 7) ble det brukt samme prosedyre som tidligere beskrevet. Til EDTA-behandlingen ble det til hver vask brukt 40 ml av 0.5 N Tripleks III (pH = 4). Oksalsyreuttrekket ble utført med 40 ml av følgende løsning: 18.9 g oksalsyre (+ 2 H_2O) pluss 37.26 g NH_4 -oksalat i en liter destillert vann (pH = 3). Alle vask ble utført i vannbad på 80°C og med like lang tid for alle paralleller.

Et unntak er den første EDTA-vasken som ble utført ved risting i 17 timer ved 20°C .

Antall vaskeprosesser var først 6, men ble etter 14 dager øket til 10 (markert med piler på bilagene). Hvert vaskevann ble analysert og resultatene er tegnet kumulativt på bilag 20, 21 og 22. Her er kurvene for $\text{Fe}(\text{OH})_3$ -prøvene heltrukket og kurvene for $\text{Al}(\text{OH})_3$ -prøven er stiplet. Resultatene er også oppført i tabell 5.

Diskusjon.

Vaskevannene ble først analysert på Mg som skulle være fjernet fra prøvene ved NH_4 -acetat-behandlingen.

Kurvene for Na-citrat faller meget godt sammen for de to prøvene. Dette viser at prosedyren er brukbar for sammenligning av parallelle prøver.

Derimot har kurven en nesten konstant økning for hver ny vask. Det kan derfor slutes at det frigjøres Mg fra mineralene, f. eks. fra kloritt.

De to andre ekstraksjonsmetodene viser noe dårligere parallellitet, men det er tydelig at disse angriper mineralene relativt meget (stemmer med pH-verdiene). Den EDTA-vasken som ble utført ved risting i 17 timer ved 20°C viser meget mindre ekstraksjon enn den første vask i 20 minutter i vannbad ved 80°C.

Bilag 21 og 22 viser resultatene analysert for Fe og Al hvor differensen mellom de to kurvene skulle gi tilsatt Fe og Al. Sammenholdt med tabell 5 kan det slutes at ingen av de tre ekstraksjonsmetodene gir tilfredsstillende resultater for opprinnelig tilsatt Fe og Al, selv om mengden Fe og Al funnet i ekstratene er mange ganger så stor som tilsetningen. F. eks. etter 10. vask med Na-citrat er totalt Fe i ekstraktet (prøve 66) 1200 mg/100 g tørr leire og differensen mellom de to kurvene er 265 mg/100 g tørr leire, mens det var tilsatt 312 mg/100 g tørr leire.

Av tabell 5 fremgår at EDTA gir de beste tallene for Fe og Al, men dette ekstraksjonsmidlet angriper som nevnt mineralene ganske sterkt.

BESTEMMELSE AV IONEBYTNINGSKAPASITETEN.

På forsøksmaterialet fra Myrer ble ionebytningskapasiteten bestemt etter følgende prosedyre:

2 g leire ble vasket to ganger med 50 ml 1 N CaCl_2 (vask Ca_1 og Ca_2). Derpå ble fritt Ca i prøvens vannfase fjernet ved tre vask med 50 ml destillert vann (vask V_1 , V_2 og V_3). Tilslutt ble leiren vasket tre ganger med 50 ml 1 N NaCl (vask Na_1 , Na_2 og Na_3). Det ble også vasket en ekstra gang til slutt med destillert vann (vask V_4). Mengden av utbyttet Ca^{++} i vaskevannet etter NaCl ble bestemt.

For å få en kontroll på nøyaktigheten ved prosedyren og hvordan ioneutbytningen foregikk, ble hver enkelt vask analysert. Resultatene for Na, K, Mg og Ca er vist på bilag 24. I tillegg ble også Fe og Al analysert, men disse resultatene var som ventet lik null.

Mengden Ca som ble utbyttet med Na, gir en ionebytningskapasitet på 14.0 mekv/100 g tørrstoff.

Mer interessant er det å studere kurvene for Mg og K. Ved innvaskning av Ca-
ioner ser vi at Mg og K presses ut i vannfasen med nesten dobbelt så meget Mg
som K. Etter dette kunne vi ventet at alt Mg og K som var adsorbent ville være
utbyttet. Ved tilsetning av Na-ioner får vi derimot en ny liten utbytning av Mg,
mens K viser en ny utbytning som sammenlagt er større enn K-utbytningen mot
Na i krystallgitteret).

Et lignende forhold er å vente for Na, men på grunn av Na-tilsetning kan ikke
en tilsvarende utbytning bestemmes.

Mengden av K og Mg som ble utbyttet mot Na er beregnet til 10. mekv/100 g.
Den samlede ionebytningskapasiteten er derfor 15.0 mekv/100 g tørrstoff.

Konklusjon.

Forsøket viser tydelig at en del av de utbyttbare kationene har "spesielle"
posisjoner som er bestemt av ladning og ioneradius (evt. i hydrert tilstand).
Dette er illustrert ved at K adsorbent lettere utbyttes med et annet enverdig
kation enn med et to-verdig.

DISKUSJON AV KJEMIANALYSENE SETT I FORHOLD TIL IONEBYTNINGS- EVNEN.

Det er her tatt med resultater for alle salttilsetningene, men bare analysert
for Na, K og Mg.

Forholdet mellom kation i porevannet over kation adsorbent til leirmineraler gir
et tallmessig uttrykk for de forskjellige tilsatte kationers adsorbsjonsevne. Som
nevnt under pkt. 2 s.9 vil et kation som sitter adsorbent i naturlig tilstand
puffes ut i porevannet ved at et annet tilsatt kation adsorberes i stedet. Mengden
av det første kationet vil øke i porevannet og bli redusert i adsorbent posisjon
fordi summen av disse to er konstant (se bilag 13, 14 og 15 "Porevann +
Adsorbent"). Forholdstallet er derfor følsomt selv for små variasjoner.

Ut fra resultatene i tabell 7 og kurvene på bilag 26 kan det settes opp følgende
adsorbsjonsevne for de tilsatte kationene (etter økende innvirkning):

1. Na byttes ut: $K < Mg < Ca = Fe^{2+} = Fe^{3+} = Al$
2. K -" - : $Na < Mg < Ca < Fe^{2+} < Fe^{3+} < Al$
3. Mg -" - : $Na < K < Ca = Al < Fe^{3+} < Fe^{2+}$.

Det kan være verd å merke seg at mens K utbyttes i stadig økende grad, så ser det ut som utbytning av Na når en maksimumsverdi for Ca og er nesten konstant for Fe og Al.

For Mg er det en spesiell situasjon ved utbytting av Mg mot Fe^{2+} . Dette kan skyldes at begge disse kationene kan substituere hverandre i krystallgitteret til kloritt og at dette kommer i tillegg til utbytningen av kationer på mineraloverflaten.

På bilag 26 er det viktig å legge merke til at tilsatt **sakfri** Fe-gel og Al-gel tydelig bytter ut Na og K mens utbytningen av Mg er meget liten. Dette viser at disse gelene opptrer med positive ladninger eller at de kan polariseres slik at de får denne virkning.

For de samme analyseresultatene er det også satt opp et forhold mellom kation adsorbent over den totale ionebytningskapasiteten (15 mekv/100 g tørr leire) regnet i prosent. Resultatene er satt opp i tabell 8 og på bilag 28.

Det kommer tydelig frem på bilag 28, hvor Na, K og Mg adsorbent er tegnet i samme målestokk, at det i naturlig leire vesentlig er Mg som er adsorbent (35%) mens K og Na har bare ca. 6% hver. Dette til tross for at leiren opprinnelig er avsatt i havvann som etter Sverdrup (et.al. 1946) har følgende sammensetning:

Cl^{-}	=	18.97 g/l
SO_4^{--}	=	2.64 "
Na^{+}	=	10.50 "
K^{+}	=	0.38 "
Mg^{++}	=	1.28 "
Ca^{++}	=	0.41 "
Total ca. 34.3 g/l		

De viktigste elementene i havvann etter "The Oceans".

Resultatene på bilag 28 stemmer imidlertid godt overens med verdier funnet av Carroll and Starkey(1960). De har påvist at Mg går inn i adsorbent posisjon i marine leirer og at dette skyldes at havvann inneholder mer Mg enn Ca og at Na adsorberes meget svakere.

Tabell 8 viser også at de tilsatte saltene (0.35 N) ikke bytter ut mer enn 28.2% for NaCl, 29.0% for KCl og 53.6% for MgCl₂ av den totale ionebytningsevnen. Det skal imidlertid her påpekes at den tilsatte saltmengde for "høysalt" tilsvarer 16.9 milliekv./100 g tørr leire og altså er av samme størrelsesorden som ionebytningsevnen på 15 milliekv./100 g tørr leire.

ELEKTRONMIKROSKOP FOTOGRAFIER.

På grunn av problemene med å bestemme Fe og Al ved kjemianalysene, og at disse to elementene hadde stor innvirkning på fasthets-egenskapene, var det av interesse å se hvordan Fe og Al forelå i leirprøvene.

Derfor ble finfraksjonen ($< 2\mu$) fra Selnesleire (en annen finkornet norsk kvikkleire med ionebytningskapasitet på ca. 28 mekv./100 g tørr leire - og vesentlig bestående av hydroglimmer eller "illitt") behandlet med Na-citrat-dithionit og vasket med destillert vann. Alt naturlig "amorft" materiale var nå fjernet. Fra en tynn suspensjon ble en del av prøven tilsatt FeCl₂ i en konsentrasjon ca. 0.3 - 0.4 N (tilsvarer høysalt). Etter grundig homogenisering ble det tilsatt noen dråper H₂O₂ for å få jernet til å oksydere og hydrolysere.

To paralleller, en prøve uten jern-tilsetning og en prøve med, ble preparert som selvberende leirmineralfilmer ved at vannet i prøvene ble erstattet med eter, (se egen rapport fra SI, bilag 32).

Den første billedserien viser kun citrat-behandlede prøver, bilag 29. Her er mineraloverflaten ren og glatt. Den andre serien viser tilsvarende prøve etter jern-tilsetningen, bilag 30. Mineraloverflaten er belagt med mørke difuse flekker spredd ut over hele mineralet. Gjennomsnittlig er diameteren av flekkene på ca. 30 - 50 Å. Dette skulle tyde på "store" klaser med $[n(\text{Fe}(\text{OH})_x)]^{m+}$ som er adsorbent til selve mineraloverflaten. Det er vanskelig å bestemme eksakt ladning og størrelse, men høyst sannsynlig er m et meget lite tall fra 0 til 10, mens n kan ha størrelsesorden 10⁰ til 1000.

Det ble også tatt bilder av knust muskovitt ($< 2\mu$) med samme ionebytningskapasitet (ca. 28 mekv/100 g tørr leire), men hvor det i stedet for tilsatt FeCl₂ som ble adsorbent til mineralene og senere oksydert og hydrolysert med H₂O, ble Fe(OH)₃

tilsatt direkte som nyfelt gel. Ved denne siste billedserien, bilag 31, er resultatet meget svakere.

Dette stemmer både med konusverdiene og med kjemianalysene at virkningen er størst hvis først Fe-ionene kan adsorberes til mineralene og derpå hydrolysere. Tilsatte geler virker meget svakere.

I naturen er begge muligheter til stede ved forvitring. Men spesielt i leirer vil det første være mest vanlig ved at det frigjøres kationer fra noen mineraler som derpå adsorberes på andre mineraloverflater.

Forvitring i laboratoriet.

I forbindelse med forvitring kan kjemi-resultatene fra den helt ferske og den 26 døgn lagrede kvikkleiren sammenlignes. Det blir her å sammenligne kurvene for "Porevann + Adsorbent" på bilag 13-16 og kurvene for "Na-citratbehandlet" på bilag 17-18 (Fe og Al hydrolyserer). Som nevnt på side 8 er en slik sammenligning ikke helt god fordi disse to prøvene ikke ble analysert samtidig og at det derfor kan være laboratorie-unøyaktigheter.

Det er da tydelig at Na, Ca($\frac{1}{2}$), Fe og Al og noe K øker ved lagring, mens Mg reduseres. Av kurven for Na kommer det tydelig frem at salttilsetningene beskytter mot forvitring ved at kurven for "Porevann + Adsorbent" for salttilsetningene har samme verdi som fersk kvikkleire.

Dette passer godt med tidligere iakttagelser og resultater at en kvikkleire i laboratoriet etter relativt kort tid får en betydelig økning av flytegrensen og således ikke er kvikk lenger, mens salte marine leirer har relativt konstant flytegrense ved lagring.

SAMMENDRAG MED KONKLUSJON AV HELE FORSØKSSERIEN.

Ved forvitring av en kvartær leire hvor den mineralogiske sammensetningen vesentlig består av kvarts, feltspatt, glimmer og kloritt, kan følgende ioner tenkes frigjort:

Mineral	Motstandsevne mot forvitring	Kationer frigjort
Kvarts	Meget motstandsdyktig	Si
Anortitt	Ikke motstandsdyktig	Ca, Al, Si
Albitt	Lite motstandsdyktig	Na, Al, Si
K-feltspatt	Motstandsdyktig	K, Al, Si
Hydroglimmer	Lite motstandsdyktig	K (Na), (Fe, Mg), Al, Si
Kloritt	Ikke motstandsdyktig	Fe ²⁺ (Fe ³⁺), Mg, Al, Si
Karbonat	Ikke motstandsdyktig	Ca

Hvor fort de forskjellige mineralene dekomponeres er helt avhengig av det kjemiske miljø som omgir mineralene, og hvor fort dette miljø kan fornyes.

Si er ikke bestemt ved disse forsøk, men i leirer kan Si tenkes å opptre som et anion med en OH-gruppe. Avhengig av miljøet er det lett oppløselig i vann - eller det vil utfelles. Ut fra disse forsøk kan vi ikke bestemme innvirkning på mekaniske egenskaper i en leire, men Si kan eventuelt virke dispergerende (Søderblom 1959).

Fe og Al Fe²⁺ vil kunne oksyderes til Fe³⁺ som igjen tar opp vann og hydrolyserer. Som frie ioner vil Fe²⁺ og Fe³⁺ bindes sterkt til mineraloverflatene. Både Fe³⁺ og Al³⁺ vil hydrolyserer i vandig miljø. Meget taler for at de opptrer som positivt ladede aggregater. Med tiden vil gelene etterhvert kunne krystalliseres. Som elektron-mikroskop-bildene viser har gelene festet seg til mineraloverflatene i store klaser. Tilsatt Fe-gel virker svakere enn geldannelse "in-situ".

Mg og Ca vil vesentlig ha innvirkning ved utbytning av K og Na i adsorberte posisjoner, men Mg og Ca har mindre innflytelse på fasthetsegenskapene enn K, Fe³⁺ og Al.

K adsorberes svakere enn Mg, Ca, Fe og Al, men K har stor innvirkning på leirens mekaniske egenskaper.

Na derimot har meget liten virkning.

Til slutt en oppsummering av kationenes økende innvirkning, bestemt ved:

Atterbergsgrenser: $Na < Fe_{gel} \leq Fe^{2+} \leq Mg = Ca < Fe^{3+} < K = Al \leq Al_{gel}$

Konus-skjærfasthet,
ny-omrørt og lagret
17 timer:

$Fe_{gel} < Na \leq Ca \leq Fe^{2+} \leq Mg < Al_{gel} < Fe^{3+} < K < Al$

Lagret 26 døgn:

$Fe_{gel} < Na = Mg < Ca = Al_{gel} < K < Fe^{2+} (?) < Fe^{3+} < Al$

Kation-adsorpsjon:

1. mot enverdige ioner: $Fe_{gel} \leq Al_{gel} < Na < K < Mg < Ca \leq Fe^{2+} \leq Fe^{3+} \leq Al$

2. mot toverdige ioner: $Fe_{gel} \leq Al_{gel} < Na < K < Mg < Ca = Al < Fe^{3+} < Fe^{2+}$

Dette betyr at ved forvitring er det først og fremst K, Fe og Al som virker inn på leirens skjærfasthet og danner "tørrskorpe". Tørrskorpen har som regel samme (eller høyere) vanninnhold enn underliggende leire i samme profil.

K øker flytegrenseverdien som gir øket fasthet.

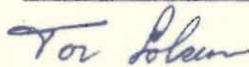
Fe virker sementerende ved oksydasjon og ved krystallisasjon av geler som gir brunfarge og øket fasthet.

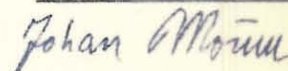
Al øker både flytegrenseverdien og virker samtidig sementerende ved krystallisasjon av geler som gir øket fasthet.

Den store betydning som Al har for de mekaniske egenskapene var relativt tidlig kjent, og blant annet anbefalte Casagrande å bruke Al-anoder ved elektro-osmose-anlegg, for samtidig å øke leirens fasthet.

NORGES GEOTEKNISKE INSTITUTT


Laurits Bjerrum


Tor Løken


Johan Moum

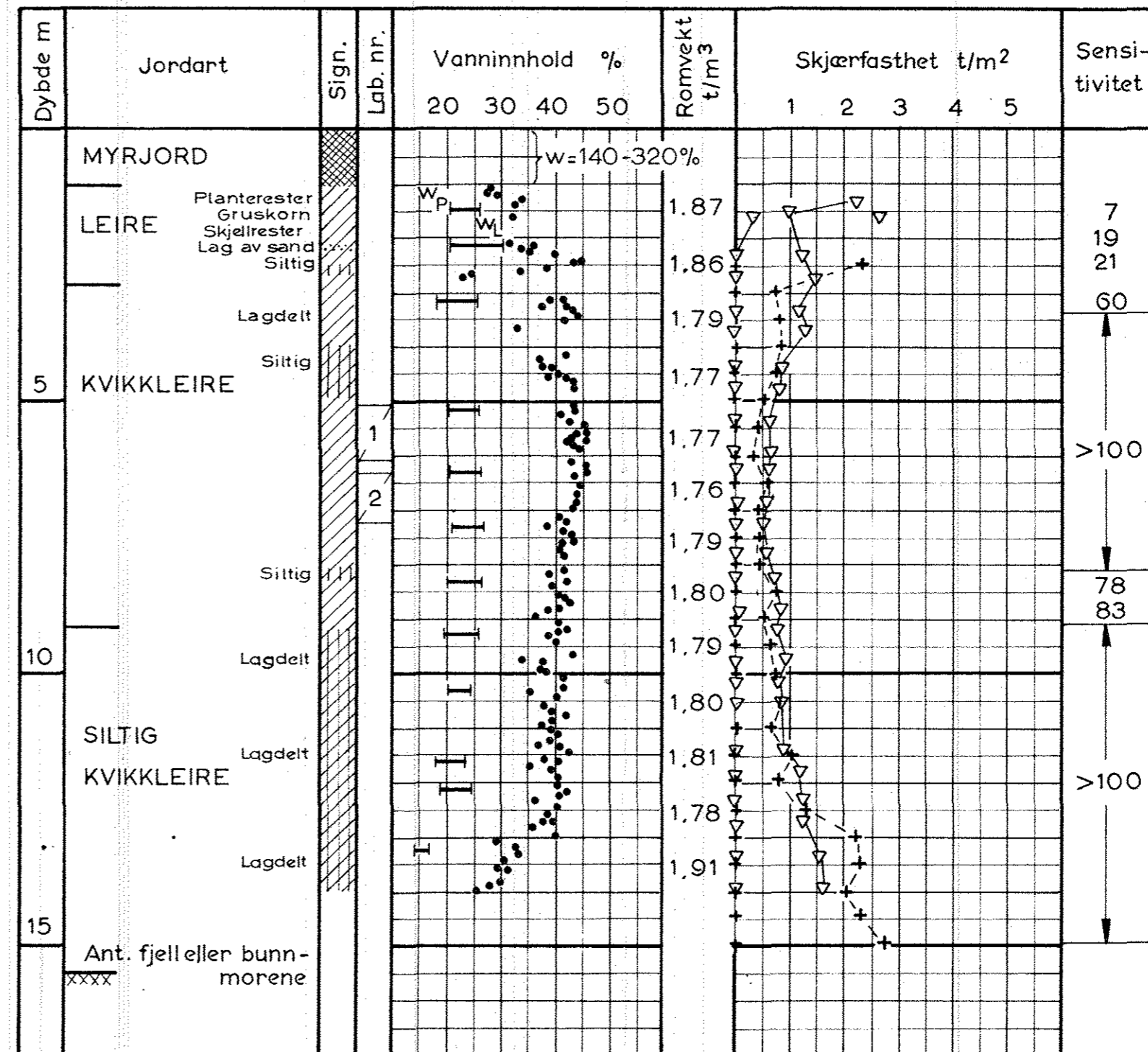

Olav Ihlen Sopp

Litteraturliste

- Bjerrum, L. (1954)
Geotechnical properties of Norwegian marine clays.
Géotechnique, b. 4, nr. 2, s. 49-69.
Norges geotekniske institutt. Publikasjon, 4.
- Carroll, D. og H.C. Starkey (1960)
Effect of sea-water on clay minerals.
National Conference on Clays and Clay Minerals, 7. Washington, D.C.
1958. Proceedings, s. 80-101.
- Hougen, H., E. Klüver og O.A. Løkke (1925)
Undersøkelser over norske lerer. V. Kjemiske analyser utført for
Statens råstoffkomité.
Oslo. 20s.
Statens råstoffkomité. Publikasjon, 22
- Løken, T. og J. Moum (1967?)
Prosedyre for kjemisk analyse av leirprøver.
Norges geotekniske institutt. Intern rapport, F. 322-2.
Under utarbeidelse
- Mehra, O.P. og M.L. Jackson (1960)
Iron oxide removal from soils and clays by a dithionite-citrate
system buffered with sodium bicarbonate.
National Conference on Clays and Clay Minerals, 7. Washington, D.C.
1958. Proceedings, s. 317-327.
- Moe, J. (1967?)
Beregning av resultater fra kjemisk analyse av leirprøver ved EDB.
Norges geotekniske institutt. Intern rapport, F. 325.
Under utarbeidelse
- Rolfsen, E.N. og O. Eide (1966)
The variations of the Atterberg Limits (w_p and w_L) of a Norwegian
quick clay with time when the clay is stored in contact with air.
Norges geotekniske institutt. Intern rapport, F. 296, 2s. + ill.
- Rosenqvist, I. Th. (1955)
Investigations in the clay-electrolyte water system.
Norges geotekniske institutt. Publikasjon, 9, 125s.
- Sverdrup, H.U., Johnson, M.W. og R.H. Fleming (1955)
The oceans; their physics, chemistry and general biology. 6.
printing.
Englewood Cliffs, N.J.; Prentice-Hall. 1087s.
- Søderblom, R. (1959)
Aspects on some problems of geotechnical chemistry.
Geologiska föreningen i Stockholm. Förhandlingar, b. 81, s. 727-732.

MYRER, Kjelsås

Hull 1



+ vingebooring ▽ konusforsök w=vanninnhold w_L=flytegrense w_p=utrullingsgrense

Norges geotekniske institutt

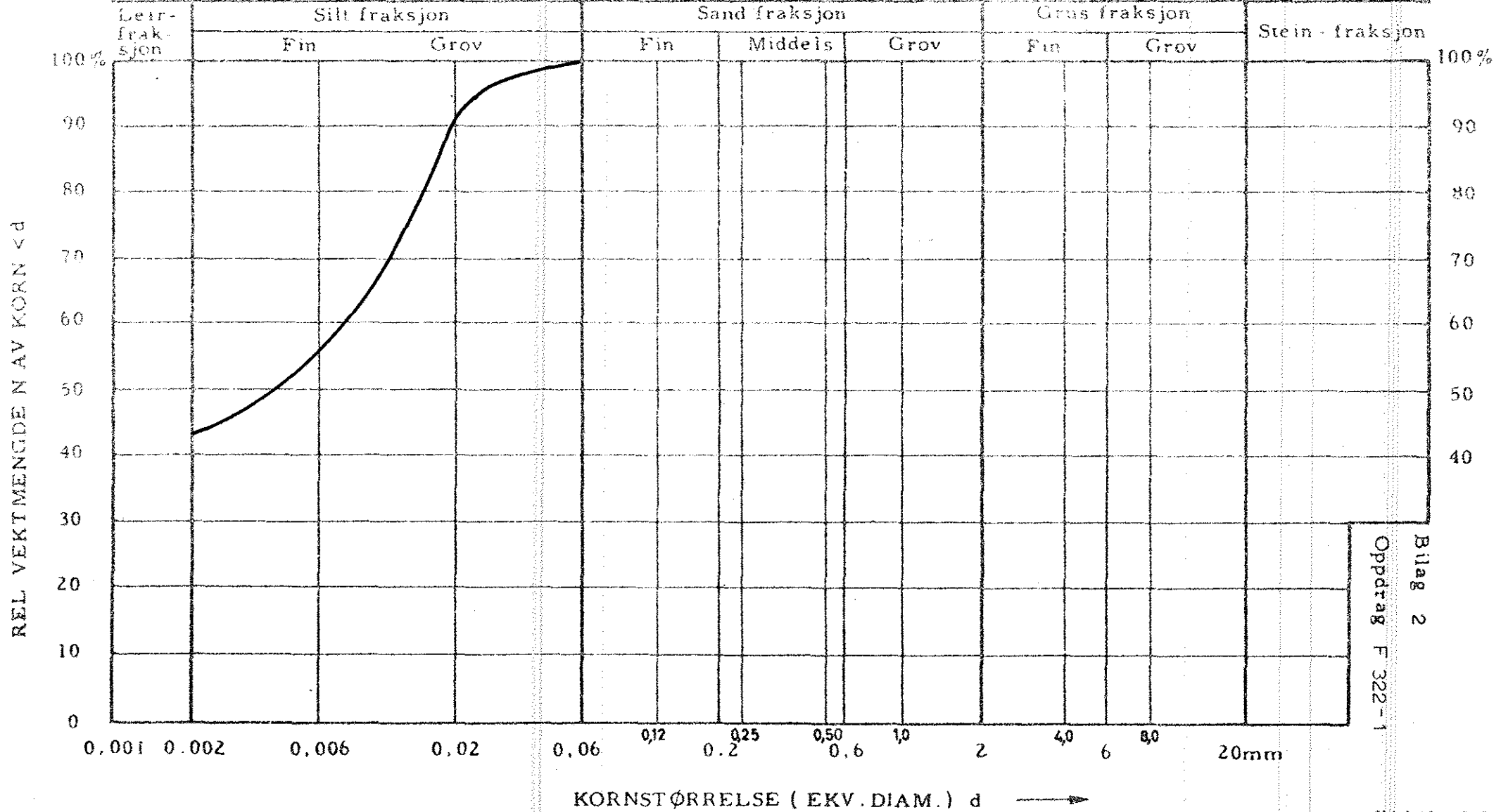
KORNSTØRRELSE - FORDELING

Sted

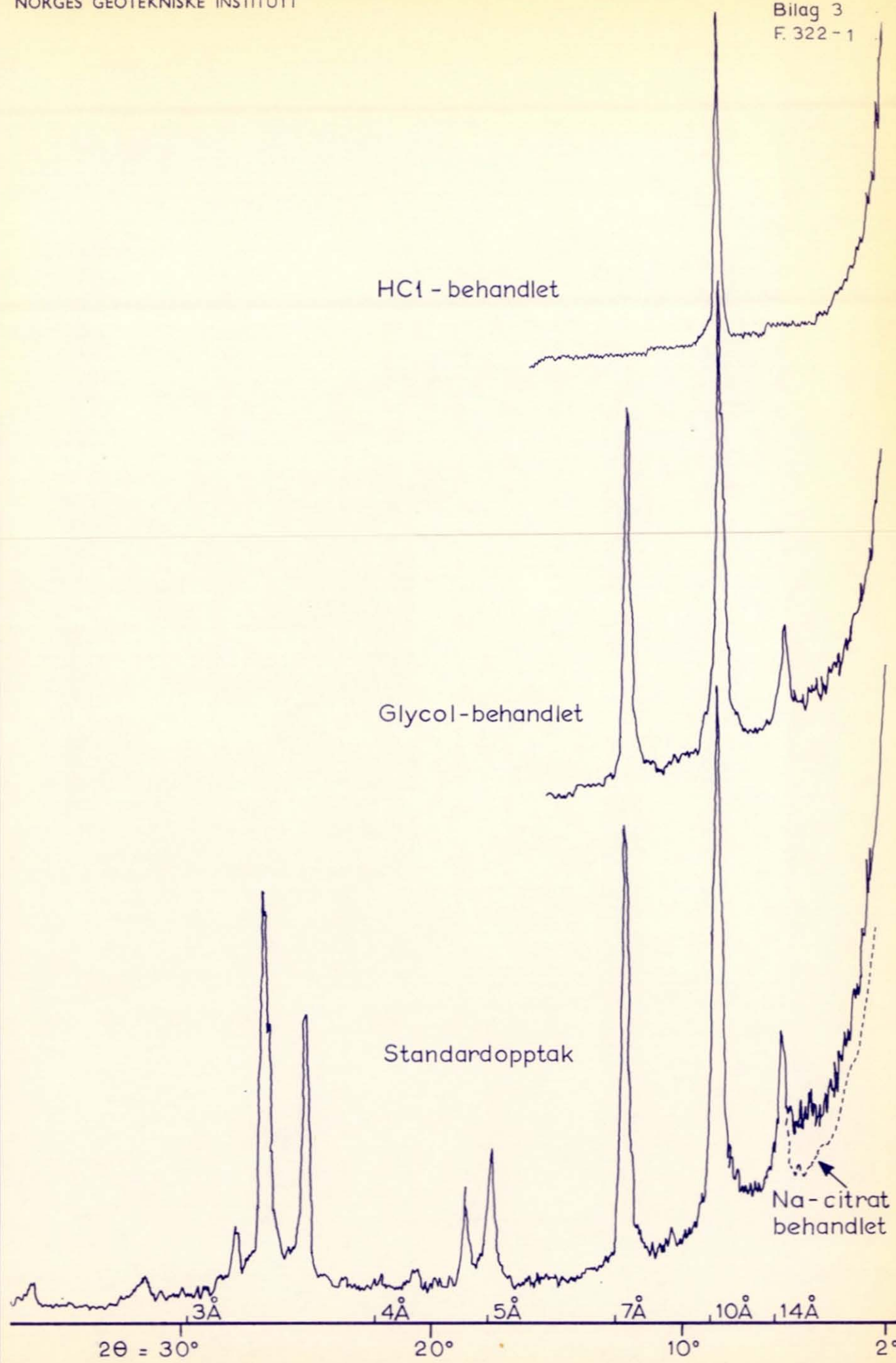
KVIKKLEIRE FOR MYRER, GREFSEN

Dato 27/4-67

Sign



Bilag 2
Oppdrag F 322-1

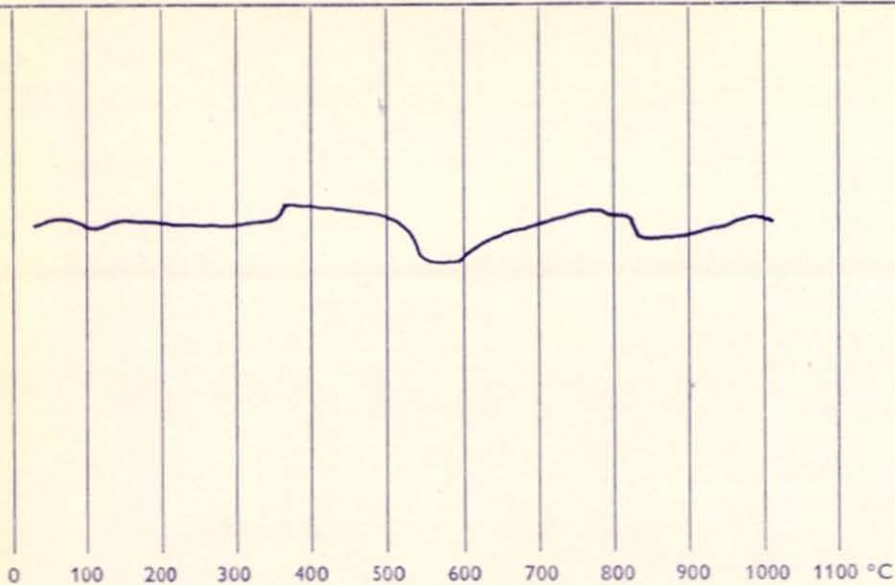


Prøve: KVIKKLEIRE FRA MYRER, GREFSEN

Nr.:

Dato: 6/4-67

Anmerkninger:



Beskrivelse:

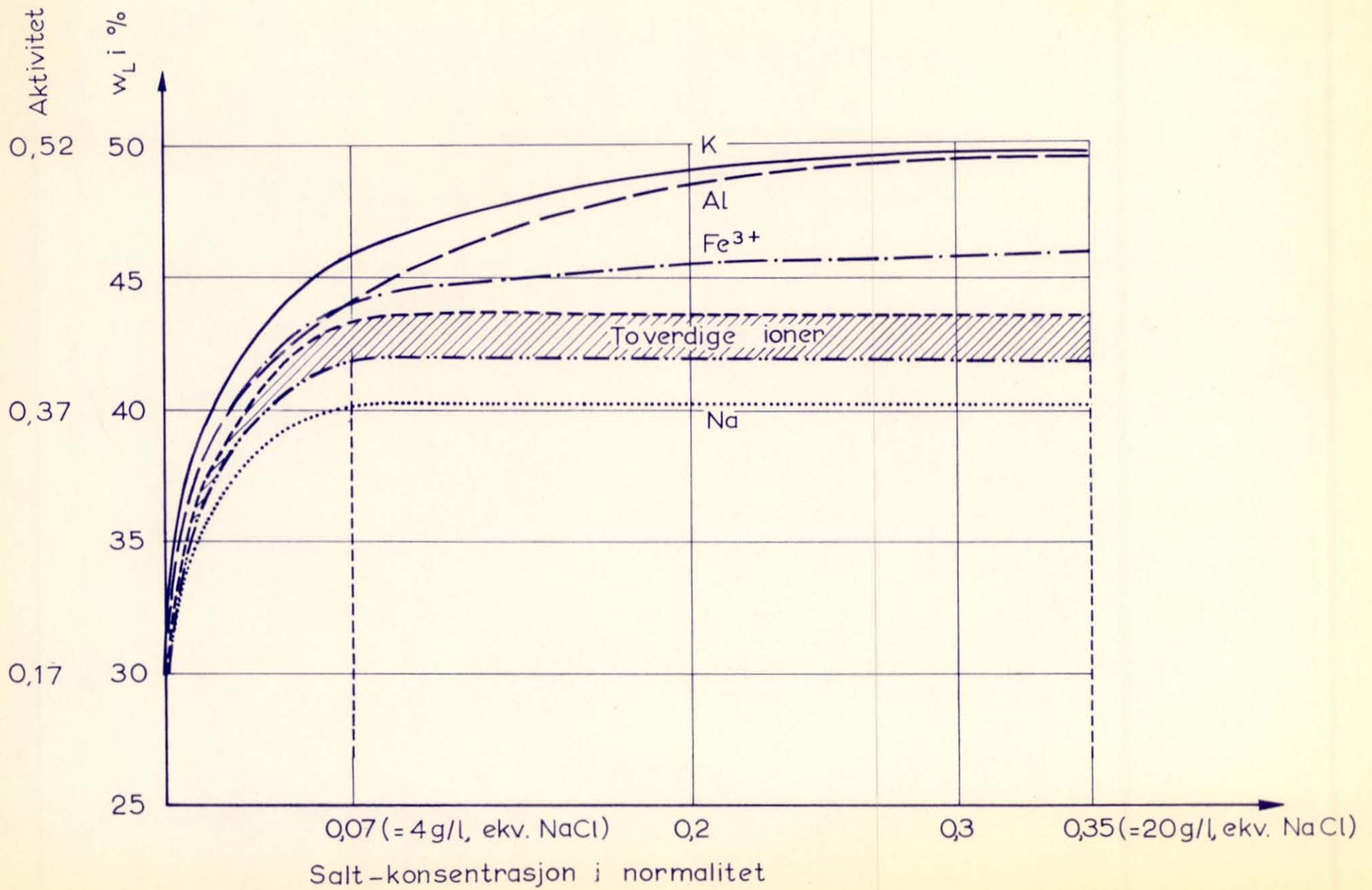
Kvikkleire med tilsatt:	Salttilsetning		Be- regnet	Plastisi- tetsverdier			Konusverdier (etter 17 t)			Konusverdier (etter 26 d)			Efter 26 døgn
	Normalitet	g/l		w %	w _L %	w _P %	I _p %	s _u [*] t/m ²	s _u t/m ²	s _t	s _u [*] t/m ²	s _u t/m ²	s _t
(Naturlig)	0.0	0.5	44.6	29.45	22.00	7.45	<0.01	≪0.01	-	0.04	<0.01	-	43.00
Humus	0.0	-	ca 48.0	29.10	23.20	5.90	0.02	<0.01	-	0.15	<0.01	-	46.50
NaCl	0.35	20.5	„	40.10	23.70	16.40	0.17	0.11	1.5	0.26	0.11	2.6	46.10
NaCl	0.07	4.1	„	40.20	25.00	15.20	0.13	0.10	1.3	0.19	0.10	1.9	46.05
KCl	0.35	26.0	„	49.85	27.20	22.65	0.40	0.29	1.4	0.50	0.26	1.9	46.45
KCl	0.07	5.2	„	45.95	25.00	20.95	0.23	0.18	1.3	0.37	0.17	2.2	47.50
MgCl ₂	0.35	16.7	„	42.70	24.80	17.90	0.18	0.13	1.4	0.26	0.13	2.0	47.00
MgCl ₂	0.07	3.34	„	43.20	24.95	18.25	0.17	0.13	1.3	0.25	0.14	1.8	48.00
CaCl ₂	0.35	19.25	„	43.10	24.60	18.50	0.21	0.14	1.5	0.30	0.16	1.9	46.50
CaCl ₂	0.07	3.81	„	42.80	26.15	16.65	0.19	0.15	1.3	0.28	0.16	1.8	47.50
FeCl ₂	0.35	22.15	„	42.40	24.90	17.50	0.17	0.12	1.4	0.67	0.19	3.5	46.25
FeCl ₂	0.07	4.43	„	42.40	25.20	17.20	0.16	0.13	1.2	0.43	0.14	3.1	47.60
FeCl ₃	0.35	18.8	„	46.20	23.80	22.40	0.38	0.21	1.8	0.78	0.21	3.7	46.70
FeCl ₃	0.07	3.76	„	44.30	23.60	20.70	0.19	0.14	1.4	0.31	0.14	2.2	47.00
AlCl ₃	0.35	15.5	„	49.80	28.20	21.60	0.92	0.42	2.2	0.89	0.38	2.3	46.50
AlCl ₃	0.07	3.1	„	44.35	25.90	18.45	0.32	0.21	1.5	0.43	0.20	2.1	46.70
Fe(OH) ₃	0.35	-	„	42.30	26.20	16.10	0.08	0.05	1.6	0.15	0.06	2.5	48.50
Al(OH) ₃	0.35	-	„	51.30	28.0	23.30	0.25	0.16	1.6	0.30	0.15	2.0	50.60

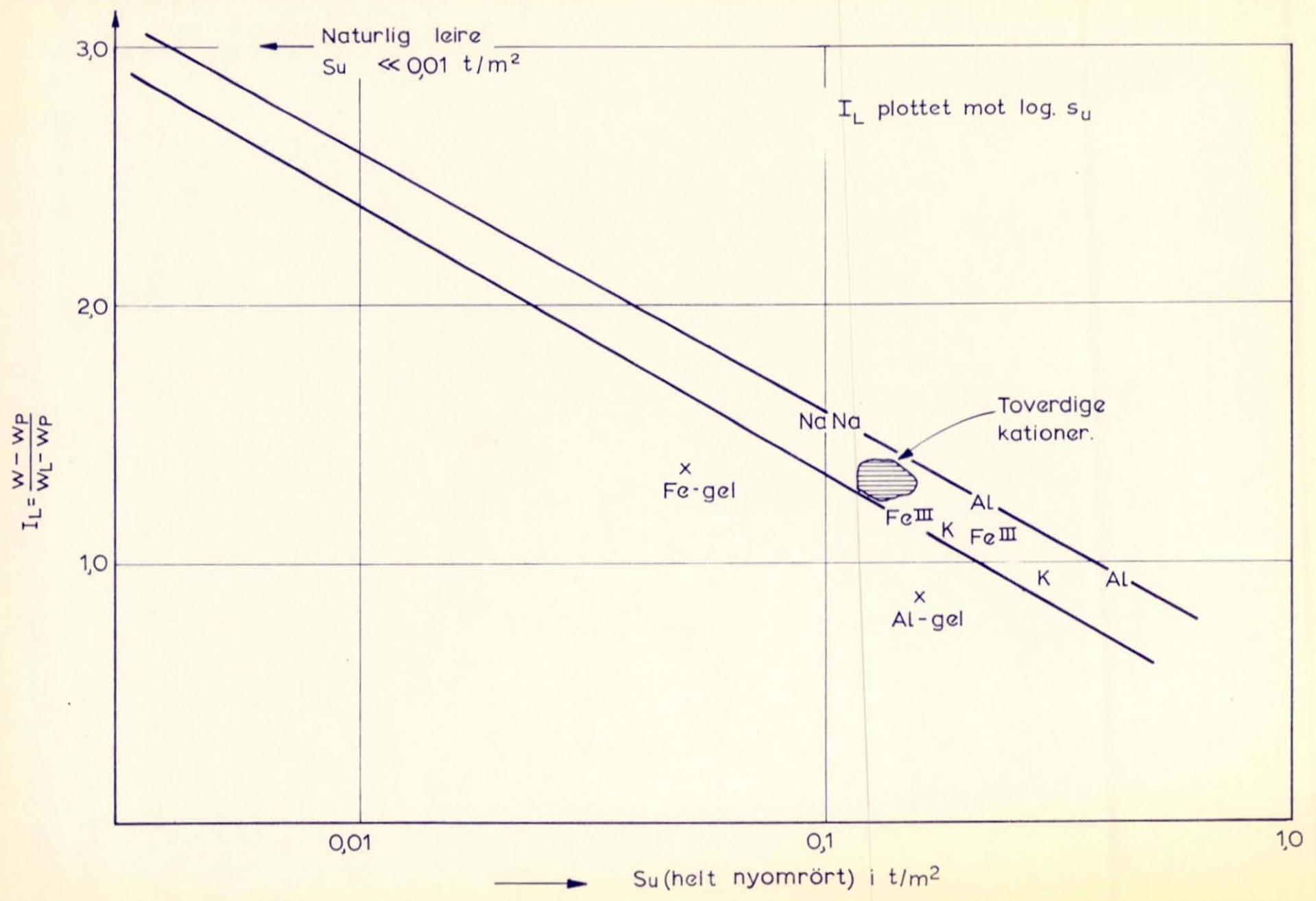
Tabell 1. Resultater fra første forsøksserie.

s_u^{*} er skjærfasthet etter lagring av omrørte prøver, s_u er skjærfasthet for helt nyomrørte prøver, s_t er forholdet $\frac{s_u^*}{s_u}$

BESTEMMELSE AV ATTERBERGS GRENSER

Kvikkleire med tilsatt:	w i % →				
	10	20	30	40	50
Naturlig kvikkleire			w_P	w_L	
NaCl 0,35 N			-----		
— " — 0,07 N			-----		
KCl 0,35 N			-----		
— " — 0,07 N			-----		
Mg Cl ₂ 0,35 N			-----		
— " — 0,07 N			-----		
Ca Cl ₂ 0,35 N			-----		
— " — 0,07 N			-----		
Fe Cl ₂ 0,35 N			-----		
— " — 0,07 N			-----		
Fe Cl ₃ 0,35 N			-----		
— " — 0,07 N			-----		
Al Cl ₃ 0,35 N			-----		
— " — 0,07 N			-----		
Fe (OH) ₃ 0,35 N			-----		
Al (OH) ₃ 0,35 N			-----		





Analysert m.h.p.	Na	K	Mg	Ca	Fe	Al	Benevning
A-prøve: Porevann	7.13	0.892	0.116	4.46 ^{1.1}	0.00	0.00	mg/100 g tørr leire
AA-prøve: Porevann	160.0	20.0	2.6	100.0 ^{25.0}	0.00	0.00	mg/l porevann
B-prøve: NH ₄ -acetat beh.	29.0	33.75	65.2	406.0	92.6	3.86	mg/100 g tørr leire
B-A-prøve: Adsorbent	21.87	32.86	65.08	401.54	92.6	3.86	mg/100 g tørr leire
C-prøve: Na-citrat beh.	-	3.86	13.77	48.2	320.5	50.2	mg/100 g tørr leire

Tabell 2. Kjemiske data for helt fersk kvikkleire.

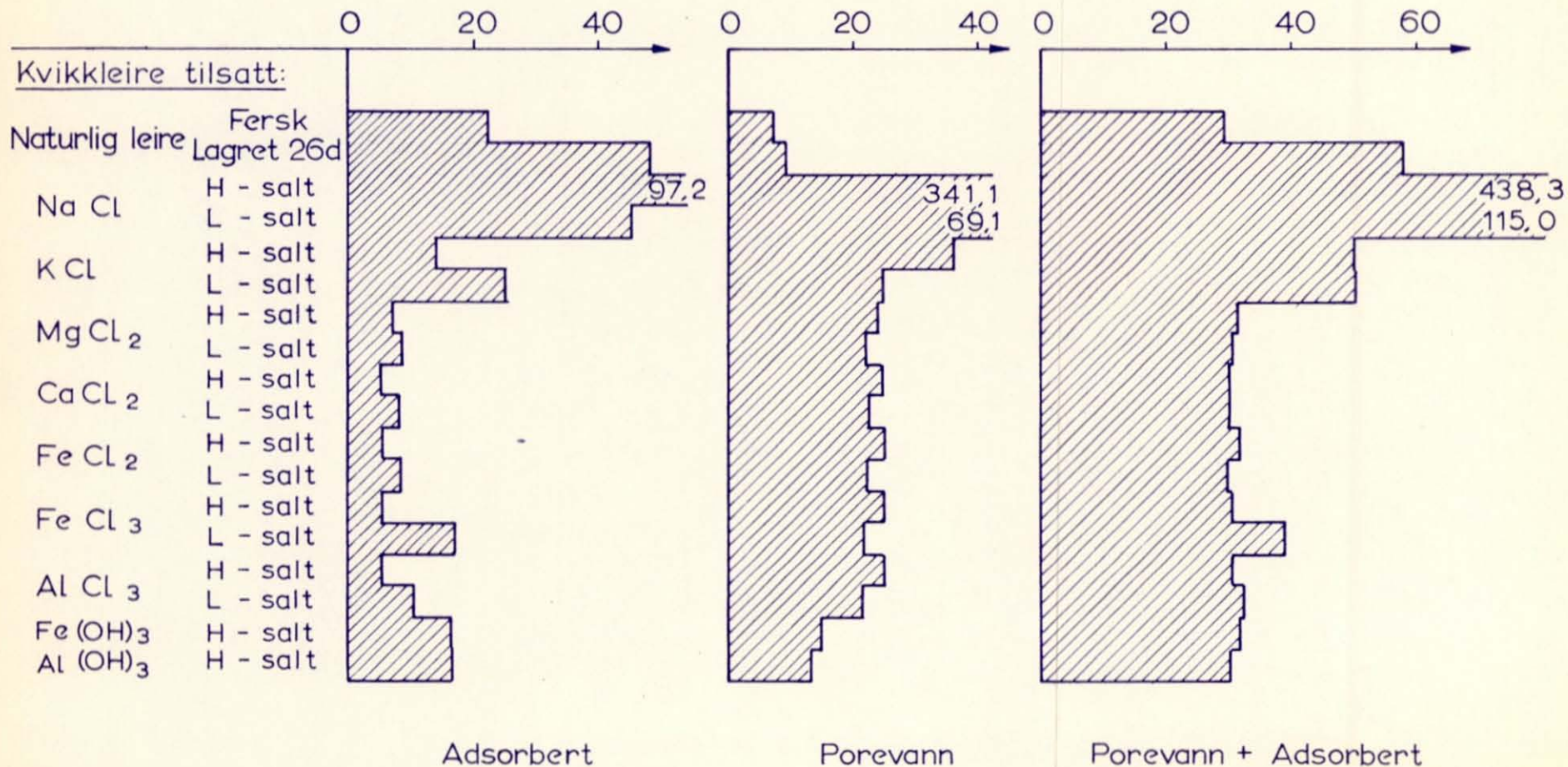
Prøvene på bilag 11 og 12 er nummerert etter følgende tabell:

Tilsetning:	Lagret 26 d.	Humus	NaCl	KCl	MgCl ₂	CaCl ₂	FeCl ₂	FeCl ₃	AlCl ₃	Fe(OH) ₃	Al(OH) ₃
Konsentrasjon:	(Kvikkleire)		H L	H L	H L	H L	H L	H L	H L	H	H
Prøve nr.:	50	51	52 53	54 55	56 57	58 59	60 61	62 63	64 65	66	67

H = (høysalt) 0.35 N i porevannet og L = (lavsalt) 0.07 N i porevannet.

	NA	K	MG	CA	FE	AL	RENEVNING
A PRØVEP							
E0	9.137	1.182	.430	1.075	.000	.000	MG/100G TØRR
E1	8.835	.988	.465	1.162	.000	1.162	MG/100G TØRR
E2	341.140	7.145	13.092	17.702	.000	.000	MG/100G TØRR
E3	69.075	3.454	4.789	6.079	.000	.000	MG/100G TØRR
E4	35.708	421.766	21.367	39.482	.000	.000	MG/100G TØRR
E5	24.700	51.300	10.260	12.635	.000	.000	MG/100G TØRR
E6	23.970	7.285	152.280	31.960	.000	.000	MG/100G TØRR
E7	21.840	4.704	24.960	13.920	.000	.000	MG/100G TØRR
E8	24.645	7.998	26.970	390.600	.000	.000	MG/100G TØRR
E9	22.325	4.892	13.490	50.350	.000	.000	MG/100G TØRR
E0	24.975	8.602	37.925	272.875	.120	.000	MG/100G TØRR
E1	22.134	5.331	13.138	38.080	.000	.000	MG/100G TØRR
E2	25.218	9.060	35.025	294.210	.121	.000	MG/100G TØRR
E3	21.620	5.095	12.972	33.840	.000	.000	MG/100G TØRR
E4	25.110	0.337	28.830	269.700	.000	.000	MG/100G TØRR
E5	21.482	4.717	11.768	32.690	.000	.000	MG/100G TØRR
E6	15.035	2.425	1.358	3.492	.000	.000	MG/100G TØRR
E7	13.662	2.834	.810	2.024	.000	.000	MG/100G TØRR
AA PRØVEP							
E0	212.500	27.500	10.000	25.000	.000	.000	MG/L
E1	190.000	21.250	10.000	25.000	.000	25.000	MG/L
E2	7400.000	155.000	284.000	384.000	.000	.000	MG/L
E3	1500.000	75.000	104.000	132.000	.000	.000	MG/L
E4	768.750	9080.000	460.000	850.000	.000	.000	MG/L
E5	520.000	1080.000	216.000	266.000	.000	.000	MG/L
E6	510.000	155.000	3240.000	680.000	.000	.000	MG/L
E7	455.000	98.000	520.000	290.000	.000	.000	MG/L
E8	530.000	172.000	580.000	8400.000	.000	.000	MG/L
E9	470.000	103.000	284.000	1060.000	.000	.000	MG/L
E0	540.000	186.000	820.000	5900.000	2.600	.000	MG/L
E1	465.000	112.000	276.000	800.000	.000	.000	MG/L
E2	540.000	194.000	750.000	6300.000	2.600	.000	MG/L
E3	460.000	108.400	276.000	720.000	.000	.000	MG/L
E4	540.000	200.800	620.000	5800.000	.000	.000	MG/L
E5	460.000	101.000	252.000	700.000	.000	.000	MG/L
E6	310.000	50.000	28.000	72.000	.000	.000	MG/L
E7	270.000	56.000	16.000	40.000	.000	.000	MG/L
B PRØVEP							
E0	57.200	35.750	55.770	589.875	57.200	8.937	MG/100G TØRR
E1	49.444	34.794	57.135	549.375	56.402	7.325	MG/100G TØRR
E2	438.300	35.794	57.709	529.612	49.857	9.131	MG/100G TØRR
E3	115.014	34.687	56.959	492.919	49.840	7.302	MG/100G TØRR
E4	49.427	649.872	57.848	512.575	49.976	9.153	MG/100G TØRR
E5	49.781	160.406	58.262	516.250	50.334	9.219	MG/100G TØRR
E6	31.237	34.912	249.900	578.812	49.245	7.350	MG/100G TØRR
E7	30.525	35.150	99.900	555.000	46.620	7.400	MG/100G TØRR
E8	29.666	34.794	57.867	1062.125	46.147	5.494	MG/100G TØRR
E9	29.500	35.031	57.525	663.750	47.200	5.531	MG/100G TØRR
E0	30.164	34.734	62.156	548.437	80.803	5.484	MG/100G TØRR
E1	29.520	35.055	58.302	608.850	51.475	5.535	MG/100G TØRR
E2	30.257	34.841	68.215	577.631	76.834	9.169	MG/100G TØRR
E3	38.587	34.912	64.680	661.500	84.157	7.350	MG/100G TØRR
E4	30.216	34.794	62.262	531.062	66.291	80.575	MG/100G TØRR
E5	32.091	34.841	62.347	577.631	68.949	16.504	MG/100G TØRR
E6	31.556	35.269	62.370	584.719	51.789	7.425	MG/100G TØRR
E7	30.120	35.767	60.993	564.750	64.758	15.060	MG/100G TØRR
B-A PRØVEP							
E0	48.062	34.567	55.340	588.80	57.200	8.937	MG/100G TØRR
E1	40.609	33.806	56.670	548.212	56.402	6.163	MG/100G TØRR
E2	97.160	28.649	44.617	511.910	49.857	9.131	MG/100G TØRR
E3	45.939	31.233	52.170	486.840	49.840	7.302	MG/100G TØRR
E4	13.718	228.106	36.481	473.092	49.976	9.153	MG/100G TØRR
E5	25.081	109.106	48.003	503.615	50.334	9.219	MG/100G TØRR
E6	7.267	27.627	97.620	546.852	49.245	7.350	MG/100G TØRR
E7	8.685	30.446	74.940	541.080	46.620	7.400	MG/100G TØRR
E8	5.021	26.796	30.897	671.525	46.147	5.494	MG/100G TØRR
E9	7.175	30.139	44.035	613.400	47.200	5.531	MG/100G TØRR
E0	5.189	26.132	24.231	275.563	80.683	5.484	MG/100G TØRR
E1	7.386	29.724	45.164	570.770	51.475	5.535	MG/100G TØRR
E2	5.039	25.781	33.190	283.421	76.713	9.169	MG/100G TØRR
E3	16.967	29.818	51.708	627.660	84.157	7.350	MG/100G TØRR
E4	5.106	25.457	33.433	261.362	66.291	80.575	MG/100G TØRR
E5	10.609	30.125	50.579	544.941	68.949	16.504	MG/100G TØRR
E6	16.521	32.844	61.012	581.227	51.789	7.425	MG/100G TØRR
E7	16.458	32.934	60.183	562.726	64.758	15.060	MG/100G TØRR
C PRØVEP							
E0	.000	4.040	17.517	16.981	518.375	60.775	MG/100G TØRR
E1	.000	3.955	17.580	18.129	476.125	64.460	MG/100G TØRR
E2	.000	3.652	18.080	15.706	493.087	64.284	MG/100G TØRR
E3	.000	3.542	17.891	17.343	483.791	60.246	MG/100G TØRR
E4	.000	5.236	17.940	19.771	475.962	64.438	MG/100G TØRR
E5	.000	4.425	18.069	16.594	479.375	62.687	MG/100G TØRR
E6	.000	6.615	29.400	21.315	588.000	84.525	MG/100G TØRR
E7	.000	7.955	31.450	22.200	629.000	99.900	MG/100G TØRR
E8	.000	8.607	31.864	25.271	640.937	113.537	MG/100G TØRR
E9	.000	9.956	33.187	23.047	663.750	118.000	MG/100G TØRR
E0	.000	7.678	26.508	21.937	1042.031	100.181	MG/100G TØRR
E1	.000	9.705	32.103	26.199	738.000	62.730	MG/100G TØRR
E2	.000	3.044	10.636	2.200	770.175	64.548	MG/100G TØRR
E3	.000	4.153	13.597	6.247	551.250	69.825	MG/100G TØRR
E4	.000	3.040	12.636	.732	439.500	128.187	MG/100G TØRR
E5	.000	4.144	16.320	8.619	476.775	73.350	MG/100G TØRR
E6	.000	2.933	14.293	9.467	779.625	59.400	MG/100G TØRR
E7	.000	2.974	15.248	2.259	470.625	116.715	MG/100G TØRR

→ mg/100g tørrstoff →

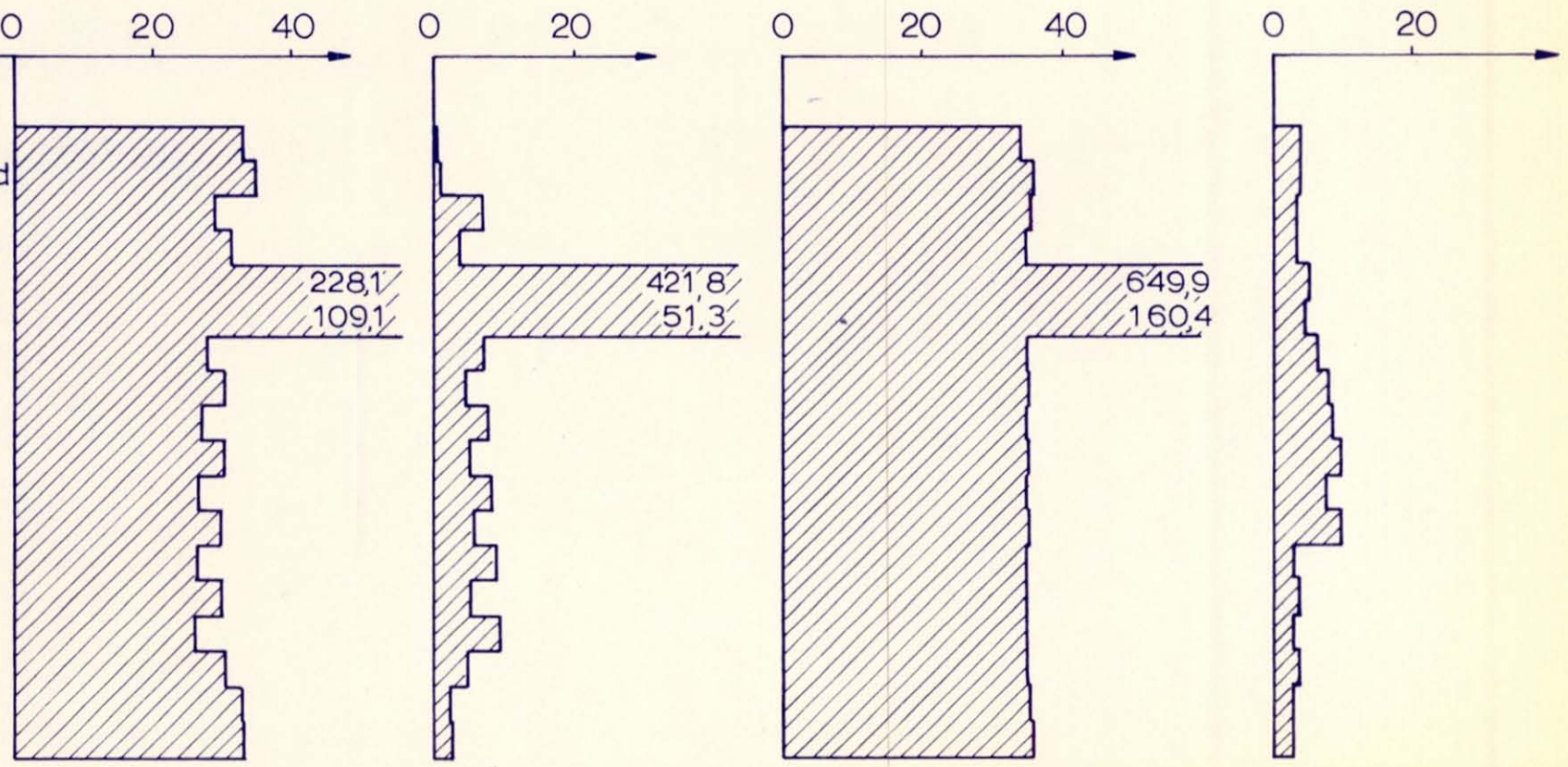


Analysert på Na

—————→ mg / 100g trrestoff —————→

Kvikkleire tilsatt:

	Fersk	
Naturlig leire.	lagret 26d	
Na Cl	H - salt	
	L - salt	
K Cl	H - salt	
	L - salt	
Mg Cl ₂	H - salt	
	L - salt	
Ca Cl ₂	H - salt	
	L - salt	
Fe Cl ₂	H - salt	
	L - salt	
Fe Cl ₃	H - salt	
	L - salt	
Al Cl ₃	H - salt	
	L - salt	
Fe (OH) ₃	H - salt	
Al (OH) ₃	H - salt	



Adsorbent

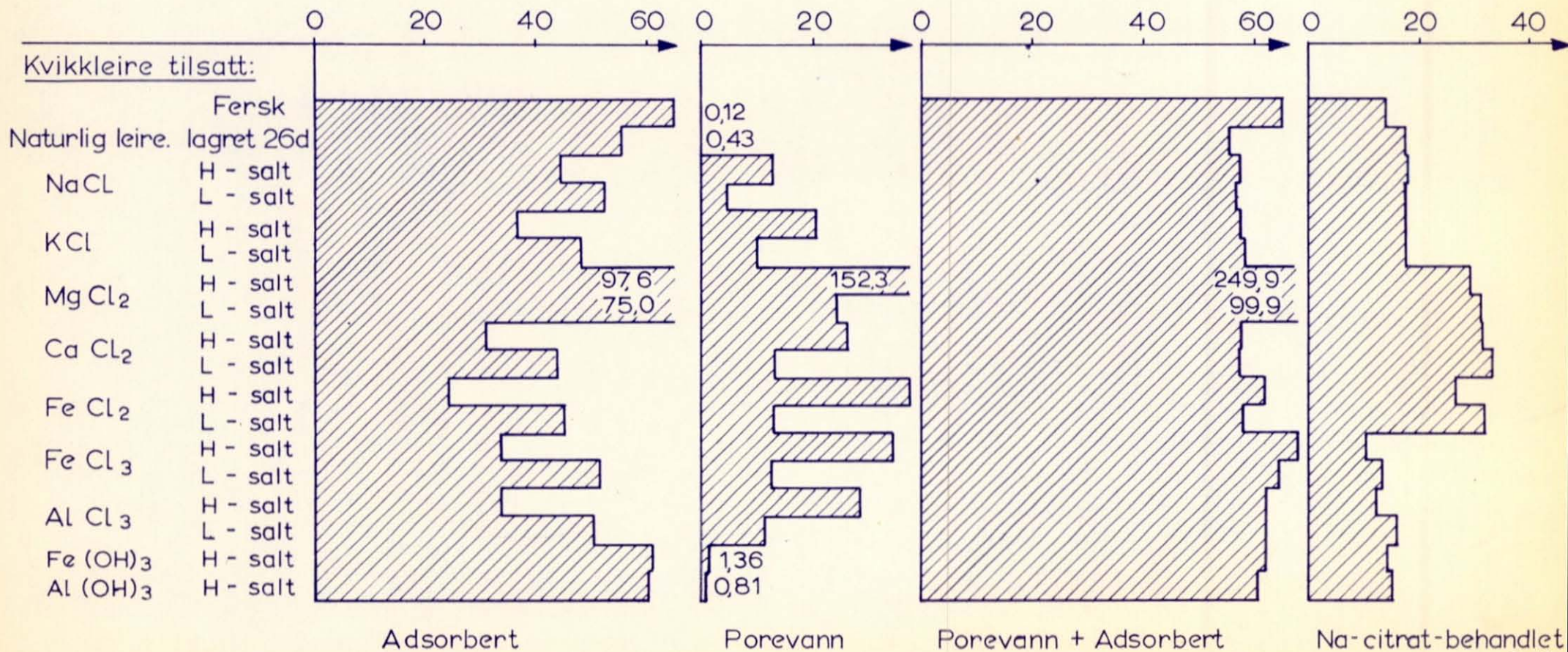
Porevann

Porevann + Adsorbent

Na - citrat - behandlet

Analysert p K

→ mg / 100g tørrstoff →



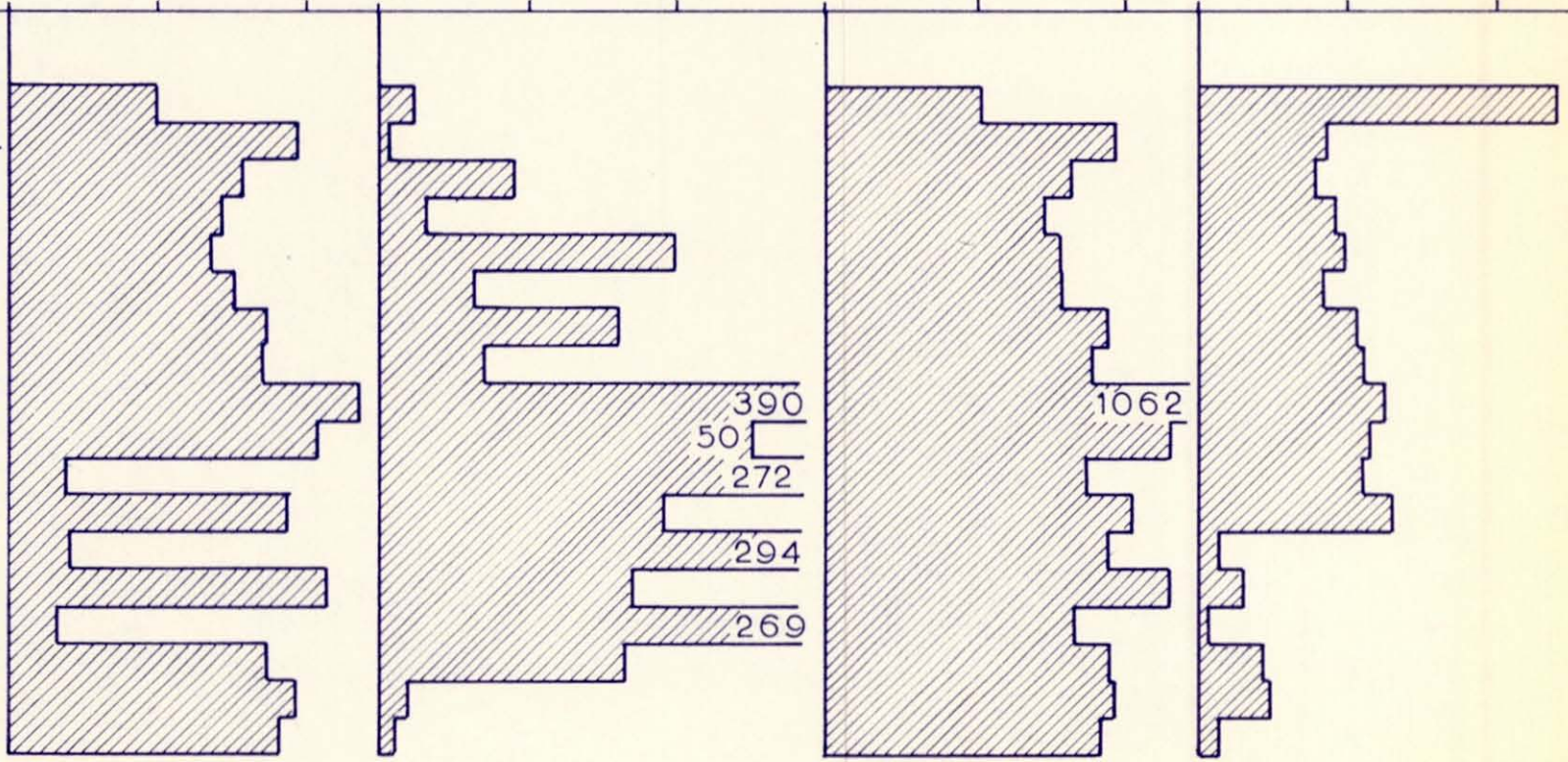
Analyseret på Mg.

→ mg / 100g torrstoff →

200 400 600 0 20 40 200 400 600 0 20 40

Kvikkleire tilsatt:

- Fersk
- Naturlig leire, lagret 26d
- NaCl H - salt
L - salt
- KCl H - salt
L - salt
- MgCl₂ H - salt
L - salt
- Ca Cl₂ H - salt
L - salt
- Fe Cl₂ H - salt
L - salt
- Fe Cl₃ H - salt
L - salt
- Al Cl₃ H - salt
L - salt
- Fe (OH)₃ H - salt
- Al (OH)₃ H - salt



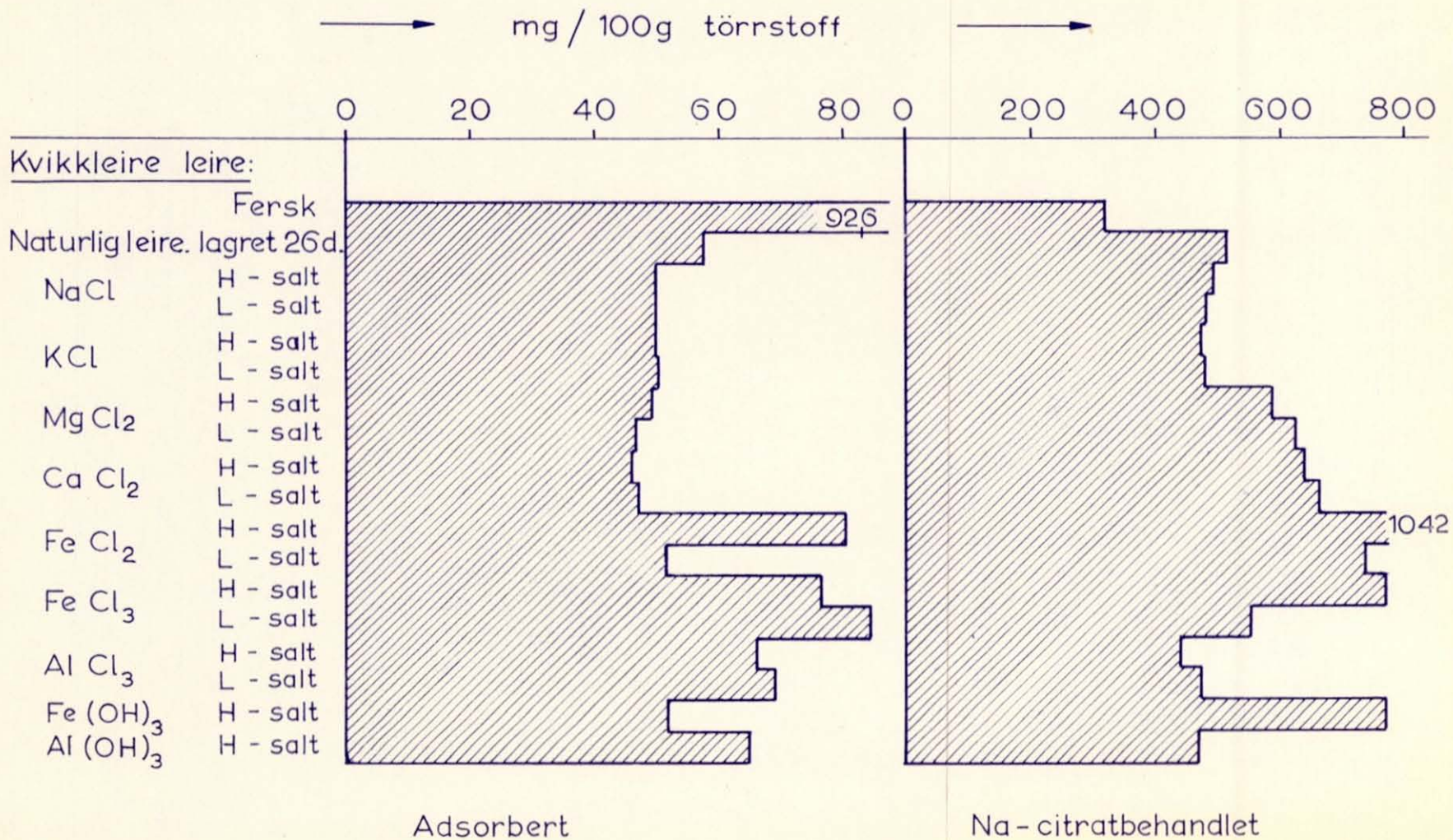
Adsorbent

Porevann

Porevann + Adsorbent

Na-citrat - behandlet

Analysert på Ca



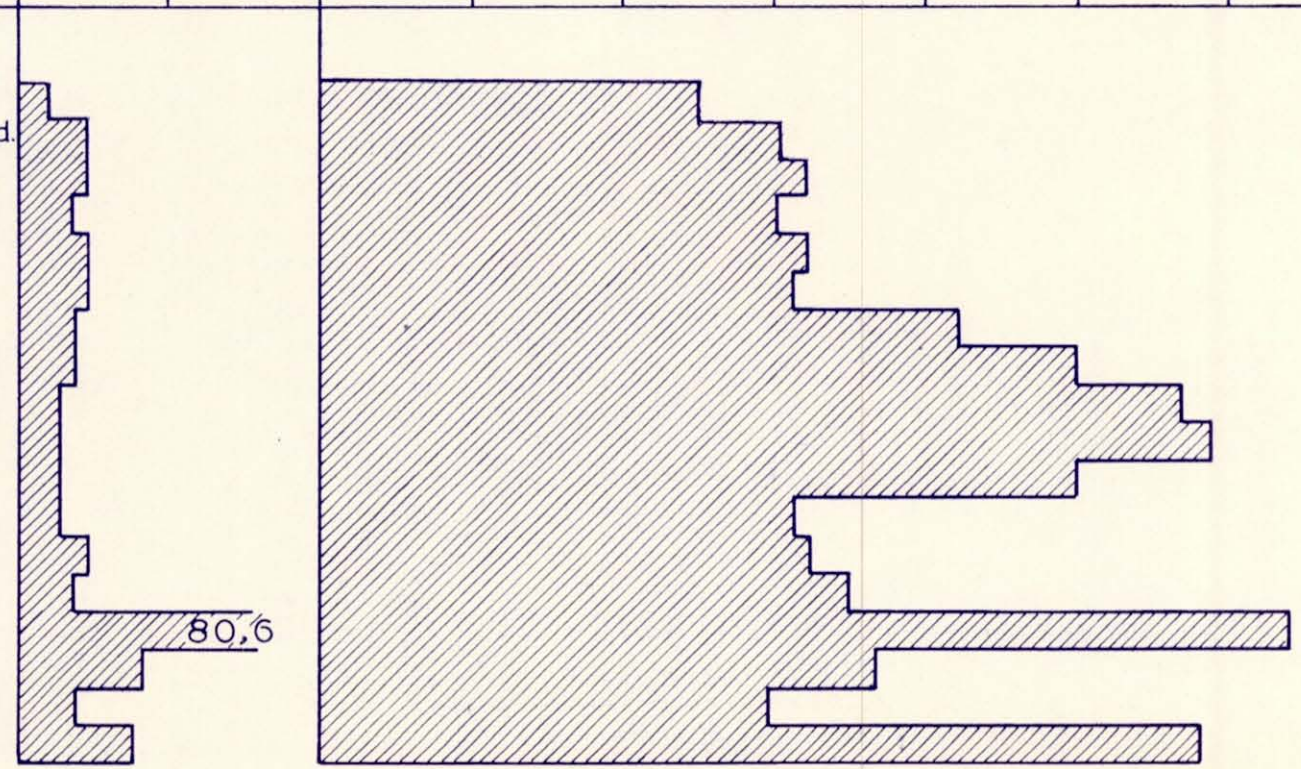
Analysert på Fe

→ mg / 100g törnstoff, →

0 20 0 20 40 60 80 100 120 140

Kvikkleire tilsatt:

- Fersk
- Naturlig leire, Lagret 26d.
- NaCl H - salt
- L - salt
- KCl H - salt
- L - salt
- MgCl₂ H - salt
- L - salt
- CaCl₂ H - salt
- L - salt
- FeCl₂ H - salt
- L - salt
- FeCl₃ H - salt
- L - salt
- AlCl₃ H - salt
- L - salt
- Fe(OH)₃ H - salt
- Al(OH)₃ H - salt



Adsorbent

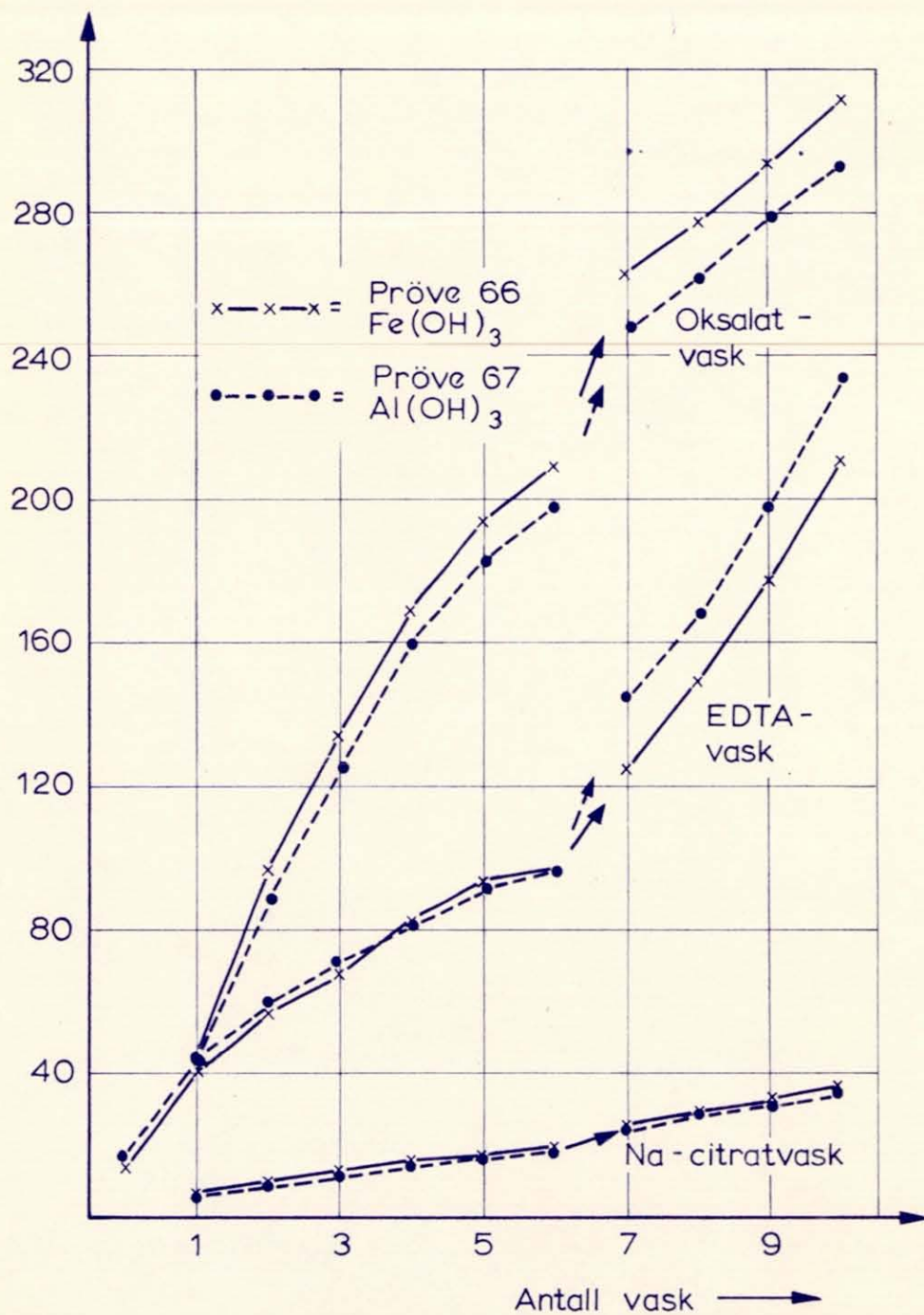
Na - citratbehandlet

Analysert på Al

Tilsetning Konsentra- sjon Prøve nr.	NaCl		KCl		MgCl ₂		CaCl ₂		FeCl ₂		FeCl ₃		AlCl ₃		Fe(OH) ₃	Al(OH) ₃	Be- nevning
	H 52	L 53	H 54	L 55	H 56	L 57	H 58	L 59	H 60	L 61	H 62	L 63	H 64	L 65	H 66	H 67	
Fersk leire: Acetat	29.0	29.0	33.75	33.75	65.2	65.2	406.0	406.0	92.6	92.6	92.6	92.6	3.86	3.86	92.6	3.86	mg/100 tørr leir
Fersk leire: Citrat	-	-	3.86	3.86	13.77	13.77	48.2	48.2	320.5	320.5	320.5	320.5	50.2	50.2	320.5	50.2	"
Tilsatt	386.0	77.2	657.0	131.4	204.0	40.1	336.0	67.2	468.0	93.6	312.0	62.5	151.0	30.2	312.0	151.0	"
Sum 1	415.0	106.2	694.6	169.0	283.0	119.1	790.2	521.4	881.1	506.7	725.1	475.6	205.1	84.3	725.1	205.1	"
Funnet: Acetat	438.3	115.0	649.9	160.4	249.9	99.9	1062.1	663.8	80.8	51.5	76.8	84.2	80.6	16.5	51.8	15.1	"
Funnet: Citrat	-	-	5.2	4.4	29.4	31.5	25.3	23.0	1042.0	738.0	770.2	551.3	128.2	73.4	779.6	116.7	"
Sum 2	438.3	115.0	655.1	164.8	278.3	131.4	1087.4	686.4	1122.8	789.5	847.0	635.5	208.8	89.9	830.2	131.8	"
For lite funnet			39.5	4.2	4.7											73.3	"
For meget funnet	23.3	8.8				12.3	297.2	165.0	241.7	282.8	122.1	159.9	3.7	5.6	115.9		"
I % av sum 1 + sum 2 <u>2</u>	5.5	8.8	4.0	4.2	1.7	10.0	32	27	24	43	15	29	1.8	6.5	15	44	%

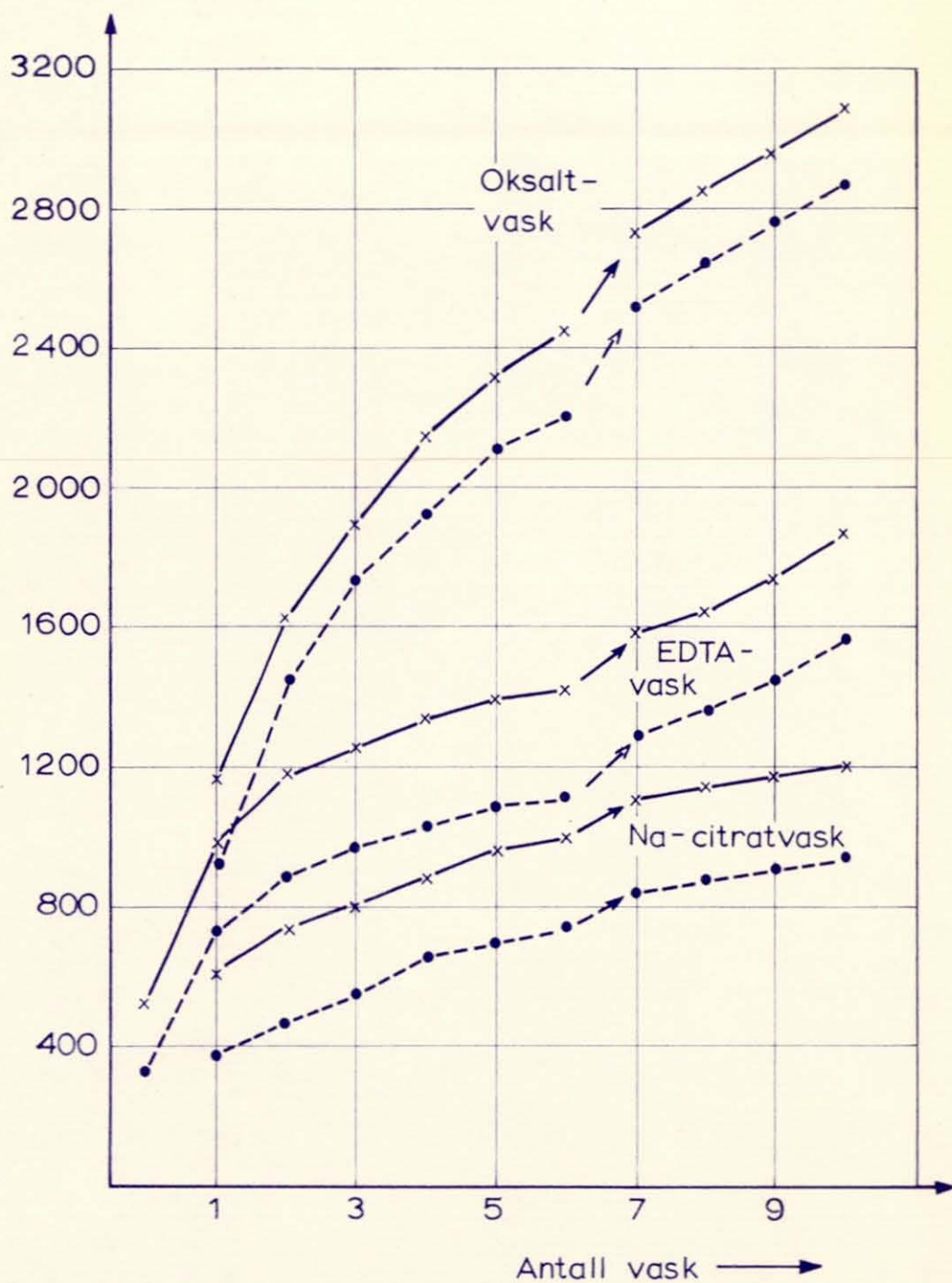
Tabell 5. Oversikt over hvor meget av de tilsatte kationene som er funnet etter 26 døgns lagring.

mg / 100g torrstoff



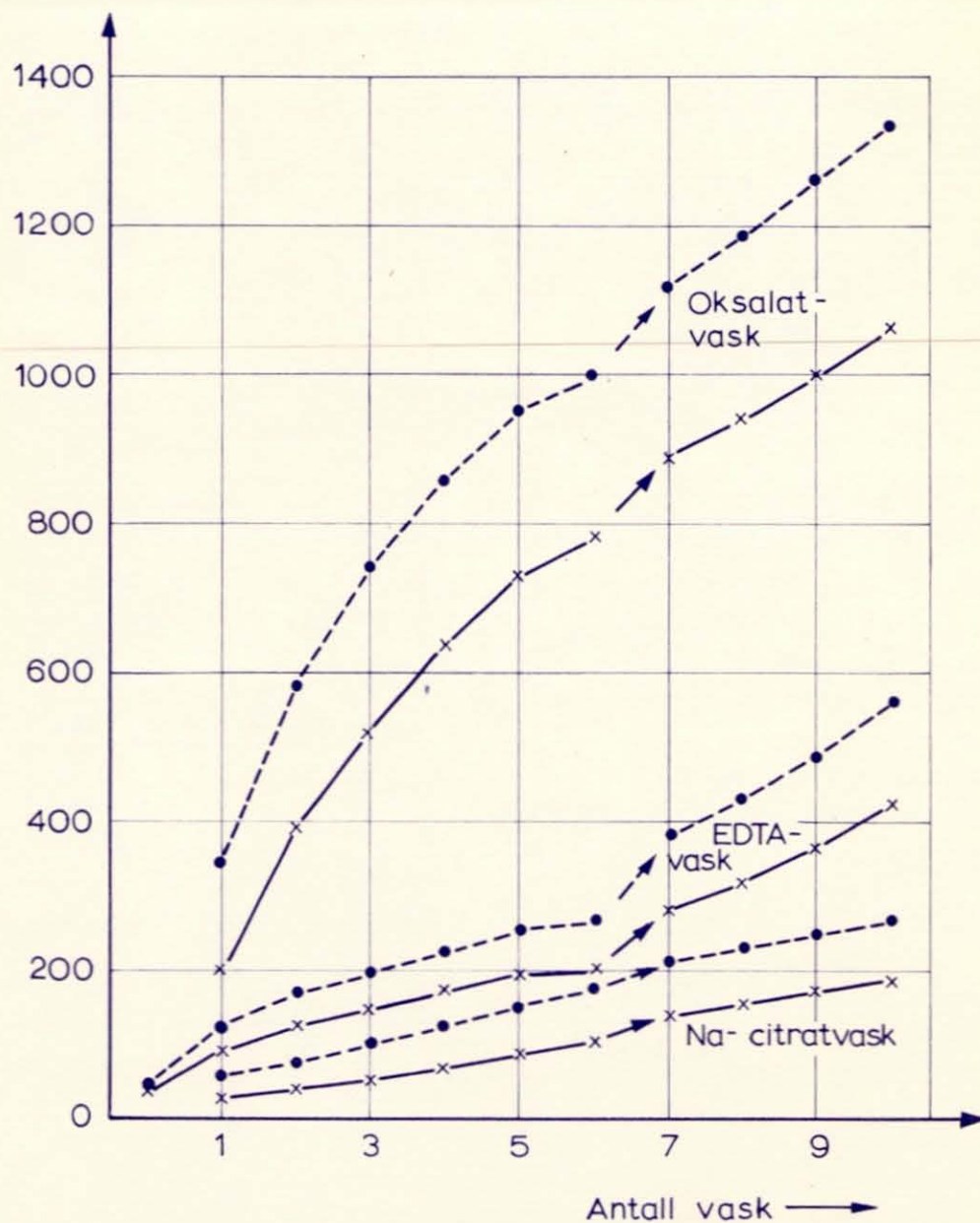
ANALYSERT PÅ MG

mg / 100g törnstoff



ANALYSERT PÅ Fe

mg / 100g torrstoff



ANALYSERT PÅ Al

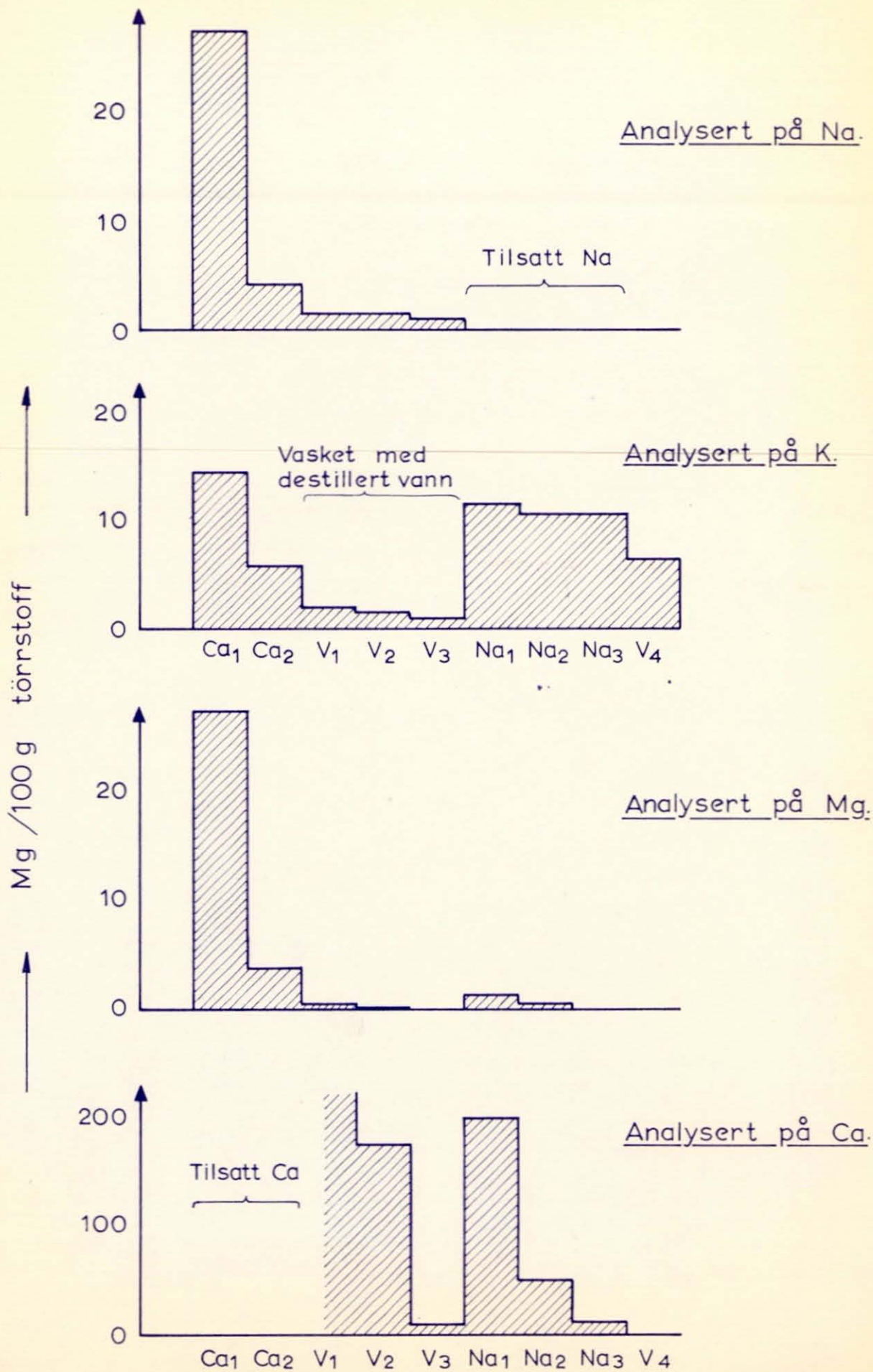
Typevask	Antall vask	Mg			Fe			Al		
		Prøve		Δ Mg	Prøve		Δ Fe	Prøve		Δ Al
		66	67		66	67		66	67	
Sitrat	3	12.23	11.6	0.6	807.9	550.8	257.1	52.4	101.4	49.0
"	6	19.25	18.3	1.0	1001.5	741.5	260.0	105.1	173.1	68.0
"	10	35.59	34.25	1.3	1206.1	940.9	265.2	189.7	269.3	79.6
Okسالat	3	134.4	125.4	9.0	1901	1735	166.0	518	738	220
"	6	209.5	198.2	11.3	2450	2204	246	782.4	1003	221
"	10	312.0	293.7	18.3	3087	2877	210	1063.1	1340.9	277.8
EDTA	3	57.0	59.3	2.3	1182	893	289	128.8	169.8	41.0
"	7	97.3	97.4	0.1	1425	1113	312	205.3	267.5	62.2
"	11	211.4	233.8	22.4	1870.5	1571.5	299	429.6	563.0	133.4
	Tilsatt	-	-	0	-	-	312	-	-	151

Tabell 6. Analysedata for kontrollprosedyren, summert etter 3, 6 og 10 antall vask. Resultatene angitt i mg/100 g tørr leire.

Prøve 66 = kvikkleire + 0.35 N $Fe(OH)_3$

Prøve 67 = kvikkleire + 0.35 N $Al(OH)_3$

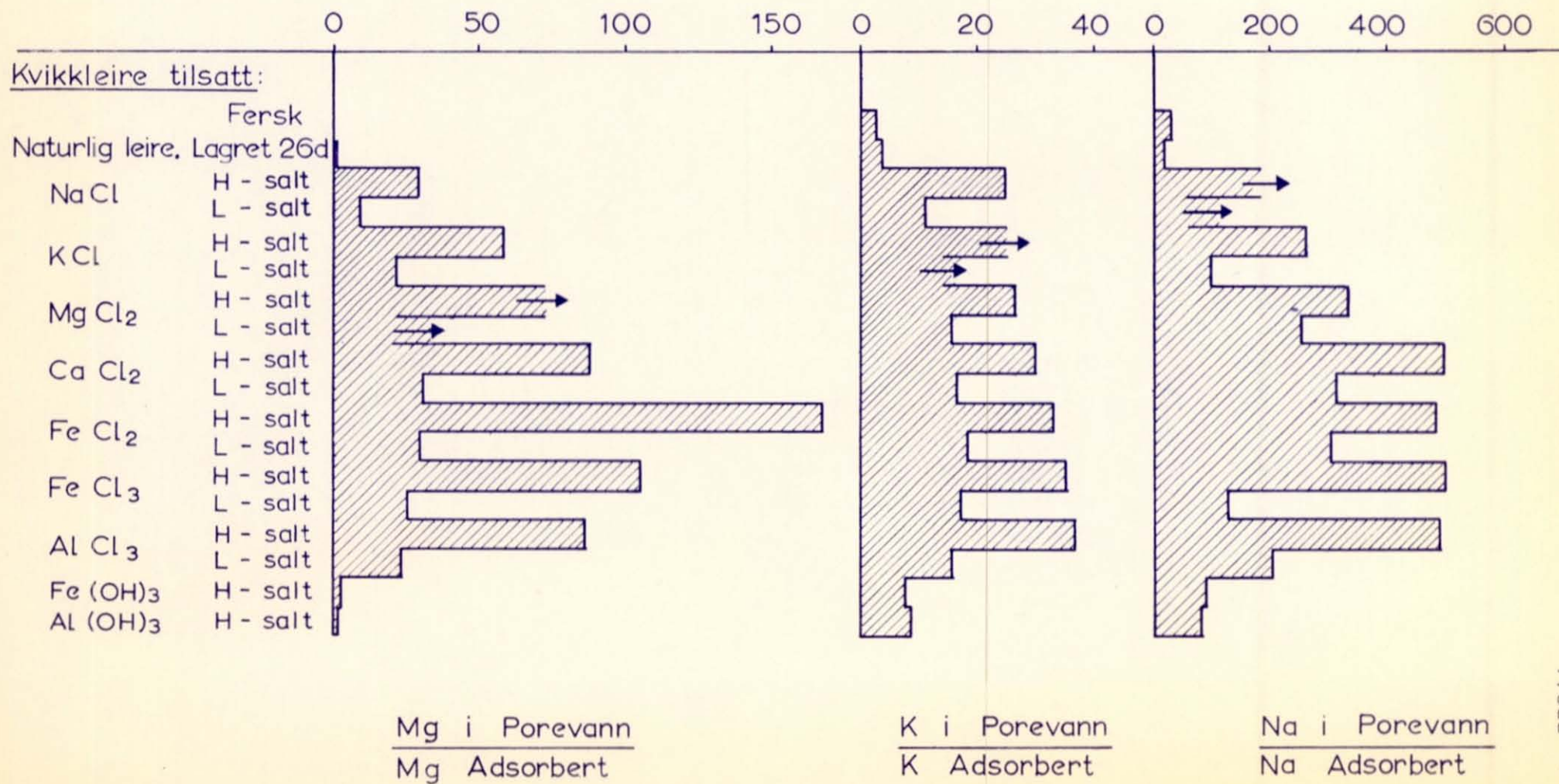
IONEBYTNINGSKAPASITET



Kvikkleire tilsatt:	Na i porevann Na-adsorbert %	K i porevann K-adsorbert %	Mg i porevann Mg-adsorbert %
Naturlig, Fersk	32.7	2.7	0.18
Naturlig, Lagret 26 d	19.0	3.75	0.78
NaCl Høy salt	-	24.9	29.3
NaCl Lav salt	-	11.0	9.20
KCl Høy salt	260	-	58.4
KCl Lav salt	98.5	-	21.4
MgCl ₂ Høy salt	330	26.4	-
MgCl ₂ Lav salt	252	15.4	-
CaCl ₂ Høy salt	492	29.9	87.5
CaCl ₂ Lav salt	311	16.3	30.6
FeCl ₂ Høy salt	482	33.0	157.1
FeCl ₂ Lav salt	300	18.0	29.2
FeCl ₃ Høy salt	501	35.2	105.6
FeCl ₃ Lav salt	127	17.1	25.2
AlCl ₃ Høy salt	491	36.6	86.2
AlCl ₃ Lav salt	202	15.7	23.3
Fe (OH) ₃ Høy salt	91	7.4	2.22
Al (OH) ₃ Høy salt	83	8.6	1.35

Tabell 7. Forholdet mellom kation i porevannet og kation adsorbert i prosent.

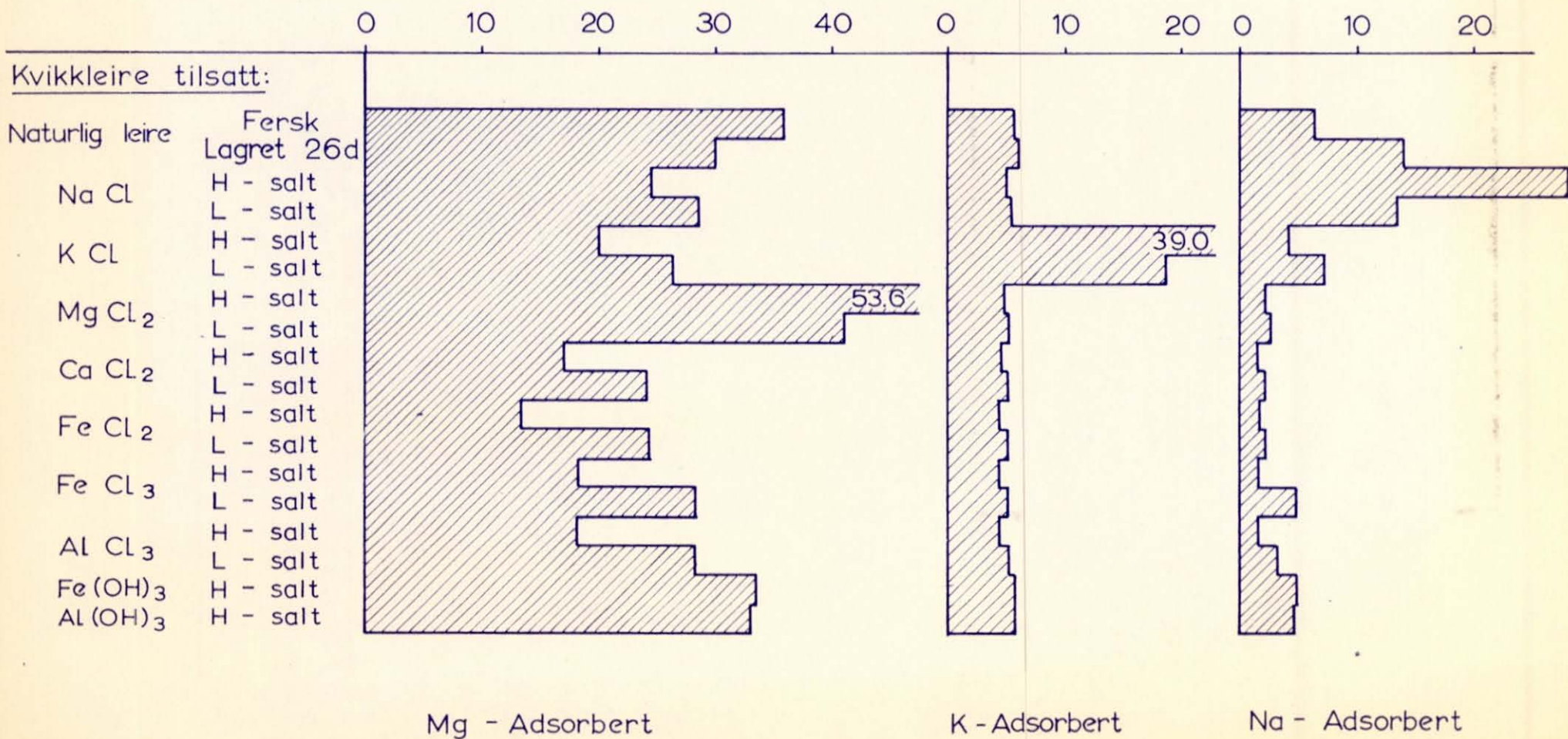
i %

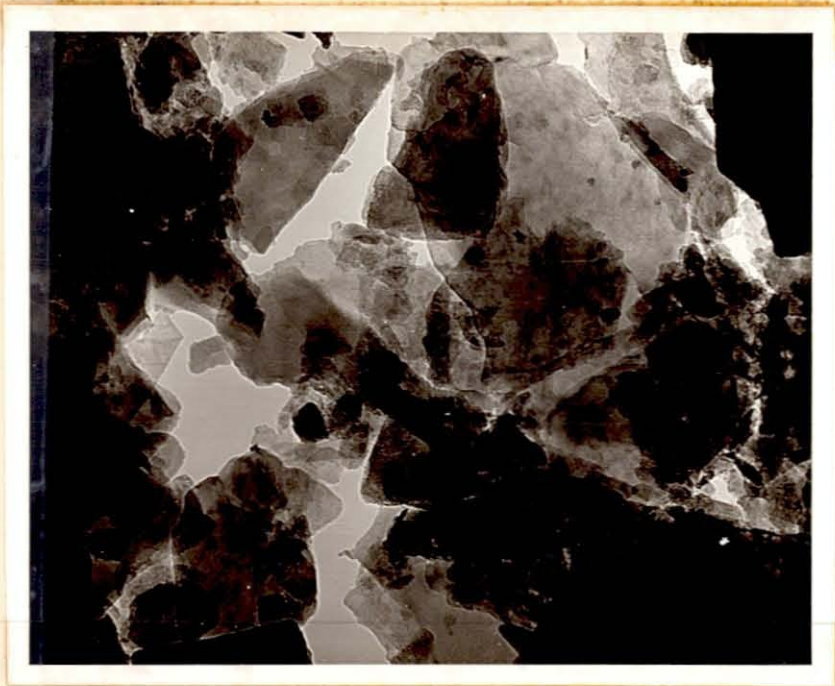


Kvikkleire tilsatt:	Na-adsorbent		K-adsorbent		Mg-adsorbent	
	mekv/ 100 g tørr	%	mekv/ 100 g tørr	%	mekv/ 100 g tørr	%
Naturlig, Fersk	0.95	6.34	0.84	5.60	5.36	35.80
„ „ Lagret 26 d	2.09	14.00	0.88	5.90	4.55	30.40
NaCl Høy salt	4.23	28.20	0.73	4.90	3.67	24.50
NaCl Lav salt	2.00	13.30	0.80	5.33	4.30	28.70
KCl Høy salt	0.60	4.00	5.84	39.00	3.00	20.00
KCl Lav salt	1.09	7.30	2.79	18.60	3.95	26.40
MgCl ₂ Høy salt	0.32	2.10	0.71	4.72	8.04	53.60
MgCl ₂ Lav salt	0.38	2.52	0.78	5.20	6.17	41.10
CaCl ₂ Høy salt	0.22	1.45	0.69	4.57	2.54	17.00
CaCl ₂ Lav salt	0.31	2.08	0.77	5.14	3.62	24.20
FeCl ₂ Høy salt	0.23	1.51	0.67	4.46	2.00	13.30
FeCl ₂ Lav salt	0.32	2.14	0.76	5.06	3.72	24.80
FeCl ₃ Høy salt	0.22	1.46	0.66	4.40	2.73	18.20
FeCl ₃ Lav salt	0.74	4.92	0.76	5.10	4.26	28.40
AlCl ₃ Høy salt	0.22	1.49	0.65	4.35	2.76	18.40
AlCl ₃ Lav salt	0.46	3.07	0.77	5.14	4.17	27.80
Fe(OH) ₃ Høy salt	0.72	4.80	0.84	5.60	5.03	33.50
Al(OH) ₃ Høy salt	0.72	4.76	0.84	5.62	4.95	33.00

Tabell 8. Na, K og Mg adsorbent uttrykt i mekv/100 g tørrstoff. De samme kationers andel av kvikkleirens totale ionebytningskapasitet i %, uttrykt ved $\frac{\text{kation-adsorbent}}{\text{Total ionebytningsevne}} \cdot 100$.

\longrightarrow $\frac{\text{Katjon - Adsorbent}}{\text{Ionebytningsevnen}} \cdot 100$ \longrightarrow





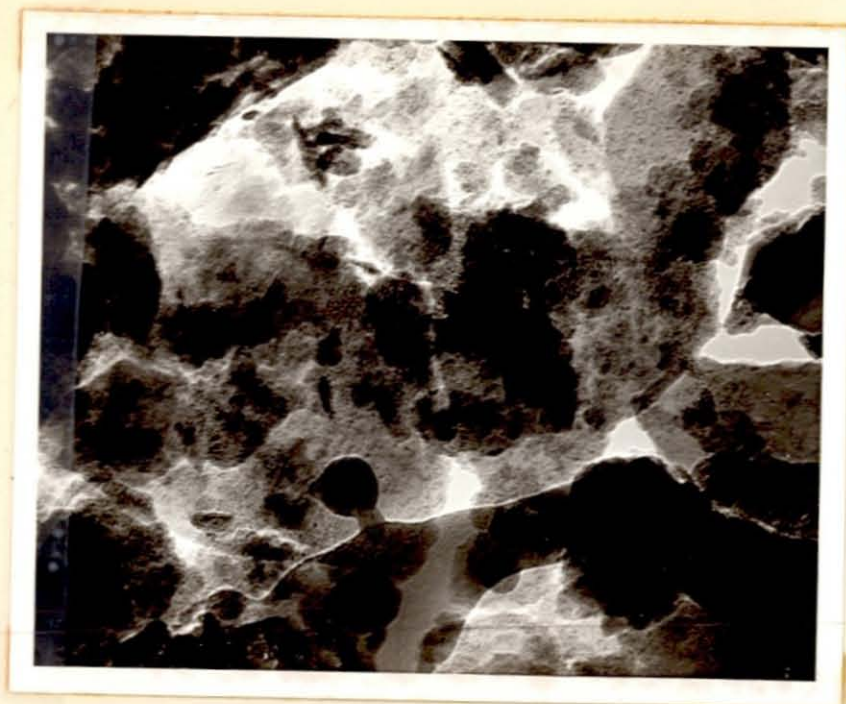
Uten Fe

95 000 x



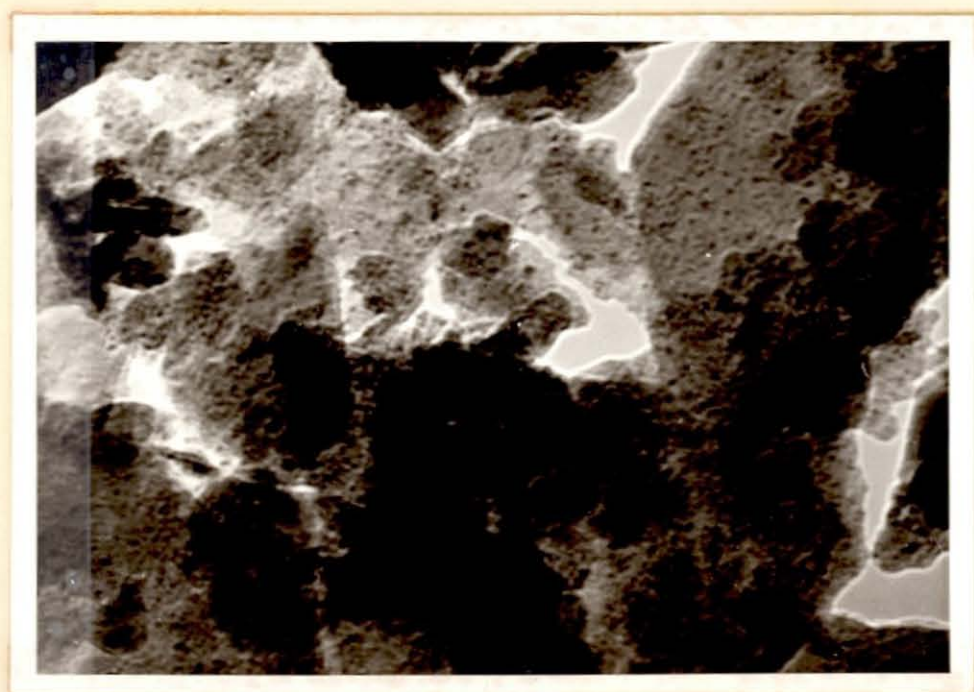
Uten Fe

180 000 x



Med Fe

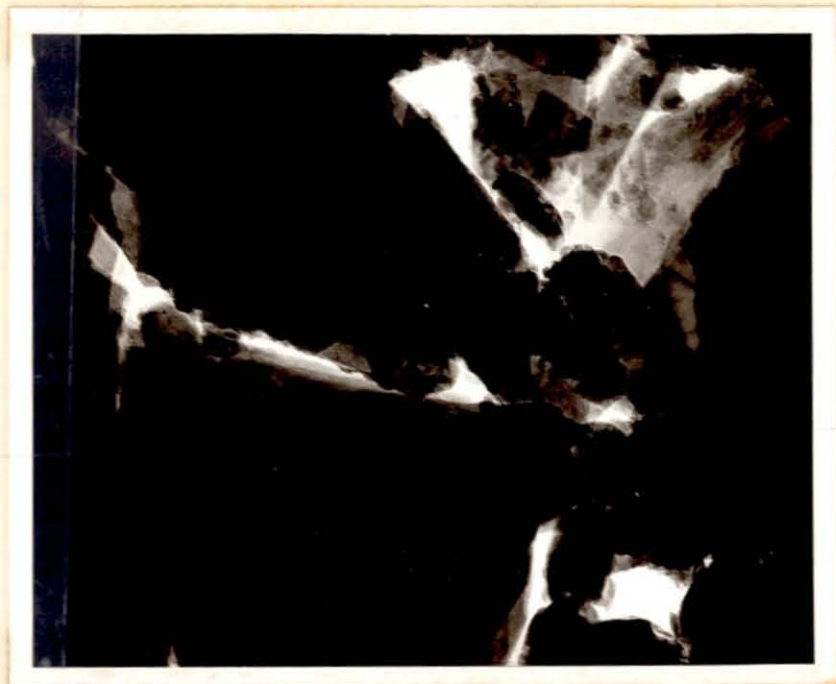
95 000 x



Med Fe

180 000 x

Kvikkleire fra Selnes ($< 2\mu$)



Uten Fe
50 000 x



Med Fe
50 000 x

Rapport fra SI

Vi mottok 1 april d.å. 4 prøver leire merket "fin med jern", "fin uten jern", "grov med jern" og "grov uten jern". Vi gjorde mange forsøk på å lage preparater, og ble stående ved at en må benytte selvbærende hinne.

Endel av prøven ble dampet inn og dispergert i eter ved hjelp av ultralyd, og dispersjonen ble tømt ut i et glass med vann. En får da en hinne av leirpartikler som ble fisket opp på en kopperskjerm. Områder som var tynne nok for gjennomfallende elektroner ble så fotografert. Det var forholdsvis greit å lage preparater av prøvene "grov med og uten jern". Og selv om partiklene for det meste ligger oppå hverandre, var det også mange deler som lå fritt, og en kunne tydelig se forskjell på prøvene med og uten jern. Det var noe vanskeligere å lage preparater av prøve "fin med jern", og av "fin uten jern" greide vi ikke å finne brukbare tynne flak, slik at vi her ikke har noe sammenlikningsgrunnlag for prøven tilsatt jern.

Vi mottok så i mai mnd. 2 nye prøver merket " $< 2\mu$ mica med jern" og " $< 2\mu$ mica uten jern". Vi tok her litt av dispersjonen opp i et glass med eter slik at vannet løste seg i eteren. Så lot vi partiklene bunnfelle, tok ut dette og tilsatte mer eter. Denne dispersjonen ble behandlet med ultralyd i noen minutter, og innholdet tømt ut i vann. Selvbærende hinne ble fisket opp. Denne metode gikk fint for prøven som var tilsatt jern, mens det var vanskelig å få dispergert bunnfallet i eteren. Vi lot derfor eter/vann dispersjonen lufttørke natten over, og dette tørre bunnfallet ble dispergert i eter og tømt ut på vann. Forskjellen mellom prøven uten jern og tilsatt jern var ikke så markert som mellom "grov med og uten jern".

Kopiene har pl.nr.:

Grov med jern: 158-8B

Grov uten jern: 158-9A, 9B

$< 2\mu$ mica med jern: 159-11B, 12A, 160-1A

$< 2\mu$ mica uten jern: 160-9A, 10A