

NGU-rapport nr. 84.173

Sedimentasjonsforløpet på et
suspensjonsdelta



Norges geologiske undersøkelse

Leiv Eirikssons vei 39, Postboks 3006, 7001 Trondheim - Tlf. (07) 92 16 11
Oslokontor, Drammensveien 230, Oslo 2 - Tlf. (02) 55 31 65

Rapport nr. 84.173	ISSN 0800-3416	Åpen for offentlig tilgjengelig	
Tittel: Sedimentasjonsforløpet på et suspensjonsdelta.			
Forfatter: Margrethe Elster		Oppdragsgiver: NGU/UIO	
Fylke: Oppland		Kommune: Lom	
Kartbladnavn (M. 1:250 000)		Kartbladnr. og -navn (M. 1:50 000)	
Forekomstens navn og koordinater:		Sidetall: 37	Pris: 90,-
		Kartbilag:	
Feltarbeid utført: 1984	Rapportdato: 20.11.84	Prosjektnr.: 2203	Prosjektleder: Jim Bogen
Sammendrag:			
<p>Denne rapporten omfatter en undersøkelse av sedimentasjonsforløpet på deltaet i Vågåvatn.</p> <p>Tidligere undersøkelser tyder på at mesteparten av deltaet er bygt opp av materiale fraktet i suspensjon. Et suspensjonsdelta vil morfologisk og sedimentologisk skille seg fra andre typer delta.</p> <p>Det er benyttet sedimentfeller, målt strømhastighet, temperaturer og konsentrasjon av suspendert materiale for å belyse prosessene som virker inn på sedimentasjonsforløpet.</p> <p>Undersøkelsen omfatter også analyse av partiklenes innhold og binding av kjemiske elementer.</p>			
Emneord	Sedimentasjon		Suspensjon

Hydrogeologiske rapporter kan lånes eller kjøpes fra Oslokontoret, mens de øvrige rapportene kan lånes eller kjøpes fra NGU, Trondheim.

Margrethe Elster

SEDIMENTASJONSFORLØPET PÅ ET SUSPENSJONSDDELTA

Geografisk institutt

Høst 1984.

Universitetet i Oslo
Geografisk institutt
Naturgeografisk seksjon

GG 212 RAPPORT

	DATO
TITEL Sedimentasjonsforløpet på et suspensjonsdelta.	SIGN
UTFØRT AV Margrethe Elster	GODKJENT AV
VEILEDER Jim Bogen Kjell Nordseth	SIDER 37
	VEDLEGG 2

SAMMENDRAG

Denne rapporten omfatter en undersøkelse av sedimentasjonsforløpet på deltaet i Vågåvatn.

Tidligere undersøkelse tyder på at mesteparten av deltaet er bygd opp av materiale fraktet i suspensjon.

Et suspensjonsdelta vil morfologisk og sedimentologisk skille seg fra andre typer delta.

Det er benyttet sedimentfeller, målt strømhastighet, temperaturer og konsentrasjon av suspendert materiale for å belyse prosessene som virker inn på sedimentasjonsforløpet.

Undersøkelsen omfatter også analyse av partiklenes innhold og binding av kjemiske elementer.

INNHOOLD

INNLEDNING.....	2
FELTBESKRIVELSE.....	5
Geologi.....	7
Sedimentkilder.....	8
Klima og hydrologi.....	9
METODER.....	11
Suspensjonstransport.....	11
Vannstandsmålinger.....	13
Hastighetsmålinger.....	14
Temperaturmålinger.....	14
Sedimentasjon.....	16
Kjemisk analyse.....	20
DATABESKRIVELSE.....	21
Suspensjonstransport og temperatur.....	21
Hastighetsmålinger.....	23
Sedimentasjon.....	26
DISKUSJON.....	32
SAMMENDRAG.....	33
FRAMDRIFT.....	34
LITTERATUR.....	35

INNLEDNING

Denne rapporten omfatter en undersøkelse av sedimentasjonsforløpet på deltaet i Vågåvatn.

Et delta er et komplekst akkumulasjonssystem, og det kreves målinger av mange variable for å få oversikt over sedimentasjonsprosessene.

Deltaet i Otta/Vågåvatn får materiale fra to hovedtilløpselver, Otta og Bøvra. Fra samløpet ved Lom er det bygd ut en ca. 11,5 km lang deltaplattform. Denne plattformen har en slak gradient. Bunntransportert materiale fraktes bare et kort stykke utover i Otta-vatn, slik at mesteparten av deltaet er bygd opp av materiale transportert i suspensjon (Karlsen, 1971). Karakteristisk for et slikt suspensjonsdelta er at bunntransportert materiale ikke når helt fram til deltafronten, men avsettes høyt oppe på deltaplattformen.

Morfologisk vil et suspensjonsdelta skille seg vesentlig fra den klassiske deltamodellen bestående av topset, foreset og bottomset (fig.1). Det klassiske deltaet har topsetlag bestående av relativt grovt

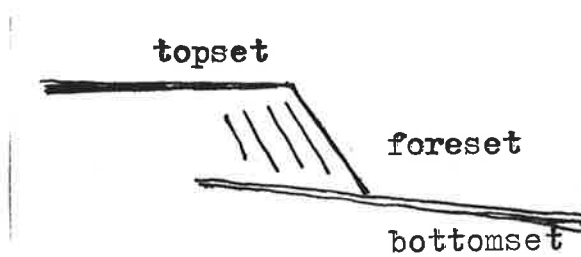
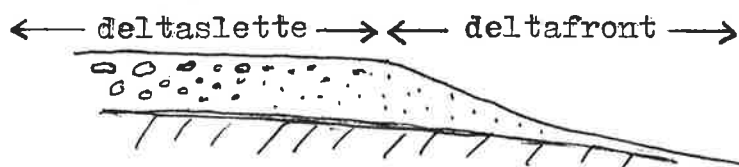


Fig. 1.

Den klassiske deltamodellen, beskrevet først av Gilbert (1883) består av topset, foreset og bottomsetlag.



Axelsson deler deltaet inn i deltaslette og deltafront.

elve og bankemateriale. Disse avsetningene er bygd utover steile forsetlag, som igjen hviler på tynne bottomsetlag bestående av finkornete sedimenter (Gilbert, 1883 sit. i Church&Gilbert, 1975). Ifølge Axelsson (1967) må bunntransportert materiale fraktes helt fram til deltafronten for å få dannet slike steile forsetlag. Deltaer som hovedsakelig er bygd opp av suspendert materiale mangler virkelige forsetskråninger (Axelsson, 1967). Alternativt benytter Axelsson en inndeling av et delta i deltaslette - med elveslette og leveedannelser, og i deltafront (fig.1). Deltaplattformen vil være den delen av deltaet som ligger mellom øvre og nedre grense for vannstandsvariasjonene.

Ifølge Bogen (1981) er de viktigste faktorene som virker inn på sedimentasjonsforløpet i innsjøer:

" Mengde og partikkelfordeling på sedimentene som tilføres i innløpet, vannmassens hastighet i innløpet og strømningsfeltet i innsjøen. I tillegg vil effekter fra grenseflater og tetthetsforskjeller mellom det innstrømmende ellevannet og innsjøens vannmasser være av betydning. "

Forholdet mellom bunntransportert og total sedimenttransport vil være avgjørende for hvilken deltatype som dannes. Dette kan uttrykkes ved forholdet

$\frac{G_b}{G_b + G_s}$ der G_b er bunntransportert materiale og

G_s er suspensjonstransportert materiale.

Vågavatndeltaet er undersøkt for å klarlegge de sedimentologiske og morfologiske forskjellene mellom et suspensjonsdelta og andre deltatyper.

Denne rapporten bygger på feltarbeide utført i tidsrommet 17/6 - 25/8, 1984. I tillegg er det benyttet utdrag fra tidligere arbeider og vannstands/vannføringsmålinger og vanntemperaturmålinger utført av NVE.

Foruten undersøkelsene av sedimentasjonsforløpet på deltaet er det tatt prøver for analyser av sedimentenes innhold av kjemiske elementer.

Undersøkelse på innholdet av bly, sink, nikkel, kobber, jern og mangan i bekkesedimenter i Snertingdalen viser at geografisk lokalisering har stor betydning for variasjoner i mengden av disse elementene (Bølviken, Ottesen, Sinding-Larsen, 1979).

Prøver tatt av fluviale sedimenter i Otta og Bøvra viser relativt høye konsentrasjoner av vanadium, kobber og jern i området nær Lom (Ottesen, Ekremseter, Bølviken, 1983). De geokjemiske undersøkelsene i Vågåvatn kan antyde hvordan de ulike elementene spres utover deltaet og i innsjøen. Et eventuelt spredningsmønster vil kunne antyde om elementene er bundet til partikler med bestemte kornstørrelser.

De mest finkornete partiklene vil ikke sedimentere ut, men kunne vandre gjennom hele innsjøen. Mengden

av slike partikler, kornstørrelsesfordelingen og innhold av kjemiske elementer vil være interessant å få med i videre undersøkelser.

FELTBESKRIVELSE

FELTBESKRIVELSE

Ottavatn og Vågåvatn er to lange, smale innsjøer, som sammen danner et sedimentasjonsbasseng for elvene Otta og Bøvra (fig.2).

Disse elvene har bygd ut en ca.11,5 km lang delta-plattform som består av mektige løsmasser med ukjent dybde. På høye vannføringer vil denne plattformen være dekket av vann, mens på lave vannføringer vil store deler av plattformen være blottlagt.

Fronten på deltaet har en slak hellning, ifølge Karlsen (1971), maksimalt 4⁰.

Elva Vulua munner ut ved Garmo og har her bygd ut en vifte som demmer opp et lite basseng mellom deltafronten og Garmo. Derfra skråner det utover mot de dypere deler i midten av innsjøen. Vågåvatn har her maksimaldyp på over 80 meter.

Nedbørfeltet til Vågåvatn er på omlag 3445 km².

Breene i området vil ha betydning for bl.a. hydrologi og sedimentproduksjon i vassdraget (fig.2).

Denne rapporten bygger på feltarbeide utført i området fra Lia bru til midtre deler av Vågåvatn (fig.3).

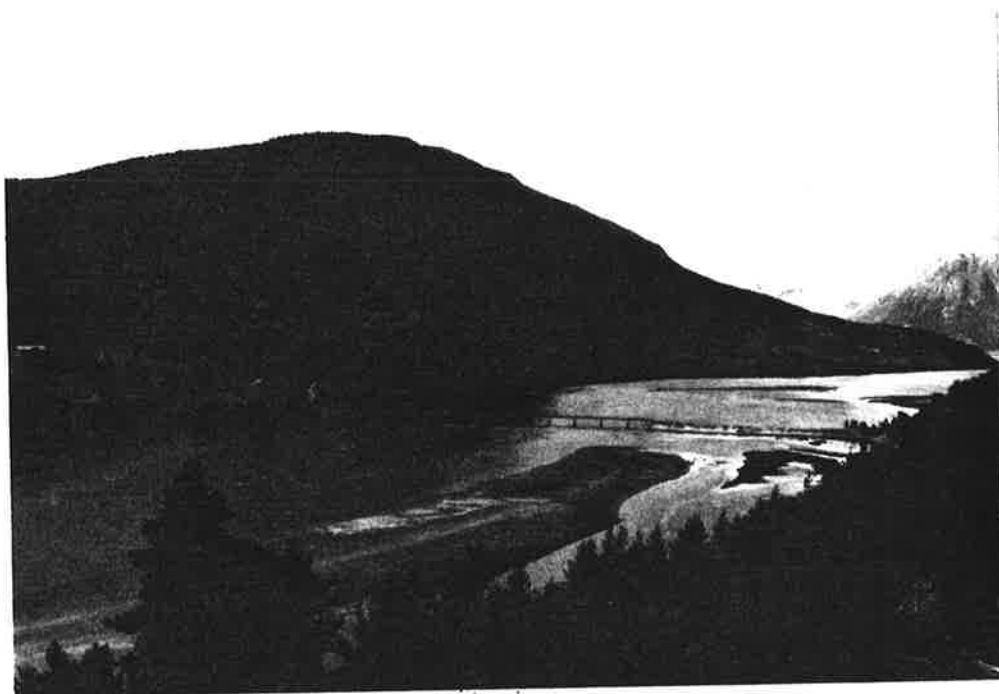


Fig. 3. Feltet starter ved Lia bru.
(Foto tatt nedstrøms fra)

GEOLOGI

Geologien i nedbørfeltet kan grovt sett deles i to berggrunnsregioner, det vestnorske grunnfjellsområdet i nord og vest, og skyvedekkene i Sogn-Jotunheimen synklinalen i sør.

Det vestnorske grunnfjellområdet består for det meste av gneiss bergarter. Disse kan opprinnelig være fra prekambrisk tid, men er blitt sterkt omvandlet under den kaledonske fjellkjedefoldingen og regnes derfor å være av kaledonsk alder.

Bergarts sammensetningen i den søndre del an feltet er meget hetrogen. Karlsen (1971) har beskrevet dette generelt. Han bruker Holvedahls inndeling fra 1960:

- 1 -
- 1: Øvre Jotundekke
 - 2: Valdres sparagmitt
 - 3: Undre Jotundekke (Otta-dekket)
 - 4: Bunnagneis
 - 5: Fyllittavdelingen
 - 6: Sparagmitt
 - 7: Prekambriske bergarter i forlandsområdet

Det øvre Jotundekket består hovedsakelig av basiske eruptiver, særlig gabbro bergarter, med innslag av små områder med olivinstein.

Otta-dekket består for det meste av krystallinske bergarter. Mellom disse dekkene ligger et lag av Valdres sparagmitt. Mellom Otta-dekket og prekambriumbergartene i forlandsområdet ligger lag av sparagmitter, kvartsitt og metamorfe kambrosilurbergarter, dvs. særlig fyllitter. Blandt kambrosiluren forekommer også kalkrike områder. I Dummdalen ved Bøvertun har kjemisk forvitring dannet et karakteristisk karstlandskap.

Dominerende strukturetninger i området er SV-NØ og en retning påtvers av denne, SØ-NV.

SEDIMENTKILDER

Mesteparten av deltamaterialet stammer fra elvene Otta og Bøvra.

Ifølge Karlsen (1971), er ca.11% av nedbørsfeltet

til Bøvra bredekt (fig.2). Breprodusert løsmateriale er den klart framtreddende sedimenttypen i dette vassdraget.

Ottaelvens nedbørfelt har lavere bredekning (vel 5%), men også i dette vassdraget er bremateriale dominerende sedimentkilde. Enkelte av sideelvene til Otta har innsjøer som fungerer som sedimentasjonsbasseng. De største bidragene til sedimenttransport i Otta elva like ovenfor deltaet vil komme fra de bre- påvirkete elvene Sjørli og Tundra (Husebye 1984).

KLIMA og HYDROLOGI

Området i dalen rundt Otta/Vågåvatn ligger i le for høyfjellsmassivene i vest, og har et kontinentalt, strålingsbestemt klima. Området i Ottadalen er blandt de nedbørfattigste i Norge. Lom 274 mm/år i perioden 1931-60 (Husebye 1984).

Fig.4 viser vannstanden i Vågåvatn for våren og sommeren 1984. Vårflommen starter vanligvis i mai. Deretter holder vannstanden seg relativt høy gjennom sommeren p.g.a bresmelting. Fra august/september synker vannstanden drastisk p.g.a lite nedbør. Vannstanden holder seg lav gjennom hele vinteren. Isen legger seg vanligvis i god tid før jul. Lite nedbør om vinteren gir bare et tynt snødekke. P.g.a manglende vannføringsmålinger nær innløpet til Vågåvatn, er det i rapporten benyttet den samlede vannføringen i Otta og Bøvra. Her er benyttet målinger fra NVE's målestasjoner ved Ofossen og Sjørli.

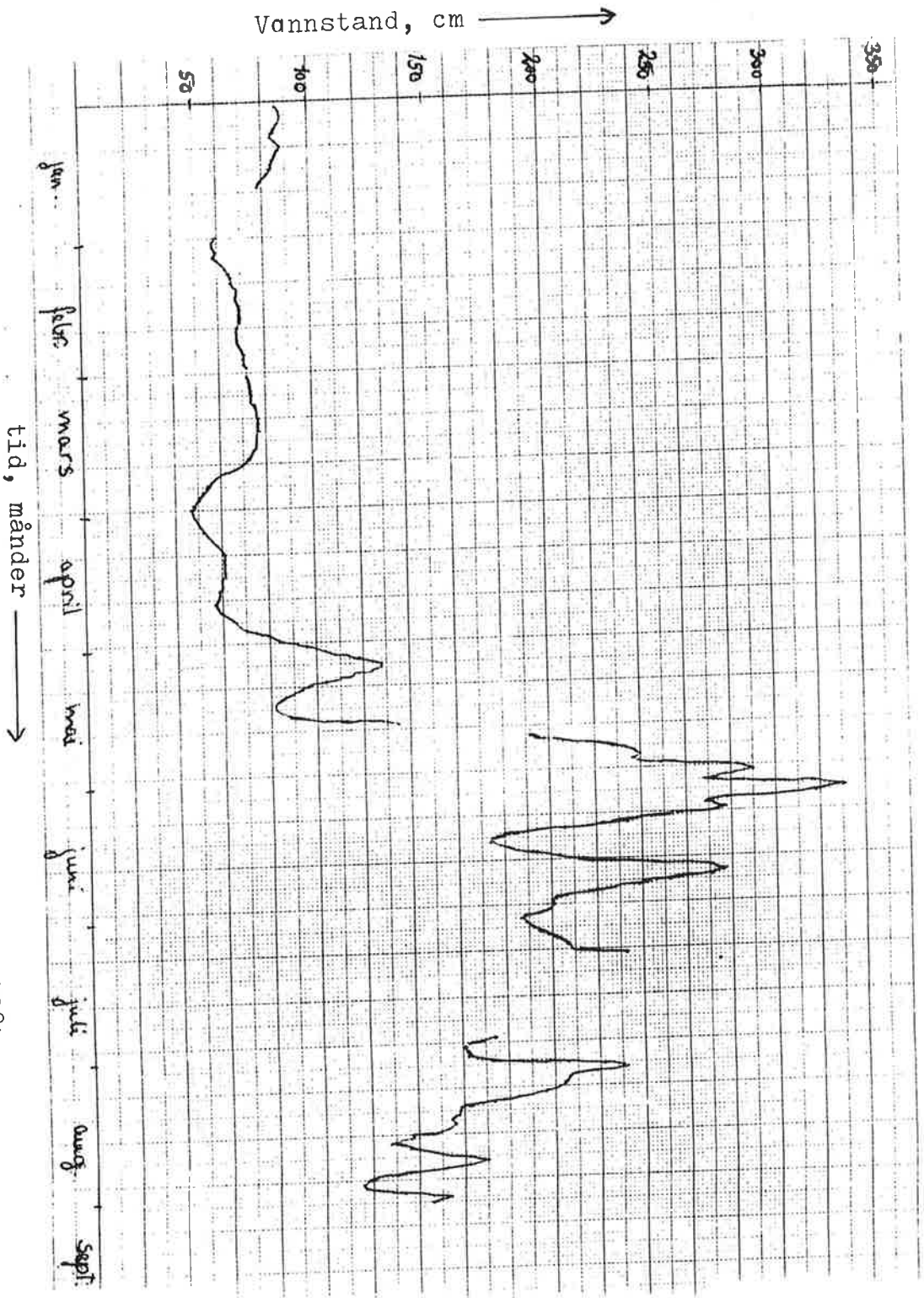


Fig. 4. Vannstand i Vågåvatn, vår og sommer 1984
(fra NVE-målinger)

METODER

I feltarbeidet er følgende variable målt:

- transport av suspenderte partikler (mg/l)
 - relativ vannstand (m) nær innløpet
 - hastighet (m/s) fra innløpet og utover i sjøen
 - temperatur (°C) utover i sjøen
 - sedimentasjon (g/m²døgn) m/kornfordeling
- undersøkelse av sedimentenes innhold av kjemiske elementer og kjemiske elementer adsorbent til partiklene.

SUSPENSJONSTRANSPORT

Suspensjonsmateriale dvs, materiale som holdes svevende av turbulente strømminger.

Bare mengden av minerogent suspensjonsmateriale er undersøkt.

Untatt i meget turbulente strømningsprofiler vil det være en vertikal strømningsgradient av suspenderte partikler. Særlig de grovere partiklene vil ha en økende konsentrasjon mot bunnen av et elveløp. De fineste partiklene vil være jevnere fordelt i profilet (fig.5).

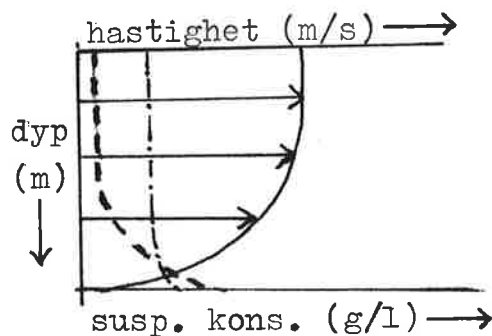


Fig. 5.

Strømningsprofil for et idealisert elveløp.

Kons. av fine partikler - · - · -

Kons. av grovere partikler - - -

For å få represententative prøver av suspensjons- materialet, ble det benyttet en dybdeintergrerende vannprøvetaker, beskrevet av Nordseth (1974), Nilsson (1971).

For at en prøvetaking skal være representativ bør den ifølge Bogen(1984) tilfredstille tre krav:

- isokinetisk, vannet må strømme inn i prøvetakeren med samme hastighet som det ytre strømningsfelt
- dybdeintergrerende, beskrevet ovenfor
- tidsintergrerende, da sedimenttransporten kommer i pulser er det nødvendig å midle over noen minutter

Overflateprøver i en innsjø gir en indikasjon på sedimentkonsentrasjonen i punkt på overflata. For å bestemme sedimentkonsentrasjonen i punkter i ulike dyp ute i sjøen ble det benyttet en Friedinger vannhenter. Det ble også benyttet en pumpe av type Masterflex. Denne pumper med jevn hastighet, og har en slange med indre diameter på 0,4 cm (fig.6).

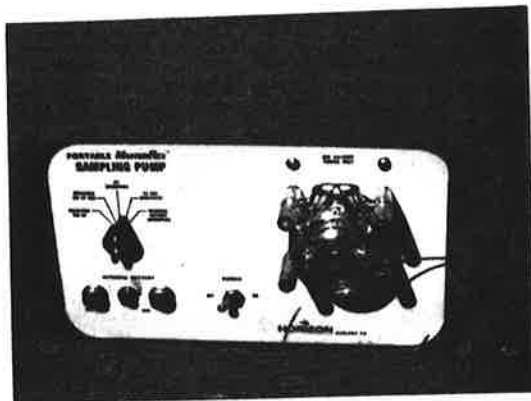


Fig. 6.

En pumpe av type Masterflex, ble benyttet ved vannprøvetaking ute i innsjøen.

Alle vannprøvene ble filtrert med overtrykk på milliporfiltere. Filtrene ble fuktet med sprit og brent i digler. Diglene ble glødet inne i en ovn ved ca. 600 °C og etterpå veid med hensyn på minerogent materiale. En ulempe ved bruk av milliporfiltere til sedimentkonsentrasjonsbestemmelse, er at disse må fuktet med sprit og brennes før de glødes i ovn. Dette er tidskrevende og det er nødvendig med en fullstendig forbrenning av filteret. Papirfiltere er et godt alternativ.

Ved videre undersøkelser kan det være interessant også å bestemme glødetapet, det vil hovedsakelig bety mengden av organisk materiale.

Større vannprøver (5-7 liter), tatt med dybdeintergrerende vannprøvetaker, ble filtrert på samme måte for kornfordelingsanalyse. Disse resultatene vil foreligge seinere.

VANNSTANDSMÅLINGER

Ved Ljå bru ble den relative vannstanden målt dvs. avstanden fra brua til vannflaten. Dette ble gjort for å holde rede på store forandringer i vannstand/vannføring. Disse målingene er sammenliknet med vannstand/vannføring ved NVE's vannmerker ved Vågåmo og Lalm.

HASTIGHETSMÅLINGER

Strømhastighet er målt i profiler fra deltafronten og et stykke utover i sjøen. Til dette ble det benyttet en elektronisk strømmåler, SD-2 (fig.7). Denne startes og avleses med en magnet (instr.hefte)



Fig. 7.
SD-2, elektronisk strømmålingsapparat. Settes igang, og avleses med en magnet.

TEMPERATURMÅLINGER

Forholdet mellom temperaturen i ellevannet og i innsjøens vannmasser vil være med å bestemme innstrømmingen over et delta.

Målinger av temperatur er gjort i sammenheng med strømmålinger v.h.a. en temperaturføler bygd inn i den elektroniske strømmåleren. Temperaturen ble avlest med en magnet.

Tempraturen vil ha betydning for vannmassenes tetthet og oppbyggingen av en eventuell stabil termisk sjiktning i innsjøen. Temperaturen ble målt i et profit ute i sjøen v.h.a. en termistor (fig.8).

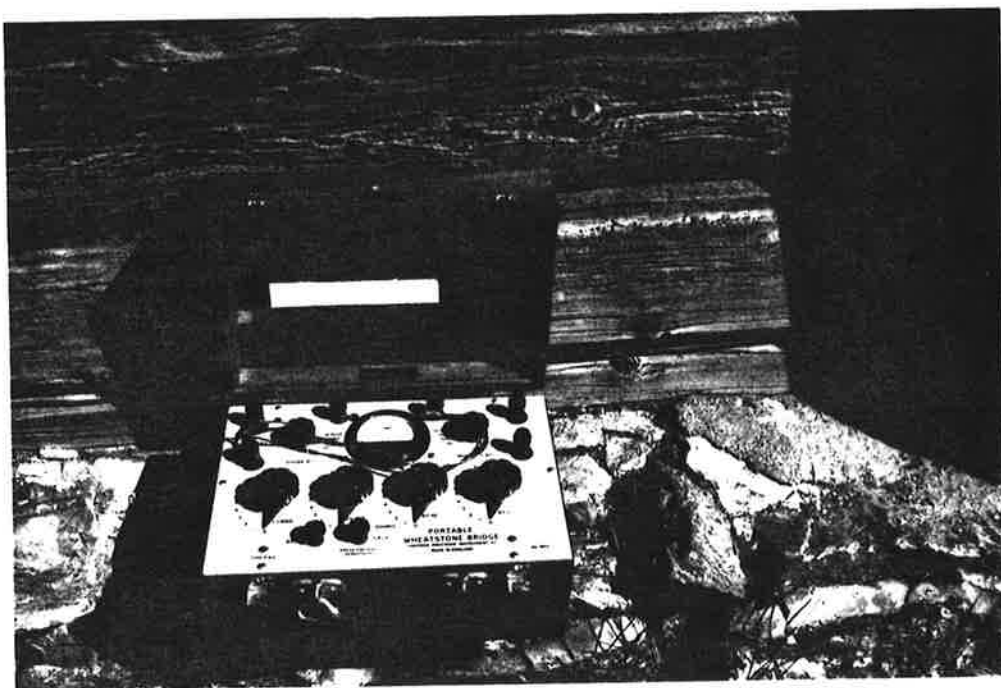


Fig. 8. Målebro til termistor.

I tillegg til disse målingene er det benyttet resultater fra NVE-målinger.

SEDIMENTASJON

Bunnfeller ble satt ut fra deltafronten og utover i sjøen (fig.9). Tilsvarende feller er beskrevet av Håkonssen (1976).

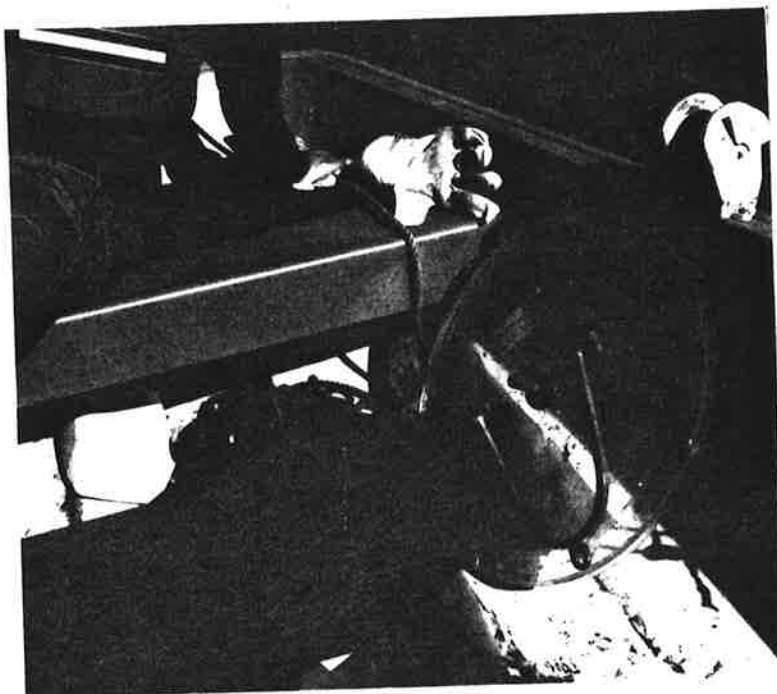


Fig. 9.
Bunnfelle.
Lokket fires ned før fellene trekkes.

I tillegg til disse fellene ble det satt ut bøtter i forskjellig dyp, nær bunnfellene (fig.10). Det ble gjort delvis for å undersøke suspensjonsmateriale i forskjellig dyp, og delvis for å unngå interfererende metaller i prøvene på kjemisk analyse.

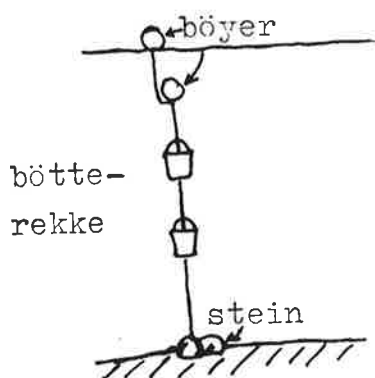


Fig. 10.
Bøtter ble satt ut i forskjellige dyp for å undersøke suspensjons- materialet.

For kartlegging av bunnsedimentenes kornfordeling ble det benyttet Ekmans grabb. Prøver er tatt i ca. 50 punkter fra Lia bru og utover i sjøen. Dette arbeidet er ikke fullført. Mange flere punkter vil gi et klarere bilde av kornsammensetningen på deltaet.

Kornfordeling av sedimentene er foretatt på bunnfelleprøver.

- våtsikting, materiale ble spylt igjennom sikt på 1 mm, 0,5 mm, 0,250 mm, 0,125 mm og 0,063 mm. Materialet på de ulike siktene ble tørket og veid.

- sedigrafanalyse, denne analysen ble brukt for å finne kornfordelingen av materiale som er mindre enn 0,060 mm. Denne metoden er ny ved Universitetet i Oslo, derfor fylldig beskrivelse.

- PYKNOMETERANALYSE, til sedigrafanalyse var det nødvendig å bestemme sedimentenes spesifikke vekt. Dette ble gjort ved pyknometeranalyse. Et pyknometer er en liten glassflaske med propp som har kapillærrørsåpning.

Fremgangsmåte:

Pyknometer med propp tørkes og veies. Noen gram prøve veies inn i pyknometeret. Så fylles dette halvfullt med vann og evakueres minst en time for å fjerne luft. Deretter fylles pyknometeret helt fullt med vann. Det tørkes av og veies når romtemperatur er oppnådd.

Det som finnes på denne måten er innveid mengde av prøven og volumet av dette materialet.

Tettheten finnes etter formelen: $\text{tetthet} = \frac{\text{masse}}{\text{volum}}$

- SEDIGRAFANALYSE, utifra tettheten på materialet og viskositeten og tettheten til dispergeringsmiddelet, regnes ut et ratetall til bruk i sedigrafen (App.1). Dette bestemmer også analyseområdet dvs. start og slutt korn-diameter for analysen.

For kjøring tilsettes ca.40 ml av dispergeringsmiddelet. Calgon og prøven ultralydbehandles i ca.10 minutter.

Ved sedigrafanalyse blir kornfordelingen framstilt grafisk som en kummulativ prosentfordeling på sannsynlighetspapir.

Først nullstilles kurven mot desstillert vann. En magnetrører bringer materialet i et lite begerglass opp i suspensjon. Analysesubstansen pumpes fra begerglasset opp i en kuvette. Kuvetten er plassert slik at en røntgenstråle passerer gjennom løsningen. Transmittert stråling som følge av at strålen treffer partikler registreres som pulser. Kurven kalibreres for 100% med fullstendig omrørt prøve. Det er hele tiden viktig å unngå luftbobler i systemet. Ved kjøring stoppes tilførselen av materiale til cella, og partiklene felles ut.

Sedigrafen måler sedimentasjonshastigheten til partikler i suspensjon, og framstiller disse dataene som en kummulativ masseprosentfordeling på grunnlag av Stokes lov.

Stokes lov for kuler: $D = k \cdot v^{1/2}$

D=kulediameter, v=sedimentasjonshastighet.

$$k = \left[\frac{18 \eta}{(\rho - \rho_v) g} \right]^{1/2}$$

- partikkelens tetthet, ρ
- væskens tetthet, ρ_v
- væskens viskositet, η
- tyngdens aksellerasjon, g

Ifølge Stokes lov vil en partikkel med diameter D sedimentere en avstand h iløpet av tiden t , følge uttrykket: $D = K \left(\frac{h}{t}\right)^{1/2}$

Etter en gitt tid (t_1) vil alle partikler større enn en viss diameter D , være falt lenger enn avstanden h fra overflaten av suspensjonen.

Vektprosenten av materialet som er finere enn D_1 er gitt ved:

$$p = 100 \left(\frac{c_1}{c_0}\right)$$

c_0 - startkonsentrasjonen ved fullstendig omrøring
 c_1 - konsentrasjonen etter tiden t

Sedigrafen benytter en røntgenstråle til å måle partikkelkonsentrasjonen. Det som måles direkte er transmittansen av suspensjonen iforhold til dispergeringsmiddelet. Transmittansen til røntgenbølglengder er en funksjon av vektkonsentrasjonen av suspenderte partikler.

Beskrivelsen til prinsippene for sedigrafanalyse er hentet fra " Instruction manual, sedigraph particlesize analyser.

NOEN FEILKILDER:

unøyaktigheter ved utførelse av pyknometeranalysen kan føre til feil spesifikkvekt og at feil ratetall blir benyttet i analysen.

Ved høyt jerninnhold i prøven, vil materialet kunne feste seg til magnetrøreren og således ikke bringes opp i suspensjon.

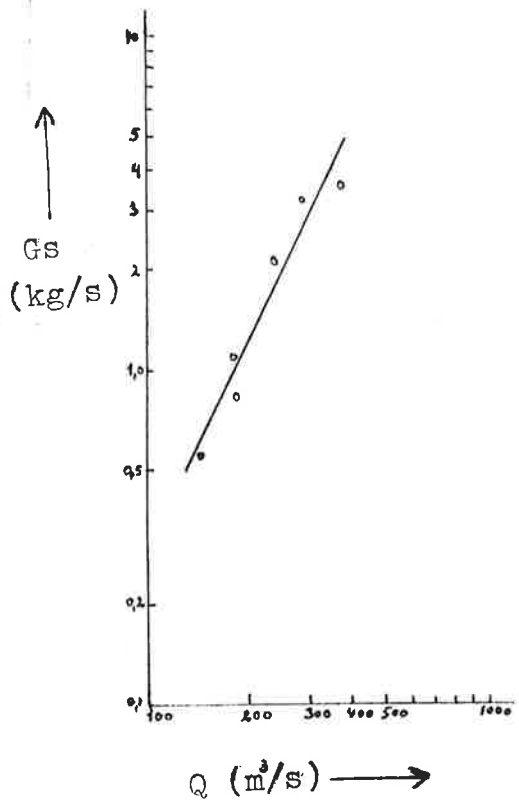
KJEMISK ANALYSE:

Disse analysene foretas på NGU, geokjemisk avdeling. Nøyaktig 1 gram materiale av kornstørrelse mindre enn 0,18 mm, veies inn fra hver prøve. Disse tilsettes salpetersyre, kokes i 3 timer, filtreres og analyseres i et atomabsorpsjonsspektrometer der det testes på ca.30 syreløslige elementer (Bølviken, Ekremseter, Ottesen, Volden 1983).

DATABESKRIVELSE

Målinger av suspensjonstransport og temperatur har betydning for spredningen, dvs. hvordan sedimentkonsentrasjonen varierer nedstrøms.

Prøvetaking av suspendert materiale er foretatt ved Lia bru, ovenfor deltafronten. Resultater av målingene er vist i fig.11, og på en økning av suspensjonstransport (G_s) og økende vannføring (Q).



Q	Cs	Gs
m/s	mg/l	kg/s
143	3,8	0,5
180	6,0	1,1
185	4,4	0,8
238	8,8	2,1
286	11,1	3,2
335	10,5	3,5

Tabell 1.

Vannføring, konsentrasjon av suspenderte partikler og suspensjonstransport fra prøver tatt ved Lia bru.

Fig. 11.
Suspensjonstransport som funksjon av vannføring.
Fra målinger ved Lia bru.

Ved en vannføring på $140 \text{ m}^3/\text{s}$ er suspensjons-transporten $0,5 \text{ kg/s}$. Dette tilsvarer en konsentrasjon, C_S på $3,8 \text{ mg/l}$ (tabell 1). Dette stiger til $3,5 \text{ kg/s}$ ved $Q=335 \text{ m}^3/\text{s}$, hvor $C_S=10,5 \text{ mg/l}$.

Den største usikkerheten ved benyttelse av disse dataene, ligger i at det er gjort for få målinger.

Temperaturskikting ute i sjøen har betydning for tettheten. Vannmassene innvirker på hvordan suspensjonspartiklene beveger seg utover i sjøen.

Fig.12 viser temperaturmålinger og konsentrasjon av suspendert materiale (mg/l), i et dybdeprofil.

Konsentrasjonen øker markert nær sprangskiktet, fra ca. 5 mg/l til 15 mg/l . Ved denne målingen er sprangskiktet relativt dårlig utviklet.

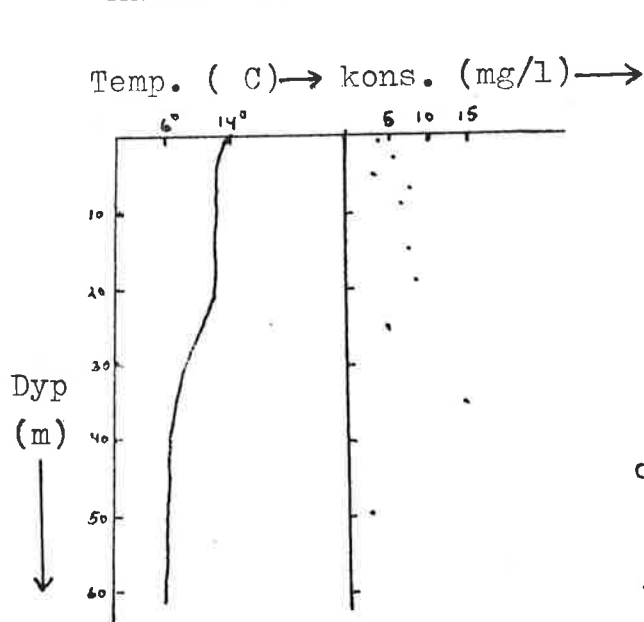


Fig. 12.

Temperatur og kons. av suspenderte partikler i et dybdeprofil.

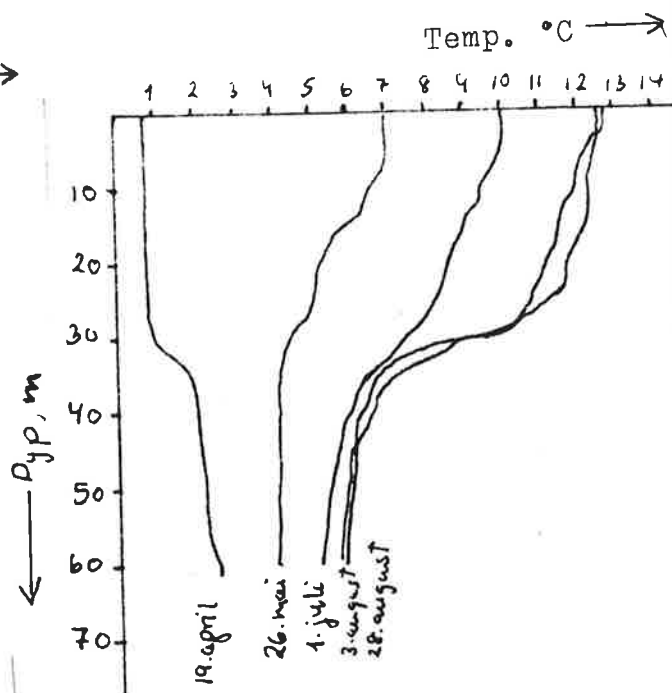


Fig. 13.

Temperaturutvikling i et dybdeprofil i Vågåvatn, fra 19. april til 28. aug. 1984.

Fig.13 er laget på grunnlag av målinger foretatt av NVE, og viser temperaturutviklingen i et profil i midtre del av innsjøen fra april til august 1984. Denne viser en noe bedre termoklinutvikling. Sprangskiktet som først utvikles i august, ligger dypt (20-30 meter), og er ikke tydelig markert. Faktorer som spiller inn her er hastighet og temperatur på de innstrømmende vannmasser, lufttemperatur og vindpåvirkning.

HASTIGHETSMÅLINGER

Fig.14 viser hastighetsmålinger utført ved under to nesten like vannføringer. Målingene er foretatt i to forskjellige profiler (Fig.15). Dette kan være årsak til variasjonen.

Kurven viser et forholdsvis lite avtak i hastigheten utover fra deltafronten.

Ifølge Axelsson (1967) og Bogen (1979) kan strømningsfelt som oppstår når en elv strømmer inn i en innsjø sammenliknes med forløpet i en frijet.

Generellt kan hastighetsavtaket langs jetstrømaksene uttrykkes ved:

$$\frac{V}{V_0} = \frac{a(x)}{(2H)^b}$$

V er hastigheten i avstanden x fra elvemunningen, V_0 er hastigheten og H er dybden av elva ved munningen (Bogen,1982).

Fig.15 viser hastighetsavtaket for profil 2 fra deltafronten utover i Vågåvatn. Til sammenlikning er det

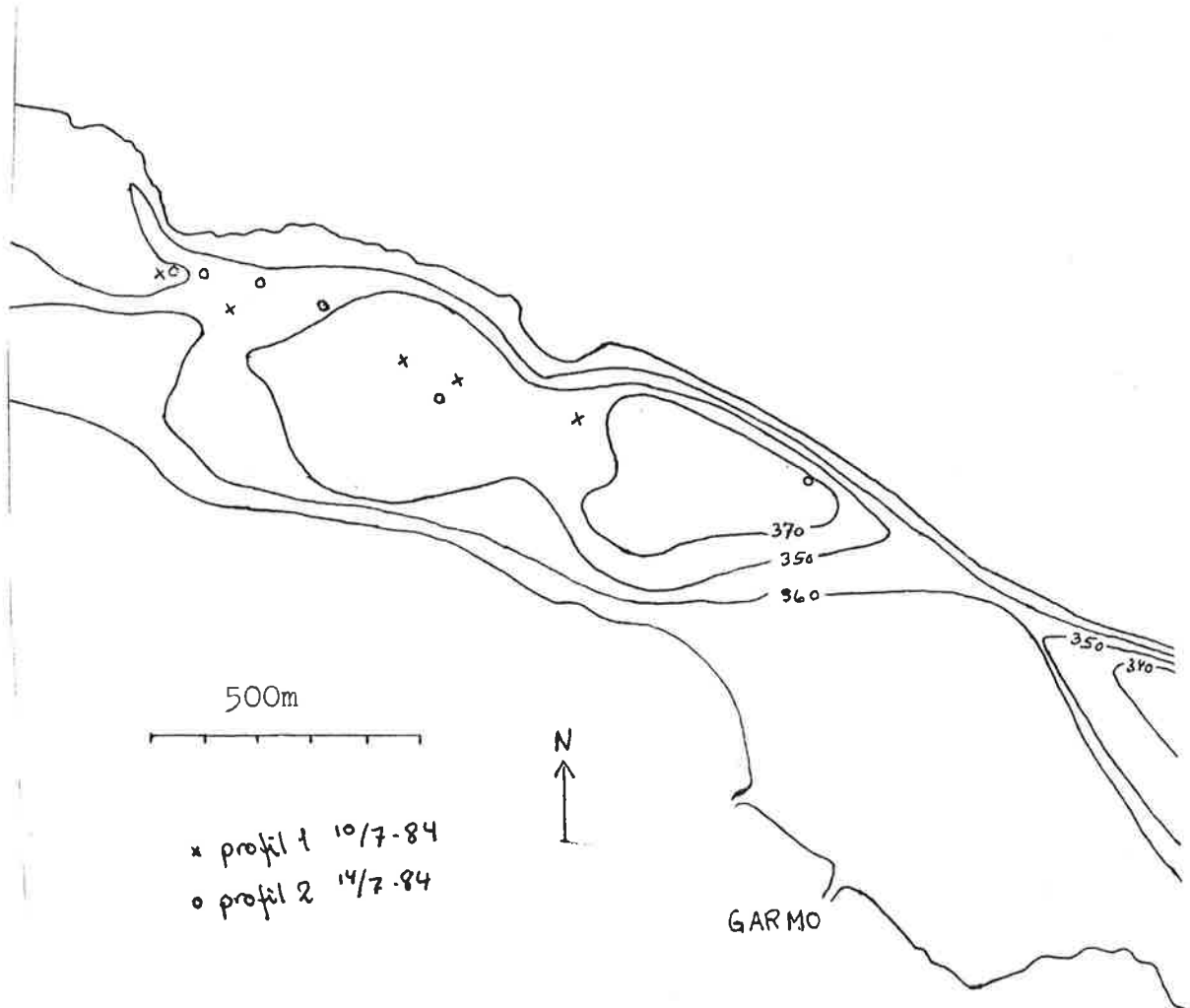


Fig. 15. Lokalteter for måling av stømhastighet tegnet inn på dybdekart.(NVE).

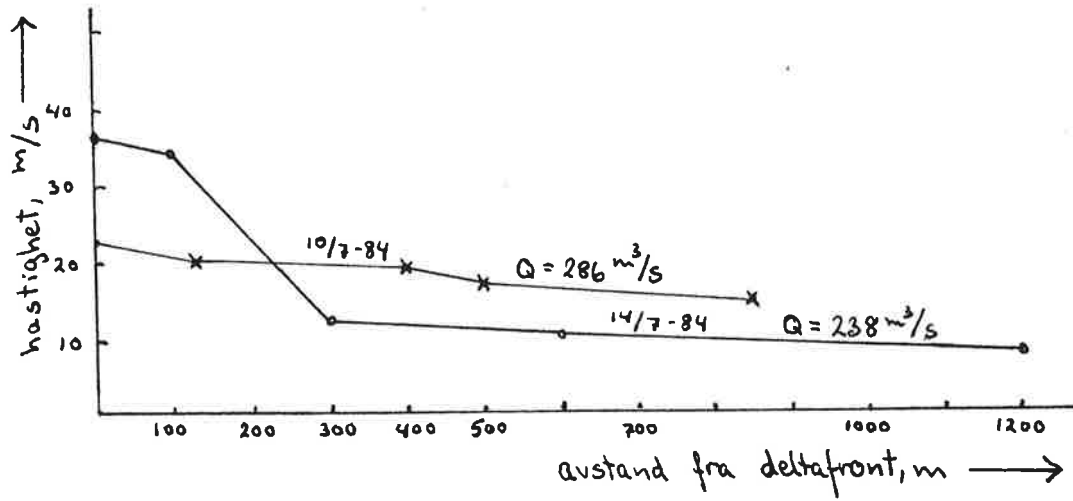


Fig. 14. Hastighetsavtak som funksjon av avstand fra deltaplattformen.

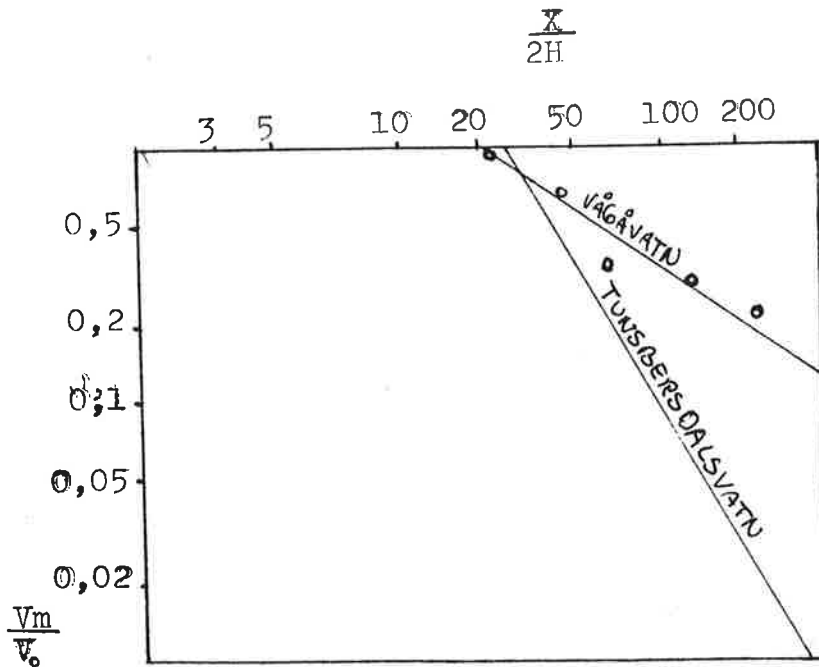


Fig. 16. Avtak i hastighet i Vågåvatn sammenliknet med Tunsbergdalsvatn.

tegnnet inn tilsvarende kurve for Tunsbergdalsvatn (fra Bogen 1982).

I begge de målte profiler i Vågåvatn var hastigheten størst nær overflata. Dette tyder på at innstrømmingen skjer i de øvre vannlag av innsjøen. Samtidige målinger av temperaturen viste små forskjeller i temperaturen ved fronten og i de øvre vannlag ute i sjøen. (Se appendix 2).

SEDIMENTASJON

Feller ble brukt for å måle sedimentasjonen utenfor deltafronten. Fig.17 viser plasseringen av fellene.

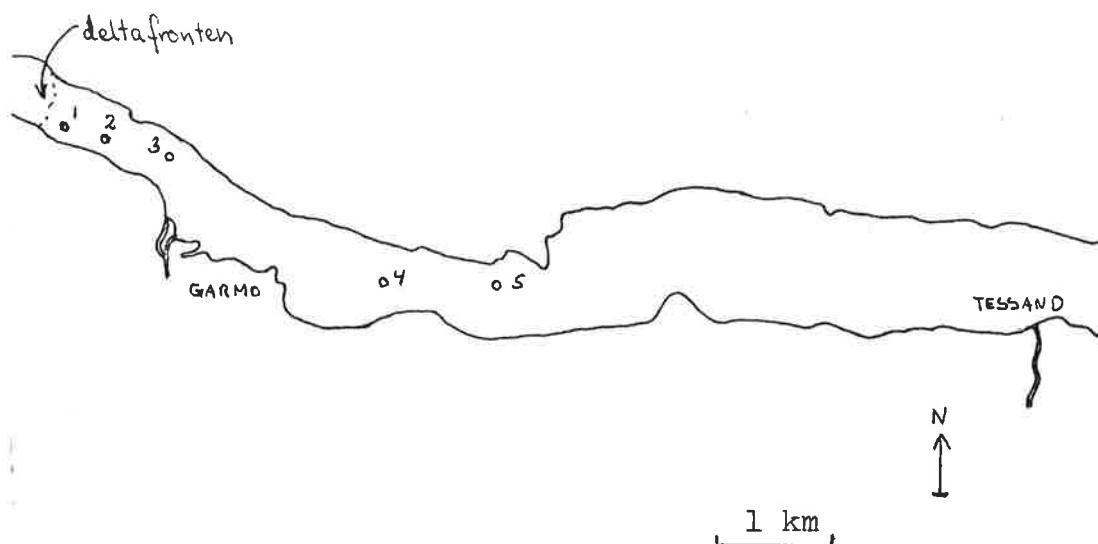


Fig. 17. Plassering av sedimentfeller.

Sedimentasjonen i g/døgn er plottet mot avstand fra deltaplattformen. Sett bort ifra den innerste fellen viser kurven i Fig.19 tydelig avtak i sedimentasjonen med økende avstand fra plattformen. Den lave sedimentasjonen i felle 1, kan skyldes at at denne er plassert utenfor hovedstrømmen, men dette bør undersøkes nærmere. I Fig.19 er sedimentasjonen sammenliknet med andre delta beskrevet av Bogen(1982). $M = mX^{-n}$ kan uttrykke avtaket i sedimentasjonen fra elvemunningen og utover (Bogen,1982). Allen(1968), benyttet tilsvarende uttrykk for å beskrive sedimentasjon over strømriffler. M er sedimentasjonsraten, X er avstanden fra munningen, m og n er parametere. En høy n -verdi vil ifølge Bogen(1982) implisere hurtig

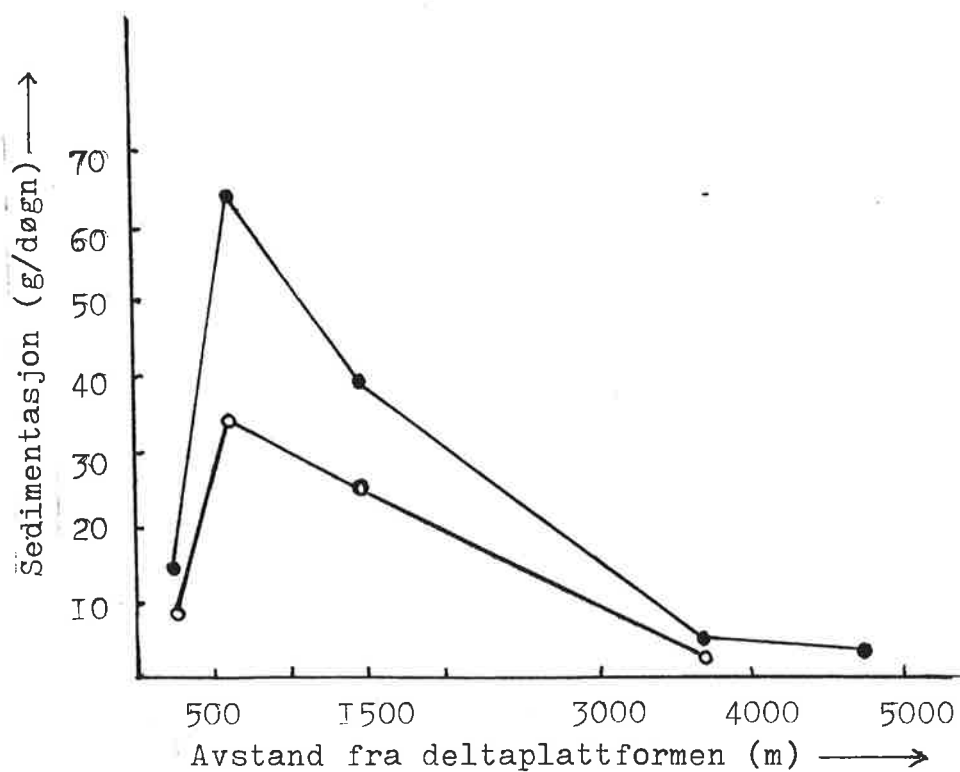


Fig. 19. Sedimentasjonen som funksjon av avstand fra deltaplattformen.

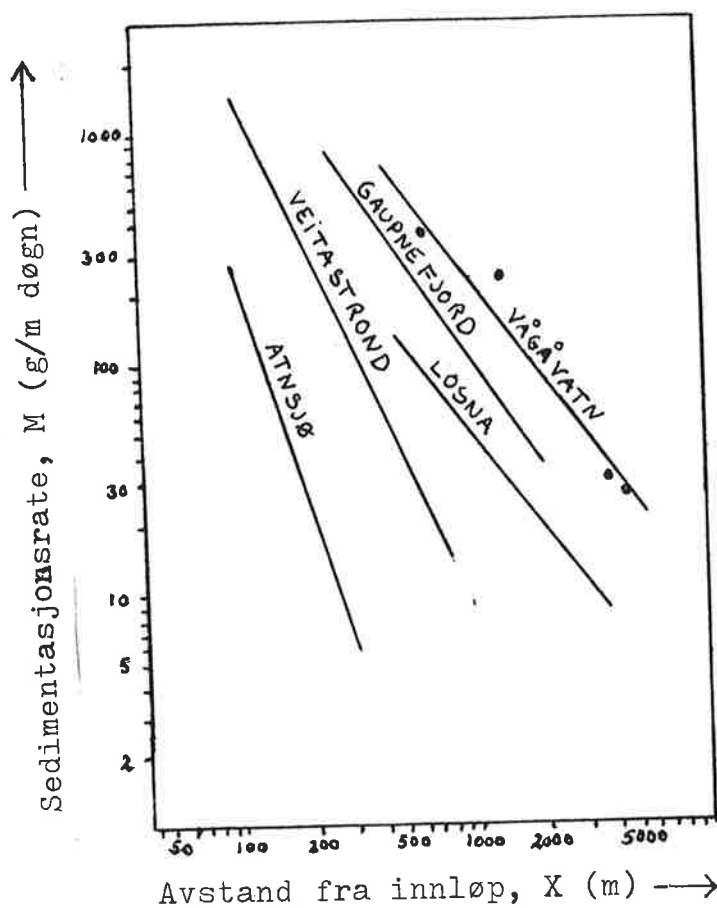


Fig. 19b.
Avtak i sedimentasjonsraten med avstand fra innløpet.
(fra Bogen 1983)

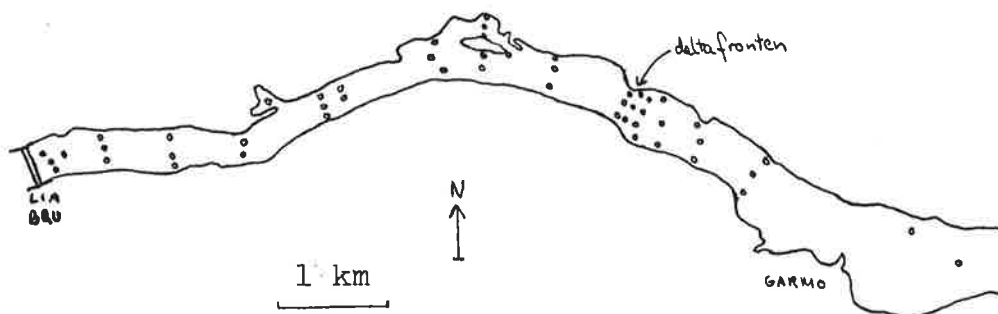


Fig. 22. Prøver tatt med Ekmans grabb i 51 punkter for å kartlegge bunnsedimentenes kornstørrelsessammensetning.

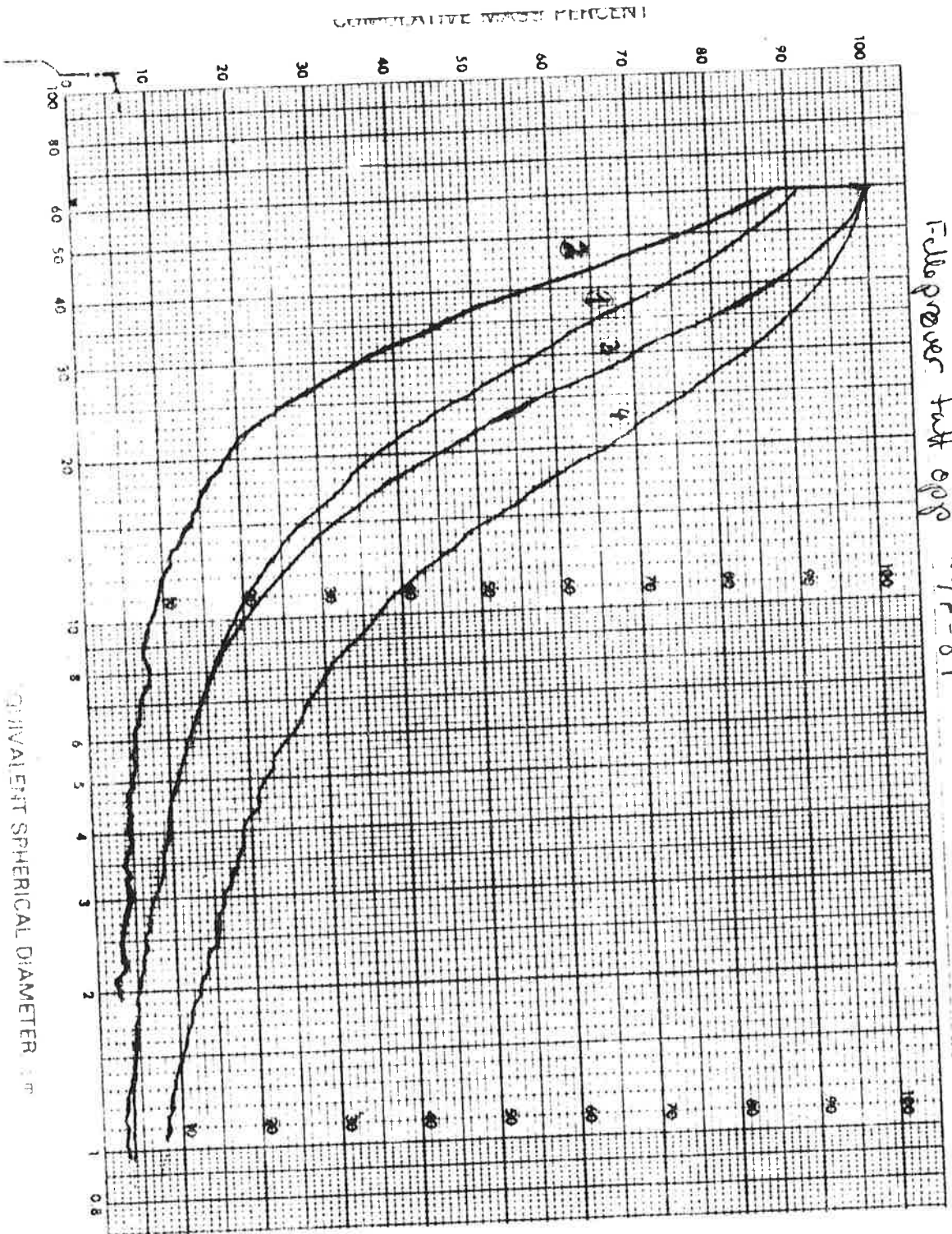
utfelling av sedimentene. For Vågåvatn er det funnet en n-verdi på 1,35. Dette er relativt lavt. Dette kan sees i sammenheng med et langsomt avtak i hastigheten utover fra deltafronten.

Fig.20 og 21 viser kornfordelingen av sedimentene i felleprøvene, vist som kumulativ %fordeling.

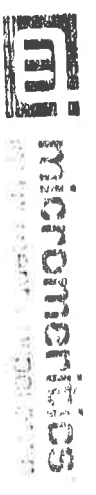
Borsett fra den innerste fellen, antyder dette en økning i mengden av de fine fraksjonene med avstand fra deltafronten. Alle fellene inneholder materiale med hovedtyngde innenfor siltfraksjonene.

Det er tatt prøver av bunnsedimentene med Ekmans grabb i 51 punkter. Disse er vist i Fig.22.

Prøvene er tatt for å kartlegge bunnsedimentenes kornsammensetning. Dette arbeidet er ennå ikke fullført.



Fallopian tube eggs
24/2-84



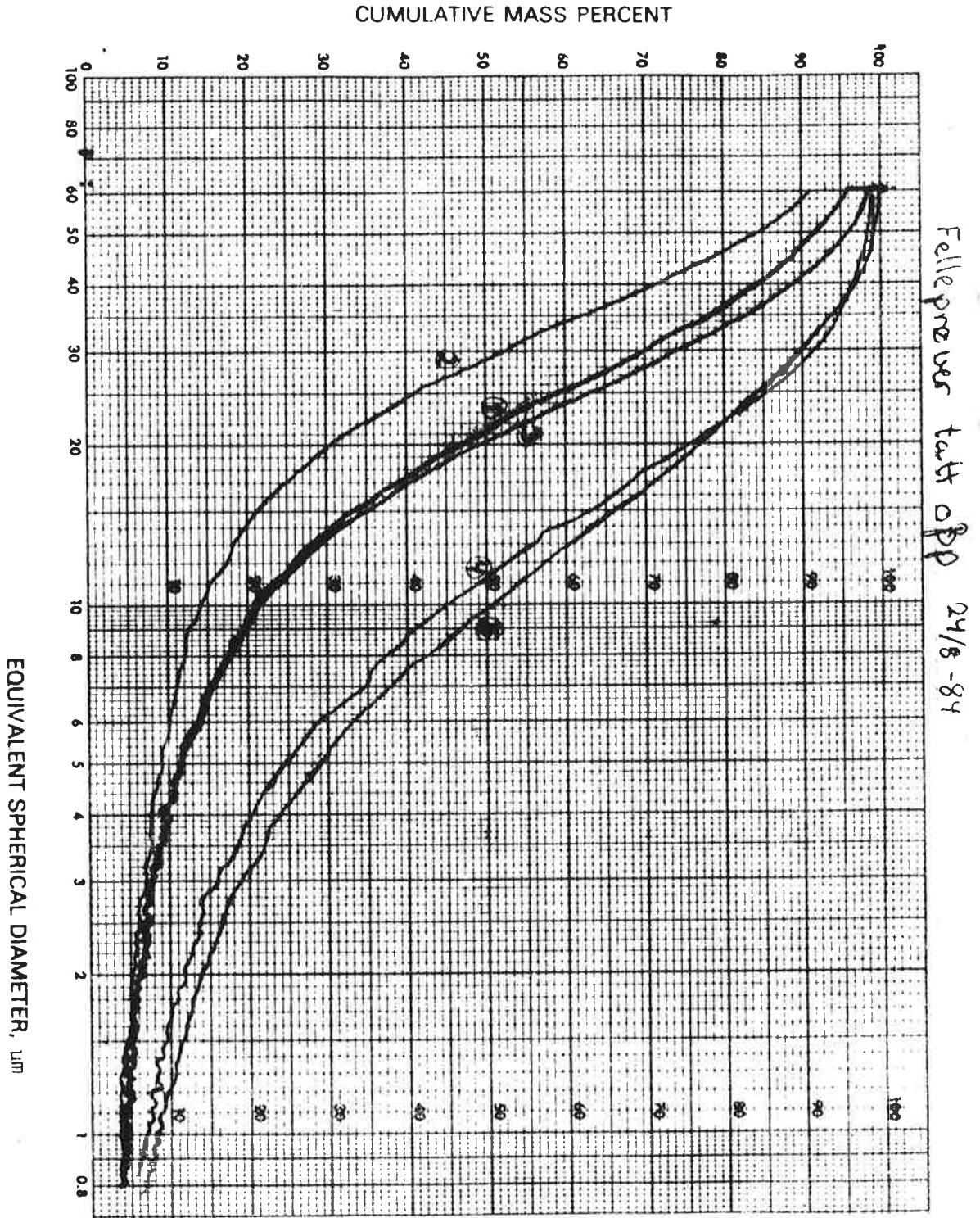


Fig. 20, 21. Kornfordeling av fellemateriale, kornstr. mindre enn 0,006mm. Sedigrafanalyse.

DISKUSJON

De foreliggende resultatene viser at sedimentasjonsforløpet på Otta/Vågåvatn deltaet er relativt komplekst.

Resultatene av strømmåling, temperatur og konsentrasjonen av suspendert materiale, som foreligger tyder på at innstrømningen over deltafronten og utover i sjøen skjer i de øvre vannlag av innsjøen. Dette skiller seg fra observasjoner gjort av Karlsen(1971). Han beskriver innstrømningen over deltafronten som en typisk underflow, dvs. at elvevannet p.g.a større tetthet, dukker ned under innsjøens vannmasser.

Karlsen&Stene (1978), påpeker at strømningsforløpet over deltafronten varierer med vannføring og konsentrasjon av suspendert materiale, men at tetthetsstrømmer forekommer, i visse situasjoner.

Turbiditets og temperaturmålinger gjort av Holtan 20/8 1970, viser høyest turbiditetsverdier rett over sprangskiktet (20-30 meters dyp). Dette tyder på at gjennomstrømningen foregår i lagene over sprangskiktet, og at det partikulære materialet er finfordelt og flyter i termoklinområdet p.g.a barrieren som tetthetsforskjellen mellom overflatevannet og dypvannet representerer (Holtan,1972). Dette stemmer overens med observasjonene skissert i Fig.12.

Sedimentasjonen nær deltaplattformen er noe uklar, lengre fra utløpet er det et markert avtak i sedimentasjonen med avstand fra deltaplattformen. Sedimentasjons-og strømmålingsresultatene som foreligger antyder en relativt langsom utfelling av sedimenter

sammenliknet med andre delta (FIG.19). For å få et klart bilde av sedimentasjonsraten utenfor delta-plattformen er det nødvendig med flere målinger tatt under flere ulike strømningsforhold.

SAMMENDRAG

Otta og Bøvra's delta i Otta/Vågåvatn er valgt for å studere sedimentforløpet på et suspensjonsdelta. Et suspensjonsdelta vil skille seg sedimentologisk og morfologisk fra andre deltatyper.

Rapporten bygger på feltarbeide utført i tidsrommet 7/6 - 25/8 1984, og utdrag fra tidligere arbeid - temperatur og vannstands/vannføringsmålinger utført av NVE.

Under feltarbeidet ble følgende variable undersøkt:

- Transport av suspenderte partikler, hastighet fra innløpet og utover i sjøen, vanntemperatur og sedimentasjon med kornfordeling. I tillegg er det kjemiske innholdet av sedimentene, og kjemiske elementer bundet til partiklene blitt undersøkt. Resultatet fra disse undersøkelsene foreligger seinere.
- Variasjoner i vannføringen, hastighetsfeltet og temperaturfordelingen utover i innsjøen, har betydning for hvordan partiklene spres utover fra deltaplattformen. Sedimentasjonsraten utover i innsjøen kan sees i sammenheng med hastighetsavtaket i strømningsfeltet.

For å få et klart bilde av det komplekse sedimentasjonsforløpet på deltaet, er det nødvendig med videre undersøkelser.

FRAMDRIFT

Enkelte feil og mangler ved bl.a. prøvetakning er nevnt under databeskrivelse og metoder. Generelt bør det videre feltarbeidet struktureres bedre.

Viktigst er at feltsesongen bør utvides til å omfatte vårflom og lavvannsperioden om høsten. Dette er helt nødvendig for å kunne danne et skikkelig bilde av delta-sedimentasjonen ved ulike vannføringer.

Bunnfellene bør prioriteres. Andre typer feller bør derimot vurderes nøye med hensyn til nytteverdi og feilkilder. Plasseringen av fellene er av vesentlig betydning for å få gode resultater.

Kartlegging av bunnsedimentenes kornstørrelsessammensetning på nedre del av deltaplattformen og utover deltafronten vil bidra til å belyse de sedimentologiske forholdene på deltaet bl.a. med hensyn på forholdet mellom bunntransport og suspensjonstransportert materiale.

Ellers er det stort sett viktig å få tatt mest mulig representative prøver for perioder med ulike vannføring og sedimenttransport.

I løpet av vinteren vil det sannsynligvis bli tatt en borkjerne i Vågåvatn. Analyser av denne vil kunne gi et verdifullt bidrag til belysning av sedimentasjonsforløpet i innsjøen.

Det kan være aktuelt å se nærmere på sedimentpartikler som ikke feles ut, men beveger seg igjennom hele innsjøen.

LITTERATUR

- Allen, J.R.L. 1968. The diffusion of grains in the lee of ripples, dunes and sand deltas. *Journal of Sedimentary Petrology*, 38: 2, 621-633.
- Axelsson, V. 1967. The Laitaure delta. *Geografiske Annaler*. 49A.
- Bogen, J. 1979. Sedimentasjon av partikulært materiale i innsjøer. I: Hansen, E. (red.). *Innsjøers dynamikk*. Norsk Hydrologisk Komite, Int. rap. 79/02.
- Bogen, J. 1981. Deltaet i Veitastrondsvatn i Årøyvassdraget. Kontaktutvalget for vassdragsreguleringer, Univ..Oslo. Rapport 25.
- Bogen, J. 1983. Morphology and sedimentology of deltas in fjord and fjord valley lakes. *Sedimentary Geology*, 36. 245-267.
- Bogen, J. 1984. Fluviale transport- og sedimentasjonsprosesser. Samarbeidsutv. ihydrologi, Univ. Oslo. Rapport nr. 3.
- Bølviken, B., Ottesen, R.T., Sinding-Larsen, R. 1979. Seasonal and sampling variability in the contents of Mn, Fe, Ni, Cu, Zn and Pb at the Snertingdal streamsediment anomaly, Norway. I: G.R.Davis (Red.) *Prospecting in areas of glaciated terrain*. The Institution of Mining and Metallurgy, London, 51-58.

- Bølviken, B., Ekremseter, J., Ottesen, R.T., Volden, T. 1983. Reproduserbarhet av geokjemiske bekkesediment-data. NGU 388, 1-8.
- Gilbert, G.K. 1885. The topographic features of lake shores. U.S. Geol. Survey Ann. Rept. 5.
- Sit. i Church, M., Gilbert, R. 1975. Proglacial Fluvial and Lacustrine Environments. In: A.V. Jopling and B.C. McDonald (Editors), Glacifluvial and Glaciolacustrine Sedimentation. Soc. Econ. Paleontol. Mineral., Spec. Publ., 23: 22-100.
- Holtan, H. 1972. Eksempler på temperatur og strømningsforhold i innsjøer. Nordisk hydrologisk konferanse.
- Husebye, S. 1984. 005 Glomma og Lågen, "Øvre Otta" 48 Ånestad kraftverk, 40 Raudal pumpeverk, 52 Dalsvatn kraftverk. Bidrag til naturverndelen i vassdragsrapporter for Samlet plan. Geofag. Kontaktutvalget for vassdragsreguleringer, Univ. Oslo. NOTAT, 62s.
- Håkanson, L. 1976. A bottom sediment trap for recent sedimentary deposits. Limnol. Oceanogr., 21: 170-174.
- Instruction manual, sedigraph particle sizeanalyser.
- Karlsen, O.G. 1971. Fluvialgeomorfologiske undersøkelser i Visa og de nedre deler av Bøvra. H. oppg. Geogr. inst. Univ. Oslo, 126 s.

- Karlsen, O.G., Stene, R.N. 1978. Bøvra i Jotunheimen
en fluvialgeomorfologisk undersøkelse
Prosjektledere: J. Gjessing, K. Nordseth.
Kontaktutvalget for vassdragsreguleringer,
Univ. Oslo, Rapport 78/02.
- Nilsson, B. 1971. Sedimenttransport i svenska vatten-
drag. Ett IHD-projekt. Del 1. Metodik.
Naturgeogr. inst. Univ. Uppsala.
Rapport 4, 83s.
- Nordseth, K. 1974. Sedimenttransport i norske vassdrag.
Sammendrag av arbeider ved Geografisk
institutt, Universitetet i Oslo 1969-1973.
Geogr. inst. Univ. Oslo, 177 s.
- Norges Vassdrags- og Elektrisitetsvesen. 1969. Atlas
over breer i Sør-Norge. Hydrol. avd. NVE
medd. 20.
- Norges vassdrags- og elektrisitetsvesen. Jotunheimen.
Loddekart Vågåvatn/Ottavatn (1:10 000),
Statskraftverkene, NVE. Blad 3,4.
- Norges Vassdrags- og elektrisitetsvesen, 1984. Temperatur-
data for Vågåvatn. NVE, Vassdragsdir-
ektoratet. Hydrol. avd.
- SD-2, Electronic controlled- Magnetic Operated
In-Field Readable Current Meter.
Sensordata A/S-Breistølen 41 5000 Bergen, 8s..
- Ottesen, R.T., Ekremseter, J., Bølviken, B., 1983.
Nitric Acid Soluble Heavy Metals in Stream
Sediments from the Oppland-Hedemark Region,
Southern Norway. NGU 389,57-64.

APPENDIKS II

HASTIGHETSMÄLING:

10/7-84

måle- sted	total dyp (m)	höyde fra bunnen (m)	hast. (m/s)	retn.	kons. (mg/l)
1.	2,1	1	22	90, 105	4,8
2.	2,9	1	17	120	
		2	20	105	6,3
3.	11,8	1	2	150	
		5	6	105, 150	
		8	6	105, 120	
		10	11	105, 120	3,9
4.	15,0	1	0	300	
		5	17	180, 195	
		9	19	30, 45	
		13	14	120, 150	7,1
5.	12,0	1	4	0, 345	
		5	13	0, 345, 300	
		8	17	45, 60, 75	
		10	14	150	4,1
6.	18,8	1	0	30	
		5	15		
		10	15	180, 165	
		16	15	165, 180	2,1

APPENDIX II

HASTIGHETSMÅLING:

14/7-84

måle- sted	total dyp (m)	höyde fra bunnen (m)	hast. (m/s)	retn.	temp. (°C)	kons. (mg/l)
1.	2,3	1	17	90°, 105°	11,6	3,0
		2	35	105°	11,1	
2.	2,5	1	20	120°	12,0	2,6
		2	34	105°, 120°	11,9	
3.	9,4	1	1	225°	11,4	2,5
		5	4	45°, 35°, 245°	12,1	
		8	23	105°, 120°	12,6	
4.	12,8	1	4	270°	11,2	0,6
		5	3	270°, 255°	11,4	
		9	1	90°, 75°, 105°	11,8	
		12	12	90°, 75°, 60°	12,1	
5.	14,2	1	0		11,4	1,9
		5	5	90°, 105°, 120°	11,6	
		10	5	165°, 150°	11,8	
		13	10	150°, 165°	12,1	
6.	20,0	1	3	255°, 240°	10,9	3,8
		5	3	225°, 240°	10,9	
		10	2	225°, 150°	11,1	
		13	3	330°, 315°	11,2	
		18	7	75°	11,4	
		19	8	60°	11,9	

PARTICLE SIZE ANALYSIS DATA SHEET

Sample Identification Felle 1, 2, 3 24/7-84 Date _____

Felle 1, 2, 3, 5 24/8-84 By _____

Sample Density (ρ) 2,99 g/cm³ Liquid Density (ρ_0) 0,9957 g/cm³

Liquid Viscosity (η) 10,8007 mPa·s (centipoise) Cell Temperature _____ °C

Sedimenting System: Liquid Calgon

Surfactants _____

Dispersing Procedure _____

$$\text{Rate (start } \mu\text{m)} = \frac{211.80 (\rho - \rho_0)}{\eta} \times (\text{multiplier})$$

$$\text{Rate (60 } \mu\text{m)} = \frac{211.80 (2,99 - 0,9957)}{10,8007} \times (1,44) = 912$$

$$\text{Running Time} = \frac{41,250}{\text{Rate}} = \frac{41,250}{912} = 45 \text{ minutes for } 60 \text{ to } 0,215 \mu\text{m}$$

Diameter
(μm)

Start	End	Multi-plier
100	0.36	4.0
90	0.325	3.239
80	0.29	2.56
70	0.25	1.96
60	0.215	1.44
50	0.18	1.0
40	0.145	0.64
35	0.125	0.49
28	0.1	0.314

The largest permissible particle for a given system is calculated by:

$$D = \left(\frac{1.837 \times 10^5 \eta^2}{\rho_0 (\rho - \rho_0)} \right)^{1/3}$$

where D is the equivalent spherical diameter (in μm) of the largest permissible particle. The particle Reynolds Number has been set equal to 0.1 in this equation, for non-turbulent setting.

PARTICLE SIZE ANALYSIS DATA SHEET

Sample Identification Bunnfelle 5 Date 24/7

By _____

Sample Density (ρ) 3,11 g/cm³ Liquid Density (ρ_0) 0,9957 g/cm³

Liquid Viscosity (η) 0,8007 mPa·s (centipoise) Cell Temperature _____ °C

Sedimenting System: Liquid Calgon

Surfactants _____

Dispersing Procedure _____

$$\text{Rate (start } \mu\text{m)} = \frac{211.80 (\rho - \rho_0)}{\eta} \times (\text{multiplier})$$

$$\text{Rate (} \mu\text{m)} = \frac{254,16}{211,80} (3,11 - 0,9957) \times (1,44) = 966$$

$$\text{Running Time} = \frac{41,250}{\text{Rate}} = 43 \text{ minutes for } 60 \text{ to } 0,215 \mu\text{m}$$

Diameter (μm)

Start	End	Multiplier
100	0.36	4.0
90	0.325	3.239
80	0.29	2.56
70	0.25	1.96
60	0.215	1.44
50	0.18	1.0
40	0.145	0.64
35	0.125	0.49
28	0.1	0.314

The largest permissible particle for a given system is calculated by:

$$D = \left(\frac{1.837 \times 10^5 \eta^2}{\rho_0 (\rho - \rho_0)} \right)^{1/3}$$

where D is the equivalent spherical diameter (in μm) of the largest permissible particle. The particle Reynolds Number has been set equal to 0.1 in this equation, for non-turbulent setting.

PARTICLE SIZE ANALYSIS DATA SHEET

Sample Identification Felle 10 Date _____

By _____

Sample Density (ρ) 2,22 g/cm³ Liquid Density (ρ_0) 0,9957 g/cm³

Liquid Viscosity (η) 0,8007 mPa·s (centipoise) Cell Temperature _____ °C

Sedimenting System: Liquid Calgon

Surfactants _____

Dispersing Procedure _____

$$\text{Rate (start } \mu\text{m)} = \frac{211.80 (\rho - \rho_0)}{\eta} \times (\text{multiplier})$$

$$\text{Rate (} \mu\text{m)} = \frac{211.80 (2,22 - 0,9957)}{0,8007} \times (2,56) = 995$$

$$\text{Running Time} = \frac{41,250}{\text{Rate}} = 42 \text{ minutes for } \text{_____} \text{ to } \text{_____ } \mu\text{m}$$

Diameter (μm)		Multiplier
Start	End	
100	0.36	4.0
90	0.325	3.239
80	0.29	2.56
70	0.25	1.96
60	0.215	1.44
50	0.18	1.0
40	0.145	0.64
35	0.125	0.49
28	0.1	0.314

The largest permissible particle for a given system is calculated by:

$$D = \left(\frac{1.837 \times 10^5 \eta^2}{\rho_0 (\rho - \rho_0)} \right)^{1/3}$$

where D is the equivalent spherical diameter (in μm) of the largest permissible particle. The particle Reynolds Number has been set equal to 0.1 in this equation, for non-turbulent setting.

