NORGES VASSDRAGS-OG ELEKTRISITETSVESEN

MATERIALTRANSPORTUNDERSÖKELSER

i

NORSKE BRE-ELVER

1977

RAPPORT NR. 4-78

VASSDRAGSDIREKTORATET

HYDROLOGISK AVDELING

OSLO OKT. 1978

NORGES VASSDRAGS-
OG ENERGIDIREKTORAT
BIBLIOTEKET

NORGES VASSDRAGS-OG ELEKTRISITETSVESEN

MATERIALTRANSPORTUNDERSÖKELSER

i

NORSKE BRE-ELVER

1977

Redigert av O. Kjeldsen

Bidragsytere: S. R. Ekman, O. Kjeldsen, H. C. Olsen og G. Östrem

RAPPORT NR. 4-78

VASSDRAGSDIREKTORATET

HYDROLOGISK AVDELING

OSLO OKT. 1978

NORGES VASSDRAGS-
OG ENERGIDIREKTORAT
BIBLIOTEKET

FORORD

Siden 1967 har Brekontoret undersøkt slamtransporten i en rekke bre-elver fordi Statskraftverkene ønsket opplysninger om materialtransporten i elver som kunne bli aktuelle i senere utbyggingsplaner. Både grovt og fint materiale vil, hvis det kommer inn i et vannkraftsystem, kunne skape problemer av forskjellig art. Det grove materialet vil selvsagt hurtig sedimenteres i stillestående vann og man har mange eksempler på at store magasiner er blitt helt eller delvis oppfyllt av slike masser. De finere partiklene som holder seg svevende i vannet i lang tid vil kunne følge med ned i kraftstasjonenes turbiner og vesentlig øke slitasjen der. Da man ved slutten av 1960-årene ennå ikke hadde bygget ut noe slamrikt vassdrag i Norge var det derfor av stor betydning å få belyst både mengden og arten av materialet som bre-elvene førte med seg. Noen bre-elver ble utvalgt for disse undersøkelsene, både i Syd-Norge og i Nord-Norge, men etter noen år hadde vi samlet tilstrekkelig data for å belyse problemene ved en del av de utvalgte elvene.

Undersøkelsene har derfor i de senere år endret karakter idet vi har konsentrert oss om en elv fra Jostedalsbreen og en elv fra Svartisen. I begge disse områder er det mulig at smeltevann blir innsamlet fra subglasiale inntak og da er selvsagt detaljerte opplysninger om grovmassetransporten av meget stor interesse og undersøkelsene vil derfor fortsette ved disse to bre-elvene, idet variasjonene fra år til år kan være meget store.

Massetransporten fra en bre er også et mål for breens eroderende evne i landskapet. De innsamlede data har derfor interesse utover kraftutbyggerkretser, og vi har innledet et samarbeide med Naturgeografiska Institutionen ved Stockholms Universitet for å sikre at de innsamlede data også kan komme vitenskapen til gode i form av opplysninger om breenes landskapsformende effekt. Man har fra svensk side spesielt deltatt i undersøkelsene ved Nigardsvatn.

I årets rapport redegjøres for resultatene fra Nigardsbreen og Engabreen samt fra en spesiell undersøkelse i Lovatnet. Der skulle vi bestemme den årlige sedimentasjonen slik den er idag for å kunne vurdere en evt. oppfylling av Lovatnet hvis planen om et kraftverk med overføringer fra store deler av "Breheimen" blir realisert.

Rapporten er blitt til som et team-work mellom flere bidragsytere, men cand.real. Ola Kjeldsen har vært hovedansvarlig for rapporten.

Oslo i juli 1978

Gunnar Østrem

INNHOLD

	Side
Innledning	4
Materialtransportundersøkelser ved breer i Norge, 1977 (O.Kjeldsen)	8
Sammenfattende beskrivelse	8
Vær- og vannføringsforholdene	8
Generell kommentar til årets observasjoner	9
Nigardsbreen	9
Innledning	9
Resultat	10
Engabreen	14
Innledning	14
Resultat	14
Elektronisk apparatur för mätning och kontinuerlig registrering av slamkoncentrationen (S.R.Ekman)	19
Mätprincip och instrument	19
Resultaten 1977	21
Praktiska problem	26
Undersøkelse av bunnsedimentene i Lovatnet (H.C.Olsen)	26
Innledning	26
Tidligere undersøkelser	31
Bunnprøvetaking	32
Feltarbeidet	32
Laboratoriearbeid og undersøkelsesmetodikk	32
C-14 datering av organisk materiale	35
Resultat	36
Beskrivelse av prøvene	36
Sammenlikning mellom prøvene	43
Korrelasjoner	45
Generelt	45
Korrelasjon varv-vannføring-temperatur	48
Korrelasjon varv-vannføring-nedbør	49
Korrelasjon Lovatn-Bondhusvatn	49
Historiske skred og flommer og deres innvirkning på bunnsedimentene	50
Beregning av den årlige sedimentasjon	52
Konklusjon	52

Sluttord (O.Kjeldsen) 55

Summary (G.Østrem) 60
Introduction 60
Sediment transport at selected glaciers in Norway, 1977 61
General 61
Nigardsbreen 61
Engabreen 62
An electronic device to monitor variations in turbidity 63
Bottom sampling in Lake Lovatnet 64
Introduction 64
Earlier investigations 65
Sampling and interpretation 65
Comparisons between various samples 67
Correlations 67
Conclusion 68

Litteratur 70

INNLEDNING

Brekontoret har i en rekke år undersøkt materialtransporten i endel utvalgte bre-elver. Resultatene fra disse undersøkelsene publiseres i årlige rapporter. Hensikten med disse rapportene er å referere resultater fra pågående undersøkelser. Stoffet presenteres derfor stort sett på samme måte som tidligere. Fyldigere beskrivelse av målestedene, omtale av metodikken etc. er vanligvis gitt i den rapporten som først omtaler målingene på vedkommende sted. Det henvises derfor til disse tidligere rapporter for en mer utførlig omtale av de aktuelle målestedene i 1977 og for målinger utført tidligere i andre brevassdrag. I litteraturlisten finnes en liste over disse rapporter. For at den foreliggende rapporten skal kunne leses uavhengig av tidligere års rapporter, er det allikevel tatt med en del utfyllende beskrivelser. Det vil derfor forekomme en del repetisjon fra år til år i våre rapporter.

Målingene ved Nigardsbreen skjer i samarbeid med Naturgeografiska Institutionen ved Stockholms Universitet. Personell derfra forestår bearbeidelse av data fra målingene av deltatilveksten ved innløpet i Nigardsvatnet. Den vesentligste delen av datainnsamlingen bekostes imidlertid av NVE.

Brekontoret har vært engasjert i undersøkelser av materialtransporten i bre-elver siden 1967. Da ble målinger satt igang ved 3 breer i Sør-Norge (fig. 24). Undersøkelsene ble utvidet fram til 1972 da de omfattet i alt 8 breer, derav 3 i området omkring Svartisen i Nordland. I tillegg ble det foretatt en undersøkelse ved Filefjell representative IHD-område i 1971 og 1972 for å kunne gjøre en sammenlikning med et brefritt høyfjellsnedbørfelt. Senere har antall målesteder blitt redusert, mens enkelte nye steder er kommet i tillegg. De 2 siste årene er det foretatt undersøkelser på to steder, ved Nigardsbreen på østsida av Jostedalsbreen og ved Engabreen på vestsida av den vestlige delen av Svartisen. Begge stedene ble det foretatt målinger for beregning av transport både av suspendert finkornig materiale og av grovere bunntransportert materiale.

Ved de 2 brevassdragene der det nå foretas undersøkelser, har målingene pågått i henholdsvis 10 år for Nigardsbreen og 9 år for Engabreen. Utover det vassdraget målingene dekker, har undersøkelsene verdi som referanse for målinger av kortere varighet andre steder der forholdene er sammenlignbare. Denne verdien øker med lengden av observasjonsserien.

I Norge har bre-elvene som regel en vesentlig større materialtransport enn elver fra brefrie nedslagsfelt. Dette skyldes at løsmateriale stadig produseres ved breenes erosjon i undergrunnen. Materialtransporten i brevassdrag forårsaker forskjellige problemer i forbindelse med utbygging. Undersøkelsene har derfor først

og fremst et praktisk siktemål. Data om breenes erosjon og transport av materiale samt elvenes videre transport og avsetning av materiale har også vitenskapelig interesse. I den utstrekning det er mulig, brukes derfor NVE's data for å tilfredsstille dette vitenskapelige siktemål. De mer vitenskapelige delene av undersøkelsene har direkte eller indirekte betydning for de praktiske delene av undersøkelsene, f.eks. i utvikling av nye metoder i innsamling og bearbeiding av dataene. Det er derfor både rent praktisk og vitenskapelig av interesse å få brakt på det rene størrelsen, sammensetningen og variasjonen av materialtransporten i ulike brevassdrag.

Den store materialtransporten i brevassdragene kan også skape problemer for beregningen av vannføringen. I mange elver er det vanskelig å finne målesteder der det bestemmende profilet ikke er utsatt for endringer, og man må derfor foreta kontrollmålinger av vannføringen med jevne mellomrom. I begge vassdragene der slamundersøkelsene ble utført i 1977, blir vannføringen målt ved utløpet av et vatn, og derfor er en forskånet for slike problemer.

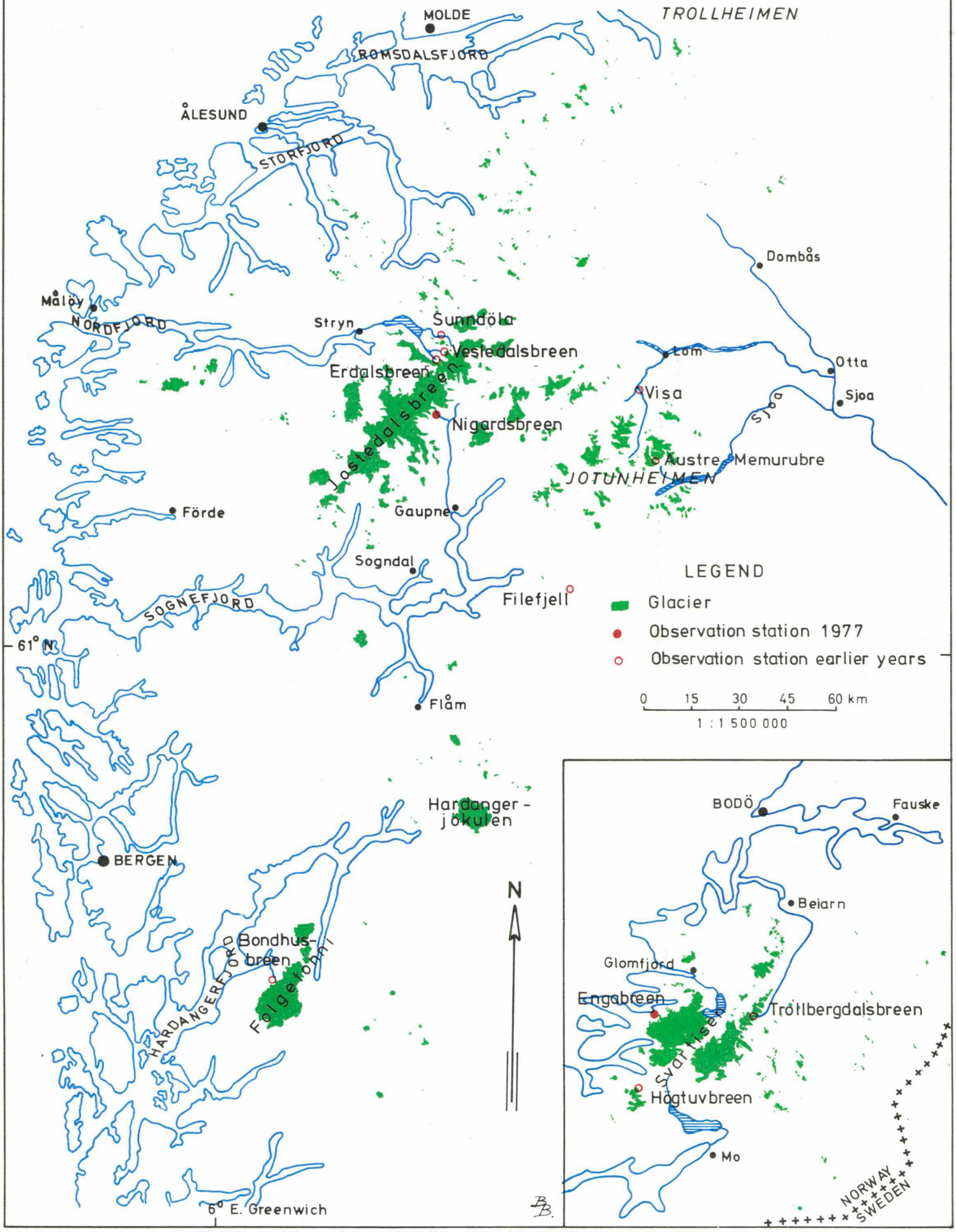
Kartet på fig. 1 viser beliggenheten av observasjonsstasjonene, både de som var bemannet sommeren 1977 og de der det tidligere har vært foretatt undersøkelser. Hver observasjonsstasjon har vært bemannet med to personer i den vesentligste delen av avrenningssesongen for bre-elver, i de to aktuelle tilfelle fra månedsskiftet mai/juni til begynnelsen av september. Ved de fleste breene der det foregår eller har vært foretatt materialtransportundersøkelser, er det også foretatt meteorologiske observasjoner og undersøkelse av breenes massebalanse. Resultatene fra massebalanseundersøkelsene publiseres separat, i samme rapportserie fra Hydrologisk avdeling, se f.eks. Hagen 1977.

De fleste undersøkelsene har vært konsentrert om transporten av suspendert materiale i bre-elvene. Ved Nigardsbreen, og i senere år ved flere av de andre målestedene, er det også blitt foretatt målinger av grovere bunntransportert materiale. Transport av suspendert materiale er beregnet på grunnlag av innsamlede vannprøver og observasjoner av vannføringen i brevassdragene. Registrerende limnigrafer er eller har vært montert ved de fleste målestedene.

Transporten av grovt, bunntransportert materiale er blitt beregnet ved å måle deltatilveksten ved innløpet i et vatn nær brefronten. Ved de to brevassdragene der undersøkelser ble foretatt i 1977, ligger det et vatn umiddelbart nedenfor brefronten. Her tas det vannprøver både ved innløpet (5 i døgnet) og utløpet (3 i døgnet), vanligvis i tiden 0700 - 2300. Ved flom, og spesielt ved sterkt stigende vannføring, tas prøvene oftere, opptil en prøve hver time om slamføringen er stor. Minst en gang i døgnet og under flom tas det dobbeltprøver, dvs. to prøver samtidig. Dette er dels en sikkerhetsforanstaltning og dels et ledd i en undersøkel-

FIG. 1

STUDIES OF SEDIMENT TRANSPORT AT NORWEGIAN GLACIER STREAMS



se av enkeltprøvenes representativitet.

Vannprøvene tas i 1-liters plastflasker i eller umiddelbart nedenfor en turbulent strekning i elva. Prøvene tas ved at flaska settes i en beholder i enden av ei lang stang. Denne holdes ut i elva i god avstand fra bredden med åpningen av flaska på skrå opp mot strømmen (Haakensen 1975, s. 7). Flaska har en vid åpning og fylles i løpet av få sekunder. En flaske med trangere åpning skulle kanskje gi mer pålitelige resultater, men dobbeltprøver som tas hyppig viser imidlertid ikke stor spredning. Disse vil bli nærmere analysert ved en senere anledning. Flaska tas øyeblikkelig opp når den er full, eller nesten full. Den må ikke holdes under vann lenger enn det som er nødvendig for at den skal fylles, for da vil ytterligere vann sirkulere i flaska og mer suspendert materiale sedimentere i den. Volumet av vannet i flaska måles og prøven filtreres i en kolbe med overtrykk (Ekman 1970). Filteret sendes deretter til Oslo for laboratorieanalyse (for en nærmere beskrivelse, se f.eks. Tornås 1969).

Den største partikkelstørrelsen i det materiale som samles inn på denne måten varierer en del fra sted til sted med turbulensen på prøvetakingsstedet og vannføringen. Sandkorn som er grovere enn 0,5 mm i diameter regnes ikke som representative for materialet i suspensjon. Eventuelle sandpartiler større enn 0,5 mm bør derfor fjernes fra prøvene. Det har imidlertid vist seg at partikler mellom 0,5 og 1,0 mm gjør et så lite utslag på vekten av de enkelte prøvene at grensen for partikler som fjernes kan settes ved 1,0 mm. Alle partikler større enn 1,0 mm legges da til side for å kunne behandles separat i laboratoriet.

Det meste av den store datamengden som blir samlet inn i løpet av en feltsesong blir overført til hullkort. Beregninger, sammenstillinger og kurvetegning utføres ved hjelp av EDB-teknikk.

Målingene ble i 1977 foretatt etter metoder som vi er kommet fram til etter flere års erfaring, fordi vi har funnet at disse metodene er hensiktsmessige for praktisk bruk.

Metodiske spørsmål ved undersøkelser av materialtransporten i bre-elver er blitt behandlet tidligere (Andersson og Lundén 1972) og en vurdering av feilkildene ved undersøkelsene er gjort av Ekman (1970). Disse emnene behandles derfor ikke ytterligere i denne rapporten.

Fig. 1 Beliggenheten av NVE's nåværende og tidligere observasjonssteder for materialtransportundersøkelser.

Previous and present observation sites for sediment transport studies at Norwegian glacier streams.

MATERIALTRANSPORTUNDERSØKELSER VED BREER I NORGE, 1977

Sammenfattende beskrivelse

Sommeren 1977 fortsatte undersøkelsene av materialtransporten i de samme bre-elvene som året før. I Sør-Norge gjelder det vassdraget fra Nigardsbreen på øst-sida av Jostedalsbreen og i Nord-Norge vassdraget fra Engabreen. Denne siste breen er en del av den vestlige delen av Svartisen med avløp til Holandsfjorden.

Ved Nigardsbreen er det foretatt målinger av transport av suspendert materiale både ved innløpet og ved utløpet av et vatn siden 1968. Tilsvarende målinger er utført ved Engabreen siden 1969. I tillegg blir transporten av grovere materiale beregnet ved at tilveksten på deltaene ved innløpet til begge vatnene blir målt etter hver sommersesong. Ved Nigardsvatnet har disse målingene vært foretatt siden 1969, ved Engabrevatnet siden 1975.

Vær- og vannføringsforholdene

Temperaturen var vinteren 1976-77 stort sett lavere enn normalt både omkring Jostedalsbreen og Svartisen. Nedbøren varierte noe, men var hele vinteren sett under ett lavere enn normalt, særlig omkring Jostedalsbreen.

Vinterakkumulasjonen på Nigardsbreen var under 70% av gjennomsnittet for de siste 16 årene, mens den på Engabreen var ca. 65% av gjennomsnittet for de siste 7 årene. (Wold 1978).

Temperaturen i Vest-Norge de tre sommermånedene var noe i underkant av normalen, for stasjonen nær Nigardsbreen dog svært nær normalen. Det kom mindre nedbør enn normalt (Klimatologisk Månedsoversikt fra Det Norske Meteorologiske institutt). Etter 10.juni steg temperaturen og derved også vannføringen (fig. 2). Høytrykk dominerte store deler av sommeren, avbrutt av perioder med kjølige, nordlige luftstrømmer.

I overgangen august-september fikk vi her en kjølig værtype med mye nedbør. Den 5.september kom det over 40 mm nedbør. Avrenningen i 6-månedersperioden fra mai til oktober fra Nigardsvatnet var ca. 7% lavere enn gjennomsnittet for de siste 10 årene (fig. 4).

På Helgeland var sommeren kjølig. Middeltemperaturen var 1-2^{o}C lavere enn normalt ved den meteorologiske stasjonen i Glomfjord. Denne stasjonen ligger 15 km nordøst for Engabrevatnet. Nedbøren i juni var en god del over normalen, mens den i juli og august var noe under. September ble innledet med relativt store nedbørmengder (fig. 5). Den kjølige sommeren resulterte i den laveste avrenningen som er registrert siden målingene begynte i 1969 (fig. 6). Dette stemmer godt overens med bremålingene, avsmeltingen på Engabreen (sommerbalansen) i 1977 var også den laveste som hittil er registrert (Wold 1978).

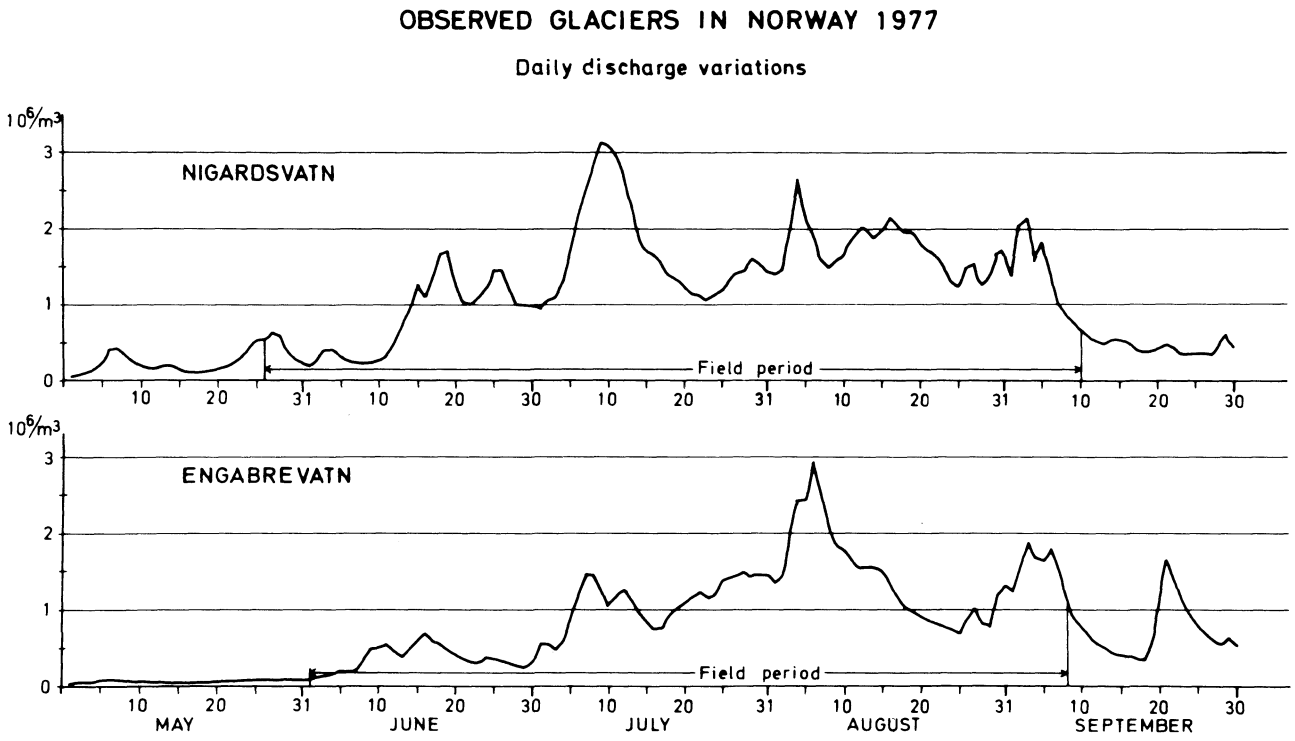


Fig. 2 En sammenstilling av observerte døgnvannføringer i de undersøkte bre-vassdrag i 1977.

Daily discharge variations at observed glacier rivers in 1977.

Generell kommentar til årets observasjoner

Observasjonene ved de to undersøkte bre-elvene startet i månedsskiftet mai-juni og ble avsluttet i andre uken i september. Denne perioden dekker den vesentligste delen av materialtranportsesongen. I Engabrevatnet var det en vannføringstopp i slutten av september (fig. 2). Mildt vær og nedbør i siste halvdel av november førte til høye vannføringer både i Sør- og Nord-Norge. Slamføringen ved disse flommene er beregnet ved å sammenlikne med slamføringen ved liknende vannføringer i slutten av observasjonssesongen.

Nigardsbreen

Innledning

Observasjonsstasjonen ved vassdraget fra den 47 km^2 store Nigardsbreen var i 1977 bemannet fra 26.mai til 10.september, mens limnigrafen i Nigardsvatnet registrerte vannføringen hele året.

Undersøkelsene i NVE's regi har pågått siden 1968 og tidligere års resultater er fortløpende blitt referert i årlige rapporter fra Hydrologisk avdeling, NVE.

Gjennom hele observasjonsperioden ble det tatt flere daglige prøver for beregning av transport av suspendert materiale. Prøver ble tatt både ved innløpet og ut-

løpet av det ca. 0,6 km store Nigardsvatnet. Forskjellen mellom mengden suspendert materiale i prøvene tatt ved innløpet og utløpet gir informasjon om mengden av materiale som sedimenteres i vatnet. Vannstanden i vatnet ble observert flere ganger daglig. Disse dataene er komplettert med data fra limnigrafen nær utløpet av vatnet.

Deltaet ved innløpet ble etter sesongens slutt nivellert og opploddet langs de samme profiler som i tidligere år. Sammenliknet med tilsvarende målinger ved avslutningen av forrige sesong gir dette grunnlag for beregning av pålagringen på deltaet. Det er antatt at denne pålagringen vesentlig består av grovt materiale som bre-elva har ført med seg i bunntransport. En nærmere undersøkelse av materialet i det området hvor opploddingen foretas, er imidlertid planlagt.

Nettobalansen for Nigardsbreen var negativ i 1977 for første gang siden 1972 (Wold, 1978). Brefronten rykket 7 m tilbake (O.Liestøl, pers.medd.), så den forventede framrykkingen av brefronten etter flere år med overveiende positiv massebalanse lar ennå vente på seg.

Resultat

Diagrammene i fig. 3 viser resultater av observasjoner og beregninger fra Nigardsvatnet i 1977. Den døgnlige middeltemperaturen er beregnet på grunnlag av avlesing for hver time av en termograf med kontrollavlesing på et termometer to ganger i døgnet. Den døgnlige nedbøren er målt med nedbørmåler av typen "Pluvius" (Haakensen 1975, s. 8) som er avlest kl. 0700 og 1900. Som ett døgns nedbør regnes avlesinger kl. 1900 pluss avlesingen kl. 0700 den påfølgende dag. Dette avviker fra den rutinen som følges ved Meteorologisk Institutts stasjoner, der måles nedbøren kl. 0700 og dette tallet blir ført på den dagen det er avlest. Det blir således ett døgns forskjell i framstillingen av døgnlig nedbør etter de to forskjellige rutiner.

I likhet med tidligere år er det en god overensstemmelse mellom de meteorologiske parametrene av avrenningen i observasjonssesongen. Dette er mer inngående behandlet i en tidligere rapport (Roald 1971).

Årets høyeste vannføring forekom 9.juli med 40,5 m^3/s i utløpet. Dette er ikke noen spesiell stor flom. Ved flere tilfeller i tidligere år har det vært flomtopper med en vannføring på over 50 m^3/s (Kjeldsen 1975, s. 17). Den høyeste registrerte vannføringen siden 1965 var 55,9 m^3/s den 25.juni 1970.

Den største døgnvannføringen ut av Nigardsvatnet ble også registrert den 9.juli med $3,14 \cdot 10^6 m^3$. Det totale avløpet i perioden fra mai til okotber var $176 \cdot 10^6 m^3$. Gjennomsnittet for de siste 10 årene er $189 \cdot 10^6 m^3$ (fig. 4).

Transporten av suspendert materiale inn i vatnet i observasjonsperioden 26.mai til 10.september er beregnet til 7100 tonn. Transporten ut av vatnet i samme periode

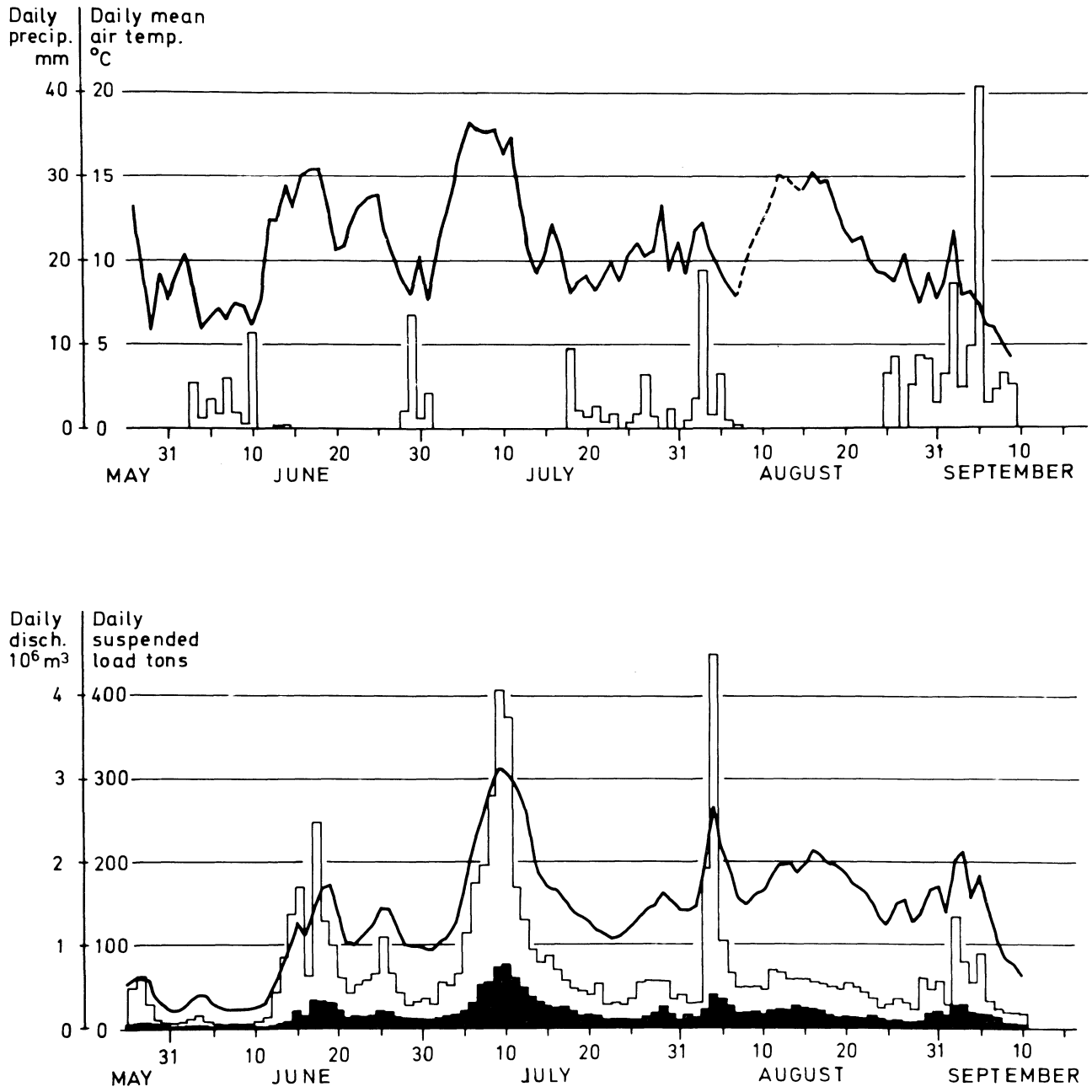


Fig. 3 Det øverste diagrammet viser døgnlig nedbør (søyler) og døgnmiddeltemperaturen (heltrukken strek) målt i løpet av observasjonssesongen ved Nigardsvatnet i 1977. Det nederste diagrammet viser den døgnlige vannføringen (heltrukken strek) målt ved utløpet av vatnet og den beregnede transporten av suspendert materiale ved innløpet (åpne søyler) og ved utløpet (svarte søyler). Forskjellen mellom de to søylerekkene gir et inntrykk av vatnets effektivitet som sedimentasjonsbasseng.

The upper diagram shows daily precipitation (columns) and daily mean air temperatures (lines) at Lake Nigardsvatn during the 1977 observation season. The lower diagram shows daily variations in water discharge (line) from the lake and suspended sediment entering (open columns) and leaving (black columns) the lake. The difference is an indicator of the lake's efficiency as a sedimentation trap.

var 1850 tonn. Det vil si at ca. 74% av det finmaterialet bre-elva førte med seg sedimenterte i Nigardsvatnet. Det er noe lavere enn gjennomsnittet for de siste 10 årene (77%).

Største målte døgntransport av suspendert materiale inn i vatnet ble målt 4.august med 446 tonn. Vannføringen dette døgnet var 2,6 · $10^6 m^3$. Den høyeste slamkonsentrasjonen som ble målt i innløpet denne sommeren var 1155 mg/l kl. 13 den 10.juli. Denne høye verdien skyldes at det bare noen minutter før prøven ble tatt, brast en isdemning som hadde holdt tilbake vann. Dette førte til at elva vasket med seg materiale slik at slaminnholdet ble mer enn 10-doblet. Liknende forhold var det også den 9.juli da slamkonsentrasjonen ved en måling var 760 mg/l og den 4.august da slamkonsentrasjonen etter ras fra brefronten kom opp i 754 mg/l. Dette er ikke noe uvanlig fenomen. Særlig de siste 4 årene da brefronten har vært høy og bratt der bre-elva munner ut i en vid breport har ras forekommet hyppig (Kjeldsen 1975, s. 13). Tidligere år har den maksimale slamkonsentrasjonen variert mellom 225 og 2000 mg/l.

I tiden før observasjonssesongen tok til den 26.mai var vannføringen lav med bare en liten topp i begynnelsen av måneden (fig. 4). Noen materialtransport av betydning var det da ventelig heller ikke i bre-elva. Sammenliknet med slamføringen under liknende vannføringer i begynnelsen av observasjonssesongen er slamtransporten inn i vatnet før observasjonssesongen anslått til ca. 200 tonn. Etter observasjonssesongens slutt den 10.september forekom det heller ingen vannføring av særlig betydning for slamtransporten før i slutten av oktober. Etter en sammenlikning som for perioden før observasjonssesongen er materialtransporten anslått til 350-400 tonn. Den totale transporten av finmateriale fra Nigardsbreen i 1977 kan derfor anslås til ca. 7700 tonn.

Pålagringen på deltaet i innløpet av Nigardsvatnet ble høsten 1977 målt ved opplodding og nivellering etter de samme profiler som tidligere år. Beregningene av denne pålagringen er utført av S.R.Ekman. Disse viser at det fra høsten 1976 til høsten 1977 har funnet sted en pålagring på gjennomsnittlig 5,3 cm $\pm$ 2,5 cm. Dette tilsvarer ca. 1500 m^3 eller ca. 3000 tonn. Det er regnet med at det materialet som avsettes på deltaområdet vesentlig består av grøvere materiale enn det som transporteres i suspensjon, dvs. stort sett partikler med en diameter større enn 0,5 mm.

Fig. 4 Døgnlig vannføring ved utløpet av Nigardsvatnet fra mai til oktober i tiårsperioden 1968-1977. Tallet til høyre angir totalt avløp observert i løpet av disse månedene. Det gjennomsnittlige avløp for nevnte 6-måneds-periode i denne tiårsperioden er 189 · $10^6 m^3$.

Daily discharge at the outlet of Lake Nigardsvatn from May to October during the decade 1968-1977. The number on the right hand side gives the total summer discharge for each year. The mean discharge for this 6-month's period in this decade is 189 · $10^6 m^3$.

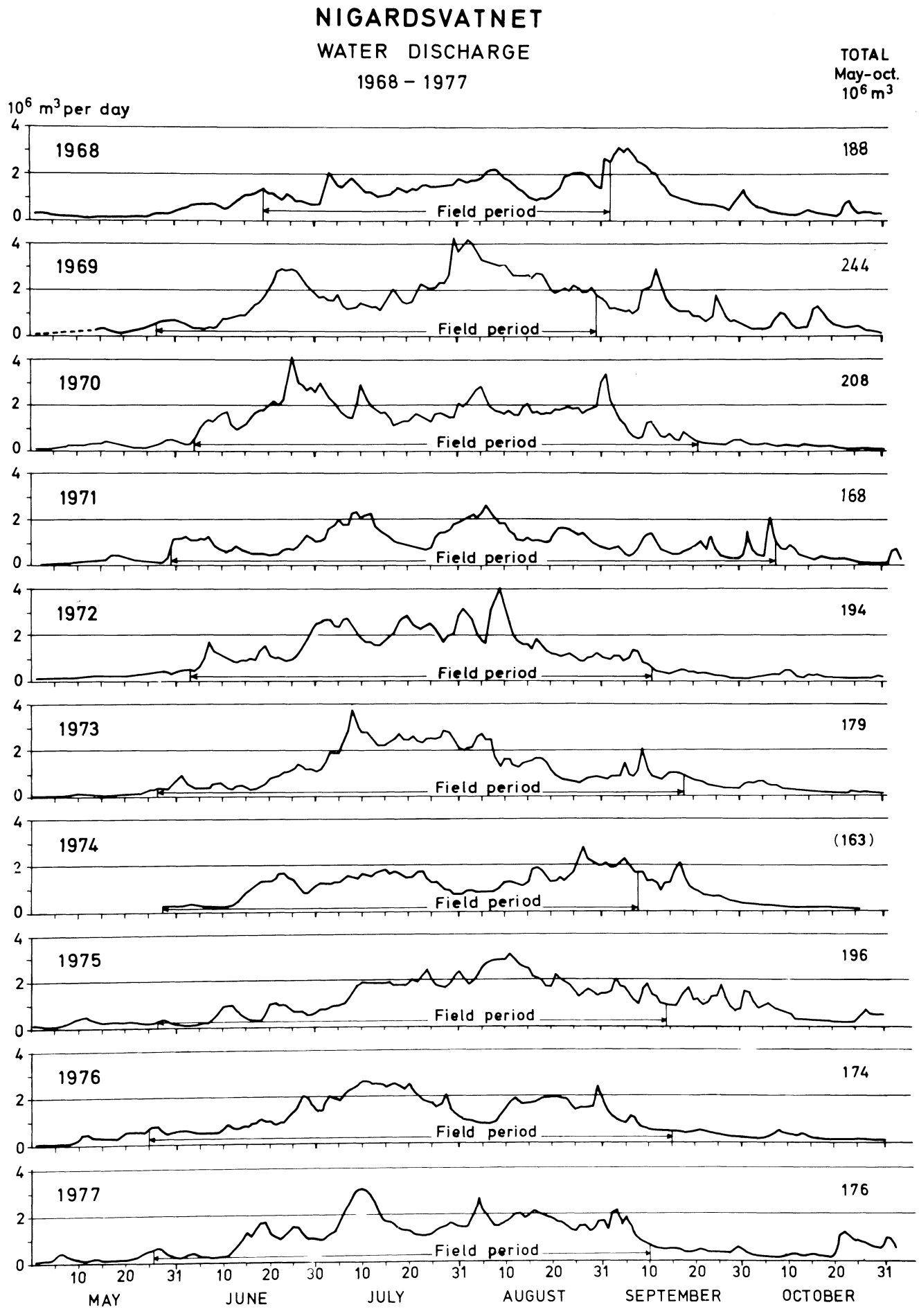

NIGARDSVATNET
WATER DISCHARGE
1968 – 1977
TOTAL
May-oct.
10⁶ m³
10⁶ m³ per day
1968
188
1969
244
1970
208
1971
168
1972
194
1973
179
1974
(163)
1975
196
1976
174
1977
176
Field period
0
2
4
10
20
31
30
MAY
JUNE
JULY
AUGUST
SEPTEMBER
OCTOBER

Fig. 4

Den totale sedimenttransporten fra Nigardsbreen i 1977 var ut fra de foreliggende måleresultatene ca. 10 700 tonn. Dette er den laveste materialtransporten som er målt for Nigardsbreen i løpet av et år siden målingene startet i 1968 (fig. 24). 10 700 tonn finmateriale tilsvarer fjerning av et 0,08 mm tykt lag av fjellet jevnt fordelt under hele breen, om en regner fjellets egenvekt lik 2,7 g/cm^3.

Engabreen

Innledning

Undersøkelser av vannføring og transport av suspendert materiale har pågått i vassdraget fra den 38 km^2 store Engabreen siden 1969. Resultatene er fortløpende blitt publisert i årlige rapporter fra Brekontoret ved Hydrologisk avdeling, NVE.

Vannprøver for undersøkelse av innholdet av suspendert materiale tas både i innløpet og utløpet av det 1,2 km^2 store Engabrevatnet. I vatnet er det installert en limnigraf som også registrerer vannstanden utenom observasjonssesongen.

Deltaet ved innløpet ble opploddet og nivellert i mars 1978 mens vatnet var islagt. Målingene ble utført på samme måte som de tre seneste vintrene med måling for hver 5.meter langs 8 profiler over deltaet.

Observasjonsstasjonen ved Engabrevatnet var i 1977 bemannet fra 1.juni til 8.september. Vannstanden i vatnet ble observert hver gang det tas prøve i innløpet, d.v.s. ordinært 5 ganger daglig. Disse dataene er komplettert med data fra limnigrafen i den indre delen av vatnet.

Vinterbalansen for Engabreen i 1976 - 77 var ca. 35% lavere enn gjennomsnittet for perioden 1971 - 77, mens sommerbalansen var mer enn 40% lavere enn gjennomsnittet for perioden 1970 - 77. Den var den laveste som er målt i denne perioden (Wold 1978). Avrenningen sommeren 1977 var også den laveste som er registrert siden målingene tok til (fig. 6). Avrenningen for perioden mai - oktober 1977 var 138 $\cdot 10^6 m^3$, dette er 79% av gjennomsnittet for perioden 1970 - 77.

Brefrontens posisjon er blitt målt fra de samme 11 punktene som i tidligere år. Gjennomsnittet for disse målingene viser at brefronten har rykket fram 20 meter fra høsten 1976 til høsten 1977. For de 3 punktene ved spissen av bretunga er framgangen sågar 31 meter i gjennomsnitt. Derved er brefronten nå lenger framme enn den har vært siden før 1972.

Resultat

Diagrammet fig. 5 viser resultater og beregninger fra Engabrevatnet i 1977. Målemetodene har vært de samme som i tidligere år, de er beskrevet under avsnittet som omhandler Nigardsbreen (s. 10).

Overensstemmelsen mellom de meteorologiske parametrene og avrenningen er god i det meste av sesongen. Omkring midten av juni var det to mindre vann- og slam-

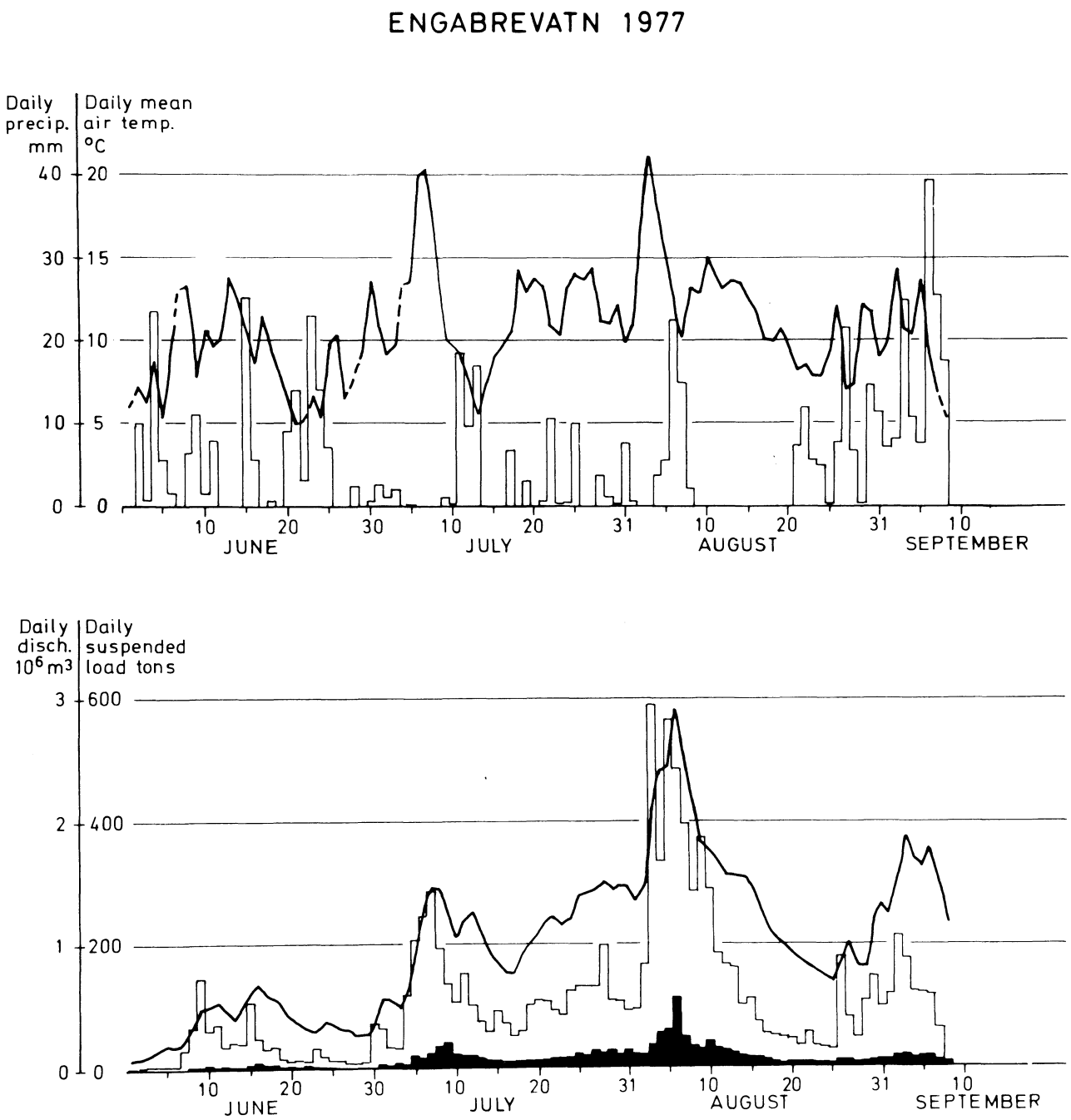


Fig. 5 Det øverste diagrammet viser meteorologiske parametre målt ved stasjonen ved Engabrevatn i observasjonssesongen 1977. Nedenfor vises døgnlig vannføring og den beregnede transporten av suspendert materiale inn i og ut av vatnet. Forskjellen mellom de to søylerekkene gir et inntrykk av vatnets effektivitet som sedimentasjonsbasseng.

The upper diagram shows meterological parameters measured at the station at Lake Engabrevatn through the observation season 1977. The lower diagram shows daily variations in water discharge from the lake and suspended loads entering and leaving the lake. The difference beween the later two gives an impression of the efficiency of the lake as a sedimentation trap.

føringstopper på grunn av både nedbør og noe stigende temperatur. Først i begynnelsen av juli steg vannføringen og derved også slamføringen til mer normalt "sommernivå". Det skyldtes en betydeling stigning i temperaturen.

Sommerens varmeste dag var 3.august med en middeltemperatur på 21.1°C. Den følgende natt var minimumstemperaturen 20.1°C, d.v.s. det var et såkalt tropedøgn. Dette medførte sterkt stigende vannføring. Slamføringen steg også sterkt, og den største døgnlige transport av finmateriale fant sted den 3.august med ca. 590 tonn. Da temperaturen etter dette begynte å falle, stagnerte vannføringen, men nedbør førte til stigende vannføring igjen. Den 6.august hadde således den største vannføringen denne sommeren med 2.92 . $10^6 m^3$. Det største døgnlige avløp har tidligere år variert fra 2 til 6 . $10^6 m^3$ (fig. 6) . Den høyeste vannføringen målt i m^3/s, også den 6.august var 35.5. Det er omlag som de fire foregående år. Men i perioden 1970 - 72 var vannføringen vesentlig høyere. Det forekom flere flommer med vannføring over 50 m^3/s, med det høyeste som hittil er målt i 1971 med hele 88.3 m^3/s. Det var således ingen betydelig flom i 1977, heller ikke relativt høy vannføring over en lengere periode, og avrenningen i sommerhalvåret var som nevnt den laveste som er målt.

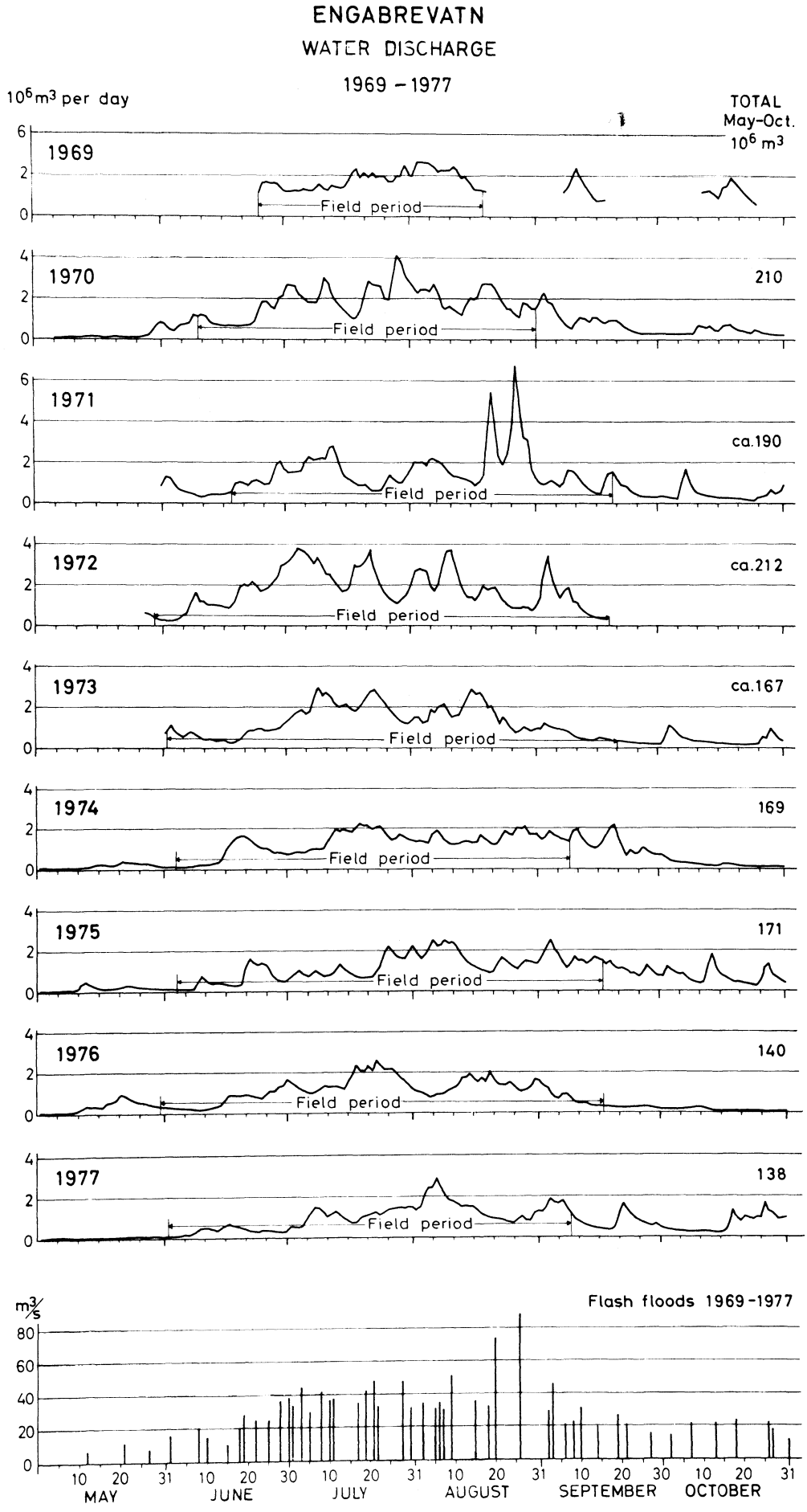
Den største konsentrasjonen av suspendert materiale i innløpet ble registrert den 3.august med i overkant av 900 mg/l. Det er en relativt høy verdi for Engabreen da den største konsentrasjonen tidligere år har variert mellom 185 og 1085 mg/l.

Beregningene for observasjonsperioden 1.juni til 8.september viser at 101 . $10^6 m^3$ vann og ca. 11000 tonn suspendert materiale ble transportert inn i vatnet og ca. 1470 tonn ut av vatnet. D.v.s. at nær 87 % av det suspenderte materialet som brevelva førte med seg ble avsatt i vatnet. Tidligere år har denne andelen ligget mellom 74 og 90%, med 85% som gjennomsnitt.

Kurven som viser vannføringen fra Engabrevatnet (fig. 6) viser at det var meget lav vannføring i perioden før observasjonene tok til. Slamføringen i denne tiden har vært meget liten, neppe over 50 tonn. Etter observasjonssesongen var det derimot flere perioder med relativt høy vannføring. Sammenliknet med dager med

Fig. 6 Døgnlig vannføring ved utløpet av Engabrevatn fra mai til oktober i årene 1969-1977. Tallet til høyre angir totalt avløp observert i løpet av disse månedene. Målingene er mangelfulle for de tre årene fra 1971 til 1973. Det nederste diagrammet viser de største registrerte vannføringer angitt i m^3/s for samme periode.

Daily discharge at the outlet of Lake Engabrevatn from May to October during the years 1969-1977. Observations are unavailable for periods of the three years 1971-1973. The lower diagram shows flash floods in m^3/s for the same period.


ENGABREVATN
WATER DISCHARGE
1969 – 1977
$10^6 m^3$ per day
TOTAL May-Oct. $10^6 m^3$
1969
Field period
1970
210
1971
ca.190
1972
ca.212
1973
ca.167
1974
169
1975
171
1976
140
1977
138
m^3/s
Flash floods 1969-1977
MAY
JUNE
JULY
AUGUST
SEPTEMBER
OCTOBER

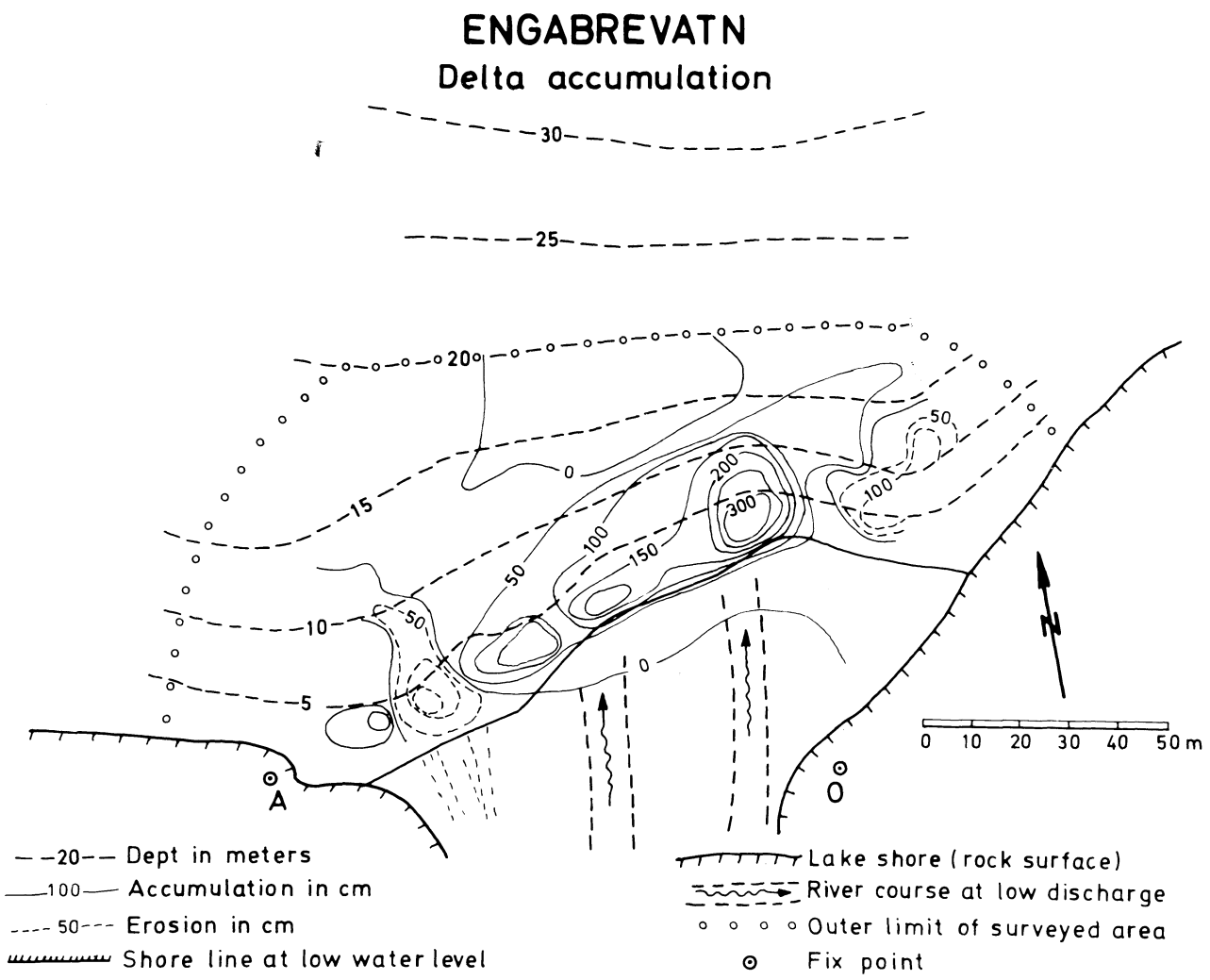


Fig. 7 Akkumulasjon og erosjon fra 1976 til 1977 på deltaet ved bre-elvas utløp i Engabrevatn.

Accumulation and erosion from 1976 to 1977 on the delta at the inlet of the glacier river in Lake Engabrevatn.

lik vannføring i de nærmeste delene av observasjonssesongen kan slamtransporten etter observasjonssesongen anslås til ca. 1750 tonn. Den totale slamtransporten i avrenningssesongen 1977 er etter dette ca. 12800 tonn.

Deltaet som bre-elva danner ved innløpet i vatnet, ble nivellert og området utenfor opploddet i mars 1978. Arbeidet ble utført på samme måte som beskrevet tidligere (Kjeldsen 1977a). På den delen av deltaet som ligger over vatnet skjer det bare små forandringer fra år til år. Men deltafronten bygges ut. De største forandringene har skjedd ut for bre-elvas forskjellige utløp (fig. 7). Her har deltafronten blitt bygd 5-10 m utover på 3 år. På grunn av den bratte skråningen ut mot større dyp utenfor deltaet raser med jevne mellomrom noe av det materialet som avsettes her ut. Også siste år har det foregått ras. Ut mot begge sidene har det rast ut opptil henholdsvis 180 cm og 130 cm i forhold til siste års målinger. I området mellom de to utrasningene har akkumulasjonen vært fra 180 cm til 340 cm i 3 adsilte maksima.

Tidligere er størrelsen av avleiringen beregnet ved at hele deltaområdet er delt inn i sektordeler slik at alle punkter blir representert av det nærmeste opploddete eller nivellerte punkt. Det ble videre regnet med at den målte akkumulasjon eller erosjon i hvert punkt var representativ for hele sektordelen. Beregnet på denne måten ble netto akkumulasjon for sesongen 1977 ca. 4500 tonn.

I tillegg er det i år tegnet et kart med isolinjer gjennom punkter med lik akkumulasjon/erosjon. Arealet mellom de forskjellige linjene er målt. Etter denne metoden ble netto akkumulasjon ca. 5200 tonn.

Usikkerheten i de forskjellige beregningsmetodene kan være vanskelig å bestemme men det synes rimelig å anta at den siste beregningsmetoden gir det riktigste resultatet. Avgrensningen av de enkelte områdene blir mer tilfeldig ved den første metoden. Forskjellen mellom de to metodene er imidlertid bare vel 10%.

I forhold til fjorårets overflate er det erodert ca. 900 m^3 eller ca. 1800 tonn i de to områdene på siden av deltaet. Ved å regne med at utrasningene ikke hadde forekommet og at det i stedet hadde vært en akkumulasjon like stor som på de nærliggende delene av deltaet, ville den totale akkumulasjonen av bunntransportert, grovt materiale på deltaet i 1977 bli ca. 8000 tonn. En del av det utraste materiale kan være å finne lenger ute på det oppmålte området, men da deltaet her skråner sterkt ned mot større dyp er mesteparten av materialet å finne utenfor 20 meters dyp som begrenser det oppmålte området. Etter dette skulle den totale transporten av løsmateriale fra Engabreen i 1977 bli ca. 19000 tonn. Bunntransportens andel av den totale materialtransporten blir da ca. 42%, mens suspensjonstransportens andel utgjør ca. 58%.

Elektronisk apparatur för mätning och kontinuerlig registrering av slamkoncentrationen

Sedan 1971 har försök pågått med olika typer av slamregistrerande instrument i Nigardsälven, preliminära resultat har tidigare redovisats (Ekman 1972).

Behovet av sådana undersökningsmetoder framgick vid mätningarna 1969 (Ekman 1970, Andersson och Lundén 1970), och kan i korthet sammanfattas med önskvärdheten av att till de traditionella vattenprovtagningarna knyta en mätmetod som gör det möjligt att bedöma de enskilda provtagningarnas representativitet.

Den registrerande slammätaren har under 1977 fungerat under tidsperioden 8/7 till 14/8. En elektrisk momentanmätare fungerade från 27/6 till 10/9.

Mätprincip och instrument

Mätinstrumenten är uppbyggda på principen att rent vatten släpper igenom ljus utan större dämpning och att ökad slamhalt i vattnet medför minskad genomsläpplighet

för ljus. Några problem kan då antydas: hur skall ljuset alstras, vilken effekt behövs och vilken typ av ljus lämpar sig bäst. På mottagarsidan finns motsvarande problem: vilken typ av sensor skall användas, hur skall spänningar och strömmar stabiliseras, hur skall förstärkningen anordnas, vilken typ av skrivare behövs.

Den första utrustningen bestod av en vanlig 12 volts glödlampa som matades från ett bilbatteri. Mottagaren bestod av en fotoresistor i en Wheatstone-brygga med en fallbygelskrivare om 10 mikroampere i bryggans balanspunkter.

Nackdelarna med denna utrustning var huvudsakligen att den krävde mycket effekt, bilbatterierna måste laddas och skiftas var tredje dag, det saknades spänningsstabilicering, vid lampans åldring uppstod oönskade effekter, på grund av skrivarens känslighet blev den ömtålig, Wheatstonebryggan var temperaturkänslig och ganska besvärlig att ställa in i fält för en icke elektriker.

Under 1976 byggdes denna utrustning om. Som ljuskälla användes nu en gallium-arsenid lysdiod (Texas TIL 31) med ett smalt ljusband inom det infraröda om-

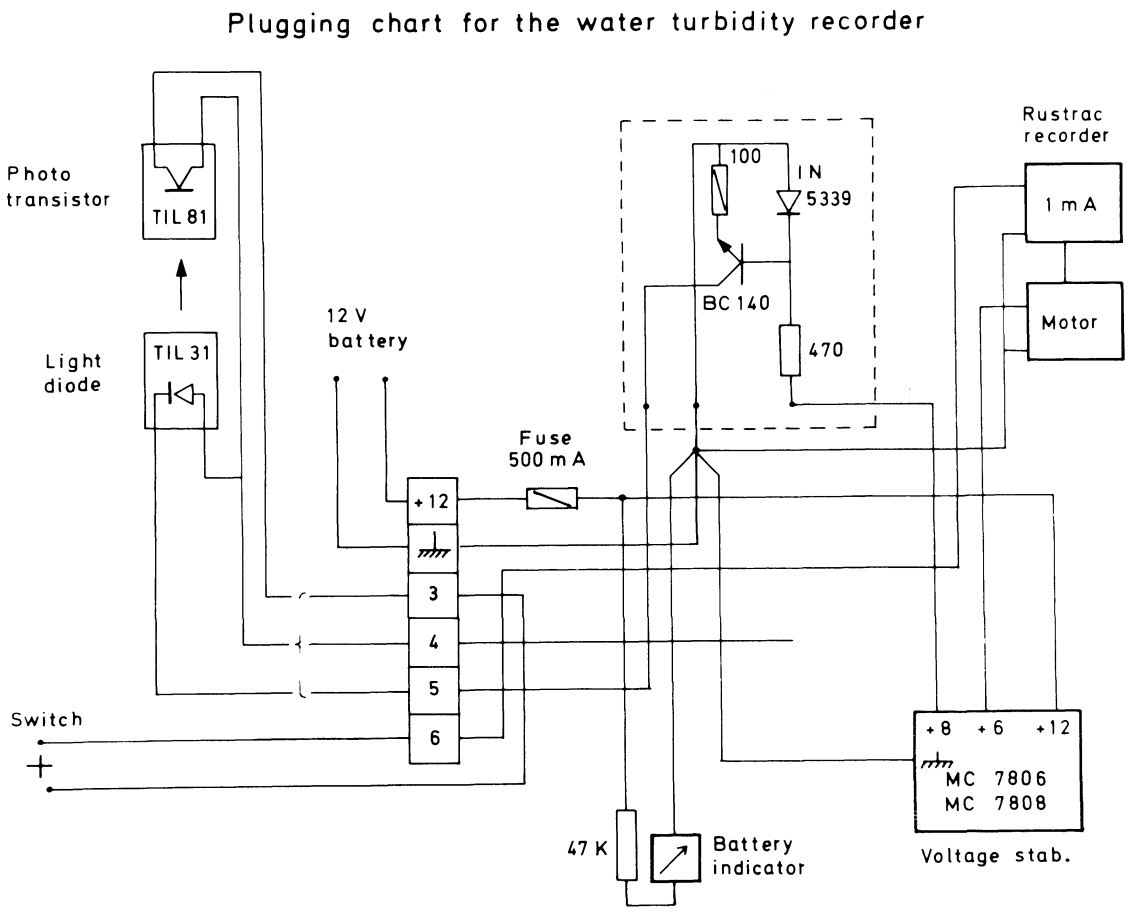


Fig. 8 Koblingsskjema for turbiditetsmåleren. Hele systemet drives fra et 12-volt bilbatteri.

The water turbidity recorder runs on a 12-volt car battery.

rådet (940 nanometer). Strömmen genom denna lysdiod är stabiliserad med en transistoriserad strömgenerator. Som mottagare användes en matchande fototransistor (Texas TIL 81) direktkopplad till en 10 milliampere skrivare. 6 volts spänning för drift av skrivarens motor erhålles med en integrerad spänningsstabilisator av typ Motorola MC 7806, spänning till fototransistorn och strömgeneratorn erhålles från en MC 7808.

Med denna uppkoppling erfordras endast en regleringspunkt, nämligen potentiometern i strömgeneratorn. Lysdioden kan belastas upp till 200 mA. I övrigt finns en enkel batteriindikator, en återställbar säkring och en mikroswitch för instrumentet. Med normalinställning drar denna apparaten totalt c:a 170 mA. Den praktiska uppbyggnaden framgår av fig. 8-10.

Resultaten 1977

Sommaren 1977 fanns den registrerande apparaturen placerad vid Nigardsvatnet, i älven där denna rinner från glaciären ut i vattnet. Vid slamprovtagningsplatsen,

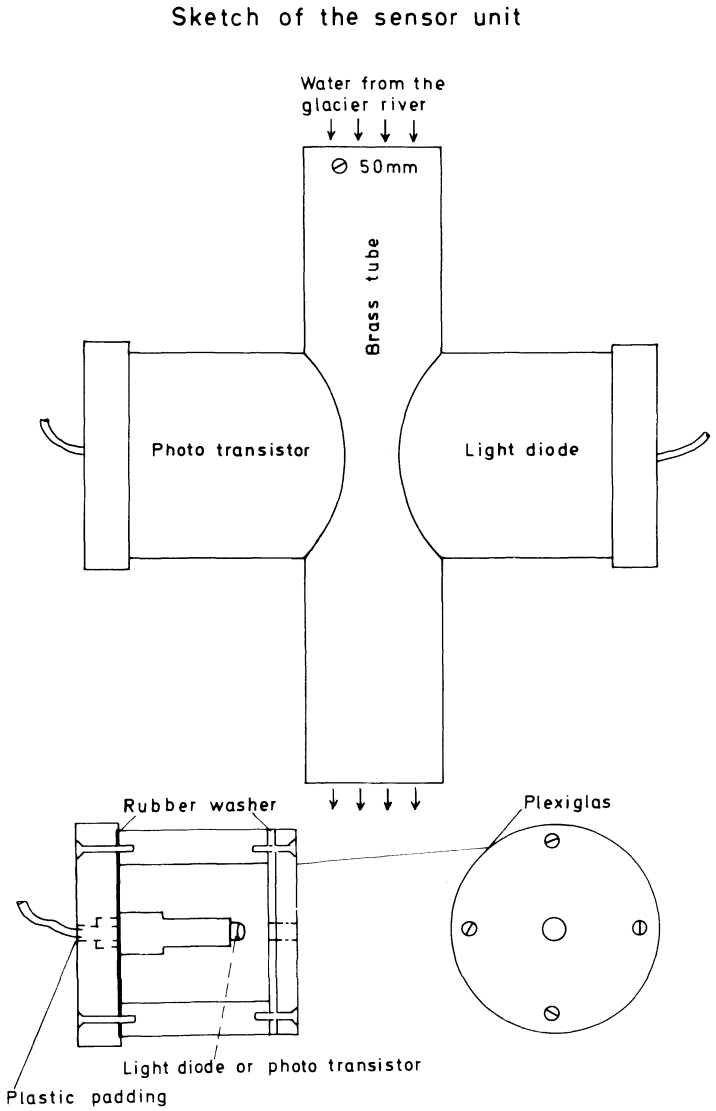


Fig. 9 Skisse av måleenheten i turbiditetsmåleren. Vannet fra bre-elva kommer i en slange (fig.10 og 11)og passerer forbi lyskilde på den ene siden og fototransistor på den andre siden av røret.

Sketch of the sensor unit in the water turbidity recorder. Water from the glacier river, led by a plastic hose (fig.10), passes a light diode on one side and a photo transistor on the other.

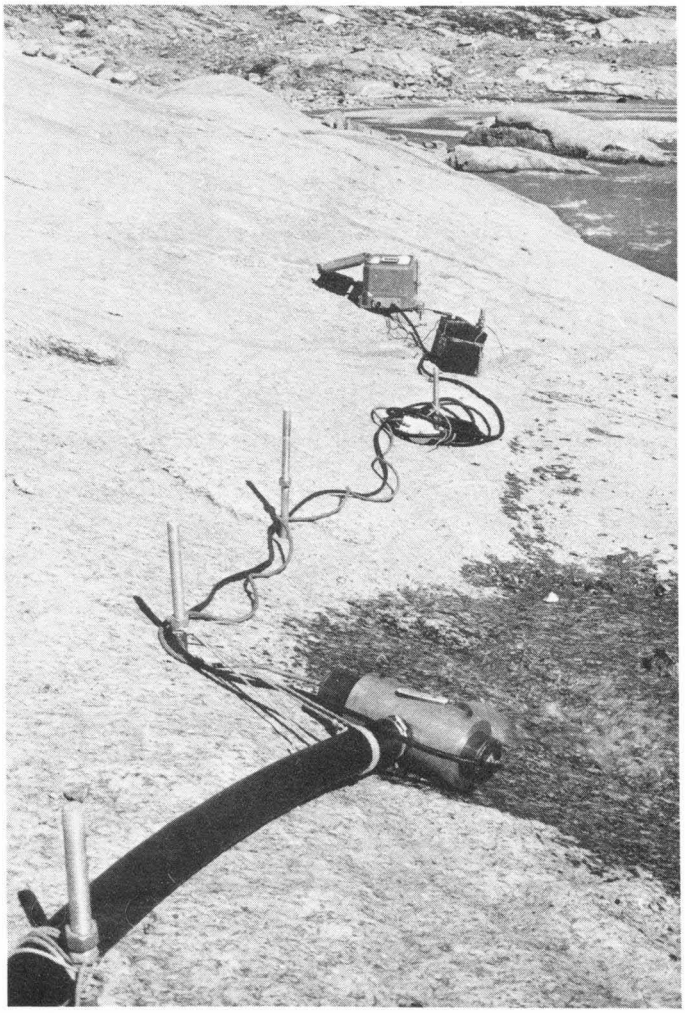


Fig. 10 Turbiditetsmåleren ved elva fra Nigardsbreen. Vannet ledes fra bre-elva i slangen til venstre og går gjennom måleenheten (fig. 9). Lenger borte på berget ses bilakkumulatoren og en metallkasse som bl.a. inneholder skriveren som registrerer impulsene fra fototransistoren.

The arrangement for water turbidity recording at Nigardsbreen. River water runs through a 2" plastic hose to the sensor unit (compare Fig. 9). The battery and a box containing a Rustrac recorder etc. in the background.

något högre upp i älven, användes en momentanmätare av samma principkonstruktion.

1977 års vattenföringskurva visar två höga toppar, den 9 juli och den 3-4 augusti. Den första av dessa toppar kom olyckligtvis under intrimningsdagarna och på grund av kraftig istransport och många avbrott i registreringen genom isproppar i slangen till givarna, är denna period ej lämplig att utvärdera.

Den andra perioden av stor vattenföring är däremot väl registrerad. Den ur slamtransportsynpunkt mest intressanta perioden är från kl 18 den 3 augusti till kl 03 den 4 augusti.

I fig. 11 visas ett avsnitt från slamskrivaren, från kl 0600 den 3 augusti till kl 1200 den 4 augusti. Den övre delen av figuren visar vattenföringen under samma tid samt notater om nederbördsmätningar.

Av den övre kurvan kan konstateras att vattenföringen började öka kl 1800 den 3 augusti. Enligt instruktionerna startade då observatörerna provtagning varje timme. Dessvärre missades den mest intressanta tidpunkten kl 19, och sedan vattnet slutat stiga kl 21 avbröts timprovtagningarna kl 23.

Kl 01 på natten började plötsligt vattnet åter att stiga och kl 02 kom nästa

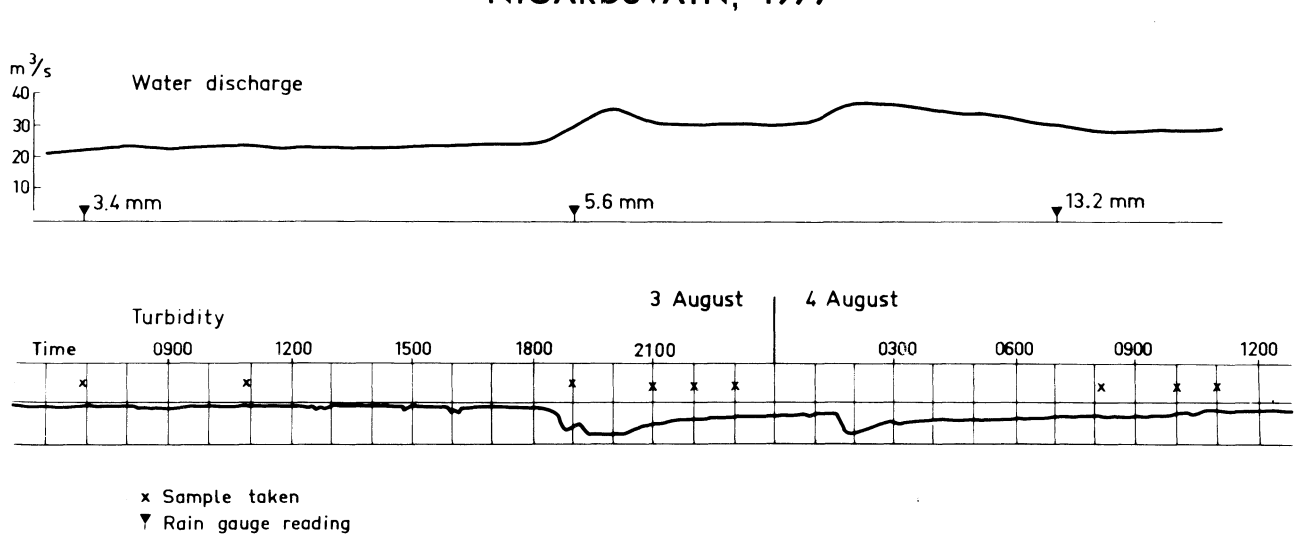


Fig. 11 Eksempel på turbiditetsmålerens registreringer 3. og 4. august 1977. To tydelige maksima i slamkonsentrasjon (minima på kurven) kan ses omlag kl. 19-21 den 3. og ved 02-tida på natten den 4. august. Disse slamføringstoppene er ikke tatt hensyn til ved den konvensjonelle beregningsmetoden der timeverdien for slamkonsentrasjonen interpoleres lineært for periodene mellom prøvetakingene. (Prøvetakingene er markert med X) Jfr. fig. 12. Øverste kurven viser vannføringen.

An exampel of useful series of records from the turbidity unit (lower diagram). Two distinct minima in light transmission can be seen, indicating high sediment concentration.
By the present calculation method a linear interpolation is made between each sampling (marked X) so these two maxima were normally missed in the calculation unless results from the turbidity recorder were taken into account. Compare Fig. 12. The upper curve shows variations in water discharge.

slamtopp. Kl 08 nästa morgon, den 4 augusti återupptogs vattenprovtagningarna. Mellan kl 19 den 3/8 och kl 07 den 4/8 hade det fallit 13,2 mm nederbörd.

Eftersom dataprogrammet för beräkning av slamtransporten utför en linjär interpolation mellan vattenprovtagningstillfällena, så kan det av fig. 12 lätt konstateras att man erhållit en för låg slamtransport under detta dygn på grund av att slamtopparna behagat infalla vid olämpliga tidpunkter.

Denna slutsats kunde i och för sig vara tillräcklig för att motivera behovet av kontinuerlig slamregistreringsapparatur i alla älvar där slamtransporten mätes.

Man kan från registreringarna 1977 få en uppfattning om storleken av de fel som uppstår om man inte tar hänsyn till de kortvariga men slamtransportmässigt viktiga "gropar" som slaminstrumentet uppvisar i fig. 11.

I fig. 13 har 22 provtagningsresultat plottats i relation till avläst antal skaldelar på registreringen. Alla dessa punkter har valts i tiden närmast före och närmast efter de slamtoppar som visas i fig. 12. Det erhållna sambandet är av

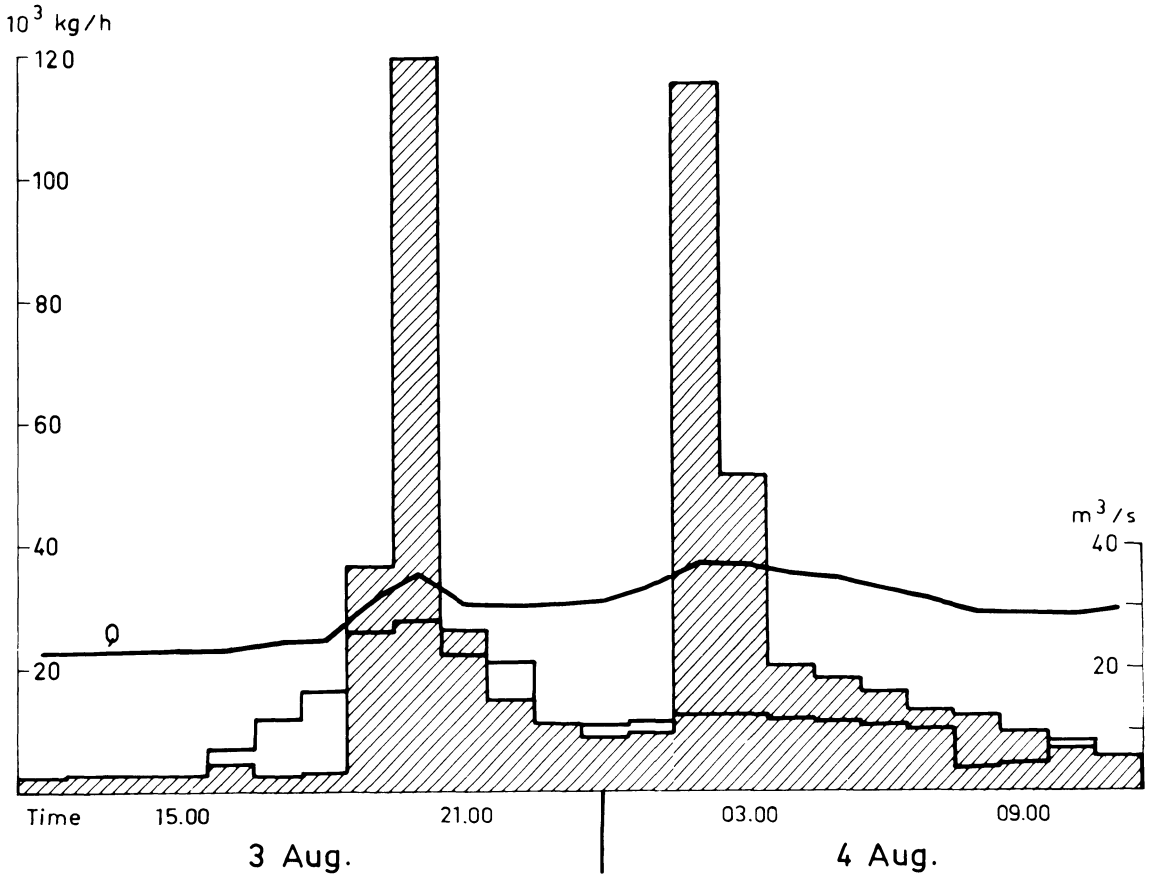


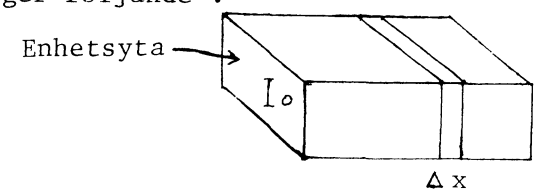
Fig. 12 Illustrasjon av forskjellen mellom to ulike beregningsmetoder for sedimenttransport ved Nigardsbreen 3.-4. august 1977. Den tradisjonelle, lineære interpolasjonsmetoden gir gjennomgående mindre timeverdier (uskraverte søyler) enn om man baserer beregningene på turbiditetsmålerens registreringer (skraverte søyler).
Figuren viser at slamtransporten i de to ikke registrerte toppene var nesten like stor som hele døgnets totaltransport, beregnet etter den tradisjonelle metoden.

Different results are obtained by the conventional linear interpolation method (unhatched histogram) and by taking records from the turbidity meter into account (hatched histogram). The suspended sediment transport during the two maxima on 3.-4. August 1977 was almost 100% higher than calculated by the interpolation method.

exponentiell typ, men på grund av att det endast är ett litet antal punkter för höga slamhalter blir korrelationskoefficienten inte särskilt god.

Kan då kurvformen som sådan styrkas? Som tidigare nämnts användes under sommaren 1977 även en "momentan slamapparat" för direkt avläsning av grumligheten i älven vid provtagningstillfällena. Om värden från denna apparat plottas mot uppmätt slamkoncentration erhålles också en kurva av likadan form.

En ytterst förenklad teoretisk betraktelse över ljusabsorbtion vid partikelpassage genom ett rör ger följande :



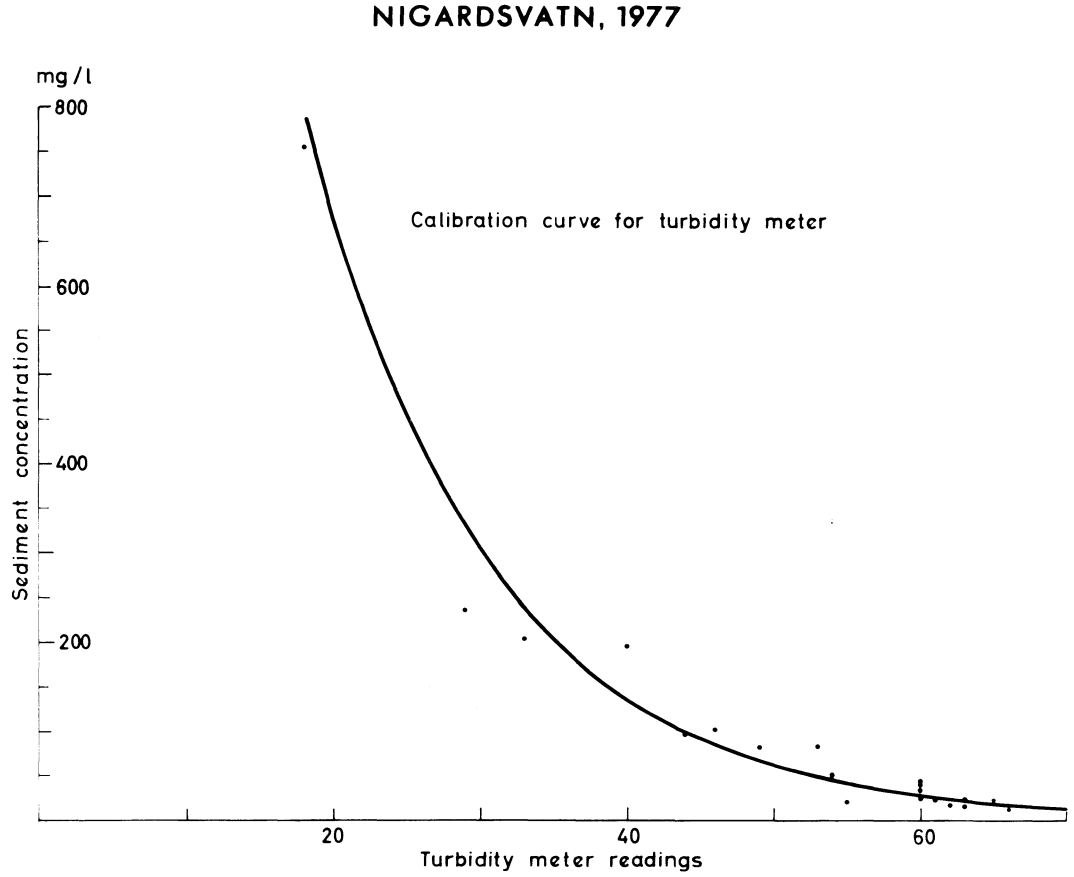


Fig. 13 Kalibreringskurve konstruert på grunnlag av 22 samtidige observasjoner (slamprøve/instrumentavlesninger) i bre-elva fra Nigardsbreen. Denne høyst foreløpige kurven er benyttet for å beregne slamtransporten i tiden mellom prøvetakningene, se fig. 12.

A preliminary calibration curve for the turbidity meter, based upon 22 simultaneous observations in the river from Nigardsbreen. Instantaneous readings were made when the water samples were taken, and results from laboratory analyses are plotted on the Y-axis.

om N är antalet korn per volymsenhet, $\delta = \pi r^2$ är tvärsnittsytan av ett korn, dI är ändringen i intensitet över dx, får vi :

$$dI = - I(x) \cdot \delta \cdot N \cdot dx \quad \text{(volymen } dV = dx \cdot 1\text{)}$$

Genom integrering erhålles

$$I(x) = I(o) \cdot e^{-N \cdot \delta \cdot x}$$

Karaktäristiken för fototransistorn är tämligen rak för det aktuella strömområdet och torde inte ha någon avgörande betydelse för kurvans form. Vi ser alltså att vi får en relation av exponentiell form.

Vi borde då kunna antaga att kurvformen i fig. 13 är sannolik, även om kurvan är något osäker, därför att den är baserad på ett så litet antal punkter.

Ekvationen för denna kurva har använts för att beräkna slamkoncentrationer från registreringsremsan för varje timme i det aktuella dygnet, 3 augusti kl 1200 - 4 augusti kl 1100. Det kan konstateras att för de högsta registreringarna var det

nödvändigt att extrapolera kurvan något vilket självklart medför osäkerhet.

Resultatet av denna beräkning visas i fig. 12. Man kan dra slutsatsen att med den beräkningsmetod som normalt användes (uten hänsyntagen till slamregistreringsresultatet) så erhålles en slamtransport av 268 ton för denna tidsperiod. Med hjälp av slamregistreringsresultatet erhålles för samma period 512 ton, d.v.s. nästan dubbelt så mycket.

Medeltransporten av slam i suspension för åren 1968 - 77 var 10 800 ton/år, vilket gör att felet för detta enda dygn blir c:a 2%.

Slutsatserna blir då följande:

a) Kontinuerlig slamregistrering är ett nödvändigt komplement till den traditionella provtagningsmetoden.
b) Det borde vara möjligt att, med ett större siffermateriel för konstruktion av kurvan i fig. 13, med brukbar noggrannhet kunna använda slamregistreringskurvan för interpolering mellan provtagningspunkterna för de korta tider under sommaren då slamtopparna uppträder.

Praktiska problem

Som nämnts flyter det under flomperioderna stora mängder is i vattnet. Denna is kan lätt sätta sig som en plugg i slangen som för vatten till givaren och således omintetgöra registreringen.

Trots att den nya apparaten nu drar endast 170 mA krävs ändå uppladdning av drivbatterierna vid flera tillfällen under sommaren. Detta medför praktiska problem med hänsyn till driftssäkerheten.

En enkel vind- eller vattendriven generator borde kunna lösa detta problem.

UNDERSØKELSE AV BUNNSEDIMENTENE I LOVATNET

Innledning

Hensikten med undersøkelsen var å finne lagdelte (varvige) sedimenter på bunnen av Lovatnet, hvor de enkelte varvtykkelser (årsvarv) skulle danne grunnlaget for en beregning av den årlige finmassetilførsel til vannet.

En lignende undersøkelse er tidligere utført i Bondhusvatn i Mauranger med tilfredsstillende resultat.

Lovatnet ligger 52 m o.h., er 11 km langt og vel 1 km bredt og har et flateinnhold på 10,18 km^2. Lovatnets nedslagsfelt er på 218 km^2, hvorav hele 78 km^2 eller 35,8%

LOVATN, Norway

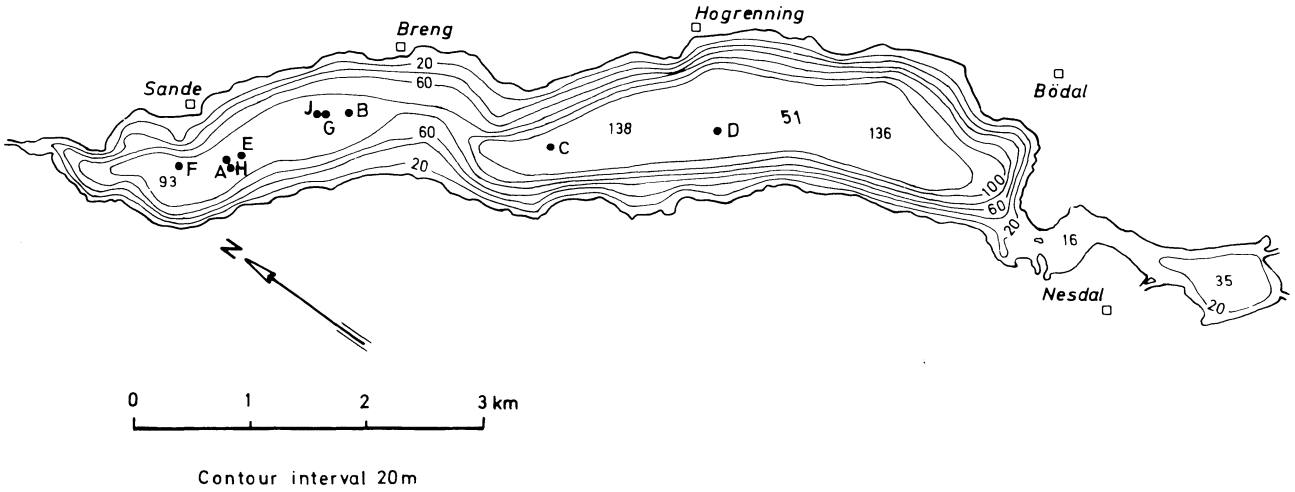


Fig. 14 Dybdekart over Lovatnet etter opplodding utført av Hydrologisk avdeling august 1973. Prøvetakingsstedene inntegnet. Legg merke til den usedvanlige flate bunnen som tyder på sedimentasjon gjennom meget land tid. Arealet over dybdekote 80 m er utelatt ved beregning av sedimentasjonen, p.g.a. ustabile forhold i de bratte sideskråningene.

A bathymetric map based upon soundings made in 1973. Note the unusually flat bottom in the two main part of the lake, and the very steep slopes from the shores. Frequent subaquatic landslides are supposed to take place here, so all areas above 80 m were excluded when calculations were made of the total sedimentation in the lake. Material from 0-80 m are supposed to slide out and deposit within the deeper parts where samples were taken.

er bredekket. Dybdekartet fig. 14 viser at vannet består av tre basseng :

I Indre basseng som er ca. 2,5 km langt. Bredden varierer fra 150-600 m. På det dypeste er det 35 m.

II Midtre basseng som er ca. 5 km langt, 1,0 - 1,4 km bredt og med en ganske flat bunn på ca. 130 - 138 m.

III Ytre basseng som er ca. 3,5 km langt og ca. 1 km bredt. Dybden ligger stort sett rundt 90 m, med et litt dypere parti mot utløpet.

Når vi ser bort fra den forholdsvis steile skråningen opp til tersklen mellom de to ytre bassengene (fig. 15), er selve bunnen av vannet meget jevn over store arealer. Dette tyder på at det har foregått sedimentasjon gjennom en meget lang periode, antagelig helt siden istiden, dvs. i løpet av ca. 9000 år.

Sideskråningene er imidlertid forholdsvis steile og sannsynligvis nokså ustabile, slik at utglidninger nok forekommer ganske ofte. Hvor ofte og hvor langt disse skredmassene beveger seg, er det selvsagt ikke mulig å ha noen formening om, men

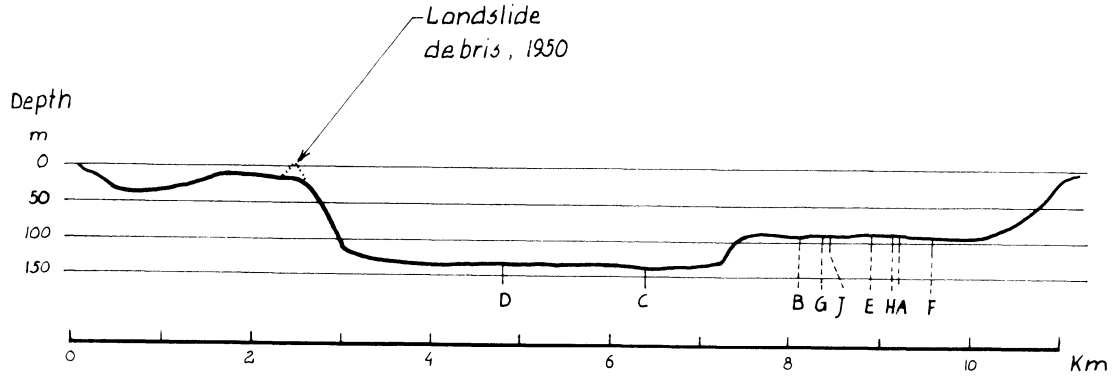


Fig. 15 Dybdeprofil langs dypålen i Lovatnet med prøvetakingsstedene inntegnet. Det siste store skredet fra Ramnefjellet, i 1950 hvor ca. 1 mill.m^3 stein raste ut, fylte opp deler av sundet til den indre del av vannet og dannet her en liten øy.

A longitudinal depth profile of the Lake Lovatnet, with all sampling locations. Note that the lake outlet is to the right. The huge landslide from Ramnefjellet in 1950 when 10^6 m^3 rock material fell into the lake, caused a barrier to the inner (South-Eastern) part of the lake.

det kan tyde på at undervannsskred kan bevege seg ganske langt ut også på en forholdsvis flat bunn. Prøve F er antagelig det prøvested som er mest utsatt for skred av materiale under vann. Det er nok også risiko for skred i området der prøvene J og G ble tatt. I det midtre bassenget ved prøve C og D må en også regne med stor fare for utglidninger.

Tre store bre-elver har sitt innløp i Lovatnet: Bødalselva, Kjenndalselva og Innigardselva. Det indre bassenget vil for en stor del virke som sedimentasjonsbasseng for Kjenndalselva og Innigardselva, mens Bødalselva sedimenterer i det midtre bassenget. I dette bassenget har også Hellseteelva og seks andre elver sitt innløp, men bare tre av disse har breer i nedslagsfeltet. Brengselva, som kommer fra Skålabreen, er den eneste bre-elv av betydning som munner ut i det ytre bassenget (fig. 16).

Av de forskjellige elvene har Bødalselva sitt vesentlige bretilsig fra Bødalsbreen og Bohrsbreen, begge utløpere fra Jostedalsbreen, samt fra Skålbreen og Tindefjellbreen. Endel slam fra Bødalsbreen sedimenterer her underveis i Sætrevatnet (ca. 400 m langt og ca. 200 m bredt), men mengden er ukjent. Det meste av det suspenderte materialet som tilføres Kåpevatnet sedimenterer nok der, mens slam fra Skålbreen og Tindefjellbreen tilføres Lovatnet direkte. Slammet i Kjenndalselva, som har sitt utspring i Kjenndalsbreen, tilføres Lovatn uten at noe særlig sedimenterer på veien. Det samme gjelder nok også Innigardselva, der hovedmengden av vannet kommer fra Ruteflotbreen. Vesledalselva, som flyter sammen med Innigardselva, fører nok noe slam, men endel sedimenterer nok i et lite vann ved fronten av Vesledalsbreen. (Denne bre er ikke identisk med Vesledalsbreen i Stryn, der breundersøkelser

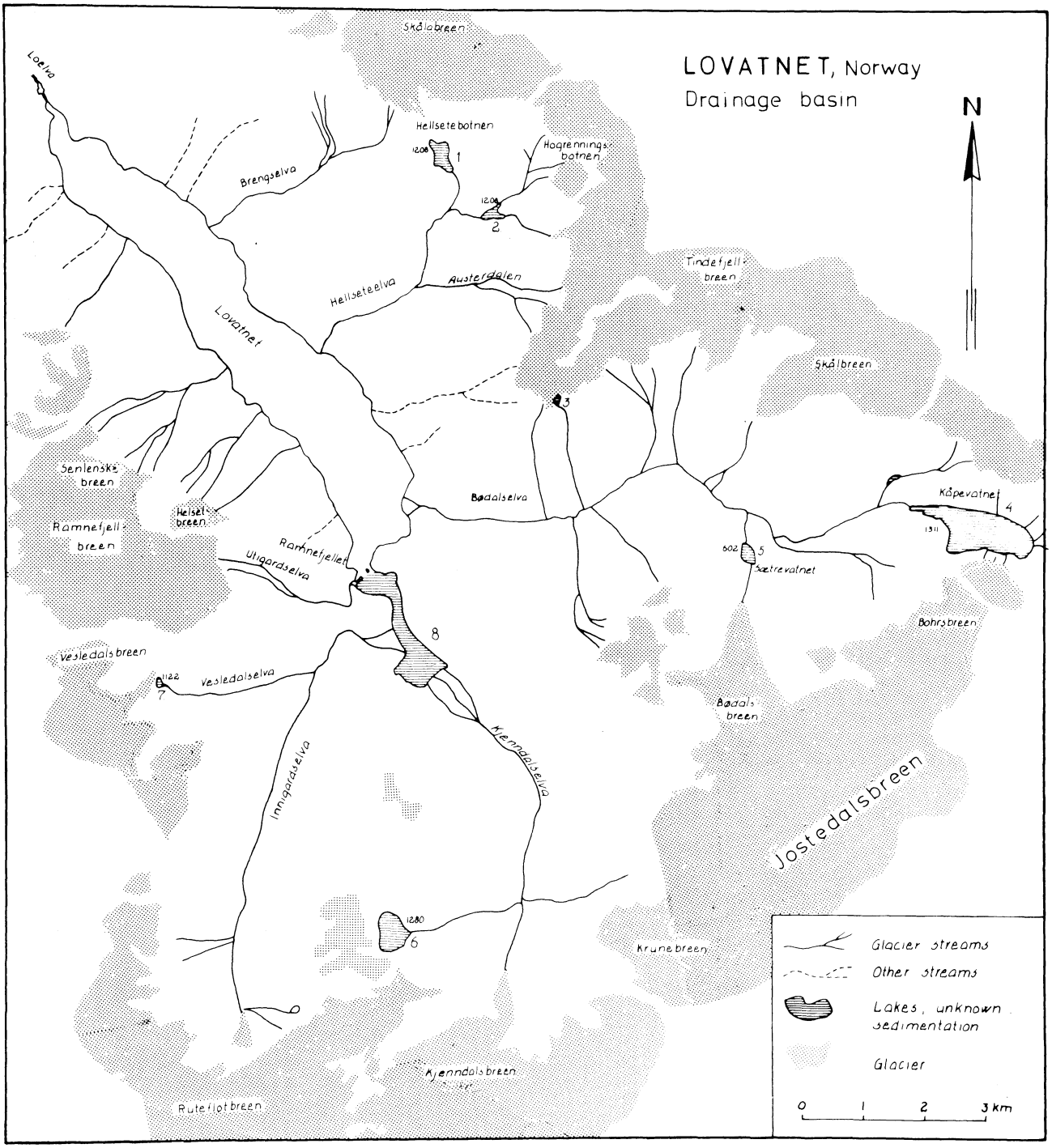


Fig. 16 Kart over Lovatnets nedslagsfelt. Vann foran breene der sedimentasjon finner sted er skravert og nummerert. Hvor stor del av materialet fra breene som sedimenteres her er ikke undersøkt og derfor ukjent. Dette gjelder i alt 7 forskjellige vann i den øvre delen av vassdragene, samt den indre delen av selve Lovatnet, merket 8.

Map of the watershed for Lake Lovatnet. Numbered and hatched lakes are obviously primary sedimentation basins, but the amount of sediments in these 7 lakes were not investigated. The sediments in the inner part of Lovatnet (hatched area) are also unknown, but are supposed to consist mainly of bottom load and other coarse material.

foregikk i årene 1967 til 1972). Slam i elvene fra Ranmefjellbreen med Helsetbreen og Senlenskebreen tilføres antakelig Lovatn direkte da disse elvene kaster seg ganske bratt ned fjellsidene.

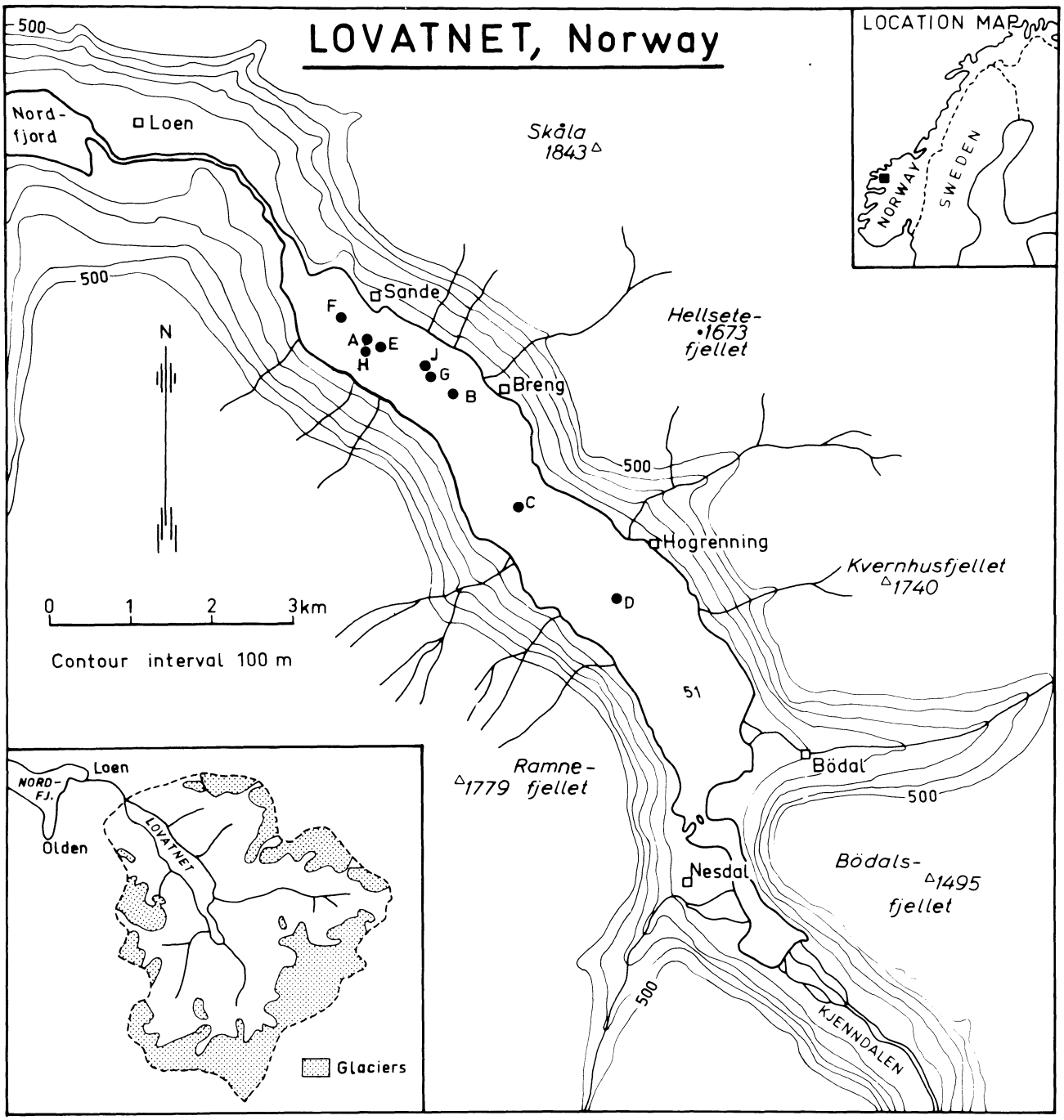


Fig. 17 Kartet viser beliggenheten av prøvetakingsstedene i Lovatnet, hvor uforstyrrede vertikale borekjerner av bunnsedimentene av opptil 180 cm lengde ble tatt opp. Kartutsnittet nederst til venstre antyder omgivende bredekkede områder, vesentlig tilhørende Jostedalsbreen.

The sampling sites in Lake Lovatnet are shown by black dots. Undisurbed, up to 180 cm long vertical cores were taken from 90-130 m depth.

Hellseteelva, som har sitt utspring i Tindefjellbreen, og Skålbreen har nok en betydelig finmassetransport, men en stor del av dette sedimenterer antakelig i to vann, ett ved Hellsetebotnen 1208 m o.h., ca. 600 m langt og 200 m bredt, og ett i Hogrenningsbotnen 1208 m o.h., 250 m langt og 150 m bredt. Dersom en regner med en sedimentasjonsandel på ca. 50% i disse to vann, vil det slam som kommer fra Hellseteelva vesentlig komme gjennom Austerdalen og fra den del av Tindefjellbreen som drenerer dit.

Brengselva har sitt utspring i det ytre basseng og fører nok slammet nokså uforstyrret fra Skålabreen fram til Lovatnet.

Tidligere undersøkelser

I 1932 tok professor Kåre Münster Strøm opp en prøve fra 132 m dybde i Lovatn. Prøvestedets beliggenhet er ikke kjent, men ut fra et eldre dybdekart over vannet lå det sannsynligvis i det midtre og dypeste bassenget. Dybdekartet fra den gang stemmer ikke helt med våre loddinger, men det er rimelig å tro at prøve D er den prøve som ligger nærmest posisjonen til Strøms prøve. Den gang ble det målt en dybde på 132 m mot nå 130 m.

Lengden av Strøms prøve var 5,5 cm. De øverste 1,2 cm besto av fin leire med litt organiske fragmenter. Så fulgte et lag på 1,3 cm med silt og sandpartikler. Dette laget hadde spor av 7 skikt som var delvis forstyrret. De nederste 3 cm besto av homogen lys grå leire. Det forstyrrede lag på 1,3 cm ble av Strøm tolket til å stamme fra skredulykken i 1905. I så fall må de øvre 1,2 cm være avsatt siden den gang, altså 0,5 mm pr.år. Ut fra dette har Strøm beregnet at den gjennomsnittlige årlige avsetningen gjennom de siste hundretals år må ha vært omkring 1 mm pr.år på de dypeste partier i sjøen.

Dette stemmer svært dårlig med de undersøkelser vi nå har gjort. Det har heller ikke vært mulig å etterspore det forstyrrede skredlaget fra 1905, som skulle ligge ca. 5 cm nede i prøven. Når vi så vet at prøvene, særlig i de øvre 10-15 cm er svært usikre (består mest av sand og grov silt), vil det neppe være mulig ut fra bare en så kort prøve å si noe om sedimentasjonsforholdene. Strøm nevner også at det ikke har vært noen målbar forandring av dybden på de flate dypeste partier av vannet på de siste 60 år. Sammenlignet med våre målinger er det omtrent 2 m forskjell. Dette skulle i så fall være en pålagring på 2 m på 42 år eller nesten 4,8 cm pr.år. Det er klart at vanlige dybdemålinger er altfor usikre til at en kan måle med 60 cm nøyaktighet på 130 m dyp. En må derfor helt se bort fra Strøms påstand om at det ikke har vært noen målbar dybdeforskjell på 60 år. Forøvrig er 1,5 - 1 mm pålagring pr.år så lite at det ikke under noen omstendighet ville være mulig å skille det ene år fra det andre, når en sammenligner med vannføringsdataene.

Bunnprøvetaking

Feltarbeidet

Det grove materialet som de forskjellige elvene fører med seg, avsetter seg for det meste umiddelbart foran utløpene, og en må vente at massene nærmest deltaene vil bestå av noe grovere materiale enn avleiringer lenger ut. Ettersom de fleste elvene har sine innløp i de to indre basseng, var det naturlig å starte prøvetakingen nærmest uløpet i det ytre basseng. Prøvetakingsstedene er lagt slik at en har forsøkt å holde seg lengst mulig borte fra de steile sideskråningene. Dette er grunnen til at prøvene er tatt langs en tilnærmet midtlinje i vannet. Det viste seg også ved prøvetakingen at en fikk de beste prøvene i det ytre bassenget. Disse inneholdt mere finmateriale og viste dessuten bedre varvighet (Ordet "varv" er av svensk opprinnelse og betyr et lag dannet ved sedimentasjon i løpet av 1 år).

Prøvetakingen ble foretatt med en "Kullenberg stempelprøvetaker". Instumentet består av et 2 m langt stålrør som har et sirkulært knivformet munnstykke. I røret kan et stempel bevege seg oppover. Ved prøvetakingen trykkes røret ned i bunnen av tunge blylodd, samtidig trekkes stempelet oppover i røret og det dannes et vakuum i prøvetageren over sedimentene. Prøvene blir derfor samtidig skjøvet og suget inn i røret.

Teoretisk kan en få opp praktisk talt helt uforstyrrede prøver fra bunnavleiringene, men det har i praksis vist seg at de øverste ca. 10 cm lett blir forstyrret og i visse tilfelle kan også enkelte lag bytte plass.

Ved feltarbeidet som foregikk i desember 1974 ble det tatt opp i alt 10 prøver fra forskjellige steder i vannet, se fig. 17. Prøvetakingen ble utført fra en flåte. P.g.a. lav vannstand var det ikke mulig å komme inn i det indre bassenget, der skredmasser fra et ras fra Ravnefjellet i 1950 stikker helt opp i vannflaten. Vi kjenner derfor ikke sedimentasjonsforholdene der inne, men en må anta at en vesentlig del av det suspenderte materiale fra Kjenndalselva og Innigardselva sedimenterer der.
Prøvene ble foreløpig preparert og embalert på stedet for så å bli fraktet til Oslo.

Laboratoriearbeid og undersøkelsesmetodikk

Syv av de ti prøvene som ble tatt opp, ble overført fra prøvetagerrøret til halve plastrør ute i felten. De tre siste prøvene ble tatt opp i hele plastrør og først åpnet i Brekontorets laboratorium i Oslo hvor den videre undersøkelse er foretatt. Noe bistand til undersøkelsene er gitt fra Geologisk institutt og Mineralogisk Geologisk Museum ved Universitetet i Oslo samt fra Stockholms Universitet som har utført C-14 dateringer.

Prøvene har alltid et høyt vanninnhold ved opptak. Før de kan bearbeides må de

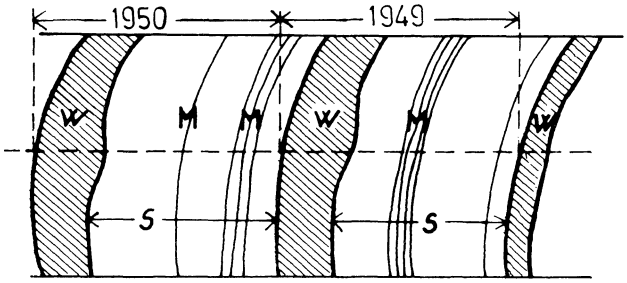


Fig. 18 Skjematisk tegning som viser hvordan de enkelte årsavsetninger (varv) er bygget opp, med sommer (S) og vinterlag (W). De tynne skiktene i sommeravsetningen, såkalte mikrovarv (M) eller pseudovarv antas å komme av variasjoner i sommervannføringen eller plutselige flommer.

Principle sketch indicating composition of single varves (anual layers), with dark "winter" (W) layers and light "summer" (S) layers. Run-off variations during the melt season may cause "pseudovarves" (M).

tørkes langsomt ut slik at de ikke sprekker opp for mye. Deretter blir overflaten preparert ved skrapning og pådusjing av vann. Ved en bestemt fuktighetsgrad trer varvigheten tydligst fram. Etter at denne del av laboratoriearbeidet var ferdig ble prøvene fotografert i målestokk 1:1.

Selve tellingen og målingen av varvtykkelsen er utført langs en midtlinje i prøven som vist på fig. 18. En riktigere måte å måle varvtykkelsen på ville antakelig vært å måle fra midten av et vinterlag til midten av neste, men da enkelte årsvarv kan være nokså tynne ville dette antakelig bli unøyaktig og vanskeligere å kontrollere, f.eks. ved en ny telling. Dessuten er skillet mellom vinterskiktet og den plutselige vårflommen som oftest meget tydelig og lett å identifisere, mens en om høsten ofte har en gradvis overgang mot det mørkere vinterskikt. Se ellers rapport fra Brekontorets arbeid i Bondhusvatn (Østrem og Olsen 1975, s. 58).

Det første som ble gjort ved tolkningsarbeidet var derfor å identifisere alle lag som rent teoretisk kunne være årsvarv og konnektere disse fra prøve til prøve. Det viste seg da mulig å identifisere avsetninger meget nøyaktig fra den ene prøven til den andre når de var avsatt på samme tid. Avsetningsforholdene har imidlertid ikke vært lik på de forskjellige steder i vannet slik at disse lagene både ligger i ulik dybde og har en forskjellig tykkelse og et forskjellig utseende. Selve utseendet av de enkelte varvene var nokså forskjellig fra de en kjenner fra Nigardsvatn og Bondhusvatn, der prøvene viste nokså regelmessig mørke og lyse skikt. Denne regelmessighet finnes praktisk talt ikke i Lovatnet, og det er i dette vannet langt mer av det en vil kalle "mikrovarv" eller pseudovarv. I alt ble det funnet ca. 250 lag som samlet i gjennomsnitt hadde en tykkelse på 82 cm, når 5 prøver ble tatt med i beregningen (F, A, E, G og B).

Sikkerheten i identifikasjonen av et enkeltlag (skikt) kan best illustreres ved

at et bestemt lag (varv nr. H2) har følgende beliggenhet i prøvene.

Prøve	Antall lag (skikt) ovenfor H2	Dybde (cm)
F	231	78,9
A	225	71,7
E	229	71,3
G	229	75,0
B	228	76,5

Som tabellen viser er det mellom prøve F og E et skille på bare 2 lag mens det skiller hele 7,6 cm. Avstanden mellom disse prøvene er ca. 560 m. Nå viser det seg at når det gjelder dybden i cm er differansen mellom prøve F og B som ligger lengst fra hverandre (ca. 2,6 km) bare 2,4 cm. Liknende forhold er det også mellom andre lag. Når det skiller bare 6 lag mellom ytterpunktene, prøve F og prøve A, må en regne med at identifikasjonen av de forskjellige lag er temmelig sikker. Dersom alle disse lag var årsavsetninger ville prøvene gå ca. 250 år tilbake i tiden eller til ca. 1725 og den årlige avsetning ville vært ca. 3,3 mm. Imidlertid ble det snart klart at disse enkeltlag neppe kunne være årsavsetninger (ekte varv) men måtte skyldes variasjoner i vannføringen. Det ble derfor forsøkt med en rekke kombinasjoner av disse "pseudovarv" og i alt er det blitt foretatt mer enn 20 forskjellige tellinger. Det som i stor grad kompliserer denne tolkningen er det faktum at bunnsedimentene i noen grad er blitt forstyrret av utglidninger og omlagringer. Snøskred, ofte med stort innhold av stein og organisk materiale har nok også gått ut på isen om vinteren og dette materiale har først blitt tilført bunnsedimentene når isen går opp om våren.

Det er derfor helt klart at skred som går vinterstid og tilfører bunnsedimentene materiale ikke står i samband med noen stor vannføring og følgelig kan en risikere et lag av fremmed materiale i et år med ellers liten vannføring og slamtransport. De tykke lagene helt på toppen av nesten alle prøvene er noe av det som har voldt mest problemer ved tolkningen, men da de for en stor del består av nokså grovt materiale (grov silt og fin sand) kan de ikke være transportert særlig langt gjennom vannet. Vi antar derfor at de må skyldes en av følgende faktorer eller kombinasjon av faktorer:

1. a. Skred fra fjellsidene (stein, jord, snø eller en kombinasjon av disse) enten rett ut i sjøen eller ut på isen om vinteren.
   b. Utglidninger under vann i den forholdsvis bratte sideskråningen, gjerne som følge av trykkforandringer i sedimentene, utvasking og forstyrrelser i strandsonen, m.m.

2. Mekaniske feil ved prøvetageren kan gi forstyrrelser i det øvre lag av prøven. Vanninnholdet i dette øvre lag kan være så høyt som 90%, og da er det naturligvis svært labilt.

C-14 datering av organisk materiale

I alle prøvene finnes endel organisk materiale i form av mose og torvrester, små pinner o.l. I enkelte prøver utgjør dette spesielle lag, som for eksempel i prøve F hvor det lå 1,5 cm organisk materiale på toppen av prøven. Dersom vi kunne bestemme alderen på disse lag ville vi ha et bedre utgangspunkt for å kunne telle oss fram til alderen også på de øvrige avsetningene. På bakgrunn av den store usikkerhet i den manuelle tellingen ble det derfor bestemt å forsøke å datere noen av de organiske lagene. Det ble foretatt 2 dateringer, et lag fra prøve B, dybde 56 - 58 cm, og som kontroll et lag fra prøve F, dybde 0 - 1,5 cm fra toppen.

I prøve B var det for lite materiale til at dateringen kunne utføres og da topplaget fra prøve F viste 2435 $\pm$ 215 år var det klart at en ikke kunne komme noen vei med dette. Materialet antas å være utvasket torv fra dalsidene. Alderen ca. 2400 år kan da f.eks. være gjennomsnittsalderen på myrjorden i området rundt Lovatn. Vi vil derfor antakelig ikke kunne komme noen vei med C-14 datering av organiske lag fra bunnen av vannet.

Resultat

Av de 10 prøvene som ble tatt opp var fire helt vellykket, nemlig prøve F, A, H og E, to prøver, G og B var delvis vellykket, mens en prøve, J, var mislykket. To prøver, nemlig C og D tatt i det midtre og største bassenget viste dårlig utviklet varvighet, muligens som en følge av ugunstige prøvetakingssteder. Prøve K er ennå ikke undesøkt. Denne ligger imidlertid omtrent i samme posisjon som prøve F og vil neppe være særlig forskjellig fra den.

I en kort rapport til Statskraftverkene (september 1975) ble det antydet at det hadde vært en sedimentasjon på ca. 50 cm på 150 år, og at noen av prøvene gikk 4-500 år tilbake i tiden. De siste undersøkelsene tyder imidlertid på at sedimentasjonen antakelig er langt større og at de fleste prøvene bare går ca. 160 år tilbake i tiden.

For Lovatnet foreligger vannføringsdata fra 1900 og fram til idag, bestemt fra vannmerket ved utløpet. Disse data betegnes som meget gode. Det var derfor naturlig å ta utgangspunkt i vannføringsdataene og i første rekke bruke disse som hovedsammenligningsgrunnlag for varvtykkelsene.

Ettersom det ikke var mulig å telle seg nedover fra toppen av prøvene har en tatt utgangspunkt i et tykt lag som i gjennomsnitt i de forskjellige prøver ligger på

ca. 50 cm dybde. Tykkelsen varierer fra ca. 30 mm til ca. 60 mm og laget består vesentlig av grov silt og sand med et betydelig innhold av organisk materiale. Se fig. 19. Det ble først antatt at dette stammet fra en av de to store skredulykkene i Loen enten i 1905 eller 1936. Varvtellingene viser imidlertid at det umulig kan stamme fra 1936. Det er også lite sannsynlig at det kan være fra skredet i 1905, selv om denne muligheten ikke helt kan utelukkes. Mest sannsynlig stammer det fra 1925, da vannføringen lå på over 100 m^3/s i hele 6 dager mot ca. 50 m^3/s ved normal vannføring.

Det er imidlertid helt klart at det ikke i noen av prøvene er noen spesielt god korrelasjon mellom vannføring og varvtykkelse. Riktignok viser enkelte år med stor vannføring at dette følges av tykke varv, som f.eks. årene 1901, 1914, 1925 og 1926, mens rekordvannføringen i 1941 ikke avsatte noe spesielt tykt varv. Tendensen i den minkende vannføring fra 1940-årene og fram til i dag ser riktignok i noen grad ut til å gjenspeile seg i varvtykkelsene, men noen slående overensstemmelse er det ikke. Likevel ser det ut til at det er vannføringen i sommersesongen (1/5 - 30/9) som gir den beste korrelasjon med varvtykkelsene, mens det ikke synes å være noen særlig god sammenheng mellom nedbør og varvtykkelse, slik tilfellet var i Bondhusvatnet i Mauranger.

Beskrivelse av prøvene

Prøve F. Prøven ble tatt opp fra 85 m dybde og var i våt tilstand 177 cm lang. Ved tørking krøp den til 166 cm. Det ble funnet 161 årsvarv eller avsetninger tilbake til ca. 1814.
De øverste 1,5 cm består av vesentlig organisk materiale. Fra 5-6,5 cm finnes 6 - 7 tynne varv, muligens "mikrovarv". Så følger et skikt på 10 cm som nederst består av mørk finsand, og som gradvis går over i lys silt. Disse øvre ca. 17 cm er antatt å stamme fra enten skred eller en lokal oppsvulming fra en bekk som har ført ut en del organisk materiale. Ingen av de andre prøvene hadde dette lag av organisk materiale på toppen, og heller ingen av de andre prøvene hadde et så mektig lag på toppen med silt og sand.

Også et annet lag, muligens fra 1969, på ca. 7 cm må være dannet som en følge av spesielle forhold. Det er mektigere i denne prøven enn i de andre prøvene. Slike unormalt tykke lag finnes med visse mellomrom nedover i prøven bl.a. ved ca. 57 cm, 65 cm, 70 cm, 98 cm, 100 cm, 120 cm, 125 cm og fra 154 cm til 160 cm, et meget tykt lag. Alle disse avsetninger er svært like av utseende med grå silt-sand som gradvis går over til lys silt. Ellers er lagene fra 1925, 1900, 1888 og 1860 identifisert. Forøvrig har denne prøven en ganske godt utviklet varvighet, men tolkningen må likevel karakteriseres som tildels vanskelig.

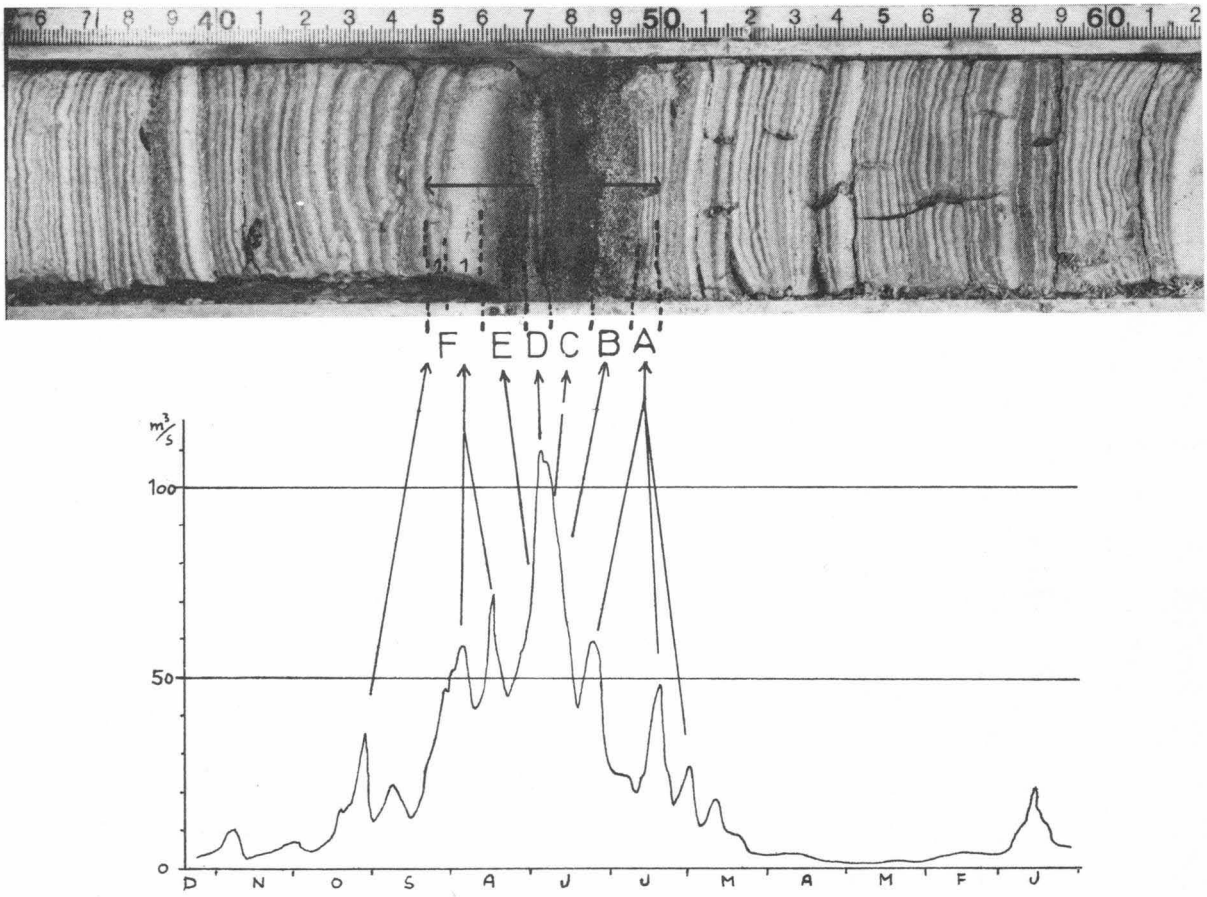


Fig. 19 Bildet viser et utsnitt av prøve E med det "omdiskuterte" varvet som antas å stamme fra 1925, og det tilhørende vannføringsdiagram. Varvet viser en tydelig skiktning hvor A er avsatt først. Det består mest av fin silt. Deretter følger et lag med sand, B, antagelig avsatt på den sterkt stigende vannføring i juli. C er fin silt med høyt organisk innhold og D er et nytt sandlag, svakt skiktet. E er finsilt med en del organiske fragmenter, sannsynligvis avsatt i avtagende, men fortsatt stor vannføring i slutten av juli. F_1 kan være avsetninger fra august og F_2 muligens fra oktober.

A part of sample E with the "problematic" layer which is supposed to have been deposited in 1925 (top) and the hydrograph from the same year (bottom). Note that the time scale is reversed for practical reasons. The entire 1925-deposit can be sub-divided into several "pseudo-varves", and other distinct layers. Those marked B, C and D are associated with a high-water period in July. They consist mainly of sand and are rich in organic matter - particularly the layer C.

Den stadig minkende vannføring fra 1940-årene til omkring 1960 kommer til en viss grad også til syne i varvtykkelsene, men kjente vannføringstopper i 1959, 1953 og 1947 finnes ikke i varvene. De store vannføringer i 1933, 1934 og 1937 gir heller ingen store varv. Grunnen kan trolig være at ingen av disse tre siste årene hadde noen utpregede størflommer. Fra 1930 og bakover mot 1900 er det ganske god overensstemmelse mellom varv og vannføring. For tiden før 1900 foreligger ikke vannføringsobservasjoner så her har vi sammenliknet med sommertemperaturene i Bergen, og en viss overensstemmelse er funnet, se et senere avsnitt om korrelasjonsundersøkelser.

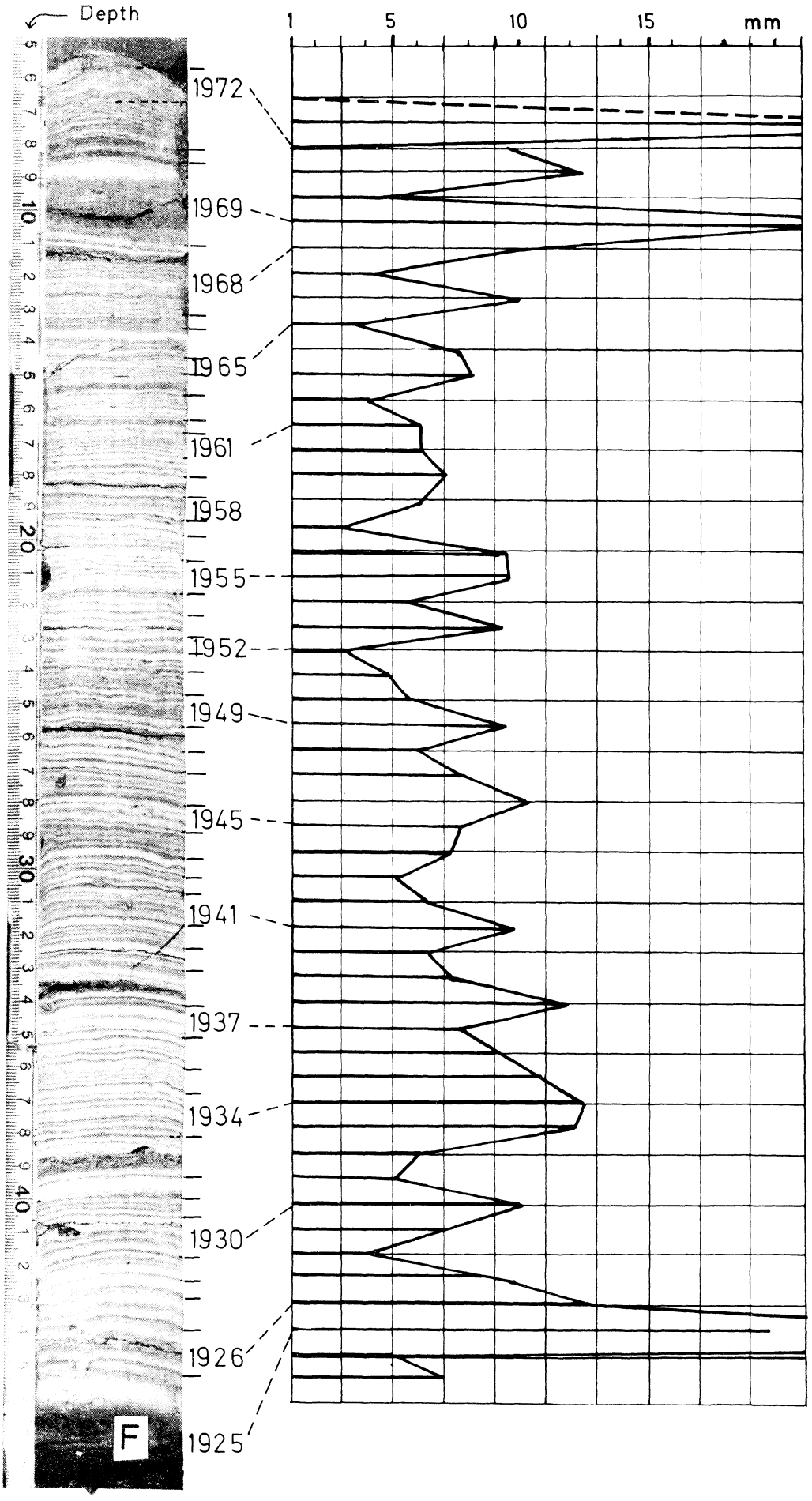

Depth
1
5
10
15
mm
1972
1969
1968
1965
1961
1958
1955
1952
1949
1945
1941
1937
1934
1930
1926
1925
F

Fig. 20

I tiden 1900 til 1861 har vi sammenlignet varvtykkelsene med temperatur og til dels med nedbøren i Bergen, og enkelte spesielle år ser det ut til å stemme ganske bra, selv om en må foreta visse forskyvninger som følge av feiltolkninger. Den store nedbør i 1886 og 1887 ser muligens ut til å være opphavet til de tykke lagene mellom 95 cm og 100 cm. Fra 1861 til 1818 har en bare temperaturobservasjonen i Bergen, og periodevis ser det ut til å være ganske bra korrelasjon. Når det gjelder overensstemmelse med historiske flomsituasjoner, er det med visse forskyvninger overensstemmelse i 1898, 1860, 1856, 1842, 1832 og 1820.

Prøve A. Prøven ble tatt opp fra 90 m dybde og var 155 cm lang i våt tilstand. Ved tørking krøp den til 132 cm. Det ble funnet 156 årsvarv eller avsetninger tilbake til ca. 1810.

De øvre 5-6 cm består her av finsilt, og så følger et organisk lag på 2,5 cm . Dette kan muligens være det som lå på toppen i prøve F, og i så fall er det foregått en omlagring av sedimentene, noe som vel ikke er utenkelig når en ser på bunntopografien av vannet i dette området, jfr. fig. 14. Det 10 cm tykke laget i F er her ca. 7 cm og er noe skiktet i bunnen, noe som viser at det må ha vært visse variasjoner i vannføringen under avsetningen. Forøvrig har også denne prøven en rekke tykke avsetninger ned gjennom tidene, ofte med nokså mye organisk materiale. Gjennomgående er varvene tynnere i denne prøven enn i de andre prøvene bortsett fra laget fra 1925. Ellers har en identifisert de mest karakteristiske lagene fra 1900, 1888, 1860 og 1813-21. Det er ganske god korrelasjon mellom varv og vannføring fra 1900 og fram til idag. Selv om også denne prøven har en ganske godt utviklet varvighet må tolkningen likevel karakteriseres som vanskelig. Det er mindre god korrelasjon mellom varvtykkelse og temperaturen i Bergen i tiden før 1900 enn i prøve F, og bare med visse forskyvninger stemmer større varvtykkelser med historiske flommer fra 1898, 1860, 1856, 1832 og 1820.

Prøve H. Prøven ble tatt opp bare 50 m sør for prøve A i en dybde av 85 m. Den var 136,5 cm både i våt og tørr tilstand. det ble funnet 160 årsvarv eller avsetninger tilbake til omkring 1815.

Fig. 20 Bildet viser et utsnitt av prøve E fra ca. 5 til 50 cm dybde. Denne prøven er den av samtlige som viser best utviklet varvighet. De forskjellige årene er antydet med linjer. Til høyre sees varvdiagrammet som viser varvtykkelsene. De mange mikrovarv (pseudovarv) sees tydelig mellom årsvarvene.

A part of sample E from 5 to 50 cm depth. This sample has the best developed varves of all cores taken in Lake Lovatnet.
Various years are indicated and the corresponding varve diagram is shown to the right.
Several pseudo-varves ("false varves") can clearly bee seen within single annual layers.

Bemerkelsesverdig er den store dybdeforskjellen, hele 5 m, på bare 50 m avstand fra A til H. Det ser altså ut til at prøvene E, A og K ligger i en dypere renne som er meget smal og at F og H ligger på siden av denne, ca. 5 m høyere. Men noe sikkert kan ikke sies om dette uten mer nøyaktig opplodding. Selv om prøve H og A i grove trekk som ventet er nokså like hverandre er det likevel overaskende stor forskjell på dem. De tykke avsetningene på toppen av alle de andre prøvene mangler i prøve H. Også i denne prøven finnes endel tykke avsetninger, bl.a. ved 40 cm (1925), 57 cm (1908), 73 cm (1889), 80 cm (1883), 97 cm (1860) og en stor flom ved 100 cm (ca. 1857). Dette er antakelig flommen i 1856. Og til slutt en tykk avsetning ved 150 cm (ca. 1817).

115 cm ned i prøven ble det funnet en stein (mørk amfibolitt) ca. 1 cm i diameter og med en vekt på 2,0 gram. Denne stammer sannsynligvis fra et skred, men kan også være droppstein fra is. Varvigheten var også i denne prøven ganske godt utviklet, men periodevis er nok tolkningen noe mer usikker enn i prøve F og A. Det ser ut til at variasjonene i varvtykkelsen er mye mindre fra 1960 til 1925 enn i noen av de andre prøvene. Korrelasjoner før 1900 med temperatur og nedbør i Bergen er ikke spesielt gode, men i perioder er det en viss overensstemmelse med temperaturen.

Flomsituasjonene i 1898, 1860, 1856, 1842, 1832 og 1820 kan spores med små forskyvninger. Forøvrig er tykkelsen av avsetningene i de forskjellige perioder gjennomgående mektigere enn i prøve A eller omtrent de samme som i prøve F.

Prøve E. Prøven ble tatt opp fra 89 m dybde od var 170 cm lang i våt tilstand. Ved tørking krøp den til 163 cm. Det ble funnet 2o9 årsvarv. Disse går tilbake til ca. 1766 og er dermed den av de 9 analyserte prøvene som går lengst tilbake i tiden. Også i denne prøven ligger 5-6 cm sandig grov silt med organiske partikler på toppen.

Denne prøven har utvilsomt den beste korrelasjon med vannføringen fra 1900 og fram til 1970-årene. Eneste unntak er årene 1910, 1911 og 1966 (fig. 20). Varvigheten fra ca. 1880-årene og fram til i dag er gjennomgående tydeligere enn i noen av de andre prøvene, mens den er noe mer utydelig lenger bakover i tiden omkring 1870-1850. I tiden før 1820 er tolkningen svært usikker.

Tykkelsen av de forskjellige avsetningene varierer noe i denne prøven men bortsett fra perioden 1925 til 1970 da pålagringen har vært større enn i prøvene H, A og F, er den nokså lik de øvrige. Korrelasjoner med temperatur og vannføring før 1900 er ikke noe særlig bedre enn i H, A og F, men det ser ut til at nedbøren kan ha hatt noe mer å si for vannføringen på den tiden. Således er det med små forskyvninger overensstemmelse mellom store varvtopper og flomsituasjoner antakelig som følge av stor nedbør i årene 1887, 1860, 1856, 1842, 1832 og 1820.

Prøve J. Prøven ble tatt opp fra 85 m dybde og var både i våt og tørr tilstand 92,5 cm. Bare de øvre 26 cm kunne til en viss grad tolkes. Også denne prøven hadde et lag på toppen, ca. 14 cm, som besto vesentlig av sand, men uten organiske partikler. Deretter fulgte en lagpakke på 4 cm med noen varvstrukturer. Så fulgte et sandlag på 2 cm og deretter noen få varv.

Fra 26 cm og ned til bunnen var prøven deformert, antakelig som en følge av trykkforskjeller inne i plastrøret ved opptaket. Spor av organiske partikler ved 48-50 cm nede i prøven kan muligens være laget fra 1925, men dette er bare en antagelse.

Prøve G. Prøven ble tatt opp fra 85 m dybde i et punkt som lå bare 10 m sør-øst for prøve J. Den var 132 cm lang både i våt og tørr tilstand. Det ble funnet 133 årsvarv eller avsetninger tilbake til ca. 1842. På toppen ligger ca. 15 cm vesentlig sand og noen linser med fin silt. Avsetningen fra 1925 er ikke særlig mektig i denne prøven og heller ikke så karakteristisk som i de andre prøvene. Ellers er mektigheten på avsetningene fra omkring 1860 til i dag omtrent de samme som i prøve F.

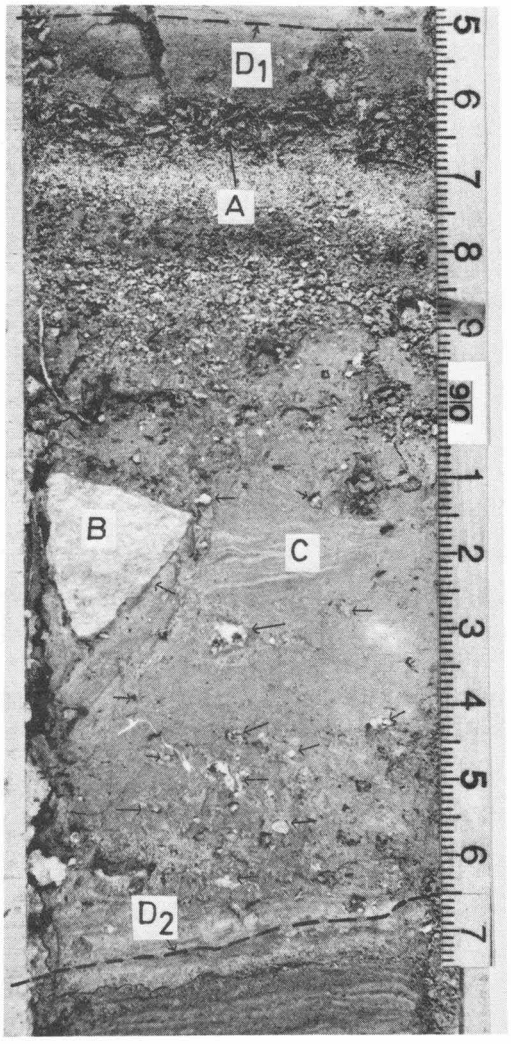


Fig. 21 Bildet viser et utsnitt av prøve G mellom 85 og 98 cm dybde. Nederst i bildet sees uforstyrrede varvstrukturer. Over disse (mellom de stiplede linjene) ses skredmaterialet som er skjøvet over disse varvene. Dette er antagelig tidligere avsatt deltamateriale, noe det store innhold av steiner tyder på (se B og pilene). Skredmaterialet er blandet med finsilt fra andre avsetninger, lenger ut fra deltaet. Rester av varvstrukturer i disse sees ved C. A viser et skikt med nesten rent organisk materiale (mose, små pinner o.l.), som antagelig stammer fra en flom forårsaket av sterk nedbør.

A part of sample G, between 85 and 98 cm depth, with undisturbed varves in the lower part. The deposit between stippled lines is apparently land-slide material, possibly originating from an older delta deposit (see pebbles). A layer consisting of mainly organic material, indicated by "A", was probably formed after a period of extreme rain and subsequent surface erosion in the valley.

Prøven er tolkbar ned til ca. 85 cm dybde eller ca. 1888. Under denne dybde har forskjellige forhold bl.a. utglidninger av bunnsedimentene og/eller skred forstyrret sedimentasjonen. Således ble det ved ca. 90 cm dybde funnet en flat stein (gneis) ca. 2 x 2 cm med en vekt på 2,0 gram. Denne stammer sannsynligvis fra et skred. Se fig. 21.

Først i de aller dypeste deler av prøven, fra 125 cm og ned til bunnen, finner vi atter ganske normale varv. Avsetningen fra 1860 har således en noe usikker beliggenhet.

Korrelasjon mellom varv og vannføring er ganske god, bortsett fra de store vannføringstoppene i 1933, 1934 og 1937, og den fallende tendens i vannføringen fra 1925 til idag går også igjen i varvene. Avsetningen i tiden før 1900 er såpass usikre at en ikke kan vente noen god korrelasjon. Historiske flomsituasjoner som er kjent fra 1856 og 1842, kan muligens spores.

Prøve B. Prøven ble tatt opp fra 85 m dybde og var 133 cm lang i våt tilstand. Den krøp ved tørking til 130 cm. Det ble funnet 94 årsvarv eller avsetninger tilbake til ca. 1881. De øvre lag (ca. 18 cm) var ikke tolkbare, da de var sterkt påvirket av bevegelser etter avsetningen.

Laget fra 1925 var svært mektig i denne prøven, og nær toppen lå et ca. 1,5 cm tykt organisk lag. Forøvrig besto dette av nokså grov sand. Mektigheten på de forskjellige lag er noe forskjellig fra nærmeste prøve G. Særlig ser det ut til at det fra 1925 og til idag har vært avsatt mer enn i tilsvarende periode i de andre prøvene, mens det på den andre siden har blitt avsatt vesentlig mindre i perioden 1900 til 1925.

Den regelmessige varvighet opphører plutselig ved ca. 85 cm dybde eller omkring 1888. Fra denne dybden og ned til bunnen av prøven sees nesten ingen varvstrukturer eller i beste fall bare rester av slike. Det er også et betydelig innhold av små steiner. Dette indikerer at "fremmede masser", sannsynligvis skredmateriale, har lagt seg oppå de normale varvavsetningene. Årsaken til dette kan vel muligens være at Brengselva som har sitt utløp bare ca. 450 m unna, har påvirket sedimentene i dette området. De spesielle avsetninger på toppen av prøven kan nok også forklares slik.

Prøve B er vel den av prøvene som har den dårligste korrelasjon mellom varv og vannføring, sannsynligvis som følge av prøvestedets beliggenhet. Det er således i perioden 1930 til 1940 omtrent ingen overensstemmelse mellom varvtykkelser og vannføringer. I tiden 1900 - 1915 er det brubar overensstemmelse samt i andre korte perioder, f.eks. 1940 - 1950.

Prøve C. Prøven er tatt opp fra 127 m dybde i det midtre bassenget. Lengden er 128 cm. I motsetning til alle de andre prøvene er de øverste 14-15 cm omtrent den eneste del av prøven der en finner en del varvstrukturer. Herfra og ned til ca. 96 cm består prøven bare av homogen silt og sand. Fra omkring 60 cm får sanden et svakt innhold av organiske partikler, og dette tiltar nedover mot 80 cm der det også finnes små pinner og mye moserester.

Ved 96 cm er det en brå overgang til et siltig materiale med tydelige rester av varvstrukturer. Fra 115 cm til 120 cm sees 7-8 tydelige varv.

Varvstrukturene i de øvrige 14-15 cm er også av en slik beskaffenhet at det bare er lagene fra 1969-70 som muligens kan gjenfinnes i denne prøven. Ellers er innholdet av organiske fragmenter ved ca. 80 cm dybde antatt å stamme fra flommen i 1925 og et sandlag ved 120 cm dybde fra 1888.

Prøve D. Prøven er tatt opp fra vannets dypeste parti (130 m) omtrent midt i det midtre bassenget. Lengden er 152 cm. Den har mange likhetstrekk med prøve C idet det også her ligger en lagpakke på toppen med en del varv, tildels svært tynne, men heller ikke disse har det vært mulig å tolke. Fra 16-17 cm og ned til 130 cm består materialet av homogen lys og grå silt og sand. Fra 130 cm til ca. 145 cm skimtes en del varvstrukturer og ved 150 cm finnes en del organiske partikler. Disse organiske partiklene kan muligens være avsatt samtidig med de som lå ved 80-90 cm i prøve C. I så fall er det en betydelig økning av sedimentasjonen fra prøve C til D, noe som ikke skulle være urimelig.

Årsaken til at det hverken i prøve C eller D er utviklet varv og at materialet også er mye grovere her enn i de andre prøvene, må enten være at sedimentasjonen er betydelig større her inne enn i de ytre deler av vannet eller at skred og omlagringer har forstyrret sedimentene. Mest sannsynlig er vel det siste, i tillegg til en betydelig større sedimentasjon, generelt.

Sammenlikning mellom prøvene

Av de 10 prøvene som ble tatt opp fra Lovatn er det bare prøve K som ikke er analysert. Prøvene A og H som ble tatt med bare ca. 50 m avstand skulle en tro ville være omtrent helt like. Når de ikke er det, viser dette at sedimentasjonsforholdene kan variere ganske meget over svært korte avstander i dette vannet. Særlig gjelder dette de øverste delene av prøvene (avsetninger fra 1970 til 1974?). Riktignok er det en jamn økning i tykkelsen av dette laget fra prøvene H til B, men både prøve F og A har like tykke topplag, og da deres sammensetning også er høyst forskjellig, antar vi at topplagene neppe er normale årsvarv, men at de må være oppstått på annen måte. Topplagenes mektighet i alle prøver unntatt H stemmer heller ikke med vannføringen som fra 1970 til 1974 ikke var særlig høy bortsett fra 1973. Vi har

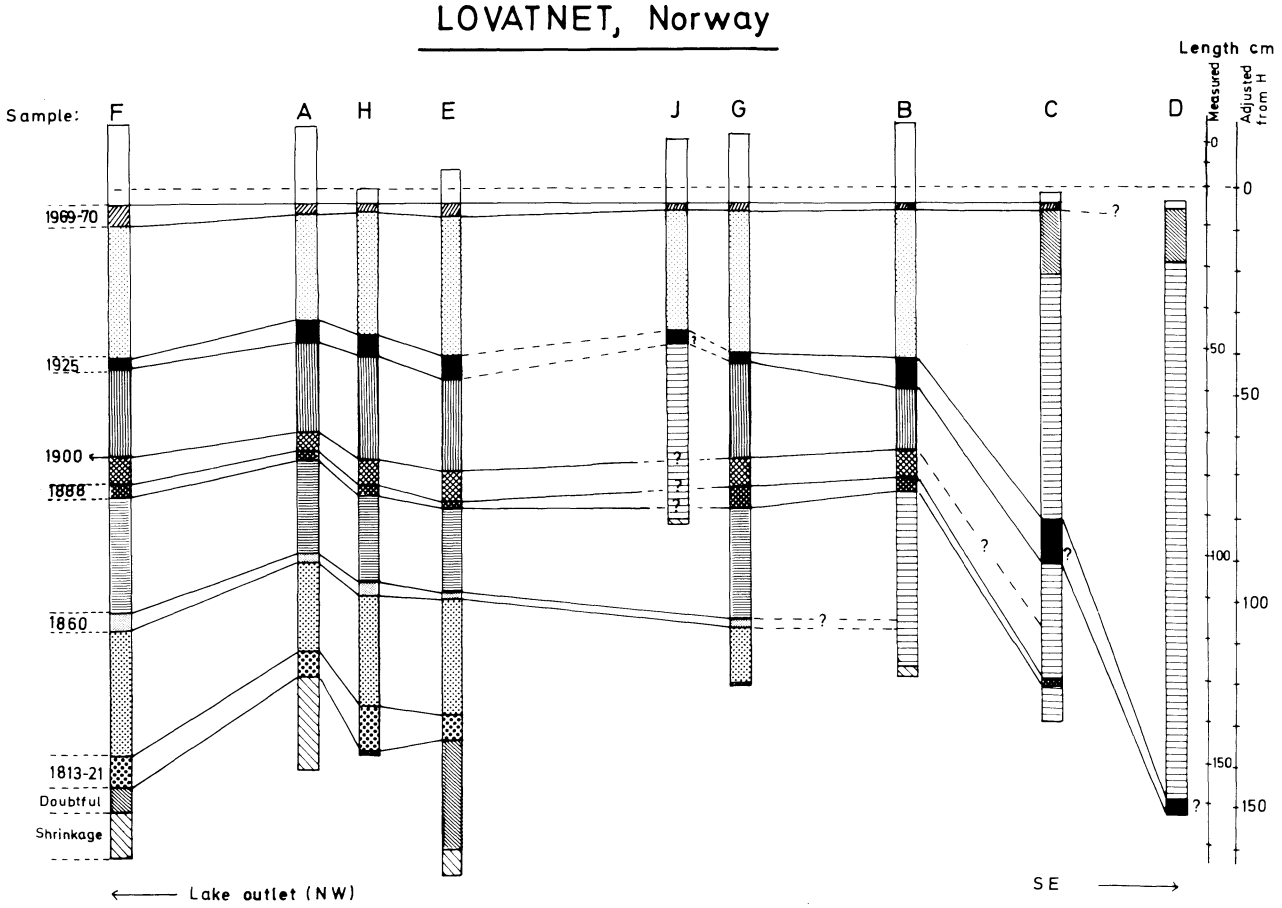


Fig. 22 Skjematisk tegning som viser mektigheten av pålagringen av finmateriale i forskjellige tidsperioder i samtlige prøver. Den øverste del (uskravert) er av uviss opprinnelse. Åpen horisontal skravering er uidentifiserte avsetninger uten tydelig varvighet. Målestokken lengst til høyre er justert til lengden av prøve H, mens den andre er justert til middeltykkelsen av topplaget fra 1970 til 1974. Avsetningen fra 1925 er det eneste lag av større mektighet som med noenlunde sikkerhet er gjenfunnet i samtlige prøver. Denne avsetningen ble derfor brukt som et referanselag for identifikasjon og tidfestelse for de øvrige avsetningene.

All cores compared to find connection between annual layers of equal ages. A typical, easily detectable layer from 1925 was the key for the correlation work, but also other typical layers could be used (e.g. 1888 in most cases, etc). Two length scales are used, one based upon an average thickness of an unidentifyable layer found in all samples, and another scale based upon sample H, which seems to contain a complete series of all existing annual layers almost completely undisturbed.

derfor valgt å se helt bort fra de siste års avsetninger i beregningen av selve sedimentasjonen. I diagrammet fig. 22 har vi gått ut fra prøve H der vi har en sedimentasjon fra 1970 til 1974 på 36 mm. Dette er antatt å være den mest sannsynlige tykkelse og vi har justert dybden etter denne prøven. Vi har antakelig fått et mer riktig bilde av sedimentasjonen ved denne framgangsmåten.

Bortsett fra prøve C og D synes det å være liten forskjell i sedimentasjonen fra prøve til prøve fra 1900 og fram til omkring 1970. I prøve F og B, som ligger

lengst fra hverandre i det ytre bassenget, er sedimentasjonen omtrent den samme i denne perioden. I perioden 1860 til 1900 er det heller ikke stor forskjell på varvtykkelsen i de prøvene der det har vært mulig å identifisere den. Når vi kommer tilbake til 1860, varierer tykkelsen av selve årslagene mer, men perioden fra 1860 til 1888 er omtrent like mektig i alle de undersøkte prøvene. Iperioden fra 1813 (1820) til 1860 er pålagringen størst i prøve F og omtrent lik i prøvene A, H og E. I de øvrige prøvene er det bare prøve G som er lang til at en såvidt har nådd ned til disse avsetningene. Ser vi hele dette ytre bassenget på 3,5 km under ett, synes det klart at hele denne delen av vannet er blitt tilført omtrent de samme mengder slam fra 1860-årene og fram til i dag (ca.1970). Avsetningen er ca. 95 cm eller i underkant av 1 cm pr.år. Lokalt har det vist seg å være tildels store variasjoner, men det antas å stamme fra mer lokale forstyrrelser særskilt i form av skred fra fjellsidene eller bevegelser og eventuelt omlagringer av bunnsedimentene i de bratte sideskråningene.

Når det gjelder konnektering mellom prøvene B, C og D er det bare varvet fra 1925 som ser ut til å kunne gjennfinnes i disse prøvene, selv om plasseringen i C og D er noe usikker. Det ser imidlertid ut til å være en sterk økning i sedimentasjonen fra prøve B til C og ytterligere økning fra prøve C til D. Beskaffenheten av disse to prøvene er imidlertid slik at noe helt sikkert kan ikke sies om sedimentasjonen i denne del av vannet, selv om det nok er rimelig å anta en betydelig større sedimentasjon her enn i den ytre del og en ytterligere økning i det indre bassenget, der sedimentasjonsforholdene dessverre er helt ukjente fordi ingen prøver ble tatt der.

Korrelasjoner

Generelt

Tykkelsen av de enkelte årsvarv fra år 1900 og fram til idag er først og fremst direkte korrelert med vannføringen i Lovatnet. En har valgt månedsmiddel for avløp i tiden 1/5 - 31/10 som grunnlag for sammenligningen. Vannføringen er igjen avhengig av både temperatur og nedbør i området. De fleste år ser ut til å være vesentlig temperaturbestemt, men i noen år har også nedbøren spilt en viss rolle, men da som oftest sammen med høy temperatur. Ved undersøkelsene i Bondhusvatn (Østrem og Olsen 1975, s. 73) viste det seg at årsnedbøren i Bondhus var meget godt korrelert med årsavrenningen i den nærliggende Øyreselv. Når det gjelder årsavrenningen i Lovatn, er det en svært dårlig korrelasjon med årsnedbøren i for eksempel Briksdal ca. 20 km lenger sør-vest. Derimot er det god overensstemmelse mellom avløp i Lovatnet og temperatur i Oppstryn. Korrelasjon mellom temperatur i Bondhus og avløp i Bondhusvatn var derimot dårlig. Dette viser at breavsmeltningen i Loenområdet

er av langt større betydning for vannføringen selv om breprosenten her er bare 35,8 mot hele 47% i Bondhus. Forklaringen kan tenkes å være at Bondhusområdet er langt mer nedbørrikt enn Loen - Olden - Briksdalområdet.

De 11 høyeste vannføringene observert i Lovatnet vises i tabellen :

År	Måned	m^3/s	
1941	juli	144,76	
1901	"	133,11	
1926	"	128,29	
1914	"	127,34	
1908	okt.	124,50	NB. Trolig feil. (Maksimum var antagelig 108,97 i juli).
1939	aug.	110,06	
1925	juli	109,86	
1973	"	107,88	
1938	aug.	106,30	
1919	sept.	105,46	
1934	aug.	105,46	

Alle disse årene viser seg i de fleste prøvene som et tykt varv. Året 1941 som hadde den aller største vannføringen som noensinne er observert, har ikke avsatt noe spesielt tykt varv i noen av prøvene, men dette kan bero på feiltolkning. I 1908 forekom den høyeste vannføringen i oktober. Dette er antagelig en feilavlesning på vannmerket, men i alle tilfelle var det nok en betydelig vannføring i oktober. Da det også var høy vannføring i slutten av juli, antar vi at det forekom en betydelig vann- og slamføring dette året.

Korrelasjonene før 1900 er selvsagt mer usikre da en bare har nedbør og temperatur i Bergen å sammenlikne med. Disse data ble observert fra 1861, mens i tiden 1818-1861 har vi bare temperaturdata.

I varvdiagrammet fig. 23 er seks av prøvene, nemlig F, A, H, E, G og B forsøkt sammenstilt med avløp i Lovatnet og sommertemperatur i Bergen.

Fig. 23 Diagrammet viser en sammenligning av varvtykkelsene i de viktigste prøvene fra den ytre del av Lovatnet, korrelert med månedsmiddelavløp i tiden 1/5 - 31/10 fra år 1900 og fram til 1974. Nederst er inntegnet en middeltemperaturkurve fra Bergen (1/5 - 30/9) tilbake til 1818. Tykkelsen av de enkelte årsvarv er angitt i mm til venstre for prøvene. Under hver prøve er en målestokk for den "virkelige" lengden av prøvene.

A comparison of varve thickness in the most important samples from the outer part of Lake Lovatnet. The varves are correlated with the mean monthly discharge from May to October from 1900 until 1974. The lower curve shows the mean temperature (May-September) in Bergen from 1818. The thickness of each varve is given in mm. Below the curve for each sample a scale showing the real length of the sample is given.

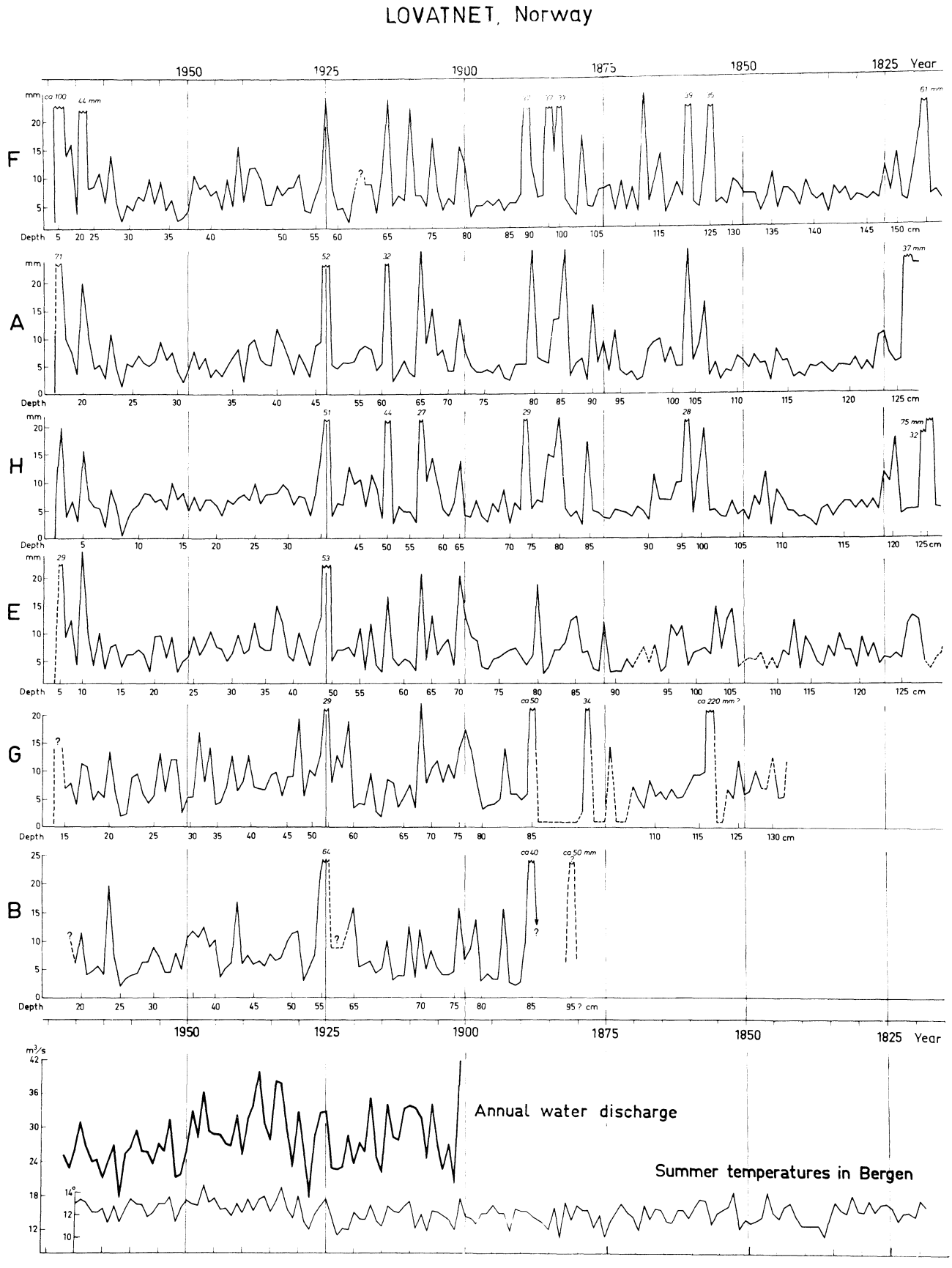

LOVATNET, Norway
1950
1925
1900
1875
1850
1825 Year
F
A
H
E
G
B
mm
Depth
1950
1925
1900
1875
1850
1825 Year
m³/s
Annual water discharge
Summer temperatures in Bergen

Fig. 23

Korrelasjon varv - vannføring - temperatur

Nærmeste meteorologiske stasjon er Oppstryn der det foreligger temperaturobservasjoner fra 1898. Fra 1898 og bakover til 1818 har vi derfor benyttet data fra Bergen fordi det er meget god korrelasjon mellom disse stasjoner, når det gjelder temperaturen. Vi har benyttet lufttemperaturen i perioden 1/5 - 30/9 ved disse korrelasjonsstudier.

Stor vannføring i Lovatn skyldes i første rekke stor breavsmeltning, ofte kombinert med regn. Imidlertid finnes det en rekke år da bare varmt vær uten nedbør har ført til stor vannføring, men det ser ikke ut til at det motsatte har forekommet, altså at bare nedbøren skulle være årsak til flom.

Varmebølgen i 1901 var, sammen med nedbør og vind i fjellet, årsak til den enorme vannføringen som forekom to ganger dette året. Det er et mektig varv i alle prøver fra dette året. I 1914 var det en betydelig vannføring i begynnelsen av juli som en følge av sterk varme. Alle prøver viser betydelige varv dette året. I 1925 og 1926 var det store vannføringer som følge av høye temperaturer, i 1926 også p.g.a. nedbør. Den store avsetningen benevnt F på fig. 21 antas å stamme fra 1925, men det kan også være fra 1926. Laget fra 1925 er blitt brukt som referansenivå ved tolkningen av samtlige prøver fra Lovatnet.

En mindre varvtopp i 1930 ser ikke ut til å kunne forklares gjennom noen spesielt stor vannføring. Det meget varme været i 1933 har gitt en høy middelvannføring men derimot ingen spesiell topp. Bortsett fra prøvene E og A finner vi ikke noe spesielt tykke varv fra dette året. Året 1935 har gjennomgående tykkere varv enn 1934 og dette kan passe godt da toppvannføringen var større dette året.

I 1941 er det klart at den høye julitemperaturen (22^{o} den 14/7 og 28^{o} den 15/7 i Oppstryn) kombinert med nedbør førte til rekordvannføringen på 144 m^3/s den 14. juli. I prøve G og H er det sannsynlig feiltolkning som gjør at det ikke finnes noen varvtopper her. Heller ikke i de andre prøvene er avsetningene så mektige som en kunne ha ventet dette året. I 1955 førte varme og nedbør til en vannføringstopp i juli. Det er da også en mindre varvtopp dette året. I 1969 var det flere vannføringstopper som vesentlig kom av høy temperatur og stor breavsmeltning. Det er en betydelig varvtopp i alle prøver dette året. Året 1973 hadde den høyeste vannføring siden 1941 med hele 107,9 m^3/s den 8.juli. Dette kan muligens forklare den store slamtransporten det året og de tykke lagene (2 - 3 cm i noen av prøvene).

I tiden før 1898 har vi sammenlignet temperaturen i Bergen med varvtykkelsene. Her viser prøvene H og E periodevis god korrelasjon men de øvrige prøvene må karakteriseres som dårlige i denne henseende.

Korrelasjon varv - vannføring - nedbør

Nedbøren ser som sagt ikke ut til å ha hatt særlig innvirkning på vannføringen i Lovatn. I tiden fra 1896 tilbake til 1861 har en benyttet nedbørdata fra Bergen da det i grove trekk er en viss overensstemmelse mellom Briksdal og Bergen i den valgte periode 1/5 - 30/10, selv om enkelte år avviker tildels ganske meget. Det viser seg at det bare er helt spesielle år som har gitt stor vannføring p.g.a. nedbør i Loen. Det gjelder årene 1906, 1921, 1938 og 1964. I Bondhusvatnet fant vi en meget bedre overensstemmelse mellom nedbør og varvtykkelse.

I 1906 var det tildels store svingninger i vannføringen vesentlig som en følge av sterk nedbør, særlig var det uvanlig sterk nedbør den 24. november som førte til en flomtopp. Bortsett fra prøve G og B finner vi et tykt varv dette året. Det samme var også tilfelle i 1913 og 1917, men ingen av disse årene har gitt noen særlig tykke varv. I 1919 førte sterkt regn til en flomtopp den 12.september på hele 105,46 m^3/s, men heller ikke denne ser ut til å ha avsatt noe spesielt tykt varv.

Mest bemerkelsesverdi er at den store nedbøren i 1921 (særlig fra begynnelsen av juli og utover mot november) ikke har medført noen særlig stor vannføring. Vi antar at dette er en følge av for lave temperaturer, og at en del av nedbøren kom som snø i høyereliggende strøk. Den 14.juli 1926 var det voldsomt regn i Loen og med en temperatur på rundt 15^o førte dette til en kolossal stigning i vannføringen, fra 66 m^3/s den 13/7 til 128 m^3/s den 15/7. Det finnes da også et betydelig varv dette året.

I årene 1934, 1937 og 1947 har nok også nedbøren spilt en viss rolle for vannføringen, men høye temperaturer har nok hatt like stor betydning. I 1964 førte sterkt regn til en vannføringstopp i juni. Det var den største det året og ser ut til å ha gitt en markert varvtopp i alle prøvene.

I en rapport fra N.G.I. (1977) er det i et kartbilag (Tegn.nr. 002) antydet skredmateriale fra en flom i 1953 i deltaet i Bødalselv. Sannsynligvis stammer dette fra en regnflom den 8. og 9.september. Det finnes en mindre varvtopp i nesten alle prøver, men organisk materiale er ikke påvist, noe man kanskje hadde ventet.

Korrelasjon Lovatn - Bondhusvatn

En tilsvarende undersøkelse av bunnavsetninger ble som nevnt utført i Bondhusvatn ved Folgefonna i februar 1974. Ut fra det vi nå vet om sedimentasjonsforholdene i flere slike brevann vil vi foreløpig være meget forsiktige med å sammenligne forholdene fra vann til vann da disse kan være nokså forskjellige, ikke bare hva mengden av suspendert materiale angår men også m.h.t. selve typen av avsetninger.

En enkel sammenligning viser da også at det ikke er noen spesielt god korrelasjon

mellom varvtykkelsene i de to vannene, selv om enkelte prøver i perioder ser ut til å ha visse likhetstrekk. Prøve D i Bondhusvatnet er kanskje den av prøvene som gir den beste korrelasjon med enkelte prøver i Lovatn, nemlig prøve G, H og E. De store varvtoppene i årene 1901, 1914, 1925 og 1973 i Loen finner vi ikke igjen i Bondhusvatnet. Den markerte toppen i 1921 i Bondhus finnes nok i Lovatn men er ikke på langt nær så markert. Vi antar at den skyldes nedbør, og da er jo dette rimelig.

Det markerte varvet fra 1901 i Lovatn kan tenkes å tilsvare 1903 i Bondhus eller muligens 1898. Det markerte varv fra 1887 i Bondhusvatnet kan være 1888-89 i Lovatn. Perioden 1880 til 1890 i Lovatn med mange meget tykke varv synes ikke i Bondhusvatn i samme grad. Når det gjelder de historiske flomårene 1898, 1860, 1856, 1842 og 1820, ser det ut til at det er en ganske bra overensstemmelse mellom de to vann.

Historiske skred og flommer og deres innvirkning på bunnsedimentene

Ved Lovatnet har det ved flere tilfelle gått skred fra omliggende fjell og løsavleiringer ut i vannet. I hvilken grad disse og utglidning av materiale under vann virker inn på bunnavsetningene er av de ting vi vet svært lite om. Heller ikke hvilken betydning store flommer har vet man særlig mye om. Vi har gått ut fra at betydelige flommer med stort slaminnhold har hatt mer å si for pålagringen av bunnsedimentene enn plutselige fjellskred av mer grove masser.

I alt kjenner man til seks større skred fra Ramnefjellet som alle har ført til en betydelig bølgedannelse i Lovatnet og til dels store skader på dyrket mark. Imidlertid er det mye som tyder på at disse ikke har påvirket bunnsedimentene i synlig grad.

Det første skredet gikk 15.januar 1905 da 61 mennesker omkom og det andre gikk 20. september samme år. I 1936 gikk det 3 forskjellige skred, nemlig 13.september, 21. september, og 11.november. I skredet den 13.september raste ca. 1 mill.m^3 fjell og løsmasser ut og 73 mennesker omkom. Bølgehøyden var ved Nesodden hele 74 m over normal vannstand. Skredet den 21.september var neppe særlig stort, men skredet den 11.november var av samme størrelse som det første men bølgehøyden var da "bare" ca. 50 m.

Det siste store skredet fra Ramnefjellet kom 22.juni 1950. Omlag 1 mill.m^3 raste igjen ut, men bølgehøyden var da bare 12-15 m. Ved Vassenden (vannmerket) var flombølgen 7-8 m. Bortsett fra skredet i 1950 gikk disse skredene på den tid av året da vannføringen var meget liten og gjennomstrømningen i vannet også minimal. Da det ikke med sikkerhet er identifisert forstyrrede lag som kan stamme fra noen av disse skredene, kan dette ha flere årsaker. Riktignok er det som tidligere

nevnt funnet et tykt lag med organisk innhold på ca. 50 cm dybde i nesten alle prøvene. Dette kan ikke helt utelukkes å stamme fra 1905, men siden vi ikke har funnet noe lag som kan stamme fra 1936, styrkes antagelsen om at dette laget ikke har noe med skredulykken å gjøre, men istedet står i samband med en stor, slamrik vannføring. I motsatt fall skulle det vært to "skredlag" med 30 års (lags) mellomrom.

Forøvrig finnes følgende beretninger om skred i Loen:

1755 Gamle beretninger om et større skred ved Nesdal (Muligens et snøskred)

1884 Steinskred på nordsiden av vatnet ved Bødal

1893 Steinskred på østsiden av vatnet

1896 Skred ved Kjenndalen (antakelig steinskred)

Her er det bare hendelsen i 1893 som synes å kunne spores i varvtykkelsen i prøve H, G og B, men det er høyst usikkert om avsetningen har noe med et eventuelt skred å gjøre. Langt bedre overensstemmelse finner vi jo som sagt mellom større flomsituasjoner og varvtykkelsen.

Historiske notater antyder at det må ha vært stor vannføring på Vestlandet i årene 1734, 1773, 1789, 1813, 1820, 1832, 1842, 1856, 1860 og 1898. De fleste av disse flommene synes å stemme bra med relativt tykke varv, (se tabell nedenfor).

Historiske flommer

År	Prøve					
	E	F	A	H	G	B
1773	1772	-	-	-	-	-
1789	x	-	-	-	-	-
1813	x	-	-	-	-	-
1820	x	1819	x	1818	-	-
1832	1833	x	1830	x	-	-
1842	1841	x	x	1844	x	-
1856	1855	x	1857	1857	x	-
1860	?	x	x	x	?	-
1898	1900	1900	1900	x	1899	x

x angir år med overensstemmelse med tykt varv. Ellers er nærmeste år angitt i de forskjellige prøver.

- angir at prøven ikke går dypt nok ned til at vedkommende år er kommet med.

Beregning av den årlige sedimentasjon

Som fremgangsmåte for å beregne det årlige akkumulerte sedimentvolum, har vi valgt ut fire forskjellige perioder, nemlig 1860 - 1974, 1821 - 1860, 1860 - 1900 og 1900 - 1974. Som det fremgår av tabellen s.53 er det meget liten forskjell i pålagring i de forskjellige periodene for prøvene F, A, H, E og G, bortsett fra perioden 1821 - 1860,der den er litt mindre. Ellers synes pålagringen å ligge mellom 8 og 9 mm pr. år i middel for disse prøvene.

Når det gjelder prøve C og D,er tolkningen såpass usikker at en ikke må legge for stor vekt på disse resultatene, men det er helt klart at sedimentasjonen øker meget fra C til D. Videre ser det ut til at det i tiden 1900 - 1974 har vært avsatt vesentlig mer pr. år enn i hele perioden 1860 - 1974.

Kjerneprøvene F,A,H,E og G er regnet som representative for den ytre del av vannet og midlet av sedimentasjonen i prøve C og D er benyttet i beregningene av årlig sedimentasjon i det midtre basseng.

I beregningene er det indre basseng utelatt. Det samme er arealet over dybdekote 80 m , der det er forholdsvis bratte skråninger med ustabile forhold.

Da de fleste prøvene er fra den ytre delen av vannet, vil vi antakelig få et noe skjevt bilde av forholdene. Beregningene av den totale årlige sedimentasjon er derfor noe usikre, spesielt da prøve C og D er noe upålitelige, og da det i den aller innerste delen av vannet overhodet ikke ble tatt noen prøver, en del av vannet der sedimentasjonene sannsynligvis er meget stor.

Allikevel mener vi at beregningene gir en brukbar antydning av det akkumulerte sedimentvolum av suspendert materiale. Bunntransportert materiale har vi ikke kunnet beregne.

Konklusjon

Etter en meget omfattende undersøkelse av de opptatte borekjerner fra Lovatn er det ikke helt lykkes å kunne avgjøre hva som er årsavsetninger (varv) og hva som er skikt som skyldes kortvarige variasjoner i vannføringen (pseudovarv). Lag som har sin opprinnelse i skred fra fjellsidene eller eventuelle omlagringer av bunnsedimentene har vi heller ikke kunnet identifisere. Tolkningen av selve kjernene, som er hovedgrunnlaget for undersøkelsen, må karakteriseres som nokså subjektiv, selv om erfaring fra liknende undersøkelser i Nigardsvatn og Bondhusvatn har gitt oss visse kriterier å arbeide ut fra. For å komme fram til en sikrere identifikasjon av årsavsetningene (ekte varv) blir det antakelig nødvendig i framtiden å ta opp et langt større antall prøver fra de vann som skal undersøkes og samtidig få en bedre geografisk fordeling av prøvestedene. I tillegg bør det også måles slam-

L O V A T N

S e d i m e n t a s j o n s b e r e g n i n g

Prøve	Pålagring i cm							
	1900 - 1974 75 år		1860 - 1900 41 år		1821 - 1860 40 år		1860 - 1974 115 år	
	Total	Pr.år	Total	Pr.år	Total	Pr.år	Total	Pr.år
F	64,5	0,86	41,9	1,00	34,8	0,87	106,8	0,93
A	58,5	0,78	32,1	0,78	24,0	0,60	90,2	0,78
H	65,3	0,87	32,6	0,80	29,9	0,75	98,2	0,85
E	68,0	0,91	29,8	0,73	29,6	0,74	99,4	0,86
J	(72,5?)	(0,97)	-	-	-	-	-	-
G	65,4	0,87	39,8	0,97	-	-	106,6	0,93
B	63,6	0,85	-	-	-	-	(107,0?)	(0,93?)
C	(104,0?)	1,39	-	-	-	-	(145?)	(1,26?)
D	(165,0?)	2,20	-	-	-	-	(190?)	(1,65?)
Middel alle	80,8	1,07	35,2	0,86	29,6	0,74	117,9	1,03
F-A-H-E-G	63,5	0,85	35,2	0,86	29,6	0,74	100,2	0,87

	Prøve F-A-H-E-G			Prøve C-D			Prøve F-A-H-E-G-C-D	
	YTRE BASSENG			MIDTRE BASSENG			TOTAL	
ÅR	Middel pålag. cm pr. år	Areal km^2	Volum m^3 pr. år	Middel pålag. cm pr. år	Areal km^2	Volum m^3 pr. år	Areal km^2	Volum m^3 pr. år
75 1900-1974	0,85	1.13	9605	1,79	3.66	65514	4.79	75119
115 1860-1974	0,87	1.13	9831	1,46	3.66	53436	4.79	63267

På dette grunnlag har vi kommet fram til at den totale årlige pålagring av finmateriale (under dybdekurve 80 cm) utgjør i periodene

1900-1974 75.000 m^3. Med en tetthet på 2.0 = 150.000 tonn

1860-1974 63.000 m^3. Med en tetthet på 2.0 = 126.000 tonn

føring i bre-elva (elvene) etter et forenklet program, f.eks. bare i flomperioder, slik at en får et visst begrep om størrelsesordenen.

Kort oppsummert kan det settes opp 4 alternative muligheter til den årlige akkumulerte sedimentmengde i Lovatnet, der vi har valgt den første som den mest sannsynlige.

1. Sedimentasjon 8,6 mm pr.år. Et organisk lag i 50 cm dyp (bestemt ut fra prøve H), stammer fra en stor flom i 1925.
2. Sedimentasjon ca. 7,0 mm pr.år, fra 1900 og fram til idag. Et organisk lag i ca. 50 cm dyp stammer fra skredulykken i 1905. Om vi bortser fra et tykt topplag blir sedimentasjonen redusert til ca. 6 mm pr.år.
3. Sedimentasjon ca. 1 mm pr.år, basert på K.M. Strøms undersøkelse fra 1932. Sedimentene i 80 cm dybde skulle i så fall være avsatt for ca. 700 år siden hvis vi ser bort fra sannsynlige skredlag.
4. Sedimentasjon 3,3 mm pr.år. Dette tall er beregnet ut fra antagelsen at alle synlige lag er ekte årsvarv, da får vi ialt ca. 250 år i prøvene.

Når det gjelder alternativ 2 avviker dette ikke særlig meget fra alternativ 1 og det er mulig at denne beregning kan være riktig. Alternativ 3, med en sedimentasjonshastighet på 1 mm pr.år, virker ikke urimelig, men er bassert på kun en meget kort prøve. Den kan derfor ikke tillegges særlig stor vekt. Alternativ 4, med en årlig sedimentasjon på 3,3 mm, kan nok virke rimelig men stemmer dårlig med f.eks. vannføringsdata og temperaturobservasjoner. Ikke under noen omstendighet, uansett hvilken av de fire muligheter som er riktige, vil det være fare for noen total gjenslamming av Lovatnet i overskuelig framtid.

En gjennomsnittlig årlig pålagring på 126 000 tonn tilsvarer en spesifikk sedimentproduksjon på 1600 tonn/km^2 for alle breene i nedslagsfeltet. Disse utgjør nå 78 km^2 (Østrem og Ziegler 1969). Sammenliknet med resultater fra Brekontorets materialtransportundersøkelser i andre brevassdrag i nærliggende områder (fig. 24) er dette tallet meget stort. Det kan sammenliknes med resultatene fra Erdalsbreen som har gitt de høyeste tall for spesifikk sedimentproduksjon for målinger ved breer i Sør-Norge. I tillegg har man det forhold at fler av bre-elvene som munner ut i Lovatnet har sedimentasjonsmuligheter før de når Lovatn (fig. 16). Aktive dalbreer må sies å utgjøre en forholdsvis liten del av det totale breareal i nedslagsfeltet. Begge disse faktorene gjør at den beregnede årlige sedimentasjonen i Lovatnet synes meget høy.

Dette kan muligens forklares ved at sedimentene stammer fra andre kilder enn samtidig breerosjon. Lovatnets nedslagsfelt består for en stor del av bratte fjellsider. Her foregår det rimeligvis en betydelig erosjon, spesielt i løsmaterialet. I de siste ti-år er betydelige områder frilagt ved breenes tilbakegang. Disse områdene er bare

i liten grad dekket av vegetasjon og erosjonen kan her være betydelig. Det er imidlertid ikke utført noen undersøkelser av denne erosjonen, så det kan ikke sies noe sikkert om dens bidrag til sedimenttransporten inn i Lovatnet.

Sedimentprøvetaking i brevann vil være et viktig redskap for å studere sedimentasjonen gjennom meget lange tidsrom. Det gjenstår utvilsomt ennå endel når det gjelder å forbedre analyseteknikken, spesielt har det nå vist seg vanskelig å kunne skille flomvarv (pseudovarv) fra normale årsvarv. Det er mulig at detaljerte mikroskopiske analyser av materialet i de forskjellige skiktene ville kunne hjelpe noe, men dette er ikke utført. Videre kan det tenkes at pollenanalyser ville kunne gi en pekepinn idet vi vet at visse vekster blomstrer på høsten og dette burde kunne hjelpe oss i identifikasjonen.

SLUTTORD

De to undersøkte vassdragene fra Nigardsbreen og Engabreen drenerer totalt 65 km^2 og 50 km^2, respektive.

Avløpsforholdene for disse to nedbørfeltene med breprosenter på henholdsvis 72 og 76, er kjennetegnet ved en kort og intens avrenningssesong med store og hyppige vannføringsvariasjoner. Materialtransporten fra disse bredekkede feltene er preget av avløpsforholdene, idet økende vannføring gir store slammengder.

Ved breenes erosjon i berggrunnen blir det stadig produsert nytt løsmateriale. Dette blir ført fram med isen og deler av materialet blir etterhvert ført videre av bre-elvene.

Tabellen i fig. 24 viser en oppsummering av resultatene fra målingene i 1977 stilt sammen med tidligere års resultater. For hver bre-elv er det oppgitt antall uker med observasjoner og den beregnede transport av suspendert materiale i observasjonssesongen, utregnet på grunnlag av innsamlede prøver. Videre er det oppgitt et tall for den totale årlige materialtransporten for de enkelte bre-elvene. Dette tallet omfatter også transporten av suspendert materiale utenom observasjonssesongen og bunntransportert materiale. Transporten av suspendert materiale utenom observasjonssesongen er anslått på grunnlag av vær- og vannføringsforhold og sammenlikning med perioder med liknende vannføring innen observasjonssesongen. For de to bre-elvene der målinger ble foretatt i 1977 er transporten av grovt, bunntransportert materiale basert på direkte målinger av avleiringen på et delta umiddelbart nedenfor brefronten. I Visa er det tidligere år målt avsetning av grovt, bunntransportert materiale i en konstruert fangdam.

For et flertall av målestedene er bare transporten av suspendert materiale målt. Størrelsen av den totale materialtransporten for disse vassdragene er beregnet ved at bunntransporten er anslått etter en sammenlikning med liknende bre-elver der direkte målinger foreligger (Kjeldsen 1975 og 1977). For å kunne sammenlikne de enkelte brevassdragene er det til slutt angitt den spesifikke sedimentproduksjonen i tonn/km^2 og den tilsvarende erosjon i berggrunnen under breene målt i mm. Det første tallet er framkommet ved at den beregnede årlige totale materialtransporten er dividert med brearealet i nedslagsfeltet. Ved beregning av erosjonen er det regnet med en tetthet av 2,7 g/cm^3 for berggrunnen.

Tallet som kommer fram ved denne beregningsmåten, er et gjennomsnitt for erosjonen under hele det bredekkede areal. Erosjonen varierer imidlertid sterkt under de forskjellige delene av breene. Breene siger med forskjellig hastighet over berggrunnen. Under de platåaktige delene kan hastigheten være liten, mens den øker betydelig under de mest aktive delene av dalbreene.

Påliteligheten av tallene i tabellen er bl.a. avhengig av lengden av observasjonssesongen. Det er særlig viktig å få dekket de største flommene med hyppige prøver. Det har tidligere vist seg at 20-50% av den årlige transporten av suspendert materiale er "vasket ut" ved årets største flom. Det er derfor viktig å få dekket sommerens maksimalflom med tilstrekkelige målinger. Videre vil den første flommen ofte føre med seg relativt store mengder slam da elva under breen for første gang vasker med seg materiale fra områder hvor vann ikke har kommet til under en hel vinter.

Utover høsten kan det også forekomme store flommer da høststormene fører kraftige nedbørsområder inn fra vest. Vanligvis pågår observasjonene fram til midten av september og en får derfor dekket de flommene som har størst betydning for materialtransporten. Etter denne tid er temperaturen oftest blitt så lav at det meste av nedbøren faller som snø på breene. Men enkelte betydelige flommer kan

Fig. 24 Tabellen viser resultater fra sedimenttransportundersøkelser i 1977 stilt sammen med tidligere års resultater. Det er også tatt med resultater fra breer hvor undersøkelsene er avsluttet. For hvert observasjonssted er det oppgitt varigheten av observasjonssesongen i uker, målt transport av suspendert materiale, beregnet total årlig transport (inkluder bunntransportert materiale) og beregnet spesifikk sedimentproduksjon.

The table shows a summary of results from investigations of sediment yield at selected glaciers or glacial streams in Norway in 1977 and previous years. For each glacier or glacial stream the number of observations weeks, observed suspended load, estimated total annual transport (including calculated or observed bottom load), and values for spesific sediment yield are shown. Finally the corresponding erosion in mm was calculated, assuming that the erosion was equal under the entire glacier area.

INVESTIGATIONS OF SEDIMENT YIELD AT SELECTED GLACIERS IN NORWAY

Glacier or river name	Glacier area km²		1967	1968	1969	1970	1971	1972	1973	1974	1975	1976	1977
Nigardsbreen	47	Number of weeks with observations		12	13	16	18	15	15	15	16	16	15
		Observed suspended transport, tons		5200	13600	13800	10100	11850	10500	5500	9500	11750	7100
		Estimated total annual transport		10800*	20000*	32500*	14300*	31600*	31100*	13600*	28500*	21800*	10700*
		Sediment yield tons/km²		230	430	690	305	670	660	290	610	460	230
		Corresponding erosion in mm		0,09	0,16	0,26	0,11	0,25	0,24	0,11	0,23	0,17	0,08
Austre Memurubreen	9	Number of weeks with observations	9	11	10	10	12	10					
		Observed suspended transport, tons	4700	3300	6880	6750	2400	4350					
		Estimated total annual transport	7900	5800	8350	11600	5350	6250					
		Sediment yield tons/km²	880	670	930	1290	590	695					
		Corresponding erosion in mm	0,33	0,25	0,34	0,48	0,22	0,26					
Visa	33	Number of weeks with observations								13	14		
		Observed suspended transport, tons								13730	20250		
		Estimated total annual transport								18600	ca.33750		
		Sediment yield tons/km²								560	1030		
		Corresponding erosion in mm								0,21	0,38		
Bondhusbreen	12	Number of weeks with observations						14	17				
		Observed suspended transport tons						7000	6520				
		Estimated total annual transport						15500	13800*				
		Sediment yield tons/km²						1290	1160				
		Corresponding erosion in mm						0,48	0,43				
Erdalsbreen	11	Number of weeks with observations	6	10	11	15	14	14					
		Observed suspended transport tons	7840	6300	14720	19250	7050	7300					
		Estimated total annual transport	13300	12500	26700	33500	16700	12500					
		Sediment yield tons/km²	1210	1135	2430	3030	1515	1135					
		Corresponding erosion in mm	0,45	0,42	0,90	1,12	0,56	0,42					
Vesledalsbreen	4	Number of weeks with observations	7	11	11	13	13	13					
		Observed suspended transport tons	530	300	579	350	320	290					
		Estimated total annual transport	1050	600	1170	670	670	500					
		Sediment yield tons/km²	260	150	290	160	160	125					
		Corresponding erosion in mm	0,10	0,06	0,11	0,06	0,06	0,05					
Sunndøla	21	Number of weeks with observations								15			
		Observed suspended transport tons								2100			
		Estimated total annual transport								3250			
		Sediment yield tons/km²								345			
		Corresponding erosion in mm								0,13			
Engabreen	38	Number of weeks with observations			8	12	14	16	15	14	15	16	14
		Observed suspended transport tons			8650	11560	15449	19750	10770	11350	14150	11900	11000
		Estimated total annual transport			15800	22500	28000	35000	19580	22500	25050*	18300*	19000*
		Sediment yield tons/km²			415	590	735	920	515	590	660	480	500
		Corresponding erosion in mm			0,15	0,22	0,27	0,34	0,19	0,22	0,24	0,18	0,19
Trollbergdalsbreen	2	Number of weeks with observations				9	10	10	10	11			
		Observed suspended transport tons				2840	4200	3700	1660	725			
		Estimated total annual transport				5700	8800	7500	3750	1650			
		Sediment yield tons/km²				2850	4400	3750	1875	825			
		Corresponding erosion in mm				1,06	1,63	1,39	0,69	0,31			
Høgtuvbreen	2,6	Number of weeks with observations					6	8	10	11			
		Observed suspended transport tons					200	445	238	220			
		Estimated total annual transport						1800	1030	1000			
		Sediment yield tons/km²						690	395	385			
		Corresponding erosion in mm						0,26	0,15	0,14			

*) These figures are based on combined measurements of suspended load and increment of coarse material on developing deltas in front of the glaciers.

Fig. 24

også forekomme utover i oktober og iblandt t.o.m. i november i de vestlige delene av landet. Her er klimaet maritimt, og breene strekker seg enkelte steder langt ned i dalene.

Metodikken ved prøvetaking og oppmåling er beskrevet i innledningen og i omtalen av de enkelte vassdragene. For å kunne registrere de mange og store forandringer i bre-elvenes materialtransport så godt som mulig er det valgt en høy observasjonsfrekvens som under flommer økes ytterligere, særlig ved økende vannstand. Konsentrasjonen av suspendert materiale kan imidlertid variere i bølger som er så kortvarige at de ofte ikke kan observeres på den omtalte måten. Forsøkene med et instrument som kontinuerlig registrerer vannets lysgjennomtrengelighet, som til en viss grad er avhengig av innholdet av suspendert materiale, har vist slike variasjoner. Registreringene fra dette instrumentet er ennå ikke så fullstendige at vi har kunnet benytte oss av dem ved beregningen av transporten av suspendert materiale for hele sommersesongen. Men med de forbedringer som er foretatt, håper vi å få et fyldigere materiale i 1978.

Undersøkelsene av materialtransporten i brevassdragene har ved Nigardsvatnet pågått siden 1968 og ved Engabrevatnet siden 1969. Sammenliknet med tidligere års observasjoner og beregninger var materialtransporten fra Nigardsbreen i 1977 av det laveste som hittil er registrert (fig. 24). Ved Engabreen var også materialtransporten i 1977 svært lav. Dette henger naturlig sammen med at vannføringen generelt var svært lav i 1977 (fig. 4 og 12).

Den gjennomsnittlige slamkonsentrasjonen for hele observasjonssesongen var omlag 48 mg/l i elva fra Nigardsbreen og 108 mg/l i elva fra Engabreen. Tallet for Nigardsbreen er av det laveste som er registrert, bare ca. 70% av gjennomsnittet for de siste 9 årene. For Engabreen derimot er tallet det høyeste som er registrert nær 125% av gjennomsnittet for de siste 9 årene. Det kan henge sammen med at Engabreen siste år rykket kraftig fram med en høy og bratt front og viste større aktivitet enn på flere år. Men forskjeller i konsentrasjonen fra år til år kan også skyldes endringer i dreneringsmønsteret under breen, noe man ikke kan registrere.

Begge de undersøkte bre-elvene løper ut i et vatn i kort avstand fra brefronten. Deltaene som bygges ut ved innløpene blir begge steder nivellert og oppbloddet hver høst eller vinter for å kartlegge akkumulasjonen av materiale, som det er antatt vesentlig består av grovt bunntransportert materiale.

Elva fra Nigardsbreen ender i et forholdsvis grunt basseng innerst i vatnet, maksimalt dyp er her ca. 5 meter. Akkumulasjonen skjer jevnt uten påviselige utrasninger som er store nok til å vanskeliggjøre målingene. Det kan forekomme erosjon i deler av det akkumulerte løsmateriale når bre-elva skifter løp, men det skjer

da som regel bare en omlagring av materialet.

I Engabrevatnet derimot går det raskt ned mot et dyp på over 50 meter rett utenfor deltaet. Her skjer det nesten årvisst ras i de ukonsoliderte sedimentene. Materialet som raser ut fordeler seg over et så stort område at de unndrar seg nøyaktige målinger. Opploddingene i Engabrevatnet blir derfor ikke så pålitelige som de i Nigardsvatnet.

Bunntransporten beregnet på den ovennevnte måte, utgjorde ved Nigardsvatn i 1977 ca. 28% av den totale materialtransporten. Dette er den laveste andel som hittil er målt i de ni siste årene, men tallet avviker lite fra enkelte andre år da bunntransportens andel også var lav. Gjennomsnittet for de 9 årene er 48% med en variasjon fra 28 til 62% for de enkelte år.

I Engabrevatn har målingene bare pågått i 3 år. I 1977 var bunntransportens andel av materialtransporten 42%. Dette er nær tallet fra de to tidligere år nemlig 35%. Akkumulasjonen på deltaet i Engabrevatnet er lavere i forhold til transporten av suspendert materiale i bre-elva enn tilsvarende forhold i Nigardsvatnet. Det kan skyldes dybdeforholdene. I Engabrevatnet faller dybden som nevnt raskt rett utenfor deltaet, mens det i Nigardsvatnet er forholdsvis grunt. Det kan forårsake at en del av det grovere materiale i suspensjonstransporten akkumuleres innen den opploddete delen av Nigardsvatnet, mens det tilsvarende materiale i Engabrevatnet føres ut på større dyp utenfor det området som loddes opp. En nærmere undersøkelse av materialet innen de opploddete områdene i de to vatna vil kunne si noe om dette.

I forbindelse med planene om en utbygging av en del brevassdrag i Breheimen er det av interesse å få kunnskap om sedimentasjonsforholdene i Lovatnet der hovedkraftstasjonen er planlagt. I desember 1974 ble det derfor tatt opp prøver av bunnsedimentene i forskjellige deler av Lovatnet for å få et begrep om materialtransporten inn i Lovatnet i tidligere år.

De fleste prøvene som ble tatt opp viste god varvighet, dvs. vekslende lyse og mørke lag. Det har imidlertid vært vanskeligheter med å skille årsvarv fra de såkalte pseudovarv som er lag avsatt under enkelte større flommer samme år.

De forskjellige tolkningene av varvprøvene er forsøkt korrelert med vannføringsdata fra elva fra Lovatnet og med nedbørdata fra Bergen for tiden før 1900. Det er skissert 4 forskjellige tolkninger. Etter de to mest sannsynlige har sedimentasjonen i Lovatnet de siste årtiene vært snaut en cm pr.år.

SUMMARY

Introduction

Studies of suspended sediments in glacier streams have been carried out in Norway since 1967 at a number of selected glaciers. Before these systematic studies were started by the Norwegian Water Resources and Electricity Board, single studies were performed for shorter periods, mainly for the purpose of collecting data for thesis work by students at the University of Oslo.

The intensified studies started in 1967 at three selected glaciers in Southern Norway to collect data for engineers for their planning of future hydro-electric power stations. Water from high-mountain basins, many of them glacierized, should be diverted to reservoirs and channelled to power stations at sea level. The content of suspended sediment in the many glacier streams might cause technical problems (silting-up of reservoirs, increased wear in turbines, etc.) so information on the amount and the nature of solid particles in suspension were of great interest for the engineers. Further, the scientific discussion on the rate of glacier erosion in various areas made such investigations highly valuable from a theoretic point of view. A cooperation was therefore started between the Norwegian Water Resources and Electricity Board and the Department of Physical Geography at the University of Stockholm so that both aspects of the data collection could be considered.

In 1967 three glaciers were studied during a 6 - 9 weeks' long field season. Later the number of investigated glacier streams increased up to 1972 when 8 glaciers were studied during 10 - 16 weeks to obtain an almost complete picture of the total transport of suspended sediment throughout the entire melt season.

During the last few years it became clear that results from 5 - 6 consecutive field seasons at some selected glacier streams were sufficient for the engineers. Consequently, the sediment transport studies were terminated in 1973 at three of the selected streams and in 1974 at two more locations. At present the studies are continued at Nigardsbreen in Southern Norway and at Engabreen in Northern Norway. This report deals with results from these two glacier streams where continuous observations have been carried on since 1968 and 1969, respectively. A map, Fig. 1, shows the locations of sediment transport studies made since 1967.

In addition to the suspended sediment it is also of great interest to know the amount of bottom load. This was directly measured at Nigardsbreen in 1969 when a great fence was constructed across the stream. Later the amount of bottom load has been determined annually by repeated surveys of the delta increments which are caused by coarse material deposited by the glacier stream.

Sediment samples are taken normally 3 - 5 times daily but during periods of rapidly increasing water discharge generally one sample is taken every hour. All water samples are collected in 1-litre plastic bottles, the content is filtered in the field and the filtering paper is sent to the laboratory in Oslo for ashing. To investigate the representativity of single samples a special program is carried out to compare two and two samples taken simultaneously at certain occasions.

Sediment transport at selected glaciers in Norway, 1977

General

At the two investigated glaciers, Nigardsbreen and Engabreen, the winter accumulation was less than the average for the last few years (Wold 1978). The air temperature during the three summer months was also less than normal and, due to little summer precipitation, the water discharge proved to be less than normal for both glaciers. At Engabreen the summer run-off was less than ever recorded since 1969, cf. Fig. 6.

The field work started at the beginning of June and terminated in the middle of September. This long field period covers the most important part of the melt season, although a peak in water discharge was observed in the lake Engabrevatn at the end of September (Fig. 2). As late as in November it was observed another water discharge peak caused by high temperatures and much rain both in Southern Norway and in Northern Norway. The sediment transport during these unobserved periods has been estimated from known sediment concentration at similar discharge conditions at the end of the field season.

Nigardsbreen

A summary of the results obtained at Nigardsbreen - i.e. at the inlet and the outlet of the lake Nigardsvatn - is shown on Fig. 3. The highest peak flood this summer occurred on July 9 when a discharge of 40,5 m^3/sec. was observed at the outlet of the lake. This is not any unusual flow - much higher discharges have been observed during previous years, for example in 1970 when about 56 m^3/sec. was observed on June 25.

Calculations based upon the field data indicate that 7100 metric tons of suspended load was moved into the lake whereas 1850 tons were carried out of the lake. This means that about 74% was deposited in the lake, which is slightly less than the average for the last ten years (77%). The largest daily transport was observed on August 4 when the glacier stream carried 446 tons at a total water discharge of $2.6 \cdot 10^6 m^3$. The highest sediment concentration was found at 1300 hrs on July 10 when it was 1155 mg/l. This unusually high concentration was caused by a special flood originating from the burst of a local ice dam in front of the glacier. The

maximum sediment concentration observed during previous years ranges between 225 and 2000 mg/l.

Very little sediment transport can have taken place before the start of the field season on May 26. Similarly, after the end of the season on September 10, only relatively small amounts of sediment can have been moved by the stream. However, it has been estimated that about 600 tons were moved before and after the field season proper. The total transport of suspended material into the lake is therefore estimated to be in the order of 7700 metric tons.

The increment on the delta was determined during the fall 1977 when all the previous profiles were accurately surveyed. All calculations were made by Mr. S.R. Ekman and his results indicate that an average accumulation of 5.3 cm had taken place from 1976 to 1977. This corresponds to about 1500 m^3 or about 3000 metric tons. Based upon this it seems that the total transport of solid particles from the glacier into the lake amounted to approx. 10 700 metric tons which is less than ever observed since our investigations started in 1968 (Fig. 24). This amount of material corresponds to 0.08 mm of solid rocks removed from the entire glacier bed provided the bedrock density is set at 2.7 g/cm^3.

Engabreen

Investigations have been carried on at the front of Engabreen (38 km^2) since 1969 and results have been published annually in the report series from the Glaciology Section. Water samples are normally taken both at the inlet and at the outlet of the lake Engavatn (1.2 km^2) and the water discharge is continuously recorded on an automatic water level recorder. To obtain data on the amount of coarse material carried by the stream a series of profiles across the delta has been surveyed accurately every year. For the delta increment determinations for 1977 the field work was made in March 1978 when the lake was still ice-covered. Measurements were made every 5 m along 8 fixed profiles.

The summer field observations in 1977 comprised a period from June 1 to September 8. The discharge from the glacier was the lowest ever recorded, only 138 $\cdot 10^6 m^3$ which is 79% of the average for the period 1970-77 (Fig. 6). The glacier front has advanced approx. 20 m from 1976 to 1977 and the front is now in a more advanced position than before 1972.

A summary of the results from Engavatn 1977 is shown on Fig. 5. The methods have been the same as during previous years and they are slightly touched in the chapter dealing with Nigardsbreen.

The maximum in daily sediment transport occurred on August 3 when 590 metric tons were carried by the glacier stream. This transport peak was caused by very high

temperatures, even during the night the temperature was over 20°C. The daily discharge maximum occurred on August 6 due to a heavy rainfall after a period of hot weather. Almost 3 · $10^6 m^3$ water passed the gauging station that day but during previous years a daily dicharge of 2-6 · $10^6 m^3$ has been quite common. The highest peak flood ever recorded, 88 m^3/sec., occurred in 1971 whereas the highest peak flow in 1977 was only 35 m^3/sec.

The calculations indicate that 11 000 metric tons suspended material were carried by the stream from June 1 to September 8. Only 1470 tons were carried out of the lake which means that 87% of the suspended material was left on the lake bottom. The average for the last few years is 85%. It is estimated that the total transport was 12 800 metric tons from the glacier taking into account the periods before and after the observation season proper.

Based upon surveys made along profiles crossing the delta it is supposed that about 4500 metric tons were deposited in 1977. However, when using another method for calculations (iso-lines drawn through points of equal accumulation) about 5200 metric tons seem to have been deposited. This is a difference of about 10% which may be regarded as acceptable because subaquatic movements along the delta front are relatively frequent and this makes the measurements very difficult and slightly unreliable on the outer parts of the delta. In 1977 many such movements must have taken place and it is therefore estimated that about 8000 metric tons were deposited on the delta. Adding this to the amount of suspended sediment the result is that about 19 000 metric tons of solid particles have been discharged from the glacier - the bottom load is accounting for 42% of this amount.

An electronic device to monitor variations in turbidity

Experiments have taken place since 1971 to construct a recorder which could be used to monitor variations in sediment concentration between each single sample (about 5 samples per day). The need for such a device became clear in 1969 (Ekman 1970, Andersson & Lundén 1970) because "clouds" of sediments seemed to pass the observation point at several occasions, and then the sediment concentration may be much larger than at the time when samples are taken. Consequently, if a straight-line interpolation is made between each sample, a sudden variation in sediment concentration will "disappear" and not accounted for. An instrument was therefore constructed to investigate whether single samples were representative for a longer period or not. The recorder which was in use during the summer of 1977 showed useful results in the time period from July 8 to August 14. Another simpler and non-recording instrument was in use from June 27 - September 10.

The instrument is based upon the idea that clear water has a higher light transmission than silty water and the sensor is therefore placed in a tube where river

water passes between the sensor and a light source. The first version had a normal bulb as a light source but in 1976 this was replaced by a gallium-arsenide light diode (Texas TIL 31). This is delivering infrared light (940 nanometer) and the light is stabilized by an electronic device. The matching photo transistor (Texas TIL 81) is directly connected to a "Rustrack" recorder. This arrangement takes much less energy than the previous model so the car battery will last much longer before re-charging is necessary.

The results obtained in 1977 were relatively satisfactory although the recorder did not run continuously throughout the entire field season. An example of a record is shown in Fig. 11. It can be seen that two peaks in water discharge caused high sediment concentrations which were not covered by the normal sampling program (shown by X in the illustration). At 1900 hrs on August 3 and 0200 on August 4 the sediment concentration was so large that it must have passed much more sediment than was calculated according to the conventional method. About 512 metric tons must have passed during these two discharge peaks whereas only 268 tons were calculated according to the conventional method.

An attempt was made to "calibrate" the instrument and the result is shown in Fig. 13, and the above-mentioned calculation was based upon these preliminary data, compare Fig. 12.

The most troublesome problem connected to this new instrument is the fact that particles of ice may follow the water into the intake pipe and prevent water to flow continuously between the light source and the sensor.

The energy drain, 170 mA, is much smaller than before but still this causes an energy problem; the battery drain can possibly be compensated by a wind-driven generator - an idea which is planned for next year.

Bottom sampling in the lake Lovatnet

Introduction

The background for this special investigation in Lovatnet, a lake on the western side of the ice-cap Jostedalsbreen, was to produce data for a calculation of the sedimentation rate in the lake, both at present and in the future. It is planned that a great number of glacier streams will be diverted in connection with a new water power plant utilizing glacier melt water from large parts of the ice-cap. A similar investigation was made in 1974 in the Lake Bondhusvatn (in Hardanger, south of Bergen), so the technique was well known. However, the depth of this lake, 90 - 130 m, made the field work more complicated and time-consuming.

The lake Lovatnet is 52 m a.s.l., its length is 11 km, its width about 2 km giving a total area of 10.2 km^2. The total drainage basin is 218 km^2, of which 78 km^2

(or 36%) are glacier-covered. The lake consists of three main basins, an inner basin only 35 m deep and 2.5 km long; a middle basin 130 - 138 m deep, about 5 km long and, finally, an outer basin about 90 m deep and 3.5 km long. Each of these basins have an almost flat bottom, cf. Figs. 14 and 15. It is unlikely that the glacier has reached this lake since the deglaciation of Scandinavia so it is anticipated that the sedimentation has taken place during the last 9000 years or so. However, the slopes from the shores to the bottom are very steep so it is supposed that subaquatic landslides take place, a feature which can be seen in some of the bottom samples. Sample F is probably most influenced from such slides but also sample B, G and J showed disturbances.

Three large glacier streams run into the lake (Fig. 16), two of them deliver most of their sediments into the inner basin, where the coarsest parts of it will be more or less completely deposited whereas one, Bødalselva, discharges directly into the middle basin. However, there is a small lake higher up in the river, Sætrevatnet, which is supposed to be a sedimentation basin for most of the coarse particles carried by this stream. Thus, it is supposed that Bødalselva carries mainly suspended material and, similarly, from the inner basin only fine, suspended material will proceed into the middle basin. For this reason it was decided to take bottom samples only in the middle and outer basins.

Earlier investigations

Prof. Kåre Münster Strøm took in 1932 a bottom sample from a depth of 132 m in Lovatnet, which means that the sample was taken somewhere in the middle basin, probably not far from our sample D. His sample was 5.5 cm long with clay on the top, then some silt and sand and, finally, consisting of grey clay in its lower part. The middle 1.3 cm with silt and sand was interpreted as originating from the large landslide in 1905 (see below). If this was the case the annual sedimentation would have been only 0.5 mm/year. Prof. Strøm estimated that the total sedimentation in the lake was in the order of 1 mm/year. As mentioned later, this figure does not at all compare with the data obtained by our investigations.

Sampling and interpretation

All the bottom samples taken in December 1974 were collected in a Kullenberg piston corer which can take almost undisturbed bottom samples from any water depth. In total ten 1-2 m long vertical samples were taken from various places, cf. Fig. 17.

The samples were taken in cylindrical plastic tubes and contained a relatively high amount of water. In the laboratory part of this water evaporated and some shrinkage took place. However, it has always been possible to adjust for this

shrinkage, so the actual depth of each layer could be established before various diagrams were constructed.

In the laboratory a great number of light and dark horizons were identified and, in most cases, it is supposed that two such different-coloured layers together form a "varve" - an annual deposit. After that all samples were photographed, cf. Fig. 20, the main problem was to identify all single layers and decide whether or not they were genuine varves or "pseudo-varves" (false varves) which are supposed to form during single summers when discharge variations are great so that large variations appear in the sedimentation rate, thus producing several thin light/dark layers.

By comparison between selected layers in the samples F, A, E, G, and B it was possible to correlate certain varves. It was first supposed that the great landslides in 1905 and 1936 would have produced layers or disturbances which could be easily detectable in the samples. However, it became soon clear that the extremely high flood in 1925, when the discharge amounted to more than 100 m^3/sec. during 6 days (the normal is 50 m^3/sec), proved to be a much more significant and predominant feature in all samples. Fortunately, there exists a good record of water discharge variations since 1900 and these data have been invaluable in the interpretation work. Thick varves, i.e. a result of a heavy sedimentation which again means that a large sediment transport must have taken place into the lake, can be found for all the years 1901, 1914, 1925 and 1926, i.e. during years when high water discharges were recorded in the summer season, May 1 - October 1.

For the time before 1900 it has been possible to correlate thick varves with years of high temperature (and consequently large meltwater production from the glacier) and, to some extent, with precipitation data for the summer season. It was necessary to use meteorological data from Bergen where the longest observation series are available. Further, historical data on unusual high floods could also help in the laboratory work. It was quite clear that known floods from 1888, 1860, 1856, 1842, 1832 and 1820 could be found in most of the samples.

Subaquatic landslides have caused disturbances in some of the samples. For example, in sample G it is obvious that before 1888 it must have been a landslide near the sampling site because a rock of gneissic material, 2 x 2 cm, was found approx. 90 cm from the surface, cf. Fig. 21. This rock must have been brought to the place by a landslide because the sample is fairly disturbed in that area. The deeper part of the sample, however, is quite normal with well developed varves. Similarly, the regular varves suddenly disappear in sample B at a depth of 85 cm and no real layers can be distinguished under that depth. This indicates that bottom material must have moved to the place, probably from areas near the delta

of the river Brengselva which discharges into the lake only 450 m from the sampling site.

The rate of sedimentation is clearly increasing from the outer basin towards the inner basin, a fact which was well demonstrated in the sample D which contains coarser material, consisting of silt and sand, and with less developed varves. A layer at 150 cm can be correlated with a layer 80 - 90 cm in sample C, indicating a much higher sedimentation rate in D.

Most of the samples have a top layer, probably consisting of material sedimented during the years 1970-74, without clear individual layers. Therefore the samples are compared with sample H where the layer from 1974 could be clearly identified, and other samples are adjusted accordingly, cf. Fig. 22.

Comparisons between various samples

The samples taken in the outer basin indicate that the total sedimentation during the period from 1860 to 1970 is almost equal in that basin. About 95 cm or slightly less than 1 cm/year was deposited in this part of the lake. By comparison between sample B, C and D only one single layer could be definitely found and well defined in all samples, namely the layer from 1925. Based upon the position of this layer, it seems that the rate of sedimentation increases from B to C and further to sample D.

Correlations

Attempts have been made to correlate the thickness of single annual varves with various data obtained elsewhere, i.e. water discharge records, summer air temperature, summer precipitation and, finally, historic events. High water discharge seems to be generally well correlated with the summer air temperature - only occasionally it seems that the summer precipitation is more dominant. However, such high precipitation figures will only show up in the samples when the summer temperature is already relatively high, in cold summers there is no good correlation between precipitation and varve thickness. This is contrary to results found in the lake Bondhusvatn where a relatively high correlation was found between precipitation and discharge, and hence, to varve thickness.

It is a fairly good correlation between water discharge from Lovatnet and the summer air temperature as measured in Oppstryn which is situated only 13 km north of the lake. This indicates that the glacier melt is a most important factor for water discharge variations in this area, although only 36% of the drainage basin is glacier-covered, cf. Fig. 16.

In the table on page 46 all recorded discharge peaks since 1900 are plotted and from the diagram, Fig. 23, it is clear that a relatively heavy layer was deposited

during these years, although with some exceptions. Before the year 1900 when no discharge data are available, there is a relatively good correlation between summer temperatures in Bergen and varve thicknesses, particularly in sample H and E.

Some attempts have been made also to correlate variations in varve thickness from Lovatnet with samples taken 1974 in Bondhusvatn. It was found a fairly good correlation between deposits dating from historical events in 1898, 1860, 1856, 1852 and 1820 whereas some other obvious peaks from Lovatnet, for example 1901, 1925, etc. were not found in Bondhusvatn. The marked peak 1921 in Bondhusvatn is visible in the samples from Lovatnet but it is not so pronounced. This can be explained by the fact that this peak was apparently caused by high precipitation, and - as mentioned above - the precipitation is much more important for variations in varve thicknesses in Bondhusvatn than in Lovatn.

The Lake Lovatnet is known for large catastrophic landslides with great losses of farming land and human lives. Sixty-one people were killed on January 15, 1905 and seventy-three people were killed on September 13, 1936, when no less than 1 000 000 m^3 debris fell from the mountain Ravnefjell into the inner basin causing a wave which reached 74 m above normal lake level. A similar amount of debris fell into the lake on June 22, 1950, but a much smaller wave was then observed. It was previously supposed that all these landslides should have given definite traces in the bottom layers. A relatively thick layer containing organic material was in fact found in most of the samples at a depth of approx. 50 cm and this may originate from 1905 but neither any of the other above-mentioned landslides nor other earlier known landslides (1755, 1884, 1893, 1896) seem to have given any marked horizons in the samples. There is a slight possibility that the event in 1893 can be correlated with a special layer in sample H, G and B but this is only a speculation because there is a much better correlation between known flood situations and heavy varves. We know from various sources that unusual high water discharges have occurred in the years 1734, 1773, 1789, 1813, 1820, 1832, 1842, 1856, 1860 and 1898. Most of these are found in the samples, representing relatively heavy deposits.

Conclusion

The greatest difficulty in the interpretation of the samples from Lovatnet was the problem to distinguish between true varves and pseudo-varves. A great deal of subjective judgement was necessary and experience obtained from similar samples taken in Bondhusvatn was most useful. Although certain typical years can be distinguished in almost all the samples, some misinterpretations may have taken place for periods between these "bench marks" which were used when the varve diagram was constructed. A larger number of samples from various parts of the lake could

perhaps have made the identification more reliable and, particularly, information on the annual suspended sediment input in the lake would have been invaluable, so that a calculation could be made of the expected varve thickness for single years.

Four possible solutions for the annual sedimentation in the lake have been put forward. Two of these indicate a sedimentation rate of 7.0 - 8.6 mm/year, see below. The third method, based upon Prof. Strøm's investigation in 1932 indicate only one mm sedimentation per year. A sedimentation of 3.3 mm/year will be the result if all visible layers are taken as true varves. According to this accounting method the total amount of "annual layers" will be approx. 250.

The alternative giving 1.0 mm/year is doubtful and the last mentioned alternative does not show any correlation with variations in water discharge and must be discarded.

To calculate the total sedimentation in the lake it was possible only to use samples taken in the outer and middle basins, whereas the inner basin was not investigated at all, mainly due to practical problems.

Most of the samples were taken far from the main sources of sediment and the samples C and D, which were taken closer, are less reliable. However, taking all data into account it is estimated that the annual sedimentation is in the order of 8 - 9 mm/year at present, although a slight decrease in the annual sedimentation since the 1940's can be seen. The base for the estimated sedimentation rate is shown in the table on page 53 where also two various calculations are made of the total volume of deposited material, amounting to some 60 - 70 000 m^3 in the part of the lake which is deeper than 80 m. Above 80 m it is supposed that landslides and re-deposition take place so frequently that any calculations from samples taken here would be useless.

Sediment sampling in glacier lakes has proven to be an important tool to study sedimentation during a long series of years. Some problems still remain to solve, particularly to distinguish true varves from pseudo-varves. Possibly palynological studies may help to solve this problem in areas where a definite difference in flora is present at the beginning and at the end of the summer.

LITTERATUR

Andersson, J.L. & Lundén, B.
1972: En metodundersökning vid Nigardsbreen, p. 9-20, in: Ziegler, T. (ed.): Slamtransportundersøkelser i norske bre-elver 1970. Rapport nr. 1/72, Norges vassdrags- og elektrisitetsvesen, Hydrologisk avdeling, 133 p. (English summary).

Bouma, A.H.
1969: Methods for the study of sedimentary structures. John Wiley & Sons, New York, 458 pp.

Ekman, S.R.
1970: Slamundersökning och utvärdering, metodik och materialtransport i valda glaciärälvar med naturlig sedimentationsbassäng, p. 8-40, in: Østrem, G., Ziegler, T. & Ekman, S.R. (ed.): Slamtransportundersøksler i norske bre-elver 1969. Rapport nr. 6/70, Norges vassdrags- og elektrisitetsvesen, Hydrologisk avdeling, 68 p. (English summary).

1972: Nigardsbreen, p. 24-29, in: Ziegler, T. (ed.): Materialtransportundersøkelser i norske bre-elver. Rapport nr. 1/72, Norges vassdrags- og elektrisitetsvesen, Hydrologisk avdeling, 133 p.(English summary).

Hagen, J.O.
1977: Glasiologiske undersøkelser i Norge 1976. Rapport nr. 7/77, Norges vassdrags- og elektrisitetsvesen, Hydrologisk avdeling, 94 p. (English summary).

Haakensen, N.
1975: Materialtransportundersøkelser i norske bre-elver 1973. Rapport nr. 4/75, Norges vassdrags- og elektrisitetsvesen, Hydrologisk avdeling, 92 p. (English summary).

Kjeldsen, O.
1975: Materialtransportundersøkelser i norske bre-elver 1974. Rapport nr. 3/75, Norges vassdrags- og elektrisitetsvesen, Hydrologisk avdeling, 92 p. (English summary).

1977a: Materialtransportundersøkelser i norske bre-elver 1975. Rapport nr. 3/77, Norges vassdrags- og elektrisitetsvesen, Hydrologisk avdeling, 47 p. (English summary).

1977b: Materialtransportundersøkelser i norske bre-elver 1976. Rapport nr. 8/77, Norges vassdrags- og elektrisitetsvesen, Hydrologisk avdeling, 34 p. (English summary).

Norges Geotekniske Institutt
1977: Lodal kraftstasjon, foreløpig vurdering av faren for skred. Oppdragsrapport 77440-1 for NVE, Statskraftverkene, desember 1977 (20 p. + maps).

Pettijohn, F.J. & Potter, P.E.
1964: Atlas and glossary of primary sedimentary structures. Springer Verlag, Berlin, 370 p.

Roald, L.
1971: Breavløpet som funksjon av meteorologiske parametre, p. 80-99, in: Tvede, A.M. (ed.): Glasiologiske undersøkelser i Norge 1970. Rapport nr. 2/71. Norges vassdrags- og elektrisitetsvesen, Hydrologisk avdeling, 111 p. (English summary).

Strøm Münster, K.
1927: Bunnavleiringer i innsjøer. N.G.T., Bd. 9, p. 343-357.

1934: Recente bunnavleiringer i norske innsjøer. N.G.T., Bd. 13, p. 73-78.

1932: Nordfjord Lakes, A limnological survey. Det Norske Videnskaps-Akademi i Oslo. I Matem.-Naturv. Klasse 1932, No. 8, p. 7-20 and p. 49-56.

Tornås, S.
1968: Slamtransport i noen utvalgte breelver, p. 67-96, in: Østrem, G. and Pytte, R. (ed.): Glasiologiske undersøkelser i Norge 1967. Rapport nr. 4/68, Norges vassdrags- og elektrisitetsvesen, Hydrologisk avdeling, 131 p. (English summary).

1969: Slamtransport i noen utvalgte bre-elver, p. 97-123 in: Pytte, R. (ed.): Glasiologiske undersøkelser i Norge 1968. Rapport nr. 5/69, Norges vassdrags- og elektrisitetsvesen, Hydrologisk avdeling, 149 p. (English summary).

Wold, B. & Haakensen, N.
1978: Glasiologiske undersøkelser i Norge 1977. Rapport nr. 3/78, Norges vassdrags- og elektrisitetsvesen, Hydrologisk avdeling, 54 p. (English summary).

Ziegler, T.
1972: Slamtransportundersøkelser i norske bre-elver 1970. Rapport nr. 1/72, Norges vassdrags- og elektrisitetsvesen, Hydrologisk avdeling, 133 p. (English summary).

1973: Materialtransportundersøkelser i norske bre-elver 1971. Rapport nr. 4/73, Norges vassdrags- og elektrisitetsvesen, Hydrologisk avdeling, 91 p. (English summary).

1974: Materialtransportundersøkelser i norske bre-elver 1972. Rapport nr. 2/74, Norges vassdrags- og elektrisitetsvesen, Hydrologisk avdeling 95 p. (English summary).

Østrem, G. & Ziegler, T.
1969: Atlas over breer i Sør-Norge (Atlas of glaciers in South Norway). Medd. nr. 20. Norges vassdrags- og elektrisitetsvesen, Hydrologisk avdeling, 207 p.

Østrem, G., Ziegler, T. & Ekman, S.R.
1970: Slamtransportundersøkelser i norske bre-elver 1969. Rapport nr. 6/70, Norges vassdrags- og elektrisitetsvesen, Hydrologisk avdeling, 68 p. (English summary).

Østrem, G. & Olsen, H.C.
1975: Bunnprøvetaking i Bondhusvatn, p. 50-75, in Kjeldsen, O. (ed.): Materialtransportundersøkelser i norske bre-elver 1974. Rapport nr. 3/75, Norges vassdrags- og elektrisitetsvesen, Hydrologisk avdeling, 92 p. (English summary).