

Bul.
NORGES VASSDRAGS-OG ELEKTRISITETSVESEN



MATERIALTRANSPORTUNDERSØKELSER
i
NORSKE BRE-ELVER
1978

RAPPORT NR. 3-79

VASSDRAGSDIREKTORATET
HYDROLOGISK AVDELING

OSLO JULI 1979

NORGES VASSDRAGS-
OG ENERGIDIREKTORAT
BIBLIOTEKET

NORGES VASSDRAGS-OG ELEKTRISITETSVESEN



MATERIALTRANSPORTUNDERSØKELSER

i

NORSKE BRE-ELVER

1978

REDIGERT AV O.KJELDSSEN

BIDRAGSYTERE: S.R.EKMAN, O.KJELDSSEN OG G.ØSTREM

RAPPORT NR. 3-79

VASSDRAGSDIREKTORATET

HYDROLOGISK AVDELING

OSLO JULI 1979

NORGES VASSDRAGS-
OG ENERGIDIREKTORAT
BIBLIOTEKET

ISBN 82-554-0197-0

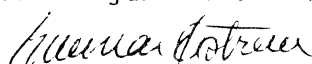
FORORD

Brekontoret er en relativt liten enhet av Vassdragsdirektoratet, organisert som en del av Hydrologisk avdeling, NVE. Arbeidsoppgavene er konsentrert til undersøkelser av landets breer, vesentlig deres hydrologiske betydning. Dette kaller vi massebalanseundersøkelser og slike studier foretas på en rekke utvalgte breer, både i Sør-Norge og i Nord-Norge. Vi har både valgt ut breer som har en mer generell interesse, og breer av spesiell interesse fordi de ligger innenfor nedslagsfeltene til planlagte kraftstasjoner.

En annen viktig del av Brekontorets virksomhet er undersøkelser av det smeltevannet som kommer fra breene. Det inneholder relativt store mengder med stein, grus og sand som er produkter fra breenes erosjon i landskapet. Hvis slikt slamrikt vann skal brukes til kraftproduksjon, vil man snart møte mange tekniske problemer. Derfor har vi valgt ut noen breelver der vi prøver å skaffe opplysninger om mengden og arten av transportert materiale. Valget av disse bre-elveene er selvsagt diktert av de foreliggende utbyggingsplaner, og for tiden undersøkes to ganske store breer der man har planer om å overføre vannet til et kraftverksmagasin. Disse breer er Nigardsbreen, en utløper fra Jostedalsbreen og Engabreen, en utløper fra Svartisen. Der utføres for tiden detaljerte undersøkelser av det slammet som bre-elveene fører med seg og hvor stor del av det som sedimenteres i de vannene som ligger like foran Bretungen. Det grovere materialet sedimenteres på et delta ved innløpet i vannene. Deltaene nivelleres og loddas opp hver høst for å kartlegge sedimentasjonen.

Foreliggende rapport beskriver resultatene fra undersøkelser utført i 1978, mens resultater fra tidligere års undersøkelser er publisert i årlige rapporter utgitt i samme serie. Rapporten er et resultat av et team-work innen Brekontoret, men cand.real. Ola Kjeldsen har hatt hovedansvaret med fremstillingen av publikasjonen, både tekst og figurer. Det er meningen at undersøkelsene ved disse to breene skal fortsette en tid fremover fordi et stort sedimentasjonskammer vil bli sprengt ut et sted under disse breene for å samle opp alt det grove materialet, og da er det selvsagt viktig å kjenne til årlige variasjoner i totaltransporten slik at kamrene kan bli riktig dimensjonert.

Oslo i juni 1979



Gunnar Østrem

INNHold	Side
Innledning	3
Materialtransportundersøkelser ved breer i Norge, 1978 (O. Kjeldsen)	7
Sammenfattende beskrivelse	7
Vær- og vannføringsforholdene	7
Generell kommentar til årets observasjoner	8
Nigardsbreen	8
Innledning	8
Resultat	9
Nigardsvatnet som sedimentasjonsbassäng, kort sammanfattning av 10 års mätningar av glaciärälvens deltaområde (S.R. Ekman)	15
Engabreen (O. Kjeldsen)	19
Innledning	19
Resultat	20
Bondhusbreen	24
Innledning	24
Resultat	26
Sluttord	26
Summary (G. Østrem)	30
Introduction	30
Sediment transport at selected glaciers in Norway, 1978	32
General	32
Nigardsbreen	33
Engabreen	35
Bondhusbreen	36
Litteratur	38

INNLEDNING

Brekontoret har i en rekke år undersøkt materialtransporten i endel utvalgte bre-
elver. Resultatene fra disse undersøkelsene publiseres i årlige rapporter. Hen-
sikten med disse rapportene er å referere resultater fra pågående undersøkelser.
Stoffet presenteres derfor stort sett på samme måte som tidligere. Fyldigere be-
skrivelse av målestedene, omtale av metodikken etc. er vanligvis gitt i den rap-
porten som først omtaler målingene på vedkommende sted. Det henvises derfor til
disse tidligere rapporter for en mer utførlig omtale av de aktuelle målestedene i
1978 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.

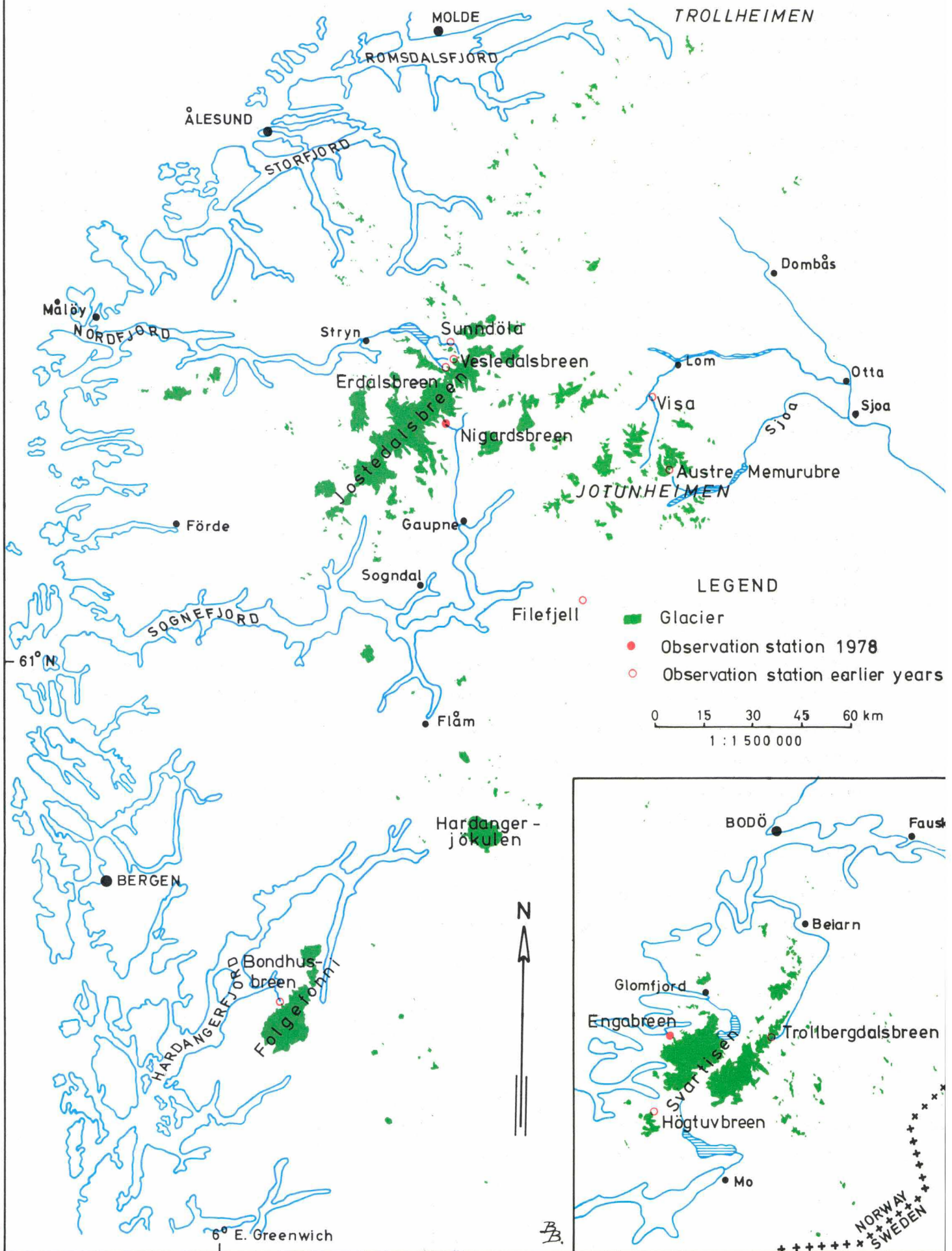
Brekontoret har vært engasjert i undersøkelser av materialtransporten i bre-elver
siden 1967. Da ble målinger satt igang ved 3 breer i Sør-Norge (fig. 15). Under-
søkelsene ble utvidet fram til 1972 da de omfattet i alt 8 breer, derav 3 i om-
rådet omkring Svartisen i Nordland. I tillegg ble det foretatt en undersøkelse
ved Filefjell representative IHD-område i 1971 og 1972 for å kunne gjøre en sammen-
likning med et brefritt høyfjellsnedbørfelt. Senere har antall målesteder blitt
reduisert, mens enkelte nye steder er kommet i tillegg. De 3 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.

I samarbeid med Vestlandsverkene ble det i 1978 foretatt oppmåling av sedimenta-
sjonen i sedimentasjonskammeret for vannet fra det subglasiale inntaket under
Bondhusbreen. Målingene her vil fortsette og det er planlagt en utvidelse av måle-
programmet i 1979.

Ved de to brevassdragene der det nå foretas undersøkelser, har målingene pågått
i henholdsvis 11 år for Nigardsbreen og 10 år for Engabreen. Utover det vass-
draget 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.

FIG. 1

STUDIES OF SEDIMENT TRANSPORT AT NORWEGIAN GLACIER STREAMS



I Norge har bre-elvene som regel en vesentlig større materialtransport enn elver fra brefrie nedslagsfelt. Dette skyldes at bre-elvene stadig får tilført nytt løsmateriale som 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 i noen grad 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 1978 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 1978 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 midten 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. Wold og Repp 1979.

De fleste undersøkelsene har vært konsentrert om transporten av suspendert materiale i bre-elvene. Ved Nigardsbreen og Engabreen, der undersøkelser ble foretatt i 1978, er det også blitt foretatt målinger av bunntransportert materiale. Ved begge disse breene ligger det et vatn umiddelbart nedenfor brefronten. Transporten av grovt, bunntransportert materiale er blitt beregnet ved å måle delta-tilveksten ved innløpet i vatnene.

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.

Mengden 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. Ved Nigardsvatn og Engabrevatn tas det vannprøver både ved innløpet (5 i døgnet) og i 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 undersøkelse 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 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. 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 sandpartikler 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 1978 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.

MATERIALTRANSPORTUNDERSØKELSER VED BREER I NORGE, 1978

Sammenfattende beskrivelse

Sommeren 1978 fortsatte undersøkelsene av materialtransporten i de samme bre-elvene som året før. I Sør-Norge gjelder det vassdraget fra Nigardsbreen på østsida av Jostedalsbreen og i Nord-Norge vassdraget fra Engabreen. Denne siste breen er en vestlig utløper fra Svartisen med avløp til Holandsfjorden.

Ved Nigardsbreen er det foretatt målinger av transport av suspendert materiale både ved innløpet og ved utløpet av Nigardsvatnet 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 målt på nærliggende meteorologiske stasjoner var vinteren 1977-1978 noe over normalen rundt Jostedalsbreen og noe under normalen ved Svartisen.

(Klimatologisk Månedsoversikt fra Det Norske Meteorologiske institutt). Vinteren begynte tidlig både i nord og sør da temperaturen i september begge steder var ca. 2°C lavere enn normalt. Til gjengjeld var temperaturen i mai noe høyere enn normalt, særlig rundt Jostedalsbreen (ca. 1.5°C).

Nedbøren i vintermånedene var for begge de aktuelle breområdene 15-20% under normalen. Dette stemmer bra med vinterbalansen på Engabreen som bare var 80% av gjennomsnittet for de siste 8 årene. På Nigardsbreen var vinterbalansen 94% av gjennomsnittet for de siste 17 årene (Repp & Wold 1979). Måleperiodene for de to breene er jo kortere enn de 30 årene som normaltallene er regnet ut fra. Det kan forklare avviket for Nigardsbreen. Siste del av mai og hele juni var varmere enn normalt i Vest-Norge, mens temperaturen i juli og august var noe under normalen. I sum var temperaturen sommeren 1978 i Vest-Norge omtrent som i et normalår.

Avrenningen for perioden mai-oktober (fig. 4) var litt i overkant av gjennomsnittet for de siste 16 årene, mens sommerbalansen for Nigardsbreen i 1978 var 117% av gjennomsnittet for samme periode.

Omkring Engabreen var det mildt og lite nedbør fra slutten av mai. I slutten av juni og begynnelsen av juli var det varmt og tørt. Etter en kort periode med kjøligere vær og nedbør midt i juli ble det igjen varmt (fig.10). I august var temperaturen mer skiftende. I sum var temperaturen for hele sommeren noe i overkant av normalen.

Avrenningen for perioden mai-oktober (fig.11) var omlag lik gjennomsnittet for de siste 9 årene, mens sommerbalansen var en god del over gjennomsnittet.

Generell kommentar til årets observasjoner

Observasjonene ved de to undersøkte bre-elvene startet i månedskiftet mai-juni og ble avsluttet i midten av september. Denne perioden dekker den vesentligste delen av materialtransportsesongen. Noen dager etter at observasjonene var avsluttet forekom det en vannføringstopp ved begge observasjonsstedene. Særlig markert var denne i Nigardsvatnet (fig. 2). Mildt vær og nedbør i midten av oktober og begynnelsen av november førte til relativt høye vannføringer både i Vest- og Nord-Norge. Slamføringen ved disse flommene er beregnet ved å sammenlikne med slamføringer ved liknende vannføringer i slutten av observasjonssesongen.

Nigardsbreen

Innledning

Observasjonsstasjonen ved vassdraget fra den 48 km² store Nigardsbreen var i 1978 bemannet fra 30. mai til 15. 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 transporten av suspendert materiale. Prøver ble tatt både ved innløpet og utløpet av det ca. 0.47 km² 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. Det er også montert en limnigraf i Breelva mellom breen og vatnet. Den eksisterende vannføringskurven for dette vannmerket var åpenbart feilaktig. Sist sommer ble det derfor foretatt en del vannføringsmålinger her for å få et bedre grunnlag for beregning av vannføringskurven. Det mangler imidlertid ennå målinger ved høye vannstander. Dette vil bli forsøkt utført i 1979. På grunn av elvas karakter her må vannføringsmålingene utføres med "saltmetoden" (Østrem 1964).

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 langs bunnen.

Nettobalansen for Nigardsbreen var negativ i 1978 for andre år på rad (Repp & Vold 1979). Summen for de 17 årene det har vært foretatt massebalansemålinger på

OBSERVED GLACIERS IN NORWAY 1978

Daily discharge variations

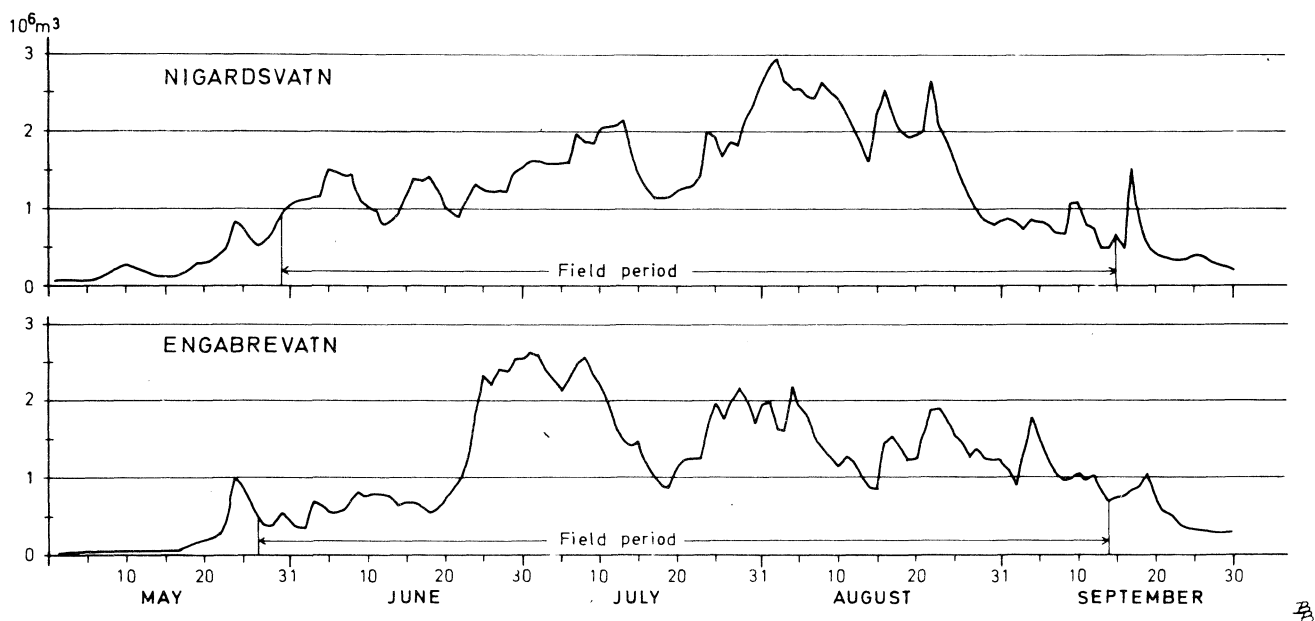


Fig. 2 Observerte døgnvannføringer i de undersøkte brevassdrag i 1978.

Daily discharge variations at observed glacier rivers in 1978.

Nigardsbreen er imidlertid positiv. Brefronten rykket siste år 14 m tilbake (O.Liestøl, pers.medd.). En rekke år med positiv massebalanse har foreløpig bare resultert i at brefrontens tilbakegang har minsket.

Resultat

Diagrammene i fig. 3 viser resultater av observasjoner og beregninger fra Nigardsvatnet i 1978. 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 avlesingen kl. 1900 pluss avlesingen kl. 0700 den påfølgende dag. Dette avviker fra den rutinen som følges ved Meteorologisk Institutt's stasjoner, der nedbøren måles 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. Brekontoret har alltid fulgt den ovennevnte (avvikende) rutine.

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

Fra slutten av mai steg vannføringen stort sett jevnt til midten av juli. På grunn av lavere temperatur sank da vannføringen og holdt seg lav i en 10-dagers periode. I slutten av juli steg vannføringen på nytt og 2. august fikk vi årets høyeste

vannføring med $38.5 \text{ m}^3/\text{s}$ i utløpet. Dette er ingen spesielt stor flom. Ved flere tilfeller i tidligere år har det vært flomtopper med vannføring på over $50 \text{ m}^3/\text{s}$ (Kjeldsen 1975, s. 17). Den høyeste registrerte vannføringen siden 1964 var $55.9 \text{ m}^3/\text{s}$ den 25. juni 1970.

Den største døgnvannføringen ut av Nigardsvatnet ble også registrert 2. august med $2.96 \cdot 10^6 \text{ m}^3$. Det totale avløpet i perioden fra mai til oktober var i 1978 $191 \cdot 10^6 \text{ m}^3$. Gjennomsnittet for de siste 15 årene er $181.9 \cdot 10^6 \text{ m}^3$.

Transporten av suspendert materiale inn i vatnet i observasjonsperioden 30. mai til 15. september er beregnet til 7200 tonn. Transporten ut av vatnet i samme periode var 1630 tonn. Det vil si at ca. 77% av det finmaterialet bre-elva førte med seg sedimenterte i Nigardsvatnet. Dette er omlag som gjennomsnittet for de 11 årene målingene har pågått. Fordelt på det 0.47 km^2 store Nigardsvatnet utgjør dette et ca. 6 mm tykt lag på bunnen av vatnet. Gjennomsnittlig for de siste 11 årene er avleiringen beregnet til 8.6 mm. Fordelingen av materialet skjer naturligvis ikke jevnt over hele vatnet fordi det meste - og særlig de grøvere fraksjonene - avsettes umiddelbart utenfor deltaet. Avsetningen avtar så utover vatnet og omtrent 1/4 av det suspenderte materialet føres videre ut av vatnet. At det av og til kan registreres grove korn ($> 1 \text{ mm}$) i prøver tatt i utløpet skyldes antagelig erosjon av bølger i strandsonen nær utløpet eller i elva.

Største målte døgntransport inn i vatnet i 1978 ble målt den 1. august med 174 tonn, altså dagen før årets høyeste vannføring ble registrert. Det vil si at slamføringen nådde sitt maksimum mens vannføringen steg. Da vannføringen dagen etter nådde sitt høyeste nivå hadde slamføringen allerede kulminert. Målt i mg/l var slamføringen ikke så høy den 1. august, bare drøyt 100 mg/l på det høyeste. Men på grunn av den høye vannføringen ble døgntransporten forholdsvis stor. Årets største målte slamtransport forekom under en kortvarig flom den 1. september. Elva flommet da opp meget raskt etter at den brøt gjennom en isdam som var dannet av et ras fra brefronten. Vannet rev da med seg mye materiale og slamføringen ble målt til 1510 mg/l da flommen var på sitt høyeste.

I tiden før observasjonssesongen tok til den 30. mai var vannføringen lav med en mindre topp den 24. (fig. 4), utenom dagene omkring denne flommen var det ventelig ingen materialtransport av betydning i bre-elva. Slamtransporten før observasjonssesongen beregnes ved å anta at slamføringen er lik eller noe høyere enn slamføringen ved tilsvarende vannføringer i begynnelsen av observasjonssesongen. Slamtransporten inn i vatnet før observasjonssesongen er etter dette anslått til drøyt 200 tonn. Etter observasjonssesongens slutt den 15. september forekom det en liten flom den 17. september. Vannføringen holdt seg forholdsvis høy til langt ut i november på grunn av mildt vær i oktober og første del av november. Etter en sammen-

NIGARDSVATN 1978

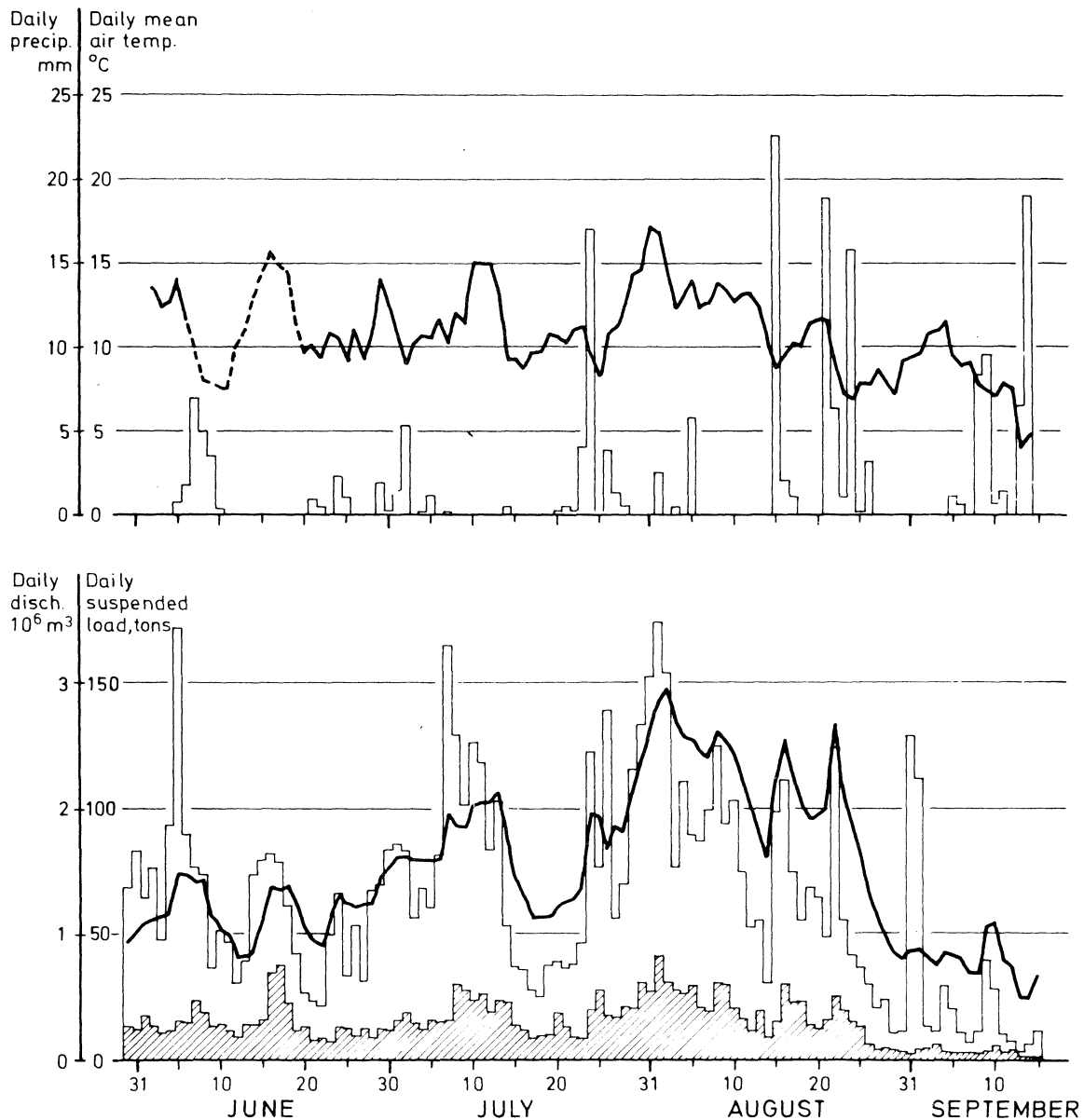


Fig. 3 Det øverste diagrammet viser døgnlig nedbør (søyler) og døgnmiddeltemperaturen (heltrukken strek) målt i løpet av observasjonssesongen ved Nigardsvatnet i 1978. Det nederste diagrammet viser den døgnlige vannføringen (heltrukken strek) målt ved utløpet av vatnet og den beregnede transporten av suspendert materiale ved innløpet (åpne søyler) og ved utløpet (skraverte 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 1978 observation season. The lower diagram shows daily variations in water discharge (line) from the lake and suspended sediment entering (open columns) and leaving (hatched columns) the lake. The difference is an indicator of the lake's efficiency as a sedimentation trap.

NIGARDSVATNET

WATER DISCHARGE

1969 - 1978

TOTAL
May-oct.
 10^6 m^3

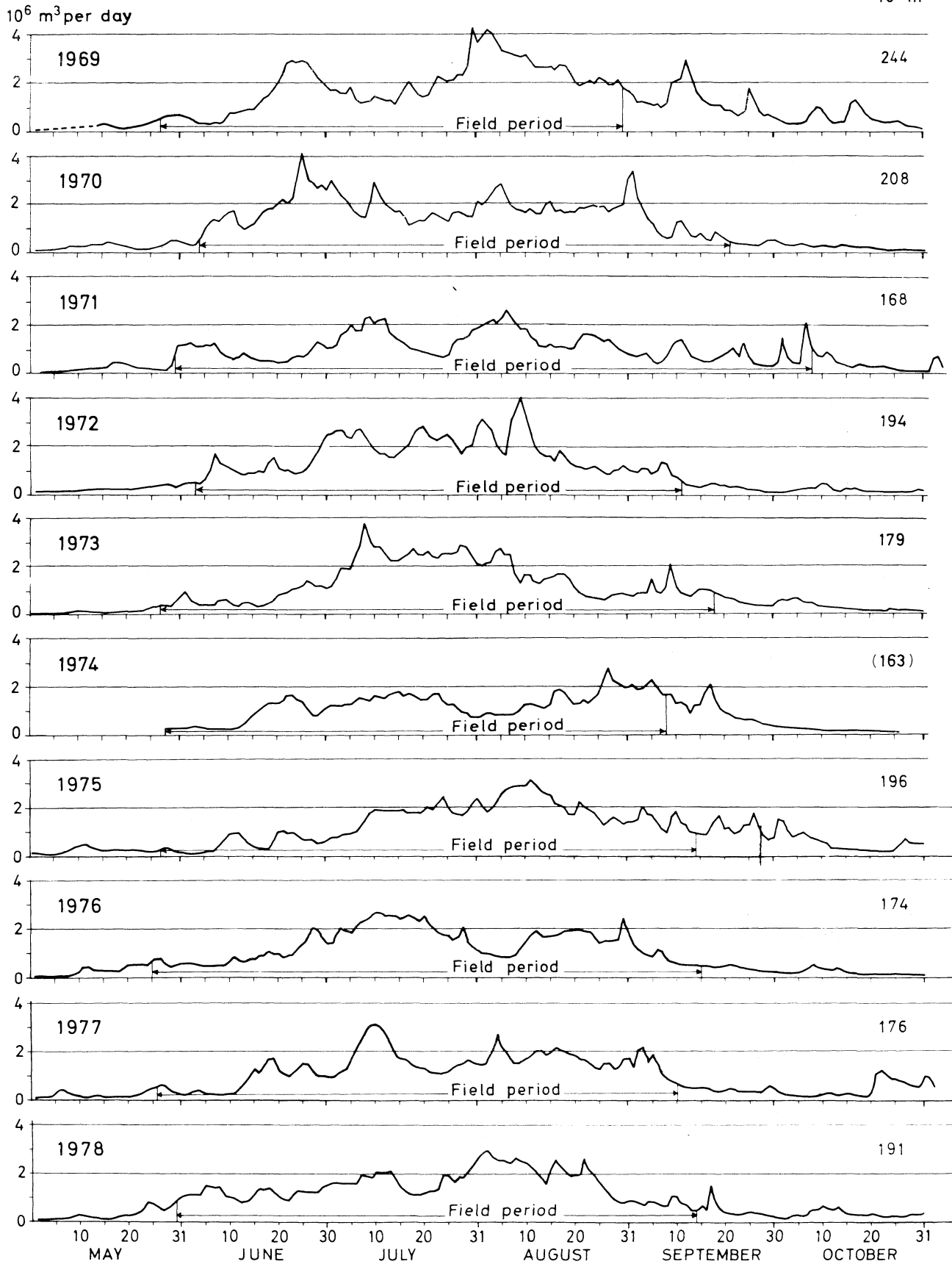


Fig. 4



Fig. 5 Vindaggregat 10W/12 mellom Nigardsbreen og Nigardsvatn. Aggregatet har en ladeeffekt på 0.7 ampère ved vindstyrke 8.9 m/s (frisk bris).

Wind driven generator 10W/12 placed between Nigardsbreen and Lake Nigardsvatn. The generator gives 0.7 ampère at a wind speed of 8.9 m/s (breeze).

likning med slamtransporten i slutten av observasjonssesongen er materialtransporten etter 15. september anslått til ca. 300 tonn. Transporten i observasjonssesongen er beregnet til 7200 tonn. Den totale transporten av finmateriale fra Nigardsbreen i 1978 kan etter dette anslås til ca. 7700 tonn. Pålagringen på deltaet i innløpet av Nigardsvatnet ble høsten 1978 målt ved opplodding og nivellering etter de samme profiler som tidligere år. Beregningene av denne pålagringen er utført av ing. S. R. Ekman. Disse viser at det fra høsten 1977 til høsten 1978 har funnet sted en pålagring av gjennomsnittlig 9.53 ± 1.99 cm over hele det oppmålte området. Dette tilsvarer ca. 2700 m^3 eller ca. 5400 tonn.

Fig. 4 Døgnlige vannføring ved utløpet av Nigardsvatnet fra mai til oktober i tiårsperioden 1969 - 1978. Tallet til høyre angir totalt avløp observert i løpet av disse månedene. Det gjennomsnittlige avløp for nevnte 6-månedersperiode i denne tiårsperioden er $189 \cdot 10^6 \text{ m}^3$.

Dayly discharge at the outlet of Lake Nigardsvatn from May to October during the decade 1969 - 1978. 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 $189 \cdot 10^6 \text{ m}^3$.



Fig. 6 Instrument for registrering av slaminnholdet i bre-elva for Nigardsbreen. Ledningen til venstre fører til lyskilde og fotocelle. Ledningen opp til høyre kommer fra vindaggregatet (fig. 5).

Water turbidity recorder at Nigardsbreen. The conducting wire to the left leading to the sensor unit and the wire from the upper right side comes from the wind driven generator.

Om en regner med at det materialet som avsettes på deltaområdet vesentlig består av grøvere materiale enn det som transporteres i suspensjon, slik det tidligere er antatt, blir den totale sedimenttransporten fra Nigardsbreen i 1978 ca. 13100 tonn. Dette tilsvarer fjerning av et 0.10 mm tykt lag av fjellet jevnt fordelt under hele breen, om en regner fjellets egenvekt lik 2.7 g/cm^3 .

Forsøkene med automatisk registrering av slaminnholdet i bre-elva fra Nigardsbreen fortsatte i 1978 (Ekman 1978). Det har tidligere vært et problem å skaffe en sikker og stabil strømtilførsel. Batteriene som ble benyttet måtte skiftes etter få dager for å lades opp igjen. De ga heller ikke stabil strømstyrke, noe som påvirket utslagene på skriveren og derved kompliserte kalibreringen av instrumentet. Våren 1978 ble det derfor satt opp et vindaggregat (fig. 5) som tilkopleet batteriet skulle lade opp dette og derved gi mer stabil strømtilførsel til instrumentet. Instrumentet er plassert ca. 100 meter nedenfor brefronten (fig. 6). Vindforholdene er her ganske stabile. Om sommeren blåser det vanligvis fra breen (fallvind) fra en stund etter soloppgang til solnedgang.

Vindaggregatet holdt batteriet i tilfredsstillende ladet stand i 2 - 4 uker, avhengig av vindforholdene, og instrumentet virket tilfredsstillende første del av

sommeren. P.g.a. teknisk svikt i selve instrumentet ble registreringene i siste del av sommeren ufullstendige. Det er derfor ikke grunnlag for å benytte resultater fra den automatiske registreringen i beregningen av transporten av suspendert materiale i bre-elva.

Nigardsvatnet som sedimentasjonsbasseng, kort sammanfattning av 10 års måtninger av glaciärrälvens deltaområde

1968 påbörjades ett projekt vid Nigardsvatnet som avsåg att studera ett deltas utbyggnad i en sjø med en glaciär i omedelbar närhet. 1967 stod glaciärfronten helt nede vid vatnet, 1978 hade fronten dragit sig tillbaka c:a 400 meter.

Pålagringen i deltaområdet har mätts med direkta metoder genom djuplodningar för hand från en viss referensnivå. För att erhålla repeterbara mätpunkter med acceptabel noggrannhet borrades ett antal stakar ner vid stränderna i den inre delen av Nigardsvatnet. Mellan dessa stakar har mätwire spänts upp, varefter lodningar företagits antingen från båt (i normalfallet) eller från is. (Ekman 1969, 1970 og 1977).

Nigardsvatnets totala areal är 472000 m^2 . Den västra delen (vid glaciärrälvens

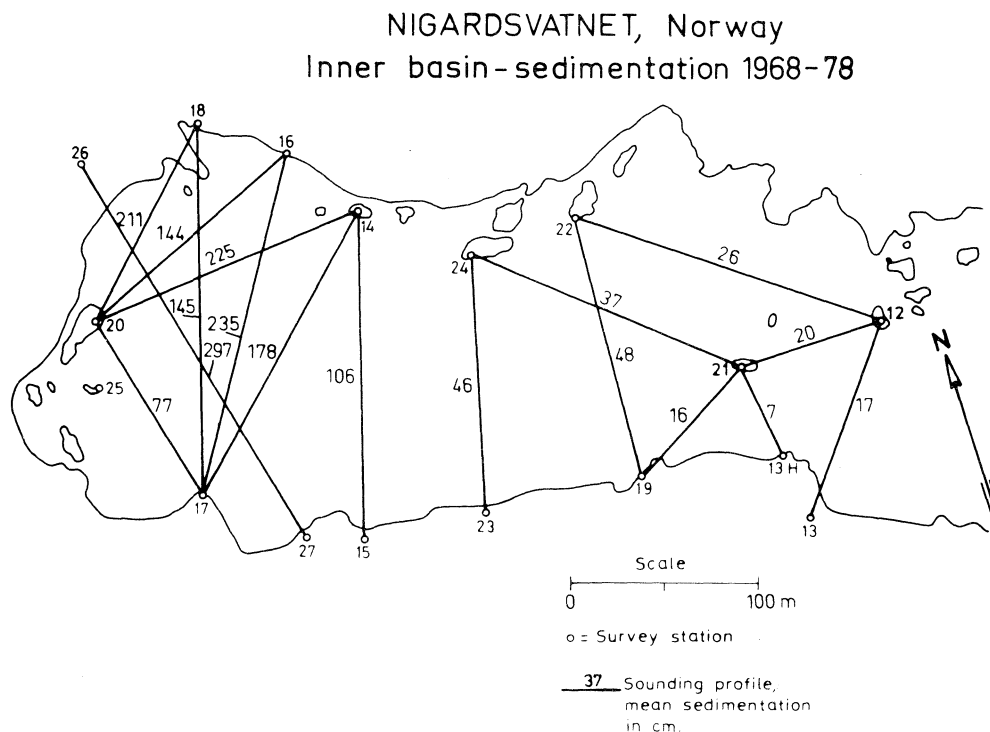


Fig. 7 Det indre bassenget i Nigardsvatnet med de profiler som loddess opp. Den indre delen til og med profil 14-15 loddess opp hvert år. De ytre kun hvert 10. år. Tallet midt på profilet angir gjennomsnittlig sedimentasjon langs hele profilet i perioden 1968-78.

The inner basin of Lake Nigardsvatn with measuring profiles. The inner part, including profile 14-15, is measured each year. The outer part at 10 years interval only.

inlopp) är uppdelad i den inre bassängen, begränsad i öster av profilen 15 - 14 och den yttre, begränsad av samma profil samt profilen 13 - 12. Ytan av den inre bassängen är 28300 m^2 , ytan av den yttre 43000 m^2 (fig. 7).

Medelvattenföringen i glaciäralven under tiden 1968 - 78 var $189 \cdot 10^6 \text{ m}^3$ vatten per år. Maximala värdet uppmättes 1969 till $244 \cdot 10^6 \text{ m}^3$. Vattenföring för medelåret blir c:a $6 \text{ m}^3/\text{s}$. Vattenståndsvariationerna uppgår till c:a 2 meter mellan hög och lågvatten.

Inre bassängen med 293 mätpunkter är upplodad vid följande tider: 1968 - aug., 1969 - juni, 1970 - juni och oktober, 1971 - oktober, 1972 - oktober, 1973 - juni och september, 1974 - juni och oktober, 1975 - september, 1976 - december, 1977 - november samt 1978 - oktober.

NIGARDSVATNET

Sammanställning av mätresultat 1968 - 78

År	Vattenf. mai-okt. 10^6 m^3	Slam in ton	Slam ut ton	Sedim. i sjön ton	Pålagring delta ton	Högsta vst. pegel cm.	Största vattenf. $10^6 \text{ m}^3/\text{d}$
1968	188	6300	1800	4500		228	3.17
1969	<u>244</u>	<u>15700</u>	<u>4000</u>	<u>11700</u>	6080	254	<u>4.25</u>
1970	208	14700	3000	<u>11700</u>	17120	<u>255</u>	4.12
1971	168	10200	1400	8800	4100	210	2.63
1972	194	12250	2900	8850	<u>19520</u>	249	4.06
1973	179	11700	3200	8500	19420	243	3.79
1974	163	6000	1300	4700	7620	219	2.79
1975	196	11300	2300	9000	17200	228	3.13
1976	174	12450	1750	10700	9360	215	2.69
1977	176	7700	2000	5700	3000	228	3.19
1978	191	7700	1750	5950	5400	224	2.96
Medel	189	10550	2310	8190	10880	232	3.34
Max	244	15700	4000	11700	19520	255	4.25
Min	168	6000	1300	4500	3000	-	-
S	23	3080	834	2450	6330	15	
S/M %	12	30	36	30	58	6	

Maximala värdet understruket: 4000

Hela bassängen med 469 mätpunkter är uppmätt 1968 och 1978. Älven meandrar ödelat i två till fyra huvudfårar. Under den senare delen av mätperioden har mäktigaste vattenflödet, och därmed också största materialtransporten, gått ö i norra delen av deltat där den största utbyggnaden av deltat förekommit.

Meandringen medför stora omfördelningar av de tidigare sedimenterade massorna bassängen, årliga förändringar på två meter är inte ovanliga. Detta gör att talets medelfel för årlig pålagring varierar mellan 13 och 70 % i relation till medelvärdet (tabell s.16).

Medelvärdet av den årliga pålagringen i den inre bassängen för 10 år är 19.2 cm variansen är 11, max värde 34,5 cm, min 5.3 cm.

En beräkning av pålagringen genom jämförelse mellan åren 1968 och 1978 ger med det 193.6 cm med ett medeltalets medelfel på endast 5 % av medelfelet. Utjämn effekten av sedimentation och erosion har helt naturligt spelat in.

Motsvarande beräkning för den yttre bassängen ger ett medelvärde av pålagring av 31.0 cm., procentuellt medelfel är här 11.

Att medelfelet procentuella andel är större för den yttre bassängen torde var

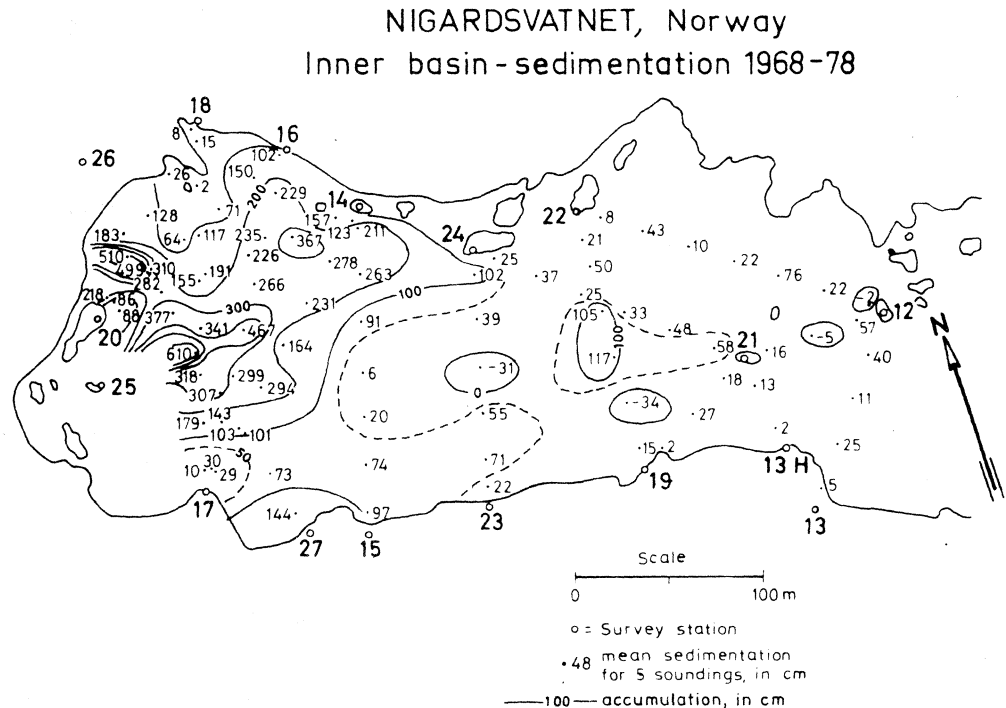
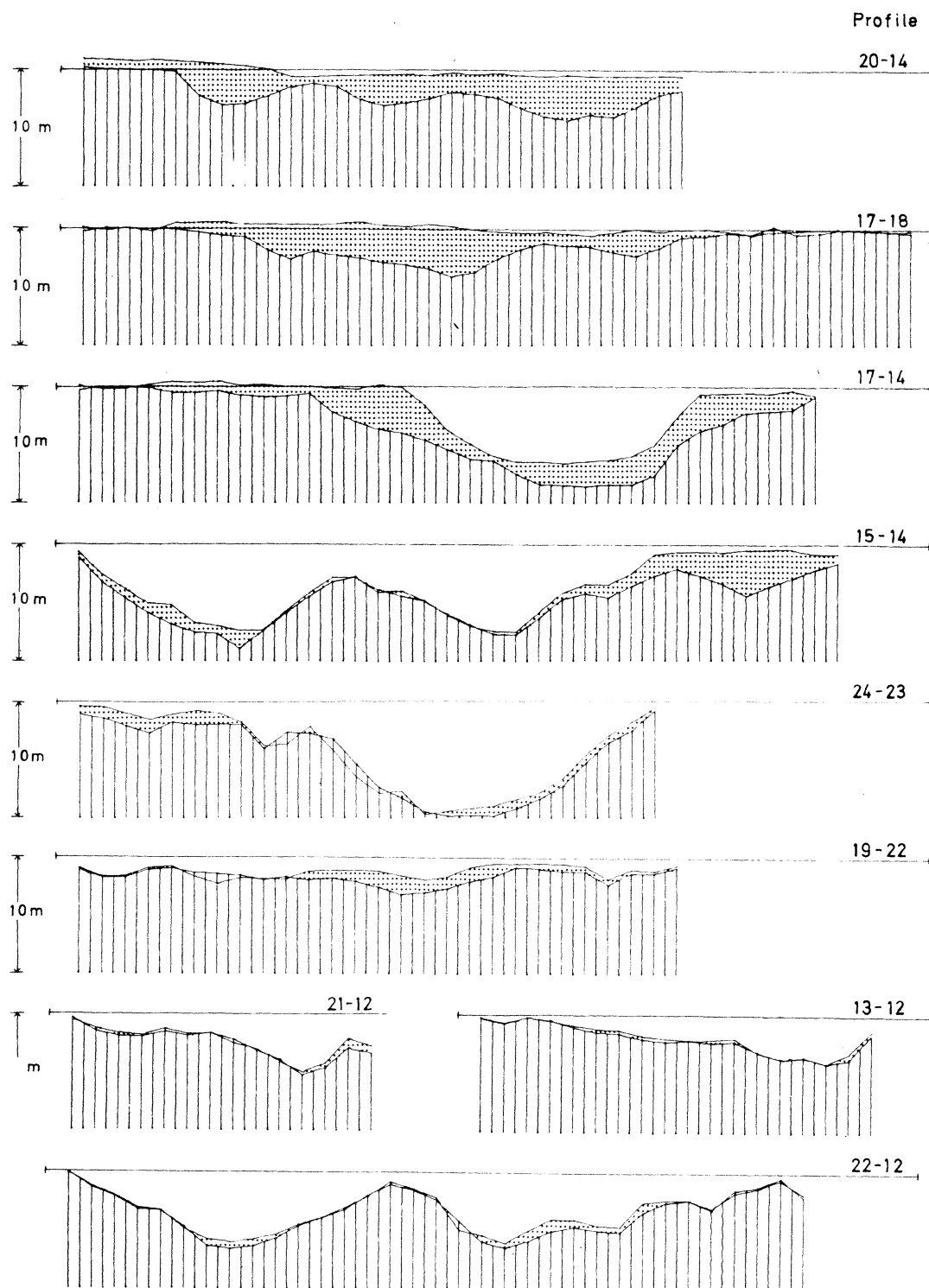


Fig. 8 Sedimentasjon i det indre bassenget av Nigardsvatnet fra 1968 Tallene angir middelværdien av 5 målepunkter langs målewiren. for hver 5. meter.

Sedimentation in the inner basin of Lake Nigardsvatn from 1968-1978. The numbers give the mean sedimentation for 5 soundings along the measuring wire. Measurements are made at points 5 metres apart.

NIGARDSVATNET, NORWAY

Accumulation along given profiles in the period 1968-78



entasjonen langs utvalgte profiler i det indre bassenget i Nigards-
t fra 1968 til 1978. Profilenes beliggenhet er vist på fig. 7.

ntation along various profiles in the inner basin of Lake Nigards-
rom 1968 to 1978, compare fig. 7.

beroende av att i denna del av sjön förekommer en icke oväsentlig erosion, vilket kan ses på fig. 8 . I denna figur är medelvärde av 5 mätpunkter längs mätwiren (dvs en sträcka om 25 meter) plottade.

Profilen 22 - 12 (fig. 9) är särskilt intressant, ty i denna profil har ingen kraftig vattenströmning förekommit på grund av läget och bottenpogografien norr om punkt 12. Under mätperioden har med säkerhet ingen pålagring av grovmaterial genom bottenransport förekommit på grund av avståndet till huvudströmmarna och läget på sidan av dessa. Det har heller inte förekommit erosion, och av dessa skäl borde sedimentationen i denna profil vara finmaterial ursprungligen i suspension. Medelvärde av sedimentationen i denna profil för tio år var 25.6 cm med ett medeltalets medelfel av 27 %. En beräkning av pålagring av finmaterial över hela sjöytan under perioden ger 8.6 cm beräknat som om allt material sedimenterat jämnt över hela sjön.

Pålagringen i den inre bassängen består av såväl grovmaterial genom bottenransport som finmaterial genom sedimentation av material ursprungligen i suspension. Huvuddelen av pålagringen i detta område är med säkerhet grovmaterial, men procentuell andel finmaterial är svår att beräkna, genom att det även vid måttlig vattenföring sker en urvaskning av finmaterial från deltats yta. Inre bassängen är dock endast 6 % av hela sjöarealen.

Engabreen

Innledning

Undersøkelser av vannføring og transport av suspendert materiale har pågått i vassdraget fra den 38 km² 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 km² store Engabrevatnet. I vatnet er det installert en limnigraf som også registrerer vannstanden utenom observasjonssesongen.

Deltaet ved innløpet ble opploddet og nivellert i februar - mars 1979 mens vatnet var islagt. Målingene ble utført på samme måte som de fire seneste vintrene med måling for hver 5. meter langs 8 profiler over deltaet.

Observasjonsstasjonen ved Engabrevatnet var i 1978 bemannet fra 27. mai til 14. september. Vannstanden i vatnet ble observert hver gang det ble tatt prøve i innløpet, dvs. ordinært 5 ganger daglig. Disse dataene er komplettert med data fra limnigrafen i den indre delen av vatnet.

Vinterbalansen for Engabreen i 1977-78 var ca. 20% lavere enn gjennomsnittet for perioden 1970-78, mens sommerbalansen var 35% høyere enn gjennomsnittet for samme

perioden (Repp & Wold 1979). Avrenningen sommeren 1978 var $176 \cdot 10^6 \text{ m}^3$, nær gjennomsnittet for de siste 9 årene (fig.11).

Brefrontens posisjon er blitt målt fra 10 av de 11 punktene som er målt tidligere år. Et av punktene er forsvunnet fordi breen har gått fram over det. Gjennomsnittet for disse målingene viser at breen har gått fram 18.5 meter fra høsten 1977 til høsten 1978. Brefronten fortsetter altså å gå framover for tredje år på rad og har nå gått fram 46 meter siden 1975. For de 4 punktene som ligger rundt spissen av bretunga er denne framgangen 62 meter.

Resultat

Diagrammet fig.10 viser resultater og beregninger fra Engabrevatn i 1978. Måle-metodene har vært de samme som i tidligere år, de er beskrevet under avsnittet som omhandler Nigardsbreen (s. 9).

Overensstemmelsen mellom de meteorologiske parametrene og avrenningen er god i det meste av sesongen. Den første lille vannføringstoppen kom noen dager før observasjonene startet opp (fig.11). Vannføringen holdt seg deretter jevn med bare mindre svingninger til ca. 20. juni. Da steg temperaturen betydelig og vannføringen nådde flomnivå i løpet av få dager. Allerede 30. juni fikk vi årets høyeste vannføring med $32.1 \text{ m}^3/\text{s}$ i utløpet av vatnet. Den høyeste døgnvannføringen ble registrert 1. juli med $2.63 \cdot 10^6 \text{ m}^3$. Ingen av disse vannføringene er spesielt store. Det største døgnlige avløp har tidligere år variert fra 2 til $6 \cdot 10^6 \text{ m}^3$ (fig.11).

Den høyeste konsentrasjonen av suspendert materiale i innløpet ble målt den 24. juni kl.1200 med 300 mg/l , mens vannstanden steg kraftig. Den høyeste døgntransporten forekom også denne dagen med ca. 480 tonn. Tidligere år har den høyeste målte konsentrasjonen variert mellom 185 og 1085 mg/l .

Beregningene for observasjonsperioden 27. mai til 14. september viser at ca. 10050 tonn suspendert materiale ble transportert inn i vatnet og ca. 2300 tonn ut av vatnet. Dvs. at ca. 77% av det suspenderte materialet som bre-elva førte med seg ble avsatt i vatnet. Tidligere år har denne andelen ligget mellom 74 og 90%, med 84% som gjennomsnitt.

Vannføringen fra Engabrevatnet var meget lav fram til ca. 23. mai (fig.11), da økte vannføringen slik at en liten vannføringstopp kom før målingene tok til. Vannføringen er ofte betydelig første gang vannføringen stiger etter vinteren. Slamføringen kan ha vært ca. 350 tonn i løpet av denne lille flommen. Tidligere var slamføringen antagelig ubetydelig. Etter observasjonsperioden var det flere perioder med relativt høy vannføring. Så sent som 10. november var døgnvannføringen oppe i $0.93 \cdot 10^6 \text{ m}^3$. Sammenliknet med dager med lik vannføring i slutten av observasjonssesongen kan slamtransporten etter 15. september anslås til ca. 400 tonn. Den totale slamtransporten i avrenningssesongen 1978 blir etter dette ca. 10800 tonn.

Deltaet som elva fra Engabreen legger opp ved innløpet i vatnet ble nivellert og opploddet i februar-mars 1979. Arbeidet ble utført på samme måte som beskrevet tidligere (Kjeldsen 1977a). De største forandringene fra ett år til et annet skjer naturlig nok ved deltakanten. Her foregår det vesentligste av akkumulasjonen når den stridt strømmende bre-elva møter det stillestående vannet. Transportkapasiteten avtar da raskt, og det aller meste av det grøvere materialet som transporteres langs bunnen av elva avsettes umiddelbart. Skråningen ut mot dypet er meget steil utenfor

ENGABREVATN 1978

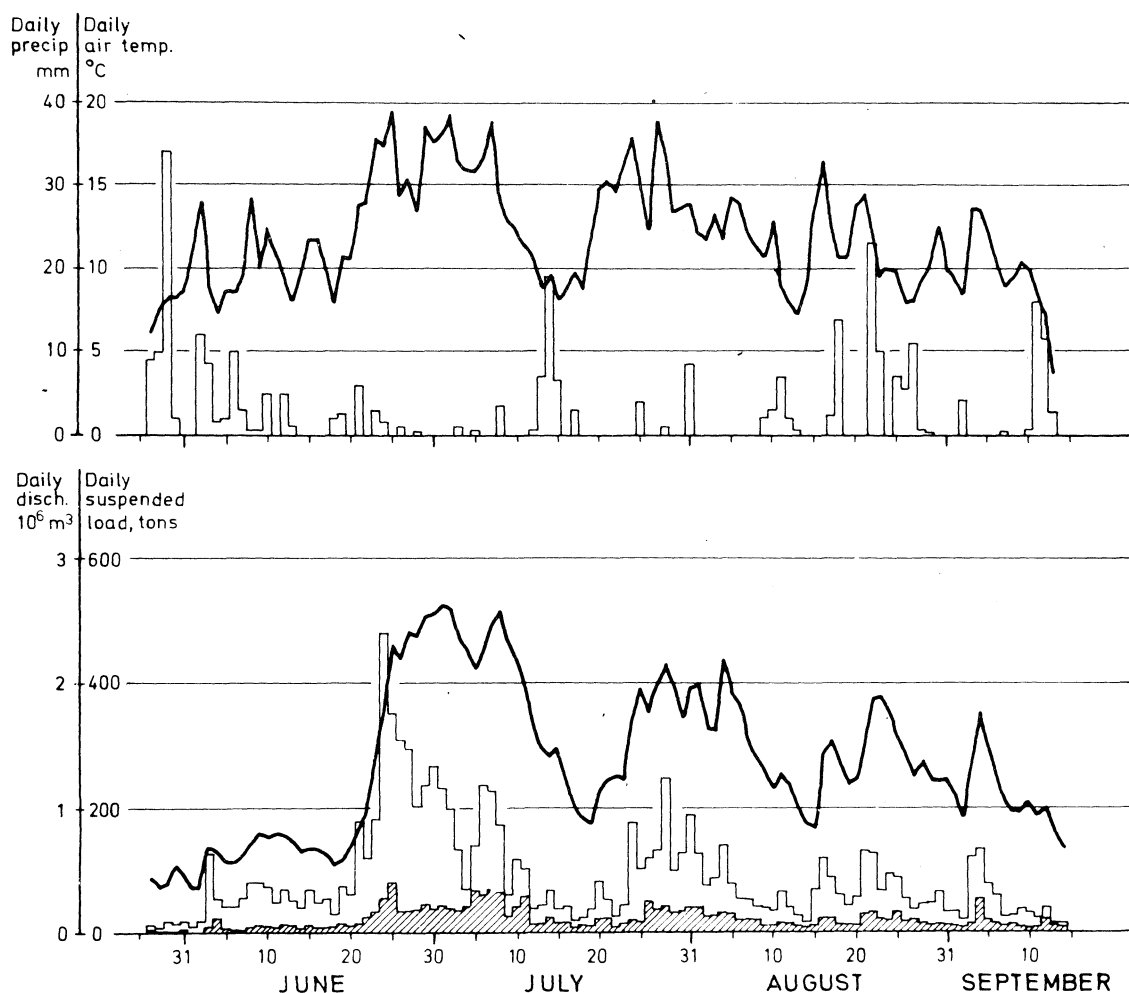


Fig.10 Det øverste diagrammet viser meteorologiske parametre målt ved stasjonen ved Engabrevatn i observasjonssesongen 1978. Nedenfor vises døgnlig vannføring og den beregnede transporten av suspendert materiale inn i og ut av vatnet. Forskjellen mellom de to søylerekkene gir et inntrykk av vatnets effektivitet som sedimentasjonsbasseng.

The upper diagram shows meteorological parameters measured at the station at Lake Engabrevatn through the observation season 1978. The lower diagram shows daily variations in water discharge from the lake and suspended loads entering and leaving the lake. The difference between the later two gives an impression of the efficiency of the lake as a sedimentation trap.

ENGABREVATN WATER DISCHARGE

1969 - 1978

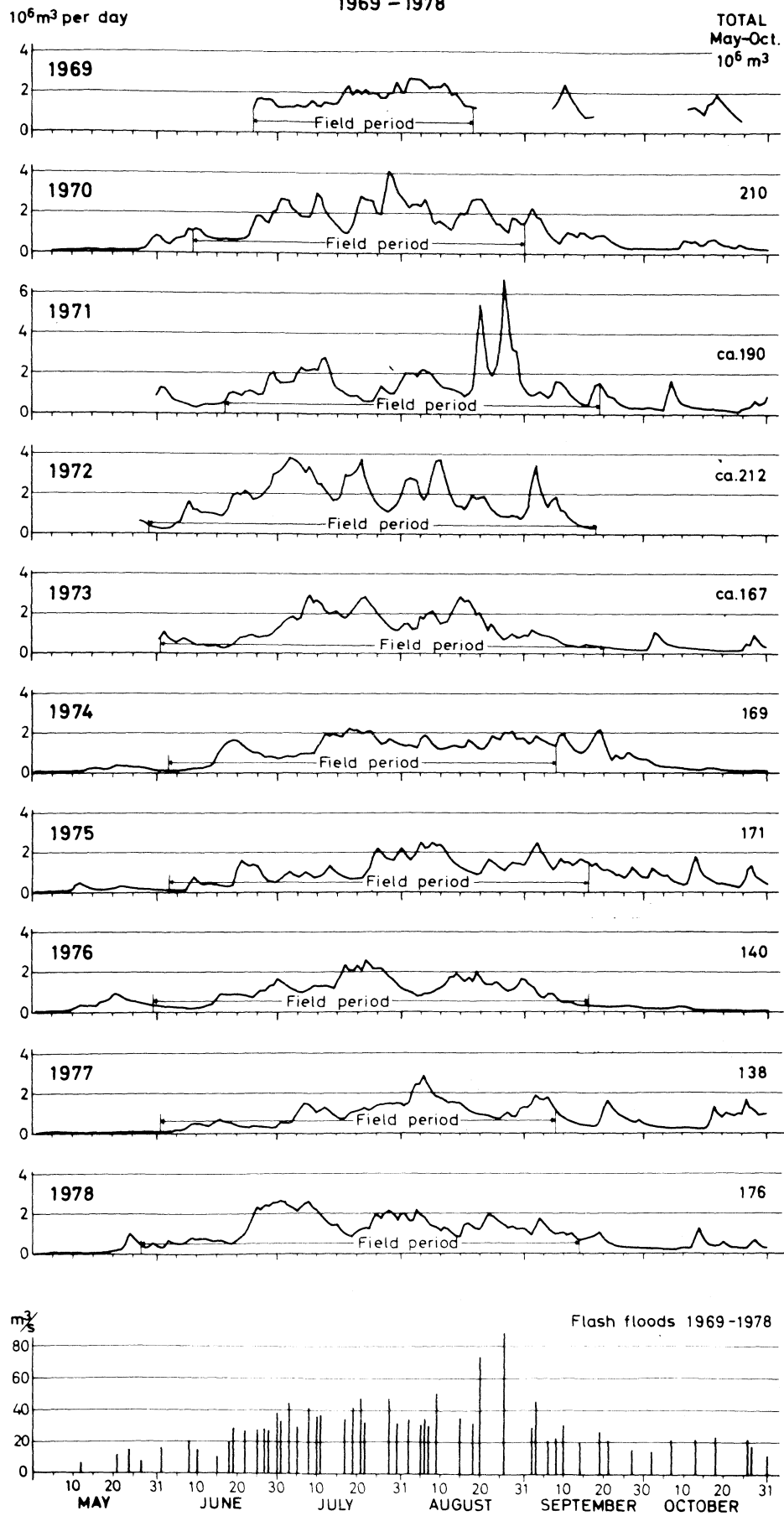


Fig.11

ENGABREVATN

Delta accumulation

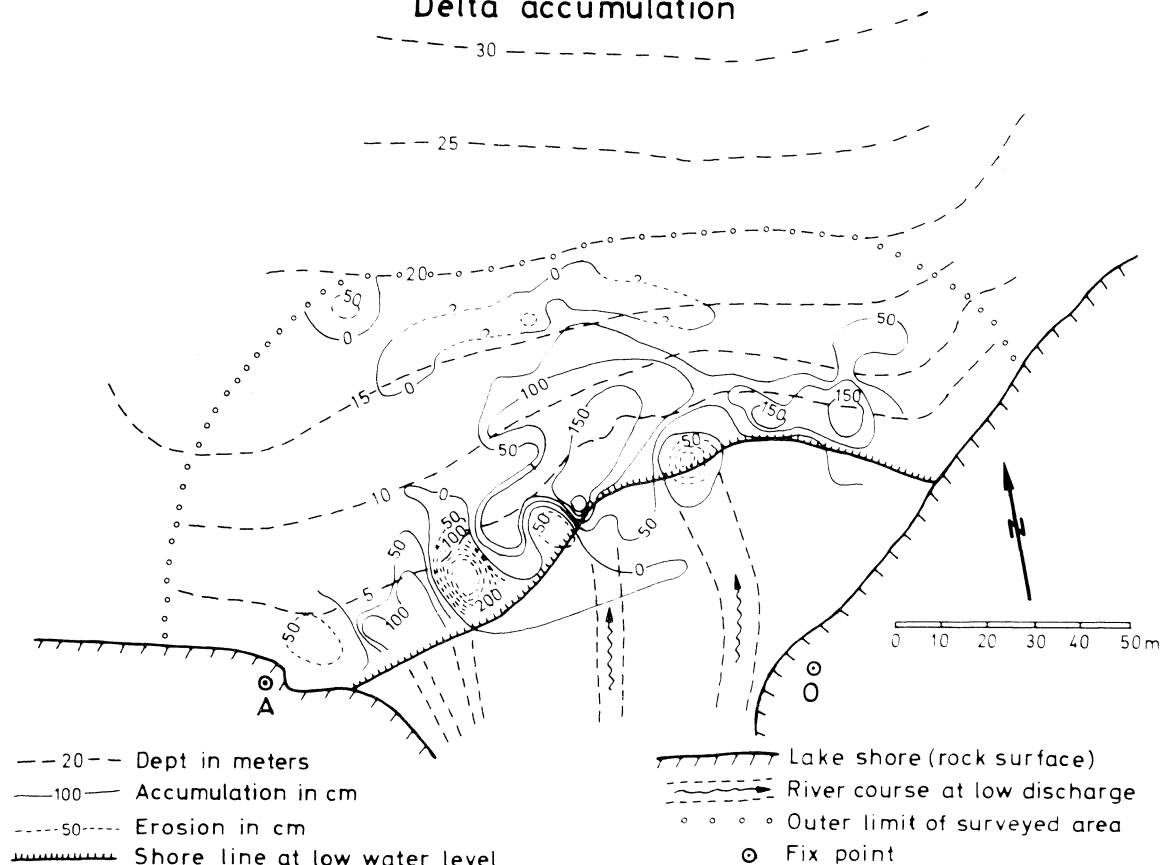


Fig.12 Akkumulasjon og erosjon fra 1977 - 1978 på deltaet ved bre-elvas utløp i Engabrevatn.

Accumulation and erosion from 1977 - 1978 on the delta at the inlet of the glacier river in Lake Engabrevatn.

deltaet (fig.12) og en avsetning av materiale øverst i skråningen vil således føre til en ustabil situasjon. Det skjer derfor nesten årlig flere ras i denne skråningen. Det var også tilfelle i 1978. En del av det materiale som raser ut kan gjenfinnes lenger ut innen det opploddete området, dvs. inntil 20 meters dyp. Men en del raser nok videre ut mot større dyp, og blir derfor ikke registrert ved våre delta-målinger.

Fig.11 Døgnlige vannføring ved utløpet av Engabrevatn fra mai til oktober i årene 1969-1978. 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. Det gjennomsnittlige avløp for nevnte 6-månedersperiode i årene 1970-1978 er $175 \cdot 10^6 \text{m}^3$.

Daily discharge at the outlet of Lake Engabrevatn from May to October during the years 1969-1978. 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. The mean discharge for this 6-month's period for the 9 years 1970 to 1978 is $175 \cdot 10^6 \text{m}^3$.

Siste år er det skjedd utrasinger på flere steder i deltafronten. En senkning på over 3 m i forhold til fjoråret er registrert. Mellom de områdene der materialet har rast ut har det vært en akkumulasjon på opptil 2 meter. I området utenfor den øverste del av deltaskrenten har det siste året vært en akkumulasjon på 25-50 cm over store områder. Det er en god del mer enn det som er målt tidligere. Det kan bety at mye av det utraste materialet er lagt igjen her. I alt er det målt en akkumulasjon på 4350 m^3 og en erosjon på 950 m^3 , dvs. en netto akkumulasjon på 3400 m^3 eller ca. 6800 tonn. Bare en mindre del av det utraste materialet synes å ha fortsatt utenfor det oppmålte området siste år. Den totale akkumulasjon av grovt, bunntransportert materiale på deltaet i 1978 kan derved anslås til ca. 7500 tonn. Etter dette blir den totale transporten fra Engabreen i 1978 ca. 18300 tonn. Bunntransportens andel av den totale materialtransporten blir ca. 41%. De tre tidligere år har denne andelen variert fra 35 til 38%.

Bondhusbreen

Innledning

I forbindelse med Mauranger Kraftverk på vestsiden av Folgefonna er det bygget et subglasialt vanninntak under Bondhusbreen (fig.13), en vestlig breutløper fra Folgefonna. En nærmere beskrivelse av forholdene rundt det subglasiale inntaket er gitt av Hagen (1977).

Vannet som fanges inn under breen fører med seg betydelige mengder materiale vasket ut av bunnmorenen som ligger som en såle mellom breen og fjellgrunnen. For å få greie på mengden av det materiale det her dreier seg om, ble det i 1972 og 1973 utført målinger av materialtransporten i elva fra Bondhusbreen (Ziegler 1974 og Haakensen 1975). Etter disse målingene ble det for de to årene beregnet en tran-

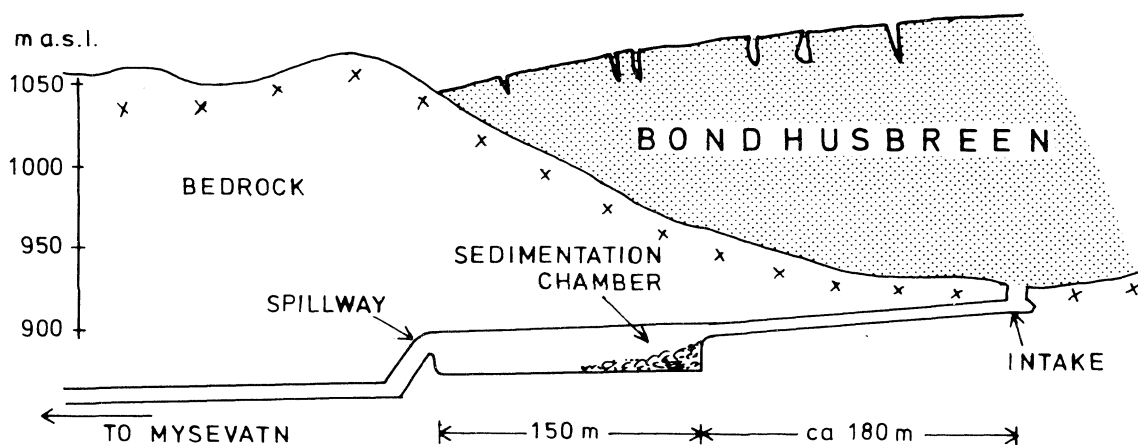


Fig.13 Prinsipskisse som viser det subglasiale vanninntaket ved Bondhusbreen.
Sketch showing the subglacial water intake at Bondhusbreen.

sport av finkornig suspendert materiale på henholdsvis 7500 og 6800 tonn. Transporten av det grøvere materiale som transporteres langs bunnen av elva ble beregnet ved hjelp av målinger av tilveksten på bre-elvas delta i Bondhusvatnet. På grunnlag av disse målingene ble transporten av grovt materiale beregnet til henholdsvis 8000 og 7000 tonn i 1972 og 1973.

I 1974 ble det utført en undersøkelse av bunnsedimentene i Bondhusvatnet som ligger ca. 1.5 km nedenfor brefronten (Østrem og Olsen 1975). Dette ble gjort for å kartlegge sedimentasjonen av suspendert materiale i sjøen gjennom en lengre periode. Dette materialet kommer i vesentlig grad fra Bondhusbreen. En var ved denne undersøkelsen særlig interessert i å finne ut hvor stor materialtransporten kunne være i et år med ekstremt stor vannføring.

Etter disse undersøkelsene ble det foreslått at sedimentasjonskammeret burde dimensjoneres til å ta imot 10000 m^3 masse. I den utforming kammeret nå har, kan det imidlertid bare ta imot ca. halvparten så stor masse.

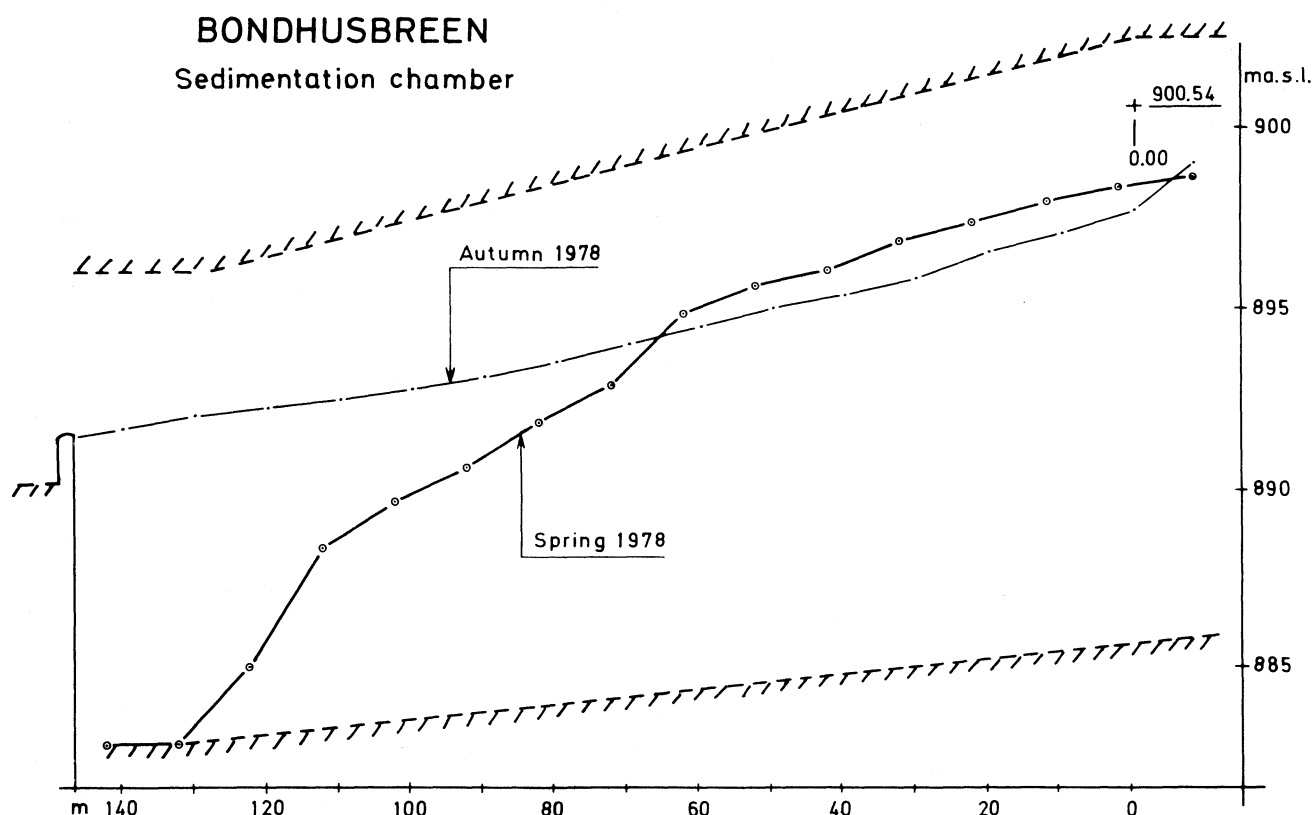


Fig.14 Snitt gjennom sedimentasjonskammeret i tunnelsystemet for det subglasiale vanninntaket ved Bondhusbreen. Den tykke og den tynne linjen viser overflaten av massene i kammeret henholdsvis før og etter avrenningssesongen 1978.

Cut through the sedimentation chamber in the tunnelsystem for the subglacial water intake at Bondhusbreen. The thick and the thin line shows the levelling profiles through the chamber before and after the discharge season 1978 respectively.

Resultat

1978 var det første året med vannføring av noen betydning fra det subglasiale inn-taket. Beregninger viser at det meste av vannet som dreneres under breen da ble innfanget av tunnelsystemet. Fram til 16. august ble det registrert $37.6 \cdot 10^6 \text{ m}^3$ vann gjennom tunnelen. Limnigrafen som er montert ytterst i sedimentasjonskam-meret sluttet da å virke på grunn av at kammeret ved dette tidspunkt var fylt av masse opptil flottøren på limnigrafen. Grunnen til at kammeret ble fylt på et så tidlig tidspunkt var at det ved sesongens begynnelse var delvis fylt av sprengstein etter vinterens anleggsvirksomhet. Etter 16. august fortsatte oppfyllingen av kam-meret opp til terskelen ved utløpet fra kammeret (fig.14). Bare mindre mengder materiale ble ført over terskelen og over i tunnelen til magasinet i Mysevatn. Materialet som er avsatt i kammeret består av fraksjoner fra silt og fin sand til store blokker på opptil 2 m^3 .

Målinger av avsetningene i sedimentasjonskammeret, utført av avd.ing. Lunde ved Vestlandsverkene, viser en sedimentasjon på 2425 m^3 eller ca. 4850 tonn. Den to-tale mengden av grøvere materiale som ble ført med av det innfangede vannet fra Bondhusbreen kan anslås til ca. 3000 m^3 eller ca. 6000 tonn.

Massene som er avsatt i kammeret og sprengsteinen som lå der fra anleggsvirksom-heten vil bli kjørt vekk i løpet av vinteren 1979. Kammeret vil da kunne ta imot anslagsvis 5000 m^3 masse i kommende sesong. Når utkjøringen av masse er avsluttet vil det bli foretatt en nøyaktig oppmåling i kammeret slik at grunnlaget blir lagt for nye målinger høsten 1979.

SLUTTORD

De to bredekkede nedbørfeltene som ble undersøkt i 1978 drenerer totalt 65 km^2 og 50 km^2 fra henholdsvis Nigardsbreen og Engabreen.

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 slike bredekkede nedbørfelt 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 s.29 viser en oppsummering av resultatene fra målingene i 1978 stilt sam-men med tidligere års resultater. I 1974 ble det foretatt målinger i Sunndøla i

Stryn. For resultater fra disse undersøkelserne henvises til Kjeldsen (1975). For hver bre-elv er oppgitt antall dager med observasjoner og den beregnede transporten 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 samt bunntransportert materiale. Transporten av suspendert materiale utenom observasjonssesongen er anslått på grunnlag av sammenlikning med materialtransporten i perioder med tilsvarende vannføring innen observasjonssesongen.

For de to bre-elvene der målinger ble foretatt i 1978 er transporten av grovt, bunntransportert materiale basert på direkte målinger av avleiringen på et delta umiddelbart nedenfor brefronten. I Visa, nær samløpet med Bøvra, 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 derfor 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. Videre vil erosjonen avhenge av geologien, bl.a. bergartenes hardhet og evne til oppsprekking. Stein som isen "plukker med seg" fra berggrunnen transporteres videre i kontaktsonen mellom berget og breen. Dette materialet skurer på berggrunnen og virker kraftig eroderende.

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. Den første flommen vil ofte føre med seg relativt store mengder slam da elva under breen for første gang vasker med seg materiale fra områder der vann ikke har kommet til under en hel vinter. Det samme forholdet har vi for hver flom som er større enn tidligere flommer samme år. Det har vist seg at 20-50% av den årlige transporten av suspendert materiale blir "vasket ut" ved årets største flom. Det er derfor meget viktig å få dekket sommerens maksimalflom med tilstrekkelige målinger.

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 også forekomme utover i oktober og iblant 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 denne 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 kortvarige variasjoner. Registreringene fra dette instrumentet er ennå så ufullstendige at vi ikke har kunnet benytte oss av dem ved beregningen av transporten av suspendert materiale for hele sommersesongen. Men med de forbedringer som er foretatt, bl.a. med strømtilførselen, er det grunn til å regne med mer kontinuerlige registreringer neste sesong.

Undersøkelser av transporten av suspendert materiale i brevassdragene har pågått siden 1968 ved Nigardsvatnet og siden 1969 ved Engabrevvatnet. Transporten av grovt, bunntransportert materiale blir målt ved at deltaet ved innløpet av de to vatnene blir opploddet og nivellert etter hver avrenningssesong. Disse målingene har pågått siden 1969 ved Nigardsvatnet og siden 1975 ved Engabrevvatnet.

Sammenliknet med tidligere års observasjoner og beregninger var materialtransporten fra Nigardsbreen i 1978 bare ca. 60% av gjennomsnittet for de siste 10 årene (fig.15), mens avrenningen var nær gjennomsnittet for samme perioden.

Fig.15 Tabellen viser resultater fra sedimenttransportundersøkelser i 1978 stilt sammen med tidligere års resultater. Det er også tatt med resultater fra breer hvor undersøkelsene er avsluttet. For hvert observasjonssted er det oppgitt antall dager med observasjoner, målt transport av suspendert materiale, beregnet total årlig transport (inkludert 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 1978 and previous years. For each glacier or glacial stream the number of observation days, observed suspended load, estimated total annual transport (including calculated or observed bottom load), and values for specific sediment yield are shown. Finally the corresponding erosion in mm was calculated, assuming that the erosion was equal under the entire glacier area.

Glacier or river name Glacier area km ²	SEDIMENT YIELD AT SELECTED GLACIERS IN NORWAY												
		1967	1968	1969	1970	1971	1972	1973	1974	1975	1976	1977	1978
Nigardsbreen 48	I, days		76	95	110	132	101	115	104	111	114	108	109
	II, tons		5200	13600	13800	10100	11850	10500	5500	9500	11750	7100	7200
	III, tons		10800 ⁺	20000 ⁺	32500 ⁺	14300 ⁺	31600 ⁺	31100 ⁺	13600 ⁺	28500 ⁺	21800 ⁺	10700 ⁺	13100 ⁺
	IV, tons/km ²		230	430	690	305	670	660	290	610	460	230	275
	V, mm		0.09	0.16	0.26	0.11	0.25	0.24	0.11	0.23	0.17	0.08	0.10
Austre Memu- rubreen 9	I, days	64	77	76	70	85	75						
	II, tons	4700	3300	6880	6750	2400	4350						
	III, tons	7900	5800	8350	11600	5350	6250						
	IV, tons/km ²	880	670	930	1290	590	695						
	V, mm	0.33	0.25	0.34	0.48	0.22	0.26						
Visa 33	I, days								91	99			
	II, tons								13730	20250			
	III, tons								18600	(33750)			
	IV, tons/km ²								560	1030			
	V, mm								0.21	0.38			
Bondhusbreen 12	I, days						100	122					
	II, tons						7000	6520					
	III, tons						15500	13800 ⁺					
	IV, tons/km ²						1290	1160					
	V, mm						0.48	0.43					
Erdalsbreen 11	I, days	46	75	78	108	104	93	28					
	II, tons	7840	6300	14720	19250	7050	7300	1400					
	III, tons	13300	12500	26700	33500	16700	12500	(11700)					
	IV, tons/km ²	1210	1135	2430	3030	1515	1135	(1060)					
	V, mm	0.45	0.42	0.90	1.12	0.56	0.42	(0.39)					
Vesledals- breen 4	I, days	50	82	79	93	90	87						
	II, tons	530	300	579	350	320	290						
	III, tons	1050	600	1170	670	670	500						
	IV, tons/km ²	260	150	290	160	160	125						
	V, mm	0.10	0.06	0.11	0.06	0.06	0.05						
Engabreen 38	I, days			57	85	95	113	112	98	103	110	100	111
	II, tons			8650	11560	15449	19750	10770	11350	14150	11900	11000	10050
	III, tons			15800	22500	28000	35000	19500	22500	25050 ⁺	18300 ⁺	20800 ⁺	18300 ⁺
	IV, tons/km ²			415	590	735	920	515	590	660	480	550	480
	V, mm			0.15	0.22	0.27	0.34	0.19	0.22	0.24	0.18	0.20	0.18
Trollbergsdals- breen 2	I, days				64	67	73	78	75				
	II, tons				2840	4200	3700	1660	725				
	III, tons				5700	8800	7500	3750	1650				
	IV, tons/km ²				2850	4400	3750	1875	825				
	V, mm				1.06	1.63	1.39	0.69	0.31				
Høgtuvbreen 2.6	I, days					42	59	71	87				
	II, tons					200	445	238	220				
	III, tons						1800	1030	1000				
	IV, tons/km ²						690	395	385				
	V, mm						0.26	0.15	0.14				

I: Length of observation season. II: Observed suspended transport. III: Estimated annual transport. IV: Sediment yield.
V: Corresponding erosion.

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

Fig.15

Også for Engabrevatnet var avrenningen nær gjennomsnittet for de 9 årene vi har observasjoner. Materialtransporten var også her lavere enn gjennomsnittet, ca. 80%. Transporten av suspendert materiale var i 1978 det laveste som er observert, bortsett fra 1969 da målingene startet opp. Målingene fra dette første året er imidlertid nokså ufullstendige med en relativt kort observasjonssesong.

Ved en sammenlikning av materialtransporten de siste 9-10 årene ved Engabrevatn og Nigardsvatn finner en at beregningene av den totale materialtransporten varierer noe forskjellig. Ved Engabrevatn varierer tallene fra 78 til 150% av gjennomsnittet, mens de tilsvarende tall for Nigardsvatn er 50 og 145%.

Den gjennomsnittlige slamkonsentrasjonen for månedene juni-august i innløpet i Nigardsvatn var i 1978 bare 44 mg/l. Dette er det laveste som er målt siden målingene startet opp og bare ca. 70% av gjennomsnittet for de siste 10 årene. Også i innløpet i Engabrevatn ble det i 1978 registrert den laveste slamkonsentrasjon siden målingen startet opp. Konsentrasjonen for de 3 sommermånedene var 70 mg/l, det er ca. 75% av gjennomsnittet for de siste 10 årene.

Bunntransporten beregnet ved måling av pålagring på deltaene som bre-elvene bygger ut, i henholdsvis Nigardsvatnet og Engabrevatnet, ga for 1978 følgende resultat: For Nigardsvatn ca. 5400 tonn og for Engabrevatn ca. 7500 tonn. For Nigardsvatnet er dette bare ca. 50% av gjennomsnittet for de siste 10 årene. I forhold til den totale materialtransporten utgjorde deltaakkumulasjonen, dvs. transporten av bunntransportert materiale, ca. 41%. Gjennomsnittet for de siste 10 årene er 46%. Ved Engabrevatnet har målingene av pålagringen på deltaet bare pågått i 4 år. I 1978 var bunntransportens andel av den totale materialtransporten ca. 41%. Gjennomsnittet for de 4 årene er 36%.

SUMMARY

Introduction

The Glaciology Section is a part of the Hydrology Division within the Norwegian Water Resources and Electricity Board. The main objectives are to perform glaciological studies, in general this means mass balance investigations at selected glaciers to provide data for various hydrological calculations. These are then used further in connection with planned hydro-electric power developments in various parts of Norway. For the same reason it proved necessary also to investigate the amounts of sediments - carried in suspension and as bottom load by the glacier streams. It is planned to divert several glacier streams for future water power

development in Norway, and this may cause technical problems. Therefore, studies of the transport of solid matter in selected glacier streams has been carried out during several years and the results have been published in annual reports.

The locations of present and past sediment transport studies are shown on the index map, Fig. 1. Some of the selected glacier streams were observed for only 5-6 years and the investigations were then terminated because it was felt that sufficient data had been collected. For two relatively large glaciers however, the investigations have been carried out continuously - at Nigardsbreen (Western Norway) since 1968, at Engabreen (Northern Norway) since 1969. In both cases a program was designed to monitor the total annual amount of sediment carried both in suspension and as bottom load. In addition to these long-term studies it was started a new project in 1978 at Bondhusbreen where the amount of material settled in a subglacial sedimentation chamber should be studied.

The methods used have been, in general, unchanged since the project started. Two student assistants have been based near the front of each of the observed glaciers where water samples are normally taken five times a day. However, during a period of rapidly increasing discharge a much more frequent sampling was undertaken - at least one sample each hour. To test the representativity of single samples it was decided to take two simultaneous samples at certain occasions, and they indicate a good reproducibility. The amount of coarse material carried as bottom load is difficult to observe directly but accurate surveys of delta increments in the proglacial lakes made it possible to calculate the annual amounts of bottom load carried by the stream. These surveys were carried out each fall (at Nigardsbreen) or each spring before break-up (Engavatn).

The water samples are taken in one-litre plastic bottles at locations of high turbulence. The bottle is removed from the stream just before it is completely full. The content is filtered in the field and the paper is sent to the laboratory in Oslo for processing. The water volume of each sample is accurately measured and used in the calculations of total sediment load. During intervals between each sampling it is thought that the sediment concentration has a linear variation - an assumption which might not be entirely correct. However, during normal days only fairly small errors are encountered, and during periods of very high discharge the samples are taken so frequently that the possible loss of data in between each sampling are considered of minor importance. Studies of sources of error in these investigations have been previously reported, compare Andersson and Lundén (1972) and Ekman (1970).

A special instrument which allows a continuous record of variations in the turbidity of the water was installed at Nigardsbreen and results from 1977 indicate

that "clouds" of sediments may pass at certain occasions and they may not be directly observed if they occur between the actual sampling. It is hoped that this instrument will make possible a higher degree of accuracy in future calculations of this kind.

The particles collected in the bottles are in general smaller than 0.5 mm in diameter and the number of particles in the range 0.5-1.0 mm is so small that only visible particles larger than 1 mm are removed from the samples before they are sent to the laboratory for ashing.

Sediment transport at selected glaciers in Norway, 1978

General

Many glacierized areas in Norway are considered for future hydro-electric developments and it was deemed necessary to carry out various investigations in these areas to collect data that could be useful in the planning procedure. Both the hydrology of glaciers in these areas and the sediment transport in glacier streams were of great interest to the engineers. The results of glaciological mass balance investigations have been presented in annual reports ("Glasiologiske undersøkelser i Norge 19..") whereas results from the sediment transport studies are reported in the present series. This issue contains results obtained during the summer 1978. The two glaciers under continuous study are of particular interest because it is planned to catch the meltwater from these two outlet glaciers by a system of bed-rock tunnels. It will be necessary to collect meltwater subglacially because the reservoir is located much higher than the snout of these glaciers.

Many technical problems will be involved in the construction of subglacial water intakes, one of them being the amounts of coarse material that will possibly block the diverting tunnels unless this material is removed from the meltwater. A system of subglacial water intakes has been already implemented at the outlet glacier Bondhusbreen on the Western side of the Folgefonni ice-cap. Here a large sedimentation chamber has been constructed in the bedrock and all coarse material will settle in this chamber. Some results from studies made in this chamber after one year of operation is given in this report. The main part of this report, however, deals with results obtained at Nigardsbreen and Engabreen.

The water discharge from Nigardsbreen was, in total, slightly higher than the average for the last 16 years. For Engabreen the total discharge during the melt season 1978 is regarded to be close to average.

The field season started at the beginning of June and was terminated in the middle of September. This period covers the main part of the melt season but because some

water was still draining when the field observation period ended, it proved necessary to calculate an additional amount of sediment carried after the middle of September. Mild weather and some liquid precipitation in October and the beginning of November caused some discharge peaks for both of the glaciers, so special calculations were necessary to estimate the amount of material carried then. At that time of the year, however, a given water discharge will produce much less sediment transport than the same discharge would have done at the beginning of the summer. A certain amount of subjective judgement must therefore be taken into account when these estimates are made.

Nigardsbreen

The glacier covers 48 km^2 and the water discharge is continuously recorded at an automatic gauge located at the outlet of the lake Nigardsvatn, very near the glacier tongue. The observation station was manned from May 30 to September 15 and samples were taken five to twenty-four times a day. To calculate the amount of sediment which is settled on the bottom of the lake it was decided already at the start of these investigations that samples should be taken both at the inlet and at the outlet of the lake. The results from these observations are shown in Fig. 3. The highest discharge occurred on August 2 ($38.5 \text{ m}^3/\text{sec.}$) but this flash flood is much lower than similar floods during previous years. The highest discharge observed since 1964 was $55.9 \text{ m}^3/\text{sec.}$ on June 25, 1970.

The total amount of suspended material carried by the stream during the field season amounted to 7200 metric tons whereas 1630 tons were carried out of the lake. This means that 77% of the fine material was deposited in the lake, and this is near the average for the 11 years during which observations have been carried out. If evenly distributed this would produce a 6 mm annual layer on the bottom of the lake, but obviously an uneven sedimentation must be expected.

The largest daily transport was observed on August 1 when 174 tons were carried from the glacier. The highest sediment concentration was measured on a very short and sudden flash flood, and it amounted to 1510 mg/l, whereas the more "normal" concentration during the summer 1978 was only about 100 mg/l.

During the spring, before any measurement were taken in the stream, only small amounts of meltwater discharged but, based upon earlier experience, it was estimated that about 200 metric tons of sediments may have been transported before May 30. Similarly, after the end of the observation season (September 15) it was found that a small flood occurred on September 17. Later comparatively more water than normal discharged during October and November. The transport is estimated to be in the order of 300 metric tons after the field season. Thus, the total transport of suspended sediment amounts to 7700 metric tons.

Accurate surveys of the delta made possible a calculation of coarse material settling during the season, it consists mainly of particles larger than 1 mm. It is calculated that 5400 metric tons were added to the delta in 1978. Consequently, a total of 13100 tons were carried by the glacier stream and this corresponds to an even erosion of 0.1 mm of the bedrock under the entire glacier bed - although much less may have been eroded in the upper parts and much more in the lower parts of the glacier.

Experiments have been carried out to record continuously the variations in sediment transport by using arrangement for light transmission observations in the river water (Ekman, 1978). Many practical problems were encountered in this connection, one of them being the power supply. In 1978 it was therefore constructed a wind-driven battery charger so that the troublesome handling of batteries for recharging could be made much less frequent. Due to catabatic winds from the glacier it was possible to obtain almost continuous charging during the day.

Unfortunately, another technical breakdown in the system caused interruptions of the records for the summer but about half of the observation period is covered by data from this instrument and the information obtained can be used in connection with data from the daily samples to check whether they are representative or not. A real calibration of the instrument has proven difficult so the data cannot be used for direct calculations of the sediment transport in the stream.

The studies of sedimentation in the lake Nigardsvatn were started in 1968 because the lake was then just uncovered - the glacier had withdrawn from the shore of the lake during that summer. The glacier recession has continued since then and now the glacier front is located about 400 m from the lake. The sedimentation on the delta has been observed by direct measurements, the annual increment were surveyed along fixed profiles. These profiles can be easily defined because steel cables are stretched between bolts in the bedrock on each side of the delta. Accurate point measurements are then made 5 m apart along these cables. Such surveys were first made in August 1968 and then at least once a year. Sometimes the measurements were taken from the lake ice but in most cases they were made from a boat. However, in late fall large areas of the delta were normally exposed and the survey could be performed by theodolite. In total 293 points were surveyed every year but in 1968 and 1978 no less than 469 points were observed. The so-called "inner basin" i.e. the area between the river inflow into the lake and the profile "15-14" is fairly well studied and the annual sedimentation well known. As an average it amounts to 19.2 cm with a maximum of 34.5 and a minimum of 5.3 cm/yr for the last 10 years.

On the delta and in this inner basin a mixture of coarser and finer material is

settling, but it is difficult to give any reliable relation between various fractions - even during periods of low discharge it can be observed that fine material is carried away from certain parts of the delta and deposited again in the inner basin. The total area of the inner basin accounts for only 6% of the total area of the lake Nigardsvatn. Calculations have been made of the total amount of material sedimenting in the lake and on the delta, and the result is given in a Table (p.16). For example, in 1970 when the total water discharge amounted to $208 \cdot 10^6 \text{ m}^3$, the river carried 14700 tons of fine material into the lake and 3300 out of the lake. Consequently, 11400 tons of suspended sediment were deposited on the lake bottom. The delta survey indicated that a little more than 17000 tons of coarser material had been deposited at the same time on the delta. The table contains annual data for the period 1968 - 78, as well as means figures.

Engabreen

Engabreen is one of the largest outlet glaciers from the Svartisen ice-cap in Northern Norway. The ice-covered area is 48 km^2 and glaciological data, mainly mass balance results, have been collected since 1970. Similarly, studies of sediment transport have been carried out since 1969 and results have been reported annually in publications like the present report.

Water samples are taken both at the inlet and at the outlet of the lake Engabrevatn, 1.2 km^2 . The water level of this lake, i.e. the water discharge from it, is automatically recorded. The delta at the inlet is regularly surveyed. In March 1979, when the lake was still ice-covered measurements were made in points 5 m apart along 8 fixed profiles across the delta.

The total discharge from the glacier was in 1978 very near the average for the last 9 years; it amounted to $176 \cdot 10^6 \text{ m}^3$ (compare Fig.11). The glacier tongue has now started to advance and distance measurements from 10 points along the snout indicate that the ice moved about 18 m forwards from the fall 1977 to the fall 1978. This is the third consecutive year of glacier advance, amounting to about 50 m since 1975.

The diagram, Fig.10, shows the results obtained from the sediment studies in 1978. The correlation between meteorological parameters and daily water discharge seems to be fairly good. At the end of June, when the air temperature increased, the river had a small flood during a few days. The peak flow occurred on June 30 when $32.1 \text{ m}^3/\text{sec}$ left the lake. This peak is, however, not exceptional. The highest daily discharge in 1978 amounted to $2.63 \cdot 10^6 \text{ m}^3$.

The highest concentration of suspended material was observed at noon on June 24 when it amounted to 300 mg/l and 480 metric tons of suspended material were carried by the glacier stream during that day. Previous results indicate that

the concentration may range from about 200 mg/l up to more than 1000 mg/l.

The calculation of the total amount of suspended material carried by the stream during the entire field season (with a small correction for material carried just before and after the observation period) gave as a result that 10800 metric tons were carried into the lake. Of this total amount 77% were deposited on the lake bottom.

The delta studies carried out during the last few years have indicated that the foreset beds are fairly unstable in this lake and depositions made near the water surface tend to start small "landslides" and such mass movements were also observed in 1978. If the material is sliding only down to a depth of 20 m it will still be recorded because the surveys are carried out to that depth. However, if it continues to a greater depth it will not be included in our calculations. The survey indicate that in some places the previous years' surface had been lowered by no less than 3 m whereas accumulation have increased the delta height by about 2 m in other areas. The result of this year's surveys indicate that 4350 m³ were accumulated whereas 950 m³ were eroded. This gives a net accumulation of 3400 m³ or 6800 metric tons. With a small correction for material which may have continued to deeper parts of the delta, it is assumed that the total increment during 1978 amounted to 7500 metric tons. This means that 41% of the total amount of material was carried as bottom load, the rest as suspended load.

Bondhusbreen

The water power station "Mauranger Kraftverk" takes most of its water from the Western slope of the Folgefonni peninsula and, consequently, the ice-cap Folgefonni contributes to a great extent. One part of the ice-cap drains through the outlet glacier Bondhusbreen but this glacier penetrates so deep into the valley so that it proved impossible to take water from the glacier snout - the collecting gallery is situated much higher at an elevation of about 900 m a.s.l. It was therefore constructed subglacial water intakes (compare Fig.13) and the study of sediments, particularly the coarse material, would be of great interest for the power station.

Direct measurements were made in 1972 and in 1973 at the front of the glacier and it was then found that about 7000 metric tons of suspended material were carried by the glacier stream. The transport of coarse material was assumed to be of the same order of magnitude. Further studies were made in the lake Bondhusvatn where bottom samples were taken in 1974 to estimate the maximum amount of material which would likely be carried by the glacier stream in a future. It was decided that the sedimentation chamber which was constructed in the bedrock under the gla-

cier should be made large enough to accomodate some 10000 m³ coarse material. However, the "hall" is not presently large enough to store so much material. It is anticipated that the chamber should be emptied in the winter when water discharge from the glacier is negligible.

During the last years of construction work under the glacier certain amounts of bedrock had been dumped into the sedimentation chamber, so when the coarse material from the glacier also accumulated there during the summer of 1978 it happened that the entire hall was filled up by material. During the following winter the chamber was cleared and by correlations between survey profiles made at the end of the summer 1978 and during the spring 1979, before any material from the glacier had been deposited, it was concluded that about 6000 metric tons had been deposited in the sedimentation chamber. For the next year there will be made space available for a sedimentation of much more material, probably in the order of 10000 metric tons. An accurate survey will also be made in good time before next season.

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).

Ekman, S.R

- 1969: Nigardsvatnet som sedimentationsbassäng, p. 123-133, in: Pytte, R. (ed.): Glasiologiske undersøkelser i Norge 1968. Rapport nr. 5/69, Norges vassdrags- og elektrisitetsvesen, Hydrologisk avdeling, 149 p. (English summary).
- 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.): Slamtransportundersøkelser i norske bre-elver 1969. Rapport nr. 6/70, Norges vassdrags- og elektrisitetsvesen, Hydrologisk avdeling, 68 p. (English summary).
- 1977: Sammanställning av lodningar i Nigardsvatnets inre bassäng, 1968-1976, in: Kjeldsen, O. (ed.): Materialtransportundersøkelser i norske bre-elver 1976. Rapport nr. 8/77, Norges vassdrags- og elektrisitetsvesen, Hydrologisk avdeling, 34 p. (English summary).
- 1978: Elektronisk apparatur för mätning och kontinuerlig registrering av slamkoncentrationen, in: Kjeldsen, O.: Materialtransportundersøkelser i norske bre-elver 1977. Rapport nr. 4/78, Norges vassdrags- og elektrisitetsvesen, Hydrologisk avdeling, 71 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).
- 1978: Materialtransportundersøkelser i norske bre-elver 1977. Rapport nr. 4/78, Norges vassdrags- og elektrisitetsvesen, Hydrologisk avdeling, 71 p. (English summary).

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).

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. & Repp, K.

- 1979: Glasiologiske undersøkelser i Norge 1978. Rapport nr. /79, Norges vassdrags- og elektrisitetsvesen, Hydrologisk avdeling, 71 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.

- 1964: A method of measuring water discharge in turbulent streams. Medd. nr. 8. Norges vassdrags- og elektrisitetsvesen, Hydrologisk avdeling, 23 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).