NORGES VASSDRAGS-OG ELEKTRISITETSVESEN

MATERIALTRANSPORTUNDERSØKELSER

i

NORSKE BRE-ELVER

1979

RAPPORT NR. 1-80

VASSDRAGSDIREKTORATET

HYDROLOGISK AVDELING

OSLO DESEMBER 1980

NORGES VASSDRAGS-OG ELEKTRISITETSVESEN

MATERIALTRANSPORTUNDERSØKELSER

i

NORSKE BRE-ELVER

1979

REDIGERT AV O.KJELDSEN

BIDRAGSYTERE: O.KJELDSEN OG G.ØSTREM

RAPPORT NR. 1-80

VASSDRAGSDIREKTORATET

HYDROLOGISK AVDELING

OSLO DESEMBER 1980

ISBN 82-554-0251-9

FORORD

Breenes erosjon mot underlaget har gjennom årrekker resultert i en stadig strøm av slamrikt vann og en transport av sand, grus og stein ut fra fjellområdene i vårt land. Navn som Mjølkedalen, Leirdalen osv. har naturligvis sin opprinnelse i det slamrike vannet som er typisk for våre breområder. Breer består av is som er i stadig bevegelse, og den river løs fra underlaget større eller mindre biter av fjellgrunnen. Dette materialet virker sammen med isen som et kjempestort "sandpapir" på fjellgrunnen som slipes ned etterhvert. På denne måten er breene en meget aktiv landskapsdannende faktor, og store deler av vårt land bærer preg av dette.

Vannet som kommer fra breene transporterer materialet videre; vannet får en gråaktig farge. Slikt slamrikt vann virker sterkere eroderende på underlaget enn klart vann. Hittil har breene og brevannet egentlig sjelden vært betraktet som noe "skadelig" for menneskene og deres virksomhet - tvert om, man har ofte sett at de er et vakkert og naturlig innslag i fjellverdenen.

I dagens samfunn, da man leter etter kilder for mer energi, har etterhvert også breområdene blitt betraktet som en potensiell kilde for vannkraft. Hittil har man stort sett bygget ut vassdrag som har hatt rent, klart vann, og som ikke har skapt noen større tekniske problemer. Hvis man derimot begynner å bruke slamrikt bresmeltevann, vil dette øyeblikkelig skape problemer av forskjellig art, ikke minst vil man få en kraftig slitasje i ventiler og turbiner, foruten at en del av magasinene etterhvert vil bli slammet igjen.

Brekontorets undersøkelser har gjennom årene vært finansiert av forskjellige institusjoner, men hovedsakelig har Statskraftverkene båret de største økonomiske byrder. P.g.a. den vitenskapelige verdi som denne innsamlingen av data representerer, har det også vært et godt samarbeid mellom Brekontoret og Naturgeografiska Institutionen ved Stockholms Universitet, der ingeniør Stig-Rune Lundman gjennom en årrekke har bearbeidet - og også ofte stått for innsamlingen av måledata fra Nigardsvatnet, der et delta bygges ut i vannets indre del nettopp p.g.a. de store materialmasser som breelven fører med seg.

Rapporten er et resultat av mange personers arbeid, ikke minst en rekke sommerassistenter som i all slags vær har måttet ta tallrike prøver under ofte ganske vanskelige forhold. Hovedansvaret for rapporten har som tidligere ligget hos Ola Kjeldsen, tegner B.Braskerud har rentegnet diagrammene og Fvy Vollmo og Eva Heyerdahl har renskrevet teksten.

Oslo i desember 1980

Gunnar Østrem

INNHOLD

	Side
Innledning	3
Materialtransportundersøkelser ved breer i Norge, 1979 (O. Kjeldsen)	7
Sammenfattende beskrivelse	7
Vær- og vannføringsforholdene	7
Generell kommentar til årets observasjoner	8
Nigardsbreen	8
Innledning	8
Resultat	10
Engabreen	16
Innledning	16
Resultat	16
Avlagring på deltaet i perioden 1975-1979	21
Bondhusbreen	25
Innledning	25
Resultat	25
Sluttord	27
Summary (G. Østrem)	32
Introduction	32
Sediment transport at selected glaciers in Norway, 1979	34
Nigardsbreen	34
Engabreen	36
Bondhusbreen	38
Conclusions	39
Litterature	42

INNLEDNING

Brekontoret har siden 1967 undersøkt materialtransporten i en del utvalgte breelver. 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 1979 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.

I 1967 ble målinger satt igang ved 3 breer i Sør-Norge (fig.14). 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 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.

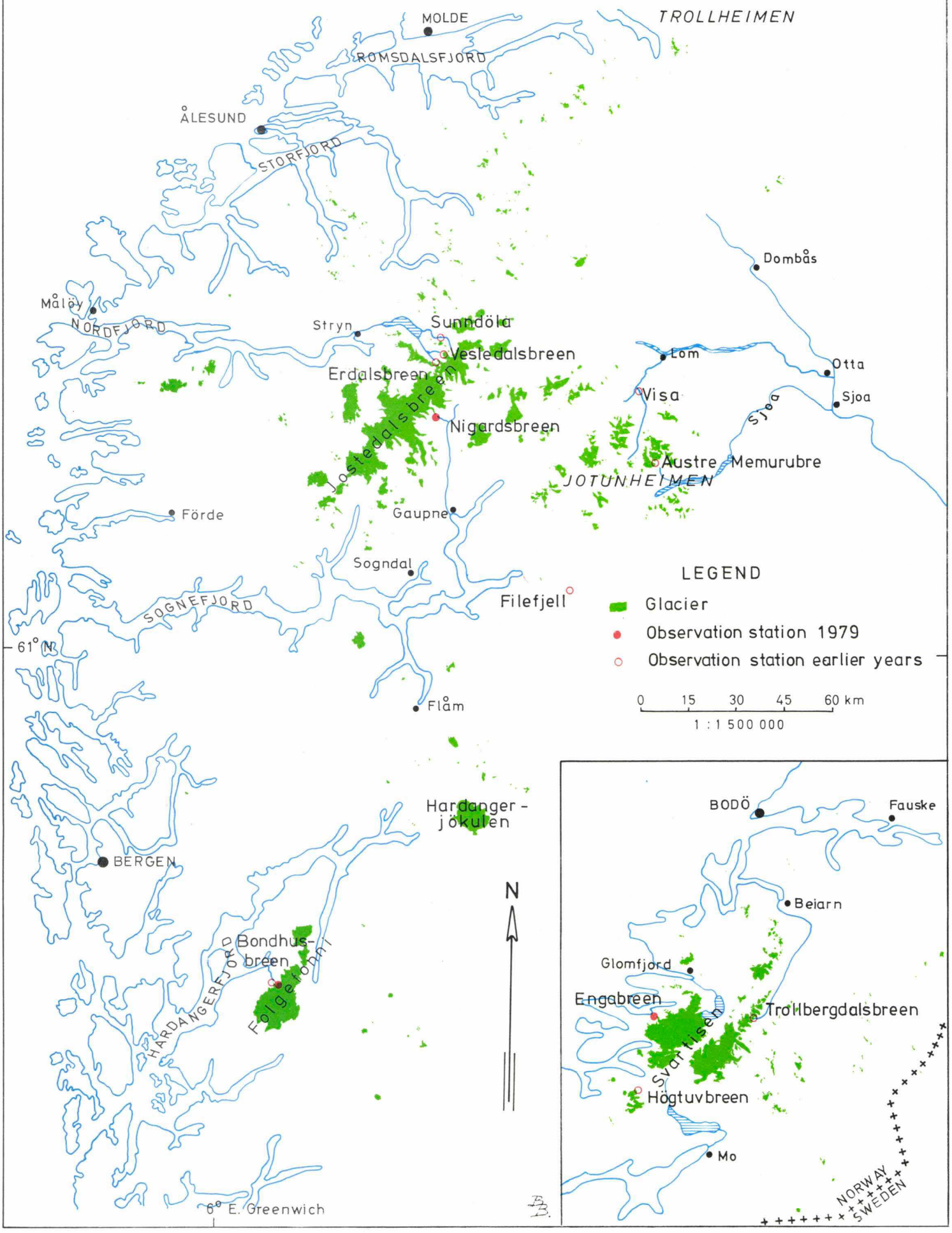
I samarbeid med Vestlandsverkene ble det i 1978 foretatt oppmåling av sedimentasjonen i sedimentasjonskammeret for vannet fra det subglasiale inntaket under Bondhusbreen. I 1979 ble det gjennomført målinger av slamføringen i sedimentasjonskammeret etter et noe redusert program.

Ved to av brevassdragene der det nå foretas undersøkelser, har målingene pågått i henholdsvis 11 år for Nigardsbreen og 10 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 bre-elvene stadig får tilført nytt løsmateriale som produseres ved breenes erosjon i undergrunnen. Materialtransporten i brevassdrag forårsaker forskjellige problemer i forbindelse med utbygging.

FIG. 1

STUDIES OF SEDIMENT TRANSPORT AT NORWEGIAN GLACIER STREAMS



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 1979 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 1979 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, ved Nigardsbreen og Engabreen fra månedsskiftet mai/juni til midten av september, ved Bondhusbreen fra 8.juni til 19.august.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 materiake i bre-elvene. Ved Nigardsbreen og Engabreen er det også blitt foretatt målingar 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 deltatilveksten ved innløpet i vatna.

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), van-

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.

ligvis 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. For nærmere beskrivelse se Kjeldsen 1979. 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 1979 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, 1979

Sammenfattende beskrivelse

Sommeren 1979 fortsatte undersøkelsene av materialtransporten i vassdragene fra Nigardsbreen på østsida av Jostedalsbreen og i vassdraget fra Engabreen. Denne siste breen er en vestlig utløper fra Svartisen med avløp til Holandsfjorden. I tillegg ble det foretatt en undersøkelse av materialtransporten inn i det subglasiale inntaket under Bondhusbreen, en vestlig utløper av Folgefonna. Målerutinene har her vært noe forenklet i forhold til de som er brukt ved de andre målestedene.

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

I breområdene startet vinteren 1978-79 i september, som var kjølig med ustabilt vær. Månedsmiddeltemperaturen var fra 1.5-2°C under normalen på nærliggende meteorologiske stasjoner (Klimatologisk Månedsoversikt fra Det Norske Meteorologiske institutt). Høstmånedene 1978 var temperaturen litt over normalt, særlig ved Jostedalsbreen. Vintermånedene var kalde og nedbørfattige. Temperaturen lå 2.5-4°C under normalen. Først i slutten av februar ble det noe mildere og mer nedbør. Det noe mildere været fortsatte i mars med nedbør på 150-250% av normalen i Sør-Norge, mens fralandsvind i lange perioder ga lite nedbør i nord. April var preget av framherskende østlige vinder med temperatur omkring det normale og lite nedbør. Vintersesongen sluttet med en kjølig og nedbørrik mai måned.

Resultatet av dette er at vinterbalansen for Nigardsbreen ble 120% av gjennomsnittet for de siste 18 årene, mens den for Engabreen ble 115% av gjennomsnittet for de siste 9 årene (Wold 1981).

Sommeren 1979 begynte med pent, varmt vær i sør og mer skiftende i nord. I siste del av juni endret været seg. I sør ble det mer skiftende, senere kjølig og nedbør over normalen. Temperaturen var fra 1.5-2.5°C under normalen. Omkring Svartisen var det et noe skiftende sommervær med lange perioder med fralandsvind og pent vær.

Avrenningen for perioden mai-oktober (fig. 4) var litt i overkant av gjennomsnittet for de siste 17 årene. Det samme forhold gjelder også for sommerbalansen for Nigardsbreen i 1979. Dette kan synes underlig i forhold til de meteorologiske forholdene, men en må her ta i betraktning at normalperioden som de meteorologiske

målingene sammenliknes med er perioden 1931 til 1960. Målingene ved og på Nigardsbreen har foregått siden 1963, og særlig de første årene var positive for breen og således med lav avrenning. I perioden 1931-1960 smeltet som kjent breene sterkt tilbake.

Avløpet fra Engabreen var også i overkant av gjennomsnittet for de årene målingen har pågått. Her dreier det seg om 10 år. Sommerbalansen var imidlertid så høy som 138% av gjennomsnittet.

Generell kommentar til årets observasjoner

Observasjonene ved Nigardsbreen og Engabreen startet månedskiftet mai-juni og ble avsluttet i midten av september. Denne perioden dekker den vesentligste delen av materialtransportsesongen. I slutten av september og i midten av oktober forekom det mindre vannføringstopper ved Nigardsvatnet (fig. 4) pga. relativt mildt vær og sterk nedbør. Slamføringen under disse flommene er beregnet ved å sammenlikne med slamføringer ved liknende vannføringer i slutten av observasjonssesongen.

Nigardsbreen

Innledning

Observasjonsstasjonen ved vassdraget fra den 48 km^2 store Nigardsbreen var i 1979 bemannet fra 30. mai til 14. 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 km^2 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. Det er her gjort for få vannføringsmålinger til å konstruere en tilfredsstillende kurve. 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 breelva har ført med seg langs bunnen.

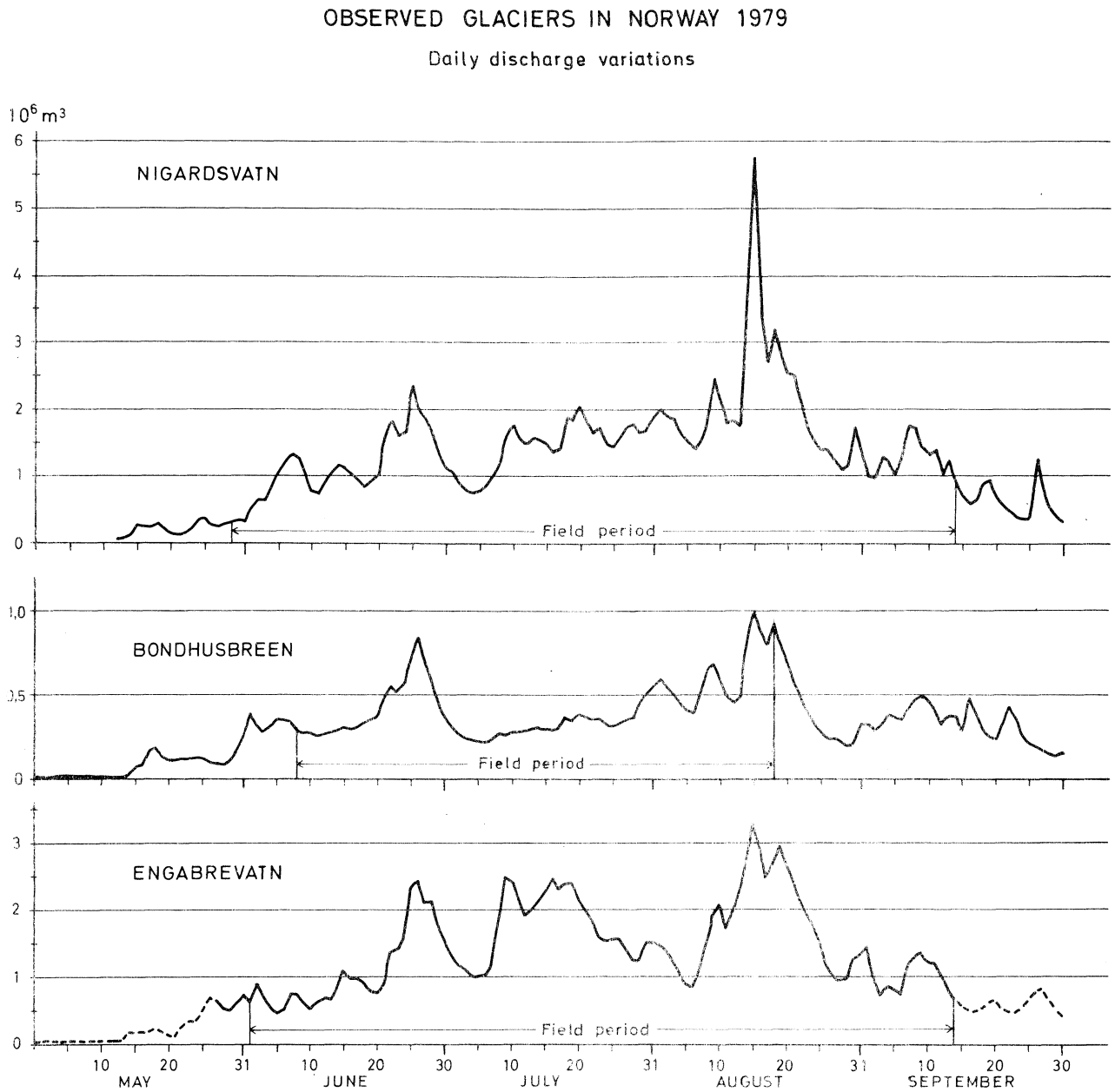


Fig. 2 Observerte døgnvannføringer i de undersøkte brevassdrag i 1979.
Daily discharge variations at observed glacier rivers in 1979.

Nettobalansen for Nigardsbreen var positiv i 1979 (Wold 1981). Summen for de 18 årene det har vært foretatt massebalansemålinger på Nigardsbreen er også positiv. Brefronten rykket siste år 3 m fram. (O.Liestøl, pers. medd.). Dette er første gang breen har gått fram siden 1936. Men med en så beskjeden framgang som det her er snakk om, kan en bare si at tilbakegangen har stagnert.

Vinteren 1979 gikk det flere uvanlig store snøras i området mellom bretunga og Nigardsvatnet. Et av rasene hadde knust buret som huser termometer og termograf, selv om dette var lagt ned på et sted hvor det har ligget trygt gjennom flere vintre. Av denne grunn kom ikke målingene av temperatur ved brefronten i gang før nytt termografbur var på plass den 14. juni.

Resultat

Diagrammene i fig. 3 viser resultater av observasjoner og beregninger fra Nigardsvatnet i 1979. 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 institutts 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.

Ved Nigardsvatnet blir nedbør målt både ved utløp og innløp. Nedbør vist i fig. 3 er gjennomsnittet av de to målestedene. Temperaturen måles ved brefronten (innløp).

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 begynnelsen av juni steg vannføringen til en mindre topp den 7. Senere varierte vannføringen noe, men holdt seg lav til slutten av måneden. Da fikk vi en mindre flom pga. stigende temperatur og senere nedbør. Vannføringen kulminerte ved 31.5 m^3/s, som ligger godt under de høyeste målte vannføringer på dette tidspunkt siden 1968 (fig. 5).

Fram til midten av august forekom det ingen flommer av betydning og det lå an til å bli en sommer med forholdsvis lav avrenning. Slik skulle det imidlertid ikke gå.

Den 14. august satte det inn med kraftig nedbør som førte til rekordhøye vannføringer i hele Jostedalen. Ved Nigardsbreen ble det målt over 95 mm nedbør på ett døgn. Det høyeste som er målt siden 1968 er 40.2 mm den 5. september 1977. Ved Fåberg øverst i Jostedalen, ble det målt 77.8 mm. Det er den høyeste døgnnedbøren som er målt siden stasjonen ble opprettet i 1895, og hele 35.9 mm høyere enn den gamle augustrekorden fra 15. august 1898. Flommen kulminerte ved innløpet i Nigardsvatnet ca kl. 2200 den 14. og ca kl. 0100 den 15. august i utløpet. Vannføringen i utløpet var da nesten 96 m^3/s. Det høyeste som er registrert siden målingene kom i gang i 1963 er 55.9 m^3/s den 25. juni 1970 (fig. 5).

Døgnvannføringen ut av Nigardsvatnet var $5.77 \cdot 10^6 m^3$ den 15. august. Tidligere høyeste registrerte var $4.25 \cdot 10^6 m^3$ den 30. juli 1969. Døgnvannføringen under flommen i august 1979 skiller seg altså ikke så mye fra tidligere flommer som den absolutt høyeste vannføringen gjør det. Det skyldes at flommen var av kort varighet. Noe som igjen skyldes at den for det meste skyldtes kortvarig intens nedbør og bare i mindre grad sterk smelting på breen pga. temperaturøkning (Gjessing og Wold 1980).

NIGARDSVATN 1979

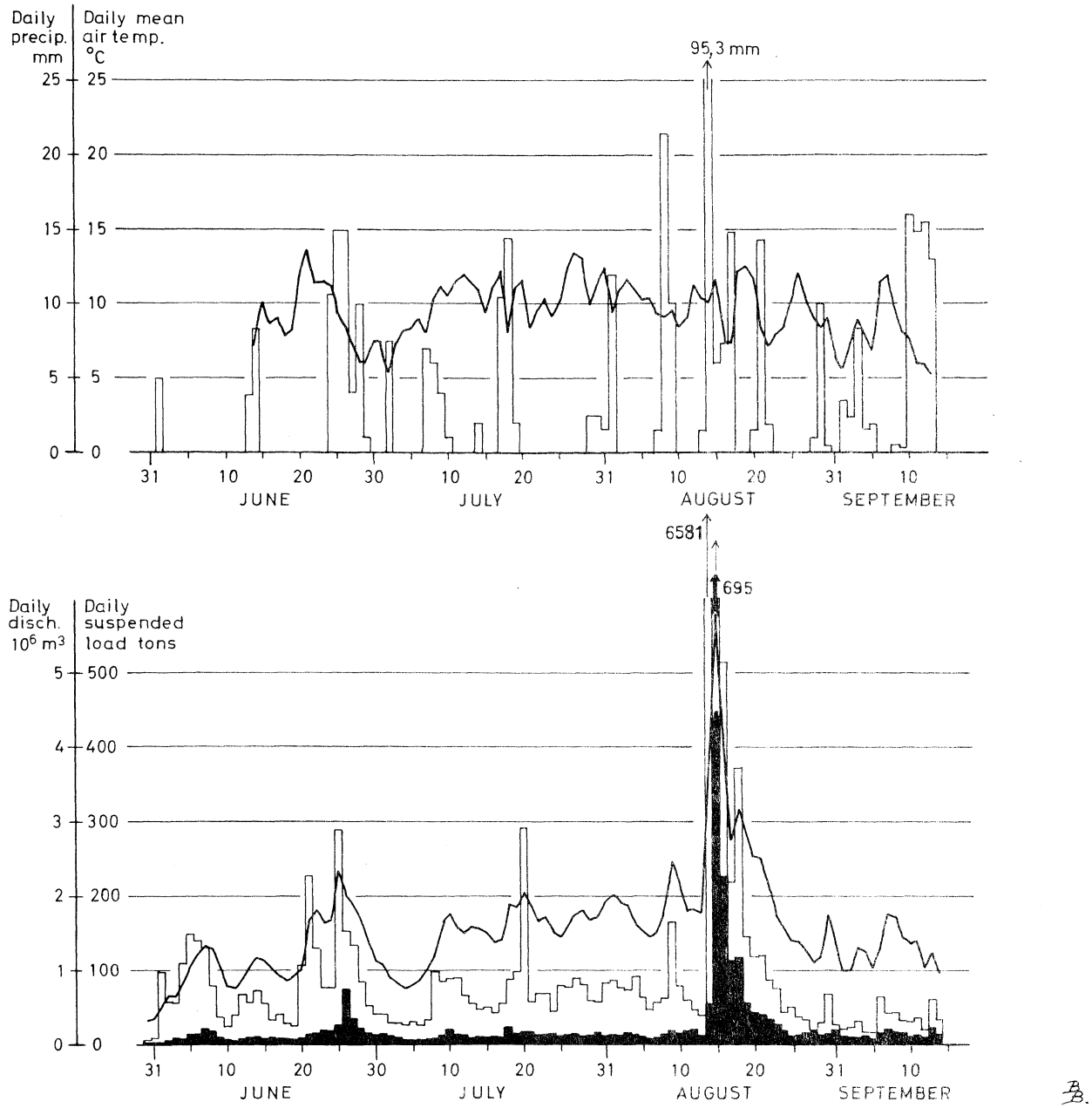


Fig. 3 Det øverste diagrammet viser døgnlig nedbør (søyler) og døgnmiddeltemperaturen (heltrukken strek) målt i løpet av observasjonssesongen ved Nigardsvatnet i 1979. Det nederste diagrammet viser den døgnlige vannføringen (heltrukken strek) målt ved utløpet av vatnet og den beregnede transporten av 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 1979 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.

Det var imidlertid en betydelig temperaturøkning sent på kvelden den 14. august. Fra kl.2200 til 2300 steg temperaturen ved brefronten fra 10.2 til 15.5°C og videre til 17.3 kl. 2400. Men allerede neste dag kl.1300 var den nede i 9.9°C og den fortsatte å synke noe, slik at døgnmiddeltemperaturen steg bare lite.

Det totale avløpet i perioden fra mai til oktober var i 1979 191 · $10^6 m^3$. Gjennomsnittet de siste 16 årene er 182.5 · $10^6 m^3$ (fig. 4).

Transporten av suspendert materiale inn i vatnet i observasjonsperioden fra 30. mai til 14. september er beregnet til 17 900 tonn. Transporten ut av vatnet i samme periode var 2 680 tonn. Det vil si at 85% av det finmaterialet breelva førte med seg sedimenterte i Nigardsvatnet. Gjennomsnittet for de 12 årene målingene har pågått er 78%. Fordelt på det 0.47 km^2 store Nigardsvatnet, utgjør årets sedimentasjon et ca 16 mm tykt lag jevnt fordelt over hele bunnen av vatnet, mens gjennomsnittet for de siste 12 årene er ca 9 mm. Det meste av dette, særlig de grovere fraksjonene avsettes nær breelvas innløp i vatnet, noe mindre utover i vatnet.

Under de to flomdagene 14. og 15. august var transporten av suspendert materiale henholdsvis 6 580 og 3 016 tonn, tilsammen nesten 9 600 tonn. Det vil si at mer enn halvparten av sommerens slamtransport inn i vatnet kom under flommen. Den absolutt høyeste slamkonsentrasjon ble registrert kl.2000 den 14. med 3 234 mg/l. Senere på kvelden ble det ikke ansett forsvarlig å ta prøver ved innløpet pga. mørket og hyppige ras fra morenene i de bratte dalsidene. Flommen kulminerte imidlertid i innløpet mellom kl.2100 og 2200. Det er rimelig å anta at prøven kl.2000 representerer den maksimale slamtransporten under flommen da slamtransporten vanligvis kulminerer noe før vannføringen. Den høyeste slamføring som tidligere er målt er 2 157 mg/l den 29. juli 1969, mens den høyeste døgntransporten er 1 279 tonn den 31. august 1970. Noe materiale ble også ført ut i vatnet av bekker fra dalsidene som eroderte kraftig i morenene fra midten av 1700-tallet (fig. 6).

I tiden før observasjonssesongen tok til den 30. mai var vannføringen lav (fig. 4), slamtransporten inn i vatnet var neppe mer enn 100 tonn. Etter observasjonstidens slutt den 14. september, var det to mindre vannføringstopper den 26. september og den 11. oktober. Slamtransporten etter observasjonssesongen anslås ved å sammen-

Fig. 4 Døgnlig vannføring ved utløpet av Nigardsvatnet fra mai til oktober i tolvårsperioden 1968 - 1979. Tallet til høyre angir totalt avløp observert i løpet av disse månedene. Det gjennomsnittlige avløp for nevnte 6-månedsperiode i denne tolvårsperioden er 189 · $10^6 m^3$.

Daily discharge at the outlet of Lake Nigardsvatn from May to October during the 12-year period 1968 - 1979. The number on the right hand side gives the total summer discharge for each year. The mean discharge for this 6-months' period in this 12 years is 189 · $10^6 m^3$.

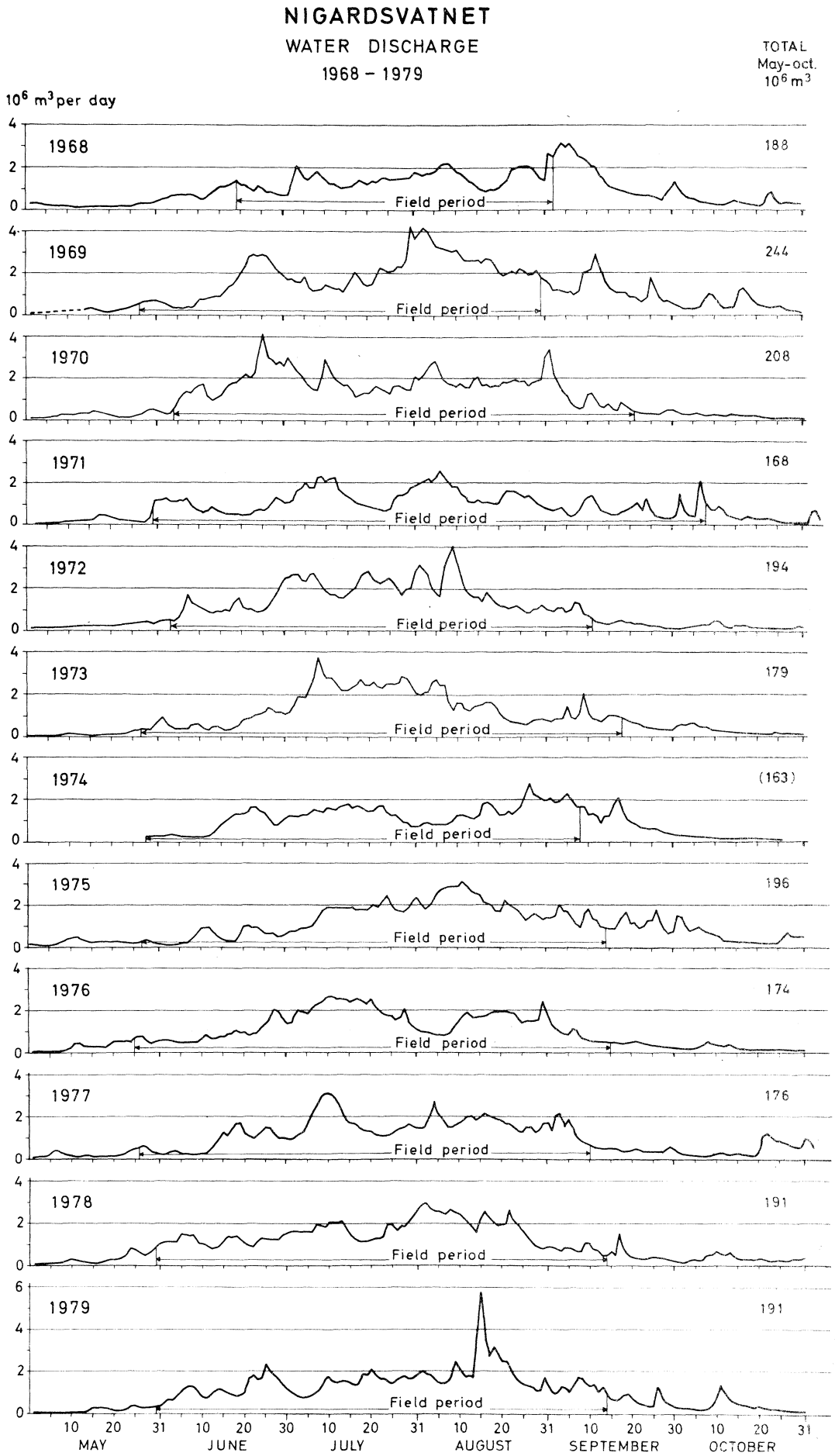

NIGARDSVATNET
WATER DISCHARGE
1968 - 1979
TOTAL
May-oct.
10⁶ m³
10⁶ m³ per day
1968
188
1969
244
1970
208
1971
168
1972
194
1973
179
1974
(163)
1975
196
1976
174
1977
176
1978
191
1979
191
Field period
MAY
JUNE
JULY
AUGUST
SEPTEMBER
OCTOBER

Fig. 4

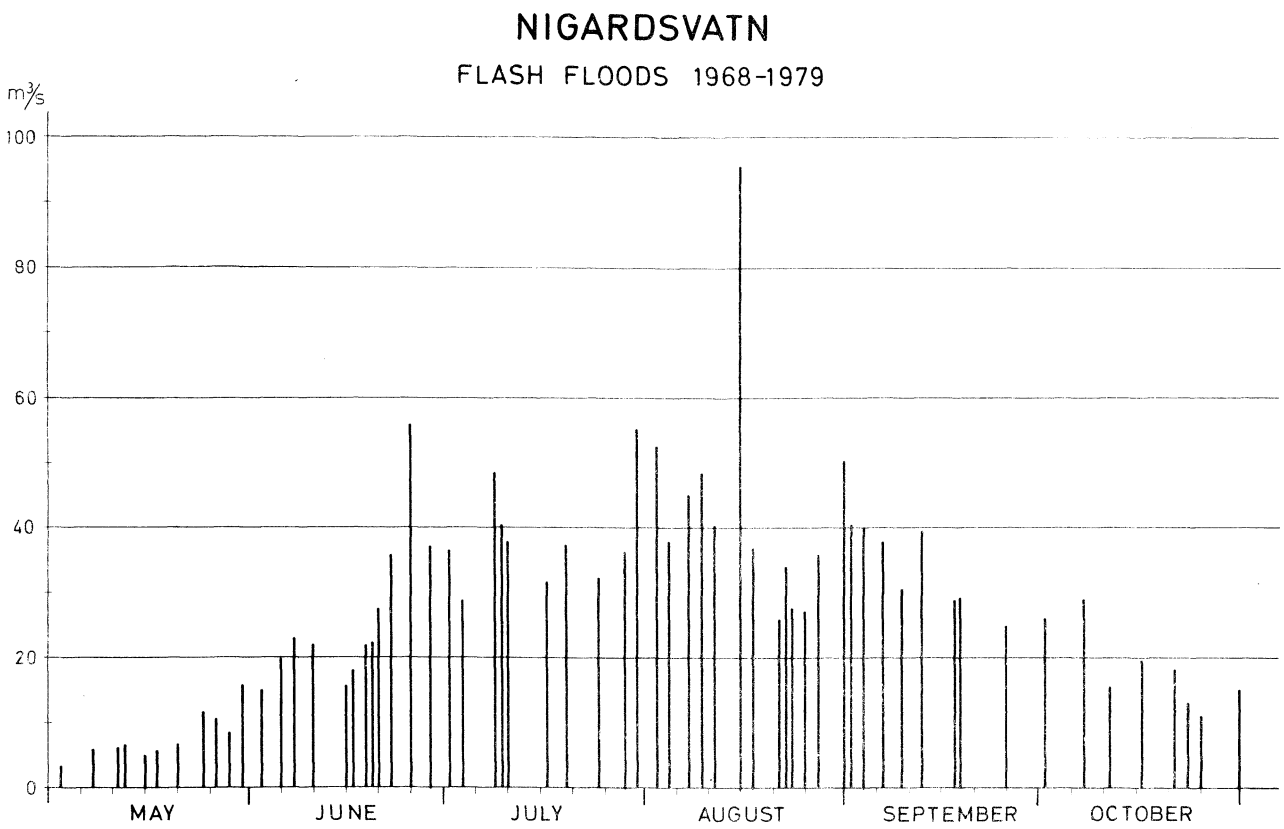


Fig. 5 De største registrerte vannføringer angitt i m^3/s for månedene mai til oktober i 12-årsperioden 1968 - 1979.

Flash floods given in m^3/s for the months May to October during the 12 year period 1968 - 1979.

likne med slamtransporten ved liknende vannføringer i slutten av observasjonssesongen. Slamtransporten inn i vatnet etter observasjonssesongen er etter dette anslått til ca 400 tonn.

Den totale transporten av finmateriale fra Nigardsbreen i 1979 kan etter dette anslås til 18 400 tonn. Det er det høyeste som er registrert siden målingene tok til i 1968. Pålagringen på deltaet i innløpet av Nigardsvatnet ble høsten 1979 målt ved opplodding og nivellering etter de samme profiler som tidligere år. Beregningene av denne pålagringen er gjort av ing. S.R. Ekman ved universitetet i Stockholm. Disse viser at det fra høsten 1978 til høsten 1979 har funnet sted en pålagring av gjennomsnittlig 24.6 cm over hele det oppmålte området. Det tilsvarer ca 7 000 m^3 eller ca 14 000 tonn.

Om en regner med at det materialet som avsettes på deltaområdet vesentlig består av grovere materiale enn det som transporteres i suspensjon, slik det tidligere er antatt, blir den totale sedimenttransporten fra Nigardsbreen i 1979 ca 32 400 tonn. Dette tilsvarer en fjerning av et 0.25 mm tykt lag av fjellet jevnt fordelt under hele breen.

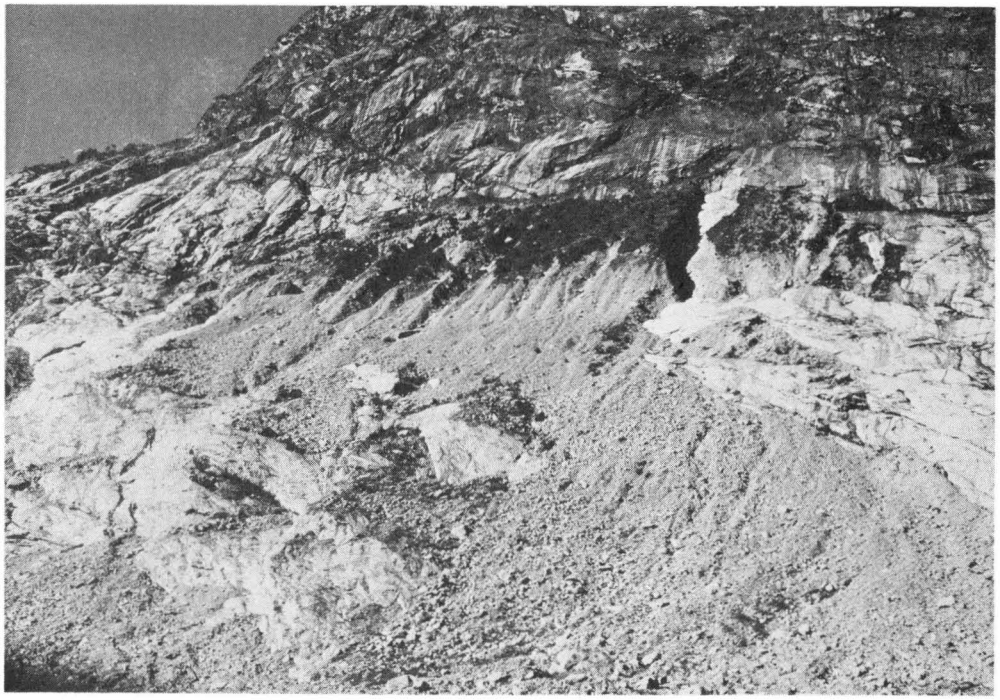


Fig. 6 Morene fra midten av 1700-tallet i dalsida nord for Nigardsbreen. Under flommen den 14. - 15.august 1979 skjedde det en betydelig erosjon i morenen, og materialet ble vasket ned den bratte dalsida og ut i Nigardsvatnet.

Lateral moraine from the middle of the 18th century in the valley side north of Nigardsbreen. The rain-flood on August 14 and 15, 1979 caused a considerable erosion in the moraines, and the material was washed down the steep slope into Lake Nigardsvatn.

Tallet for deltapålagringen er muligens noe for lavt. Det kan synes som en del meget grovt materiale har lagt seg opp innerst på deltaet, innenfor det innerste profilet. Det har således unndratt seg oppmåling. Materialet ble vesentlig avleiret under storflommen som maktet å transportere svært grovt materiale. Det groveste materiale ble avleiret øverst på deltaet under en uvanlig høy vannstand. Det er nå opprettet et nytt profil lenger inne på deltaet slik at en kan registrere eventuelle forandringer bedre også her.

I gjennomsnitt for de siste 11 årene har den totale årlige materialtransporten vært 22 810 tonn. 2 440 tonn av dette fraktes ut av vatnet, mens resten sedimenteres i vatnet eller på deltaet. Om materialtransporten fra Nigardsbreen vedvarer i denne størrelse, vil det ta over 500 år før Nigardsvatnet er fylt med sedimenter.

Et annet resultat av storflommen var at det automatiske slamregistreringsapparatet ble ødelagt. Mye av utstyret ble tatt av elva og forsvant. I tillegg kom registreringene sent i gang pga. at snø fra uvanlig store snøras vinteren 1979 dekket deler av utstyret til langt ut i juli. De begrensede registreringer er av en slik kvalitet at de ikke gir grunnlag for beregninger.

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 slutten av januar 1980 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. I tillegg er det fra og med ifjor målt langs et nytt profil som øker antall målepunkter der pålagringen er størst (fig.10). I år ble det målt opp ytterligere 2 nye profiler i de mer perifere delene av deltaområdet. Dette vil øke punkttettheten etter neste års målinger.

Observasjonsstasjonen ved Engabrevatnet var i 1979 bemannet fra 1. juni 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 1978-79 var ca 15% høyere enn gjennomsnittet for perioden 1970-79, mens sommerbalansen var nesten 40% høyere enn gjennomsnittet for samme perioden (Wold 1981). Avrenningen sommeren 1979 var ca 179 $\cdot$ $10^6 m^3$, litt i overkant av gjennomsnittet for de siste 10 årene (fig. 8).

Brefrontens posisjon er blitt målt fra 11 punkter rundt bretunga, som i tidligere år. Gjennomsnittet for disse målingene viser at breen har gått fram 15 meter fra høsten 1978 til høsten 1979. Brefronten fortsetter altså å gå framover for fjerde år på rad og har nå gått fram 61 meter siden 1975. For de 4 punktene som ligger rundt spissen av bretunga er denne framgangen 81 meter.

Resultat

Diagrammet fig. 7 viser resultater og beregninger fra Engabrevatn i 1979. 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. Den første vannføringsøkning kom 5-6 dager før observasjonene startet opp (fig. 8). Vannføringen holdt seg på lavt sommernivå fram til 21. juni. I forbindelse med temperaturstigning steg smeltingen og vannføringen økte betydelig. Den 25. juni ble det målt 17 mm nedbør mens temperaturen holdt seg høy. Det førte

til sommerens første flom med en vannføring på 32.1 m^3/s. Temperaturen varierte mye utover sommeren, men det var forholdsvis lite nedbør. Sommerens høyeste vannføring ble registrert 15. august også i forbindelse med nedbør og høy temperatur.

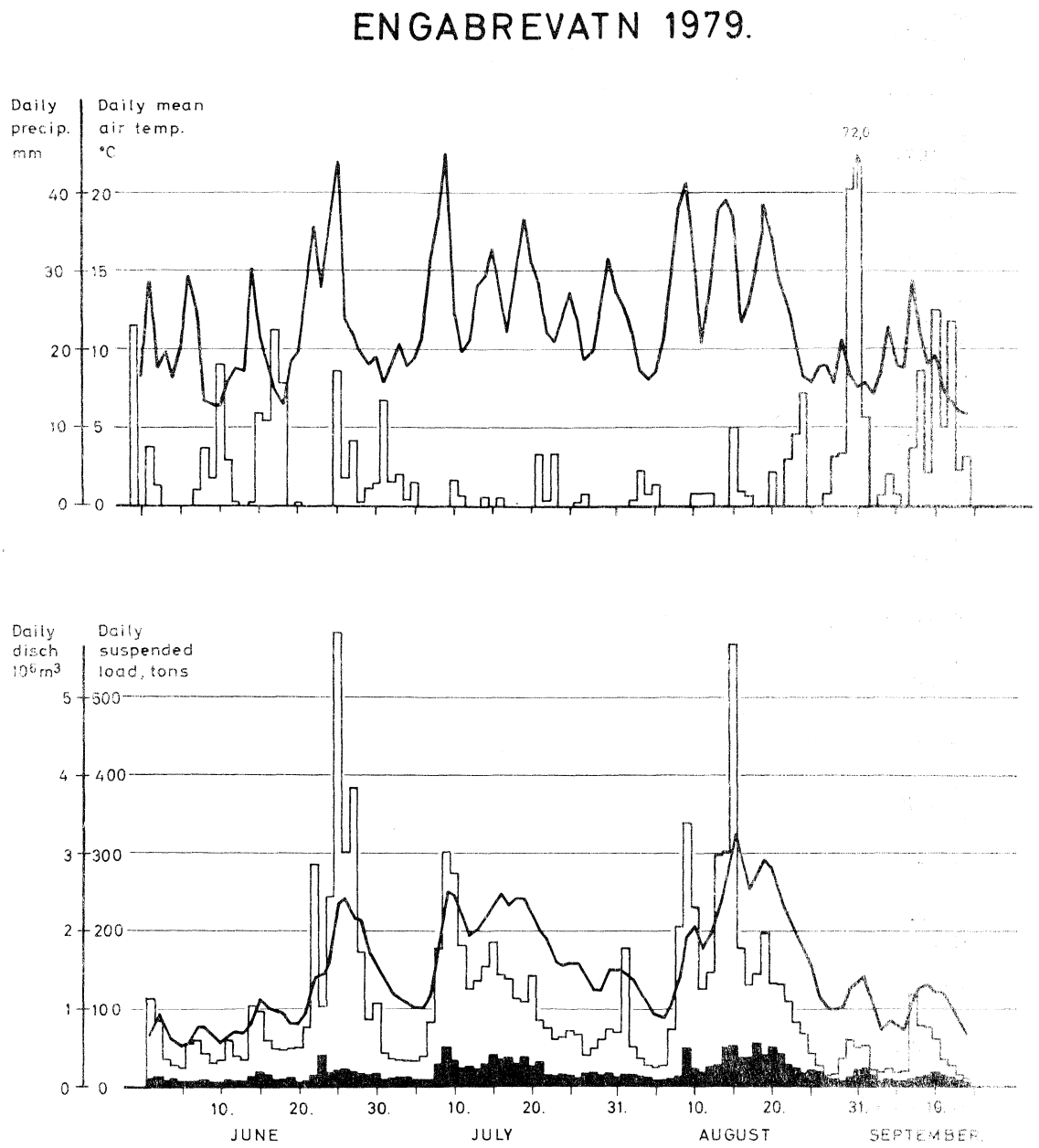


Fig. 7 Det øverste diagrammet viser meteorologiske parametre målt ved stasjonen ved Engabrevatn i observasjonssesongen 1979. Nedenfor vises døgnlig vannføring og den beregnede transporten av suspendert materiale inn i og ut av vatnet. Forskjellen mellom de to søylerekkene gir et inntrykk av vatnets effektivitet som sedimentasjonsbasseng.

The upper diagram shows meteorological parameters measured at the station at Lake Engabrevatn through the observation season 1979. 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.

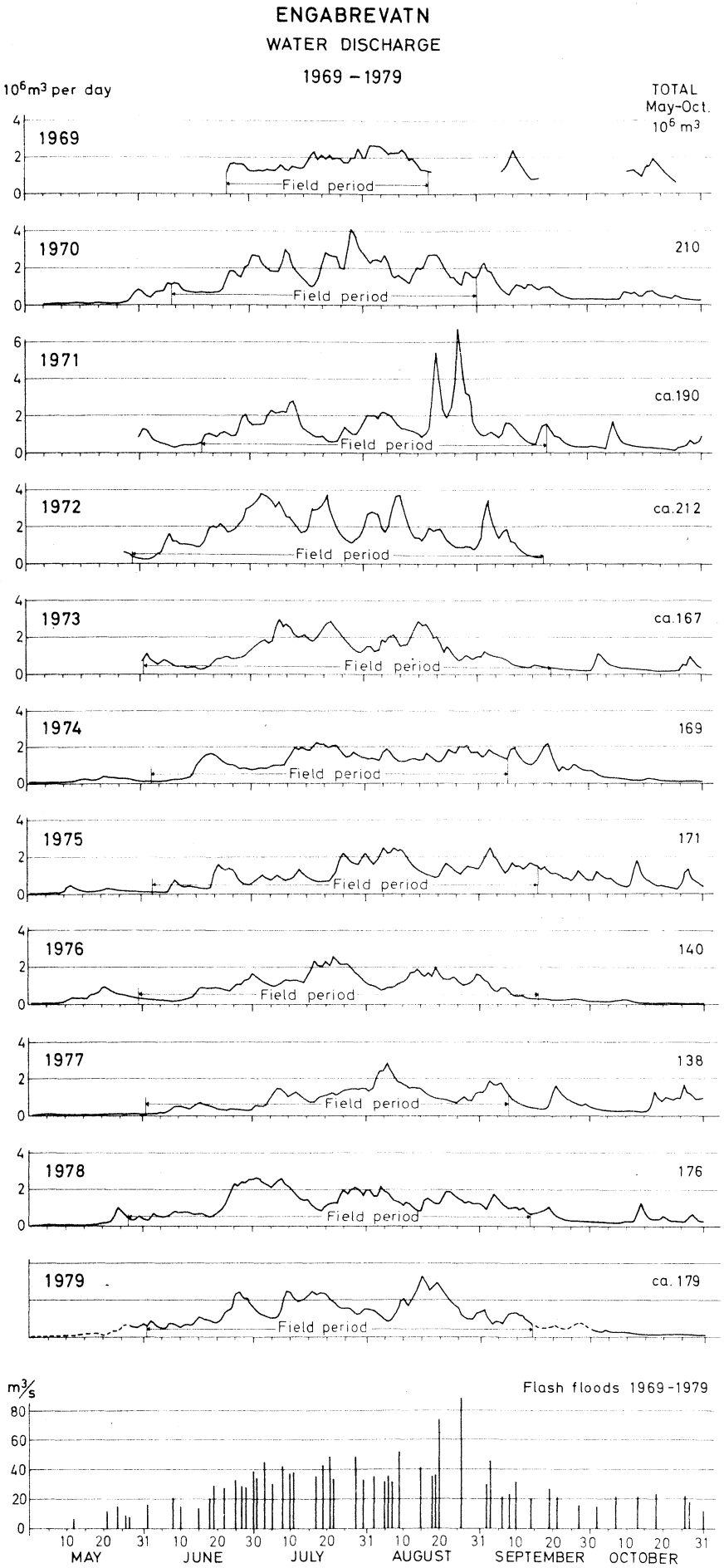

ENGABREVATN
WATER DISCHARGE
1969 – 1979
10⁶m³ per day
TOTAL May-Oct. 10⁶ m³
1969
1970
210
1971
ca.190
1972
ca.212
1973
ca.167
1974
169
1975
171
1976
140
1977
138
1978
176
1979
ca. 179
Field period
m³/s
Flash floods 1969-1979
MAY
JUNE
JULY
AUGUST
SEPTEMBER
OCTOBER

Fig. 8

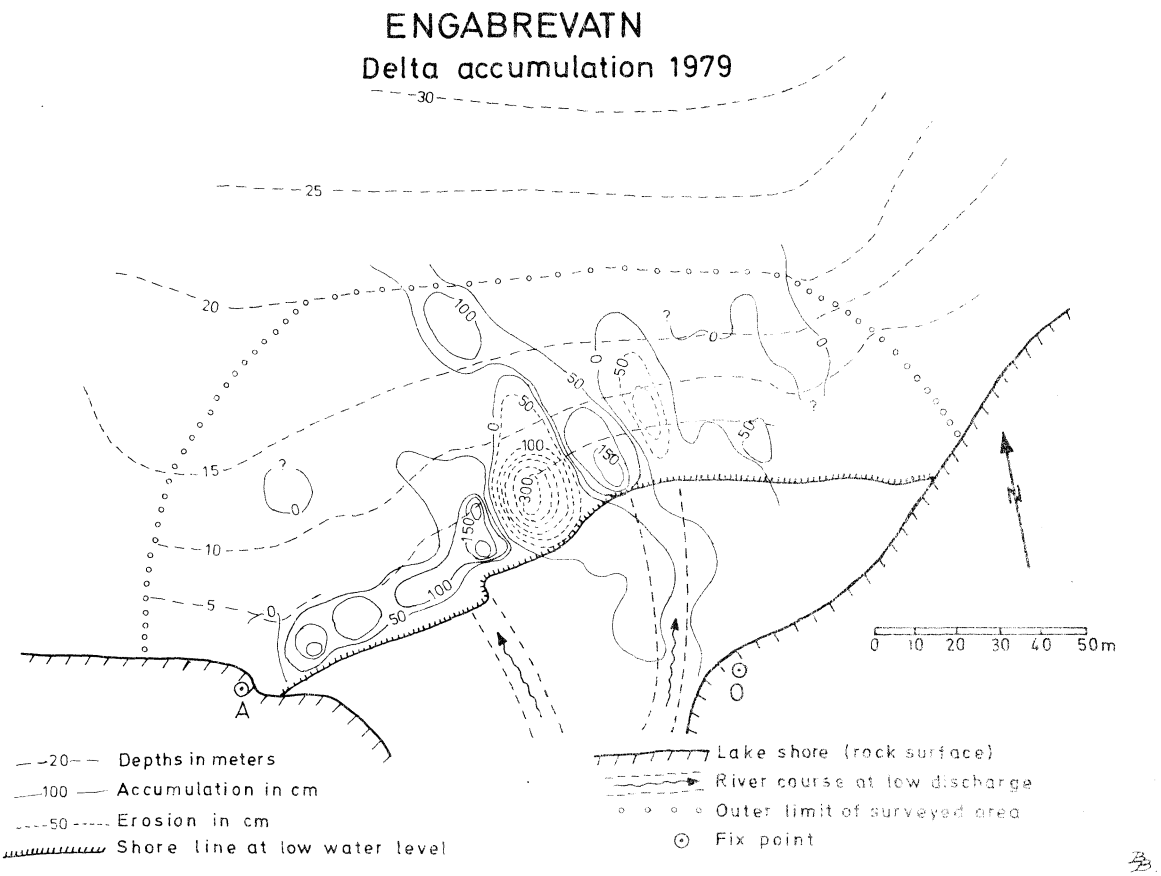


Fig. 9 Akkumulasjon og erosjon fra 1978 - 1979 på deltaet ved bre-elvas utløp i Engabrevatn.

Accumulation and erosion from 1978 - 1979 on the delta at the inlet of the glacier river in Lake Engabrevatn.

Vannføringen kulminerte ved 40.3 m^3/s. Det er en ganske vanlig flomvannføring ved utløpet av Engabrevatn (fig. 8). Den høyeste konsentrasjonen av suspendert materiale i innløpet ble målt den 25. juni kl.1700 med 536 mg/l, ca 6 timer før vannstanden i Engabrevatnet kulminerte. (Tidligere år har den høyeste målte konsentrasjonen variert mellom 185 og 1 085 mg/l). Den høyeste døgntransporten forekom også den 25. juni med ca 582 tonn.

Fig. 8 Døgnlig vannføring ved utløpet av Engabrevatn fra mai til oktober i årene 1969 - 1979. 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-måneds-periode i årene 1970 - 1979 er 175 · $10^6 m^3$.

Daily discharge at the outlet of Lake Engabrevatn from May to October during the years 1969 - 1979. 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 10 years 1970 to 1979 is 175 · $10^6 m^3$.

Transporten av suspendert materiale inn i vatnet i observasjonssesongen fra 1. juni til 14. september er beregnet til ca 11 100 tonn. Transporten ut av vatnet i samme periode var ca 1 800 tonn. Det vil si at 84% av det finmaterialet bre-elva førte med seg sedimenterte i Engabrevatnet. Det er det samme som gjennomsnittet for de 11 årene målingene har pågått.

I tiden før observasjonssesongen var vannføringen meget lav fram til ca 25. mai, da økte vannføringen til et nivå som varierte lite til målingene tok til (fig. 8). Slamføringen er oftest høyere første gang vannføringen stiger etter vinteren enn ved tilsvarende vannføringer senere på sommeren. Med dette i tankene er slamtransporten før observasjonssesongen beregnet til ca 800 tonn. Etter observasjonssesongen sank stort sett vannføringen langsomt med mindre variasjoner. Slamtransporten etter observasjonssesongen er anslått til ca 300 tonn. Den totale slamtransporten i avrenningssesongen 1979 blir etter dette ca 12 200 tonn.

Med 84% sedimentasjon i vatnet, dvs. ca 10 300 tonn, utgjør årets sedimentasjon et ca 4.5 mm tykt lag jevnt fordelt over bunnen på det 1.2 km^2 store Engabrevatnet. Gjennomsnittet for de 11 årene målingene har pågått er 5.1 mm.

Oppmålingen av pålagringen av grovt, bunntransportert materiale på deltaet som elva fra Engabreen bygger opp ved innløpet, viser at de største forandringene fra ett år til et annet naturlig nok skjer ved og umiddelbart utenfor deltakanten. Her foregår det vesentligste av akkumulasjonen når den stridt strømmende bre-elva møter det stillestående vannet. Transportkapasiteten avtar 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 deltaet (fig. 9) 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 1979. En del av det materialet 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 pålagrings-målinger.

Våre oppmålinger strekker seg en god del utenfor koten for 20 meters dyp (fig.10), men vi har funnet det rimelig å avgrense deltaet her. Sedimentasjonen lenger ut er liten og består mest av finkornig materiale som er transportert i suspensjon. Målingen blir foretatt for kontrollens skyld og for om mulig å registrere evt. ras i området utenfor deltaet.

Siste år er det skjedd utrasing særlig ett sted om lag midt på deltaet (fig. 9). Her er erosjonen over 3 meter på det meste. En mindre utrasing har foregått rett ut for et av elveutløpene.

Utenom utrasingsområdene har det vært en akkumulasjon på opptil 2 meter. Også av de ytre deler av det oppmålte området har det stedvis vært en betydelig akkumulasjon.

Det kan bety at en del av det utraste materiale er lagt igjen her. Det er ialt målt en akkumulasjon på 3 100 m^3 og en erosjon på 1 300 m^3. Om en regner med samme akkumulasjon i de områdene der erosjon har funnet sted (ca 850 m^3), men trekker fra det som er akkumulert innenfor måleområdet (ca 350 tonn) kan den totale akkumulasjon av grovt materiale i 1979 anslås til 3 650 m^3 eller ca 7 300 tonn. Etter dette blir den totale transporten fra Engabreen i 1979 ca 19 500 tonn. Bunntransportens andel av den totale materialtransporten blir ca 37%. De fire tidligere år har denne andelen variert fra 35 til 41%.

En erosjon på 19 500 tonn fra Engabreens 38 km^2 tilsvarer en fjerning av et 0.19 mm tykt lag av fjellet jevnt fordelt under hele breen.

I gjennomsnitt for de siste 10 årene har den totale årlige materialtransporten vært 23 080 tonn. 20 850 tonn av dette sedimenteres i vatnet eller på deltaet. Det vil si at om materialtransporten fra Engabreen vedvarer i denne størrelsen vil det ta nærmere 4 500 år før Engabrevatnet er fylt med sedimenter fra bre-elva.

Avlagring på deltaet i perioden 1975-1979.

Målingene av tilveksten på deltaet som elva fra Engabreen legger opp i Engabrevatn har nå pågått i 5 år. Målingene startet opp vinteren 1975 med opplodding og nivellering for hver 5. meter langs 8 profiler (fig.10). Deltaets yttergrense er de-

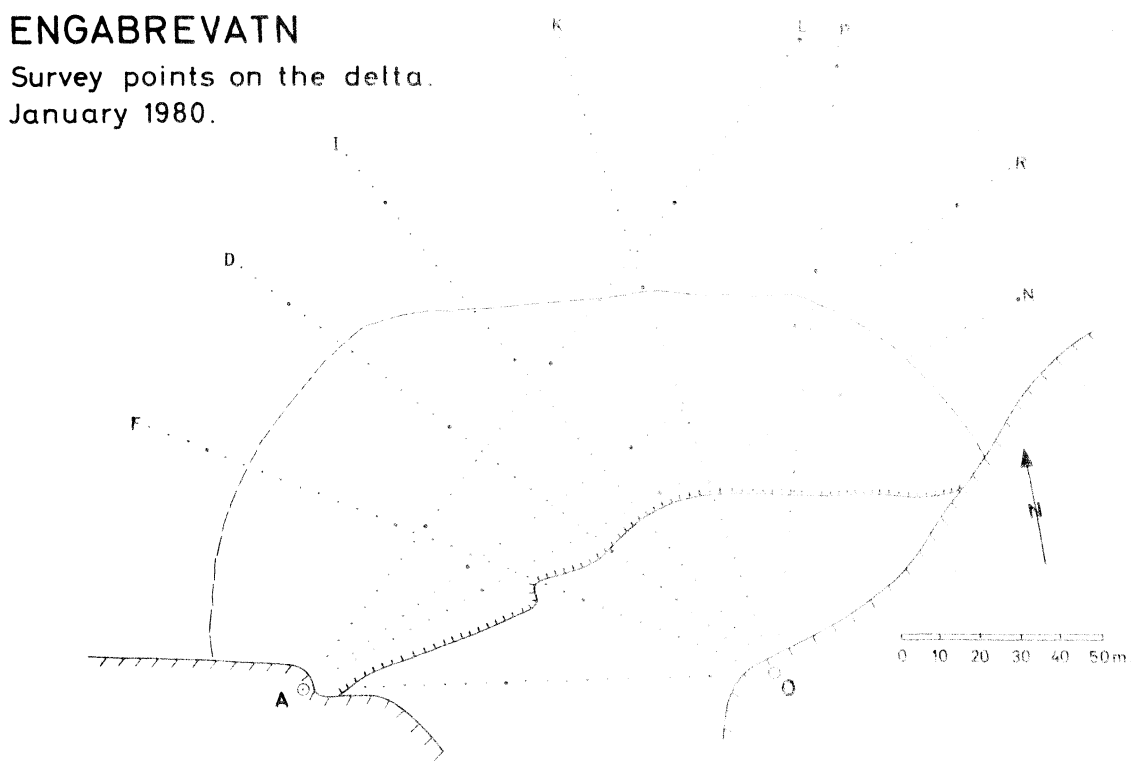


Fig.10 Profiler med nivellerte og opploddete punkter for hver 5.meter over innløpsdeltaet i Engabrevatn. Profilet A - R ble oppmålt første gang vinteren 1979, de andre i 1975.

Surveyed points on the inlet delta at Lake Engabrevatn. The profile A - R was surveyed for the first time during the winter 1979, the others in 1975.

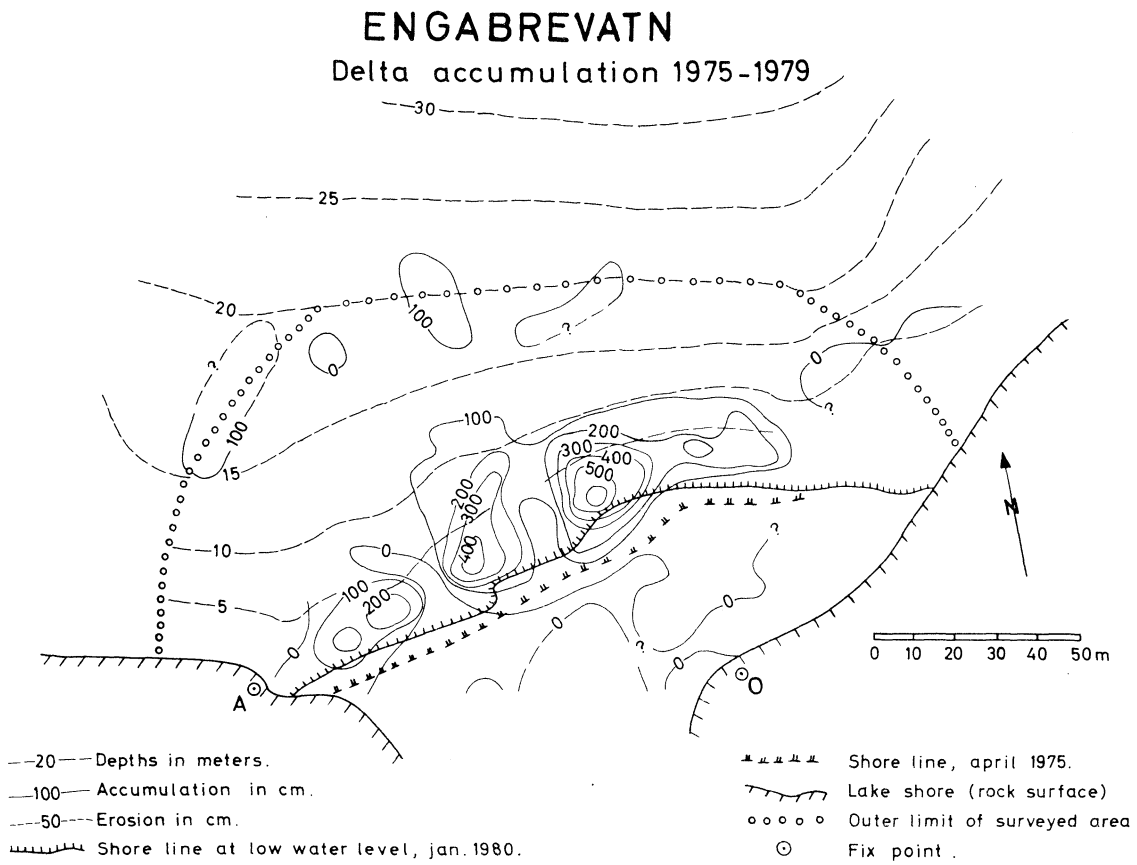


Fig.11 Akkumulasjon og erosjon på deltaet ved bre-elvas utløp i Engabrevatn i perioden 1975 - 79.

Accumulation and erosion on the delta at the inlet of the glacier stream in Lake Engabrevatn in the 5-year period 1975 - 79.

finert ut til 20 meters dyp. I alt ca 180 punkter ble målt opp de første årene. Vinteren 1979 ble det i tillegg loddet opp et profil og vinteren 1980 ytterligere to profiler. Neste oppmåling av deltaet vil dermed omfatte i alt ca 350 punkter. I tillegg blir det ved hver oppmåling tatt med noen punkter videre utover mot større dyp.

Grovt materiale som bre-elva fører med seg hopper, ruller og/eller sklir langs bunnen. Det siste er særlig aktuelt for de største stein-blokkene som antakelig fraktes fram mens elvebunnen i alle fall delvis er belagt med bunnis. Transporten av dette materialet er meget avhengig av vannføringen og hastigheten på vannet. Det vil derfor bli avsatt når elva løper ut i vatnet. Det kan tydelig ses på fig.11 som viser pålagringen i løpet av 5 år. Den største pålagringen har foregått umiddelbart utenfor deltakanten, med 6.45 meter som maksimum. Selve deltaet har også vokset i størrelse, deltakanten er flyttet noe over 10 meter i vatnet på det meste.

Det går også fram av fig.11 at pålagringen på deltaet har vært ujevn, dette skyldes dels at mest materiale blir avsatt rett utenfor der et av elveløpene munner ut. Elva fra breen kommer gjennom et markert gjel ut mot deltaet. Her forgrener den seg

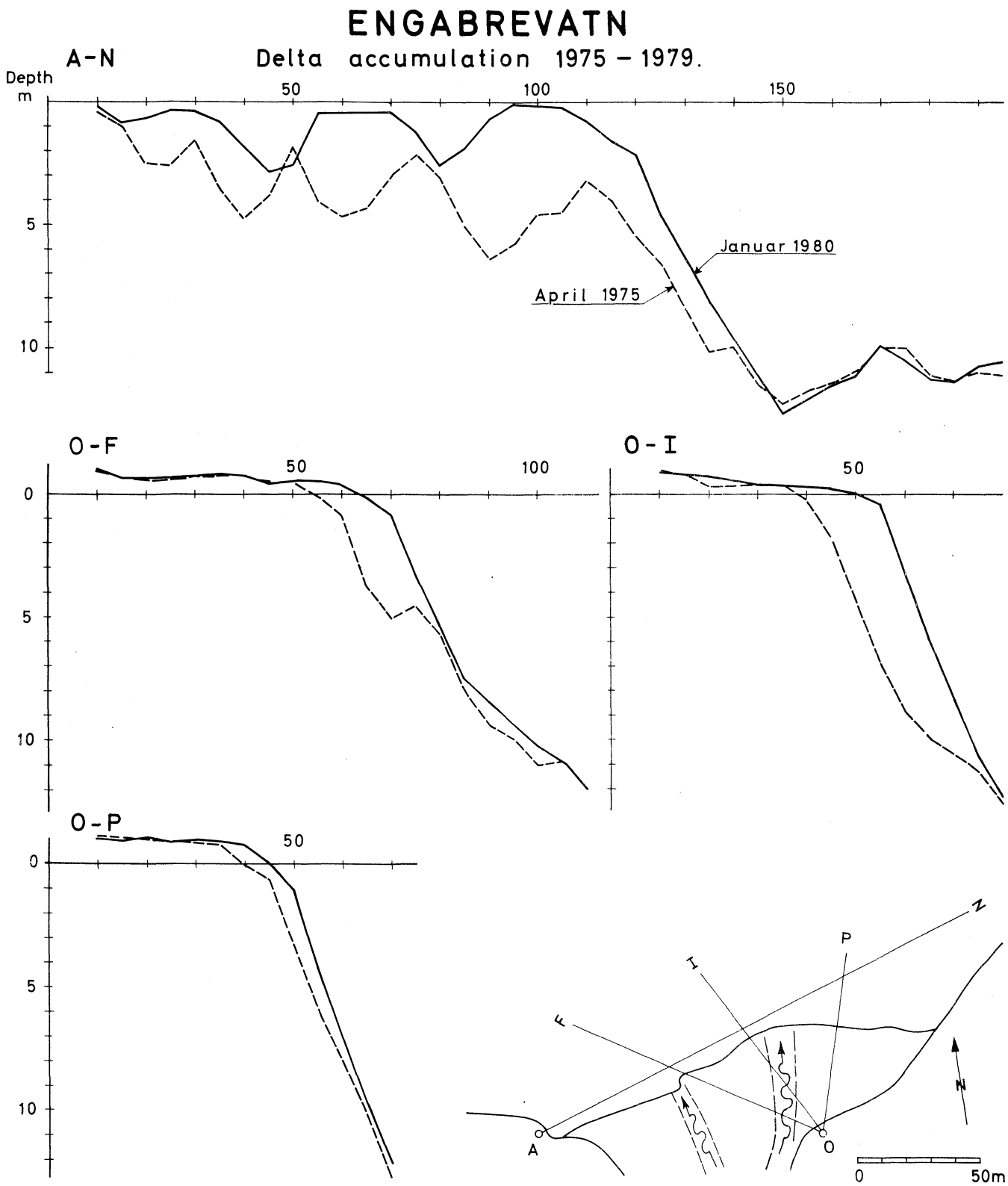


Fig.12. Fire profiler over deltaet ved bre-elvas utløp i Engabrevatn målt opp med 5 års mellomron. Profilenes posisjon på deltaet er vist lengst til høyre.

Four profiles crossing the delta at the inlet of the glacier river in Lake Engabrevatn. Measurement made in the winters 1975 and 1980. The positions of the profiles on the delta are shown in the lower right corner.

og elveløpene flytter seg ofte på grunn av den store materialtransporten og derav følgende avsetning. En annen og viktigere årsak til at pålagringen utenfor deltakanten er så ujevn er at skråningen ut mot et dyp på ca 50 meter er meget bratt. Materialet som avsettes her gjør skråningen enda brattere og ustabil, slik at ras ofte forekommer. Målinger fra ett år til et annet viser at en erosjon på over 3 meter forekommer nesten årlig ett eller flere steder langs deltakanten (fig. 9).

Rasene forekommer sannsynligvis dels som blandinger av vann og slam som strømmer ned skråningen og avsettes ut over de dypeste partiene av vatnet. Men som f.eks. profil O-F i fig.12 viser, ser det også ut til at blokker av flere meters tykkelse siger ut og sklir nedover skråningen. Deler av dette materialet avsettes i lavere deler av skråningen og kan enkelte år finnes innen de oppmålte delene av deltaet, se fig. 9 og fig.12 i årsrapport for 1976 (Kjeldsen 1977).

Utrasningene gjør beregningene av transporten av grovt, bunntransportert materiale i bre-elva usikker. Det er hvert år forsøkt å beregne den totale materialtransporten ved å kompensere for det materiale som raser ut. Det er da regnet som om akkumulasjonen i de områder ras har forekommet har vært lik akkumulasjonen i områdene på begge sider. Det av rasmaterialet som måtte være avleiret lenger ut på dypere deler av deltaområdet må trekkes fra for at ikke noe materiale skal tas med to ganger.

Som tabellen nedenfor viser, har bunntransportens andel av den totale materialtransporten variert forholdsvis lite, nemlig mellom 33 og 41% med 37% som gjennomsnitt. Totalt er det beregnet en transport av grovt materiale med bre-elva på i alt 37 850 tonn i løpet av 5 år. Beregnes pålagringen på deltaet etter fig.11, vil en finne at ca 10 000 m^3 eller ca 20 000 tonn er avsatt der i løpet av samme 5-års periode. Dvs. at nesten halvparten av det grove materialet som er fraktet ut med bre-elva har rast ut og avleiret på større dyp.

Engabrevatn, vannføring og materialtransport

	Vannføring mai – okt. $10^6 m^3$	Transport susp.mater. tonn	Delta akkumulasj. tonn	Total materialtransp. tonn	Delta/Total akk. / transp. %	Høyeste vannføring m^3/d	$10^6 m^3/d$
1975	171	16400	8650	25000	35	31.5	2.55
1976	140	13300	6400	19700	33	32.1	2.59
1977	138	12800	8000	20800	38	35.1	2.92
1978	176	10800	7500	18300	41	32.1	2.63
1979	179	12200	7300	19500	37	40.3	3.28
snitt	161	13100	7570	20660	37	34.2	2.79

Bondhusbreen

Innledning

Bondhusbreen er en ca 11 km stor utløper fra Folgefonna mot vest. Vassdraget er bygget ut og vannet føres til Mauranger kraftverk. Vannet fra Bondhusbreen tas inn under breen ca 900 m o.h., mens bretunga når ned til ca 450 m o.h.

I 1979 ble bremålingene på Bondhusbreen utvidet i sommersesongen og assistenter ble forlagt ved breen fra 8. juni til 18. august. I denne tiden ble det også tatt slamprøver i det subglasiale vanninntaket. Prøvene ble tatt ovenfor et sedimentasjonskammer for grovt materiale (Kjeldsen 1979 s. 24). Prøveprogrammet er redusert i forhold til de andre målestasjonene, vanligvis blir det tatt en til to prøver hver dag - en kl.0800 og en kl.1900 eller 2000.

Vannføringen i overføringstunnelen måles i sedimentasjonskammeret hvor det er montert en limnigraf. Avsetningene i sedimentasjonskammeret tømmes hver vinter ut og mengden av avsatt materiale måles.

Resultat

Diagrammene i fig.13 viser resultater fra observasjoner og beregninger fra Bondhusbreen i 1979. De meteorologiske målingene er utført etter de samme rutiner som beskrevet under avsnittet som omhandler Nigardsbreen (s. 10). Måleinstrumentene har vært plassert ved Holmavatn, 1 130 m o.h. ca 100 meter nord for breen.

Det synes å være god overensstemmelse mellom avrenningen og de meteorologiske parametrene.

Vannføringen varierte lite i begynnelsen av juni, men fra den 20. steg den betraktelig; først pga. en markert temperaturstigning og fra den 24. ytterligere pga. vedvarende sterk nedbør. I løpet av en uke ble det registrert over 200 mm nedbør. Men i slutten av denne uken sank temperaturen slik at mye av nedbøren kom som snø på de høyere delene av breen og avrenningen sank raskt. Vannføringen holdt seg så jevnt lav til begynnelsen av august. Da ble det først registrert to mindre vannføringstopper pga. øket temperatur sammen med nedbør. Den høyeste registrerte flommen kom så den 15. august, da ble $1.0 \cdot 10^6 m^3/$døgn registrert i kammeret.

Transporten av suspendert materiale varierer i større grad enn ved de andre målestasjonene. Slamtransporten i observasjonssesongen 1979 domineres av periodene med de to største flommene. I løpet av 3 dager i slutten av juni og 5 dager i midten av august ble over halvparten av sesongens slamtransport ført forbi målestedet.

Den høyeste konsentrasjonen av suspendert materiale ble målt under flommen den 26. juni med 784 mg/l. Utenom flommene varierte slamkonsentrasjonen vanligvis mellom 15 og 80 mg/l. Den høyeste døgntransporten forekom også da med ca 417 tonn.

Dette tallet er noe usikkert da det bare ble tatt to slamprøver den dagen.

Beregningene for observasjonsperioden 8. juni til 18. august viser at 3 100 tonn suspendert materiale ble transportert inn i tunnelsystemet under breen. Da en

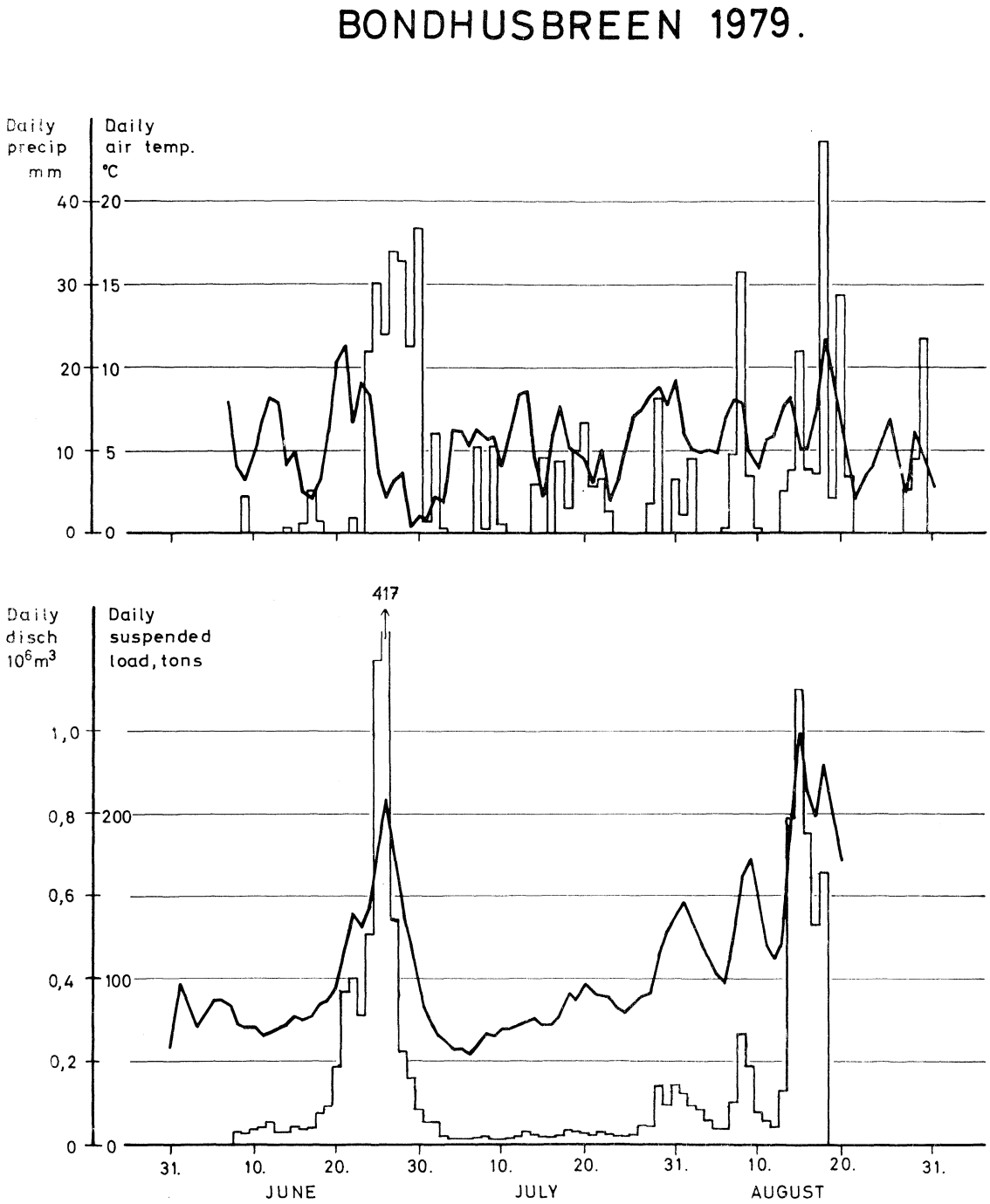


Fig.13 Det øverste diagrammet viser meteorologiske parametre målt ved Holmavatn, 1130 m o.h. i observasjonssesongen 1980. Nedenfor vises døgnlig vannføring og den beregnete transporten av suspendert materiale i inntaket under Bondhusbreen.

The upper diagram shows meteorological parameters measured at Lake Holmavatn, 1130 m a.s.l. through the observation season 1980. The lower diagram shows daily variations in water discharge and suspended load in the subglacial water intake at Bondhusbreen.

stor del av avrenningssesongen faller utenom observasjonssesongen kan den totale transporten av suspendert materiale i avrenningssesongen vanskelig la seg beregne med særlig nøyaktighet. Avløpet i observasjonssesongen var 31.0 $\cdot 10^6 m^3$, mens det i perioden mai-september var ca 46 $\cdot$ $10^6 m^3$.

Ved å anta et liknende forhold mellom slamføring og vannføring for observasjonssesongen som i begynnelsen og etter observasjonssesongen som i slutten av denne vil det for perioden mai til september ha kommet ca 3 950 tonn suspendert materiale inn i tunnelen under breen. Tall for avrenningen i oktober og senere foreligger ikke da mengden av sedimentert materiale i kammeret gjør limnigrafregistreringene her meget usikre ved lave vannføringer. Transporten av suspendert materiale etter september måned er vanligvis svært liten og kan i 1979 ha vært 100-150 tonn. Totalt for 1979 vil transporten av suspendert materiale være ca 4 100 tonn. Tallet er selvfølgelig mer usikkert enn for de andre brevassdragene da observasjonssesongen var relativt kort.

Målinger av avsetningene i sedimentasjonskammeret etter avrenningssesongen viser at det i 1979 blir avleiret ca 2 600 m^3 eller ca 5 200 tonn materiale. Materialet er for det meste grovt, bunntransportert fra sand til store steiner.

Dette medfører at den totale materialtransporten inn i det subglasiale inntaket under Bondhusbreen i 1979 var av en størrelse på ca 9 300 tonn. Av dette utgjorde bunntransporten ca 56%. Dette er mer enn det som er funnet for Nigardsbreen og Engabreen hvor bunntransporten i gjennomsnitt for flere år utgjør ca 40% av den totale materialtransporten. Variasjonene fra år til år kan imidlertid være store. (Ekman 1979).

Massene som er avsatt i kammeret er kjørt vekk i løpet av vinteren 1979-80, og kammeret er klart til å ta i mot en ny avsetning i løpet av sommeren 1980.

SLUTTORD

Tre bredekkede nedbørfelt ble undersøkt i 1979. De to største, Nigardsbreen og Engabreen, ble undersøkt etter de samme rutiner som i tidligere år, mens den mindre Bondhusbreen ble undersøkt etter et forenklet opplegg.

De to største nedbørfeltene drenerer totalt 65 og 50 km^2 fra henholdsvis Nigardsbreen og Engabreen. Det subglasiale inntaket ved Bondhusbreen fanger opp drenering fra 12.6 km^2.

Avløpsforholdene for disse to nedbørfeltene, med breprosenter på henholdsvis 72, 76 og 87, er kjennetegnet ved en kort og intens avrenningssesong med store og

hyppige vannføringsvariasjoner. Materialtransporten fra slike bredekkede nedbørfelt er preget av avløpsforholdene, med ennå større variasjoner enn for vannføringen.

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 1979 stilt sammen med tidligere års resultater. Måleresultatene fra det subglasiale inntaket ved Bondhusbreen er ikke tatt med. 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.

I 1974 ble det foretatt målinger i Sunndøla i Stryn. For resultater fra disse undersøkelsene henvises til Kjeldsen (1975).

For to av bre-elvene der målinger ble foretatt i 1979, nemlig ved Nigardsbreen og Engabreen, 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-

Fig.14 Tabellen viser resultater fra sedimenttransportundersøkelser i 1979 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 glacier streams in Norway in 1979 and previous years. For each glacier or glacier 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 an equal erosion under the entire glacier.

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	1978	1979
Nigardsbreen	48	I, days		76	95	110	132	101	115	104	111	114	108	109	108
		II, tons		5200	13600	14000	10100	11850	10500	5500	9000	11750	7100	7200	17900
		III, tons		10800+	21800+	31800+	14300+	31800+	31100+	13600+	28000+	21800+	10700+	13100+	32400+
		IV, tons/km²		225	455	665	300	665	650	280	585	455	225	275	675
		V, mm		0.08	0.17	0.25	0.11	0.25	0.24	0.10	0.22	0.17	0.08	0.10	0.25
Austre Memurubreen	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/km²	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/km²								560	1030				
		V, mm								0.21	0.38				
Bondhusbreen	12	I, days						100	122						
		II, tons						7000	6520						
		III, tons						15500	13800+						
		IV, tons/km²						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/km²	1210	1135	2430	3030	1515	1135	(1060)						
		V, mm	0.45	0.42	0.90	1.12	0.56	0.42	(0.39)						
Vesledalsbreen	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/km²	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	106
		II, tons			8650	11560	15449	19750	10770	11350	14150	11900	11000	10050	11100
		III, tons			15800	22500	28000	35000	19500	22500	25000+	19700+	20800+	18300+	19500+
		IV, tons/km²			415	590	735	920	515	590	660	520	550	480	515
		V, mm			0.15	0.22	0.27	0.34	0.19	0.22	0.24	0.19	0.20	0.18	0.19
Trollbergdalsbreen	2	I, days				64	67	73	78	75					
		II, tons				2840	4200	3700	1660	725					
		III, tons				5700	8800	7500	3750	1650					
		IV, tons/km²				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/km²						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.14

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 årlig 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. Smeltevannet fra breen eroderer også i berggrunnen der det renner under breen. Noe materiale kan også tilføres breen av ras fra sidene der breen løper ned i trange daler med bratte sider.

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 kort-

varige 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. Instrumentet ble imidlertid ødelagt og mye av utstyret tatt av flommen ved Nigardsvatnet i midten av august.

Undersøkelser av transporten av suspendert materiale i brevassdragene har pågått siden 1968 ved Nigardsvatnet og siden 1969 ved Engabrevatnet. 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 Engabrevatnet.

Sammenliknet med tidligere års observasjoner og beregninger var materialtransporten fra Nigardsbreen i 1979 over 140% av gjennomsnittet for de siste 11 årene (fig.14), mens avrenningen var nær gjennomsnittet for den samme perioden. Den store flommen i august gjorde at materialtransporten i 1979 er den høyeste som er målt, selv om materialtransporten tidligere på sommeren hadde vært forholdsvis liten.

Materialtransporten fra Engabreen i 1979 var bare ca 85% av gjennomsnittet for de siste 10 årene, mens avrenningen var i overkant av gjennomsnittet.

Den gjennomsnittlige slamkonsentrasjon for månedene juni-august i innløpet i Nigardsvatn var i 1979 119 mg/l. Det er det høyeste som er målt siden målingene startet opp, nesten 180% av gjennomsnittet for de siste 11 årene. Ser vi imidlertid bort fra de to flomdagene 14. og 15. august blir gjennomsnittskonsentrasjonen bare 57 mg/l, det er under gjennomsnittet for den samme perioden. Dette viser klart hvilken betydning en stor flom har for materialtransporten.

Ved innløpet i Engabrevatn var slamkonsentrasjonen i gjennomsnitt for de tre sommermånedene 74 mg/l. Det er en av de laveste verdier som er registrert siden målingen tok til for 11 år siden, ca 81% av gjennomsnittet for disse årene.

Bunntransporten er beregnet ved måling av pålagringen på deltaene som bre-elvene bygger ut, i henholdsvis Nigardsvatnet og Engabrevatnet. I 1979 ga målingene følgende resultat: For Nigardsvatn ca 14 000 tonn og for Engabrevatn ca 7 300 tonn. For Nigardsvatnet er dette ca 125% av gjennomsnittet for de siste 11 årene. I forhold til den totale materialtransporten utgjorde deltaakkumulasjonen, dvs. transporten av bunntransportert materiale, ca 43%. Gjennomsnittet for de siste 11 årene er 46%. Ved Engabrevatnet har målingene av pålagringen på deltaet bare pågått i 5 år. I 1979 var bunntransportens andel av den totale materialtransporten ca 37%. Det er det samme som gjennomsnittet for de 5 årene med målinger.

SUMMARY

Introduction

Sediment transport studies have been undertaken in selected glacier streams in Norway since 1967. Results from these investigations are reported annually in a publication series called "Materialtransportundersøkelser i norske bre-elver 19.." (Sediment transport investigations in Norwegian glacier streams 19..). Detailed descriptions of the sampling site, methods and techniques used in the field and in the laboratory are not repeated in detail in each report, but a short introduction is given.

When the investigations were started in 1967 only 3 glaciers were under study, compare Fig.14. The number of glacier streams under study was increasing from year to year and in 1972 no less than 8 glacier streams were sampled on a daily basis throughout the melt season. Results from the sediment transport studies are used to form a base for hydro-power engineers in their planning of future power stations and in some cases they found the results sufficient for their purposes. Thus some of the sampling sites have been abandoned during the last few years, after having been in operation for at least 5 years or more. During the last 3 years we have concentrated our studies to Nigardsbreen, an outlet glacier from the Jostedalsbreen ice cap, and Engabreen, one of the largest outlet glaciers from the Svartisen ice cap. In both cases there are lakes near the glacier front and sediment sampling have been performed both at the glacier front i.e. at the inlet of the lake and at the outlet of the lake so that the amount of sedimentation taking place in the lake can be determined. In addition two years of sedimentation studies have been performed (1978 and 1979) in the sedimentation chamber at Bondhusbreen, a large hall constructed in the bedrock under the outlet glacier Bondhusbreen from the Folgefonni ice cap. This sedimentation chamber was constructed in connection with a hydro-electric power plant utilizing melt water from the ice cap. A subglacial intake was made under Bondhusbreen and this made it necessary to remove sand, gravel, pebbles and rocks which were moved by the water into the tunnel system. These particles are kept in the sedimentation chamber which is then cleared every winter for its content. The amount of this content has been measured and, at the same time, studies of the suspended sediment in the water that passes the chamber has been performed to obtain the relation between suspended sediment and bottom load. This relation has also been studied annually at Nigardsbreen and Engabreen by measuring the increment of the delta which is being built at the inlet of the two lakes in front of these glaciers. The volumetric increment is, in fact, of the same order or magnitude as the amount of suspended sediment carried by the glacier stream; this detail is delt with in a following section. Continuous annual

studies of the suspended sediment and the bottom load have been performed during the last 11 years at Nigardsbreen and during the last 10 years at Engabreen. These series are therefore very valuable because it has been shown previously that one particular year with a large transport of solid matter in one particular glacier stream indicates that similar conditions are also valid for other glacier streams in the area. The two series of observations can therefore be, more or less, regarded as representative for the variations in annual transport of solid matters in glacier streams in southwestern Norway and northern Norway, respectively.

The sediment transport investigations are made mainly for engineering purposes because solid matters in water considered for power production may cause technical problems (silting-up of reservoirs, increased wear on turbines, etc.) but the results have also a great scientific interest. After a long series of years during which the total transport of solid matters from glaciers have been observed it will be possible to use these results in a discussion of the erosional effect of glaciers on the landscape. Large amounts of suspended sediment and bottom load are removed by the melt water from glaciers during the summer season and this amount of solid matter is obviously much larger than the amount of solid matter brought to the snout of the glacier by ice movement (forming moraines). Calculations are therefore made of the average erosion of the underlying bedrock, based upon the figures found by field observations at the glaciers under study. These results are shown on a table, see fig.14.

The map, Fig. 1 gives the location of various measuring sites, both those used during earlier years of observation and the present stations, which were operating 1979. Samples were taken from the glacier stream several times a day from the beginning of June to the beginning or the middle of September. Thus, the main part of the melt season has been covered and only small amounts of sediment has been transported before or after the actual field season. Small corrections have been made for these additional amounts, using known data for the water discharge before and after the field season proper. The increment on the delta, both in the Lake Nigardsvatn and in the Lake Engabrevatn, was measured well after the end of the melt season and thus the total amount of bottom load has been recorded. Water samples were taken normally 5 times a day from 0700 hrs. to 2300 hrs. However, during periods of rapidly increasing water discharge, the students were instructed to take samples much more frequently, up to 1 sample per hour. Several times per day the water sampling was duplicated i.e. two one-litre bottles were taken at the same time both for security reasons and to test the reproducability of the samples.

The water samples are taken in plastic bottles and the accurate volume of each sample is measured before the water is filtered and the filtrerpaper sent to the laboratory in Oslo for ashing. The particle size is generally less than 0.5 mm but

if grains larger than 1 mm are found in the sample, these particles are removed before the ashing procedure. The handling of the large amount of data (more than 2500 single samples each summer) makes it necessary to use computer techniques for the calculations. Also some of the diagrams are drawn by an automatic plotter. The methods used in 1979 are the same as have been used earlier and which have proven to be suitable for the fieldwork and accurate enough for the practical use of the data and for the scientific interest of the project. Analysis of the representativity of samples taken according to our practice, as well as sources of errors have been made earlier (see for example Andersson and Lundén 1972, Ekman 1970).

Sediment transport studies at Norwegian glaciers, 1979

Both Nigardsbreen and Engabreen have been selected for long-term mass balance studies and results from the winter balance measurements indicates that the winter 1978-79 gave a larger total snow accumulation during the winter than normal; for Nigardsbreen 20% higher than the last 18 years (for which period data are available), Engabreen received 15% more than the average for the last 9 years(Wold 1980).

The discharge from the two glaciers during the summer season May-October was higher than the average for the last 17, respectively 10 years of observation, compare Fig. 4.

Nigardsbreen

This outlet glacier covers 48 km^2, the melt water drains in one single stream into the Lake Nigardsvatnet. A small observation hut near the outlet of the lake was manned from the end of May to the middle of September during which period water samples were taken, whereas the water discharge has been recorded on a continuous basis throughout the entire year. The sedimentation in the lake (0.47 km^2)could be calculated by comparing the total amount of suspended sediment transported into the lake and the amount transported out of the lake because samples were taken at both locations throughout the entire field season. In addition to the water discharge records at the outlet of the lake an automatic gauge was running all the summer between the glacier front and the lake.

The delta which is now being formed at the inlet of the lake (by the retreat of the glacier)this lake was completely uncovered in 1968. The formation of the delta was created at that time and a fairly good record has been kept of the annual increment of the delta volume. The delta surveys are made along fixed profiles and accurate measurements are made at 5 m intervals.

The net balance of the glacier was positive in 1979 (Wold 1981), which is also the case for the average mass balance since 1962. The ice front advanced 3 m in 1979 and this is the first observed glacier advance at Nigardsbreen since 1936. This

indicates that the general retreat which has taken place for several decades seems to have ceased.

The results from the field season 1979 are shown in the diagram, Fig. 3. Daily mean temperature was calculated from thermograph charts checked by a normal thermometer twice a day. The precipitation was observed by a simple precipitation gauge of the "pluvius"-type, both at the inlet and at the outlet of the lake. The relation between meteorological parameters and daily discharge has been previously studied, see for example Roald 1971, Østrem 1973.

The water discharge did not show any flash flood in the beginning of the summer, the highest discharge was observed on the 7 June. Another small rise in discharge occurred at the end of June when the maximum discharge amounted to 31.5 m^3/s which is a relatively low figure, compare Fig. 5. For the rest of the summer there were only relatively low discharge figures until the middle of August. Then a sudden rainfall caused a real record in discharge. The liquid precipitation at Nigardsbreen was more than 95 mm during a 24-hour period. The highest precipitation measured since 1968 is only 40 mm, in September 1977. At the meteorological station Fåberg which has been in operation since 1895 the previous record from 15 August 1898 was 41.9 mm. This year no less than 77.8 mm were measured. This unusually high precipitation caused a flash flood which is apparently the highest ever recorded in historical time. The water discharge out of the lake just after midnight was in the order of 96 m^3/s whereas the highest recorded since 1963 is 56 m^3/s. This "record" occurred on 25 June 1970.

The total discharge from the lake on 15 August was $5.77 \cdot 10^6 m^3$. In addition to the intensive rain during the afternoon and evening an increased melt took place due to a temperature rise from 10.2°C to 15.5°C which took place during one hour (2200 hrs. to 2300 hrs.) and it culminated at midnight when 17.3°C was measured at the glacier front. This temperature rise added of course some water and increased the flood. The total summer discharge (May-October) was in 1979 $191 \cdot 10^6 m^3$ which is only slightly more than the average for the last 16 years ($182.5 \cdot 10^6 m^3$, compare Fig. 4).

The transport of suspended material from the glacier into the lake amounted to 17 900 metric tons whereas only 2 680 tons were transported out from the lake. This means that 85% of the fine material sedimented on the lake bottom. This is slightly more than the previous 12 years. If the sedimentation had been evenly distributed on the lake bottom it would have added 16 mm to the bottom deposits - the average for the last 12 years is about 9 mm.

A special study of the sediment transport during the flash flood 14 and 15 August gives the following result:

Almost 9 600 metric tons of suspended sediment were transported by the stream into the lake which is more than the total transport throughout the entire summer. The highest concentration was observed at 2000 hrs. on the 14 August, when it amounted to 3 234 mg/l. It is possible, however, that a higher concentration occurred later during the night but no samples could be taken due to the darkness and the numerous landslides which took place that night. On the other side the peak discharge occured between 2100 hrs. and 2200 hrs. and it is therefore most probable that the sample taken at 2000 hrs. represents the highest sediment concentration because this happens normally some time before the peak in water discharge. The previous maximum concentration was observed in July 1969 when it amounted to 2 157 mg/l, the highest daily transport was 1 279 metric tons at the end of August 1970.

The total transport of suspended sediment from the glacier during the summer season 1979 has been calculated to 18 400 metric tons which is the highest which has been recorded since the measurements started in 1968. Measurements of the delta indicate that the increment from 1978 to the fall 1979 is in the order of almost 25 cm in the entire area under study. This corresponds to about 14 000 metric tons. This material consists mainly of particles larger than those kept in suspension and thus the conclusion can be drawn that about 32 400 tons of solid matter has been removed from the glacier during the summer of 1979 and this corresponds to an average erosion of 0.25 mm for the entire glacier which drains into the lake.

The average transport of solid matter during the last 11 years is 22 810 metric tons. If this rate of sediment transport continues one can calculate that it takes about 500 years until the entire Lake Nigardsvatnet has been completely filled by erosional material delivered by the glacier.

Engabreen

The lake in front of Engabreen receives most of its water from the outlet glacier Engabreen which is 38 km^2.The water discharge and sediment transport has been observed annually since 1969. Water samples are taken regularly both at the inlet and at the outlet of the lake, whereas the water discharge is continuously recorded by an automatic gauge.

Also at this lake there is a growing delta at the inlet but the water depth is much larger than at Nigardsbreen. The delta survey was made in January 1980 from the ice which allowed a fairly accurate determination of the sounding points which are distributed at 5 m intervals along 8 profiles across the delta. This year a new profile was added to the system to increase the density of measuring points in areas of large deposition, compare Fig. 10. Also two new profiles in the more distant areas have been initiated and this will probably be beneficial for future year's surveys.

The observation station at the Lake Engabrevatnet was in 1979 manned from the beginning of June to the middle of September. Five water samples were taken regularly at the inlet and three daily samples at the outlet of the lake. Some of these samples were doubled to check the reproducability of the samples. During periods of rapidly increasing water stage the sampling program was increased, up to 24 samples per day at each location.

The summer balance of the glacier was almost 40% higher than for the period 1970-1979 (Wold 1981) and the total discharge amounted to 179 $\cdot$ $10^6 m^3$ which is more than the average for the last 10 years, compare Fig. 8.

Glacier front observations in 11 points near the ice terminus indicate that the glacier has advanced 15 m from 1978 to 1979. This is the forth year of glacier advance and the ice has pushed forward no less than 61 m since 1975.

The results from 1979 are shown in the diagram, Fig. 7. The correlation between meteorological parameters and discharge is fairly good. The first increase in discharge occurred, unfortunately, a few days before the observations started, see Fig. 8. The discharge was relatively low until the first peak discharge occurred at the end of June when 32.1 m^3/s was measured on 25 June, whereas the maximum discharge occurred on 15 August when it amounted to 40.3 m^3/s. This peak discharge is not unusual at the outlet of the lake, compare Fig. 8. The highest concentration of suspended material occurred on 25 June in the afternoon, amounting to 536 mg/l. The total discharge that day was the highest for that summer, amounting to 582 metric tons.

The total transport of suspended material into the lake during the observation season was 11 100 metric tons whereas only 1 800 tons left the lake, indicating that 84% of the suspended sediment were left on the lake bottom - a relation which is close to the average for the last 11 years.

During the time period before the field season proper and after it there are no real observations but, based upon knowledge of the water discharge, the transport has been estimated, thus increasing the total transport for the entire summer 1979 to be approximately 12 200 tons. The sedimentation in the lake is, on an average, 4.5 mm, i.e. slightly less than the average for the last 11 years which is 5.1 mm.

Due to the water depth near the delta it is natural that the material deposited there will be fairly unstable so that small "landslides" will occur along the outer, steepest, parts of the delta. The delta survey has been limited to an approximate depth of 20 m, compare Fig.10 so that those particles which are carried towards greater depths will not be included in the survey. It is, however, clear that only relatively small amounts of material is normally deposited so far away from the delta. From Fig. 9 it can be seen that a slide must have taken place near the middle of the

delta and another, smaller, mass movement has taken place where one of the river branches reaches the lake. In total a volume of 3 100 m^3 has been deposited at various places whereas 1 300 m^3 has been eroded. By taking such processes into consideration it has been estimated that the total accumulation of coarse material amounted to approximately 7 300 metric tons in 1979. This is about 37% of the total transport of solid matter carried by the glacier stream.

The average erosion which could have taken place under the entire glacier (38 km^2) must have been in the order of 0.19 mm to produce an amount of solid matter corresponding to the total transport in the stream as measured in front of the glacier.

The annual transport of solid matter from the glacier for the last 10 years has been 22 940 metric tons and most of this, 20 700 tons, has been left either on the delta or on the lake bottom. If this rate of sedimentation in the lake continues it will take almost 4 500 years before the Lake Engabrevatnet has been filled up by solid matter from the glacier.

Measurements of the delta formed by the melt-water stream from Engabreen started during the winter 1975. Then it was accurately surveyed along 8 profiles, measurements taken every 5 m. The outer limit of the delta is defined by the 20 m depth line. About 180 points were measured every year since then, whereas during the winter 1979 and the winter 1980 3 new profiles were added to the system thus increasing the total number of survey points to about 350.

The growth of the delta during the last 5 years is shown on Fig.11 from which it can be seen that the water depth has decreased and the delta itself has grown so that the outline has moved some 10 m in general. It can also be seen that the growth has been fairly uneven, the main reason being that subaquatic slides have taken place and such slides will then result in areas of deeper water which can be interpreted as erosion, compare Fig. 9. Such slides make it difficult to calculate the annual deposition of coarse material within the delta area. However, attempts have been made to try to compensate for the amount of material which has taken part in these mass movements.

The proportion between the bottom load and the total transport of solid matters has shown small variations, as an average 37% has been moved as bottom load. During the 5 last years almost 38 000 tons of coarse material have been moved, in total, by the glacier stream.

Bondhusbreen

This outlet glacier drains approximately 11 km^2 of the ice cap Folgefonni. A hydroelectric power installation situated at the head of the Mauranger Fjord receives large portions of its water from various parts of the ice cap. A collecting tunnel

running in a south-easterly direction terminates under the ice fall of Bondhusbreen at an altitude of about 900 m a.s.l., whereas the glacier tongue reaches down to 450 m a.s.l. A sedimentation chamber is constructed in the bedrock under the glacier, collecting all the coarse material carried by the melt-water stream (Kjeldsen 1979 p. 24) but suspended sediments are carried further from this chamber to one of the reservoirs. Water samples are taken at the chamber, normally one in the morning and one in the evening whereas the water discharge from the chamber is automatically recorded.

The diagrams, Fig.13 show the results from observations and calculations made for Bondhusbreen in 1979. The meteorological data are collected similarly to those mentioned under Nigardsbreen (p.35), the instruments being situated at Holmavatn 1 130 m a.s.l., not far from the glacier proper. The highest discharge occurred on 15 August, when $1 \cdot 10^6 m^3$ water passed during 24 hours.

The transport of suspended material seems to show greater variations at the other measuring stations (see above). The transport in 1979 was dominated by two periods of high discharge - during 3 days at the end of June and 5 days in the middle of August more than 50% of the total sediment transport was moved by the water from the sedimentation chamber. The highest concentration was measured during the peak flow on 26 June when it amounted to 784 mg/l. Otherwise the concentration ranged between 15 and 80 mg/l.

The total transport of suspended sediment during the observation period (8 June to 18 August) indicates that 3 100 metric tons were moved into the collecting tunnel system. Adding some amounts for the periods before and after the field period it has been calculated that a total of 4 100 metric tons passed the sedimentation chamber.

When the sedimentation chamber was cleared during the following winter no less than 5 200 tons of coarse material had settled during the summer. This means that the total transport of solid matters from the glacier (at the intake) was in the order of 9 300 metric tons, of which the bottom load accounted for 56%.This is more than similar figures found for Nigardsbreen and Engabreen during the last few years.

Conclusions

3 various glacierized areas were investigated during the summer of 1979.The two largest, Nigardsbreen and Engabreen drain 65 and 50 km^2, respectively, whereas Bondhusbreen receives water from only 12.6 km^2. The percentage of the drainage basin covered by glaciers are 72%, 76%, and 87% which means that there is a very short and intensive season of melt-water discharge and rapid variations occur normally. Thus, the content of suspended matter and the bottom load show large variations throughout the summer.

The results from our investigations in 1979 are summarized and plotted together with similar results from previous years in the table on p.29 . For each glacier stream there are figures giving the number of observation days, the amount of suspended sediment carried during that period (based upon the water samples collected at various glacier streams), and a figure showing the total annual transport of solid matter. This figure has been calculated from the actually measured amount of suspended sediment and the bottom load, as determined from the delta increment measurements, and finally, an additional amount of transport which must have occurred in a short time period before and after the field periods proper. In cases where no direct measurements were made of the bottom load it was necessary to calculate this amount by using a similar correlation between bottom load and total load as found at glacier streams with similar characteristics.

To compare the erosional affect of the various glaciers, a figure is given for the "production" of solid matter per square km. In this connection the total transport of solid matter from any particular glaicer has been divided by the surface area of that glacier. The resulting figure is therefore a kind of "average erosion" under that glacier, although we know that the erosion is very different under various part of a glacier, more or less related to the velocity of the ice, the amount of debris carried along the bottom layers of the glacier, etc. Variations in the annually measured amounts of coarse material may not reflect the annual variations in erosion but they are certainly related to the water discharge because experience has shown that summers of high discharge also have the highest amount of debris carried away from the glacier. It is supposed, however, that the longer the series of observations are, the better figure is obtained for the erosional effect of a glacier. Experience has shown that 20-50% of the annual sediment transport occurrs during the first flash flood during the summer. (Thus it is very important to cover that flash flood period by frequent water sampling.) If no such pronounced flash flood occurrs at all during one particular summer, one must believe that a certain quantity of sediment is still resting under the glacier and that it will be flushed out during a following year. It is, therefore, important to continue the sediment sampling program throughout a series of years.

It happens that another flash flood may occur during the fall, often due to heavy rain, but experience has shown that such floods do not carry so large amounts of sediment as similar floods in the first part of the melt season.

In addition to the above-mentioned variations in sediment transport it has been observed that short-term variations may occur - it looks like "clouds" of sediment which are suddenly carried by the stream. The duration of such "clouds" are so short that they may pass without being sampled. An instrument was therefore developed to monitor

the turbidity of the stream water by leading it to pass between a light source and a photocell, thus a continuous record was kept throughout the season. However, this instrument was damaged and partly removed by a fash flood at the inlet of Nigardsvatn in August 1979.

Studies of delta increments by accurate surveys along given profiles have been carried out each fall since 1969 at Nigardsvatnet and since 1975 at Engabrevatnet. During the summer 1979 no less than 14 000 metric tons were deposited on the delta. This is 25% more than the average for the last 11 years. The bottom load accounts for approximately 43% of the total load carried into the Lake Nigardsvatn. The amount of coarse material deposited on the delta in Engabrevatn was about 7 300 metric tons in 1979 and this is about 37% of the total transport of solid matter into the lake.

The total transport of solid matters from Nigardsbreen was in 1979 more than 40% higher than the average for the last 11 years, compare Fig. 14. The large flood in August is responsible for this record - the transport during the main part of the summer was fairly low.

The average sediment concentration for all samples taken June-August at the inlet into Nigardsvatn was 119 mg/l in 1979. This is also a record, almost 80% more than the average for the last 11 years. If, however, the figures for the two days of flood (14 and 15 August) are removed, the 1979 average drops to 57 mg/l which is under the average for the same 11 years. This indicates that a great influence is made by a single flood and it emphasizes the importance of frequent sampling during periods of high discharge.

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.
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).

Gjessing, Y.T. & Wold, B.
1980: Flommen i Jostedalen 14.-15.august 1979. Været nr. 1/80, p.29-34.

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).

1979: Materialtransportundersøkelser i norske bre-elver 1978. Rapport nr. 3/79, Norges vassdrags- og elektrisitetsvesen, Hydrologisk avdeling, 39 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. & 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.
1981: Glasiologiske undersøkelser i Norge 1979. Rapport nr. /81, Norges vassdrags- og elektrisitetsvesen, Hydrologisk avdeling, p. (English summary).

Wold, B. & Repp, K.
1979: Glasiologiske undersøkelser i Norge 1978. Rapport nr. 4/79, 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.

1973: Run-off forecasts for highly glacierized basins. The role of snow and ice in hydrology. Proceedings of the Banff Symposia, September 1972, p.1111-1132.

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).