

NORGES VASSDRAGS-OG ELEKTRISITETSVESEN



MATERIALTRANSPORTUNDERSØKELSER

i

NORSKE BREELVER

1980

RAPPORT NR. 4-81

VASSDRAGSDIREKTORATET

HYDROLOGISK AVDELING

OSLO DESEMBER 1981

NORGES VASSDRAGS-
OG ENERGIDIREKTORAT
BIBLIOTEKET

NORGES VASSDRAGS-OG ELEKTRISITETSVESEN



MATERIALTRANSPORTUNDERSØKELSER

i

NORSKE BREELVER

1980

OLA KJELDSSEN

RAPPORT NR. 4-81

VASSDRAGSDIREKTORATET

HYDROLOGISK AVDELING

OSLO DESEMBER 1981

ISBN 82-554-0318-3

NORGES VASSDRAGS-
OG ENERGIDIREKTORAT
BIBLIOTEKET

FORORD

Siden 1967 har Brekontoret undersøkt materialtransporten i en rekke breelver. Undersøkelsene har ved alle undersøkte elver tatt sikte på elvenes transport av finkornet materiale som transporteres av ellevannet i suspensjon, dvs. som svevende partikler i vannet. Enkelte steder der forholdene har ligget til rette for det, har også transporten av grovere materiale blitt undersøkt. De fleste steder skjer dette ved oppmåling av avsetningene på et delta som bygges ut der breelva løper ut i et vatn.

Undersøkelsene kom i gang fordi Statskraftverkene ønsket opplysninger om materialtransporten i elver som kunne bli aktuelle i utbyggingsplaner. Både materiale transportert i suspensjon og som bunntransport vil kunne skape problemer av forskjellig art i overføringssystemer, magasiner og i selve kraftstasjonene.

Undersøkelsene i de senere årene har vært konsentrert om ei elv fra Jostedalsbreen og ei elv fra Svartisen. I begge disse områdene foreligger det planer om utbygging som omfatter brevassdrag. Det er også planer om å ta inn vannet fra breene under selve breen for å kunne fange inn vannet i tilstrekkelig høyde. Da vann fra breene fører med seg betydelige mengder materiale er det viktig med detaljerte opplysninger om materialtransporten. I løpet av de siste to årene har det vært foretatt undersøkelser etter et forenklet opplegg i et allerede eksisterende subglasialt inntak under Bondhusbreen, en arm av Folgefonna.

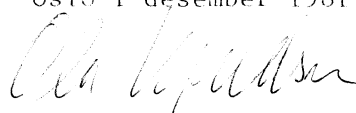
Materialtransporten varierer mye i løpet av et år i takt med variasjonene i vannføringen. Likeså kan variasjonene være store fra år til år. Flommenes størrelse og hyppighet er av meget stor betydning. Det er derfor viktig med relativt lange måleserier for å kartlegge hvilke mengder med materiale som kan transporteres i de enkelte vassdrag ettersom nedbør, temperatur etc. varierer både på kort og noe lengre sikt.

Materialtransporten fra en bre har også interesse utover det rent praktiske med tanke på kraftutbygging. Masse som transporteres med ei breelv er et mål for breens erosjon i berggrunnen der den ligger.

I årets rapport gjøres det rede for resultater fra Nigardsbreen, Engabreen og Bondhusbreen. For andre brevassdrag hvor undersøkelser har vært foretatt henvises til tidligere rapporter. Disse er listet opp i litteraturlista.

Hovedansvaret for rapporten har som tidligere ligget hos statshydrolog Ola Kjeldsen, tegningene er utført av B. Braskerud og Elisabeth Omholt. Evy Vollmo har renskrevet teksten.

Oslo i desember 1981



	Side
INNHold	
Innledning	3
Materialtransportundersøkelser ved breer i Norge, 1980	7
Sammenfattende beskrivelse	7
Vær- og vannføringsforholdene	7
Generell kommentar til årets observasjoner	8
Nigardsbreen	8
Innledning	8
Resultat	10
Engabreen	15
Innledning	15
Resultat	19
Bondhusbreen	23
Innledning	23
Resultat	23
Sluttord	27
Summary	31
Introduction	31
Sediment transport studies at Norwegian glaciers, 1980	33
General description	33
Nigardsbreen	33
Engabreen	35
Bondhusbreen	36
Conclusions	37
Litteratur	40

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 tidligere rapporter for en mer utførlig omtale av de aktuelle målestedene i 1980 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.

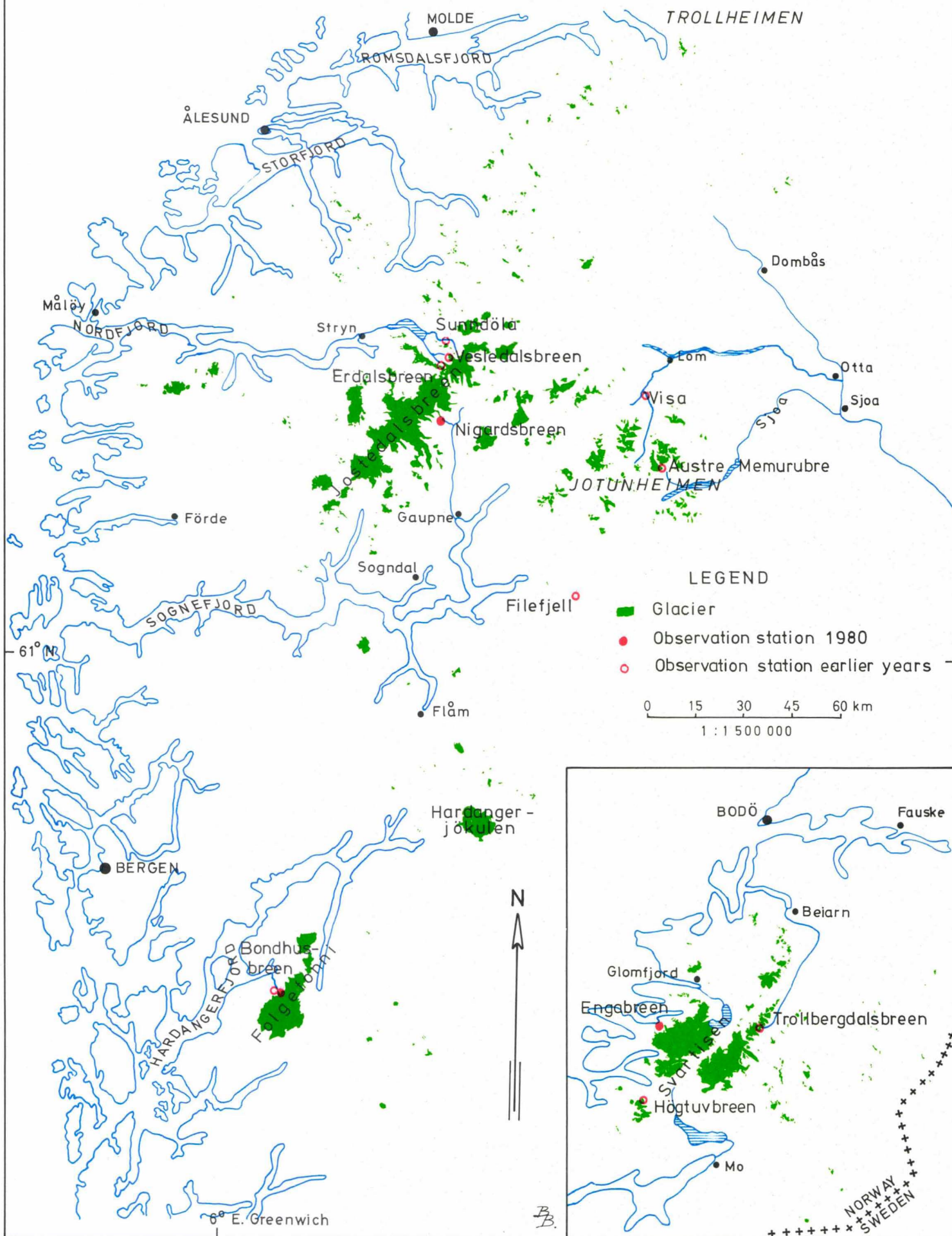
I 1967 ble slammålinger satt igang ved 3 breer i Sør-Norge (fig.15). Undersøkelsene ble utvidet fram til 1972, da de omfattet i alt 8 breer, derav 3 i området omkring Svartisen i Nordland. I tillegg ble det foretatt en undersøkelse ved Filefjell representative IHD-område i 1971 og 1972 for å kunne gjøre en sammenlikning med et brefritt høyfjellsnedbørfelt. Senere har antall målesteder blitt redusert, mens enkelte nye steder er kommet i tillegg. De 2 siste årene er det foretatt undersøkelser på tre steder, ved Nigardsbreen på østsida av Jostedalsbreen, ved Engabreen på vestsida av den vestlige delen av Svartisen og, etter et forenklet opplegg, i et subglasialt inntak under Bondhusbreen på vestsida av Folgefonna. Alle stedene er det foretatt målinger for beregning av transport både av suspendert finkornig materiale og av grovere bunntransportert materiale.

Ved to av brevassdragene der det nå foretas undersøkelser, har målingene pågått i henholdsvis 12 år for Nigardsbreen og 11 år for Engabreen. Ved Bondhusbreen har det forenklete måleprogrammet blitt gjennomført de 2 siste årene. Utover det vassdraget målingene dekker, har undersøkelsene verdi som referanse for målinger av kortere varighet andre steder der forholdene er sammenliknbare. Denne verdien øker med lengden av observasjonsserien.

I Norge har breelvene som regel en vesentlig større materialtransport enn elver fra brefrie nedslagsfelt. Dette skyldes at breelvene stadig får tilført nytt løsmateriale som produseres ved breenes erosjon i undergrunnen. Materialtransporten i brevassdrag forårsaker forskjellige problemer i forbindelse med kraftutbygging. Undersøkelsene har derfor først og fremst et praktisk siktemål. Data om breenes erosjon og transport av materiale samt elvenes videre transport og avsetning av materiale har også vitenskapelig interesse. I den utstrekning det er mulig, brukes derfor NVE's data for å tilfredsstille dette vitenskapelige siktemål. De mer vitenskape-

FIG. 1

STUDIES OF SEDIMENT TRANSPORT AT NORWEGIAN GLACIER STREAMS



lige delene av undersøkelsene har direkte eller indirekte betydning for de praktiske delene av undersøkelsene, f.eks. 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. Ved Nigardsbreen og Engabreen blir vannføringen målt ved utløpet av et vatn, og ved Bondhusbreen i et sedimentasjonskammer. En er derfor forskånet for slike problemer på disse stedene. Ved Nigardsbreen blir det i tillegg målt vannføring ved innløpet til vatnet om sommeren. Her har det vært problemer med profilendringer, sist etter den store flommen i august 1979.

Kartet på fig. 1 viser beliggenheten av observasjonsstasjonene, både de som var bemannet sommeren 1980 og de der det tidligere har vært foretatt undersøkelser. Hver observasjonsstasjon har vært bemannet med to personer i den vesentligste delen av avrenningssesongen for breelver, ved Nigardsbreen og Engabreen fra månedsskiftet mai/juni til midten av september, ved Bondhusbreen i en noe kortere periode, i 1980 fra 8. juni til 19. august. Ved de fleste breene der det foretas 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. Haakensen 1982.

De fleste undersøkelsene har vært konsentrert om transporten av suspendert materiale i breelvene. Ved de tre nåværende målestedene er det også blitt foretatt målinger av bunntransportert materiale. Ved to av 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. Ved Bondhusbreen blir bunntransporten bestemt ved oppmåling av avsetninger i sedimentasjonskammeret.

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

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.

tas det vannprøver både ved innløpet (5 i døgnet) og i utløpet (3 i døgnet), vanligvis i tiden 0800-2400 (sommertid). 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 oftere under flom tas det dobbeltprøver, dvs. to prøver samtidig. Dette er dels en sikkerhetsforanstaltning og dels et ledd i en undersøkelse av enkeltprøvenes representativitet. Ved Bondhusbreen tas det en til to prøver daglig.

Vannprøvene tas i 1-liters plastflasker i eller umiddelbart nedenfor en turbulent strekning i elva (fig. 2). For nærmere beskrivelse se Kjeldsen 1979. Volumet av vannet i flasken 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 vann-



Fig. 2 Vannprøvetaking for analyse av innholdet av suspendert materiale. En 1-liters plastflaske settes i en beholder på en 2-meter lang stang og holdes på skrå opp mot strømmen nedenfor en turbulent strekning i elva. Her ved Nigardsbreen mellom breen og Nigardsvatnet. Til høyre et vannmerke og en limnigraf.

Water sampling for analysis of suspended sediment content. An one-litre plastic bottle is fitted to a two-metre long stick and held in an inclined, upright position towards the stream below a turbulent part of the river. Here shown at Nigardsbreen between the glacier and Lake Nigardsvatn. To the right a water gauge and a water level recorder.

føringen. 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 i 1980 ble foretatt etter metoder som vi er kommet fram til etter flere års erfaring. Metodene er enkle å utføre og vi har funnet dem hensiktsmessige for praktisk bruk.

Metodiske spørsmål ved undersøkelser av materialtransporten i breelver 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, 1980

Sammenfattende beskrivelse

Sommeren 1980 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. Målingene i det subglasiale inntaket under Bondhusbreen, en vestlig utløper av Folgefonna, fortsatte etter samme forenklete opplegg som i 1979.

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 vatna blir målt etter hver sommersesong. Ved Nigardsvatnet har disse målingene vært foretatt siden 1969, ved Engabrevatnet siden 1975. Ved Bondhusbreen er det foretatt oppmåling av avsetningene av grovt materiale i et sedimentasjonskammer siden 1978 og transport av suspendert materiale etter et forenklet opplegg siden 1979.

Vær- og vannføringsforholdene

Høsten 1979 var preget av kjølig polarluft med urolig vær. En rekke lavtrykk og ned-

børområder ga snø i fjellet fra midten av september. Månedsmiddeltemperaturen i september va ca 2° lavere enn normalt for stasjoner nær breene (Klimatologisk Månedsoversikt fra Det Norske Meteorologiske institutt). Nedbøren var 150 til 200% av det normale i september. Videre utover høsten holdt været seg stort sett kjølig både i sør og nord. Nedbørområdene kom oftest inn over Sør-Norge, mens Nord-Norge hadde perioder med østlig vind. Hele vinteren til og med mars var kjølig i sør med middeltempeartur $1-3^{\circ}$ lavere enn normalt for stasjonene rundt Jostedalsbreen. I nord var den første del av vinteren kjølig, mens den siste delen var mer normal. I april var temperaturen nær normalen i sør og over denne i nord.

I sum var temperaturen i vinterhalvåret ca 1° lavere enn normalt i sør, mens nedbøren var noe under normalen. Vinterbalansen for Nigardsbreen var vinteren 79-80 79% av gjennomsnittet for de siste 19 årene.

For stasjonene rundt Engabreen var temperaturen i vinterhalvåret i underkant av normalen, mens nedbøren var ca 90%. Vinterbalansen på Engabreen var 86% av gjennomsnittet for de siste 11 årene.

Sommeren 1980 var temperaturen rundt både Jostedalsbreen og Engabreen drøyt 1° over normalen. Nedbøren var noe under normalen i sør mens den bare var 35-40% av normalen i nord. Sommerbalansen ble denne sommeren hele 150% av gjennomsnittet for de siste 19 årene på Nigardsbreen og 133% av de siste 11 årene på Engabreen. Denne kraftige smeltingen sammen med nedbør noe under det normale førte til et avløp fra Nigardsbreen i perioden mai-oktober som var nesten 25% høyere enn gjennomsnittet for de siste 12 årene. For Engabreen var avløpet i samme periode snaut 20% høyere enn gjennomsnittet for de 11 siste årene.

Generell kommentar til årets observasjoner

Observasjonene ved Nigardsbreen og Engabreen startet i månedsskiftet mai/juni og ble avsluttet henholdsvis 10. og 14. september. Denne perioden dekker det vesentligste av avrenningssesongen, i det minste den delen som har betydning for materialtransporten. I siste halvdel av september var det et par mindre vannføringstopper ved Nigardsvatnet (fig. 4) pga. perioder med relativt mildt vær og nedbør. Det samme forekom også ved Engabrevatnet (fig. 9). Slamføringen i denne perioden er beregnet ved å sammenlikne med slamføringen ved liknende vannføringer i slutten av observasjonssesongen. I oktober sank vannføringen begge steder raskt ned mot et vanlig vinternivå pga. det kjølige været.

Nigardsbreen

Innledning

Observasjonsstasjonen ved vassdraget fra den 48 km^2 store Nigardsbreen var i 1980

bemannet fra 30. mai til 10. september. Limnigrafen i Nigardsvatnet registrerte vannstanden hele året. Det ble bygget ny limnigraf ved utløpet av Nigardsvatnet. Denne står plassert på samme sted som den gamle. En liten forandring har det imidlertid blitt da den nye limnigrafen blir innstilt etter en skala som er montert i kummen i selve limnigrafen. Den gamle limnigrafen ble innstilt etter et vannmerke som sto få meter fra utløpet av vatnet. Avstanden fra dette til limnigrafen er ca 40 meter. Ved høye vannstander har denne avstanden betydning for vannspeilets nivå. Ved lave vannstander er vannflata praktisk talt horisontal mellom vannmerket i utløpet og vannmerket i kummen i limnigrafhuset. Ved økende vannstand oppstår det et mer markert fall i vannflata ut mot utløpet. Det kan dreie seg om 3 cm ved flomvannstander som vanligvis opptrer årlig.

Undersøkelsene i NVE's regi har pågått siden 1968, og resultater fra tidligere år er fortløpende blitt referert i årlige rapporter fra Hydrologisk avdeling, NVE. Observasjonsrutinen har i 1980 fulgt samme mønster som i tidligere år. Gjennom hele observasjonsperioden ble det tatt flere daglige prøver for beregning av suspendert materiale, flest prøver i breelvas innløp i vatnet hvor slamkonsentrasjonen er høyere enn i utløpet. Forskjellen mellom mengden suspendert materiale i prøvene tatt ved innløpet og utløpet av det 0.47 km² store Nigardsvatnet 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 da tatt hensyn til forskjellen i vannstanden mellom de to skalaene som opptrer ved høye vannstander. I observasjonsperioden er det også montert limnigraf i breelva mellom breen og vatnet. Det er utført en del vannføringsmålinger etter at profilet ble endret ved storflommen i august 1979. En foreløpig kurve er beregnet. Kurven er imidlertid noe usikker pga. få målinger, særlig mangler målinger ved høye vannstander. De fleste målingene er utført etter metoden med fortynnet saltoppløsning (Østrem 1964). Disse målingene gir erfaringsmessig en større usikkerhet enn flygelmålinger og gjør at det kreves flere målinger for at kurven skal bli tilfredsstillende. Flere målinger vil bli utført neste år.

Deltaet ved innløpet ble på høsten nivellert og opploddet langs de samme profiler som tidligere år. Målingen blir utført når vannstanden har sunket så lavt at det meste av målingene kan utføres til fots på deltaet. Vannføringen er da så lav at materialtransportsesongen praktisk talt er avsluttet. Sammenliknet med tilsvarende målinger ved avslutningen av forrige sesong gir disse målingene grunnlag for beregning av pålagringen på deltaet. Det er antatt at denne pålagringen vesentlig består av grovt materiale som breelva har ført med seg i bunntransport, dvs. partikkelstørrelser fra sand til store steiner.

Nettobalansen for Nigardsbreen i 1979-80 var den mest negative siden 1969 (Haakensen 1982). Dette skyldes både relativt lite vinternedbør og forholdsvis høy smelting om sommeren. Summen for de 19 årene det har vært foretatt massebalanse-målinger på Nigardsbreen er dog fremdeles positiv. Det samlede resultat for disse årene er at breen har lagt på seg 5 meter som et gjennomsnitt over hele breens overflate, omregnet i vannekvivalent. Brefronten har imidlertid gått tilbake i det meste av denne perioden, fra 1975-76 dog med færre meter pr år enn tidligere. I 1979 gikk den så fram noen få meter for første gang på mange år. I 1980 ble det målt en framgang på 1 meter.

Resultat

Diagrammene i fig. 3 viser resultater av observasjoner og beregninger fra Nigardsvatnet i 1980. Den døgnlige middeltemperaturen er beregnet på grunnlag av avlesing for hver time av en termograf med kontrollavlesing på et termometer to ganger i døgnet. Termografavlesingene mellom kontrollene er så evt. korrigert etter en linær skala. Termografen er plassert i et vanlig observasjonsbur mellom vatnet og brefronten. Den døgnlige nedbøren er målt med en enkel nedbørmåler av typen "Pluvius". Nedbøren blir målt både ved brefronten og ved utløpet av vatnet, hvor observatørene bor. Resultatet som er vist i fig. 3 er gjennomsnittet av de to avlesingene. Nedbørmålerne blir avlest kl 0800 og kl 2000 (sommertid). Som ett døgns nedbør regnes avlesingen kl 2000 pluss avlesingen kl 0800 den påfølgende dag. Dette avviker fra den rutinen som følges ved Meteorologisk institutts stasjoner, der måles nedbøren kl 0800 (0700), og dette tallet blir ført på den dagen det er avlest. Det blir således ett døgns forskjell i fremstillingen av døgnlig nedbør etter de to forskjellige rutinene. Brekontoret har alltid fulgt den ovennevnte (avvikende) rutinen.

Forholdet mellom de meteorologiske parametrene og avrenningen i observasjonssesongen er behandlet i en tidligere rapport (Roald 1971). Også i 1980 synes det å være god overensstemmelse mellom temperatur/nedbør og avrenning.

Mai 1980 var noe varmere enn normalt i Jostedalen, men det forekom ingen vannføring av særlig betydning for materialtransporten før observasjonssesongens begynnelse. Først omkring 6. - 7. juni steg temperaturen så høyt at vannføringen kom opp i vanlig sommernivå, ca $22 \text{ m}^3/\text{s}$. Vannføringen holdt seg deretter forholdsvis jevn med et par mindre topper, på henholdsvis 29 og $33 \text{ m}^3/\text{s}$, fram til slutten av juli. Den 29. juli var sommerens varmeste dag. Det medførte naturlig nok stor smelting på breen, og vannføringen i utløpet kom oppi $40 \text{ m}^3/\text{s}$ som var sommerens høyeste vannføring. Den nådde et nivå som kan sies å være en ganske vanlig årsflom (fig. 4).

Senere utover sommeren varierte vannstanden mer med flere kortvarige topper. I slutten av august sank så vannføringen, men sterk nedbør de siste dagene av observasjons-

sesongen brakte vannføringen opp i $39 \text{ m}^3/\text{s}$. Etter dette sank vannføringen raskt og senere utover høsten jevnt ned mot vanlig vinternivå.

Det totale avløpet i perioden fra mai til oktober var i 1980 $239 \cdot 10^6 \text{ m}^3$.

Gjennomsnittet for de siste 17 årene er $185.9 \cdot 10^6 \text{ m}^3$ (fig. 4).

NIGARDSVATN 1980.

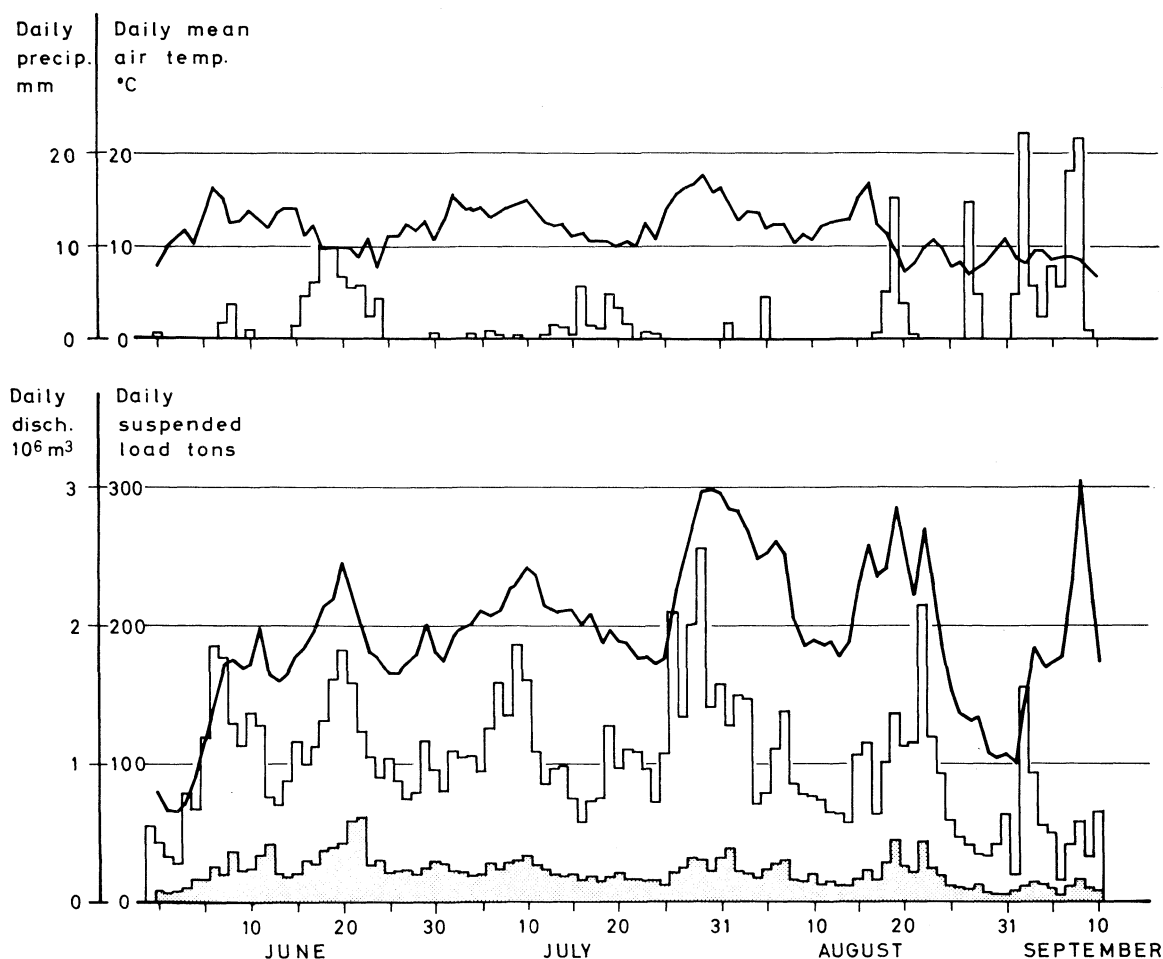


Fig. 3 Det øverste diagrammet viser døgnlig nedbør (søyler) og døgnmiddeltemperaturen (heltrukken strek) målt i løpet av observasjonssesongen ved Nigardsvatnet i 1980. Det nederste diagrammet viser den døgnlige vannføringen (heltrukken strek) målt ved utløpet av vatnet og den beregnede transporten av suspendert materiale ved innløpet (åpne søyler) og ved utløpet (skravert). Forskjellen mellom de to søylerekken gir et inntrykk av vatnets effektivitet som sedimentasjonsbasseng.

The upper diagram shows daily precipitation (columns) and daily mean air temperatures (line) at Lake Nigardsvatn during the 1980 observation season. The lower diagram shows daily variations in water discharge (line) from the lake and suspended sediment entering (open columns) and leaving (shaded columns) the lake. The difference is an indicator of the lake's efficiency as a sedimentation trap.

NIGARDSVATNET

WATER DISCHARGE

1971 - 1980

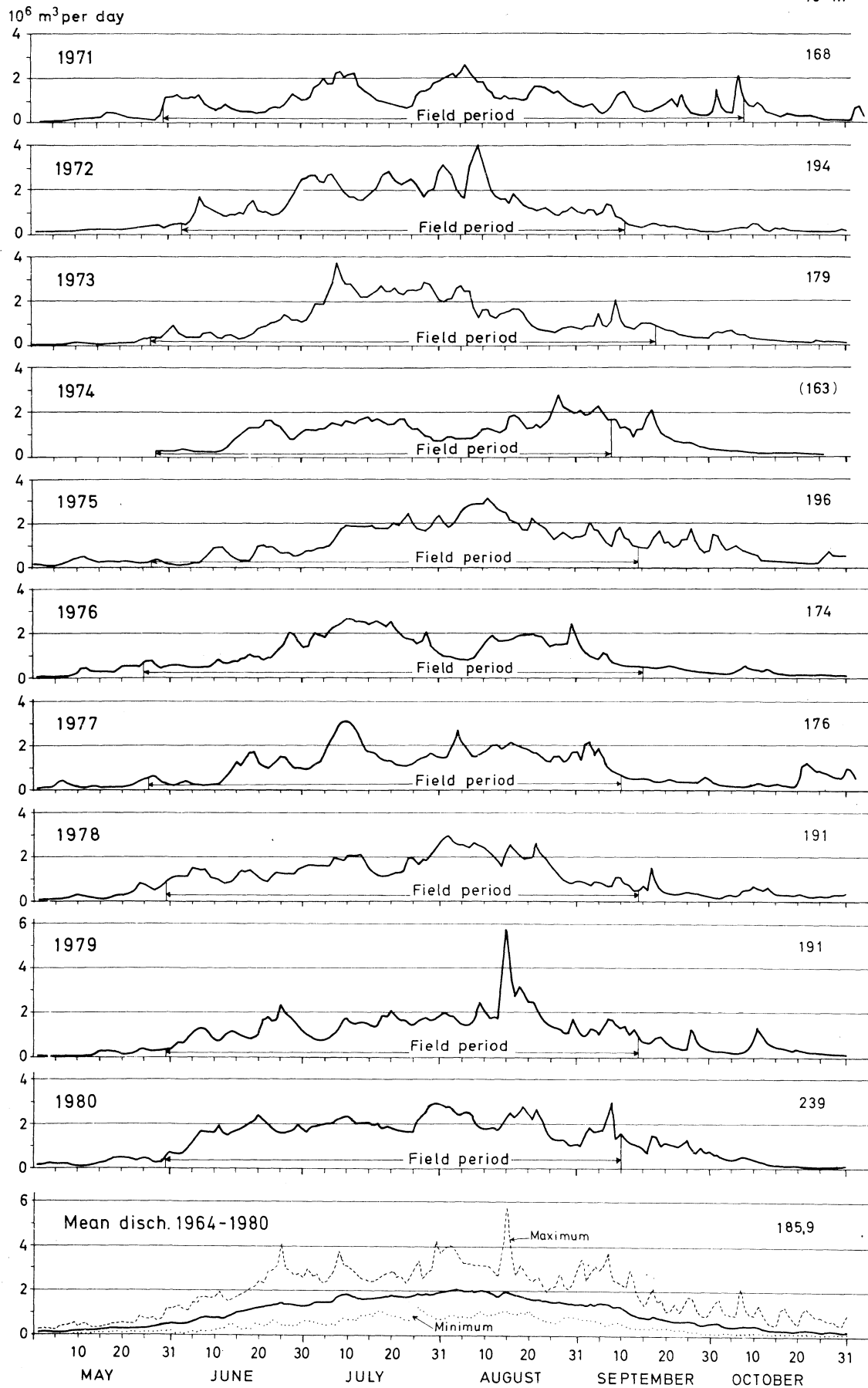
TOTAL
May-oct.
 10^6 m^3 

Fig. 4

Transporten av suspendert materiale nådde under årets første flom den 7. juni opp i ca 180 tonn. Liknende transport ble registrert under de noe større flommene senere i juni og juli. Mønsteret er helt vanlig, senere på sommeren skal det høyere vannføring til for å nå opp i samme mengde av transportert suspendert materiale som under sommerens første flom. Den høyeste konsentrasjon i innløpet ble således registrert den 7. juni kl 1200 med 238 mg/l. Det er ingen spesielt høy verdi, under storflommen 14. - 15. august 1979 ble det målt hele 3 234 mg/l. Under sommerens største flom i de siste dagene i juli fikk vi også den høyeste døgntransporten av suspendert materiale. Den 29. juli ble det registrert 255 tonn.

Den samlede transporten av suspendert materiale i observasjonsperioden fra 30. mai til 10. september er beregnet til 10 480 tonn. Transporten ut av vatnet i samme periode var 2 270 tonn. Det vil si at 78% av det finmaterialet breelva førte med seg ble avsatt i Nigardsvatnet. Gjennomsnittet for de siste 12 årene er 79%. Fordelt på det 0.47 km² store Nigardsvatnet utgjør dette et ca 10 mm tykt lag på bunnen av vatnet. Gjennomsnittlig for de siste 12 årene er avleiringen beregnet til 9.8 mm. Det meste av dette materiale, særlig de grovere fraksjonene, avsettes nær innløpet.

Før observasjonssesongen tok til den 30. mai var vannstanden som nevnt ikke særlig høy (fig. 4), og slamtransporten kan, anslått ved sammenlikning med transporten i de første dagene av observasjonssesongen, settes til ca 650 tonn. Slamtransporten etter observasjonssesongen er anslått på liknende måte, og den kan settes til ca 750 tonn. Den totale transporten av finmateriale fra Nigardsbreen i 1980 kan etter dette anslås til ca 11 900 tonn. Det er omlag det samme som gjennomsnittet for de siste 12 årene.

Pålagringen på deltaet i innløpet av Nigardsvatnet ble høsten 1980 målt ved opplodding og nivellering etter de samme profiler som tidligere år. Etter disse målingene ble det funnet en pålagring på 2 600 m³ eller ca 5 200 tonn. Tre utvalgte profiler over deltaet er vist på fig. 5. De siste årene har breelva svingt langs innerkanten av deltaet, og hovedutløpene har munnet ut på nordsiden. En har da fått den største delen av årets avsetning her, se f.eks. profil 17-14. Det skjer

Fig. 4 Døgnlige vannføring ved utløpet av Nigardsvatnet fra mai til oktober i 10-årsperioden 1971-1980. Tallet til høyre angir totalt avløp observert i løpet av disse månedene. Nederst vises middelvannføringen for perioden 1964-1980. Maksimale og minimale døgnlige vannføringer i samme periode er også vist.

Daily discharge at the outlet of Lake Nigardsvatn from May to October inclusive during the 10-year period 1971-1980. The number on the right hand side gives the total discharge for this period for each year. The lower diagram shows the average discharge for the 17 years 1964-1980. Maximum and minimum daily discharge in the same period are also shown.

NIGARDSVATN

Delta accumulation profiles 1979-1980

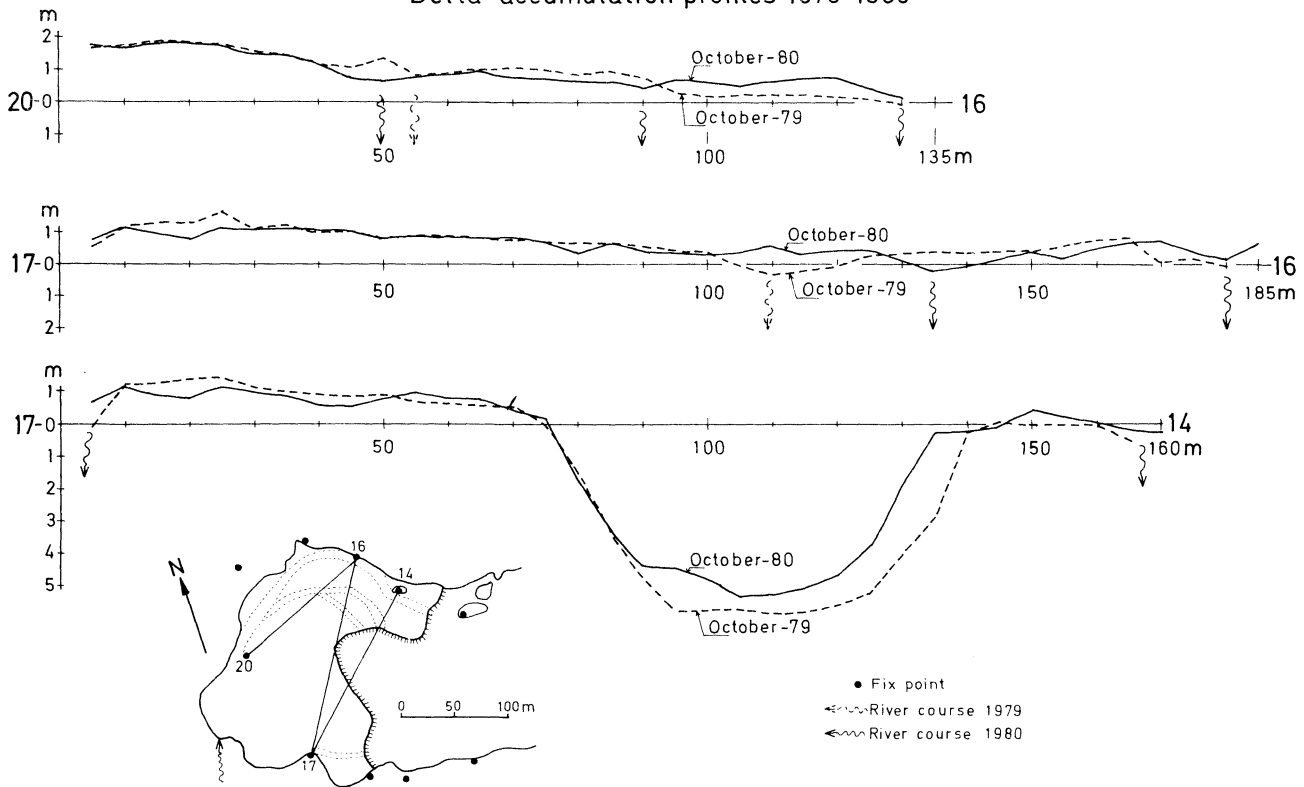


Fig. 5 Tre utvalgte profiler over deltaet ved breelvas innløp i Nigardsvatnet. Nivelleringene/opploddingene er foretatt med 5 meters mellomrom i oktober 1979 og et år senere. De gir opplysning om forandringer som er skjedd i løpet av avrenningssesongen 1980. Profilenes plassering på deltaet er vist på figuren nederst til venstre.

Three selected profiles across the delta at Lake Nigardsvatn. Levelling is done at 5 meters interval in October 1979 and one year later. This gives information about the changes on the delta during the drainage season 1980. The figure on the lower left side gives the position of the profiles on the delta.

også en erosjon og omlagring av materialet på deltaet. Elva forgrener seg i flere løp. Da elva fører med seg mye materiale, bygger den opp sine løp og situasjonen blir ustabil. Elva skifter derfor ofte løp over deltaområdet. Den største avsetningen skjer der elveløpene løper ut i vatnet (fig. 6). Her finner vi den maksimale avsetningen med over 2.5 m på 1 år.

Om en regner med at 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 1980 ca 17 100 tonn. Dette er drøyt 75% av gjennomsnittet for de siste 12 årene og tilsvarer en fjerning av et 0.13 mm tykt lag av fjellet jevnt fordelt under hele breen (fig.15).

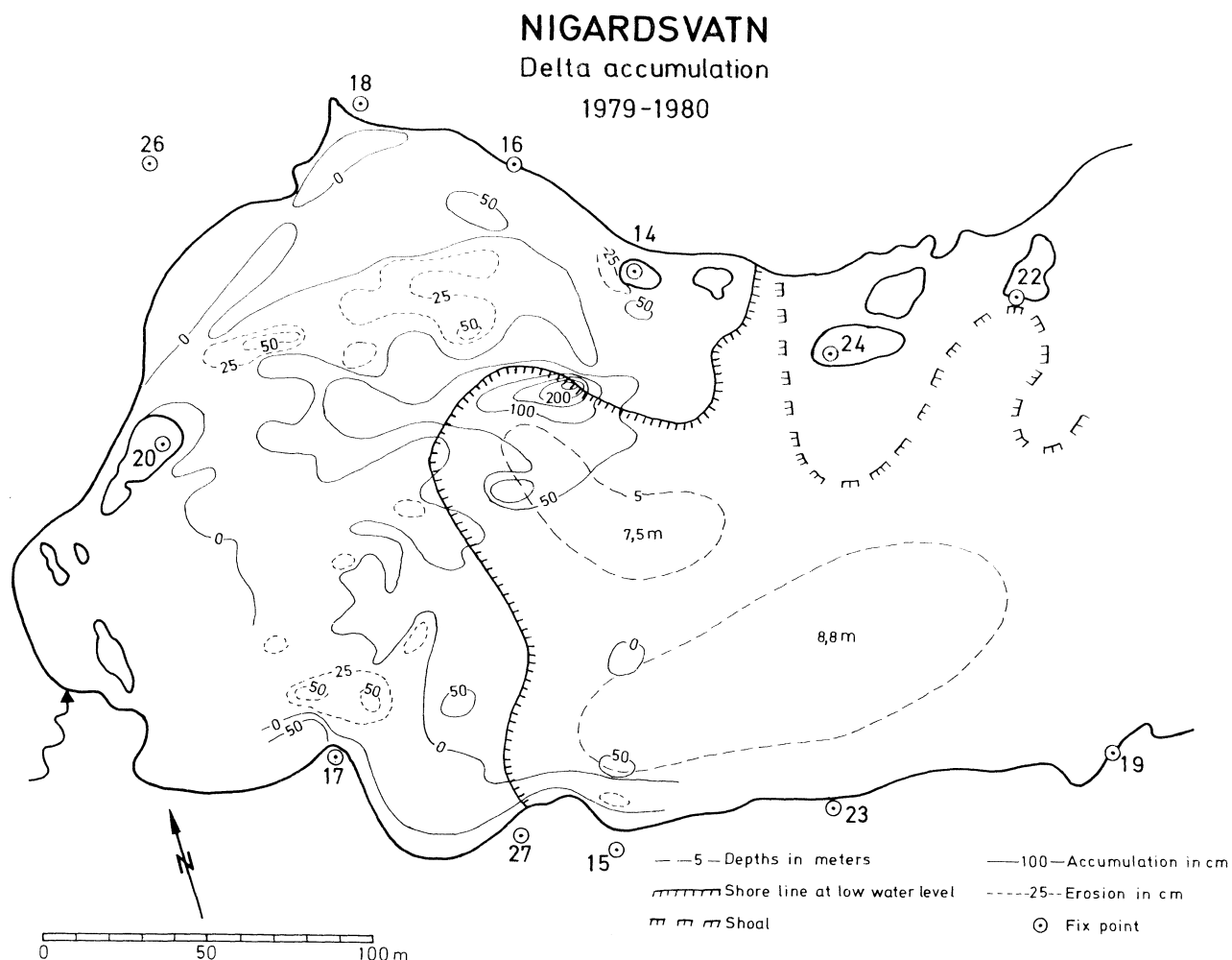


Fig. 6 Akkumulasjon og erosjon fra høsten 1979 til høsten 1980 på deltaet ved breelvas utløp i Nigardsvatnet.

Accumulation and erosion from October 1979 till October 1980 on the delta at the inlet of the glacier river in Lake Nigardsvatn.

I 1968, et år etter at Nigardsbreen smeltet tilbake fra indre enden av vatnet, ble vatnet opploddet (Ekman 1969). Det indre bassenget besto da av to trau med et dyp på over 10 meter. I 1980 var disse trauene innskrenket, særlig det innerste. Her var dybden redusert til 7.5 meter mens det noe lenger ut fremdeles er 8.8 meter dypt (fig. 6).

Engabreen

Innledning

I vassdraget fra den 38 km² store Engabreen har det pågått undersøkelser av vannføring og materialtransport siden 1969. Resultatene er fortløpende blitt publisert i årlige rapporter fra Brekontoret.

Vannstanden blir hele året registrert av en limnigraf i Engabrevatnet. Vatnet er 1.2 km^2 stort og ligger 1-200 meter fra breen og bare 7 m o.h. Elva fra vatnet er ca 800 m lang. Den går gjennom morenerygger og en gammel sandur før den løper ut i Holandsfjorden. Vannprøver for undersøkelse av innholdet av suspendert materiale tas både i innløpet og utløpet av vatnet.

Deltaet ved innløpet har blitt loddet opp og nivellert hver vinter siden 1974. Målingene må her foretas om vinteren når vatnet er islagt. Det er nemlig ikke mulig å strekke målewire over vatnet som ved Nigardsbreen pga. vatnets form og størrelse. Wire strekkes ut over isen langs profilene mot fastmerker på andre siden. Målingene ble vinteren 1981 utført på samme måte som de tidligere vintre.

Observasjonsstasjonen ved Engabrevatnet var i 1980 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 (fig. 7).

Vinterbalansen for Engabreen i 1979-80 var 14% lavere enn gjennomsnittet for perioden 1970-80, men sommerbalansen var 33% høyere enn gjennomsnittet for samme perioden (Haakensen 1982).



Fig. 7 Vannmerke (til venstre) og limnigraf i den indre delen av Engabrevatnet. Fronten av Engabreen i bakgrunnen.

Water gauge (left) and water level recorder in the inner part of Lake Engabrevatn. The front of the glacier Engabreen in the background.

Nettobalansen for Engabreen var negativ i 1980, mens det for perioden 1970-80 fremdeles er et betydelig overskudd. Dette overskuddet tilsvarer et tilskudd til breen tilsvarende nesten 8 meter vann jevnt fordelt over hele breens areal. Bre-

ENGABREVATN 1980.

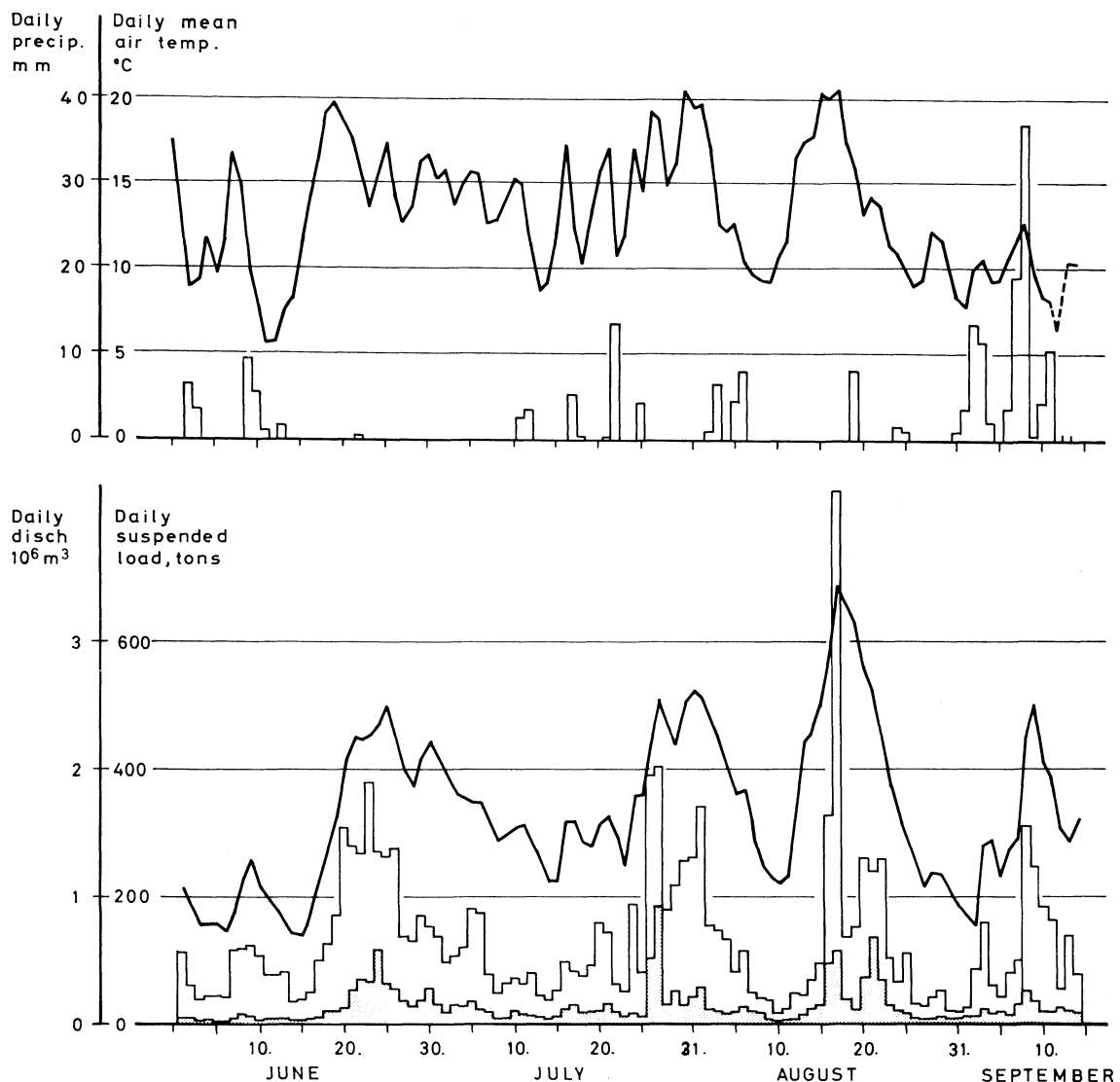


Fig. 8 Det øverste diagrammet viser meteorologiske parametre målt ved stasjonen ved Engabrevatn i observasjonssesongen 1980. Nedenfor vises døgnlige vannføring og den beregnede transporten av suspendert materiale inn i og ut av vatnet. Forskjellen mellom de to søylerekkene gir et inntrykk av vatnets effektivitet som sedimentasjonsbasseng.

The upper diagram shows meteorological parameters measured at the station at Lake Engabrevatn through the observation season 1980. The lower diagram shows daily variations in water discharge from the lake and suspended loads entering and leaving the lake. The difference between the latter two gives an impression of the efficiency of the lake as a sedimentation trap.

ENGABREVATN
WATER DISCHARGE
1969 - 1980

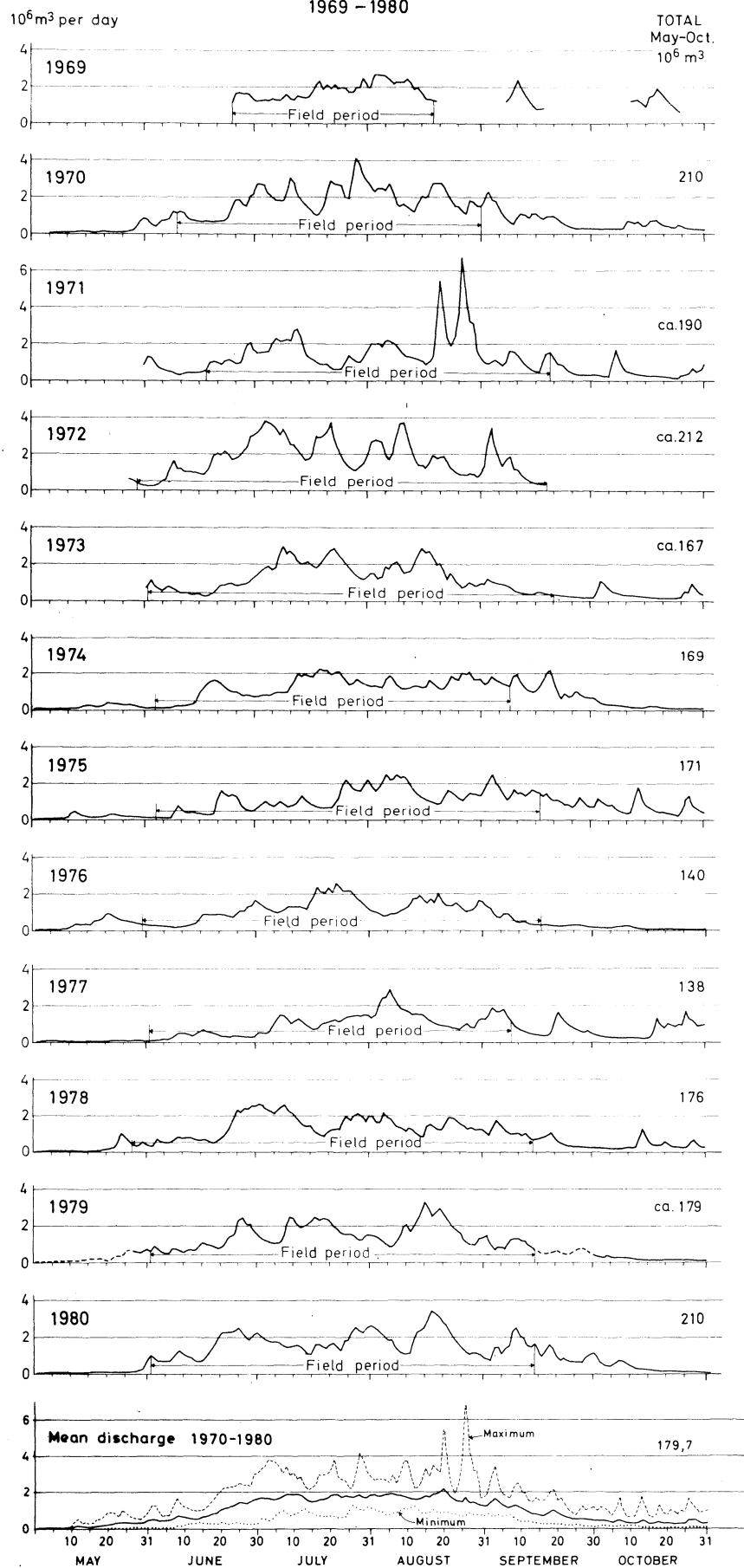


Fig. 9

frontens posisjon er blitt målt fra 11 punkter rundt Bretunga, som i tidligere år. De siste 4 årene har breen rykket framover, og Bretunga lå i 1979 lenger fram enn den har vært siden den forlot Engabrevatnet like etter krigen. Denne framgangen har nå stagnert. Ved et par punkter er det også siste år registrert en mindre framgang, men de andre punktene viser tilbakegang. I gjennomsnitt for alle punktene er det en tilbakegang på ca 5 meter.

Resultat

Diagrammet fig. 8 viser resultater og beregninger fra Engabrevatn i 1980. Måle- metodene har vært de samme som i tidligere år, de er beskrevet i avsnittet som omhandler Nigardsbreen (s.10).

Forholdet mellom de meteorologiske parametrene og avrenningen viser en god overensstemmelse, men som kjent spiller også andre parametre som vind og fuktighet inn. Den første vannføringsøkningen sommeren 1980 kom dagen før målingene startet opp (fig. 9). Vannføringen holdt seg på et lavt sommernivå fram til midten av juni. Da steg vannføringen betydelig som et resultat av at temperaturen steg kraftig. Den 25. juni nådde vannføringen $29.8 \text{ m}^3/\text{s}$ under sommerens første flom. Dette er et vanlig flomnivå på denne tiden av året (fig.10). Som et resultat av forholdvis høye temperaturer holdt vannføringen seg relativt høyt gjennom det meste av sommeren. Sommerens største flom kom etter noen varme dager i midten av august. Flommen kulminerte den 17. august kl 2200 med $43 \text{ m}^3/\text{s}$. Dette er ingen stor flom (fig.10), i 1971 ble det registrert dobbelt så høy vannføring noe senere i august. Det totale avløpet i perioden fra mai til oktober var i 1980 $210 \cdot 10^6 \text{ m}^3$. Det er ca 18% høyere enn gjennomsnittlig avløp de siste 11 årene (fig. 9).

Slamføringen nådde 380 tonn/dag under sommerens første flom i slutten av juni. Slamkonsentrasjonen var oppe i 244 mg/l den 23. juni. Liknende verdier ble registrert under noe høyere vannføringer i overgangen juli-august. Vesentlig høyere slamtransport ble registrert under sommerens største flom 17. august. Den høyeste slamkonsentrasjonen, 337 mg/l, ble registrert kl 0600, 18 timer før høyeste vannstand ble registrert i vatnet. Døgntransporten er beregnet til 834 tonn dette døgnet. Somme-

Fig. 9 Døgnlige vannføring ved utløpet av Engabrevatn fra mai til oktober i årene 1969 til 1980. 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 middelvannføringen for de samme årene. Maksimale og minimale døgnlige vannføringer i samme periode er også vist.

Daily discharge at the outlet of Lake Engabrevatn from May to October inclusive during the years 1969-1980. Observations are unavailable for periods of the three years 1971-1973. The lower diagram shows the average discharge for the 12 years 1969-1980. Maximum and minimum daily discharge in the same period are also shown.

ENGABREVATN

Flash floods 1969-1980

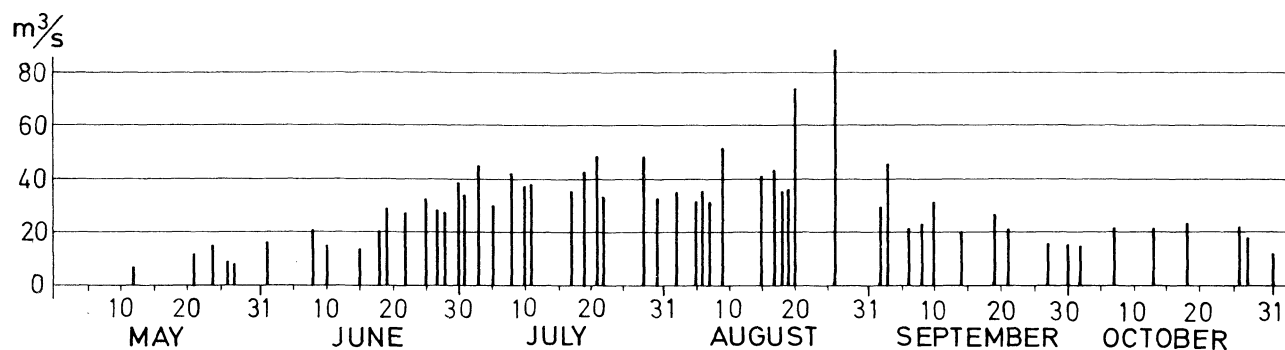


Fig.10 De største registrerte vannføringer ved utløpet av Engabrevatn i 6-måneders perioden mai til oktober i årene 1969-1980.

Flash floods at the outlet of Lake Engabrevatn in the 6-months period May to October for the years 1969-1980.

rens høyeste slamkonsentrasjon ble imidlertid registrert den 5. juli med 375 mg/l. Vannføringen var ikke spesielt høy denne dagen. Variasjonene var heller ikke noe utenom de vanlig døgnlige svingingene. Årsaken til den høye konsentrasjonen er derfor sannsynligvis å finne i forhold under breen eller ved brefronten, f.eks. ras som har rotet opp elvebunnen og forårsaket en kortvarig "slambølge".

Transporten av suspendert materiale inn i vatnet i observasjonssesongen fra 1. juni til 14. september er beregnet til 14 100 tonn. Transporten ut av vatnet i samme periode var ca 3 100 tonn. Det vil si at ca 78% av det finmaterialet breelva førte med seg sedimenterte i Engabrevatnet. Det er noe mindre enn gjennomsnittet de siste 11 årene som er 84%.

Slamføringen utenom observasjonssesongen er anslått ved å sammenlikne med nærmeste del av observasjonssesongen med liknende vannføring. Før observasjonssesongen var det ingen vannføring av betydning før de siste dagene av mai. Da steg vannføringen fra $0.12 - 0.15 \cdot 10^6 \text{ m}^3/\text{døgn}$ til $0.75 \cdot 10^6 \text{ m}^3/\text{døgn}$. Slamføringen før 1. juni er anslått til ca 450 tonn. Etter observasjonssesongen var det et par mindre flommer fram til begynnelsen av oktober. Etter det sank vannføringen raskt ned mot et meget lavt nivå (fig. 9). Slamføringen etter 14. september er anslått til mellom 900 og 1 000 tonn. Den totale slamtransporten i avrenningssesongen 1980 blir etter dette ca 15 500 tonn.

Med 78% sedimentasjon i vatnet av det tilførte suspenderte materiale, dvs. ca 12 100 tonn, utgjør årets sedimentasjon et ca 5 mm tykt lag jevnt fordelt over bunnen på det 1.2 km^2 store Engabrevatnet. I virkeligheten er dette laget vesentlig tykkere i nærheten av innløpet og tynnere utover i vatnet.

ENGABREVATN

Survey points on the delta.
February 1981.

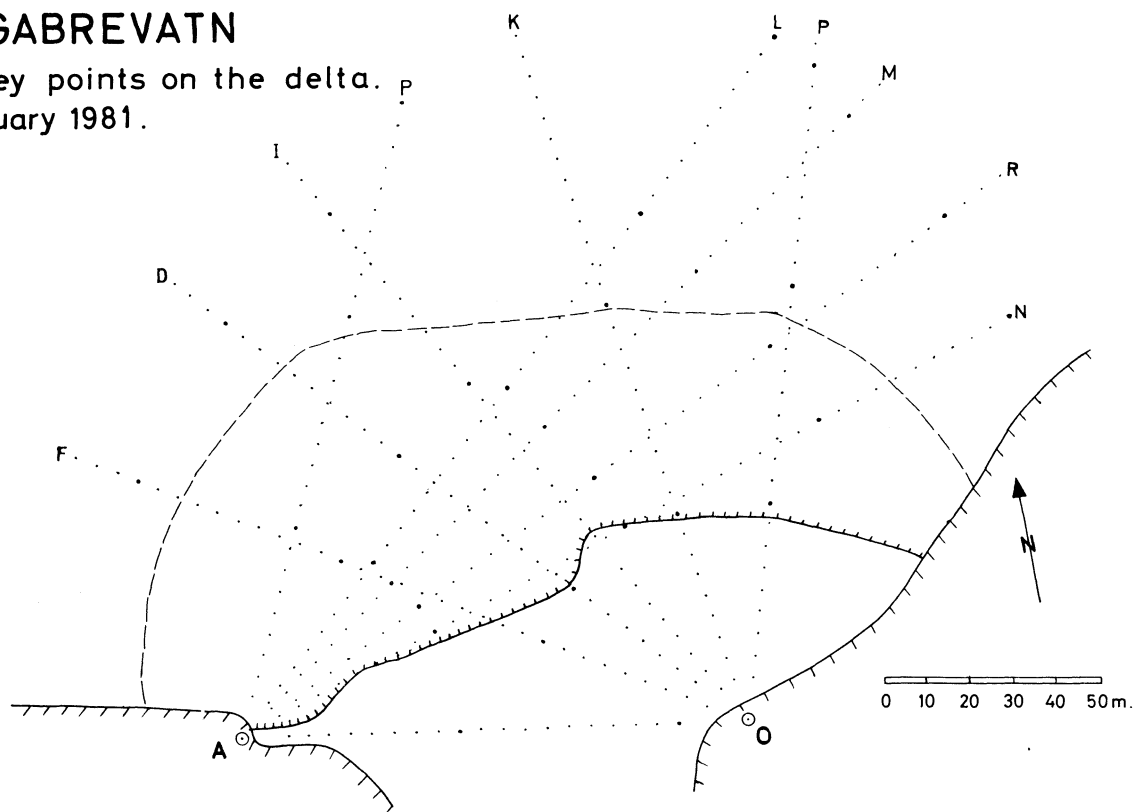


Fig.11 Profiler med nivellerte og opploddede punkter for hver 5. meter over innløpsdeltaet i Engabrevatn. Profilene A-P og A-M ble opplodddet første gang i januar 1980 og pålagringen langs disse er således registrert første gang etter opplodding siste vinter.

Surveyed points at the inlet delta at Lake Engabrevatn. The profiles A-P and A-M were surveyed for the first time in January 1980. Accumulation along these profiles are thereby registrated for the first time after the surveying in February 1981.

Oppmålingen av pålagringen på deltaet antas å gi et ganske godt svar på spørsmålet om størrelsen av transporten av grovt, bunntransportert materiale. Vinteren 1980 ble oppmålingene utvidet med 2 nye profiler, profil A-P og A-M på fig.11. Målingene for akkumulasjonssesongen 1980, som ble foretatt i februar-mars 1981, er derfor basert på flere punkter enn i tidligere år. Som vanlig viser resultatet fra oppmålingene at pålagringen er størst umiddelbart utenfor deltakanten (fig.12). Også siste år har det forekommet ras i den steile deltaskråningen. Erosjonen i forhold til fjorårets oppmåling er på over 2.5 meter på det meste i en sone ut for midten av deltaet. En del av dette utraste materialet kan nok finnes lenger ut innenfor det oppmålte området, dvs. inntil 20 meter dyp, men mye forsvinner ut mot større dyp og blir ikke registrert ved pålagringsmålingene. Rett ut for deltaet skråner det raskt ned mot 50 meters dyp. Her er det en avflating, skråningen fortsetter så til vatnets dypeste parti på over 90 meter omlag midt i vatnet.

Akkumulasjonen på deltaet har siste år vært noe mer ujevn enn i tidligere år. Det

ENGABREVATN

Delta accumulation 1980

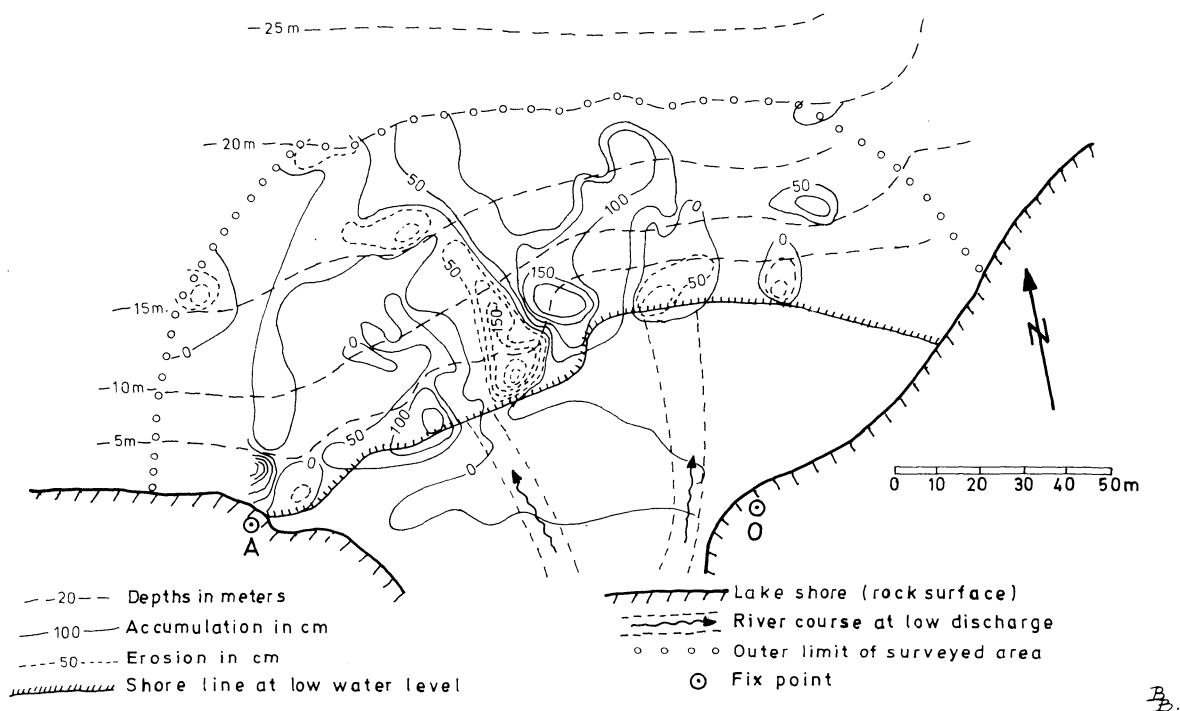


Fig.12 Akkumulasjon og erosjon fra 1979-1980 på deltaet ved breelvas utløp i Engabrevatn.

Accumulation and erosion from 1979-1980 on the delta at the inlet of Lake Engabrevatn.

skyldes antagelig at flere mindre ras kompliserer bildet. På grunn av den steile skråningen er situasjonen langs deltaskråningen meget labil. Det kan derfor være vanskelig å beregne nøyaktig den riktige transporten av grovt materiale som avlagres på deltaet.

Den største akkumulasjon som er målt siste år er på over 2 meter. Det er et ganske vanlig tall for den maksimale årlige akkumulasjonen. Det er ialt målt en akkumulasjon på $3\,610\text{ m}^3$ og en erosjon på $1\,230\text{ m}^3$. Om en regner med samme akkumulasjon i de eroderte områdene som ellers på deltaet og tar hensyn til det rasmateriale som er akkumulert lenger ute på deltaet blir årets akkumulasjon på deltaet anslått til $4\,300\text{ m}^3$ eller ca 8 600 tonn. Med dette blir den totale transporten fra Engabreen i 1980 ca 24 100 tonn. Bunntransportens andel av den totale materialtransporten blir ca 36%. Det er omlag som gjennomsnittet de 6 årene slike målinger er foretatt, nemlig 37%.

En erosjon på 24 100 tonn fra Engabreens 38 km^2 tilsvarer en fjerning av et 0.23 mm tykt lag av fjellet jevnt fordelt under hele breen.

I gjennomsnitt for de siste 11 årene har den totale årlige materialtransporten vært 23 170 tonn. Det tilsvarer en årlig erosjon på 0.23 mm jevnt fordelt under hele breen. 83.7% av det suspenderte materialet er avsatt i Engabrevatnet. Det tilsvarer et årlig lag på 5.1 mm. I tillegg kommer så avleiringen av grovere materiale på og ved deltaet.

Bondhusbreen

Innledning

Bondhusbreen er en ca 11 km² stor vestlig utløper fra den sørlige delen av Folgefonna. Vannet fra Bondhusbreen blir utnyttet av Mauranger kraftverk. Vannet tas inn under breen ca 900 m o.h. og føres i tunnel til et magasin lenger nord. Bre-tunga når ned til ca 450 m o.h.

I forbindelse med bremålinger på Bondhusbreen tar de to assistentene som befinner seg der om sommeren, en eller to slamprøver i inntakstunnelen som fører vann fra breen. Disse målingene startet opp i 1979, og denne rapporten omhandler altså andre året med disse målingene. I 1980 varte observasjonssesongen fra 14. juni til 26. august. Prøvene blir tatt ved innløpet til et sedimentasjonskammer for grovt materiale (Kjeldsen 1979 s.24). Vannføringen i overføringstunnelen måles i sedimentasjonskammeret hvor det er montert en limnigraf. Avsetningene i sedimentasjonskammeret tømmes hver vinter, og mengden av avsatt materiale måles.

Resultat

Diagrammene i fig.13 viser resultater fra observasjoner og beregninger fra Bondhusbreen i 1980. Temperatur og nedbør er registrert av en automatisk stasjon med registreringer for hver time. Stasjonen har vært plassert ved Holmavatn, 1 130 m o.h. ca 100 meter nord for breen.

Vannføringen viste en svak stigning i siste halvdel av mai. Fra 5. til 8. juni steg den så kraftig til et vanlig sommernivå. Den 16. juni nådde vannføringen en topp på 10.5 m³/s. Så stor vannføring forekom også 3-4 ganger senere på sommeren og ble såvidt overgått den 20. august med 10.8 m³/s. Vannføringen i 1980 holdt seg jevnt over høyere enn året før (fig.14) selv om maksimalvannføringen i 1979 var noe høyere (12.2 m³/s).

Årsaken til vannføringsstigningen fra 5. juni kjenner vi ikke med sikkerhet, men rimeligvis var det temperaturstigning (se temperaturen ved Nigardsbreen fig. 3). Flommen den 16. juni skyldes temperaturstigning fra den 14. og nedbør 15. juni. Sterkere nedbør 27. juni og 16. juli ga ikke samme økning i vannføringen pga. lavere temperatur.

Flommen i slutten av juli skyldes at temperaturen steg fra 4-7°C til over 13°C

BONDHUSBREEN 1980

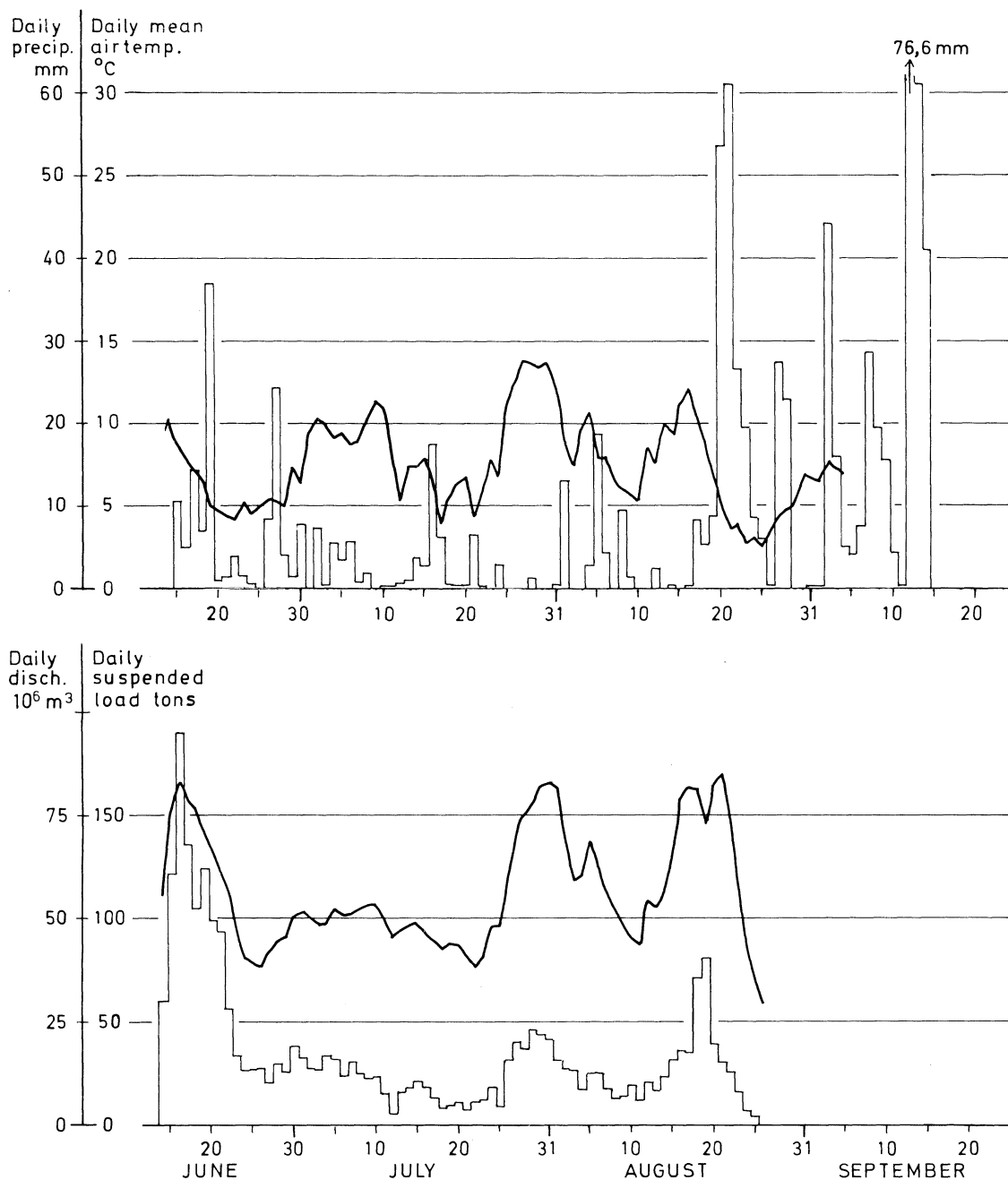


Fig.13 Det øverste diagrammet viser meteorologiske parametre målt ved Holmavatn, 1 130 m o.h. i observasjonssesongen 1980. Nedenfor vises døgnlig vannføring og den beregnede transporten av suspendert materiale i inntaket under Bondhusbreen.

The upper diagram shows meteorological parameters measured at Lake Holmavatn, 1 130 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.

ved Holmavatn. Flommene 17. og 21. august skyldes henholdsvis høy temperatur og meget sterk nedbør. Den 20. og 21. august ble det registrert tilsammen 114.6 mm ved Holmavatn. Men da temperaturen samtidig sank til mellom 5 og 3°C nådde ikke vannføringen vesentlig høyere enn tidligere på sommeren. Sommerens siste flom av betydning kom 8. september, igjen som et resultat av sterk nedbør.

Det må her presiseres at det er snakk om vannføringen i tunnelen som fanger opp vann fra et inntak under breen. Det kan ikke sies med sikkerhet i hvor stor grad den fanger opp vann fra nedbør i området. Vannføringsdata fra Brufoss, en limnigraf plassert i vassdraget nord for Bondhusbreen ca 1.5 km nord for stasjonen ved Holmavatn, viser imidlertid omlag samme forhold mellom flommene i slutten av juli og august-september som limnigrafen i kammeret under Bondhusbreen. Det skulle derfor tyde på at inntaket under breen i stor grad også fanger opp regnvann fra området over inntaket. Det var i 1980 ikke limnigraf i breelva nedenfor Bondhusbreen. Fra 1981 vil det bli limnigraf her som registrerer vann fra breområdene lavere enn inntaket og fra høyere områder som måtte unngå å bli fanget inn av det subglasiale inntaket. Totalt for perioden mai til oktober var avrenningen $68.1 \cdot 10^6 \text{ m}^3$ (fig.14). Det er ca 26% mer enn i samme periode i 1979.

Årets første flom dominerer sterkt når det gjelder transporten av suspendert materiale. I de 5 dagene fra 15. til 19. juni ble det registrert hele 26% av slamtransporten i hele den 74 dager lange observasjonsperioden. De tilsvarende flommene senere på sommeren svarte for en vesentlig mindre slamtransport, henholdsvis 8 og 10% i en like lang periode. Dette viser tydelig hva som er kjent fra målinger andre steder, at årets første flom fører mer slam enn tilsvarende flommer senere på sommeren. Det skal en markert høyere vannføring til for å komme opp i tilsvarende slamtransport. Variasjonene mellom slamtransporten ved høy og midlere vannføring synes imidlertid å være større ved det subglasiale inntaket under Bondhusbreen enn ved andre breer vi har målt.

Den høyeste konsentrasjonen av suspendert materiale ble målt under flommen den 16. juni kl 2100 med 244 mg/l. Dette er vesentlig lavere enn den maksimale konsentrasjonen som ble målt i 1979, nemlig 784 mg/l. Utenom flomperiodene varierte slamkonsentrasjonen mellom 15 og 70 mg/l, omlag som i 1979.

Beregningene for observasjonsperioden 14. juni til 26. august viser at ca 2 600 tonn suspendert materiale ble transportert inn i tunnelsystemet fra Bondhusbreen. En ikke uvesentlig del av avrenningssesongen faller utenom observasjonssesongen. Den totale transporten av suspendert materiale kan derfor vanskelig la seg beregne med særlig nøyaktighet. Avløpet i observasjonssesongen var $41.9 \cdot 10^6 \text{ m}^3$, mens det i perioden mai til oktober var $68.1 \cdot 10^6 \text{ m}^3$. I siste halvdel av juni var den gjennomsnittlige slamkonsentrasjonen 125 mg/l, i august var den 42.5 mg/l. Regner en

BONDHUSBREEN

WATER DISCHARGE

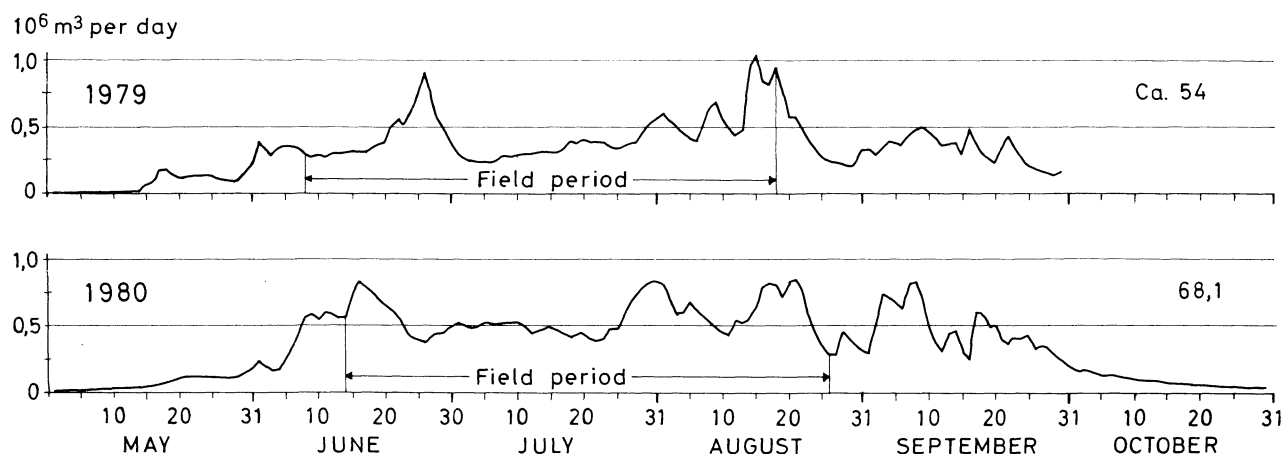


Fig.14 Døgnlige vannføring i inntaket under Bondhusbreen fra mai til oktober de to siste årene. Tallet til høyre angir det totale avløpet i denne 6-måneders perioden.

Daily discharge in the subglacial intake at Bondhusbreen from May to October inclusive. The number on the right side gives the total discharge for the 6-months period for each year.

med en slamkonsentrasjon på 125 mg/l for perioden før og 42.5 mg/l for perioden etter observasjonssesongen blir den totale transporten av suspendert materiale i avrenningssesongen 1980 ca 4 300 tonn. Dette tallet er selvfølgelig mer usikkert enn tilsvarende tall for de andre brevassdragene, både pga. kort observasjonssesong, og få prøver pr dag.

Målinger av avsetningene i sedimentasjonskammeret er foretatt av Vestlandsverkene etter avrenningssesongen. Disse viser at det i 1980 ble avleiret ca 1 530 m³ eller ca 3 060 tonn materiale. Materialet som avsettes i kammeret er grovere enn det som transporteres i suspensjon. Tre prøver tatt forskjellige steder i kammeret i avsetningene fra 1979 viser bare en ubetydelig andel av materiale under sandfraksjonen. De fineste fraksjonene fra fin sand og finere (diameter < 0.2 mm) er vasket ut og ført videre.

Prøve	Vekt kg	Fordeling %				
		Silt	Sand	Grus	Stein	Total
A	26.568	1.0	61.0	36.5	1.5	100
B	23.174	1.5	93.6	3.1	1.8	100
C	49.069	0.3	5.5	49.8	44.4	100

Grensene mellom de enkelte fraksjonene er henholdsvis 0.06, 2, og 60 mm.

Den totale materialtransporten inn i det subglasiale inntaket under Bondhusbreen i

1980 blir etter dette ca 7 400 tonn. Av dette utgjorde det grovere materiale som transporteres som bunntransportert materiale ca 42%. Dette er omlag det samme forholdet som er funnet som gjennomsnitt for flere år ved Nigardsbreen og Engabreen, henholdsvis 45 og 36%. I 1979 utgjorde bunntransporten hele 56% av totaltransporten. Ved Nigardsbreen har en enkelte år målt liknende forhold. Ved målingene foran Bondhusbreen i 1972 og 1973 var det forholdet henholdsvis 52 og 51%. To års målinger er altfor kort tid til å fastslå om det er noen reell forskjell i bunntransportens andel av totaltransporten i det subglasiale inntaket og foran breen. Til det er variasjonene fra år til år for store.

SLUTTORD

Undersøkelsene i 1980 omfatter de samme 3 brevassdrag som i 1979. De to største, Nigardsbreen og Engabreen, ble undersøkt etter de samme rutiner som i tidligere år. Den mindre Bondhusbreen ble, som i 1979, undersøkt etter et forenklet opplegg.

De to største nedbørfeltene drenerer totalt 65 og 50 km² fra henholdsvis Nigardsbreen og Engabreen. Det subglasiale inntaket ved Bondhusbreen fanger opp drenering fra 12.6 km². Andelen som er bredekket ved disse feltene er henholdsvis 72, 76 og 87%.

Avløpsforholdene for disse nedbørfeltene er kjennetegnet ved en kort og intens avrenningssesong med store og hyppige vannføringsvariasjoner. Materialtransporten i slike brevassdrag er preget av avløpsforholdene med ennå større variasjoner enn for vannføringen.

En bre eroderer i berggrunnen og produserer stadig nytt løsmateriale. Dette blir ført fram dels under breen som bunnmorene, dels av de aller nederste deler av breen som en slags såle bestående av lag av is og materiale av ulik sammensetting. Deler av materialet blir etter hvert ført videre av breelvene.

Tabellen s.29 viser en oppsummering av resultatene fra målingene fram til og med 1980. For Bondhusbreen er tallene for 1972 og 1973 fra målinger som ble foretatt ved brefronten i likhet med de andre målestedene. Fra 1979 er målingene foretatt i det subglasiale inntaket ca 900 m o.h. Mindre enn 0.2 km² av breen ligger nedenfor inntaket.

For hver breelv er det 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 transporten. Dette tallet omfatter transporten av suspendert materiale i hele avrenningsseson-

gen samt bunntransportert materiale. Transporten av suspendert materiale utenom observasjonssesongen er anslått på grunnlag av sammenlikning med materialtransporten i perioder med tilsvarende vannføring i henholdsvis begynnelsen og slutten av observasjonssesongen. For to av breelvene der målinger ble foretatt i 1980, nemlig fra Nigardsbreen og Engabreen, er transporten av grovt, bunntransportert materiale basert på direkte målinger av avleiringen på et delta umiddelbart nedenfor brefronten. På Bondhusbreen er bunntransporten beregnet ved oppmåling av avsetningen i et sedimentasjonskammer.

For et flertall av målestedene der det i tidligere år ble foretatt målinger, er bare transporten av suspendert materiale målt. Størrelsen av den totale materialtransporten for disse vassdragene er derfor beregnet ved at bunntransporten er anslått etter sammenlikning med liknende breelver der direkte målinger foreligger (Kjeldsen 1975 og 1977). I Visa, nær samløpet ved Bøvra, ble det målt avsetning av bunntransportert materiale i en konstruert fangdam.

For å kunne sammenlikne de enkelte brevassdragene er det til slutt angitt den spesifikke sedimentproduksjon i tonn/km^2 og den tilsvarende erosjon i berggrunnen under breene målt i mm. Det første tallet er framkommet ved at den beregnede totale årlige materialtransporten er dividert med brearealet i nedslagsfeltet. Ved beregning av erosjonen er det regnet med en tetthet på 2.7 g/cm^3 for berggrunnen. Vi ser bort fra eventuell erosjon utenom breene. I mange tilfelle er nok den liten i forhold til den som er forårsaket av breene. Det som kan ha noe betydning er erosjon i løsmateriale f.eks. eldre morener i bratte fjellsider over dagens breer. Dette skjer til en viss grad både ved Engabreen og Nigardsbreen, særlig i perioder med sterk nedbør.

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. Elva under breen vasker da med seg materiale fra områder der vann ikke har kommet til under en hel vinter. Likeså vil stigende vannføring smelte en del av sålen, breens nederste lag. Dette har som nevnt ofte et betydelig innhold av materiale. Liknende forhold 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 om denne er markert større enn andre flommer. Det er derfor meget viktig å få dekket sommerens maksimalflom med tilstrekkelige målinger.

Også utover høsten kan det forekomme flommer av betydning i brevassdragene i perioder med mildvær og sterk nedbør. Vanligvis pågår observasjonene til midten av september, 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

Glacier or river name Glacier area km ²	SEDIMENT YIELD AT SELECTED GLACIERS IN NORWAY															
		1967	1968	1969	1970	1971	1972	1973	1974	1975	1976	1977	1978	1979	1980	
Nigardsbreen 48	I, days II, tons III, tons IV, tons/km ² V, mm	 225 0.08	76 5200 10800 ⁺ 455 0.17	95 13600 21800 ⁺ 665 0.25	110 14000 31800 ⁺ 665 0.25	132 10100 14300 ⁺ 300 0.11	101 11850 31800 ⁺ 665 0.25	115 10500 31100 ⁺ 650 0.24	104 5500 13600 ⁺ 280 0.10	111 9000 28000 ⁺ 585 0.22	114 11750 21800 ⁺ 455 0.17	108 7100 10700 ⁺ 225 0.08	109 7200 13100 ⁺ 275 0.10	108 17900 32400 ⁺ 675 0.25	104 10500 17100 ⁺ 355 0.13	
Austre Mem- rubreen 9	I, days II, tons III, tons IV, tons/km ² V, mm	64 4700 7900 880 0.33	77 3300 5800 670 0.25	76 6880 8350 930 0.34	70 6750 11600 1290 0.48	85 2400 5350 590 0.22	75 4350 6250 695 0.26									
Visa 33	I, days II, tons III, tons IV, tons/km ² V, mm	 0.21	 	 	 	 	 	91 13730 18600 560 0.21	99 20250 (33750) 1030 0.38							
Bondhusbreen 11	I, days II, tons III, tons IV, tons/km ² V, mm	 	 	 	 	 	100 7000 15500 1410 0.52	122 6520 13800 ⁺ 1255 0.46					Subglacial intake	72 3100 9300 845 0.31	74 2600 7400 675 0.25	
Erdalsbreen 11	I, days II, tons III, tons IV, tons/km ² V, mm	46 7840 13300 1210 0.45	75 6300 12500 1135 0.42	78 14720 26700 2430 0.90	108 19250 33500 3030 1.12	104 7050 16700 1515 0.56	93 7300 12500 1135 0.42	28 1400 (11700) (1060) (0.39)								
Vesledals- breen 4	I, days II, tons III, tons IV, tons/km ² V, mm	50 530 1050 260 0.10	82 300 600 150 0.06	79 579 1170 290 0.11	93 350 670 160 0.06	90 320 670 160 0.06	87 290 500 125 0.05									
Engabreen 38	I, days II, tons III, tons IV, tons/km ² V, mm	 	 	57 8650 15800 415 0.15	85 11560 22500 590 0.22	95 15449 28000 735 0.27	113 19750 35000 920 0.34	112 10770 19500 515 0.19	98 11350 22500 590 0.22	103 14150 25000 ⁺ 660 0.24	110 11900 19700 ⁺ 520 0.19	100 11000 20800 ⁺ 550 0.20	111 10050 18300 ⁺ 480 0.18	106 11100 19500 ⁺ 515 0.19	106 14100 24100 ⁺ 635 0.23	
Trøilbergdals- breen 2	I, days II, tons III, tons IV, tons/km ² V, mm	 	 	 	64 2840 5700 2850 1.06	67 4200 8800 4400 1.63	73 3700 7500 3750 1.39	78 1660 3750 1875 0.69	75 725 1650 825 0.31							
Høgstubbreen 2.6	I, days II, tons III, tons IV, tons/km ² V, mm	 	 	 	 	42 209 	59 445 1800 690 0.26	71 238 1030 395 0.15	87 220 1000 385 0.14							

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

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

Fig.15 Tabellen viser resultater fra sedimenttransportundersøkelser i 1980 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 1980 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.

nedbøren faller som snø på breene. Men enkelte 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 breelvenes materialtransport så godt som mulig er det valgt en høy observasjonsfrekvens som under flommer økes ytterligere, særlig ved økende vannstand. Konsentrasjonen av suspendert materiale kan imidlertid variere i bølger som er så kortvarige at de ikke kan observeres på denne måten. Forsøk 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 (Ekman 1978).

Undersøkelser av transporten av suspendert materiale i brevassdragene har pågått i innløp og utløp 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. Ved Bondhusbreen har målingene av suspendert materiale i det subglasiale inntaket foregått siden 1979, mens måling av avlagring av grovt materiale i et sedimentasjonskammer har foregått siden 1978.

Sammenliknet med tidligere års observasjoner og beregninger var materialtransporten fra Nigardsbreen i 1980 ca 77% av gjennomsnittet for de siste 12 årene, mens avrenningen i perioden mai-oktober var ca 124% av gjennomsnittet for samme perioden. Materialtransporten fra Engabreen i 1980 var omlag som gjennomsnittet for de siste 11 årene, mens avrenningen i perioden mai-oktober var ca 118% av gjennomsnittet for samme perioden.

Den gjennomsnittlige slamkonsentrasjonen i 1980 blir derved lavere enn gjennomsnittet for de årene vi har målinger. For juni-august var den gjennomsnittlige slamkonsentrasjonen ved innløpet av Nigardsvatn 54 mg/l, 82% av gjennomsnittet for de siste 12 årene. Tilsvarende tall for innløpet av Engabrevatn var 78 mg/l og 87% av gjennomsnittet for de siste 11 årene.

Bunntransporten er beregnet ved måling av pålagringen på deltaene som breelvene bygger ut i henholdsvis Nigardsvatnet og Engabrevatnet. I 1980 ga målingene følgende resultat: For Nigardsvatnet ca 5 200 tonn og for Engabrevatn ca 8 600 tonn. Dette er henholdsvis 49 og 94% av gjennomsnittet for de siste 12 og 6 årene. I forhold til den totale materialtransporten utgjorde deltaakkumulasjonen, dvs. mengden bunntransportert materiale, ved Nigardsbreen 30% og ved Engabreen 36%. Gjennomsnittet for de siste 12 henholdsvis 6 årene er 45 og 37%.

SUMMARY

Introduction

Sediment transport studies have been undertaken in selected glacier streams in Norway since 1967. Results from these investigations are reported annually. Detailed descriptions of the sampling site, methods and technics 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.15. The number of glacier streams under study was increasing from year to year and in 1972 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 2 years or more. During the last 2 years we have concentrated our studies to Nigardsbreen, an outlet glacier from the Jostedalsbreen ice cap, Engabreen, one of the Western outlet glaciers from the Svartisen ice cap and Bondhusbreen, an outlet glacier from the Folgefonna ice cap. At Nigardsbreen and Engabreen 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. At Bondhusbreen sedimentation studies have been performed in the sedimentation chamber, a large hall constructed in the bedrock under the outlet glacier from the Folgefonna 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 rock which were transported by the water into the tunnel system. These particles are trapped in a sedimentation chamber which is emptied for its content every winter. 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 deltas which are being developed 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 streams; this detail is dealt with in a following section. Continuous annual studies of the suspended sediment and the bottom load have been performed during the last 12 years at Nigardsbreen and during the last 11 years at

Engabreen. These series are very valuable because they can 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, 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.15.

The map, Fig. 1, gives the location of the various measuring sites, both those operating during earlier years and the present stations, which were operating during 1980. 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. 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. at the inlet of the lakes and 3 times a day at the outlet. However, during periods of rapidly increasing water discharge, the observers 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 samples were taken at the same time both for security reasons and to test the reproducibility of the samples.

The water samples are taken in one-litre plastic bottles and the accurate volume of each sample is measured before the water is filtered and the filterpaper 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 2 500 single samples each summer) makes it necessary to use computer technics for the calculations. Also some of the diagrams are drawn by an automatic plotter.

The methods used in 1980 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, 1980

General description

The winter temperature in 1979-80 was 1°C lower than normal around Nigardsbreen, the precipitation was a little lower than normal. The winter balance for the glacier was measured to be 78% of the average for the last 19 years.

At meteorological stations around Engabreen winter temperature was slightly lower than normal, while winter precipitation was about 90%. The winter balance at the glacier was 86% of the average for the last 11 years.

The summer temperature around both Nigardsbreen and Engabreen was more than 1°C above normal. Summer precipitation was slightly lower than normal in the south and only 35-40% of the normal in the north. Summer balance in 1980 was 150% of the average of the last 19 years at Nigardsbreen and 133% of the last 11 years at Engabreen.

The discharge from the two glaciers during the summer season May through October was higher than the average for the last 17, respectively 11 years of observation, compare Fig. 4 and Fig. 9.

Nigardsbreen

This outlet glacier covers 48 km^2 , the melt water drains in one single stream into the Lake Nigardsvatn. 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.

A delta is now being formed at the inlet of the lake. This lake was completely uncovered by retreat of the glacier in 1967. 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 negative in 1980 (Haakensen 1982) while the average mass balance since 1962 is still positive. The ice front advanced 1 m in 1980 and this is the second year with a slight advance at Nigardsbreen. This indicates that the general retreat which has taken place for several decades seems to have ceased.

The results from the field season 1980 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 particular floods in the beginning of the summer. At the end of July, there was some warm days and great melting on the glacier. This resulted in an increasing discharge, which reached $40 \text{ m}^3/\text{s}$ on July 29. This was the highest discharge recorded in 1980. A flood of this size is not unusual (Fig. 4). The discharge was more variable later in the summer. High precipitation rose the discharge to $39 \text{ m}^3/\text{s}$ at the end of the observation season. Later in September the discharge dropped slowly. The total summer discharge (May through October) 1980 was $239 \cdot 10^6 \text{ m}^3$. The average for the last 17 years is $185.9 \cdot 10^6 \text{ m}^3$ (Fig. 4).

The transport of suspended material in the observation season amounted to 10 480 tons, whereas 2 270 tons were transported out from the lake. This means that 78% of the fine material sedimented on the lake bottom, the average for the last 12 years is 79%. For the periods before and after the observation season the transport of suspended material is estimated to be about 1 400 tons. The total transport of suspended material from Nigardsbreen in 1980 is then about 11 900 tons. This is close to the average figure for the suspended sediment transport during the last 12 years.

Measurements of the delta have been performed along the same profiles as in previous years. The increment from the fall 1979 to the fall 1980 is found to be about $2\,600 \text{ m}^3$ or 5 200 tons. Three selected profiles are shown on Fig. 5. The greatest deposition takes place where the river branches run into the lake (Fig. 6). Here the maximum deposition is 2.5 m in one year. The material deposited on the delta consists mainly of particles larger than those kept in suspension and thus the conclusion can be drawn that about 17 100 tons of solid matter have been transported by the glacier river during the summer of 1980. This corresponds to an average erosion of 0.13 mm evenly distributed under the entire 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 have 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 in the lake (Fig. 7).

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 February 1981 from the ice which allowed a fairly accurate determination in the sounding points. These are distributed at 5 m intervals along 11 profiles across the delta. This year two new profiles were added to the system to increase the density of measuring points in areas of large deposition, compare Fig. 11.

The observation station at the Lake Engabrevatnet was in 1980 manned from the beginning of June to the middle of September. Five daily water samples were taken regularly at the inlet and three daily samples at the outlet of the lake. Some of these samples were duplicated to check the reproducibility of the samples. During periods of rapidly increasing water stage the sampling program was increased, up to 24 samples per day at the inlet.

The winter balance of the glacier was 14% lower and the summer balance was almost 33% higher than for the period 1970-1980 (Haakensen 1982) and the total discharge from May through October amounted to $210 \cdot 10^6 \text{ m}^3$ which is 18% more than the average for the last 11 years, compare Fig. 9.

Glacier front observations at 11 points near the ice terminus indicate that the glacier has retreated 5 m from 1979 to 1980. The advance of the last 4 years seems to have come to an end, at least temporarily.

The results from 1980 are shown in the diagram, Fig. 8. The correlation between meteorological parameters and discharge is fairly good.

The first increase in discharge occurred the day before the observation period started, see Fig. 9. The discharge was low until the middle of June. The first flood this year culminated on June 25 with $29.8 \text{ m}^3/\text{s}$, a rather usual flood level this time of the year (Fig. 10). The maximum flood this summer occurred after some warm days in the middle of August. The flood culminated on August 17 with $43 \text{ m}^3/\text{s}$.

The total transport of suspended material into the lake during the observation season was 14 100 tons whereas only 3 100 tons left the lake. This indicates that 78% of the suspended sediment were left on the lake bottom, somewhat less than the average for the last 11 years which is 84%.

During the time periods before and after the field season no observations of the concentration of suspended sediment were made, but, based upon knowledge of the

water discharge, the transport has been estimated. The total transport for the entire summer 1980 is thus increased to be approximately 15 500 tons.

Due to the water depth near the delta it is obvious 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 so that 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 are normally deposited so far away from the delta. As usual the greatest accumulation is found close to the delta front (Fig.12.)

In total a volume of $3\,610\text{ m}^3$ has been deposited at various places whereas $1\,230\text{ m}^3$ has been eroded. By taking such processes into consideration it has been estimated that the total accumulation of coarse material amounted to approximately $4\,300\text{ m}^3$ or about 8 600 tons in 1980. This is about 36% of the total transport of solid matter carried by the glacier stream. This is close to the average for the last 6 years which is 37%.

The total transport of debris with the river from Engabreen in 1980 is then estimated to be about 24 100 tons. This corresponds to an erosion of 0.23 mm evenly distributed under the entire glacier.

For the last 11 years the average total material transport is 23 170 tons. As an average 83.7% of suspended material brought into the lake has been deposited on the lake bottom. This corresponds to a 5.1 mm thick layer. Deposition of coarse material on and close to the delta adds to this figure.

Bondhusbreen

This outlet glacier drains approximately 11 km^2 of the ice cap Folgefonna. In connection with a hydro-electric power station a water collecting tunnel runs in a south-easterly direction terminating under the ice fall of Bondhusbreen at an altitude of about 900 m a.s.l. 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 1980. The meteorological data are collected by an automatic station. Registrations are made 24 hours a day. The instruments are situated at Holmavatn 1 130 m a.s.l., about 100 meters from the glacier.

The discharge in 1980 was generally higher than in 1979 (Fig.14), though the maximum

flood was a little higher in 1979. In 1980 a discharge of 10.5 to 10.8 m³/s was recorded 4 to 5 times. The maximum flood on August 20-22 was a result of high precipitation, 114.6 mm were recorded on August 20 and 21 at Holmavatn. Other floods, as that at the end of July, was a result of high temperature and increased melting.

It must be emphasized that the discharge mentioned here is the discharge from the subglacial intake. It can not be said with certainty how efficient the subglacial tunnel captures water from precipitation in the area. Discharge records from a station 1.5 km north of Bondhusbreen, however, show about the same relations from one flood to another either caused by melting or precipitation as the records from the subglacial tunnel system. This indicates that the subglacial intake efficiently also captures water from precipitation in the area above the intake level.

The first flood of the year strongly dominates with regard to the transport of suspended material. During the 5 days from June 15 to June 19, no less than 26% of the total suspended transport during the 74 days long observation period took place. The floods of equal size later in the summer only contributed with 8 and 10%, respectively.

A transportation of 2 600 tons of suspended material is estimated for the entire observation season. An essential part however of the season for sediment transportation was not covered by observations. The transport of suspended material in this periods is estimated by comparison with the transportation in the beginning and the end of the observation period, respectively. This gives a total transportation of suspended material of about 4 300 tons in 1980. This figure is, of course, more uncertain than corresponding figures from the other two glaciers, due to a shorter observation season and to a simplified sampling program.

Measurements made in the sedimentation chamber after the drainage season 1980 reveal that 1 530 m³ or about 3 060 tons were deposited. Samples of the material in the chamber indicate that it is mostly coarser than fine sand, see Table on p. 26. This means that the total transport of solid matters from the glacier (at the intake) was in the order of 7 400 tons, of which the bottom load accounted for 42% against 56% in 1979. The 1980 result is close to the average figures found for Nigardsbreen and Engabreen during recent years, i.e. 45 and 36%, respectively.

Conclusions

3 various glacierized areas were investigated during the summer of 1980. The two largest, Nigardsbreen and Engabreen drain 65 and 50 km², respectively, whereas Bondhusbreen receives water from only 12.6 km². The percentages of the drainage basins covered by glaciers are 72%, 76%, and 87%, respectively, 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 1980 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 effect 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 glacier 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 parts 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. It is supposed that the longer series of observations are, the better figure is obtained for the erosional effect of a glacier.

The reliability of the figures in the table is i.a. dependent on the length of the observation season. It is important to cover the greatest flood periods with frequent sampling. The first flood of the summer often will carry relatively great amounts of material as the river washes areas under the glacier for the first time after a long winter. This situation is repeated for each flood during the summer which is greater than floods earlier that summer. Experience has shown that 20-50% of the annual sediment transport may occur during the greatest flash flood during the summer.

It happens that another flash flood may occur during the fall, often due to heavy rain, but experience has shown that such floods carry less amounts of sediment than 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" is so short that they may pass without being sampled.

The total transport of solid matters from Nigardsbreen in 1980 was 77% of the average for the last 12 years, compare Fig.15. The discharge in May-October, however, was higher than the average for the same period, viz. 124%.

For Engabreen the total transport of solid matters in 1980 was about the average figure for the last 11 years. Discharge in May-October was 118% of the average for the same 11 years.

This indicates a lower silt concentration in 1980 than the average figures. For June-August it was at a whole 54 mg/l at Nigardsbreen (inlet), which is 82% of the average. At Engabreen the June-August concentration was 78 mg/l, 87% of the average.

The transportation of coarse material is calculated by levelling the deltas built by the glacier rivers from Nigardsbreen and Engabreen. In 1980 the following results were achieved: For Nigardsbreen about 5 200 tons and Engabreen about 8 600 tons. This is 49% and 94%, respectively, of the mean figure for the last 12 and 6 years.

The relation of the transportation of coarse material versus the total material transport constituted in 1980 30% and 36% respectively on Nigardsbreen and Engabreen.

LITTERATUR

Andersson, J.L. & Lundén, B.

- 1972: En metodundersökning vid Nigardsbreen, p.9-20, in: Ziegler, T. (ed.): Slamtransportundersøkelser i norske breelver 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 breelver 1969. Rapport nr 6/70, Norges vassdrags- og elektrisitetsvesen, Hydrologisk avdeling, 68 p. (English summary).
- 1978: Elektronisk apparatur för mätning och kontinuerlig registrering av slamkoncentrationen, p.19-26, in: Kjeldsen, O.: Materialtransportundersøkelser i norske breelver 1977. Rapport nr 4/78, Norges vassdrags- og elektrisitetsvesen, Hydrologisk avdeling, 71 p. (English summary).

Haakensen, N.

- 1975: Materialtransportundersøkelser i norske breelver 1973. Rapport nr 4/75, Norges vassdrags- og elektrisitetsvesen, Hydrologisk avdeling, 92 p. (English summary).
- 1982: Glasiologiske undersøkelser i Norge 1980. Rapport nr /82, Norges vassdrags- og elektrisitetsvesen, Hydrologisk avdeling, (English summary). In prep.

Kjeldsen, O.

- 1975: Materialtransportundersøkelser i norske breelver 1974. Rapport nr 3/75, Norges vassdrags- og elektrisitetsvesen, Hydrologisk avdeling, 92 p. (English summary).
- 1977a: Materialtransportundersøkelser i norske breelver 1975. Rapport nr 3/77, Norges vassdrags- og elektrisitetsvesen, Hydrologisk avdeling, 47 p. (English summary).
- 1977b: Materialtransportundersøkelser i norske breelver 1976. Rapport nr 8/77, Norges vassdrags- og elektrisitetsvesen, Hydrologisk avdeling, 34 p. (English summary).
- 1978: Materialtransportundersøkelser i norske breelver 1977. Rapport nr 4/78, Norges vassdrags- og elektrisitetsvesen, Hydrologisk avdeling, 71 p. (English summary).
- 1979: Materialtransportundersøkelser i norske breelver 1978. Rapport nr 3/79, Norges vassdrags- og elektrisitetsvesen, Hydrologisk avdeling, 39 p. (English summary).
- 1980: Materialtransportundersøkelser i norske breelver 1979. Rapport nr 1/80, Norges vassdrags- og elektrisitetsvesen, Hydrologisk avdeling, 43 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 breelver, 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).

Ziegler, T.

- 1972: Slamtransportundersøkelser i norske breelver 1970. Rapport nr 1/72, Norges vassdrags- og elektrisitetsvesen, Hydrologisk avdeling, 133 p. (English summary).
- 1973: Materialtransportundersøkelser i norske breelver 1971. Rapport nr 4/73, Norges vassdrags- og elektrisitetsvesen, Hydrologisk avdeling, 91 p. (English summary).
- 1974: Materialtransportundersøkelser i norske breelver 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 breelver 1969. Rapport nr 6/70, Norges vassdrags- og elektrisitetsvesen, Hydrologisk avdeling, 68 p. (English summary).

**NORGES VASSDRAGS-
OG ENERGIDIREKTORAT**



72032906