

NORGES VASSDRAGS-OG ELEKTRISITETSVESEN



MATERIALTRANSPORTUNDERSÖKELSER

i

NORSKE BRE-ELVER

1976

RAPPORT NR. 8-77

VASSDRAGSDIREKTORATET

HYDROLOGISK AVDELING

OSLO JULI 1977

NORGES VASSDRAGS-
OG ENERGIDIREKTORAT
BIBLIOTEKET

NORGES VASSDRAGS-OG ELEKTRISITETSVESEN



MATERIALTRANSPORTUNDERSÖKELSER
i
NORSKE BRE-ELVER
1976

Redigert av O. Kjeldsen

Bidragstere: S.R. Ekman, O. Kjeldsen og G. Östrem

RAPPORT NR. 8-77

VASSDRAGSDIREKTORATET
HYDROLOGISK AVDELING

OSLO JULI 1977

NORGES VASSDRAGS-
OG ENERGIDIREKTORAT
BIBLIOTEKET

FORORD

Foreliggende rapport er den åttende i en rekke av årlige redegjørelser om Vassdragsvesenets undersøkelser av slamtransport i bre-elver. Slike undersøkelser ble satt igang i 1967 da materialtransporten i noen utvalgte bre-elver ved Jostedalsbreen og i Jotunheimen ble studert i detalj. Resultatene fra de to første årenes undersøkelser ble publisert sammen med data fra bremålingene, men fra 1969 er det utgitt egne årlige "slamrapporter" fra Vassdragsvesenets Brekontor.

Undersøkelsene omfatter både elvevannets innhold av finmateriale (suspendert "svevestoff", oftest kalt slam) og elvens transport av grovere partikler, sand, grus og stein, som skylles fram av smeltevannet fra breen. Grunnen til Vassdragsvesenets interesse for slike undersøkelser er at både små og store partikler i vannet kan skape tekniske problemer hvis vannet skal brukes til kraftproduksjon. Derfor har undersøkelser vært foretatt i elver som har vært berørt av utbyggingsplaner. Noen elver har vært studert bare noen få år og måleseriene avbrutt fordi elvene ikke lengre var aktuelle i utbyggingsplanene, andre steder har undersøkelsene strukket seg over opptil 9 år, slik som ved Nigardsbreen.

De tekniske aspektene har selvsagt vært utslagsgivende ved valg av undersøkelsesobjekt, men det knytter seg også en viss vitenskapelig interesse til undersøkelser av dette slag, for måleresultatene vil gi reelle muligheter til å føre nye momenter inn i diskusjonen om breenes erosjonsevne og landskapsformende effekt. Denne vitenskapelige interesse for våre slamundersøkelser forklarer hvorfor Naturgeografiska Institutionen ved Stockholms Universitet er involvert i deler av feltarbeidet og bearbeidelsen av innsamlede data. Vi har i en årrekke hatt et samarbeid med Naturgeografiska Institutionen, som bl.a. driver forsøk med et automatisk slamregistreringsinstrument ved Nigardsbreen. Hvis dette kan utvikles til å bli et tilstrekkelig robust instrument, vil vi i framtiden kunne bruke det operativt ved våre daglige målinger.

Denne rapport er blitt til ved et team-work av en rekke medarbeidere, forfatterne til de forskjellige kapitlene framgår av innholdsfortegnelsen. Ellers bør nevnes at cand.real. Ola Kjeldsen har hatt hovedansvaret for koordinering av arbeidet og for etterbehandlingen av det primærmaterialet som en rekke pliktoppfyllende sommerassistenter samlet inn. Han har også redigert rapporten og tilrettelagt materialet for offset reproduksjon. Bård Braskerud har rentegnet illustrasjonene, og fru A.Hertzberg har renskrevet manuskriptene.

Til alle som på den ene eller den andre måten har bidratt til å presentere resultatene fra våre slamundersøkelser i 1976 vil jeg hermed rette min beste takk.

Oslo i august 1977

Gunnar Østrem

INNHold

	Side
Innledning	3
Materialtransportundersøkelser ved breer i Norge, 1976 (O.Kjeldsen)	6
Sammenfattende beskrivelse	6
Vær- og vannføringsforholdene	6
Generell kommentar til årets observasjoner	8
Nigardsbreen	8
Innledning	8
Resultat	10
Sammanställning av lodningar i Nigardsvatnets inre bassäng, 1968-1976 (S.R.Ekman)	12
Engabreen	18
Innledning	18
Resultat	20
Sluttord (O.Kjeldsen)	24
Summary (G.Østrem)	27
Introduction	27
Sediment transport at selected glaciers in Norway, 1976	29
General	29
Nigardsbreen	29
Delta surveys in the inner part of Lake Nigardsvatn	30
Engabreen	30
Conclusions	31
Litteratur	32

INNLEDNING

De materialtransportundersøkelsene i norske brevassdrag som er omtalt i denne rapporten utføres av Brekontoret ved Norges vassdrags- og elektrisitetsvesen. Målingene ved Nigardsbreen skjer i samarbeid med Naturgeografiska Institutionen ved Stockholms Universitet idet personell derfra forestår bearbeidelse av data fra målingene av deltatilveksten ved innløpet i Nigardsvatnet. Den vesentligste delen av datainnsamlingen bekostes imidlertid av NVE.

Bre-elvene har som regel en vesentlig større materialtransport enn elver fra brefrie nedslagsfelt. Denne materialtransporten forårsaker forskjellige problemer i forbindelse med utbygging av brevassdrag, og undersøkelsene har derfor først og fremst et praktisk siktemål. Men data om breenes erosjon og transport samt elvenes videre transport og avsetning av materiale har også vitenskapelig interesse. I den utstrekning det er mulig brukes derfor våre data også for å tilfredsstille dette vitenskapelige siktemål. De mer vitenskapelige delene av undersøkelsene har direkte eller indirekte betydning for de praktiske delene av undersøkelsene. 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.

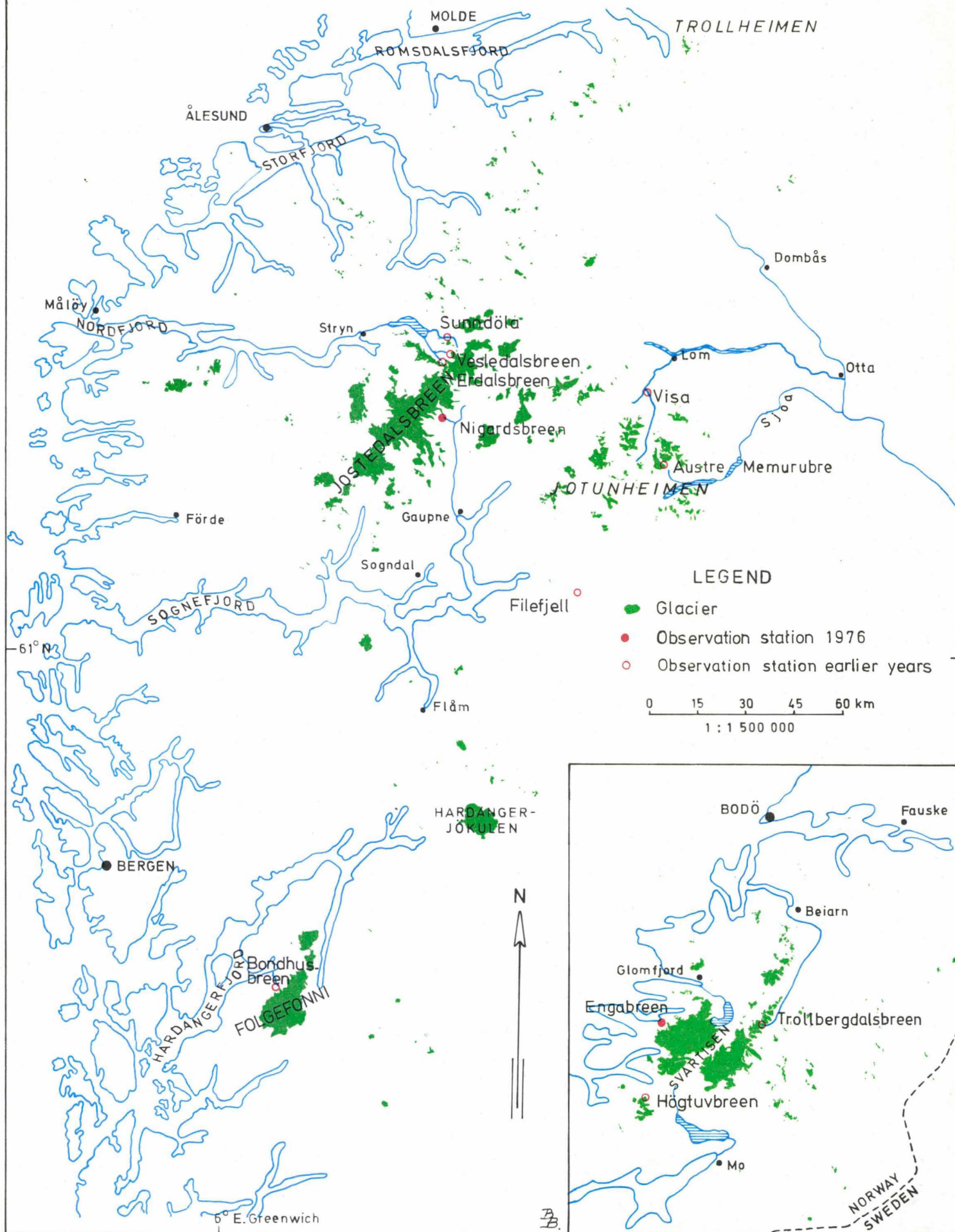
Hensikten med denne rapporten er å referere resultater fra de pågående materialtransportundersøkelser. Beretningene presenteres derfor stort sett på samme måte som tidligere. Fyldigere beskrivelser av målestedene der det tidligere er utført målinger, omtale av metodikken etc., er gitt i rapporten for det året da målingene startet opp. Men for at foreliggende rapport skal kunne leses uavhengig av tidligere års rapporter, er det tatt med en del utfyllende beskrivelser, som nødvendigvis må bli en repetisjon fra år til år.

Brekontoret ved Hydrologisk avdeling har vært engasjert med materialtransportundersøkelser siden 1967 da målinger ble igangsatt ved 3 breer i Sør-Norge. Fram til 1972 ble undersøkelsene utvidet, og omfattet da 8 breer, derav 3 i Svartisområdet. I tillegg ble det i 1971 og 1972 foretatt en undersøkelse ved Filefjell representative IHD-område for å kunne gjøre en sammenlikning med et brefritt høyfjellsnedbørsfelt. Senere har antall steder der det foretas undersøkelser blitt redusert, mens enkelte nye steder er kommet i tillegg. I 1976 ble det foretatt undersøkelser 2 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 finkorning materiale og av grøvere bunntransportert materiale.

Den store materialtransporten i brevassdragene kan også skape problemer for be-

FIG. 1.

STUDIES OF SEDIMENT TRANSPORT AT NORWEGIAN GLACIER STREAMS



regning av vannføringen. Mange steder er det vanskelig å finne målesteder der det bestemmende profilet ikke er utsatt for endringer. Profilendringer kan medføre at en over visse perioder får uensartede målinger. Ved begge målestedene i 1976 blir vannføringen målt ved utløpet av et vatn der en er forskånet for slike problemer.

Kartet på fig. 1 viser beliggenheten av observasjonsstasjonene, både de som har vært bemannet i 1976 og de der undersøkelsene er avsluttet. Hver observasjonsstasjon har vært bemannet med to personer i den vesentligste delen av avrennings-sesongen, fra begynnelsen av juni til midten av september. Ved de fleste breene der det foregår materialtransportundersøkelser utføres det også massebalansestudier og meteorologiske observasjoner. Resultatene fra massebalanseundersøkelsene publiseres separat, i en egen rapportserie, se f.eks. Hagen 1977.

De fleste undersøkelsene har vært konsentrert om transporten av suspendert materiale i bre-elvene. I de senere år har det også ved flere av målestedene blitt foretatt målinger av grøvere bunntransportert materiale (se side 12). Grunnlaget for beregningene av suspendert materiale er innsamlede vannprøver og observasjoner av vannstanden i brevassdragene. Det er eller har vært montert limnigraf ved de fleste målestedene. Vannprøvene tas i 1-liters plastflasker i eller nedenfor en turbulent strekning i elva. Ved to av de undersøkte brevassdragene ligger et vatn umiddelbart nedenfor brefronten. Her tas det prøver både ved innløpet og utløpet av vatnet.

Under normale forhold tas det 5 prøver i døgnet med 4 timers mellomrom, vanligvis fra kl. 0700 til 2300. Ved utløpet av de nevnte vatn tas det 3 prøver i døgnet. Ved sterkt stigende vannføring eller ved flom tas prøvene oftere, opptil 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 for å undersøke enkeltprøvenes representativitet.

Prøvene tas ved at plastflaska settes i en beholder i enden av en lang stang. Denne holdes ut i elva i god avstand fra bredden med åpningen på skrå opp mot strømmen (Haakensen 1975, s. 7). Flaska har en vid åpning og fylles i løpet av få sekunder. Den tas øyeblikkelig opp når den er full. Den må ikke holdes under vann lenger enn det som er nødvendig for at den skal fylles, for da vil ytterligere vann sirkulere i flaska og mer suspendert materiale enn innholdet i en liter kan bli igjen i flaska. Volumet av vannet i flaska måles og prøven filtreres i en kolbe med overtrykk (Ekman 1970). Filteret sendes deretter til Oslo for laboratorieanalyse.

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.

Den største partikkelstørrelsen i det materiale som samles inn på denne måten varierer en del fra sted til sted med turbulensen på prøvetakningsstedet og vannføringen. Sandkorn som er grøvere enn 1,0 mm i diameter regnes ikke som representative for materialet i suspensjon og de plukkes vekk fra filteret og legges for seg 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.

Metodiske spørsmål ved materialtransportundersøkelser er blitt behandlet tidligere (Anderson og Lundén 1972) og en vurdering av feilkildene ved slamundersøkelsene er gjort av Ekman (1970). Disse emner behandles derfor ikke i denne rapport.

MATERIALTRANSPORTUNDERSØKELSER VED BREER I NORGE, 1976

Sammenfattende beskrivelse

I 1976 ble det foretatt undersøkelser av materialtransport i to bre-elver. Målingene fortsatte ved Nigardsbreen på østsida av Jostedalsbreen, der det nå er foretatt målinger hver sommer siden 1968. I Nord-Norge fortsatte målingene ved Engabreen, en vestlig utløper av Svartisen mot Holandsfjorden. Her har det pågått målinger hver sommer siden 1969. På begge stedene blir det foretatt målinger av bre-elvas transport av suspendert materiale, både ved innløp og utløp av et vatn. I tillegg blir transporten av grovere materiale beregnet ved at tilveksten på et delta ved innløpet til vatnet blir målt etter hver sommersesong.

Vær- og vannføringsforholdene

Vinteren 1975-76 var urolig med nedbør over det normale i både Vest-Norge og i Nordland. Desember var særlig stormfull med store nedbørmengder. Meteorologiske stasjoner nær de aktuelle breene fikk mellom 250 og 400% av normal nedbør i denne måneden. Ellers var første del av høsten og siste del av vinteren særlig nedbørrik i Vest-Norge, mens første del av høsten og første del av vinteren og en del av april var perioder med urolig vær og mye nedbør i Nordland.

Vinterakkumulasjonen på Nigardsbreen var ca. 125% av gjennomsnittet for de siste 14 årene, mens den på Engabreen var ca. 115% av gjennomsnittet for de siste 6 årene (Hagen 1977).

Sommeren i Vest-Norge begynte med noe skiftende og kjølig vær. Fra månedsskiftet juni-juli steg temperaturen (fig. 3) i forbindelse med et høytrykk. Høytrykk domi-

nerte store deler av sommeren, avbrutt av perioder med nordlig luftstrøm da høytrykket lå vest for landet. Dette medførte en kjøligere værtype. Det kom svært lite nedbør i sommermånedene, bare en gang i slutten av juli (fig. 3) kom det over 30 mm i løpet av et døgn. Fra månedskiftet august-september ble det betydelig kjøligere og noe mer nedbør, dog uten store nedbørmengder. Dette resulterte i en avrenning som var ca. 15% lavere enn gjennomsnittet for de siste 10 år (fig. 4).

Årets høyeste vannføring forekom 9.juli med $34,2 \text{ m}^3/\text{s}$ i utløpet. Dette er ikke

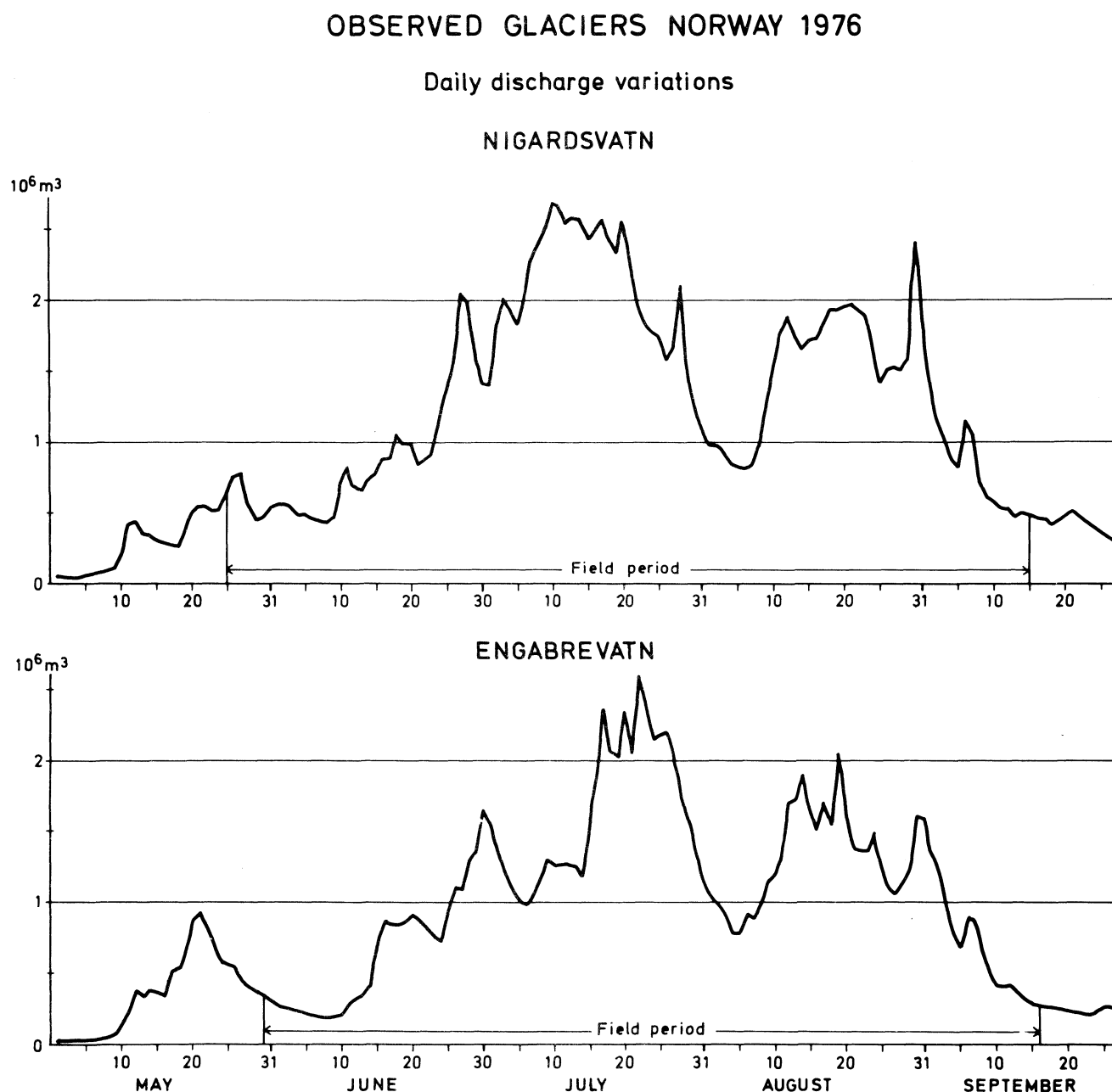


Fig. 2 En sammenstilling av observerte døgnvannføringer ved de undersøkte breene i 1976.

Daily discharge variations at observed glaciers in 1976.

noen stor flom. Ved flere tilfeller i tidligere år har det vært flomtopper med en vannføring på over $50 \text{ m}^3/\text{s}$ (Kjeldsen 1975, s. 17).

I Nord-Norge var sommeren mindre dominert av høytrykkene. Det var lengere perioder med kjølig og fuktig vær. Middelsestemperaturen for de tre sommermånedene for nærliggende meteorologiske stasjoner var fra $0-2^{\circ}$ lavere enn normalt (Klimatologisk Månedsoversikt fra Det Norske Meteorologiske institutt). Det kom forholdsvis lite nedbør i juni, endel mer i juli og august avbrutt av forholdsvis lange perioder med lite eller ingen nedbør. I overgangen august-september ble det kjøligere vær med til dels store nedbørmengder (fig. 9). Avrenningen sommeren 1976 var den laveste som er registrert siden målingene begynte i 1969 (fig.10).

Generell kommentar til årets observasjoner

Observasjonssesongen ved de to undersøkte bre-elvene startet i månedsskiftet mai-juni og ble avsluttet i midten av september. Den vesentligste delen av materialtransportsesongen skulle derved være dekket. Det forekom ikke vannføringer av særlig størrelse utenom observasjonssesongen (fig. 2), med unntak av en liten vannføringstopp omkring 20.mai ved Engabrevatnet.

Observasjonene fra undersøkelsesstedene er gjennomgående av god kvalitet med hyppige prøver under flomperioder og uten avbrudd. Grunnlaget for beregning av årets data skulle derfor være meget tilfredsstillende.

Nigardsbreen

Innledning

Undersøkelser i vassdraget fra den 47 km^2 store Nigardsbreen har pågått i NVE's regi siden 1968. Tidligere års resultater er fortløpende blitt referert i årlige rapporter fra Hydrologisk avdeling, NVE.

Observasjonsstasjonen var i 1976 bemannet fra 25.mai til 15.september, mens limnigrafen i Nigardsvatnet registrerte vannføringen hele året.

Gjennom hele observasjonsperioden ble det tatt flere daglige prøver for beregning av transport av suspendert materiale. Normalt ble det tatt 5 prøver daglig ved innløpet og 3 ved utløpet av det ca. $0,6 \text{ km}^2$ store Nigardsvatnet. Forskjellen mellom mengden suspendert materiale i prøvene tatt ved innløpet og utløpet gir informasjon om mengden av materiale som sedimenteres i vatnet.

Deltaet ved innløpet ble etter sesongens slutt nivellert og opploddet langs de samme profiler som i tidligere år. Disse målingene er blitt sammenliknet med tilsvarende målinger ved avslutningen av forrige sesong. Dette gir grunnlag for beregning av pålagringen på deltaet som vesentlig består av grovt materiale som bre-elva har ført med seg i bunntransport.

Vannstanden i vatnet ble observert flere ganger daglig. Disse dataene er komplett med data fra limnigrafen nær utløpet av vatnet.

NIGARDSVATN 1976

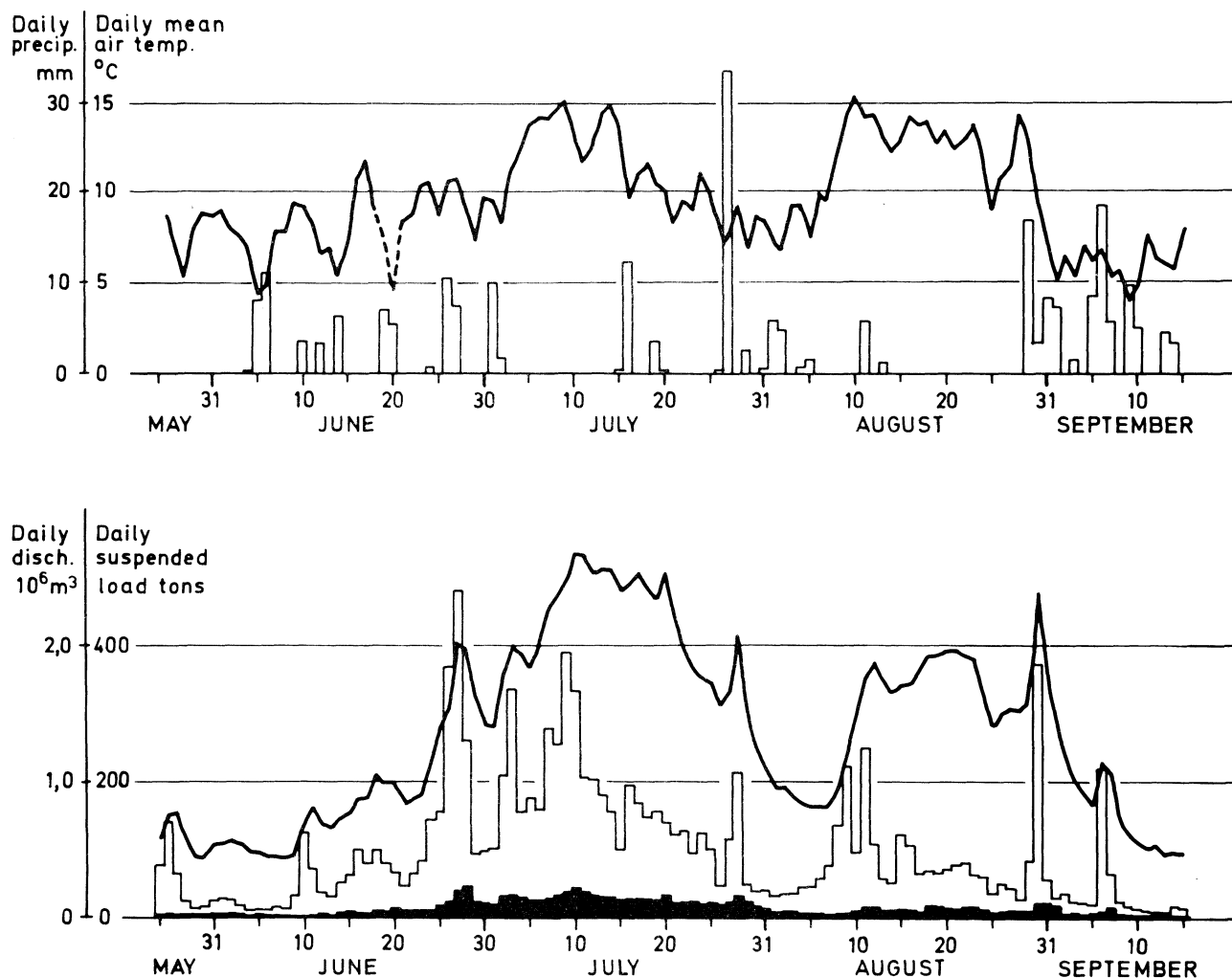


Fig. 3 Det øverste diagrammet viser døgnlig nedbør (søyler) og døgnmiddeltemperaturen (heltrukken strek) målt i løpet av observasjonssesongen ved Nigardsvatnet i 1976. Det nederste diagrammet viser den døgnlige vannføringen (heltrukken strek) målt ved utløpet av vatnet og den beregnede transporten av 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 1976 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.

Nettobalansen for Nigardsbreen var positiv også i 1976 (Hagen, 1977). Målingene for vinteren 1975-76 føyer seg vel inn i rekken av overveiende positive tall for massebalansen de senere år. Brefronten rykket i 1976 tilbake 1 m (O.Liestøl, pers. medd.). Det er vesentlig mindre enn i de siste årene. Det kan muligens tas som et tegn på at breens reaksjon på mange års overveiende positiv massebalanse nå nærmer seg bretunga.

Resultat

Diagrammene i fig. 3 viser resultater av observasjoner og beregninger fra Nigardsvatnet i 1976. 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" (Haaken- sen 1975, s. 8) som er avlest kl. 0700 og 1900. Som ett døgns nedbør regnes avlesinger kl. 1900 pluss avlesingen kl. 0700 den påfølgende dag. Dette avviker fra den rutinen som følges ved Meteorologisk Institutt's stasjoner, der måles nedbøren kl. 0700 og dette tallet blir ført på den dagen det er avlest. Det blir således ett døgns forskjell i framstillingen av døgnlig nedbør etter de to forskjellige rutiner.

I likhet med tidligere år er det en god overensstemmelse mellom de meteorologiske parametrene og avrenningen i observasjonssesongen. Som nevnt i innledningen var det ingen store flommer sommeren 1976. Den største døgnavannføringen ble registrert 10.juli med $2,69 \cdot 10^6 \text{ m}^3$. Bare en gang i løpet av de siste 10 årene har årets høyeste vannføring vært lavere, nemlig i 1971, da den høyeste registrerte vannføringen var $2,63 \cdot 10^6 \text{ m}^3$ (Ziegler 1973). Det totale avløpet i perioden fra mai til oktober var $174 \cdot 10^6 \text{ m}^3$ som er drøyt 5% lavere enn gjennomsnittlig avrenning for samme periode de siste 10 årene (fig. 4).

Transporten av suspendert materiale inn i vatnet i observasjonsperioden 25.mai til 15.september er beregnet til 11 750 tonn. Transporten ut av vatnet i samme periode var 1650 tonn. Det vil si at ca. 86% av det finmaterialet bre-elva førte med seg sedimenterte i Nigardsvatnet. Det er i overkant av det som tidligere er målt. Sedimentasjonsandelen har i de sommerene det hittil har vært foretatt målinger variert mellom 70 og 85%, med 77% som gjennomsnitt for 9 år.

Fig. 4 Døgnlig vannføring ved utløpet av Nigardsvatnet fra mai til oktober i ti-årsperioden 1967-1976. Tallet til høyre angir totalt avløp observert i løpet av disse månedene. Det gjennomsnittlige avløp for nevnte 6-månedersperiode i denne tiårsperioden er $186 \cdot 10^6 \text{ m}^3$.

Daily discharge at the outlet of Lake Nigardsvatn from May to October during the decade 1967-1976. The number on the right hand side gives the total summer discharge for each year. The mean discharge for this 6-month's period in this decade is $186 \cdot 10^6 \text{ m}^3$.

NIGARDSVATNET

WATER DISCHARGE

1967 - 1976

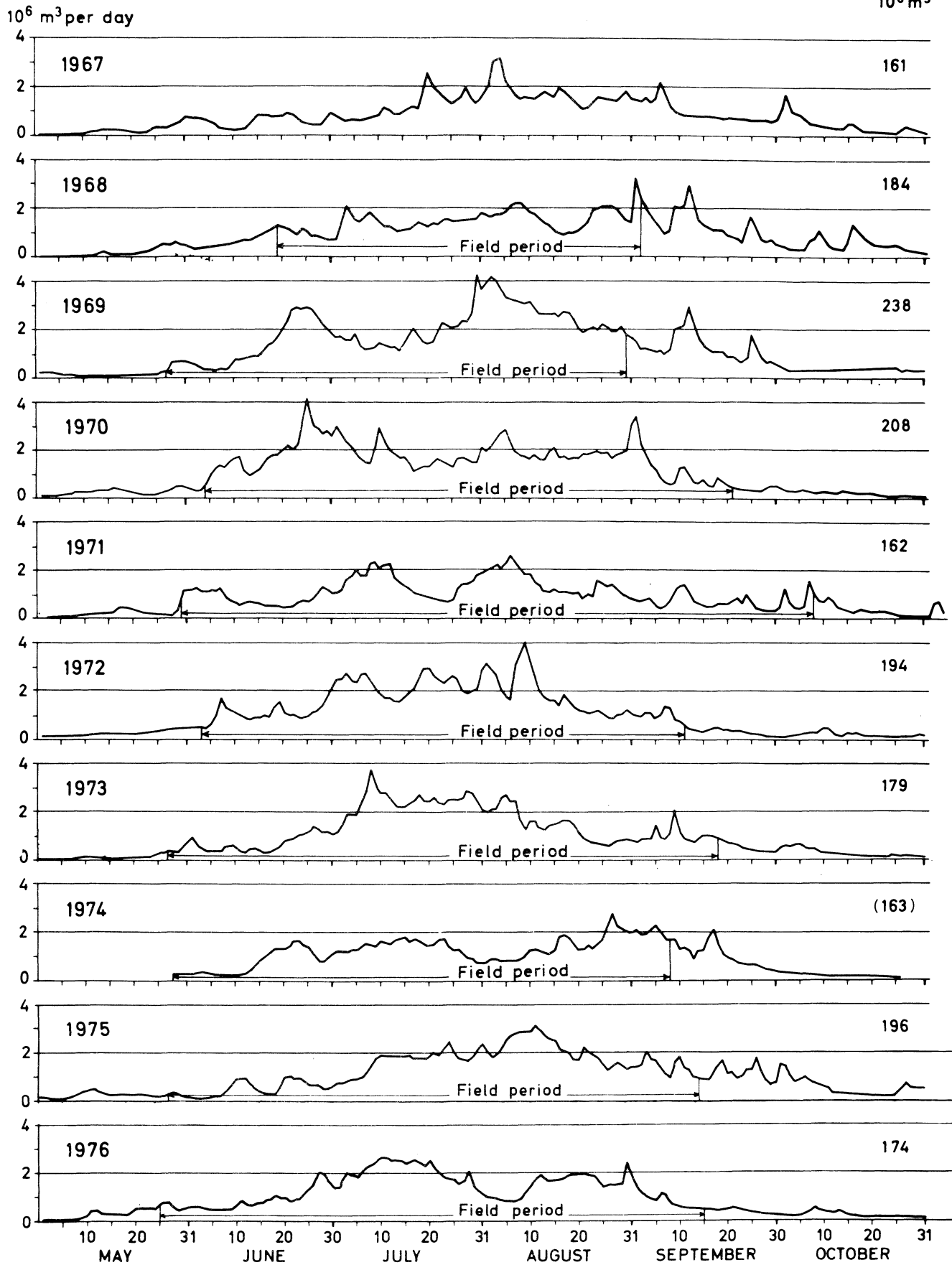
TOTAL
May-oct.
 10^6 m^3 

Fig. 4

Største målte døgntransport av suspendert materiale inn i vatnet ble målt 27.juni med 485 tonn. Den døgnlige vannføringen var da $2,05 \cdot 10^6 \text{ m}^3$. Den høyeste slamkonsentrasjonen i innløpet ble målt til 585 mg/l under en flom den 30.august.

Flommen var forårsaket av mildt vær og regn (fig. 3), men var relativt kortvarig. Den høye slamkonsentrasjonen ble målt kl. 0700, men allerede samme kveld var den nede i under 40 mg/l. Døgntransporten dette døgnet blir derfor ikke særlig høy. Den 26.juni ble det målt 560 mg/l. Både denne og neste dag holdt slamkonsentrasjonen seg jevnt høy slik at døgntransporten disse dagene var like stor og større enn den 30.august selv om døgnvannføringen var mindre. Tidligere år har den maksimale slamkonsentrasjonen variert mellom 255 og 2000 mg/l.

I tiden før observasjonssesongen tok til den 25.mai var vannføringen lav med bare en svak stigning de siste 14 dager (fig. 4). Noen materialtransport av betydning var det da ventelig heller ikke i bre-elva. Sammenliknet med slamføringen under liknende lavvannføringer i begynnelsen av observasjonssesongen kan den totale slamtransporten inn i vatnet før observasjonssesongen anslås til ca. 400 tonn. Etter observasjonssesongens slutt den 15.september forekom det heller ingen vannføringer av særlig betydning for slamtransporten. Vannføringen sank med et par uvesentlige opphold til utgangen av oktober da den nærmet seg normalt lav vinter-vannføring. Etter observasjonssesongens slutt har det neppe kommet mer enn ca. 300 tonn suspendert materiale inn i Nigardsvatnet. Den totale finmaterialtransporten fra Nigardsbreen i 1976 kan derfor anslås til ca. 12 450 tonn.

Pålagringen på deltaet i innløpet av Nigardsvatnet ble høsten 1976 målt ved opplodding og nivellering etter de samme profiler som tidligere år. Beregningene av denne pålagringen er utført av S.R.Ekman. Disse viser at det fra høsten 1975 til høsten 1976 har funnet sted en akkumulasjon av 4680 m^3 . Denne akkumulasjonen består vesentlig av grøvere materiale (partikler større enn 0,5 mm i diameter) som er transportert av bre-elva i bunntransport. Dette skulle tilsvare ca. 9360 tonn grovmateriale.

Den totale sedimenttransporten fra Nigardsbreen i 1976 var ut fra de foreliggende måleresultatene ca. 21 800 tonn. Det tilsvarer en fjerning av et 0,17 mm tykt lag av fjellet jevnt fordelt under hele breen om en regner fjellets egenvekt lik $2,7 \text{ g/cm}^3$.

Sammanställning av lodningar i Nigardsvatnets inre bassäng, 1968-1976.

1968 markerades ett antal fixpunkter runt Nigardsvatnet, och särskilt i den s.k. inre bassängen, ett område på ca. $28\,000 \text{ m}^2$ innanför linjen 14-15 (fig. 5). Med hjälp av mellan fixpunkterna uppspända mätlinor, med markeringar för var femte meter, har lodningar företagits varje år sedan 1968, vissa år två gånger, vår och

höst. Det lodningsschema som blivit standard innebär 8 profiler med 253 lodpunkter. Lodningarna har huvudsakligen utförts vid öppet vatten, vid ett par tillfällen från is. Vid vattendjup mindre än c:a en halv meter och över aktuell vattenyta har punkternas höjdläge bestämts genom nivellering med tub och latta. Vid vattendjup mellan en halv och fyra meter har lodning utförts från båt med latta, vid vattenstörre än fyra meter från båt med lodwire.

Nivellerade mätvärden har relaterats till en särskild fix nämligen 20, som är ett i berg nedborrat och fastgjutet rör. Lodningar i relation till aktuell vattenyta har relaterats till samma fix. Denna fix har getts ett värde som definierar sjöns medelvattenstånd till 150 cm på den nedre pegeln vid utloppet.

Alla mätvärden, korrigerade till att gälla nivån 150 cm på nedre pegeln, finns lagrade på magnetbånd och kan bearbetas automatiskt. Som komplement till magnetbandslagring stansas bandets innehåll varje år över till en standard 8 håls remsa i ASCII-kod, dock utan paritetsbit.

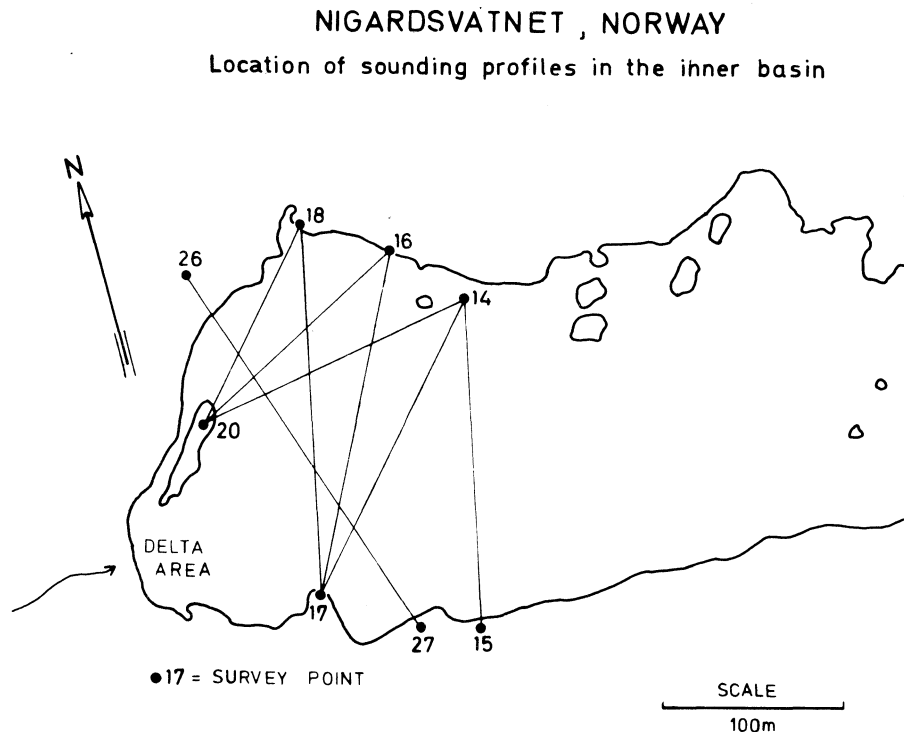


Fig. 5 Kart over den indre delen av Nigardsvatn, med fikspunkter og måleprofiler inntegnet. Målinger skjer alltid med 5 m innbyrdes avstand langs disse profiler.

Map of the inner basin of Lake Nigardsvatnet with survey points and measuring profiles. All point measurements are made, 5 metres apart, along these lines.

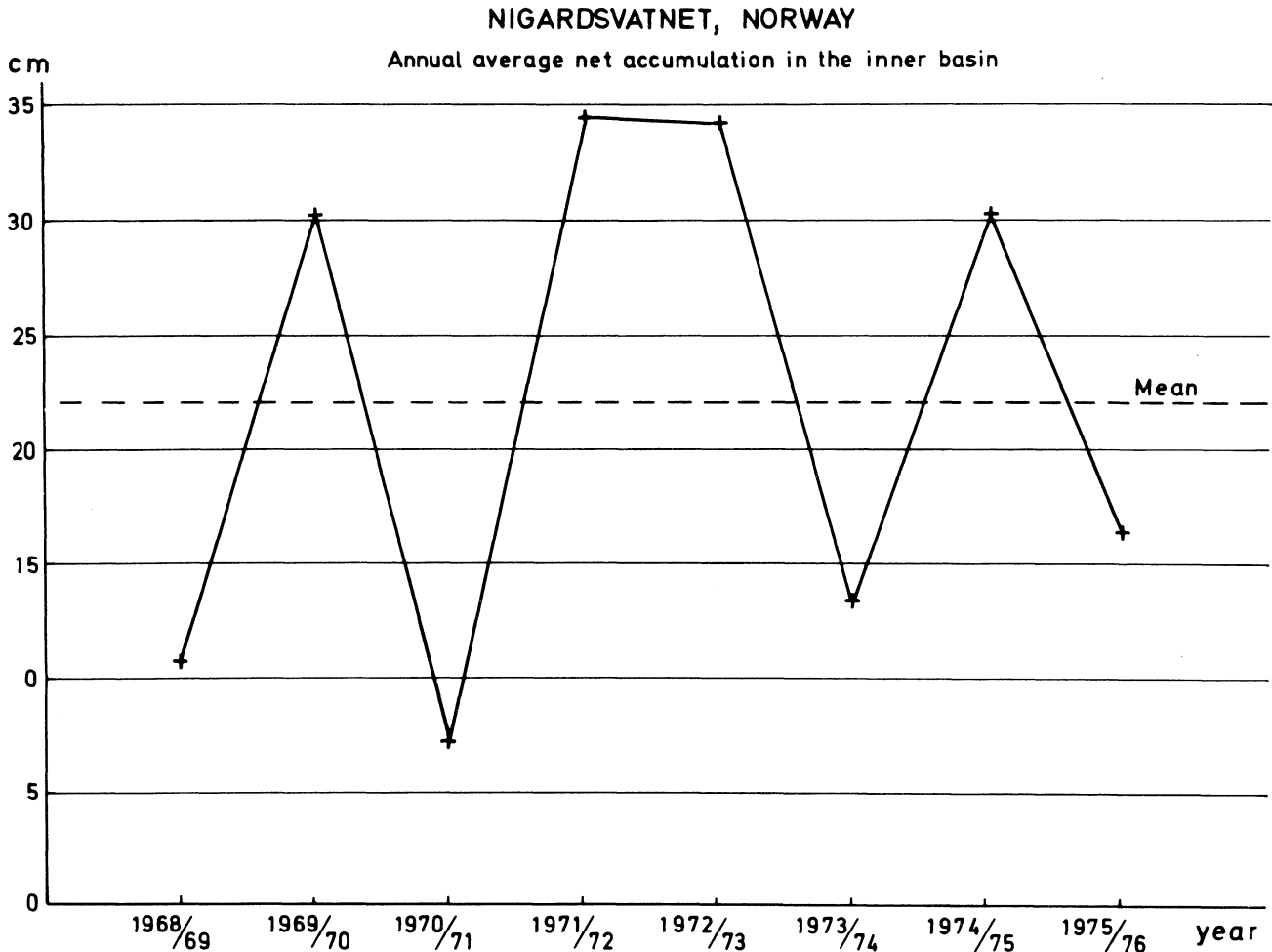


Fig. 6 Den årlige pålagringen er gjennomsnittlig ca. 22 cm i Nigardsvatnets indre del, der målingene foretas - jfr. Fig. 7. Her er middelpålagringen for hvert år tegnet som en funksjon av tiden. Man ser at årene 1971/72 og 1972/73 ga en rekordstor avsetning - ca. 35 cm.

The annual mean sedimentation in the inner basin of Lake Nigardsvatn is, on an average, about 22 cm. The annual variations are shown in this diagram, from which it can be seen that a maximum sedimentation took place in the years 1971/72 and 1972/73, when about 35 cm settled in the investigated area, compare Fig. 7.

Pålagringen är helt enkelt beräknad som summan av pålagringen i varje punkt dividerad med antalet punkter. Mera sofistikerade metoder har provats, men med hänsyn till den osäkerhet som vidlåter grundmaterialet, främst genom att stora ytor i bassängen med nödvändighet ej blir representerade; har den enkla metoden använts.

Fig. 7 I profilet 17-18 har det forekommet både pålagring og erosjon, men totalt sett har det selvsagt skjedd en utfylling. Spesielt var denne stor i perioden 1972/73, mens det i perioden 1970/71 forekom en kraftig erosjon fordi elven skiftet leie.

Both deposition and erosion have taken place in the profile 17-18 during the years 1968-1976. The erosion in 1970/71 was caused by a shift in the river. A maximum deposition took place in 1972/73.

NIGARDSVATNET, NORWAY

Annual variation Profile 17-18

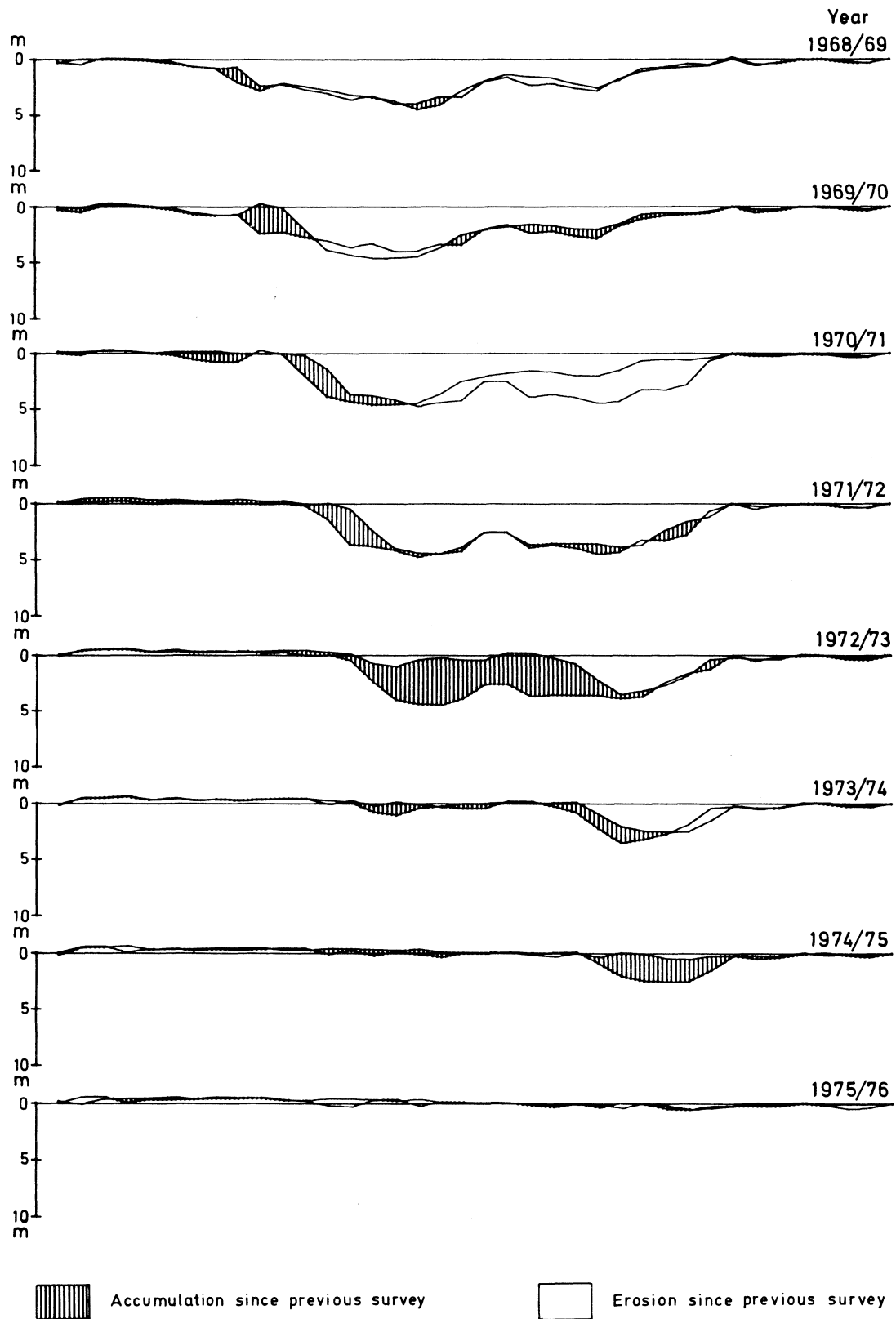


Fig. 7

Tabell 1

Den årliga pålagringen på deltaet i Nigardsvatnet

	Pålagring cm	Medelværdets standardavv.	Volym m ³	Massa ton	Standardavv./ pålagring %
1968 - 69	10,7	3,8	3040	6080	35
69 - 70	30,2	4,8	8560	17120	16
70 - 71	7,2	5,1	2050	4100	70
71 - 72	34,5	5,0	9760	19520	14
72 - 73	34,3	6,8	9710	19420	20
73 - 74	13,5	7,3	3810	7620	54
74 - 75	30,4	4,0	8600	17200	13
75 - 76	16,5	3,7	4680	9360	22

Medelværdet 22,2 cm

Anvænd yta 28 300 m²

En effekt av att berækningarna nu utføres genom den allra enklaste metoden blir vissa skillnader i tidligere presenterade delresultat med tabell 1.

En metode som anvænts tidligere, innebær en oppdelning av ytan i hexagoner og dærfetter summering. Den totale ytan i dette fall beræknades till 25 600 m² som skall jæmføres med nu anvænt værdet om 28 300 m². Det senere stæmmer bættre overens med verkligheten eftersom hexagonerna idealiserade kartbildene.

Vissa år har två lodninger företagits, en på våren og en på høsten. Tabell 1 är framræknad genom att anvænda høstværdet i alle fall utom 1969 dæ endast en mætning utføres, næmligen i juni. Medelpålagringen fôr 1968-69 og 1969-70 blir 20,5 cm om årene antas like.

Det är dessutom tveksamt om resultatet behøver presenteras med någon stôrre noggrannhet, en oppfattning av pålagringens størlek torde vara tillfyllest. Etersom varje punkts læge är fixerat år fræn år borde dock relative jæmførelser kunne gøres med rimlig noggrannhet. Sådane jæmførelser visar en medelpålagring per år av 22,2 cm. Minste værdet under perioden var 7,2 cm (1970-71) og stôrste 34,5 cm året

Fig. 8 Ulike profiler viser ulike mengder pålagret materiale. Her er vist samtlige profiler, tegnet i 1968 og i 1976. Profilenes beliggenhet er vist på Fig. 5.

Various profiles show a different amount of sedimentation during the period 1968-1976. For location, compare Fig. 5.

NIGARDSVATNET, NORWAY

Accumulation along given profiles in the period 1968-76

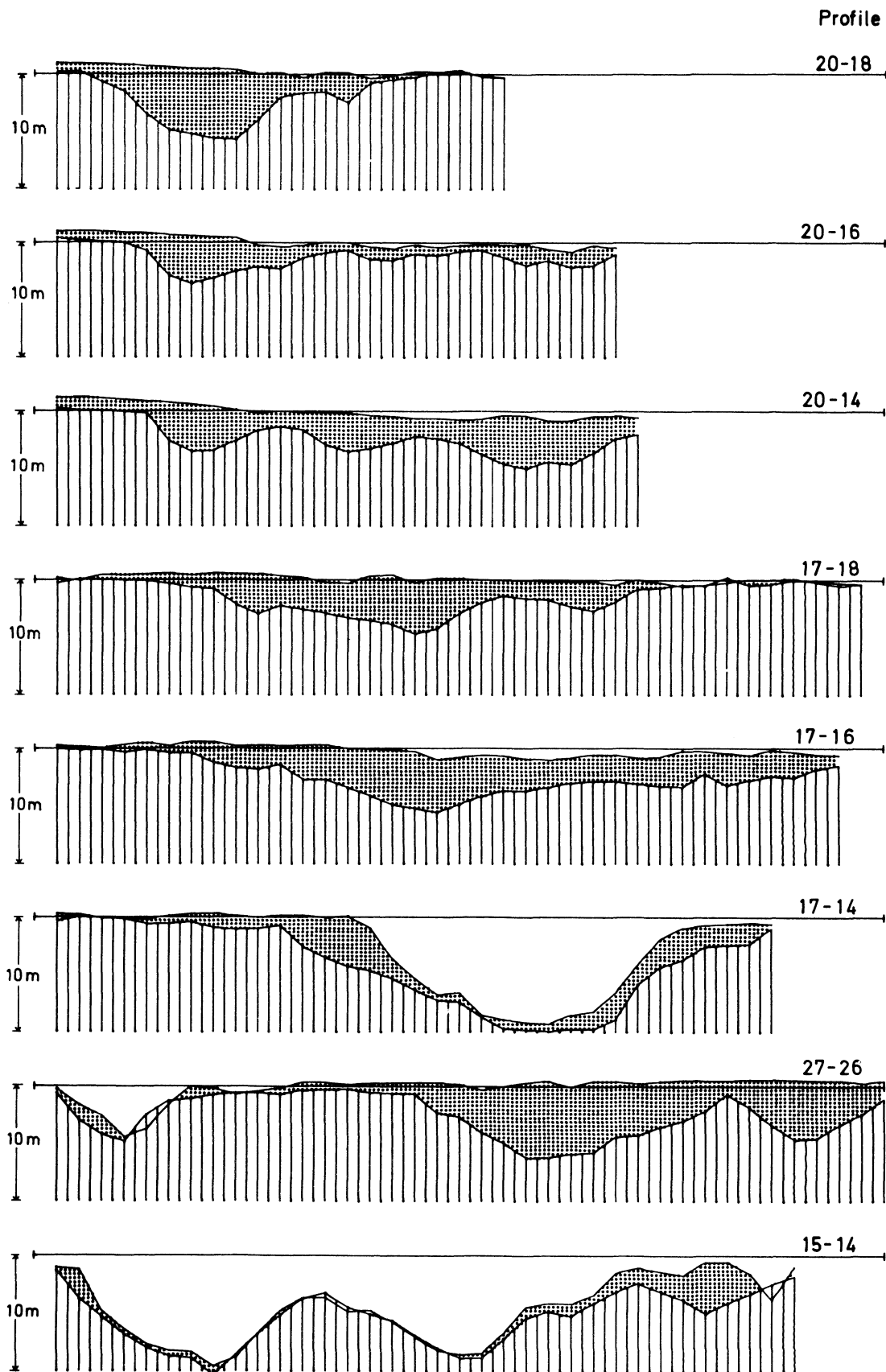


Fig. 8

därpå (1971-72). Detta motsvarar med en specifik vikt av 2000 kg/m^3 en medelpålagring i inre bassängen av 6300 m^3 eller 12 600 ton, minsta värde var 2050 m^3 eller 4100 ton och största 9760 m^3 eller 19 520 ton. Variationerna i pålagring i cm visas i fig. 6 och tabell 1. I fig. 7 visas hur pålagringen varierat från år till år i en av profilerna, nämligen 17-18. Denna profil ligger nästan vinkelrät mot den huvudsakliga strömriktningen och illustrerar väl hur våldsamma materialomflyttningar som förekommer på grund av att älvfårorna ändrar sitt lopp.

Det ur pålagrinssynpunkt dåliga året 1970-71 visar just på ett år med stora omflyttningar och liten pålagring. Den kraftigaste pålagringen i just denna profil inträffade inte året därpå utan 1972-73.

Den procentuella standardavvikelsen på medelvärdet ger ett mått på förändringen inom den inre bassängen. Just året 1970-71 visas den största procentuelle standardavvikelsen, men även värdet för 1973-74 är högt.

Utvecklingen av profilen visar också hur väl deltat bygger upp sig över hela profilen till en ungefär horisontell nivå, något över den antagna medelvattensnivån.

De olika profilernas utveckling från 1968 till 1976 visas i fig. 8. (För lokalisering hänvisas till fig. 5).

Profil 15-14 visar att bottentransporten når utanför denna profil, särskilt då i närheten av fix 14. Detta är förklarligt av det skälet att älvens huvudfåra några år och 1976 strömmar ut i närheten av fix 14. Flera profiler utanför 15-14 finns upplodade 1968 och avsikten är att 1978 (dvs. efter 10 år) återupprepa hela det lodprogram som gjordes 1968 dvs. hela sjön, med över 400 punkter.

Engabreen

Innledning

Engabreen utgjør en 38 km^2 stor del av den vestlige delen av Svartisen. Den har utløp mot Holandsfjorden. Undersøkelser av vannføring og transport av suspendert materiale har pågått i vassdraget fra Engabreen siden 1969, og resultatene er fortløpende blitt publisert i årlige rapporter fra Brekontoret ved Hydrologisk avdeling, NVE.

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

Deltaet ved innløpet ble oppmålt 17-20 februar 1977 mens vatnet var islagt. Målingene ble utført på samme måte som de to seneste vintrene med nivellering/opplodding for hver 5.meter langs 7 profiler over deltaet.

ENGABREVATN 1976

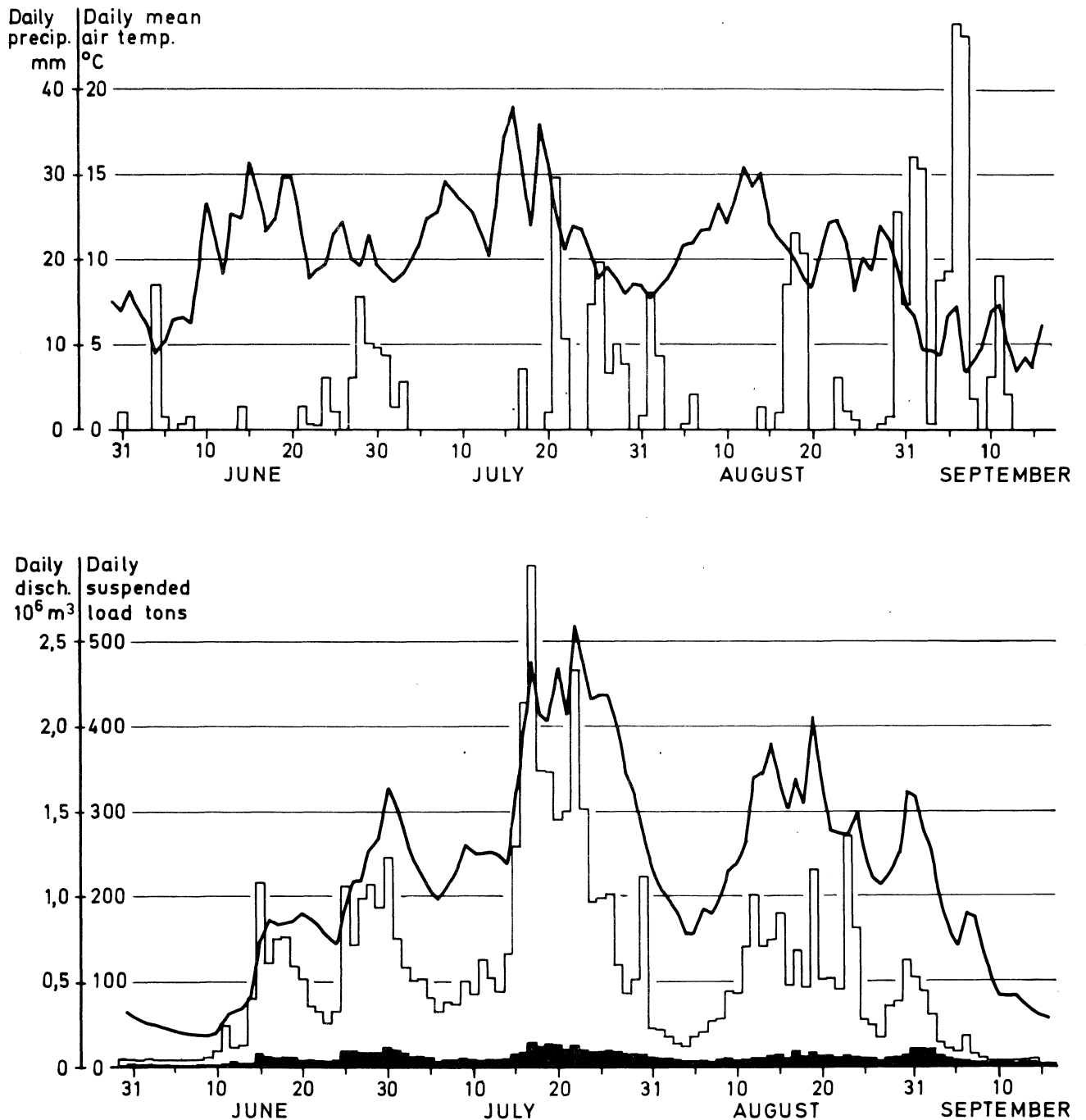


Fig. 9 Det øverste diagrammet viser meteorologiske parametre målt ved stasjonen ved Engabrevatn i observasjonssesongen 1976. Nedenfor vises døgnlige vannføring og den beregnede transporten av suspendert materiale inn i og ut av vatnet. Forskjellen mellom de to søylerekkene gir et inntrykk av vatnets effektivitet som sedimentasjonsbasseng.

The upper diagram shows meteorological parameters measured at the station at Lake Engabrevatn through the observation season 1976. 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.

Observasjonsstasjonen ved Engabrevatn var i 1976 bemannet fra 30.mai til 16.september. Observasjonsrutinen var den samme som ved Nigardsvatnet. Vannstanden i vatnet ble observert flere ganger daglig. Disse dataene er komplettert med data fra limnigrafen i den indre delen av vatnet.

Vinterbalansen for Engabreen i 1975-76 var ca. 15% høyere enn gjennomsnittet for perioden 1971-76 mens sommerbalansen var hele 35% lavere enn gjennomsnittet for perioden 1970-76. Den var den laveste som er målt i denne perioden (Hagen 1977). Avrenningen sommeren 1976 var også den minste som er registrert siden målingene tok til (fig.10).

Brefrontens posisjon er blitt målt fra de samme 11 punkter som i tidligere år. Gjennomsnittet for disse målingene viser at brefronten har rykket fram 7 meter fra 1975 til 1976. Brefronten har altså begynt å støte framover som et resultat av flere års positiv massebalanse.

Resultat

Diagrammet i fig. 9 viser resultater og beregninger fra Engabrevatnet i 1976. Måle metodene har vært de samme som i tidligere år, de er beskrevet under avsnittet som omhandler Nigardsvatnet (s. 8).

Overensstemmelser mellom de meteorologiske parametrene og avrenningen er god i det meste av sesongen. Den høyeste døgnnedbøren som ble målt kom i begynnelsen av september. Den ga bare en liten økning i vannføringen. Det skyldes at temperaturen var så lav at mye av denne nedbøren kom som snø på breen. Liknende forhold gjorde seg gjeldende for nedbør som kom ved lav temperatur den 4.juni.

Den første dagen med vannføring og slamtransport av noen betydning inntraff den 15.juni da døgnmiddeltemperaturen steg til over 15°C. Fem dager tidligere var dagtemperaturen like høy, men nattetemperaturen var da nede i ca. 5°C mot over 10°C omkring den 15.juni.

Den største døgnlige transport av finmateriale inn i vatnet, drøyt 600 tonn, fant sted den 17.juli. Tidligere år har denne verdien variert mellom 340 og 2180 tonn. Største døgnlige avløp var $2,6 \cdot 10^6 \text{ m}^3$ den 22.juli. Det største døgnlige avløp har

Fig. 10 Døgnlig vannføring ved utløpet av Engabrevatn fra mai til oktober i årene 1969-1976. Tallet til høyre angir totalt avløp observert i løpet av disse månedene. Målingene er mangelfulle for de tre årene fra 1971 til 1973. Det nederste diagrammet viser de største registrerte vannføringer angitt i m^3/s for samme periode.

Daily discharge at the outlet of Lake Engabrevatn from May to October during the years 1969-1976. Observations are unavailable for periods of the three years 1971-1973. The lower diagram shows flash floods in m^3/s for the same period.

ENGABREVATN WATER DISCHARGE

1969 - 1976

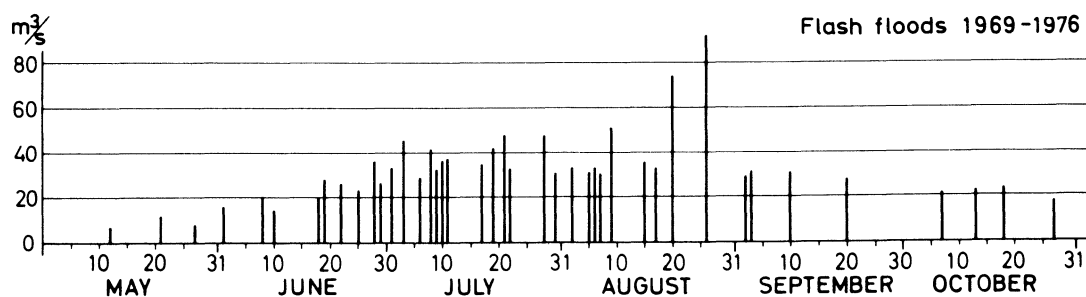
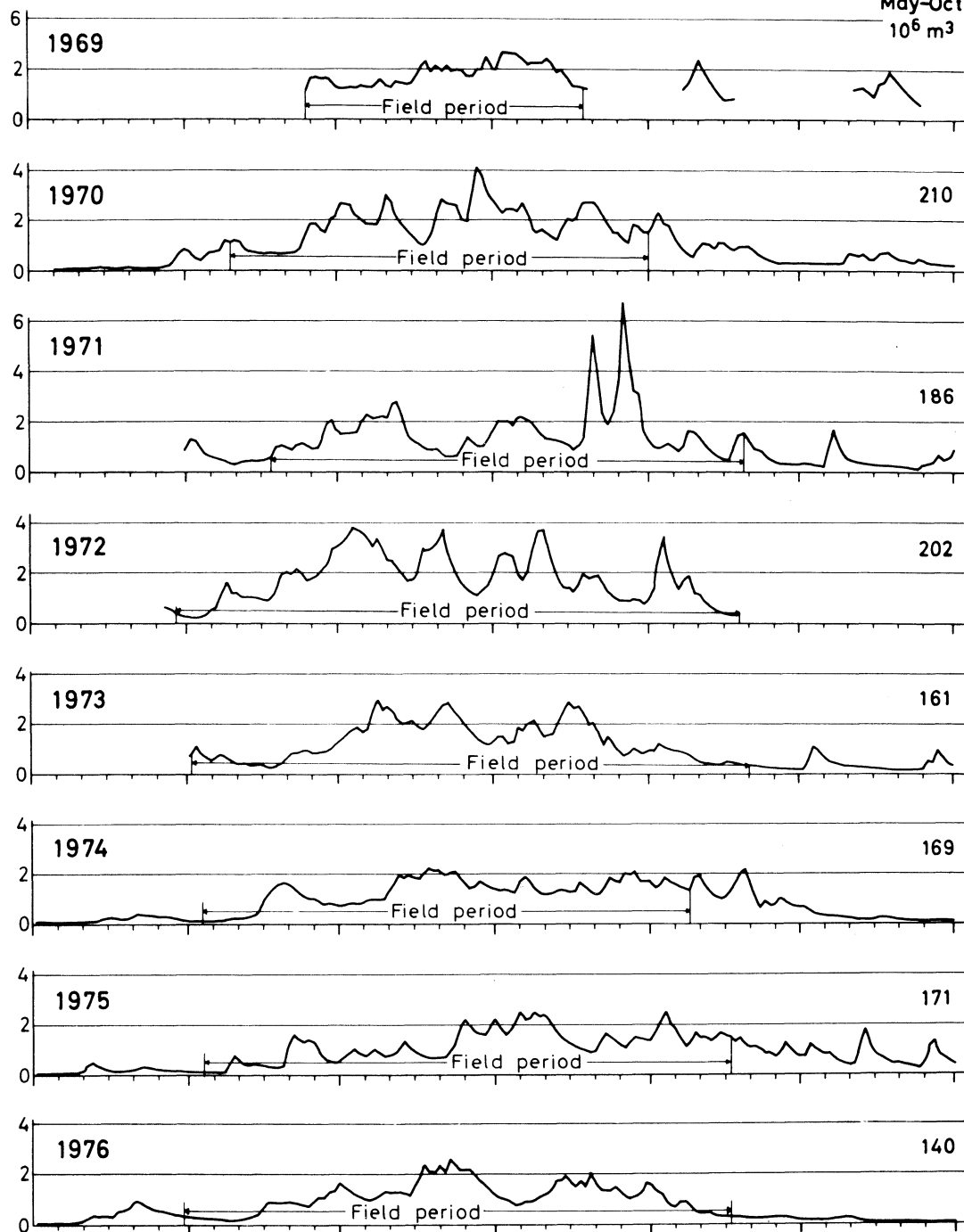
 $10^6 \text{ m}^3 \text{ per day}$ TOTAL
May-Oct.
 10^6 m^3 

Fig. 10



Fig. 11 Deltaet ved innløpet i Engabrevatn. Legg merke til det meget grove materiale rett ut for bre-elva til venstre på bildet. Målestokk: båten ved deltakanten til høyre.

The delta at the inlet of Lake Engabrevatn. Note the very coarse material in front of the glacial river to the left. For comparison: the boat at the delta front to the right.

tidligere år variert fra 2 til $6 \cdot 10^6 \text{ m}^3$ (fig.10). Det var således ingen betydelig flom i 1976, heller ikke noen relativt høy vannføring over lengere perioder, og avrenningen i sommerhalvåret var det laveste som er målt.

Den største konsentrasjonen av suspendert materiale i innløpet ble registrert den 16.juli med ca. 700 mg/l. Det ble ved denne anledning registrert noe is ved innløpet. Isen skyldes ras fra brefronten. Dette er ikke uvanlig da fronten av Engabreen er meget bratt over juvet der bre-elva munner ut. Tidligere år har den største konsentrasjonen av suspendert materiale variert mellom 185 og 1085 mg/l.

Beregningene for observasjonsperioden 30.mai til 16.september viser at ca. $122 \cdot 10^6 \text{ m}^3$ vann og ca. 11 900 tonn suspendert materiale ble transportert inn i vatnet og 1115 tonn ut av vatnet. Dvs. at mere enn 90% av det suspenderte materiale i bre-elva ble avsatt i vatnet. Tidligere år har denne andelen ligget mellom 75 og 89%, med 84% som et gjennomsnitt for 8 år. Dette er ca. 7% mer enn ved Nigardsvatnet, og dette er ikke urimelig da Engabrevatnet er omlag dobbelt så stort og vesentlig dypere, over 90 meter mot ca. 30 meter i Nigardsvatnet.

Avløpskurven (fig.10) viser en periode med relativt høy vannføring som kulminerte 21.mai. Det er tidligere ikke registrert så høy vannføring så tidlig i avsmeltings-sesongen, men det er riktignok bare registrert vannføringer i denne perioden i 3 år tidligere. Etter observasjonssesongens slutt sank vannføringen stort sett jevnt. Slamtransporten i den delen av avrenningssesongen som ligger utenom observasjonssesongen er anslått ved å sammenlikne med dager med lik vannføring i nærmeste de-

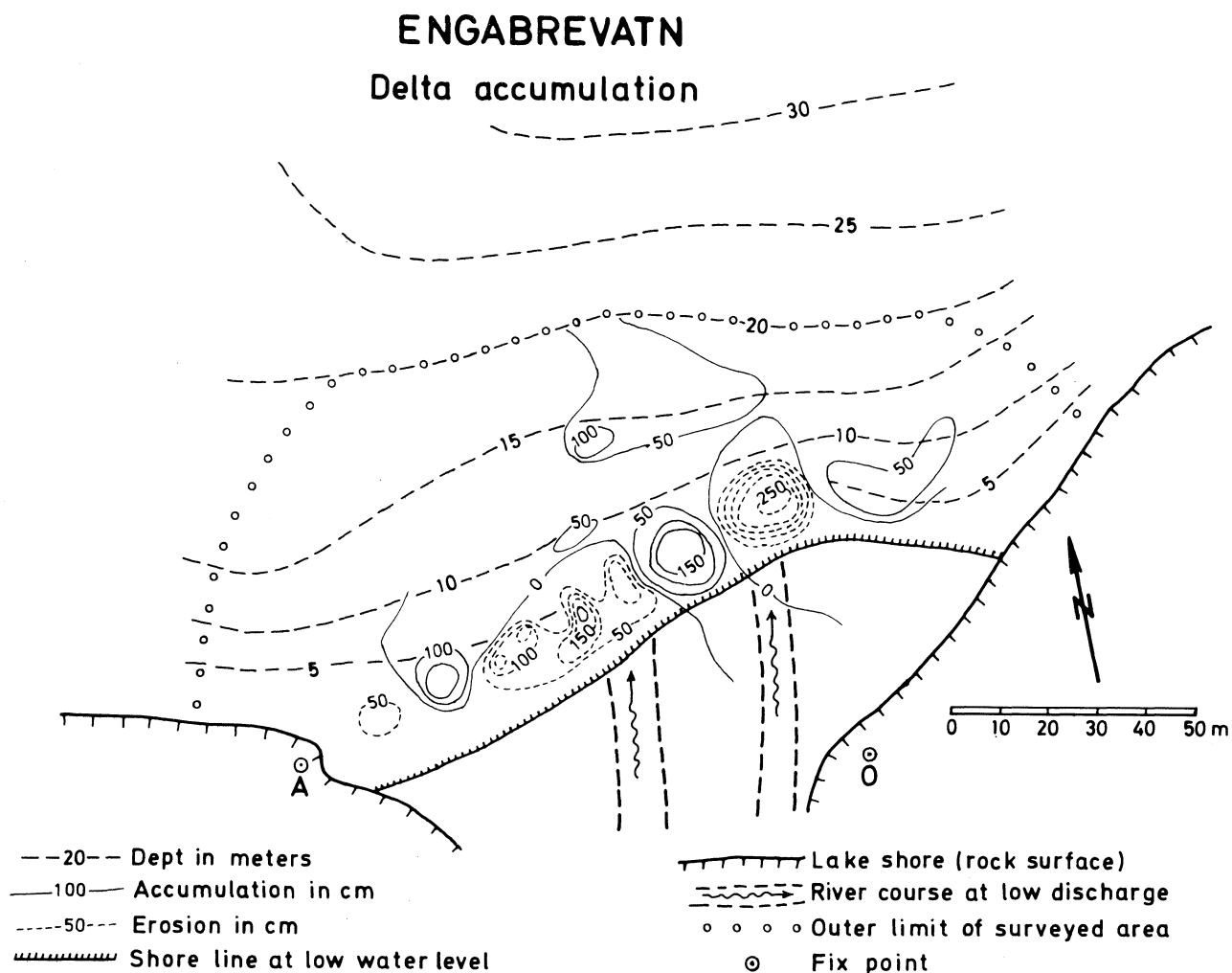


Fig. 12 Akkumulasjon og erosjon fra 1975 til 1976 på deltaet ved bre-elvas innløp i Engabrevatn.

Accumulation and erosion from 1975 to 1976 on the delta at the inlet of the glacier river in Lake Engabrevatn.

ler av observasjonssesongen. For tiden før observasjonssesongens start er det etter dette anslått en slamtransport på ca. 1300 tonn. Ved observasjonssesongens slutt var allerede slamtransporten nede i 3-7 tonn pr. dag og da vannføringen fortsatte å synke kom det neppe mer enn ca. 100 tonn i denne perioden. Den totale slamtransporten i avrenningssesongen 1976 er etter dette anslått til ca. 13 300 tonn.

Deltaet ved innløpet i vatnet (fig.11) ble som tidligere nevnt nivellert og opploddet igjen vinteren 1977 på samme måte som beskrevet tidligere (Kjeldsen 1977). Som ved tidligere målinger viste det seg at de største forandringene hadde skjedd rett ut for bre-elvas utløp (fig.12). Siste år hadde det imidlertid skjedd en erosjon i avsetningene der de to hovedløpene av bre-elva munner ut. Erosjonen var opptil 2,5 meter, og forklaringen kan være at det ukonsoliderte materialet har rast utfor den bratte foreset-skråningen. Det er her jevn skråning ut til ca. 50

meters dyp og materialet kan meget vel ha glidd helt ut mot de dypeste partiene utenfor deltaet. Det er derfor umulig å påvise dette materialet, dels fordi det avsettes utenfor det opploddede området og dels fordi det fordeler seg utover et større område i så liten mektighet at det ikke kan påvises med tilstrekkelig pålitelighet med den måleusikkerhet som eksisterer ved de metodene som er benyttet.

Mellom de to områdene der materialet er erodert har det foregått en pålagring av materiale på ca. 1,8 meter. Dette er av omlag samme størrelsesorden som pålagringen utenfor hele deltaet forrige år (Kjeldsen 1977, s. 28), da var pålagringen mellom 2 og 2,5 meter på det mektigste.

Noe av det utraste materialet kan finnes i området rett utenfor de steder der utrasningene har foregått, der det i motsetning til forrige år har vært en akkumulasjon av opptil noe over 1 meter. Alt i alt er det akkumulert en ubetydelig masse på ca. 100 m^2 eller ca. 200 tonn innenfor det oppmålte området siden forrige måling. Dvs. at det er rast ut omlag like mye som det er pålagret. I forhold til fjorårets overflate er det ved de to nevnte områdene rast ut ca. 1600 m^3 . I tillegg til dette kommer materiale som er ført ut i 1976. Om akkumulasjonen i området mellom elveløpene er representativ for det som er ført ut ved siden av og rast ut sammen med tidligere avsatt materiale vil det tilsi at det er ført ut ca. 3200 m^3 grovt materiale til deltaet i 1976. Denne beregningen er naturligvis svært usikker, men den kan gi en pekepinn om størrelsen av bunntransporten. 3200 m^3 tilsvarer ca. 6400 tonn.

Etter dette skulle den totale transporten av løsmateriale fra Engabreen i 1976 bli ca. 18 300 tonn. Bunntransportens andel av den totale materialtransporten blir da ca. 35%, mens det suspenderte materiale utgjør 65%. Det er det samme forhold mellom transport av suspendert og bunntransportert materiale som ble funnet i 1975. En fjerning av 18 300 tonn løsmateriale tilsvarer en erosjon av 0,18 mm av fjelloverflaten jevnt fordelt under hele breen, noe som neppe forekommer i naturen, den største erosjonen forekommer antakelig under de aktive breutløperne mens erosjonen ventelig er meget liten under de plataaktige høyere delene av breen.

SLUTTORD

De 2 bredekkede nedbørsfeltene som ble undersøkt i 1976 dekker 65, resp. 50 km^2 for henholdsvis Nigardsvatnet og Engabrevatnet. Breprosenten er svært lik, henholdsvis 72 og 76 for de to feltene.

Materialtransporten for disse små bredekkede feltene er preget av avløpsforholdene.

Disse er kjennetegnet ved en kort og intens avrenningssesong med store og hyppige vannføringsvariasjoner. Ved breenes erosjon i berggrunnen blir det stadig produsert nytt løsmateriale som blir ført fram med isen og deler av dette materialet blir etterhvert ført videre av bre-elvene. Det later ikke til å eksistere noe enkelt samband mellom vannføring og materialtransport. Dette forholdet varierer, avhengig av forskjellige faktorer.

Tabellen i fig. 13 viser resultatene fra 1976 stilt sammen med tidligere års resultater. For hver bre-elv er det oppgitt antall uker med observasjoner og den observerte transport av suspendert materiale, utregnet på grunnlag av innsamlede prøver. Videre er det oppgitt et tall for den totale årlige materialtransporten for de enkelte bre-elvene. Transporten av suspendert materiale utenom observasjonssesongen er da anslått på grunnlag av vær- og vannføringsforhold og sammenlikning med perioder med liknende vannføring innen observasjonssesongen. For de to breene der målinger ble foretatt i 1976 er transporten av grovt, bunntransportert materiale basert på direkte målinger av avleiringen på et delta umiddelbart nedenfor brefronten. I Visa er det tidligere år målt avsetning av grovt, bunntransportert materiale i en fangdam.

For de breene der bare transporten av suspendert materiale er målt er størrelsen av den totale materialtransporten kommet fram ved en sammenlikning med transporten fra liknende breer 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 mm. Det første tallet er framkommet ved at den beregnede årlige totale materialtransport er dividert med brearealet i nedslagsfeltet. Ved beregning av erosjonen er det regnet med en egenvekt av $2,7 \text{ g/cm}^3$ 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. Den er størst under de mest aktive delene av dalbreene, mens den kan være ubetydelig under de platåaktige delene. Påliteligheten av tallene i tabellen er bl.a. avhengig av lengden av observasjonssesongen. Det er særlig viktig å få dekket den første flommen i avrenningssesongen med målinger da denne ofte fører med seg betydelige slammengder. 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 flommer som har størst betydning for avløpet fra breområdene. Etter denne tid er temperaturen oftest blitt så lav at mye av nedbøren faller som snø på breene. Men enkelte betydelige flommer kan også forekomme utover i oktober og iblandt t.o.m. i november i de vestlige delene av landet. Her er klimaet maritimt og breene strekker seg enkelte steder langt ned i dalene.

Metodikken ved prøvetaking og oppmåling er beskrevet i innledningen og under de enkelte breer/elver. For å kunne registrere de mange og store forandringer i bre- elvenes materialtransport så godt som mulig er det valgt en høy observasjonsfrekvens og under flommer økes denne ytterligere ved økende vannstand. Konsentrasjonen av suspendert materiale kan imidlertid variere i bølger som er så kortvarige at de ofte ikke kan registreres på den omtalte måten. Det arbeides derfor fortsatt med å utvikle et instrument som automatisk registrerer vannets lysgjennomtrengelighet, som til en viss grad er avhengig av innholdet av suspendert materiale. I 1976 ble instrumentet tatt av elva under en flomperiode og delvis ødelagt. Det er senere reparert og forbedret og utprøvingen vil fortsette sommeren 1977.

Undersøkelsene av materialtransporten i brevassdragene har ved Nigardsvatnet pågått siden 1968 og ved Engabrevvatnet siden 1969. Sammenliknet med tidligere års observasjoner og beregninger var materialtransporten fra Nigardsbreen i 1976 stort sett lik gjennomsnittet for de 9 årene vi har foretatt målinger (fig. 13). Ved Engabreen var materialtransporten i 1976 svært liten, bare det første året det ble foretatt målinger - i 1969 - ble det observert en lavere materialtransport. Materialtransporten ved Engabrevvatnet var i 1976 under 80% av gjennomsnittet for de siste 8 år.

Fig. 2 viser avløpet ved de to målestasjonene i 1976. I store trekk er det et rimelig samsvar i variasjonene i avløpet fra Nigardsvatnet og Engabrevvatnet. En del forskjeller finnes, i perioder også ganske betydelige, men tatt i betraktning av den store geografiske avstanden mellom stasjonene er det en slående likhet i variasjonsmønsteret.

Den gjennomsnittlige slamkonsentrasjonen for hele observasjonssesongen var omlag 75 mg/l i elva fra Nigardsbreen og 98 mg/l i elva fra Engabreen. Dette er henholdsvis ca. 10 og ca. 15% mer enn gjennomsnittet for de siste 8 årene. Vannføringen fra Engabrevvatnet var svært lav i 1976 (Fig. 10). Det er derfor noe overraskende

Fig. 13 Tabellen viser resultater fra sedimenttransportundersøkelser i 1976 stilt sammen med tidligere års resultater. Det er også tatt med resultater fra breer hvor undersøkelsene er avsluttet. For hvert observasjonssted er det oppgitt varigheten av observasjonssesongen i uker, målt transport av suspendert materiale, beregnet total årlig transport (inkludert bunntransportert materiale) og beregnet spesifikk sedimentproduksjon.

The table shows a summary of results from investigations of sediment yield at selected glaciers or glacial streams in Norway in 1976 and previous years. For each glacier or glacial stream the number of observation weeks, observed suspended load, estimated total annual transport (including calculated or observed bottom load), and values for specific sediment yield are shown. Finally the corresponding erosion in mm was calculated, assuming that the erosion was equal under the entire glacier area.

Glacier or river name	Glacier area km ²	INVESTIGATIONS OF SEDIMENT YIELD AT SELECTED GLACIERS IN NORWAY									
		1967	1968	1969	1970	1971	1972	1973	1974	1975	1976
Nigardshreen	4.7	Number of weeks with observations		12	13	16	18	15	15	16	16
		Observed suspended transport, tons		4370	13910	13954	9255	11650	10500	5500	11750
		Estimated total annual transport		10000	20300*	32600*	13450*	31400*	31100*	13600*	21800*
		Sediment yield tons/km ²		215	430	690	290	670	660	290	610
		Corresponding erosion in mm		0,08	0,16	0,26	0,11	0,25	0,24	0,11	0,23
											0,17
Austre Munnubreen	9	Number of weeks with observations	9	11	10	10	12	10			
		Observed suspended transport, tons	4700	3300	6880	6750	2400	4350			
		Estimated total annual transport	7900	5800	8350	11600	5350	6250			
		Sediment yield tons/km ²	880	670	930	1290	590	695			
		Corresponding erosion in mm	0,33	0,25	0,34	0,48	0,22	0,26			
Visa	33	Number of weeks with observations							13	14	
		Observed suspended transport, tons							13730	20250	
		Estimated total annual transport							18600	ca. 33750	
		Sediment yield tons/km ²							560	1030	
		Corresponding erosion in mm							0,21	0,38	
Bondhubbreen	12	Number of weeks with observations						14	17		
		Observed suspended transport tons						7000	6520		
		Estimated total annual transport						15500	13800*		
		Sediment yield tons/km ²						1290	1160		
		Corresponding erosion in mm						0,48	0,43		
Erdalshreen	11	Number of weeks with observations	6	10	11	15	14	14			
		Observed suspended transport tons	7840	6300	14720	19250	7050	7300			
		Estimated total annual transport	13300	12500	26700	33500	16700	12500			
		Sediment yield tons/km ²	1210	1135	2430	3030	1515	1135			
		Corresponding erosion in mm	0,45	0,42	0,90	1,12	0,56	0,42			
Vestledalsbreen	4	Number of weeks with observations	7	11	11	13	13	13			
		Observed suspended transport tons	530	300	579	350	320	290			
		Estimated total annual transport	1050	600	1170	670	670	500			
		Sediment yield tons/km ²	260	150	290	160	160	125			
		Corresponding erosion in mm	0,10	0,06	0,11	0,06	0,06	0,05			
Sundøla	21	Number of weeks with observations							15		
		Observed suspended transport tons							2100		
		Estimated total annual transport							3250		
		Sediment yield tons/km ²							345		
		Corresponding erosion in mm							0,13		
Engabreen	38	Number of weeks with observations			8	12	14	16	15	14	15
		Observed suspended transport tons			8650	11560	15449	19750	10770	11350	14150
		Estimated total annual transport			15800	23500	28000	35000	19580	22500	25050*
		Sediment yield tons/km ²			415	590	735	920	515	590	660
		Corresponding erosion in mm			0,15	0,22	0,27	0,34	0,19	0,22	0,24
											0,18
Trollbergdalsbreen	2	Number of weeks with observations				9	10	10	10	11	
		Observed suspended transport tons				2840	4200	3700	1660	725	
		Estimated total annual transport				5700	8800	7500	3750	1650	
		Sediment yield tons/km ²				2850	4400	3750	1875	825	
		Corresponding erosion in mm				1,06	1,63	1,39	0,69	0,31	
Hagtubreen	2,6	Number of weeks with observations					6	8	10	11	
		Observed suspended transport tons					200	445	238	220	
		Estimated total annual transport						1800	1030	1000	
		Sediment yield tons/km ²						690	395	385	
		Corresponding erosion in mm						0,26	0,15	0,14	

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

Fig. 13

at slamføringen her var såvidt høy. Noen sikker forklaring på dette forholdet kan være vanskelig å finne, men det kan muligens henge sammen med at breene i de senere år har hatt en positiv massebalansen og at dette nå er i ferd med å få følger også for bretungene. Dvs. de blir mer aktive og vil rykke fram. Dette fører med seg at erosjonen øker og derved tilgangen på materiale for videre transport med bre-elvene.

Elvene fra begge de undersøkte breene løper ut i et vatn i kort avstand fra brefronten. Deltaet som bygges ut ved innløpet blir begge steder nivellert hver høst eller vinter for å kartlegge transporten av grovt bunntransportert materiale.

Elva fra Nigardsbreen ender i et forholdsvis grunt basseng innerst i vatnet der akkumulasjonen skjer jevnt uten påviselige utrasninger som er store nok til å vanskeliggjøre målingene. I Engabrevatnet derimot går det raskt ned mot et dyp på over 50 meter rett utenfor deltaet. Her skjer det ofte ras i de ukonsoliderte sedimentene og materialet fordeler seg over et så stort område at de undrar seg nøyaktige måliner.

Bunntransportens andel av materialtransporten ved Nigardsbreen var i 1976 43%. Tallene for bunntransporten for tidligere år (tabell I) er justert noe i forhold til det som er oppgitt tidligere (s. 16). Gjennomsnittet for de 8 årene det er foretatt målinger ligger på 48%, dvs. det avviker lite fra det tallet som ble oppgitt i forrige års rapport (50%) på grunnlag av en tidligere beregningsmåte (Kjeldsen 1977, s. 38).

I Engabrevatn har ras utfor deltaskråningen forårsaket store vanskeligheter ved beregningen av årets målinger. Bunntransportens andel av den totale materialtransporten er anslått til ca. 35%. Det er det samme som ble funnet i 1975 og altså noe mindre enn gjennomsnittet av 8 års målinger ved Nigardsvatnet. Om bunntransportens andel av den totale materialtransporten ved Engabrevatnet er det for tidlig å si noe sikkert om. To års målinger er et for spinkelt grunnlag for å dra sikre konklusjoner særlig når akkumulasjonsforholdene er så labile som ved Engabrevatnet.

SUMMARY

Introduction

Studies of sediment transport in selected Norwegian glacier streams have been carried out during the last few years for two main reasons: the solid matter in glacier streams might cause various difficulties if the water is utilized for wa-

ter power production. It is therefore a vital concern for water power engineers to obtain data on the amount of sediment transported by glacier streams in areas where water power production is planned for the future.

There is also a scientific interest in such data, because the rate of glacier erosion has been under discussion for a long time. A cooperation is established between the Norwegian Water Resources and Electricity Board (NVE) and the Department of Physical Geography at the University of Stockholm to take care of the scientific part of the sediment study. Some of the data is collected and processed by the University of Stockholm but the main part of the data is handled by NVE. It is planned to collect all suitable data from a series of years to produce a scientific paper on the subject.

This publication is intended to report all field data obtained during the year of 1976, presented in the same form as in earlier reports in this series.

Detailed studies of sediment transport in glacier streams have been performed continuously in Norway since 1967 when 3 selected streams were studied. During the following years a larger number of streams have been investigated, at the maximum 8 glacier streams were observed during a single summer. Some investigations of particular glaciers have been terminated during recent years because a sufficient amount of data had been collected for special engineering purposes. The longest series of observations is connected to the stream from the Nigardsbreen outlet glacier from the Jostedalsbreen ice-cap. This stream is still under observation and, in addition, the sedimentation in the lake in front of the glacier has also been studied. The coarse material deposited on the delta is being measured annually by an accurate survey of its growth. Some of these results are included in this report. Similar studies are also made at Engabreen, an outlet glacier from the Svartisen ice-cap in Northern Norway. Results from the studies at Engabreen are also reported in this publication.

The map, Fig. 1, shows the locations where sediment studies have been performed since 1967. The field work in 1976 was concentrated to Nigardsbreen and Engabreen.

Two persons are normally based at each measuring site throughout the main part of the melt season, i.e. from the beginning of June to the middle of September. At most of the glaciers where such sediment transport studies have been performed, also mass balance studies have been made but results from the glaciological activities are published in a separate report series, see for example Hagen 1977.

Water samples are taken in 1-litre plastic bottles in a turbulent part of the stream and this water sample is filtered in the field and the filter paper is sent to the laboratory in Oslo for ashing. Samples are normally taken both at the inlet and the outlet of the lake near the front of the glacier at a frequency of 5

per day at the lake inlet and 3 per day at the lake outlet. However, during periods of high water discharge or rapidly increasing runoff, samples are taken every hour because experience has shown that sediment concentration is then high and rapidly changing. The river discharge is continuously recorded by an automatic water gauge. All data from the sediment sampling and from the gauge are punched on cards and most of the calculations and diagram construction are made by computer.

Sediment transport at selected glaciers in Norway, 1976

General

Two glacier streams were investigated in 1976, the stream from Nigardsbreen (where the series started in 1968) and at that from Engabreen (where the investigations started in 1969). Water samples for determination of suspended load are taken at the inlet and the outlet of the lake situated close to the glacier front, whereas bottom load is determined by repeated surveys of the delta where the coarse material is continuously accumulating.

The meteorological conditions during the summer of 1976 can be characterized by the words cool and dry. This resulted in a discharge which was about 15% lower than the average for the last ten years, compare Fig. 4. Hydrographs for the two rivers are shown on Fig. 2 where also the total length of the field period is indicated. There was no significant rise in discharge after the field crew left the stations, so it is anticipated that only small amounts of sediments were transported during the fall. Consequently, the most important part of the drainage period was covered by frequent sampling and the results are therefore considered reliable.

Nigardsbreen

A summary of the results obtained at Nigardsbreen - i.e. at the inlet and the outlet of the lake Nigardsvatn - is shown on Fig. 3. No really large flood occurred in 1976, the highest daily discharge was recorded on July 10 when $2,7 \cdot 10^6 \text{ m}^3$ water discharged. A lower maximum daily discharge has been observed only once during the last ten years (1971). The total discharge from May to October amounted to $174 \cdot 10^6 \text{ m}^3$ which is 5% lower than the average annual discharge for the last ten years.

In total 11 750 metric tons of suspended sediment were transported into the lake in the period from May 25 to September 15, whereas the transport of suspended sediment out of the lake amounted to only 1 650 metric tons. This means that 86% of the suspended load were deposited in the lake. This is slightly higher than the average which is 77% for the last 9 years.

The highest daily transport of suspended material was observed on June 27 when 485 metric tons were transported into the lake - the water discharge amounted to $2,05 \cdot 10^6 \text{ m}^3$. The highest sediment concentration was observed during a high-water situation on August 30 when it reached the value 585 mg/l. During previous years the maximum concentration has ranged between 255 and 2000 mg/l.

Before and after the observation season proper it is anticipated that some, but relatively small, amounts of sediment were moved by the stream. It is assumed that this transport amounted to about 400 metric tons before the observation season and 300 metric tons after the season. The total transport of suspended load from Nigardsbreen should then be 12 450 metric tons in 1976.

Studies of delta growth (see also next section) indicates that the total accumulation of $4\,680 \text{ m}^3$ coarse material have taken place in 1976. This corresponds to 9 360 metric tons of coarse material. If this amount is added to the suspended load one could calculate an average bedrock thickness which must have been removed to produce this amount of debris. It is obvious that such a calculation may be quite misleading because a much higher erosion takes place under certain parts of the glacier whereas almost no erosion may take place elsewhere. However, similar calculations are traditionally made every year for all the glaciers under study. For Nigardsbreen 1976 it was found that the average erosion under the entire glacier amounted to 0,17 mm. This figure is based on the assumption that the density of the bedrock is $2,7 \text{ g/cm}^3$.

Delta surveys in the inner part of Lake Nigardsvatn

A number of survey points were marked along the lake shore in 1968 (compare Fig. 5). A relatively dense network was established near the delta to make possible repeated soundings along fixed profiles. In total, eight such profiles have been surveyed every year by accurate depth measurements in 253 single points. The annual delta growth has been calculated and some results are visualized in Fig. 6. An example of annual variations along one of the profiles is shown in Fig. 7. All the measured profiles are shown in Fig. 8 where the total accumulation is shown for the period 1968-1976. The maximum accumulation occurred during the summer of 1972 when no less than 19 500 metric tons were accumulated. This corresponds to an average vertical delta growth of 35 cm. The mean growth for the years 1968-1976 is 22 cm.

Engabreen

A summary of the results obtained in 1976 at Engabreen is visualized in Fig. 9. The discharge from the glacier was lower than ever recorded, i.e. since 1969, compare Fig. 5. The glacier has had a positive mass balance during recent years and front

observations indicate that the glacier has started to advance again after several decades of retreat.

The first day of significant sediment transport occurred on June 15, and very little sediment was transported by the stream after September 10. The highest maximum daily transport, about 600 metric tons, occurred on July 17. During recent years the maximum daily transport has ranged between 340 and 2 180 metric tons. The maximum daily discharge occurred on July 22 when $2,6 \cdot 10^6 \text{ m}^3$ water discharged. There were no really flash floods during 1976 but the highest concentration of suspended sediment reached 700 mg/l which is quite normal because the maximum concentration observed during previous years ranged between 185 and 1 085 mg/l.

In total 11 900 metric tons of suspended sediment were transported into the lake and 1 115 metric tons were moved out of the lake during the observation period. More than 90% of the suspended material settled in the lake. This is a higher proportion than the average for the previous years which is 84%. The figures are, in general higher than for Nigardsvatn, a fact which is easy to explain because Engabreen is larger and deeper than Nigardsvatn.

Based upon variations in water discharge before and after the observation period proper, it is anticipated that the stream carried some additional 1 400 metric tons of suspended sediment. Consequently, it is assumed that the total transport of suspended sediment from Engabreen amounted to 13 300 metric tons in 1976.

The delta at the lake inlet, see Fig. 11, was repeatedly surveyed to make possible a calculation of the bottom load during the entire melt season 1976. The calculations revealed that 6 400 tons of coarse material had settled on the delta. Some problems were encountered in obtaining this figure because landslides seemed to have taken place near the outer parts of the delta.

The total amount of solid particles moved by the glacier stream amounted to 18 300 metric tons, of which the suspended material accounted for 65% (this percentage is the same as in 1975). If this total amount of debris should be evenly distributed under the glacier, it corresponds to an average layer of 0,18 mm. This apparent erosion compares well with similar figures obtained earlier and with figures obtained at Nigardsbreen.

Conclusions

The table shown in Fig. 13 gives a summary of results obtained in 1976 as well as earlier observations at all glaciers under study. The number of weeks of direct observations is given for each glacier and the total observed transport of suspended material is given, based upon collected samples. Due to the fact that some material may have been transported before and after the observation period it was necessary

to estimate a small addition to the directly observed quantity. Further, calculations were made of the bottom load. In the case of Nigardsbreen and Engabreen this calculation was based upon delta surveys as described above, whereas for other glaciers it was based upon an assumed relation between suspended load and bottom load. Finally, to make possible a comparison between various glaciers the so-called "specific sediment production" is plotted in the table, given as metric tons per square kilometre. The corresponding, theoretical, annual erosion is also given. This last-mentioned figure is based upon the assumption that the bedrock has a density of $2,7 \text{ g/cm}^3$ and that the erosion takes place equally under the entire glacier - an assumption which is obviously not valid.

The reliability of the observations is thought to be fairly good, because the sampling frequency is always immediately increased when the water discharge seems to increase rapidly. However, rapid variations in suspended sediment concentration are often observed - it seems that small "clouds" of suspended sediment are formed at certain occasions. To try and record the existence of such clouds and to determine the representativity of single water samples it has been started experiments with an instrument which records the water turbidity. The instrument was, however, taken by the stream during a flash flood in 1976 and was partly destroyed. A new instrument will be installed in 1977.

As a general result of the direct studies of bottom load (by delta surveys) it has been shown that the bottom load accounts for almost 50% of the total transport of solid matter from the glaciers. This figure is, however, only valid when the samples are taken close to the glacier front.

LITTERATUR

Andersson, J.L. & Lundén, B.

- 1972: En metodundersökning vid Nigardsbreen, pp. 9-20, in: Ziegler, T. (ed.): Slamtransportundersökelse 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 glaciärrälvar med naturlig sedimentationsbassäng, pp. 8 - 40 in: Østrem, G., Ziegler, T. & Ekman, S.R. (ed): Slamtransportundersökelse i norske bre-elver 1969. Rapport nr. 6/70, Norges vassdrags- og elektrisitetsvesen, Hydrologisk avdeling, 68 p. (English summary).

Hagen J.O.

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

Haakensen, N.

- 1975: Materialtransportundersøkelser i norske bre-elver 1973. Rapport nr. 4/75, Norges vassdrags- og elektrisitetsvesen, Hydrologisk avdeling, 107 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)
- 1977: Materialtransportundersøkelser i norske bre-elver 1975. Rapport nr. 3/77, Norges vassdrags- og elektrisitetsvesen, Hydrologisk avdeling, 47 p. (English summary).

Ziegler, T.

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