

NORGES VASSDRAGS-OG ELEKTRISITETSVESEN



MATERIALTRANSPORTUNDERSÖKELSER

i

NORSKE BRE-ELVER

1974

RAPPORT NR. 3-75

VASSDRAGSDIREKTORATET

HYDROLOGISK AVDELING

OSLO AUGUST 1975

NORGES VASSDRAGS-
OG ENERGIDIREKTORAT
BIBLIOTEKET

NORGES VASSDRAGS-OG ELEKTRISITETSVESEN



MATERIALTRANSPORTUNDERSÖKELSER

i

NORSKE BRE-ELVER

1974

Redigert av O. Kjeldsen

Bidragstere: O. Kjeldsen og G. Östrem
samt H.C. Olsen

RAPPORT NR. 3-75

VASSDRAGSDIREKTORATET

HYDROLOGISK AVDELING

OSLO AUGUST 1975

NORGES VASSDRAGS-
OG ENERGIDIREKTORAT
BIBLIOTEKET

FORORD

Bre-elvene transporterer store mengder slam, og mange vann i høyfjellet bærer preg av at de har bre-tilsig. Når det er flom kan man ofte se og høre at bre-elvene også flytter større stener nedover.

Alt dette materialet er opprinnelig et resultat av breenes erosjon mot det underlag de hviler på - isen er i stadig bevegelse og graver seg langsomt, men effektivt ned i underlaget mens vannet skyller og spyler erosjonsproduktene ut fra breen og nedover i dalen. Det groveste materialet stanser opp så snart elvens fall minker, mens de finere partiklene kan føres langt avsted. De bunnfelles gjerne i stillestående vann der vi får et stadig økende slamlag på bunnen.

Studier av bre-elvenes slamtransport kan gi opplysninger som kan brukes for å svare på mange ulike spørsmål. For vitenskapsmannen kan data om breenes erosjon og landskapsformende effekt være av interesse. For ingeniørene er det viktig å få vite hvor meget slam bre-vannet inneholder, fordi slammet kan skape tekniske problemer i overføringssystem og magasiner. Spesielt viktig kan det være å få rede på mengden av grovt materiale ved breer der sub-glasiale vanninntak planlegges. Her vil mengder av grus og sand snart hindre vannets passasje hvis man ikke lager et sedimentasjonskammer. For dimensjoneringen av dette er kunnskap om bre-elvenes transport av faste partikler av vital interesse.

Formålet med denne rapport er å presentere observasjonsdata fra 1974 i bearbeidet form slik at de kan brukes av ulike kategorier interessenter. Rapporten er den sjette i en årlig serie som ble startet i 1969, og den er som tidligere et resultat av et team-work. En rekke sommerassistenter har vært engasjert med prøvetakingen, en laboratorieassistent har behandlet prøvene i Vassdragsvesenets slamlaboratorium, beregninger er utført hovedsaklig ved hjelp av NVE's datamaskin, flere tegnere har samarbeidet for å illustrere rapporten, og flere forfattere har deltatt i utformingen av teksten. Arbeidet ble ledet av undertegnede, mens cand. real.Ola Kjeldsen har hatt hovedansvaret ved utarbeidelsen av rapporten.

Oslo i juli 1975.

Gunnar Östrem

INNHold

	Side
Innledning	6
Materialtransportundersökelse ved breer i Sör-Norge, 1974	9
Sammenfattende beskrivelse	9
Vær- og vannføringsforholdene gjennom avrenningssesongen	9
Generell kommentar til årets observasjoner	11
Nigardsbreen	11
Innledning	11
Resultat	12
Forholdet mellom transport av suspendert og bunntransportert materiale	15
Visa	18
Innledning	18
Målemetoder	21
Resultat	23
Sunndöla	30
Innledning	30
Resultat	33
Sluttord, Sör-Norge	28
Materialtransportundersökelse ved breer i Svartisområdet, 1974	39
Sammenfattende beskrivelse	39
Vær- og vannføringsforholdene gjennom avrenningssesongen	39
Generell kommentar til årets observasjoner	39
Engabreen	41
Innledning	41
Resultat	41
Trollbergdalsbreen	43
Innledning	43
Resultat	44
Högtuvbreen	46
Innledning	46
Resultat	46
Sluttord, Svartisområdet	48
Bunnprøvetaking i Bondhusvatn (G. Östrem og H. C. Olsen)	50
Innledning	50

	Side
Feltarbeid	53
Resultat	55
Metodikken ved tolkningen av varvene	58
Undersökelse av pollen fra Jostedalen	61
Forekomst av "mikrovarv"	63
Sammenlikning mellom enkelte prøver	66
Generelt	66
Beskrivelse av prøvene	67
Korrelasjoner	71
Konklusjon	74
Sluttord	76
English summary	81
General	81
Nigardsbreen	82
Visa River	83
Sunndöla River	85
Engabreen	85
Trollbergdalsbreen	86
Högtuvbreen	87
Sediment sampling in the lake Bondhusvatn	88
Litteratur	91

INNLEDNING

Materialtransportundersøkelsene i norske brevassdrag utføres av Bre-kontoret ved Norges vassdrags- og elektrisitetsvesen. Målingene ved Nigardsbreen og Bondhusbreen skjer i samarbeid med Naturgeografiska Institutionen ved Stockholms Universitet. Personell fra Stockholms Universitet forestår bearbeidelse av data fra målingene av tilveksten på deltaet ved innløpet i Nigardsvatnet. Den vesentligste delen av datainnsamlingen bekostes av NVE.

Undersøkelsene har først og fremst et praktisk, men også i noen utstrekning et vitenskapelig siktemål.

Bre-elvene har som regel en vesentlig større materialtransport enn elver med brefrie nedslagsfelt. Denne materialtransporten forårsaker forskjellige problemer i forbindelse med utbygging av brevassdragene. Data om breenes erosjon og elvenes transport og avsetning av materiale har vitenskapelig interesse. Disse mer vitenskapelige deler av undersøkelsene kan senere få betydning for de praktiske målingene. Det er derfor både av praktisk og vitenskapelig interesse å bringe på det rene størrelsen, sammensetningen og variasjonen av materialtransporten i ulike brevassdrag.

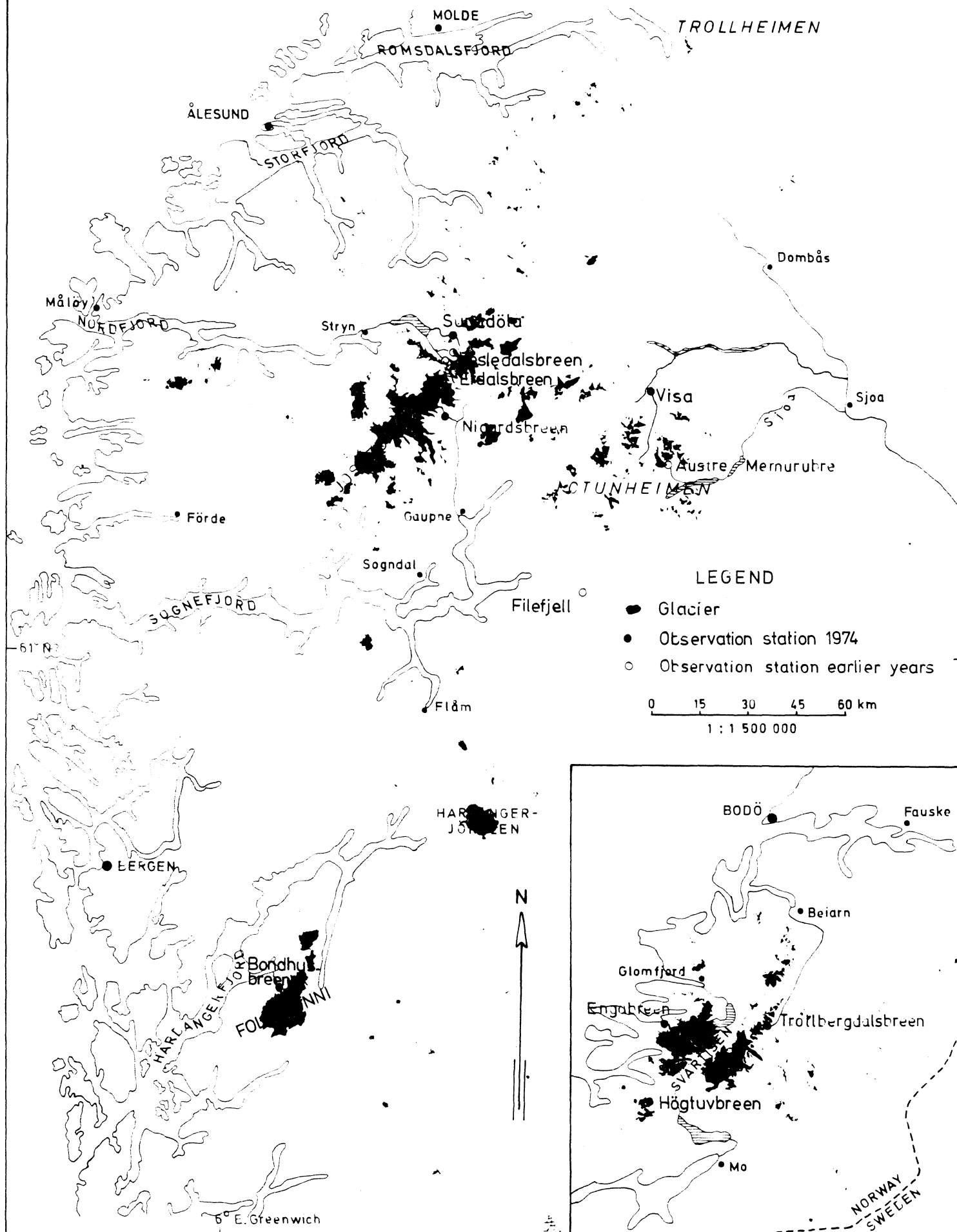
Hensikten med rapporten er å referere resultater fra de pågående materialtransportundersøkelsene. Beregningene presenteres derfor stort sett på samme måte som tidligere. Fyldigere beskrivelser av målestedene der

Fig. 1 Kartet viser beliggenheten av nåværende og tidligere prøvetakningssteder for NVE's slamtransportundersøkelser. Resultatene fra undersøkelsene i 1974 er omtalt i foreliggende rapport.

Location map showing location of present and previous sampling sites for NVE's sediment transport studies in selected glacier streams. The results from the 1974 field work are given in this report.

FIG. 1.

STUDIES OF SEDIMENT TRANSPORT AT NORWEGIAN GLACIER STREAMS



målinger er utført i tidligere år, metodikk etc. er gitt i rapporter det året 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.

Samarbeidsprosjektet "Materialtransportundersøkelser i norske brevassdrag" kom igang ved 3 breer i Sør-Norge i 1967. Fram til 1972 ble undersøkelsene gradvis utvidet til å omfatte et større antall breer. Det ble da utført undersøkelser ved i alt 8 breer. I tillegg ble det i 1972 ble undersøkelse i Filefjell representative IHD-område for å kunne gjøre en sammenlikning med brefrie høyfjellsnedbørfelt. I 1973 ble undersøkelsene fortsatt ved 6 av de tidligere undersøkte brevassdragene. I 1974 ble dette tallet ytterligere redusert til 4, mens det ble satt igang undersøkelser ved 2 nye bre-elver. Den ene er Sunndøla i Stryn, den andre Visa i Jotunheimen. I Visa ble det også bygget en fangdam for avsetning og måling av bunntransportert materiale. Målingene her danner et viktig supplement til de undersøkelsene som har vært gjort ved Bondhusvatn og Nigardsvatn, og som fremdeles pågår ved det sistnevnte sted. Målingene i Visa foretas i større avstand fra breene enn ved de andre målestedene.

Den store materialtransporten i brevassdragene skaper også problemer for beregning av vannføringen. Det er mange steder vanskelig å finne målesteder som ikke er utsatt for profilendringer. Profilendringer kan medføre at en får uensartede målinger over visse perioder.

Ved Bondhusbreen, en vestlig utløper av Folgefonna, skal bre-elva fanges inn under breen. Det er da nødvendig å anlegge et sedimentasjonskammer for å fange opp det grovmaterialet som bre-elva fører med seg. I 1972 og 1973 ble det foretatt undersøkelser av slamtransporten og sedimentasjonen av grovt materiale på deltaet i Bondhusvatnet. Et planlagt sedimentasjonskammer måtte dimensjoneres slik at det kunne absorbere alt grovmaterialet i et år med ekstremt høy materialtransport. For å få et begrep om størrelsen av materialtransporten fra Bondhusbreen i tidligere år ble det vinteren 1974 tatt opp prøver fra bunnavsetningene i Bondhusvatnet.

Liknende prøver ble tatt opp fra Nigardsvatnet i 1968. For om mulig å utvikle sikrere metoder i tolkningen av slike prøver er innholdet av pollen i

de forskjellige delene av disse prøvene blitt analysert. Vi kjenner nemlig alderen av bunnsedimentene i Nigardsvatn bedre enn for noe annet brev-
vatn.

Kartet på side 5 viser beliggenheten av prosjektets observasjonsstasjoner, både de som har vært bemannet i 1974 og de der undersøkelsene er avsluttet. Hver observasjonsstasjon er bemannet med en eller flere personer i størstedelen av avrenningssesongen, dvs. vanligvis fra begynnelsen av juni til begynnelsen eller midten av september. Ved de fleste breene der det foregår materialtransportundersøkelser utføres også massebalansestudier og meteorologiske observasjoner. Resultatene fra massebalanseundersøkelsene publiseres separat.

De fleste undersøkelsene er sentrert om transporten av suspendert materiale i bre-elvene. Grunnlaget for beregningene er innsamlede vannprøver og observasjoner av vannstanden i brevassdragene. Limnigraf er montert ved de fleste observasjonsstedene. Vannprøvene tas i 1-liters plastflasker i eller nedenfor en turbulent strekning i bre-elva. Ved to av de undersøkte brevassdragene ligger dette prøvetakingsstedet ved innløpet til et vatn. Her tas det også prøver ved 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 to vatn tas det 3 prøver i døgnet. Ved sterkt stigende vannføring eller flom tas det prøver hver time. Minst en gang i døgnet og oftere under flom tas det dobbeltprøver, dvs. det tas to prøver samtidig. Dette er dels en sikkerhetsforanstaltning, dels et ledd i en undersøkelse av enkelt-prøvers representativitet.

Prøvene tas ved at plastflaska settes i en beholder i enden av ei lang stang. Denne holdes ut i elva i god avstand fra bredden med åpningen av flaska vendt på skrå opp mot strømmen. Flaska fylles i løpet av noen sekunder og tas øyeblikkelig opp når den er fylt. Vannets volum måles og prøven filtreres i en filtreringskolbe med overtrykk (Ekman 1970, s.9). Filtret tørkes noe, pakkes og sendes til Oslo for laboratorieanalyse.

Den største partikkelstørrelsen i det materialet som samles inn på denne måten varierer en del fra sted til sted med elvas turbulensgrad og vannføring. Sandkorn som er grovere enn 1,0 mm i diameter regnes ikke som

representative for materialet i suspensjon og de plukkes vekk fra filteret og pakkes for seg for å kunne behandles separat i laboratoriet.

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

MATERIALTRANSPORTUNDERSÖKELSER VED BREER I SÖR-NORGE, 1974

Sammenfattende beskrivelse

I 1974 fortsatte observasjonene ved Nigardsbreen på østsida av Jostedalsbreen. Den er nå den eneste breen i Sør-Norge hvor det er foretatt kontinuerlige målinger fra 1968 fram til og med 1974.

I tillegg ble det opprettet 2 nye målestasjoner. Sunndöla i Stryn drenerer ved målestedet en vestlig del av Sognskarabreen ($8,5 \text{ km}^2$), en sørvestlig del av Tystigbreen ($9,4 \text{ km}^2$) og fire små breer på sørvestsida av dalen (ialt $3,1 \text{ km}^2$). I forbindelse med et takrenneprosjekt langs vestsida av Jostedalsbreen er Statskraftverkene interessert i å bringe på det rene størrelsen av materialtransporten i de forskjellige bre-elvene her. To av de andre bre-elvene (fra Vesledalsbreen og Erdalsbreen) er undersøkt tidligere.

Den andre stasjonen som er ny av året ligger ved Visa. Visa drenerer forskjellige breer i Jotunheimen med et areal på tilsammen $32,7 \text{ km}^2$. Nær samløpet med Bövra ble det i 1974 foretatt slammålinger og målinger av bunntransportert materiale i en fangdam.

Vær- og vannføringsforholdene gjennom avrenningssesongen

Forut for avrenningssesongen var det en mild vinter. Første del var nedbørrik, mens et høytrykk dominerte vær-situasjonen på ettervinteren. Vinterakkumulasjonen var nær det normale i Jotunheimen og noe over det normale lenger vest (Tvede 1975).

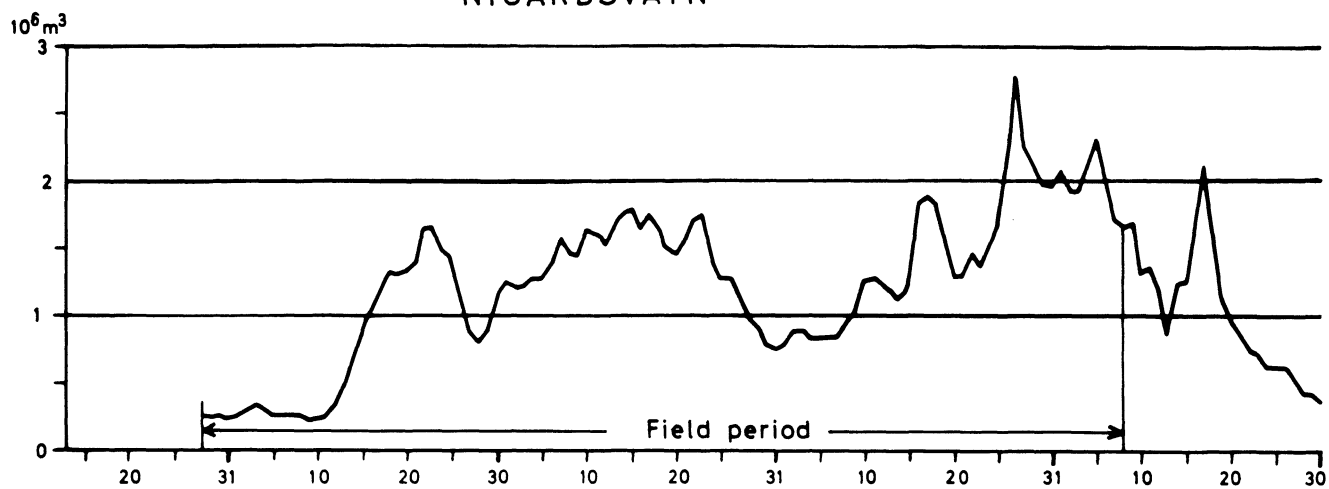
En varmeperiode midt i mai ble etterfulgt av kjøligere vær fram til midten av juni. Avrenningssesongen startet for alvor da et høytrykk bredte seg inn over Sør-Norge fra sørvest og ga pent, varmt vær fra ca. 13. juni (fig.2). I slutten av måneden trakk høytrykket seg vestover og en nordlig luftstrøm med kjøligere vær kom inn over Sør-Norge. Både juli, august og september var preget av et lavtrykksområde over Skandinavia. Temperaturene var lave, særlig i juli da gjennomsnittstemperaturen var $2-3^{\circ}$ lavere enn normalt. Nedbøren var fra 100 - 200% av normalen. De lave temperaturene gjorde at avsmeltingen av breene var mindre enn normalt. Selv om nedbøren var høyere enn normalt var avrenningen lavere enn på flere år.

En kortvarig varmeperiode i overgangen august-september var årsaken til en liten flom. Avrenningen i 1974 var nær det normale for de siste årene, men uten noen store flommer.

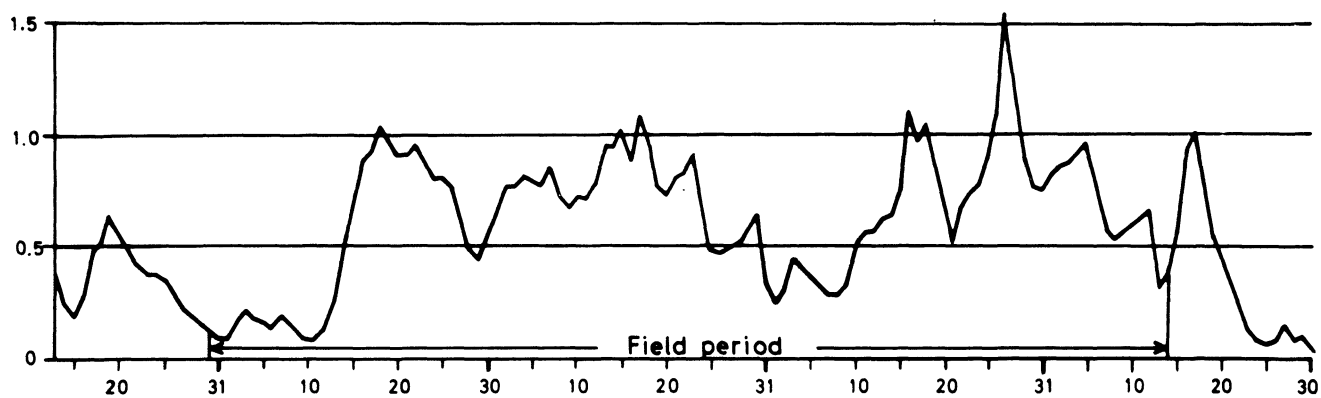
OBSERVED GLACIERS SOUTH NORWAY 1974

Daily discharge variations

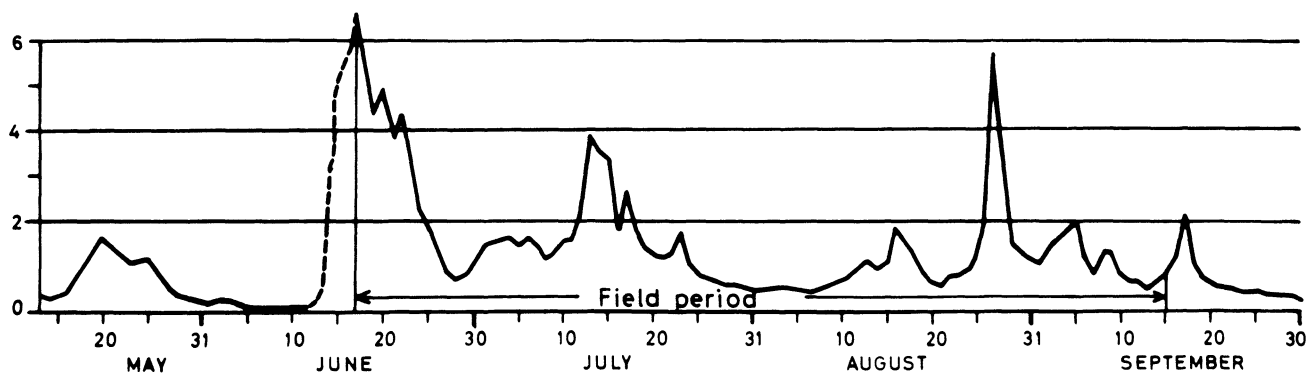
NIGARDSVATN



SUNNDØLA



VISA



Generell kommentar til årets observasjoner.

Observasjonssesongen ved bre-elveene i Sør-Norge varte fra begynnelsen eller midten av juni til midten av september. Derved skulle den vesentlige delen av materialtransportsesongen være dekket av observasjoner. I Visa begynte observasjonene den 17. juni midt under vårflommen slik at den første halvdel av denne ikke er dekket.

Observasjonene fra undersøkelsesstedene er gjennomgående av god kvalitet med timeprøver under flomperioder og uten avbrudd av betydning. Beregningsgrunnlaget for årets data skulle derfor være tilfredsstillende.

Nigardsbreen

Innledning

Undersøkelser i vassdraget fra den ca. 47 km² store Nigardsbreen har pågått i NVE's regi siden 1968. Tidligere års resultater er referert av Tornås (1969), Ekman (1970, 1972), Ziegler (1973, 1974) og Haakensen (1975).

Observasjonsstasjonen var bemannet fra 28. mai til 8. september, mens limnigrafen i Nigardsvatnet også registrerte vannføringer i avrenningsesongen utenom denne perioden.

Det ble tatt flere daglige prøver for beregning av massetransport av suspendert materiale gjennom hele sesongen både ved innløpet og utløpet av det ca. 0,6 km² store Nigardsvatnet. Forskjellen mellom prøvene tatt ved innløpet og utløpet gir informasjon om mengden av sedimentert materiale i vatnet.

Bunntransporten og sedimentasjonen av grovt materiale ble undersøkt ved målinger av pålagringen på deltaet ved innløpet, fig. 3. Opplodning og nivelering ble foretatt langs en rekke profiler ved sesongens slutt og sammenliknet med tilsvarende målinger ved avslutningen av forrige sesong.

Ved hver prøvetaking av suspendert materiale ble vannstanden observert ved et vannmerke. Samtidig ble vannstanden som nevnt også registrert på

Fig. 2 En sammenstilling av observerte døgnvannsvannføringer ved de undersøkte breene i Sør-Norge i 1974. Samhörigheten i variasjonene i de tre brevassdragene er god, særlig mellom Nigardsvatn og Sunndöla, mens Visa skiller seg noe ut ved at variasjonene er større.

Daily discharge variations at observed glaciers in Southern Norway 1974. Discharge variations are very similar in the three glacier rivers but for Visa the variations are somewhat greater than in the other streams.



Fig. 3 Deltaet ved innløpet i Nigardsvatnet 1/8-1974. Det bunntransporterte materialet i bre-elva avlagres på deltaet og skråningen utenfor.

The Nigardsvatn delta where bed-load from the glacier river is deposited.

en limnigraf nær utløpet av vatnet.

Fronten av breen er fortsatt i ferd med å trekke seg tilbake til tross for at breens nettobalanse summert siden høsten 1961 har vært positiv. Økningen i vannkvivalenthøyde (jevnt fordelt over hele breen) har i denne perioden vært på 5,75 m. (Tvede 1975). Fra 1973 til 1974 har brefronten gått tilbake med 46 m (O. Liestøl pers. medd.). Liestøl anser imidlertid denne målingen for å være usikker, tallet er muligens for stort. Det er dog ventet en stagnasjon eller et framstøt av brefronten når reaksjonen på den positive massebalansen de siste årene har fått tid til å forplante seg ned til fronten. Fronten har det siste året blitt noe brattere (fig. 4), noe som kan tyde på at dette er i ferd med å skje.

Resultat

Diagrammene i fig. 5 viser resultater av observasjoner og beregninger fra Nigardsvatnet i 1974. Den døgnlige middeltemperaturen er beregnet på grunnlag av avlesning av termograf med kontrollavlesninger på et termometer. Den døgnlige nedbøren er målt med nedbørmåler av typen "Pluvius" som er avlest kl. 0700 og 1900. Som ett døgns nedbør regnes avlesningen kl. 1900 pluss avlesningen kl. 0700 påfølgende dag. (Dette avviker fra Meteorologisk Institutt's rutine, for M.I.'s observatører avleser kun kl. 0700 og fører målt nedbør på avlesningsdagen).

NIGARDSVATN 1974

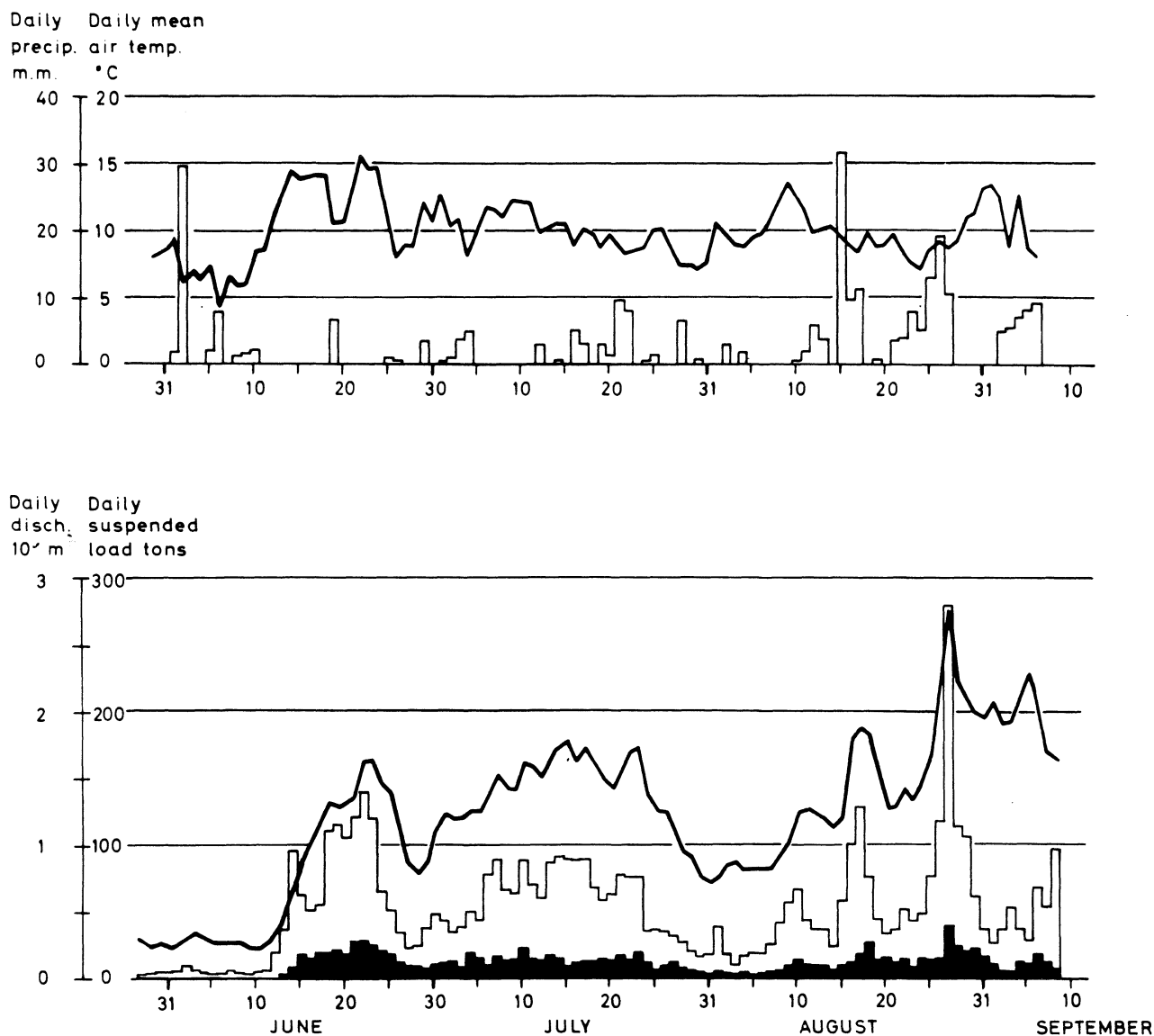


Fig. 5 Det øverste diagrammet viser døgnlig nedbør (søyler) og døgnmiddeltemperaturen (heltrukken strek) målt i løpet av observasjonssesongen ved Nigardsvatnet 1974. Det nederste diagrammet viser den døgnlige vannføringen (heltrukken strek) målt ved utløpet av vatnet og den beregnede transporten av suspendert materiale ved innløpet (åpne søyler) og ved utløpet (svarte søyler). Forskjellen mellom de to søylerekkenes 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 1974 observation period. The lower diagram shows daily variations in water discharge (line) from the lake and suspended sediments entering (open columns) and leaving (black columns) the lake. The difference is an indicator of the lake's efficiency as a sedimentation trap.

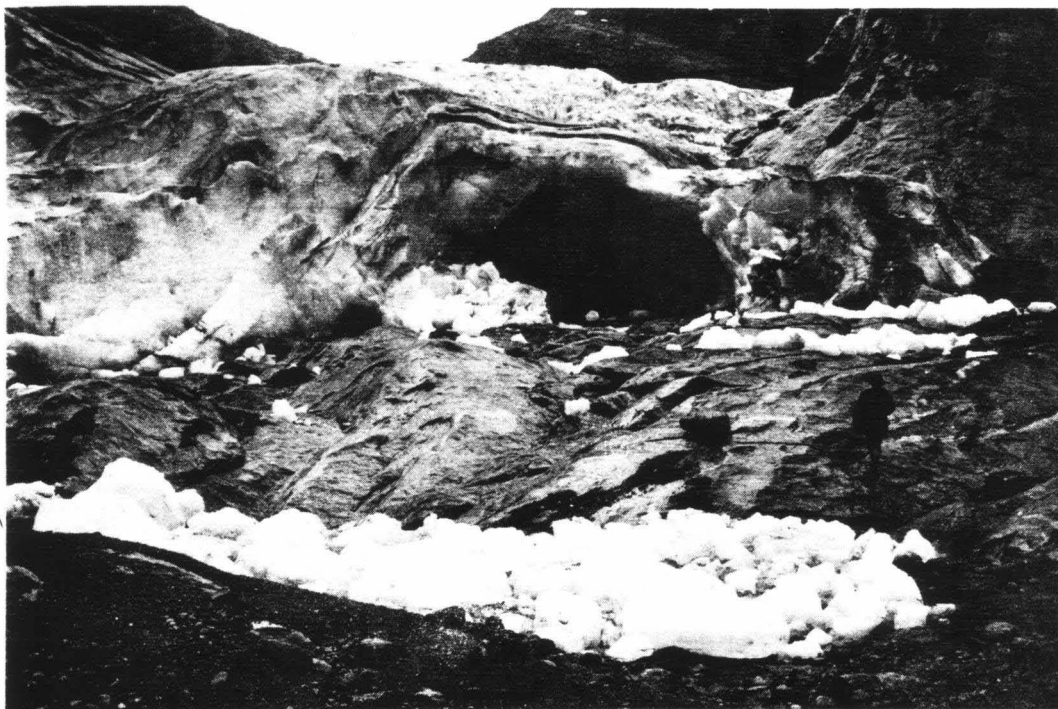


Fig. 4 Den nordlige delen av Nigardsbreens front med en mektig breport fotografert 7/9-74. Deler av taket i breporten raste ned to dager tidligere og demmet opp elva. Da elva bröt gjennom demningen flommet vannet ned mot vatnet og förte store mengder is utover berget langs elva.

The northern part of the front of Nigardsbreen with a great ice cave, photographed on September 7, 1974. Parts of the cave had collapsed two days earlier and dammed the river for a while. When the dam was broken, water flooded the area along the river and left a lot of ice.

I likhet med tidligere år er det god overensstemmelse mellom de meteorologiske parametrene og avrenningen i det meste av observasjonssesongen. De siste dagene er overensstemmelsen mindre god, det kan skyldes noe usikre målinger.

Ingen av flommene i løpet av året var store. Den største vannføringen ble nådd 27. august med $2,8 \cdot 10^6 \text{ m}^3$ i døgnet. Største målte døgns-transport inn i vatnet, 280 tonn, fant også sted da. Under dette døgnet ble det tatt 18 prøver ved innløpet og 8 ved utløpet fra kl. 0300 til 2200. Det ble i de fleste tilfeller også tatt dobbeltprøver. Under vanlige forhold ble det tatt 5 prøver ved innløpet og 3 ved utløpet. Dobbeltprøver ble vanligvis tatt tre ganger daglig.

Avrenningen i observasjonsperioden 28/5 - 8/9 er beregnet til ca. $128 \cdot 10^6 \text{ m}^3$, mens transporten av suspendert materiale inn i vatnet i samme periode er beregnet til ca. 5500 tonn. Transporten ut av vatnet i samme periode var ca. 1170 tonn. Det vil si at nesten 80% av alt finmateriale som ble

ført inn i Nigardsvatnet sedimenterte der. Tidligere år har en funnet at sedimentasjonsandelen har variert mellom 70 og 85%.

Konsentrasjonen av suspendert materiale ved innløpet under årets største flom var 222 mg/l. Den høyeste konsentrasjonen ble imidlertid målt ved begynnelsen av avrenningssesongen den 14. juni med 255 mg/l. Dette døgnet var avrenningen bare $0,7 \cdot 10^6 \text{ m}^3$, men det er ikke uvanlig at den første flommen ofte har større konsentrasjon av suspendert materiale enn tilsvarende og endog høyere vannføringer senere i sesongen. Dette kommer antakelig av at områdene under breen etterhvert blir barspylt for breerodert materiale.

Ingen av disse konsentrasjonene er imidlertid høye i forhold til hva som er målt tidligere år. Den høyeste konsentrasjonen for enkelte år har variert mellom 500 og 2000 mg/l.

Forut for den 28. mai da observasjonene tok til, forekom det ikke store vannføringer og ventelig heller ikke materialtransporter av særlig betydning til Nigardsvatnet. Etter observasjonsperioden var det en mindre flom den 17. september. Deretter avtok vannføringen raskt. Under denne flommen kan slamføringen inn i vatnet ha vært av størrelsesorden 50-100 tonn pr. døgn. Utenom observasjonsperioden i 1974 har det neppe gått mer enn 500 tonn finmateriale fra breen og inn i vatnet. Den totale finmaterialtransport fra Nigardsbreen i 1974 kan derved anslås til ca. 6000 tonn.

Pålagringsstudier utført på deltaet av S. R. Ekman viser at det fra høsten 1973 til høsten 1974 har funnet sted en akkumulasjon, vesentlig av grovmateriale $>0,5 \text{ mm}$ i diameter, tilsvarende ca. 6400 tonn.

Den totale sedimenttransporten fra Nigardsbreen i 1974 var ut fra de foreliggende måleresultatene i størrelsesorden 12400 tonn. Det tilsvarer en fjerning av et 0,13 mm tykt lag breeroderte sedimenter jevnt fordelt under hele breen om en regner at disse har en egenvekt av 2 g/cm^3 .

Forholdet mellom transport av suspendert og bunntransportert materiale

I tabellen nedenfor er det gjengitt tall for henholdsvis transport av suspendert materiale inn i Nigardsvatnet og målt akkumulasjon på deltaet ved innløpet. En regner med at det er vesentlig bunntransportert, grovt materiale (diameter $>0,5 \text{ mm}$) som er avsatt på deltaet.

I gjennomsnitt for de seks årene målingene har pågått er akkumulasjonen på deltaet ca. 48% av den totale materialtransporten. På en del av deltaet kan det tenkes at det også akkumuleres noe av det materiale som tilføres

	Transport av suspendert materiale i elva fra breen		Akkumulasjon på deltaet i vatnet	
1969	16 000 tonn	66%	8 100 tonn	34%
1970	14 000 "	55"	11 500 "	45"
1971	9 350 "	73"	3 500 "	27"
1972	11 500 "	41"	16 700 "	59"
1973	11 700 "	41"	16 600 "	59"
1974	6 000 "	48"	6 400 "	52"
	68 550 tonn	52%	62 800 tonn	48%

i suspensjon, dvs. materiale med en diameter $< 0,5$ mm. Det skulle derfor være rimelig å anta at bunntransporten utgjør ca. 40% av den totale materialtransporten i elva fra Nigardsbreen.

I elva fra Bondhusbreen og på deltaet i Bondhusvatnet er det utført liknende målinger (Haakensen 1975), men under kortere tid. Det ble også her funnet at bunntransporten utgjør nesten 50% av den totale materialtransporten.

Etter erfaringene med å fange opp grovmateriale i et nett ved innløpet i Nigardsvatnet i 1969 (Ekman 1970) ble det konkludert med et minst 25% av elvas materialtransport gikk som bunntransport, sannsynligvis betydelig mer. Ved andre målestasjoner der bunntransporten ikke er målt, har en hittil regnet med at bunntransporten utgjør 30% av transporten av suspendert materiale, dvs. ca. 23% av den totale materialtransporten. Det synes nå som om dette tallet er blitt satt for lavt. For målestasjoner der de naturlige forhold kan sammenliknes med forholdene ved Nigardsvatnet, er det rimelig å anta at bunntransporten utgjør en liknende andel av den totale materialtransporten. En regner derfor heretter med at bunntransporten av disse målestasjonene utgjør 40% av den totale materialtransporten. Den sammenfattende tabellen som viser resultater fra undersøkelser av materialtransporten i brevassdrag (s.78), er omarbeidet i henhold til dette.

Fig. 6 Døgnlig vannføring ved utløpet av Nigardsvatnet fra mai til oktober i årene 1965-1974. Tallet til høyre angir totalt avløp observert i løpet av disse månedene. Det gjennomsnittlige årlige avløp for nevnte 6-måneders-periode er $177 \cdot 10^6 \text{ m}^3$. Det nederste diagrammet viser de største registrerte vannføringer i m^3/s for samme tiårsperiode.

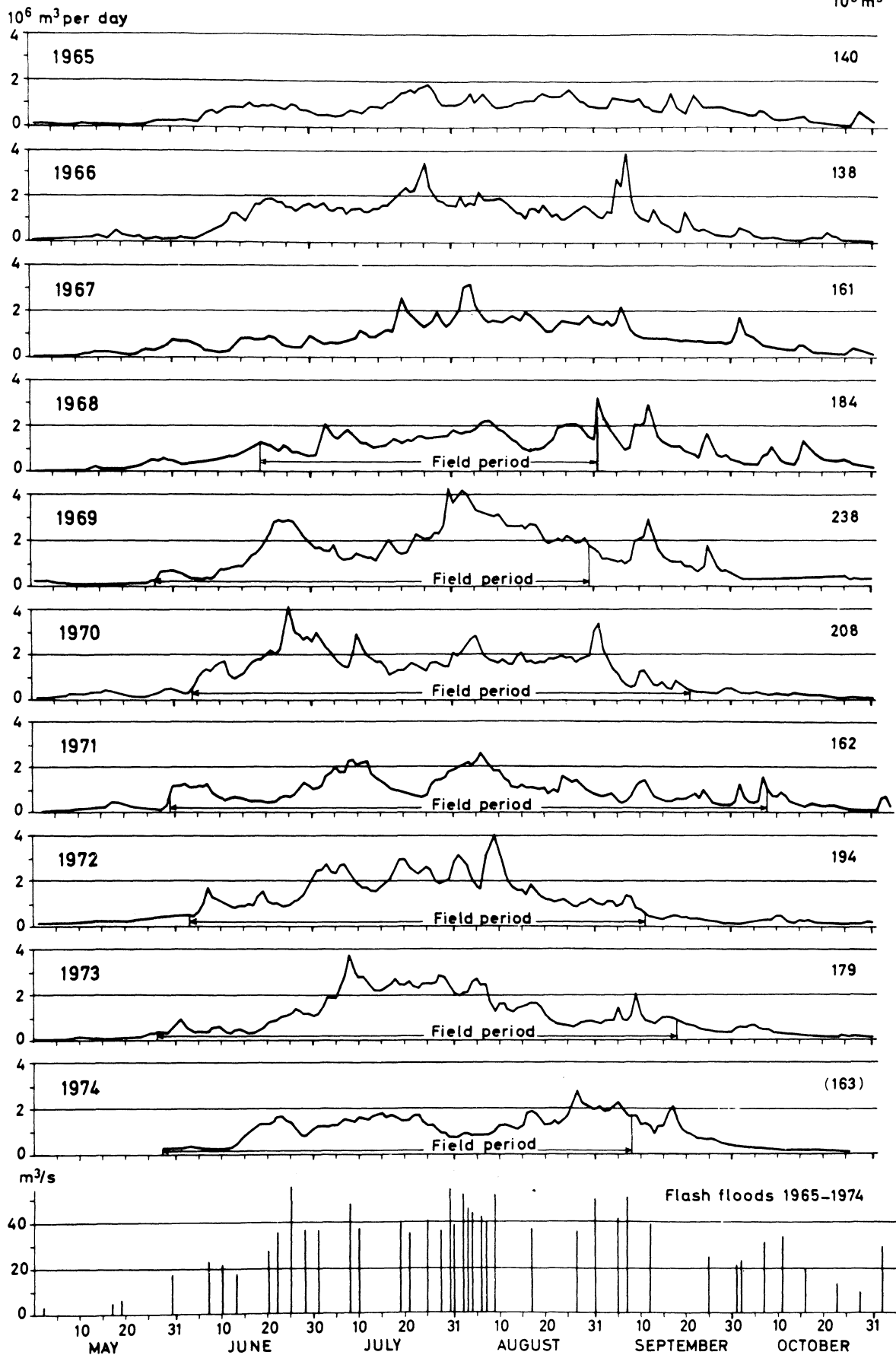
Daily discharge at the outlet of Lake Nigardsvatn from May to October during the years 1965-1974. The number on the right hand side gives the total summer discharge for each year. The annual mean discharge for this 6-months period is $177 \cdot 10^6 \text{ m}^3$. The lower diagram shows flash floods (in m^3/s) for the same period.

NIGARDSVATNET

WATER DISCHARGE

1965 - 1974

TOTAL
May-oct.
 10^6 m^3



Visa

Innledning

I forbindelse med en eventuell utbygging av Bövra er det bl.a. reist spørsmål om hvilke konsekvenser en minsket vannføring vil få for materialtransporten i vassdraget. Spesielt har det vært pekt på området ved samløpet med Visa, der en eventuell regulering kan forårsake en øket avsetning.

Visa har et nedslagsfelt på 245 km^2 hvorav $32,7 \text{ km}^2$ eller ca. 13% er dekket av breer. I alt 25 breenheter drenerer til Visa (Östrem & Ziegler 1969). Elvene fra 12 av disse, med et breareal på 6 km^2 , løper gjennom en eller flere sjøer der det kan skje en avsetning av materiale. En prøveserie fra sideelvene til Visa (Karlsen 1971) viser at slamføringen i disse elvene er like lav som i elvene med brefrie nedslagsfelt. De største og mest aktive breene drenerer imidlertid ut i Visa uten denne muligheten for avsetning,



Fig. 7 Dammen i Visa nedenfor Visa bru. Bildet er tatt 30. juli 1974 mens det ennå var brudd i dammen. En bank med hovedsakelig nevestor stein har bygd seg opp i den øvre del av dammen. Limnigrafen, i forgrunnen til venstre, ble påvirket av oppdemningen.

The dam in the Visa River. Photo taken on July 30, 1974 before the dam was repaired after the damage on June 16. Coarse material has been deposited in the upper part of the dam. The water gauge recorder, in left front corner, was affected by the damming and could be used no longer.

med den følge at Visa blir sterkt materialførende. Av sideelvene har Hellstuguåi den avgjort største slamføringen. De relativt høye slamkonsentrasjonene i Hellstuguåi er også bekreftet ved tidligere målinger (Klæboe 1951).

Visa løper sammen med Bövra i en ca. 5 km lang utvidelse av dalen som kalles Medalen, snaut 2 mil sørvest for Lom. Visa danner her ei vifte hvor elva har hatt et ustabilt løp. Elva fører store mengder grovt materiale ut i Medalen og store deler av dette blir ført videre nedover med Bövra. Hvis man konstuerer et lengdesnitt gjennom Medalen og sammenlikner det med et tilsvarende snitt fra eldre kart, viser det seg at det må ha skjedd en akkumulasjon i de øvre delene av dalen (Karlsen 1971). Om vannføringen i Bövra blir redusert blir også transporten av grovt materiale til Medalen redusert. Visa er ikke foreslått utbygd, og forholdene her blir som før. Spørsmålet er da om den reduserte vannføringen i Bövra pluss den uregulerte vannføringen i Visa vil være i stand til å transportere det materialet som blir tilført Medalen videre uten at problemene her blir større enn de er idag, med en relativt beskjeden akkumulasjon. Det er antatt at det suspenderte materialet blir fraktet gjennom Medalen og først avsatt i Otta-vatnet og sjøer lenger ned i vassdraget.

For å få et begrep om størrelsen av materialtransporten i Visa ble det der-



Fig. 8 Det nye provisoriske vannmerke i gjelet ovenfor Visa bru. Vannmerket avleses med kikkert fra den siden bildet er tatt.

The intermediate water gauge in the canyon upstream from the dam in Visa. The water gauge is viewed as seen with binoculars from the side from which the photo is taken.

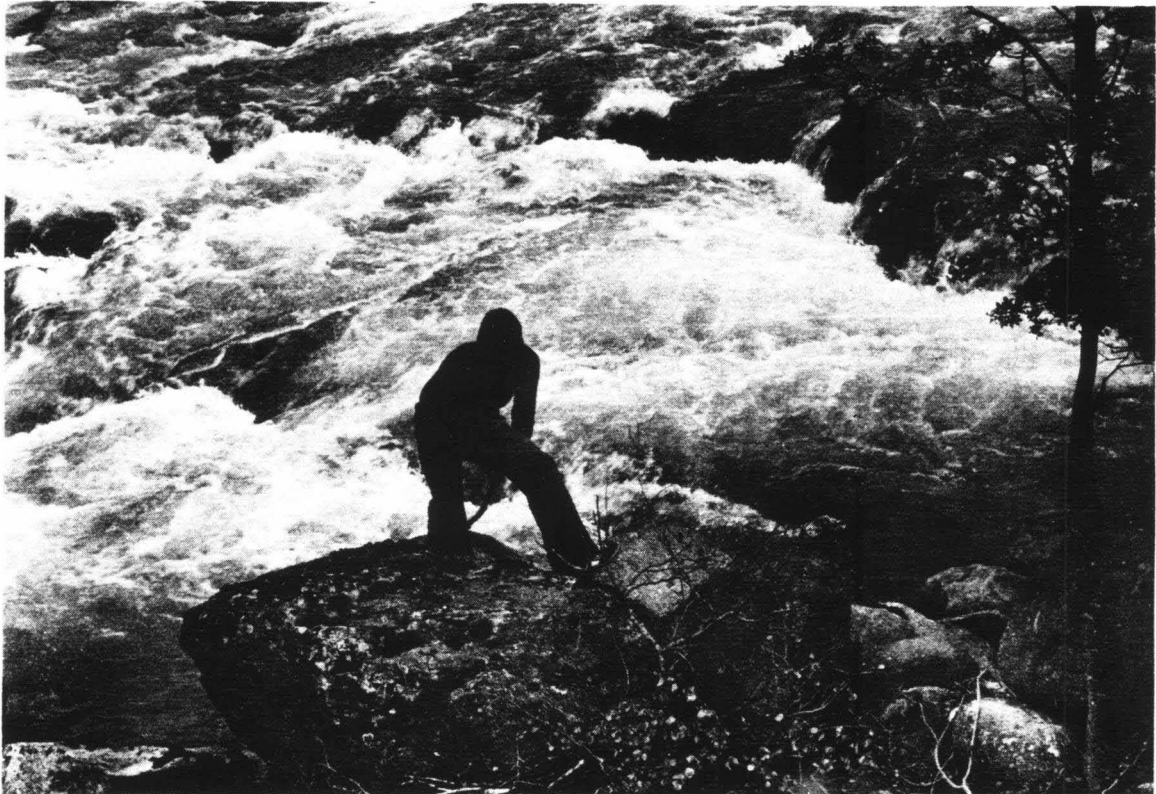


Fig. 9 Vannprøvetaking for bestemming av vannets innhold av suspendert materiale i et parti med sterk turbulens nedenfor dammen i Visa. Prøveflasken plasseres i en beholder påmontert ei lang stang og senkes med åpningen på skrå oppover til ønsket dyp.

Collecting water samples for the content of suspended material in a turbulent part of the Visa River below the dam. A bottle is inserted in a sampler on a long stick and lowered to desired depth.

for vedtatt å bygge en fangdam hvor bunntransportert materiale kunne akkumuleres og derved kunne bestemme dens størrelse i løpet av en sommerse-
song.

I mai foretok folk fra Statskraftverkene, Forbygningsavdelingen og Brekontoret en befaring langs Visa og sted for bygging av dammen ble vurdert. Av flere alternativer ble det valgt plassering umiddelbart nedenfor Visa bru ca. 1 km ovenfor samløpet med Bövra. Ovenfor brua løper Visa i et dypt gjel. Ved utløpet av gjelet vider elva seg ut og ca. 100 meter nedenfor brua deler den seg i to løp.

Fangdammen ble anlagt av Forbygningsavdelingen i begynnelsen av juni. Dammen er ca. 50 m brei og demmer opp Visa til utløpet av gjelet i en lengde av 75-80 meter. Limnigrafen ved Visa bru ble påvirket av oppdemmingen, fig. 7. Da dammen må betraktes som et ustabilt profil ble det opprettet et provisorisk vannmerke lenger opp i gjelet ca. 200 meter ovenfor brua, fig. 8. P.g.a. utilgjengeligheten må skalaen avleses i kikkert fra motsatt side av elva.

Allerede 16. juni oppsto det brudd i dammen under sterkt økende vannføring, fig. 7. Bruddet forårsaket at vannstanden i dammen sank med ca. 0,5 m og at strømmen gjennom dammen ble sterkere og mer konsentrert mot bruddstedet. Demningseffekten var imidlertid fremdeles betydelig. Bruddet ble reparert 5.-7. august. Dammen ble da også forsterket med et topplag av grov, skutt stein, og den holdt seg intakt resten av sommersesongen.

Målemetoder

Prøvetaking for beregning av transport av suspendert materiale kom i gang 17. juni. Rutinen har her vært den samme som ved andre stasjoner, dvs. med minst 5 daglige prøver og samtidige observasjoner av vannstanden, samt hyppigere prøvetaking ved flomsituasjoner. Vannprøvene ble tatt nedenfor dammen, fig. 9, da en regner med at alt slammet går gjennom dammen uten å sedimentere der. Observasjoner under nivelleringer viste

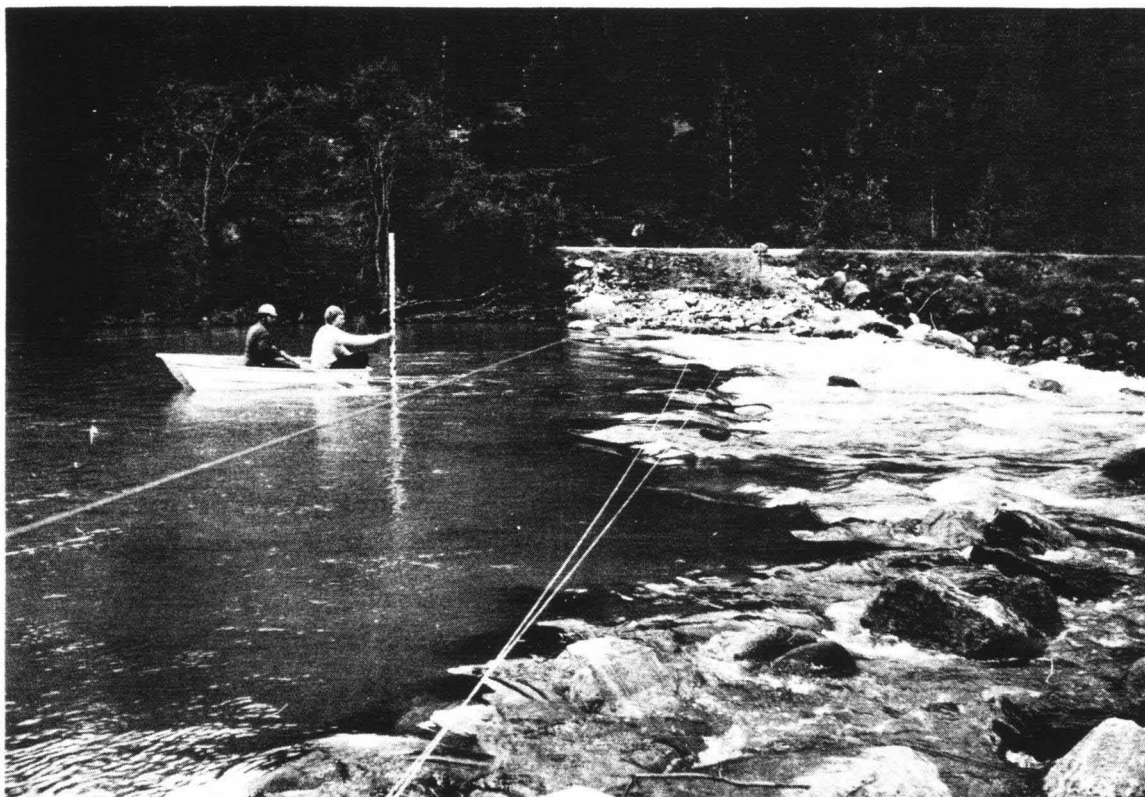


Fig. 10 Over de dypeste partiene av dammen i Visa ble nivellerstanga (4 m) holdt fra båt. De hvite snorene til høyre er en del av et gangspill for å flytte den bevegelige wiren. Bildet er tatt 4. september etter at dammen ble reparert og vannet strømmet over et breiere parti av damkrona.

In the deepest water behind the dam, the levelling rod is held by a man in a boat. The white lines to the right belong to an apparatus for moving one of the wires. The photograph was taken on September 4 after the dam had been repaired and water had begun to flow over a much wider part of the top of the dam.

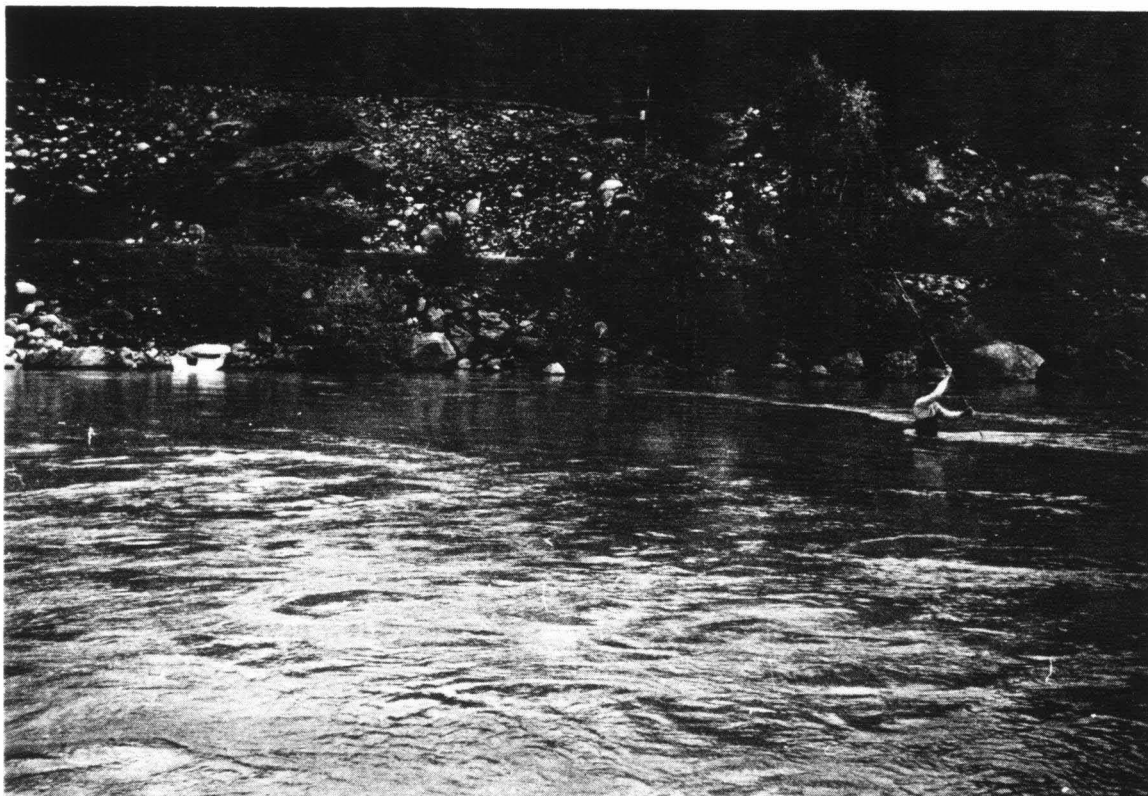


Fig. 11 I de grunnere delene av dammen ble nivellerstanga holdt av en mann i vadebukse. Han ble sikret med tau da strømmen kunne være sterk og bunnen løs og ujevn.

In the shallow parts of the dam the leveling rod was held by a man who had to be roped because the current was so fast and the bottom so unstable and uneven.

at det i bakevjer i dammen var avsatt en del slam, men mengden var ubetydelig i forhold til den totale slamtransporten.

Det ble strukket 4 wirer på tvers av dammen og bevegelige wirer mellom disse, merket for hver 2. meter. Dette ble brukt som koordinatsystem for nivellering av bunnen av dammen. Den første nivelleringen ble foretatt 17.-18. juni under vanskelig forhold med høy vannstand og sterk strøm. Ca. 220 punkter ble nivellert. Neste nivellering den 26.-27. juni ble foretatt under langt gunstigere forhold med mindre vannføring, ca. 490 punkter ble da nivellert. Bunnen av dammen ble nivellert i alt 8 ganger. Ved de 6 siste nivelleringene ble praktisk talt alle punktene i rutenettet på 2 x 2 meter nivellert, dvs. mellom 600 og 700 punkter. Målestanga ble til dels holdt fra båt, fig. 10. de grunneste partiene ble nådd av en mann i vadebukse, sikret med tau, fig. 11. Etterhvert som mer materiale ble akkumulert i dammen kunne større områder nås på denne måten. Det viste seg å være vanskelig å holde båten rolig ved punktene der det var noe strøm, og arbeidet ble derfor enklere og sikrere ved at flere punkter kunne nås ved vading. Forholdene ble imidlertid bedre etter at dammen ble reparert og vannet strømmet

jevnt over et breiere parti av damkrona, fig.10. Målestanga som ble brukt var påmontert ei plate i den nedre enden forat den ikke skulle synke ned i lösavsetningene.

Resultat

Diagrammene fig.12 viser beregninger av vannføring og suspensjonstransport i Visa. De meteorologiske dataene er hentet fra stasjonen "Bøverdal, Sletten" som ligger ca. 1 mil lenger opp i dalen ved garden Kvanndalsvoll

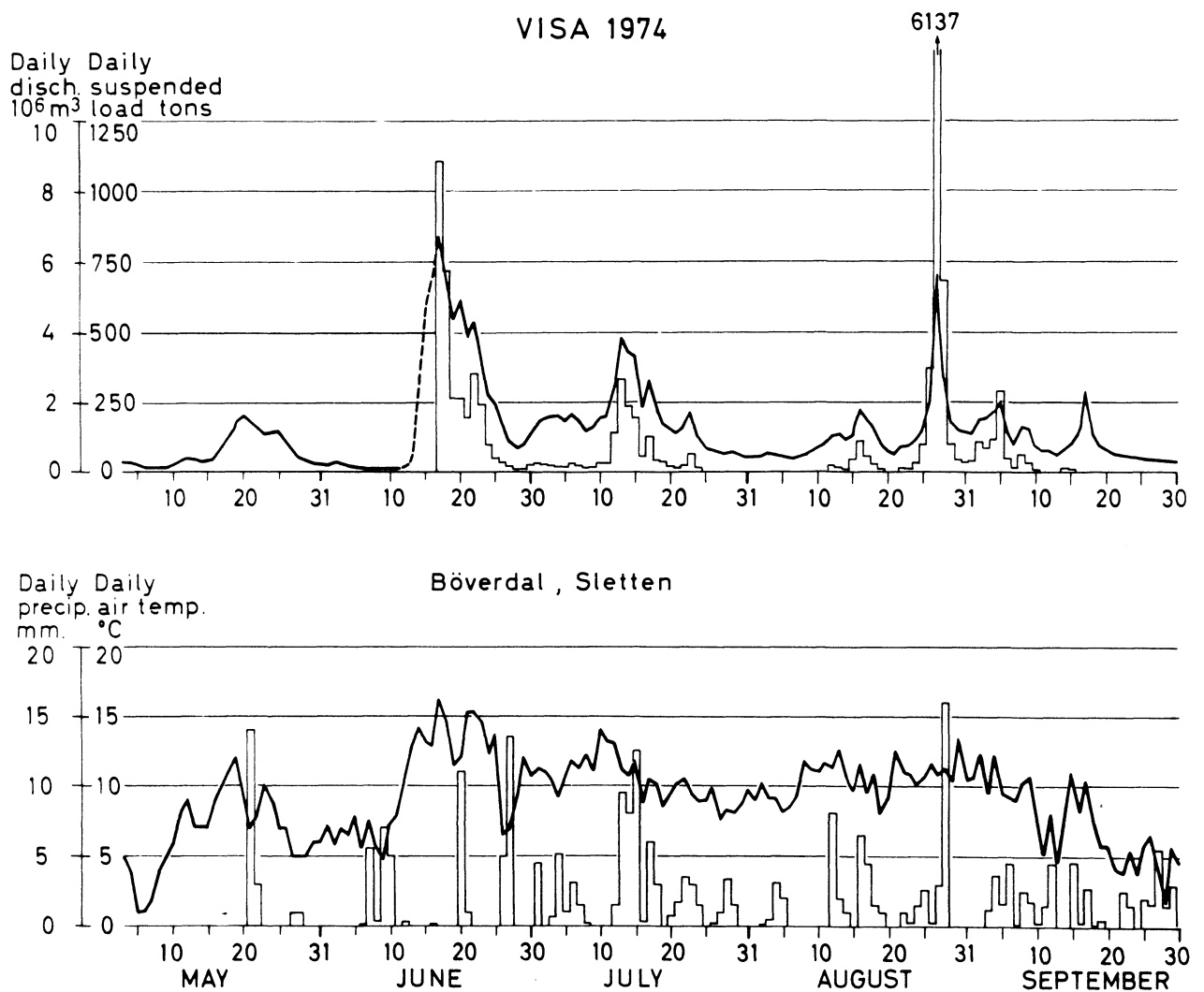


Fig. 12 Det øverste diagrammet viser døgnlig vannføring og beregnet transport av suspendert materiale. Nedenfor vises meteorologiske parametre målt ved stasjonen "Bøverdal, Sletten".

The upper diagram shows daily water discharge and estimated suspended loads. Meteorological parameters measured at the station "Bøverdal, Sletten" 10 km higher up in the valley are shown below.

701 m o.h. Største delen av Visas nedslagsfelt ligger vesentlig høyere enn denne stasjonen. Medianhøyden i Visadalen er nærmere 1700 m o.h. (Nordseth 1974). Stasjonen "Böverdal, Sletten" ligger ikke i Visas nedslagsfelt og det kan stilles spørsmål om hvor representativ den er for de meteorologiske forholdene her. Temperaturen vil være lavere og nedbøren ventelig noe høyere i Visas nedslagsfelt enn ved "Böverdal, Sletten". På grunn av høydeforskjellen vil noe av nedbøren ved lave, positive temperaturer ved "Böverdal, Sletten" falle som snø i Visas nedslagsfelt. Korrelasjonen mellom dataene fra den meteorologiske stasjonen og vannføringen i Visa er imidlertid forholdsvis god, så det er rimelig å anta at variasjonene ved "Böverdal, Sletten" er representative for Visas nedslagsfelt selv om tallene er noe anderledes.

Etter en kjølig periode i slutten av mai og begynnelsen av juni steg temperaturen betydelig fra den 12. juni til et maksimum den 17. Dette resulterte i sommerens første flom som kulminerte den 17. etterat målingene ble satt igang. Vannføringskurva på fig. 12 viser et fall fra målingenes start, men kulminasjonen er altså med i målingene og dagene før hadde lavere vannføring. Perioden fra 12. til 16. juni er ikke dekket av pålitelige vannstandsobservasjoner da limnigrafen ved Visa bru var påvirket av dambyggingen og senere også av bruddet i dammen. Det nye vannmerket i gjelet var ennå ikke opprettet.

Den 17. juni hadde årets største døgnvannføring med $6,6 \cdot 10^6 \text{ m}^3$. Den høyeste vannføring målt i m^3/s ble imidlertid observert den 27. august kl. 16 med $103 \text{ m}^3/\text{s}$ mot $86,7 \text{ m}^3/\text{s}$ den 17. juni. Flommen den 27. august var kortvarig, men sommerens høyeste konsentrasjon av suspendert materiale, 1870 mg/l ble registrert da. Dette er vesentlig mer enn ellers i løpet av denne sommeren og resultatet ble at 45% av slamtransporten i observasjonssesongen kom dette døgnet.

For observasjonsperioden er det beregnet en transport av suspendert materiale på 13 750 tonn. Som nevnt startet målingene under vårflommen. Man finner normalt en høyere slamføring under stigende vannstand enn under tilsvarende vannføring ved synkende vannstand. Slamtransporten i den første halvdel av vårflommen er derfor anslått til ca. 1800 tonn. Før vårflommen var det en mindre vannstandøkning omkring 20. mai med en antatt slamføring på ca. 100 tonn/døgn på det høyeste. Den totale transport av suspendert materiale for observasjonssesongen tok til er anslått til ca. 2300 tonn. Etter observasjonssesongens slutt var det en vannstandstopp den 17/9 som kan ha hatt en slamføring på ca. 300 tonn.

Transporten av suspendert materiale etter observasjonssesongen er anslått til ialt ca. 450 tonn. Den totale transport av suspendert materiale i 1974 skulle derved bli ca. 16 500 tonn.

Resultater fra akkumulasjonsmålingene i fangdammen er vist i tabell nedenfor.

Dato for nivellering	Høyeste vannføring	Pålagret materiale	Slamtransport
17 - 18/6	86,7 m ³ /s	580 tonn 21%	2210 tonn 79%
26 - 27/6	24,4 "	0 " }	340 " }
11 - 12/7	62,6 "	240 " 16%	1300 " 84%
23 - 24/7	25,4 "	80 " (53%)	70 " (47%)
10/8	22,4 "	0 " }	360 " }
23 - 24/8	103 "	855 " 10%	7850 " 90%
5 - 6/9	32,4 "	55 " 10%	470 " 90%
13 - 14/9			
		1810 tonn 13%	12600 tonn 87%

En pålagring fordelt over hele dammen på 1 cm tilsvarer ca. 50 tonn. Usikkerheten i den enkelte måling må anslås til minst denne størrelsen. Det gjør at de laveste akkumulasjonstallene for bunntransporten er meget usikre. Dette kan forklare det uvanlig høye forholdstallet for pålagret materiale i perioden 24/7 - 10/8. Forholdet mellom bunntransport og slamtransport varierer for de enkelte måleperiodene og viser en klar tendens til å avta utover sommeren. I den tiden da det var en mer konsentrert strøm mot bruddet i dammen kan endel av de minste partiklene i bunntransporten ha blitt ført gjennom dammen og således unndratt seg måling. Om en tar hensyn til dette, vil det forsterke tendensen til avtakende forhold mellom bunntransport og slamtransport utover sommeren.

Forholdstallet for bunntransportert materiale for hele måleperioden på 13% synes å være lavt for ei bre-elv. Målestedet ligger imidlertid langt fra breene, og endel grovt materiale har sikkert blitt avsatt mellom breene og målestedet, f.eks. i de nevnte sjøene og på sandurstrekninger.

Under anlegget ble bunnen i dammen utjevnet med bulldoser. Profilene som er vist på skissen fig. 13 antyder at det allerede før den første nivelleringen 17 - 18/6 var avsatt materiale i dammen. Profilene øverst i dammen viser at det var en bank under utbygging og denne har siden tiltatt i størrelse. Om man går ut fra et jevnt profil under det fra den første nivelleringen kan man anslå at det fra ca. 13. til 16. juni hadde akkumulert ca. 150 m³

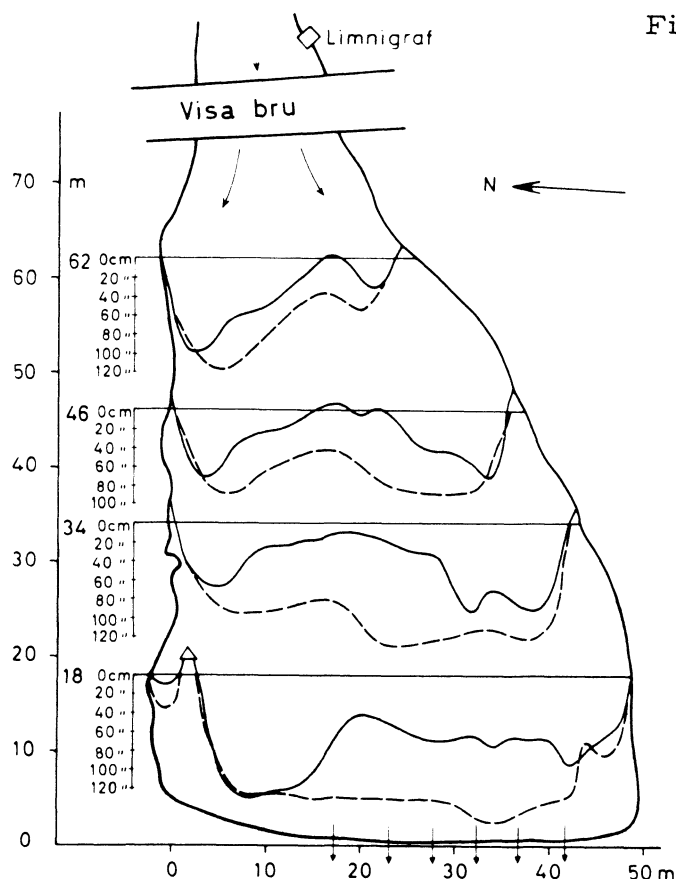


Fig. 13 Skisse av dammen i Visa nedenfor Visa bru. På skissen er det inntegnet 4 tverrprofiler fra sommerens første og siste nivellering. Området mellom den stiplede og den heltrukne streken angir akkumulasjonen av grovt materiale i hver av de 4 tverrprofilene.

Sketch of the dam in the Visa River. Four leveling profiles have been drawn for 1974. The area between the broken and the solid line gives the accumulation of bottom-transported material in each of the 4 cross profiles.

— Nivellert 17-18/6 — Nivellert 14/9

eller ca. 300 tonn grovmateriale i dammen. Dette tallet er i rimelig samsvarende med vannføringen i denne perioden. En liten vannføringstopp på ca. $35 \text{ m}^3/\text{s}$ den 17/9 etter observasjonssesongens slutt kan ha forårsaket en akkumulasjon på ca. 100 tonn. Hvis vi tar med disse to anslåtte mengder, blir den totale transport av grovt materiale i Visa i 1974 ca. 2100 tonn.

Den totale massetransporten (altså både bunntransportert grovt materiale og finmateriale i suspensjon) i Visa i 1974 blir etter dette anslagsvis 18600 tonn. Dette tilsvarer en fjerning av et lag breerodert materiale på 0,28 mm jevnt fordelt under alle breene i nedslagsfeltet. Breene, som dekker 13% av feltet, er utvilsomt de største produsenter, av løsmateriale, men store deler av Visas nedslagsfelt ligger i høydenivå der periglasiale prosesser som frostsprenging, jordsig o.l. også er meget aktive. Endel av materialet stammer derfor sikkert fra slike prosesser. Denne andelen kan her være av betydning, hvor den befrie delen av nedslagsfeltet er så stor som 87%.

En sammenlikning mellom avsetningen i de enkelte måleperiodene og vannføringen, fig. 14, og tabell s. 25 viser at det tydeligvis trengs en viss minstevannføring for det blir målbar avsetning i fangdammen. Denne minstevannføringen (høyeste vannføring i døgnet) synes å være omlag

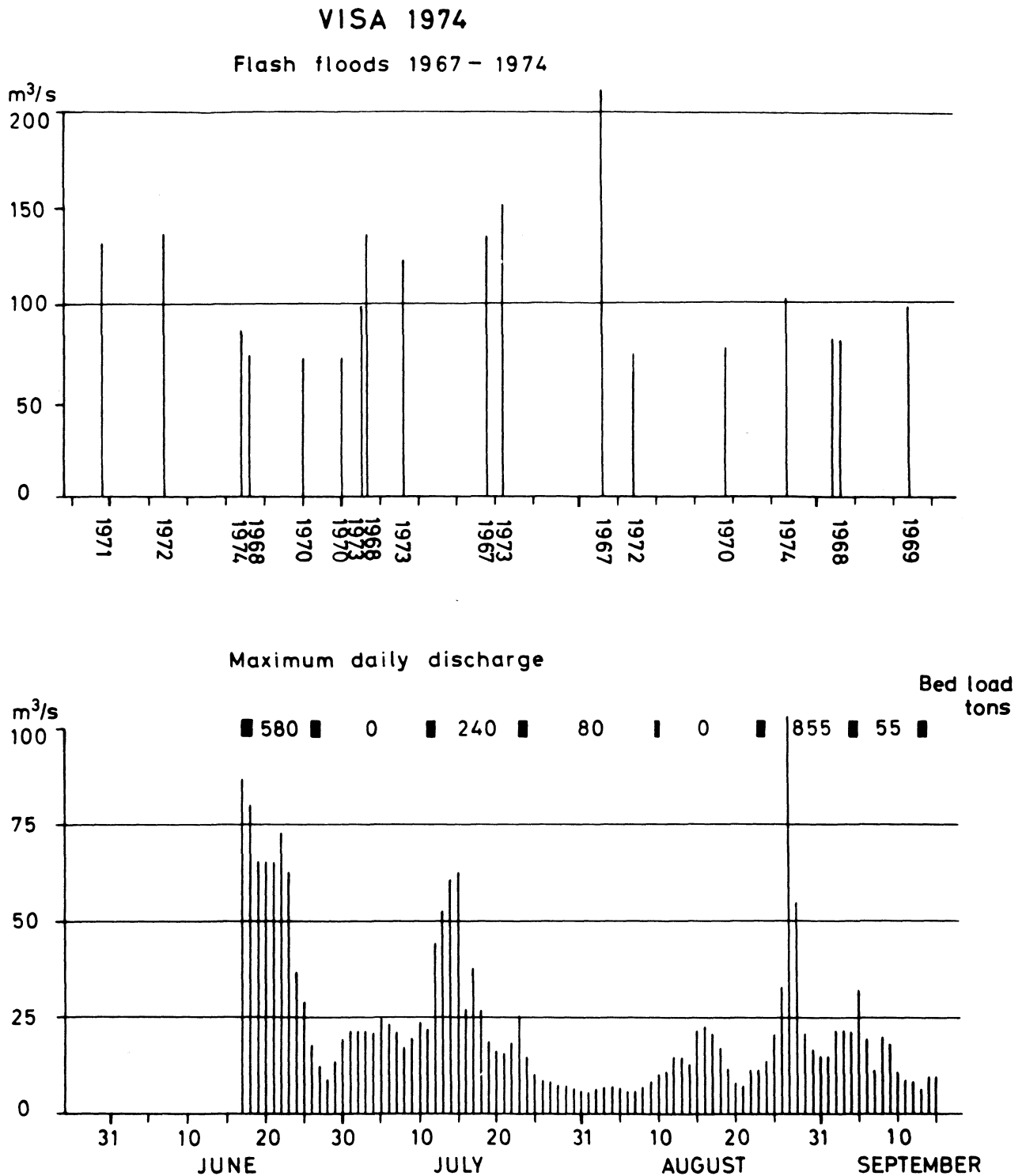
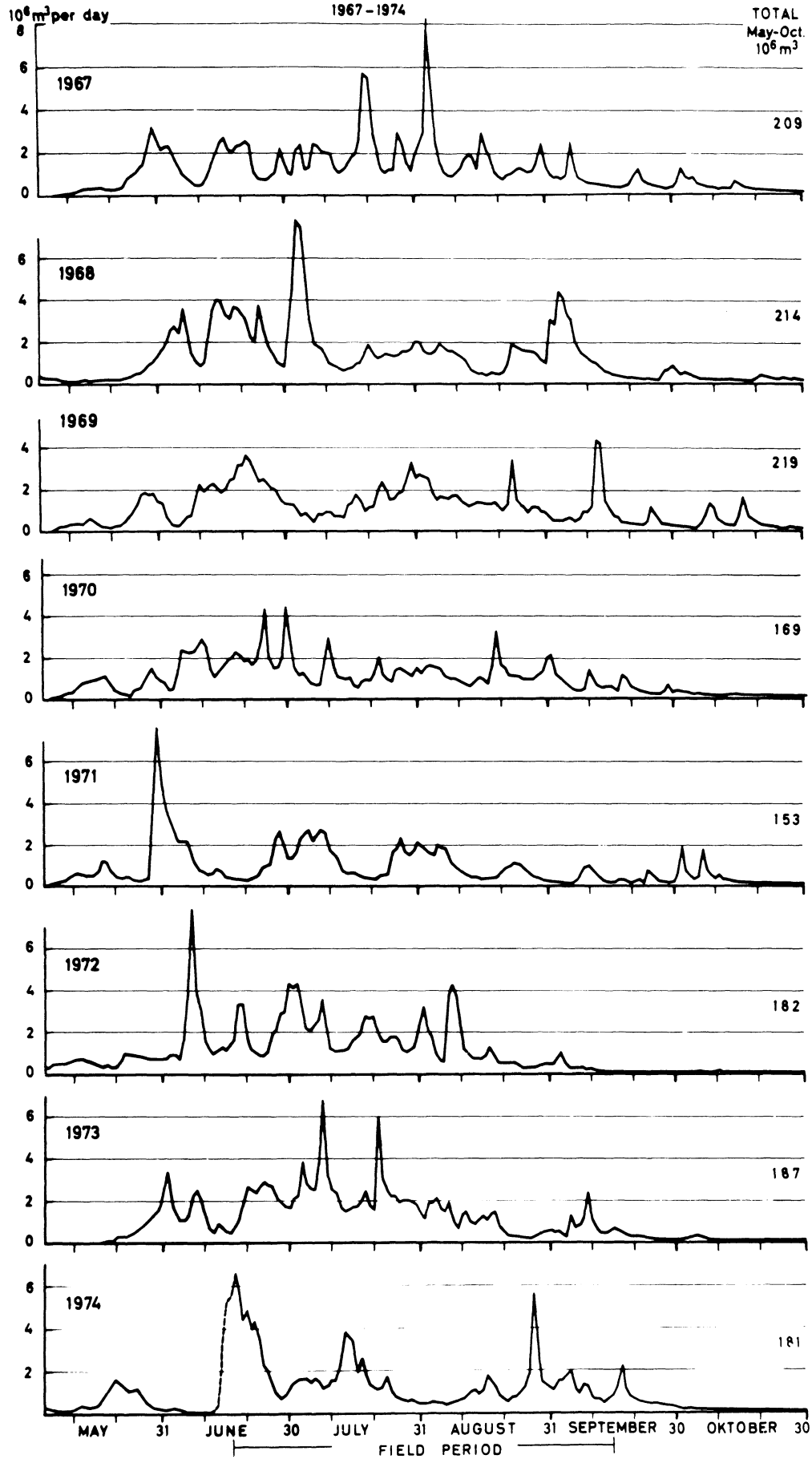


Fig. 14 Det övre diagrammet visar de högste flomvannföringer som er registrert ved vannmerket ved Visa bru siden det ble opprettet i 1967. Det nederste diagrammet viser høyeste daglig vannføring i observasjonsperioden i 1974. Øverst er angitt den beregnede mengden av avsatt grovmateriale i periodene mellom hver enkelt nivellering.

The upper diagram shows flash floods in Visa in the period 1967-1974. Below, maximum daily discharge is shown for the observation period of 1974. On the upper part the calculated accumulation of bed load is shown for the periods between each levelling.

VISA
WATER DISCHARGE
1967-1974



$25 \text{ m}^3/\text{s}$. Det tilsvarer $1,75 - 2,0 \cdot 10^6 \text{ m}^3/\text{dögn}$.

Den største avsetningen skjedde i perioden mellom 23.-24. august og 4.-5. september da det ble avsatt ca. 427 m^3 eller ca. 855 tonn grovt materiale i fangdammen. I denne perioden forekom sommerens høyeste vannføring, $103 \text{ m}^3/\text{s}$, ellers i denne perioden var det bare tre dager med en høyeste vannføring mellom 25 og $40 \text{ m}^3/\text{s}$. Resten av perioden hadde lavere vannføring. Det er derfor grunn til å anta at det vesentlige av materialet ble avsatt i løpet av en dag. Den 17/6 var høyeste vannføring $86,7 \text{ m}^3/\text{s}$. Det ble da avsatt 4-500 tonn grovt materiale. Dette er naturligvis et for spinkelt grunnlag til å kunne bestemme en eventuell relasjon mellom vannføring og bunntransport, om en sådan overhode eksisterer. Men det indikerer at bunntransporten øker meget sterkt når vannføringen øker utover $25 \text{ m}^3/\text{s}$. Det er ikke urimelig at forholdet tilsvarer forholdet mellom vannføring og slamtransport som for kortere perioder har vist seg å kunne uttrykkes ved parabel-liknende kurve (Östrem 1972). Det er således de største flommene som fører med seg mesteparten av grovmaterialet. I 1974 ble ca. 80% av grovmaterialet avsatt i løpet av to relativt korte flomperioder.

Hvorvidt den målte og beregnede avsetningen i 1974 er representativ for massetransporten i Visa er det vanskelig å si noe bestemt om ut fra ett års målinger. For å få et begrep om representativiteten for året 1974, er en sammenstilling av avrenningen for månedene mai-oktober de siste 8 år vist på fig. 15. Gjennomsnittlig avrenning for denne perioden er $189 \cdot 10^6 \text{ m}^3$. Avrenningen i 1974 var således ca. 5% lavere enn dette. Det synes imidlertid som den høyeste vannføringen under flomperiodene er av større betydning for bunntransporten enn størrelsen av det totale avløpet. Av de siste 8 år er det bare to år da høyeste flomvannføring var lavere enn i 1974, fig. 14. Den gjennomsnittlige maksimal-vannføring for disse årene er $130 \text{ m}^3/\text{s}$ mot $103 \text{ m}^3/\text{s}$ i 1974. Den høyeste målte vannføringen fant sted 3/8 1967 med ca. $210 \text{ m}^3/\text{s}$. Å anslå massetransporten for større vannføringer enn det som forekom under måleperioden i 1974 kan ikke gjøres uten stor usikkerhet. Om den funne tendensen med sterk øking i grovmassetransporten ved økende vannføring brukes ved beregninger

Fig. 15 Døgnlig vannføring ved Visa bru fra mai til oktober i perioden 1967-1974. Tallet til høyre angir avløpet i disse månedene for hvert år.

Daily discharge in the Visa River from May to October in the years 1967-1974. The number to the right gives the total discharge in these months for each year.

kan transporten av grovmateriale ved en vannføring på $200 \text{ m}^3/\text{s}$ ha vært av størrelsesorden ca. 5 000 tonn. Ved en maksimalvannføring på $130 \text{ m}^3/\text{s}$ vil den kunne anslås til ca. 1 500 tonn.

En sammenlikning med akkumulasjonen på deltaet ved innløpet i Nigardsvatnet kan gi en ide om avsetningen av grovt materiale i 1974 i forhold til tidligere år. I 1974 var tilveksten på deltaet der ca. 6 400 tonn mot ca. 10 000 tonn som gjennomsnitt for de siste 6 år; altså også her forekom en mindre grovmassetransport enn "normalt" for de senere år.

Som konklusjon kan en da si at bunntransporten i Visa i 1974 sannsynligvis var betydelig lavere enn i et normalår.

Sunndöla

Innledning

I forbindelse med et eventuelt takrenneprosjekt langs vestsida av den nordligste delen av Jostedalsbreen og Tystigbreen er det i 1974 satt i gang måling av breslam i Sunndöla. Ved målestedet ved den nedlagte garden Sunndalen (fig.16) har Sunndöla et nedslagsfelt på 60 km^2 hvorav 21 km^2 (eller 35%) er dekket av breer. I alt 5 breenheter drenerer til Sunndöla ved målestedet (Östrem & Ziegler 1969).

Den sørvestlige del av Tystigbreen ($9,4 \text{ km}^2$) er den største av breene, fig. 21. Den dreneres av Tverrelva som løper sammen med Sunndöla i to løp nedenfor Sunndalsæter 2,5 - 3 km ovenfor målestedet. Ca. 2 km nedenfor breen løper Tverrelva over et mindre sandurområde, fig.17. En nordlig utløper av Sogneskarbreen ($1,0 \text{ km}^2$) dreneres av Kupelva gjennom et ca. $0,1 \text{ km}^2$ stort vatn. Elva fra den vestlige utløperen av Sogneskardbreen ($7,5 \text{ km}^2$) løper gjennom Sogneskardvatna, fig.18, der er henholdsvis ca. 0,15 og ca. $0,08 \text{ km}^2$. Tre av de fire breene på vestsida av dalen ($1,35 \text{ km}^2$) drenerer også til disse vatna og et mindre vatn lenger nede i vassdraget. En del av bretilsiget løper således gjennom vatn, der en viss sedimentasjon sikkert foregår. Størrelsen av denne sedimentasjon er ukjent. Den fjerde og største breen på vestsida av dalen, Sandskardfonna ($1,75 \text{ km}^2$) dreneres av Sandgrova som løper ut i Sunndöla nedenfor det planlagte inntaket.

Målemetodene ved stasjonen i Sunndalen har vært de samme som ved de andre målestasjonene. En limnigraf har vært i drift ved målestedet siden 1. juli 1967. Det har imidlertid vært problemer med profilendringer og 19. desember 1972 ble limnigrafen flyttet ca. 300 meter lenger ned i vassdraget. Vannføringskurven for det nye vannmerket er basert på relativt få målinger

og må derfor betraktes som foreløpig.

Målingene kom i gang 30. mai og varte til 14. september og pågikk i alt i 108 dager. Etter noen vanskeligheter i starten p.g.a. sykdom og ofte skifting av observatør, har målingene gått med god regelmessighet. Alle flommer

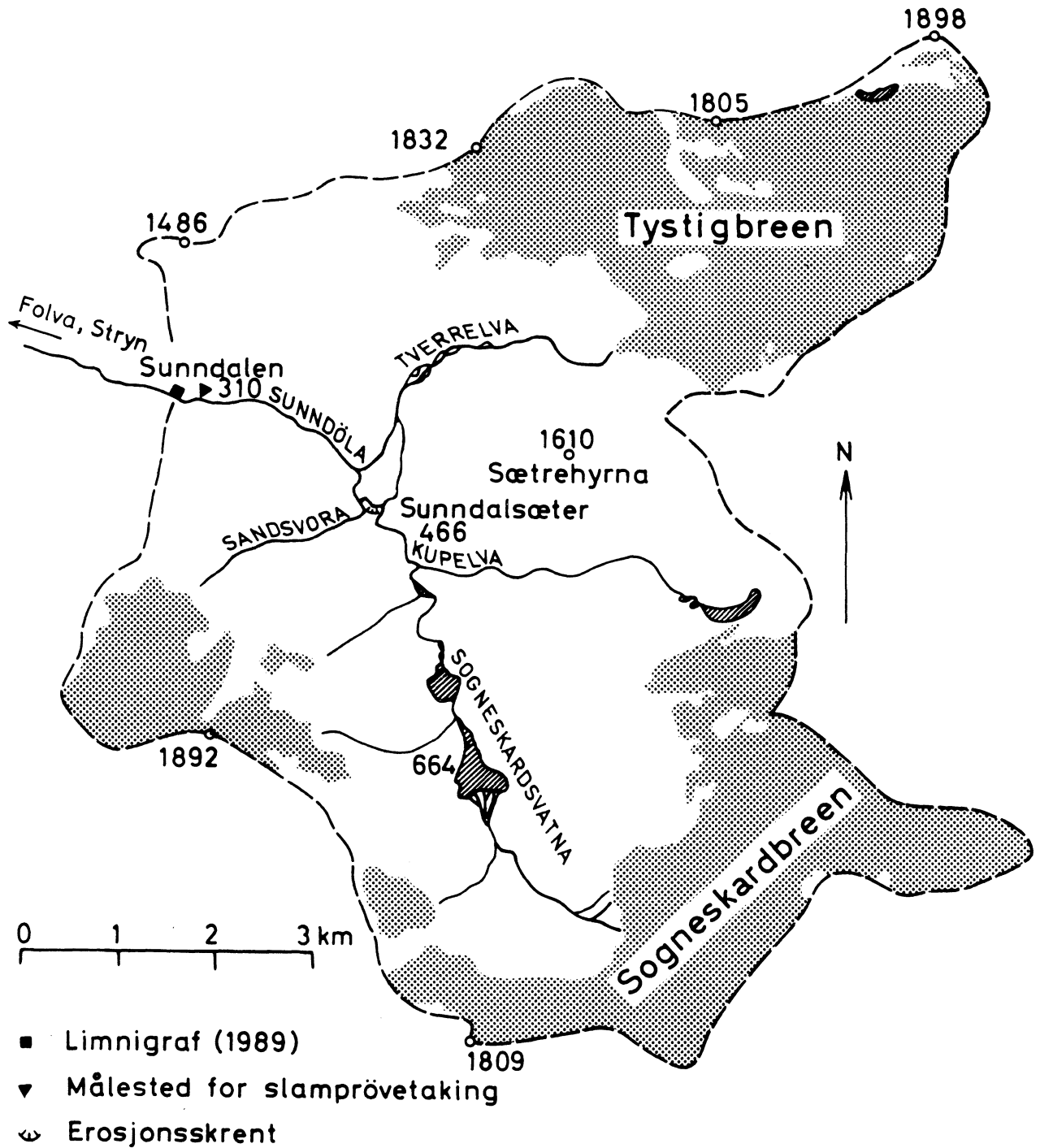


Fig. 16 Kartskisse over Sunndölas nedslagsfelt ovenfor målestedet ved den nedlagte garden Sunndalen. Tallene angir høyde i m o. h.
 Map showing the drainage area of the river Sunndöla above the observation station at the farm Sunndalen. The numbers give the altitude in m a. s. l.



Fig. 17 Sandur i Tverrelvas l p ca. 2 km nederfor Tystigbreen. Foto mot vest.

The sandur area in the river Tverrelva about 2 km west of the glacier. View towards west.



Fig. 18 Sogneskardsvatna med Sogneskardsbreen i bakgrunnen. Foto mot sør.

The northwestern part of the glacier Sogneskardsbreen with two small lakes (Sogneskardsvatna) in front of the glacier. View towards south.

av betydning er dekket med et rikelig antall prøver. I tillegg til den daglige prøvetakingen ved Sunndalen gard er det tatt enkelte prøver i de forskjellige tilløpselvene ved Sunndalsæter.

Resultat

Diagrammene, fig. 19, viser resultater av observasjoner og beregninger av målinger ved Sunndalen gard i 1974. Det er ingen god overensstemmelse mellom de meteorologiske parametrene og avrenningen i Sunndøla. Dette

SUNNDØLA 1974

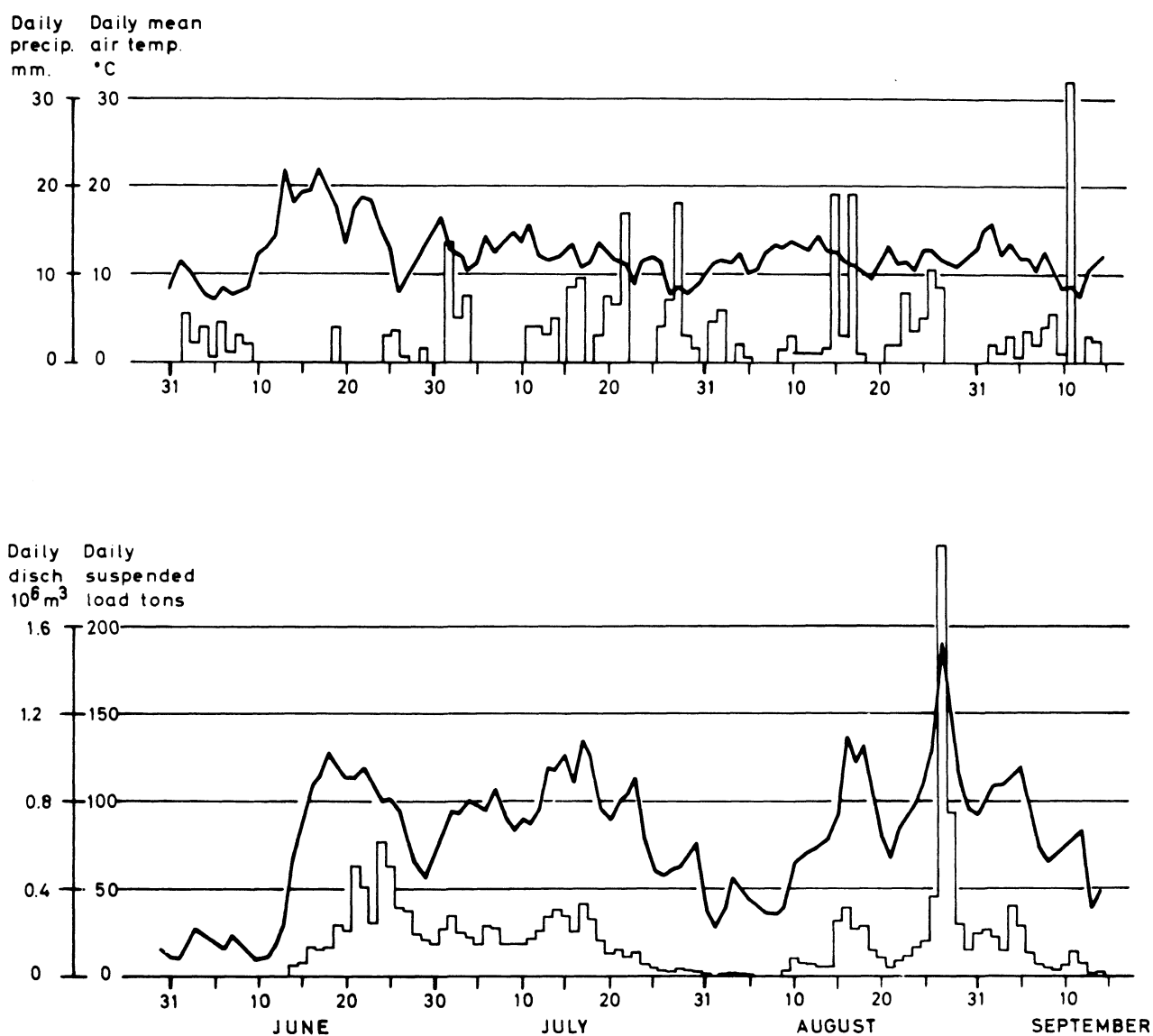


Fig. 19 Det överste diagrammet viser meteorologiske parametre målt ved stasjonen ved Sunndalen gard i 1974. Nedenfor vises døgnlig vannføring og beregnet transport av suspendert materiale.

The upper diagram shows meteorological parameters measured at the observation station in Sunndalen in 1974. Daily water discharge and estimated suspended loads are shown below.

kan skyldes at spesielt nedbøren nede i den trange dalen ikke er representativ for nedbørfeltet. Nedbøren er ganske sikkert mindre nede i dalen enn i fjellområdene omkring, og dessuten kan fordelingen av nedbøren variere, avhengig av f. eks. vindretningen.

Den høyeste beregnede døgnvannføringen på $1,53 \cdot 10^6 \text{ m}^3$ fant sted den 27. august, dvs. samme dag som ved Nigardsvatnet (fig. 5). Dette døgnet hadde også den største slamføringen med 245 tonn. Slamkonsentrasjonen i Sunndöla varierte i måleperioden for det meste mellom 10-50 mg/l. Den høyeste verdien ble målt kl. 0800 under flommen 27. august med 328 mg/l, mens den høyeste vannføringen denne dagen forekom kl. 1100 med $21,3 \text{ m}^3/\text{s}$. For hele observasjonssesongen er det beregnet at det foregikk en transport av suspendert materiale på ialt ca. 2100 tonn. For observasjonssesongen kan det ha blitt transportert ca. 100 tonn finmateriale, mens det etter observasjonssesongen var en liten flom som kan ha forårsaket en transport av ca. 150 tonn finmateriale. Samlet vil da ca. 2350 tonn finmateriale ha blitt transportert forbi målestedet i Sunndalen i 1974.

Det er som nevnt tatt enkeltprøver i de forskjellige tilløpselvene som til sammen danner Sunndöla ved Sunndalsæter. Det viser seg at det er betydelig forskjell i slamføringen i de enkelte elvene. Tverrelva er den mest slamførende. Slamprøvene fra Tverrelva inneholdt 2-5 ganger så mye slam som Sunndöla. Tilsvarende prøver fra Kupelva etter samløpet med elva fra Sogneskardvatna inneholdt bare 10-40% sammenliknet med Sunndöla eller 5-15% sammenliknet med Tverrelva. Prøvene i Kupelva ble tatt ovenfor en 3-4 meter høy erosjonsskrent i finkornig materiale nedenfor Sunndalsæter. Prøvene tatt nedenfor skrenten viste at slamkonsentrasjonen her er opptil 4 ganger høyere enn ovenfor, i gjennomsnitt ble slamkonsentrasjonen omlag fordoblet etter å ha passert erosjonsskrenten. Elva graver i denne skrenten i en yttersving (fig. 20) der det flere steder har rast ned materiale (fig. 22). De daglige prøvene ved Sunndalen gard viser enkelte dager øking i slamkonsentrasjonen som ikke kan henføres til øking i vannføringen. Dette kan rimeligvis skyldes ras i den nevnte erosjonsskrenten.

Samlet for hele observasjonssesongen er det rimelig å anta at 80-90% av finmaterialet som ble registrert ved Sunndalen gard kom fra Tverrelva. 5-10% kom fra Kupelva og elva fra Sogneskardvatna, en liknende andel fra erosjonsskrenten nedenfor Sunndalsæter og 3-5% fra Sandgrova. Kupelva og elva fra Sogneskardvatna drenerer et område som er mer enn $1\frac{1}{2}$ gang så stort som Tverrelvas nedslagsfelt. Likevel er Tverrelvas store andel av slamtransporten i Sunndöla rimelig. I motsetning til de andre elvene

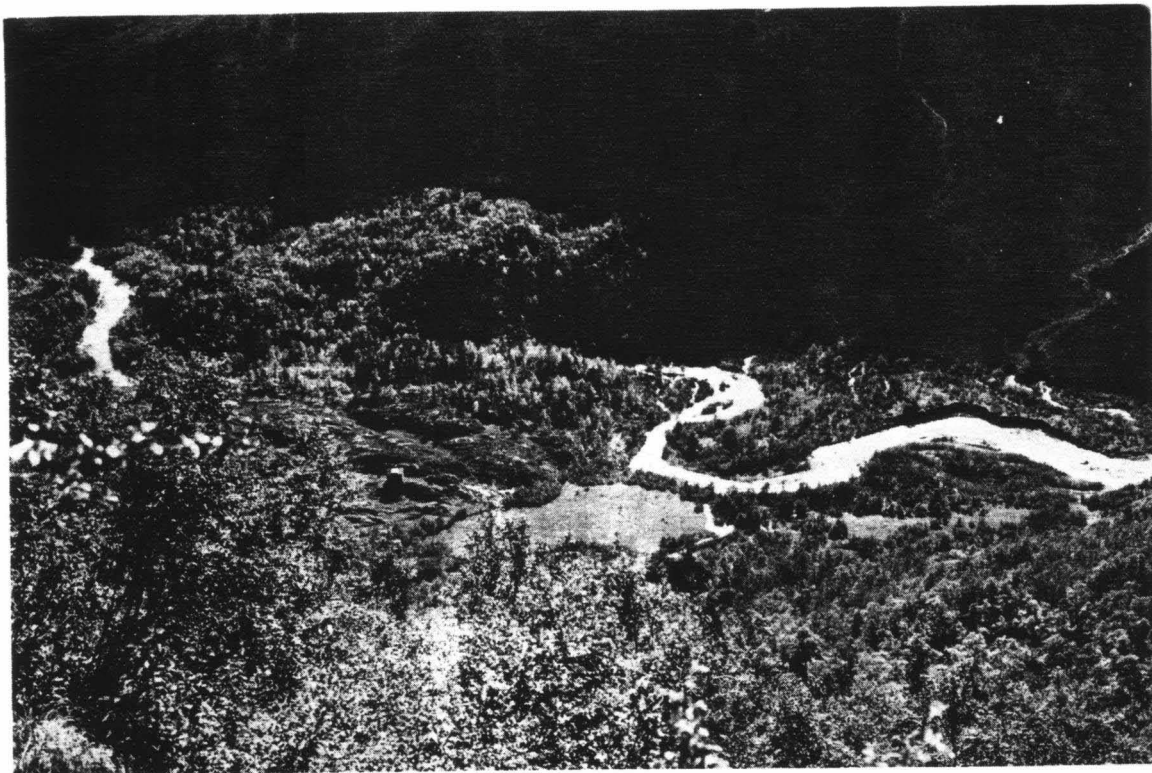


Fig. 20 Sunndöla ved Sunndalsæter. Lengst til høyre på bildet ses en erosjonsskrent hvor elva graver seg inn i en yttersving. Foto mot sørvest.

The river Sunndöla at Sunndalsæter. In the bow to the right the river is eroding. View towards southwest.

går den ikke gjennom noe vatn og finmaterialet har således liten anledning til å sedimentere.

Bunntransporten i Sunndöla er vanskelig å anslå. Elva fra den vestlige delen av Sogneskardbreen sedimenterer rimeligvis det materiale den fører i bunntransport i Sogneskardvatna. Vatnet i Kupelva ligger like ved breen og det fanger antakelig opp det meste av grovmaterialet fra den vestlige utløperen av Sogneskardbreen. Kupelva har imidlertid et sterkt forgrenet løp ovenfor Sunndalsæter og dette tyder på ustabilitet og en ikke ubetydelig bunntransport. Også det meste av bunntransporten i Sunndöla kommer rimeligvis med Tverrelva fra den vestlige delen av Tystigbreen. Dette er den største breen i nedslagsfeltet og dens sørvestlige utløper (til høyre på fig. 21) synes å være en aktiv bre. Noe av grovmaterialet vil kunne avsettes på sandurområdet (fig. 17) før elva renner ut i Sunndalen. En betydelig del av materialet når rimeligvis Sunndöla, som altså kan føre det videre.

Om en regner at 85% finmateriale i Sunndöla kommer fra Tverrelva, vil det i 1974 si ca. 1 950 tonn. Settes bunntransportens andel av den totale

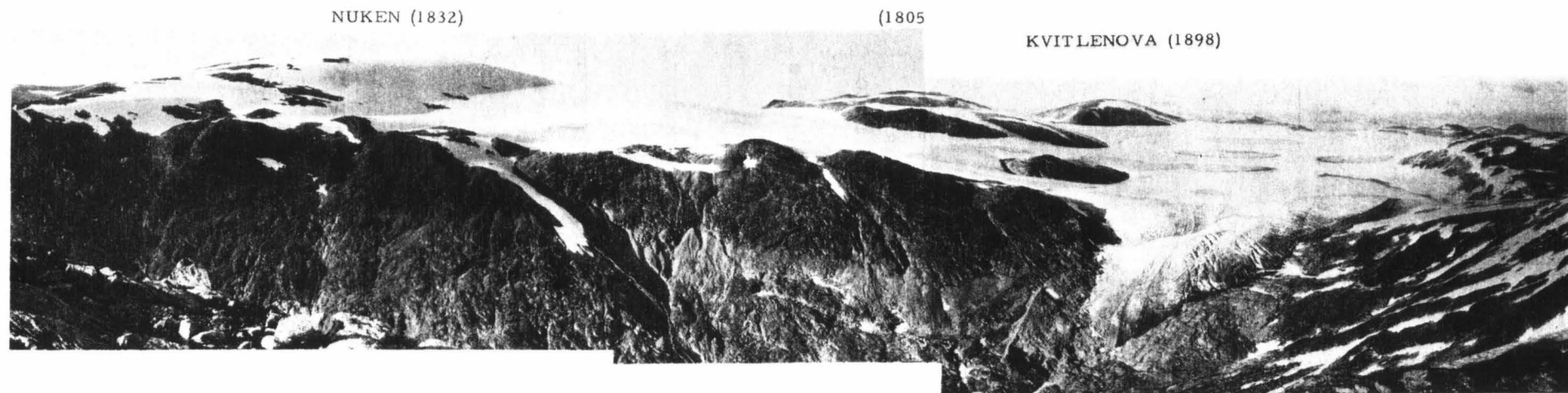


Fig. 21 Den sørvestlige delen av Tystigbreen sett fra Sætrehyrna (fig. 16). Tverrelva kommer fra den aktive breutløperen til høyre på bildet.

The southwestern part of the glacier Tystigbreen as seen from Sætrehyrna (Fig. 16). The river Tverrelva starts at the active glacier tongue to the right.

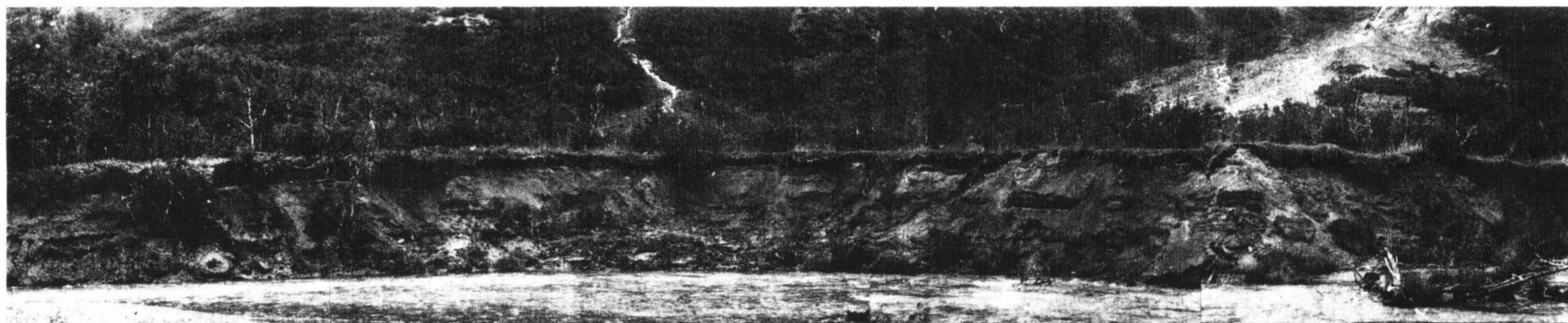


Fig. 22 Detalj av erosjonsskrenten på fig. 20. Elva undergraver skrenten og det går stadig mindre ras. Materialet er overveiende silt og fin sand som blir ført med elva i suspensjon.

Part of the eroded river bank shown on Fig. 20. The river is undercutting the bank causing it to collapse frequently. The material, mostly silt and fine sand, is transported by the river in suspension.

materialtransporten til 40%, vil det for Tverrelva utgjøre ca. 1 300 tonn. Det vil si at den totale materialtransporten fra den vestlige delen av Tystigbreen i 1974 var ca. 3 250 tonn. Dette tilsvarer en fjerning av et lag breerodert materiale på 0,17 mm jevnt fordelt under hele breen.

Det foreliggende materialet gir ikke grunnlag for å kunne anslå den totale materialtransporten for de andre tilløpselvene, fordi vi vet for lite om hvor stor del av finmaterialet som sedimenteres i de forskjellige vatna i vassdraget.

Den gamle limnigrafen var som nevnt utsatt for profilendringer og det er klart at den viste for høye vannstander og beregnet avløp ble dermed for stort. Bare fra de siste to årene foreligger det ensartede målinger av vannføringen. Avrenningen i perioden mai til oktober disse to årene er av omlag samme størrelse, mens høyeste flomvannføring i 1974 var ca. 20% lavere enn i 1973. Det er ut fra dette vanskelig å si noe om hvor representativt resultatet av målingene sommeren 1974 er for materialtransporten i Sunndöla og dens tilløpselver. En mulighet er å sammenlikne med et nærliggende brevassdrag hvor det foreligger data.

For elva fra Nigardsbreen foreligger det målinger for flere år tilbake. En sammenlikning med disse viser at forskjellene i avløpet de to siste årene er noe større her enn i Sunndöla. Avløpet fra Nigardsbreen i perioden mai-oktober var ca. 10% lavere i 1974 enn i 1973, mens den høyeste flomvannføringen var ca. 30% lavere. Sammenliknet med gjennomsnittet for de siste 6 årene var avløpet fra Nigardsbreen i 1974 ca. 15% lavere, mens materialtransporten var ca. 40% lavere.

Forskjellen i avløpstallene for de siste to årene for disse to brevassdragene kan skyldes beliggenheten på henholdsvis øst- og nordvestsida av Jostedalsbreen. Breprosenten i nedslagsfeltene er også forskjellig, henholdsvis 73 og 35%. Forskjellen i avløpet kan muligens variere noe fra år til år, men det synes likevel rimelig å anta at variasjonene i avløpet for disse to vassdragene kan sammenliknes. Det er nemlig et godt samsvar mellom avløpskurvene for de to vassdragene i 1974 (fig. 2), og det samme gjelder for 1973.

Som konklusjon kan det da sies at materialtransporten i Sunndöla i 1974 var lavere enn i et normalår, sannsynligvis 20-40% lavere enn gjennomsnittet for de siste årene.

Sluttord, Sör-Norge

Av de tre undersøkte bre-elvene i Sör-Norge i 1974 er det tidligere bare foretatt undersøkelser av materialtransporten i elva fra Nigardsbreen. Sammenliknet med tidligere års observasjoner og beregninger var materialtransporten i 1974 her av de laveste som er registrert. Man kan derfor vente at observasjonene fra de andre to elvene også er lavere enn i et "normalår".

Som fig. 2 viser er det godt samsvar i variasjonene i avløpet i de tre bre-elvene. Dette skyldes at de tre nedbørfeltene domineres av de samme vær-situasjonene.

Den gjennomsnittlige slamkonsentrasjonen for hele observasjonssesongen var omlag 42 mg/l i elva fra Nigardsbreen, ca. 30 mg/l i Sunndöla og ca. 97 mg/l i Visa. Observasjonssesongen startet ca. 3 uker senere i Visa enn i de to andre elvene. I disse 3 ukene var det lav vannføring og ventelig lave slamkonsentrasjoner. Det betyr at tallet for Visa er 10-20% for høyt, men likevel vesentlig høyere enn for de to andre elvene.

Variasjonene i slamkonsentrasjonen gjennom sommeren var noe forskjellig i de tre elvene. Den var liten i elva fra Nigardsbreen, mer markert i Sunndöla og absolutt størst i Visa. I de kjølige periodene i juli og begynnelsen av august var slamkonsentrasjonen i Visa mindre enn i de to andre elvene. Men de høye konsentrasjonene under flommen i august trakk gjennomsnittstallet for Visa mye opp.

En sammenlikning mellom bunntransportundersøkelsene i elva fra Nigardsbreen og Visa viser at bunntransportens andel av den totale materialtransporten er vesentlig større i elva fra Nigardsbreen enn i Visa, henholdsvis 52 og 13%. Det skyldes trolig at observasjonsstedet i Visa ligger langt nede i vassdraget i forhold til breene, mens det ved Nigardsbreen ligger umiddelbart nedenfor breen uten mulighet for avsetning på denne korte elvestrekningen. Visa derimot løper over flere sandurstrekninger og enkelte av tilløpselvene løper dessuten gjennom vatn der alt grovmaterialet avsettes, mens store deler av finmaterialet passerer.

Det foreligger data fra undersøkelsene ved Nigardsbreen gjennom flere år samt vannføringsdata fra Visa fra 1967 og sammenliknbare data fra Sunndöla fra 1973. Det synes klart at den totale materialtransporten også i disse to vassdragene var mindre i 1974 enn gjennomsnittet i de siste årene. Dette skyldes delvis at avrenningen i 1974 var mindre enn normalt, men særlig at flommene denne sommeren var betydelig mindre enn vanlig.

MATERIALTRANSPORTUNDERSÖKELSER VED BREER I SVARTIS- OMRÅDET, 1974

Sammenfattende beskrivelse

Materialtransportundersøkelsene fortsatte i 1974 ved Engabreen (38 km^2), en vestlig utløper fra Svartisen, Trollbergdalsbreen (2 km^2), en liten dalbre nord for Svartisen og Høgtuvbreen ($2,6 \text{ km}^2$), en utløper av et brekompleks på Høgtuvmassivet sør for Svartisen. Ved Engabreen begynte undersøkelsene i 1969, ved Trollbergdalsbreen i 1970 og Høgtuvbreen i 1971.

Vær- og vannføringsforholdene gjennom avrenningssesongen

Forut for avrenningssesongen var det en mild vinter med nedbør noe over det normale. Snømengdene på de observerte nord-norske breene var ved vinterens slutt ca. 120% av det normale ifølge direkte målinger på breene (Tvede 1975). Avrenningen i området kom i gang i midten av juni da et høytrykk ga varmt vær. Mot slutten av måneden ble høytrykket avløst av en fuktig og kjølig værtype. Denne værtypen vedvarte i hele juli som hadde en litt lavere gjennomsnittstemperatur enn normalt. Nedbøren var noe over det normale, men jevnt fordelt slik at det ikke resulterte i noen store flommer. Også august var preget av den samme værtypen, men temperaturen og nedbøren var nå nær eller noe i overkant av det normale.

September ble innledet med østlig vind som ga mildt, tørt vær. I den midterste halvdel av måneden var det igjen fuktig vær med en relativt høy avrenning. Etter ca. 20. september avtok avrenningen.

Samlet var avrenningen fra breområdene som inngår i Svartis-undersøkelsene noe under det normale. Fig. 23 viser en sammenstilling av vannføringsobservasjonene for 1974 fra de 3 undersøkte bre-elvene. Også dette året er det godt samsvar i vannføringsvariasjonene gjennom sesongen. Med unntak av vårflommen ved Høgtuvbreen, som er dekket av usikre målinger p. g. a. isoppstuing, forekom det ikke noen høye flommer i 1974.

Generell kommentar til årets observasjoner

Observasjonssesongen ved bre-elvene i Svartisområdet varte fra begynnelsen eller midten av juni til begynnelsen av september. Måleseriene er uten avbrudd og dekker godt de viktigste begivenhetene i avrenningsperioden. De fleste vannmerkene har vært kontrollert. Beregningsgrunnlaget for årets data skulle derfor være tilfredsstillende.

OBSERVED GLACIERS NORTH NORWAY 1974

Daily discharge variations

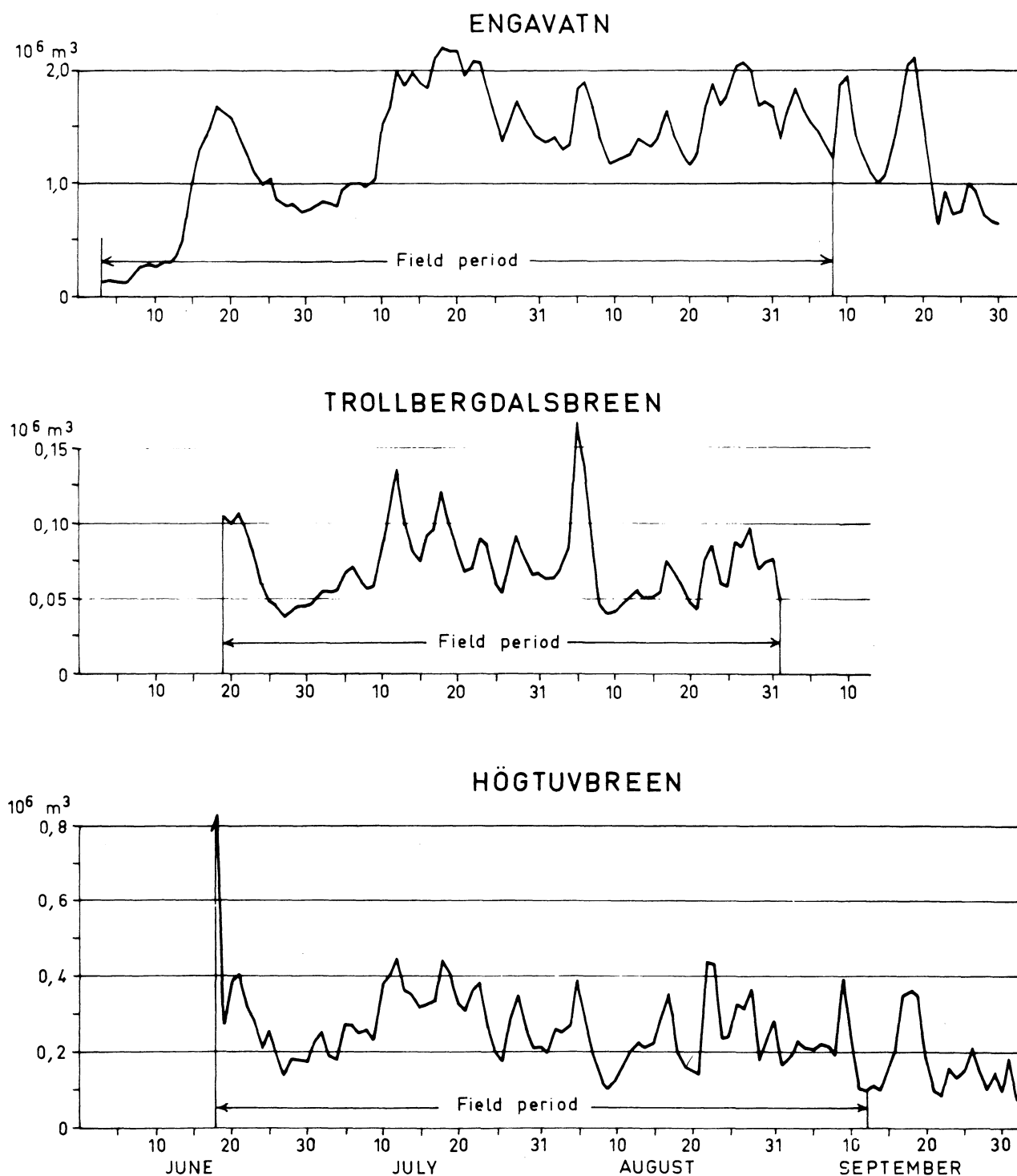


Fig. 23 Diagrammene viser observerte døgnvannføringer sommeren 1974 fra de undersøkte breene i Svartisområdet. Det går tydelig fram hvordan variasjonene i vannføringen følges ad ved de enkelte breene. Det skulle derfor være mulig å få et inntrykk av vannføringen fra en bre utenom observasjonssesonger, hvis det foreligger data fra en av de andre bre-elvene.

The diagram shows daily discharge variations for the glaciers

Engabreen

Innledning

Undersøkelser av vannføring og transport av suspendert materiale fra den 38 km^2 store Engabreen har pågått siden 1969. Ved innløpet til det $1,2 \text{ km}^2$ store Engavatn som ligger 0,3 km nedenfor brefronten, samt ved utløpet av vatnet er det opprettet to prøvetakingssteder. I vatnet er det også installert en limnigraf. I rapporten for 1971 (Ziegler 1973, s. 36) er det vist et kart over vatnet.

Observasjonsstasjonen ved Engavatn var bemannet fra 3. juni til 8. september. Observasjonsrutinene var de samme som er beskrevet for Nigardsvatn.

Deltaet ved innløpet ble opploddet 28.-31. mars mens vatnet var islagt. P.g. a. at opplodningen som ble foretatt vinteren 1970 (Ziegler 1973) ble gjort med relativt stor avstand mellom punktene (25-50 m) er en sammenlikning av målingene forbundet med stor usikkerhet. Vinterens måling ble foretatt med opplodning for hver 5. meter langs i alt 8 profiler over deltaet.

Brefronten har siste år rykket noe tilbake. Målinger ble foretatt fra i alt 11 punkter, i gjennomsnitt var tilbakerykkingen ca. 3 m.

Resultat

Diagrammene, fig. 24, viser resultater og beregninger fra Engavatnet 1974. Målemetodene har vært de samme som ved Nigardsvatnet (s. 11). Overensstemmelsen mellom de meteorologiske parametrene og avrenningen er god i det meste av sesongen.

Største døgnlige transport av finmateriale inn i vatnet, 340 tonn, fant sted den 16. juni og 12. juli. Tidligere år har denne verdien variert mellom 450 og 2180 tonn. Største døgnlige vannføring var $2,2 \cdot 10^6 \text{ m}^3$ den 18. juli. Flere døgn hadde vannføring omkring $2 \cdot 10^6 \text{ m}^3$. Tidligere år har den største døgnlige vannføringen variert mellom 3 til $6 \cdot 10^6 \text{ m}^3$. I 1974 var det således ingen stor flom. Det totale avløpet i observasjonssesongen var ca. 20% lavere enn gjennomsnitt for de 4 siste år. Største konsentrasjon av suspendert materiale ble målt til 800 mg/l den 15. juni. Den har tidligere variert mellom 185 og 900 mg/l.

studied in the Svartisen area during the summer of 1974. Note the correspondence in discharge variations between the individual glaciers. This suggests that an estimate might be made of the discharge from a glacier outside the observation period when data from one of the other glaciers are available.

Beregningene for observasjonsperioden 3/6 - 8/9 viser at ca. $130 \cdot 10^6 \text{ m}^3$ vann og ca. 11 350 tonn suspendert materiale ble transportert inn i vatnet

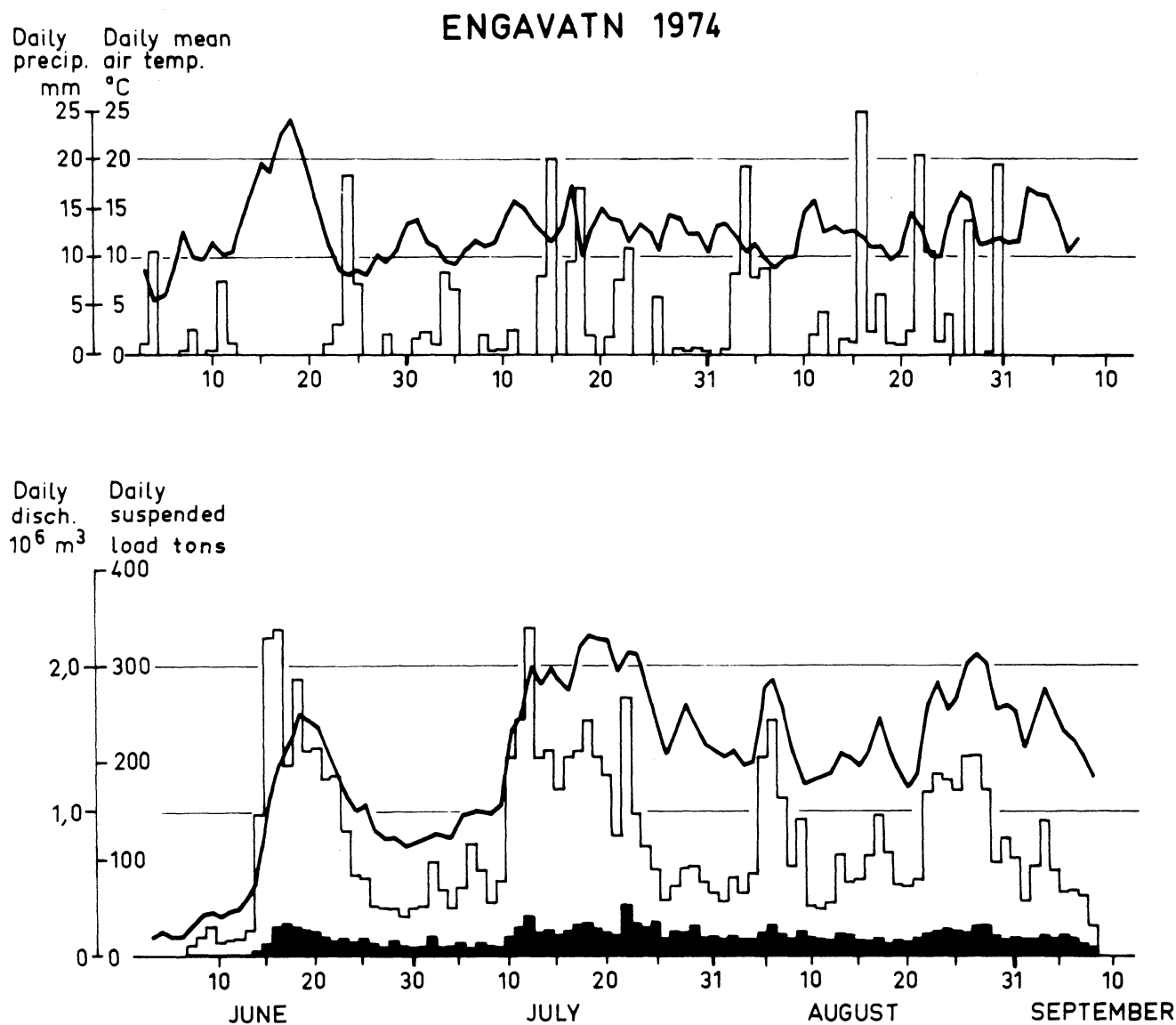


Fig. 24 Det øverste diagrammet viser døgnlig nedbør (søyler) og døgnlig middeltemperatur (heltrukken strek) målt i løpet av observasjons-sesongen ved Engavatn i 1974. Nedenfor vises døgnlige vannføringer (heltrukken strek) og den beregnede transporten av suspendert materiale inn i vatnet (åpne søyler) og ut av vatnet (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 (line) at Lake Engavatn through the observation season 1974. The lower diagram shows daily variations in water discharge (line) from the lake and suspended loads entering (open columns) and leaving (black columns) the lake. The difference between the latter two gives an impression of the efficiency of the lake as a sedimentation trap.

og 1800 tonn ut av vatnet. D. v. s. at ca. 85% av det suspenderte materiale som ble transportert inn i vatnet ble avsatt der. Dette tallet passer godt sammen med det en har funnet for tidligere år, 75-88%.

Avløpskurven, fig. 23, viser at det var to mindre flommer etter observasjonsperioden. Sammenliknet med flommer av samme størrelsesorden tidligere på sommeren er det rimelig å anta at det for hele avrenningssesongen ble transportert ca. 13 500 tonn suspendert materiale inn i Engavatnet. Ved Nigardsbreen er bunntransportens andel av den totale materialtransporten beregnet til ca. 40%, (s.16). Det synes rimelig å sammenlikne Engabreen med Nigardsbreen på dette punktet. Etter dette burde totaltransporten fra Engabreen i 1974 være ca. 22 500 tonn. Dette tilsvarer en fjerning av lag breerodert materiale på 0,30 mm jevnt fordelt på hele breens areal.

Sammenlikning av opplodningene som er foretatt på deltaet er som nevnt forbundet med usikkerhet. Men de indikerer en akkumulasjon av en vesentlig større masse enn de tidligere oppgitte tall for de fire foregående år. Disse er bassert på at bunntransporten utgjør 30% av transporten av suspendert materiale, dvs. ca. 23% av den totale materialtransporten. Tallet som er framkommet ved sammenlikningen er også noe større enn det en ville ha kommet fram til ved en utregning bassert på beregningene fra Nigardsbreen. Det vil bli forsøkt å foreta en ny opplodning vinteren 1975 med utgangspunkt i de relativt gode målingene fra vinteren 1974. Dette vil da kunne gi et sikrere holdepunkt for om noen av de oppgitte tall kan bekreftes eller om de må revideres.

Trollbergdalsbreen

Innledning

1974 var femte sommeren det har foregått undersøkelser av vannføring og transport av suspendert materiale ved Trollbergdalsbreen. Prøvetakingssted og kontrollvannmerke er som tidligere umiddelbart foran den ca. 2 km² store breen, fig. 25. En limnigraf er installert ca. 0,7 km lenger nede i vassdraget. Observasjonsrutinene var her de samme som ved de andre stasjonene.

Observasjonsstasjonene var bemannet fra 19. juni til 1. september, dvs. i alt 75 døgn. Det var ingen store flommer i løpet av siste sesong og heller ingen merkbar profilendring i elva som tidligere har vist seg å ha et meget ustabilt leie. Det ble foretatt flere vannføringsmålinger og den tidligere utarbeidede kurve er bekreftet med små endringer. Beregningene på grunnlag av årets målinger skulle derfor være gode.



Fig. 25 Det nordre av to elvelöp fra Trollbergdalsbreen. Prövetakingsstedet ligger nedenfor samløpet mellom de to elvene.

The northernmost of two rivers from the glacier Trollbergdalsbreen. The water samples are collected downstream from the confluence of the two rivers.

Resultat

Diagrammene i fig. 26 viser resultater av sesongens observasjoner og beregninger. Det er god overensstemmelse mellom variasjonene i de meteorologiske observasjonene og vannføringen. Sedimenttransporten fra den lille breen har tidligere år gitt store spesifikke verdier. I 1973 ble verdiene en del redusert. I 1974 har det vært en tilsvarende reduksjon slik at de spesifikke verdiene for sedimenttransporten fra Trollbergdalsbreen nå er sammenliknbare med flere andre breer (fig. 44).

Største beregnede avløp og døgntransport inntraff 5. august med henholdsvis $0,17 \cdot 10^6 \text{ m}^3$ og ca. 62 tonn. Denne flommen skyldtes kraftig regn. I løpet av 2 døgn kom det ca. 70 mm nedbør. Konsentrasjonen av suspendert materiale nådde da ca. 480 mg/l. Denne verdien er betydelig lavere enn ved tidligere års maksimalflommer, 2410-12000 mg/l. Disse flommene har imidlertid for det meste vært større enn den i 1974 og flere har medført profilendringer i bre-elva. Ventelig har det også foregått endringer i dreneringsmønsteret under breen under disse flommene (Ziegler 1973, s. 42). Som nevnt har det i løpet av det siste året ikke foregått synlige profilendringer, sannsynligvis heller ikke i vesentlig grad under breen. Dette kan forklare den store reduksjonen i materialtransporten i forhold til tidligere år.

For observasjonsperioden er det beregnet en transport av suspendert materiale på 725 tonn. Som det går fram av fig. 23 startet målingene under vårflommen. Vannføringskurven for Engavatn viser vannføringen før og etter observasjonsperioden på Trollbergdalsbreen. Etter denne er det rimelig å anta at det ikke var noen stor avrenning og da heller ingen materialtransport av betydning før vårflommen ved Trollbergdalsbreen. Det er imidlertid grunn til å anta at vannføringen inntil ca. 20. september holdt seg omlag

TROLLBERGDALSBREEN 1974

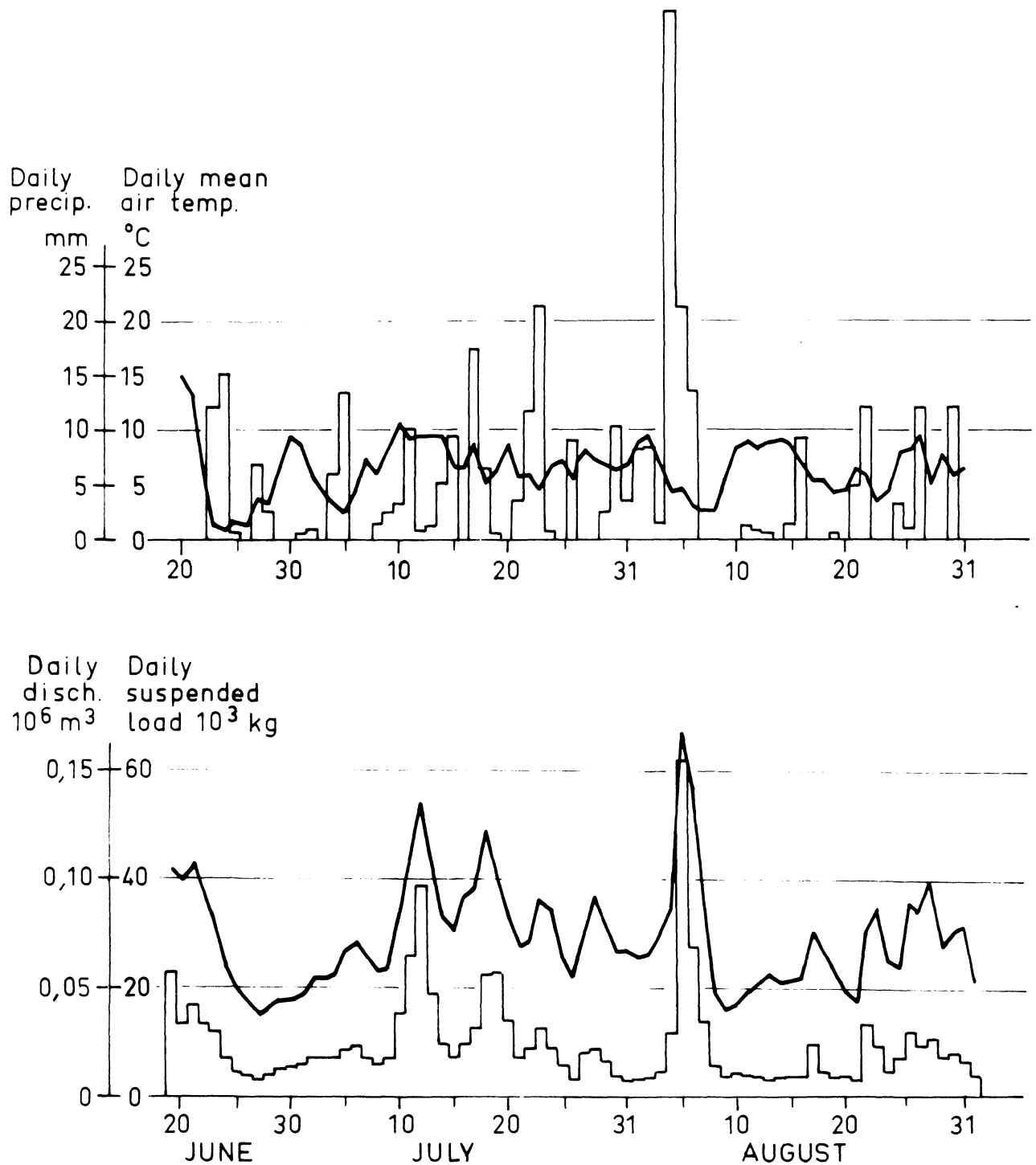


Fig. 26 Det överste diagrammet visar meteorologiske parametre målt ved stasjonen ved Trollbergdalsbreen i 1974. Nedenfor vises døgnlige vannføring og beregnet transport av suspendert materiale.

The upper diagram shows meteorological parameters measured at Trollbergdalsbreen in 1974. Daily water discharge and estimated suspended loads are shown below.

som den hadde vært i siste halvdel av august. Samlet kan da transporten av suspendert materiale ha vært ca. 1000 tonn i løpet av avrenningssesongen. Regner en bunntransporten på samme måte som ved Nigardsbreen, dvs. at den utgjør 40% av mengden av total massetransport, skulle den totale materialtransporten fra Trollbergdalsbreen i 1974 bli ca. 1650 tonn. Dette tilsvarer en reduksjon på 0,42 mm breeordert materiale jevnt fordelt under hele breen.

Högtuvbreen

Innledning

Undersøkelser av vannføring og transport av suspendert materiale ved den 2,6 km² store Högtuvbreen tok til i 1971. I 1974 var observasjonsstasjonen bemannet fra 18. juni til 12. september i alt 87 dager. Observasjonsstedet i bre-elva ligger 6-800 m foran brefronten. Observasjonene er utført etter samme rutine som ved de andre observasjonsstedene. Brefronten står nå ved en ca. 1 km lang utvidelse i elva hvor den er opp til 100 meter brei og minst 17 m dyp.

Breen danner her en kalvingsfront med tre breporter. I oktober 1974 hadde breen trukket seg så mye tilbake at den sørligste av disse lå på land.

Resultat

Diagrammene i fig. 27 viser resultater av observasjoner og beregninger fra Högtuvbreen i 1974.

En varmeperiode i de dagene observasjonene startet forårsaket flom. Observatørene måtte grave seg gjennom ca. 3 meter snø for å komme ned til elva ved limnigrafen og prøvetakingsstedet. Dette forårsaket av vannet ble presset opp i hullet i snøen. Elva eroderte senere raskt i snølaget slik at avlesningene ble pålitelige. Verdiene for første dag er forsøkt justert, bl. a. ved hjelp av data fra en limnigraf lenger nede i vassdraget, men må vurderes ut fra de usikre forhold som hersket under målingene. Senere i observasjonssesongen var det ingen store flommer og observasjonene er tilfredsstillende.

Årets største vannføring fant sted den 18. juni med en døgnvannføring på ca. $0,83 \cdot 10^6 \text{ m}^3$. Selv om det som tidligere nevnt er en viss usikkerhet i dette tallet var det utvilsomt årets største flom. Vannstanden kulminerte kl. 17 ved en vannføring på ca. $18 \text{ m}^3/\text{s}$. Den høyeste konsentrasjonen av suspendert materiale forekom denne og neste dag med ca. 195 mg/l. Døgntransporten den 18/6 var 69 tonn. Vannføringen denne dagen er høyere enn

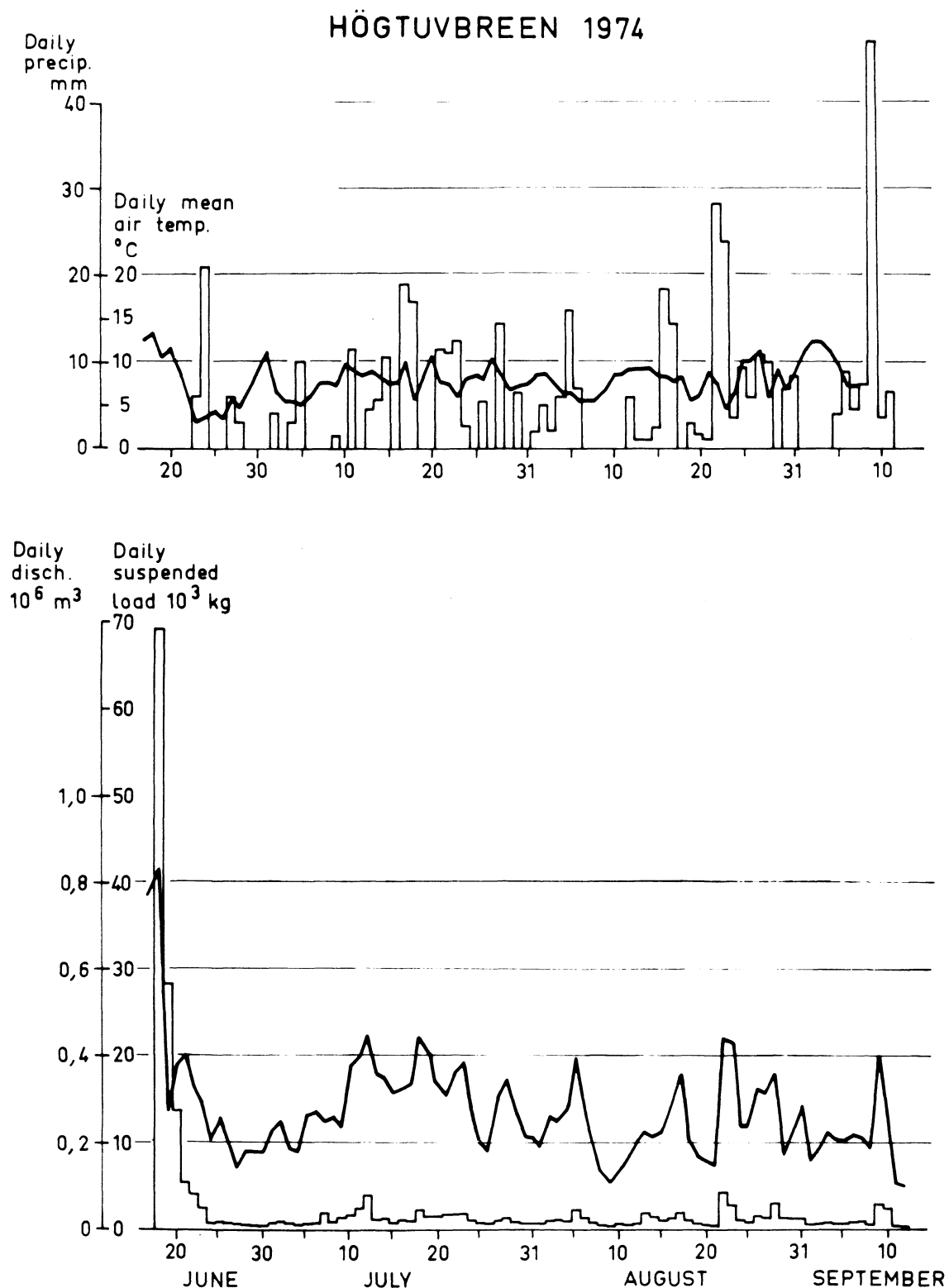


Fig. 27 Det överste diagrammet visar meteorologiske parametre målt ved Högtuvbreen i 1974. Nedenfor vises døgnlige vannføring og beregnet transport av suspendert materiale.

The upper diagram shows meteorological parameters measured at Högtuvbreen in 1974. Daily water discharge and estimated suspended loads are shown below.

det maksimalt observert siden målingene tok til i 1971. Den maksimale konsentrasjonen har tidligere år variert mellom 85 og 360 mg/l, mens den maksimale døgntransporten har variert mellom 34 og 120 tonn.

I løpet av observasjonsperioden er det beregnet en transport av suspendert materiale på 220 tonn. Som en ser av vannføringskurven på fig. 23 var det en mindre flom etter observasjonssesongen av omlag samme størrelse som de største tidligere i sesongen. Dette i tillegg til at målingene startet midt under vårflommen, slik at første halvdel av denne ikke er registrert, gjør det rimelig å anslå den totale transport av suspendert materiale ved utløpet av vatnet i 1974 til ca. 300 tonn.

Bunntransporten ved målestedet nedenfor det snaut $0,1 \text{ km}^2$ store vatnet ved brefronten kan ikke sammenliknes med bunntransporten inn i Nigardsvatnet. Grunnen til dette er at vatnet foran Høgtuvbreen sannsynligvis er stort og dypt nok til å fange opp det grove bunntransporterte materialet. En del av finmaterialet vil også sedimenteres i vatnet. Ved det 7 m dype vatnet foran Vesledalsbreen ($0,019 \text{ km}^2$) ble det som gjennomsnitt for de seks årene 1967 - 72, sedimentert 34% av det tilførte finmateriale (Ekman 1970). Ved Nigardsvatnet ($0,6 \text{ km}^2$) og Engavatnet ($1,2 \text{ km}^2$) sedimenteres henholdsvis fra 70-85% og 75-88% av det suspenderte materialet. Det skulle derfor være rimelig å anta at ca. 50% av det tilførte suspenderte materialet sedimenteres i vatnet foran Høgtuvbreen. Den totale mengden av finmateriale som kommer fra breen kan derfor anslås til å være ca. 600 tonn i 1974. Om bunntransporten regnes å utgjøre samme andel av den totale massetransporten som ved innløpet i Nigardsvatn, dvs. 40%, blir den totale massetransporten fra Høgtuvbreen i 1974 ca. 1000 tonn. Dette tilsvarer en fjerning av 0,19 mm breerodert materiale jevnt fordelt under hele breen.

Sluttord, Svartisområdet

Av de tre undersøkte bre-elvene i Nord-Norge i 1974 har undersøkelsene ved Engabreen pågått siden 1969, ved Trollbergdalsbreen siden 1970 og ved Høgtuvbreen siden 1971. Sammenliknet med tidligere års observasjoner og beregninger var materialtransporten i 1974 noe mindre enn gjennomsnittet av tidligere års registreringer ved Engabreen og Høgtuvbreen, mens materialtransporten fra Trollbergdalsbreen var den absolutt minste som er registrert. Trollbergdalsbreen avga fremdeles den største spesifikke sedimentmengden, men tallet for denne breen ligger i 1974 vesentlig nærmere tallene fra de andre undersøkte breene.

Fig. 23 viser at det er et rimelig samsvar i variasjonene i avløpet i de tre bre-elvene. Utslagene er noe mindre for elva fra Engabreen enn for de andre to elvene. Det er rimeligvis en følge av at klimaet her er mer maritimt.

Den gjennomsnittlige slamkonsentrasjonen for hele observasjonssesongen var omlag 132 mg/l i elva fra Trollbergdalsbreen, 87 mg/l i elva fra Engabreen (innløpet) og 9 mg/l i elva fra Högtuvbreen. Det lave tallet for Högtuvbreen kan nok forklares ved at målestedet ligger ved utløpet av et lite vatn, der det foregår en viss sedimentasjon. Observasjonssesongen var av noe ulik lengde ved de tre breene, men de viktigste begivenhetene synes å være dekket av observasjoner, med unntak av begynnelsen av vårflommen ved Trollbergdalsbreen og Högtuvbreen (fig. 23).

Konsentrasjonen var høyest tidlig på sommeren. Mest markert er dette for Högtuvbreen, minst for Trollbergdalsbreen. Dette kan forklares ved at vårflommen hadde sesongens høyeste vannføring ved Högtuvbreen, mens sesongens høyeste vannføring ved Trollbergdalsbreen ble oppnådd 5. august. Forholdet med relativt høye vårflommer og derav relativt høye slamkonsentrasjoner ved Högtuvbreen er påvist også tidligere år (Ziegler 1972, s. 69).

BUNNPRÖVETAKING I BONDHUSVATN

Innledning

I samband med Statskraftverkernes planlegging av Folgefonn-verkene, spesielt problemene som kan oppstå i "takrennesystemet", som skal ta smeltevann under isen fra Bondhusbreen, ble det i 1972 igangsatt undersøkelser av slamtransporten i elven fra Bondhusbreen. Samtidig med slamundersøkelsene forsøkte man også med en spesialkonstruert prøvetaker å bestemme mengden av bunntransportert, grovt materiale i elven. Denne bunntransporten omfatter materiale som ikke holdes i suspensjon og som raskt avsetter seg når vannhastigheten blir mindre. Slikt materiale er selvsagt uønsket i kraftverkets tunnelsystem og må skilles ut fra driftsvannet på en eller annen måte.

Det ble også foretatt profileringer av deltaet i Bondhusvatn for å få en parallellbestemmelse av hvor mye grovt materiale elven førte med seg. Resultatene fra undersøkelsene i elven er omtalt i Brekontorets rapport fra materialtransportundersøkelser i 1972 (Ziegler 1974), mens beregninger av deltatilveksten ikke kunne gjøres for en nøyaktig oppmåling av deltaet var gjentatt. Dette ble gjort i 1973 av representanter fra Statskraftverkene og resultatet av denne deltaundersøkelsen er omtalt i Brekontorets rapport fra 1973 (Haakensen 1975).

På grunnlag av tidligere studier av massetransporten i elven fra Nigardsbreen (Östrem m. fl. 1970) kan man anta at nesten halvparten av bre-elvens totale massetransport utgjøres av grovt, bunntransportert materiale. I mangel av nøyaktige direkte målinger av den totale materialtransporten fra Bondhusbreen må man derfor anta at bunntransporten utgjør en liknende andel av totaltransporten også i denne bre-elven.

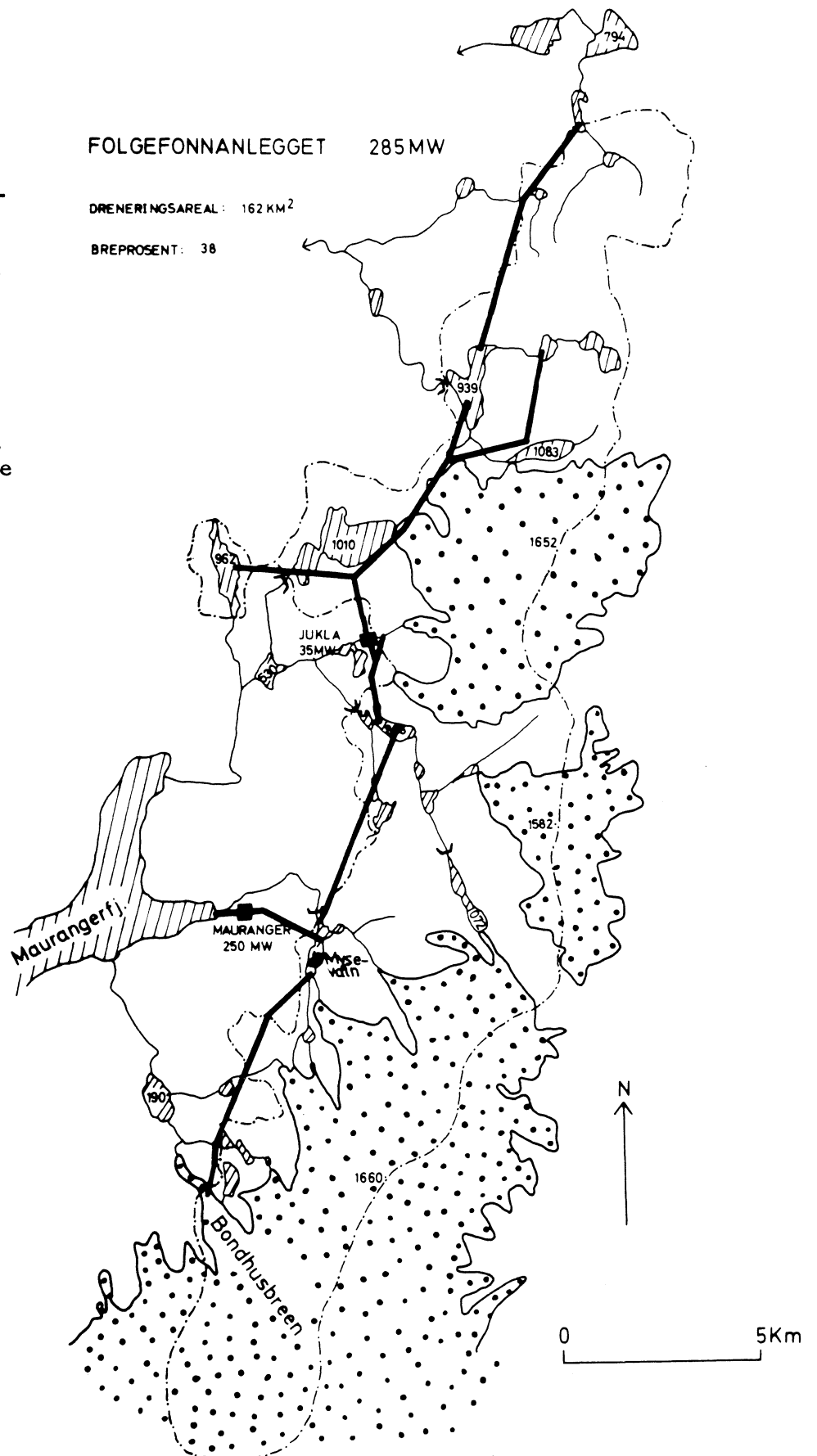
Hvis man derfor har gode målinger av den mengde suspendert materiale som elven fører med seg hvert år, burde mengden av grovt, bunntransportert materiale være av omtrent samme størrelse. Da det er meget enklere å måle transporten av finmateriale i suspensjon enn å observere totale bunntransport, vil resultat fra slamundersøkelser kunne brukes til å anslå bunntransporten i en bre-elv.

For å unngå å få grovt materiale inn i tunnelsystemet ble det planlagt et sedimentasjonskammer i fjellet under Bondhusbreen, i prinsipp utsprengt rett under inntaket. Størrelsen av dette kammer måtte planlegges slik at alt bunntransportert materiale ville bli fanget opp, slik at intet grovt materiale skulle fortsette med driftsvannet inn i "takrennen" - den nærmest

Fig. 28

Kart over "takrenne"-systemene på vestsiden av Folgefonni. De svarte strekene indikerer nesten horisontale oppsamlings- og overføringsstunneler. Fra et subglasialt inntak under Bondhusbreen føres f. eks. vann nordover til Mysevatn.

Map of the "roof-gutter" systems west of Folgefonni. Black lines indicate almost horizontal diverting galleries (tunnels). For example, melt water from a subglacial intake at Bondhusbreen is diverted towards the reservoir Mysevatn.



horisontale overføringstunnell nordover til magasinet Mysevatn, fig. 28 Da vannføringen fra breen og dermed mengden av transportert materiale varierer kraftig fra år til år, var oppgaven å bestemme den maksimale årlige bunntransport som kunne tenkes å komme med bre-elven en gang i framtiden.

Det er ikke mulig å beregne denne mengden på grunnlag av foreliggende data om vannføringsvariasjoner etc. selv om det nok teoretisk går an å beregne størrelsen av partikler som rennende vann kan bevege langs bunnen ved en gitt vannhastighet. En slik beregning er ikke relevant for å løse det foreliggende problem.

Det ble derfor bestemt at den maksimale (ekstreme) årlige bunntransport skulle beregnes på grunnlag av :

- a) den høyeste observerte årlige slamtransport, bestemt ved studier av gamle avleiringer på bunnen av Bondhusvatn,
- b) antagelsen om at bunntransporten utgjør halvparten av totaltransporten.

Fra en rekke års målinger av den mengde suspendert materiale som av-

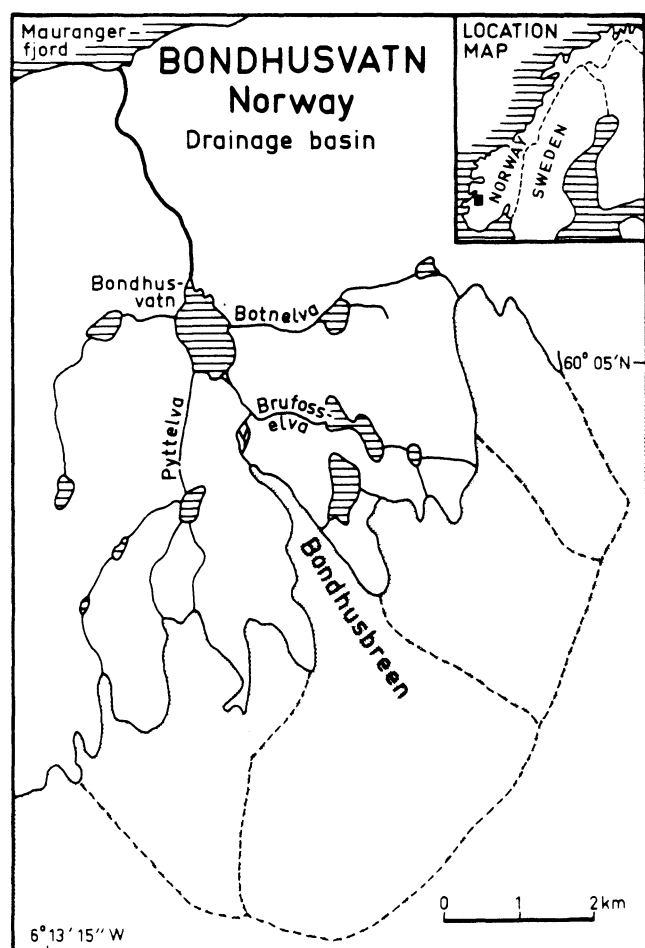


Fig. 29 Kartet viser beliggenheten av Bondhusvatn i forhold til utløpere fra vestsiden av Folgefonni. Elven fra Bondhusbreen går direkte ned til Bondhusvatn uten å passere andre vatn; mens andre, mindre, til-løp har passert vatn der sedimentasjon kan ha foregått. Avsetningene på bunnen av Bondhusvatn er derfor vesentlig et resultat av materialtransporten fra Bondhusbreen.

The lake Bondhusvatn is located west of the ice-cap Folgefonni. Most of its sediments originate from the outlet glacier Bondhusbreen.

setter seg på bunnen av Nigardsvatnet samt en del enkeltobservasjoner fra Bondhusvatn kan vi anta at 70% av det suspenderte materiale (partikkelstørrelse $< 0,5$ mm) vil avsette seg på bunnen av vatnet, resten transporteres videre med elven fra Bondhusvatn mot fjorden. Et studium av gamle, årlige avsetninger på bunnen vil derfor kunne gi data for å beregne den årlige mengde av suspendert materiale (populært kalt slam) som er kommet fra breen i tidligere tider. Dette vil altså samtidig indikere den årlige mengde grovt, bunntransportert materiale som breen har produsert, og denne informasjon vil kunne brukes for å kalkulere den største tenkbare årstransport av grovt materiale - dvs. den mengde grove masser som et sedimentasjonskammer må ha plass til.

Feltarbeidet

Bondhusvatn (190 m o.h.) ligger ca. 2 km fra brefronten (fig. 29), vannet er 1,2 km langt og 5-600 m bredt. Bunnen er usedvanlig jevn med en dybde av 28-30 m over store arealer. Dette tyder på at det har foregått sedimentasjon gjennom en meget lang periode. Det grove materiale som elven fører

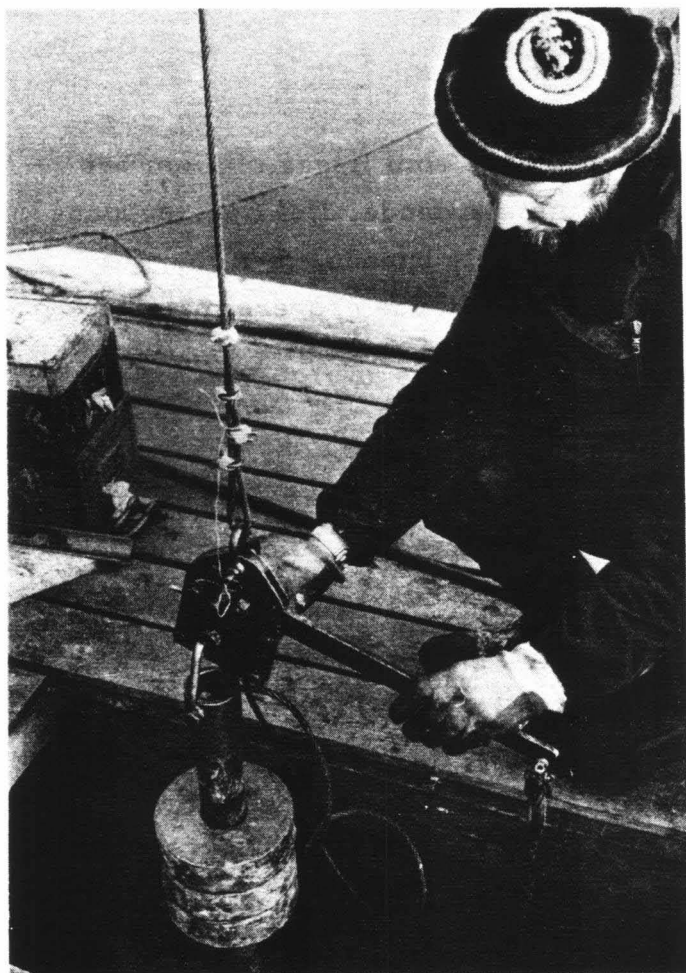


Fig. 30 Bildet viser toppen av prøvetakeren og utløsningsmekanismen som løsgjør prøvetakeren ca. 1 m over bunnen. Røret presser seg da ned i sedimentene samtidig som et stempel inni røret sørger for vakuum over prøven. Derved både trykkes og suges prøven inn i røret. Det har vist seg at prøver tatt med Kullenberg-utrustningen er av høy kvalitet, d. v. s. de gir et praktisk talt uforstyrret bilde av bunnavsetningene.

Detail from the release mechanism, which permits the corer to gain vertical speed by a "free fall" from about 1 metre above the lake bottom. The samples obtained are almost undisturbed.



Fig. 31 Etter prøvetakingen heises stålrøret opp og legges horisontalt på flåten. Prøven trykkes deretter ut mens røret ligger i horisontal stilling. Bildet viser ing. S.R. Ekman fra Stockholms Universitet idet han foretar denne utpressingen. Merk blyloddene som er festet til rørets øverste ende.

The sampling tube (with its lead weights) is pulled up and placed horizontally to allow the sample to be pushed out of the tube.

med seg avsetter seg delvis på et sandurområde som ligger mellom bre-fronten og vatnet og delvis på deltaet i vatnets sydende. Det fine, suspenderte materialet avsetter seg stort sett over hele bunnen, men man kan vente at avleiringene nærmest deltaet vil bestå av noe grovere materiale enn avleiringene nærmere utløpet i nord. Det ble derfor valgt å ta en rekke prøver langs en linje fra utløpet i retning mot deltaet. Det viste seg ved prøvetakingen at man nærmest deltaet fikk meget sandholdige prøver mens prøvene lenger ut i vatnet inneholdt mere finmateriale og viste dessuten tydeligere varvighet (Ordet "varv" er av svensk opprinnelse og betyr tradisjonelt et lag dannet ved sedimentasjon i løpet av ett år).

Prøvetakingen ble foretatt med en såkalt "Kullenberg stempelprøvetaker". Dette er en anordning som er oppkalt etter oceanografen prof. Kullenberg som utviklet instrumentet for å kunne ta uforstyrrete, lange, vertikale propper fra store havdyp. Apparatet består i prinsipp av et stålrør som nederst har en sirkulær kniv og øverst bærer noen tunge blylodd, (fig.30 og 31). I røret kan et stempel bevege seg oppover og ved prøvetakingen ordnes denne stempelbevegelsen slik at det dannes et vakuum i røret når dette trenger seg

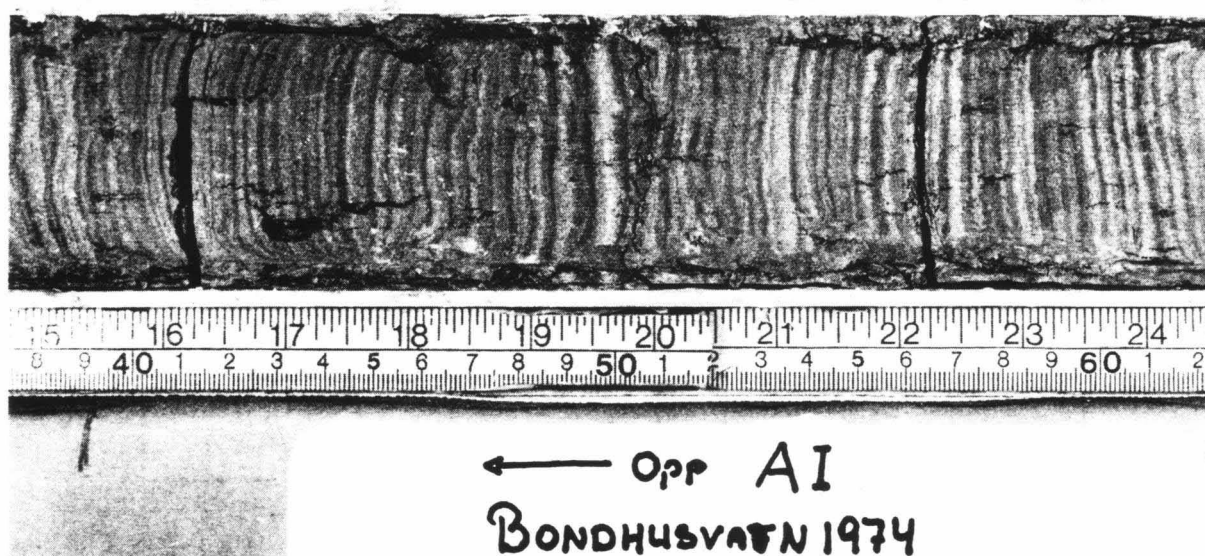


Fig. 32 Ved behandlingen i laboratoriet skrapes prøven forsiktig på en spesiell måte og de enkelte varv trer tydelig fram. På bildet ser vi lyse og mørke lag som representerer resp. sommer- og vinteravsetninger. Da bildet ble tatt hadde prøven tørket litt og dette er forklaringen til sprekken. Disse elimineres selvsagt ved den videre bearbeidingen.

In the laboratory all samples were processed so that the varves showed up clearly. The cracks formed when the sample dried, but were eliminated when diagrams were constructed.

ned i bunnnavleiringene. Prøven blir derfor samtidig skjøvet og suget inn i røret. Det har vist seg at man på denne måten kan få opp praktisk talt helt uforstyrrede prøver fra bunnnavleiringene, fig. 32.

Ved feltarbeidet som foregikk i februar 1974 ble det tatt i alt 6 prøver fra forskjellige steder i vannet, se fig. 33. Prøvene ble forsiktig emballert på stedet og så fløyet til Oslo for nærmere studium i Brekontorets slamlaboratorium, se fig. 34.

Fordi vannet ikke var tilfrosset da prøvene skulle tas, måtte arbeidet utføres fra en flåte, se fig. 35. Resten av utrustningen var utlånt fra Naturgeografiska Institutionen ved Stockholms Universitet som også sendte med sin forskningsingeniør S. R. Ekman til å forestå prøvetakingen.

Resultat

Alle bunnprøvene viste seg å innholde mørkere og lysere lag som antas å være et tegn på at vi her har finmateriale som er avsatt både på sommeren (lyse lag) og utover høsten og forvinteren (mørke lag). Fra liknende undersøkelser i Nigardsvatnet (Östrem 1975) har det vist seg at ett "årsvarv" består av ett lyst lag og ett mørkere lag. Det lyse laget består oftest av

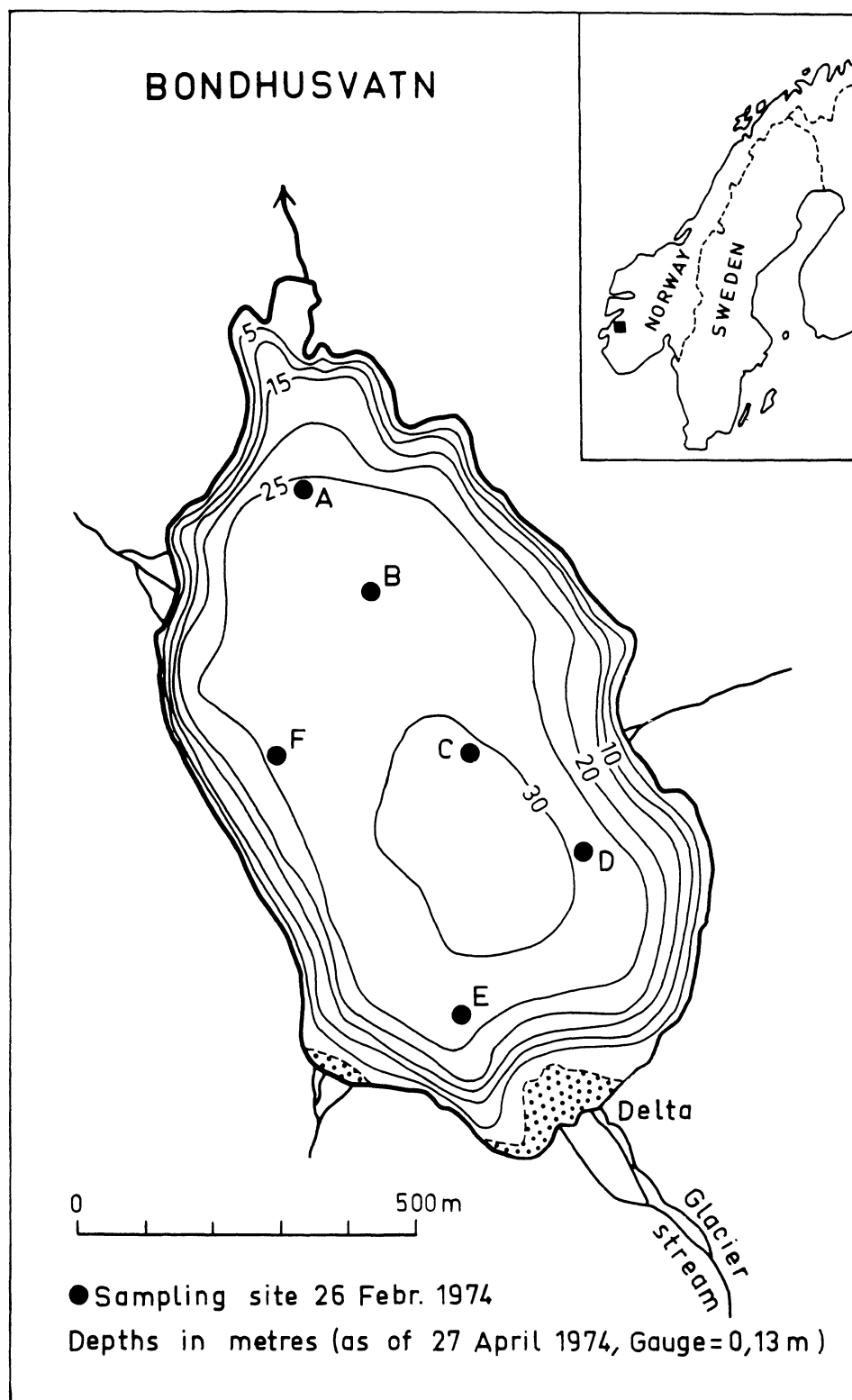


Fig. 33 Bondhusvatnet har en nesten flat bunn. Prøver av bunnsedimentene ble tatt med en Kullenberg stempelprøvetaker i punktene A - F. Prøven fra E inneholdt for mye sand og kunne ikke brukes, mens alle andre prøver besto av vakkert ordnede års-avsetninger (varv) av vekslende tykkelse.

Samples were taken from the almost horizontal bottom in the lake Bondhusvatn, in points marked A - F. All cores, except one, consisted of nicely deposited annual layers (varves) of different thicknesses.



Fig. 34 For å sikre en skånsom transport av bunnprøvene fra Bondhusvatn ble de sendt med et leiefly fra Mauranger til Bergen. På hele turen ble prøvene holdt horisontalt for at ikke lagdelingen skulle forstyrres. Ved laboratorieundersøkelsene viste det seg også at lagdelingen var praktisk talt helt uforstyrret - noe som selvsagt var av betydning ved tolkningen.

To avoid any risk of damaging the core samples, they were transported in a horizontal position back to the laboratory.

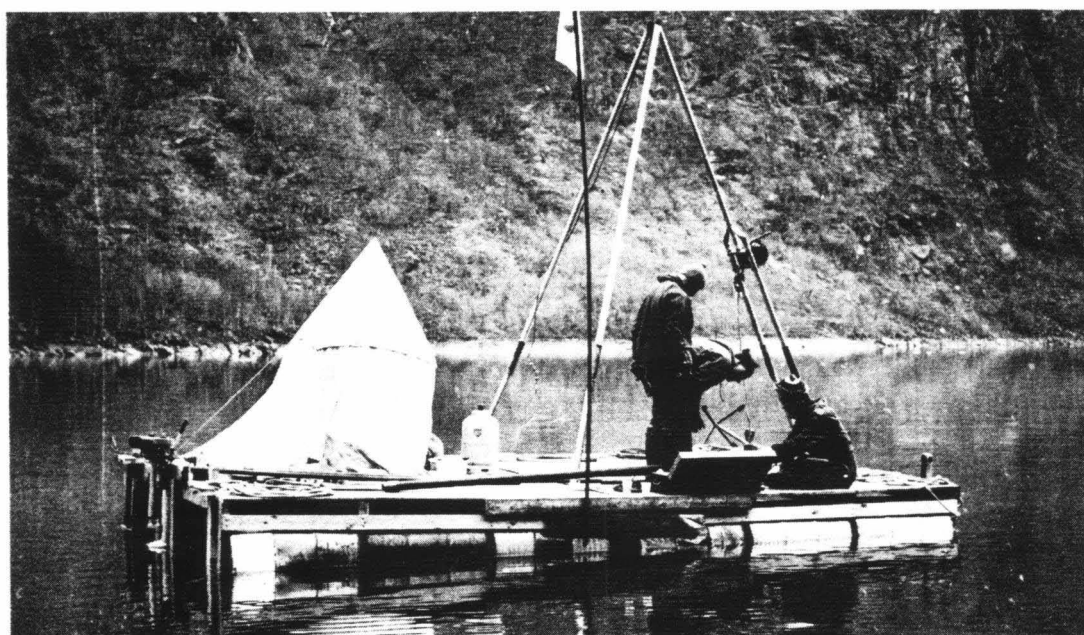


Fig. 35 I februar 1974 ble det tatt opp prøver fra bunnen av Bondhusvatnet med en Kullenberg stempelprøvetaker. Da det ikke var is på vatnet måtte prøvetakingen foregå fra en flåte.

Bottom samples were taken in February, 1974, from a raft based on empty oil drums. The sampler was a piston corer of the "Kullenberg" type.

kvarts og feltspatkorn mens det mørkere laget er anrikt med glimmerkorn som sedimenterer langsommere og derfor i løpet av sommeren ikke rekker å nå bunnen men føres videre med elvevannet. Det blir derfor sjelden avsatt mørke lag på sommeren - de oppstår normalt utover høsten. Det er alminnelig antatt at den mørke fargen tildels også stammer fra organiske partikler som har avsatt seg utover høsten. Noen detaljert undersøkelse av mineralsammensetningen er dog ikke foretatt for prøvene fra fra Bondhusvatnet - de nevnte konklusjoner bygger på meget inngående analyser av liknende prøver tatt 1968 i Nigardsvatn (Östrem 1975).

Tykkelsen av hvert lag (varv) er proporsjonal med den mengde finmateriale som tilføres vatnet med bre-elven - målinger har vist at ca. 70% sedimenteres i vatnet; og denne prosentats holder seg relativt uforandret enten tilførselen er stor eller liten. Målinger av varvtykkelsen vil derfor gi opplysning om hvilke mengder suspendert materiale som breen har produsert i tidligere år da ingen direkte observasjoner ble utført.

Materialet på bunnen av Bondhusvatnet stammer i alt vesentlig fra Bondhusbreen fordi de andre tilsigene, fra Pyttbreen og Brufossbreen og tildels Gråbreen, allerede har passert små vatn der størstedelen av materialet er blitt avsatt. Disse bekkene er ved ankomsten til Bondhusvatn relativt lite materialførende og bidrar anslagsvis til høyst 10% av den totale slamtilførselen til Bondhusvatnet. Dette framgår også klart av prøvene idet årsvarvenes tykkelse øket jevnt fra utløpet i retning mot hovedelvens innløp der også de groveste kornstørrelser ble funnet.

Stort sett varierte kornstørrelsen mellom sand og silt mens tykkelsen av de årlige avsetninger varierte mellom et par mm og et par cm. Dette viser tydelig at elven fra Bondhusbreen transporterer høyst ulike mengder materiale fra år til annet.

Metodikken ved tolkningen av varvene

For å illustrere metodikken ved tolkningen av sedimentprøvene har vi valgt ut et område av prøve C fra ca. 10 cm dybde og ned til ca. 20 cm (fig. 36). Selve tellingen og målingen av varvtykkelsen er utført langs en midtlinje i prøven.

Generelt er det antatt at et varv, som representerer sedimentasjonen i løpet av ett år, er bygget opp av et vinterskikt som er mørkt (vesentlig p. g. a. stort glimmerinnhold og innhold av organiske partikler) og et sommerskikt som er lyst (det inneholder vesentlig kvarts og feltspat). Det forekommer imidlertid ofte en oppbygning som er mer komplisert enn dette.

Nesten alle "årsvarv" har en mer eller mindre tydelig skiktning, et fenomen som vi kan benevne "mikrovarv". Noen av dem ser ut som miniatyrer av årsvarv, idet de også kan vise en svak skiktning.

Mikrovarvene er ofte relativt skarpt avgrenset med mørke lag. Hvis mikrovarvene er forholdsvis mektige og det mørke skiktet er meget tydelig, kan de lett forveksles med et virkelig "årsvarv". Slike forvekslinger kan i mange tilfeller være helt uunngåelige fordi det faktisk ikke er mulig å se forskjell på et tykt mikrovarv og et tynt årsvarv. Andre ganger sees mikrovarvene bare som nyanser i fargen på finmaterialet, avsatt i løpet av sommeren.

Også vinterskiktet kan vise en tydelig lagdeling, noen ganger som flere mørke lag tett på hverandre, skilt ved meget tynne, lyse skikt.

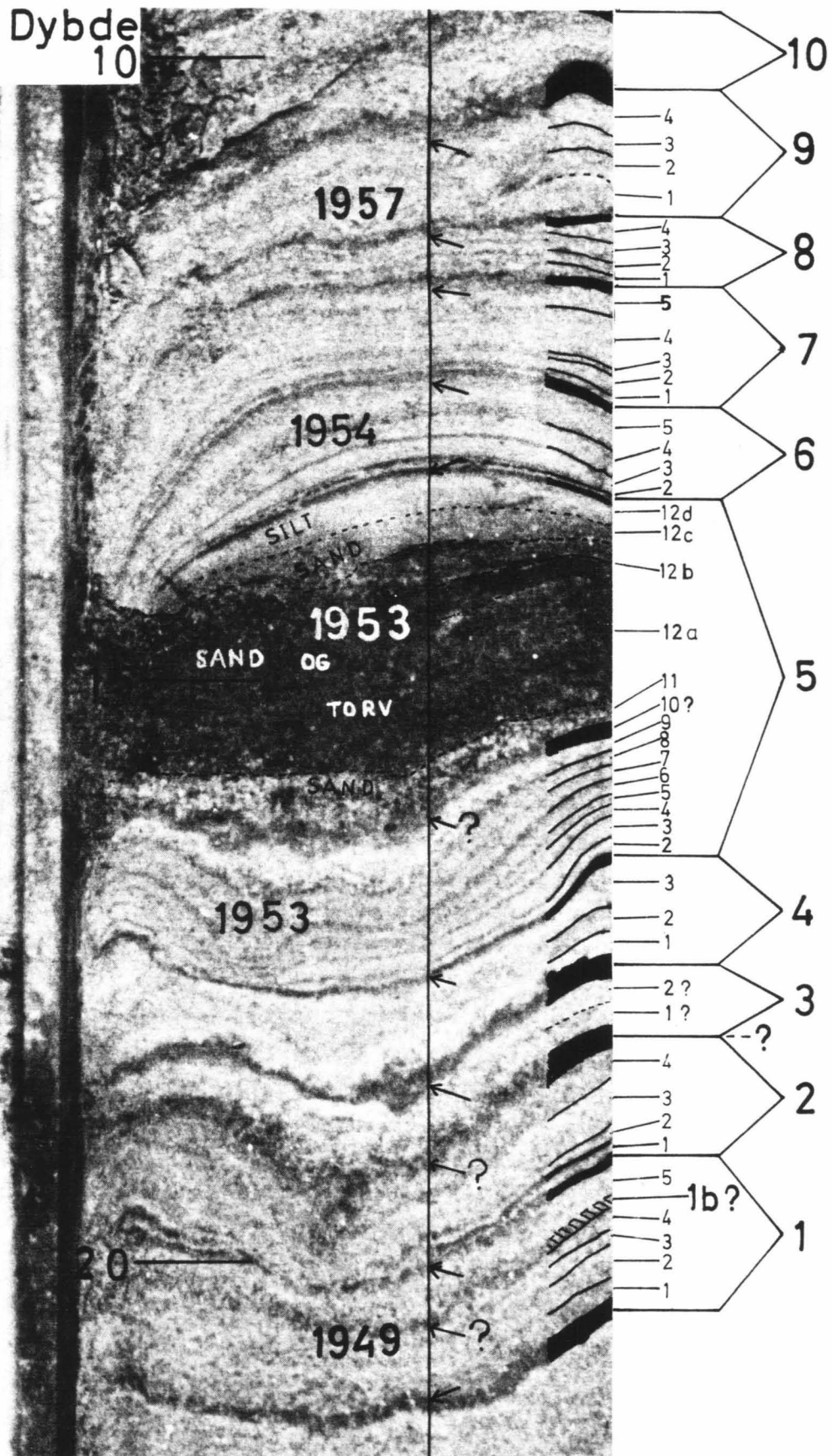
En forklaring på den gradvise overgang utover høsten fra lyse avsetninger til det mørke vinterskiktet og den oftest skarpe grense mot vårens lysere avsetninger stemmer bra med den gradvise avtagende høstvannføring og den raske økning av vannføringen i mai-juni når vårflommen kommer.

Forklaringen på forekomsten av mikrovarv kan være at det i løpet av en sommer har vært en lengre periode med fallende (eller stabil) vannføring - og dette kan ha tillatt de langsomt sedimenterende glimmerkorn samt organiske partikler å avsette et mørkere lag. En plutselig flom vil så kunne føre store mengder minerogent materiale (slam fra breen) ut i vatnet, og dette vil selvsagt gi opphav til et lysere lag.

Det har derfor vært antatt at et mikrovarv representerer en flom. Men da vi i prøve C har funnet serier av slike mikrovarv innenfor tydelige årsvarv - opptil 10 eller fler mikrovarv - så må man tro at de fleste mikrovarvene er knyttet til variasjoner i vannføring (og dermed slamtilførsel), og ikke bare til spesielt store flommer.

Det er påvist at enkelte mikrovarv i visse tilfeller kan være tykkere enn enkelte andre årsvarv, noe som skaper usikkerhet ved tolkningen. Et eksempel på to slike tvilstilfeller er vist i fig. 36 der varv 1 muligens representerer to hele år. Varv 2 og 3 kan derimot representere bare ett år. I den tolkningsversjon som ble valgt har en antatt at det her foreligger avsetninger fra tre forskjellige år. Hvorvidt dette er riktig eller ei vil det være helt umulig å avgjøre - i slike tilfeller må man ta en avgjørelse bygget på skjønn.

Fra perioden 1921-1972 foreligger det vannføringsdata fra Öyreselv, og det kunne selvsagt ha vært mulig å sammenligne de enkelte ukers og må-



g. 36 Bildet viser en del av kjerne C i en dybde fra ca. 10 cm til ca. 20 cm. Midt i bildet sees et mørkt lag, ca. 1,5 cm tykt. Fargen skyldes stort innhold av organisk materiale, sannsynligvis avsatt

neders vannføringsvariasjoner med antall mikrovarv i hvert enkelt år, men for det første ville dette blitt et meget omfattende arbeid, og for det annet kan observasjoner fra Öyreselv neppe uten videre overføres til forholdene i Bondhusvatn. En slik sammenligning av detaljene er derfor ikke utført, bortsett fra en to-årsperiode (1953-54) for å belyse mikrovarvenes opprinnelse. Det er klart at tolkningene av årsvarvene neppe kan være beheftet med alt for store feil. Resultatene stemmer nemlig godt overens, idet tykke årsvarv - ifølge varvtellingen - sammenfaller med avløpsrike år, resp. med år da sommernedbøren var spesielt stor.

Undersøkelse av pollen fra Jostedalen

Pollenproduksjonen og spredning av pollenkorn henger selvsagt intimt sammen med tidspunktet for blomstringsperiodene for trær og planter. Hvis det derfor finnes plantesamfunn med ulike blomstringstid i nærheten av sedimentasjonsstedet, kan man vente seg ulike pollen i avsetningen fra vår, høst og vinter.

Det ble derfor gjort en undersøkelse av varvige sedimenter fra Nigardsvatn (tatt opp med en Kullenberg prøvetaker i 1968), for å se om det er noen signifikativ forskjell på polleninnhold i sommer- resp. vintervarv. (En tilsvarende undersøkelse av prøvene fra Bondhusvatn har det ennå ikke vært mulig å få undersøkt).

under den store regnflommen den 3. desember 1953, idet bl. a. Botnelva da må ha flommet sterkt opp og revet med seg store mengder blad, mose og annen vegetasjon. Først ble det avsatt vesentlig organisk materiale, etterhvert også sand og tilslutt finmateriale (silt).

De lag som er antatt å være årsvarv er på figuren avmerket med store tall mens "mikrovarvene" er betegnet med små tall.

Tykkelsen av varvene ble målt langs etter en linje trukket omtrent langs midten av prøven. Varvgrensene, dvs. mørkere lag, er på figuren forsterket på høyre side av prøven. Videre er det gjort et forsøk på å nummerere mikrovarvene, men av tekniske grunner er ikke alle sifre gjengitt. Sommeren 1954 ble det avsatt 8 mikrovarv men det første og de siste er synlige bare i selve originalprøven (jfr. fig. 37).

Part of sample C, from 10 to 20 cm depth. Annual deposits (varves) are indicated by large numbers (e. g. year 5 = 1953), whereas microvarves are indicated by small numbers. Most of the dark layers are emphasized on the right hand side, but very thin microvarves are visible on the sample only, not in this illustration - compare Fig. 37.

The middle thick dark layer, consisting of a mixture of fine sand and turf-like material, originated from a flash flood caused by a large rainstorm in December 1953, when great quantities of organic material were flushed into the lake.

Resultatet vises i tabell 1, der antall funne pollen er ført opp separat for sommer- og vinterlag. Analysen ble foretatt på omtrent like store materialmengder i henholdsvis sommer- og vinterlag, som i den valgte prøven var omtrent like tykke.

I tillegg til den vanlige prepareringsmetode for prøver som vesentlig består av organisk materiale, ble disse prøver p.g.a. det dominerende innhold av anorganisk materiale, behandlet med flussyre to ganger.

Tabell 1

POLLENANALYSE AV SLAMPRÖVER FRA NIGARDSVATNET
Sommer- og vinterlag fra borehull D

	Sommerlag	Vinterlag
Picea	1	0
Pinus	104	40
Betula	17	22
Alnus	25	1
Salix	1	2
<u>Insektbestövere:</u>		
Ranunculus	2	Rubus 2
Rubiaceae	1	
Viburnum	1	
Artemisia	1	
Cyperaceae	8	2
Gramineae	3	2
Ericaceae	0	1
<u>Bregnesporer:</u>		
Sphagnum	0	2
Dryopteris	22	123 (hvorav 88 korrodert)
Lycopodium	1	1
Ubestemt p.g.a. korrosjon	0	71

Tabellen viser at stort sett de samme arter opptrer i sommer- og vinterlag, og at trepollen helt dominerer i totalt antall. Noe merkelig kan det synes at Pinus og Betula også opptrer i vinterlaget. Dette kan skyldes flere forhold. Blomstringen hos Salix, Alnus og Betula begynner i Jostedalen i mai. Utover i juni blomstrer så Pinus. Dette vil si at blomstringen og dermed pollenspredningen skjer för sommervarets avsetning har begynt. Endel av dette pollenregn vil da kunne gå til bunns, og således bli representert i vinterlaget.

Sommervarvets oppbygning begynner på forsommeren i forbindelse med første høyvannføring eller flom. Det meste av de tidligere omtalte treslagspollen vil naturlig gå til bunns også i denne tiden og bli representert i sommerskiktet.

Bemerkelsesverdig er den meget store forskjell i sommer- og vinterlag, m. h. t. innholdet av bregnespor av typen Dryopteris som blomstrer om høsten i september/oktober. Ca. 90% av alle Dryopteris-sporer ble, som oversikten viser, funnet i vintervarvet. Dette må bety at vintervarvets avsetning har begynt før Dryopteris blomstret, m. a. o. må man regne med at vintervarvets oppbygning begynner forholdsvis tidlig på høsten, sannsynligvis tidlig i september eller kanskje allerede i august.

Overgangen fra sommer- til vinterlag i varvene kan derfor også defineres som overgang fra et Dryopteris-fattig lag til et som inneholder en signifikant større prosentandel av disse bregnesporer. Det er foreløpig ikke undersøkt hvorvidt et tilsvarende forhold gjør seg gjeldende for varvige sedimenter fra andre bre-sjøer, men en slik undersøkelse er planlagt. For prøvene fra Bondhusvatn ville et liknende forhold selvsagt kunne være av betydning for tolkning av varvene.

Forekomst av "mikrovarv"

Som tidligere nevnt inneholder nesten alle årsvarv en rekke mer eller mindre markerte "mikrovarv". Noen av de tydeligste "mikrovarvene" er skilt av framtrедende mørke skikt som antakelig tilsvarer en stille periode i vannføringen. Andre mikrovarv er mindre tydelige og kan bare skilles fra hverandre ved nyanser i fargetonen i materialet.

De mørkere avsetninger mellom årsvarvene stammer med all sannsynlighet fra relativt langsom sedimentasjon utover høsten og vinteren (under forhold med liten vannføring), og det ville være interessant å se om de tynne, mørkere lagene avsatt mellom de enkelte mikrovarv står i samband med variasjoner i vannføringen i løpet av sommeren.

En spesiell undersøkelse ble derfor foretatt for de årsvarv som vi antar stammer fra 1953-54. I fig. 37 er de enkelte mikrovarv vist skjematisk i forhold til vannstandsdiagrammet fra Öyreselv. Til en viss grad kan en si at det finnes en overensstemmelse mellom økt vannføring og avsetning av et "mikrovarv", eller at variasjoner i vannføringen har gitt en viss skiktning i materialet. Når det gjelder avsetninger i roligere perioder eller i vinterhalvåret synes det å være vanskelig å avgjøre hvorvidt et mørkere lag er avsatt gjennom en lang periode med liten vannføring eller om det er

avsatt i forbindelse med en øket vannføring i en ellers rolig periode. Det er rimelig å tro at mørke lag normalt avsettes i perioder med mindre gjennomstrømming, fordi det er kjent fra andre undersøkelser (Östrem 1975) at f.eks. glimmer er anriktet i de mørke lagene mens f.eks. kvarts er mer dominerende i de lyse. I perioder med kraftig gjennomstrømming blir antakelig glimmerkornene til stor del ført videre før de har rukket å sedimentere, og vi får de lyse lagene, og vice versa.

I fig. 38 er det skjematisk vist hvordan økende og minkende vannføring under vårflommen sannsynligvis virker inn på materialtransporten i Bondhuselven. I alle eksemplene er det antatt at vannføringen må komme opp i et visst nivå før elven begynner å transportere materiale av betydning.

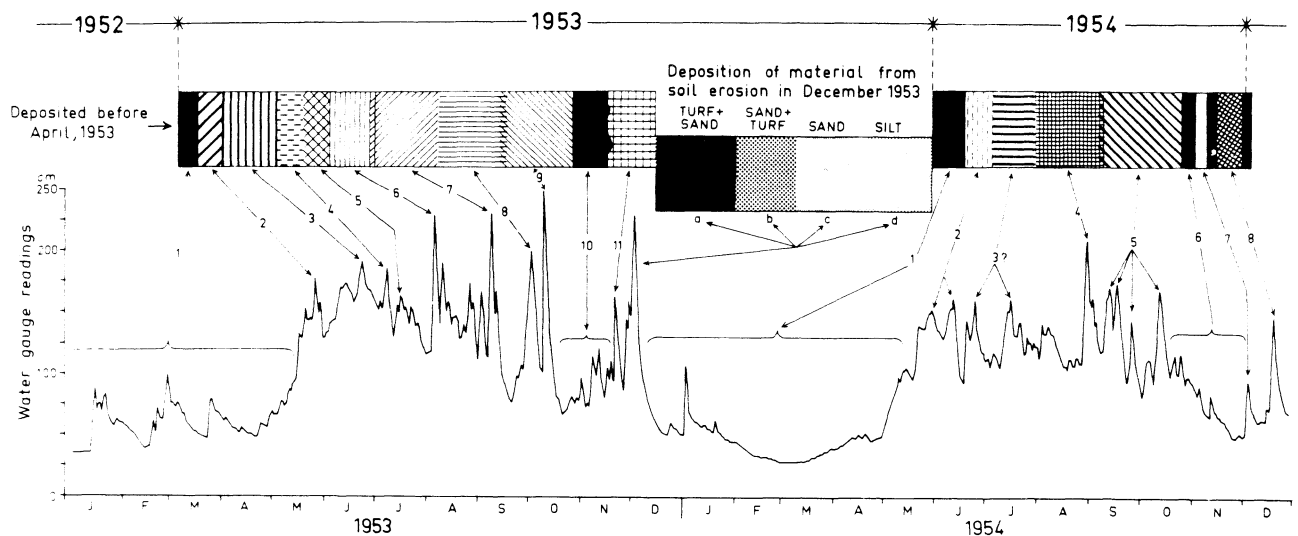


Fig. 37 En sammenlikning mellom avsetningene fra 1953 og 1954 i prøve C (dyp ca. 10-20 cm, jfr. fig. 36) og vassføringsvariasjoner i Öyreselv.

Praktisk talt hvert "mikrovarv" fra 1953 kan refereres til en vannføringstopp i løpet av sommeren. Deretter kommer det tykke laget av vesentlig organisk materiale, avsatt i desember, fulgt av et "normalt" mørkt vinterlag.

En liknende korrelasjon er forsøkt utført for sommeren 1954. Selvom det er en viss usikkerhet i tolkningen, synes det klart at vannføringsmaksima i løpet av sommeren resulterer i "mikrovarv" - liksom slike maksima er kjent for å gi store slammengder i bre-elvene.

A comparison between water discharge and deposits from 1953 and 1954 in sample C (depth 10-20 cm, compare Fig. 36). Most of the "microvarves" can be related to water discharge maxima during the summer. The thick layer of organic debris, deposited after a heavy rainstorm in December 1953, is followed by a "normal" dark winter layer and another series of microvarves during the summer of 1954. It seems clear that water discharge maxima produce "microvarves" as they also cause high sediment content in glacier streams.

Hvor høyt dette nivå skal defineres for de foreliggende prøvene er det vanskelig å si noe om, men vannføringstoppene i mai 1953 og mai 1954 (merket med sorte piler) kunne sikkert resultere i en viss materialtransport, og dermed vise seg som et "mikrovarv" i avsetningene. Man kan anta at den første vannføringstopp på forsommeren medfører en relativt kraftig "slamføringstopp" og at en like høy vannføring litt senere ikke gir like store slammengder (fordi tilgjengelig finmateriale under breen allerede er "vasket ut", se fig. 38). Først en høyere vannføringstopp som kommer senere vil gi en ny "slamtopp". Dette er forhold som er kjent fra tidligere års slamundersøkelser, og de burde kunne anvendes ved tolkninger av de foreliggende mikrovarv, selv om to tett påfølgende høye vannføringstoppér muligens kan resultere i to separate mikrovarv.

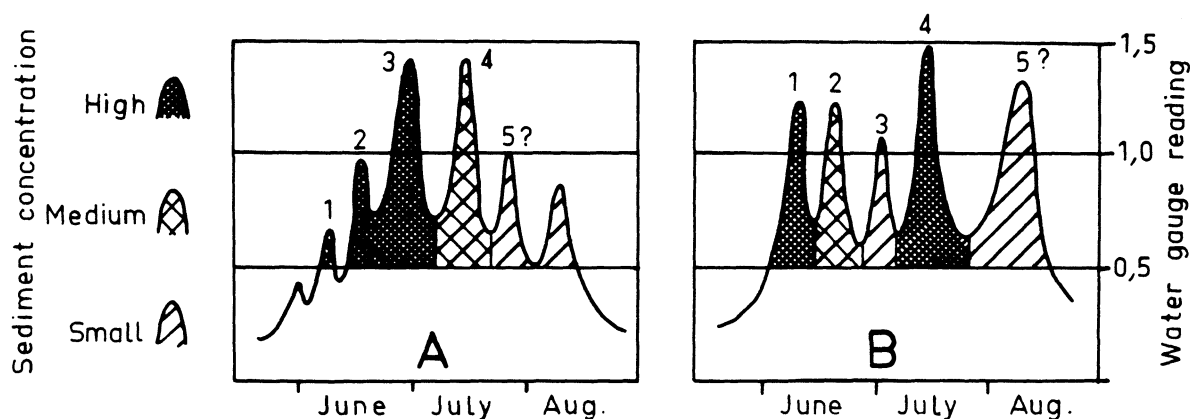


Fig. 38 Diagrammene er skjematisk illustrasjoner for to tenkte vannføringsforløp i løpet av en sommer. Kurven viser variasjoner i vannføring mens skraveringene illustrerer forekomst av suspendert materiale i elven.

Vannføringen må overstige en viss terskelverdi for det overhode kommer vesentlige slammengder. Sesongens første vannføringstopp medfører nesten alltid en høy slamkonsentrasjon. En senere vannføringstopp som er like høy gir mindre slam mens en høyere (senere) vannføringstopp atter gir en høy slamkonsentrasjon.

Hvis det forekommer to like maksima i vannføring (A-3 og A-4 eller B-1 og B-2) så vil det første maksimum alltid gi mere slam enn det siste. En relativt høy vannføringstopp sent i sesongen vil som regel gi små slammengder. Årsaken er antakelig at tilgjengelig finmateriale da allerede er utvasket.

These diagrams demonstrate the principle of variations in sediment concentration compared with water discharge variations. (Darker screen indicates higher sediment concentration).

Water discharge must exceed a certain threshold value before any significant amount of sediment is carried by the stream. The first discharge peak will normally cause a high sediment concentration, whereas a similar peak later in the season (e.g. A-4 or B-2) will give a smaller sediment concentration. Only a higher discharge peak will be able to "flush out" more sediment.

Fra midten av oktober til ca. 20. november 1953 var det en periode med forholdsvis lav vannføring etter en sommer med mange høye vannførings-topper. Vi antar at det da ble avsatt et mørkt skikt (nr. 10 i fig. 36). Den 3. desember kom det så en voldsom regnflom som følge av voldsom nedbør dagene før (32 mm den 30/11, 48 mm den 1/12 og så hele 72 mm den 2/12). Sannsynligvis har denne flommen ført til mindre jordskred eller i alle fall meget kraftig erosjon i området rundt Bondhusvatn, med den følge at store mengder organisk materiale må ha blitt ført ut i vatnet, antakelig sammen med endel grovere materiale. Dette kan være forklaringen til den nesten 3 cm tykke avsetningen, der sandblandet torv etc. utgjør over halvparten av laget.

Sorteringen av materialet i dette "varvet" tyder på at det er rennende vann og ikke f. eks. et snöskred som har ført materialet ut i Bondhusvatn. Jord, torv og småkvister sammen med grus, stein og sand er nemlig avsatt først. Siden har vi fått en mindre transport av organisk materiale, men mer sand som etterhvert - med avtagende vannføring - gikk over til mo, mjele og silt. Mot slutten av siltfraksjonen sees en meget svak skiktning som også skulle tyde på at materialet må være avsatt som en følge av rennende vann og ikke som følge av skred eller snöras.

Sammenlikning mellom de enkelte prøver

Generelt

De 6 prøvene som ble tatt i vatnet ble merket med bokstaver fra A til F. Av disse er det bare prøve E som ikke er tatt med i undersökelsen. Grunnen er at prøvetakingsstedet ligger for nær deltaet og prøven er blitt sterkt påvirket av utglidninger, setninger o.l. Elven forandrer også stadig løp gjennom deltaet og dette har gitt høyst forskjellige avsetningsbetingelser i forskjellige tidsperioder. Pröve E ble derfor forkastet som grunnlag for undersökelsen.

De fem övrige prøver, A, B, C, D og F, ble gjenstand for en grundig analyse m.h.t. de ulike varvenes tykkelse. Ideelt sett skulle en kunne tenke seg at prøvene ville være nokså like med hensyn til antall tykke og tynne varv. Ett spesielt tykt varv i serien i en av prøvene burde kunne finnes på tilsvarende plass i de andre prøvene. Dette var mulig i mange tilfeller, men ikke alltid. Grunnen til at det viste seg vanskelig å konnektere varv fra prøve til prøve har sannsynligvis flere årsaker, hvorav de viktigste kan være :

- 1) Feiltolkning av prøven. Det kan være vanskelig å skille årsvarvene fra hverandre, og de kan forveksles med "mikrovarv".
- 2) Utglidninger langs strendene kan legge et antall "ekstra" varv oppå den normale avsetningen, eller fjerne et ukjent antall varv.
- 3) Setninger i bunnen kan forstyrre lagene.
- 4) Skred (snö, jord og stein) fra fjellsiden kan gå ut på isen om vinteren og gi "uvedkommende" stoff i prøven.
- 5) Forstyrrelse i lagdelingen kan skje ved prøvetakingen.
- 6) Forstyrrelse i lagdelingen kan komme fra bekkelöp langs stranden, f.eks. ved unormalt stor tilførsel av erodert materiale.
- 7) Tetthetsstrømmer (density currents) kan erodere i eldre avsetninger.

Spesielt punkt 1 har spilt rolle ved tolkningen av prøvene. At det i tidens løp har foregått utglidninger langs stranden og setninger i bunnen må en også regne med. I prøve C er det dessuten funnet endel organisk materiale som kan skyldes snöskred som kan ha ført materialet ut på isen om vinteren. Angående punkt 5 er det klart at prøven er meget blöt når den taes opp og den kan lett komprimeres eller strekkes. Dette vil sannsynligvis virke likt på alle varvene i en og samme prøve, men forholdet mellom forskjellige prøver kan påvirkes. For konnektering av varv mellom prøvene betyr dette derimot ikke så meget. Et varvdiagram er vist i fig. 39.

Det kommer inn tre andre bekker utenom bre-elven i vatnet. I flomperioder må en regne med at også disse fører noe materiale, sannsynligvis i ulike mengder avhengig av vegetasjon og bunnforhold. Selv om vannføringen kanskje varierer i takt med bre-elvens, må en regne med periodevis stor forskjell i materialtransport, og dette kan forstyrre lagene i prøver som ligger nær bekkeutlöp. Ved prøvetakingen ble for övrig slike steder unngått.

Beskrivelse av prøvene

Pröve A

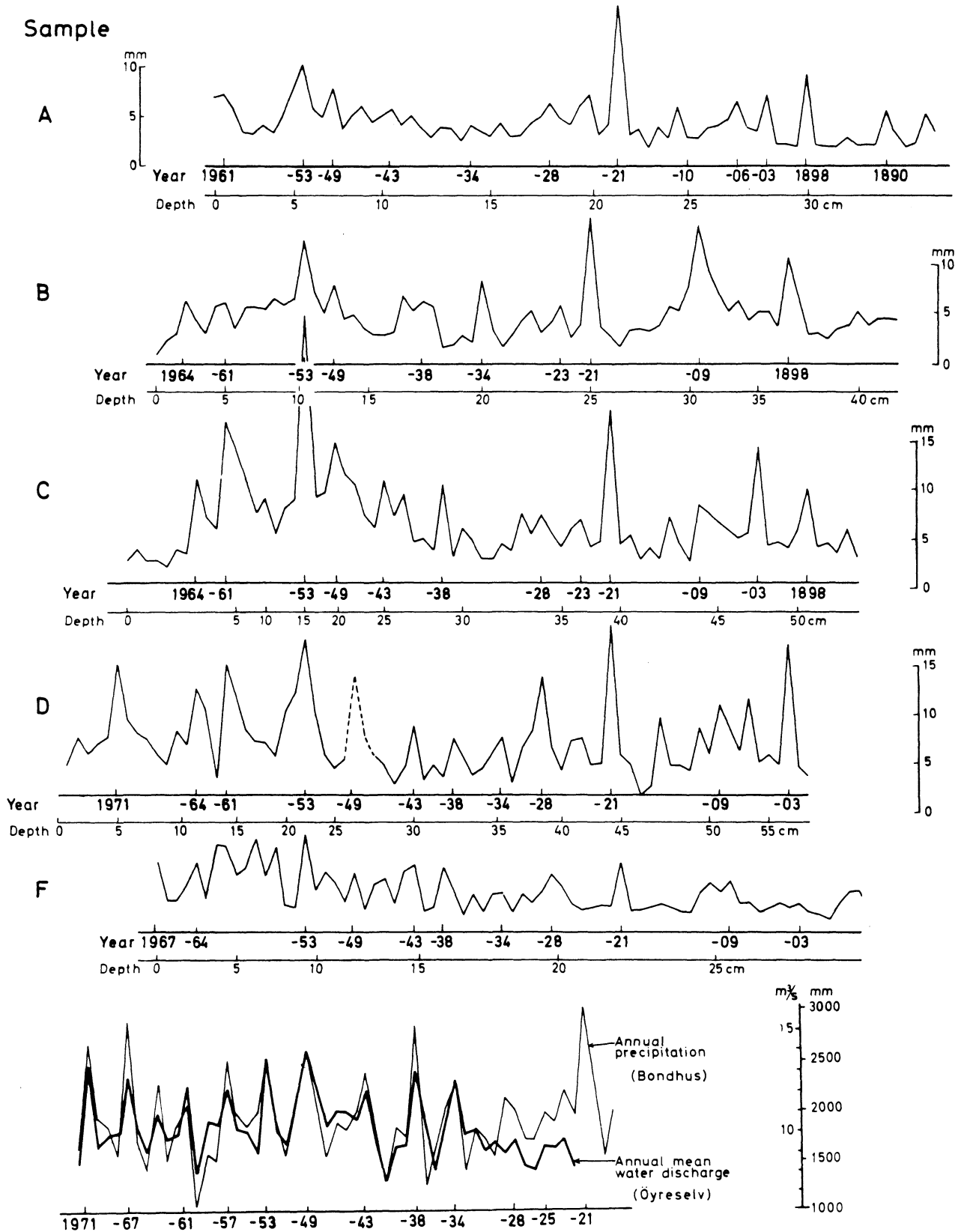
Det er særlig 6 varv (etter 1862) som skiller seg ut i denne prøven. De antas å stamme fra årene 1863, 1874, 1898, 1903, 1921, 1953. De to førstnevnte bekreftes av stor årsnedbör i Bergen. I 1898 var det stor årsnedbör i Bondhus (2800 mm, hvorav 500 falt om sommeren). Dette år var det også en meget stor flom i Jostedalen. I 1903 falt en fjerdedel av årsnedbören i perioden 1/6 - 1/9. Årene 1921 og 1953 er omtalt ovenfor. Det antas at dateringen for de tykkeste varvene i prøve A er relativt sikker. Se fig. 40.

Pröve B

Varvene er her gjennomgående noe tykkere enn i prøve A, og med de sam-

BONDHUSVATN, Norway, 1974

Sample



me maksimale årsavsetningene, bortsett fra 1903 som er mindre godt utviklet. Isteden er et tykt varv blitt datert til 1909. Selv om ca. 1/3 av årsnedbøren falt om sommeren var den totale nedbøren ikke særskilt stor, og dessuten var det en kald sommer i 1909. Det må derfor antas at det her foreligger en feiltolkning ved at man ved tellingen har feilbedømt noen av varvene før eller etter nevnte år. I tillegg til de tykke varvene nevnt i prøve A finner vi i prøve B dessuten tykke varv fra 1887, 1934 og 1938. Alle disse årene var det relativt stor nedbør og dateringen er antakelig korrekt.

Prøve C

Dette er den lengste prøven som ble tatt i Bondhusvatn. Selv om varvene gjennomgående er tykkere enn i de foregående, går denne prøven lengst tilbake i tiden, antakelig helt tilbake til slutten av 1600-tallet, fig. 41. Alle de ovenfor omtalte tykke varvene gjenfinnes i prøve C men avsetningen fra 1953 er uforholdsmessig mektig. Dette kan forklares med at det må ha gått noen skred som har avsatt ytterligere materiale. Denne antakelse bekrefte- tes ved at det finnes en del organisk materiale i denne avsetningen. Den målte tykkelse, 28,5 mm, burde antakelig bare ha vært halvparten hvis vi ikke hadde hatt dette organiske materialet med i varvet.

For dateringen av tykke varv i tidsrommet før 1862 foreligger ingen pålitelige observasjoner av nedbør eller vannføring. Det eneste som finnes er

Fig. 39 I fem av prøvene tatt fra bunnen av Bondhusvatnet var det tydelige årsvarv. Tykkelsen av disse ble målt og er avsatt som ordinator i diagrammet. Abcissen er en tidsakse som går bakover i tiden (mot høyre), slik at hver enhet på akse representerer ett årsvarv. På grunn av feiltolkninger (se teksten) i de enkelte prøver blir de horisontale aksene ikke helt like - man kan f. eks. ha "mistet" enkelte varv eller enkelte årsvarv kan ha blitt tolket som to eller flere, på grunn av forekomsten av "mikrovarv". Dette begrep forklares nærmere i teksten.

Spesielt tykke varv gjenfinnes som regel på samme sted i lagserien og disse kan ofte forklares utfra vannførings- eller nedbørsdiagrammer. Det er f. eks. tydelig at man i 1921 hadde en rekordnedbør som med sikkerhet må ha avsatt et særlig tykt sedimentlag. Slike tykke lag danner en god støtte for tolkningsarbeidet.

Five of the bottom samples taken in the lake showed a beautiful layering. It is supposed that the most prominent layers are annual deposits, varves. In some cases, however, it is anticipated that "micro-varves" are formed throughout the summer season. The thickness of each annual varve is plotted on the y-axis, whereas the x-axis is a reversed time scale. Due to ambiguities in the interpretation, there are minor errors in the time scale. However, especially heavy deposits (thick varves) are thought to originate in years of high discharge.

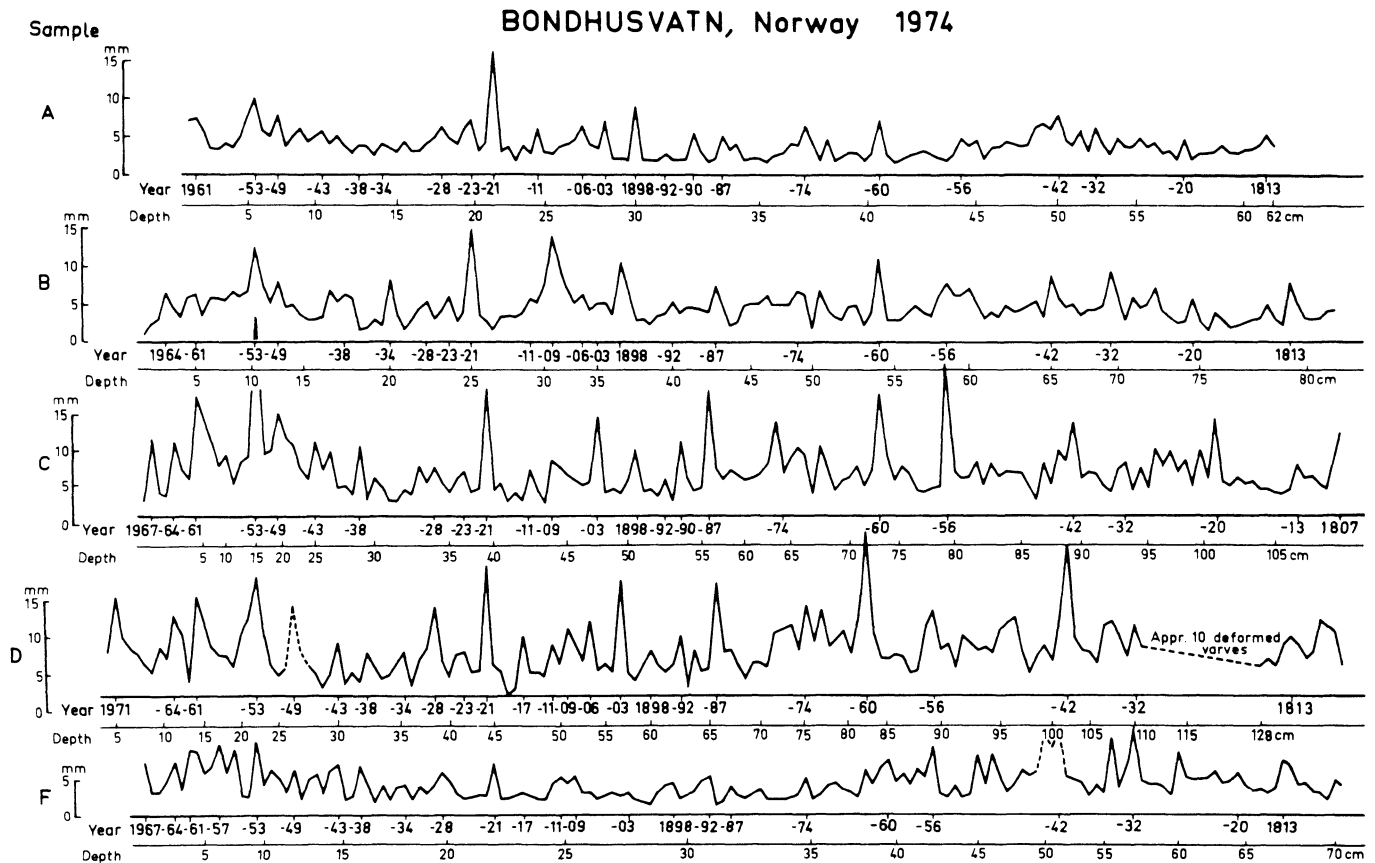


Fig. 40 Ovenstående diagram er tegnet på samme måte som fig. 39 men går lengre tilbake i tiden. Visse år utmerker seg med tykke varv som f.eks. 1887, noe som kan settes i samband med stor nedbør, se fig. 43 - der års- og sommernedbør er vist for Bondhus og Bergen. Prøve C omfattet flere varv enn de andre prøvene, se fig. 41

This diagram was constructed similar to Fig. 39 but penetrates further back in time. Note the heavy deposits (thick varve) from 1887, a year of heavy precipitation. Sample C contains even older deposits, the continuation of the diagram is shown in Fig. 41

noen historiske notater om store flommer. Disse opplysningene antyder at det må ha vært stor vannføring på Vestlandet i årene 1734, 1773, 1789, 1813, 1820, 1832, 1842, 1856 og 1860. Denne informasjon om unormale flomsituasjoner er benyttet for å tidfeste de tykke varv som ikke kan bekreftes med målinger eller med andre opplysninger. Alle år som ligger mellom de nevnte årene er bare påført ved å telle varvene.

I tillegg til de varv som synes å passe med ovennevnte flommer er det i prøven funnet fire år med tykke avsetninger. På grunnlag av ren telling er disse datert til å ligge omkring 1750, 1760, 1800 og 1807. Spor av organiske partikler i det førstnevnte kan tyde på skred dette år, men de andre har ikke kunnet bekreftes hverken med historiske data eller på annen måte.

Flommen i 1789 synes å ha avsatt 8,6 mm tykt varv, mens flommen i 1773 markerer seg med en varvtykkelse av hele 11 mm. Også flommen i 1734 kan antakelig spores - se fig.41.

Varvene bakover fra 1750 til omkring 1690 er svært tynne. Dette kan passe bra med det vi vet om klimaet på denne tiden - det var kladt og mye av nedbøren kom som snö.

Pröve D

Stort sett finner vi tykkere varv enn i prøve C, og diagrammene likner hverandre i store trekk.

Pröve F

Denne prøven var vanskeligst å bearbeide, antakelig fordi prøven ble tatt for nær land. Utglidninger og derav følgende slamlastede vannstrømmer kan ha forstyrret lagdelingen. En del år kan derimot gjenkjennes, noe som framgår av figuren. Ved senere prøvetakinger bør man unngå å ta prøver så nær land eller i nærheten av bekkeutløp.

Korrelasjoner

Tykkelsen av varvene er med stor sannsynlighet direkte korrelert med vannføringen, slik at i en sommer med stor vannføring vil vi få mer slam ut i vatnet og derved få et tykkere varv enn om sommervannføringen hadde vært mindre. For å kunne datere de forskjellige varvene ville det vært bra om vi hadde hatt vannføringsobservasjoner i Bondhuselven langt tilbake i

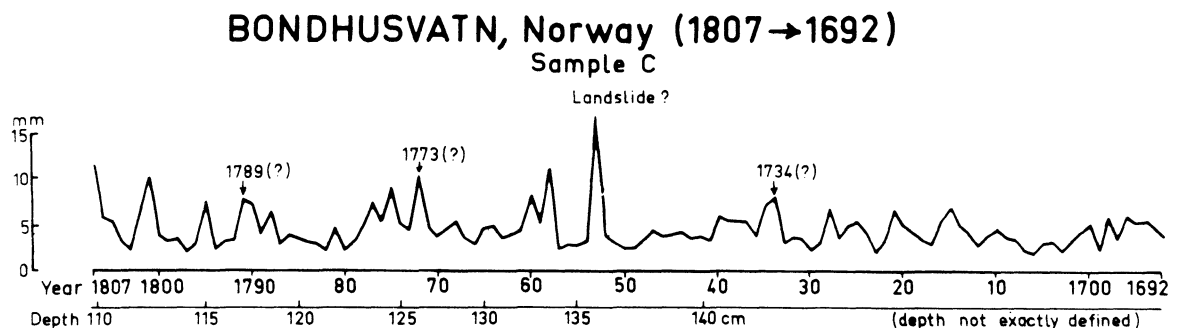


Fig. 41 Figuren er et varvdiagram for de dypeste delene av prøve C. Visse tykke lag er antatt å tilsvare år med historisk kjente storflommer mens den tykke avsetningen omkring 1753 ikke kan forklares annet enn som en lokal "naturkatastrofe". Da vannførings- og temperaturmålinger ikke var påbegynt da, er det umulig å trekke sikre slutninger ang. tidsskalaens riktighet.

The deepest (oldest) parts of sample C are shown in this diagram. Some of the thickest varves are explained by known flash floods in Western Norway, whereas the 1753 deposit must be explained by a local landslide or similar "catastrophy".

tiden. Slike observasjoner finnes dessverre ikke fordi vannmerket (VM 1426) ikke ble opprettet før i juli 1963. Dessuten mangler observasjoner fra årene 1966, 1969 og 1970. Et annet vannmerke, Överhuselv (VM 1683)

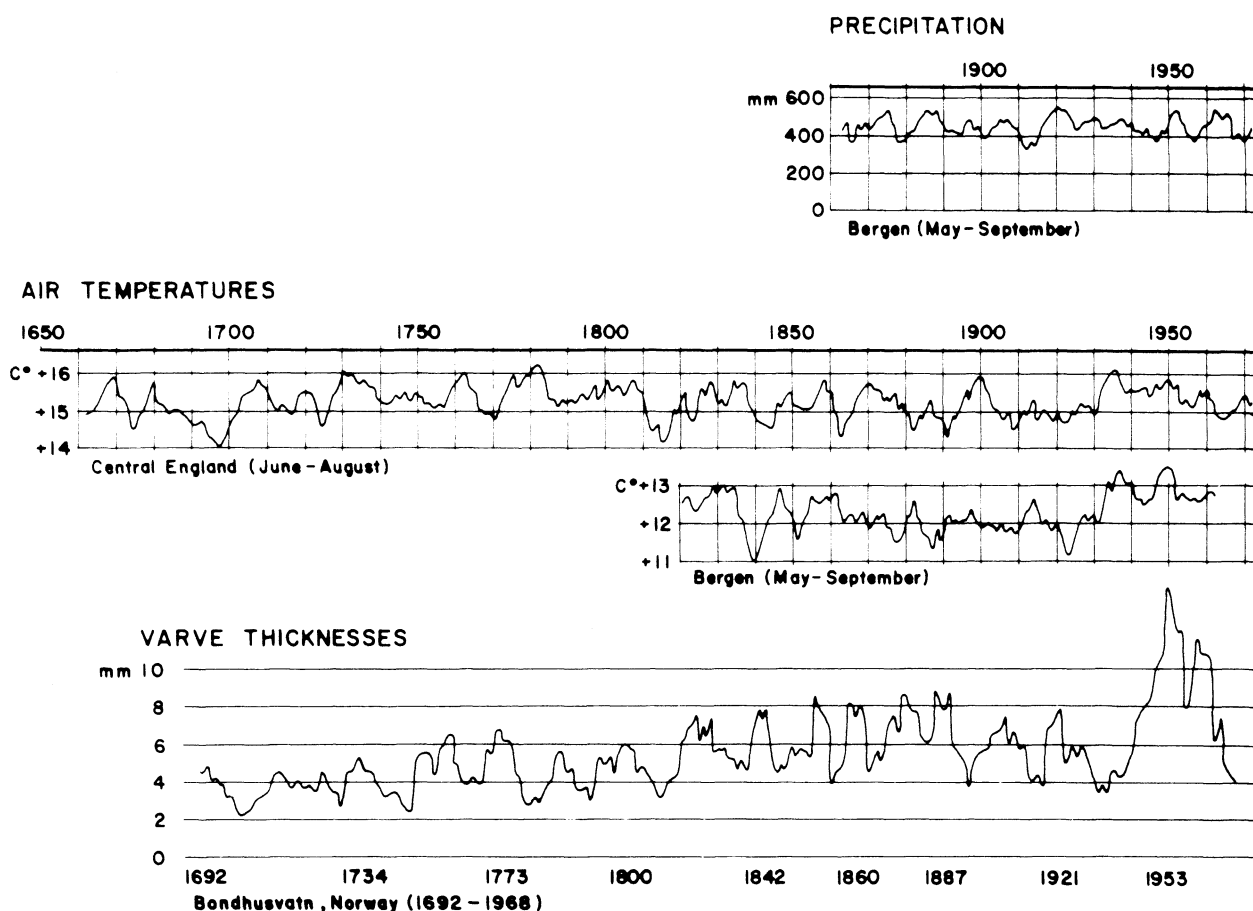


Fig. 42 Et forsøk ble gjort med å konnektere variasjoner i varvtykkelsen (prøve C fra Bondhusvatn) med meteorologiske parametre. De lengste relevante måleserier i Norge foreligger fra Bergen. For å finne temperaturkurver langt nok bakover for å dekke samme tidsrom som prøve C omfatter, må man ty til observasjoner fra England.

Alle kurvene er tegnet som løpende 5-års middeltall. Mens tidsaksen selvsagt er klar og entydig for de meteorologiske observasjonene, er den mer usikker for varvdiagrammet. Allikevel er det visse slående likheter mellom varvdiagrammet og temperaturen i England, spesielt for perioden 1692-1800, idet varme perioder synes å følges av tykke avsetninger. Man kan dog ikke trekke for vidtgående slutninger på dette spinkle grunnlag. Merk f. ø. at de aller tykkeste varvene i prøve C opptrer i en periode med rekordhøy sommertemperatur i Bergen og samtidig stor sommernedbør.

Speculations can be made concerning climatic fluctuations and sedimentation in the lake. This diagram is based upon 5-year running means, and there are definite signs of "correlation" between the curve for varve thickness and the meteorologic parameters. However, one must be careful to draw conclusions from this diagram.

ligger bare 5 km unna men ble satt igang først i 1967. Derfor har vi valgt å bruke avløpsstasjonen Öyreselv (VM 962) som har gode observasjoner fra 1922. Dette vannmerke ligger ca. 8 km fra Bondhusvatn, breprosenten er 21, mens Bondhusvatn har 47% bredekket nedslagsfelt.

Når avløpsobservasjoner mangler kan man til en viss grad bruke nedbør-observasjoner. Slike ble igangsatt i Bondhus allerede 1896 og det viser seg at årsnedbøren i Bondhus er ganske godt korrelert med årsavrenningen i Öyreselv. Dette er vist på diagrammet, fig.39 . Videre er det en god overensstemmelse mellom årsnedbøren i Bondhus og årsnedbøren i Bergen der meteorologiske observasjoner ble startet allerede i 1862, fig. 43, og materialet derfra har vært benyttet i undersøkelsen, se nedenfor.

Temperaturobservasjoner foreligger fra år 1900 ved den meteorologiske stasjon Ullensvang i Hardanger og fra Bergen helt tilbake fra 1818. Det har imidlertid vist seg at temperaturvariasjonene er vanskelige å korrelere med nedbør og avløp, selv om selvsagt en meget varm sommer vil gi mere smeltevann enn en kjølig sommer. For det maritime vestlandsklimaet har det allikevel vist seg at nedbøren dominerer når det gjelder variasjoner i avløp - i alle fall sammenfaller år med maksimale avløp med tilsvarende år med stor årsnedbør. Temperaturobservasjoner er derfor bare i liten grad blitt benyttet i denne undersøkelsen.

Hovedgrunnlaget for tolkningen av sedimentprøvene, dvs. dateringen av de tykkeste varvene, er kurvene for årsnedbør i Bondhus og årsvannføringen i Öyreselv. For tiden fra 1922 til 1971 foreligger fullstendige observasjoner (se fig. 39 nederst). I denne perioden har det 3 ganger forekommet en meget høy sommertemperatur (middeltemperatur 1/6 - 1/9), nemlig i årene 1934, 1949 og 1953, da den var 13,2, 13,0 og 13,5 i de respektive år. Blandt disse tre årene utpeker 1949 seg med meget stor årsnedbør og vannføring. Allikevel ser det ut til at varvet fra 1953 er tykkere. I 1953 kom det noe mer nedbør i tiden juni - september enn i 1949 men det er helt klart at varvet fra 1953 er størst i alle prøvene; i C-prøven er det hele 28 mm tykt. Når det gjelder varvet fra 1934 så er dette ikke så imponerende tykt. Det var da riktignok en varm sommer og en stor årsnedbør, men en forholdsvis stor del av nedbøren kom utenom sommerperioden.

Det aller tykkeste varv i samtlige prøver fra vårt århundre synes å være avsatt i 1921. Dessverre begynte vannføringsobservasjonene i Öyreselv først i 1922 så vi kjenner ikke dens størrelse i 1921. Men dette året ble den høyest observerte årsnedbør (siden observasjonene begynte i 1918) målt i Bondhus, og en meget høy vannføring har nok forekommet i 1921.

Når det gjelder de eldste varvene som ble funnet i prøve C, er det som ovenfor nevnt vanskelig å være sikker på om tolkningen er korrekt, m.a.o. hvorvidt tellingen av årsvarv er korrekt utført. Imidlertid foreligger det jo indikasjoner på at kronologien er riktig; holdepunkter finnes bl.a. i historisk daterte storflommer som nødvendigvis må ha avsatt ekstremt tykke varv, og som jo ifølge tellingen passer godt inn i tidsskalaen.

En visuell "korrelasjon" mellom 5-års utjevnete kurver for sommertemperatur i Bergen og Syd-England, sammenholdt med nedbørkurven fra Bergen, og varvserien fra prøve C gir grunn til interessante spekulasjoner, se fig.42. Det er imidlertid tvilsomt om man kan trekke noen vidtgående konklusjon angående sambandet mellom klimavariasjoner og varvtykkelse på dette relativt spinkle grunnlag.

Konklusjon

Ved å betrakte varvdiagrammene og sammenholde dem med eksisterende observasjoner av årsnedbør og vannføring kan man tidfeste enkelte spesielt tykke varv. Det er klart at jo lenger tilbake i tiden vi går jo større blir usikkerheten i dateringene ettersom lange observasjonsserier av vann-

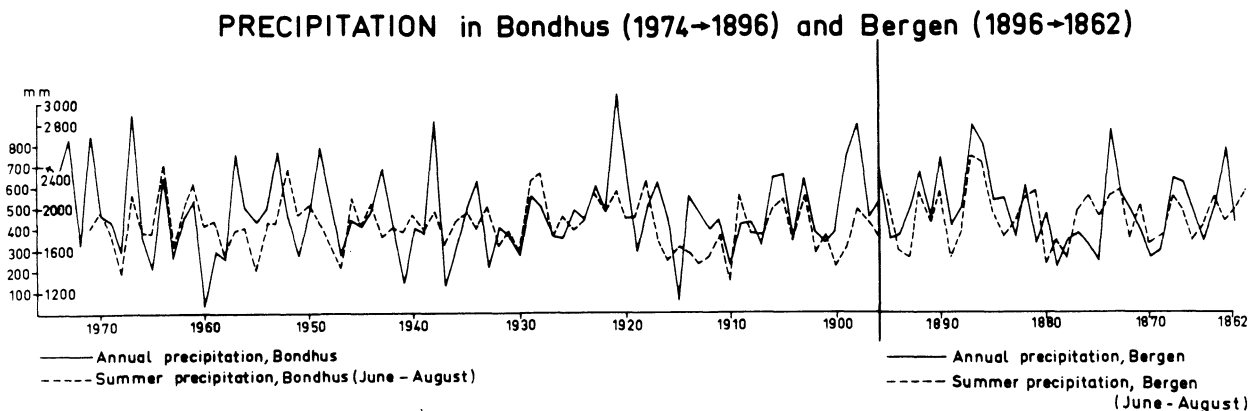


Fig. 43 Diagrammet viser års- og sommernedbør i Bondhus (tilbake til 1896) og i Bergen for tiden 1896-1862. Disse kurver ble brukt som hjelpemiddel ved tolkningen av varvseriene fra Bondhusvatn. Man antar at en stor sommernedbør resulterer i kraftig vannføring som vasker ut store slammengder. Vi får da et tykkere varv enn ellers. Hvis sommernedbøren er liten, så kan dette bety at det var en varm sommer med derav følgende stor breavsmeltning. Liten nedbør er derfor ikke nødvendigvis knyttet til tynne varv.

Meteorologic observations are available back to 1896 from the station Bondhus, older series back to 1862 are available from Bergen, 60 km to the NW. High summer precipitation causes in general a high water discharge, which in turn will produce a high suspended sediment transport, and a thick varve. However, also hot summers produce high discharges.

föring og nedbör mangler. Men det har vist seg at variasjonen i årsnedbör i Bergen er godt korrelert med årsnedbören i Bondhus og dette gjør det mulig å bruke observasjonene i Bergen for tiden før 1896 (se fig. 43).

En stor årsnedbör betyr ikke nødvendigvis at vi får et tykt varv, men hvis samtidig også sommernedbören er stor, kan man regne med at dette gir et tydelig utslag i varvdiagrammet. For gamle avsetninger vil kurver for 5-års löpende middeltall kanskje kunne brukes for å studere klimavariasjoner - meget kalde perioder vil antakelig vise seg som perioder med tynne varv på grunn av liten sommervannföring.

SLUTTORD

De 6 bredekkede nedbørfeltene som ble undersøkt i 1974 dekker mellom 4 og 245 km², mens breprosenten varierer mellom 13 og 78. Små bredekkede nedbørfelt har en egenartet hydrologi som kjennertegnes ved at avrenningssesongen er kort og intens og vannføringsvariasjonene innenfor sesongen er store og hyppige.

Materialtransporten preges av avløpsforholdene. I første rekke har vannføringen og graden av turbulens betydning for vassdragets evne til å transportere materiale. Til dette kommer breenes vekslende evne til å skaffe fram nytt materiale for fluvial transport. Det har vist seg at det ikke eksisterer noe enkelt samband mellom materialtransport og vannføring i brevassdragene sett over lengere perioder. Imidlertid kan et slikt samband finnes for kortere perioder, men forholdene skifter ofte gjennom en sesong, noe som særlig kommer til uttrykk i forbindelse med flommer. I de fleste tilfeller er tilgjengeligheten av materiale for transport størst i begynnelsen av avrenningssesongen, men det finnes eksempler på at tilgjengeligheten har øket senere i sesongen. Dette skjer oftest i forbindelse med en flom. Årsaken kan være at elva under flommen har skiftet løp under breen og således kunnet erodere materiale fra nye områder.

Tabellen i fig.44 viser resultatene fra 1974 stilt sammen med tidligere års resultater. Tabellen er noe omarbeidet i forhold til tidligere år, fram til 1972. Basert på erfaringer av målingene av deltatilveksten i Nigardsvatnet de siste 6 årene og i Bondhusvatnet i 1972 er bunntransportens andel av den totale materialtransporten satt til 40%. Tidligere var det regnet med at bunntransporten utgjorde 30% av transporten av suspendert materiale, dvs. ca. 23% av den totale materialtransporten. Som før viser tabellen antall uker med observasjoner ved hver elv og observert transport av suspendert materiale, utregnet på grunnlag av innsamlede vannprøver. Videre er det på grunnlag av disse verdier gjort en vurdering av den totale materialtransporten fra de enkelte breene etter det mønster som er nevnt ovenfor.

Ved Nigardsbreen og i Visa ble det i 1974 utført direkte målinger av avlagringen av bunntransportert materiale, så for disse to målestedene er disse tallene lagt sammen med mengden av suspendert materiale for hele avrenningssesongen. Transporten av suspendert materiale utenom observasjonsperioden er anslått på grunnlag av forløpet av avrenningen i de enkelte vassdragene. For enkelte elver finnes det data for avrenningen utenom observasjonssesongen, mens avløpet for noen elver er anslått

etter en vurdering av data fra nærliggende målestasjoner. Til slutt er den spesifikke sedimentproduksjonen for hver bre angitt i tonn/km² og den tilsvarende erosjonen angitt i mm. Det første tallet er framkommet ved at den antatte årstransport er dividert med arealet av breen(e) i nedslagsfeltet. Ved beregning av erosjonen er det regnet med en egenvekt av 2 g/cm³ for alt materiale som er funnet. For å finne tilsvarende erosjon av fast berg med en egenvekt på 2,6 - 2,7 g/cm³ må det oppgitte tallet reduseres med 25%.

Tabellen viser at det er store ulikheter i materialtransporten forbi målestedene i de forskjellige bre-elvene. Transporten fra en og samme bre varierer også betydelig fra år til år. Stort sett varierer sedimenttransporten i de enkelte brevassdragene noenlunde likt innen de enkelte landsdeler.

Påliteligheten av tallene i tabellen er bl. a. avhengig av lengden av observasjonssesongen. Jo lenger denne er, jo bedre blir som regel bedømmelsesgrunnlaget for totaltransporten. Ved en bre som når så lavt som Nigardsbreen starter avrenningssesongen som regel allerede i månedskiftet mai/juni mens tidspunktet for avslutningen av avrenningssesongen varierer en hel del (fig. 6). Oftest minker vannføringen sterkt i september, men enkelte år har det forekommet betydelige flommer i oktober, og selv i november har det forekommet mindre flommer. Stort sett varer avrenningssesongen ved Nigardsbreen i 12-20 uker.

For høyere liggende breer som Høgtuvbreen og Trollbergdalsbreen starter avrenningssesongen omkring midten av juni eller noe senere. Oftest er den avsluttet i månedskiftet august/september, selv om det kan forekomme flommer utover i september. Avrenningssesongen for disse breene varer i 10-14 uker.

I undersøkelsesprogrammet legges det størst vekt på observasjoner av transporten av suspendert materiale i brevassdragene. I de senere år er det også blitt nødvendig å skaffe sikrere data om transporten av grovere materiale. Dette er blitt gjort ved målinger av deltatilvekst i sjøer nær brefronten, som ved Nigardsbreen og Engabreen eller ved målinger av avsetninger i en kunstig dam (Visa).

Metodikken ved prøvetakning osv. er beskrevet i innledningen. Det er valgt en høy observasjonsfrekvens for å kunne registrere de mange og store forandringer i bre-elvens materialkonsentrasjon så godt som mulig. Det er midlertid kjent at konsentrasjonen av suspendert materiale varierer i bølger som er så kortvarige at de ofte ikke kan registre-

		INVESTIGATIONS OF SEDIMENT YIELD AT SELECTED GLACIERS IN NORWAY								
Glacier or river name	Glacier area km ²		1967	1968	1969	1970	1971	1972	1973	1974
Nigardsbreen	47	Number of weeks with observations		12	13	16	18	15	15	15
		Observed suspended transport, tons		4370	13910	13954	9255	10250	10500	5500
		Estimated total annual transport		10000	22000*	26000*	14000*	27500*	28300*	12400*
		Sediment yield tons/km ²		215	470	550	300	590	600	260
		Corresponding erosion in mm		0.11	0.23	0.28	0.15	0.29	0.30	0.13
Auster-Mo- marbreen	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	0.44	0.33	0.46	0.64	0.30	0.35		
Visa	33	Number of weeks with observations								13
		Observed suspended transport, tons								13730
		Estimated total annual transport								18600
		Sediment yield tons/km ²								560
		Corresponding erosion in mm								0.28
Bondhusbreen	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						0.64	0.56	
Erdalsbreen	11	Number of weeks with observations	6	10	11	15	14	14	4	
		Observed suspended transport tons	7840	6300	14720	19250	7050	7300	1400	
		Estimated total annual transport	13300	12500	26700	33500	16700	12500	(11700)	
		Sediment yield tons/km ²	1210	1135	2430	3030	1515	1135	(1060)	
		Corresponding erosion in mm	0.60	0.57	1.21	1.52	0.76	0.57	(0.53)	
Veiledals- breen	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	0.13	0.08	0.15	0.08	0.08	0.06		
Suddala	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								0.17
Engabreen	38	Number of weeks with observations			8	12	14	16	15	14
		Observed suspended transport tons			8650	11560	15440	19750	10770	11350
		Estimated total annual transport			15800	22500	28000	35000	19480	22500
		Sediment yield tons/km ²			415	590	735	920	515	590
		Corresponding erosion in mm			0.21	0.30	0.37	0.46	0.26	0.30
Trollberkdals- breen	2	Number of weeks with observations				9	10	10	10	11
		Observed suspended transport tons				2840	4200	4700	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				1.43	2.20	1.88	0.94	0.42
Holubreen	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						0.35	0.20	0.19

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

res på denne måten. Det arbeides derfor videre med å utvikle et instrument for automatisk registrering av vannets lysgjennomtrengelighet, noe som til en viss grad er avhengig av innholdet av suspendert materiale.

Som nevnt i innledningen skaper den store materialtransporten i bre-elvene ofte problemer for beregning av vannføringen fordi ved store flommer kan elveprofilen ved målestedet bli forandret, og dette får konsekvenser for beregningene av vannføring og massetransport. En søker å unngå slike feil ved hvert år å foreta nye vannføringsmålinger ved de enkelte vannmerkene, og i enkelte tilfeller jevnføres avløpene med data fra nærliggende vannmerker.

Materialet i suspensjon er som nevnt i innledningen begrenset til partikkelstørrelser mindre enn 1 mm idet korn med større diameter fjernes fra filtrerpapiret før veiing. Det kan diskuteres om grensen bør gå ved 0,5 eller 1,0 mm. Tidligere er den satt til 0,5 mm, men i praksis varierer grensen med turbulensgraden fra elv til elv og langs elveløpene. Mengden av materiale med en partikkelstørrelse over 0,5 á 1 mm varierer således ved de enkelte måstedene. De minste kornene, med en middeldiameter mellom 0,5 - 1 mm, gjør et så lite utslag på vekten av den totale massen av suspendert materiale at feilen blir ubetydelig om disse kornene ikke fjernes.

Av årets observasjonssteder i Sør-Norge har det tidligere bare vært undersøkelser ved Nigardsbreen. Det har vist seg at breene innen de enkelte landsdelene stort sett beholder den samme "rangordning" m.h.t. sedimentproduksjon fra år til år og stort sett varierer de "i takt". For å vurdere resultatene fra nye måsteder er det derfor meget verdifullt å ha minst én lang observasjonsserie som referanse.

Av de sør-norske bre-elvene som ble undersøkt i 1974 fant en den største spesifikke sedimentproduksjonen i Visa, nær dobbelt så stor som fra den delen av Tystigbreen som drenerer til Sunndöla. Denne var igjen

Fig. 44 Tabellen viser resultater fra sedimenttransportundersøkelser i 1974 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 spesifik sedimentproduksjon.

The table shows a summary of results from the investigations of sediment yield at selected glaciers or glacier rivers in Norway. For each glacier or glacier river the number of weeks with observations, observed suspended load, estimated total annual transport and values for specific sediment yield are shown.

noe større enn sedimentproduksjonen fra Nigardsbreen. I disse beregningene er bare bredekket område tatt med for hvert målested.

Sammenlikninger på grunnlag av ett års målinger kan selvsagt være usikre, men en sammenlikning med tidligere års målinger tyder på at sedimentproduksjonen ved breene i Visas nedslagsfelt er av samme størrelse som ved Austre Memurubre der det tidligere er foretatt målinger.

De undersøkte breene i Nord-Norge beholdt samme "rangordning" m.h.p. spesifikk sedimentproduksjon i 1974 som i tidligere år. Trollbergdalsbreen hadde størst produksjon men forskjellen mellom den og Engabreen og Högtuvbreen var imidlertid betydelig mindre i 1974 enn i tidligere år. Før har forholdet variert mellom 4:1 og 6:1. I 1974 var dette forholdet redusert til 1,4:1. Forholdene ved Trollbergdalsbreen var m.a.o. sammenliknbare med de andre undersøkte breene.

I tilknytning til det subglasiale inntaket ved Bondhusbreen ble det vinteren 1974 tatt opp prøver av bunnsedimentene i Bondhusvatn. Dette ble gjort for å få et begrep om materialtransporten i vassdraget i tidligere år. Sedimentasjonskammeret, som skal fange opp de grove sedimentene fra bre-elva, må nemlig dimensjoneres slik at det ikke overfylles i et år med ekstrem bunntransport.

Prøvene som ble tatt opp består av lyse og mørke lag (varv). Disse er vanligvis avsatt henholdsvis om sommeren og utover høsten og vinteren, og de gir mulighet for datering idet de enkelte årslagene ble korrelert med data om årsnedbør, vannføring etc. ved nærliggende meteorologiske og hydrologiske stasjoner.

De eldste sedimentene som ble tatt opp stammer antagelig fra slutten av 1600-tallet og det lyktes å knytte de fleste av de tykke lagene i prøvene til år med stor nedbør og/eller store flommer. Prøvene skulle derfor gi et godt grunnlag for en vurdering av avsetningsforholdene i Bondhusvatn de siste 2-300 år.

Det arbeides videre med å utarbeide sikrere metoder for datering av prøvene ved å analysere variasjonen av mineralsammensetningen eller innholdet av pollen i de forskjellige delene av prøvene. For tiden foreligger det planer om å ta opp liknende prøver fra flere vatn i brevassdrag der utbygging er foreslått.

SUMMARY

General

Studies of sediment transport in Norwegian glacier streams are carried out for two main reasons :

- in the planning stage of hydro-electric power developments in glacierized basins it is necessary to obtain data of the sediment transport because particles in suspension and material carried as bottom load will cause technical problems.
- to obtain data that can form a base for scientific discussions on the rate of glacier erosion.

Studies of selected glacier streams have been carried out since 1967 as a joint project between the Norwegian Water Resources and Electricity Board (NVE) and the Department of Physical Geography at the University of Stockholm. The studies in 1974 comprised water sampling in 4 glacier streams that had been observed during several years and in two other glacier streams where a new series of observations were started (the Sunndøla River west of Jostedalbreen and the Visa River in Jotunheimen). In one case special studies were also made of the bottom load - a dam was constructed across the Visa River where coarse material was collected. Thus, a direct measurement of the bottom load could be made. An indirect study of the bottom load is continuously performed at two locations (Nigardsvatnet and Engavatnet) where the delta growth is measured by annual surveys. In one particular case, where a subglacial water intake is being constructed, special studies were made to predict the maximum sediment transport that could be expected in this river in the future. This was made by a special sampling program of annual "varves" deposited on the bottom of the lake Bondhusvatn. More than 200 were found and a statistical method was used to predict the maximum expected sediment transport.

Since 1967 certain series of sediment transport studies have been discontinued and others started. All locations where studies have been performed are indicated on a map in this report and a summary of the results for these years is given in a table.

Most of the field work concentrates on the suspended sediment transport. While water discharge is in general recorded continuously, water samples are taken at intervals, but in general at least 5 samples are taken per day.

During periods of rapidly increasing discharge, samples are taken every hour and in many cases two samples are taken at the same time to determine whether or not results are reproducible. The water samplers contain approx. 1 litre - their volume is always measured individually - and the amount of suspended sediment is obtained by filtering in the field and ashing in a laboratory. Particles larger than 1 mm are not regarded as suspended material and are removed from the samples. Bottom load is in general coarser material that is moving along the bottom or very close to the bottom (by saltation).

The observation period lasted in general from early June to the middle of September. Only at the Visa River the studies started somewhat later, i. e. on June 17th after the spring flood was well started. There are no interruptions in the observation series and the results should be regarded as fairly good. Calculations of sediment concentration for each sample, interpolation for periods between times of sampling etc. were made by computer. Some results and comments are given below for the various observation sites.

Nigardsbreen

The melt water from the Nigardsbreen outlet glacier (47 km^2) from the Jostedalsbreen ice cap runs through a lake ($0,6 \text{ km}^2$) where most of the sediments are deposited. Water samples were taken at the outlet of the lake, and it is therefore possible to calculate the amount of sedimentation that takes place in the lake. Further, the amount of bottom load carried from the glacier into the lake can be measured by detailed surveys of the delta growth. This has been done on an annual basis since 1968.

Results from the observations in 1974 are shown in Fig. 5. The precipitation was observed by means of a simple precipitation gauge of the type Pluvius, whereas air temperature was recorded on a thermograph which was checked daily by means of a Mercury thermometer. The water discharge was recorded near the outlet of the lake where the river cross-sectional profile is stable and the relation between water stage and discharge is well known.

The maximum discharge occurred on August 27 when $2,8 \cdot 10^6 \text{ m}^3$ passed the gauging station. The maximum sediment transport into the lake, 280 metric tons, occurred that day. The total discharge during the entire observation season 28 May - 8 September amounted to approx. $128 \cdot 10^6 \text{ m}^3$. The total suspended sediment load was about 5500 metric tons, of which al-

most 80% was deposited on the lake bottom. This result agrees well with data from previous years when the relation was found to be between 70 and 85%. The highest sediment concentration, 255 mg/l, was found in the beginning of the season, namely on June 14. This concentration is relatively low compared with results obtained during previous years when 500 - 2 000 mg/l have been observed at the same location.

The accumulation of coarse material on the delta was measured by S. R. Ekman who found an accumulation from the fall 1973 to the fall 1974 amounting to about 6 400 metric tons. Owing to the fact that some amounts of fine sediments were transported both before and after the observation period, it is estimated that the total transport of solid materials from the glacier during the whole season amounted to 12 400 metric tons in 1974. Evenly distributed under the entire glacier surface this amounts to a layer of 0,13 mm thickness.

A special calculation was made for the years 1969-74 concerning the relation between transport of suspended sediment and bottom load in the river. On an average, 52% of the total transport of solid matters was carried in suspension whereas 48% was carried as bottom load. In a previous report (Ekman 1970) it was concluded that at least 25% of the total transport consisted of bottom load. This figure was apparently too low, so for other glacier streams that are comparable with the river from Nigardsbreen, it is realistic to anticipate that the bottom load accounts for at least 40% of the total transport of solid matter.

Visa River

The Visa River originates from several glaciers in the valley Visdalen, but the observations made in 1974 in this river are different from similar observations made elsewhere, because the point of observation is situated at a much longer distance from the glaciers. The reason for this is that the objective for this study was slightly different, because this river will not be directly used in the power production, but its bottom load may cause special problems if the Bövra River is diverted (to a power station in a neighbouring valley). At present all bottom load carried by the Visa River is flushed further down the main valley by the Bövra River. In the future, (if the planned water power installation becomes a reality) this material will be deposited in the valley Böverdalen and could cause many inconveniences, e. g. the main highway through the valley may be flooded and farming may be impossible in certain locations.

To find out how much material is carried annually as bottom load in the Visa River a dam was constructed across the river just above its confluence with the Bövra River. A flash flood in the middle of June damaged the dam (Fig. 7), and it could not be repaired until the beginning of August. There is therefore a break in the measurements, but during the remaining part of the summer it was possible to establish a relationship between bottom load and suspended sediment transport, because water samples were taken continuously and the collecting area above the dam was frequently surveyed. At each survey about 600 points were leveled (cf. Fig. 10 and 11), the results from the observations are shown in Fig. 12. The main reason for variations in water discharge is the variation in air temperature because the 25 glacier units draining into the stream have a major impact on the hydrology in the stream.

However, heavy precipitation will also increase the water discharge and flash floods often occur during periods of warm weather followed by heavy rain.

The maximum daily discharge occurred on June 17 ($6,6 \cdot 10^6 \text{ m}^3$) whereas the highest instantaneous discharge was observed on August 27 at 1600 hrs when as much as $103 \text{ m}^3/\text{s}$ was passing the gauging station. At that occasion, the highest suspended sediment concentration was observed ($1,870 \text{ mg/l}$). No less than 45% of the total suspended sediment transport of this summer occurred on that day.

The total transport of suspended sediment amounted to 13,750 metric tons. It is estimated that for the entire melt season this figure should be increased to 16,500 metric tons.

The bottom load as calculated from the above-mentioned surveys amounted to 1,810 metric tons which is only 13% of the total transport of solid matter at this point in the Visa River. This is considerably less than similar figures obtained from glacier streams elsewhere, and the difference is obviously due to the fact that the measuring site is located far from the glaciers producing the material. If the total amount of solid material were evenly distributed over an area equal to that of all glaciers in the catchment area it would correspond to a layer 0,28 mm thick. It is, however, doubtful if, in this case, such a calculation should be made, because some of the material may originate from other parts of the catchment area than the glaciers. Some details from the investigations are shown in Fig. 14.

Sunndöla River

In connection with a planned water power installation on the western side of the Jostedalsbreen ice cap it is intended to collect water from several streams in a so-called "roof gutter system". This is an almost horizontal tunnel running mainly in a northeast to southwest direction with several water intake points. One of the streams that will be captured by this system is the Sunndöla River, and it is of interest for the planning engineers to obtain data on the sediment transport in this stream. It has a catchment area of 60 km^2 of which 21 km^2 are covered by 5 glaciers; the largest glacier is Tystigbreen ($9,4 \text{ km}^2$), see Fig. 21.

A water sampling station was established at the abandoned farm Sunndalen (Fig. 16) where a recording water gauge has been in continuous operation since July 1967. Due to technical difficulties there are, however, uncertainties concerning the rating curve for this discharge station.

The water sampling period comprised no less than 108 days in 1974, and all main flash floods were covered. Frequent samples were taken during these floods in the main river and, occasionally, samples were also taken in some of the tributary rivers. The results are shown in Fig. 19. The highest daily peak discharge occurred on August 27, i. e. on the same day as the peak occurred at Nigardsvatnet, cf. Fig. 5. This day, 245 metric tons of fine sediments were carried by the stream. The highest instantaneous peak flow occurred at 1100 hrs. when $21 \text{ m}^3/\text{s}$ passed the gauging station. The sediment concentration was then 328 mg/l .

The total sediment transport during the summer season 1974 amounted to 2,350 metric tons. It is anticipated that 80-90% of this material originated from Tystigbreen. When comparing the results from Sunndöla with several years' observations at Nigardsvatnet, it seems quite clear that the sediment transport in the Sunndöla River was lower than average; probably as much as 20-40% less sediment was carried by the river in 1974 than in an average year.

Engabreen

The glacier system called Svartisen consists in principle of two ice caps and is the second largest glacier complex in Norway. Plans for a large water power development in this area have been put forward so glaciological studies and observations of sediment transport were started in 1969. For these studies the outlet glacier Engabreen (38 km^2) draining to the

west, Trollbergdalsbreen (2 km^2) a small valley glacier north of Svartisen and Högtuvbreen ($2,6 \text{ km}^2$) south of Svartisen, were selected for the investigations. These glaciers are regarded as representative for various parts of the Svartisen area.

Although the glaciological conditions may be more or less similar for these three glaciers - Engabreen and Högtuvbreen are very much alike in this respect - the sediment production is quite different.

According to present plans the melt water from Engabreen will be directly used for power production whereas it is doubtful whether water from the other two glaciers will be utilized. The observation series at Engabreen is therefore the most important for engineering purposes and will be continued, whereas observations at the two other glaciers will be discontinued. The lake Engavatnet is situated in front of Engabreen and in order to investigate the amount of sediment that is deposited in the lake two sampling sites were established. The observation period lasted from June 3 - September 8 so that all discharge peaks during the summer were well covered by water samples.

The result is shown in Fig. 24. The highest daily transport into the lake, 340 metric tons, occurred on June 16 and July 12. This is a fairly small figure compared with earlier years when a maximum of almost 2,200 tons has been observed. Also the maximum daily discharge ($2,2 \cdot 10^6 \text{ m}^3$) was smaller than during previous years when between 3 and 6 million m^3 have been observed. In 1974 no very large flood occurred and the total discharge during the summer season was about 20% smaller than the average for the last 4 years.

The total amount of suspended sediment carried from the glacier into the water amounted to 13,500 tons for the entire melt season. Eighty-five percent of this was deposited in the lake. Concerning the bottom load it was intended to calculate this from precise leveling and soundings of the delta but the measurements proved to be unreliable. However, the data (although incomplete) seem to suggest that the bottom load may account for more than 25% of the total transport of solid matter. A new and improved survey of the delta in the lake will, in the future, give more reliable figures.

Trollbergdalsbreen

The summer of 1974 terminates a series of five years of observations at this small valley glacier. The observation period this last year comprised

75 days and no large discharge peak occurred during the season. It is believed that the results shown in Fig. 26 are fairly reliable. During previous years relatively high figures were obtained for the specific sediment production at this glacier, but in 1974 somewhat smaller figures were found. The maximum sediment concentration, amounting to 480 mg/l, occurred on August 5. This is considerably less than in previous years when as much as 2,500 - 12,000 mg/l were found. The total amount of suspended sediment moved from this glacier in 1974 was about 1,000 metric tons. If a 40% addition is made for bottom load, the resulting amount would correspond to a layer of 0,42 mm eroded material evenly distributed under the entire glacier.

Högtuvbreen

The observation series at this glacier started in 1971 and during the years of observation only very limited amounts of solid matter were carried by the glacier stream. One main reason for this is that the glacier terminus ends in a small lake where an unknown amount of material is deposited on the bottom, and all water samples had to be taken downstream this lake. The observation series of sediment transport will therefore be discontinued.

During 1974 water samples were taken in the period from June 18 to September 12. The results are shown in Fig. 27. Data from the first part of the season are somewhat unreliable due to a heavy snow bank that covered the measuring site and the water gauge.

The maximum daily water discharge occurred on June 18 ($0,83 \cdot 10^6 \text{ m}^3$) when the sediment concentration was 195 mg/l and 69 metric tons were carried by the stream. For the entire summer the total sediment transport was approx. 300 metric tons. If one estimates the sedimentation in the small lake to be 50% and a 40% addition is made for bottom load, one could estimate a total transport of solid matter from the glacier to be 1 000 metric tons in 1974. This would correspond to 0,19 mm erosional material evenly distributed under the entire glacier.

A comparison between discharge variations in the three glacier streams in the Svartisen area is shown on Fig. 23. The sediment concentration was in general highest early in the summer. This is quite normal because the first discharge peak will normally "wash out" a great deal of sediment that is present under the glacier, ready for transportation. A high discharge peak later in the season will therefore in general carry less sediment than the first peak of similar size.

Sediment sampling in the lake Bondhusvatn

On the western side of the ice cap Folgefonni a water power station is being constructed at Mauranger Fjord at sea level. Water for this station is collected through various "roof gutter systems", i.e. tunnels running almost in a north/south direction along the ice cap on its western side. The southern arm of this tunnel system will collect water from the Bondhusbreen outlet glacier by means of a subglacial intake. This kind of water intake causes a special technical problem because unless a sedimentation basin is constructed close to the intake point, large amounts of coarse material will soon accumulate in the tunnel system. A sedimentation chamber was therefore planned to be located within the bedrock just below the subglacial water intake. One of several problems encountered before this large room should be constructed, was to determine how large this chamber should be to collect the total bottom load during any season, including a season with unusually large material transport. No data was available concerning the size of annual bottom load in the glacier stream, and of course, no information on the maximum possible annual amount of coarse material that could be carried in the stream in the future.

Based upon earlier investigations on the relation between bottom load and suspended sediment in the stream from Nigardsbreen (Östrem et.al. 1970) one may expect that almost 50% of the total amount of solid matter is carried as bottom load. Due to lack of observations of suspended sediment (and of course, of bottom load) in this stream it was necessary to look at the deposits in Lake Bondhusvatn which is located in front of the glacier. It was anticipated that one would find annual layers (varves) that could be used to calculate the amount of annual transport of suspended material into the lake because it may be anticipated that 70% of all the material carried into the lake would settle on the bottom. This figure is based upon experience gained at Nigardsvatnet (Östrem, 1975).

Bottom samples were taken from a raft by means of a piston corer of the Kullenberg type. Six vertical cores were taken at various locations in the deepest part of the lake and all these samples consisted of nicely varved sediments. From earlier experiences it is obvious that the dark layers represent fall and winter sedimentation whereas light layers represent summer sedimentation. The thickness of the layers is proportional to the amount of fine material transported into the lake and in this particular case, the material originates almost entirely from the Bondhusbreen outlet glacier, where the subglacial intake will be made.

Some of the annual varves seemed to be divided into "microvarves". A detailed study of these proved that they represent discharge variations throughout the summer season - during periods of low or decreasing discharge mostly dark minerals, particularly mica, will settle and form a thin darker deposit within the relatively light summer layer. On the other hand, a discharge peak will cause a large suspended sediment input into the lake and due to a higher water velocity through the lake, most of the slow-settling mica particles cannot reach the bottom before they are again brought out of the lake. Thus, a light-coloured microvarve originates and this layer will represent the discharge peak. Several such peaks may occur and, consequently, several microvarves may be found, at least during certain years. An example of the interpretation of an annual layer with several microvarves is shown in Fig.36.

It is possible that one could use pollen analysis to distinguish between depositions made in early summer and late fall. An example is given in the text from such a study made on material from the bottom of Nigardsvatnet where similar samples were taken in 1968. It was found that Dryopteris showed a high concentration in the so-called winter varve whereas the summer varves had very little content of these spores. A further study of pollen and spores in the samples from Bondhusvatn has not been performed yet.

All annual layers were counted in the various samples and comparisons were made with existing data on annual water discharge. Comparisons were also made with precipitation data from a nearby meteorological station and with data from Bergen.

When all the samples were compared it seemed possible to date several very thick layers that must have been deposited a long time ago, i. e. before any meteorological or hydrological observations were made. By counting the annual layers several "varve diagrams" were constructed and outstanding thick layers were used to correlate them. The longest core, sample C, could then be shown to go back to the 17th Century. Some of the peaks in the varve diagram could be related to known flood situations which are documented by historical accounts from neighbouring areas where flash floods in the past have caused considerable damage to farming land, houses etc.

The dimensions to be used for the construction of the above-mentioned sedimentation chamber were determined as follows: it was assumed that the five thickest annual varves which have been deposited throughout the last

2 - 300 years represented the maximum annual deposition that might occur. By calculating the total amount of sediment transport that must have taken place in the stream to produce these layers, a corresponding amount of bottom load could be found (according to the above-mentioned 50% principle) and the size of the sedimentation chamber determined. Only the future will show whether or not this large room in the bedrock was made big enough.

LITTERATUR

- Ekman, S.R.
1970 : Slamundersökning och utvärdering, metodik, p. 8-17 i Östrem, G., Ziegler, T. & Ekman, S.R. Slamtransportundersökelse i norske bre-elver 1969. Rapport nr. 6/70. Norges vassdrags- og elektrisitetsvesen, Hydrologisk avdeling, 68 p.
- Haakensen, N.
1975 : Materialtransportundersökelse i norske breelver 1973. Rapport nr. /75. Norges vassdrags- og elektrisitetsvesen, Hydrologisk avdeling, (English summary).
- Karlsen, O.G.
1971 : Fluvialgeomorfologiske undersøkelser i Visa og de nedre deler av Bövra. Hovedfagsoppgave i geografi Geogr.inst., Univ. i Oslo, 126 p.
- Klæbo, H.
1951 : Transport of solid matters in glacier currents. Ass. int. Hydr. Sci. III. Bryssel, p. 124-127.
- Nordseth, K.
1974 : Sedimenttransport i norske vassdrag. Sammendrag av arbeider ved Geografisk institutt, Universitetet i Oslo 1969-1973, 177 p.
- Tornås, S.
1969 : Slamtransport i noen utvalgte bre-elver, p. 97-122 i Pytte, R. (red.). Glasiologiske undersøkelser i Norge 1968. Rapport nr. 5/69. Norges vassdrags- og elektrisitetsvesen, Hydrologisk avdeling, 149 p.
- Tvede, A.
1975 : Glasiologiske undersøkelser i Norge 1974. Rapport nr. /75. Norges vassdrags- og elektrisitetsvesen, Hydrologisk avdeling, (English summary).
- Östrem, G.
1972 : Om sambandet mellom vannføring og slamtransport, p. 72-82 i Ziegler, T. (ed.) Slamtransportundersökelse i Norske breelver 1970. Rapport nr. 1/72. Norges vassdrags- og elektrisitetsvesen, Hydrologisk avdeling, 133 p.
- Östrem, G.
1975 : Sediment transport in glacier streams, in: B.C. McDonald & Jopling, Glacio-fluvial and glacio-lacustrine sedimentation. Spec. Publ. No. 23, Soc. Econom. Paleontologists and Mineralogists, p. 101-122.
- Östrem, G. & Ziegler, T.
1969 : Atlas over breer i Sør-Norge (Atlas of glaciers in South Norway). Medd.nr. 20. Norges vassdrags- og elektrisitetsvesen, Hydrologisk avdeling, 207 p.
- Östrem, G., Ziegler, T. & Ekman, S.R.
1970 : Slamrapportundersökelse i norske breelver 1969. Rapport nr. 6/70. Norges vassdrags- og elektrisitetsvesen, Hydrologisk avdeling, 68 p. (English summary)

- Ziegler, T.
1973 : Materialtransportundersökkelser i norske breelver
1971. Rapport nr. 4/73. Norges vassdrags- og
elektrisitetsvesen, Hydrologisk avdeling, 91 p.
(English summary).
- Ziegler, T.
1974 : Materialtransportundersökkelser i norske breelver
1972. Rapport nr. 2/74. Norges vassdrags- og
elektrisitetsvesen, Hydrologisk avdeling, 95 p.
(English summery).

**NORGES VASSDRAGS-
OG ENERGIDIREKTORAT**



72029410