

V-Publikasjon

nr. 7

Ola Kjeldsen (red.)

GLASIOLOGISKE UNDER- SØKELSER I NORGE 1984

NORGES
VASSDRAGS- OG ENERGIVERK
BIBLIOTEK



1987



NORGES
VASSDRAGS- OG ENERGIVERK
VASSDRAGSDIREKTORATET

87/596

V-Publikasjon

Tittel GLASIOLOGISKE UNDERSØKELSER I NORGE 1984	Nr 7
Forfatter(e) / Saksbehandler(e) Morten Johnsrud, Ola Kjeldsen, Stein Erik Lauritzen, Hans C. Olsen, Erik Roland, Arne Chr. Sætrang jr. , Arve M. Tvede, Bjørn Wold og Tor Ziegler	Dato
	ISBN 82-410-0003-0

Sammendrag

Rapporten omhandler aktivitetene ved Bre- og Snøkontoret ved Hydrologisk avdeling i 1984. Det er også tatt med resultater fra glasiologiske målinger utført av Norsk Polarinstitutt.

Abstract

This report gives results from activities at the Glaciology Division at the Hydrology Department in 1984. Results from glaciological investigations at the Norwegian Polar Research Institute are also included.

Emneord

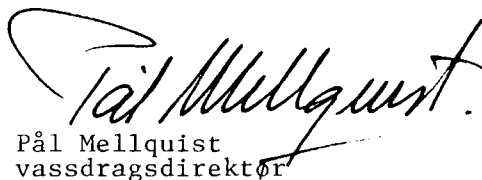
BREMÅLINGER
SEDIMENTTRANSPORT

Subject terms

GLACIOLOGICAL INVESTIGATIONS
SEDIMENT TRANSPORT

NORGES
VASSDRAGS- OG ENERGIVERK
BIBLIOTEK

Ansvarlig underskrift


Pål Mellquist
vassdragsdirektør

Kontoradresse
Middelthuns gate 29

Postadresse
Boks 5091 Maj. 0301 Oslo 3

Telefon
(02) 46 98 00
Telefax
(02) 69 61 51

Telex
79397 NVEO N

556(05)

N98

ex 1

FORORD

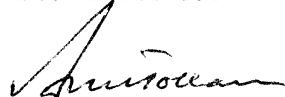
Denne rapporten omhandler aktivitetene ved Bre- og Snøkontoret i 1984. For fullstendighetens skyld er det også tatt med enkelte resultater fra målinger utført av Norsk Polarinstitutt på breer i Sør-Norge og for første gang også på Svalbard. De to breene på Svalbard som er omtalt i denne rapporten, har vært observert i snart 20 år. En oversikt over denne måleserien er også tatt med. Likeså en oversikt over de breene med lengst måleserie som Brekontoret har utført.

Hensikten med rapporten er å gi en fullstendig presentasjon av undersøkelser og beregninger som Bre- og Snøkontoret har utført i 1984. Der arbeidet er presentert i egne publikasjoner, er det kun tatt med et kort sammendrag og henvisning til den aktuelle publikasjon.

De ulike forfattere har hatt det faglige ansvaret for innholdet i de enkelte kapitlene. Feltarbeidet og beregningene er resultat av samarbeid mellom ansatte ved Bre- og Snøkontoret, i noen tilfelle også med ansatte ved andre kontorer ved Hydrologisk avdeling og i andre tilfelle ansatte ved andre institusjoner.

Rentegning av figurene er utført av Åse Wenche Lunde og Dawit Teclemariam. Evy Vollmo har renskrevet teksten og redigert rapporten i samarbeid med Ola Kjeldsen.

Oslo i mai 1987



Arne Tollan
Avdelingsdirektør

INNHold

	Side
1. INNLEDNING	4
2. MASSEBALANSEMÅLINGER (Erik Roland)	6
2.1 Metodikk	6
2.2 Ålfotbreen	6
2.3 Nigardsbreen	8
2.4 Hardangerjøkulen (Olav Liestøl)	9
2.5 Storbreen (Olav Liestøl)	10
2.6 Hellstugubreen	11
2.7 Gråsubreen	12
2.8 Engabreen	14
2.9 Breer på Svalbard (Olav Liestøl)	17
2.10 Sammendrag	19
3. FRONTMÅLINGER (Olav Liestøl)	24
4. BREKART OVER MIDTRE FOLGEFONNI (Arve M. Tvede)	25
5. TVERRÅBREEN - FORANDRINGER I BREENS MASSE (Olav Liestøl)	26
6. RADIOEKKO-MÅLINGER PÅ DELER AV JOSTEDALSBEEN (Arne Chr. Sætrang jr.)	29
7. DRENERINGSUNDERSØKELSER PÅ NIGARDSBEEN (Erik Roland og Stein Erik Lauritzen)	29
7.1 Prosjektbeskrivelse	29
7.2 Metodikk	32
7.3 Resultater og diskusjon	33
7.4 Konklusjon	36
8. BRIMKJELEN (Bjørn Wold)	37
9. MATERIALTRANSPORTUNDERSØKELSER VED NIGARDSBEEN (Ola Kjeldsen)	38
9.1 Innledning	38
9.2 Vær- og vannføringsforhold	38
9.3 Generell kommentar til årets målinger	38
9.4 Resultater	39
9.5 Oppsummering	45
10. SEDIMENTASJON, VANNFØRING OG MATERIALTRANSPORT I NIGARDSVATN (Hans C. Olsen og Tor Ziegler)	46
10.1 Prosjektbeskrivelse	46
10.2 Resultater	46

11.	SNØHYDROLOGI (Morten Johnsrud)	54
11.1	Snøarkivet	54
11.2	Snøkartlegging med satellitt	54
11.3	Snøfordelingsundersøkelser	57
11.4	Snøradar	59
11.5	Snøputene	61
12.	ENGLISH SUMMARY	63
12.1	Mass balance, meteorological and hydrological investigations	63
12.2	Length fluctuations of some glacier tongues	63
12.3	New glacier map	63
12.4	Tverråbreen - changes of the glacier's mass	64
12.5	Radio-echo measurements	64
12.6	Drainage investigations on Nigardsbreen	65
12.7	Brimkjelen	66
12.8	Sediment transport investigations at Nigardsbreen	66
12.9	Sedimentation, discharge and sediment transport in Lake Nigardsvatn	66
12.10	Snow hydrology	67
13	REFERANSER	67
	APPENDIX	69

1. INNLEDNING

I 1984 utførte Bre- og Snøkontoret ved Norges Vassdrags- og Elektrisitetsvesen (NVE) og Norsk Polarinstitutt (NP) målinger av massebalansen på ni norske breer hvorav seks breer ligger i Sør-Norge, en i Nord-Norge og to på Svalbard. Breenes beliggenhet er vist i fig. 1 (ikke Svalbard).

På Ålfotbreen utføres undersøkelsene på en nordvendt brearm. De har pågått siden høsten 1962. Elven fra breen er overført til Store Åskåravatn, som er det største magasinet i vassdraget. I konsesjonsbetingelsene er utbyggeren, Sogn og Fjordane Energiverk (SFE), pålagt breobservasjonene. Utgiftene deles for tiden likt mellom SFE og Hydrologisk avdeling i NVE.

På Jostedalsbreen begynte NVE målinger på Nigardsbreen i 1962. Breen er en av de best undersøkte her i landet. Omkostningene dekkes av Statskraftverkene ved konsesjonspålegg på Leirdøla kraftverk.

Norsk Polarinstitutt og NVE samarbeidet om målingen av massebalansen på Rembesdalsskåkje, en sørvestlig utløper av Hardangerjøkulen som ligger innenfor nedslagsfeltet til Sima kraftverk i Eidfjord. De glasiologiske undersøkelsene har pågått uten opphold siden 1963 og er nå konsesjonspålagt kraftverket.

I Jotunheimen har NVE målt massebalansen på Hellstugubreen og Gråsubreen, mens Norsk Polarinstitutt har observert Storbreenes volumforandring. På sistnevnte bre startet undersøkelsene så tidlig som høsten 1948, og de utgjør en av de lengste måleseriene i sitt slag i verden.

I Nord-Norge ble massebalansen målt for 15. år på rad på Engabreen som er en nordvestlig utløper av Vestre Svartisen. Utgiftene dekkes av Statskraftverkene i forbindelse med planlegging av kraftutbygging i området.

Norsk Polarinstitutt har målt massebalansen på to breer ved Ny-Ålesund på Svalbard, Austre Brøggerbreen og Midtre Lovénbreen. Målingene har nå pågått i henholdsvis 18 og 17 år.

Det ble i 1984 laget to brekart over Midtre Folgefonni i samarbeid mellom NVE og Stockholms Universitet. Kartene er benyttet til å beregne volumforandringer på breen i perioden 1959-81.

Tverråbreen i Jotunheimen har vært kartlagt i stor målestokk av Norsk Polarinstitutt i alt 5 ganger. En sammenligning av breens masse på grunnlag av 3 av kartene er utført.

Deler av Jostedalsbreen er kartlagt ved hjelp av breradar for å finne breens tykkelse.

Utviklingen av dreneringsveiene og smeltevannets transporttid på Nigardsbreen er undersøkt med bruk av tracere.

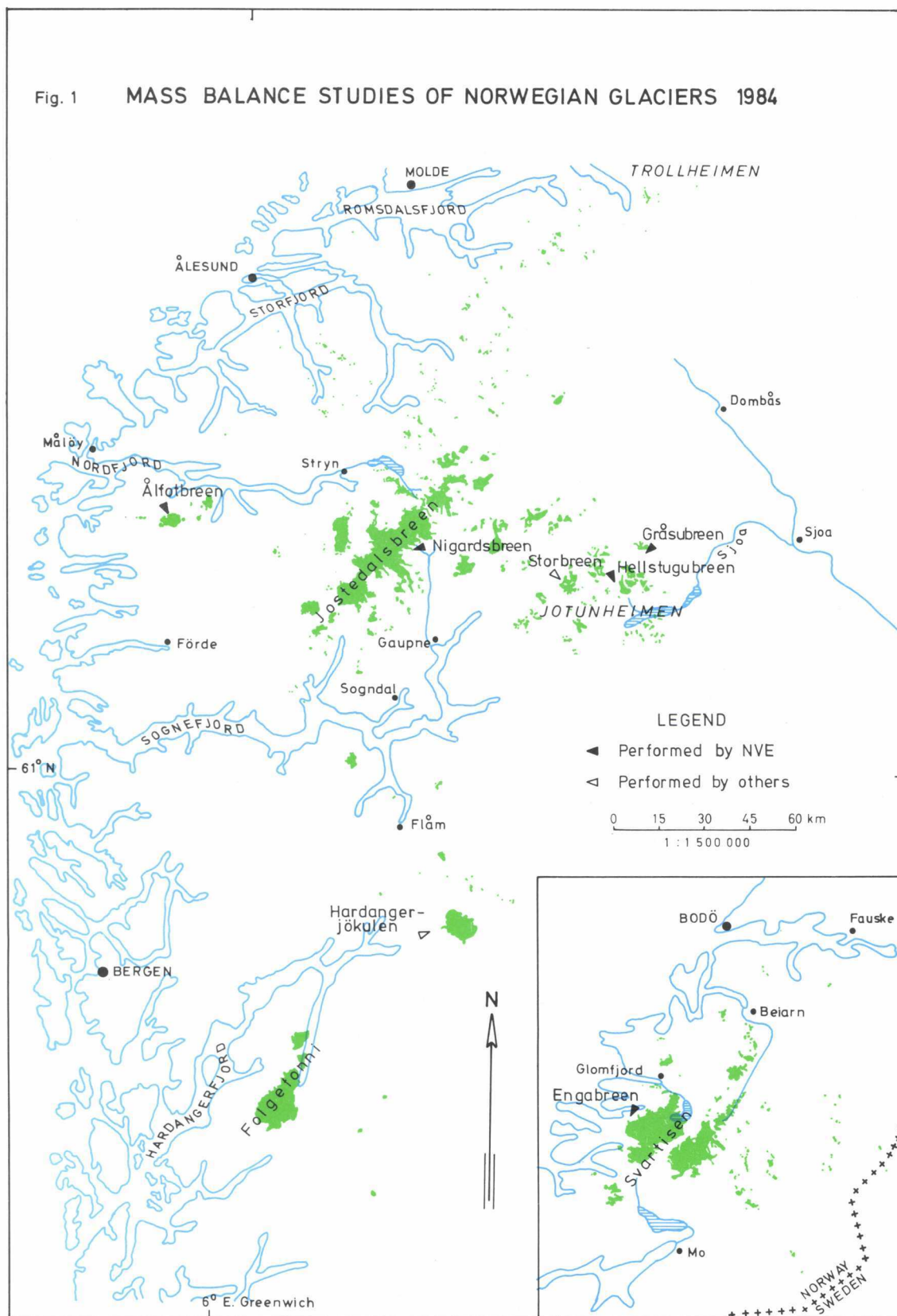


Fig. 1. Beliggenheten av de breene hvor massebalansemålinger ble utført i 1984.

Map showing location of the glaciers at which mass balance studies were performed in 1984.

Brekontoret holder oppsyn med den bredemte sjøen Brimkjelen som demmes av Tunsbergdalsbreen, for å skaffe opplysninger om dens tømning langs eller under breen.

To automatiske vannprøvetakere var i drift i breelva mellom Nigardsbreen og Nigardsvatnet sommeren 1984 for analyse av suspensjonstransporten. Det grøvere materiale som transporteres langs bunnen ble målt ved nivellering på innløpsdeltaet.

Bunnprøver som er tatt opp fra Nigardsvatnet er analysert med sikte på å kartlegge sedimentasjonens størrelse og fordeling. Det er også forsøkt å trekke sammenligninger mellom mektigheten av de varvige sedimentene og massetransport/vannføring.

Arbeidet med å opprette en nasjonal snødatabase fortsetter. En undersøkelse av snøfordelingen i tre nedbørsfelt fortsatte for tredje år. Bre- og Snøkontoret har vært med på uttesting av en snøradar for måling av snødyp/snøens vanninnhold.

2. MASSEBALANSEMÅLINGER

2.1 Metodikk

Detaljerte observasjoner av breenes massebalanse er tidkrevende og kostbare. Forenkling av måleopplegg og bearbeidelse ble utført i 1982. En statistisk analyse av tidligere års akkumulasjons- og ablasjonsmønstre på breene viste at man kan ha vesentlig færre målinger og likevel oppnå tiltrekkelig sikkerhet i resultatene. Derfor er årets observasjoner av massebalansen redusert i forhold til det opplegg man fulgte tidligere. På platåbreene foretas observasjonene nå bare på selve breplatået, og massebalansen nedover breen ekstrapoleres ved å sammenligne med tidligere års målinger.

Meteorologiske data samles inn vha. en automatisk stasjon med sensorer for temperatur, vindhastighet og -retning. Dataene registreres med datalogger eller overføres via radio og telefon til NVE's dataanlegg. Disse sammenstilles med avløpsregistreringer som foretas med limnigrafer i nedenforliggende breelver og vann.

2.2 Alfotbreen

Målingene er utført etter et forenklet opplegg som ble påbegynt i 1982. Vinterbalansen ble målt 5.-7. april og er beregnet til 4.09 m i vannekvivalent. Dette tilsvarer 116% av gjennomsnittet for årene 1963-84.

Sommerbalansen ble målt 25.-27. oktober etter at det hadde kommet 1.1-1.4 m nysnø på breen. I løpet av ablasjonssesongen hadde det smeltet snø og is tilsvarende vannlag på 2.77 m, hvilket er 83%

av middelveiden. Breen fikk dermed en positiv nettobalanse på 1.32 m eller 34 l/s km² i spesifikk verdi. Omlag en tredjedel av vinterens snømengder ble altså liggende igjen på breen etter smeltingen sluttet denne sommeren. Overskuddet resulterte i at årets likvektslinje ble liggende på 1 050 m o.h. eller 160 m lavere enn nivået når breen er i balanse (fig. 2) med nåværende arealfordeling.

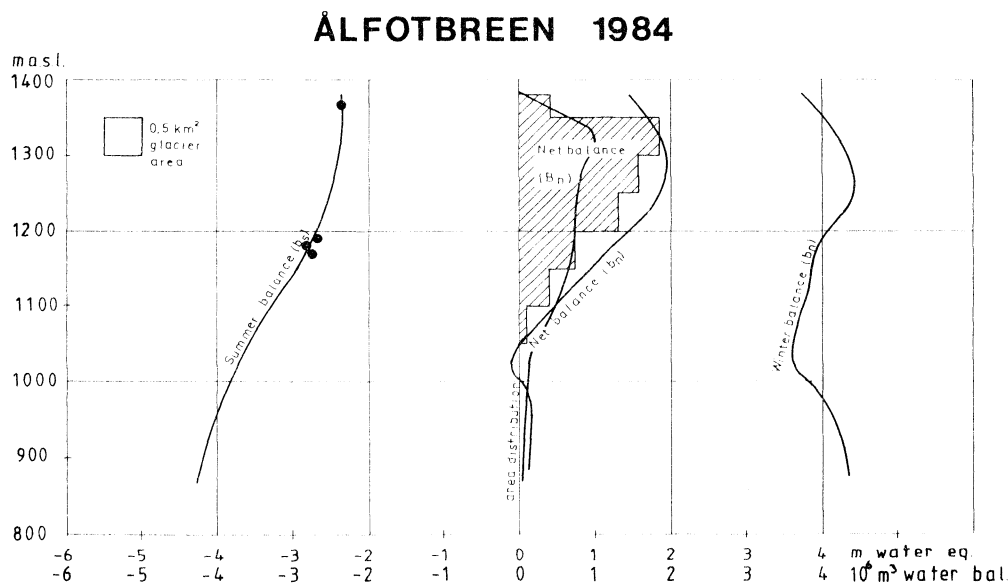


Fig. 2. Massebalansens variasjon med høyden over havet på Ålfotbreen 1984.

Mass balance variation in relation to altitude on Ålfotbreen in 1984.

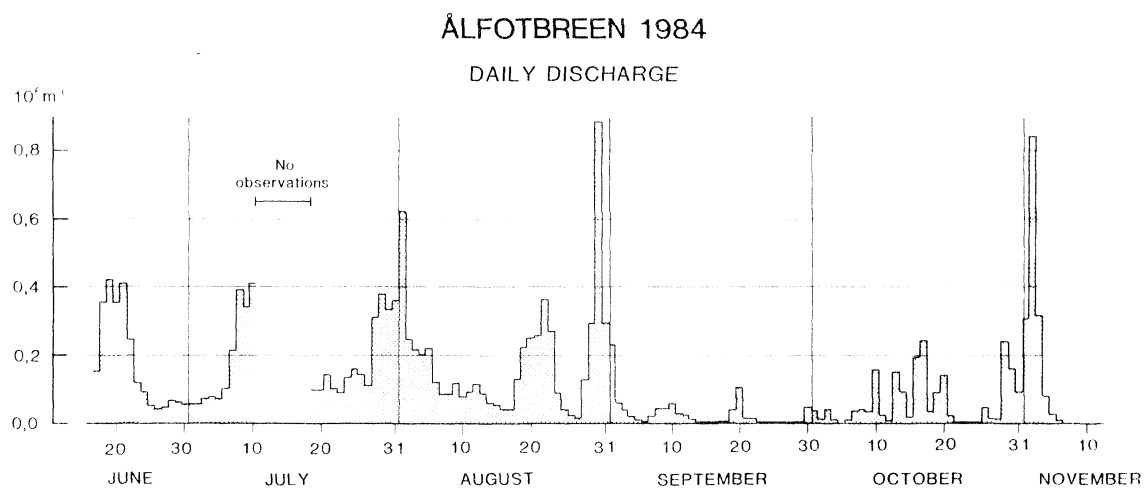


Fig. 3. Døgnlign avløp fra Ålfotbreen i 1984.

Daily discharge from Ålfotbreen in 1984.

Avløpsregistreringene startet 17. juni og pågikk med et avbrudd (11.-18.juli) til 7. november (fig. 3). De største observerte flommene denne sesongen inntraff 30. august og 2. november med et døgnavløp på $0.89 \cdot 10^6 \text{ m}^3$ vann. Avløpet var også høyt flere dager i begynnelsen av november.

Ålfotbreen 1984

	Juni	Juli	August	September	Oktober	Sommer
Q (10^6 m^3)	5.2	5.7	5.7	0.8	1.9	4.4
Q (10^6 m^3)	6.5	7.6	6.7	5.9	—	6.7

Tabell 1. Øverste linje viser månedsavløpene for 1984. Nederste linje viser gjennomsnittlig månedsavløp for årene 1970-84.

Upper line gives monthly discharge for 1984. Lower line gives mean monthly discharge for the years 1970-84.

For perioden juni-august var avløpet 75-85% av gjennomsnittet for årene 1970-84 (tabell 1). I september var avrenningen uvanlig lav som følge av minimale nedbørmengder. Sommeravløpet (juni-september) ble derfor bare 66% av middelverdien for 15 observasjonsår.

2.3 Nigardsbreen

Vanskelige sonderingsforhold under akkumulasjonsmålingene 23.-26. april medførte at vinterbalansen for breen måtte beregnes utfra et fåtall sonderinger ved de 9 meter lange tårnene. Disse er plassert henholdsvis 1 650 og 1 800 m o.h. Vinterbalansen ble 2.49 m i vannverdi som tilsvarer 109% av gjennomsnittet for årene 1962-84.

Minimumsmålingene ble utført 15.-18. september. Det hadde da kommet 25-30 cm nysnø på breplatået. Sommerbalansen er beregnet til 2.15 m i vannekvivalent, som er 108% av middelverdien. Breens nettobalanse ble følgelig positiv med 0.34 m i spesifikk vannverdi. Siden 1962 har breen øket sitt volum motsvarende et vannlag på vel 6 m over hele brearealet.

Likevektslinjen for balanseåret 1983-84 ble liggende på 1 500 m (fig. 4) som er 70 m lavere enn når breen er i balanse med nåværende arealfordeling. Brefrontens posisjon endret seg ikke (± 0 m) dette året.

De meteorologiske observasjonene fra den automatiske Aanderaa-stasjonen på Steinmannen (1 633 m o.h.) ble dessverre fåtallige

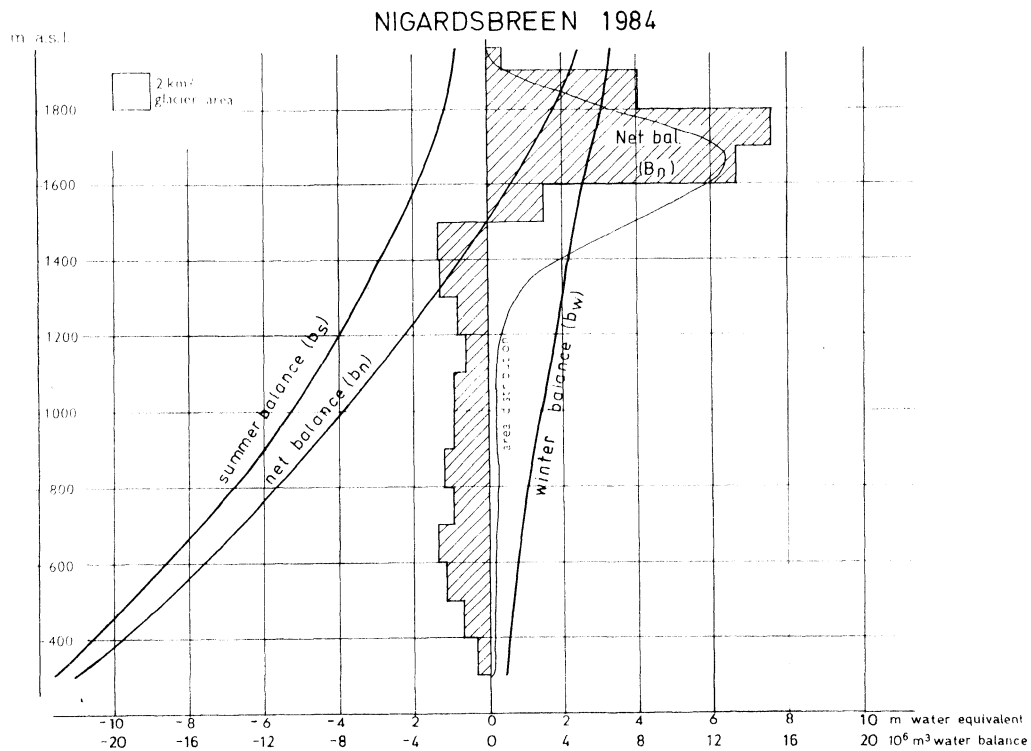


Fig. 4. Massebalansens variasjon med høyden over havet på Nigardsbreen 1984.

Mass balance variation in relation to altitude on Nigardsbreen in 1984.

denne sommeren pga. svikt i radiooverføringen ned til konsentratorstasjonen på Bjørkehaug (324 m o.h.). Data foreligger bare fra perioden 20. juli-1. august med sporadiske avbrudd. I dette tidsrommet varierte den observerte døgntemperaturen mellom 0.9 og 8.1 °C med et gjennomsnitt på 3.0°C for 12 døgn med brukbare data. Den døgnlige vindhastigheten varierte mellom 2.3 og 10.8 m/s med en middelerdi på 6.0 m/s.

Avløpsforholdene dette året omtales i kap.9.

2.4 Hardangerjøkulen

Forholdene på Hardangerjøkulen var nesten de samme som på Storbreen, men med høyere absolutte verdier for massebalansen. Vinterbalansen var 2.05 m, sommerbalansen 2.15 m og nettobalansen -0.10 ± 0.20 m i spesifikk vannverdi. Den store usikkerheten i målingene skyldes at man mistet de fleste av målestakene i løpet av vinteren.

2.5 Storbreen

Vinterakkumulasjonen ble målt i midten av mai. Den ble funnet å være 1.70 m i spesifikk vannverdi. Dette er ca 120 % av gjennomsnittet de siste 35 år. Sommertemperaturen var høyere enn middel. Det resulterte i en ablasjon på 2.00 m. Resultatet ble en netto balanse på -0.30 ± 0.10 m som er nær middelet, -0.27 m (fig. 5) for årene 1948-84. Se fig. 6.

I siste del av august ble breen flyfotografert. Et kart vil bli konstruert når nye kontrollpunkter har blitt bestemt.

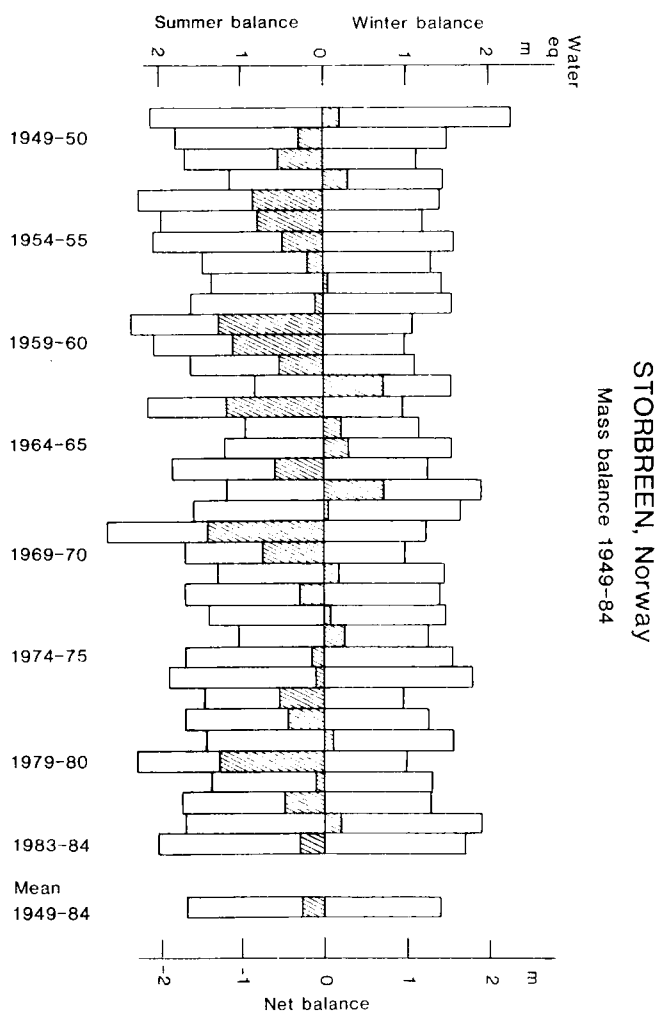


Fig. 5. Resultatet av massebalansemålingene på Storbreen i perioden 1949-1984. Søylen lengst til høyre angir årlig middel for denne perioden.

Mass balance results from Storbreen in Jotunheimen in the period 1949-1984. Staple to the right gives the annual mean for the same period.

Storbreen 1984

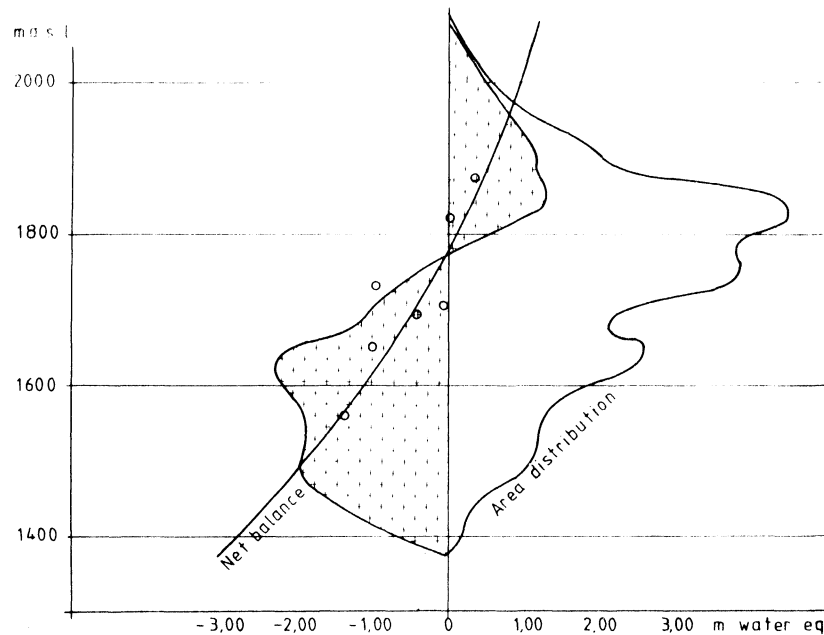


Fig. 6. Variasjoner av nettobalansen med høyden over havet, breens arealfordeling og arealverdiene av nettobalansen i 1984.

Net mass balance variation on Storbreen 1983-1984 in relation to altitude.

2.6 Hellstugubreen

Vinterbalansen ble målt 27. april og beregnet til 1.22 m i spesifikk vannverdi fordelt over det 3.0 km² store arealet. Dette er 113% av middelverdien for de 23 årene breen har blitt målt.

Stakene på breen ble kontrollert 5. august. Ablasjonen etter denne dato er beregnet etter akkumulasjonsmålinger i mai 1985 da minimumsmåling ikke ble utført. Sommerbalansen ble 1.73 m i vann-ekvivalent som tilsvarer 123% av gjennomsnittet.

Breens nettobalanse dette året ble følgelig -0.51 m. Massetapet er noe større enn middelverdien for observasjonsperioden (-0.33 m). Underskuddet utgjør et ekstra tilskudd til avløpet i elva nedenfor breen på 16 l/s km² på årsbasis.

Årets likevektslinje ble liggende på 1 965 m o.h. (fig. 7) som er 125 m høyere enn et år breen er i balanse med nåværende arealfordeling.

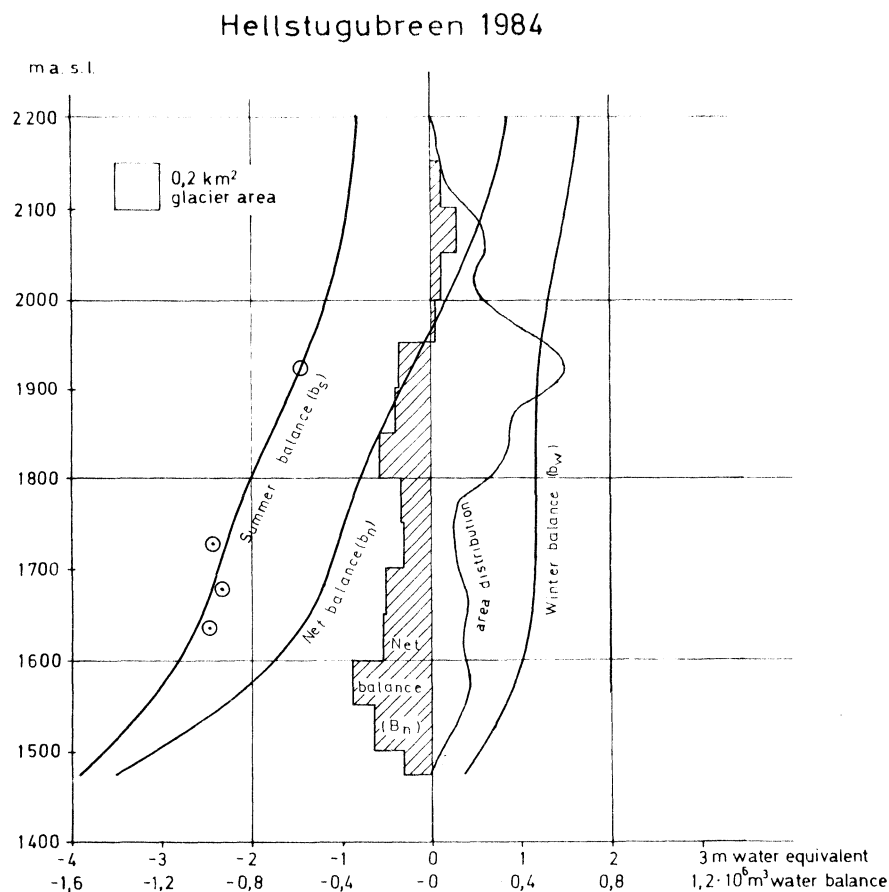


Fig. 7. Massebalansens variasjon med høyden over havet på Hellstugubreen i 1984.

Mass balance variation in relation to altitude on Hellstugubreen in 1984.

2.7 Gråsubreen

Akkumulasjonen ble målt 26. april og beregnet til 0.98 m i spesifikk vannverdi (fig. 8). Det er hele 136% av gjennomsnittet for årene 1962-84 og svært nær fjorårets verdi (0.95 m). Bare i 1967 og i 1968 har det blitt målt større vinterbalanse på denne kontinentale breen i øst-Jotunheimen.

Stakenettet ble kontrollert 1. august. Minimumsmålingene foregikk 12.-15. september. Sommerbalansen er beregnet til 1.35 m i vann-ekvivalent som er 129% av middelverdien. Den negative nettobalansen dette året for Gråsubreen tilsvarer et 0.37 m tykt vannlag fordelt over hele breen (fig. 9 og 10). Dette er nær det gjennomsnittlige årlige massetapet breen har hatt siden målingene begynte i 1962.

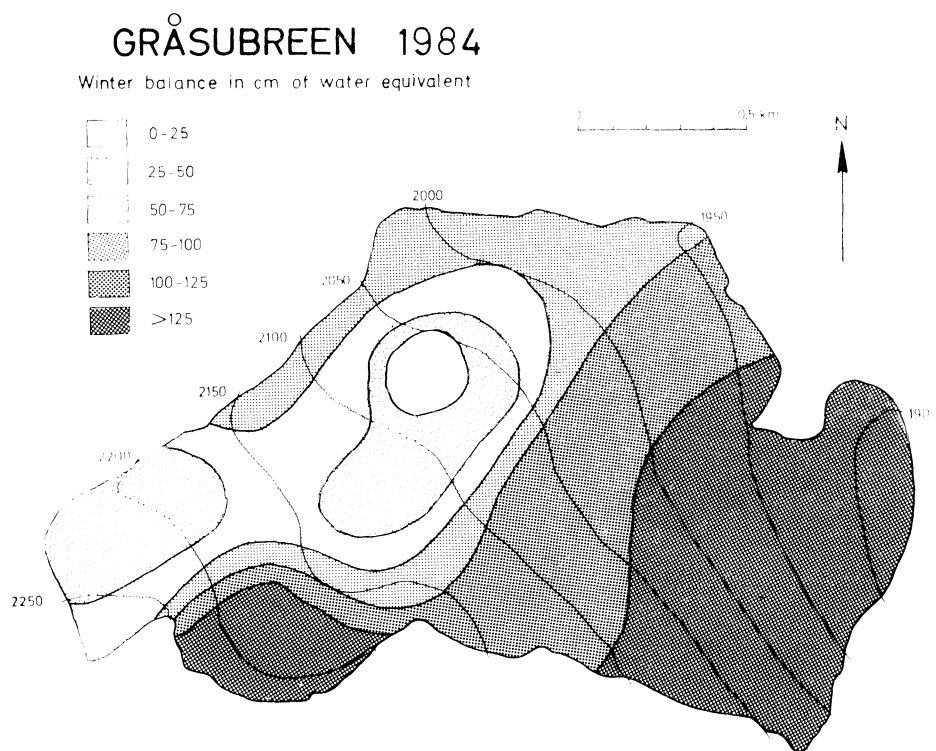


Fig. 8. Fordelingen av vinterbalansen på Gråsubreen i 1984.

Distribution of the winter balance on Gråsubreen in 1984.

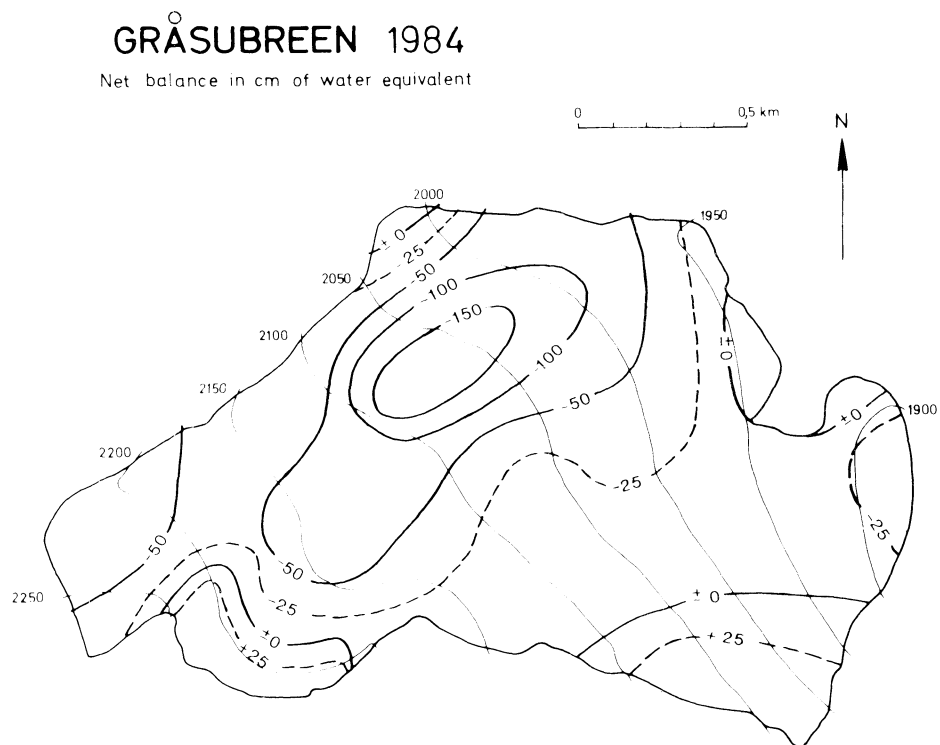


Fig. 9. Fordelingen av nettobalansen på Gråsubreen i 1984.

Distribution of the net balance on Gråsubreen in 1984.

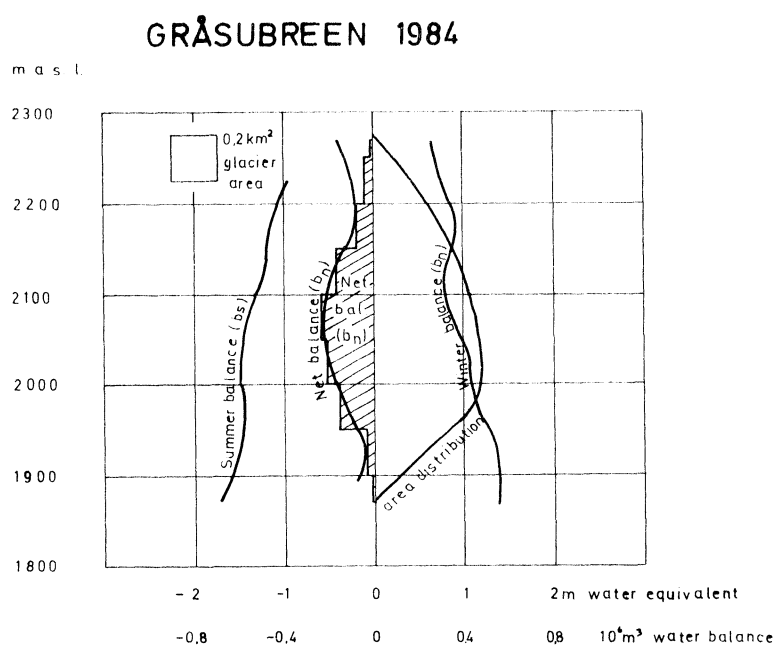


Fig. 10. Massebalansens variasjon med høyden over havet på Gråsubreen i 1984.

Mass balance variation in relation to altitude on Gråsubreen in 1984.

2.8 Engabreen

Akkumulasjonsmålingene på denne breutløperen fra Vestre Svartisen foregikk 19.-23. mai i varmt vær ($8-12^\circ\text{C}$). Islag nedover i snødekket og dårlig utviklet sommeroverflate fra 1983 gjorde sondering av snødypet omtrent umulig. Vinterbalansen måtte derfor beregnes utfra kjerneboring på utvalgte steder. Resultatet ble en akkumulasjon på 3.83 m i spesifikk vannverdi fordelt over hele breen. Dette er 126% av gjennomsnittet for årene 1970-84. De største observerte snømengdene på Engabreen kom vinteren 1972-73 da akkumulasjonen ble målt til 4.37 m i vannekvivalent.

Minimumsmålinger på breen ble utført 19.-22. september. En varm periode i begynnelsen av oktober medførte litt smelting som er beregnet utfra avløpsregistreringene i Engabrevatn og meteorologiske observasjoner i Glomfjord og Lurøy. Sommerbalansen ble 2.78 m i vannekvivalent hvorav tilleggsablasjonen utgjør 0.15 m. Sammenligner vi årets sommerbalanse med hele observasjonsperioden, blir denne 124% av gjennomsnittet.

Engabreens nettobalanse ble 1.05 m, og dette er det fjerde året på rad at breen har overskudd i massebalansen. I løpet av de 15 årene målingene har pågått har breen øket sitt volum med ca $450 \cdot 10^6 \text{ m}^3$ vann som tilsvarer et ca 12 meter tykt vannlag over hele den 38.0 km^2 store breutløperen. Masseøkningen har resultert i at brefronten nå rykker framover.

ENGABREEN 1984

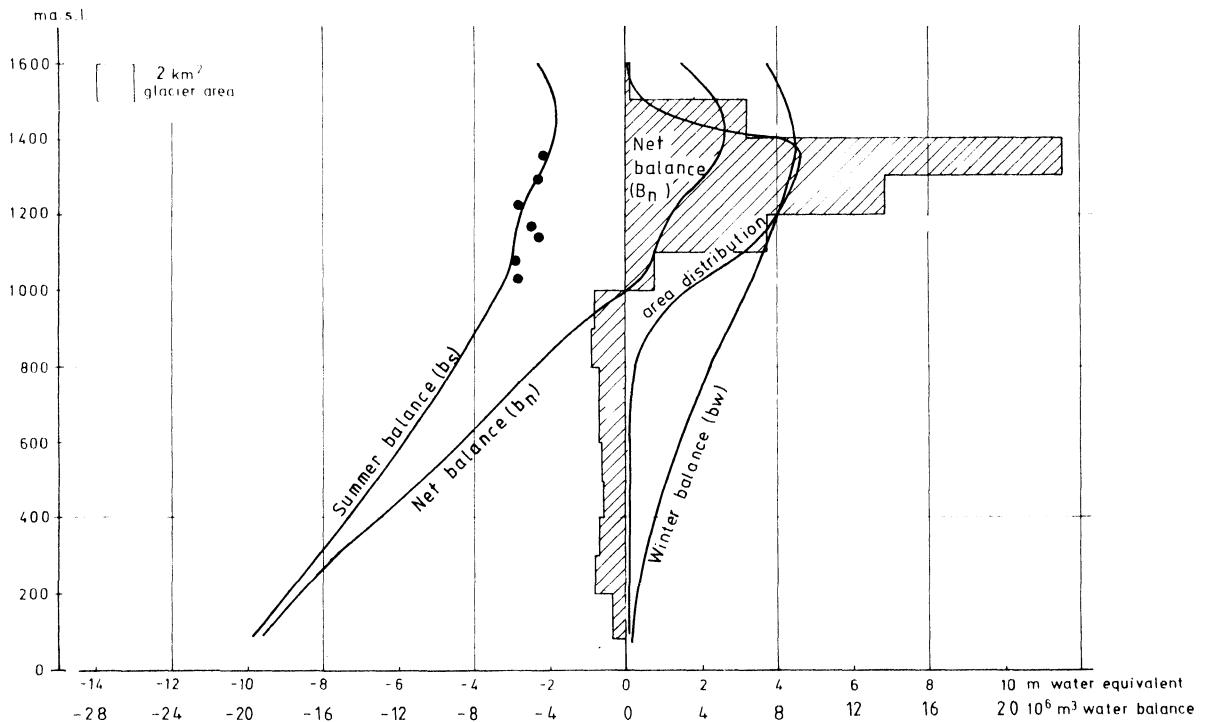


Fig. 11. Massebalansens variasjon med høyden over havet på Engabreen i 1984.

Mass balance variation in relation to altitude on Engabreen in 1984.

Likevektslinjen dette året er beregnet å ligge på 990 m o.h. (fig. 11) som er 180 m lavere enn nivået når breen er i balanse med nåværende arealfordeling.

Avløpsregistreringen foregår hele året med limnigraf i Engabrevatn. Breen dekker 75% av nedslagsfeltets areal på 50.4 km². Fig. 12 viser at vannføringen i ablasjonssesongen var betydelig over tidligere registrerte maksimumsverdier i slutten av mai og begynnelsen av juni. Etter en relativt lav vannføring den første uken av juli holdt avløpet seg forholdsvis høyt fram til slutten av august. I begynnelsen av september var vannføringen lavere enn nedre omhyllingskurve. Avsmeltingen på breen i første halvdel av oktober resulterte i et relativt høyt avløp.

Avløpet de enkelte månedene var henholdsvis 161% (juni), 88% (juli) og 116% (august) av gjennomsnittet for årene 1970-84 (tabell 2). Totalt ble avrenningen denne sommeren 113% av middelverdien.

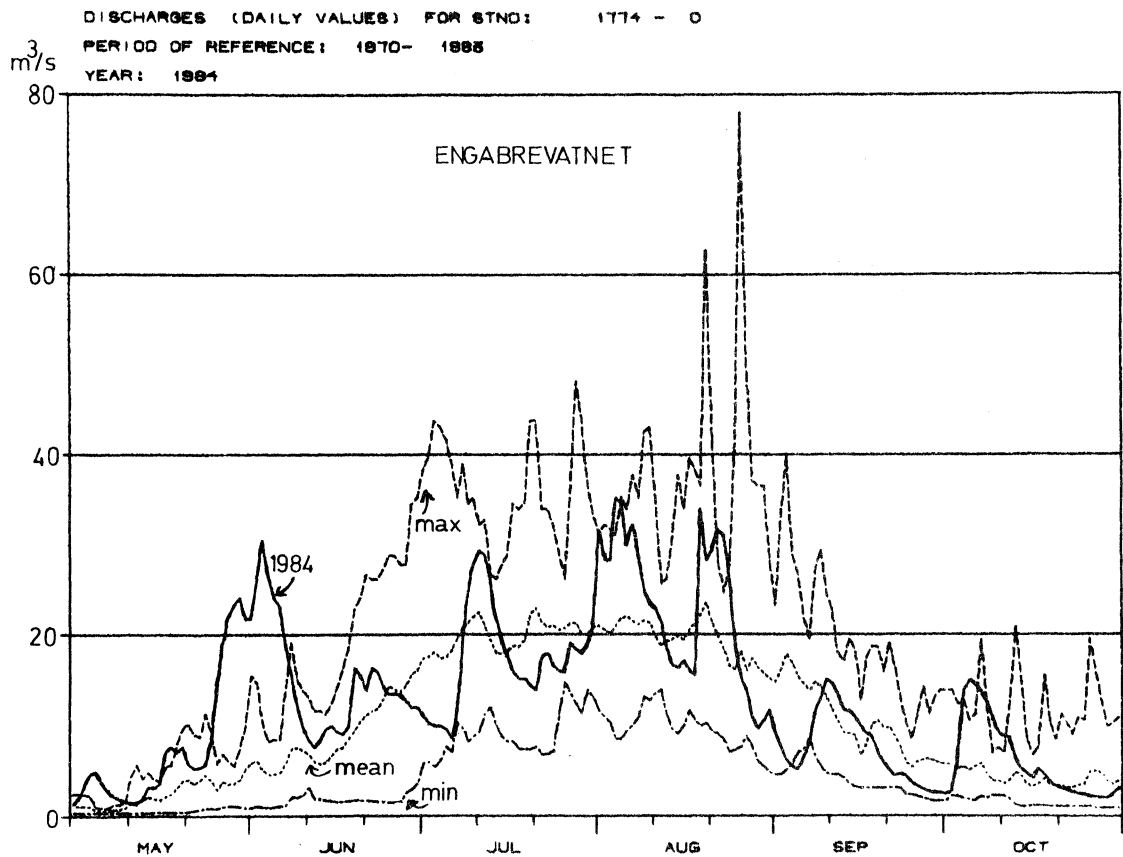


Fig. 12. Døgnlign vannføring fra Engabrevatnet i 1984 sammenlignet med ekstrem- og middelværdier for årene 1970-83.

Daily discharge from Lake Engabrevatn in 1984 compared with extreme and mean values for the period 1970-83.

Engabreen 1984

	Juni	Juli	August	Sommer
Q (10 ⁶ m ³)	38.8	46.6	61.3	146.5
Q (10 ⁶ m ³)	24.1	52.7	52.7	129.5

Tabell 2. Månedssavløpene for perioden juni-august 1984 (øverst) og middelværdien for de 15 årene bremålingene har pågått (nederst).

Total discharge for the months June-August 1984 (upper line) and the mean value for the last 15 years (lower line).

2.9 Breer på Svalbard

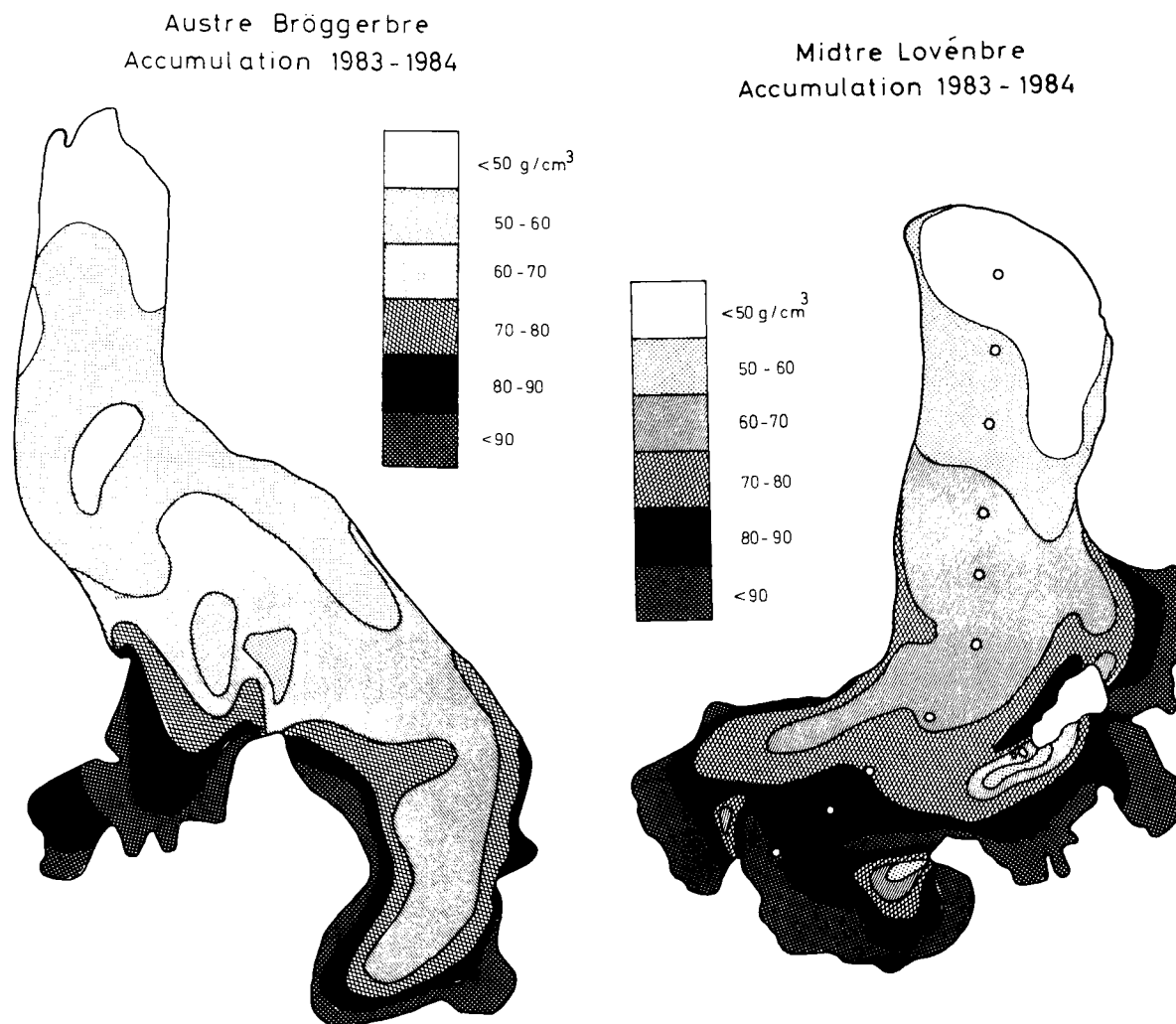


Fig. 13. Snøfordeling ved slutten av mai 1984 på Austre Brøggerbreen og Midtre Lovénbreen. Stakene på Brøggerbreen er plassert langs midtlinjen av breen hvor snødyppet ikke er representativt for høydeintervallene. Dette problemet vil også påvirke ablasjonen målt ved stakene (fig. 14). Den virkelige balansen er derfor beregnet etter sonderinger av snødyp og målinger av gjenværende vintersnø på forskjellige høydenivåer.

Snow distribution at the end of May 1984 on Austre Brøggerbreen and Midtre Lovénbreen. The stakes on Brøggerbreen have a location at the center line of the glacier where the snow depth is not representative for the height interval. This problem will also affect the net ablation measured on the stakes which is seen in the diagram in Fig. 14. The real balance is therefore calculated by using the accumulation soundings and measurements of the remaining winter snow at different heights.

Som i de 17 siste årene har massebalansemålinger blitt utført på Austre Brøggerbreen og Midtre Lovénbreen nær Ny-Ålesund på Svalbard. Stakemålinger, målinger av snødyp og tetthet ble utført i siste uke i mai. En kort periode med mildt vær og regn midtvinters forårsaket et hardt islag i snøen på de lavere delene av breene. Dette laget var vanskelig å trenge gjennom og gjorde snømålingene meget arbeidsomme.

Med et høydeintervall på 50 meter ble påfrossen is målt ved hjelp av kjerneboring. Dette laget var bemerkelsesverdig tynt våren 1984, bare 5 cm ved de lavestliggende stakene, og det manglet helt fra ca 200 m o.h. og oppover. Den beregnede påfrosne isen dannet under smeltesesongen var imidlertid av normal tykkelse. Akkumulasjonen er vist i fig. 13.

Ablasjonen ble målt ved stakene i midten av september. Den ble også kontrollert våren 1985 før smeltingen startet det året. Massebalansens variasjon med høyden er vist i fig. 14.

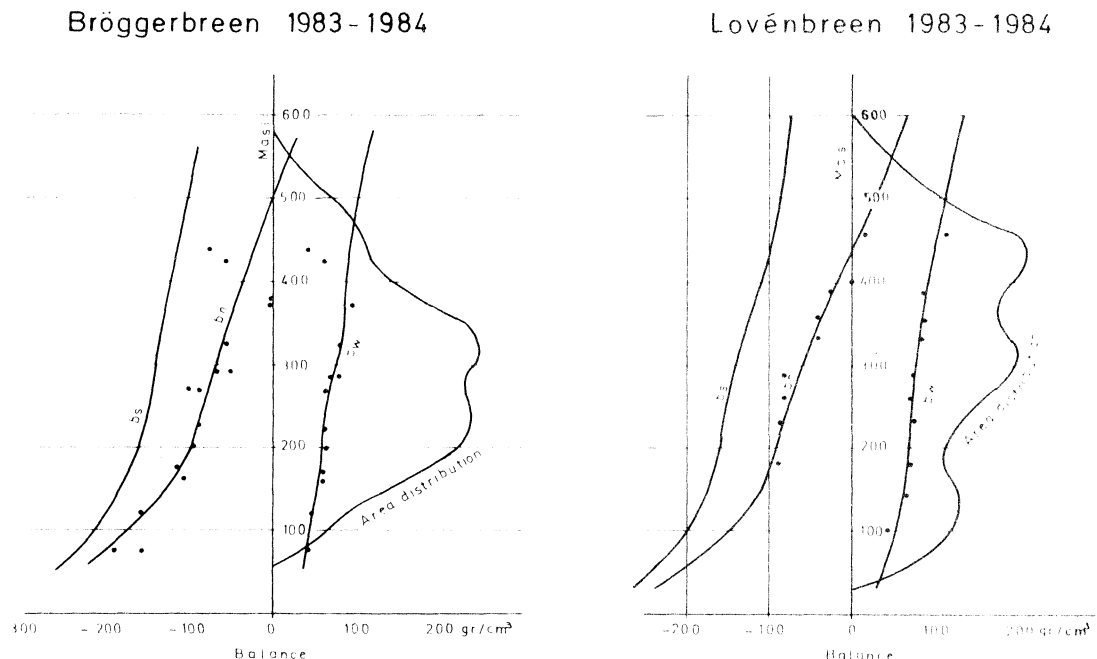


Fig. 14. Massebalansevariasjoner i forhold til høyden over havet i 1983-84 på Austre Brøggerbreen og Midtre Lovénbreen.

Mass balance variation in relation to altitude in 1983-84 of Austre Brøggerbreen and Midtre Lovénbreen.

Resultatene er gitt i tabell 3 sammen med tall fra de siste 17 årene.

Fig. 15 viser kumulativ nettobalanse på de to breene. Siden 1966 har Brøggerbreen mistet 8.23 m vannekvivalent i gjennomsnitt over hele breens areal. Det tilsvarer en senking av breens overflate på 9.15 m. Dette er mer enn 10% av breens totale volum. Det faktum at Brøggerbreen hvert år har en større negativ balanse enn Lovénbreen skyldes at den første breen har en lavere gjennomsnittshøyde over havet enn den andre.

År	Austre Brøggerbreen			Midtre Lovénbreen		
	c	a	b	c	a	b
1966-67	77	142	-65			
1967-68	57	67	-10	48	51	- 3
1968-69	57	133	-93	41	125	-84
1969-70	37	91	-54	36	89	-53
1970-71	65	123	-58	70	116	-46
1971-72	95	126	-31	98	120	-22
1972-73	74	82	- 8	82	84	- 2
1973-74	75	167	-92	70	159	-89
1974-75	78	109	-31	83	104	-21
1975-76	72	117	-45	75	110	-35
1976-77	76	87	-11	80	84	- 4
1977-78	75	131	-56	81	129	-48
1978-79	77	148	-71	80	146	-66
1979-80	75	127	-52	83	126	-43
1980-81	46	101	-55	51	97	-46
1981-82	64	68	- 4	66	64	2
1982-83	70	97	-27	75	92	-17
1983-84	69	142	-73	74	142	-68
1967-84	68	114	-46	70	107	-37

Tabell 3. Massebalansen i g/cm^2 for Austre Brøggerbreen og Midtre Lovénbreen, 1967-1984 (c: vinterbalanse, a: sommerbalanse og b: nettobalanse).

Mass balance in g/cm^2 for Austre Brøggerbreen and Midtre Lovénbreen during the period 1967-84 c: winter accumulation, a: ablation and b: net balance.

2.10 Sammen drag

I 1984 ble massebalansen målt på seks breer i Sør-Norge, en bre i Nord-Norge og på to breer på Svalbard. Resultatene er vist i tabell 4.

I Sør-Norge varierte vinterbalansen mellom 103% (Hardangerjøkulen) og 138% (Gråsubreen), mens sommerbalansen varierte mellom 83% (Ålfotbreen) og 124% (Gråsubreen) sammenlignet med årene 1963-84, se fig. 16. Resultatet ble et betydelig overskudd for Ålfotbreen og en noe mindre positiv nettobalanse for Nigardsbreen. Hardangerjøkulen fikk et lite underskudd, mens nettobalansen for breene i Jotunheimen ble negativ med verdier nær gjennomsnittet for overnevnte periode.

Utviklingen av den kumulative nettobalansen for breene i Sør-Norge er vist i fig. 17. De målte breene på Vestlandet har totalt øket sitt volum noe eller stabilisert seg, mens breene i Jotunheimen minker fortsatt, men i noe mindre grad i forhold til den store avsmeltingen i normalperioden 1931-60.

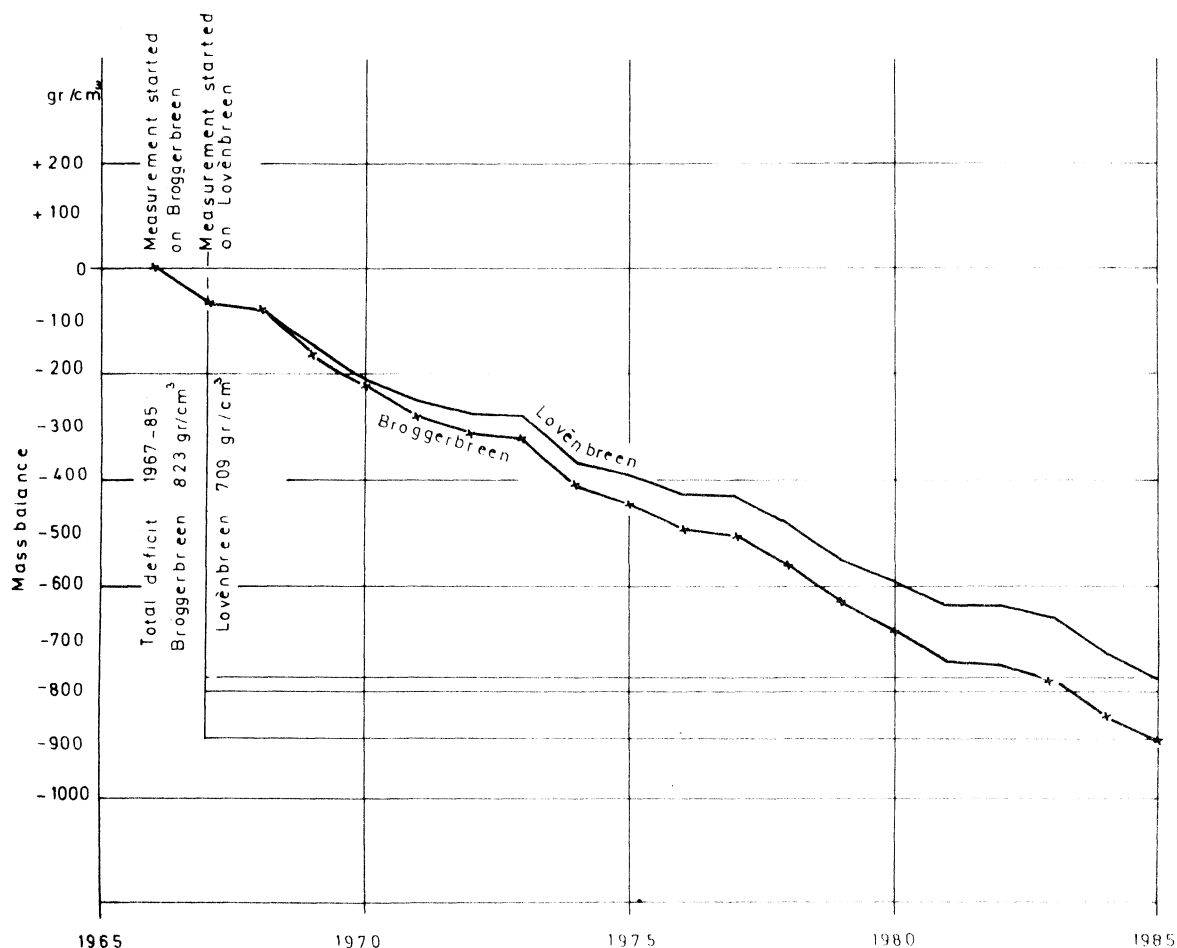


Fig. 15. Kumulativ nettobalanse på Austre Brøgger- og Midtre Lovén- breen.

Cumulative net balance of Austre Brøgger- and Midtre Lovénbreen.

I Nord-Norge var masseomsetningen på Engabreen omlag 125% sammenlignet med de 15 årene målingene har pågått. Dette resulterte i et markert overskudd i nettobalansen. Breens volumendring siden 1969 er illustrert i fig. 18 sammen med to andre breer som ble målt i Svartisen-området i perioden 1970-77.

De to breene som ble målt på Svalbard, Brøgger- og Lovénbreen, hadde negativ balanse som i de foregående 17 år.

Resultater fra de lengste måleseriene i Norge er vist i tabell 5.

Bre	Areal S km ²	Vinterbalanse			Sommerbalanse			Nettobalanse			Likevekts linje m o.h.
		$B_w^{10^6 m^3}$	b_w m 1/s km ²		$B_s^{10^6 m^3}$	b_s m 1/s km ²		$B_n^{10^6 m^3}$	b_n m 1/s km ²		
Ålfotbreen	4.8	19.7	4.09	130	13.4	2.77	88	6.4	1.32	42	1050
Nigardsbreen	48.2	120.2	2.49	79	103.9	2.15	68	16.3	0.34	11	1500
Hardangerjøkulen	17.2	35.3	2.05	65	37.0	2.15	65	- 1.7	-0.10	- 3	1675
Storbreen	5.3	9.0	1.70	54	10.6	2.00	63	- 1.6	-0.30	- 10	1760
Hellstugubreen	3.0	3.6	1.22	39	5.1	1.73	55	- 1.5	-0.51	-16	1965
Gråsubreen	2.5	2.5	0.98	31	3.4	1.35	43	- 0.9	-0.37	-12	-
Engabreen	38.0	145.6	3.83	122	105.8	2.78	88	38.9	1.05	34	990
Svalbard:											
Brøggerbreen	6.1	4.1	0.69	22	8.7	1.42	45	- 4.6	-0.73	-23	
Løvenbreen	5.8	4.3	0.74	23	8.2	1.42	45	- 3.9	-0.68	-22	

Tabell 4. Massebalansen på en del breer i 1984.

Mass balance results from 1984.

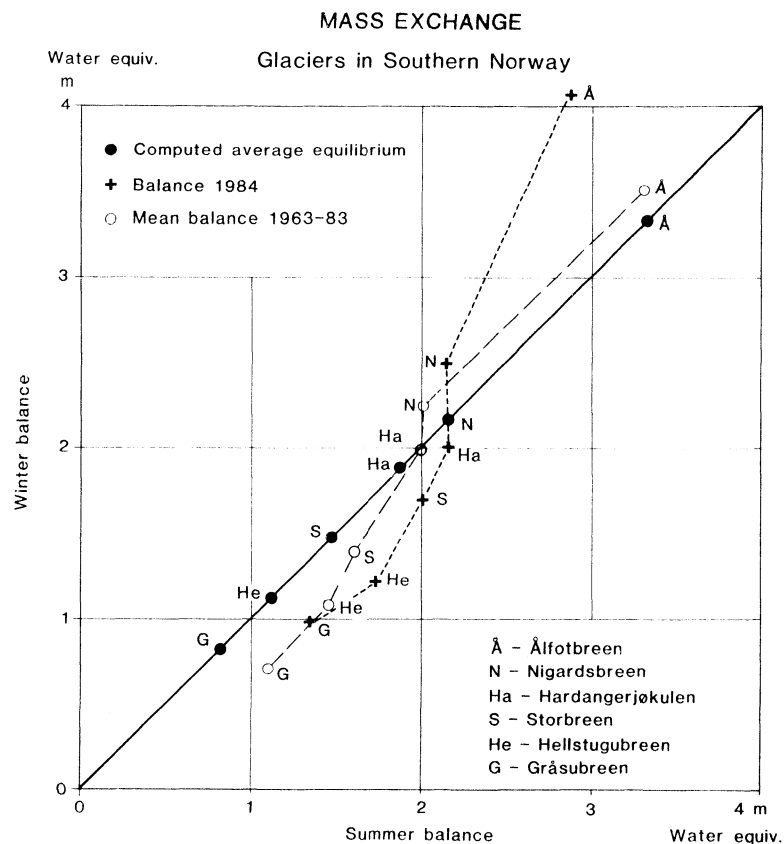


Fig. 16. Forholdet mellom vinter- og sommerbalansen i 1984 sammenlignet med gjennomsnittet for årene 1963-83 og et år med beregnet "normal" materialomsetning.

The relation between winter and summer balance in 1984 compared to mean values for the years 1963-83 and a year with a computed "normal" mass exchange.

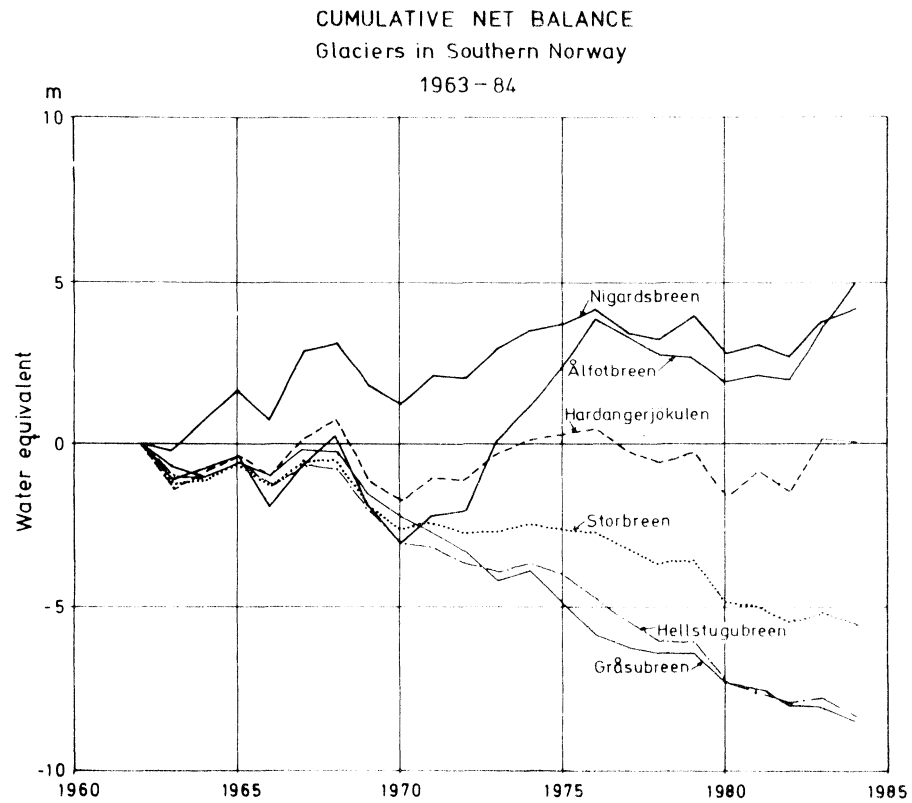


Fig. 17. Kumulative nettobalanser for seks breer langs et vest-øst profil i Sør-Norge for årene 1963-84.

Cumulative net balances for six glaciers along a W-E profile in South Norway in the period 1963-84.

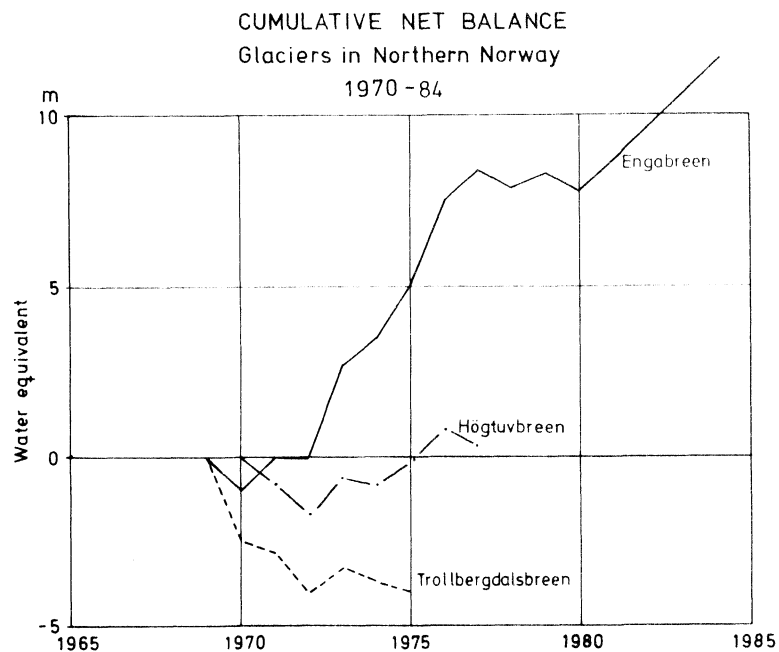


Fig. 18. Kumulative nettobalanser for tre breer i Svartisen-området for årene 1970-84.

Cumulative net balances for three glaciers in the Svartisen area, North Norway in the period 1970-84.

	1962	1963	1964	1965	1966	1967	1968	1969	1970	1971	1972	1973	1974	1975	1976	1977	1978	1979	1980	1981	1982	1983	1984
Mittobreen																							
b_w m		2.48	2.69	3.64	2.47	4.55	2.66	2.60	4.29	3.81	4.67	3.57	4.64	4.40	2.33	2.56	3.28	2.53	4.04	3.35	4.79	4.09	
b_s m		3.58	2.41	3.16	4.08	3.13	3.60	3.83	3.35	3.70	2.49	2.54	3.43	2.87	2.89	3.07	3.41	3.35	3.82	2.48	3.19	2.77	
b_n m		-1.10	+0.28	+0.48	-1.61	+1.28	+0.95	-2.17	-1.23	+0.94	+0.11	+2.18	+1.03	+1.21	+1.53	-0.56	-0.51	-0.13	-0.82	0.22	-0.13	1.60	
$Q_{\text{juni-aug.}} \cdot 10^6 \text{ m}^3$			28.2	29.4	25.4	37.4	22.3	25.6	26.5	32.3	33.2	25.8			24.9	26.5	26.6	29.3	25.6			16.6	
Front																							
Nordbreen																							
b_w m	2.88	1.87	2.13	2.29	1.76	3.40	2.72	1.95	1.73	2.11	1.88	2.40	2.06	2.50	2.88	1.52	2.12	2.75	1.77	2.19	1.94	3.02	2.49
b_s m	0.63	2.09	1.18	1.38	2.68	1.24	2.50	3.26	2.29	1.29	2.02	1.30	1.58	2.23	2.48	2.29	2.25	2.04	2.99	1.88	2.36	1.93	2.15
b_n m	+2.25	-0.22	+0.95	+0.91	-0.92	+2.16	+0.22	-1.31	-0.56	+0.82	-0.14	+1.10	+0.48	+0.27	+0.40	-0.77	-0.13	-0.71	-1.22	0.31	-0.42	1.09	0.34
$Q_{\text{juni-aug.}} \cdot 10^6 \text{ m}^3$		117.1	92.3	92.3	144.4	111.2	121.8	130.0	167.8	120.2	139.1	140.6	111.1	134.8	139.4	132.1	152.2	146.7	181.6	120.7	133.8	125.3	149.1
Front	-30	-65	-65				-515								-1	-7	-14	+3	+1	-11	+4	+0	
Nordbreen																							
b_w m		1.15	1.85	2.05	1.60	2.44	2.68	1.07	1.29	2.02	1.78	2.62	1.91	2.25	2.45	1.20	1.80	2.40	1.45	2.65	1.40	3.75	2.05
b_s m		2.55	1.31	1.54	2.24	2.25	2.15	2.97	1.89	1.28	1.86	1.79	1.50	2.10	2.30	1.92	2.10	2.10	2.85	1.80	2.10	2.05	2.15
b_n m		-1.40	+0.54	+0.51	-0.64	+1.19	+0.53	-1.90	-0.60	+0.74	-0.08	+0.83	+0.41	+0.15	+0.15	-0.72	-0.30	+0.30	-1.40	0.85	-0.70	1.70	-0.10
$Q_{\text{juni-aug.}} \cdot 10^6 \text{ m}^3$																							
Front																				-3	-3	+1	
Storbreen																							
b_w m	1.54	0.96	1.16	1.54	1.25	1.89	1.64	1.22	0.97	1.46	1.39	1.48	1.26	1.55	1.81	0.94	1.26	1.55	0.99	1.30	1.28	1.90	1.70
b_s m	0.82	2.14	0.95	1.20	1.86	1.77	1.59	2.64	1.69	1.28	1.70	1.40	1.02	1.70	1.90	1.48	1.70	1.45	2.30	1.40	1.75	1.70	2.00
b_n m	+0.72	-1.18	+0.21	+0.34	-0.61	+0.72	+0.05	-1.42	-0.72	+0.18	-0.31	+0.08	+0.24	-0.15	-0.09	-0.54	-0.44	+0.10	-1.31	-0.10	-0.47	0.20	-0.30
$Q_{\text{juni-aug.}} \cdot 10^6 \text{ m}^3$																							
Front	-5	-20	-11	-8	-6	-5	-8	-14	-18	-14	-10	-5	-5	-8	-10	-8	-5	-6	-10	-10			
Helstinskubreen																							
b_w m	1.18	0.94	0.71	1.29	0.95	1.48	1.38	0.95	0.70	1.12	0.94	1.20	1.00	1.35	1.16	0.68	1.05	1.43	0.81	1.06	0.85	1.47	1.22
b_s m	0.40	1.92	0.83	0.77	1.62	0.93	1.49	2.23	1.70	1.25	1.43	1.41	0.76	1.71	1.89	1.40	1.59	1.45	2.05	1.39	1.20	1.30	1.73
b_n m	+0.78	-0.98	-0.12	+0.52	-0.67	+0.55	-0.11	-1.28	-1.00	-0.13	-0.49	-0.21	+0.24	-0.36	-0.73	-0.72	-0.54	-0.02	-1.24	-0.33	-0.35	0.17	-0.51
$Q_{\text{juni-aug.}} \cdot 10^6 \text{ m}^3$																							
Front	-10	-12	-6																				
Helstinskubreen																							
b_w m	0.81	0.40	0.39	0.77	0.72	1.45	1.03	0.74	0.57	0.49	0.66	0.72	0.58	0.91	0.62	0.51	0.67	0.91	0.46	0.62	0.50	0.95	0.98
b_s m	0.09	1.11	0.71	0.36	1.01	0.74	1.11	2.04	1.23	0.96	1.30	1.61	0.24	1.86	1.62	0.90	0.89	0.87	1.35	0.81	1.01	0.99	1.35
b_n m	+0.77	-0.71	-0.32	+0.41	-0.29	+0.71	-0.08	-1.30	-0.66	-0.47	-0.64	-0.89	+0.34	-0.95	-1.00	-0.39	-0.22	+0.04	-0.89	-0.19	-0.51	-0.04	-0.37
$Q_{\text{juni-aug.}} \cdot 10^6 \text{ m}^3$																							
Front																							
Ljupbreen																							
b_w m																							
b_s m																							
b_n m																							
$Q_{\text{juni-aug.}} \cdot 10^6 \text{ m}^3$																							
Front																							

a Mangler 11 degn.

3. FRONTMÅLINGER

Brefrontens posisjon ble i 1984 målt på 8 breer. Resultatene er presentert i tabell 6. Med unntak av en stasjonær brefront hadde alle brefrontene tilbakegang i Sør-Norge, mens den ene målte i Nord-Norge rykket noe fram.

Jotunheimen:

Styggedalsbreen - 2 m
Leirbreen -10 m

Jostedalsbreen:

Austedalsbreen -14 m
Briksdalsbreen -11 m
Fåbergstølsbreen -15 m
Stegholtbreen -11 m
Nigardsbreen $\pm$ 0 m

Svartisen:

Engabreen + 4 m

Tabell 6. Endringer i frontens posisjon på noen breer.

Changes of the front position of some glaciers.

Tabell 5. Resultater fra massebalanseundersøkelser for noen norske breer utført i årene 1962-84. b_w , b_s og b_n er hhv. vinterbalanse, sommerbalanse og nettobalanse oppgitt i vannverdi jevnt fordelt på hele breens areal. Q er avrenningen fra breen i millioner kubikkmeter i sommermånedene juni-august og Front er brefrontens fram- eller tilbakerykking (hhv. positiv og negativ) der disse måles.

Results of mass balance measurements performed at some Norwegian glaciers during the period 1962-84. b_w , b_s and b_n are the winter, summer and net balance respectively. For some of the glaciers values for discharge during the summer (June through August), Q , are shown. Front means advance (positive) or retreat (negative) of the glacier front where such figures are available.

4. NYTT BREKART OVER MIDTRE FOLGEFONNI

I forbindelse med planleggingen og den etterfølgende utbyggingen av Folgefonnverkene ble det tatt en rekke flyfotografier av de nordlige deler av Folgefonni i årene 1959-72. I august 1981 ble også hele Folgefonnhalvøya flyfotografert i forbindelse med NGO's kartarbeider. Fra flyfotoene tatt 10. august 1959 er det tidligere konstruert spesielle brekart som dekker hele Folgefonni i målestokk 1: 20 000. Fordi det allerede er utført en del glasiologiske og hydrologiske målinger og beregninger for Midtre Folgefonni, ble det besluttet å konstruere et nytt brekart for denne breen ut fra flybildene som ble tatt 8. august 1981. Ved å sammenholde kartene fra 1959 og 1981 håpet en å kunne beregne nettobalansen for hele breen og samtidig se hvordan nettobalansen fordelte seg over breflaten.

Midtre Folgefonni er en liten platåbre som i alt dekker ca 13 km² hvorav ca 9 km² utgjør selve den kuppelformede delen. Fordi breen er liten, relativt lett tilgjengelig og har meget begrensede sprekkeområder, ble den i 1970 og 1971 gjort til gjenstand for en detaljert studie av hvordan snøfordelingen og avsmeltingen varierte på breen, se Tvede (1972). Massebalansetallene for disse årene er også med i dataunderlaget for den beregning av breområdenes hydrologiske innvirkning på Øyreselva som ble presentert i Tvede (1982).

Det nye brekartet over Midtre Folgefonni er vedlagt i egen lomme på bakre omslagsside. På kartets bakside er trykt informasjon om kartets tilblivelse og om de nettobalanseberegninger som er utført sammen med forsøk på forklaringer av de spesielle forhold som ble observert. Her skal bare kort refereres hovedpunktene.

For hele Midtre Folgefonni var nettobalansen fra 1959 til 1981 -9.6 meter vann. Fordelt på de ulike sektorer var nettobalansen slik, regnet i meter vannverdi:

Sørlige sektor	Nordvestlige sektor	Nordøstlige sektor	Østlige sektor
-10.3	-15.2	-4.9	-0.9

Se for øvrig kartet over nettobalansen i fig. 19. Det er påvist ut fra radiosondedata fra Sola flyplass at frekvensen av sterke vindstyrker i akkumulasjonsperioden er økt med ca 10% fra perioden 1951-59 til perioden 1960-79. Denne økningen er forårsaket av hyppigere vinder fra vestlig sektor, mens vinder fra østlig sektor har avtatt i frekvens. Det relativt lille nettotapet i nordøstlige og østlige deler av breen, sammenlignet med sørlig og nordvestlig sektor, skyldes derfor at relativt mer snø er blitt blåst fra vestsiden av breen over til østsiden i 1960- og 70-årene enn hva som var vanlig i 1950-årene. En nærmere analyse er også presentert i Østrem og Tvede (1986).

I neste års rapport vil nettobalanseforholdene på Midtre Folgefonni bli sammenlignet med tilsvarende beregninger for Bondhusbreen.

MIDTRE FOLGEFONNI
VERTICAL SURFACE DISPLACEMENT IN METERS
FROM 1959 TO 1981

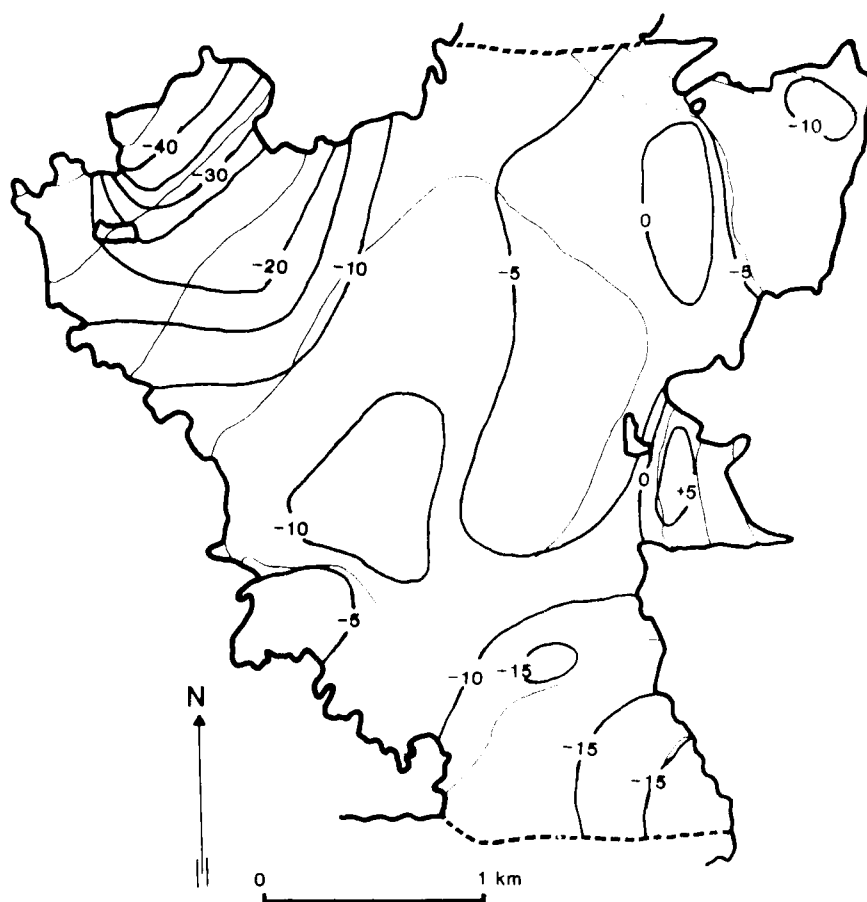


Fig. 19. Høydeforskjeller ved å sammenligne to kart over Midtre Folgefonna fra henholdsvis 1959 og 1981.

Height differences from 1959 to 1981 on Midtre Folgefonna, South West Norway.

5. TVERRÅBREEN – FORANDRINGER I BREENES MASSE.

Tverråbreen har vært kartlagt i stor målestokk i alt 5 ganger; i 1927, -42, -63, -68 og -84. I 1927 og -42 ble terrestrisk fotogrammetri brukt, i 1963 tachymetri og i 1968 og -84 vanlig konstruksjon fra luftfoto.

Kvaliteten varierer en del, spesielt for de øvre områder der snøflater uten detaljer har gjort fotogrammetrien vanskelig. Kartet fra 1927 er bare brukbart for den nederste tredjedelen, slik at man ikke får noe mål for den samlede minking av breen.

Det man kan legge merke til, er den store forskjell i breens minking sett i forhold til høyden. Sammenlignes kartet fra 1942 med det fra 1968, har breen faktisk økt i de øvre områder, mens den har minket over 60 m nederst (fig. 20). Breen har ikke klart å justere inn sin form og utbredelse raskt nok i forhold til klimaet. Den er blitt for tynn, og dermed blir hastigheten for liten til å føre is raskt nok nedover. Brearealet er for stort, det vil si breen har for stort ablasjonsområde. Skal den komme i likevekt med dagens klima, må det nedre område reduseres drastisk, og det er nettopp det som skjer i dag (fig. 21).

Tabell 7 gir en oversikt over forandringer i Tverråbreens volum i forskjellige perioder.

Tverråbreen

Periode	Antall	10^6 m^3 vann	m vannverdi	m/år
1942-1963	21	-49.5	-8.0	-0.38 m
1963-1968	5	+ 6.3	+1.0	+0.20 m
1968-1984	16	-40.5	-6.5	-0.40 m

Tabell 7 Forandringer i Tverråbreens volum.

Volume changes of Tverråbreen in Jotunheimen.

Ved beregningene er det brukt en egenvekt for breis på $0,90 \text{ g/cm}^3$. Nå består breen i de øvre områder av snø av varierende dyp og egenvekt, men under 10-15 m vil det stort sett være is. Snølaget vil være grunt når breen minker, mens det vil øke og ha mindre egenvekt i positive balanseår. Dette er det forsøkt tatt hensyn til, men det betyr egentlig lite i regnskapet.

Det finnes ingen direkte målinger for klimaperioden 1931-1960. Men en kan forsøke å beregne den ved bl.a. å bruke tall for Storbreen som ligger ca 10 km vestafor (fig. 6). Bruker en de direkte kartmålinger for perioden 1942-63, og legger til og trekker fra henholdsvis manglende og overskytende år med beregnede verdier for Storbreens massebalanse, får en et noenlunde mål for Tverråbreens masseforandring. Resultatet blir en gjennomsnittlig minking på 0.47 m pr år omregnet til vann i denne periode. Tilsvarende beregninger for Storbreen gir 0,48 m. At tallene blir såpass like, er delvis slump, delvis at 12 av årene bygger på samme beregningsgrunnlag. Beregningene bygger på såpass heterogent materiale at det er vanskelig å angi noen feilgrenser. For perioden 1960-84 blir tallet for Tverråbreen 0,35 m minking pr år.

TVERRÅBREEN
1942 - 1968

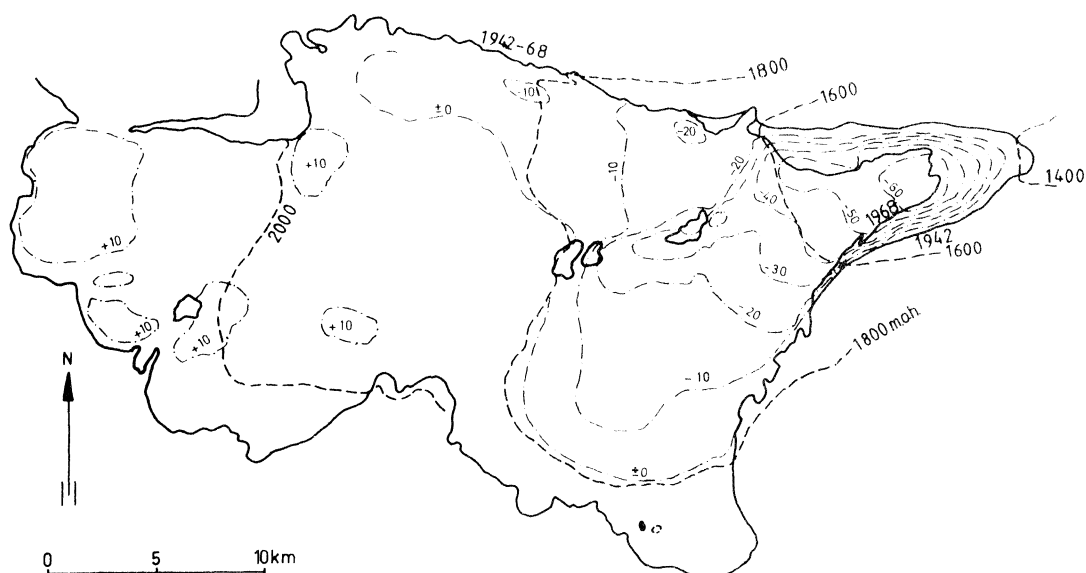


Fig. 20. Sammenligning av kart over Tverråbreen fra 1942 og 1968. De stiplede linjer viser høydeforskjeller fra 1942 til 1968.

Comparison of maps of Tverråbreen in Jotunheimen from 1942 and 1968. The dashed lines shows height differences from 1942 to 1968.

TVERRÅBREEN
1968-1984

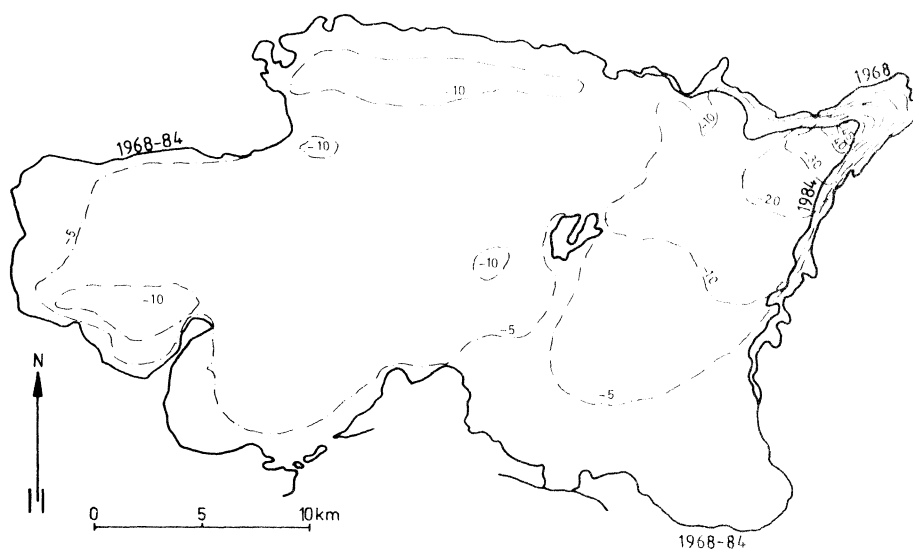


Fig. 21. Sammenligning av kart over Tverråbreen fra 1968 og 1984. De stiplede linjene viser høydeforskjeller fra 1968 til 1984.

Comparison of maps of Tverråbreen from 1968 and 1984. The dashed lines shows height differences from 1968 to 1984.

6. RADIO-EKKO MÅLINGER PÅ DELER AV JOSTEDALSMBREEN

I mai/juni ble det foretatt breradar målinger på Jostedalsmbreen. Til navigasjon ble det satt ut bambus-stikker i et rutenett (fig. 22). Dette ble gjort ved hjelp av teodolitt og avstands-måler. Nøyaktigheten i x- og y-koordinatene for hver stikke var bedre enn 20 m. Høyden til hvert observasjonspunkt i profilene ble tatt ut fra NGO's kart som bygger på flyfotografering fra 1966.

Instrumentet som ble brukt var en Mark II breradar utviklet og konstruert ved Science Institute, Universitetet i Island. Dette er en videreutvikling av instrumentet beskrevet av Sverrisson & al (1980). De analoge signalene ble lagret på fotografisk film (fig. 23). Radaren kan måle istykkelse fra 60 m til 1 300 m, men signalene blir trolig skjult av støy for dyp større enn 600 m.

Et foreløpig kart over subglasial topografi er vist på fig. 24. Istykkelser mellom 60 og 600 meter ble målt, mens de fleste områder hadde tykkelse mellom 150 og 300 meter. Det ble kjørt 74 km profiler i rutemønster 400x400 meter som dekket 17 km².

Bearbeidelsen av dataene er tidkrevende slik at målingene bør tilrettelegges for databehandling. De oppmålte områdene dekker breens øvre platåer som stort sett er flate og sprekkfrie. For å trekke koter ut til breens avgrensing mot fjell, må det interpoleres. Radaren gir ikke alltid gode signaler og enkelte områder er vanskeligere å tolke enn andre. Usikkerheten i den generelle tolkingen av hele området er ca 30 m, mens usikkerheten for en god punktmåling er mindre enn 15 m.

Metoder for feltarbeid, tolking og bearbeidelse av dataene ble utviklet. Breradar-målinger kan gjøres adskillig mer nøyaktig ved å studere og forbedre instrument og metoder. Til dette vil bruk av datautstyr, elektronikk, samt avansert matematikk og programmering være vesentlig.

7. DRENERINGSUNDERSØKELSER PÅ NIGARDSMBREEN MED BRUK AV TRACERE

7.1 Bakgrunn

Studier av dreneringssystemet i en bre ved hjelp av tracerteknikk har tidligere vært utført i Norge på Bondhusmbreen (Wold 1978) og Austre Okstindmbreen (Theakstone & Knudsen, 1981). I utlandet har tilsvarende arbeider særlig blitt gjort på breer i Alpene (f.eks. Behrens m.fl. 1982).

Undersøkelsene på Nigardsmbreen ble igangsatt i 1982 som en hoved-fagsoppgave i hydrologi ved Universitetet i Oslo (Magnell, 1985) og støttet økonomisk av Norsk Hydrologisk Komité. I 1984 bevilget Statskraftverkene penger til videre studier som Bre- og Snøkontoret utførte i samarbeid med Kjemisk Institutt, Universitetet i Oslo.

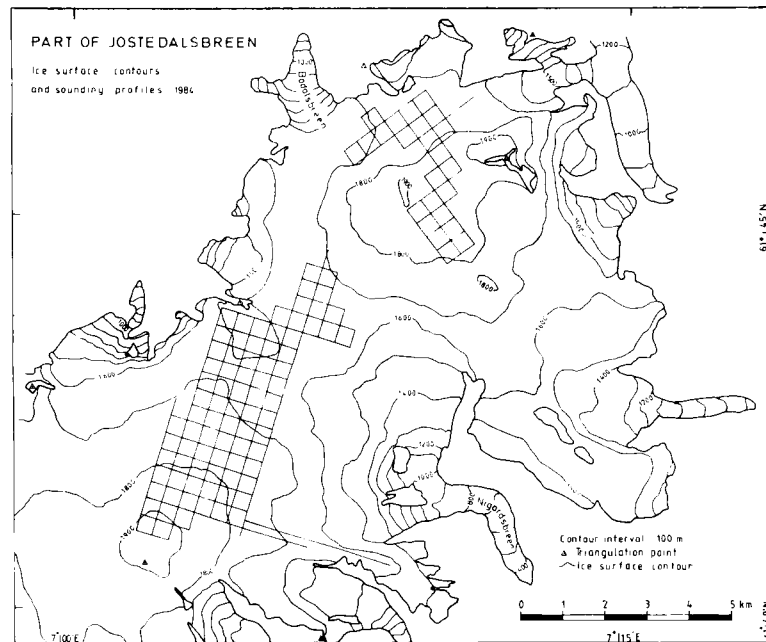
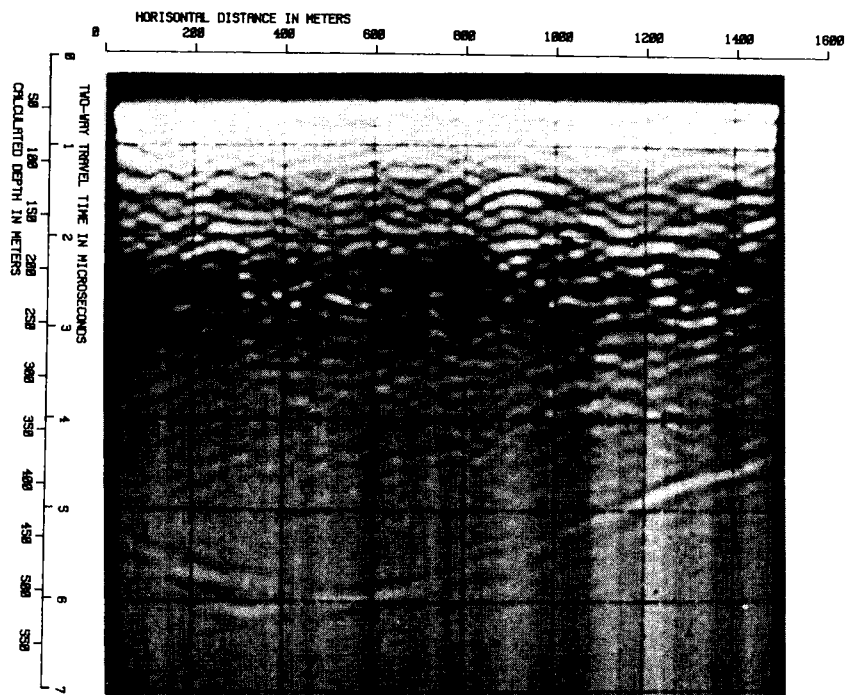


Fig. 22. Breoverflate, kontur og profiler kjørt i 1984.

Map of the glacier, contour lines and sounding profiles 1984.



A NORMAL BOTTOM REFLECTION OF GOOD CONTINUITY AND SUFFICIENT AMPLITUDE.

Fig. 23. Bunn-refleksjon med god kontinuitet og tilstrekkelig amplitude.

Bottom reflection with good continuity and sufficient amplitude.

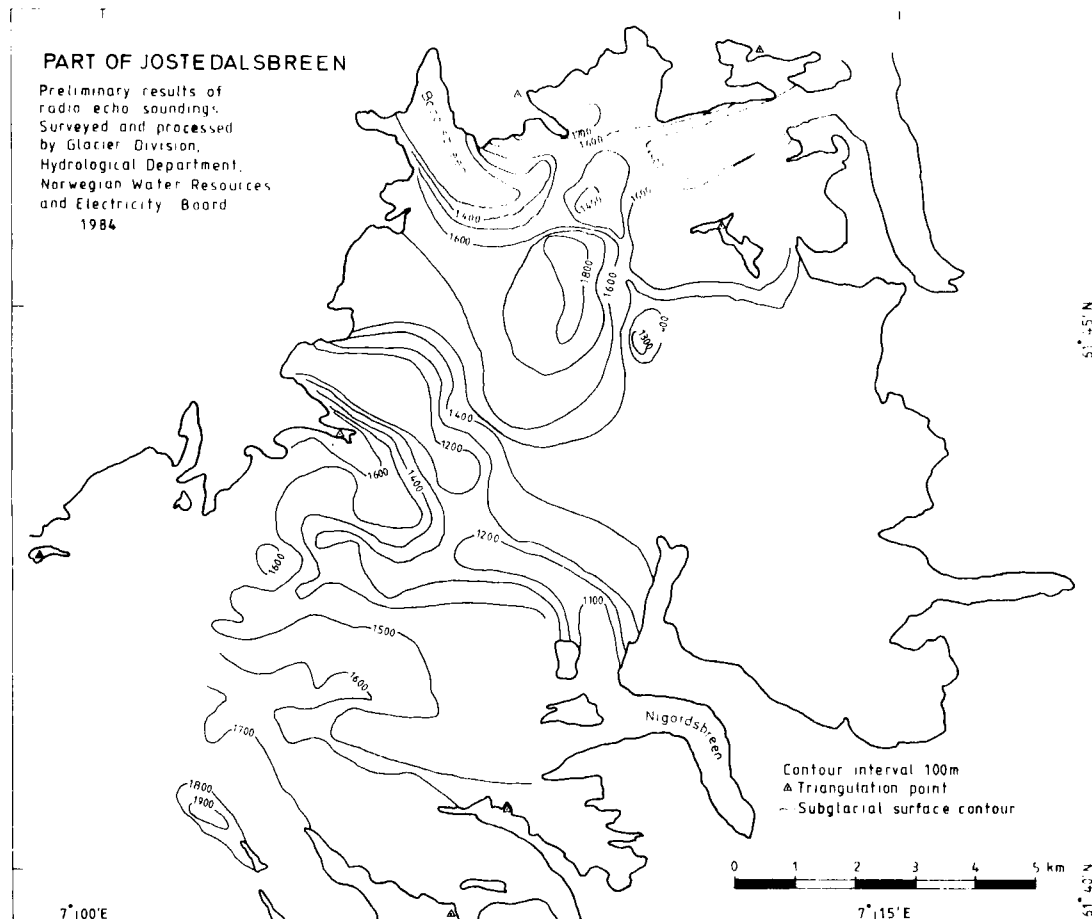


Fig. 24. Foreløpig kart over subglasial topografi.

Preliminary map of the subglacial topography.

Formålet med undersøkelsene har vært følgende:

- 1) Verifisere flere antagelser i en avløpsmodell utviklet for breområder for flomvarsling og prognosering av tilsig til kraftverksmagasiner (Lundquist 1982, 1985)
- 2) Bestemme smeltevannets transporttid fra ulike steder på breen ned til brefronten.
- 3) Følge utviklingen av dreneringsveiene i breen gjennom smeltesesongen.
- 4) Klarlegge det reelle vannskillet for breen i samband med dybdemålinger av isen på breplatået.

I 1984 har undersøkelsene for det meste vært konsentrert om dreneringen i breens blåisområde i forbindelse med punktene 2) og 3) ovenfor.

7.2 Metodikk

Måling av smeltevannets dreneringshastighet ble målt ved hjelp av tracerteknikk. Utslipp av tracere på bretunga ble gjort momentant i elver som rant over fjell ned fra breplatået og under breen fra siden samt i bekker oppå isen som forsvant ned i sprekker og vasshull. Som tracere ble det benyttet fargestoffet rhodamin B i løsning med eddiksyre og i et tilfelle vanlig saltløsning, se tabell 8. På breplatået ved Steinmannen (1 630 m o.h.) ble fluorecein oppløst i vann injisert en gang i et 10 m dypt borehull som gikk til bunnen av breen. Injeksjonsstedene er vist på fig. 25 sammen med utslippene fra 1982 (Lundquist, 1985). Tracerinjeksjonene foregikk 21.-22. juni ved normal vannføring, omlag to uker etter en tidlig flom og 2. august, dagen etter sommerens høyeste vannføring. Se fig. 29.

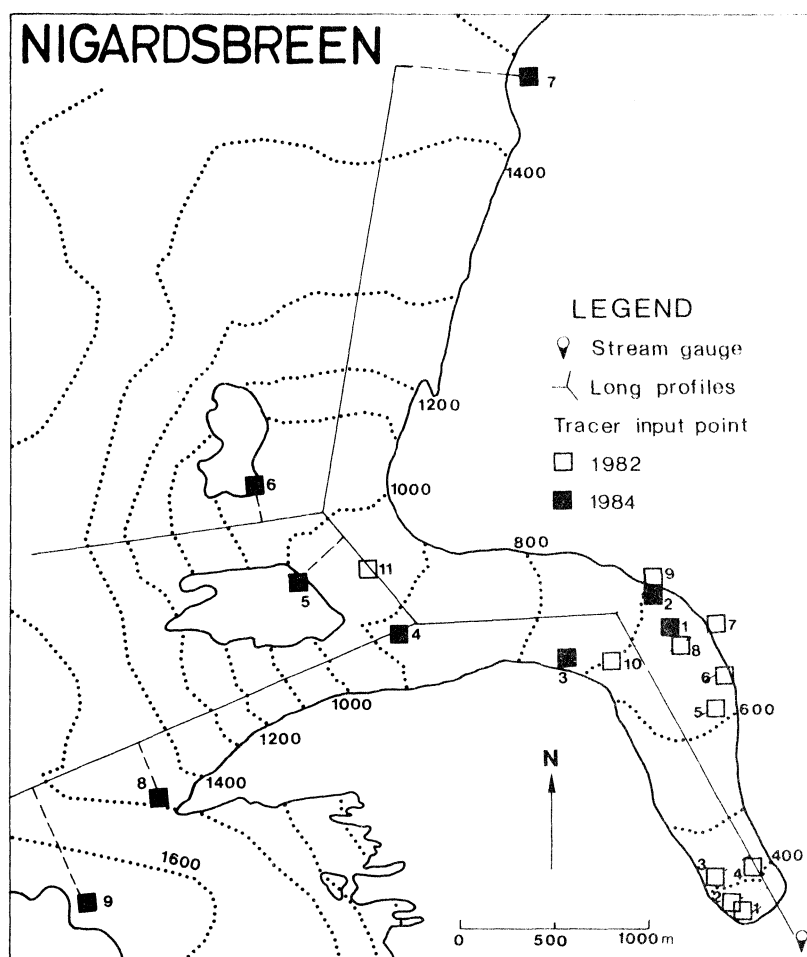


Fig. 25. Injeksjonssteder for tracere på Nigardsbreen i 1982 og 1984.

Tracer input points on Nigardsbreen in 1982 and 1984.

De resulterende pulsene fra utslippene på bretunga ble registrert kontinuerlig ved hjelp av hevertprinsippet i den nordligste og største av de to elveløpene 200 m nedenfor breen. Deteksjonsinstrumentet var et Turner fluorometer for rhodamin B (fluorecens) og ledningsevнемåler for saltløsningen, begge tilkoplede skriver. Passeringen av fluoreceinbølgen fra Steinmannen ble registrert med fluorometeret i innsendte vannprøver fra den automatiske ISCO-prøvetakeren ved limnigrafen (320 m o.h.). Intervallene mellom prøvene var 6 timer.

7.3 Resultater og diskusjon

Fra totalt 12 tracerinjeksjoner ble det registrert 9 tydelige pulser ved deteksjonsstedet. De resterende 3 injeksjonene har antagelig kun medført en svak heving av fluorecensen over et lengre tidsrom som ikke kan tolkes som en puls. Pulsen kan også ha passert etter at deteksjonen opphørte. En tredje mulighet er at smeltevannet har drenert til den sørligste av de to elveløpene fra bretunga hvor det ikke foregikk deteksjon, men bare visuell kontroll.

Konsentrasjonskurvene fra tre av injeksjonene er vist i fig. 26. De er relative, dvs. som avlest på papiret fra skriveren da fluorometeret ikke ble kalibrert mot kjente konsentrasjoner før målingene begynte. Pulsene fra injeksjonsstedene 2 og 6 er konsentrerte og nesten symmetriske med varigheter på henholdsvis 21 og 39 minutter. Den skjeve konsentrasjonskurven fra injeksjonssted 5 har en forholdsvis bratt stigning og en lang, svakt avtagende hale. Pulsens totale varighet var 240 minutter. Kurven har maksimum og centroide (midlere transporttid) etter henholdsvis 118 og 166 minutter.

En kort transporttid for smeltevannet til brefronten vil gi en relativt liten utblanding av traceren. Pulsforløpet blir derfor konsentrert. Når smeltevannet bruker lenger tid gjennom breen, blandes traceren mer ut. Vi får da en relativ langvarig og ofte asymmetrisk konsentrasjonskurve. Transporttiden avhenger både av hvor på breen injeksjonen foretas og hvor god forbindelse smeltevannet på utslippstedet har med det effektive dreneringssystemet i breen, dvs. de stabile kanalene.

Alle tracerinjeksjonene i 1984 er ført opp i tabell 8. Avstandene er horisontale distanser regnet fra deteksjonsstedet for utslippene nr 1-3 og langs lengdeprofilene (fig. 25) for nr 4-9. De angitte transporttidene gjelder for begynnelsen av tracerpulsens passering (t_1) og konsentrasjonskurvens maksimum (t_2). De to korresponderende hastighetene (v_1 og v_2) er forholdet mellom avstanden og tidene. Tallene i parentes er sannsynlige verdier i de tilfellene flere utslipp ble gjort etter hverandre uten at hver puls fikk tid til å passere før neste injeksjon ble foretatt. Grunnlaget for vurderingen har vært konsentrasjonskurvenes form i forhold til mulig transporttid.

Tracermålinger på Nigardsbreen 1984

Inj. sted	Høyde m o.h.	Avstand m	Dato	K1	Inj. dose 55% Rh	t_1 s	t_2 s	v_1 m/s	v_2 m/s	Merknader
1	670	1840	21/6	2159	1					Liten bekk på breen
2	700	2080	"	2152	*)	1380	1560	1.51	1.33	Eiv inn under breen
			22/6	1757	1	1260	1650	1.65	1.26	*) 30 l saltløsning (20%)
3	715	1960	21/6	2206	2	-	-	-	-	Liten bekk på breen ned i en sprekk
4	890	3220	"	2225	2	(2880)	(3270)	(1.12)	(0.98)	Bekk på breen ned i et vasshull
			2/8	0901	1	2520	3000	1.28	1.07	" " " " " "
5	970	3640	22/6	2042	2	-	6240	-	0.58	Liten eiv inn under breen
			"	2256	2	5040	6900	0.72	0.53	" " " " " "
6	1020	4200	21/6	2237	1-2	(3120)	(3510)	(1.35)	(1.20)	Eiv inn under breen
			22/6	1859	1	3150	3600	1.33	1.17	" " " " " "
7	1550	6400	2/8	1001	2	(10020)	(11220)	(0.64)	(0.57)	Bekk inn under breen
8	1470	4700	"	1133	2	-	-	-	-	" " " " " "
9	1625	5300	21/6	2300	*)	$63 \cdot 10^4$	$119 \cdot 10^4$	$8.4 \cdot 10^{-3}$	$4.4 \cdot 10^{-3}$	Borehull, 10 m dypt, ved Steinmannen
										*) 25 l Fluoreceinløsning (4.5%)

Tabell 8. Resultater fra tracermålinger på Nigardsbreen i 1984.

Results from dye tracer measurements at Nigardsbreen in 1984. The columns show tracer input point number, altitude, horizontal distance to detection site, date, hours, amount of injected tracer, time of melt water travel to the start of the concentration curve (t_1) and its peak (t_2) respectively, corresponding velocities v_1 , v_2 and remarks (in Norwegian).

Nedenfor injeksjonssted nr 1 ble rødfarget smelte vann observert i mange mindre sprekker på breoverflaten dagen etter utslippet. Smelte vannsbekken fra injeksjonssted 3 kom ut over en horisont i isen i en sprekk flere hundre meter nedenfor dette før den forsvant igjen. Dette viser tydelig at det eksisterer englasiale kanalforbindelser mellom sprekksystemer. Smelte vannet fra dette stedet på sørsiden av bretunga kan ha drenert til den sørlige av de to elvene fra brefronten. Tracerpulsene ville da ikke blitt registrert med fluorometeret. Instrumentet var i drift i over 10 timer etter injeksjon nr 1 og 3.

Det var liten forskjell mellom verdiene fra de to utslippene på sted nr 2 som hadde de største hastighetene (1.33 og 1.26 m/s). Tilsvarende målinger, som ble utført på samme sted 27. og 28. august i 1982 (Lundquist 1985, Magnell 1985), ga verdiene 0.96 og 0.81 m/s. Dette viser at denne sideelven har en stabil og effektiv forbindelse til hovedløpet under breen. Hastighetsforskjellene mellom de to årene skyldes muligens vannføringen som var lavere i 1982 enn i 1984. En annen mulighet er forskjellig løpsgeometri gjennom og under breen de to årene, med andre ord at smelte vannet har hatt lengre distanse å tilbakelegge i 1982.

Resultatene fra de to utslippene i vasshullet på injeksjonssted nr 4 indikerer en stabil og rask forbindelse til hovedkanalene, skjønt den første målingen er noe usikker.

De to injeksjonene på posisjon nr 5 med ca to timers mellomrom 22. juni, viser at hastigheten (v_2) synker med avtagende

vannføring utover kvelden. Den gjennomsnittlige hastigheten, beregnet med centroiden til konsentrasjonskurven for det andre utslippet, ble 0.37 m/s mot $v_2 = 0.53$ m/s for maksimalt utslag på fluorometeret (fig. 26). Kurvens skjevhet antyder at smeltet vannet kanskje passerer et mindre vannmagasin i eller under breen før det når hovedløpet.

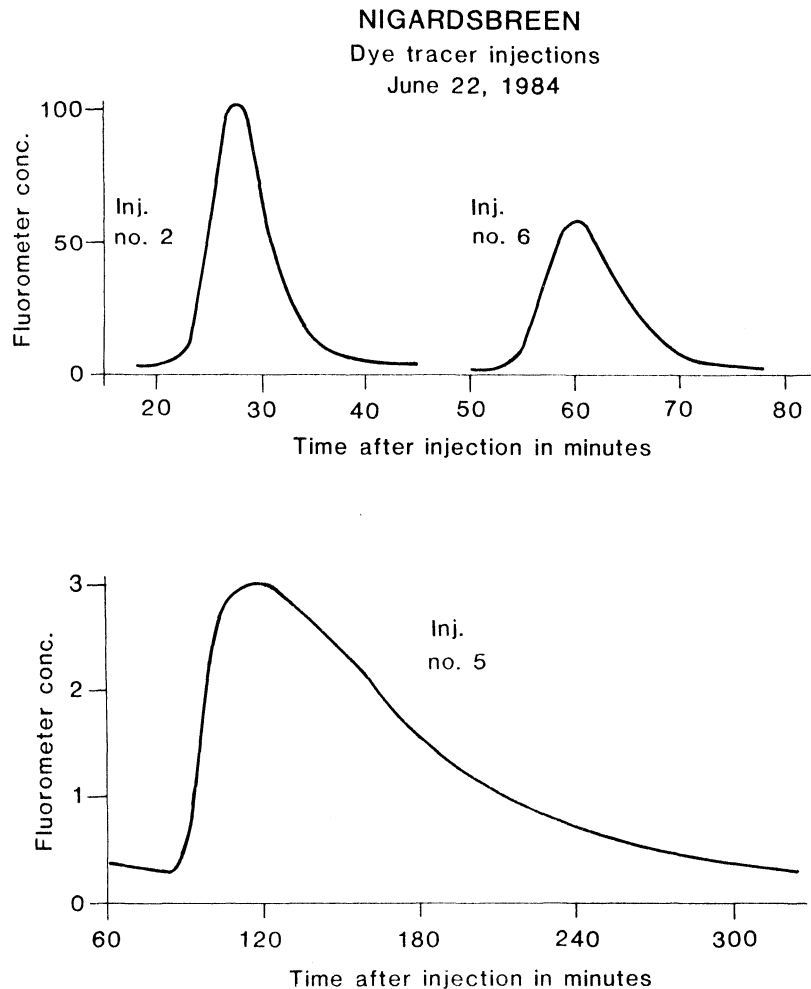


Fig. 26. Konsentrasjonskurver for pulser fra tracerutslipp på bretunga.

Concentration curves of resulting pulses from tracer injections on the glacier tongue.

Injeksjonen av rhodamin B på sted nr 6 viser at denne elva har en god forbindelse med hovedelva under breen.

Injeksjonene nr 7 og 8 ble foretatt med bare en og en halv times mellomrom pga. kommunikasjonssvikt. Det ble kun registrert en puls, men konsentrasjonskurvens form antydte at tracerbølgen stammet fra injeksjon nr 7. Dersom pulsen hadde kommet fra nr 8, ville hastigheten (v_2) ha vært 0.82 m/s, hvilket skulle ha gitt en mer konsentrert tracerpassering ved deteksjonsstedet. Den store isbevegelsen i brefallet nedenfor injeksjonssted nr 8 kan

medføre en rask avsnøring av kanalene etter flommen dagen i forveien. Midlere brebevegelse har blitt målt til 0.9 m/døgn (Østrem m.fl., 1977). Etter utslippet av rhodamin B ved sted nr 8 fortsatte deteksjonen i 5 timer. Hastigheten på smeltevannet til begynnelsen av en eventuell puls (v_1) måtte derfor ha vært mindre enn 0.26 m/s.

De første vannprøvene fra den automatiske ISCO-prøvetakeren med positivt utslag fra fluoreceininjeksjonen (nr 9) 21. juni inntraff 7 døgn (175 timer) etter utslippet. Fargestoff kunne spores i ytterligere 7 døgn (331 timer) i 22 prøver før tracerkonsentrasjonen sank under deteksjonsgrensen 0.2 mg/m³ vann. Den

registrerte tracermengden utgjør 70-80% av injeksjonen beregnet med avløpsdata fra utløpet av Nigardsvatn og reduksjon for arealforholdet (0.83) mellom de to vannmerkene.

Smeltevannets hastighet fra Steinmannen er to størrelsesordener lavere enn hastigheten målt i bekker og elver med god forbindelse til det effektive dreneringssystemet. Forsinkelsen skyldes at det tar tid for smeltevannet i firnområdet å samle seg i større kanaler.

7.4 Konklusjon

Undersøkelsene av dreneringshastigheter for smeltevannet på Nigardsbreen i 1982 og 1984 har gitt følgende resultater:

Flere av tracerinjeksjonene har ikke resultert i pulser ved deteksjonsstedet. Det viser at smeltevann lagres midlertidig over kortere eller lengre tidsrom på breoverflaten eller i og under breen en- eller subglasialt. En av injeksjonene påviste en englasial kanalforbindelse på flere hundre meters lengde mellom to sprekker.

For de injeksjonene som har medført pulser har hastigheten på smeltevannet nederst på bretunga (0.1-0.3 m/s iflg. Lundquist, 1985) vært vesentlig lavere enn høyere oppe på breen (0.5-1.1 m/s). Smeltevannets hastigheter i større elver (0.8-1.3 m/s) indikerer mer stabile og permanente kanalforbindelser til hovedløpet under breen. Repeterte tracermålinger fra noen av injeksjonsstedene viser at hastigheten varierer med vannføringen, men også at den kan være forholdsvis konstant i enkelte tilfelle. Hastighetsvariasjoner kan også skyldes endringer i dreneringssystemets løpsgeometri gjennom en smeltesesong og fra et år til et annet, beroende på vannføringsforholdene og brebevegelsen. Hastigheten på smeltevannet fra firnområdet ved Steinmannen er to størrelsesordener lavere enn hastigheten i åpne kanaler i breens blåisområde.

Resultatene fra Nigardsbreen er i overensstemmelse med tidligere refererte undersøkelser. Undersøkelsene vil fortsette i 1985, vesentlig i firnområdet.

8. BRIMKJELEN

Brimkjelen ble besøkt 6. juni. Den bredemte sjøen var på dette tidspunkt allerede tømt. Det var imidlertid helt klart at sjøen hadde vært fylt opp dette året, og tømmingen antas å ha funnet sted få dager før vårt besøk. Et oppbrudt snø- og isdekke lå igjen i bunnen av sjøen, noe som klart viste hvor høyt vannstanden hadde vært (fig. 27). Endel isfjell var også strandet etter tømmingen.



Fig. 27. Brimkjelen fotografert i begynnelsen av juni 1984.

The glacier dammed Lake Brimkjelen in early June 1984.

Stor oppsprekking og en viss innsynking av breen mot Brimkjelen, kunne tyde på at den ytre del av breen hadde vært flytende, eller at det har funnet sted en utsklidning mot Brimkjelen etter tømming. Det var ingen synlige dreneringsspor på breoverflaten, og dreneringen ved besøket gikk uforstyrret gjennom avløp inn i breen fra laveste punkt i sjøen.

Tidligere storflommer fra Brimkjelen kom gjerne forholdsvis sent på sommeren. Tidspunktet for første årlige tapping er nå tydeligvis forskjøvet til tidlig på sommeren. Dette skyldes sannsynligvis at det volum som skal fylles før tappeterskelen nås, nå er blitt vesentlig redusert pga. redusert høyde på den demmende breen. Hvorvidt det er en eller flere tappinger av sjøen hver sesong er uklart. Ved alle besøk de senere år har dreneringen inn i breen foregått fritt. Ved kontinuerlig registrering av vannstanden i Tunsbergdalsmagasinet burde det være mulig å observere de tappinger som kommer tidlig i sesongen på lavt magasin.

9. MATERIALTRANSPORTUNDERSØKELSER VED NIGARDSBREEN

9.1 Innledning

To automatiske prøvetakere sto plassert på samme sted som tidligere år og tok prøver samtidig. Det meste av sommeren ble prøvetakerne innstilt til å ta 4 prøver i døgnet. Flaskene ble byttet og prøvene filtrert én gang i uka.

Grøvere materiale som transporteres langs bunnen av elva avsettes på deltaet ved innløpet av Nigardsvatnet. Størrelsen av bunntransporten ble beregnet på samme måte som i tidligere år ved å måle tilveksten på deltaet etter sommersesongen.

Det foretas ikke meteorologiske observasjoner ved Nigardsvatnet lenger.

9.2 Vær- og vannføringsforhold

Høsten 1983 var nedbørrik med over dobbelt så høy nedbør som normalt ved nærliggende meteorologiske stasjoner (DNMI 1983). Temperaturen lå noe under normalen. Vinteren var omlag som normalt. nedbør og temperatur, mens vårmånedene var noe mildere og med nedbør i underkant av normalen (DNMI 1984). Temperaturen sommeren 1984 var 0.5-1,0 grad under normalen, mens nedbøren var omlag som normalt. September var kjølig med bare omlag halvparten av normal nedbør.

Avrenningen i sommerhalvåret var $181.6 \cdot 10^6 \text{ m}^3$. Det er i underkant av gjennomsnittet de siste 21 år, som er $185.5 \cdot 10^6 \text{ m}^3$. Det var ingen store flommer i løpet av sommeren. Under den største flommen var vannføringen oppe i $38 \text{ m}^3/\text{s}$. I løpet av de siste 16 årene har det vært høyere vannføring i 12.

9.3 Generell kommentar til årets observasjoner

Observasjonene startet opp 31. mai med installering av to prøvetakere og oppløring av assistent. Prøvetakerne tar 28 flasker og ble tømt en gang pr uke, dvs. at det ble tatt 4 prøver i døgnet, henholdsvis kl 0600, 1200, 1800 og 2400. Prøvene ble tatt samtidig med begge prøvetakerne, men insugingsslangen ble plassert litt forskjellig på de to prøvetakerne (fig. 28). Begge innsugingsslangene ble festet til et bøyd rør som ble satt ned i bakevja bak stigerøret til limnigrafen. Munningen på innsugingsslangen til prøvetaker A ble festet ca 10 cm høyere enn den til prøvetaker B.

Prøvetaker A hadde et opphold fra 1. juni til 4. august på grunn av teknisk svikt. Ellers tok begge prøvetakerne 4 daglige prøver fram til 19. september. Etter den tid gikk de en måned med redusert program, de tok 2 prøver daglig til og med 18. oktober.

Breelva, Nigardsvatn

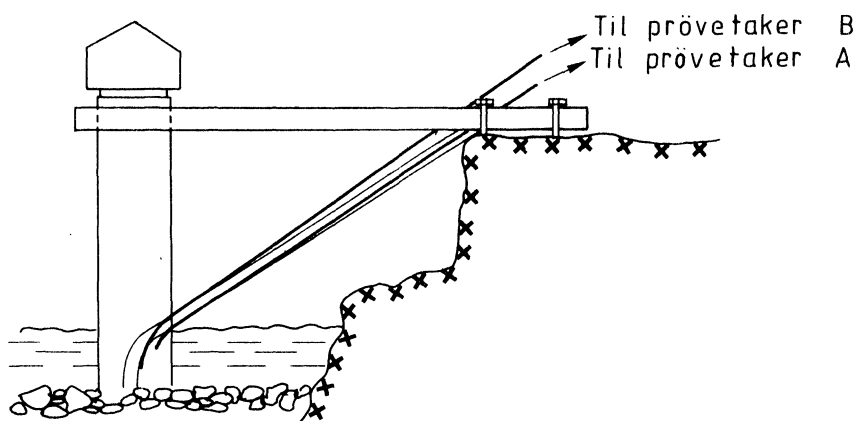


Fig. 28. Skisse av oppstillingen av innsugingsslangene til de to ISCO prøvetakerne ved limnigrafen i breelva fra Nigardsbreen.

Arrangement of the suction lines from the two ISCO automatic samplers at the water level recorder in the stream from Nigardsbreen.

9.4 Resultater

Resultatene fra den automatiske prøvetakeren i 1983 (Boge og Kjeldsen 1985) viste et stort avvik i forhold til den tidligere benyttede manuelle prøvetakingsmetode. Dette ble antatt å skyldes plassering av innsugingsslangen. Den ble i 1983 plassert med åpning mot strømretningen. Resultatene viser en ca 10-dobling av slamkonsentrasjonen i forhold til tidligere år. Dette skyldes antagelig at slam har lagt seg i slangen i periodene mellom prøvetakingene. Selv om prøvetakeren pumper ut vannet i slangen før prøvetaking, har dette tydeligvis ikke vært tilstrekkelig til å renske den. Mye av det som har vært sedimentert i slangen - kanskje særlig grovere partikler - har blitt revet med under prøvetakingen.

For å bøte på dette ble innsugingsslangene på de to prøvetakerne plassert på en annen måte i 1984 (fig. 28). Dette burde føre til en bedring i forhold til den antatte feilkilde året før. Som tidligere nevnt gikk begge prøvetakerne i juni måned. Analysene av prøvene fra prøvetaker A viste gjennomgående en noe høyere konsentrasjon av suspendert materiale i forhold til prøvetaker B, ca 114%. Dette er noe overraskende da A sto ca 10 cm høyere enn B. Vanligvis stiger konsentrasjonen mot bunnen, men strømningsforholdene i bakevja bak stigerøret kan muligens gi resultater som ikke er sammenlignbare med forholdene i et fritt strømmende elveprofil.

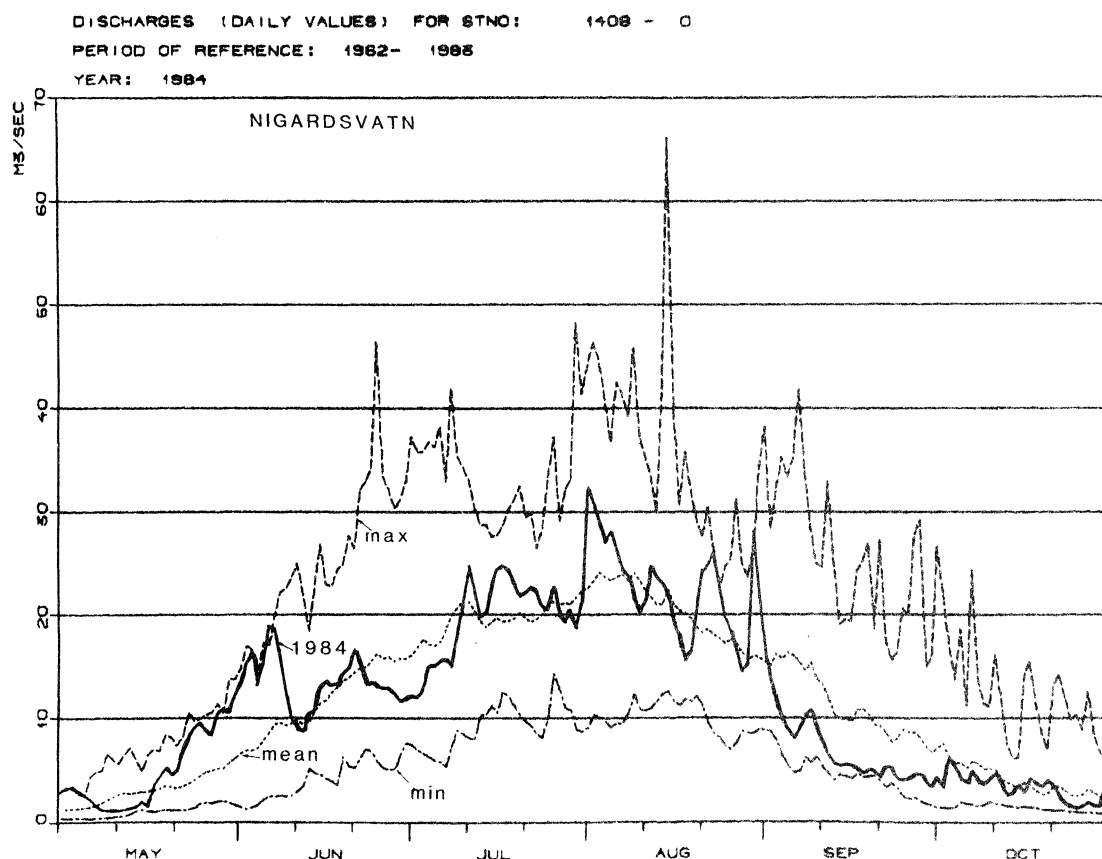


Fig. 29. Døgnlige vannføring fra Nigardsvatnet i 1984 sammenlignet med ekstrem- og middelveier for årene 1962-83.

Daily discharge from Lake Nigardsvatn in 1984 compared with extreme and mean values for the period 1962-83.

I juli var prøvetaker A ute av drift. Den ble satt igang igjen den 4. august, og begge gikk parallelt ut observasjonssesongen. I perioden 4. til 21. august ga prøvene fra prøvetaker A konsekvent høyere konsentrasjon enn prøvetaker B, i gjennomsnitt over dobbelt så høy. Fra og med 21. august skjer det en uforklarlig endring som varer til ca 5. september. I denne perioden gir prøvene fra prøvetaker A konsekvent lavere konsentrasjon enn prøvene fra prøvetaker B. I resten av observasjonsperioden var det stort sett lave vannføringer og liten forskjell mellom de to prøvetakerne.

Endringen som fant sted mellom 20. og 21. august skjedde ved en mindre flom da vannføringsøkningen hadde avtatt noe (fig. 29) og slamføringen ifølge begge prøvetakerne sank. Endringen var mest markert for prøvetaker A mens endringene i konsentrasjonen i prøvene fra prøvetaker B ser ut til å være mer rimelige i forhold til endringene i vannføringen.

Tatt i betraktning både dette og uregelmessigheter med prøvetaker A tidligere på sommeren, synes det som prøvene fra prøvetaker A er mindre pålitelige. Det er derfor sett bort fra dem ved beregningen av sommerens suspensjonstransport.

Resultatene av prøvetakingen med prøvetaker B er framstilt i fig. 30. For perioden 1. juni til 31. august gir det en suspensjonstransport på 12 200 tonn. Beregninger på grunnlag av den formelen som er framkommet ved et gjennomsnitt av målingene i årene 1968-1982 (Boge og Kjeldsen 1986) gir 8 700 tonn for de 3 sommermånedene i 1984. Et sett formler som er framkommet ved beregning etter døgnverdier for slamføring og vannføring i perioden 1976-1981 (fig. 31) gir 7 900 tonn. Formlene har ved test vist å gi for lave verdier for slamføringen ved flomsituasjoner. Suppleres dette siste formelsettet med egne formler for dager med flom får vi et resultat for de 3 sommermånedene i 1984 på 9 900 tonn. Resultatet for disse beregningene er vist med skraverte søyler på fig. 30.

NIGARDSVATN
1984

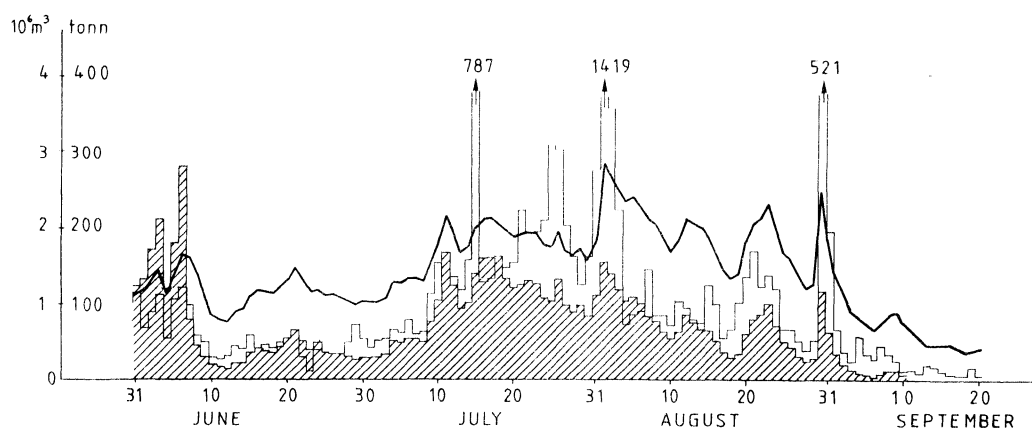


Fig. 30. Vannføring (hel strek) ved utløpet av Nigardsvatnet og slamføring inn i vatnet (søyler). De åpne søylene viser resultatene fra den ene automatiske prøvetakeren (B), men de skraverte søylene viser døgnverdier beregnet etter et sett formler basert på manuelle målinger i perioden 1976-81.

Discharge (line) at the outlet of Lake Nigardsvatn and suspended sediment transport into the lake (columns). The open columns gives the results from one of the automatic samplers (B), while the hatched columns give daily calculated results based on manually collected samples in the period 1976-81.

Som også vist ved beregninger for suspensjonstransporten i 1983 forandrer forholdet mellom vannføring og suspensjonstransport seg utover sommeren. Det ble derfor laget 3 forskjellige formler, en for hver av de 3 sommermånedene. Dette skillet er i prinsipp beholdt også for beregningene som er gjort etter døgnlige verdier. Her er imidlertid første periode begrenset av første flom i juni. Datoen for overgang fra første til annen periode vil derfor variere fra år til år (fig. 32).

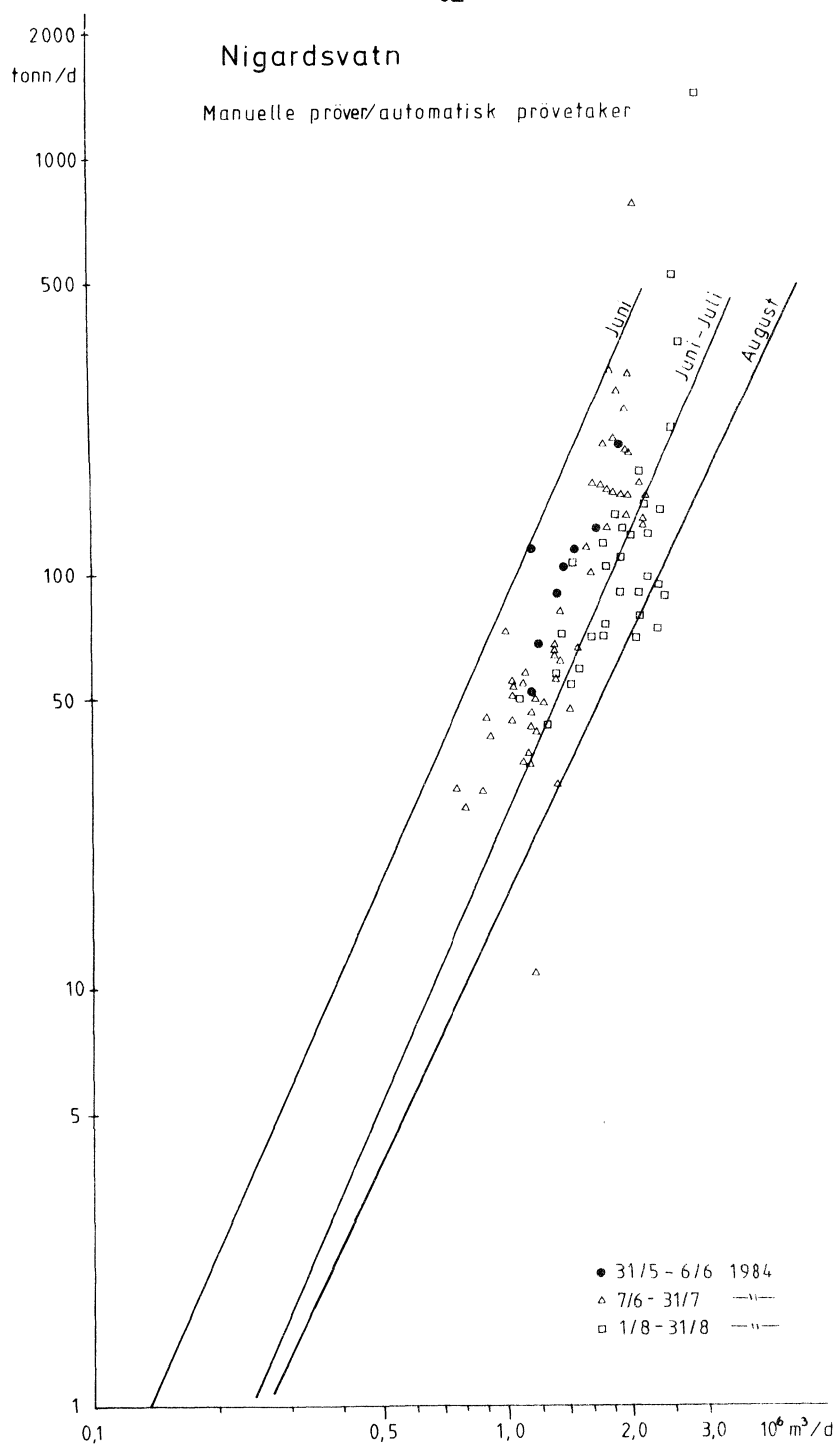


Fig. 31. Forholdet mellom døgnverdier for slamtransport og avløp i perioden 1976-81 uttrykt ved lineære regresjonslinjer i et dobbeltlogaritmisk diagram. Linjen merket juni gjelder fram til første flom. Døgnverdiene fra den ene automatiske prøvetakeren (B) er vist med symboler.

The relation between daily sediment transport and discharge in the period 1976-81. The line marked "June" gives the relation until the first flood. Daily results from one of the automatic samplers (B) are shown with symbols.

Nigardsvatn innløp

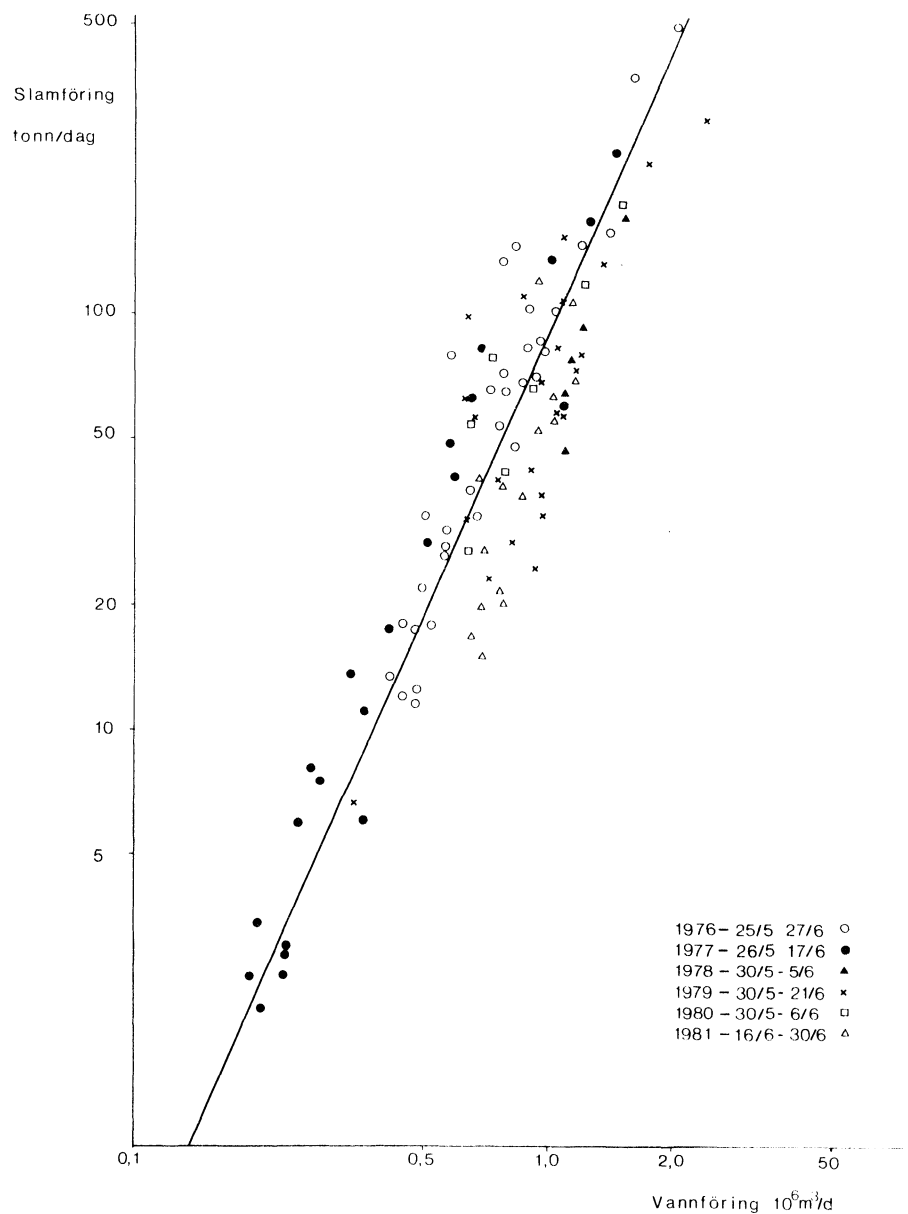


Fig. 32. En av de tre linjene (juni) i figur 30 med døgnerverdiene den er konstruert etter. Linjen gjelder for perioden fram til første flom.

One of the three lines (June) in figure 30 with the values on which it is based. This line holds good for the period including the first flood of the summer.

Formlene som er benyttet er følgende:

Før 1.flom i juni: $S = 89.5 Q^{2.26}$
 Medio juni - 31/7: $S = 27.6 Q^{2.32}$
 1/8 - 15/9: $S = 17.1 Q^{2.13}$

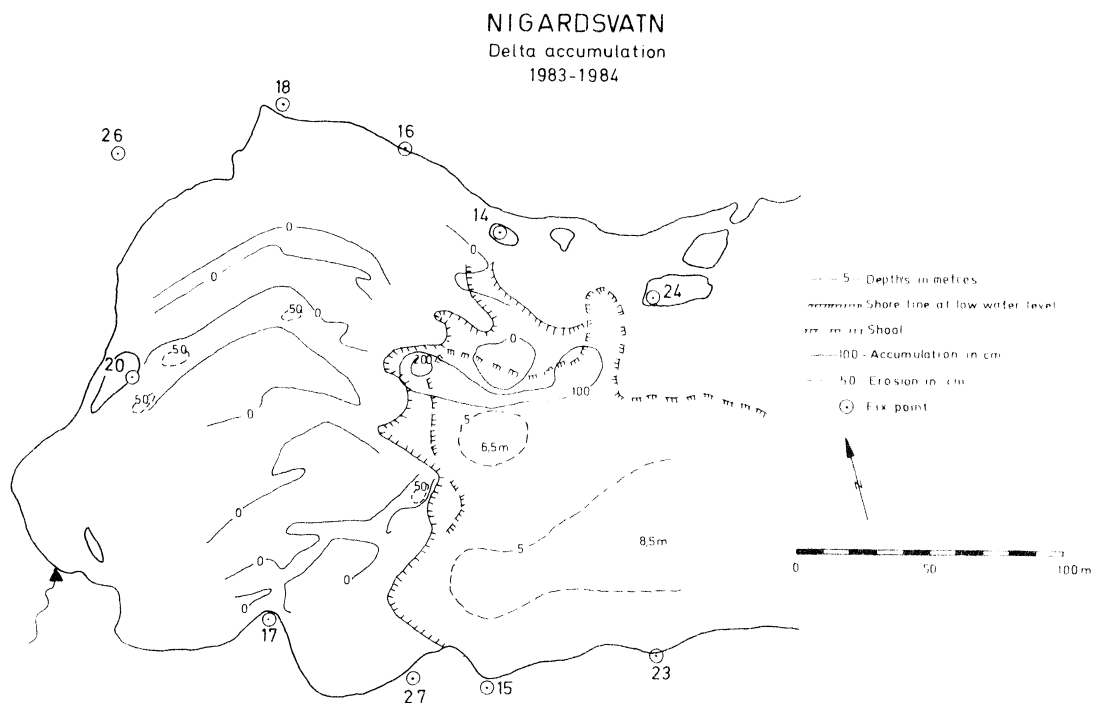
Vanlig flom: $S = 66 Q^{1.82}$
 Stor " : $S = 118 Q^{1.92}$
 Ekstrem flom: $S = 327 Q^{2.08}$

Datagrunnlaget for den siste likningen - for ekstrem flom - baserer seg på svært få punkter.

Hva som er vanlig, stor eller ekstrem flom, er skjønnsmessig vurdert og vil forandre seg utover dreneringssesongen. Resultatene av dette første forsøket på å komme fram til likninger for forholdet mellom vannføring og suspensjonstransport må ses på som foreløpige.

Ut fra de brukte formelsett er også slamtransporten for periodene utenom observasjonssesongen beregnet. Det gir drøyt 600 tonn før og snaut 400 tonn etter observasjonssesongen. Den totale materialtransporten for hele avrenningssesongen 1984 blir derved 10 900 tonn.

Pålagringen på deltaet ved innløpet i Nigardsvatnet ble nivellert og opploddet høsten 1984 på samme måte som i tidligere år (fig. 33). Fra høsten 1983 til høsten 1984 er det beregnet en pålagring på 2 660 m³ eller ca 5 300 tonn. Det vesentlige av dette er sandig og grøvere materiale, dvs. bunntransportert materiale. Dette betyr at bunntransportert materiale i 1984 utgjorde 33% av den totale materialtransporten. Gjennomsnittet for de siste 17 årene er 47%.



Den totale materialtransporten fra Nigardsbreen i 1984 blir etter dette 16 200 tonn. Det er 79% av gjennomsnittet de siste 17 årene og tilsvarer fjerning av et 0.13 mm tykt lag av fjellet jevnt fordelt under hele breens areal på 48 km².

9.5 Oppsummering

Tabell 9 viser en oppsummering av målingene ved Nigardsbreen - Nigardsvatnet.

N I G A R D S V A T N

År	Avløp 10 ⁶ m ³	Slam inn tonn	Kons. mg/l	Delta akk.		Total transp. tonn	Sedimentert	
				tonn	%		tonn	%
1968	188	6300	34	5900	48	12200	4500	71
69	244	15700	64	8600	35	24300	11700	75
70	208	14700	71	14200	49	28900	11700	80
71	168	10200	61	9100	47	19300	8800	86
72	194	12250	63	19200	61	31450	8850	72
73	179	11700	65	14100	55	25800	8500	73
74	162	6000	37	6500	52	12500	4700	78
75	196	10800	55	17300	62	28100	8650	80
76	174	12450	70	8700	40	21150	10700	86
77	176	7700	44	5250	41	12950	5700	74
78	191	7700	40	8200	52	15900	5950	77
79	191	18400	96	16700	48	35100	15650	85
80	239	11900	50	5800	33	17700	9300	78
81	183	8300	45	6900	45	15200	6300	76
82	188	9100	48	6150	41	15150		
83	184	9500*	52	6800	42	16300		
84	189	10900*	60	5300	33	16200		
Snitt	191.4	10800	56	9690	47	20480	8640	78

* Tallene dels beregnet etter kurver basert på tidligere års resultater.

Tabell 9. Oppsummering av materialtransportmålingene ved Nigardsvatnet i årene 1968-84.

Sediment transport studies at Lake Nigardsvatn in the period 1968-84. The columns gives (from left): discharge, suspended sediment load into the lake, concentration, accumulation on the delta, total sediment transport and percentage of suspended load sedimented in the lake.

10. SEDIMENTASJON, VANNFØRING OG MATERIALTRANSPORT I NIGARDSVATN

10.1 Prosjektbeskrivelse

Prosjektets hensikt har vært å klarlegge i hvilken grad varvige bresjøsedimenter gjenspeiler vannføringsforhold og sedimenttransport i en bresjø. Undersøkelsen er konsentrert om Nigardsvatn ved Jostedalsbreen. Prosjektet har utspring i samarbeidsprosjektet "Materialtransportundersøkelser i Norske Brevassdrag" mellom NVE's hydrologiske avdeling og Naturgeografiska Institutionen ved Stockholms Universitet. Perioden 1967-79 har vært gjenstand for undersøkelsen. Fra dette tidsrom foreligger både vannføringsobservasjoner og detaljerte suspensjonstransportmålinger både ved innløpet og utløpet av vannet. Videre har det vært utført årlige pålagingsmålinger på deltaet ved Nigardsvatnets innløp. I 1980 ble det tatt opp et stort antall varvige kjerneprøver fra vannets bunn. En rekke kjerner inneholder en referansehorisont med mursteinspulver sluppet ut på innmålte steder i vannet i 1968. Toppsjiktet i prøvene består av et tykt sedimentlag, vesentlig avsatt under en ekstrem flom i Jostedalen i august 1979.

På grunnlag av sistnevnte observasjonsmateriale tar prosjektet sikte på å kartlegge sedimentasjonenes størrelse og fordeling i ulike deler av vannet fra år til år. Sorteringen av materialet i sedimentasjonsforløpet inngår i denne delen av undersøkelsen. Derneft trekkes sammenligninger mellom førstnevnte 11 års- og årlige målte massetransporter og vannføringer ved vannet.

Hensikten er som nevnt å bringe på det rene i hvilken grad de varvige sedimentenes kronologisk ordnede lagrekker gjenspeiler tidligere massetransport/vannføringsforhold. Praktisk kan det evt. være nytte i å anvende kjerneprøver med slike varvige årslagsrekker ved rekonstruksjon av tidligere hydrologiske og sedimenttransportmessige hendelser, særlig for å identifisere år med ekstreme flomforhold.

10.2 Resultater

Sedimentasjonen i Nigardsvatn er undersøkt på to måter, her kalt den indirekte og den direkte metode.

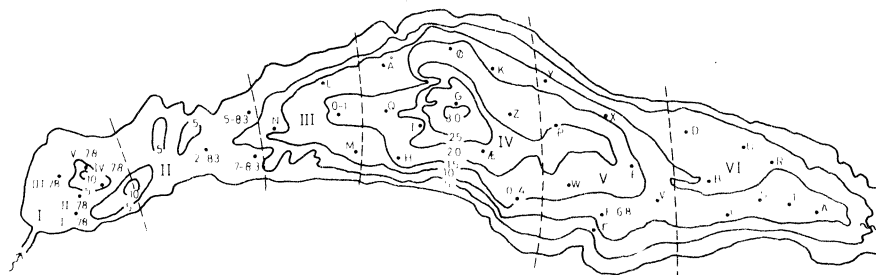
Den direkte metode baserer seg ganske enkelt på at sedimentasjonen av suspendert materiale i vannet er regnet som differensen mellom observert transport inn i, og ut av vannet. For perioden 1968-78 viser disse beregningene at mellom 71% og 85% av suspensjonstransporten til vannet sedimenterer der. Snittet for perioden er 78%.

I tillegg sedimenterer alt bunntransportert materiale som grovmasser på innløpsdeltaet. Deltapålagingsmålingene viser en slik avsetning i størrelse 100 000 tonn for perioden 68-78. I samme tidsrom sedimenterte ca 90 000 tonn finmateriale iflg. den indirekte beregningsmetode.

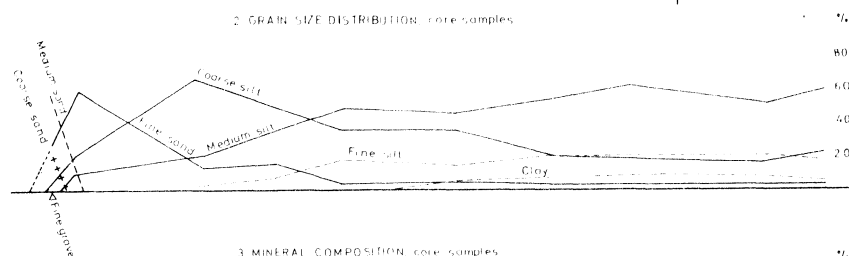
NIGARDSVATN

DISTRIBUTION AND SORTING OF SEDIMENTS FROM INLET TO OUTLET

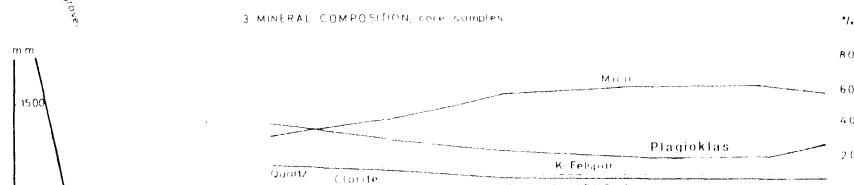
1. DISTRIBUTION OF SAMPLING POINTS AND AREAS



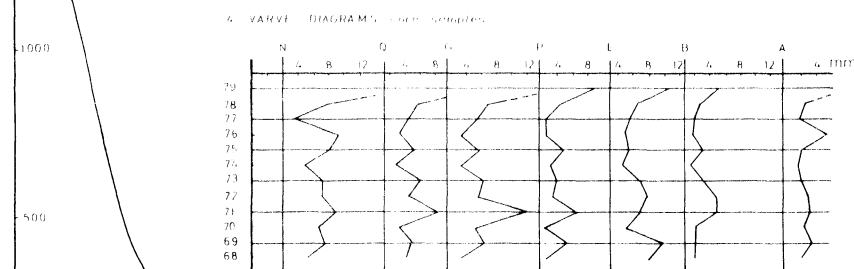
2. GRAIN SIZE DISTRIBUTION: core samples



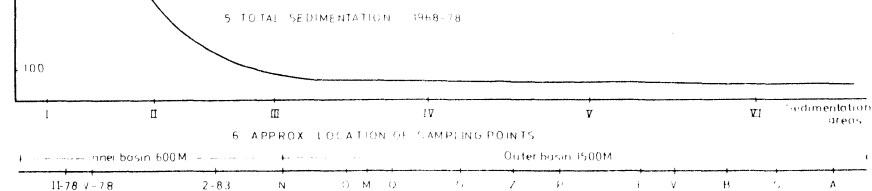
3. MINERAL COMPOSITION: core samples



4. VARVE DIAGRAM: core samples



5. TOTAL SEDIMENTATION 1968-78



6. APPROX. LOCATION OF SAMPLING POINTS



Fig. 34. Øverst (1-1) vises vannet med prøvelokalitetene og de VI forskjellige sedimentasjonene inntegnet. I 2 vises kornfordelingen i lokaliteter langs et lengdeprofil i vannet og i 3 er mineralinnholdet i utvalgte prøver fra vannets ytre basseng vist. Legg merke til hvordan glimmerinnholdet tydeligvis følger middels silt fraksjonen. I 4 vises et såkalt densitometerdiagram som viser skiftningene mellom lyse og mørke lag vertikalt i en del utvalgte kjerner.

Den direkte metode har basert seg på konnektering mellom sam-
hørende årslag i sedimentkjernene. Årslagstykkelene er målt og
materialets tetthet bestemt. På dette grunnlag er størrelsen og
fordelingen av årlig sedimentasjon i perioden 1968-78 for vannets
0.4 km² store ytre basseng beregnet.

Konnekteringsarbeidet er utført både på tradisjonelt visuelt vis
og ved bruk av densitometerdiagrammer. Sistnevnte metode er
anvendt både på epoxypreparerte tynnslip, røntgenfilm, foto-
negativer og -positiver.

Størrelsen og fordelingen av sedimentasjonen i Nigardsvatnets
0.1 km² store indre basseng er fastlagt dels ved kjerneprøver,
men særlig ved pålagingsmålinger (opplodding). Opploddingen
regnes også til den direkte metoden.

Det skjer en viss sortering av finmaterialet i sedimentforløpet i
vannet. En del materiale fra både suspensjonsprøver (innløp/
utløp) og kjerner er undersøkt med tanke på denne sorterings-
effekten. Kornfordelinger er bestemt med både sikte-, slemme- og
pipetteanalyse. Material/mineralsammensetningen er undersøkt
såvel mikroskopisk som ved diffraktometer- og elementanalyse.

En del resultater basert på den direkte metodens undersøkelser er
vist i fig. 34 og 35.

Diagrammene vitner om et forholdsvis regelmessig sedimentasjons-
forløp langs hele vannets lengdeprofil og langs tverrprofiler i
vannets ytre basseng. Det er en eksponensiell trend i måten sedi-
mentasjon avtar med økende avstand fra innløpet. Tilsvarende
sorteres grovfraksjonene raskt ut nær innløpet hvor turbulens og
strømhastighet er avtagende. Finsand og grovsilt begynner å
sedimentere nær deltaet og sedimentasjonsintensiteten for disse
fraksjonene når et maksimum (kulminerer) allerede i indre
basseng. Middels silt dominerer i resten av vannet. Legg merke
til hvordan høyt glimmerinnhold tydeligvis følger særlig denne
fraksjonen. Densitometerdiagrammene viser skiftningene mellom
lyse og mørke lag vertikalt i en del utvalgte kjerner. Slike
diagrammer letter konnekteringsarbeidet ved sammenstillinger av
denne typen.

The uppermost figure (1) shows sampling stations in the
lake, with the sedimentation zones (I-VI). In 2, the
grain size distribution at sites along a longitudinal
profile of the lake is shown and in 3 the mineral
content of selected samples from the lake's outer basin
is shown. Note how the mica content is clearly
associated with the medium silt fraction. 4 is a density
meter diagram showing vertical alternation of light and
dark layers in some selected cores. 5 shows the total
sedimentation in the lake for the period 1968-78. 6
shows the approximate position of the samples ranged
along the X-axis in 5.

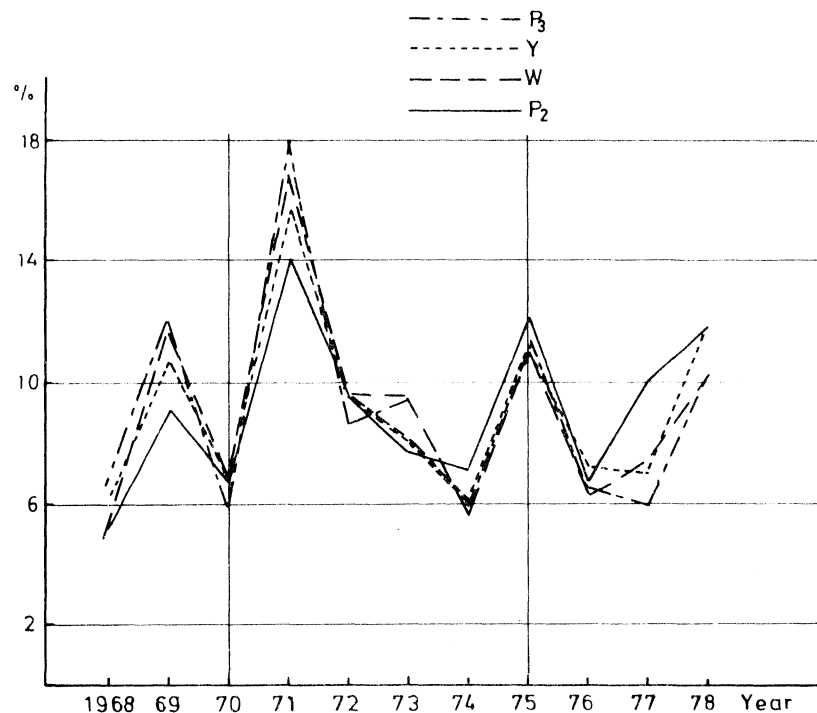


Fig. 35. Sedimentasjonen langs tverrprofil W-P-Y i Nigardsvatn. Diagrammets y-akse representerer årsvarvtykkelsene som en prosentandel av hver kjernes hele tykkelse (100%) fra 1968- til 78-laget. Året 1971 skiller seg spesielt ut i hele vannet, likeså 1979 (ikke vist). I 1971 ble et ekstra tykt varvlag avsatt, til tross for at året hadde minst avrenning av samtlige år i observasjonsperioden.

Sedimentation along the crossprofile W-P-Y in Nigardsvatn. The Y-axis represents the annual varve thickness as a percentage of each core's total length (100%) from the 1968 to the 1978 layer. The 1971 deposits are anomalous throughout the lake, as are those of 1979 (not shown). In 1971 an extra thick varve accumulated even though this was the year with the least discharge during the observation period.

Vannet kan etter dette deles i 3 ulike pålagringsområder:

- 1) Deltaet med rask vekst. Avlagring og omlagring av grovmassene skjer innenfor dette konsentrerte område.
- 2) Resten av indre basseng med forholdsvis stor pålagring av finere materiale (sand og grovsilt). Her er strømforholdene omskiftelige. Finsedimentenes varvighet er tilsvarende uregelmessige og ulikt utviklet.
- 3) Ytre basseng med mer moderat og jevnere sedimentasjon av det fineste materialet. Her er varvigheten regelmessig og godt utviklet. Tilsynelatende er strømforholdene i denne del av vannet forholdsvis likeartet fra år til år.

Det er særlig ytre bassengs regelmessige varvlagserier som er sammenlignet med observerte vannførings- og massetransportdata for perioden 1967-79.

I hvilken grad gjenspeiler så ytre basseng varvige sedimenter disse datas størrelsesforhold?

Først noen ord om hvordan varvserienes data gjenspeiler transport og sedimentasjon av suspendert materiale. Beregninger etter den direkte metoden viser at bare ca 41% av finmaterialet som sedimenterer, legger seg i ytre basseng. Total finmaterialmengde som sedimenterte i perioden var etter disse beregninger ca 78 000 tonn, i ytre basseng ca 32 300 tonn.

Til sammenligning gir den indirekte beregningsmetode en total-sedimentasjon på 90 000 tonn for samme periode. Avviket fra den direkte metoden er ca 15%.

Sammenligninger av forholdet mellom varvlagenes tykkelsesvariasjoner og den indirekte beregnede sedimentasjon år for år, gir tildels større avvik. Ved direkte beregning av sedimentasjonen i ytre basseng som en andel av indirekte beregnet årlig sedimentasjon, varierer andelen mellom ekstremene 20% og 50%, i snitt 36%. Dette snittet ligger nær de 41% en kom fram til ved den direkte metoden.

Generelt kan man si at ytre bassengs varvserier gjenspeiler ca 40% av den årlige finmassesedimentasjon i vannet. Dog kan enkeltår avvike $\pm$ halvparten av denne gjennomsnittsverdi. Transporten av suspendert materiale fra breen til vannet gjennspeiles også i varvlagene, når man tar i betraktning den forholdsvis stabile sedimentasjonsrate (78%) som på indirekte vis er målt ved vannet.

Spørsmålet er dernest i hvilken grad varvlagene avsatt i perioden også gjenspeiler vannføringsforhold?

Sammenhengen mellom vannføringens årssyklus og vekslingen mellom mørke vinterlag og lyse sommerlag trer tydelig fram av fig. 36. Dette viser hvordan avrenningsforholdene og massetransporten varierer i takt. Den kronologiske ordning i varvserier har tradisjonelt vært utnyttet i en rekke ulike former av undersøkelser for dateringsformål såvel i Norden som andre steder i verden.

En sammenligning mellom årsmiddel vannføringer og varvtykkelser viser imidlertid dårlig korrelasjon (se fig. 37a). En videre sammenligning med middelet av kulminasjonsvannføringer for årets 3 største flommer, forbedrer korrelasjonen noe (fig. 37b). Iflg. materialtransportobservasjoner 1968-78, bidrar årets 3 maksimalflommer ved Nigardsvatn med mellom 13 og 54% av finmassetransporten i året, med et snitt på 30%.

Undersøkelsen synes å vise at varvlagenes tykkelse i de fleste år i liten grad gjenspeiler vannføringens størrelsesforhold i dette vannet. Et unntak danner året 1979, da en ekstrem flom i august avsatte et ca 10-15 mm tykt lag i Nigardsvatnets ytre basseng

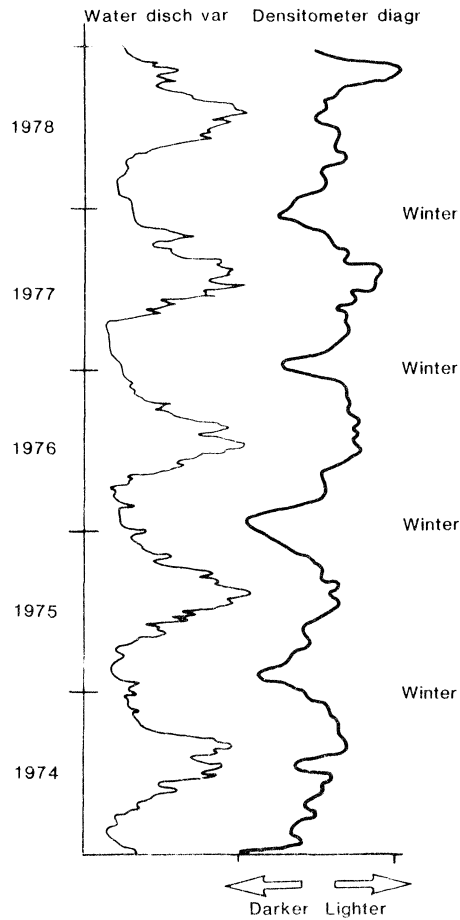


Fig. 36. Samsvar mellom varvlagenes mørke sjikt og lavvannførings- perioden om vinteren trer fram ved denne sammenstillingen mellom densitometerdiagrammet for prøve N og vannførings- variasjonene i Nigardsvatn (pentader) for perioden 1974-78.

Densitometerdiagrammet er framstilt med en lys-spalte på 1/4 mm. Med denne oppløselighet trer en del finere detaljer - "mikrovarv" - og mørke mineralkorn i sommerlagene fram og gir kurven et frynsete preg. Mikrovarvene forekommer særlig i kjerner innerst i ytre basseng. Observasjonsmaterialet er utilstrekkelig til å stadfeste hvilken relasjon de evt. har til vannføringsvariasjonene.

The association of dark varve layers with the winter period of low discharge is illustrated by this comparison of the density meter diagram for sample N and the discharge variations in Nigardsvatn for the period 1974-78.

The density meter diagram is produced with a light beam of 0.25 mm. This degree of resolution allows finer details - "microvarves" - and also dark mineral grains in the summer layers to show up. Microvarves are particularly common in the upstream part of the outer basin. The observations are insufficient to determine their possible relationship to summer discharge patterns.

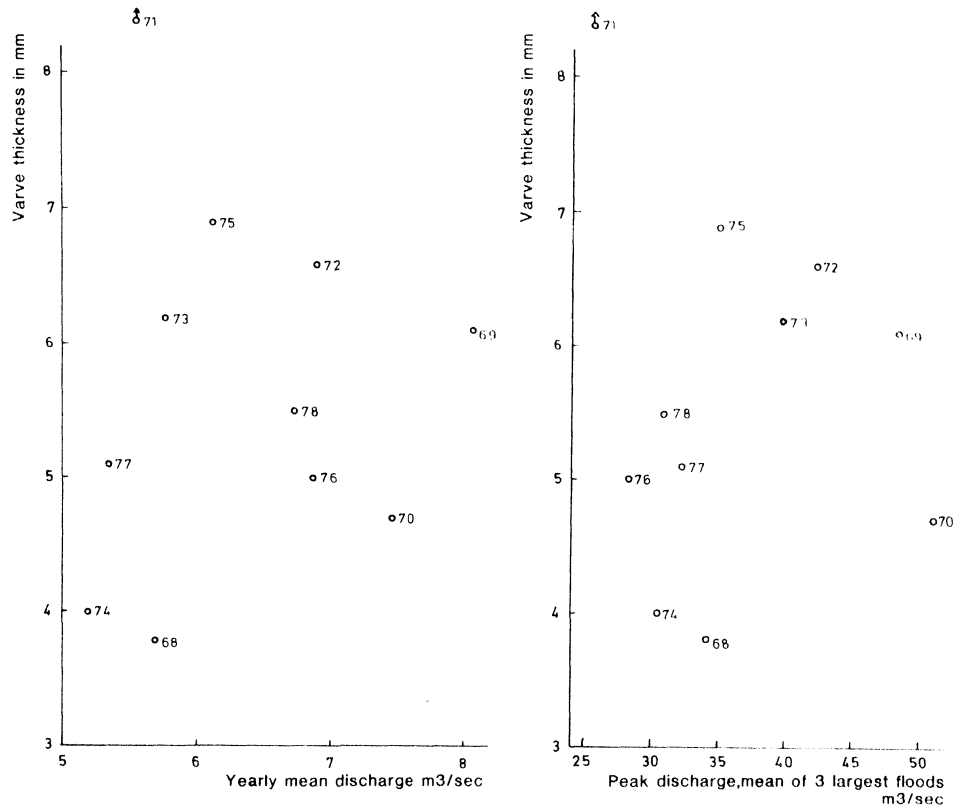


Fig. 37. Scatterdiagrammene viser årslagstykkelsene plottet mot henholdvis årlig middelvannføring (a) og middelet av kulminasjonsverdiene for de tre største flommene hvert enkelt år (b). Det er liten korrelasjon mellom varvtykkelse og årlig middelvannføring i perioden 1968-78. Korrelasjonen bedrer seg noe ved å sammenligne med flomforhold som presumptivt skulle gi de største massetilførsler til Nigardsvatn. Det ser imidlertid ut til at det er variasjoner i tilgjengeligheten av breerodert materiale fra år til år som er avgjørende for massetilførselen fra Nigardsbreen til Nigardsvatn.

The scatter diagrams show thickness of annual layers plotted (a) against mean annual discharge and (b) against the mean of the peak values for the three largest floods each year. There is little correlation between varve thickness and mean annual discharge during the period 1968-78. The correlation improves slightly with comparison with flood conditions which supposedly should provide the greatest sediment supply to Nigardsvatn. However, it appears that variations in the availability of glacially eroded material are chiefly responsible for the difference in sediment supply from Nigardsbreen to the lake from year to year.

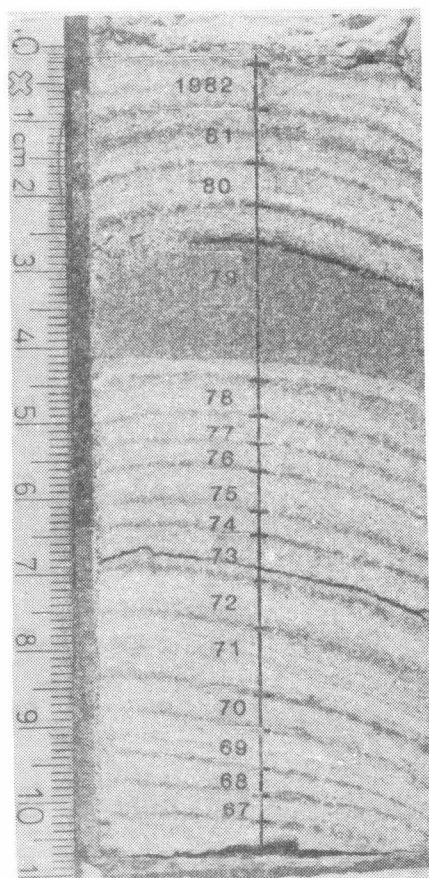


Fig. 38. Fotografi av kjerne 5-83. Denne ble tatt opp sommeren 1983 for å supplere kjerneprøvene fra 1980. Flomlaget i varvet fra 1979 skiller seg tydelig ut med sin unormale tykkelse. Skadeflommer av denne størrelsen blir synlige i varvseriene ved at de avsetter ekstremt tykke lag. Den kronologiske lagrekkefølgen og flomlagenes ekstreme tykkelser kan bidra til å belyse frekvensfordelingen av slike flommer der en har dype og stabile varvige sedimentmasser i innsjøer.

Photo of core 5-83. This was recovered in the summer of 1983 to supplement the 1980 cores. The flood layer in the 1979 varve is clearly recognised by its unusual thickness. Hazard floods of this size can be identified in the varve sequences in this way, and from the varve chronology the frequency of such events may be determined where there are thick, stable varved accumulations.

(fig. 38). Beregnet statistisk-hydrologisk gjentaksintervall for denne flommen ligger mellom 100 og 200 år. Under slike ekstrem-situasjoner vil man utvilsomt også få ekstreme materialtransport-forhold, med avsetninger som skiller seg ut, lik laget i Nigardsvatn fra 1979. Skadeflommer i denne størrelse vil derfor gjen-speiles i varvserier av samme art som Nigardsvatnets. Dette

forhold kan utnyttes sammen med de kronologiske opplysninger seriene gir. En undersøkelse av dype lagserier i f.eks. det nærliggende Styggevatn vil muligens kunne bidra til å belyse de statistiske flomfrekvensanalysenes holdbarhet for dette område. (Nigardsvatn er imidlertid bare ca 40 år gammelt og har derfor ikke lange nok varvserier). En slik undersøkelse er en naturlig videreføring av denne undersøkelsen i Nigardsvatn.

Foreliggende arbeid vil bli nærmere presentert i VH's rapport-serie.

11. SNØHYDROLOGI

11.1 Snøarkivet

Det har i flere år vært arbeidet med å opprette en nasjonal snødatabase. I 1984 ble dette arbeidet igangsatt som et samarbeid mellom Datakontoret og Bre- og Snøkontoret. Det er på sikt meningen at alt datamaterialet fra snømålinger over hele landet skal legges inn på databasen. I første omgang har vi konsentrert oss om Hydrologisk avdelings egne data fra snøputene og prosjekter der Brekontoret er involvert.

Snøarkivet er lagt opp slik at det skal kunne inneholde data fra forskjellige typer snømålinger.

1. Punktsverm: I kraftverksammenheng er fortsatt dette den vanligste snømålemetode. Gjennomsnittlig snødybde og tetthet/vannekvivalent blir lagt inn.
2. Snøpute/Snøstav/Ultralydmåler: Snøens vannekvivalent/snødybden blir registrert kontinuerlig eller med korte tidsintervall. En verdi pr dag blir lagt inn på databasen.
3. Snøstrekk: Snødybden blir målt i faste punkter langs merkede strekk. Snøens tetthet bestemmes et eller to steder langs målestrekket.
4. Snøradar: Foreløpig ikke bestemt.

Disse fire målemetodene gjør at det er definert fire forskjellige stasjonstyper. Databasen er bygd opp slik at alle data må være knyttet til en stasjon. Hver stasjon er videre definert å tilhøre et felt. Både felt og stasjon må opprettes (defineres på databasen) før data kan bli lagt inn.

11.2 Snøkartlegging med satellitt

Dette prosjektet ble avsluttet med egen rapport i desember 1984 etter å ha strukket seg over en periode på nesten tre år

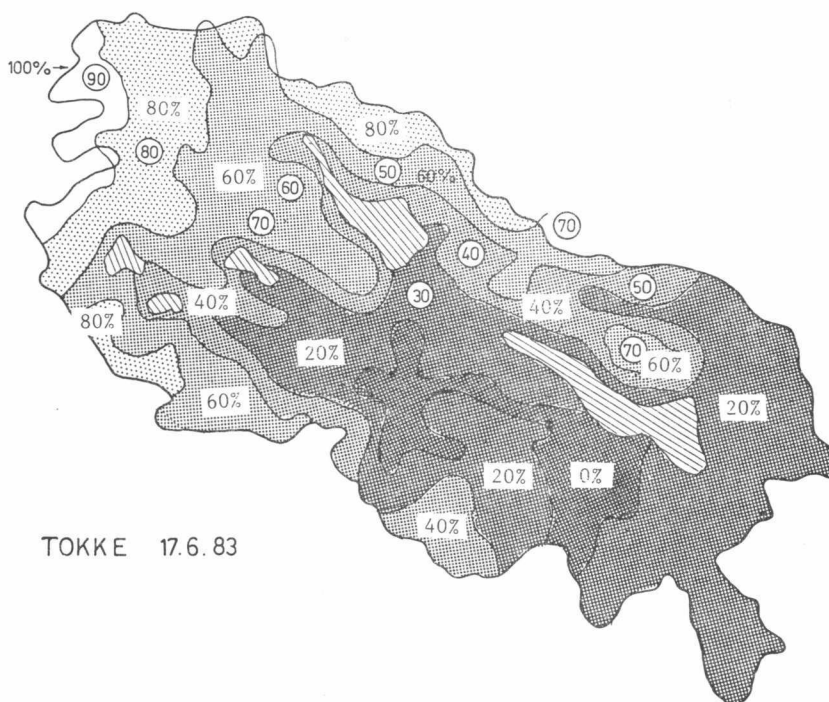


Fig. 39. Snødekningen i prosent basert på subjektiv vurdering av 9 flybilder over Tokke-feltet fra 17.juni 1983 (sirkler) sammenlignet med et snødekningskart basert på et NOAA-bilde fra samme dato.

Snow cover in percent based on subjective evaluation of 9 aerial photos from June 17 1983 (circles) compared with a snow cover map based on a NOAA-image from the same date.

(Andersen et. al 1984). Prosjektet er gjennomført som et samarbeid mellom Tom Andersen fra Statskraftverkene som hadde ideen til prosjektet, og Nils Haakensen og Morten Johnsrud fra Bre- og Snøkontoret. Prosjektet ble støttet økonomisk og var en videreføring av et tidligere NHK-støttet prosjekt.

I smelteperioden er høyfjellsområdene vanskelig tilgjengelige, og det vil ikke være mulig å få utført tilfredsstillende målinger av snømagasinet med rimelige omkostninger. I løpet av 1970-årene ble en rekke jordressurssatellitter sendt opp. Data fra disse ga muligheter til å følge snødekkets utvikling gjennom smelteperioden og NOAA-satellittene har vist seg mest anvendbare for snøkartlegging av norske områder. På grunnlag av NOAA-data er det konstruert snødekningskart over en del norske nedslagsfelt. Disse er sammenlignet med fotografier av snødekket tatt fra fly i lav høyde og har vist god overensstemmelse (fig. 39).

Ved bruk av vannbalansebetraktninger er det gjenværende snømagasin gjennom smelteperioden beregnet. Ved sammenligning med satellittdata fra samme tid er det funnet en brukbar relasjon mellom feltets snødekningsgrad og gjenværende snømagasin (fig. 40). Metoden er utviklet videre, og ved å sammenligne

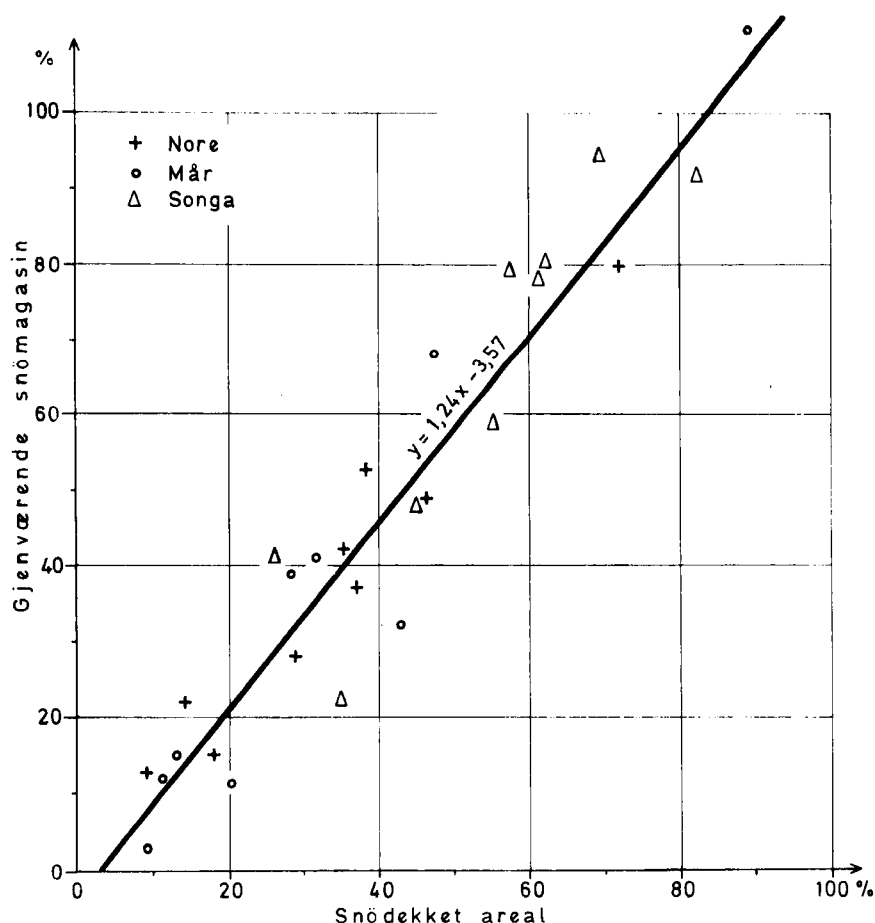


Fig. 40. Forholdet mellom beregnet gjenværende snømagasin i prosent av totalt snømagasin og snødekningsgrad i prosent basert på NOAA-bilder for de tre undersøkte feltene Nore, Mår og Songa.

The relation between calculated remaining snow storage in percent of total snow storage and the snow covered area in percent based on NOAA-images for the three investigated catchments Nore, Mår and Songa.

snødekningsgraden med gjenværende snømagasin i prosent av årets totale snømagasin blir relasjonen vesentlig forbedret. Gjennom regresjonsanalyse kan forholdet uttrykkes ved følgende enkle lineære relasjon

$$y = 1.24x - 3.57 \quad r = 0.95$$

der

- y = gjenværende snømagasin i prosent av det totale
- x = feltets midlere snødekningsgrad i prosent
- r = korrelasjonskoeffisient

Sammen med nedbørdata kan en slik relasjon anvendes til en grov prognose av tilsiget fra det gjenliggende snømagasin.

Skal en slik prognose ha verdi, må den foreligge kort tid etter at satellittregistreringene er gjort. Ved slike enkle rutiner og databehandlingsutstyr som i dag er på markedet, kan det etableres et operativt system for prognose av tilsiget fra gjenliggende

snømagasin under forutsetning av at snømagasinet før smeltingen startet, er kjent. På lengre sikt bør informasjon om snødekning og snømagasin fra satellittdata kunne benyttes ved oppdatering av hydrologiske modeller.

11.3 Snøfordelingsundersøkelsen

Denne undersøkelsen ble igangsatt i 1982 med feltmålinger i nedslagsfeltene til Tysso, Nore og Borgund. Datamaterialet er samlet inn over en treårsperiode. Prosjektet har vært finansiert av Vassdragsregulantenenes forening og Hydrologisk avdeling, NVE og ble avsluttet med en egen rapport (Johnsrud 1985). Alt datamaterialet som er knyttet til denne undersøkelsen er lagt inn på "snøarkivet". Aktiv bruk av snøarkivet har vært både nyttig og tidsbesparende under databearbeidelsen og plotting av snøfordelingskurver.

Snømålingene i denne undersøkelsen er utført langs faste merkede strekk i feltene Tysso, Nore og Borgund. Det er i tre år utført målinger langs 27 strekk (ca 1 400 punktmålinger) som utgjør ca 30 km. Målestrekkenes lengde varierer fra 450 m til ca 2000 m, og avstanden mellom målepunktene varierer fra 5 m til 25 m.

Alle tre årene målingene er utført har vært snørike, 1983 er et av de snørikeste år i dette århundre. Årets målinger viser at snømengdene i 1984 var nær middel for de to foregående målinger for alle tre feltene. Dette året registrerte man snødybde på over 10 m. Variasjonskoeffisienten til målingene utført innen et målestrekk varierer fra 0.23 til 0.85 og er i gjennomsnitt for alle målte strekk 0.52. Variasjonskoeffisienten har en tendens til å avta med økende snødybde.

Det er tegnet snøfordelingskurver for målingene fra et felt. Når snødybden er uttrykt i prosent av gjennomsnittsdypden i feltet varierer snøfordelingskurvene lite fra år til år (fig. 41).

Visuelt er samvariasjonen god fra år til år (fig. 42). Samvariasjonen er uttrykt kvantitativt ved å beregne korrelasjonen mellom to og to måleserier fra samme strekk. De år målingene er utført langs nøyaktig samme tracé er korrelasjonen god. Den høyeste korrelasjonskoeffisienten mellom to måleserier er 0.98, disse to målingene er utført med seks ukers mellomrom i Borgundfeltet i 1984.

I 1983 måtte målingene langs fire strekk i Tyssofeltet flyttes 10 m til siden av sikkerhetsmessige grunner, i 1982 var de utført under kraftledningene. Korrelasjonen mellom måleserier fra 1982 og de andre årene er betydelig dårligere for disse fire strekkene, enn for de andre målestrekkene i feltet.

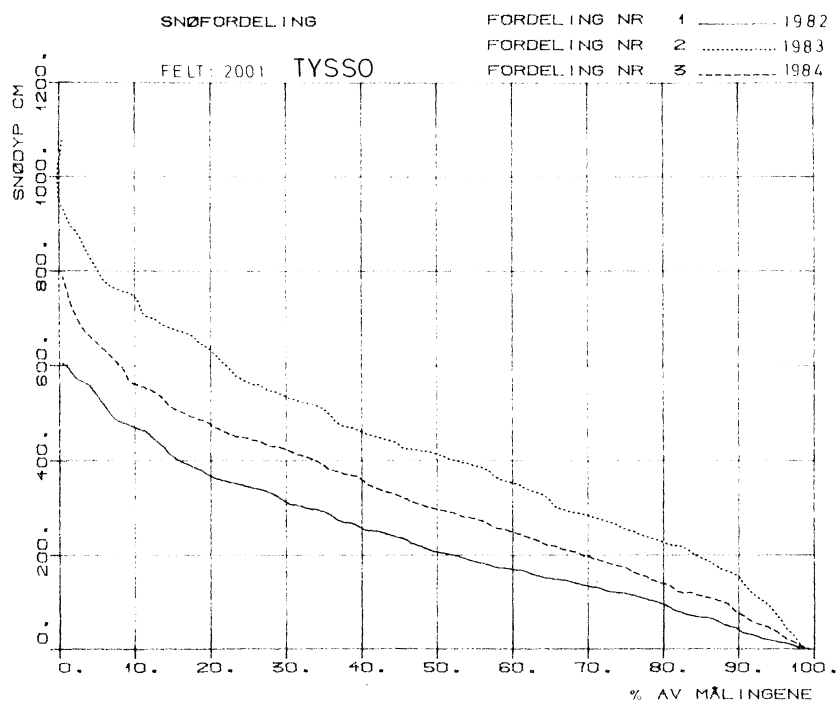
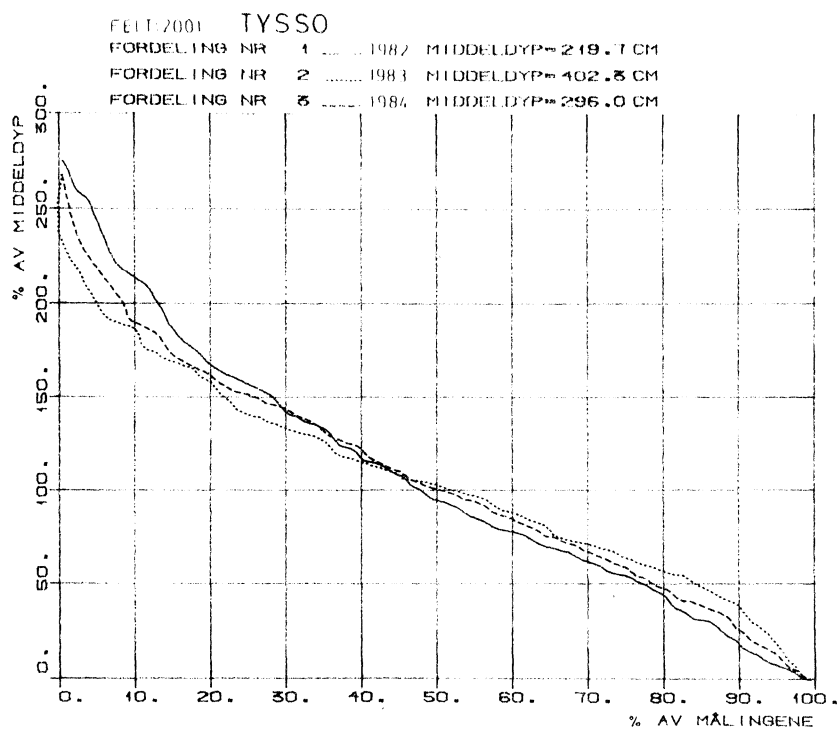


Fig. 41. Relative (øverst) og absolutte (nederst) snøfordelingskurver fra snømålingene i Tyssø. De relative snøfordelingskurvene viser liten variasjon fra år til år.

Relative (upper) and absolute (lower) snow distribution curves from Tyssø, Western Norway. The relative snow distribution curves show little variation from one year to another.

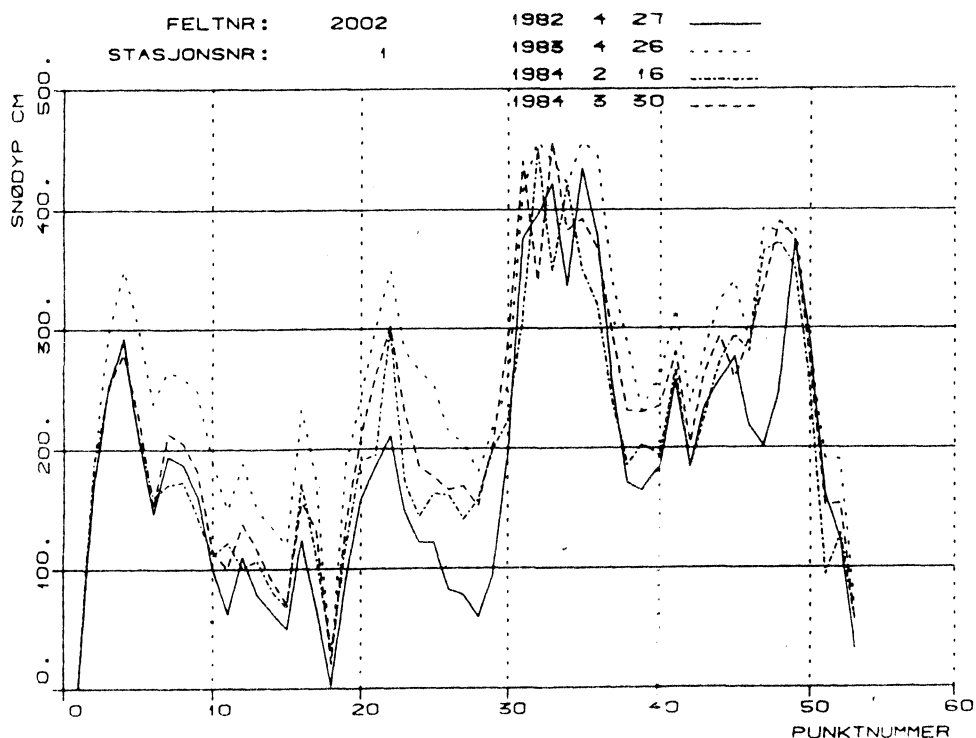


Fig. 42. Snøfordelingen langs strekk nr 1, Øljusjøen dam, i Borgundfeltet. Avstanden mellom hvert målepunkt er 10 meter.

Snow distribution along stretch no. 1 in the Borgund catchment. Distance between each survey point is 10 metres.

11.4 Snøradar

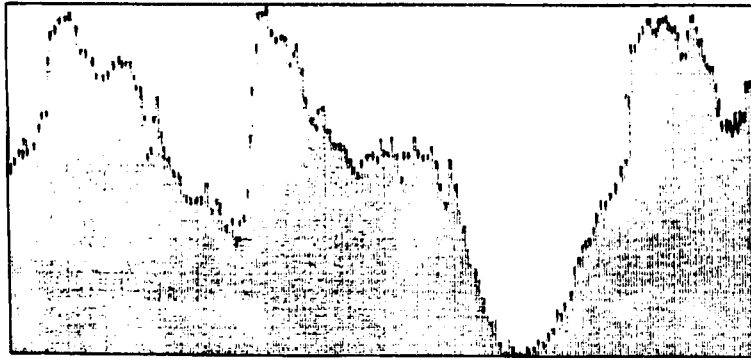
Det er ved NTN-Program for Miljøovervåkningsteknikk (PFM) utviklet en sledemontert microbølgeradar for målinger av snødybder/snøens vanninnhold. Snøradaren ble først testet sammen med NVE på Hardangervidda våren 1983. Etter en henvendelse til Vassdragsregulantenenes forening i mai 1983 ble det klarlagt at Rådet for den Kraftverkshydrologiske Tjenesten (RKHT) ønsket en videreutvikling av instrumentet rettet mot operativ anvendelse. Det ble av RKHT nedsatt en arbeidsgruppe med følgende mandat:

- Tilpassing av norsk snøradar til operativ anvendelse.
- Felles representasjon av norsk og svensk snøradar for RKHT.
- Demonstrasjon av snøradaren for potensielle brukere.

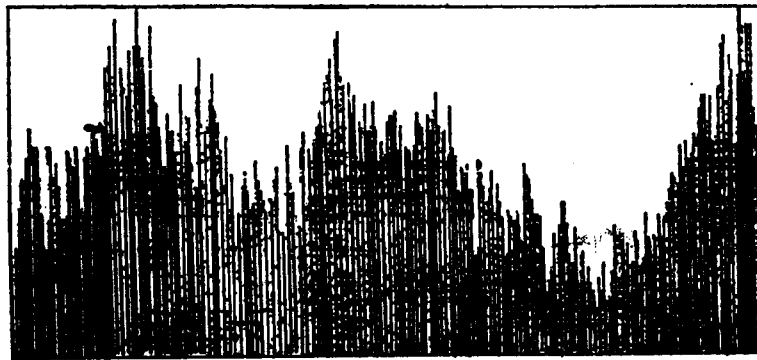
Den norske snøradar ble kjørt gjennom et omfattende testprogram i Borgund nedslagsfelt 14.-16. februar. Nøyaktige manuelle målinger ble brukt som referanser under testen. Resultatene av snøradarens målinger var av vekslende kvalitet. Snøradaren registrerte snøforholdene relativt godt langs strekk med liten variasjon i underlaget (f.eks. langs en vei). Under vekslende terrengforhold

var målefeilen betydelig. Hovedkonklusjonen på denne testen var at det måtte gjøres endringer på snøradaren før den tilfredsstilte brukernes krav til nøyaktighet.

Noen endringer og forbedringer ble gjort på radaren for ny test og demonstrasjon for RKTH i Kvikne. Også den svenskutviklede snøradaren var invitert til denne demonstrasjonen. Begge radarene har de samme begrensninger med hensyn til snøens tetthet, den bør ligge mellom 300 og 600 kg/m³. Fritt vann bør heller ikke forekomme i snødekket.



NVE



PFM

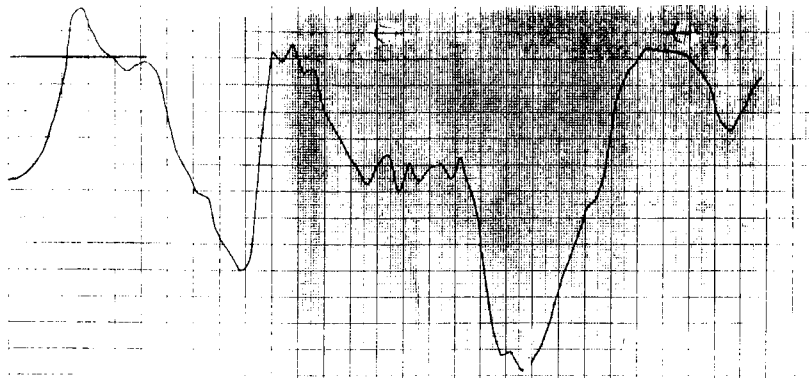


Fig. 43. Måleresultater fra samme strekk. Øverst manuell måling, i midten norsk snøradar og nederst svensk snøradar.

Results from surveying of the same stretch. Upper: manual measurements, middle: Norwegian snow "radar" and bottom: Swedish snow "radar".

Flere målestrekk ble merket og manuelt kontrollmålt. Den svenske snøradaren fungerte tilfredsstillende, mens den norske ikke var kvitt de problemene man også hadde i Borgund (fig. 43). Resultatene fra feltforsøkene har vist at den norske snøradar ikke måler tilfredsstillende under de forhold man har i norske fjellområder. Det er besluttet at man skal arbeide videre med et norsk radarkonsept basert på to forskjellige frekvenser. Det er bevilget penger fra Statskraftverkene og RKHT til videreføring av prosjektet. Prototypen på dette konseptet er planlagt klar til uttesting i løpet av vinteren 1984/85.

11.5 Snøputene

Hydrologisk avdeling driver nå fire snøputer. I tillegg til disse har Glommens og Laagens Brukseierforening (GLBF) tre snøputer. I samarbeid med Geografisk Institutt på Universitetet i Oslo, ble det bygd en ny snøputestasjon på Brunkollen i Bærum høsten 1983. Alle snøputene funksjonerte uten stans gjennom hele vinteren 1983/84. To av snøputene til GLBF ble i 1984 utstyrt med automatisk telefonsvarer som direkte leser opp snøens vannekvivalent. Fig. 44, 45 og 46 viser resultater fra tre av NVE's snøputer.

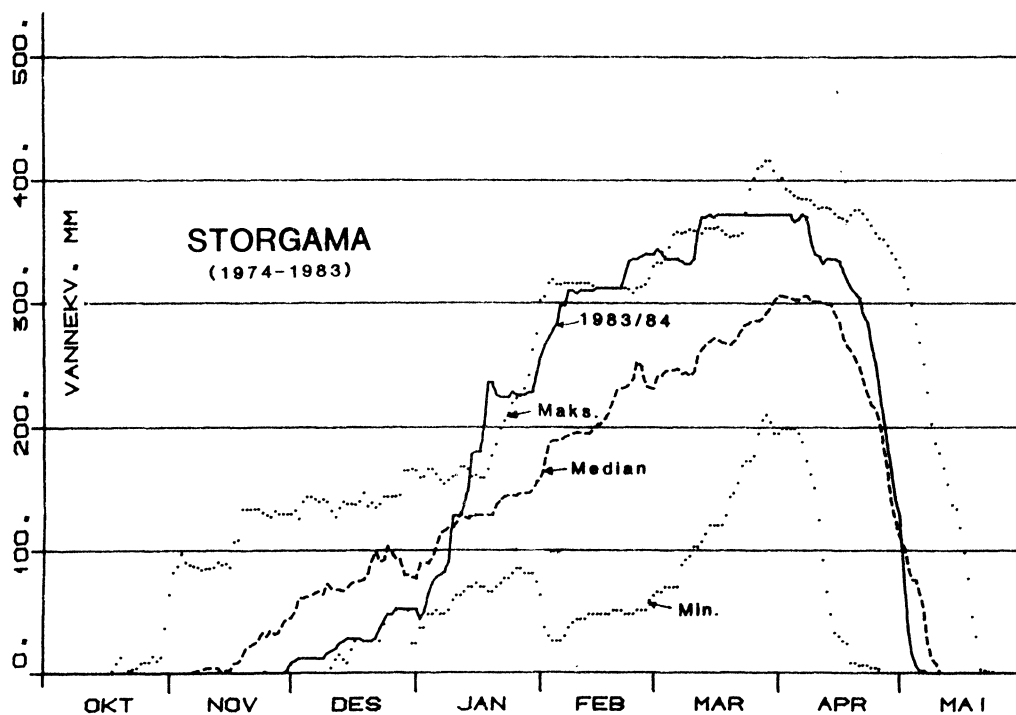


Fig. 44. Resultater fra snøputemålinger ved Storgamma vinteren 1983-84 sammen med ekstremog middelveidier for perioden 1974-83.

Results from snowpillow measurements at Storgamma during winter 1983-84. Compared with extreme and mean values for the period 1974-83.

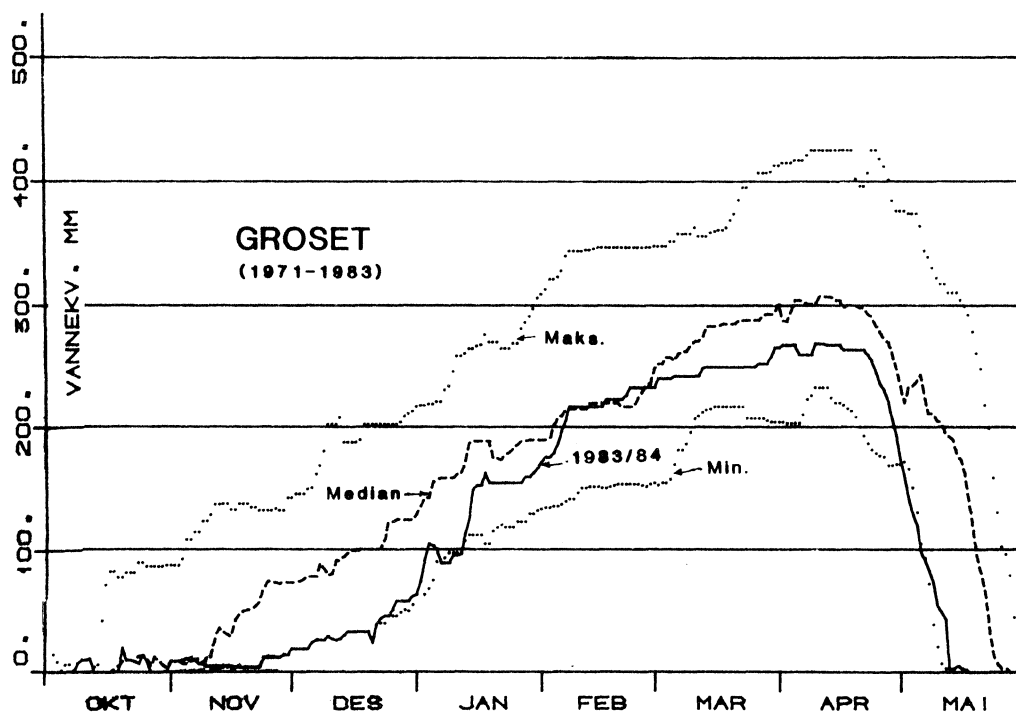


Fig. 45. Resultater fra snøputemålinger ved Groset vinteren 1983-84 sammen med ekstremog middelveidier for perioden 1971-83.

Results from snowpillow measurements at Groset during winter 1983-84. Compared with extreme and mean values for the period 1971-83.

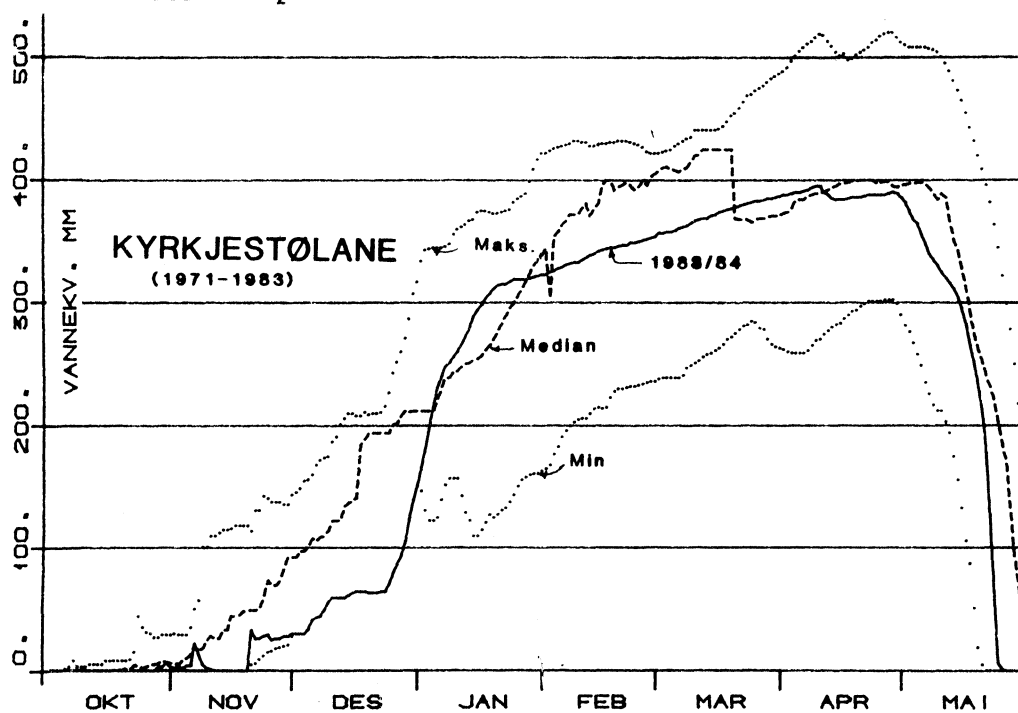


Fig. 46. Resultater fra snøputemålinger ved Kyrkjestølane vinteren 1983-84 sammen med ekstremog middelveidier for perioden 1971-83.

Results from snowpillow measurements at Kyrkjestølane during winter 1983-84. Compared with extreme and mean values for the period 1971-83.

12 ENGLISH SUMMARY

12.1 Mass balance, meteorological and hydrological investigations

During 1984 the Glacier and Snow division of the Norwegian Water Resources and Electricity Board (since 1986: Norwegian Water Resources and Energy Administration), and the Norwegian Polar Research Institute measured the mass balance of 9 Norwegian glaciers: 6 in South Norway, 1 in North Norway and 2 in Svalbard (Fig. 1). A simplification of the measuring and subsequent data handling routines was introduced in 1982 as detailed observations of mass balance are both time consuming and expensive. On ice caps observations are now restricted to the glacier plateau itself, while the mass balance of the lower part of the glacier is extrapolated by comparison with measurements from earlier years.

Meteorological data is collected with the help of automatic stations with temperature, wind velocity and wind direction sensors. This information is compared with drainage discharge measured with automatic gauges in the meltwater rivers and lakes below the glaciers.

As in the previous 17 years, mass balance measurements were made on two Svalbard glaciers, Austre Brøggerbre and Midtre Lovénbre near Ny-Ålesund. The results are presented in Figs. 13-15 and Table 3. Figs. 16 and 17 summarize the annual mass balance calculations for South Norway. Glaciers nearer the coast have increased their volume or become stable, while those further to the east continue to decrease slightly in volume. The maritime glacier, Engabreen, which is measured in North Norway, has increased markedly in volume. Fig. 18 shows its change in volume since 1969 together with two previously measured glaciers in the same area.

12.2 Fluctuations in glacier length

Glacier snout positions were surveyed at 8 glaciers in 1984. The results, presented in Table 6, show that all the glaciers measured in South Norway had retreated while Engabreen in North Norway had advanced.

12.3 New glacier map

The small dome-shaped Midtre Folgefonna ice cap located in southwestern Norway has been covered by aerial photography on several occasions. Two special glacier maps have now been constructed from the 1959 and 1981 photographs, and are enclosed with this report. They have been used for calculating the net mass balance of Midtre Folgefonna for this period.

The results reveal large changes in the net balance distribution. The southern sector lost 10.3 m of water equivalent, the north-western sector 15.2 m and the northeastern sector 4.9 m, while the eastern sector lost only 0.9 m. Changes in the wind pattern are suspected to be responsible for changes in the amount of snow

drifting over the ice cap. Wind data from the Sola airport radio-sonde station was therefore used to study the winter wind conditions at the 850 mb level. This study revealed that the stronger winds (4 Beaufort) from the western sector had increased in frequency from 29% in the period 1951-59 to 43% in the period 1960-79. The frequency of strong winds in general also seems to have increased.

The increase in frequency of strong westerly winds therefore seems to be responsible for the smaller decrease in glacier mass on the eastern side of the ice cap, by blowing more snow across to that side in the 1960'ies and 70'ies than in the 1950'ies. Repeated mapping of Midtre Folgefonna would appear to be a useful method for analysing the winter wind conditions at higher altitudes.

12.4 Tverråbreen. Changes in the glacier's volume

Large scale maps have been made of Tverråbreen in Jotunheimen five times altogether during the period 1927-84. Their quality varies considerably, but apart from the map of 1927, they have all been used in calculating the changes in the glacier's volume. The results are presented in Table 8 and Figs. 26 and 27. Particular attention is drawn to the relation between ice volume reduction and altitude. If the 1942 and 1968 maps are compared, it is seen that the higher areas have in fact grown while the lowest part has thinned by over 60 m. The glacier has not managed to adjust its profile or extent quickly enough in relation to the climate. In order to attain equilibrium with the present climate, the lower lying area must be reduced drastically, and that is exactly what is happening now.

12.5 Radio-echo measurements on parts of Jostedalsbreen

During May and June, ice-radar measurements were carried out on Jostedalsbreen. Navigation was achieved by means of a theodolite and distance meter and survey stakes, see Fig. 20. Maps constructed from aerial photographs taken in 1966 provided the height datum for the glacier surface. The instrument employed for the depth measurements was a Mark 2 ice-radar developed and built by the University of Iceland's Science Institute. This is a refinement of the instrument described by Sverrisson et al. (1980). The analog signals are recorded on film, see Fig. 21. A provisional map of the area's subglacial topography is presented in Fig. 22. Measured ice thicknesses ranged from 60 to 600 m, though they were generally between 150 and 300 m. Altogether 74 km of profiles were made using a 400 x 400 m grid. Both the measuring and processing techniques are still in the development stage and more detailed information will be given in later reports.

12.6 Tracer studies of drainage routes in Nigardsbreen

The investigation of Nigardsbreen's drainage system was started in 1982 (Magnell 1985) and continued in 1984, with the following objectives:

1. To check several assumptions in a drainage model designed for flood warning and forecasting inflow to hydro-electric reservoirs in areas with glaciers (Lundquist 1982,1985).
2. To define meltwater flow time to the snout from different parts of the glacier.
3. To follow drainage route development in the glacier through the melt season.
4. To locate the true drainage divide of the ice cap in conjunction with ice thickness measurements.

During 1984 these studies have mostly concentrated on the drainage within the glacier's blue ice area in relation to points 2 and 3 above.

Measurement of the meltwater's flow rate involved the use of tracers. These were released into the glacier simultaneously in streams flowing across bedrock from the ice cap and then disappearing under the side of the glacier, and in glacier surface streams which plunged down crevasses and moulins. Rhodamin B dissolved in acetic acid was chosen as the tracer, except in one case where a NaCl salt solution was used. On the ice cap at Steinmannen (1 630 m a.s.l.) fluorescein dissolved in water was injected once into a 10 m deep borehole.

The tracer injection points are plotted in Fig. 23. The pulses were recorded at the snout either by continuous sampling or by taking samples at regular intervals. A Turner fluorometer was employed to detect the Rhodamin B and a conductivity meter for the salt solution. A total of 12 tracer injections produced 9 distinct pulses at the recording site. Concentration curves for 3 of the injections are presented in Fig. 24, while the results of the experiments as a whole are summarized in Table 7.

The absence of a pulse from several of the injections suggests that the meltwater is sometimes stored for a period, either on, in, or beneath the ice. One of the injections revealed an englacial connection several hundred meters long between two crevasses. The injections which did produce pulses showed that meltwater flow rates near the snout are significantly lower than further up the glacier. The meltwater flow velocity from the firn areas at Steinmannen is two orders of magnitude lower than in open channels in the glacier's blue ice area. The meltwater velocity in the larger streams indicate more stable and permanent connections with the subglacial trunk stream.

12.7 Brimkjelen ice-dammed lake

A visit to Brimkjelen on June 6th found the lake empty. However, it was obvious that it had been full this season and it appeared to have emptied only a few days before the visit. The lake's ice and snow cover lay broken up on the floor of the lake, while along the margins remnants of shore ice clearly marked where the water level had been (Fig. 25). No traces of drainage across the ice surface could be seen, and at the time of the visit meltwater was draining freely into the glacier through an outlet in the lowest point of the lake bed. Earlier, major discharges from Brimkjelen used to occur late in the summer. The timing of the first emptying has now clearly moved to early summer. This presumably means that the critical volume of water required to trigger the lake's release has become much smaller on account of the reduced height of the damming glacier. Whether there is now more than one emptying each season is not known. During all the visits in recent years meltwater has been draining freely into the ice.

12.8 Sediment transport investigations at Nigardsbreen

During 1984 sediment transport studies were carried out in the river from Nigardsbreen using two automatic ISCO samplers taking four samples a day. One of the samplers only functioned for parts of the season but the other ran continuously from May 31st to October 18th. The transport of coarse bed load material was calculated on the basis of levelling and plumbing surveys of the delta at the head of Nigardsvatn. Table 9 and Figs. 28-33 summarize the data from this work.

12.9 Sedimentation, discharge and sediment transport in Nigardsvatn

The purpose of this project has been to discover to what extent glacier lake sediments reflect discharge conditions and sediment transport into such a lake. The investigation is based on measurements made during the period 1967-79, for which both discharge and detailed suspension transport measurements are available for Nigardsvatn. In addition, delta accretion has been measured annually where the meltwater enters the lake.

In 1980 a large number of varved core samples were taken from the lake bed. Many of these cores contained a reference horizon of brick powder released into the lake in 1968 at surveyed locations. The top layer in the samples consists of a thick bed deposited mostly during a freak storm in Jostedal in August 1979. Some of the results are shown in Figs. 34-38, while the investigations as a whole will be presented as a separate report.

12.10 Snow hydrology

Preparations for the setting up of a national snow data bank for Norway have been in progress for several years. In 1984 this task was started at the Hydrological Department with the long term objective of storing all the snow measurements from throughout the country. This snow archive is designed to accommodate data from various kinds of measurements.

A project to construct a snow cover map of Norwegian drainage areas with the aid of satellite imagery has been completed. The results are shown in Figs. 39 and 40 and also presented in a separate report (Andersen et al. 1984).

An investigation of the snow distribution in three different mountain areas was initiated with field measurements in 1982. Data was collected over a three year-period and the results are summarized in Figs. 41 and 42 and presented in a separate report (Johnsrud 1985).

Work is in progress with several other institutions to develop a Norwegian snow radar. This has been put through a series of tests but further refinements and design changes are needed before it will become operational. Some of the test results are shown in Fig. 43.

The Hydrology Department now maintains four snow pillows, and in addition utilizes data from snow pillows operated by other institutions. Results from three of these are presented in Figs. 44-46.

13. REFERANSER

Andersen, T., Haakensen, N. og Johnsrud, M.

1984: Snøkartlegging med satellitt. Norges vassdrags- og elektrisitetsvesen. Vassdragsdirektoratet, Hydrologisk avdeling. Oppdragsrapport 7-84, 45 s.

Johnsrud, M.

1985: En undersøkelse av snøfordelingen i tre norske høyfjellsfelt. Norges vassdrags- og elektrisitetsvesen. Vassdragsdirektoratet, Hydrologisk avdeling. Oppdragsrapport 4-85, 42 s.

Lundquist, D.

1985: Dreneringsundersøkelser på Nigardsbreen, s. 60-68: Roland, E. og Haakensen, N., 1985: Glasiologiske undersøkelser i Norge 1982. Norges vassdrags- og elektrisitetsvesen, Vassdragsdirektoratet, Hydrologisk avdeling. Rapport nr 1-85.

Magnell, J. P.

1985: En avløpsmodell for Nigardsbreen og en studie av smeltevannshastigheter på Bretunga. Hovedfagsoppgave i geofysikk. Universitetet i Oslo. Upubl.

Sverrison, M., Johannesson, Æ., and Björnsson, H.

- 1980: Radio-echo equipment for depth sounding of temperate glaciers. - Journ. of Glaciology, vol, No. 93, p. 477-486.

Tvede, A.M.

- 1972: En glasio-klimatisk undersøkelse av Folgefonni. Cand.real.oppgave, Universitetet i Oslo, høsten 1972, 103 s.

Tvede, A.M.

- 1982: En metode til å beregne hvordan en avløpsserie er blitt påvirket av magasineffekten i brefeltene. 7. Nordiske Hydrologiske Konferanse, Førde 28.-30. juni 1982, NHP-rapport nr. 2, s. 846-853.

Østrem, G. og Tvede, A.M.

- 1986: Comparison of glacier maps - a source of climatological information? Geogr. Ann. 68A(3): 225-231. (+map)

APPENDIX

Tabellene nedenfor viser fordelingen av massebalansen med høyden over havet på tre av breene som måles av NVE.

Beregningsgrunnlaget er vist i kapittel 2.

ÅLFOTBREEN 1984

Høyde intervall m o.h.	Areal S km ²	Vinterbalanse			Sommerbalanse			Nettobalanse		
		B_w 10^6 m^3	b_w m	$1/\text{s km}^2$	B_s 10^6 m^3	b_s m	$1/\text{s km}^2$	B_n 10^6 m^3	b_n m	$1/\text{s km}^2$
1350-1380	0.27	1.05	3.90	123	0.64	2.35	74	0.41	1.55	49
1300-1350	1.01	4.25	4.21	133	2.39	2.37	75	1.86	1.84	58
1250-1300	0.81	3.57	4.41	139	2.00	2.47	78	1.57	1.94	61
1200-1250	0.76	3.27	4.30	122	1.98	2.60	82	1.29	1.70	40
1150-1200	0.65	2.55	3.93	125	1.82	2.80	88	0.73	1.13	37
1100-1150	0.55	2.11	3.83	121	1.72	3.13	99	0.39	0.70	22
1050-1100	0.36	1.32	3.68	117	1.23	3.42	107	0.09	0.26	10
1000-1050	0.22	0.79	3.61	114	0.81	3.71	117	-0.02	-0.09	-3
950-1000	0.13	0.53	4.08	129	0.51	3.93	124	0.02	0.15	5
900-950	0.05	0.21	4.25	135	0.21	4.12	130	0.00	0.13	5
870-900	0.01	0.04	4.35	138	0.04	4.23	134	0.00	0.12	4
870-1380	4.82	19.71	4.09	130	13.35	2.77	88	6.36	1.32	42

GRÅSUBBREEN 1984

Høyde intervall m o.h.	Areal S km ²	Vinterbalanse			Sommerbalanse			Nettobalanse		
		B_w 10^6 m^3	b_w m	$1/\text{s km}^2$	B_s 10^6 m^3	b_s m	$1/\text{s km}^2$	B_n 10^6 m^3	b_n m	$1/\text{s km}^2$
2250-2280	0.03	0.02	0.64	20	0.03	1.02	32	-0.01	0.38	-12
2200-2250	0.18	0.14	0.75	24	0.18	0.99	31	-0.04	-0.24	-7
2150-2200	0.31	0.28	0.91	29	0.35	1.14	36	-0.07	-0.23	-7
2100-2150	0.38	0.29	0.75	24	0.46	1.20	38	-0.17	-0.45	-14
2050-2100	0.42	0.36	0.85	27	0.59	1.42	45	-0.23	-0.57	-21
2000-2050	0.46	0.48	1.05	33	0.69	1.49	47	-0.21	-0.44	-14
1950-2000	0.46	0.53	1.16	37	0.68	1.48	46	-0.15	-0.32	-9
1900-1950	0.21	0.28	1.34	43	0.31	1.47	46	-0.03	-0.13	-3
1870-1900	0.07	0.10	1.38	44	0.11	1.60	50	-0.01	-0.22	-6
1870-2280	2.52	2.48	0.98	31	3.41	1.35	43	-0.93	-0.37	-12

Høyde intervall m o.h.	Areal S km ²	Vinterbalanse			Sommerbalanse			Nettobalanse		
		B_w 10 ⁶ m ³	b_w m	1/s km ²	B_s 10 ⁶ m ³	b_s m	1/s km ²	B_n 10 ⁶ m ³	b_n m	1/s km ²
2150-2200	0.02	0.03	1.65	52	0.02	0.79	25	0.01	0.86	27
2100-2150	0.08	0.12	1.55	49	0.07	0.84	27	0.06	0.71	22
2050-2100	0.25	0.37	1.47	47	0.24	0.94	30	0.13	0.53	17
2000-2050	0.17	0.23	1.38	44	0.18	1.06	34	0.05	0.32	10
1950-2000	0.35	0.47	1.33	42	0.44	1.25	40	0.03	0.08	2
1900-1950	0.60	0.73	1.22	39	0.86	1.43	45	-0.13	-0.21	- 6
1850-1900	0.35	0.42	1.20	38	0.56	1.61	51	-0.14	-0.41	- 13
1800-1850	0.33	0.40	1.21	38	0.61	1.85	59	-0.21	-0.64	- 21
1750-1800	0.14	0.17	1.20	38	0.29	2.10	67	-0.12	-0.90	- 29
1700-1750	0.10	0.12	1.24	39	0.23	2.25	71	-0.11	-1.01	- 32
1650-1700	0.16	0.20	1.22	39	0.39	2.41	77	-0.19	-1.19	- 38
1600-1650	0.13	0.14	1.07	34	0.34	2.62	83	-0.20	-1.55	- 49
1550-1600	0.17	0.16	0.94	30	0.50	2.97	95	-0.34	-2.03	- 65
1500-1550	0.09	0.06	0.66	21	0.30	3.38	107	-0.24	-2.72	- 86
1450-1500	0.03	0.01	0.40	13	0.12	3.90	124	-0.11	-3.50	-111
1450-2200	2.97	3.63	1.22	39	5.14	1.73	55	-1.51	-0.51	- 16

Utgitte rapporter i seriene "Glasiologiske undersøkelser i Norge" og "Materialtransportundersøkelser i norske bre-elver" fra Hydrologisk avdeling, Norges Vassdrags- og Elektrisitetsvesen. I årene 1967, 1968, 1982 og 1983 har rapportene vært felles i førstnevnte serie.

- Medd. 4/64 G Østrem og O Liestøl: Glasiologiske undersøkelser i Norge 1963. 60 s. 1 kartbilag.
 " 14/65 R Pytte og G Østrem: Glasio-hydrologiske undersøkelser i Norge 1964. 92 s. 6 kartbilag.
 Rapp. 1966 R Pytte og O Liestøl: Glasio-hydrologiske undersøkelser i Norge 1965. 64 s.
 " 2/67 R Pytte: Glasio-hydrologiske undersøkelser i Norge 1966. 83 s.
 " 4/68 G Østrem og R Pytte: Glasiologiske undersøkelser i Norge 1967. 131 s. 1 kartbilag.
 " 5/69 R Pytte: Glasiologiske undersøkelser i Norge 1968. 149 s. 2 kartbilag.
 " 5/70 R Pytte: Glasiologiske undersøkelser i Norge 1969. 96 s. 2 kartbilag.
 " 2/71 A M Tvede: Glasiologiske undersøkelser i Norge 1970. 111 s. 2 kartbilag.
 " 2/73 A M Tvede: Glasiologiske undersøkelser i Norge 1971. 110 s.
 " 1/74 A M Tvede: Glasiologiske undersøkelser i Norge 1972. 99 s. 1 kartbilag.
 " 1/75 A M Tvede: Glasiologiske undersøkelser i Norge 1973. 72 s.
 " 5/75 A M Tvede, B Wold og G Østrem: Glasiologiske undersøkelser i Norge 1974. 71 s. 1 kartbilag.
 " 2/77 B Wold og J O Hagen: Glasiologiske undersøkelser i Norge 1975. 66 s.
 " 7/77 J O Hagen: Glasiologiske undersøkelser i Norge 1976. 94 s.
 " 3/78 B Wold og N Haakensen: Glasiologiske undersøkelser i Norge 1977. 54 s.
 " 4/79 B Wold og K Repp: Glasiologiske undersøkelser i Norge 1978. 71 s.
 " 3/81 N Haakensen og B Wold: Glasiologiske undersøkelser i Norge 1979. 80 s. 1 kartbilag.
 " 1/82 N Haakensen: Glasiologiske undersøkelser i Norge 1980. 87 s.
 " 1/84 N Haakensen: Glasiologiske undersøkelser i Norge 1981. 79 s.
 " 1/85 E Roland og N Haakensen: Glasiologiske undersøkelser i Norge 1982. 102 s. 1 kartbilag.
 " 1/86 E Roland og N Haakensen: Glasiologiske undersøkelser i Norge 1983. 52 s. 1 kartbilag.
 " /87 O Kjeldsen: Glasiologiske undersøkelser i Norge 1984. 69 s.
 " 6/70 G Østrem, T Ziegler og S R Ekman: Slamtransportundersøkelser i norske bre-elver 1969. 68 s.
 " 1/72 T Ziegler: Slamtransportundersøkelser i norske bre-elver 1970. 133 s.
 " 4/73 T Ziegler: Materialtransportundersøkelser i norske bre-elver 1971. 91 s.
 " 2/74 T Ziegler: Materialtransportundersøkelser i norske bre-elver 1972. 95 s.
 " 4/75 N Haakensen: Materialtransportundersøkelser i norske bre-elver 1973. 107 s.
 " 3/75 O Kjeldsen: Materialtransportundersøkelser i norske bre-elver 1974. 92 s.
 " 3/77 O Kjeldsen: Materialtransportundersøkelser i norske bre-elver 1975. 47 s.
 " 8/77 O Kjeldsen: Materialtransportundersøkelser i norske bre-elver 1976. 34 s.
 " 4/78 O Kjeldsen: Materialtransportundersøkelser i norske bre-elver 1977. 71 s.
 " 3/79 O Kjeldsen: Materialtransportundersøkelser i norske bre-elver 1978. 39 s.
 " 1/80 O Kjeldsen: Materialtransportundersøkelser i norske bre-elver 1979. 43 s.
 " 4/81 O Kjeldsen: Materialtransportundersøkelser i norske bre-elver 1980. 41 s.
 " 1/83 O Kjeldsen: Materialtransportundersøkelser i norske bre-elver 1981. 39 s.

Denne serien utgis av Vassdragsdirektoratet ved Norges Vassdrags- og Energiverk.

Adresse: Postboks 5091 Majorstua 0301 Oslo 3.

I DENNE SERIE ER UTGITT:

- Nr. 1. D. Lundquist, L.-E. Pettersen, E. Skofteland, N.R. Sælthun:
Beregning av dimensjonerende og påregnelig maksimal flom.
Retningslinjer. (32 s.) 1986
- " 2. J.A. Eie, O. Fossheim, Å. Hjelm-Hansen: "Nytt rundskriv 36".
Vassdragsreguleringsloven - krav til søknader. (39 s.) 1986
- " 3. T. Jensen: Hydroelectric Power in Lesotho. (35 s.) 1987
- " 4. B. Aspen, T. Jensen, H. Stensby: Nyttbar vannkraft pr.
01.01.87. Vannkrafttilgang fram til år 2000. (75 s.) 1987
- " 5. Bård Andersen: Biological and technical efforts to protect
against nature damages and to improve conditions of living in
Norway. (6 s.) 1987
- " 6. Per E. Faugli (red): FoU i Jostedøla - seminarrapport (248 s.)
1987

NORGES VASSDRAG
OG ENERGIVERK



00534995