



NORGES VASSDRAGS- OG ENERGIVERK

**VASSDRAGSDIREKTORATET
HYDROLOGISK AVDELING**

**GLASIOLOGISKE UNDERSØKELSER
I NORGE 1983**

Rapport nr. 1-86

**NORGES VASSDRAGS-
OG ENERGIDIREKTORAT
BIBLIOTEKET**



NORGES VASSDRAGS- OG ENERGIVERK

**VASSDRAGSDIREKTORATET
HYDROLOGISK AVDELING**

GLASIOLOGISKE UNDERSØKELSER I NORGE 1983

Redigert av Erik Roland og Nils Haakensen

**Bidragydere: Knut Boge, Morten Johnsrud, Ola Kjeldsen,
Olav Liestøl, Tormod Holth Nilsen, Erik Roland,
Bjørn Wold og Gunnar Østrem.**

Rapport nr. 1–86

**NORGES VASSDRAGS-
OG ENERGIDIREKTORAT
BIBLIOTEKET**

1.	MATERIALHUSHOLDNINGEN, METEOROLOGISKE OG HYDROLOGISKE UNDERSØKELSER VED UTVALGTE BREER (Erik Roland)	3
1.1	Innledning	3
1.2	Metodikk	3
1.3	Meteorologiske forhold i balanseåret 1982-83	7
1.4	Ålfotbreen	7
1.5	Nigardsbreen	10
1.6	Hardangerjøkulen (Olav Liestøl)	13
1.7	Storbreen (Olav Liestøl)	14
1.8	Hellstugubreen	16
1.9	Gråsubreen	17
1.10	Engabreen	19
1.11	Sammendrag av årets bremålinger	21
2.	PROFILMÅLINGER FOR MASSEBALANSESTUDIER (Tormod Holth Nilsen)	27
2.1	Innledning	27
2.2	Nigardsbreen	29
2.3	Hellstugubreen	30
2.4	Gråsubreen	31
2.5	Engabreen	32
3.	BREKART OVER SALAJEKNA (Gunnar Østrem)	34
4.	BRIMKJELEN (Erik Roland)	36
5.	SNØFORDELING I HØYFJELLET I SYD-NORGE (Morten Johnsrud)	38
5.1	Innledning	38
5.2	Metodikk	38
5.3	Årets målinger	38
5.4	Rapportering	38
6.	MATERIALTRANSPORTUNDERSØKELSER VED NIGARDS- BREEN (Knut Boge og Ola Kjeldsen)	40
6.1	Innledning	40
6.2	Vær- og vannføringsforhold	41
6.3	Resultater	41
6.4	Vurdering av årets resultater	45
7.	ENGLISH SUMMARY (Bjørn Wold)	47
7.1	Mass balance, meteorological and hydrological investigations	47
7.2	Glacier surface profiling	48
7.3	Salajekna glacier map	49
7.4	Glacier dammed lake Brimkjelen	49
7.5	Snow distribution in high mountain areas in southern Norway	49
7.6	Sediment transport studies in front of Nigardsbreen	49
8.	LITTERATUR	50
	APPENDIX: Massebalansetabeller for breene i 1983	51

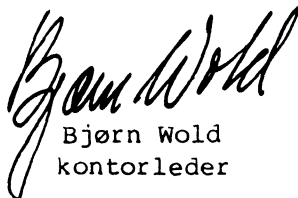
Forord

Denne rapport fortsetter rekken av årlige rapporter fra Bre- og Snøkontoret. Snøhydrologi er nå kommet inn som en del av kontorets virksomhet, og for første gang tatt med i denne rapport.

Hensikten med rapporten er å gi en samlet fremstilling av bearbejdede resultater av kontorets undersøkelser i 1983. For fullstendighetens skyld er det også tatt med resultater av målinger utført av Norsk Polarinstitutt. Dette er viktig både som intern informasjonsbase og ikke minst som en presentasjon av vårt arbeid og resultater til brukere og kollegaer. Flere av data-seriene er av en slik lengde og kvalitet at de er meget interessante for fagfolk over hele verden.

De ulike forfattere har hatt det faglige ansvar for innholdet i de enkelte kapitler. Det meste av arbeidet er resultat av samarbeid mellom alle ansatte ved Bre- og Snøkontoret. Fagredaktører er Erik Roland og Nils Haakensen.

Oslo i januar 1986


Bjørn Wold
kontorleder

1. MATERIALHUSHOLDNINGEN, METEOROLOGISKE OG HYDROLOGISKE UNDERSØKELSER VED UTVALGTE BREER

1.1 Innledning

Systematiske målinger av breenes massebalanse i Norge begynte høsten 1948 da Norsk Polarinstitutt startet observasjonene på Storbreen i Jotunheimen. For å studere variasjoner i massebalansen til breene over lengre tidsrom i forskjellige typer klima og breenes innflytelse på avløp fra bredekkede nedslagsfelt, begynte Norges Vassdrags- og Elektrisitetsvesen (NVE) tilsvarende målinger på flere andre breer i 1962 og 1963.

I Syd-Norge har vi siden 1963 hatt kontinuerlige observasjoner på seks breer fra et ekstremt, maritimt klima ved kysten av Vestlandet til et tørt, kontinentalt klima nordøst i Jotunheimen. I Nord-Norge er det bare Engabreen som måles fortsatt. Observasjonene på denne maritime breutløperen fra Vestre Svartisen begynte i 1970. Andre breer, både i den nordlige landsdelen og i Syd-Norge, har blitt studert i kortere tidrom, vanligvis 5-6 år. Totalt har massebalansen blitt målt på 26 breer i løpet av de siste 35 årene. Tidligere resultater fra alle breene er publisert i fjorårets rapport, (Roland og Haakensen 1985).

I 1983 ble massebalansen målt av NVE på Ålfotbreen, Nigardsbreen, Hellstugubreen, Gråsubreen og Engabreen. Hardangerjøkulen ble målt i fellesskap med Norsk Polarinstitutt (NP) og Storbreen av NP alene. Breenes beliggenhet framgår av fig. 1.

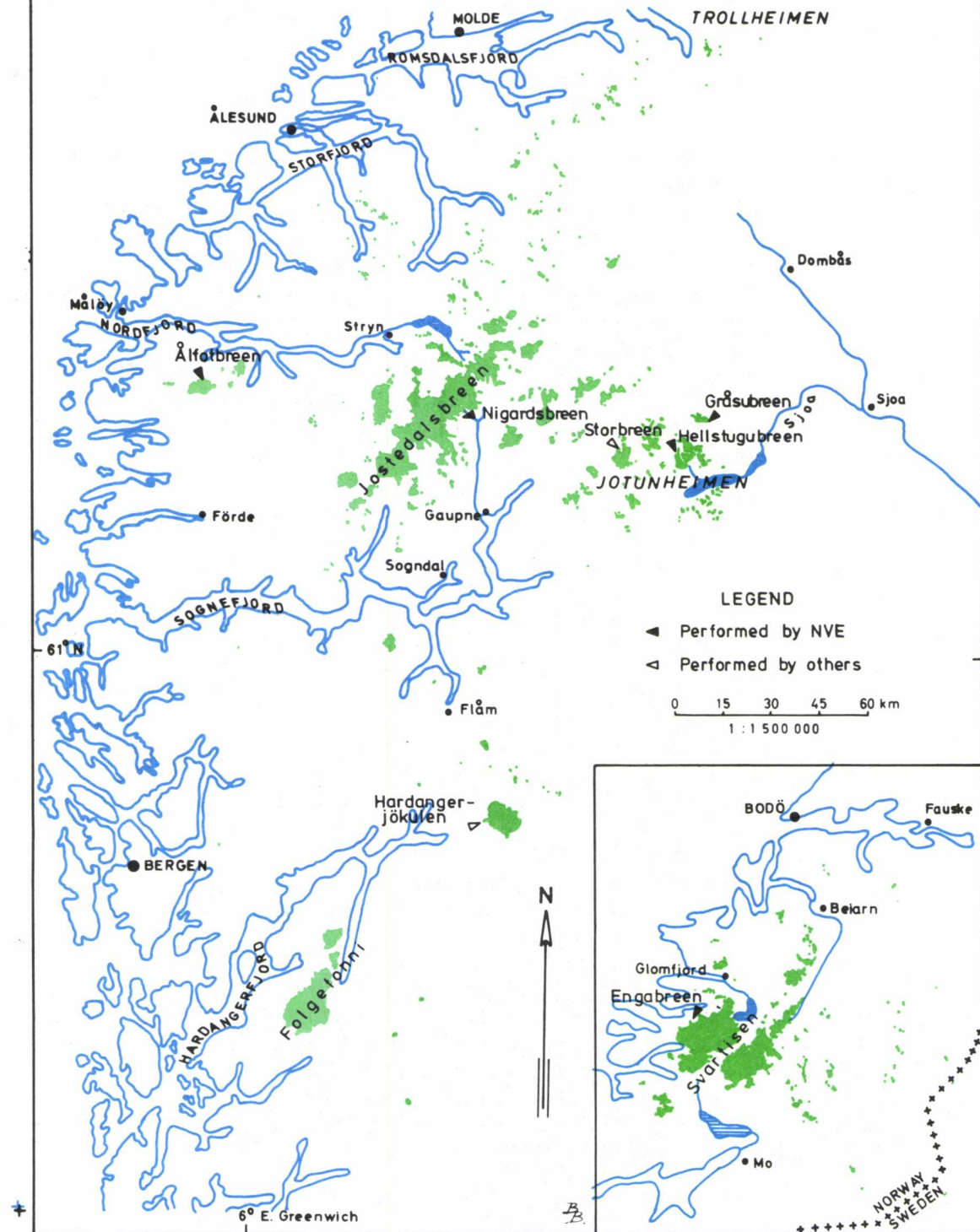
1.2 Metodikk

Detaljerte observasjoner av breenes massebalanse er både svært tidkrevende og kostbare. Forenkling av måleopplegg og bearbeidelse ble derfor vurdert i 1982. En statistisk analyse av tidligere års akkumulasjons- og ablasjonsmønstre på breene viste at man kan ha vesentlig færre målinger og likevel oppnå tilstrekkelig sikkerhet i resultatene. Derfor er årets observasjoner av massebalansen redusert i forhold til det opplegg man fulgte tidligere. Antall målinger av snødybde, tetthet og smelting på de utvalgte breene vises i tab.1 og 2.

På platåbreene foretas observasjonene nå bare på selve breplataet, og massebalansen nedover breen ekstrapoleres ved å sammenligne med tidligere års målinger.

Meteorologiske data samles inn med en automatisk stasjon som registrerer timeverdier for temperatur, vindhastighet og -retning. En datalogger igangsettes under akkumulasjonsmålingen om våren, og loggeren tas normalt inn når smeltesesongen er slutt i september. Dataene leses ut ved NVE's dataanlegg som beregner døgnverdier. Disse sammenstilles med avløpsregistreringer som foretas med limnigrafer i nedenforliggende breelver og vann.

Fig. 1 MASS BALANCE STUDIES OF NORWEGIAN GLACIERS 1983



Bre	Areal km ²	Dato	Sondering	Boring/ sjakt	Staker Vinter	Dato	Staker Sommer Netto	Høydeintervall m o.h.
Ålfotbreen	4.8	26-28/4	79	5	1(+ 5)	30/9-3/10	5 4	910-1380
Nigardsbreen	48.2	5-8/5	191	8	2(+ 5)	17-22/9	5 5	1480-1950
Hardangerjøkulen	17.2	7,17/6	16	2	0(+ 3)	11/11	1 1	1650-1860
Storbreen	5.3	5/5	27	1	0			1540-1630
Hellstugubreen	3.0	4/5	47	0	6	26/9	6 5	1690-1960
Gråsubreen	2.5	4/5	101	1	12	22-23/9	11 20	1900-2240
Engabreen	38.0	10-12/5	100	6	2(+ 4)	2-3/9	6 3	1150-1360
Totalt	2.5-48.2	26/4-17/6	561	23	23(+17)	2/9-11/11	34 38	910-1950

Tab. 1 Oversikt over målegrunnlaget for beregning av massebalansen på breene i 1983.

The basis on which the calculation of the mass balance is done, i.e. glacier area, date for accumulation measurements, the number of soundings of snow depth, pits, core drillings and surviving stakes, date of ablation measurements, the number of stakes at which the summer and net balance are measured and the altitude interval for which the measurements were done in 1983.

Bre	Dato	Dybde m	Tetthet kg/m ³	Dato	Dybde m	Tetthet kg/m ³	Høydenivå m o.h.
Ålfotbreen	27/4	9.80	530	30/9	1.88	630	1200
Nigardsbreen	6/5	5.47	500	21/9	2.43	580	1630
				18/9	3.00	580	1800
Hardangerjøkulen	7/6	8.25	550				1820
Storbreen	5/5	3.90	470				1620
Gråsubreen	4/5	1.17	360	23/9	0.31	510	2230/2180
Engabreen	13/5	4.30	510	2/9	1.85	610	1180
	12/5	6.20	490	2/9	4.40	620	1350

Tab. 2 Tetthetsmålinger utført på norske breer 1983.

The table shows the density measurements at Norwegian glaciers, on which calculations of mass balance are based.

Bre = glacier name

Dato = measuring date

Dybde = snow depth

Tetthet = density

Høydenivå = m a.s.l. where the density measurements were done.

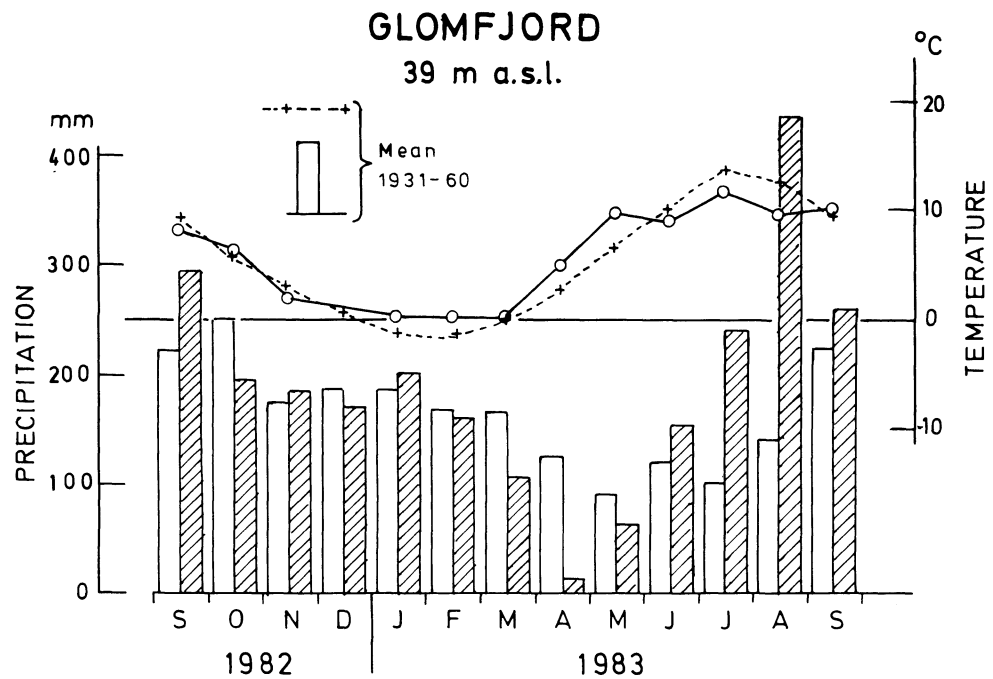
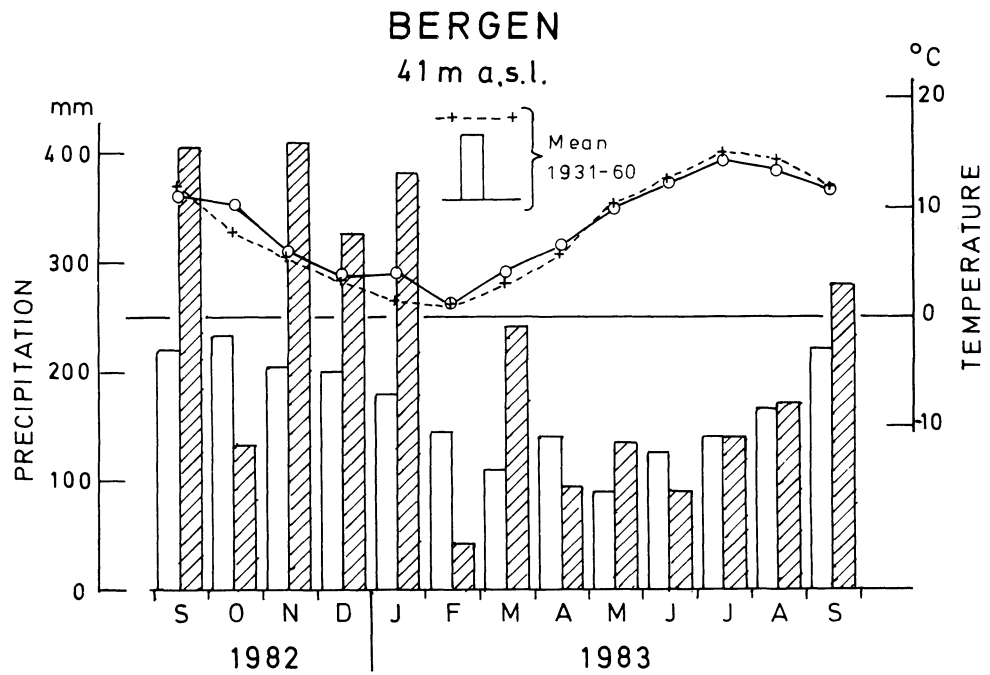


Fig. 2 Månedsverdier av nedbør og temperatur fra de meteorologiske stasjonene i Bergen og Glomfjord.

Monthly values of precipitation and temperature from the meteorological stations in Bergen and Glomfjord.

1.3 Meteorologiske forhold i balanseåret 1982-83

I Syd-Norge var vinteren uvanlig snørrik på breene. Spesielt på Vestlandet var nedbøren stor pga. hyppige lavtrykkspassasjer fra sydvest mot nordøst. Frem til og med januar hadde alle måneder unntatt oktober dobbelt så mye nedbør som normalt. Etter en nedbørfattig februar fikk mars det dobbelte av og resten av vinteren normal nedbørkvote (fig.2). Hele vinteren igjennom lå månedstemperaturen $0-2^{\circ}\text{C}$ over gjennomsnittet for normalperioden 1931-60 med oktober og januar som de relativt varmeste månedene. Sommeren hadde omtrent normale nedbørforhold mens månedstemperaturen lå $0-1^{\circ}\text{C}$ under normalt med juli og august som de relativt kaldeste månedene.

I Svartisenområdet i Nordland falt det omtrent normalt med nedbør til og med februar mens ettervinteren ble nedbørfattig. Mesteparten av akkumulasjonssesongen hadde temperaturer over normalt, særlig april og mai som fikk tilførsel av varm, kontinental luft østfra. Sommeren var fuktig og kjølig i Nord-Norge med månedstemperaturer $1.5-3^{\circ}\text{C}$ under normalt. Juli og august fikk henholdsvis omtrent to og tre ganger gjennomsnittelig nedbørkvote (fig.2) pga. kraftig lavtrykksaktivitet med tett skydekke (DNMI 1982,1983).

1.4 Ålfotbreen

1.4.1 Materialhusholdningen

Undersøkelsene utføres på en nordvendt brearm av platåbreen i Nordfjord etter et forenklet opplegg. Vinterbalansen ble målt 26.-28. april til 4.79 m vannekvivalent fordelt over hele breflaten. Dette er den største som er målt, hele 142% av gjennomsnittet for perioden 1963-83. Begge de to tårnene med lengde 9 meter, som ble satt opp høsten 1982, var bøyd pga. ising.

Sommerbalansen ble målt 30. september - 3. oktober (etter at det hadde kommet 20-40 cm nysnø på breen) til 3.19 m vann som er litt under normalt. Den høye vinterbalansen resulterte i et stort overskudd i nettobalansen, 1.60 m i spesifikk verdi, mao. 33% av vinterens snømengder ble liggende igjen på breen etter at smeltesesongen sluttet.

Årets likevektslinje ble liggende på 1010 m o.h. som er 200 m lavere enn et år breen er i balanse. Se fig. 3 og 4.

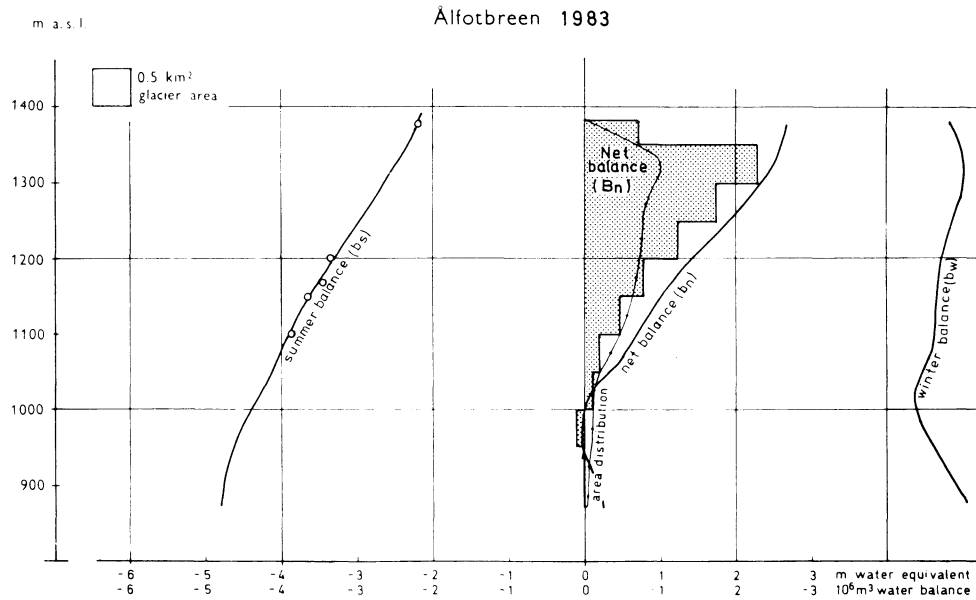


Fig. 3 Massebalansens variasjon med høyden over havet.
Mass balance variation in relation to altitude.

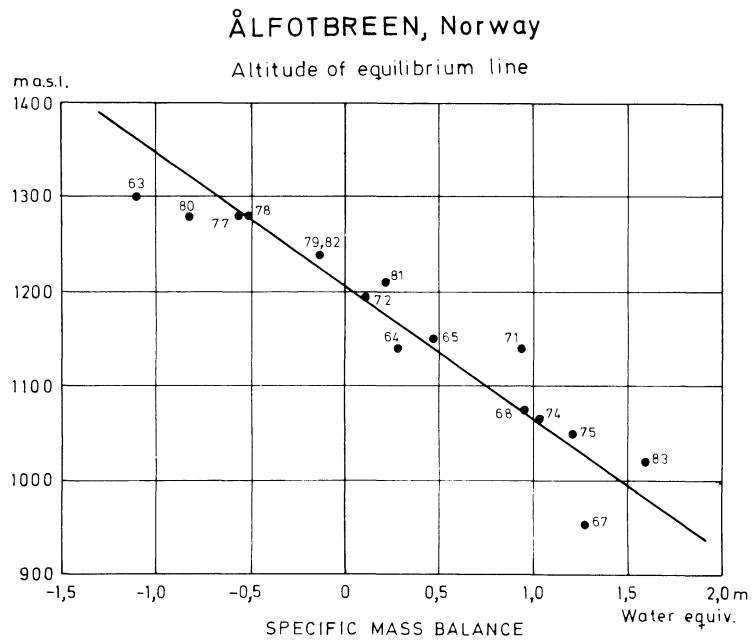


Fig. 4 Forholdet mellom breens nettobalanse og likevektlinjens høyde over havet. Tallene viser observasjonsårene.

The relation between net balance and equilibrium line altitude. The numbers indicate the years of observations.

1.4.2 Avløp

Limmigrafen i Breelva ble satt i drift så sent som 4. juli slik at en vesentlig del av avløpet ikke omfattes av registreringene denne sommeren. Avløpet var betydelig over gjennomsnittet for registreringsperioden, særlig i juli. Se tab. 3. Det største døgnavløpet ble målt 15. august til $0.84 \cdot 10^6 \text{ m}^3$ vann. Se fig. 5.

	Juli	August	September	Totalt
Q (10^6 m^3)	12.6	8.6	6.2	27.4
Q _m (10^6 m^3)	7.7	6.7	6.6	21.0

Tab. 3 Månedlig avløp i 1983 (Q) fra Ålfotbreen sammenlignet med middelverdier for årene 1965-83 (Q_m).

Monthly discharge in 1983 (Q) from Ålfotbreen compared with mean values for the period 1965-83 (Q_m).

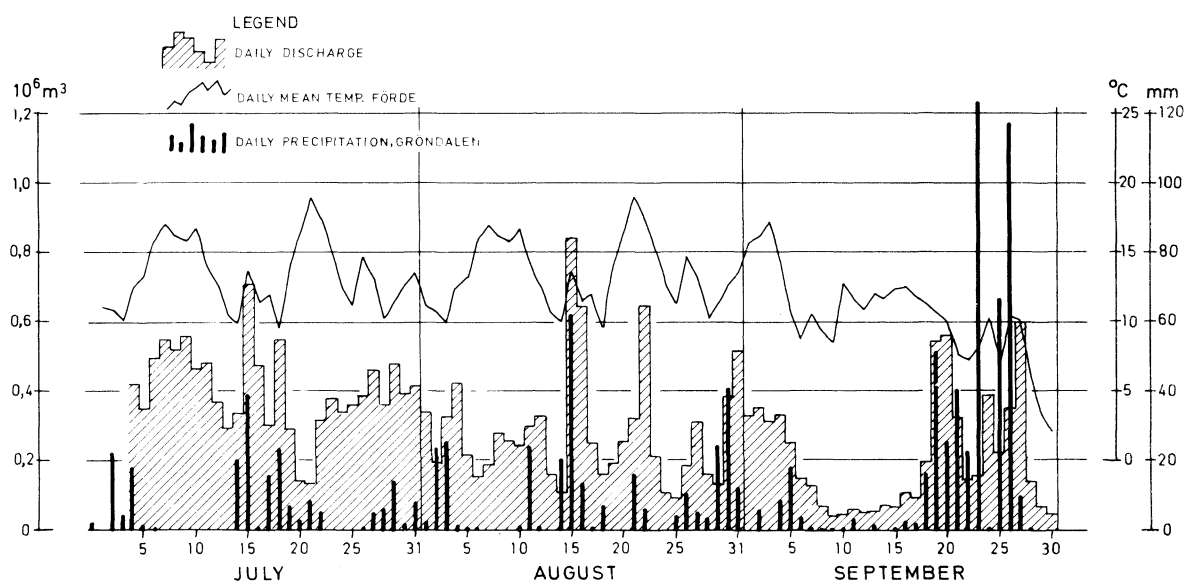


Fig. 5 Døgnlig avløp fra Ålfotbreen sammenlignet med meteorologiske observasjoner i Førde (41 m o.h.) og Grøndalen (110 m o.h.).

Daily discharge from Ålfotbreen compared with meteorological observations at Førde (41 m a.s.l.) and Grøndalen (110 m a.s.l.).

1.5 Nigardsbreen

1.5.1 Materialhusholdningen

På denne sydøstvendte brearmen av Jostedalsbreen var bare ett av de to antennetårnene synlige under akkumulasjonsmålingen i begynnelsen av mai. Tårnet som stod i skråningen (1805 m o.h.) opp mot Høgste Breakulen var nedsnødd, men viste seg senere å være noe bøyd pga. nedriming. Det andre tårnet ved Kjendalskruna stod imidlertid rett.

Vinterbalansen ble 3.02 m i spesifikk vannverdi som er 136% av middelerdien for perioden 1962-83. Dette er den nest høyeste akkumulasjonen som er målt. I 1967 var vinterbalansen 3.40 m.

Sommerbalansen ble målt til 1.93 m som er 97% av gjennomsnittet for tidligere års observasjoner. Den store vinterbalansen resulterte i et masseoverskudd på 1.09 m vannekvivalent. Derved ble 36% av akkumulasjonen liggende igjen på breen i dette balanseåret.

Årets likevektslinje lå på 1445 m o.h. som er 125 m lavere enn i et år breen er i balanse. Se fig. 6.

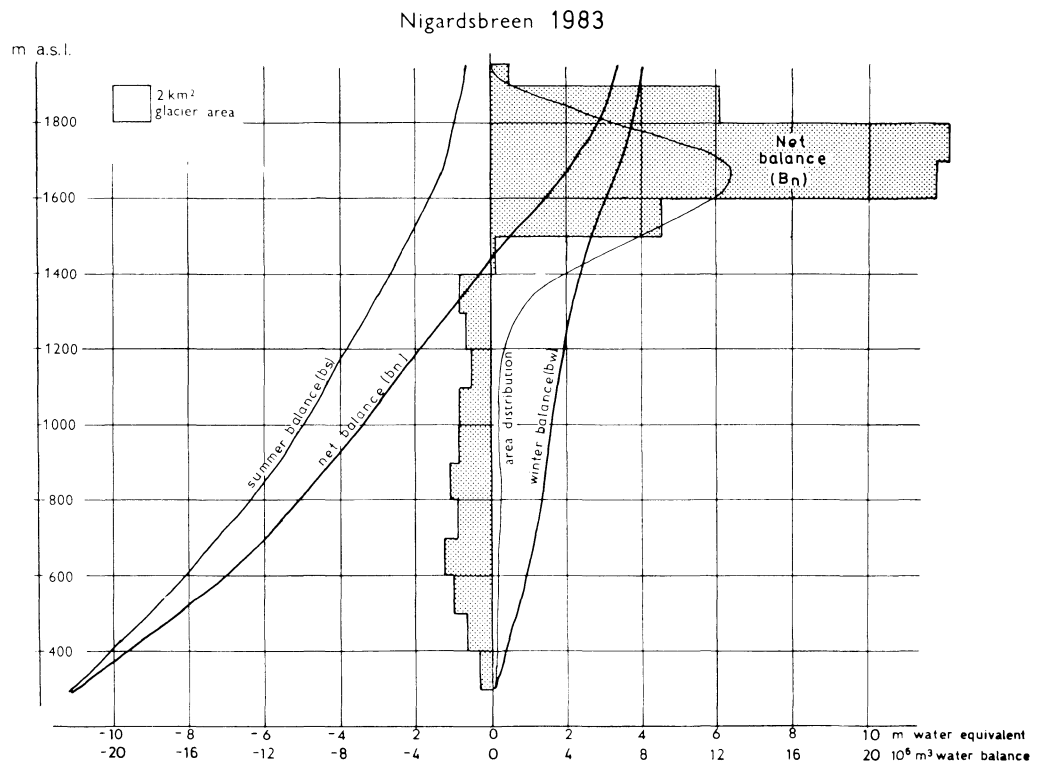


Fig. 6 Massebalansens variasjon med høyden over havet.

Mass balance variation in relation to altitude.

1.5.2 Meteorologiske observasjoner

Målingene foregikk på Steinmannen (1633 m o.h.) i perioden 5. mai - 1. desember med en automatisk Aanderaa-stasjon med datalogger etter samme opplegg som i 1982. Sensorene for lufttemperatur, vindhastighet og -retning er plassert 4 meter over bakken slik at dataene for de siste to somrene ikke er sammenlignbare med de manuelle registreringene for årene 1965-81 da observasjonene ble foretatt 2 meter over bakken.

Juni var den varmeste og august den kaldeste av de tre sommermånedene. I gjennomsnitt ble temperaturen 0.3°C lavere denne sesongen (juni-august) enn i 1982. Se tab. 4. En beregning med data fra klimastasjonen på Bjørkehaug (324 m o.h.) nede i Jostedalen viser at temperaturen på Steinmannen denne sommeren var $1.3 \pm 0.3^{\circ}\text{C}$ kaldere enn gjennomsnittet for årene 1965 - 81. På Bjørkehaug var perioden juni-august 0.9°C kaldere enn middeler verdien for ovennevnte år.

Periode	T $^{\circ}\text{C}$	T_m	V m/s	V_m	Q 10^6m^3	Q_m
Juni	1.2	0.3	4.2	4.1	21.3	37.1
Juli	0.6	1.4	4.5	4.6	49.9	53.0
August	-0.1	0.5	4.4	4.4	54.2	54.5
Sommer	0.6	0.7	4.4	4.3	125.3	144.9

Tab. 4 Månedsverdier for temperatur (T) og vindhastighet (V) observert 4 meter over bakken på Steinmannen (1 633 m o.h.) samt avløp fra Nigardsvatn (Q) i 1983 sammenlignet med middeler verdier (T_m , V_m) for årene 1982-83 og 1965-83 (Q_m).

Monthly values of temperature (T) and wind velocity (V) measured 4 metres above the ground at Steinmannen (1 633 m a.s.l.), and discharge from Lake Nigardsvatn (Q) in 1983 compared with mean values (T_m , V_m) for the period 1982-83 and 1965-83 (Q_m).

Vindobservasjonene viste at det blåste mest i juli, men at det var liten forskjell mellom månedsverdiene. Den høyeste døgnlige vindhastigheten i perioden juni-august ble registrert 5. juli med 12.7 m/s. Se fig. 7.

Da nedbørmåleren på Steinmannen ikke var i drift denne sommeren, er nedbørforholdene vurdert vha. stasjonen på Bjørkehaug. Tidligere har måleren på brestasjonen oppfanget 20% mer nedbør enn stasjonen nede i dalen. I perioden juni-august falt det 172 mm på Bjørkehaug hvilket tilsvarer 97% av normalt. Beregnet nedbør på Steinmannen blir derved 206 mm.

NIGARDSBREEN 1983

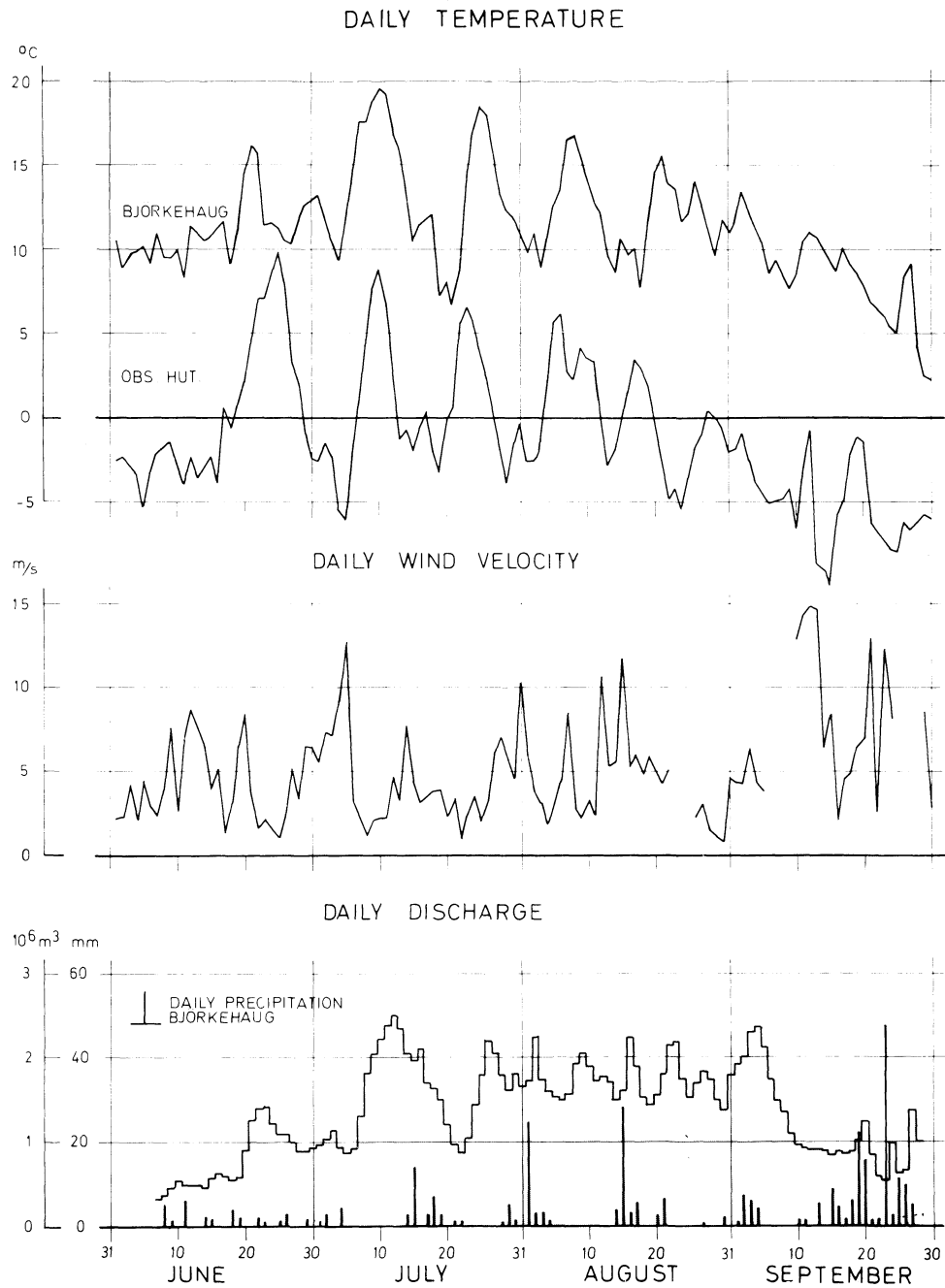


Fig. 7 Døgnverdier av de meteorologiske observasjonene på Steinmannen (1633 m o.h.) og Bjørkehaug (324 m o.h.), samt avløp fra Nigardsvatn.

Daily values of the meteorological observations from Steinmannen (1633 m a.s.l.) and Bjørkehaug (324 m a.s.l.) and of the discharge from Lake Nigardsvatn.

1.5.3 Avløp

Avrenningen fra Nigardsvatn var 87% av middelverdien for årene 1965-83. Breen dekker 74% av nedslagsfeltet til avløpsstasjonen. En sen start på ablasjonssesongen resulterte i et særlig lavt avløp i juni. Det høyeste døgnavløpet ble målt 12. juli med $2.5 \cdot 10^6 \text{ m}^3$ (fig. 7).

Avløpsforholdene omtales nærmere i kap. 6 .

1.6 Hardangerjøkulen

Vinterbalansen på den sydvestlige breutløperen Rembesdalsskjåke var den største som er observert siden målingene begynte i 1963. Snøakkumulasjonskartet fra Det Norske Meteorologiske Institutt viste 220% av normalt i dette området for nivået 1200 m o.h. Akkumulasjonen ble målt til 3.75 m vann spesifikt eller omlag det dobbelte av tidligere års gjennomsnitt.

Hardangerjøkulen 1983

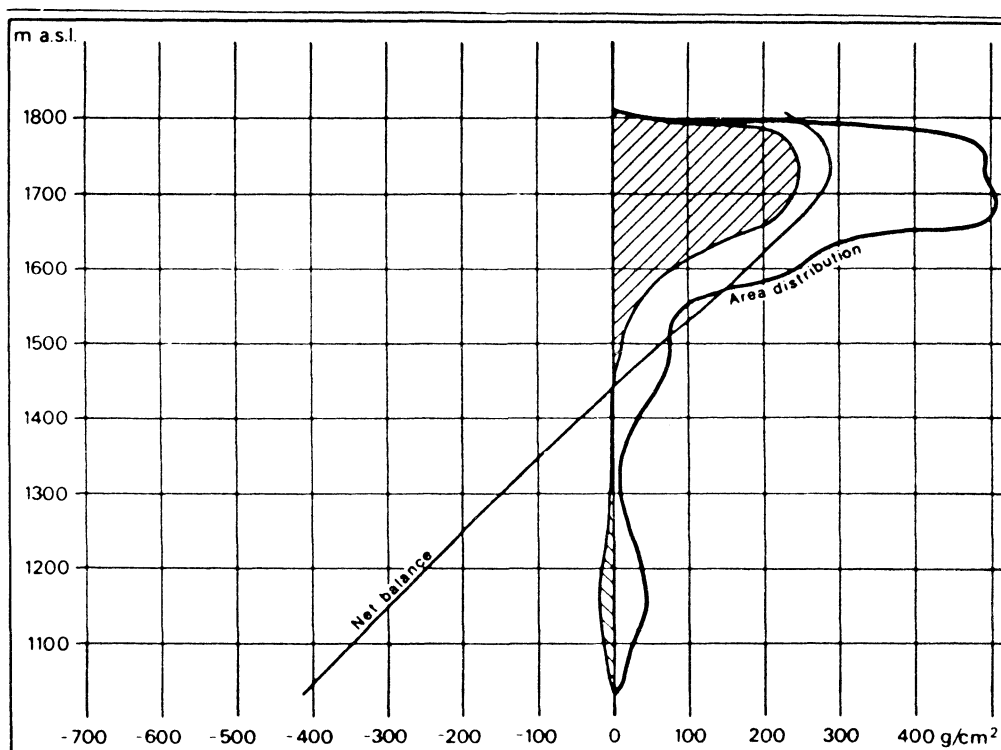


Fig. 8 Nettobalansens variasjon med høyden over havet.

Mass balance variation in relation to altitude.

Sommerbalansen er beregnet til 2.05 m som er svært nær middelverdien for perioden 1963-83. Nettobalansen ble herav 1.70 m som er den høyeste som er målt. Overskuddet tilsvarer et avløp på 54 l/s km^2 på årsbasis som breen holdt tilbake fra det nedenforliggende vassdraget. Se forøvrig Liestøl (1984).

Likevektslinjen er beregnet å ligge på 1450 m o.h. som er 230 m lavere enn et år med balanse i masseomsetningen. Se fig. 8.

1.7 Storbreen

Målingene på denne breen i Jotunheimen utføres av Norsk Polarinstitutt. Årets vinterbalanse ble 1.90 m i vannekvivalent som er den nest høyeste som har blitt målt. Den største akkumulasjonen ble observert allerede vinteren 1948-49 som er det første året i måleserien.

Storbreen 1983

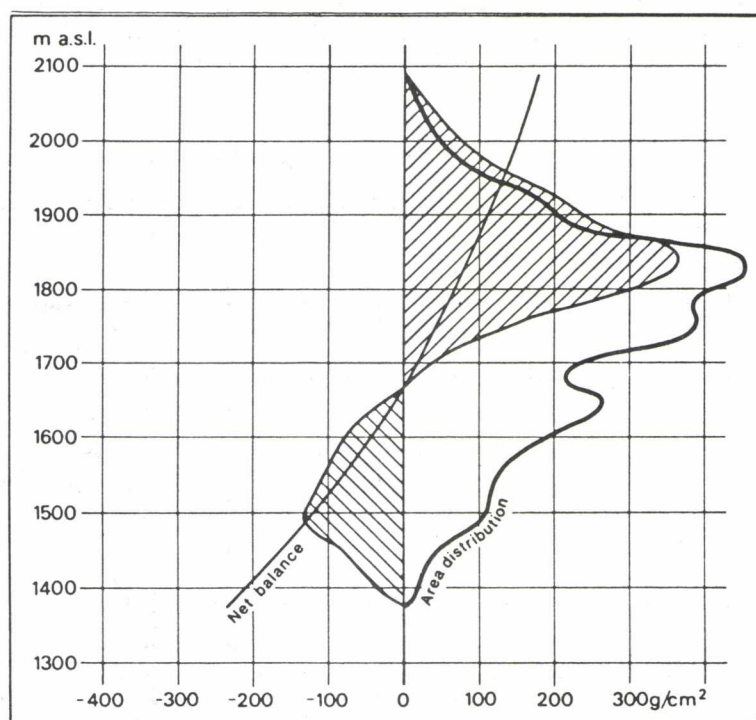


Fig. 9 Nettobalansens variasjon med høyden over havet.

Mass balance variation in relation to altitude.

Sommerbalansen er beregnet til 1.70 m som er omtrent som gjennomsnittet for de tidligere års observasjoner. Breen fikk derved et lite overskudd på 0.20 m i inneværende balanseår (fig. 9). Totalt har breen derimot minnet over 10 m i spesifikk vannverdi siden 1948. Dette tilsvarer et gjennomsnittlig årlig tilskudd til middelavløpet fra breen på 9 l/s km² til vassdraget nedenfor. Brefrontens tilbakegang er illustrert i fig.10. Se forøvrig Liestøl (1984).

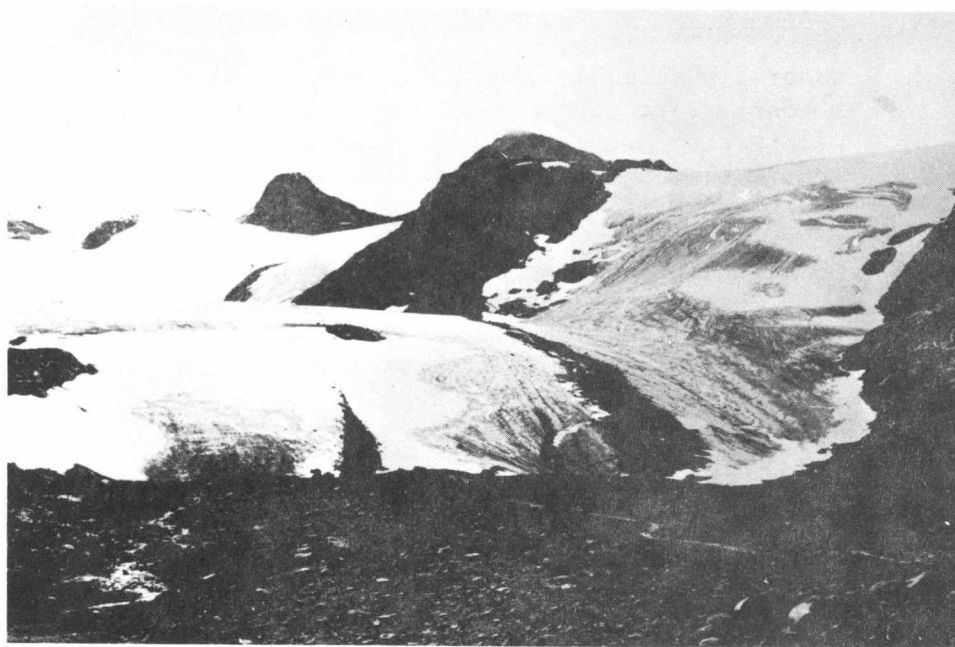


Fig.10 Storbreens front fotografert fra samme sted i 1974 (øverst) og 1984. (Foto: Olav Liestøl).

The front of Storbreen photographed from the same spot in 1974 (above) and 1984. (Photo: Olav Liestøl).

1.8 Hellstugubreen

Under akkumulasjonsmålingen i begynnelsen av mai ble bare snødypet sondert. Tettheten av snøen er antatt å være lik den målte verdien på Storbreen som ligger 15 km lenger vest. Vinterbalansen ble svært høy, 1.47 m i vannverdi fordelt over hele breen, som er en av de største som er målt og 136% av middelverdien for årene 1962-83.

Sommerbalansen er beregnet til 1.30 m. Gjennomsnittet for de observerte årene har vært 1.40 m. Nettobalansen for breen ble derfor et lite overskudd på 0.17 m. I de 22 årene målingene har pågått, har breen hatt positiv nettobalanse i bare fem år: 1962, -65, -67, -74 og dette året. I observasjonsperioden har breen minket over 7 m i vannverdi fordelt over hele brearealet.

Årets likevektslinje er beregnet til å ligge på 1820 m o.h. Dette er 20 meter lavere enn et år med balanse i breens masseomsetning. Se for øvrig fig.11 og 12.

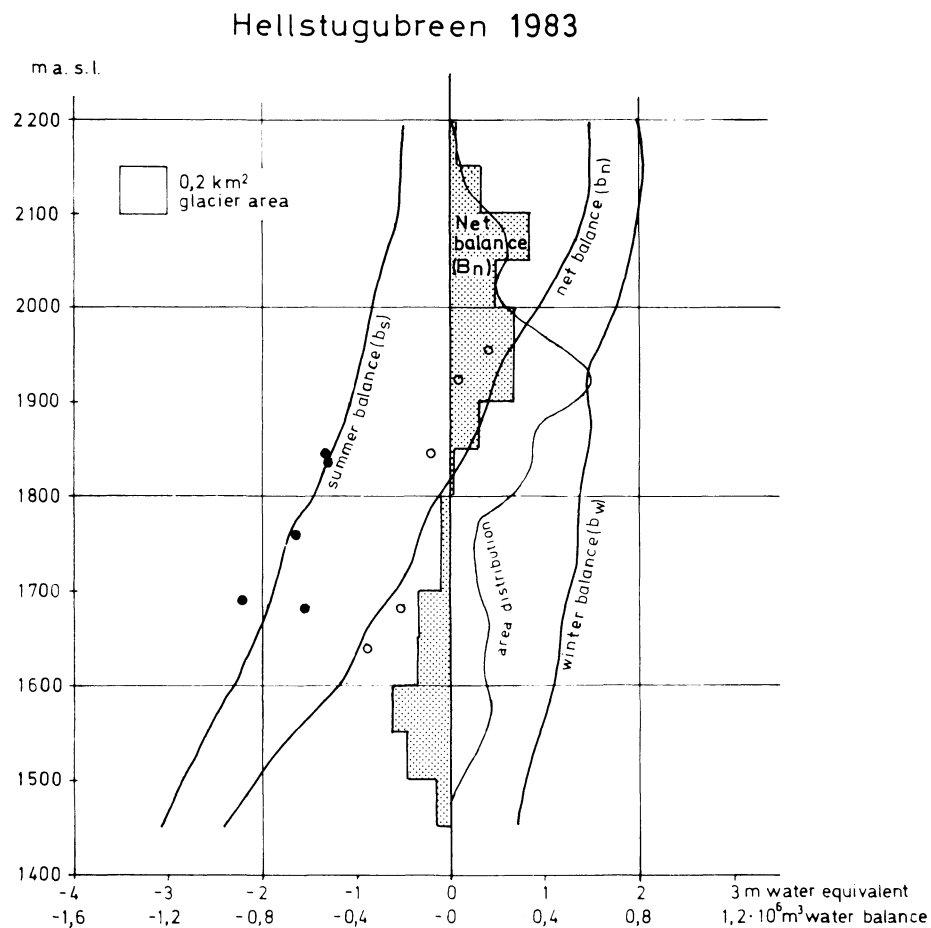


Fig.11 Massebalansens variation med høyden over havet.

Mass balance variation in relation to altitude.

HELLSTUGUBREEN, Norway

Altitude of equilibrium line

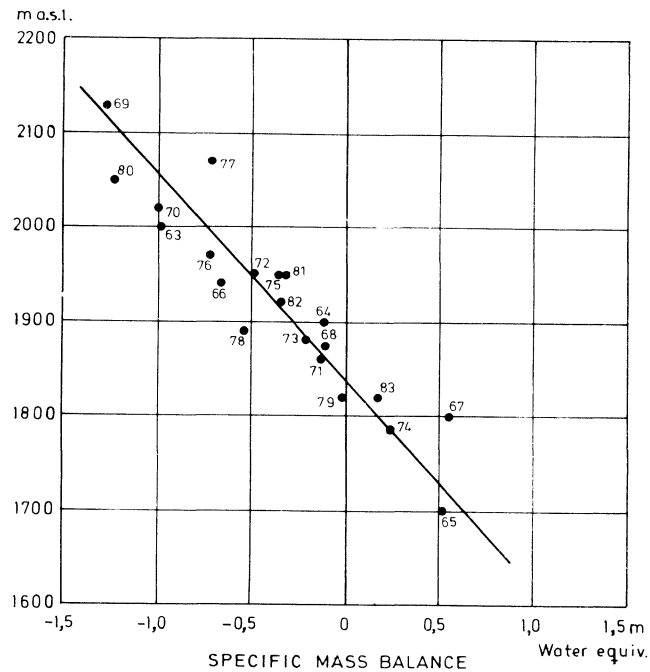


Fig.12 Forholdet mellom breens nettobalanse og likevektslinjens høyde over havet. Tallene viser observasjonsårene.

The relation between net balance and equilibrium line altitude. The numbers indicate the years of observation.

1.9 Gråsubreen

I løpet av vinteren hadde det blitt akkumulert snømengder på breen tilsvarende et vannlag på 0.94 m. Bare i 1967 og 1968 var vinterbalansen større på denne kontinentale breen.

Sommerbalansen ble 0.99 m som er 95% av middelerdien for de 22 årene breen har blitt målt. Nettobalansen for Gråsubreen ble dermed -0.05 m til tross for en stor vinterbalanse og omtrent gjennomsnittlig sommerbalanse. Akkumulert underskudd siden 1962 har vært over 7 m i vannekvivalent.

Årets likevektslinje er beregnet å ligge på 2090 m o.h. som er ca 40 m høyere enn et år breen er i balanse. Se fig.13 og 14.

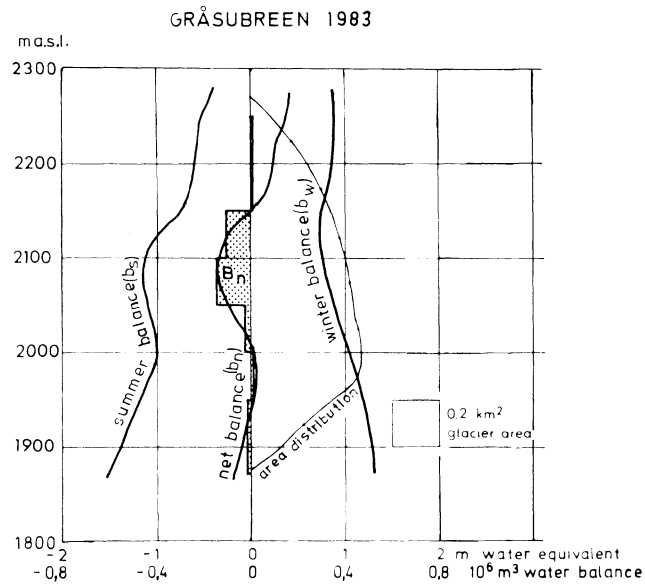


Fig.13 Massebalansens variasjon med høyden over havet.

Mass balance variation in relation to altitude.

GRÅSUBREEN, Norway

Altitude of equilibrium line

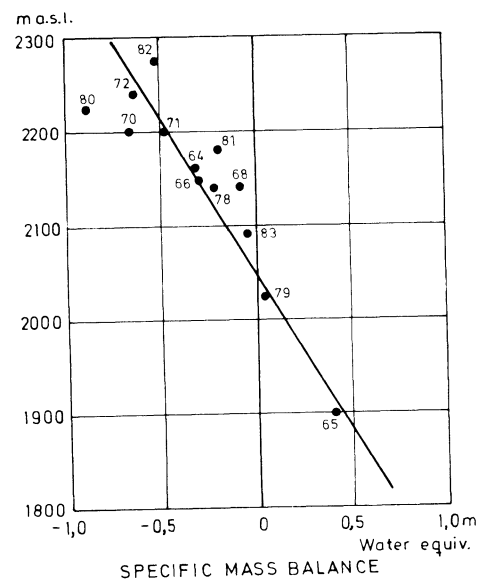


Fig.14 Forholdet mellom breens nettobalanse og likevektslinjens høyde over havet. Tallene viser observasjonsårene.

The relation between net balance and equilibrium line altitude. The numbers indicate the years of observation.

1.10 Engabreen

1.10.1 Materialhusholdningen

I motsetning til breene i Syd-Norge fikk Engabreen mindre snøakkumulasjon enn vanlig. Vinterbalansen ble 2.34 m i vannekvivalent fordelt over hele brearealet. Det er 79% av middelveiden for perioden 1970-83.

Den kjølige sommeren i Svartisen-området forårsaket lite smelting på breen. Sommerbalansen ble 1.28 m. Sammenligner vi med tidligere års observasjoner, er det bare i 1977 at ablasjonen har vært lavere. Selv med en relativt liten vinterbalanse smeltet det bare vel halvparten av denne slik at nettobalansen ble positiv med en vannverdi på 1.06 m.

Masseoverskuddet tilsvarer et spesifikt avløp på årsbasis på 33 l/s.km² som breen holdt tilbake fra det nedenforliggende Engabrevatnet.

Årets likevektslinje er beregnet å ligge på 1020 m o.h. som er 50 m lavere enn et år breen er i balanse. Se fig.15 og 16.

ENGABREEN 1983

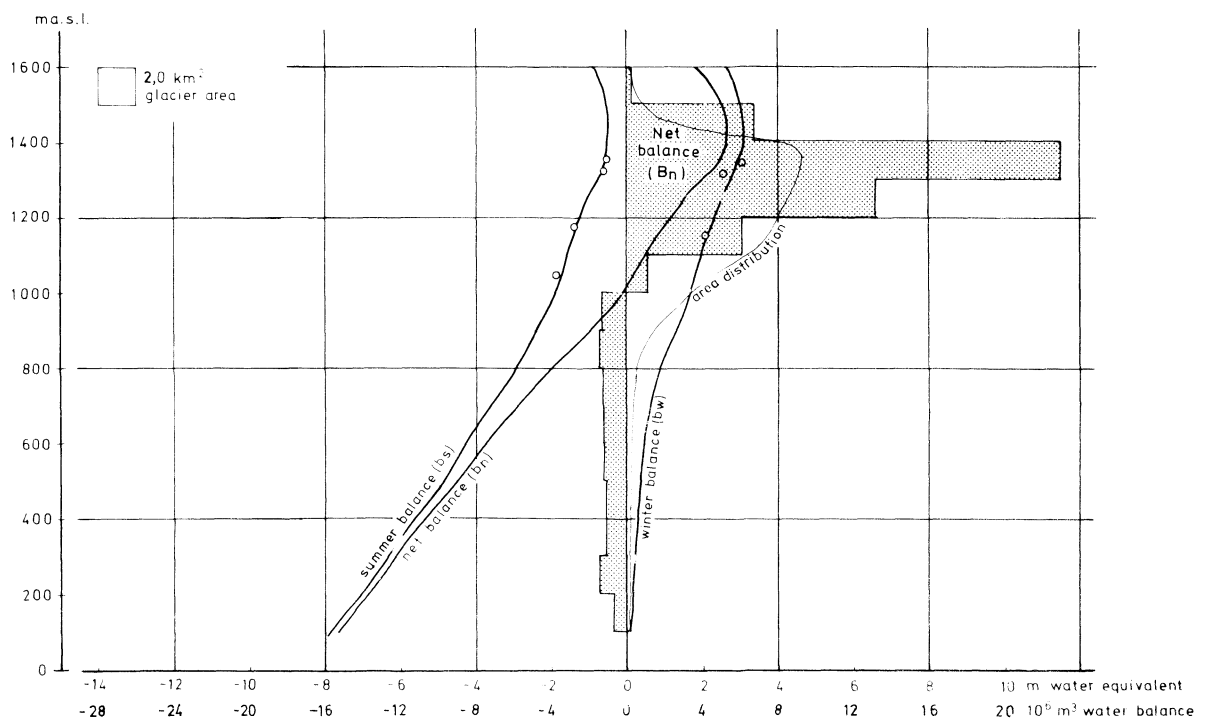


Fig.15 Massebalansens variasjon med høyden over havet.

Mass balance variation in relation to altitude.

ENGABREEN, Norway

Altitude of equilibrium line

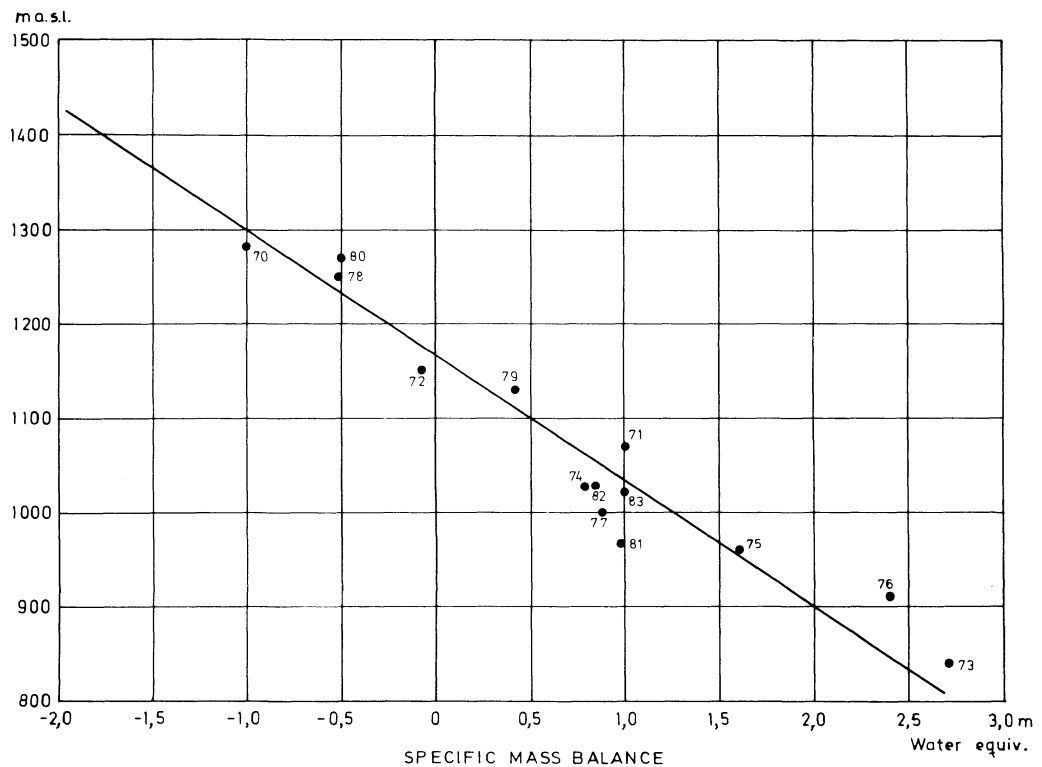


Fig.16 Forholdet mellom breens nettobalanse og likevektslinjens høyde over havet. Tallene viser observasjonsårene.

The relation between net balance and equilibrium line altitude. The numbers indicate the years of observations.

1.10.2 Avløp

Avrenningen fra breen registreres hele året med limnigraf i Engabrevatnet. Nedbørfeltets areal omfatter 50,4 km² hvorav 75% dekkes av breen. Døgnvassføringen i smeltesesongen 1983 er vist i fig. 17 sammen med ekstrem- og middelveirdier for tidligere år det har vært målinger av massebalansen på Engabreen.

I siste halvdel av juni var vassføringen betydelig lavere enn middelveirdien og nær denne i mesteparten av juli. De to største flommene inntraff 10.-11. og 28.-30. august med en høyeste døgnlig vassføring på 36 m³/s. Maksimal flom har vært 78 m³/s i 1971. Vassføringen lå ellers markert over gjennomsnittet i størsteparten av september. Avløpet i perioden juni-september var 106% av middelveirdien for 1970-83 (tab. 5).

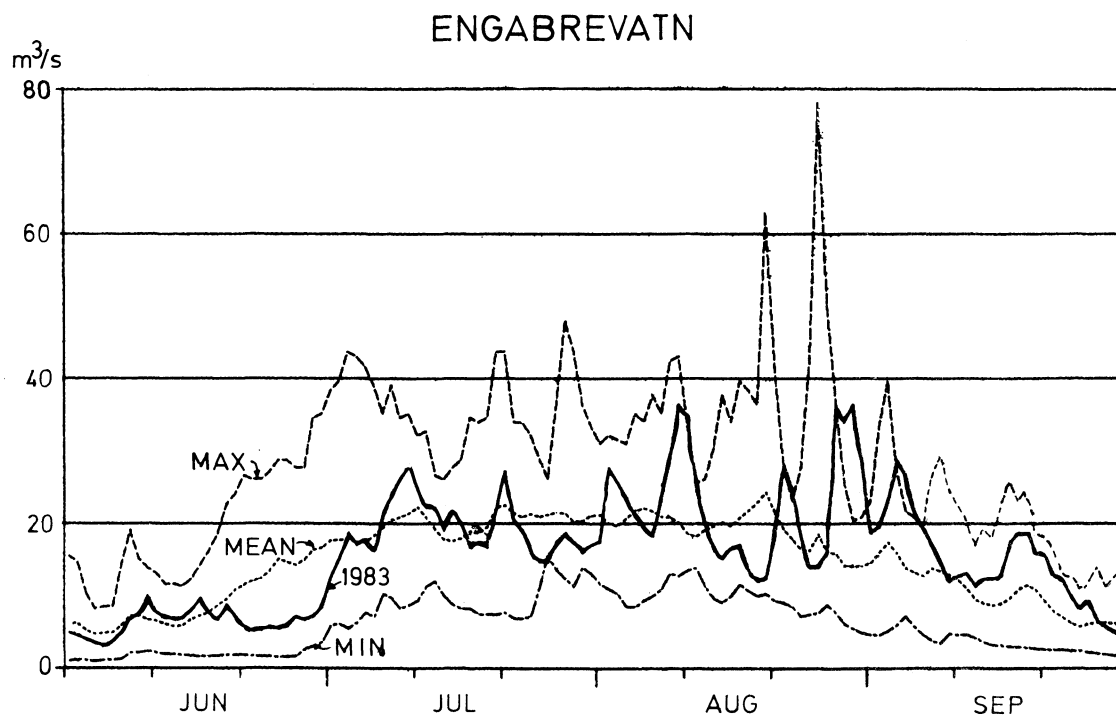


Fig.17 Døgnlig vassføring fra Engabrevatn i 1983 sammenlignet med ekstrem- og middelveier for årene 1970-82.

Daily discharge from lake Engabrevatn in 1983 compared with extreme and mean values for the period 1970-82.

	Juni	Juli	August	September	Totalt
Q (10^6m^3)	16.3	51.5	59.7	37.4	164.9
Q_m (10^6m^3)	23.0	53.0	52.1	27.3	155.4

Tab. 5 Månedlig avløp i 1983 (Q) fra Engabreen sammenlignet med middelveier for årene 1970-83 (Q_m). Dataene er hentet fra Hydrologisk avdelings arkiv.

Monthly discharge in 1983 (Q) from Engabreen compared with mean values for the period 1970-83 (Q_m). The values are from the Hydrological Department's database.

1.11 Sammendrag av årets bremålinger

Vinteren 1982-83 ble uvanlig snørrik på breene i Syd-Norge. Relativt mest vinterneidbør fikk Hardangerjøkulen med omlag 190% av middelveien for årene 1963-83. På de øvrige breene ble akkumulasjonen målt til 135-140%.

NET BALANCE DIAGRAMS 1983

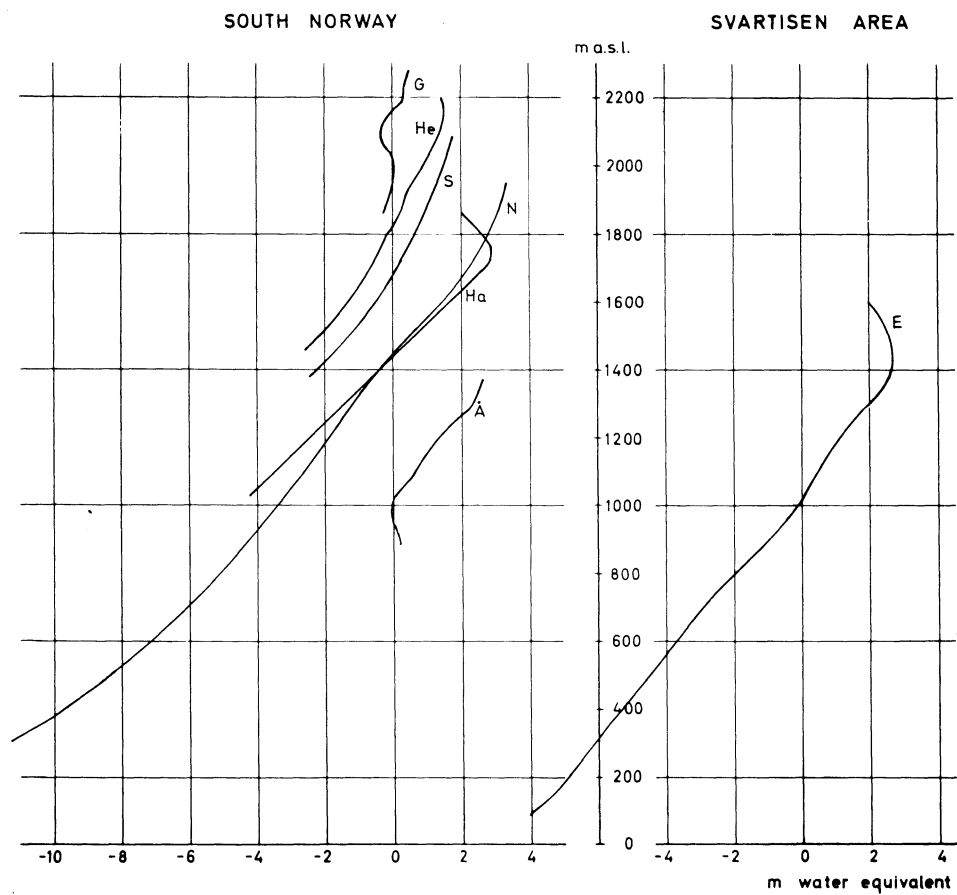


Fig.18 Nettobalansekurver for 1983.

Net balance curves for 1983.

Bre	Areal S km ²	Vinterbalanse			Sommerbalanse			Nettobalanse			Likevekts- linje m o.h.
		B_w	b_w		B_s	b_s		B_n	b_n		
		$10^6 m^3$	m	l/skm ²	$10^6 m^3$	m	l/skm ²	$10^6 m^3$	m	l/skm ²	
Ålfotbreen	4.8	23.1	4.79	152	15.4	3.19	101	7.7	1.60	51	1010
Nigardsbreen	48.2	145.8	3.02	96	92.9	1.93	61	52.9	1.09	35	1445
Hardangerjøkulen	17.2	64.5	3.75	119	35.3	2.05	65	29.2	1.70	54	1450
Storbreen	5.3	10.1	1.90	60	9.0	1.70	54	1.1	0.20	6	1625
Hellstugubreen	3.0	4.4	1.47	47	3.9	1.30	41	0.5	0.17	6	1820
Gråsubreen	2.5	2.4	0.94	30	2.5	0.99	31	- 0.1	-0.05	- 1	2090
Engabreen	38.0	88.8	2.34	74	48.6	1.28	41	40.2	1.06	33	1020

Tab. 6 Resultater av massebalansemålinger utført i 1983, breenes areal og likevektslinjens høyde.

Mass balance results for 1983, the areas of the investigated glaciers and the altitude of the equilibrium line.

Sommerbalansen var 90-108% av gjennomsnittet for overnevnte periode. Dette resulterte i markerte masseoverskudd på breene på Vestlandet. Mellom en tredjedel og halvparten av akkumulasjonen lå igjen på de maritime breene da smeltesesongen sluttet. I Jotunheimen kom breene ut med et lite overskudd eller omtrent i likevekt for Gråsubreen som er den mest kontinentale breen. Nettobalansens variasjon med høyden er vist i fig. 18 for alle de målte breene. Resultatene er ellers presentert i tab. 6 og fig.19 og 20.

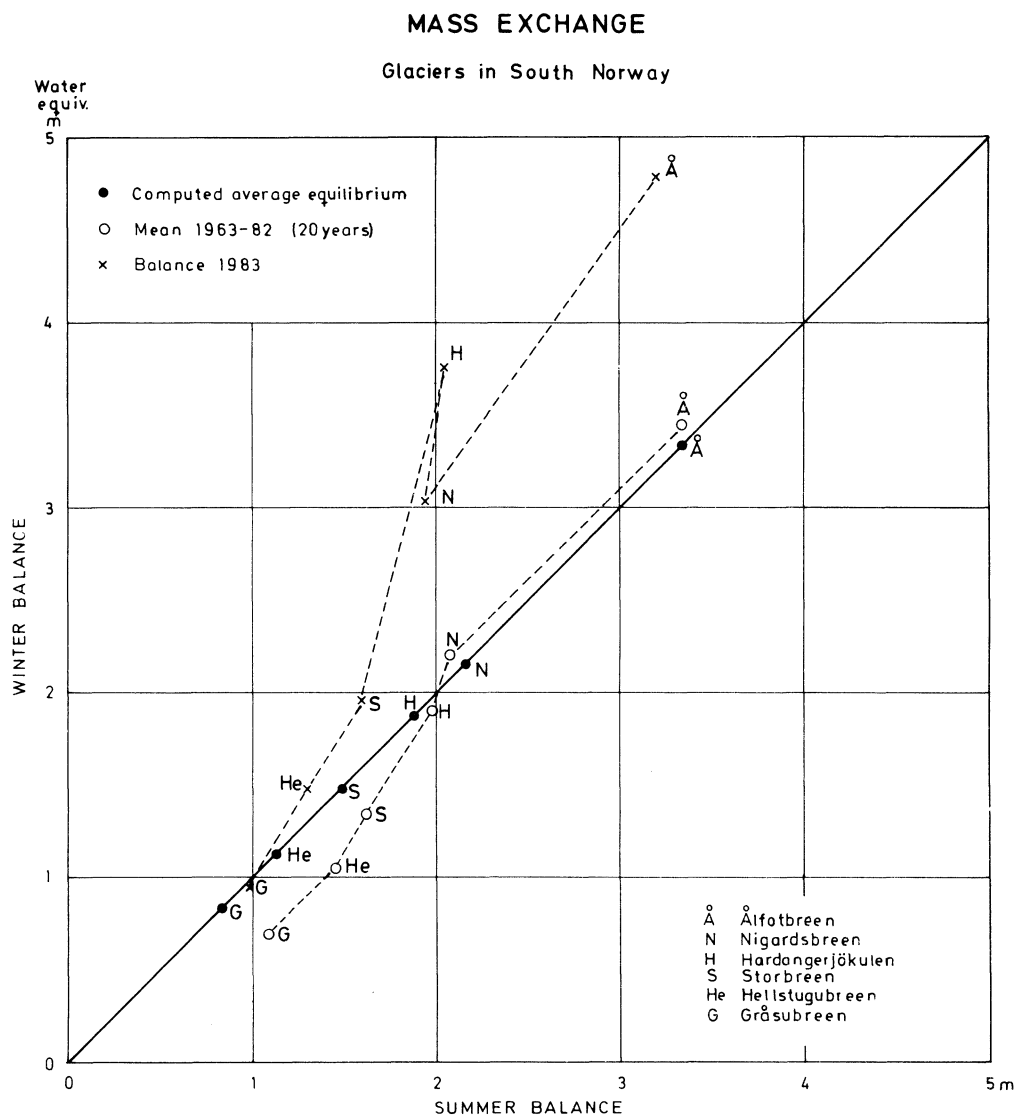


Fig.19 Forholdet mellom vinter og sommerbalansen i 1983 sammenlignet med gjennomsnittet for årene 1963-82 og et år med beregnet "normal" materialomsetning.

The relation between winter and summer balance compared to mean values for the years 1963-82 and to a year with a computed "normal" mass exchange.

ALTITUDE OF EQUILIBRIUM LINE

Glaciers in South Norway

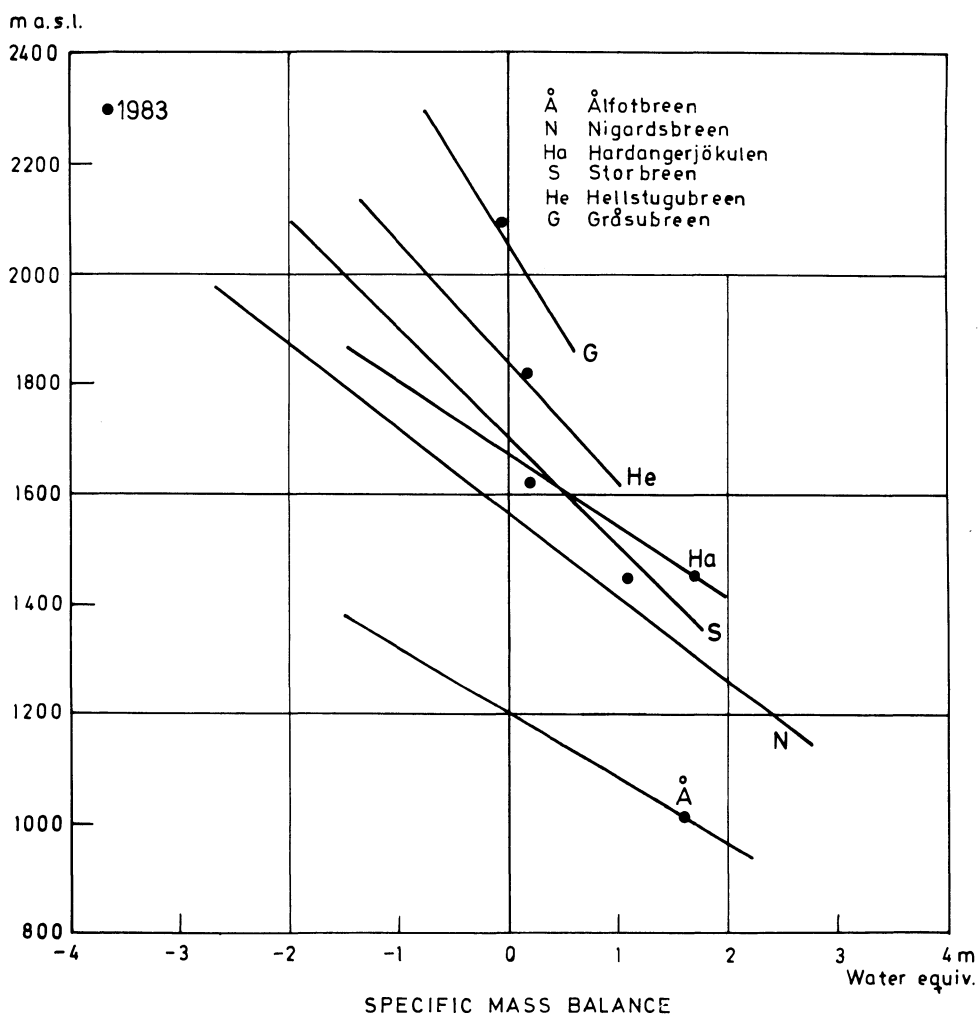


Fig.20 Forholdet mellom nettobalanse og likevektslinjens høyde over havet for breer i Syd-Norge.

The relation between net balance and equilibrium line altitude for glaciers in South Norway.

Målingene i Syd-Norge viser at breene på Vestlandet siden 1962 har holdt seg i likevekt eller øket litt i volum, mens innlandsbreene i Jotunheimen har minnet i økende grad østover (fig.21). Dette skyldes at litt mer vinternedbør enn normalt vest for vannskillet har kompensert for en høyere sommertemperatur enn normalt i Syd-Norge. I Jotunheimen har nedbørforholdene vært normale vinterstid, men der styres nettobalansen mest av temperaturen om sommeren.

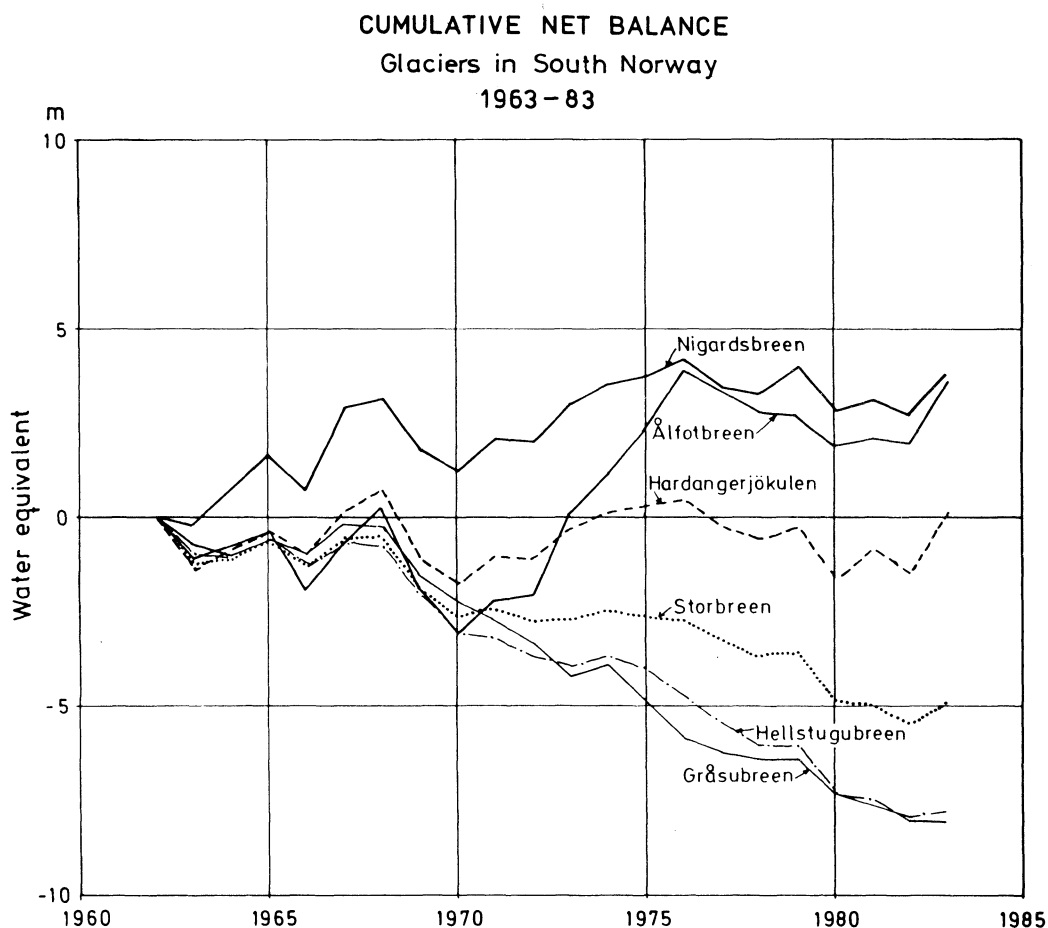


Fig.21 Kummulative nettobalanser for seks breer langs et vest-øst profil i Syd-Norge for årene 1963-83.

Cumulative net balances for six glaciers along a W-E profile in South Norway in the period 1963-83.

Engabreen i Nordland hadde relativt liten masseomsetning i balanseåret 1982-83. Resultatet ble en positiv nettobalanse på vel 1 m i vannekvivalent. Siden målingene startet høsten 1969 har breen øket sitt volum tilsvarende et vannlag på nesten 11 m over hele breen (fig.22). Dette har resultert i at brefronten nå rykker framover igjen ned mot Engabrevatn (7 m o.h.). Årsaken er både betydelig mer vinternedbør og en litt lavere sommertemperatur enn normalt.

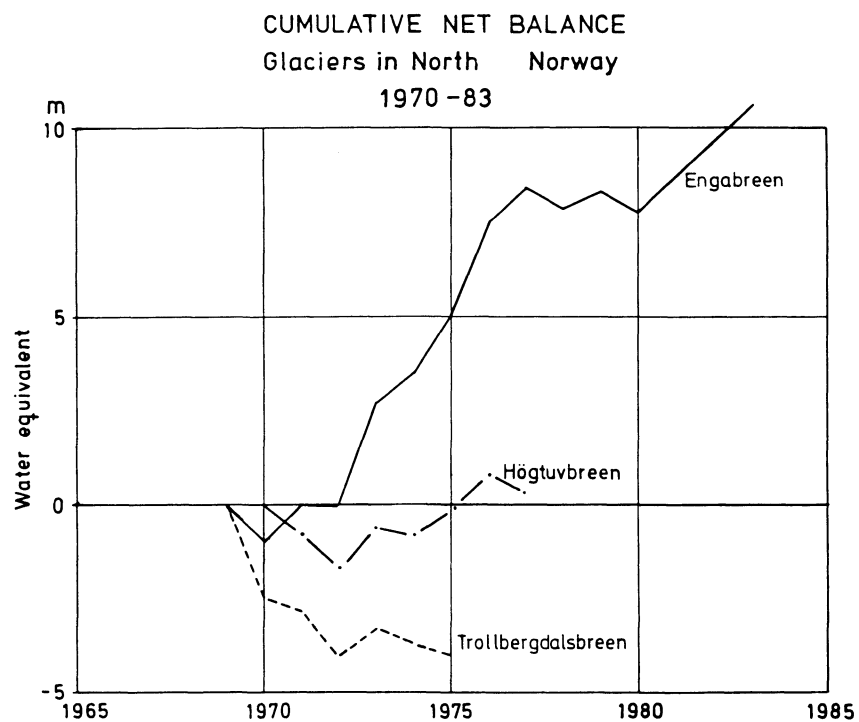


Fig.22 Kummulative nettobalanser for tre breer i Svartisen-området for årene 1970-83.

Cumulative net balances for three glaciers in the Svartisen area in the period 1970-83.

2. PROFILMÅLINGER FOR MASSEBALANSESTUDIER

2.1 Innledning

I 1981 ble omfanget av bremålinger vurdert og data tilbake til 1968 brukt for å komme fram til et redusert måleopplegg. I denne sammenhengen ble det sett på mulighetene for jevnlig å skaffe data om forandringer av breoverflaten. Ved å etablere et nett av punkter utover breoverflaten, som bestemmes i høyde og posisjon, kan en følge med på nivåforandringene på breene med bestemte årsintervall.

På de aktuelle breene er det i perioden 1981-83 målt punkter eller profiler som er beregnet i UTM koordinater og høydebestemt. Disse observasjonene skal med 5 års intervall brukes som stikningsdata. Under målingene ble det brukt Wild T2 og teodolitt Aga 120 avstandsmåler på stativ og prismesats (6 enkeltprismer) festet til en aluminiumstake. Den lengste avstand som ble målt var 4500 m. Ved beregningene er avstandene ikke redusert til havnivå. For høydebestemmelsene er det ikke gjort noen utførlige utjevninger. (På avstandsmåleren er det en reduksjonssensor.) Under målingene i basispunktene ble det tatt hensyn til kollimasjonsfeilen.

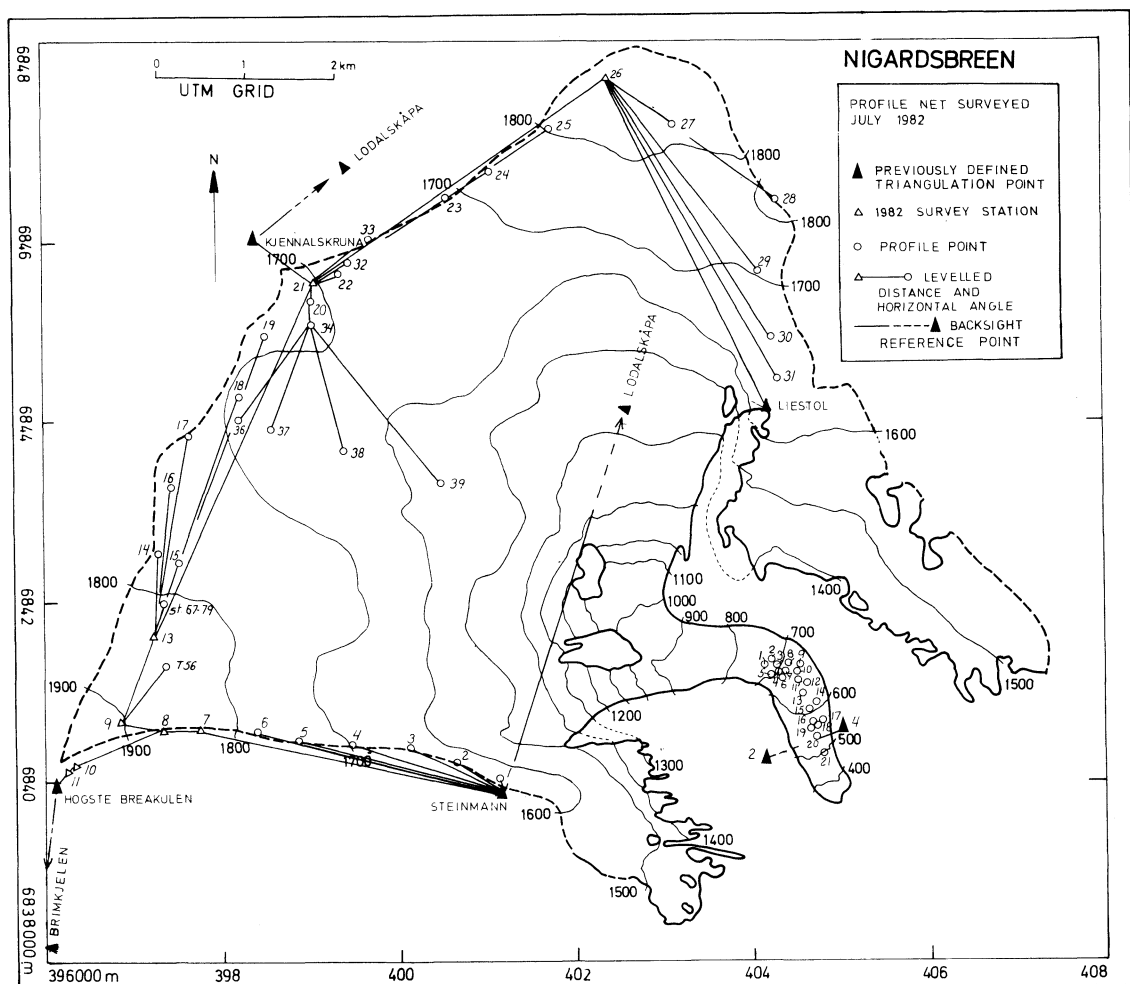


Fig.23 Breprofilering utført på Nigardsbreen i 1982.

Profile net surveyed at Nigardsbreen in 1982.

TUNSBERGDALSBREEN

PROFILE NET SURVEYED 1982

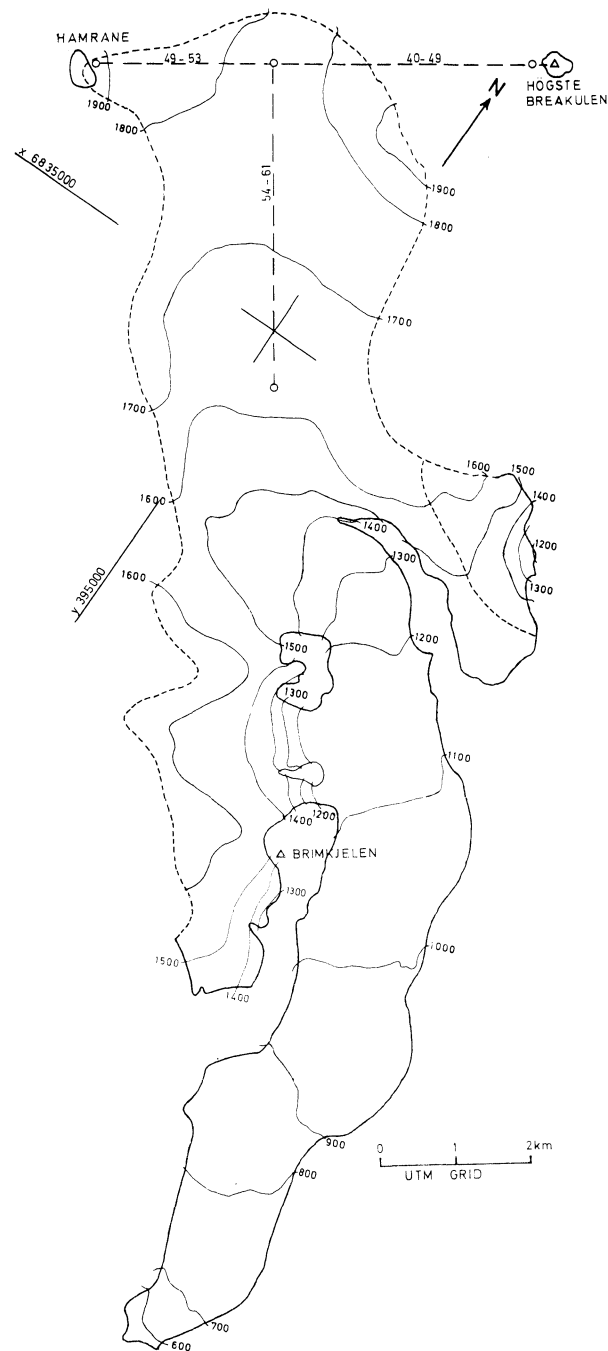


Fig.24 Breprofilering utført på Tunsbergdalsbreen i 1982.

Profile net surveyed at Tunsbergdalsbreen in 1982.

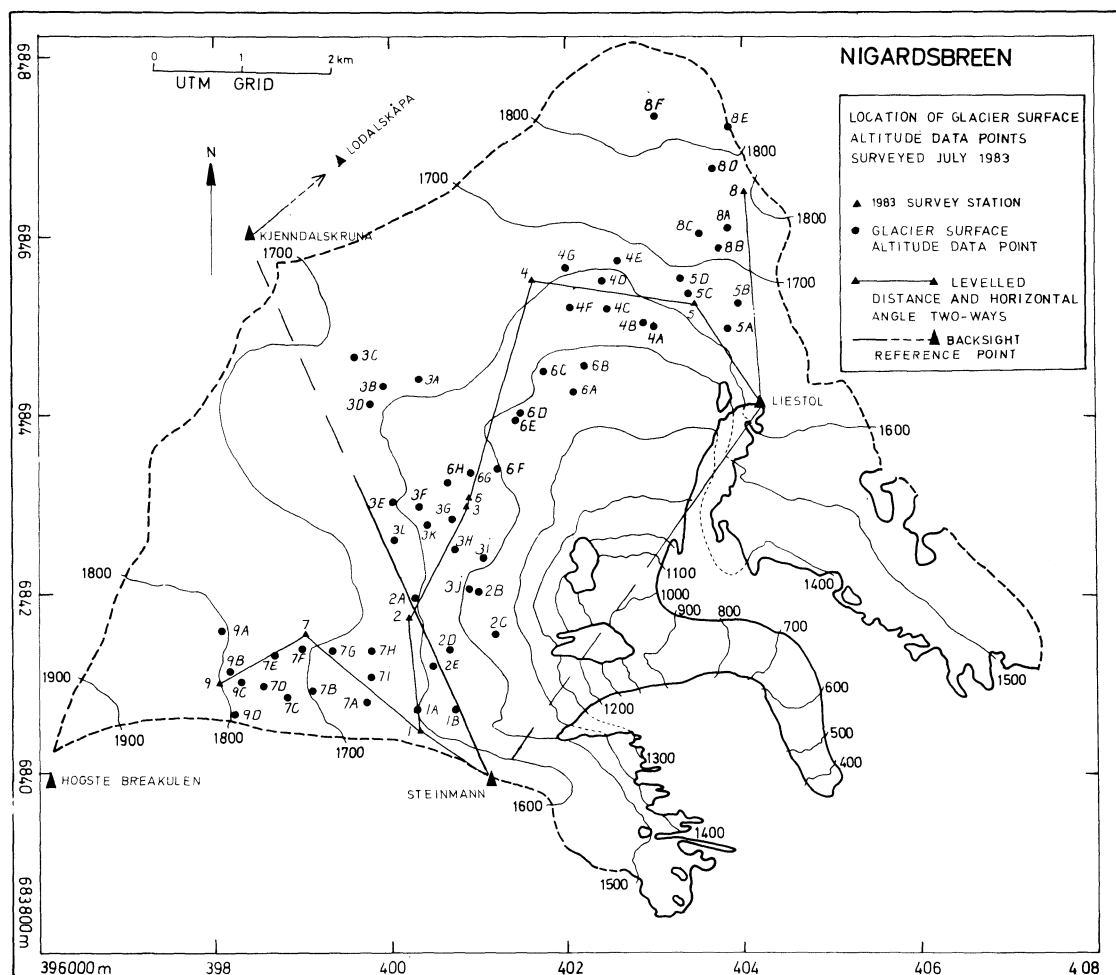


Fig.25 Beliggenheten av høydebestemte punkter på breoverflaten i 1983.

Map showing the location of points on the glacier surface surveyed in 1983.

2.2 Nigardsbreen

I 1981 ble det gjort forsøk på profilering, men værforholdene var svært ugunstige slik at det bare ble målt noen punkter i området ved Høgste Breakulen og utover ryggen ved Steinmannen. Målingene foregikk hovedsaklig med tvangssentreringsutstyr.

I 1982 ble det gjennomført et enklere og mindre tidkrevende måleopplegg i perioden 6. - 14. juli. Reflektoren med 6 prismer ble festet til en aluminiumstake satt ut slik at siktehøyden ble lik instrumenthøyden. Profilene ble ført som tachymeterdrag. Topografien og maksimumsavstanden (4500 m) for avstandsmåleren og var avgjørende for de løpende oppstillinger. Konturforandringene på strekket ble målt polart. Som støtte ved oppstilling på snø ble det laget treplater (30 x 40 cm) med forsenkede metallspor for spissen av stativbeina.

Det ble målt punkter på strekningen Steinmannen - Høgste Breakulen - Kjenndalskruna - Liaksla. I tillegg kom et blinddrag på Tunsbergdalsbreen fra Høgste Breakulen i retning Hamrane og et sidedrag mot brefallet ned til 1600 m o.h. Ved plotting av punktene på brekart fra 1966 kom det fram større høydeforskjeller på Tunsbergdalsbreen enn ved sammenstillingen på Nigardsbreen. Da det var blinddrag, må resultatet ikke tilskrives for stor entydighet.

Overflaten på bretunga på Nigardsbreen ble målt fra pkt 4 (666 m o.h.) i høydenivået 550 - 750 m o.h. Målingene måtte avbrytes pga. instrumenthavari som følge av sterk fallvind.

Profilene og punktene vises i fig. 23 og 24.

I 1983 ble det gjennomført målinger i høydenivået 1450 - 1700 m o.h. tiden 26. juni - 10. juli. Pga. terrenget var det vanskelig å samle punktene i profiler. Det måtte derfor etableres 9 basispunkter hvorav 5 i drag mellom de trigonometriske punktene Steinmannen og Liestøl. Ved utsetting av basispunkter ble disse markert med trestikker påsatt flagg som var satt 30 - 50 cm ned i snøen. Ved beregningene er det ikke tatt hensyn til brebevegelsen den tiden arbeidet varte.

Fra basispunktene ble det målt punktsvermer for å fange inn de forskjellige terrengformene. For de fem basispunktene med tilknytning gav beregningene feil i koordinatene og høyden tilsvarende 0.5 m, 1.0 m og 0.3 m i x, y og h respektive. De øvrige basispunkt er enten ført i blinddrag eller bestemt ved polar-målinger. Avstandene er målt toveis. Beliggenheten av punktene vises i fig.25.

2.3 Hellstugubreen

Målingene foregikk i perioden 4.-5. september 1982. Det ble delvis målt fra landfaste punkter som var etablert av NVE tidligere. Det hadde kommet nysnø slik at observasjoner i sprekksonene i høydeintervallene 1740 - 1810 m o.h. og 1850 - 1900 m o.h. måtte utelates av sikkerhetsmessige årsaker. Se fig.26. Det ble målt polart fra punktene 2-82, P4, P5 og HP. Oppstillingspunktene 2-82 og HP er nye og bestemt med henholdsvis tilbakeskjæring og polarmåling.

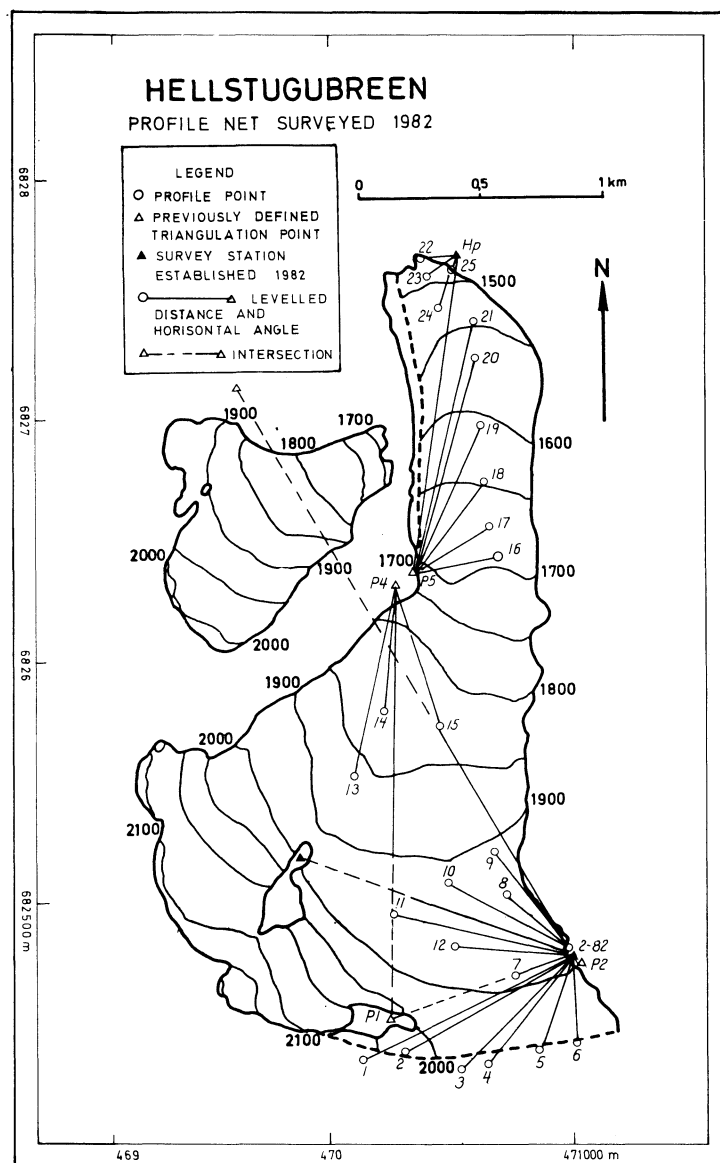


Fig.26 Breprofilering utført i 1982.

Profile net surveyed in 1982.

2.4 Gråsubreen

Det var skiftende skydekke, snøføyke og lav temperatur under arbeidet som ble utført i tiden 1.-2. september 1982. Det ble målt fra to oppstillinger, Tp4 og Hp 1. Se fig.27. Hjelpunktet måtte opprettes for å dekke breen ned mot Gråsubekken. Det ble målt tilbakeskjæring til en rekke varder, men det har ikke lyktes å finne en kombinasjon for beregning av høyde og posisjon. Derfor er måleresultatene ikke koordinatberegnet, men plottet grafisk.

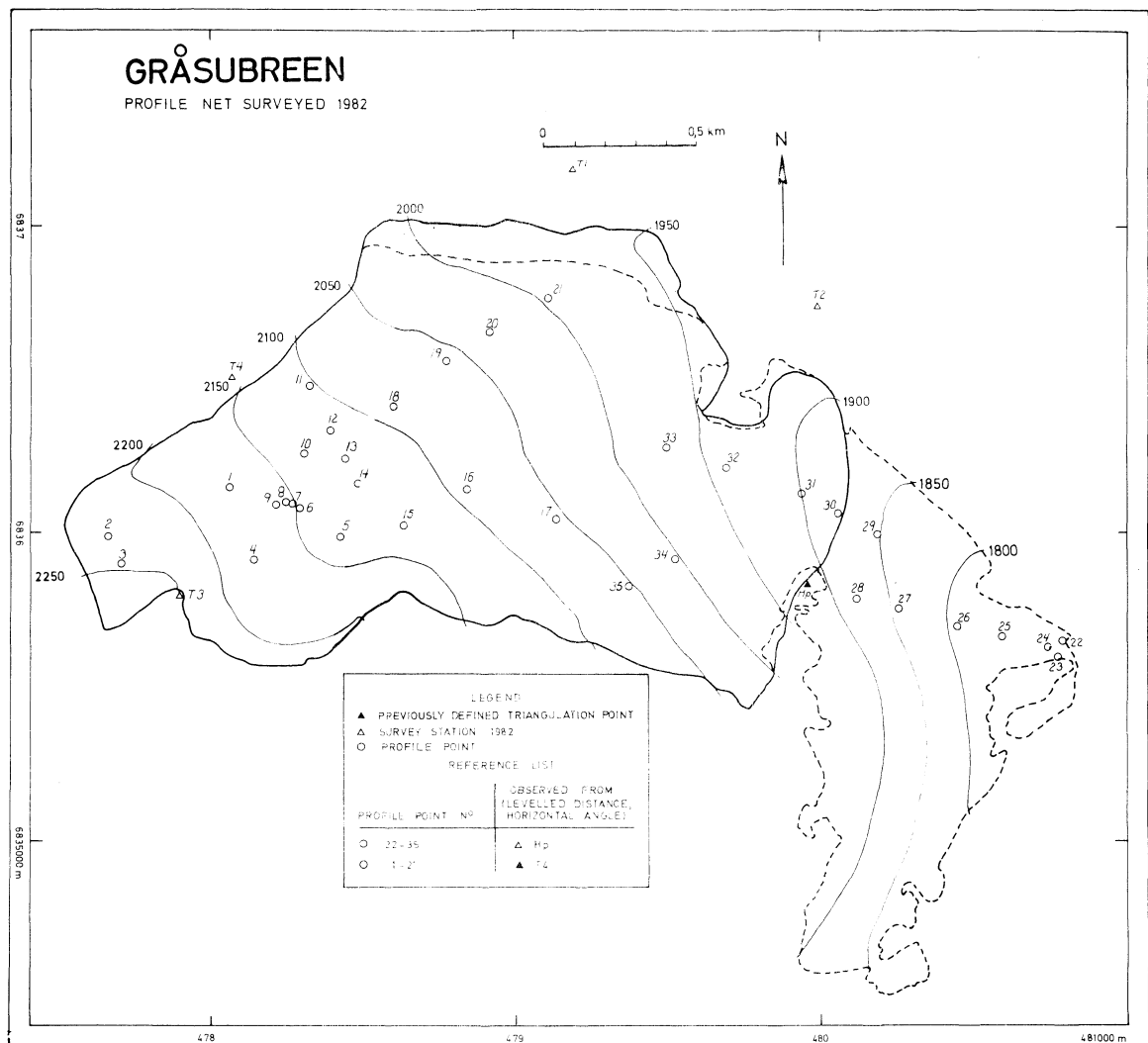


Fig.27 Breprofilering utført i 1982.

Profile net surveyed in 1982.

2.5 Engabreen

Målingene foregikk i tiden 19.-29. juli 1983. I området er det trekantpunkter etablert både av Norges Geografiske Oppmåling (NGO) og NVE. For våre profiler ble det målt 3 nye basispunkter. De øvre partier av breen ble dekket fra et nytt punkt på nunatakken Skjæret (1361 m o.h.). Dette ble innmålt polart fra Tp Snøtind (NGO).

Områdene mot Helgelandsbukken ble observert fra et nytt punkt ved Ettind (merket 1212 m o.h. på brekartet). Dette er innmålt fra Møsbruntuva (2 oppstillinger uten tilknytning).

Øvre del av brefallet ble målt fra Møsbruntuva. For å dekke høydeintervallet 950 - 1150 m o.h. måtte det etableres et nytt basispunkt helt ut på fjellkanten. Dette er målt inn polart fra ovenfornevnte punkt.

Bretunga ble observert fra Tp A (NVE). Så vel basispunkt som profilpunkt er målt polart. Noen angivelse av nøyaktigheten er vanskelig å gi, men oppgis til $\pm 0.6 - 1.0$ m i koordinatene x og y, samt $\pm 0.4 - 0.8$ m for høyden h. Punktene er plottet på kartet konstruert fra flybilder tatt i 1968. Det ble ikke gjort noen utførlig sammenligning med kartet da forskjellene lå innenfor usikkerheten både i kartgrunnlaget og feltmålingene. Beliggenheten av punktene er vist i fig.28.

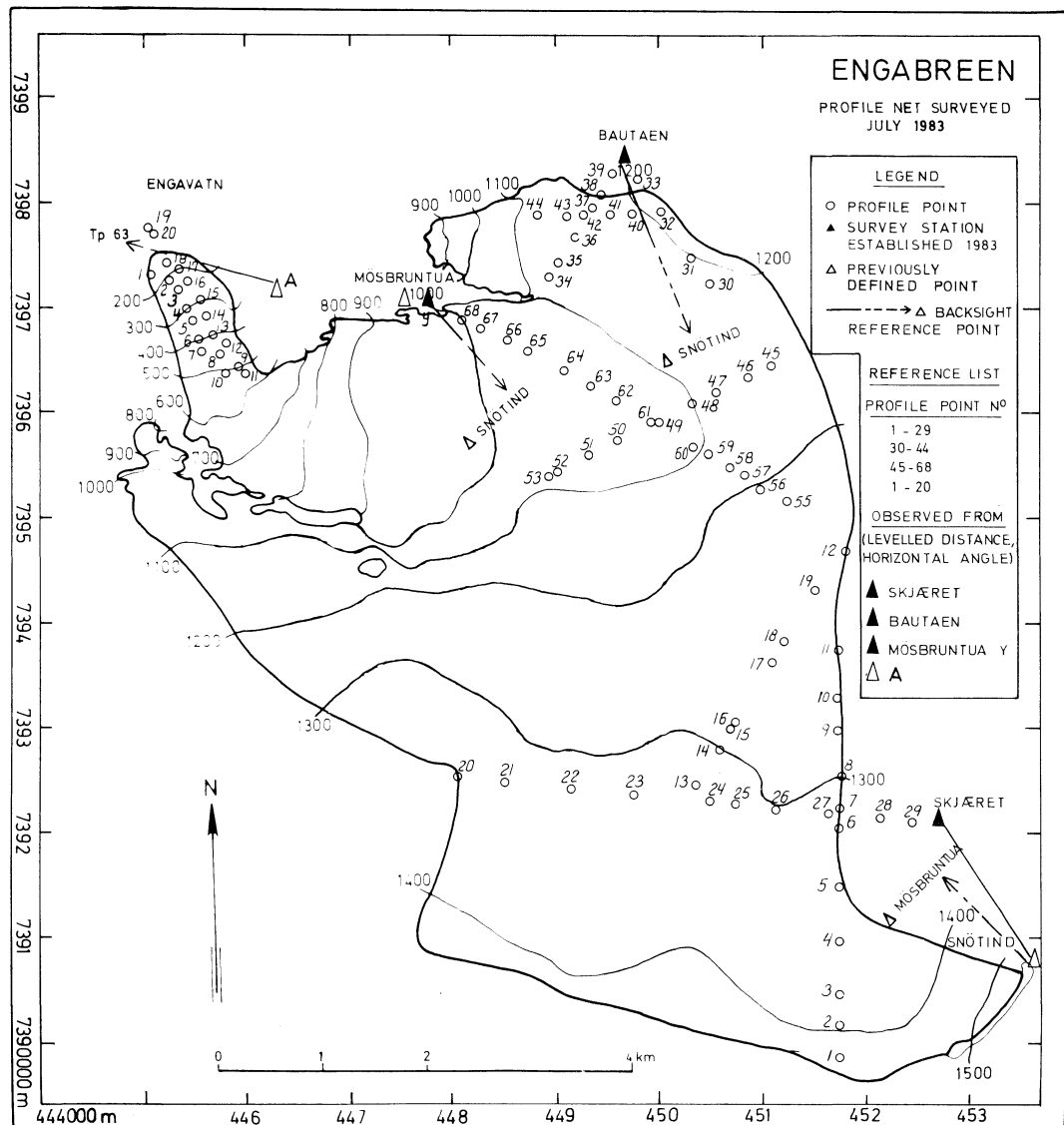


Fig.28 Breprofilering utført i 1983.

Profile net surveyed in 1983.

BREKART OVER SALAJEKNA

I fjellene øst for Sulitjelma ligger Suliskongen (1 909 m o.h.) omgitt av breer på alle kanter. Den største breen, Sulitjelma-isen, som bærer det samiske navnet SALAJEKNA, ligger både på svensk og norsk side av grensen. Dette har gjort at den er blitt flyfotografert oftere enn de fleste av våre breer. Både norske og svenske fotofly har tatt bilder av den flere ganger i de siste 30 år. Breen ble først fotografert av Widerøes Flyveselskap i samband med et større oppdrag for Sulitjelma Gruber i 1950, og dette er et av de aller tidligste flybildeopptak av en bre som eksisterer i Norge. Beliggenheten er vist i fig.29.

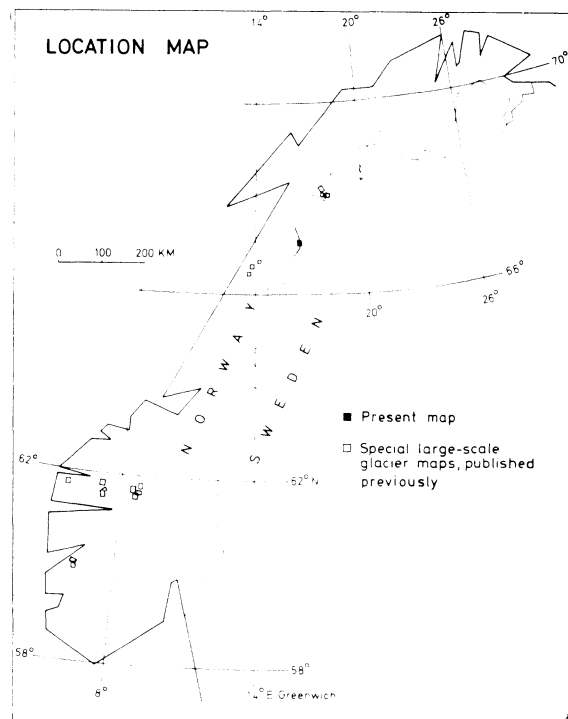


Fig.29 Oversiktskart som viser brekart utgitt av NVE. Kartet over Salajekna er angitt med svart rute.

Index map showing the location of glacier maps issued by the Norwegian Water Resources and Electricity Board. The new map of Salajekna is indicated by a black square.

Ved å benytte et utvalg av bilder tatt i tiden 1950-1982 har det vært mulig å konstruere fire kart over Salajekna. Disse kan brukes til å beregne den volum-messige bretilbakegang i området i perioder på ca 8-10 år. Fig.30 viser endringer i breoverflaten langs tre profiler i løpet av hele perioden. Minskingen vil tilsvare den økte vannføringen i nedenforliggende vassdrag. Et foreløpig overslag viser at 400 mill.m³ "ekstra" vann er tilført vassdraget i tiden 1950-82, tilsvarende 12 l/s km². Da normalavløpet i området er ca 60 l/s km² (iflg. isohydatkart), betyr altså isavsmeltingen et gjennomsnittlig årlig ekstra tillegg i avløpet på ca 20 prosent for de bredekte områdene.

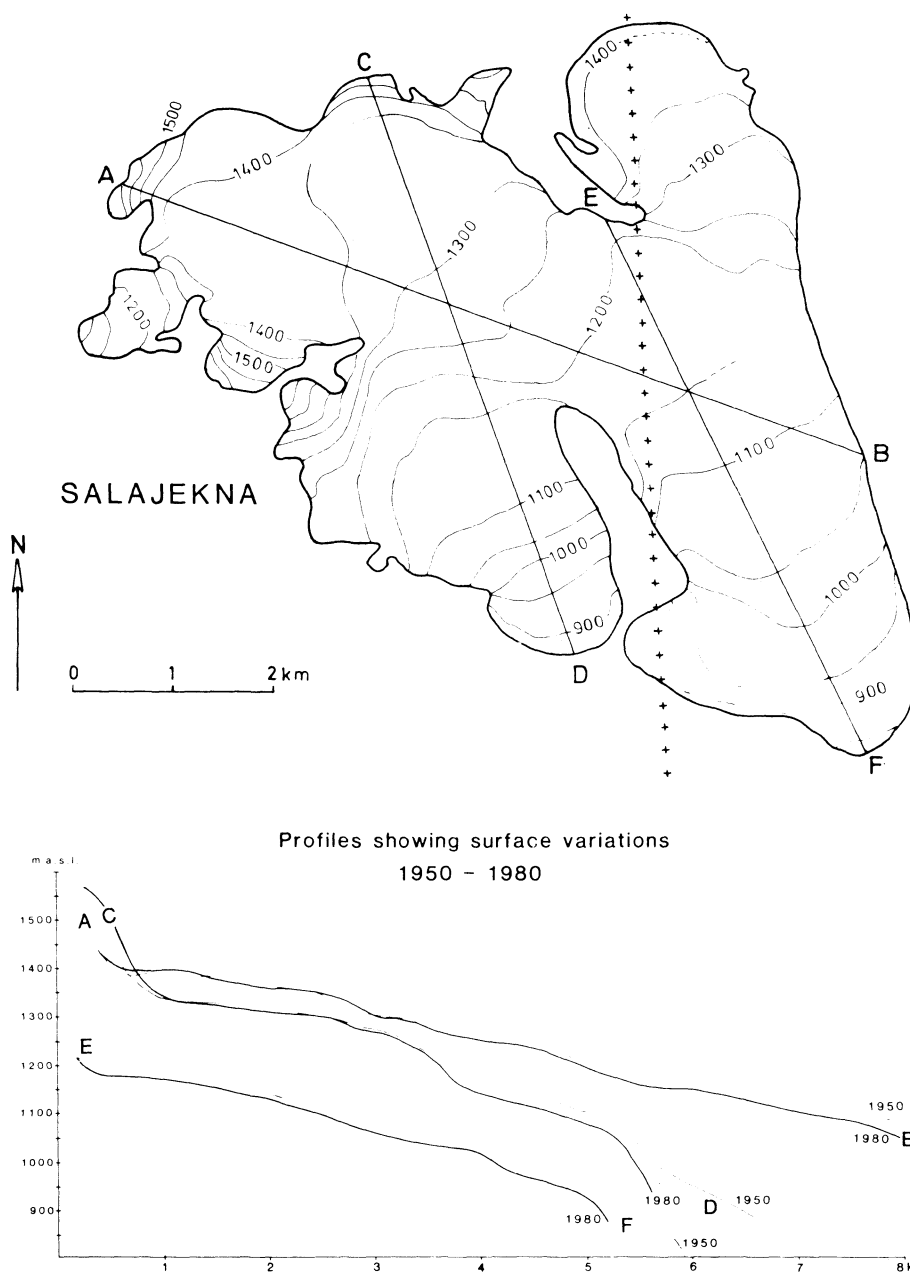


Fig.30 Profiler som viser at breen har øket i volum i øvre deler og minnet nedenfor 1350 m o.h. i tidsrommet 1950-80.

Profiles showing glacier mass increase in upper parts and shrinkage below 1350 m a.s.l. during the period 1950-80.

Det store kartet viser dagens situasjon, mens de små kartene viser utviklingen i etapper siden 1950. På baksiden er det samlet en del tilleggsinformasjon, bl.a. et par bilder av historisk interesse. Kartet er resultat av et samarbeid mellom Hydrologisk avdeling i NVE og Naturgeografiska Institutionen ved Stockholms Universitet. Dessuten har Statskraftverkene bidratt til fullføringen ved å bekoste konstruksjonen av 1950-kartet.

4. BRIMKJELEN

Bresjøen, som demmes opp av Tunsbergdalsbreen, ble besøkt av folk fra Hydrologisk avdeling i NVE 21. juni og 16. september i 1983. Ved begge besøkene var bresjøen fylt av isblokker, men var tom for vann. Se fig.31. I juni ble Brimkjelen bare observert fra helikopter mens man i september var nede i bunnen av den uttappede sjøen. Da rant elva i et nesten renspylt elveleie over en terskel ned under breen 25-30 m lavere enn øverste isfjell som lå igjen mellom sidemorenen og brekanten. Isblokkene var "gamle" pga. smelting, og rundt de største av dem lå det en liten morenevoll i en avstand av 1-2 m (fig.32). Noen strandlinje var ikke synlig i september.

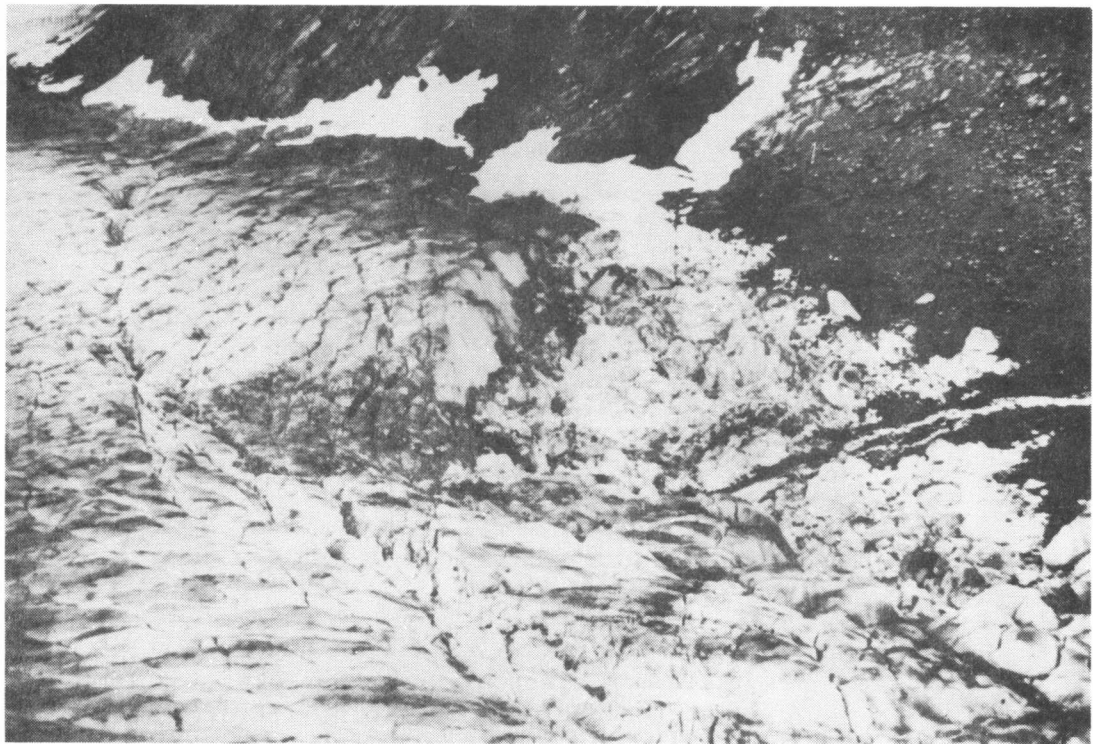


Fig.31 Brimkjelen fotografert fra helikopter 16.september 1983. Den bueformede bresprekken viser den bredemte sjøens subglasiale utstrekning før uttapping. (Foto: Erik Roland).

Brimkjelen photographed from helikopter 16 September 1983. The curved crevasse indicates the subglacial extent of the glacier-dammed lake. (Photo: Erik Roland).

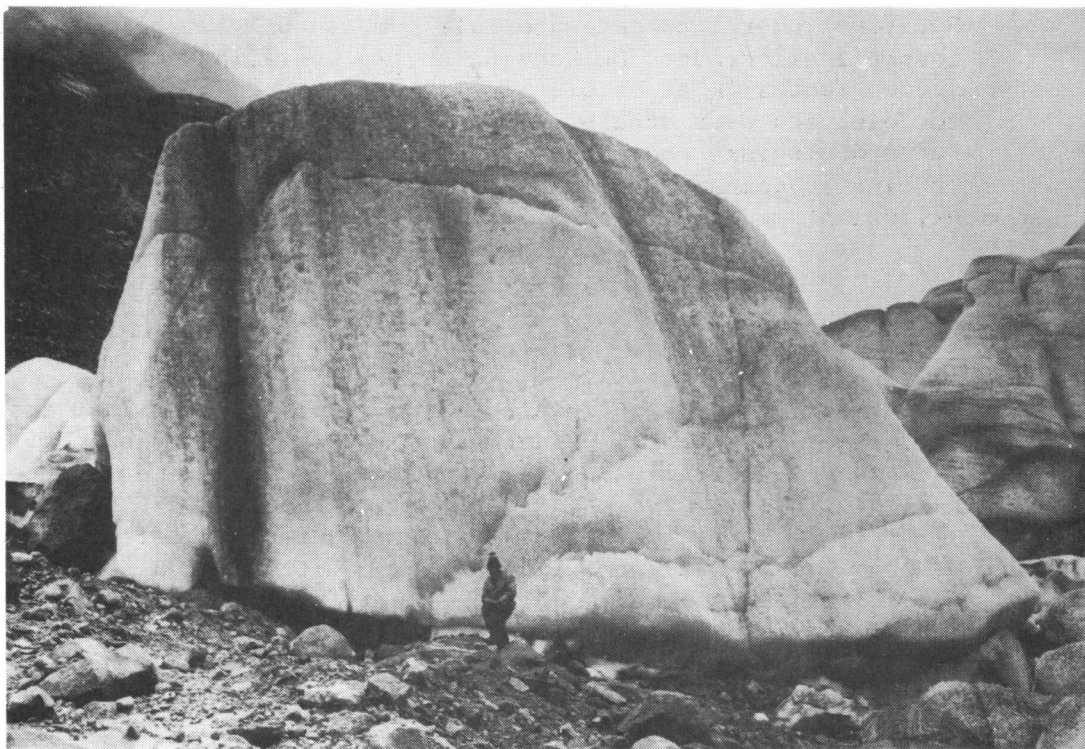


Fig.32 Isfjell nede i den uttappede Brimkjelen 16. september 1983.
(Foto: Erik Roland).

Iceberg on the bottom of the emptied Brimkjelen 16 September 1983. (Photo: Erik Roland).

På grunnlag av de øverste isfjellenes beliggenhet er det beregnet at en eventuell oppfylling i 1983 kan ha vært $1.6 \times 10^6 \text{ m}^3$ vann som sannsynligvis har blitt tappet ut i slutten av mai. Dette volumet tilsvarer en stigning i vannstanden på 20 cm ved høyeste regulerte vannstand i det omlag 8 km^2 store Tunsbergdalsmagasinet. Hvorvidt bresjøen har vært fylt og tømt i tidsrommet mellom besøkene denne sommeren kan det ikke sies noe om. Tidligere oppfyllinger og tømninger er omtalt bla. av Mottershead and Collin (1976).

Ved besøket i juni ble det konstatert at satellittsenderen som skulle overføre dataene fra den installerte trykkløseren for registrering av vannstanden i den bredemte sjøen, var fullstendig ødelagt. I september ble deler funnet i en 10-20 m smal sone på nordsiden av elven i retning ut botndalen opptil 450 m fra punktet hvor senderen var plassert. Årsaken er sannsynligvis en trykkbølge fra et snøskred innerst i botnen hvor det lå igjen snøfonner. Vinteren 1982-83 falt det store snømengder på Vestlandet. I tillegg til den havarerte senderen ble kabelen til trykksensoren funnet avsluttet nede i Brimkjelen. Trykkløseren lå antagelig begravd under isblokkene.

5. SNØFORDELING I HØYFJELLET I SYD-NORGE

5.1 Innledning

Det foreligger lite datamateriale som kan belyse snøfordelingen i norske fjellområder. De konvensjonelle snømålingene er de fleste steder lagt slik at de gir lite informasjon om hvorledes snødybden fordeler seg over arealet. Snøfordelingen er en viktig informasjon for hydrologiske modeller, opplegg av snøundersøkelser og kalibrering av gammametoden som benyttes til måling av snøens vann-ekvivalent med fly.

5.2 Metodikk

Prosjektet ble påbegynt vinteren 1982. Målingene er lagt opp som faste, merkede strekk, og det måles med stor nøyaktighet på samme punkter fra gang til gang. Avstanden mellom punktene varierer noe fra strekk til strekk, fra 10 til 50 m. Lengden på strekkene varierer fra 200 m til vel 1 km. Målingene utføres i feltene Borgund, Nore og Tysse. Det har i 1982 og 1983 blitt målt en gang pr. vinter ved slutten av snøakkumuleringen. En målerunde i et felt krever to personer i ei uke.

5.3 Årets målinger

Ved årets målinger var det pga. de store snømengdene problemer med lokaliseringen av enkelte strekk fordi noen av de oppsatte merkestengene var nedsnødd. I Borgund ble ett strekk ikke gjenfunnet. I gjennomsnitt var snødybden langs strekkene i 1983 0.85 m større enn i 1982 (fig.33).

I Tyssofeltet var merkestengene ved to strekk snødd ned. Fire av strekkene følger en kraftlinje. Av sikkerhetsmessige grunner måtte målingene langs disse parallellforskyves 10 m. Snødybden i Tyssofeltet var i gjennomsnitt 1.80 m større enn i 1982. Se fig.33.

I Norefeltet ble målingene utført etter noenlunde samme opplegg som i 1982. Snødybden langs strekkene var 1.15 m større enn fjorårets.

5.4 Rapportering

De innsamlede data er noe bearbeidet, men den endelige behandlingen av datamaterialet skal gjøres etter feltarbeidet i 1984. Det nyopprettede EDB-baserte snøarkiv skal brukes i dette arbeidet.

Prosjektet skulle vært avsluttet og ferdig rapportert i løpet av 1983, men pga. de svært store snømengdene dette året ble prosjektet utvidet med nok en målesesong. Sluttstrek ble satt i 1984/85 med rapportering (Johnsrud 1985).

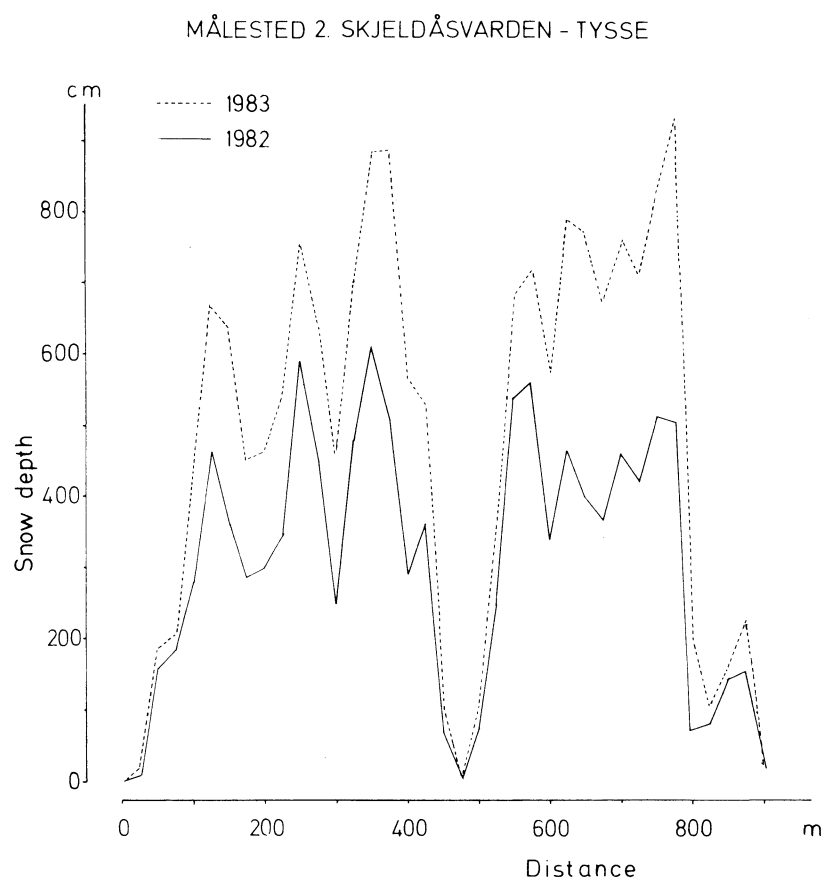
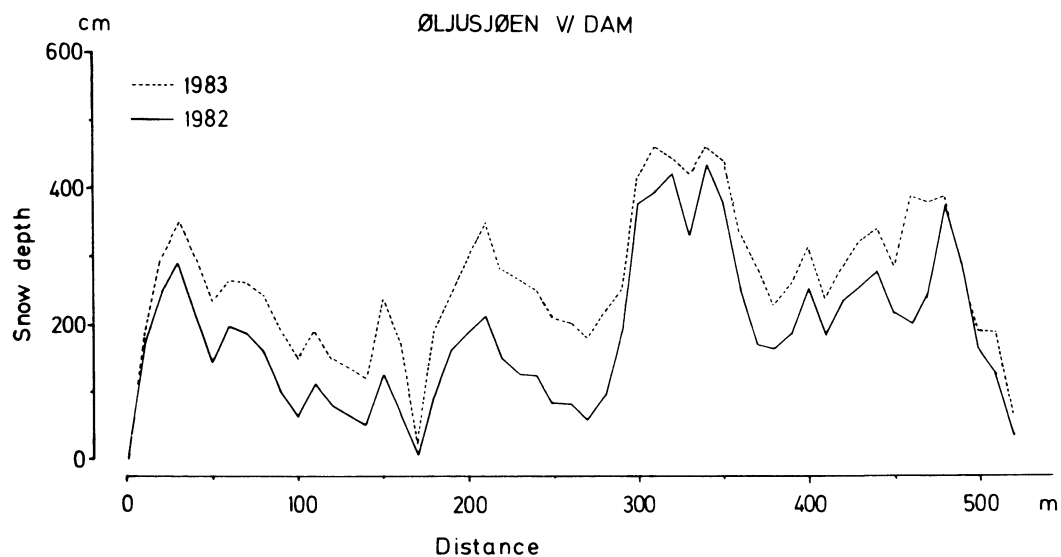


Fig.33 Snøfordelingen langs to strekk, ved Øljusjøen i Borgundfeltet og Skjeldåsvarden i Tyssofeltet. Legg merke til de store snødyp i Tysso.

Snow distribution along two courses at Lake Øljusjøen in the Borgund catchment and Skjeldåsvarden in the Tysso catchment. Note the considerable snow depths in Tysso.

6. MATERIALTRANSPORTUNDERSØKELSER VED NIGARDSBREEN

6.1 Innledning

Sommeren 1983 fortsatte materialtransportundersøkelsene ved Nigardsbreen. Som året før ble det installert en automatisk prøvetaker i elva ved innløpet av Nigardsvatn. Prøveflasker ble byttet en gang i uken samtidig som det ble tatt en manuell prøve.

Den automatiske prøvetakeren ble montert og satt i drift 7. juni ved innløpet til Nigardsvatn. Prøvetakeren var i drift fram til 28. september, ialt 114 døgn.

Bunntransporten av grovt materiale ble beregnet på samme måte som tidligere år ved at tilveksten på deltaet ble målt etter sommer-sesongen. Det er ikke foretatt meteorologiske observasjoner ved Nigardsvatn i 1983.

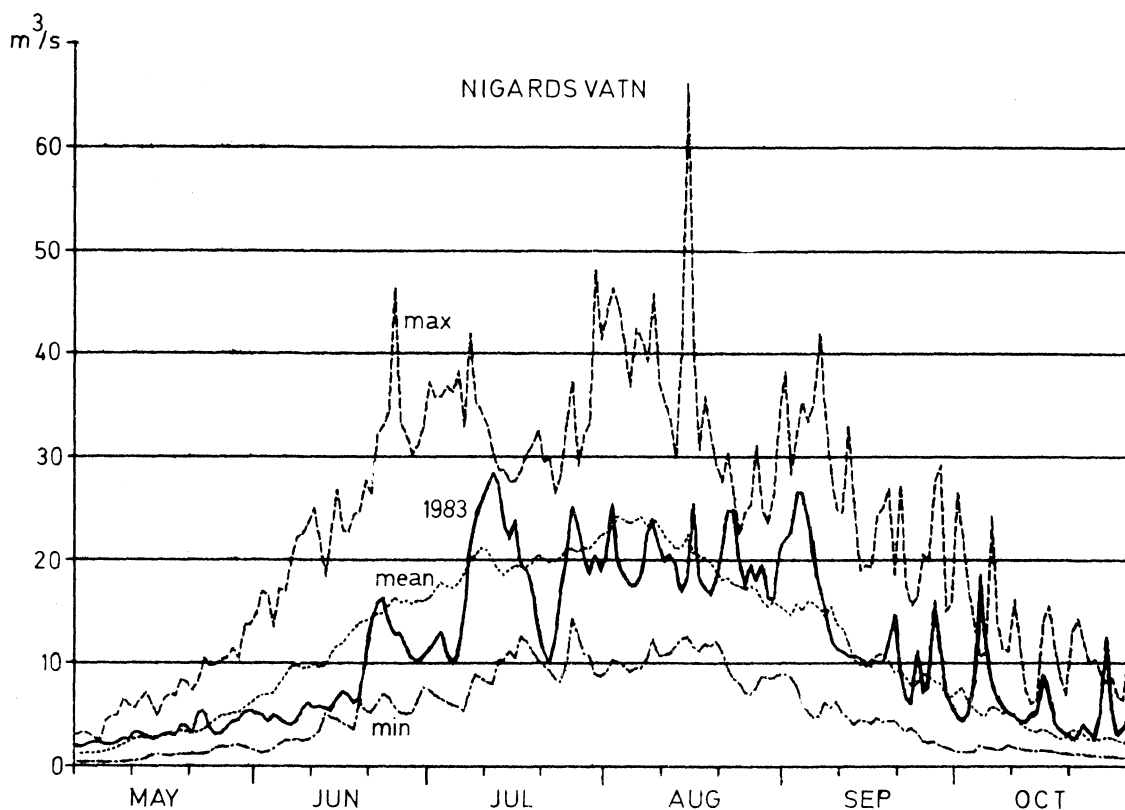


Fig.34 Døgnlig vassføring fra Nigardsvatnet i 1983 sammenlignet med ekstrem- og middelveidier for årene 1962-82.

Daily discharge from lake Nigardvatn in 1983 compared with extreme and mean values for the period 1962-82.

6.2 Vær- og vannføringsforhold

Nedbøren i vinterperioden var nær normal (DNMI 1982, 1983), mens sommertemperaturen var ca 1°C under normalen. Det falt mye nedbør i mai, lite i juni og juli og rundt normalt i august. I sum var nedbøren ca 79% av normalen.

Avrenningen var lavere enn gjennomsnittet for de siste 15 årene i juni og juli og nær middelveidien i august, se fig. 34. Det var ingen store flommer i 1983. Høyeste vannføring, 32.5 m/s, ble registrert den 12. juli kl 2200. Gjennomsnittlig høyeste flom de siste 20 årene er 44.0 m³/s.

Avløpet for perioden mai til oktober ble $184 \cdot 10^6 \text{ m}^3$, som er nær middelveidien for de siste 20 årene, $185.9 \cdot 10^6 \text{ m}^3$.

6.3 Resultater

Den samlede suspensjonstransporten inn i Nigardsvatn ble, ut fra prøvene tatt med den automatiske prøvetakeren, beregnet til ca 10 ganger større enn middelveidien for de 15 forutgående år. Dette høye tallet skyldes at innsugingsslangen til prøvetakeren ble montert feil i forhold til strømrretningen i elva.

For å kunne gjøre et overslag over suspensjonstransporten i 1983 ble det derfor satt opp en relasjon mellom avløp og suspensjonstransport for de 15 forutgående årene ved hjelp av regresjonsanalyse. Dataene står i tab. 7. Det viste seg at en funksjon på formen $G_s = aQ^b$, der G_s er suspensjonstransporten, Q avløpet og a og b konstanter, ga den beste tilpasningen. Det ble etablert ligninger for hver av månedene juni, juli og august, samt en for alle tre månedene samlet. Disse er:

$$\begin{aligned} \text{Juni} & : G_s = 35.5 \cdot Q^{1.17} \\ \text{Juli} & : G_s = 13.7 \cdot Q^{1.38} \\ \text{August} & : G_s = 8.6 \cdot Q^{1.43} \\ \\ \text{Juni-August} & : G_s = 6.4 \cdot Q^{1.45} \end{aligned}$$

Fig. 35 viser ligningene plottet i et dobbelt logaritmisk diagram. Korrelasjonskoeffisienten, $r_{\log x, \log y}$, varierte mellom 0.78 og 0.85 for disse relasjonene.

Regresjonsligningen for disse månedene samlet gir en slamtransport på ca 7000 tonn ut fra et avløp på $125 \cdot 10^6 \text{ m}^3$ i perioden juni-august. Fra januar til og med mai var avløpet $12 \cdot 10^6 \text{ m}^3$ hvorav omlag $8 \cdot 10^6 \text{ m}^3$ kom i mai. Dette vil anslagsvis tilsi en suspensjonstransport på ca 500 tonn. Fra september og ut året var totalavløpet på $50 \cdot 10^6 \text{ m}^3$, hvorav $33 \cdot 10^6 \text{ m}^3$ i september. Dette vil tilsvarende gi en slamtransport på ca 2000 tonn. Den totale suspensjonstransporten for 1983 blir dermed anslått til 9500 tonn som er ca 90% av gjennomsnittet de 16 siste årene.

År	Juni		Juli		August		Juni-August	
	Avløp	Susp. transp.	Avløp	Susp. transp.	Avløp	Susp. transp.	Avløp	Susp. transp.
	10^6 m^3	tonn	10^6 m^3	tonn	10^6 m^3	tonn	10^6 m^3	tonn
1968	25.7	750	45.2	2400	50.9	2150	121.8	5300
69	41.8	3800	57.4	4900	82.8	5050	182.0	13750
1970	52.4	5000	54.5	3400	61.5	4150	168.4	12550
71	18.2	900	40.7	2650	39.4	1600	98.3	5150
72	33.8	3100	67.4	4550	54.8	3450	156.0	11100
73	21.0	1600	75.6	5450	44.0	1550	140.6	8600
74	21.3	1350	30.2	1300	31.4	1400	82.9	4050
75	6.2	400	42.9	3350	61.3	3300	110.4	7050
76	27.7	2850	64.6	5200	47.3	2800	139.6	10850
77	25.3	1600	53.1	2950	54.2	1950	132.6	6500
78	30.3	1550	54.8	2650	70.6	2700	155.7	6900
79	36.4	2700	45.5	2150	64.9	12550	146.8	17400
1980	50.2	3250	67.0	3750	64.4	2800	181.6	9800
81	23.9	700	53.8	2750	43.1	1200	120.8	4650
82	21.5	1050	56.1	3250	56.6	2550	134.2	6850
Middel	29.1	2040	53.9	3380	55.1	3280	138.1	8700
St.avvik	11.9	1290	11.4	1150	12.7	2680	27.7	3690
Var.koeff.	0.41	0.63	0.21	0.34	0.23	0.82	0.20	0.42
1983	23.4	1400*	49.9	3050*	54.2	2600*	127.5	7050

* Beregnet med regresjonsligningene.

Tab. 7 Avløp og suspendert materialtransport fra Nigardsbreen i sommermånedene 1968-83.

Monthly discharge and suspended sediment transport in June, July, and August 1968-83. The figures from 1983 are calculated from regression analysis.

Pålagringen på deltaet ved innløpet til Nigardsvatn ble i begynnelsen av november 1983 målt ved opplodding og nivellering etter de samme profilene som tidligere. Etter årets oppmåling er det beregnet en pålagring på 3400 m^3 eller ca 6800 tonn. Gjennomsnittet for 16 års målinger er 10 200 tonn.

Under forutsetning av at mesteparten av denne pålagringen består av grovere materiale, vil det si at bunntransporten i 1983 utgjorde ca 42% av den totale materialtransporten (se neste avsnitt). Gjennomsnittet for de siste 16 år er 47%.

Den totale materialtransporten fra Nigardsbreen i 1983 blir ut fra dette 16 300 tonn. Dette er 78% av gjennomsnittet for de siste 16 årene og tilsvarer en erosjon av et 0,13 mm tykt lag av fjellet jevnt fordelt under breen.

NIGARDSVATN

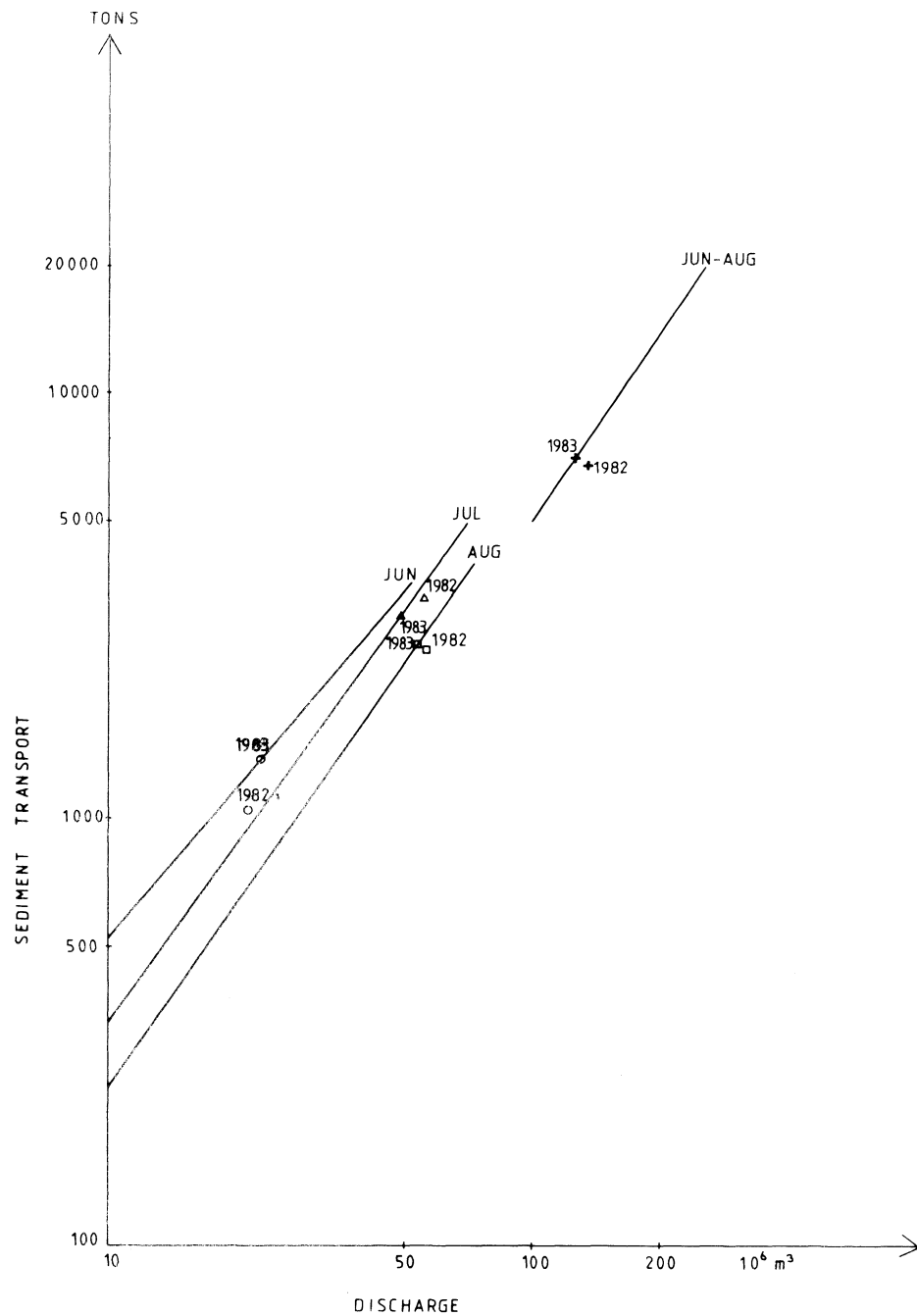


Fig.35 Forholdet mellom månedlig slamtransport og avløp uttrykt ved lineære regresjonslinjer i et dobbellogaritmisk diagram. Resultater fra 1982 og estimer for 1983 er angitt.

The relation between monthly sediment transport and discharge shown as linear regression lines in a double logarithmic diagram. Results from 1982 and estimates for 1983 are indicated.

Fig.36 viser siste års pålagring. Det viser samme mønster som i tidligere år. Den største ansamlingen av materiale skjer umiddelbart utenfor deltakanten der breelvas hovedløp løper ut i vatnet. Breelva har nå i en årrekke hatt sine hovedløp langs nordsiden av deltaet. Her har da deltaet bygget seg over 100 meter ut i vatnet. I tillegg avsettes finere masser lenger ut i vatnet, og flere grunner er nå synlig ved lav vannstand.

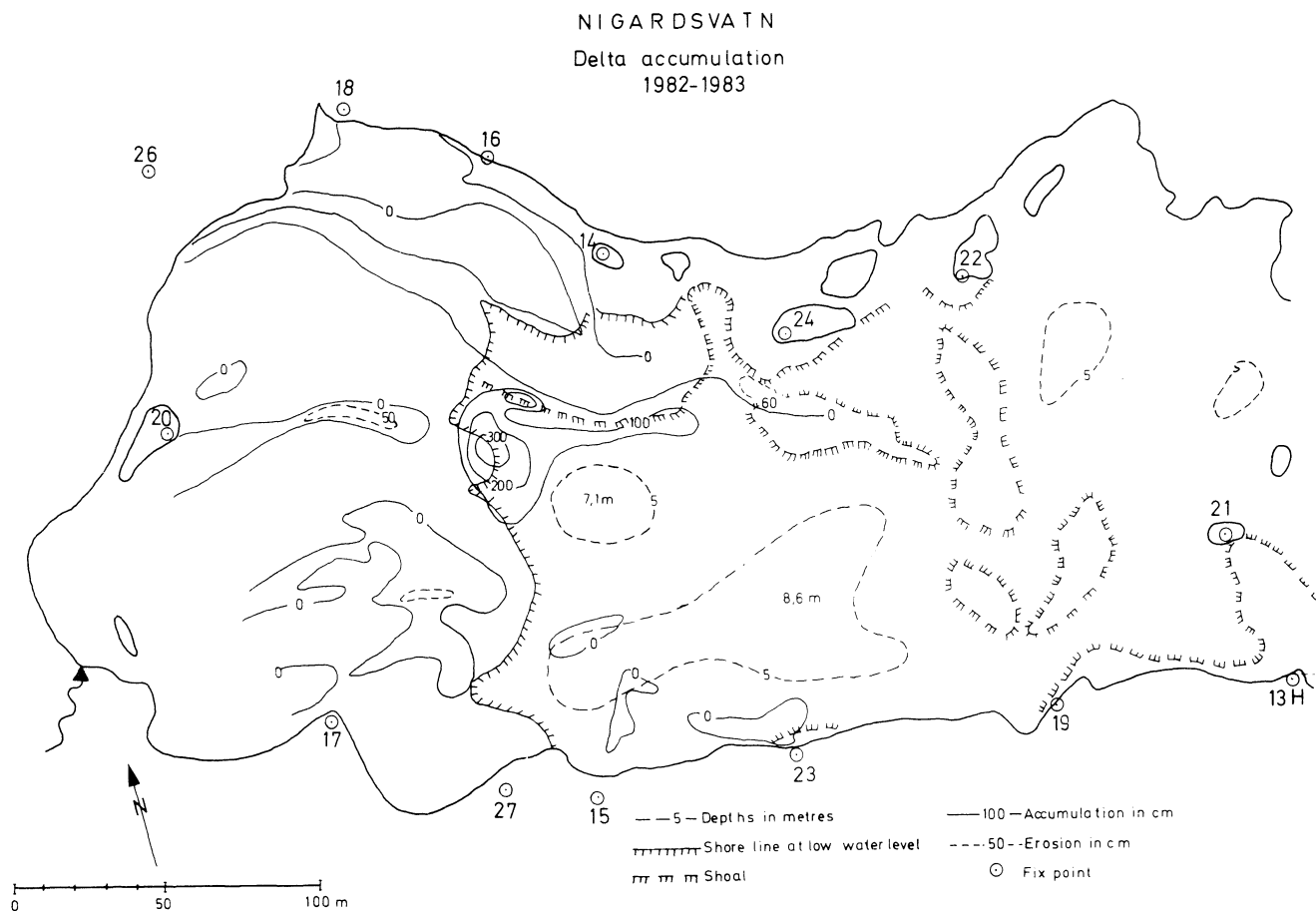


Fig.36 Akkumulasjon og erosjon fra 1982 til 1983 på deltaet som elva fra Nigardsbreen legger opp i Nigardsvatnet.

Accumulation and erosion from October 1982 to October 1983 on the delta deposited by the glacier stream from Nigardsbreen.

Det finnes to dypere partier i det innerste bassenget på henholdsvis 7.1 og 8.6 meter. Se fig.37. Opprinnelig var begge disse over 10 meter dype. Om pålagringen fortsetter som den har gjort de siste 16 årene vil det ta ca 15 år før det innerste bassenget innenfor grunnene er gjenfylt.

NIGARDSVATN, inner basin Long profiles

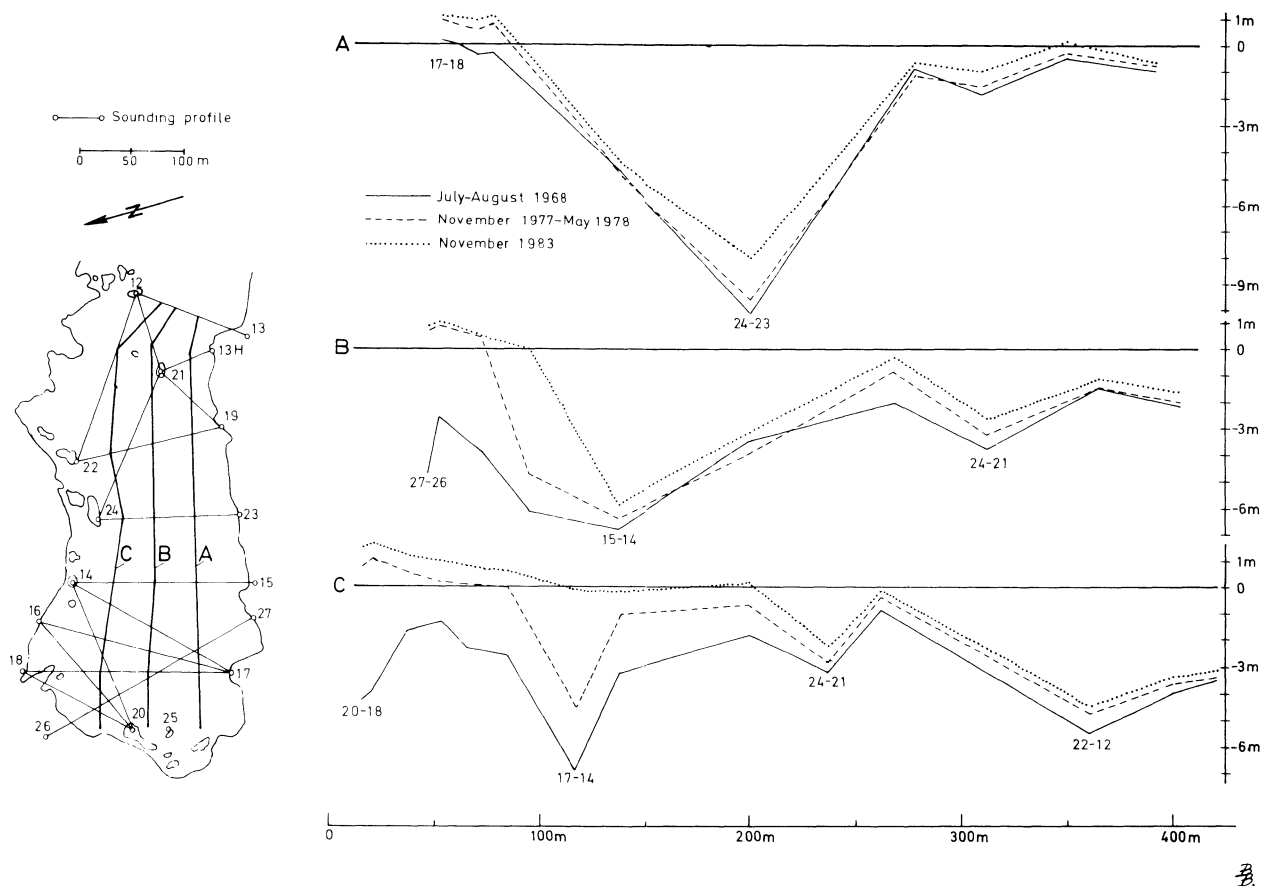


Fig.37 Tre lengdeprofiler i innerste basseng av Nigardsvatnet som ble nivellert og opploddet i 1968, 1977-78 og 1983. Profilenes plassering er vist på figuren til venstre.

Three long profiles at inner basin of Lake Nigardsvatn levelled and plumbed in 1968, 1977-78 and 1983. The sketch on the left shows the position of the profiles.

6.4 Vurdering av årets resultater

Målingen av suspensjonstransporten i 1983 ved hjelp av en automatisk prøvetaker gav åpenbart feil resultater. Slamtransporten måtte derfor beregnes på grunnlag av data for de siste 16 årene med utgangspunkt i avløpstallene for i år. Tar vi korrelasjonskoeffisienten for ligningene i betraktning, er nok usikkerheten i resultatet større enn vanlig. Imidlertid er det momenter som skulle tilsi at det beregnede resultat er akseptabelt. Vassføringen holdt seg

stabil uten store flommer gjennom hele sommersesongen. Riktignok kom det et par relativt store flommer i slutten av september og begynnelsen av oktober, men disse kom på et tidspunkt av året som vanligvis ikke har blitt dekket ved manuell prøvetaking og som heller ikke omfattes av regresjonsanalysen. Forholdet mellom den beregnede suspensjonstransporten og bunntransporten stemmer dessuten godt overens med tidligere års forholdstall.

7. ENGLISH SUMMARY

7.1 Mass balance, meteorological and hydrological investigations

Mass balance has been measured at 26 glaciers in Norway during the last 35 years, most of them for a period of 5-6 years. In 1983 the mass balance was measured at Ålfotbreen, Hardangerjøkulen, Nigardsbreen, Storbreen, Hellstugubreen and Gråsubreen in southern Norway, and at Engabreen in northern Norway. The geographical position of these glaciers is shown in Fig. 1.

Detailed observations of the mass balance are very time consuming and expensive. In order to maintain the station net, it has become an absolute necessity to simplify the measurements and calculations. A statistical analysis of previous years' data sets for accumulation and ablation proved that an acceptable accuracy could be obtained from simplified measurements. Thus far fewer observations were made on each glacier this year. The numbers of measured snowdepths, density and ablation points are shown in Table 1 and 2. For the ice caps, measurements are now only made on the plateau. The balance curves down to lower elevations are extrapolated according to previous years' gradients.

At one station meteorological data are sampled every hour during the ablation season, using an automatic datalogger. Discharge measurements are taken in rivers or lakes downstream the glaciers. The general meteorological conditions are summarized in Fig. 2.

At Ålfotbreen the total winter balance was 4.79 m of water equivalent. This is the highest winter balance ever recorded there since the measurements started in 1963. It was 142 % of the mean for the period 1963-83. The summer balance was 3.19 m w.eq. which is slightly below normal. This resulted in a positive net balance of 1.6 m w.eq. The results are given in Figs. 3 and 4. The discharge and related meteorological observations are drawn in Fig. 5 and Table 3.

At Nigardsbreen the total winter balance was 3.02 m w.eq. This is 136 % of the mean value for the period 1962-83. The summer balance was 1.93 m w.eq. This is 97 % of the mean for the measured period, and resulted in a positive net balance of 1.09 m w.eq. Fig. 6 shows the balances related to elevation. Fig. 7 and Table 4 summarize meteorological and discharge data.

Hardangerjøkulen also had its highest winter balance ever since the measurements started in 1963, 3.75 m w.eq. A near normal summer balance of 2.05 m w.eq. gave a positive net balance of 1.7 m w.eq. (Fig. 8).

Storbreen had 1.9 m w.eq. in measured winter balance, which is the maximum measured since the first winter 1948-49. A normal summer balance of 1.7 m w.eq. gave a positive net balance of 0.2 m w.eq. (Fig. 9). This glacier has had a total loss of approximately 10 m w.eq. since 1948 (Fig. 10), which has added a mean of 9 l/s of water per km² to the river per year.

At Hellstugubreen a winter balance of 1.47 m w.eq. was measured, which is one of the highest recorded here and 136 % of the mean for the 1962-83 period. The summer balance was 1.30 m w.eq. and the positive net balance 0.17 m w.eq. (Figs. 11 and 12). During the 22 years of measurements only five were positive and the total loss is approximately 7 m w.eq.

The markedly continental Gråsubreen also had a high winter balance, amounting to 0.94 m w.eq. However a summer balance of 0.99 m w.eq., which is 95 % of the mean, gave a slightly negative net balance (Fig. 13 and 14). The accumulated loss since 1962 is more than 7 m w.eq.

Contrary to southern Norway, the glaciers in northern Norway received very little precipitation during the winter. Engabreen had only 79 % of the mean for the period 1970-83, which gave a winter balance figure of 2.34 m w.eq. However a cool summer resulted in a low summer balance of only 1.28 m w.eq. and a positive net balance of 1.06 m w.eq. (Figs. 15 and 16). The discharge figures are summarized in Fig. 17 and Table 5.

The winter of 1982-83 gave exceptional amounts of snow on the glaciers in southern Norway. Hardangerjøkulen received approximately 190 % of the mean for the period 1963-83, and the others between 135 and 140 %. For the same glaciers the summer balances were 90-100 % of the mean. This resulted in a heavy mass surplus for the maritime glaciers in western Norway, where 30-50% of the accumulation remained on the glaciers at the end of the summer. In the continental Jotunheimen area most glaciers showed a small positive balance, except for Gråsubreen which was slightly negative.

Since 1962 most maritime glaciers in southern Norway have maintained equilibrium conditions or had an increase in volume. This is mainly due to high winter precipitation, which compensated summer temperatures generally higher than normal in southern Norway. In the continental parts, where the winter precipitation has been more normal and the summer temperature is of more significance for the net balance, the glaciers have experienced a general decrease during this period.

At Engabreen in northern Norway the measurements since 1968 show that the glacier has increased by more than 11 m w.eq.. This resulted in a forward movement of the glacier tongue which is now only a few metres above the Engavatn lake (7 m a.s.l.). The reason for this is considerably more winter precipitation and somewhat lower summer temperatures than normal. Detailed results are given in Figs. 18, 19, 20, 21 and 22 and Table 6.

7.2 Glacier surface profiling.

In order to obtain reference data on the long term mass balance measurements, a number of reference points were measured geodetically on several glaciers. These points are shown on Figs. 23-28 for the respective glaciers. We plan to remeasure these points periodically.

7.3 Salajekna glacier map.

Fig.29 gives the location of the new map, which covers a glacier in an area where very little was known about glacier variations. The map is enclosed with this report and details on its construction are given on the reverse side. Fig. 30 shows the changes in surface profiles between 1950 and 1980, and a rough calculation gives a net decrease of $400 \cdot 10^6 \text{ m}^3$ water during these 30 years. This means that the melting glacier has introduced an extra 20 % discharge into the river during this period. The map is a result of a co-operation between NVE and the University of Stockholm.

7.4 Glacier dammed lake Brimkjelen.

The lake, which is dammed by the glacier Tunsbergdalsbre in the Jostedal area, was visited on June 21st and Sept. 16th. During both visits the lake was empty, but ice blocks showed that the lake had been filled up earlier that summer (Figs. 31 and 32). A rough calculation gives a volume of $1.6 \cdot 10^6 \text{ m}^3$ water that most probably had been drained by the end of May.

An effort to monitor the lake by means of an automatic data sampler was stopped when the air pressure wave from a snow avalanche ripped the instrumentation away and crushed it.

7.5 Snow distribution in high mountain areas in southern Norway.

Very few data sets exist that can provide information about the snow distribution in the Norwegian mountain areas. A special project to find out more about on the snow distribution was established in the three catchments Borgund, Nore and Tysse in 1982. These were also measured in 1983 and some of the results are given in Fig.33; more results are available in a special report published in 1985 (Johnsrud 1985).

7.6 Sediment transport studies in front of Nigardsbreen.

An automatic water sampler was used to take regular samples of the suspended sediments in the meltwater river. A manual sample was taken every week as a check. When processing the data from the automatic sampler, the sediment load proved to be approximately 10 times higher than the mean for the 15 previous years. This was obviously wrong and is believed to be due to the position of the sampler's water intake in the river. In order to estimate the suspended sediment transport in 1983, a regression analysis was made of 15 years of discharge and sediment transport data. The total suspended transport in 1983 was thereby calculated to 9 500 tons. The bottom load was measured in the field by levelling fixed profiles across the delta in Nigardsvatn, and calculated to 6 800 tons. Figs. 34-37 and Table 7 present the detailed data.

8. LITTERATUR

DNMI

1982: Klimatologisk månedsoversikt 1982. Det Norske Meteorologiske Institutt.

1983: Klimatologisk månedsoversikt 1983. Det Norske Meteorologiske Institutt.

Johnsrud, M.

1985: En undersøkelse av snøfordelingen i tre sør-norske høyfjellsfelt. Hydrologisk avdeling, Norges vassdrags- og elektrisitetsvesen. Oppdragsrapport nr 4/85, 42 p.

Liestøl, O.

1984: Glaciological work in 1983. - Norsk Polarinst. Årbok 1983, p. 35-45.

Mottershead, D.N. and Collin, R.L.

1976: A study of glacier-dammed lakes over 75 years - Brimkjelen, southern Norway. Journal of Glaciology, Vol. 17, No. 77, p. 491-505.

Roland, E. og Haakensen, N. (eds.)

1985: Glasiologiske undersøkelser i Norge 1982. Hydrologisk avdeling, Norges vassdrags- og elektrisitetsvesen. Rapport nr 1/85, 102 p. (English summary).

APPENDIX

Tabellene nedenfor viser fordelingen av massebalansen med høyden over havet på breene som måles av NVE. Beregningsgrunnlaget er vist i kap. 1.2.

ÅLFOTBREEN 1983

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
1350-1380	0.27	1.32	4.90	155	0.61	2.25	71	0.71	2.65	84
1300-1350	1.01	5.06	5.01	159	2.53	2.50	79	2.53	2.51	80
1250-1300	0.81	4.01	4.95	157	2.27	2.80	89	1.74	2.15	68
1200-1250	0.76	3.62	4.77	151	2.37	3.12	99	1.25	1.65	52
1150-1200	0.65	3.04	4.67	148	2.25	3.46	110	0.79	1.21	38
1100-1150	0.55	2.55	4.63	147	2.07	3.77	120	0.48	0.86	27
1050-1100	0.36	1.65	4.58	145	1.45	4.04	128	0.20	0.54	17
1000-1050	0.22	0.96	4.35	138	0.94	4.29	136	0.02	0.06	2
950-1000	0.13	0.58	4.47	142	0.59	4.53	144	-0.01	-0.06	-2
900-950	0.05	0.24	4.78	152	0.24	4.72	150	<0.01	0.06	2
870-900	0.01	0.05	4.98	158	0.05	4.78	152	<0.01	0.20	6
870-1380	4.82	23.08	4.79	152	15.37	3.19	101	7.71	1.60	51

NIGARDSBREEN 1983

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
1900-1960	0.31	1.24	4.00	127	0.22	0.70	22	1.02	3.30	105
1800-1900	3.93	15.33	3.90	124	3.14	0.80	25	12.19	3.10	99
1700-1800	9.35	34.13	3.65	116	9.82	1.05	33	24.31	2.60	83
1600-1700	12.76	41.47	3.25	103	17.86	1.40	44	23.61	1.85	59
1500-1600	9.62	27.42	2.85	90	18.28	1.90	60	9.14	0.95	30
1400-1500	6.12	15.30	2.50	79	14.99	2.45	78	0.31	0.05	1
1300-1400	2.18	4.91	2.25	71	6.54	3.00	95	-1.63	-0.75	-24
1200-1300	0.88	1.80	2.05	65	3.12	3.55	113	-1.32	-1.50	-48
1100-1200	0.44	0.84	1.90	60	1.83	4.15	132	-0.99	-2.25	-72
1000-1100	0.54	0.92	1.70	54	2.54	4.70	149	-1.62	-3.00	-95
900-1000	0.45	0.70	1.55	49	2.41	5.35	170	-1.71	-3.80	-121
800-900	0.47	0.66	1.40	44	2.84	6.05	192	-2.18	-4.65	-148
700-800	0.31	0.39	1.25	40	2.12	6.85	217	-1.73	-5.66	-177
600-700	0.38	0.40	1.05	33	2.93	7.70	244	-2.53	-6.65	-211
500-600	0.26	0.21	0.80	25	2.22	8.55	271	-2.01	-7.75	-246
400-500	0.14	0.07	0.50	16	1.35	9.65	306	-1.28	-9.15	-290
300-400	0.06	0.01	0.20	6	0.64	10.70	339	-0.63	-10.50	-333
300-1960	48.20	145.80	3.02	96	92.85	1.93	61	52.95	1.09	35

HELLSTUGUBREEN 1983

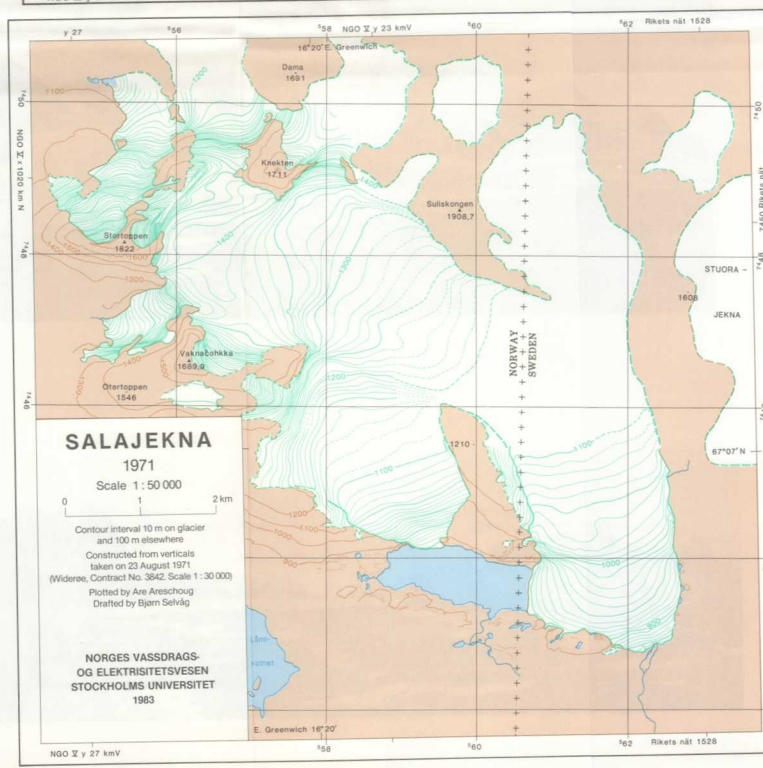
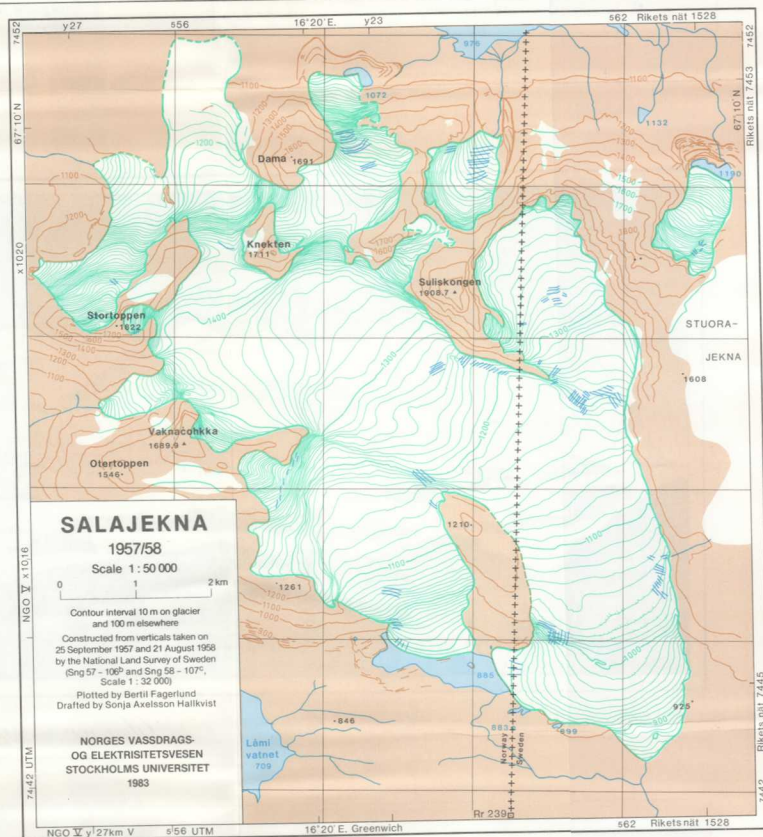
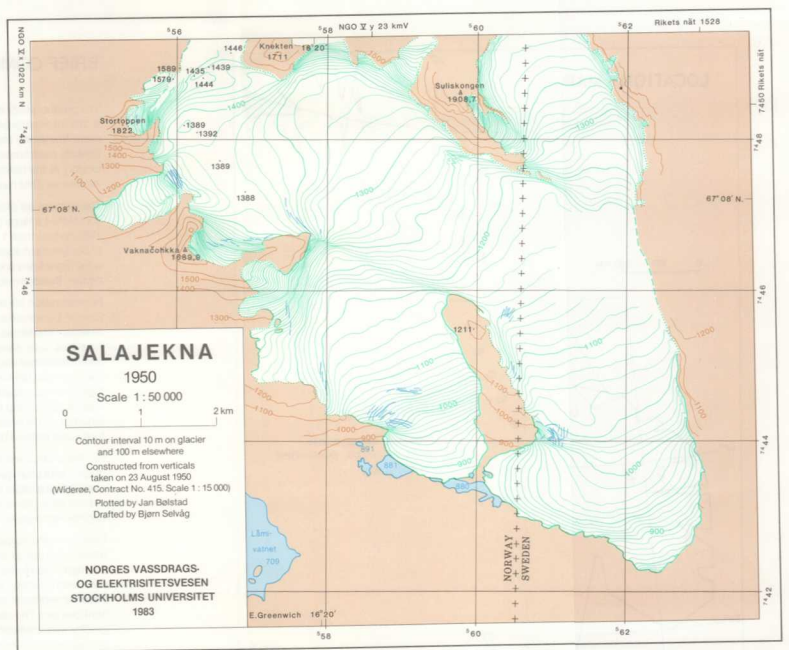
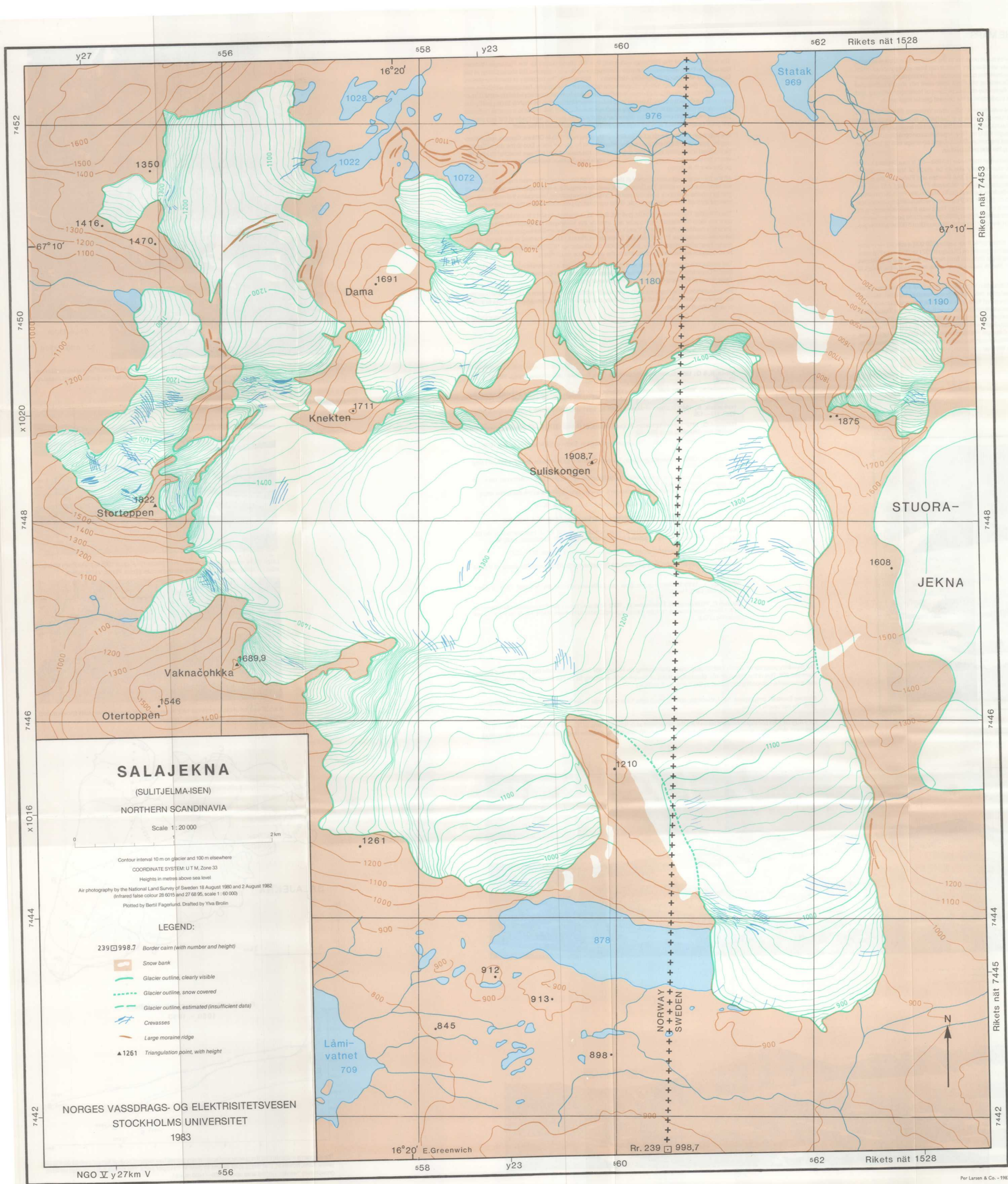
Høyde intervall m o.h.	Areal S km ²	Vinterbalanse			Sommerbalanse			Nettobalanse		
		B _w	b _w		B _s	b _s		B _n	b _n	
		10 ⁶ m ³	m	1/s km ²	10 ⁶ m ³	m	1/s km ²	10 ⁶ m ³	m	1/s km ²
2150-2200	0.020	0.04	2.00	63	0.01	0.52	16	0.03	1.48	47
2100-2150	0.084	0.17	2.02	64	0.04	0.53	17	0.13	1.49	47
2050-2100	0.252	0.49	1.94	62	0.15	0.61	19	0.34	1.33	43
2000-2050	0.173	0.32	1.85	59	0.13	0.77	24	0.19	1.08	35
1950-2000	0.351	0.58	1.65	52	0.31	0.89	28	0.27	0.76	24
1900-1950	0.599	0.86	1.44	46	0.59	0.98	31	0.27	0.46	15
1850-1900	0.351	0.53	1.51	48	0.41	1.18	37	0.12	0.33	11
1800-1850	0.326	0.46	1.41	45	0.45	1.37	43	0.01	0.04	2
1750-1800	0.141	0.19	1.35	43	0.23	1.65	52	-0.04	-0.30	-9
1700-1750	0.098	0.13	1.33	42	0.17	1.77	56	-0.04	-0.44	-14
1650-1700	0.163	0.19	1.17	37	0.32	1.98	63	-0.13	-0.81	-26
1600-1650	0.130	0.15	1.15	37	0.29	2.20	70	-0.14	-1.05	-33
1550-1600	0.173	0.18	1.04	33	0.43	2.46	78	-0.25	-1.42	-45
1500-1550	0.093	0.08	0.86	27	0.26	2.75	87	-0.18	-1.89	-60
1450-1500	0.027	0.02	0.74	23	0.08	2.97	94	-0.06	-2.23	-71
1450-2200	2.981	4.39	1.47	47	3.87	1.30	41	0.52	0.17	6

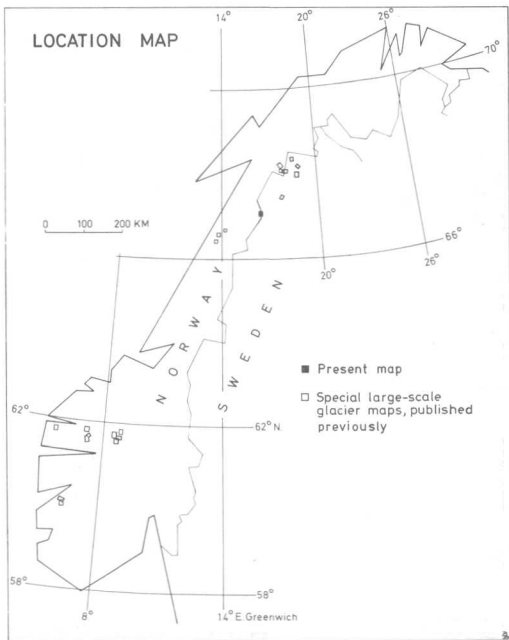
GRÅSUBREEN 1983

Høyde intervall m o.h.	Areal S km ²	Vinterbalanse			Sommerbalanse			Nettobalanse		
		B _w	b _w		B _s	b _s		B _n	b _n	
		10 ⁶ m ³	m	1/s km ²	10 ⁶ m ³	m	1/s km ²	10 ⁶ m ³	m	1/s km ²
2250-2275	0.034	0.030	0.87	28	0.015	0.45	14	0.015	0.42	14
2200-2250	0.179	0.158	0.88	28	0.102	0.57	18	0.056	0.31	10
2150-2200	0.305	0.253	0.83	26	0.192	0.63	20	0.061	0.20	6
2100-2150	0.384	0.276	0.72	23	0.372	0.97	31	-0.096	-0.25	-8
2050-2100	0.416	0.341	0.82	26	0.474	1.14	36	-0.133	-0.32	-10
2000-2050	0.464	0.455	0.98	31	0.473	1.02	32	-0.018	-0.04	-1
1950-2000	0.457	0.516	1.13	36	0.503	1.10	35	0.013	0.03	1
1900-1950	0.214	0.265	1.24	39	0.272	1.27	40	-0.007	-0.03	-1
1870-1900	0.065	0.085	1.30	41	0.093	1.43	45	-0.008	-0.13	-4
1870-2275	2.518	2.379	0.94	30	2.496	0.99	31	-0.117	-0.05	-1

ENGABREEN 1983

Høyde intervall m o.h.	Areal S km ²	Vinterbalanse			Sommerbalanse			Nettobalanse		
		B _w	b _w		B _s	b _s		B _n	b _n	
		10 ⁶ m ³	m	1/s km ²	10 ⁶ m ³	m	1/s km ²	10 ⁶ m ³	m	1/s km ²
1500-1594	0.12	0.34	2.90	92	0.07	0.60	19	0.27	2.30	73
1400-1500	2.51	7.78	3.10	98	1.00	0.40	13	6.78	2.70	85
1300-1400	9.35	27.58	2.95	94	4.68	0.50	16	22.90	2.45	78
1200-1300	8.55	21.80	2.55	81	8.55	1.00	32	13.25	1.55	49
1100-1200	7.60	16.72	2.20	70	10.64	1.40	44	6.08	0.80	26
1000-1100	4.66	8.85	1.90	60	7.69	1.65	52	1.16	0.25	8
900-1000	2.46	3.81	1.55	49	5.04	2.05	65	-1.23	-0.50	-16
800-900	0.94	1.08	1.15	36	2.44	2.60	82	-1.36	-1.45	-46
700-800	0.50	0.40	0.80	25	1.60	3.20	101	-1.20	-2.40	-76
600-700	0.37	0.20	0.55	17	1.42	3.85	122	-1.22	-3.30	-105
500-600	0.27	0.12	0.45	14	1.22	4.50	143	-1.10	-4.05	-129
400-500	0.21	0.07	0.35	11	1.09	5.20	165	-1.02	-4.85	-154
300-400	0.17	0.04	0.25	8	1.02	6.00	190	-0.98	-5.75	-182
200-300	0.22	0.04	0.20	6	1.45	6.60	209	-1.41	-6.40	-203
80-200	0.09	0.01	0.10	3	0.67	7.45	236	-0.66	-7.35	-233
80-1594	38.02	88.84	2.34	74	48.58	1.28	41	40.26	1.06	33





BRIEF COMMENTS ON THE MAPS

The production of this glacier map series was made possible by the fact that Salajekna is situated at the International border between Norway and Sweden. Thus, it has been photographed much more frequently than would normally have been the case because air photography activities are seldom coordinated across the border. Several of the flight lines were not always terminated exactly at the border and thus a Swedish flight may contain pictures of Norwegian territory, and vice versa. This has been a benefit for the production of the present glacier map series.

The earliest air photography of Salajekna was made in 1950 when Widerøes Flyveselskap A/S completed a large photography task for a mining company in Sultjelma, Norway. On 23 August 1950 no less than 1 259 vertical air photographs were taken of the mountain areas south and east of Sultjelma at a scale of 1:15 000 (flying height 4 500 m). This large operation consisted of 28 east-west flight lines and some of these crossed the border. Stereoscopic coverage was obtained for certain Swedish mountain areas, including the glacier Salajekna.

In preparation for the official ground inspection of the border in 1959—62, it was decided by the Border Commission that a complete air photography should be made of the Norwegian—Swedish border (as well as the borders between Norway and Sweden and Finland in the north). This task was divided between the Norwegian company Widerøes Flyveselskap A/S and the Swedish official mapping agency, Rikets Allmänna Kartverk (RAK), Stockholm. Parts of the border line in the Sultjelma area was flown by RAK on 25 Sept. 1957 but due to various circumstances one flight line happened to run completely within Norway. Another flight was therefore made on 21 August 1958 along the border and these two series of good photographs made possible the construction of the second glacier map. In both cases the flying height was about 5 000 m and the picture scale about 1:32 000.

For the production of the new Norwegian topographic map series (1:50 000) a special air photography was arranged. This photography was completed on 23 August 1971 by Widerøes Flyveselskap A/S at a scale of 1:30 000. However, the flight lines run from North to South and the pictures did not cover completely the entire glacier. This is the reason why the third map in the series is slightly incomplete.

Finally, for the purpose of making a map of mountain vegetation in Sweden a special series of infrared false colour photography was completed in 1980. For technical reasons, however, some of the flights had to be repeated during the summer of 1982. In this case the flights were made in an east-west direction and fortunately the camera was not stopped exactly at the border. Thus a complete high-altitude stereo-coverage was obtained for the entire glacier Salajekna and some adjacent glaciers. The result from this photography is shown on the main map in this series. The photography was made on 18 August 1980 and 2 August 1982 at a scale of 1:60 000. In the latter case snow conditions were not as good as in 1980 but the photographs, mainly covering the lower parts of the glacier, presented no real problem in the map compilation because most of the glacier ice was exposed.

The construction of the 1950-map was made in a A-8 stereo plotter by the Fjellanger-Widerøe Company in Oslo, whereas all the other construction work was made in a B-8 stereo plotter at the Department of Physical Geography, University of Stockholm. The accuracy is therefore slightly different — the first map, which is based upon large-scale photographs, has errors which are only within 0.5 m in all directions whereas the other maps may have an accuracy which is within 2 m or so in relative determination. The error in absolute determination may be slightly larger, partly due to problems connected to the relatively small number of control points and to a special technical problem for the 1980-photography where parts of the stereo plotting was made at the very edge of the photograph without support from a neighbouring stereo model to the west.

The first International Symposium on Glacier Mapping held 1965 in Ottawa, Canada, recommended the scale of 1:10 000 and the contour interval 10 m for glacier maps. Due to the size of Salajekna it proved impractical to use this large scale, so the scale of 1:20 000 was selected to keep the size of the map within reasonable limits. (This scale has also been selected for certain maps of large glaciers in Norway.)

All the four maps were constructed at the scale of 1:20 000 but only the main map is reproduced without reduction in scale. The three others, used for comparison and intended for calculations of glacier volume variations, were reduced to 1:50 000 before printing. In all cases the recommended contour interval, 10 m, was used both in the compilation procedure and in the printed versions.

The Universal Transverse Mercator grid net, Zone 33, is drawn for each 2 km on all maps. In addition, the local Norwegian rectangular net, used by the Norwegian Geographical Survey (NGU, Zone 5) is marked in the frame by X and Y coordinates on the western (Norwegian) part of the maps, whereas coordinates for the National Swedish net (Rikets nät) are marked in the frame on the eastern part of the maps. Finally, geographical coordinates for 16°20' East Greenwich and for one North latitude are shown by tick marks in the inner frame on all maps.

The production of this map series was made possible through a cooperation between the Hydrological Department within the Norwegian Water Resources and Electricity Board (NVE) and the Department of Physical Geography at the University of Stockholm.

For the location of the map area and for previously published glacier maps in Norway and Sweden, see the location map to the left. Note, however, that some of the older maps are no more available or very difficult to obtain.

Gunnar Østrem

LITERATURE

- Almén, B. & O., 1958: Sultjelmas glaciärer. Till fjälls, Svenska fjällklubbens årsbok 1958 (Årg. 33), 40—48.
- Gleditsch, K., 1960: De høyeste fjellene i Nord-Norge. Med en undersøkelse av bestigninger og høydemålinger på Jiek'kevarri og i Sultjelma. Norsk geogr. tidsskr. 17 (1959—60), 33—121.
- Halkjelsvik, S., 1940: Sultjelmatraktens breer og turer der. Den Norske Turistforenings Årbok 1940, 119—128.
- Holmsen, G., 1917: Sultjelmatrakten. N. geol. unders. 81 (Årbok 1917), 1—47. (Mainly geology, the glaciers are described on p. 28—30).
- Larsson, K.-E., 1970: Sultjelma — högtidsberget. Till fjälls, Svenska fjällklubbens årsbok 1969—70 (Årg. 41—42), 110—115.
- Melander, O., 1970: Sultjelmas glaciärer. Till fjälls, Svenska fjällklubbens årsbok 1969—70 (Årg. 41—42), 116—123.
- Richter, E., 1899: Les variations périodiques des glaciers. IV^{me} rapport 1898 — Archives des sciences physiques et naturelles 8, 85—115. (Report on Swedish glaciers by Svenonius on p. 95—96, size variations in the Sultjelma area).
- Svenonius, F., 1878: Om några svenska jöklar. Geol. Fören. Förh. 4, 18—27.
- Vogt, T., 1923: Omkring Sultjelma. Den Norske Turistforenings Årbok 1923, 143—165.
- Wahlenberg, G., 1808: Berättelse om mätningar och observationer för att bestämma lappiska fjälens höjd och temperatur vid 67 graders polhöjd, förrättade år 1807. Stockholm 1808, 58 p.
- Westman, J., 1899 a: Jökelsstudier vid Sultjelma. Sv. Turistfören. Årsbok, 317—337.
- Westman, J., 1899 b: Beobachtungen über die Gletscher von Sultjelma und Älmajalas. Bull. Geol. Inst. Uppsala 4, 45—78.
- Westman, J., 1910: Beobachtungen über die Sultjelmagletscher im Sommer 1908. Sv. Geol. Unders. Ser. Ca 5, 1—44.
- Østrem G., Haakensen, N. & Melander, O., 1973: Atlas over breer i Nord-Skandinavia (Glacier atlas of Northern Scandinavia). Norges Vassdrags- og Elektrisitetsvesen, Medd. Nr. 22 Ira Hydrologisk afdeling, 315 p.

The Swedish geographer, Gösta Wahlenberg, made this drawing on 14 July 1807 from a point near the International Border Cairn No. 239. This is the first scientific observation made of Salajekna (Wahlenberg 1808). The drawing is based upon angle measurements, compare annotations in the frame. (Left picture.)

Another Swedish geographer, Dr. J. Westman took photographs from the border Cairn No. 239 on 19 July 1898 (Westman 1899). See panorama below.

On 5 August 1983 photographs were taken from the same point as in 1898, this time by filmkand. Per Holmlund. Note that snow is present in the same depressions on both photographs, but the glacier has become much thinner. (Bottom panorama.)



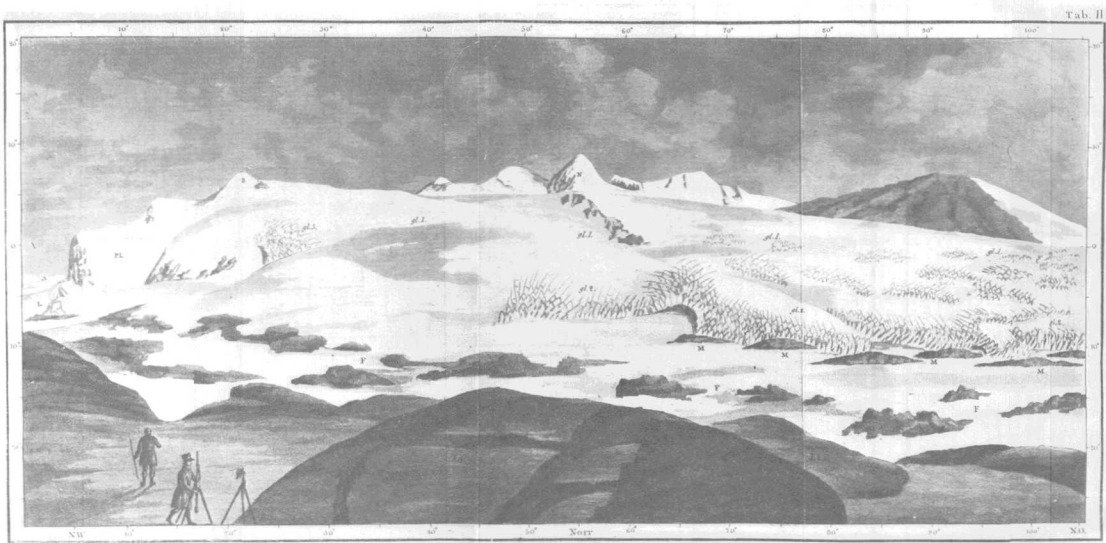
Combination of verticals taken on 22 August 1968 by the Royal Swedish Air Force. (Permission for publication given 30 November 1983 by Försvarsstaben). Some survey points, used for glacier retreat measurements, are marked by white or black circles. Approximate scale 1:13 500.



Large rocks, used as survey points, were painted in August 1965 to make them clearly visible on aerial photographs, compare the picture above. Photo: Valter Schytt.



A small section of the ice margin 1968 (enlargement of one of the verticals shown above) showing annual (?) moraines located between I-65 and II-65.



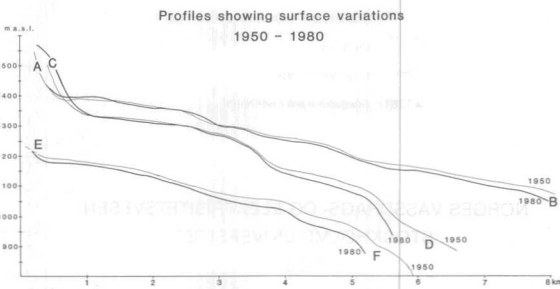
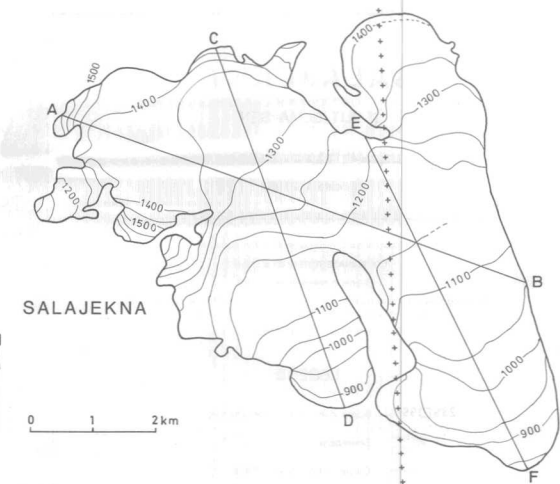
Utsigt af Sultjelma och de tilhørende fjælle Lave.



Salajekna glacier.

Salajekna och Södra Sultjelmas glacier.

Öfver Sultjelma den 19 Juli 1898.



The diagrams indicate that the glacier surface in many places has lowered several tens of metres during 30 years. Note, however, that the glacier seems to grow in its upper parts. The profile A-B indicates variable growth (two "waves") in the area about 1350—1400 m a.s.l.