



Glasiologiske undersøkelser i Norge 1999

Bjarne Kjøllmoen (red.)

2
2000

R
A
P
P
O
R
T

NORGES
VASSDRAGS- OG ENERGIDIREKTORAT
BIBLIOTEK

Glasiologiske undersøkelser i Norge 1999

Glaciological investigations in Norway 1999

Norges vassdrags- og energidirektorat

2000

556(05)

ex 2

Rapport nr 2

Glasiologiske undersøkelser i Norge 1999

- Utgitt av: Norges vassdrags- og energidirektorat
- Redaktør: Bjarne Kjøllmoen
- Forfattere: Liss M. Andreassen, Hallgeir Elvehøy, Nils Haakensen og Bjarne Kjøllmoen
- Trykk: Grafia Kommunikasjon AS
- Opplag: 500
- Forsidefoto: Austdalsbreen, en nordøstlig utløper fra Jostedalsbreen. Breen kalver i Austdalsvatnet som ble regulert i 1988. Bildet er tatt den 30. september 1999 og fotograf er Hallgeir Elvehøy.
- Cover illustration: Austdalsbreen, a north-eastern outlet of Jostedalsbreen. The glacier calves into Lake Austdalsvatnet, which was regulated in 1988. The photo is taken on 30 September 1999 by Hallgeir Elvehøy.
- ISBN: 82-410-0403-6
- Sammendrag: Resultater fra NVEs glasiologiske undersøkelser i 1999 er samlet i denne rapporten. Hoveddelen av rapporten omhandler massebalanseundersøkelser. Det presenteres også resultater fra andre typer breundersøkelser, og et eget kapittel tar for seg endringer av breers frontposisjon.
- Abstract: Results of glaciological investigations performed by NVE in 1999 are presented in this report. The main part of it concerns mass balance investigations. Results from other glaciological investigations are also presented, and front position measurements are discussed in a separate chapter.
- Emneord: Glasiologi/Glaciology, Massebalanse/Mass balance, Brehydrologi/Glacier hydrology, Frontposisjon/Front position, Brebevegelse/Ice movement

Norges vassdrags- og energidirektorat
Middelthuns gate 29
Postboks 5091 Majorstua
0301 OSLO

Telefon: 22 95 95 95
Telefaks: 22 95 90 00
Internett: www.nve.no

April 2000

Innhold

Forord	4
Sammendrag	5
1 Breundersøkelser i Norge 1999	6
2 Ålfotbreen	15
3 Jostefonn	26
4 Briksdalsbreen	33
5 Nigardsbreen	37
6 Austdalsbreen	50
7 Hardangerjøkulen	60
8 Harbardsbreen	70
9 Storbreen	86
10 Hellstugubreen	92
11 Gråsubreen	97
12 Svartisheibreen	102
13 Engabreen	110
14 Langfjordjøkelen	117
15 Breovervåking	127
16 Referanser	139
Vedlegg	i

Forord

Foreliggende rapport er en ny utgave i serien "Glasiologiske undersøkelser i Norge" som har utkommet siden 1963.

Rapporten er utarbeidet på grunnlag av en rekke notater om forskjellige undersøkelser på norske breer. Massebalansemålinger, brefrontmålinger og flere andre glasiologiske undersøkelser blir presentert.

Det meste av undersøkelsene er bestilt av eksterne oppdragsgivere, og er tidligere utgitt som notater til disse.

Hensikten med denne rapporten er å gi en samlet presentasjon av de undersøkelser og beregninger som NVE, Seksjon bre og snø har utført i 1999. Det er forsøkt å få innholdet så ensartet som mulig, til tross for at de er skrevet av forskjellige forfattere med ulike siktemål. Forfatterne har hatt det faglige ansvaret for innholdet i de enkelte kapitlene. Feltarbeidet og beregningene er i hovedsak et resultat av samarbeid mellom ansatte ved Seksjon bre og snø. Gunnar Østrem har lest korrektur og bidratt med mange gode forbedringer, mens Bjarne Kjølmoen har vært redaktør.

Preface

This report is a new volume in the series "Glaciological investigations in Norway" which has been published since 1963.

The report is based on a number of reports about different investigations of Norwegian glaciers. Mass balance measurements, front position measurements and other glaciological investigations are presented.

Most of the investigations are ordered by external employers and published earlier as reports to these.

The purpose of this report is to provide a joint presentation of the investigations and calculations made by NVE, Glacier and Snow section during 1999. Even though the chapters are written by different authors with different objectives, it is aimed at obtaining a uniform pattern. The authors had the professional responsibility for the content of each chapter. The field work and the calculations are mainly a result of cooperative work amongst the employees at glacier and Snow section.

Bjarne Kjølmoen was editor and Gunnar Østrem made many corrections and improvements.

Oslo, april 2000

Kjell Repp
avdelingsdirektør

Erik Roland
seksjonssjef

Sammendrag

Resultatene fra NVEs glasiologiske undersøkelser i 1999 er samlet i denne rapporten. Hoveddelen av rapporten omhandler massebalanseundersøkelser på 11 breer. I 1999 ble vinterbalansen omtrent som normalt på de fleste breene i Sør-Norge. Sommerbalansen ble generelt mindre enn gjennomsnittet, og de fleste breene i landsdelen fikk overskudd i nettobalansen. På de målte breene i Nord-Norge ble vinterbalansen omtrent som normalt i Nordland og mindre enn normalt i Finnmark. En varm sommer i Nord-Norge førte til en sommerbalanse over det normale, og nettobalansen ble betydelig mindre enn gjennomsnittet på breene i landsdelen. Resultatet av frontmålinger i 1999 er presentert for 26 breer. Resultater fra mer spesielle undersøkelser som bredynamikk, volumendringer, brebevegelse, bredemt sjø og meteorologi er dessuten presentert for flere breer. Til slutt i rapporten er det tatt med et vedlegg som viser en fullstendig oversikt over publikasjoner, rapporter og artikler som er produsert ved Seksjon bre og snø i 1999.

Abstract

Results of glaciological investigations performed by NVE in 1999 are presented in this report. The main part of it concerns mass balance investigations of 11 glaciers. In 1999, the winter balance was approximately normal for most glaciers in southern Norway. Summer balance was generally less than average, and most glaciers in this part of the country had a surplus in net balance. In northern Norway the winter balance was approximately normal in the Nordland County and below normal in Finnmark. A warm summer in northern Norway involved a relatively large summer balance, and the net balance was considerably less than the average. Front position measurements in 1999 are presented for 26 glaciers. In addition, results from more focused investigations such as ice dynamics, volume change, ice motion, ice-dammed lake, and meteorology are presented for several glaciers. The results are presented in tables and diagrams, which all have extended English captions. There is also an English Summary after each chapter. At the end of the report there is an Appendix showing a complete overview of all publications, reports and articles produced by the Section for Snow and Ice in 1999.

1 Breundersøkelser i Norge 1999

1.1 Massebalanse

Ved studier av massebalansen måles all den nedbør som i fast form tilføres breen i vintersesongen, og deretter måles mengden av den snø og is som fjernes fra breen i sommerperioden. Forskjellen mellom disse gir den såkalte nettobalansen som er et uttrykk for breens tilstand. Dersom breen tilføres mer masse om vinteren enn det smelter om sommeren, øker breens volum. Breen har da positiv nettobalanse. Er derimot smeltingen av is og snø om sommeren større enn tilførselen av snø om vinteren, vil nettobalansen bli negativ og breens volum minker.

Metode

Metodikken for massebalansemålingene er stort sett den samme som tidligere år (Østrem & Brugman, 1991). På grunn av lange måleserier og økende detaljkunnskap ble omfanget av målingene noe redusert først på 1990-tallet. Dette har ikke hatt særlig betydning for resultatenes nøyaktighet.

Vinterbalansen er normalt blitt målt i april/mai ved sonderinger av snødypet langs utvalgte profiler. For å kontrollere sonderingene er høyden på snøoverflaten blitt avlest på målestaker. I de mest snørike vintrene kan målestakene være nedsnødd under akkumulasjonsmålingene. Dersom det i tillegg er vanskelig å bestemme sommeroverflaten (SO) med sonderinger, er det gjort kjerneboringer for å påvise SO. Snøens tetthet er målt ett eller to steder på breen i forskjellige høydenivåer.

Sommer- og nettobalansen er målt ved punktavlesninger på målestakene. Siste måling er normalt foretatt i september eller oktober. Nedenfor likevektslinjen er nettobalansen alltid negativ. Det betyr at det smelter mer snø og is om sommeren enn det kommer snø i løpet av vinteren. Over likevektslinjen er nettobalansen alltid positiv. Det vil si at noe av vinterens snø ikke smelter vekk. Tettheten på den siste vinters gjenværende snø er erfaringsmessig antatt å være $0,60 \text{ g/cm}^3$. Etter spesielt kjølige somrer eller etter somrer med mye gjennliggende snø hender det at tettheten på den gjenværende snøen blir målt under minimumsmålingene om høsten, eller den blir antatt å være $0,65 \text{ g/cm}^3$. Tettheten på avsmeltet eldre firn blir antatt å være mellom $0,65$ og $0,75 \text{ g/cm}^3$. Tettheten for avsmeltet is settes til $0,90 \text{ g/cm}^3$.

Massebalansen er beregnet etter en såkalt stratigrafisk metode, kalt "traditional method". Denne er tidligere beskrevet i f.eks. Østrem og Brugman (1991). Her blir breens nettobalanse mellom to sommeroverflater beregnet.

Usikkerheten i måling og beregning av massebalansen er avhengig av flere faktorer (Østrem & Haakensen 1999). Usikkerheten i vinterbalansen er i første rekke påvirket av nøyaktigheten av de ulike punktmålingene (sonderinger, kjerneboringer, staker og tårn og tetthetsprøve) og deres representativitet for hele breen, eller de delene av breen de skal representere. Det er også av betydning hvor jevnt snøen er fordelt. Usikkerheten av sonderinger og kjerneboringer er avhengig av punktmålingenes

fordeling, med hvilken sikkerhet sommeroverflaten kan identifiseres, og utførelsen av selve målingene (f.eks. om sonden virkelig føres loddrett gjennom snøpakken). Generelt øker usikkerheten av vinterbalansen med økende snødyp.

Usikkerheten i sommerbalansen beror i første rekke på antall staker som smeltingen blir målt på. Videre vil den være avhengig av stakenes representativitet for det respektive høydeintervall. Stakenes forfatning vil også være avgjørende for kvaliteten på resultatet. Vanlige feilkilder kan f.eks. være at stakene synker eller er blitt skjeve.

Nettobalansen beregnes enten direkte eller som forskjellen mellom vinter- og sommerbalanse og usikkerheten er avhengig av de faktorene som er nevnt ovenfor.

Slik som massebalansen måles og beregnes er det svært vanskelig å beregne usikkerheten matematisk fordi man ikke uten videre kan tallfeste usikkerheten i de enkelte faktorer. De oppgitte usikkerhetene blir derfor bestemt på grunnlag av et subjektivt skjønn.

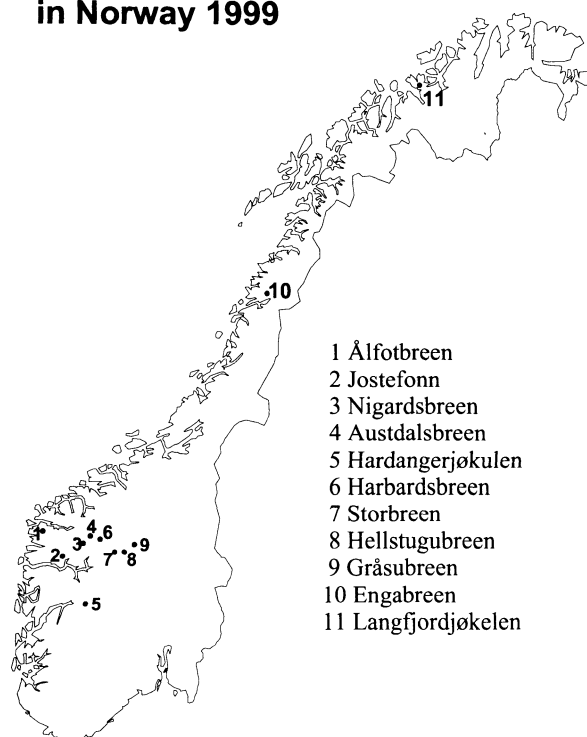
Måleprogram

I 1999 ble det utført massebalansemålinger på 11 breer i Norge - 9 i Sør-Norge og 2 i Nord-Norge (fig. 1-1). Breene i Sør-Norge utgjør et vest-øst tverrsnitt av landsdelen – fra den svært maritime Ålfotbreen i vest med en gjennomsnittsakkumulasjon på rundt 3,7 m vannekvivalenter, til den kontinentale Gråsubreen i Øst-Jotunheimen der gjennomsnittsakkumulasjonen er bare omkring 0,8 meter. For 6 av de målte breene i Sør-Norge er det sammenhengende måleserie på 37 år eller mer. På Ålfotbreen måles det på to breer, den ene kalt Ålfotbreen, og nabobreen i øst kalt Hansebreen. I Nord-Norge ble Engabreen målt for 30. gang i 1999. De undersøkte breenes beliggenhet er vist i figur 1-1.

Idet etterfølgende beskrives samtlige massebalansemålinger foretatt på norske breer i 1999. Vassdragsnummer og WGMS nummer er oppgitt for hver bre i samletabellen i dette kapitlet. Vassdragsnummeret angir breens nummer ifølge NVEs vassdragsregister REGINE, mens WGMS nummer er identisk med det nummeret som brukes i World Glacier Monitoring Service.

For hver bre er massebalansen (både vinter-, sommer- og nettobalansen) oppgitt både i volum og vannekvivalenter for hvert 50 m eller 100 m høydeintervall og presentert i en tabell. Dernest er resultatene framstilt i diagramform som viser både spesifikke verdier og volumverdier av vinter-, sommer- og nettobalanse. For enkelt å kunne foreta en visuell sammenligning mellom kurvene for de ulike breer har alle diagrammene med spesifikke verdier samme forhold mellom enhetene på x-aksen og y-aksen. Til slutt er hele måleperiodens massebalanserresultater presentert i et histogram.

Mass balance measurements in Norway 1999



Figur 1-1

Kartet viser beliggenheten til breene der det blir utført massebalansemålinger i 1999.

Location map showing where mass balance investigations were performed in 1999.

Værforhold og resultater

Den samlede nedbøren for høstmånedene i 1998 (okt.-des.) var under normalen i så og si hele landet. For breområdene i Vest-Finnmark, Nordland, på Vestlandet og i Jotunheimen var månedsnedbøren for de tre siste månedene rundt 80 % av normalen. Med unntak av april ble også etterjulsvinteren nedbørfattig for de tre nordligste fylkene. I Sør-Norge derimot, kom det mer nedbør enn normalt. I februar fikk breområdene på Vestlandet og i Jotunheimen omtrent dobbelt så mye nedbør som normalt. Totalt sett for hele vintersesongen 1998-99 ble det mindre nedbør enn normalt i Nord-Norge (75-100 %), og mer enn normalt i Sør-Norge (100-125 %).

Beregninger av vinterbalansen viser resultater både over og under gjennomsnittet for breene i Sør-Norge. De mest maritime breene på Vestlandet samt breene i Jotunheimen har større vinterbalanse enn middelverdien. Relativt mest ble det på Ålfotbreen med 124 % av middelverdien for perioden 1963-98, mens resultatet for Austdalsbreen ble relativt minst med 87 % av gjennomsnittet for måleperioden som startet i 1988. For breene i Nord-Norge ble vinterbalansen betydelig mindre enn gjennomsnittet. På Engabreen ble resultatet 2,1 m vannekvivalenter (70 %), og bare fire ganger tidligere er det målt mindre vinterbalanse i måleperioden 1970-99.

Resultatet for Langfjordjøkelen ble 1,3 m (57 %), og det er det minste som er målt siden målingene tok til i 1989.

Middeltemperaturen for sommersesongen 1999 var mellom $\frac{1}{2}$ og 1 °C over normalen i hele landet. I Sør-Norge var det bare mindre avvik fra gjennomsnittet i de tre sommermånedene juni, juli og august. I Nord-Norge var juni varmere enn normalen, mens august var tilsvarende kjøligere. September ble derimot en noe uvanlig "værsmåned". Det ble målt rekordhøye temperaturer i hele Sør- og Midt-Norge helt opp til Saltfjellet. På Vestlandet og i Jotunheimen var det mellom 4 og 5 °C varmere enn normalen, mens det i breområdene i Nordland og i Vest-Finnmark var hhv. $3\frac{1}{2}$ og 2 °C varmere enn gjennomsnittet.

En sommersesong litt varmere enn normalt førte til en sommerbalanse over middelverdien på de aller fleste breene i landet hvor det blir utført målinger. Relativt størst ble sommerbalansen på Ålfotbreen med 136 % av gjennomsnittet. I Nord-Norge ble resultatet litt mindre enn normalt på Engabreen (95 %) og større gjennomsnittet på Langfjordjøkelen (116 %).

Sluttresultatet viser små overskudd på de fleste breene på Vestlandet, mens breene i Jotunheimen og Nord-Norge fikk underskudd. På Langfjordjøkelen ble resultatet -1,6 m vannekvivalenter, og det er det største underskuddet som er målt i perioden 1989-99.

Resultater av massebalansemålingene i Norge i 1999 er vist i tabell 1-1 der **b_w** , **b_s** og **b_n** er hhv. vinter-, sommer- og nettobalanse målt i meter vann jevnt fordelt på hele breens overflate. Tallene i kolonnen **% of average** viser årets resultat i prosent av middelverdien for de foregående årene det er gjort målinger (minimum 8 års målinger). Nettobalansen sammenlignes med midlere nettobalanse på samme måte. **ELA** er likevektslinjens høyde over havet.

I figur 1-2 er massebalansen på breene i Sør-Norge for 1999 presentert grafisk. Vest-østgradienten er tydelig for vinter- og sommerbalansen.

Glacier	Number of WGMS REGINE	Period	Area (km ²)	b_w (m)	% of average	b_s (m)	% of average	b_n (m)	b_n middle	ELA
Ålfotbreen	36204 086.6C1B	1963-99	4.4	4.61	124	-4.55	136	0.06	0.37	1245
Hansebreen	36206 086.6E	1986-99	2.9	4.30	123	-4.19	118	0.11	-0.05	1155
Jostefonn	31905 078.5Z	1996-99	3.8	2.92	-	-2.54	-	0.38	0.02 ¹⁾	1200
Nigardsbreen	31014 076.EZ	1962-99	47.8	2.38	100	-2.21	115	0.17	0.47	1450
Austdalsbreen	37323 076.H	1988-99	11.6	2.08	87	-2.56 ²⁾	117	-0.48	0.21	1435
Hardangerjøkulen	22303 050.4C1Z	1963-99	17.2	2.04	96	-1.99	102	0.05	0.18	1725
Harbardsbreen	30704 075.Z	1997-99	13.2	1.81	-	-2.15	-	-0.34	-0.28 ³⁾	>1960
Storbreen	00541 002.DHBBZ	1949-99	5.3	1.67	116	-1.91	115	-0.24	-0.22	1850
Hellstugubreen	00511 002.DHBAZ	1962-99	3.0	1.22	109	-1.64	118	-0.42	-0.27	1930
Gråsubreen	00547 002.DGDC	1962-99	2.2	0.91	117	-1.30	126	-0.39	-0.26	2200
Engabreen	67011 159.81	1970-99	38.0	2.12	70	-2.15	95	-0.03	0.78	1215
Langfjordjøkelen	85008 211.33Z	1989-99	3.7	1.33	57	-2.91	116	-1.58	-0.20	960

¹⁾ Mean value for the period 1966-93 estimated by map comparisons.

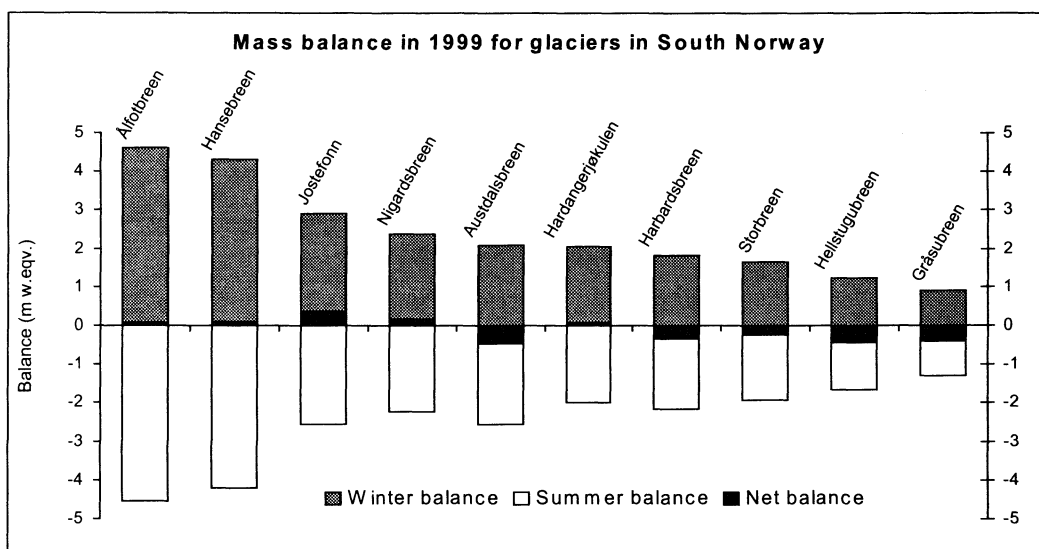
²⁾ Contribution from calving amounts to 0.25 m for b_s .

³⁾ Mean value for the period 1966-96 estimated by map comparisons.

Tabell 1-1

Resultater fra massebalansemålingene i Norge i 1999. Breene i Sør-Norge er ordnet fra vest mot øst (økende kontinentalitet). Hver bre er referert i to ulike nummersystemer. Nummeret i den første kolonnen benevner det som brukes i rapportene til World Glacier Monitoring Service (WGMS), mens den andre kolonnen inneholder vassdragsnummeret i følge NVEs vassdragsregister REGINE.

Review of the results from mass balance measurements performed in Norway in 1999. The glaciers in southern Norway are listed from west to east. Each glacier is reported in two different number systems. The first column denotes the numbers used in the reports to World Glacier Monitoring Service (WGMS), while the second column includes numbers from the Norwegian Hydrological Unit System (REGINE).



Figur 1-2

Figuren viser massebalansen for 1999 på breene i Sør-Norge. På samme måte som i tabell 1-1 er breene ordnet fra vest mot øst.

Bar graph showing mass balance for 1998 in southern Norway. As in Table 1-1 the glaciers are sorted from west to east.

1.2 Andre undersøkelser

Det er utført frontmålinger på 26 norske breer i 1999. En del av disse målingene har kontinuitet helt tilbake til 1900. Foruten at de er presentert i et eget kapittel (kap. 15), er frontmålingene også omtalt for hver bre innen det respektive kapittel.

Meteorologiske målinger utføres på Nigardsbreen, Engabreen, Harbardsbreen og Langfjordjøkelen. Observasjoner fra Nigardsbreen finnes tilbake til 1965, mens målingene på Harbardsbreen og Langfjordjøkelen, som kun omfatter lufttemperatur, ble satt i gang i 1997.

På Briksdalsbreen blir bredynamikken studert ved målinger av frontposisjon, brebevegelse og smelting. Målingene startet i 1996 og ble videreført i 1999 (kap. 4).

De siste 6-8 årene er det gjort observasjoner av en bredemt sjø på Harbardsbreen for å kunne påvise eventuelle vannstandsvariasjoner. For å skaffe en bedre forståelse for tappingsprosessen ved jøkulhlauper istykkelsen i området ved bresjøen kartlagt med breradar våren 1999. Videre er tappingsvolum og utløsende vannhøyde grovt vurdert (kap. 8).

I perioden 1988-94 ble det gjennomført en rekke målinger på Svartiseibreen (Kjöllmoen & Kennett, 1995). Massebalanse, brebevegelse, frontposisjon, breoverflatens høyde og vannstand i et lite vann foran breen (Heiavatnet) ble målt. Siden 1995 er det gjort årlige observasjoner av vannstand i Heiavatnet, likevektslinjens høyde og endringer i istykkelsen på bretunga (kap. 12).

Breers volumendringer basert på gjentatte kartlegginger er en forholdsvis ny metode for å beregne nettobalansen i en gitt periode. Metoden er benyttet for å beregne nettobalansen på Storbreen for perioden 1940-1997. Resultatene er sammenlignet med tradisjonelle massebalansemålinger som er utført i perioden 1949-1997 (Andreassen 1999).

1.3 English summary

Mass balance

Studies of mass balance are performed by measuring the amount of snow supplied in the winter season, and later measuring the amount of snow and ice removed by melting in the summer season. The difference between these two parameters gives the net balance, which is an expression of the condition of the glacier. If the amount of snow supplied during the winter is larger than the amount of melted snow and ice during the summer, the glacier has increased in volume and the net balance is positive. On the other hand, if the melting of snow and ice during the summer is larger than the supply of snow in the winter, the net balance would be negative and the volume would increase.

Methods

The methods used to measure mass balance are the same as in previous years. With the experience gained from many years of measurements, the measurement network was reduced on individual glaciers in the beginning of the 1990s, without affecting the accuracy of the resulting balance calculations and the final results.

Winter balance is normally measured in April or May by probing to the previous year's summer surface along profiles which are unchanged from one year to the next. Stake readings are used to check the probings in certain areas, where possible. Since the stakes can disappear during particularly snow-rich winters, and since it is often difficult to distinguish the summer surface (S.S.) by probing alone, snow coring is also used to support the probing. Snow density is measured in pits at one or two locations at different elevations on each glacier.

Summer and net balances are obtained from stake measurements, usually made in September or October. Below the glacier's equilibrium line the net balance is always negative, meaning that more snow and ice melts during a given summer than accumulates during the winter. Above the equilibrium line, in the accumulation area, the net balance is always positive. Based on past experience snow density of the remaining snow in the accumulation area is typically assumed to be 0.60 g/cm^3 . After especially cold summers or if there is unusually much snow remaining at the end of the summer, snow density is measured using snow-cores or it is assumed to be 0.65 g/cm^3 . The density of melted older firn is assumed to be between 0.65 and 0.75 g/cm^3 . The density of melted ice is determined to be 0.90 g/cm^3 .

The mass balance is calculated using the so-called stratigraphic or "traditional method" (Østrem and Brugman, 1991). The balance is calculated between two successive "summer surfaces" (i.e. surface minima).

The accuracy of mass balance is dependent of various factors. The accuracy of winter balance is influenced mainly by the accuracy of the point measurements (soundings, core drillings, stakes and towers, and density pit) and their representativeness. The smoothness of the snow layer is also of importance. The accuracy of soundings and core drillings is dependent on the number of point measurements, the certainty of identifying the summer surface and the performance of the measurements (e.g. if the probe penetrates vertically through the snow pack). Overall, the accuracy of winter balance increases with increasing snow depth.

The accuracy of summer balance is primarily dependent on the number of stakes in which the melting are measured. Further, it will depend on the representativeness of the stakes. The quality of the result is also influenced by the state of the stakes. Common sources of error that may occur are stakes sinking or stakes becoming slanted.

The accuracy of the net balance is dependent on the same factors as mentioned above.

As the mass balance is measured and calculated it is very difficult to make a mathematical estimation of the accuracy because it is not possible to quantify the

accuracy of the individual factors. Thus the determined values of accuracy are based on a subjective estimate.

Mass balance program

Mass balance measurements were performed on eleven glaciers in Norway in 1999. In southern Norway six of the glaciers have been measured for 37 consecutive years or more, and they constitute an west-east profile reaching from the very maritime Ålfotbreen glacier, close to the western coast, to the very continental Gråsubreen, in the eastern part of Jotunheimen. Storbreen in Jotunheimen has the longest series of all glaciers in Norway with 51 years of measurements, while Engabreen has the longest series (30 years) in northern Norway. The location of the glaciers investigated is shown in Figure 1-1.

In the following chapters mass balance studies performed on Norwegian glaciers are reported, with results summarised both in tables and diagrams. The figures are all in metres of water equivalents so that results from different glaciers can be compared. To facilitate a visual comparison all diagrams have the same ratio between units on the x and y axes. Also, front position measurements are presented.

Weather conditions and mass balance results

The accumulated precipitation for the 1998 fall was below average in the whole country. With the exception of April the winter continued with dry weather over the three northernmost counties. In southern Norway, however, the precipitation was above average. For the winter season 1998/99 there was less precipitation than normal in northern Norway (75-100 %) and more than normal in southern Norway (100-125 %).

The calculations show winter balance results both above and below average for the glaciers in southern Norway. The most maritime glaciers show a winter balance above average, while the more continental glaciers are below average. For the glaciers in northern Norway the results are considerably below average.

The mean temperature during the 1999 summer season was between 0.5 and 1 °C higher than average for the whole country. The summer months (June-August) were approximately normal, but September was especially warm. In western Norway and Jotunheimen the temperature was 4-5 °C warmer than average.

The summer balance was above average at most glaciers in the country where measurements are performed. The highest relative value was at Ålfotbreen with 136 % of average.

The final results show a slight surplus at the most maritime glaciers in western Norway, while the glaciers in Jotunheimen and Engabreen had an overall deficit. The result for Langfjordjøkelen (-1.6 m) is the most negative net balance ever measured during 1989-99. A summary of the mass balance results from 1999 are shown in Table 1-1 and Figure 1-2.

The mass balance results in 1999 are shown in Table 1-1 and Figure 1-2.

Other investigations

Front measurements were performed at 26 glaciers in Norway in 1999. Some of these have continuity back to 1900.

Meteorological observations were performed at Nigardsbreen, Engabreen, Harbardsbreen and Langfjordjøkelen.

The ice dynamics at Briksdalsbreen were studied by making measurements of front position, ice motion and melting (chapter 4).

An ice-dammed lake at Harbardsbreen has been observed by photographs during the last 6-8 years. Possible drain off from jökulhlaups has been surveyed using subglacial mapping (chapter 8).

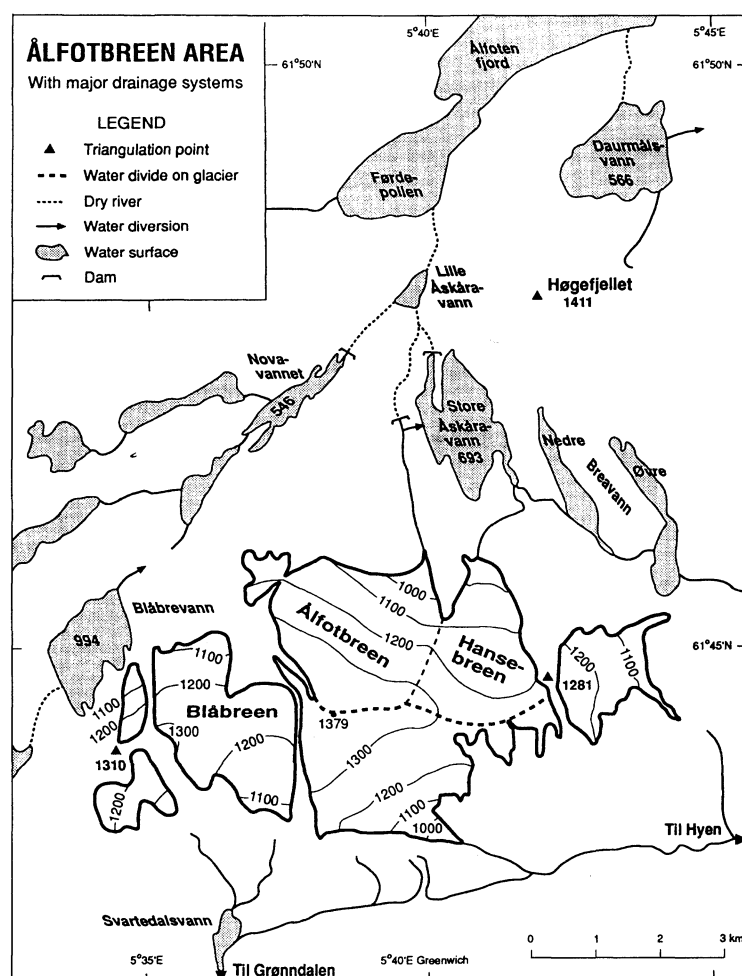
A number of measurements were performed at Svartisheibreen during the period 1988-94 (Kjøllmoen & Kennett, 1995). Annual observations of water level in lake Heiavatnet, equilibrium line altitude and changes in ice thickness on the snout have been performed since 1995 (chapter 12).

Volume calculations of glaciers based on map comparisons are used for Storbreen during 1940-1997. The results are compared with traditional mass balance measurements performed in the period 1949-1997 (Andreassen 1999).

2 Ålfotbreen (Nils Haakensen)

Ålfotbreen og Hansebreen (61°45'N, 5°40'E) er to nordlige utløpere fra platåbreen Ålfotbreen i Nordfjord. Ålfotbreen er egentlig navnet på hele platåbreen, men ingen av utløperne har imidlertid noe offisielt navn. Da målingene begynte i 1963 på den nordvestlige utløperen, ble derfor navnet Ålfotbreen brukt som arbeidsnavn på den delen målingene ble utført på. Da målingene senere ble utvidet til nabobreen, fikk denne arbeidsnavnet Hansebreen. Massebalansemålingene har pågått kontinuerlig siden 1963, og viser at Ålfotbreen er den mest maritime breen i Norge. I måleperioden er det målt en midlere vinterbalanse på 3,75 m vannekvivalenter.

Avløpet fra Ålfotbreen (4,4 km²) er overført til Åskåravann som er hovedmagasin for Åskåra kraftverk. Hansebreen (2,9 km²) er nabobreen mot øst og drenerer naturlig til Åskåravann. En oversikt over Ålfotbreen med tilgrensede områder er vist i figur 2-1.



Figur 2-1

Ålfotbreen og tilgrensede områder. Massebalansemålinger utføres på de to nordvendte utløperne som er kalt Ålfotbreen og Hansebreen. Avløpet fra begge utløperne anvendes til kraftproduksjon.

Ålfotbreen ice cap and its surrounding areas showing the two northfacing glaciers Ålfotbreen and Hansebreen at which mass balance studies are performed. Meltwater from both glaciers drains into a reservoir and is utilized for hydro-electric power production.

Massebalansemålingene utføres som et konsesjonspålegg til Åskåra kraftverk. Målingene startet på utløperen Ålfotbreen. Det ble imidlertid tidlig klart at en relativt stor del av snøakkumulasjonen på den delen av breen skyldes vindtransport fra syd og vest. Det ble observert at Hansebreen er mindre utsatt for vind. For å undersøke vinddriftens betydning for akkumulasjonen på Ålfotbreen, er det siden 1986 gjort parallelle massebalansemålinger på Hansebreen. Disse målingene har vist at forskjellen i vinterakkumulasjon mellom de to breene er størst (over 25 %) i svært nedbørrike år som også har mye vind fra syd og vest. I år med liten akkumulasjon er forskjellen ubetydelig (under 5 %). Imidlertid har vinterbalansen vært størst på Ålfotbreen i alle årene det har vært gjort parallelle målinger på de to nabobreene. Derfor er trolig Hansebreen mer representativ for de glasiologiske forholdene i området (Haakensen 1999).

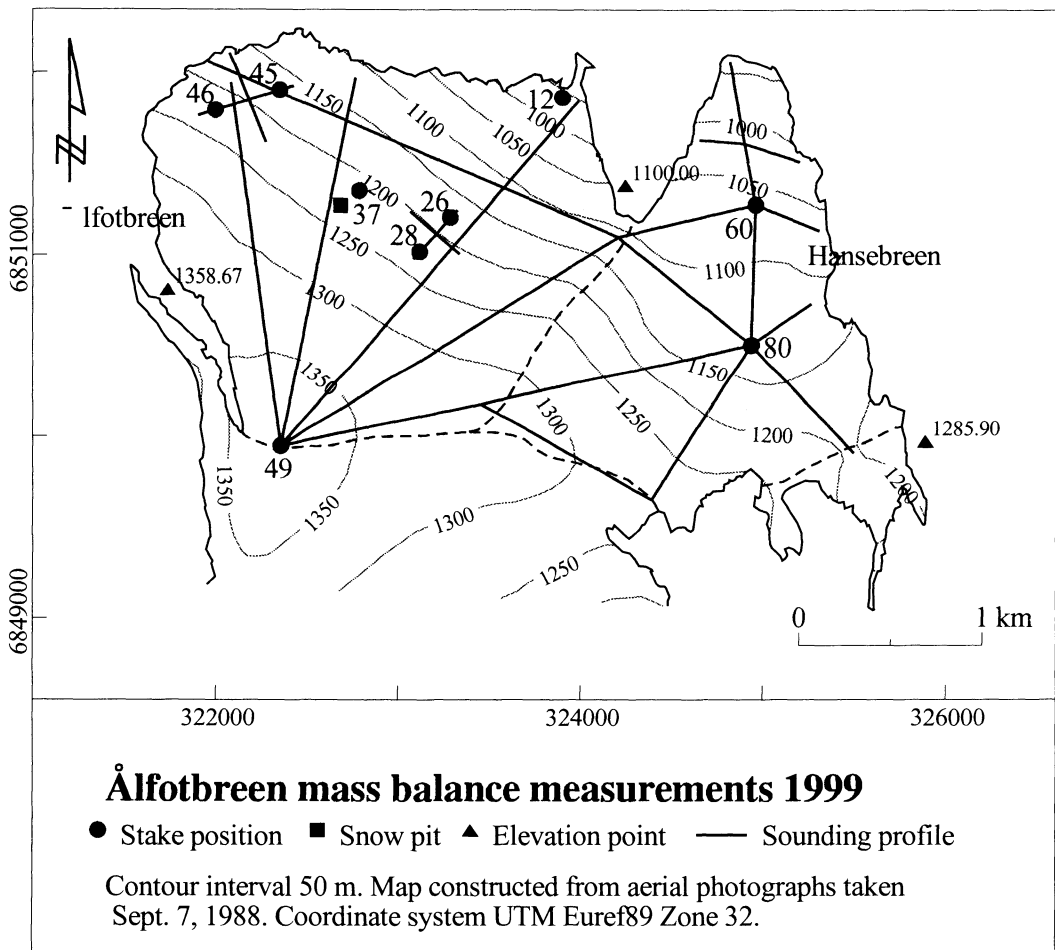
På Ålfotbreen og Hansebreen var både vinter- og sommerbalansen i 1999 noe større enn middelveiden for hele måleperioden. Begge breene kom imidlertid ut med en nettobalanse som var svært nær likevekt.

2.1 Massebalanse 1999

Feltarbeid

Akkumulasjonsmålingene ble utført under bra værforhold 6.- 8. mai. Tårnet T-49 på toppen av breen hadde overlevet vinteren og viste at snødyppet var økt med 3½ m siden januar, og at snødyppet totalt var 8,5 meter. Alle andre staker var vekk. På breens øvre del var sommeroverflaten stedvis vanskelig å påvise nøyaktig ved sondering. Tårnet var derfor viktig for å bestemme denne. Til sammen ble det gjort 125 sonderinger av snødyppet langs 15 km lange profiler på Ålfotbreen og 70 sonderinger langs 9 km profiler på Hansebreen. På Ålfotbreen ble det målt mellom 9 og 10 meter snø på breens øvre del (litt mindre helt øverst) og stort sett fra 7 til vel 8 meter på den midtre og nedre delen. På Hansebreen varierte snødyppet fra over 9 meter i de nordøstvendte skråningene øverst på breen til omkring 6 meter på de flate områdene midt på breen. Helt nederst var det omkring 7 meter snø.

Det ble satt ut ni nye staker, derav to på Hansebreen. Tetthetsprøve av hele snøpakken ble tatt i midt på Ålfotbreen 1210 moh. der snødyppet var 7,2 meter. Middeltettheten var $0,55 \text{ g}\cdot\text{cm}^{-3}$. Dette er uvanlig stor tetthet på våren, men kan forklares med en lang mildværsperiode i april som hadde avstedkommet en del smelting og komprimert den øverste delen av snøpakken. Bare de øverste 60 cm av snøpakken hadde tetthet under $0,50 \text{ g}\cdot\text{cm}^{-3}$. Denne tetthetsprøven ble ansett som representativ for beregning av snøens vannverdi på begge breene. Figur 2-2 viser beliggenheten av staker, snøsjakt og tetthetsprofiler.



Figur 2-2

Lokalisering av staker, sonderingsprofil og tetthetsprøve som danner grunnlaget for målingene på Ålfotbreen og Hansebreen i 1999.

The map illustrates the location of sounding profiles and the position of the pit and the stakes at Ålfotbreen and Hansebreen in 1999.

Minimumsmålingen ble utført den 15. oktober. Det var da kommet 50-100 cm nysnø. I alt ble 18 staker funnet og målt på de to breene. Av disse ble bare fire funnet og målt under sommerbesøket den 1. august, og de var blitt 4-5 meter lenger siden da. Men på grunn av den store avsmeltingen den siste delen av sommeren hadde syv av de stakene som ble målt i august, smeltet frem og forsvunnet. Imidlertid hadde 10 av de stakene som ble målt den 15. oktober, også blitt målt på minimumsmålingen i 1998. Dermed kunne nettobalansen beregnes for disse. På breens øverste del lå det igjen rundt 2 meter av årets snø, mens det hadde smeltet nesten 2 meter is nederst på breen. Det skjedde trolig ingen smelting på breen etterat minimumsmålingene var utført.

Resultater

Vinterbalanse

Vinterbalansen på Ålfotbreen i 1999 ble beregnet til 4,6 m vannekvivalenter eller 20,1 mill. m³ vann. Det er 124 % av middelverdien for måleperioden 1963-98. Sammenlignet med perioden 1986-98, som er måleperioden for Hansebreen, er årets resultat 112 % av midlere vinterbalanse. Årets vinterbalanse er 4,1 mill. m³ eller 26 % mer enn i 1998. Det er målt større vinterbalanse på Ålfotbreen åtte ganger tidligere, og fem av disse har vært i løpet av de siste 12 år.

Sommerbalanse

I slutten av mai var det en kald periode med mye nedbør og temperaturer langt under normalen i den delen av landet, og det er derfor sannsynlig at det falt en del snø på Ålfotbreen etter at akkumulasjonsmålingene var utført. Netto avsmeltning før 1. august var derfor relativt liten. Men sommeren fortsatte inn i september. På omkringliggende værstasjoner ble middeltemperaturen i september høyere enn i en normal juli, og september ble årets varmeste måned. Siste del av sommeren hadde derfor en betydelig avsmeltning. Mellom 60 og 65 % av sommerens avsmeltning på Ålfotbreen skjedde etter 1. august. Den totale sommerbalansen ble beregnet til -4,6 m vannekvivalenter tilsvarende -19,8 mill. m³ vann. Dette er 136 % av middelverdien for perioden 1963-98. Sett i relasjon til perioden 1986-98 er årets resultat 132 % av middel. Årets sommerbalanse er 4,3 mill. m³ eller 28 % større enn i 1998.

Nettobalanse

Nettobalansen på Ålfotbreen ble så vidt positiv og ble beregnet til +0,2 mill. m³ vann eller +0,06 m vannekvivalenter. Dette er det tredje året på rad som Ålfotbreen er tilnærmet i likevekt. Midlere nettobalanse for hele måleperioden 1963-98 er +0,37 m, men for perioden 1986-98 er den +0,67 meter vannekvivalenter.

Massebalansens variasjon med høyden på Ålfotbreen i 1999 er presentert i tabell 2-1, og den viser at nettobalansen varierte mellom et underskudd på omkring 1½ meter nederst og et overskudd på vel 1 meter øverst på breen. Den beregnede likevektslinjen lå 1250 moh. (se fig. 2-3).

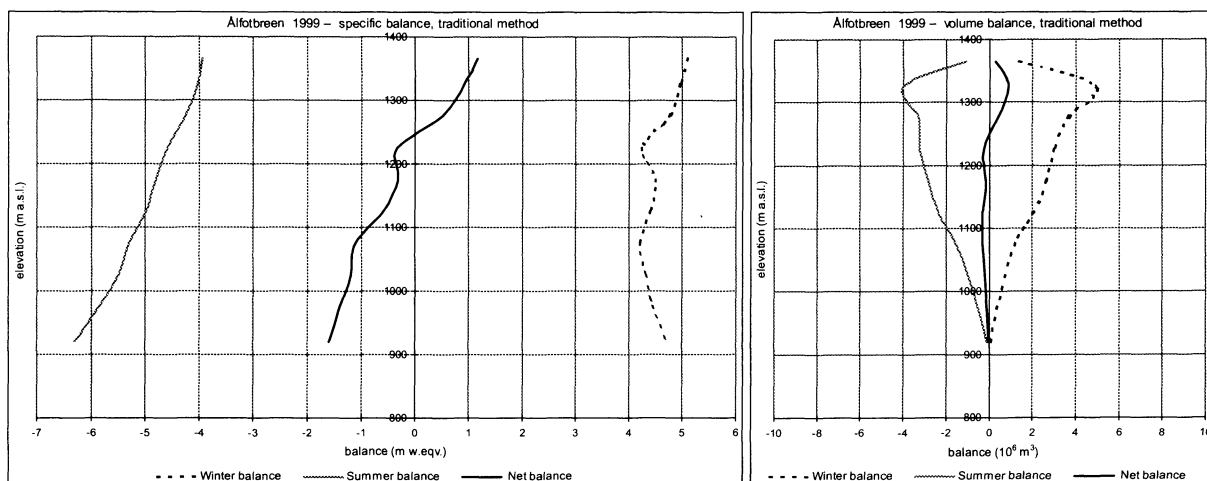
Mass balance Ålfotbreen 1998/99 – traditional method							
Altitude (m a.s.l.)	Area (km ²)	Winter balance		Summer balance		Net balance	
		Measured May 7 1999		Measured Oct 15 1999		Summer surfaces 1998 - 1999	
		Specific (m w.eq.)	Volume (10 ⁶ m ³)	Specific (m w.eq.)	Volume (10 ⁶ m ³)	Specific (m w.eq.)	Volume (10 ⁶ m ³)
1350 - 1380	0,27	5,11	1,4	-3,95	-1,1	1,16	0,3
1300 - 1350	0,99	4,95	4,9	-4,04	-4,0	0,91	0,9
1250 - 1300	0,77	4,77	3,7	-4,26	-3,3	0,51	0,4
1200 - 1250	0,70	4,25	3,0	-4,58	-3,2	-0,33	-0,2
1150 - 1200	0,58	4,49	2,6	-4,80	-2,8	-0,31	-0,2
1100 - 1150	0,47	4,40	2,1	-4,99	-2,4	-0,59	-0,3
1050 - 1100	0,29	4,20	1,2	-5,30	-1,5	-1,10	-0,3
1000 - 1050	0,18	4,31	0,8	-5,50	-1,0	-1,19	-0,2
950 - 1000	0,09	4,45	0,4	-5,85	-0,5	-1,40	-0,1
890 - 950	0,02	4,70	0,1	-6,30	-0,1	-1,60	0,0
890 - 1380	4,36	4,61	20,1	-4,55	-19,8	0,06	0,2

Tabell 2-1

Vinter-, sommer- og nettobalansen på Ålfotbreen i 1999 for hvert 50 m høydeintervall samt arealfordeling.

Winter, summer and net balance and area distribution at Ålfotbreen in 1999 for 50 m height intervals.

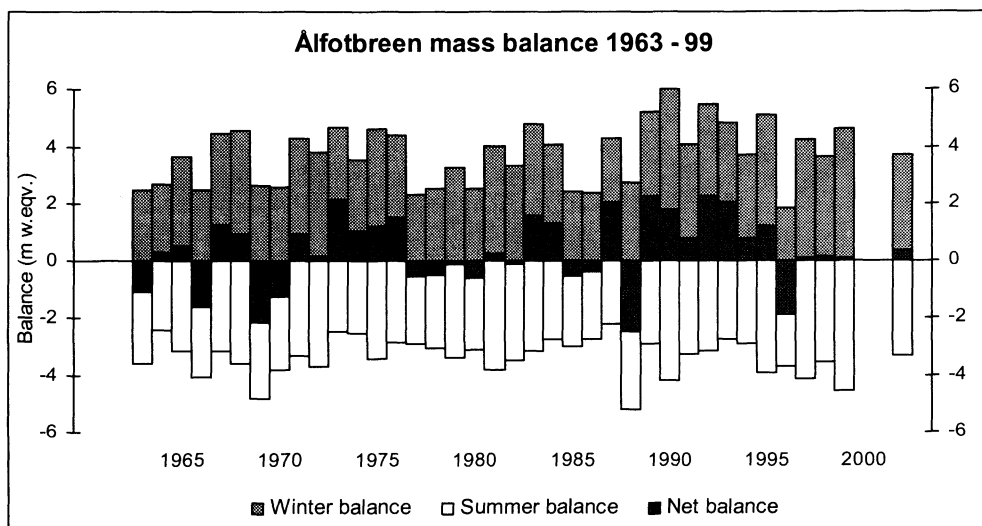
Året 1999 var det 37. året i rekken med massebalansemålinger på Ålfotbreen. Av disse har bare 14 år hatt underskudd, mens 23 år har hatt overskudd. I halvparten av årene har $|b_n| < 1,0$ meter vannekvivalenter. Kumulativ nettobalanse i perioden har vært mer enn 13 meter vann jevnt fordelt over hele breens overflate. Nesten 10 meter av dette overskuddet er kommet etter 1988. Tendensen med overskudd ser imidlertid ut til å ha stanset opp de siste årene. I løpet av de siste 6 år er summen av nettobalansen omtrent lik null. Ålfotbreen er en av de mest maritime breene i Norge, og derfor vil nettobalansen i meget stor grad avhenge av vinterbalansen. Av de 24 årene med positiv nettobalanse har 21 hatt vinterbalanse som har vært større enn middelverdien (3,74 m) mens bare 12 av de 24 årene har hatt sommerbalanse som har vært mindre enn middelverdien. De tretten årene med underskudd har alle hatt vinterbalanse mindre enn middelverdien. I løpet av måleperioden har vinterbalansen variert mellom 1,83 m (1996) og 5,98 m (1990), mens sommerbalansen har variert mellom -2,22 m i 1987 og -5,21 m i 1988. Nettobalansen har variert mellom -2,48 m i 1988 og +2,39 m vannekvivalenter i 1989 og 1992. Figur 2-4 viser vinter-, sommer- og nettobalansen for Ålfotbreen i perioden 1963-99.



Figur 2-3

Massebalansediagram for Ålfotbreen i 1999 (spesifikk balanse til venstre og volumbalanse til høyre) som viser variasjonen av vinter-, sommer og nettobalansen med høyden. Nettobalanssekurven viser at likevektslinjen ligger 1250 moh. Over dette nivå er breens nettobalanse positiv. AAR er 44%, dvs. at akkumulasjonsområdet utgjør 44 % av breens totale areal.

Mass balance diagram for Ålfotbreen 1999 showing winter, summer and net balance in various height intervals. The left hand figure indicates specific values, the right hand figure shows volume values. The net balance curve intersects the y-axis and defines the ELA to be 1250 m a.s.l. According to this, the AAR is 44 %.



Figur 2-4

Histogram som viser vinter-, sommer- og nettobalanse for Ålfotbreen i tiden 1963-99. Første halvdel av 1970-årene og årene 1989-95 skiller seg ut som to perioder med stort masseoverskudd med hhv. seks og syv positive år etter hverandre. Den første viser et samlet overskudd på ca. 7 meter, den andre på over 11 meter. De største vinterbalansene har alle vært målt etter 1988. Årene 1969, 1988 og 1996 skiller seg ut som store underskuddsår. Siden 1993 har imidlertid breen vært i likevekt. Søylen helt til høyre viser middelerdien for måleperioden.

Mass balance results measured on Ålfotbreen 1963-99. Two periods – the beginning of the 1970's and the years between 1988 and 1995 stand out as periods with 6 and 7 successive years, respectively, with positive mass balance. The first period had a cumulative net balance amounting to 7 m, whereas the second one shows more than 11 m w.eqv. surplus. The right hand bar indicates the mean value for the period. Mean net balance for the entire period 1963-99 is +0.36 m w.eqv., whereas it is +0.87 m w.eqv. for the period 1989-98.

2.2 Hansebreen

Vinterbalansen på Hansebreen i 1999 ble beregnet til 4,4 m vannekvivalenter som tilsvarer 12,5 mill. m³ vann, og det er 0,3 m mindre enn på Ålfotbreen. Resultatet er 123 % av middelverdien for måleperioden 1986-98, og 34 % høyere enn det som ble målt i 1997. Bare tre ganger tidligere er det målt høyere vinterbalanse på Hansebreen.

Sommerbalansen ble beregnet til -4,2 m vannekvivalenter (-12.2 mill. m³ vann), hvilket er 118 % av middelverdien for måleperioden 1986-98 og 8 % mindre enn det som ble beregnet for Ålfotbreen. Årets sommerbalanse er 20 % større enn i 1998. Siden målingene startet på Hansebreen i 1986, er det bare i 1988 det har vært målt større sommerbalanse.

Nettobalansen på Hansebreen ble dermed +0,1 m vannekvivalenter (0,3 mill. m³). Mittelverdien for måleperioden er -0,05 meter. Massebalansediagrammet viser at likevektlinjens høyde var 1150 moh.

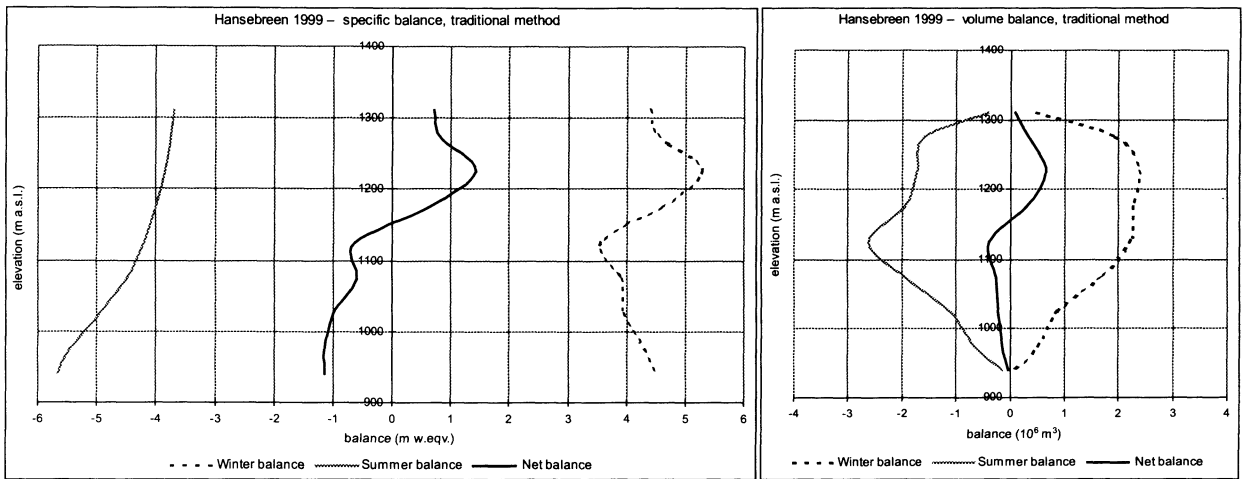
I tabell 2-2 er vist vinter-, sommer- og nettobalanse for hvert 50 m høydeintervall for Hansebreen, og figur 2-5 viser massebalansediagram for breen i 1999. Nettobalansen varierer fra et overskudd på over én meter vannekvivalenter på breens øverste del til et underskudd på over én meter på den nedre delen.

Mass balance Hansebreen1998/99 – traditional method							
Altitude (m a.s.l.)	Area (km ²)	Winter balance		Summer balance		Net balance	
		Measured May 7 1999		Measured Oct 15 1999		Summer surfaces 1998 - 1999	
		Specific (m w.eq.)	Volume (10 ⁶ m ³)	Specific (m w.eq.)	Volume (10 ⁶ m ³)	Specific (m w.eq.)	Volume (10 ⁶ m ³)
1300 - 1320	0,11	4,41	0,49	-3,70	-0,41	0,71	0,08
1250 - 1300	0,43	4,54	1,94	-3,75	-1,60	0,79	0,34
1200 - 1250	0,45	5,29	2,39	-3,85	-1,74	1,44	0,65
1150 - 1200	0,49	4,61	2,26	-4,00	-1,96	0,61	0,30
1100 - 1150	0,63	3,56	2,23	-4,20	-2,63	-0,64	-0,40
1050 - 1100	0,43	3,91	1,68	-4,50	-1,93	-0,59	-0,25
1000 - 1050	0,22	3,95	0,87	-4,95	-1,09	-1,00	-0,22
950 - 1000	0,13	4,31	0,54	-5,45	-0,68	-1,14	-0,14
930 - 950	0,02	4,50	0,11	-5,65	-0,14	-1,15	-0,03
930 - 1320	2,91	4,30	12,5	-4,19	-12,2	0,11	0,3

Tabell 2-2

Vinter-, sommer- og nettobalanse samt arealfordeling for Hansebreen i 1999 for 50 m høydeintervall.

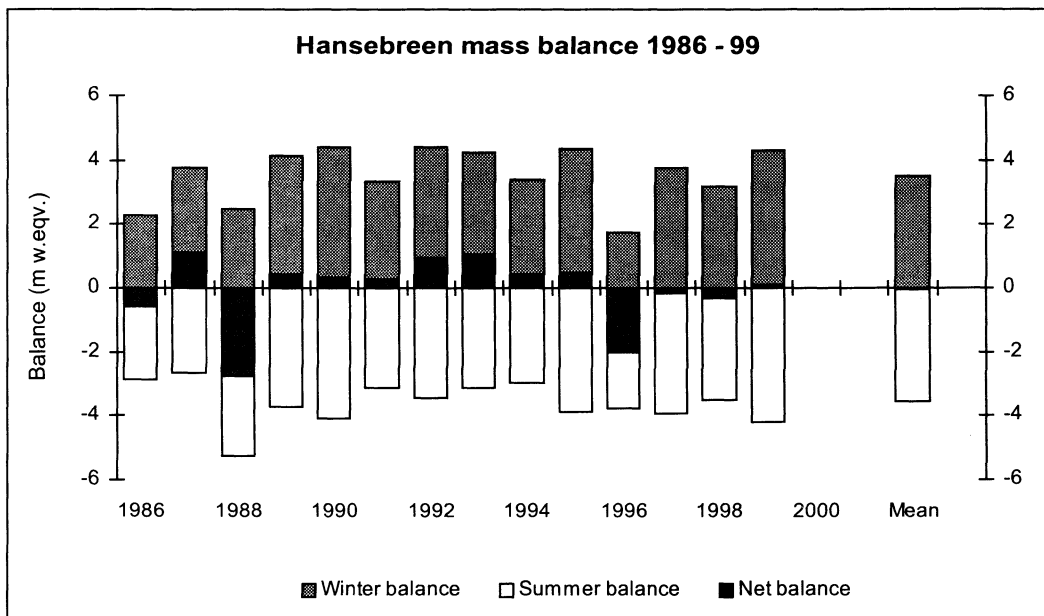
Winter, summer and net balance and area distribution at Ålfotbreen in 1999 for 50 m height intervals.



Figur 2-5

Massebalansediagram for Hansebreen i 1999 (spesifikke verdier til venstre og volumverdier til høyre) viser fordelingen av vinter-, sommer- og nettbalansen med høyden. Nettobalanskurven viser at likevektslinjen ligger 1150 moh.; 52 % av breens areal ligger over dette nivå.

Mass balance diagram for Hansebreen in 1999 showing winter, summer and net balance in various height intervals. The left hand figure indicates specific values, the right hand figure shows volume values. The net balance curve indicates that the ELA is 1150 m a.s.l. According to this AAR is 52 %.



Figur 2-6

Oversikt over massebalanseresultater på Hansebreen 1986-99. Etter 1988 har også Hansebreen hatt syv suksessive overskuddsår med et samlet overskudd på ca. 1,5 m vannekvivalenter. Overskuddet er betydelig mindre enn på Alfotbreen (fig. 2-4) som hadde over 11 meter i samme periode.

Bar diagram showing the mass balance results from Hansebreen 1986-99. The surplus during this period is substantially less than for Alfotbreen. The years 1988 and 1996 stand out as two extreme negative years.

Av de 14 årene med målinger på Hansebreen har fem vist underskudd. Samlet viser breen et lite underskudd på 0,6 m vannekvivalenter i løpet av måleperioden. De to årene 1988 og 1996 hadde begge et underskudd på over to meter vannekvivalenter. Størst var overskuddet i 1987 og 1993. Begge disse årene viste breen et overskudd på mer enn én meter vannekvivalenter. Figur 2-6 viser massebalanseresultater for Hansebreen 1986-99. Også for Hansebreen var det syv suksessive år med overskudd fra 1989 til 1995. Det samlede overskuddet i denne perioden var bare rundt 4 m vannekvivalenter på Hansebreen, mens det på Ålfotbreen var over 11 meter.

Usikkerhet

Usikkerheten i massebalansemålingene er generelt omtalt i kapittel 1-1. For Ålfotbreen og Hansebreen i 1999 er det gjort følgende vurdering om usikkerheten i resultatene:

For *vinterbalansen* var målingene relativt enkle å utføre selv om det var mye snø. Usikkerheten i den spesifikke vinterbalansen antas å være $\pm 0,3$ m for begge breene.

For di flere staker smeltet frem, kunne *sommerbalansen* beregnes på et begrenset antall staker, færrest på Hansebreen. Usikkerheten i sommerbalansen er antatt å være $\pm 0,4$ m for Ålfotbreen og $\pm 0,5$ m for Hansebreen.

Nettobalansen kunne beregnes direkte på et antall gamle staker. Usikkerheten i nettobalansen er antatt å være $\pm 0,3$ m for Ålfotbreen og $\pm 0,4$ m for Hansebreen.

2.3 English summary

Ålfotbreen ice cap (61°45'N, 5°40'E) is 17 km² and it is the westernmost and the most maritime glacier in Norway. Mass balance studies have been carried out on two adjacent northfacing outlet glaciers - Ålfotbreen (4.4 km²) and Hansebreen (2.9 km²). The westernmost of these has been subject to mass balance investigation since 1963, and has always been reported as Ålfotbreen. On Hansebreen the investigations started in 1986. None of the outlet glaciers from the icecap are given a name on the map. To distinguish the two different glaciers the last one was given the name Hansebreen. Ålfotbreen including its subdivision and its surroundings is shown in Figure 2-1.

The measurements at Hansebreen were started to investigate the representativity of mass balance results at Ålfotbreen. Gradually it became clear that there was an explicit difference in snow accumulation between the two glaciers. Ålfotbreen receives more snow than Hansebreen, particularly in years with large accumulation. The difference is likely due to wind drift, which lead to increased accumulation at Ålfotbreen. According to that it seems that Hansebreen is the most representative one of these two glaciers (Haakensen 1999).

Due to its maritime regime, the net balance at Ålfotbreen and Hansebreen is mainly dependent on winter balance. During the 37 years of investigation the net balance at Ålfotbreen has been higher than average 23 years; in 20 of these the winter balance was higher than average. The 13 years with negative net balance have all shown

winter balances less than average. In 1999 both glaciers showed a winter balance and a summer balance higher than average and both were close to a steady state condition.

Mass balance

Field work

The accumulation was measured from 6th to 8th May. The calculation of the winter balance was based on 125 snow depth soundings at Ålfotbreen and 70 at Hansebreen. The total length of the sounding profiles was 24 km. One snow pit was dug at Ålfotbreen 1210 m a.s.l. The total snow pack that was 7,2 m thick at that location (see Fig. 2-2) The mean snow density was measured to $0.55 \text{ g}\cdot\text{cm}^{-3}$ and was assumed to be representative for both glaciers.

Only one stake at Ålfotbreen had survived the winter. Except at the upper part of the glacier (above 1300 m a.s.l.) the summer surface could be easily identified. The survived tower at the top of Ålfotbreen was useful to identify the summer surface in the upper part of the glaciers. Snow depth at Ålfotbreen was 9-10 m in the upper part, decreasing to 7-8 m at the middle and lower part. At Hansebreen snow depth varied between 9 and 6 metres.

Ablation measurements were made on 15th October. Some 50-100 cm of new snow had already come. Due to an extremely warm September, which was the warmest month during the summer and warmer than a normal July, a considerable ablation had occurred during the last part of the melt season. The consequence was that several of the stakes had melted out. Therefore, summer balance could only be calculated at four stakes on the two glaciers. Additional 10 stakes were also measured the preceding autumn and thus the net balance could be calculated directly at these. There was about 2 m remaining snow in the upper parts of the glaciers.

Results

Winter balance at Ålfotbreen in 1999 was 4.6 m w.eqv., which is 124 % of the mean winter balance in the entire period 1963-98 or 112 % compared to the period 1986-98, the total investigation period at Hansebreen.

Summer balance was -4.6 m w.eqv. or 136 % of the mean value for the investigation period. The relatively high summer balance is mainly a result of an extremely warm September. The remainder of the summer was close to normal.

Accordingly, the net balance turned out to be slightly positive and was calculated to be 0.06 m w.eqv. whereas the mean value is +0.37 m w.eqv. For the period 1986-98 the mean net balance is 0.67 m water equivalents.

The results are presented in Table 2-1 and in Figure 2-3. The diagram indicates that ELA was 1250 m a.s.l. This means that AAR was 44 %.

The cumulative net balance for the 37-years period of investigations at Ålfotbreen indicates a surplus amounting to more than 13 m w.eqv. Nearly 10 m of this surplus has taken place after 1998. Large winter balances mainly cause the great surplus after

1988. Due to its extreme maritime location, the net balance of Ålfotbreen is mainly dependent on winter balance which has increased after 1988 (1996 was an exception). Together 24 of the investigated years have shown a positive net balance and in 21 of these the winter accumulation has been higher than average (3.74 m w.eqv.). Among the 13 years that have shown a negative net balance none had shown a winter balance higher than average. The winter balance at Ålfotbreen has varied between 1.83 m in 1996 and 5.98 m in 1990 whereas summer balance has varied between -2.22 m in 1987 and -5.21 m in 1988. The net balance has varied between -2.48 m w.eqv. in 1988 and +2.27 m in 1989 and 1992. Historic mass balance results from Ålfotbreen are presented in Figure 2-4.

Hansebreen

Results

Hansebreen is adjacent to Ålfotbreen and is likely to be more representative for precipitation conditions in the area than Ålfotbreen, which is strongly exposed to wind and snow drift and the accumulation is affected by this. Therefore, mass balance measurements have been performed at Hansebreen since 1986.

Winter balance was based on 70 snow depth soundings. The snow density profile measured at Ålfotbreen is assumed to be representative at both glaciers. The winter balance was calculated to 4.3 m w.eqv., which is 123 % of the mean value for the investigation period and is 0.3 m less than at Ålfotbreen. Summer balance was -4.2 m w.eqv., which is 118 % of the mean.

Net balance was +0.11 m w.eqv., whereas the mean value for the investigation period is -0.05 m w.eqv. ELA was 1150 m a.s.l. and AAR was 52 %. Mass balance results at Hansebreen 1999 are presented in Figure 2-5.

Similar to Ålfotbreen the adjacent Hansebreen showed seven successive positive years from 1989 to 1995. Whereas Hansebreen had a surplus amounting 4 m w.eqv. during this period Ålfotbreen had a surplus amounting to more than 11 m in the same period (See Fig. 2-6).

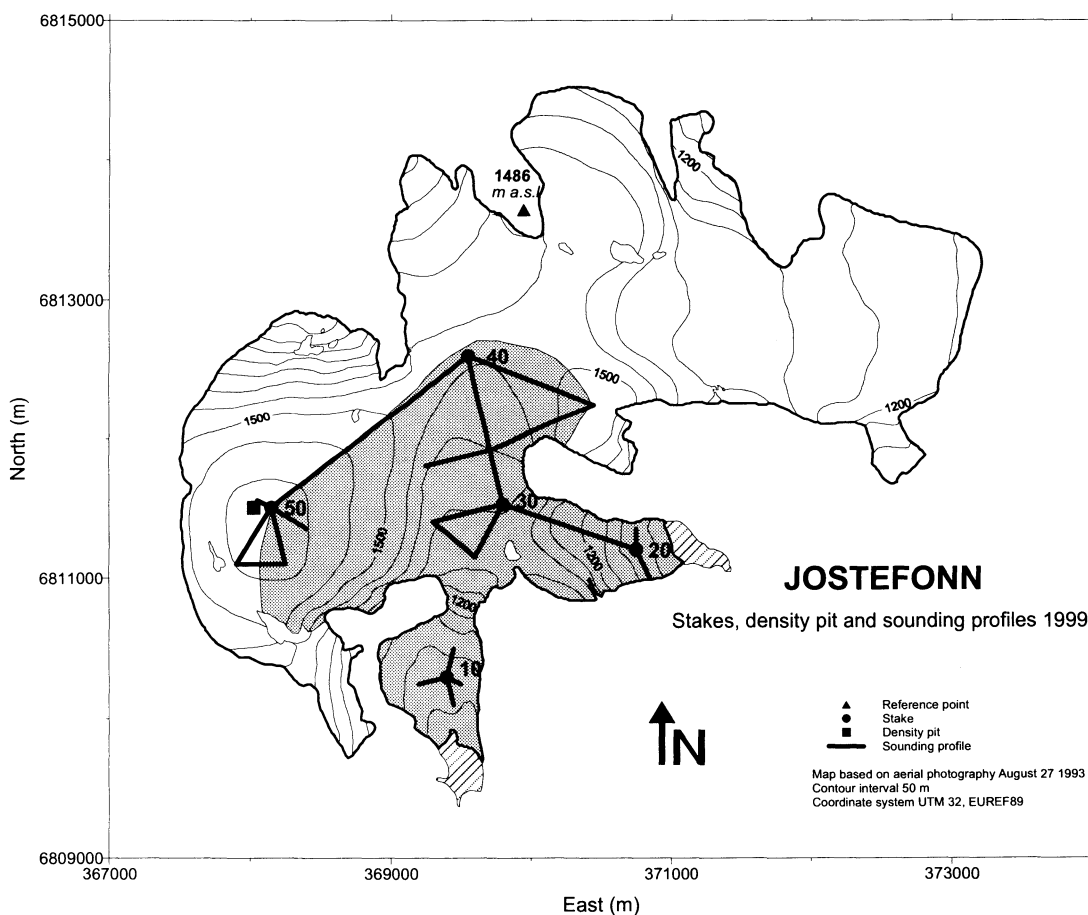
Uncertainty

The uncertainty in mass balance results depend on several different factors and is difficult to quantify and has to be a subjective estimate made by the performer of the field work.

A such estimate was made and the following figures are thought to be valid for 1999: For Ålfotbreen the uncertainty in b_w is ± 0.2 m, in b_s ± 0.4 m and in b_n ± 0.3 m w.eqv. For Hansebreen the uncertainty in b_w is ± 0.2 m, in b_s ± 0.5 m and in b_n ± 0.3 m w.eqv.

3 Jostefonn (Hallgeir Elvehøy)

Jostefonn (61°25'N, 6°35'E) er ein platåbre (12,5 km²) som ligg i Balestrand og Førde kommunar i Sogn og Fjordane. Massebalansemålingane på Jostefonn er ein del av dei hydrologiske målingane som er konsesjonspålagt Sogn og Fjordane energiverk for Mel kraftverk i Balestrand. Målingane vart starta hausten 1995, og skal pågå i 5 år. Målingane vart gjort på to brearmar (til saman 3,8 km²) som no drenerer til Nedre Svartavassvatn som er magasin for kraftverket. Ein tredje brearm som drenerer til Øvre Svartavassvatn er ikkje med i måleopplegget. Figur 3-1 viser Jostefonn og det undersøkte området med stakeposisjonar og sonderingsprofil.



Figur 3-1

Kart som viser plasseringa av stakar, tettlekssjakt og sonderingsprofil på Jostefonn i 1999.

Location of stakes, density pit and sounding profiles at Jostefonn in 1999.

3.1 Massebalanse 1999

Feltarbeid

Akkumulasjonsmålingane vart gjort 5. mai. Følgjande målingar er grunnlag for utrekning av vinterbalansen (fig. 3-1):

- Kjerneboringar 1035 (stake 10), 1075 (stake 20), 1355 (stake 30), 1455 (stake 40) og 1620 moh. (stake 50) som viste 5,65, 5,00, 6,35, 6,00 og 6,15 m snø.
- Snøtettleik målt ned til SO på 6,15 m djup 1620 moh. (stake 50).
- 82 sonderingar langs 10 km sonderingsprofil (fig. 3-1). Sonderingsprofilane var i hovudsak dei same som i 1996, 1997 og 1998. Det var gode sonderingsforhold over heile breen. Snødjupet var stort sett mellom 5,5 og 7,5 m.

Minimumsmålingane vart gjort 6. oktober. Over 1200 m nivå låg det 0,1 til 0,2 m nysnø på breen. Likevektslinehøgda kunne derfor ikkje bestemmast, men låg truleg mellom 1200 og 1300 moh. Nettobalansen vart målt i fem posisjonar mellom 1035 og 1620 moh. Det låg att 1,0 m snø ved stake 50 (1620 moh.), 0,5 m ved stake 40 (1455 moh.) og 1,0 m ved stake 30 (1355 moh.). Ved stake 10 (1035 moh.) hadde det smelta vekk 1,6 m is, og ved stake 20 (1075 moh.) om lag 1,2 m is.

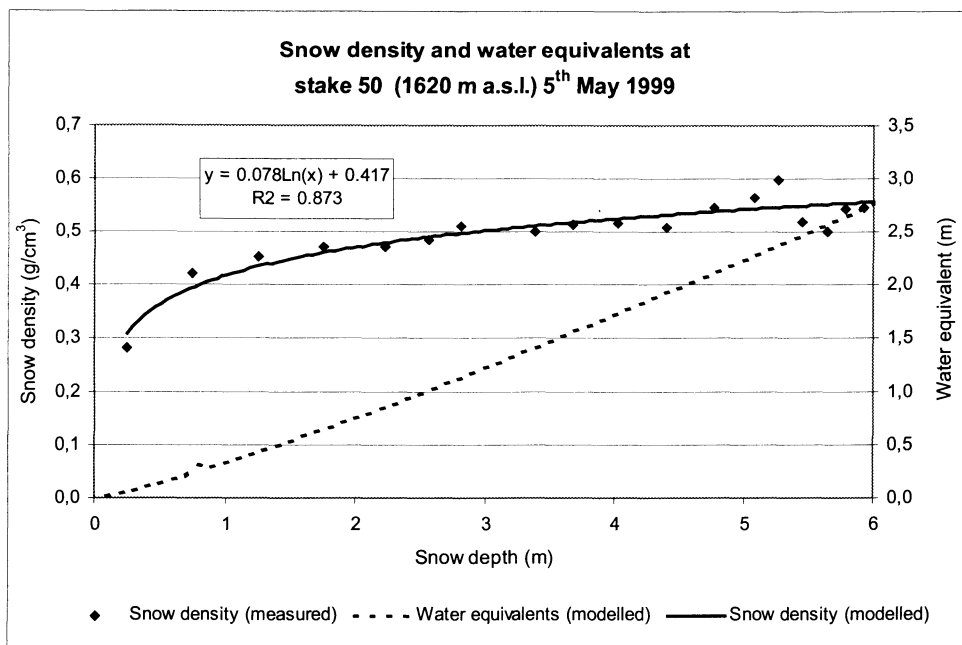
Resultat

Massebalansen er rekna ut etter ein stratigrafisk (tradisjonell) metode der nettobalansen er endringa mellom to sommeroverflatar. Tidsrommet som er representert kan variere frå øverst til nederst på breen. Dette er den metoden som har vore nytta tidlegare.

Vinterbalanse

På grunnlag av målingane 5. mai vart vinterbalansen utrekna. Basert på tettleiksmålinga 1620 moh. vart ein funksjon som gir samanhengen mellom snødjup og vassekvivalentar funne (fig. 3-2). Funksjonen vart brukt til å rekne om sondert snødjup til vassekvivalentar. Med denne funksjonen vart midlare tettleik for 5 m snø utrekna til $0,45 \text{ g/cm}^3$.

Basert på snødjupmålingane vart så ei høgdefordelingskurve for vinterbalansen trekt (fig. 3-3). Vinterbalansen vart dermed utrekna til $11 \pm 1 \text{ mill. m}^3$ vassekvivalentar eller $2,9 \pm 0,2 \text{ m}$ vassekvivalentar jamt fordelt over breoverflata. Ein reknar imidlertid med at det vert akkumulert meir snø på austsida av den høgste brekulen enn det målingane i same høgdenivå langs ryggen mellom stake 40 og stake 50 viser (fig. 3-1). Derfor vart vinterbalansen også utrekna ut ifrå vinterbalansen si romlege fordeling. Alle omrekna snødjupmålingar frå 5. mai vart koordinatfesta, og kart over vinterbalansen si romlege fordeling vart konstruert ved kriging interpolasjon (fig. 3-4).



Figur 3-2

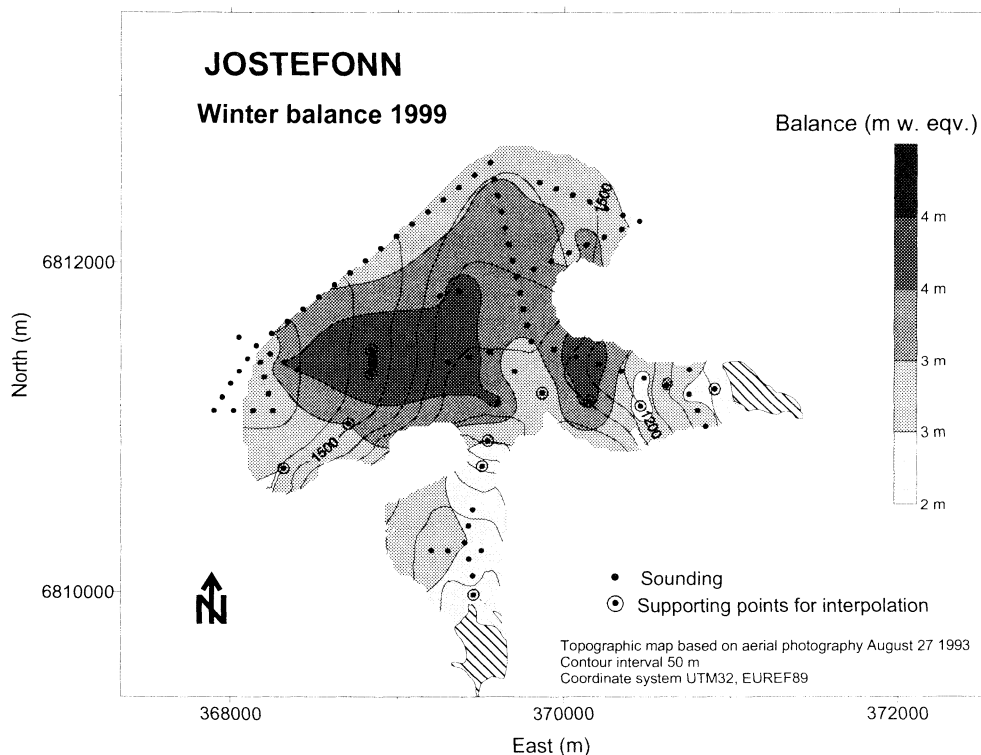
Figuren viser målt snøtettleik ved stake 50 (1620 moh.) og modell for korleis snøtettleiken aukar med snødjupet der. Denne modellen vert rekna som representativ for heile breen. Basert på denne modellen er vassekvivalentverdier for snødjup opp til 6 m vist. Denne samanhengen er brukt til omrekning av målte snødjup til vassekvivalentar.

Snow density measured at stake 50 (1620 moh.), model of snow density as a function of snow depth, and relationship between snow depth and water equivalent using the depth-density model.

For å støtte interpolasjonen i områder utan målingar vart elleve ekstra punkt lagt inn. Punktverdiane vart estimert ut ifrå nærliggjande målingar og vurdering av korleis dominerande vindretning frå vest og sørvest vil påverke snøfordelinga. Midlare vinterbalanse frå dette kartet vart 3,2 m vassekvivalentar. Skilnaden mellom høgdefordelte verdier og arealfordelte verdier ligg innafor ei uvisse på ±0,2 m vassekvivalentar i begge resultat.

Sommarbalanse

Sommarbalansen kunne reknast ut for stakeposisjonane 10 (1035 moh.), 20 (1075 moh.), 30 (1355 moh.), 40 (1455 moh.) og 50 (1620 moh.), og var mellom -2,2 m øvst og -3,5 m vassekvivalentar nedst på breen. Ut ifrå desse verdiane vart ei utjamna sommarbalansekurve trekt. Sommarbalansen vart dermed utrekna til -10 ± 1 mill. m³ vassekvivalentar eller $-2,5 \pm 0,3$ m vatn jamt fordelt over breoverflata. Til samanlikning var sommarbalansen i 1996, 1997 og 1998, -2,8, -3,9 og -2,5 m. Sommarbalansen si høgdefordeling i 1999 er vist i tabell 3-1 og figur 3-4.



Figur 3-3

Vinterbalansen på den undersøkte delen av Jostefonn 5. mai 1999 interpolert ved kriging frå sonderingar og 11 ekstrapolerte punkt. Midlare vinterbalanse for denne arealfordelinga er 3,2 m vassekvivalentar medan vinterbalansen si høgdefordeling basert på sonderingane gir 2,9 m vassekvivalentar.

Winter balance for the investigated part of Jostefonn interpolated by kriging from soundings and eleven extrapolated points. Mean winter balance for this area distribution is 3.2 m water equivalents, and the winter balance based on sounding elevations gives 2.9 m water equivalents.

Nettobalanse

Nettobalansen er utrekna til eit masseoverskot på 1 ± 1 mill. m^3 vassekvivalentar eller $0,4 \pm 0,3$ m vatn jamt fordelt over brecoverflata. Til samanlikning var nettobalansen $+0,3$ m i 1998, $-0,3$ m i 1997 og $-1,5$ m i 1996. Nettobalansen si høgdefordeling er vist i figur 3-4, og i tabell 3-1 er verdiane for vinter-, sommar- og nettobalansen gitt. Likevektslinehøgda er fastsett ut ifrå nettobalanseskurvane i figur 3-4 til ca. 1200 moh. Det medfører at 79 % av brefeltet (AAR) låg høgare enn likevektslina.

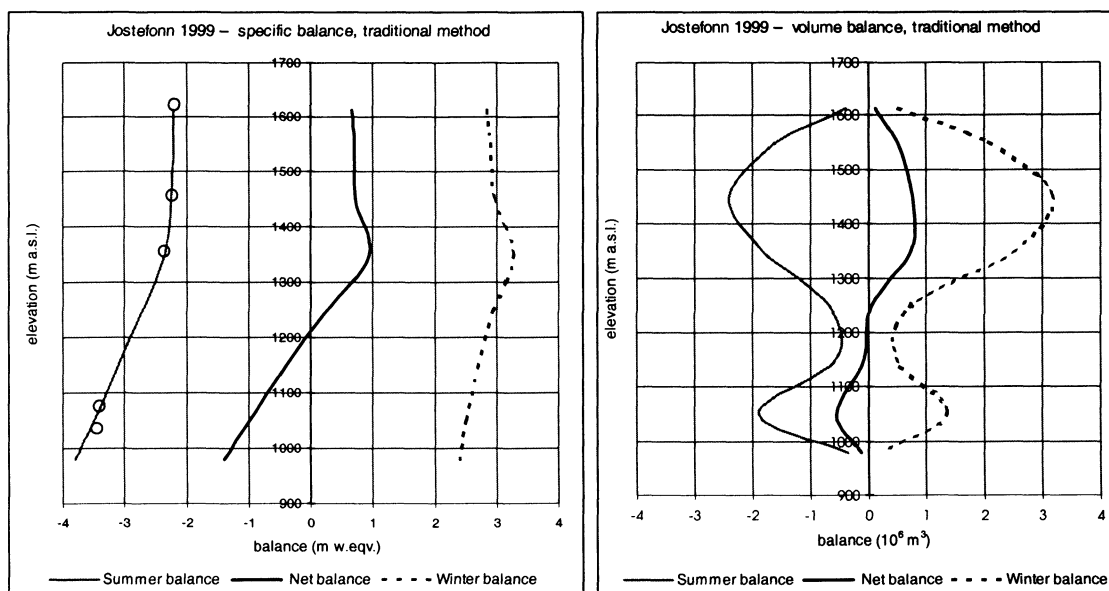
I figur 3-5 er vinter-, sommar- og nettobalansen på Jostefonn 1996-1999 vist. Utrekningane viser at det undersøkte brefeltet har hatt eit netto massetap som tilsvarar 1,1 m vatn jamt fordelt over brefeltet eller totalt 4 mill. m^3 vassekvivalentar i perioden 1996-99. Sidan det er sannsynleg at reell vinterbalanse er noe større enn vinterbalansen utrekna frå sonderingane si høgdefordeling, så har Jostefonn truleg vore nærare likevekt enn det målingane viser.

Mass balance Jostefonn 1998/99 – traditional method							
Altitude (m a.s.l.)	Area (km ²)	Winter balance		Summer balance		Net balance	
		Measured May 5 1999		Measured Oct 6 1999		Summer surfaces 1998 - 1999	
		Specific (m w.eqv.)	Volume (10 ⁶ m ³)	Specific (m w.eqv.)	Volume (10 ⁶ m ³)	Specific (m w.eqv.)	Volume (10 ⁶ m ³)
1600 - 1622	0,18	2,85	0,5	-2,20	-0,4	0,65	0,1
1500 - 1600	0,72	2,90	2,1	-2,20	-1,6	0,70	0,5
1400 - 1500	1,07	2,96	3,2	-2,25	-2,4	0,71	0,8
1300 - 1400	0,78	3,28	2,6	-2,35	-1,8	0,93	0,7
1200 - 1300	0,25	2,95	0,7	-2,70	-0,7	0,25	0,1
1100 - 1200	0,18	2,70	0,5	-3,10	-0,6	-0,40	-0,1
1000 - 1100	0,54	2,50	1,4	-3,50	-1,9	-1,00	-0,5
960 - 1000	0,09	2,40	0,2	-3,80	-0,3	-1,40	-0,1
960-1622	3,81	2,92	11,1	-2,54	-9,7	0,38	1,4

Tabell 3-1

Vinter-, sommar- og nettobalansen si høgdefordeling på Jostefonn i 1999.

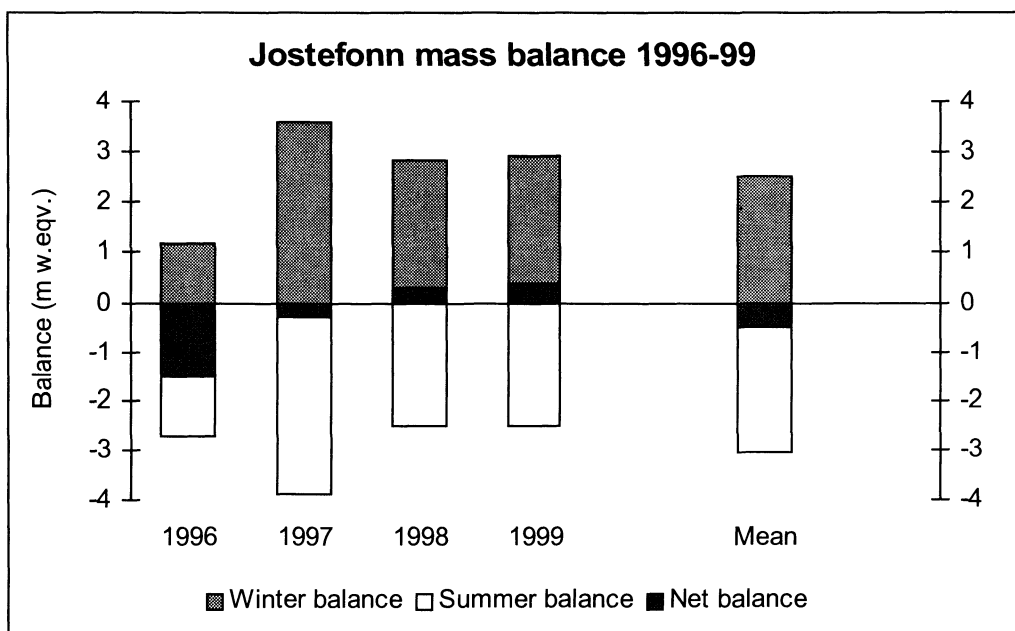
Altitudinal distribution of winter, summer and net balance of Jostefonn in 1999.



Figur 3-4

Kurver for spesifikke verdiar (venstre) og volumverdiar (høgre) for vinter-, sommar- og nettobalansen på Jostefonn i 1999. Spesifikk sommarbalanse for fem stakeposisjonar er vist (o).

Altitudinal distribution of specific (left) and volumetric (right) winter, summer and net balance for Jostefonn in 1999. Specific summer balance at five stakes are shown (o).



Figur 3-5

Vinter-, sommar- og nettobalansen på Jostefonn i perioden 1996-99.

Specific winter, summer and net balance of Jostefonn for the period 1996-99.

3.2 English summary

Jostefonn (61°25'N, 6°35'E) is a small plateau glacier (12.5 km²) located 10 km south-west of Jostedalsglaciären in western Norway (Fig. 3-1). The altitude range of this glacier is 950-1620 m a.s.l. The mass balance measurements are carried out on two south-east facing outlets (Fig. 3-1) covering an area of 3.8 km². Mass balance measurements were initiated in the autumn of 1995 and will last for five years.

Mass balance

The winter balance was calculated to $11 \pm 1 \times 10^6 \text{ m}^3 \text{ w.eqv.}$ based on five snow-depth measurements with coring (1035, 1075, 1355, 1455 and 1620 m a.s.l.), and 82 soundings covering the entire altitude range (Fig. 3-1, Fig. 3-3 and Tab. 3-1). The snow depth varied between 5.5 and 7.5 m. Specific winter balance was $2.9 \pm 0.2 \text{ m w.eqv.}$ The measuring program does not cover the eastern slopes of the western, highest part of the glacier (Fig. 3-1). This area is probably accumulating more snow during the winter than what is measured, thereby causing an underestimation of the true winter balance. Additional points were entered based on assumed wind/topography effects and used for interpolation with kriging. This procedure gave a specific winter balance of 3.2 m w.eqv. The summer balance was calculated from an altitude distribution, based on measurements and estimates at five locations 1035, 1975, 1355, 1455 and 1620 m a.s.l. (Fig. 3-1). Total summer balance was

$-10 \pm 1 \times 10^6 \text{ m}^3 \text{ w.eqv.}$ corresponding to a specific summer balance of $-2.5 \pm 0.3 \text{ m w.eqv.}$ (Fig. 3-4 and Tab. 3-1).

The resulting net balance was a mass surplus of $1 \pm 1 \times 10^6 \text{ m}^3 \text{ w.eqv.}$ or $0.4 \pm 0.3 \text{ m}$ water averaged over the basin area (Fig. 3-4 and Tab. 3-1). The ELA was at 1200 m a.s.l. and the AAR was 79 %. Fig. 3-5 shows the results of mass balance measurements at Jostefonn in the period 1996-99. During this period there was a cumulative mass loss of $4 \times 10^6 \text{ m}^3 \text{ w.eqv.}$ (volume) or 1.1 m w.eqv. (specific).

4 Briksdalsbreen (Hallgeir Elvehøy)

Briksdalsbreen (ca. 10,4 km²) er ein vestleg utløpar frå Jostedalsbreen, og strekk seg frå Kvitekoll 1915 moh. ned til Briksdalsvatnet 350 moh. Det meste av arealet (ca. 90 %) ligg på breplatået over 1500 moh. I brefallet ned frå breplatået går breen frå 1500 moh. til 350 moh. over ein horisontal avstand på 2,2 km. Sidan 1967 har breen gått fram og dekkja Briksdalsvatnet slik at brefronten no står ved utløpet av Briksdalsvatnet (fig. 4-1). Ved den indre enden av Briksdalsvatnet er breen no over 100 meter tjukk. Bretunga sitt areal har auka med ca. 0,15 km² (1,5 %) mellom 1967 og 1998 som følgje av breframstøytet. Undersøkingane av dynamikken i bretunga har pågått sidan hausten 1996. Resultat av målingane i 1997 og 1998 er rapportert i Kjølmoen (red.) (1998) og Kjølmoen (red.) (1999).



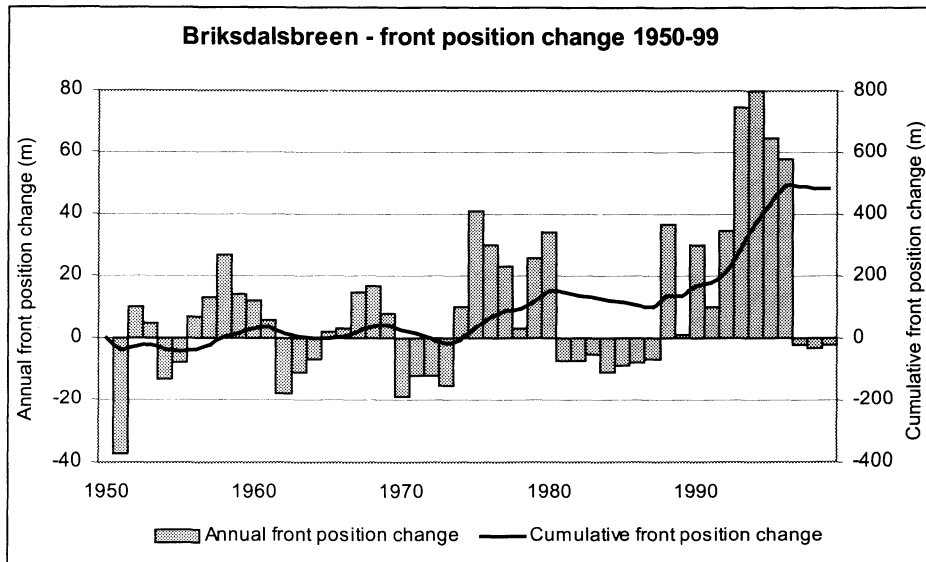
Figur 4-1

Nederste delen av Briksdalsbreen 30. juli 1999. Sidan 1967 har breen gått fram og brefronten står no ved utløpet av Briksdalsvatnet.

The lower part of Briksdalsbreen on 30th July 1999. Since 1967 the glacier has advanced and the glacier snout is now at the outlet of Lake Briksdalsvatnet.
Foto/Photo: Olav Osvoll.

4.1 Frontposisjonendringar

Målingar av frontposisjonendringar har pågått sidan 1900 (Rekstad, 1904). Fram til 1934 var det berre små variasjonar i frontposisjonen med små framstøyt rundt 1910 og 1929. Mellom 1934 og 1951 trakk imidlertid brefronten seg meir enn 800 meter tilbake, og Briksdalsvatnet vart avdekka. Etter 1951 har Briksdalsbreen hatt fleire mindre framstøyt. Det siste framstøytet starta i 1988, og fram til hausten 1996 rykka brefronten fram omlag 390 meter (fig. 4-2). Etter det har brefronten endra seg lite frå år til år, men har hatt relativt store årlege variasjonar.



Figur 4-2

Frontposisjonendringar på Brikdalsbreen (1950-99) etter den store tilbakegangen i perioden 1930-51 då Brikdalsvatnet vart avdekket.

Front position change at Brikdalsbreen (1950-99) after the deglaciation of Lake Brikdalsvatn, which took place during the period 1930-51.

I mai 1999 stod brefronten lengre framme enn nokon gong sidan 1940-talet, men smelta noe tilbake i løpet av sommaren. Sidan breelva renn like framfor brefronten, vert morenerygger som breen skur saman i løpet av vinteren vaska vekk i løpet av sommaren. Breelva riv også vekk isblokker slik at brefronten trekk seg tilbake i løpet av sommaren.

4.2 Endring i breoverflatehøgda

Samanlikning av innmålte høgder indikerer at overflata på bretunga er senka om lag 2 m i perioden mellom 24. september 1998 og 27. september 1999. Overflatesenkinga var i samme storleik mellom november 1996 og oktober 1997, og mellom oktober 1997 og september 1998. Målingane viser dermed at tilførselen av breis frå breplatået ikkje kompenserer for smeltinga på bretunga. Dette vises også ved at bretunga har vorte slakare. Det må derfor forventast at brefronten kan komme til å trekkje seg tilbake innan relativt kort tid.

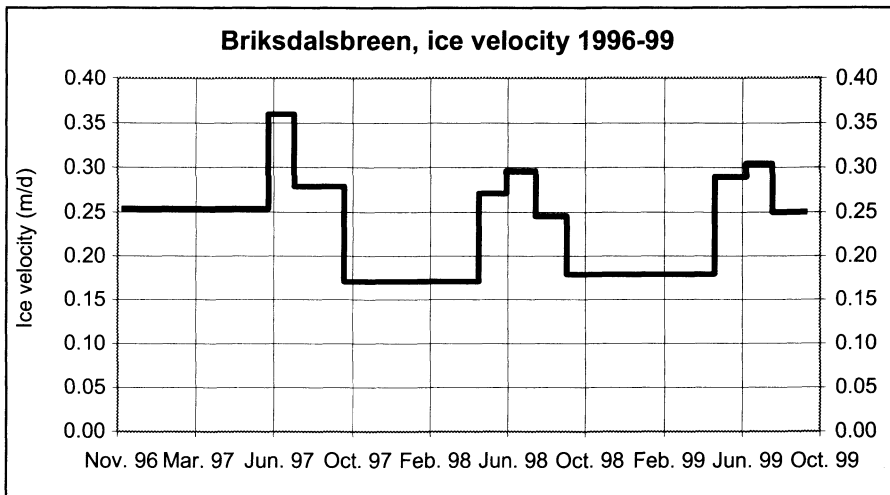
4.3 Brebevegelse

Brehastighet på bretunga i perioden 1996-99 er estimert for eit punkt 300 meter frå brefronten ut ifrå hastigheit til innmålte stakar (fig. 4-3). Brehastigheita ser ut til å ha auka litt frå 1998 til 1999, men er vesentleg lavare enn i 1997, og er spesielt lavare om vinteren.

Figur 4-4 viser målt brehastighet som funksjon av avstanden frå brefronten for vintrane 1996/97, 1997/98 og 1998/99. Sidan istjukkleiken på bretunga i lita grad er

endra sidan hausten 1996, må reduksjonen i brehastigheit i stor grad skuldast redusert påtrykk frå brefallet ovafor det undersøkte området, noe som igjen må skuldast redusert istransport frå breplataet.

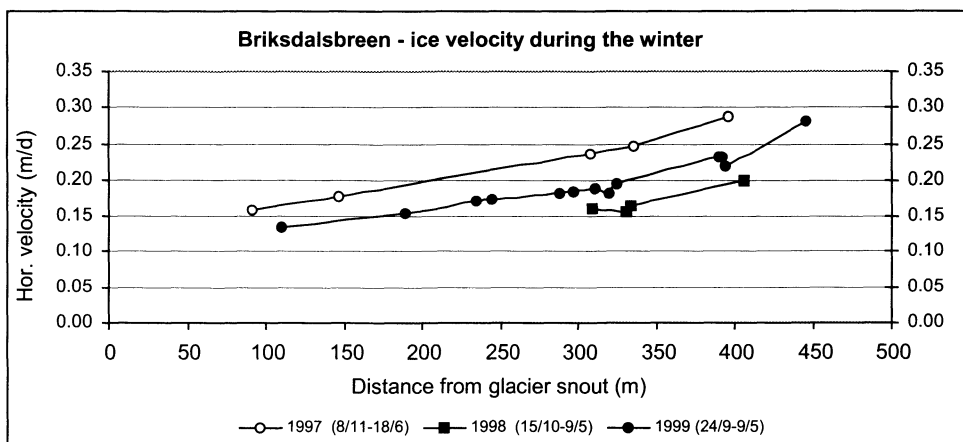
Samanlikning av retningar på hastigheitsvektorar syner dessutan minkande grad av transversalt strekk, dvs. at spenningane i isen som fører til at det vert danna radiale sprekker i brefronten, er redusert. Dette kan også skuldast redusert påtrykk frå brefallet.



Figur 4-3

Brebevegelsen i eit punkt 300 m frå brefronten nær breen si senterline, interpolert frå hastigheit utrekna for stakar i området rundt punktet.

Glacier velocity at a fixed position 300 m from the glacier front close to the central flowline, interpolated between calculated velocities at stakes close to this position.



Figur 4-4

Brebevegelse (m/døgn) vinteren og våren 1997, 1998 og 1999 som funksjon av avstanden frå brefronten langs ei sentral flyteline på den nederste delen av Briksdalsbreen.

Glacier velocity (m/d) during winter and spring of 1997, 1998 and 1999. The slight difference in the period between the years can account for some of the difference, mainly due to higher glacier velocity in late spring/early summer. The reduction in velocity corresponds well with the stagnation of the glacier front position and the lowering of the glacier surface.

4.4 Smelting på bretunga

Smelting på bretunga vart målt for 3 periodar mellom 9. mai og 27. september. Total smelting var om lag 11,6 m is som tilsvarar 10,5 m vassekvivalentar. Midlare ismelting i periodane var om lag 6 cm/d i mai og juni, og 9 - 10 cm/d i juli, august og september. I balanseåret 1998-99 (24/9 - 27/9) smelta det om lag 14 meter is (12,6 m vassekvivalentar) på bretunga, medan det i balanseåret 1996-97 (8/11 - 15/10) smelta meir enn 13 meter is (11,7 m vassekvivalentar.) og i balanseåret 1997-98 (15/10 - 24/9) smelta om lag 11 meter is (9,9 m vassekvivalentar.). Til samanlikning var nettobalansen i samme høgdenivå på Nigardsbreen i 1997, 1998 og 1999 hhv. -11,2, 10,9 og -9,8 m vassekvivalentar som var 112, 109 og 98 % av gjennomsnittet for måleperioden der (1962-99).

4.5 English summary

Briksdalsbreen (10.4 km²) is a western outlet glacier from the Jostedalbreen ice cap. Most of its area lies on the plateau between 1500 and 1915 m a.s.l., with only 12 % of the glacier area below 1500 m a.s.l. The glacier tongue comes down to 350 m a.s.l. where it until recently calved into Lake Briksdalsvatn (Fig. 4-1). The glacier has advanced 465 metres since 1967 and has covered the former lake entirely. The glacier area has increased by approximately 0.15 km² or 1.5 %. Between 1988 and 1996 the glacier advanced 390 metres but then the front position has been stable (Fig. 4-2). Coinciding with the stagnation of the front, there has been a slight lowering of the glacier surface.

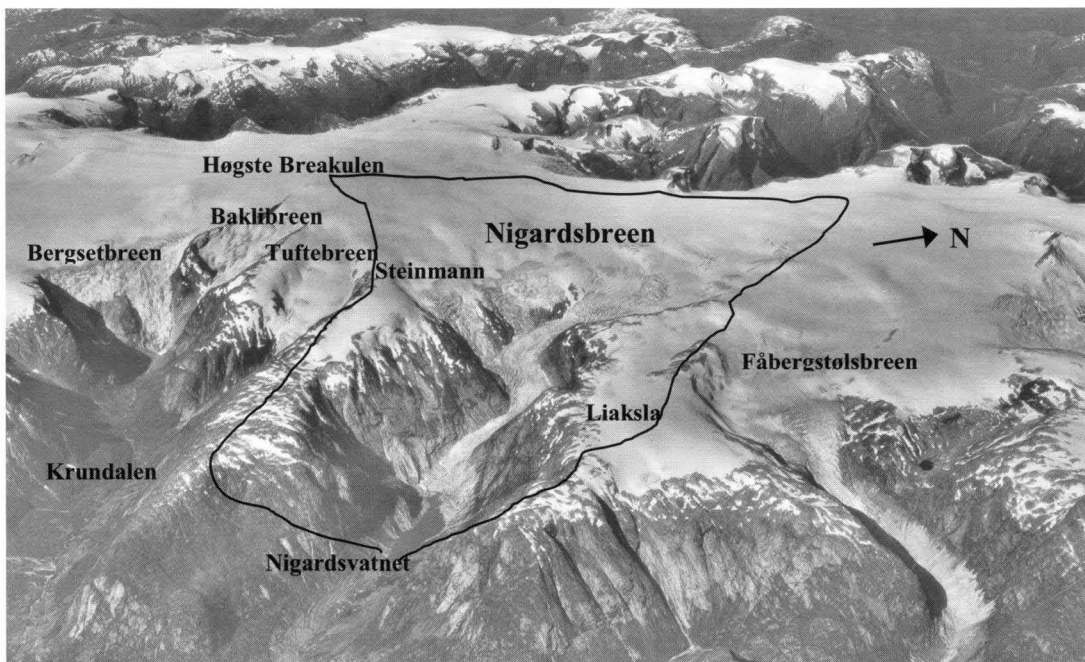
The glacier velocity has also decreased after 1997 and 1998 (Fig. 4-3 and 4-4). Since the ice thickness did not change considerably, the reduction in velocity must be due to a reduction in backpressure from the icefall, where the ice flux must have decreased.

During the summer of 1999 11.6 metres of ice melted away at the snout of Briksdalsbreen, corresponding to 10.5 m water equivalents. The melt rate was at its highest in July with 0.1 m ice/day. A total of more than 14 metres of ice melted away during the balance year.

5 Nigardsbreen (Bjarne Kjøllmoen)

Nigardsbreen (61°42'N, 7°08'E) er en av de største og mest kjente utløperne fra Jostedalsbreen. Breen har et samlet areal på 48 km² og strekker seg fra 320 til 1960 moh. Den drenerer østover til Nigardsvatnet i Jostedalen (fig. 5-1).

Breundersøkelsene på Nigardsbreen utføres som en del av de konsesjonspålagte hydrologiske undersøkelsene i forbindelse med reguleringen av Leirdøla. Måleprogrammet omfatter massebalanse, frontposisjon og meteorologiske målinger. I tillegg observeres den bredemte sjøen Brimkjelen (fig. 5-10) på Tunsbergdalsbreen. Massebalansen på Nigardsbreen ble målt for 38. året på rad i 1999.



Figur 5-1

I hydrologisk sammenheng er Nigardsbreen definert som den delen av Jostedalsbreen som drenerer til Nigardsvatnet (svart linje). Breen har et stort men relativt flatt akkumulasjonsområde. Den dekker totalt et areal på 48 km² (1984). Omkring 80 % av dette arealet ligger over den gjennomsnittlige (1961-99) likevektslinjen som ligger ca. 1500 moh.

Nigardsbreen is defined hydrologically to consist of that section of the ice cap that drains to the lake Nigardsvatnet (black line). The glacier has a relative large but flat accumulation area. It covers a total area of 48 km² (1984). About 80 % of this area lie above the average (1961-99) equilibrium line altitude, which is about 1500 m a.s.l.

Foto/Photo: Ukjent/unknown.

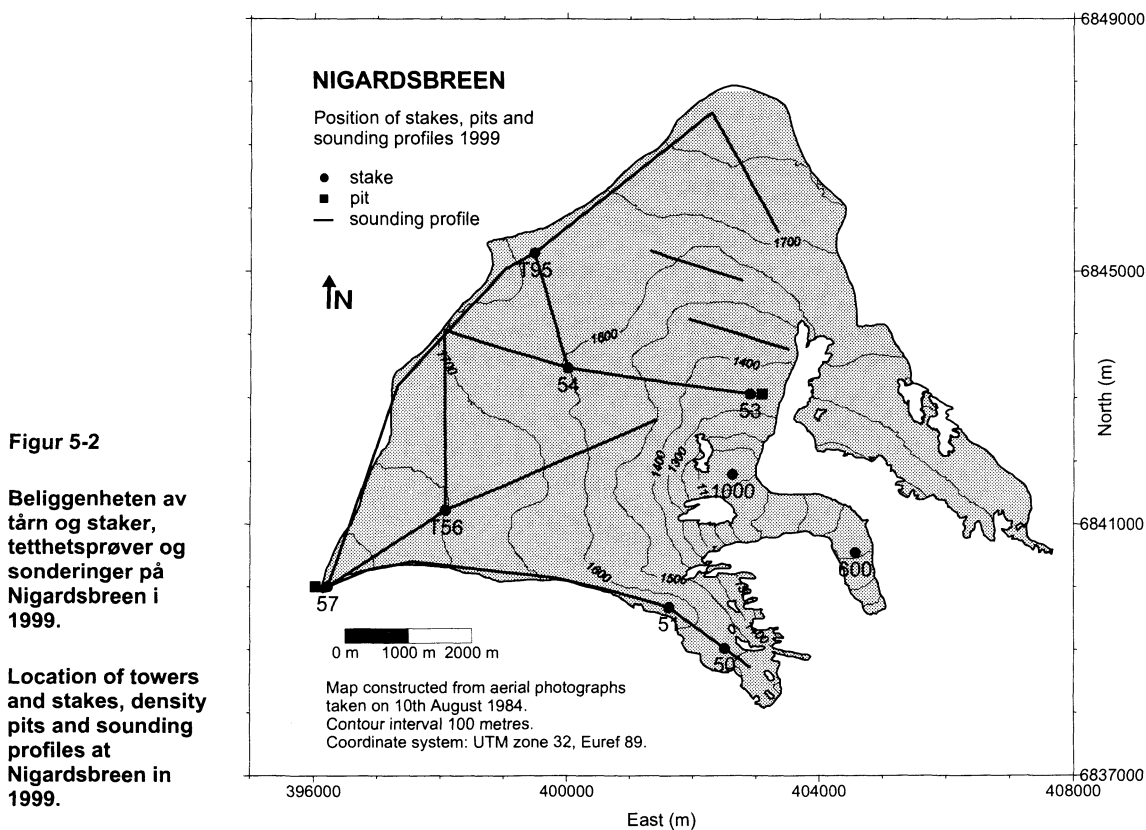
5.1 Massebalanse 1999

Feltarbeid

Akkumulasjonsmålingene ble utført 6. og 7. mai. Grunnlaget for beregning av vinterbalansen er (fig. 5-2):

- Direkte målinger av tårnene T95 (1690 moh.) og T56 (1800 moh.) som viste snødybder på hhv. 5,4 og 6,0 m. I tillegg var det mulig å knytte sammen målinger av flere staker i posisjonene 53 (1325 moh. - 5,7 m snø) og 54 (1610 moh. - 5,9 m snø).
- Kjerneboringer i høydenivåene 1325, 1610 og 1950 moh. (stake 57) som viste snødyp på hhv. 5,5 - 4,9 - 4,9 m.
- 199 sonderingspunkter langs 40 km måleprofiler mellom 1325 og 1945 moh., samt enkelte punkter i høydenivåene 600 og 1000 moh. Sonderingsforholdene var stort sett bra, men som vanlig noe vanskelig over 1800 moh. Sonderingene ble sammenlignet og kontrollert med målinger av to tårn og tre kjerneboringer. Oppe på breplatået ble det målt stort sett mellom 4½ og 6½ m snø. Snødybdene nede på bretunga var ca. 3½ m i 1000 m nivå og ca. 1½ m i 600 m nivå.
- Tetthetsprøve ble tatt ned til SO i høydenivåene 1325 (5,5 m) og 1950 moh. (4,9 m).

Måleopplegg med plassering av staker og tårn, tetthetsprøver og sonderingsprofiler er vist i figur 5-2.



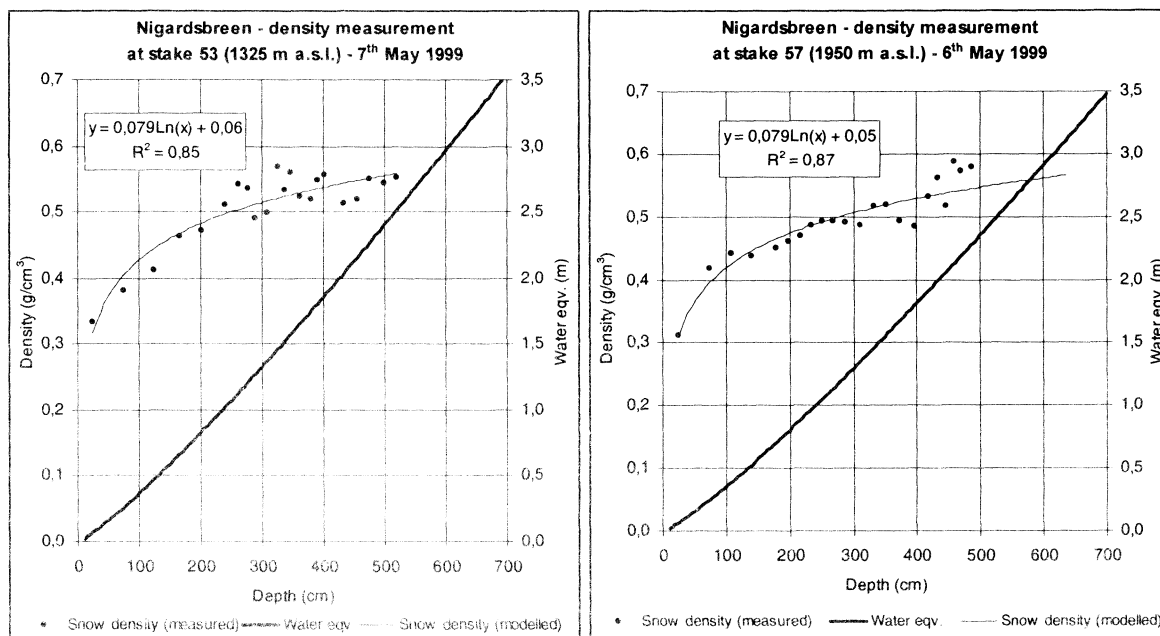
Minimumsmålingene ble utført den 30. september og komplettert den 15. oktober. Nettobalansen ble målt direkte på staker i ni ulike posisjoner mellom 600 og 1800 moh. Snøgrensa ble visuelt bestemt til rundt 1430 moh. Det lå igjen rundt 2 m av siste vinters snø i de høyestliggende områdene på breen, og det var ikke kommet nysnø under målingene den 30. september. Under ekstramålingene den 15. oktober var det derimot kommet 90 cm nysnø på Høgste Breakulen (1950 moh.).

Resultater

Massebalansen er beregnet etter den tradisjonelle metoden der breens balanse mellom to sommeroverflater blir beregnet. Beregningene er basert på kartgrunnlag fra 1984.

Vinterbalanse

Beregning av vinterbalansen er basert på punktmålinger av snødybder (staker, tårn, sonderinger og kjerneboringer) og på måling av snøens tetthet to steder på breen. Ut fra de målte verdiene av snøens tetthet er det modellert et tetthetsprofil av hele snøpakken i høydenivåene 1325 og 1950 moh. Modellen for 1325 moh. er brukt for omregning av snødyp til vannverdier for områdene under 1650 moh., mens modellen for 1950 moh. er brukt for områdene over 1650 moh. Dette er vist i figur 5-3. Midlere snøtetthet er beregnet til $0,48 \text{ g/cm}^3$ i 1325 m nivå og $0,47 \text{ g/cm}^3$ i 1950 m nivå.



Figur 5-3

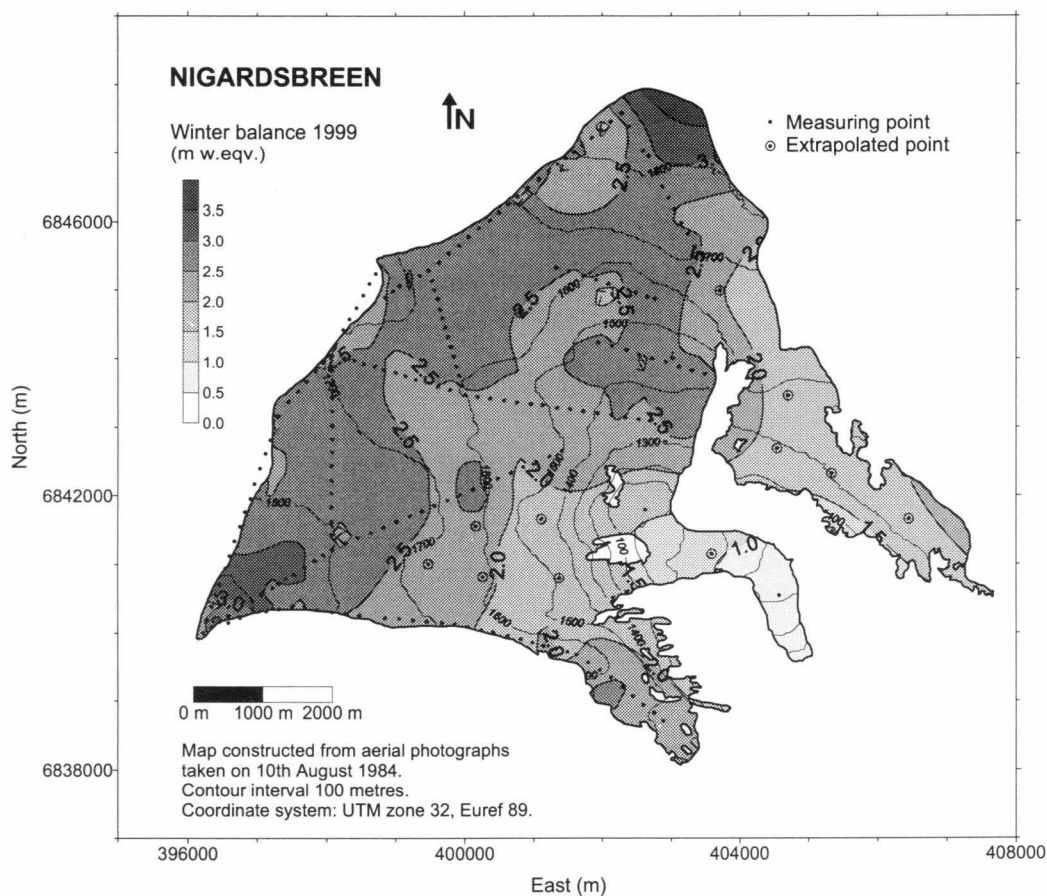
Snøens tetthet (•) målt i høydenivåene 1325 moh. (venstre) og 1950 moh. (høyre), og modell (—) som viser økningen av snøens tetthet med økende snødyp. Den tykke linjen viser vannverdier (på den sekundære y-aksen) i snøpakken beregnet ut fra modellen.

Snow density (•) measured at elevation 1325 m a.s.l. (left) and 1950 m a.s.l. (right), and model (—) showing the increase in snow density with increasing snow depth. The bold line shows the water equivalents (at the secondary y-axis) in the snow pack estimated from the model.

Beregning av vinterbalansen er utført på to ulike måter. Med den ene metoden er alle punktmålingene (vannverdier) plottet i et diagram. Ut fra en visuell bedømming er en kurve trukket (fig. 5-5), og en middelværdi for hver 100. høydemeter er bestemt (tab. 5-1). Områdene over 1325 moh. er godt representert med målepunkter. Under dette høydenivået er kurven trukket på grunnlag av punktmålinger i 1000 og 600 m nivå. Beregningene gir en vinterbalanse på $2,4 \pm 0,2$ m vannekvivalenter, som tilsvarer et vannvolum på 114 ± 10 mill. m^3 vann. Dette resultatet er det samme som middelværdien for måleperioden som startet i 1962.

Videre er vinterbalansen også beregnet ut fra snødypmålingenes romlige fordeling (fig. 5-4). I enkelte områder på breen er det få eller ingen målinger. I disse områdene er det ekstrapolert tolv punkter basert på erfaringstall fra perioden 1975-81. Det gjelder områder nede på bretunga, på Liaksla (fig. 5-1) og nordvest for Steinmann. Vannverdier for hver celle i et rutenett på 100 x 100 meter er beregnet og summert. Denne metoden viser et resultat på 2.3 m vannekvivalenter (112 mill. m^3).

Et snøfordelingskart eller akkumulasjonskart som illustrerer snøfordelingen angitt i meter vannekvivalenter, er vist i figur 5-4.



Figur 5-4

Vinterbalansen på Nigardsbreen i 1999 interpolert fra 207 målinger av snødyp. I områder med få eller ingen målinger er det lagt inn til sammen 12 ekstrapolerte punktverdier.

The winter balance at Nigardsbreen in 1999 interpolated from 207 snow depth measurements. In areas with few or none measurements 12 extrapolated points are added.

Sommerbalanse

Sommerbalansen er målt og beregnet direkte på sju tårn og staker, og øker fra i underkant av 1 m øverst på breen til drøye 7 m vannekvivalenter nederst på bretunga. Tettheten av siste vinters gjenværende snø er estimert til $0,60 \text{ g/cm}^3$, mens tettheten for avsmeltet eldre firn er estimert til $0,65 \text{ g/cm}^3$. Tettheten for avsmeltet is er satt til $0,90 \text{ g/cm}^3$. På grunnlag av disse estimatene og stakemålinger er en kurve trukket (fig. 5-5), og en middelvei for hver 100. høydemeter er bestemt (tab. 5-1). Beregningene gir en sommerbalanse på $-2,2 \pm 0,3$ m vannekvivalenter eller -106 ± 15 mill. m^3 vann. Det er 115 % av middelveidien for måleperioden.

Nettobalanse

Nigardsbreens nettobalanse for 1999 er beregnet til $+0,2 \pm 0,3$ m vannekvivalenter som betyr et lite overskudd på 8 ± 15 mill. m^3 vann. Siden 1988 er dette det tiende året med overskudd i nettobalansen på Nigardsbreen. Middelveidien for hele måleperioden er $+0,47$ m, mens middelveidien for perioden 1989-99 er så mye som $+1,02$ meter. Den beregnede likevektslinjen er ca. 1470 moh., og det er omtrent 100 m lavere enn et år breen er i likevekt. Akkumulasjonsområdets andel av det totale breareal (AAR) var 87 %.

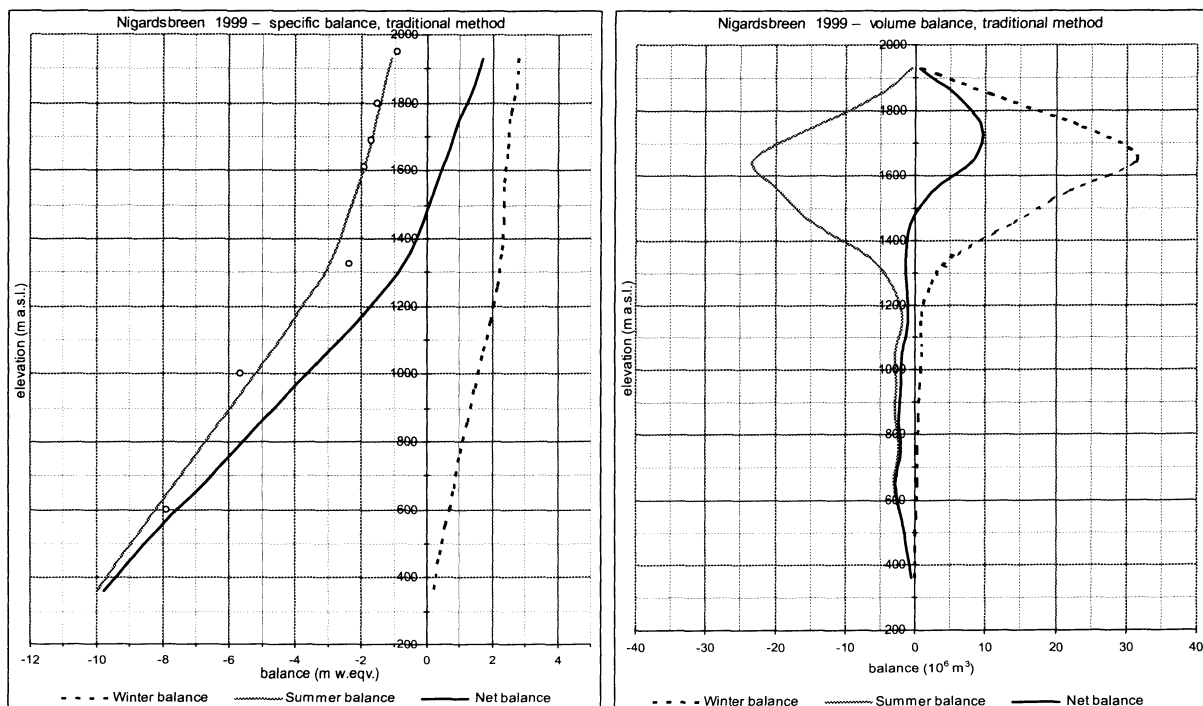
Mass balance Nigardsbreen 1998/99 – traditional method							
Altitude (m a.s.l.)	Area (km^2)	Winter balance		Summer balance		Net balance	
		Measured May 6 1999		Measured Sep 30 1999		Summer surfaces 1998 - 1999	
		Specific (m w.eq.)	Volume (10^6 m^3)	Specific (m w.eq.)	Volume (10^6 m^3)	Specific (m w.eq.)	Volume (10^6 m^3)
1900 - 1960	0,38	2,80	1,1	-1,10	-0,4	1,70	0,6
1800 - 1900	3,92	2,75	10,8	-1,30	-5,1	1,45	5,7
1700 - 1800	9,39	2,55	23,9	-1,55	-14,6	1,00	9,4
1600 - 1700	12,88	2,45	31,6	-1,80	-23,2	0,65	8,4
1500 - 1600	9,18	2,35	21,6	-2,10	-19,3	0,25	2,3
1400 - 1500	5,82	2,35	13,7	-2,45	-14,3	-0,10	-0,6
1300 - 1400	2,28	2,30	5,2	-2,85	-6,5	-0,55	-1,3
1200 - 1300	0,90	2,15	1,9	-3,40	-3,1	-1,25	-1,1
1100 - 1200	0,45	1,95	0,9	-4,10	-1,8	-2,15	-1,0
1000 - 1100	0,58	1,70	1,0	-4,85	-2,8	-3,15	-1,8
900 - 1000	0,47	1,45	0,7	-5,60	-2,6	-4,15	-2,0
800 - 900	0,44	1,25	0,6	-6,35	-2,8	-5,10	-2,2
700 - 800	0,33	1,00	0,3	-7,10	-2,3	-6,10	-2,0
600 - 700	0,39	0,80	0,3	-7,85	-3,1	-7,05	-2,7
500 - 600	0,24	0,55	0,1	-8,60	-2,1	-8,05	-1,9
400 - 500	0,12	0,35	0,0	-9,35	-1,1	-9,00	-1,1
320 - 400	0,05	0,20	0,0	-10,00	-0,5	-9,80	-0,5
320 - 1960	47,82	2,38	113,7	-2,21	-105,5	0,17	8,2

Tabell 5-1

Vinterbalanse, sommerbalanse og nettobalanse for Nigardsbreen i 1999 beregnet med tradisjonell metode. Middelveidene for måleperioden 1962-98 er $b_w=2,39$ m, $b_s=-1,92$ m og $b_n=+0,47$ m vannekvivalenter.

Winter, summer and net balance for Nigardsbreen in 1999. Mean values for the period 1962-98 are $b_w=2.39$ m, $b_s=-1.92$ m and $b_n=+0.47$ m water equivalents.

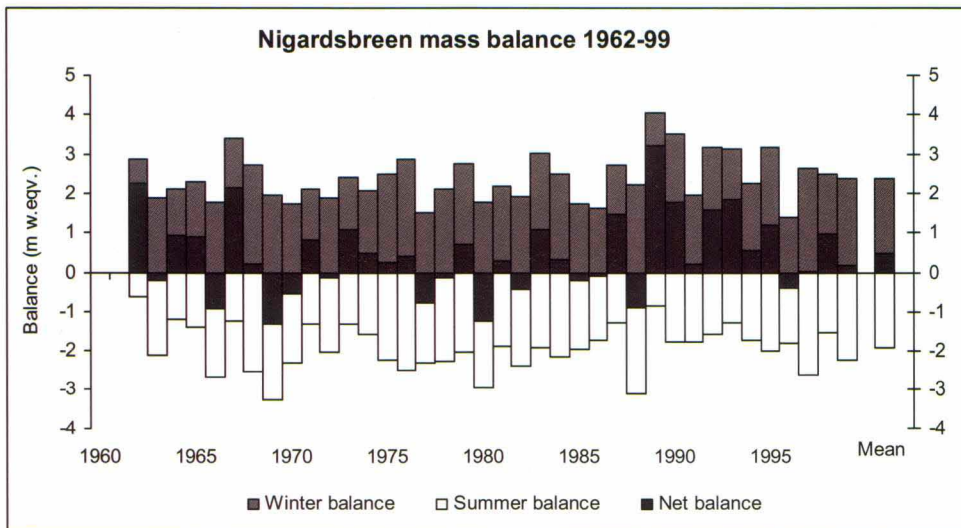
Verdiene for massebalansen i de enkelte høydeintervall er vist i tabell 5-1. Tilsvarende kurver for hhv. spesifikke verdier og volumverdier fordelt med høyden er vist i figur 5-5. Nigardsbreen årlige variasjoner i massebalansen siden målingene startet i 1962 er vist i figur 5-6.



Figur 5-5

Massebalansediagram for Nigardsbreen 1999 som viser spesifikke verdier (venstre) og volumverdier (høyre) for hhv vinter-, sommer- og nettobalanse beregnet med tradisjonell metode. Sommerbalansen for hver stake er vist som punkter (◦). Ut fra diagrammet er likevektslinjens høyde ca. 1470 moh.

Mass balance diagram for Nigardsbreen 1999 showing specific balance to the left and volume balance to the right. Summer balance at each stake is shown as dots (◦). The net balance curve indicates that the equilibrium line altitude (ELA) is about 1470 ma.s.l.



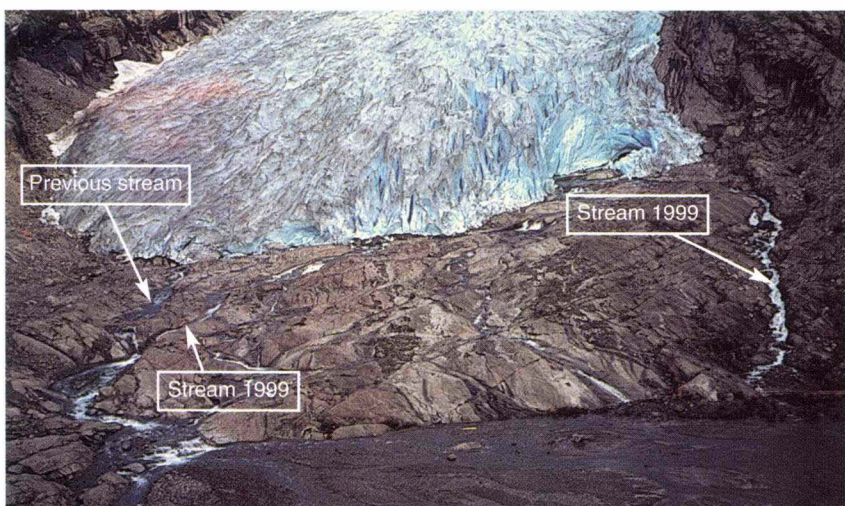
Figur 5-6

Diagrammet viser massebalansen for Nigardsbreen i perioden 1962-99.

Diagram showing mass balance for Nigardsbreen during the period 1962-99.

5.2 Frontposisjon

Brefrontens framgang de siste årene førte i år til at breelvas utløp fordelte seg mer eller mindre over hele frontens bredde. Det var anslagsvis ca. 30 % av vannet som kom ut av den "gamle" breporten. Mesteparten av vannet kom ut lenger øst og fulgte et søkk ned til deltaet (fig. 5-7).



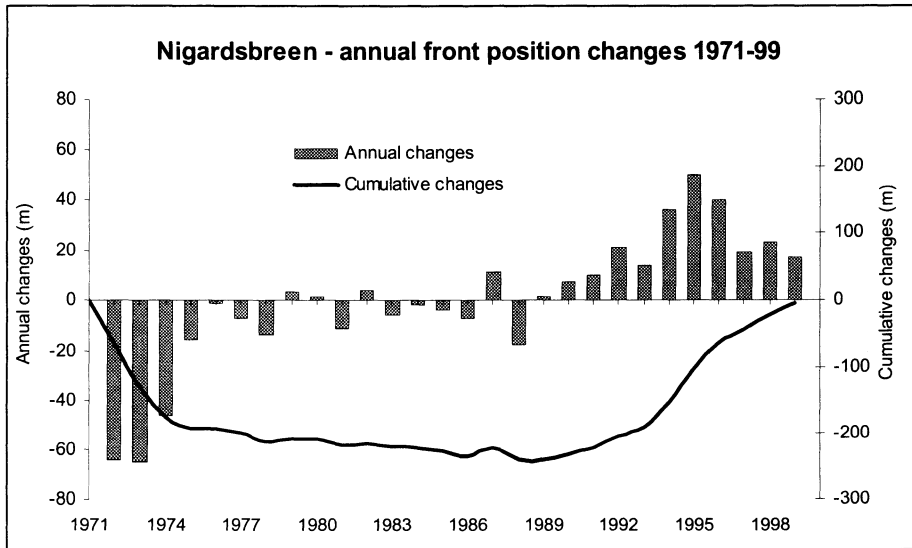
Figur 5-7

På grunn av breens framgang de siste årene endret breelva løp i 1999. Bildet er tatt i slutten av september i samme år, og på dette tidspunktet fordelte elva seg i to hovedløp og flere mindre forgreininger. Det forrige elveløpet (helt til venstre i bildet) var helt tørt.

The melt-water stream from the glacier front has changed due to the last year's glacier advance. This image was taken at the end of September 1999, and the river was then divided into two main streams and several smaller creeks. The previous stream (to the left in the image) was complete without water. Foto/Photo: Bjarne Kjøllmoen.

Endringer av brefrontens posisjon måles fortsatt fra fastpunkt langs én linje fra det opprinnelige utløpet fra breelva. Frontmålingene i oktober 1999 viser at Nigardsbreen har gått fram 17 m siden september 1998. Til sammenligning gikk breen fram 20 m året før. Etter en lang periode med tilbaketrekning som stanset i 1988 har breen hatt et samlet framstøt på nesten 240 meter.

Sommeren 1972 ble det observert at breporten hadde endret posisjon på samme måte som i 1999. Frontmålingene viser at brefrontens posisjon høsten 1999 er tilnærmet den samme som den var høsten 1971. Dette er vist i figur 5-8. Året etter, i 1973, var imidlertid breporten tilbake i sin opprinnelige posisjon.



Figur 5-8

Arlige (søyler) og kumulative (linje) endringer i frontposisjon på Nigardsbreen i perioden fra høsten 1971 til høsten 1999. Figuren viser at brefronten sto på omtrent samme sted på disse tidspunktene. Siden høsten 1988 har breen gått fram ca. 240 meter.

Annual (bars) and cumulative (line) changes in the front position of Nigardsbreen from the fall 1971 to the fall 1999. The figure shows that the glacier front had resumed the 1971 position in 1999. The glacier has advanced about 240 m since 1988.

5.3 Meteorologiske målinger

Klimastasjonen på Steinmannen (1630 moh.) har sensorer for måling av vindhastighet, vindretning og lufttemperatur. Hver time registrerer loggeren data som automatisk blir overført med teleteknikk til Statkraft i Gaupne. I tillegg blir dataene lagret på en DSU (Data Storing Unit) som blir byttet ved hvert besøk. Disse dataene blir behandlet og lagret i Hydrologisk avdelings databaser. Kontroll og vedlikehold av stasjonen blir gjort 2-3 ganger i året av Statkraft.

Meteorologisk Institutt driver en klimastasjon på Bjørkehaug (324 moh.) innerst i Jostedalen. Målestasjonen inneholder blant annet sensorer for måling av lufttemperatur og nedbør.

I tabell 5-2 er det presentert resultater fra noen av de meteorologiske målingene på Steinmannen og på Bjørkehaug. Tabellen viser døgnmiddelverdier for "sommersesongen" 1999, som er definert fra 1. juni til 30. september. Tallene for denne perioden er, med unntak av Steinmannen, sammenlignet med tilsvarende middelverdier for perioden 1964-98. Målestasjonen på Steinmannen har i perioder vært noe ustabil. Siden 1989 har datainnsamlingen fungert bra med unntak av et par år (1990 og 1995). For å ha et sammenligningsgrunnlag for lufttemperaturmålingene på Steinmannen, er middelverdier i perioden 1989-98 (unntatt 1990 og 1995) også vist i tabellen. Som det framgår av tabellen var lufttemperaturen både på Steinmannen og Bjørkehaug høyere enn respektive middelverdier for perioden 1989-98.

<i>Daily mean values</i>	<i>1 June – 30 September (Summer season)</i>		
	<i>1999</i>	<i>Mean 1964-</i>	<i>¹Mean 1989-</i>
Air temp. Steinmannen (°C)	3.10	-	2.66
Air temp. Bjørkehaug (°C)	12.37	11.68	11.55
Lapse rate Bj./St. (°C/100 m)	0.71	-	0.68
Precipitation Bjørkehaug (mm)	3.87	3.11	2.99

¹ Mean values for the period 1989-98 except the years 1990 and 1995.

Tabell 5-2

Døgnmiddelverdier for lufttemperatur på Steinmannen (1630 moh.) og Bjørkehaug (324 moh.), temperaturgradienter mellom de to målestasjonene og nedbør på Bjørkehaug i "sommersesongen" (1. juni-30. september) 1999. Tallene er sammenlignet med middelverdier for periodene 1964-98 og 1989-98.

Daily mean temperature at Steinmannen (1630 m a.s.l.) and Bjørkehaug (324 m a.s.l.), temperature gradient between the two locations and precipitation at Bjørkehaug during the "Summer season" (1 June- 30 September) 1999. The values are compared with the average for the periods 1964-98 and 1989-98.

5.4 Tunsbergdalsbreen

Massebalanse

I perioden 1966-72 ble det utført parallelle massebalansemålinger på Tunsbergdalsbreen (47,7 km²) og Nigardsbreen. Det viste seg å være svært god sammenheng mellom målingene, og en lineær regresjonsanalyse av resultatene for disse sju årene gir følgende formel:

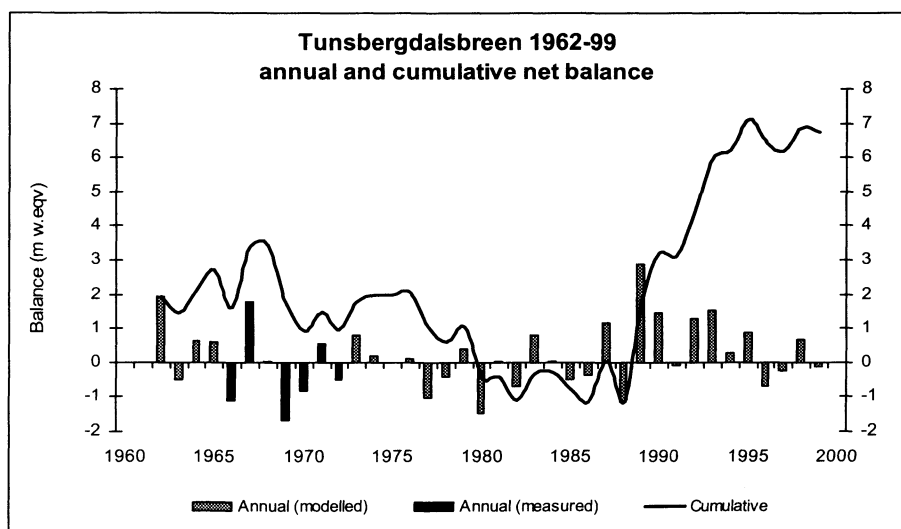
$$T = 0,987 \cdot N - 0,283$$

der T = Tunsbergdalsbrens nettobalanse og N = Nigardsbrens nettobalanse.

Ved å bruke formelen er nettobalansen for Tunsbergdalsbreen i 1999 beregnet til -0,12 ±0,45 m vannekvivalenter som tilsvarer et underskudd på ca. 6 mill. m³ vann.

Beregningene viser at siden 1962 har Tunsbergdalsbreen et akkumulert overskudd på ca. 7 meter vannekvivalenter (fig. 5-9). Resultatet for de fire siste årene (1996-99) viser derimot at breen har vært omtrent i likevekt i denne perioden.

Ut i fra målingene i perioden 1966-72 viste det seg også å være en viss korrelasjon mellom likevektslinjens høyde på de to breene. Ut i fra formelen fra analysen var likevektslinjens høyde på Tunsbergdalsbreen høsten 1999 ca. 1320 moh.



Figur 5-9

Årlig og kumulativ nettobalanse for Tunsbergdalsbreen i perioden 1962-99. For årene 1966-72 er det målte verdier. Beregningene viser et overskudd på ca. 7 meter siden 1962.

Annual and cumulative net balance for Tunsbergdalsbreen during the period 1962-99. The values are measured for the period 1966-72. The calculations show a surplus of ca. 7 m since 1962.

Brimkjelen

Brimkjelen ble observert og fotografert den 29. juli og 15. oktober 1999. Den bredemte sjøen var, i likhet med fjorårets observasjoner, tom for vann ved begge anledninger. Observasjonene tyder likevel på at det har vært vann i sjøen i løpet av det siste året. Sprekkemønsteret som kan ses på bildet i figur 5-10, er typisk for bredemte sjøer hvor en tapping har skjedd forholdsvis nylig. Isen har kollapset i det vanntrykket har opphørt, og sirkelrunde sprekker i isen har oppstått. Bildet i figur 5-10 viser Brimkjelen den 29. juli i år.



Figur 5-10

Brimkjelen fotografert 29. juli 1999. Det ble ikke observert vann i sjøen ved dette besøket, men det sirkelrunde sprekkemønsteret (pilene) tyder på at det har stått vann i sjøen i løpet av det siste året.

The glacier-dammed lake Brimkjelen photographed 29 July 1999. There was no water in the lake at the moment, but the circular pattern of crevasses (arrows) indicates a certain water stage during the last year. Foto/Photo: Olav Osvoll.

5.5 English summary

Nigardsbreen (61°42'N, 7°08'E) is one of the largest outlet glaciers (47.8 km²) from the ice cap Jostedalsbreen. The glacier has been studied in a detailed programme of mass balance investigations since 1962. These studies show that the glacier has increased almost 18 m of water equivalent during the period 1962-99. Most of this increase has taken place since 1988. The calculations are based on a glacier map from 1984.

Mass balance

Field work

The accumulation measurements were made on 6th and 7th May. Measurements of two towers, three core drillings and 199 depth soundings could be used in the calculations. The snow depth varied between 4½ and 6½ metres on the plateau. At 1000 m altitude the snow depth was ca. 3½ m and in 600 m altitude about 1½ m. Snow pit density was measured in two positions - at 1325 and 1950 m level. The mean snow density was 0.48 g/cm³ and 0.47 g/cm³, respectively. Ablation measurements were made on 30th September and supplemented 15th October. Summer balance could be calculated at seven stakes and towers. Until 30th September no fresh snow had fallen, but on 15th October 90 cm had come in 1950 m altitude.

Results

Winter balance was 2.4 m w.eqv., which is the same as the average for the period 1962-98. Summer balance was -2.2 m w.eqv., which is 106 % of the mean value. The

net balance, hence, was +0.2 m w.eqv. This is the tenth year with a surplus in net balance since 1988. The mean value for the period 1962-99 is +0.47 m, while the mean value for the period 1989-99 is +1.02 m w.eqv. The calculated equilibrium line altitude is about 1470 m a.s.l. The 1999 mass balance results are shown in Table 5-1 and Figure 5-5.

Since 1962, when the measurements at Nigardsbreen started, the cumulative mass balance is calculated to +17.7 m w.eqv. Winter, summer and net balance for Nigardsbreen 1962-99 are presented in a diagram in Figure 5-6.

Front position

Measurements in October 1999 show an advance of about 17 m since September 1998. Since 1988 the glacier has advanced about 240 m. According to the considerable positive net balance during the last decade, a further advance of the glacier tongue can be expected for a number of years in the future. Annual and cumulative front position changes during the period from the fall of 1971 to the fall of 1999 are shown in Figure 5-8. The figure shows that the glacier front had resumed the 1971 position in 1999.

Meteorological measurements

Meteorological observations, e.g. air temperature, wind speed and wind direction are recorded automatically at the field station Steinmann (Fig. 5-1). Down in the valley Jostedal, there is another meteorological station, Bjørkehaug, run by the Norwegian Meteorological Institute. Data from the "Summer season" (1 June-30 September) 1999 for the two locations are shown in Table 5-2.

Tunsbergdalsbreen

Mass balance

From 1966 to 1972 mass balance measurements were made simultaneously at both Tunsbergdalsbreen (47.7 km²) and Nigardsbreen. A linear regression analysis of the results from these seven years gives an equation, which can be used to calculate the annual net balance of Tunsbergdalsbreen. For 1999 the net balance was estimated to -0.12 ± 0.45 m w.eqv. Since 1962 the cumulative net balance is estimated to be a surplus of nearly 7 m w.eqv. (Fig. 5-9). However, the result for the last four years (1996-99) is close to equilibrium.

Brimkjelen

About 3 km above the western side of the glacier snout lies Brimkjelen, which is an ice-dammed lake. Due to the glacier recession during the last century, the area and volume of the lake has decreased considerably. The last estimate of the volume was about 2 mill. m³ in 1982.

From 1984 to 1997 no systematic observations have been made of the lake. Observations was resumed in the autumn of 1997 and maintained in 1999 by

photographs on 29th July and 15th October. The lake was empty at both occasions, but the observations indicate a certain water stage during the last year. The circular pattern of crevasses, which is typical for ice-dammed lakes after a jökulhlaup, is shown in Figure 5-10.

6 Austdalsbreen (Hallgeir Elvehøy)

Austdalsbreen (61°45'N, 7°20'E) er ein nordaustleg utløpar frå Jostedalsbreen. Breen dekkjer eit areal på 11,8 km². Breen ligg mellom 1200 og 1760 moh. og kalvar ut i det regulerte Austdalsvatnet. Glasiologiske undersøkingar på Austdalsbreen vart igangsatt i 1986 i samband med regulering av Jostedøla der Austdalsvatnet er magasin. Målingane er konsesjonspålagt Statkraft SF for Jostedal Kraftverk. Måleprogrammet i 1999 omfatta frontposisjonendring, brerørsle på den nedre delen av breen og massebalanse.

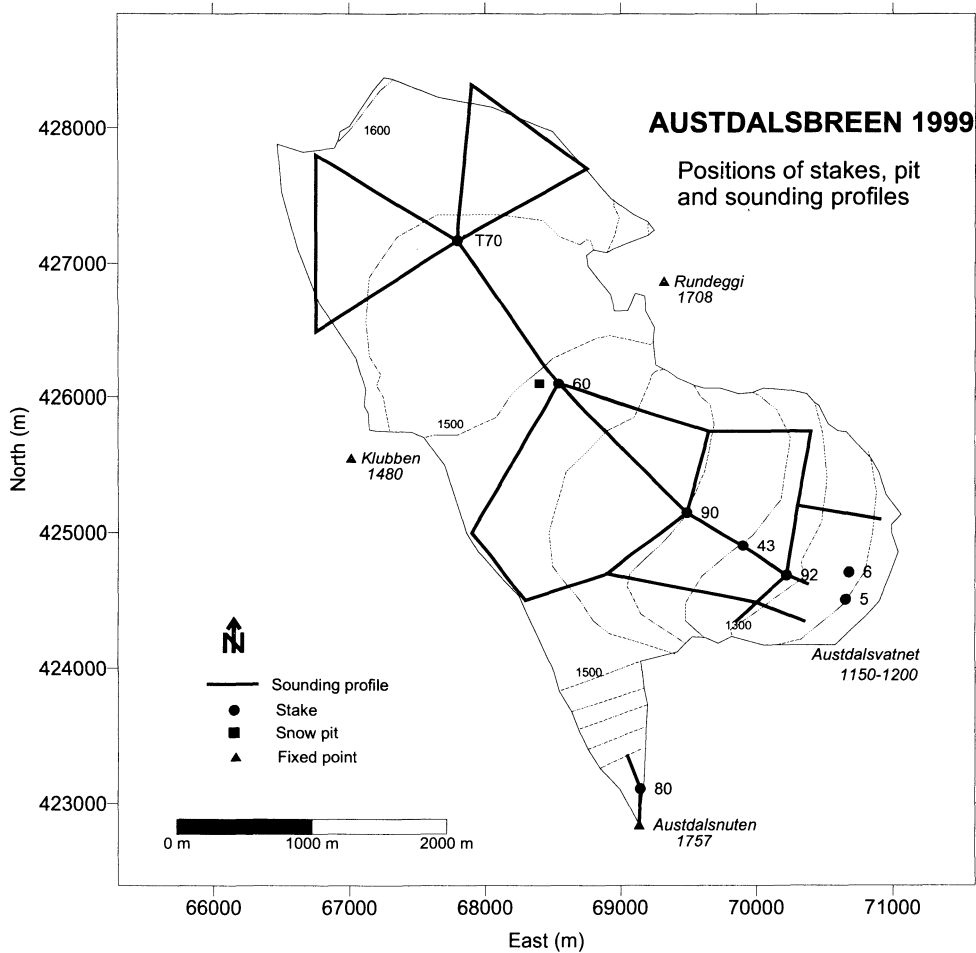
6.1 Massebalanse 1999

Feltarbeid

Akkumulasjonsmålingane vart gjort 4. mai. Følgjande målingar er grunnlag for utrekning av vinterbalansen (fig. 6-1):

- Stakane 5 (1235 moh.), 6 (1245 moh.), 192 (1305 moh.), 43 (1350 moh.), 90 (1395 moh.), 60 (1495 moh.) og T70 (1545 moh.) som viste 0,75, 1,50, 3,95, 3,10, 3,50, 4,80 og 5,05 m snø.
- Kjerneboringar 1495 moh. (stake 60) og 1738 moh. (stake 80) viste 4,75 og 4,00 m snø.
- Snøtettleik målt ned til sommaroverflata på 4,75 m djup ved stake 60 (1495 moh.). Midlare snøtettleik var 0,46 g/cm³.
- 183 sonderingar langs 18 km sonderingsprofil. På Austdalsnuten over 1700 moh. var snødjupet om lag 4 m. Mellom 1450 og 1600 moh. var dei fleste sonderingane mellom 5 og 5 ½ m. Mellom 1300 og 1450 moh. var snødjupet stort sett mellom 3 og 5 m. Under 1300 moh. varierte snødjupet mykje. Sonderingsforholda var gode over heile breen.

Minimumsmålingane vart gjort 30. september. I dei aller øvste områda låg det eit tynt lag med nysnø. Snølinehøgda var om lag 1435 moh. Nettobalansen vart målt på åtte stakar mellom 1235 og 1738 moh. Ved dei øvste stakane (1738, 1545 og 1495 moh.) låg det att 0,45, 0,75 og 0,40 m snø frå siste vinter. Ved stakane mellom 1300 og 1400 moh. hadde all snøen frå siste vinter og i tillegg 1,25, 2,25 og 1,45 m is smelta vekk. Ved dei nederste stakane, om lag 1240 moh., hadde det smelta vekk 3,85 m (stake 6) og 5,3 m is (stake 5) i tillegg til all snøen frå siste vinter. Den store auken i smelting frå stakane lengre oppe skuldast at det normalt ligg lite snø ved dei nederste stakane fordi mesteparten av snøen der ligg nede i sprekkene. Forskjellen mellom dei to stakane nederst på breen skuldast at det var meir snø ved stake 6 enn ved stake 5.



Figur 6-1

Kart som viser plasseringa av stakar, tettleikssjakt og sonderingsprofil på Austdalsbreen i 1999.

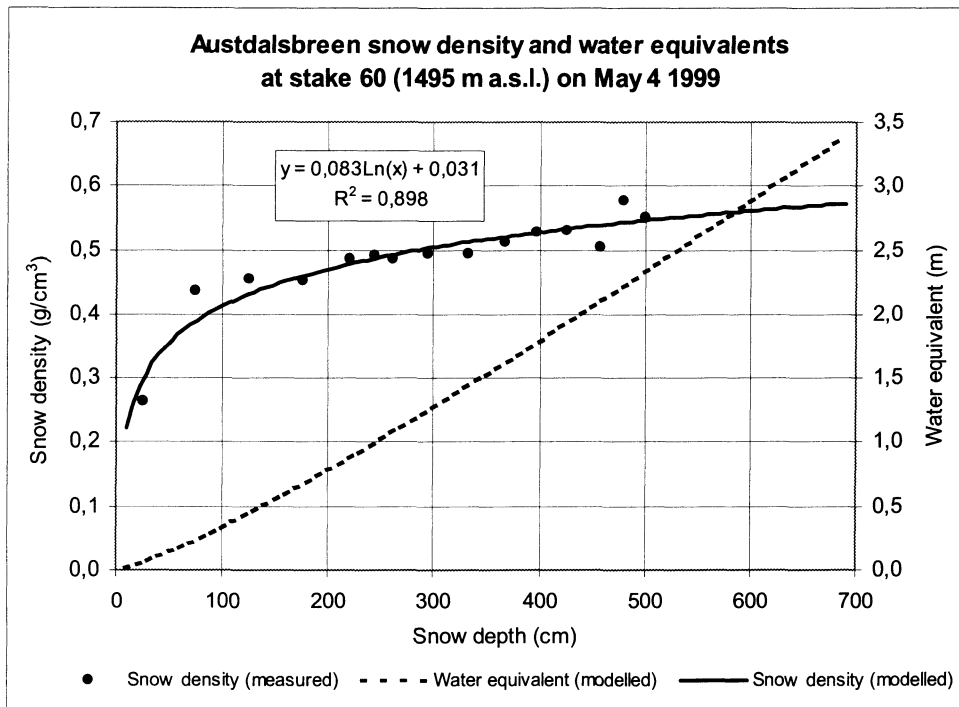
Location of stakes, density pit and sounding profiles at Austdalsbreen in 1999.

Resultat

Massebalansen er rekna ut etter tradisjonell (stratigrafisk) metode der nettobalansen er endringa mellom to sommaroverflater. Eventuell nysnø ved minimumsmåling om hausten vert då ikkje rekna med.

Vinterbalanse

Ut i frå målt tettleik ved stake 60 (1495 moh.) vart det laga ein formel for samanhengen mellom snødjup og vassekvivalentar (fig. 6-2). Med denne modellen vert middeltettleik for 5 m snø $0,46 \text{ g/cm}^3$. Alle snødjup er omrekna til vassekvivalentar med denne modellen.



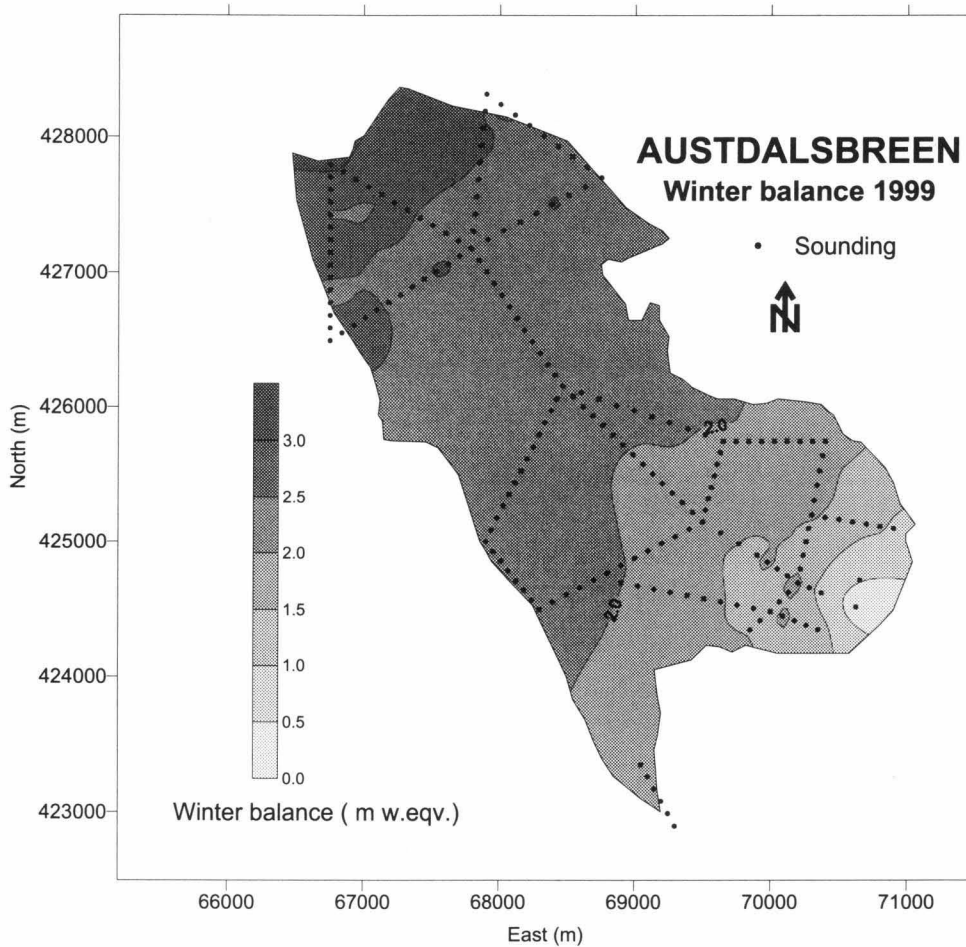
Figur 6-2

Snøtetleik målt ved stake 60 (1495 moh.), modell for korleis snøtetleiken aukar med aukande snødjup, og samanhengen mellom snødjup og snøpakken sin vassekvivalent utifrå tetleiksmodellen. Denne samanhengen er brukt til omrekning av snødjup.

Snow density measured at stake 60 (1495 moh.), model of snow density as a function of snow depth, and relationship between snow depth and water equivalent using the depth-density model.

Utrekna vassekvivalent i kvart sonderingspunkt er plotta mot høgde i eit diagram, og høgdefordelingskurve trekt ut ifrå visuell vurdering. Frå denne kurva er middelveidiar for 50-meters høgdeintervall funne. Mellom 1600 og 1700 moh. er det ikkje gjort sonderingar. For dette høgdeintervallet er vinterbalansen interpolert. Under 1300 moh. er punktverdiane svært variable pga. ujamn topografi og mange store bresprekker som fangar opp mykje av snøen. Det er derfor vurdert slik at dei høgaste verdiane er mest representative for høgdeintervallet. Midlare vinterbalanse er dermed utrekna til $2,1 \pm 0,2$ m vassekvivalentar eller 25 mill. m^3 vatn. Det er 87 % av middelveidien for perioden 1988-98 som er 2,40 meter vassekvivalentar.

Dei omrekna snødjupmålingane er også plotta på kart, og vinterbalansen si fordeling estimert med kriging interpolasjon (fig. 6-3). Midlare vinterbalanse utrekna frå dette kartet er 2,16 m vassekvivalentar.



Figur 6-3

Vinterbalansen på Austdalsbreen 4. mai 1999 interpolert frå 191 sonderingar av snødjup.

Winter balance of Austdalsbreen in 1999 interpolated from 191 snow depth soundings.

Sommarbalanse

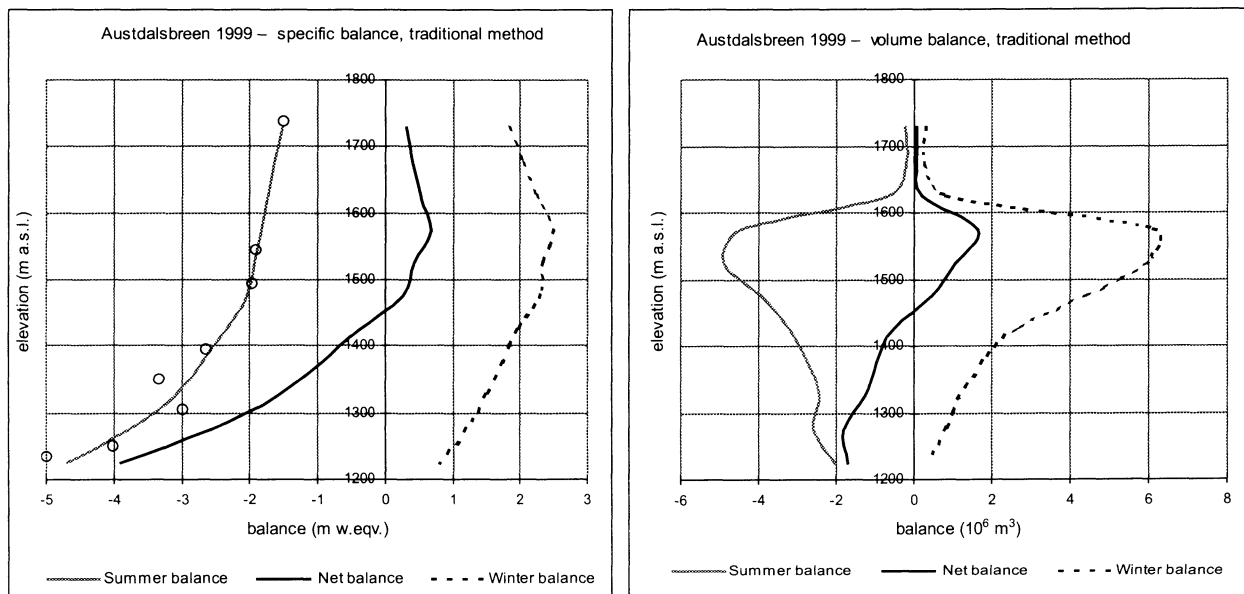
Sommarbalansen kunne reknast ut for åtte posisjonar mellom 1240 og 1738 moh. Ut ifrå desse verdiane vart ei utjamna sommarbalansekurve trekt (fig. 6-4).

I tillegg til smelting frå breoverflata mister Austdalsbreen masse ved kalving og smelting på fronten som står i Austdalsvatnet. Disse prosessane kan ikkje skiljast i det eksisterande måleopplegget og vert derfor handsama under eitt som kalving. Massetapet ved kalving vert rekna som volumet av vassekvivalentar som vert transportert gjennom eit tverrprofil nær brefronten i løpet av eitt år med tillegg for eit volum som skuldast fronttilbakegangen gjennom året. Kalvingsvolumet i vassekvivalentar kan reknast ut med formelen:

$$Q_k = \rho_{is} * (u_{bre} - u_f) * B * H$$

Der $\rho_{is} = 0,9 \text{ g/cm}^3$, u_{bre} og u_f er brehastigheita og frontposisjonendinga midla over frontbredda (m/år), B er frontbredda, og H er midlare istjukkuleik langs brefronten (m).

Midlare brehastighet gjennom brefronten vart rekna ut til 60 ± 10 m/år. Midlare endring i frontposisjonen var -16 ± 5 m/år. Istjukkleiken vart utrekna frå overflatehøgde målt langs brefronten hausten 1999 og eit bunnkart laga på grunnlag av radar-målingar (1986), smelteboringar (1987) og opplodding i vatnet framfor brefronten (1988 og 1989). Midlare istjukkleik var 43 ± 5 m, og frontbreidda var 1050 ± 50 m. Kalvingsvolumet vart dermed $3,1 \pm 0,5$ mill. m^3 eller $0,26 \pm 0,04$ m vassekvivalentar jamt fordelt over heile breoverflata.



Figur 6-4

Spesifikk vinter-, sommar- og nettobalanse (venstre) og volumbalansen (høgre) på Austdalsbreen i 1999. Utrekna spesifikk nettobalanse ved målestakane er vist (o).

Altitudinal distribution of specific (left) and volumetric (right) winter, summer and net mass balance at Austdalsbreen 1999. Calculated specific net balance at stakes is shown (o).

Sommarbalansen (inkludert kalving) vart dermed utrekna til -30 ± 2 mill. m^3 vassekvivalentar som tilsvare $-2,6 \pm 0,2$ m vatn jamt fordelt over breoverflata. Kalving utgjorde 10 % av sommarbalansen. Den utrekna sommarbalansen er 117 % av midlare sommarbalanse for perioden 1988-98 som er $-2,19$ m vassekvivalentar.

Nettobalanse

Masseunderskotet på Austdalsbreen for massebalanseåret 1998-99 vart utrekna til -6 ± 3 mill. m^3 vassekvivalentar. Spesifikk nettobalanse vart dermed $-0,5 \pm 0,3$ m vatn jamt fordelt over breoverflata. Middelverdien for perioden 1988-98 er til samanlikning $+0,22$ m vassekvivalentar. Likevektslina for 1999 utrekna frå nettobalansekurva i figur 6-4 er 1455 moh. Det er litt høgare enn den observerte snølina som var 1435 moh. Ut ifrå observert snøline låg 68 % av breen høgare enn likevektslina. Vinter-, sommar- og nettobalansen si høgde- og volumfordeling er vist i figur 6-4 og i tabell 6-1. Resultata for perioden 1988-99 er vist i figur 6-5.

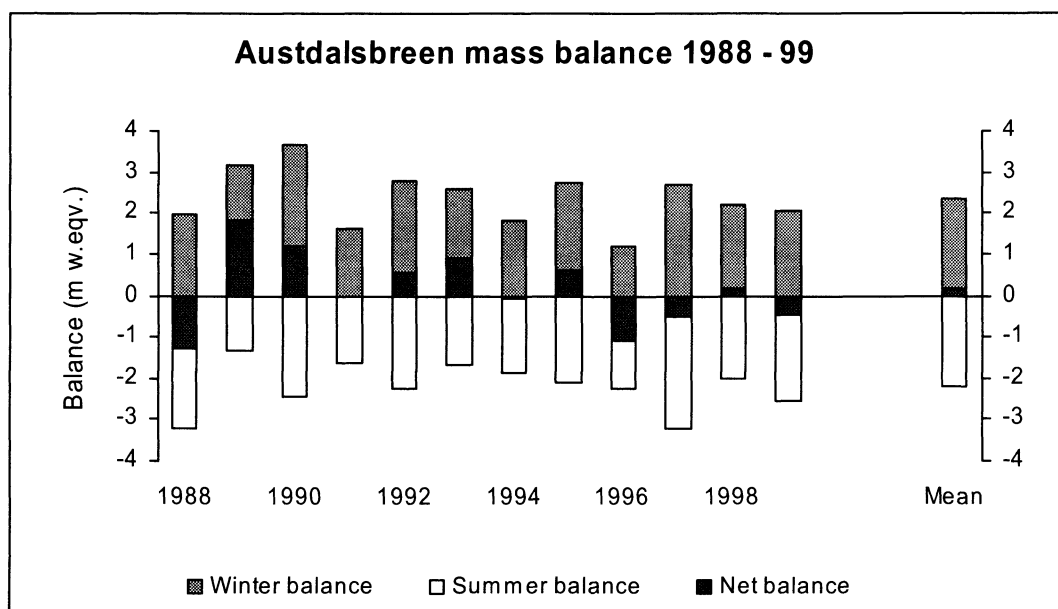
Mass balance Austdalsbreen 1998/99 – traditional method

Altitude (m a.s.l.)	Area (km ²)	Winter balance		Summer balance		Net balance	
		Measured May 4 1999		Measured Sep 30 1999		Summer surfaces 1998 - 1999	
		Specific (m w.eq.)	Volume (10 ⁶ m ³)	Specific (m w.eq.)	Volume (10 ⁶ m ³)	Specific (m w.eq.)	Volume (10 ⁶ m ³)
1700 - 1757	0.16	1.85	0.29	-1.53	-0.24	0.32	0.05
1650 - 1700	0.13	2.05	0.26	-1.63	-0.21	0.42	0.05
1600 - 1650	0.38	2.25	0.85	-1.73	-0.65	0.52	0.20
1550 - 1600	2.45	2.50	6.12	-1.83	-4.47	0.67	1.65
1500 - 1550	2.54	2.35	5.97	-1.93	-4.89	0.42	1.08
1450 - 1500	1.92	2.30	4.42	-2.05	-3.94	0.25	0.48
1400 - 1450	1.36	1.95	2.64	-2.35	-3.18	-0.40	-0.54
1350 - 1400	1.01	1.75	1.77	-2.70	-2.73	-0.95	-0.96
1300 - 1350	0.79	1.50	1.18	-3.10	-2.44	-1.60	-1.26
1250 - 1300	0.69	1.20	0.82	-3.80	-2.61	-2.60	-1.79
1200 - 1250	0.44	0.80	0.35	-4.70	-2.04	-3.90	-1.70
Calving					-3.0		-3.0
1200 - 1757	11.8	2.08	24.7	-2.56	-30.4	-0.48	-5.7

Tabell 6-1

Vinter-, sommar- og nettobalansen si høgdefordeling på Austdalsbreen i 1999.

Altitudinal distribution of winter, summer and net balance of Austdalsbreen in 1999.



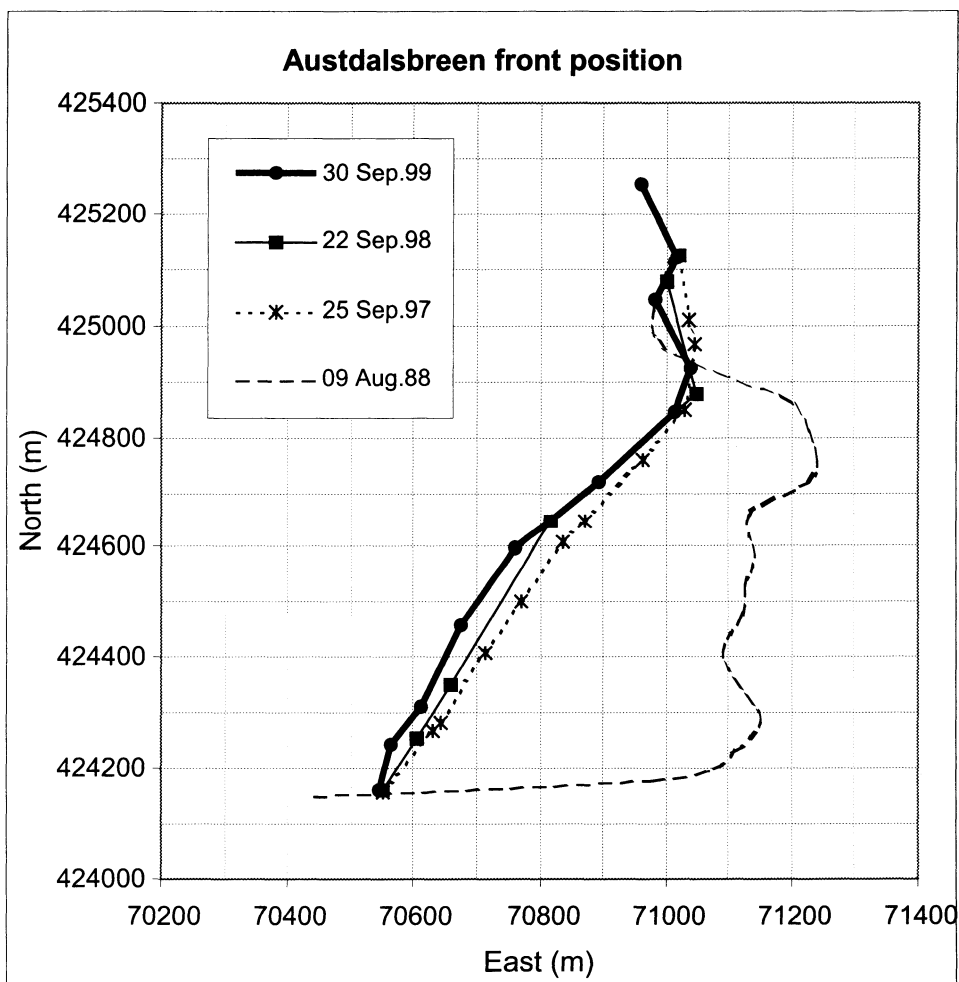
Figur 6-5

Vinter-, sommar og nettobalansen på Austdalsbreen i perioden 1988-99. Akkumulert masseoverskot i perioden utgjør 1,8 m vassekvivalentar.

Specific winter, summer and net balance of Austdalsbreen for the period 1988-99. Accumulated specific mass totals 1.8 m water equivalents.

6.2 Frontposisjonendring

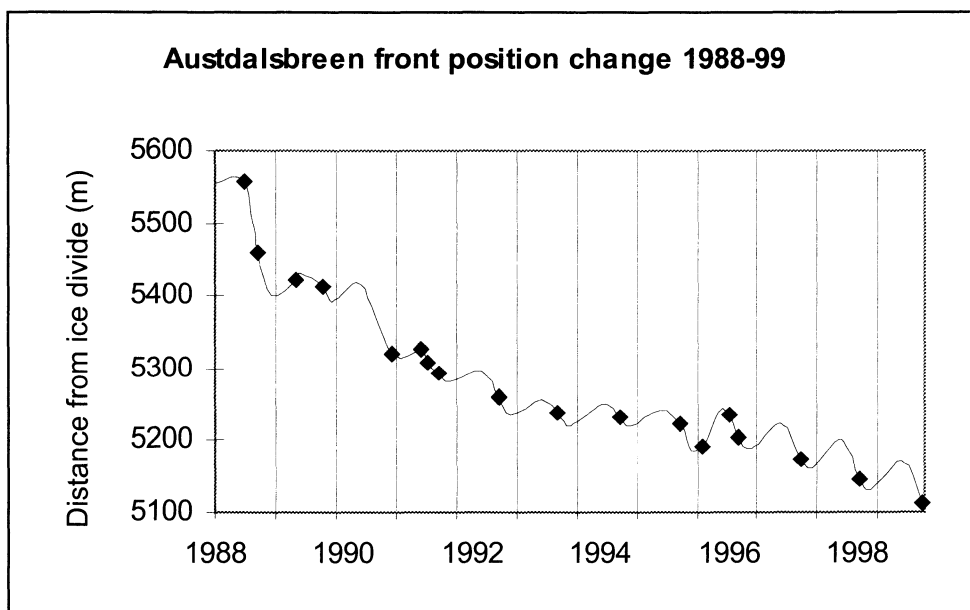
Det vart målt inn 11 punkt langs brefronten 30. september 1999. Fronttilbakegangen mellom 23. september 1998 og 30. september 1999 midla over brefronten si breidde var om lag 16 m. Tilbakegangen var størst på den sørlege delen der vatnet er djupast (fig. 6-6). Fronttilbakegangen mellom 25. september 1997 og 23. september 1998 var også om lag 16 m. Sidan 1988 har brefronten trekt seg omlag 340 m tilbake. Figur 6-7 viser frontposisjonendringane langs ei sentral flyteline dei siste 12 åra.



Figur 6-6

Frontposisjonar på Austdalsbreen 1988, 1997, 1998 og 1999. Mellom hausten 1998 og hausten 1999 har brefronten trekt seg spesielt mykje tilbake på den sørlege halvdel av kalvingsfronten i Austdalsvatnet. Midlare tilbakegang i perioden fra 23. september 1998 til 30. september 1999 var ca. 16 meter.

Front positions of Austdalsbreen in 1988, 1997, 1998 and 1999. Between autumns 1998 and 1999 the retreat was pronounced in the southern part of the calving front in Austdalsvatnet. Mean retreat from 23rd September 1998 to 30th September 1999 was about 16 metres.



Figur 6-7

Frontposisjonar (firkantar) målt langs ei sentral flyteline i Austdalsbreen. Lina illustrerer korleis frontposisjonen varierer gjennom året med framstøyt frå november/desember til juni/juli medan isen ligg på vatnet, og kalving som fører til tilbakegang om sommaren og hausten frå juni/juli til november/desember. Den omfattande tilbakegangen i 1988 skuldast første gongs oppfylling av Styggevassmagasinet og ein svært varm sommar.

Front positions (squares) measured along the centre flow-line of Austdalsbreen, illustrating variations in front position during the year characterised by advances during winter and spring when the ice is in the lake, and retreat due to calving during summer and autumn. The large retreat in 1988 was due to the initial filling up of the reservoir Styggevann and a very warm summer.

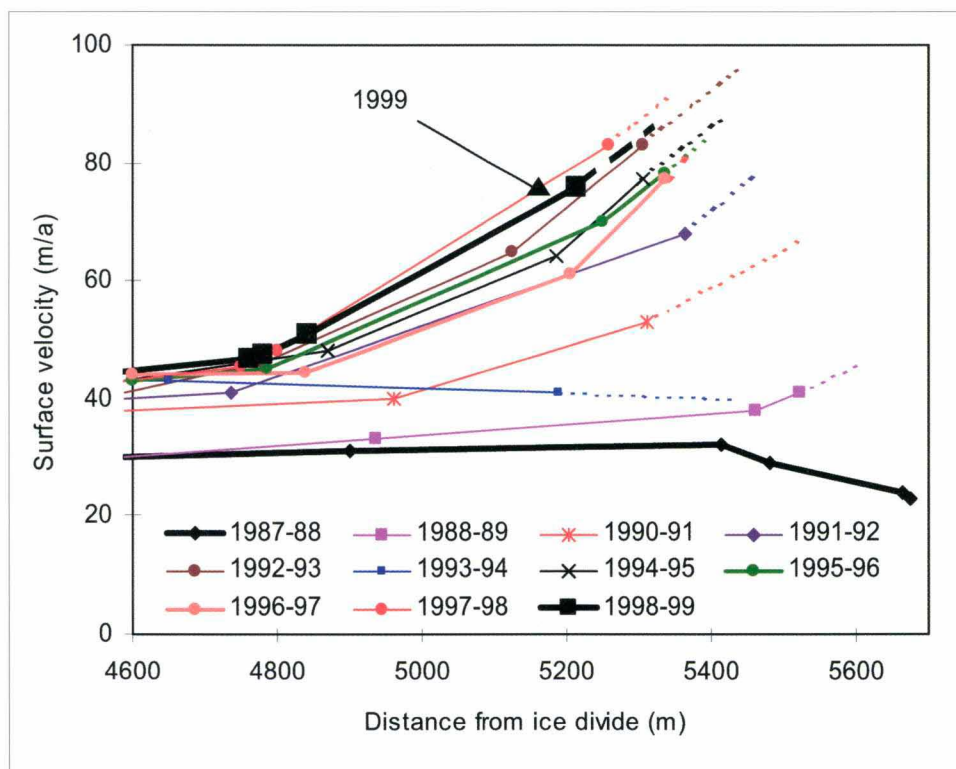
6.3 Brerørsle

Målestakar i inntil sju posisjonar vart målt inn 4. mai, 29. juli og 30. september. Ut ifrå målte posisjonar er middelerørslen for periodane mellom måletidspunkta utrekna. Figur 6-8 viser resultatane frå den nedre delen av breen samanlikna med tidlegare års målingar. Estimert rørslen ved brefronten var noko mindre enn i 1993 og 1998, men litt høgare enn i 1995, 1996 og 1997. Både i 1993 og i 1998 var vasstanden i Austdalsvatnet høgare enn i 1999, medan 1995, 1996 og 1997 hadde lågare vasstand (om sommaren). Lengre oppe på breen (over 1300 moh.) er det små endringar frå tidlegare år.

Brerørsla i området ved fronten har stabilisert seg rundt 85 m/år, men varierer likevel ein del frå år til år (fig. 6-8). Desse variasjonane skuldast reguleringa av Austdalsvatnet. Når vasstanden er høg vert vasstrykket under breen (nær brefronten) relativt høgt, og det fører til at friksjonen vert relativt låg og dermed at gliderørsla vert relativt stor. Låg vasstand fører derimot til større friksjon og lågare gliderørslen.

For å kunne rekne ut kor mykje breis som har kalva ut mellom september 1998 og september 1999 er det naudsynt å estimere midlare brehastigheit for heile brefronten (i breidde og djup). Ut ifrå målingar på tre stakar nær brefronten i 1996-97, vart

brerørsla midla over frontarealet (breidde og djup) estimert til å vere 65 % av overflaterørsla midt på breen. Med estimert overflaterørsle ved breffronten på 86 m/år, vert brerørsla midla over frontarealet 60 ± 10 m/år for perioden september 1998 - september 1999.



Figur 6-8

Brerørsle (m/år, middelerdi september-september) langs eit sentralt lengdeprofil interpolert mellom målestakane på den nedre delen av breen. Frå nederste stake til breffronten er brerørsla ekstrapolert (stipla). Avstand 4600 m frå isskiljet (mot Sygneskardsbreen) ligg om lag ved stake 92 (1300 moh., fig. 6-4). Mellom 1988 og 1999 har breffronten trekt seg ca. 340 m tilbake. Frå 1990 er det ikkje nok data til å lage kurve.

Glacier velocity ($m a^{-1}$, annual mean value September-September) along the centre-line profile interpolated between stakes at the lower parts of the glacier. Below the lowest stake and the front, the velocity is extrapolated (dashed). Distance 4600 m from the ice divide (direction Sygneskardsbreen) is located near stake 92 (1300 m a.s.l., see Fig. 6-4). Between 1988 and 1999, the front has retreated about 340 m. Data from 1990 are insufficient for presentation.

6.4 English summary

Austdalsbreen ($61^{\circ}45'N$, $7^{\circ}20'E$) ($11.8 km^2$) is a north-eastern outlet from Jostedal-breen. The glacier is east facing and ranges in height from 1200 to 1760 m a.s.l. Austdalsbreen calves into the regulated lake Austdalsvatn. Glaciological work started at Austdalsbreen in 1986 in connection with the construction of the hydro-electric power plant for which lake Austdalsvatn is a reservoir. Mass balance measurements started in 1988 and mean specific net balance from 1988 to 1999 was $-0.5 m w.eq.v.$ (Fig. 6-5). In 1999, mass balance, glacier velocities, and front position were measured.

Mass balance

Accumulation was measured on May 4 in 183 points (Fig. 8-1). The measured snow depth varied between 1 and 5.5 m. Winter balance was 2.1 ± 0.2 m w.eqv. or 25×10^6 m³ water (Fig. 6-4 and Tab. 6-1). Ablation was measured on September 30. Specific ablation was -2.6 ± 0.2 m w.eqv. or $-30 \pm 2 \times 10^6$ m³ water in volume. The net balance was -0.5 ± 0.3 m w.eqv. or a volume balance of -5.7×10^6 m³ water (Tab. 6-1). ELA was about 1455 m a.s.l., and the snow line elevation was observed as 1435 m a.s.l. AAR was 68 % according to the snow line observation.

Changes in front position

The glacier front position was determined from eleven points surveyed along the front on September 30. Annual retreat averaged along the glacier front from 1998 (September 23) to 1999 was about 16 m (which equals the retreat from 1997 to 1998). The glacier front retreated about 340 m since 1988 (Fig. 6-7).

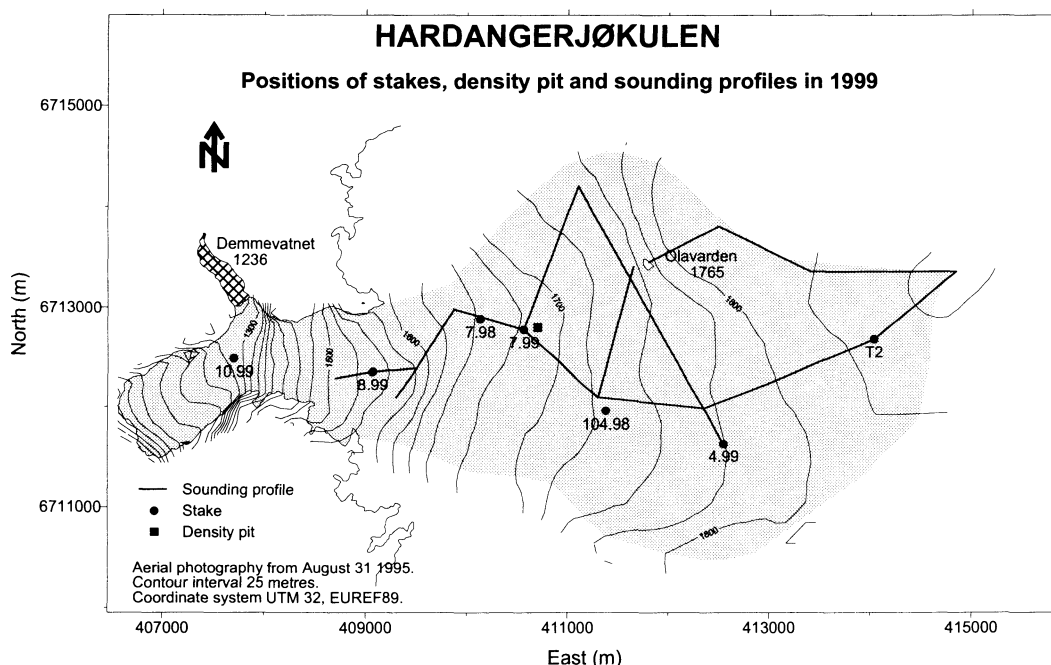
Glacier movement

The velocity pattern of Austdalsbreen has changed a lot since the regulation of the lake Austdalsvatn in 1988-89 (Fig. 6-8). From 1988 to 1993 the velocity increased due to the regulation. In 1994, the velocity was low due to very low water level in the lake. The velocity pattern seems to have been stable during the last three years with an annual velocity between 80 and 90 m a⁻¹ at the glacier front, and an annual surface velocity of 40 to 45 m at a distance of 500-600 m up from the glacier front.

7 Hardangerjøkulen (Hallgeir Elvehøy)

Statkraft SF sitt Sima Kraftverk utnyttar avrenninga frå aust-, sør- og vestsida av Hardangerjøkulen (61°30'N, 7°30'E). Om lag 53 km² av Hardangerjøkulen sitt totale areal på 73 km² (1983) drenerer til Sima Kraftverk.

Massebalansemålingane vert gjort på den sør-vestlege delen av Hardangerjøkulen med utløparen Rembesdalskåkje (17,1 km²) som drenerer til Rembesdalsvatn og Simadalen i Hardanger. Målingane vart igangsett av Norsk Polarinstitut i 1963, og har sidan 1982 vore utført som ein del av dei hydrologiske målingane konsesjonspålagt Sima Kraftverk.



Figur 7-1

Kart som viser plasseringa av stakar, tettleikssjakt og sonderingsprofil på Hardangerjøkulen i 1999.

Location of stakes, density pit and sounding profiles at Hardangerjøkulen in 1999.

7.1 Massebalanse 1999

Feltarbeid

Akkumulasjonsmålingane vart gjort 19. mai. Følgjande målingar er grunnlag for utrekning av vinterbalansen (fig. 7-1):

- Stake 10 (1270 moh.) og tårn T2 (1820 moh.) som viste 2,80 og 4,80 m snø.
- Kjerneboringar 1535 (stake 8), 1660 (stake 7) og 1770 moh. (stake 4) viste 3,50, 4,05 og 5,20 m snø.

- Snøtettleik målt ned til sommaroverflata på 4,05 m dyp. Sommaroverflata var firm.
- 78 sonderingar langs 17 km sonderingsprofil. Alle sonderingar vart gjort på breplatået over 1500 moh. Over 1700 moh. var snødjupet stort sett mellom 4 og 5,5 m. Mellom 1500 og 1700 moh. var snødjupet stort sett mellom 2,5 og 4,5 m.

Minimumsmålingane vart gjort 6. oktober. Over 1650 moh. låg det 0,15-0,20 m nysnø på breen. Under 1650 moh. var det berre nokre få centimeter. Likevektslina kunne imidlertid ikkje stadfestast, men låg truleg rundt 1700 moh. Nettobalansen vart målt på sju stakar mellom 1270 og 1820 moh. På dei øvste stakane (1820, 1770 og 1725 moh.) låg det att 1,35, 1,25 og 1,20 m snø frå siste vinter. På stakane 1650 og 1660 moh. hadde all snø frå siste vinter, og hhv. 0,30 og 0,40 m firm smelta vekk. På stake 8 og 10 hadde all snø, og hhv. 1,30 og 2,35 m is smelta vekk.

Resultat

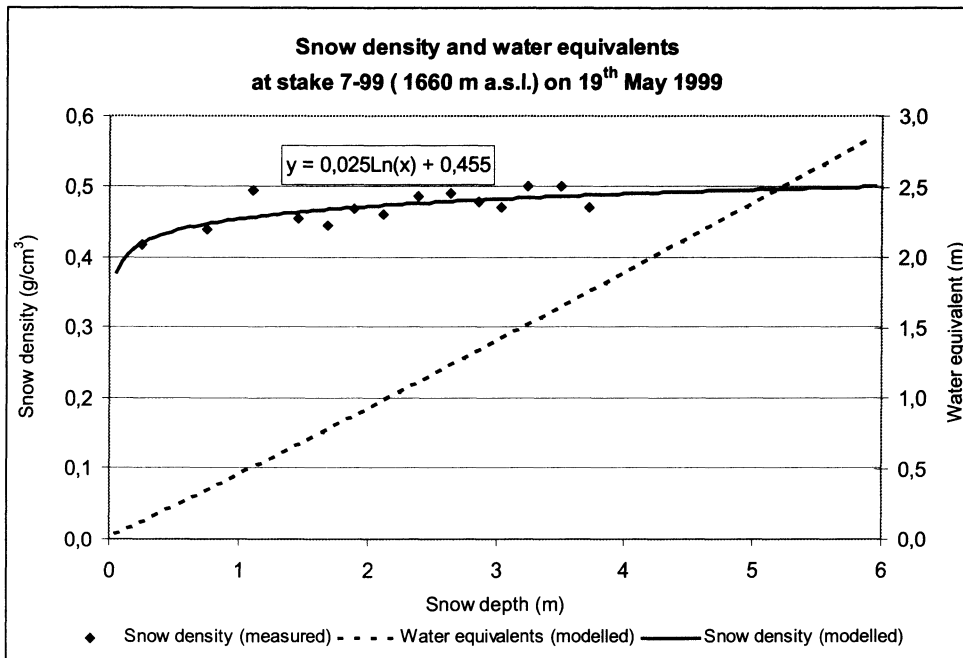
Massebalansen er rekna ut etter ein stratigrafisk (tradisjonell) metode der nettobalansen er endringa mellom to sommaroverflater. Tidsrommet som er representert kan variere frå øvst til nedst på breen. Dette er den metoden som har vore nytta tidlegare.

Vinterbalanse

På grunnlag av målingane 19. mai vart vinterbalansen utrekna. Basert på tettleiksmålinga vart ein funksjon som gir samanhengen mellom snødjup og vassekvivalentar funnen (fig. 7-2). Funksjonen vart brukt til å rekne om sondert snødjup til vassekvivalentar. Med denne funksjonen vert midlare tettleik for 5 m snø utrekna til $0,47 \text{ g/cm}^3$.

Under 1500 moh. vart snødjupet målt berre ved stake 10. Her er vassverdien av vintersnøen estimert ut ifrå verdiane frå høgdeintervalla over og på stake 10.

Vinterbalansen vart dermed $35 \pm 3 \text{ mill. m}^3$ vassekvivalentar eller $2,0 \pm 0,2 \text{ m}$ vatn jamt fordelt over breoverflata. Det er 96 % av gjennomsnittet for perioden 1963-98, og 96 % av gjennomsnittet for femårs perioden 1994-98. Vinterbalansens høgdefordeling er vist i tabell 7-1 og figur 7-3.



Figur 7-2

Snøtettleik målt ved stake 7 (1660 moh.), modell for korleis snøtettleiken aukar med snødjup, og snøpakken sin vassekvivalent ut ifrå tettleiksmodellen. Desse samanhengane er brukt til omrekning av målte snødjup til vassekvivalentar.

Snow density measured at stake 7 (1660 m a.s.l.), model of snow density as a function of snow depth, and relationship between snow depth and water equivalent using the depth-density model.

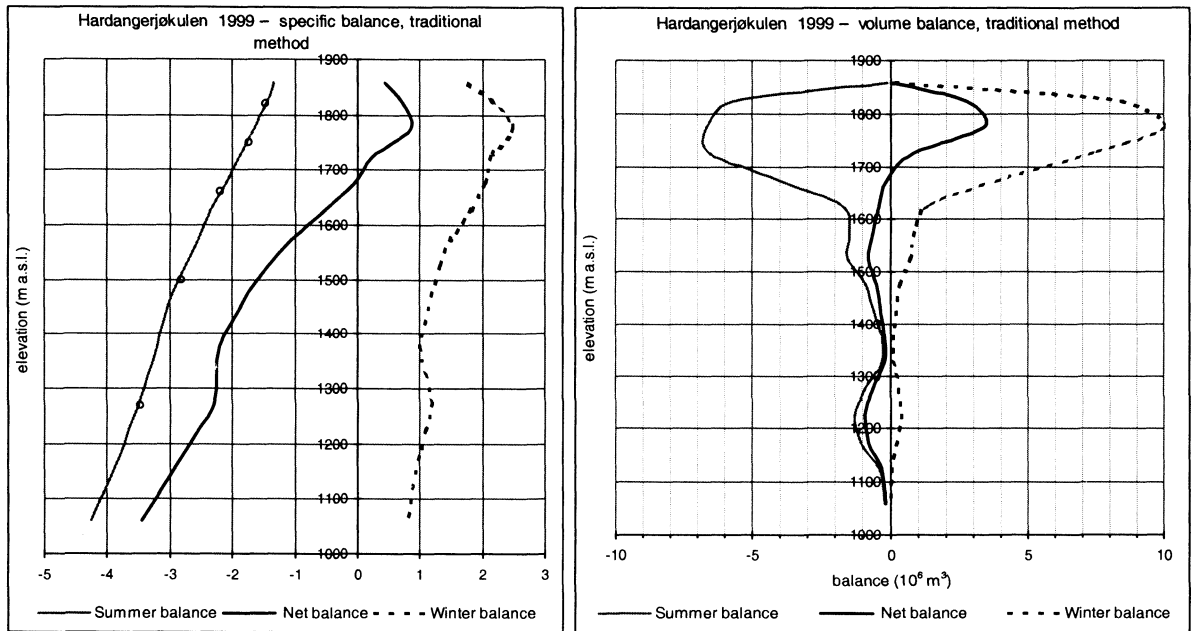
Vinterbalansen vart også utrekna ut ifrå vinterbalansen si romlege fordeling. Alle omrekna snødjupmålingar frå 19. mai vart koordinatfesta, og kart over vinterbalansen si romlege fordeling vart konstruert ved krieging interpolasjon. Midlare vinterbalanse frå dette kartet vart 2,4 m vassekvivalentar.

Sommarbalanse

Sommarbalansen kunne reknast ut for stakeposisjonane 10 (1270 moh.), 8 (1535 moh.), 7 (1660 moh.), 4 (1770 moh.) og T2 (1820 moh.). Ut ifrå desse verdiane vart ei utjamna sommarbalansekurve trekt. Sommarbalansen vart dermed utrekna til -34 ± 3 mill. m³ vassekvivalentar eller $-2,0 \pm 0,2$ m vatn jamt fordelt over breoverflata. Det er 102 % av gjennomsnittet for perioden 1963-98, og 90 % av gjennomsnittet for femårs perioden 1994-98. Sommarbalansen si høgdefordeling er vist i tabell 7-1 og i figur 7-3.

Nettobalanse

Nettobalansen er utrekna til eit masseoverskot på 1 ± 5 mill. m³ vassekvivalentar eller $0,1 \pm 0,3$ m vatn jamt fordelt over breoverflata. Til samanlikning er middelvarden for perioden 1963-98 $+0,18$ m vassekvivalentar medan middelvarden for perioden 1994-98 er $-0,09$ m vassekvivalentar. Nettobalansen si høgdefordeling er vist i figur 7-3, og i tabell 7-1 er verdiane for vinter-, sommar- og nettobalansen gitt. Likevektslinehøgda er fastsett ut ifrå nettobalansekurvene i figur 7-3 til ca. 1685 moh. som medfører at 71 % av brefeltet låg høgare enn likevektslina.



Figur 7-3

Kurver for spesifikke verdier (venstre) og volumverdier (høgre) for vinter-, sommar- og netto-balansen på Hardangerjøkulen i 1999. Spesifikk sommarbalanse utrekna for fem stakeposisjonar er også vist (o).

Altitudinal distribution of specific (left) and volumetric (right) winter, summer and net mass balance at Hardangerjøkulen in 1999. Calculated specific summer balance at 5 stakes is shown (o).

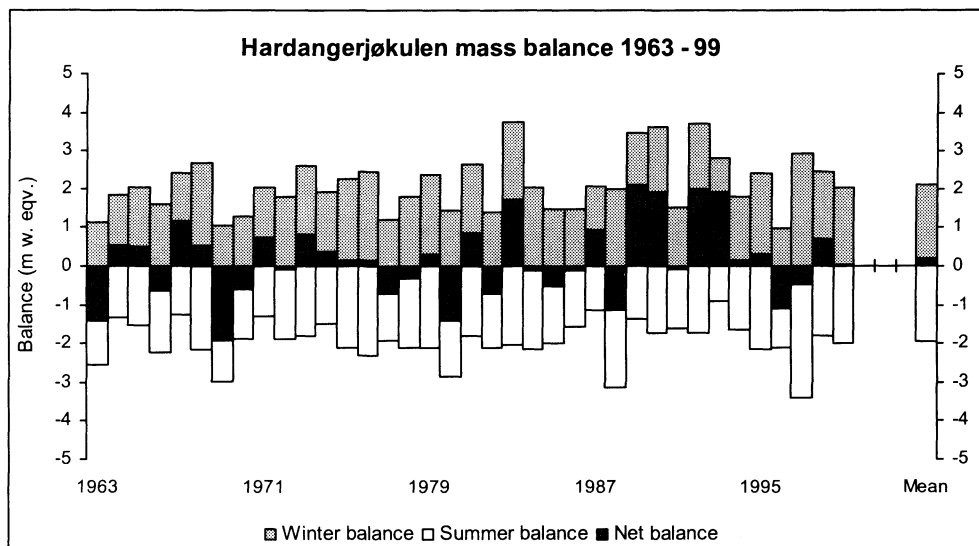
Mass balance Hardangerjøkulen 1998/99 – traditional method							
Altitude (m a.s.l.)	Area (km ²)	Winter balance		Summer balance		Net balance	
		Measured May 19 1999		Measured Oct 06 1999		Summer surfaces 1998 - 1999	
		Specific (m w.eqv.)	Volume (10 ⁶ m ³)	Specific (m w.eqv.)	Volume (10 ⁶ m ³)	Specific (m w.eqv.)	Volume (10 ⁶ m ³)
1850 - 1865	0,09	1,79	0,2	-1,35	-0,1	0,44	0,0
1800 - 1850	3,93	2,16	8,5	-1,45	-5,7	0,71	2,8
1750 - 1800	4,03	2,49	10,0	-1,65	-6,7	0,84	3,4
1700 - 1750	3,46	2,14	7,4	-1,90	-6,6	0,24	0,8
1650 - 1700	1,94	2,04	4,0	-2,10	-4,1	-0,06	-0,1
1600 - 1650	0,75	1,82	1,4	-2,35	-1,8	-0,53	-0,4
1550 - 1600	0,59	1,50	0,9	-2,55	-1,5	-1,05	-0,6
1500 - 1550	0,57	1,33	0,8	-2,75	-1,6	-1,42	-0,8
1450 - 1500	0,29	1,20	0,4	-2,95	-0,9	-1,75	-0,5
1400 - 1450	0,19	1,10	0,2	-3,10	-0,6	-2,00	-0,4
1350 - 1400	0,10	1,00	0,1	-3,20	-0,3	-2,20	-0,2
1300 - 1350	0,10	1,10	0,1	-3,35	-0,3	-2,25	-0,2
1250 - 1300	0,27	1,20	0,3	-3,50	-0,9	-2,30	-0,6
1200 - 1250	0,36	1,10	0,4	-3,65	-1,3	-2,55	-0,9
1150 - 1200	0,28	1,00	0,3	-3,80	-1,1	-2,80	-0,8
1100 - 1150	0,11	0,90	0,1	-4,00	-0,4	-3,10	-0,3
1020 - 1100	0,05	0,80	0,0	-4,25	-0,2	-3,45	-0,2
1020 - 1865	17,12	2,04	35,0	-1,99	-34,0	0,05	0,9

Tabell 7-2

Vinter-, sommar- og nettobalansen på Hardangerjøkulen i 1999.

Altitudinal distribution of winter, summer and net balance of Hardangerjøkulen in 1999.

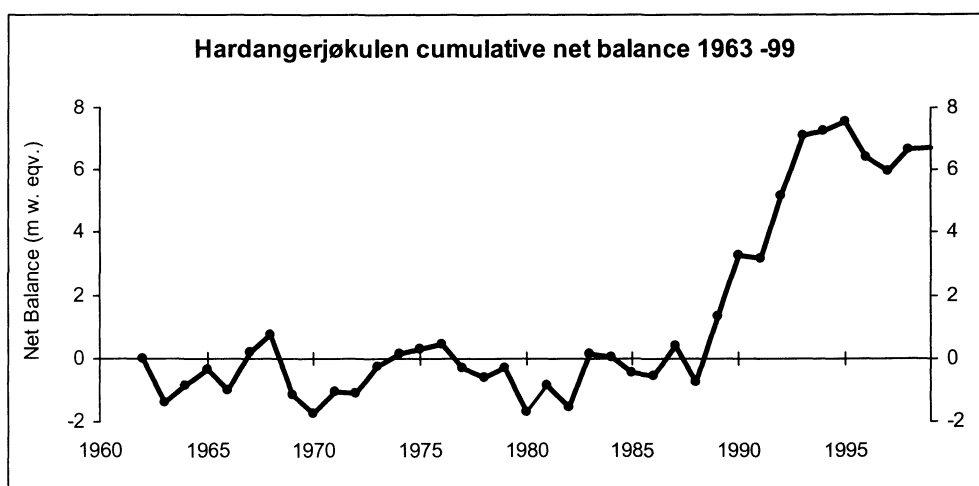
På figur 7-4 er vinter-, sommar- og nettobalansen på Hardangerjøkulen i perioden 1963-99 vist, medan figur 7-5 viser den kumulative nettobalansen. Det undersøkte brefeltet som drenerer til Rembesdalskåkje har i måleperioden hatt ein tilvekst som tilsvarar 6,7 m vatn jamt fordelt over breflata. Figur 7-5 viser at denne veksten i hovudsak har komme i perioden 1989-93.



Figur 7-4

Vinter-, sommar- og nettobalansen på Hardangerjøkulen i perioden 1963-99.

Specific winter, summer and net balance of Hardangerjøkulen for the period 1963-99.



Figur 7-5

Kurven viser kumulativ nettobalanse på Hardangerjøkulen. Den store auken etter 1988 skuldast fire år med svært positiv nettobalanse. Kumulativ nettobalanse for perioden 1963-99 er +6,7 m vassekvivalentar som tilsvarar at brefeltet som drenerer til Rembesdalskåkje i gjennomsnitt har vorte om lag 7,5 m tjukkare.

Cumulative net balance of Hardangerjøkulen. Total for the period is +6.7 m water equivalents.

7.2 Frontposisjon

Avstanden til brefronten frå eit fastmerke framfor Rembesdalskåkje vart målt og estimert 16. september 1999 til om lag 65 m. Breelva går parallelt med og dels under brefronten og har fjerna ein del av den faste breisen. Siktelina frå fastmerket til fast breis kryssa dermed breelva slik at ein del av avstanden måtte estimerast.

Brefronten stod dermed om lag like langt framme som ved måling i 1995, og om lag 20 m bak posisjonen frå september 1998. Samanlikning av bilete frå 1998 og 1999 tyder på at brefronten har vorte noke tynnare. Den fremste, nye moreneryggen stod 23 m frå fastpunktet og 23 m framfor frontposisjonen hausten 1998 og er truleg danna våren 1998 eller våren 1999.

7.3 Volumendring 1961 - 95

Volumendringa er utrekna ved samanlikning av terrengmodellar generert frå topografiske kart (fig. 7-6) konstruert frå vertikale flybilete. Hardangerjøkulen er fotografert fleire gongar i perioden, og kart er konstruert frå bilete frå 1961, 1973 og 1995. Kartet frå 1973 (N50-kart) er ubrukeleg då kartet viser heilt urealistiske høgdekoter på breplataet.

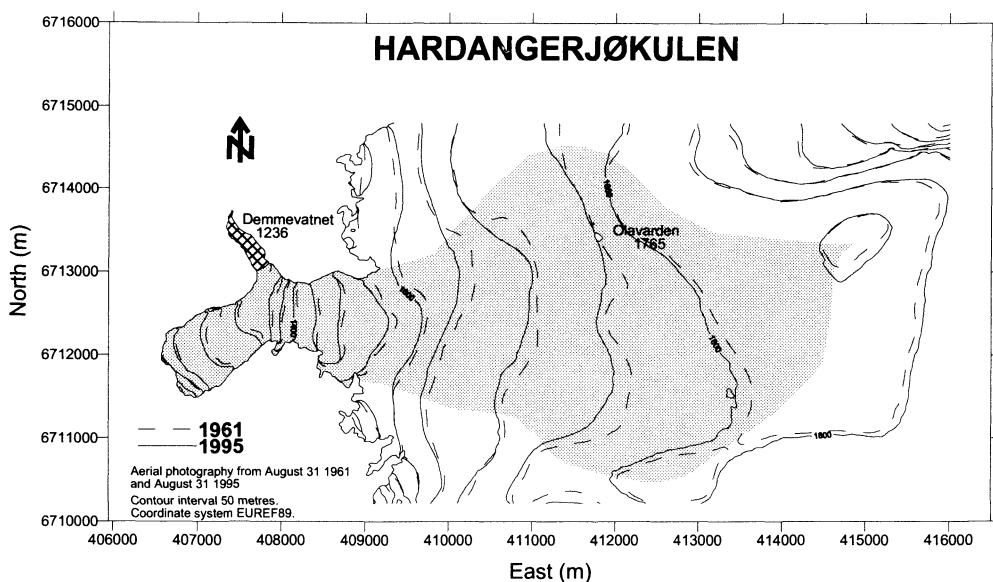
Datagrunnlag

Kart 1961

Kartet vart konstruert frå vertikale flybilete frå 31. august 1961 (Fjellanger Widerøe, oppgåve 1230, målestokk 1:20 000). Det var god kontrast i bileta sjølv om det hadde komme nysnø nokre dagar før fotografering. Kartet vart konstruert analogt i målestokk 1:20 000 med ekvidistanse 10 m. Kartet er digitalisert og transformert til EUREF89.

Kart 1995

Kartet vart konstruert frå vertikale flybilete frå 31. august 1995 (Fjellanger Widerøe oppdrag 11862, målestokk 1:40 000). Det var god kontrast i bileta sjølv om det hadde komme nysnø nokre dagar før fotografering. Det er meir vintersnø på disse bileta enn på bileta frå 1961. Kartet vart konstruert digitalt i målestokk 1:50 000 med 20 m ekvidistanse.



Figur 7-6

Samanlikning av kart frå 1961 og 1995 over den delen av Hardangerjøkulen som drenerer til Rembesdalskåkje.

Comparison of maps from 1961 and 1995 over the part of Hardangerjøkulen that drains to Rembesdalskåkje.

Metode

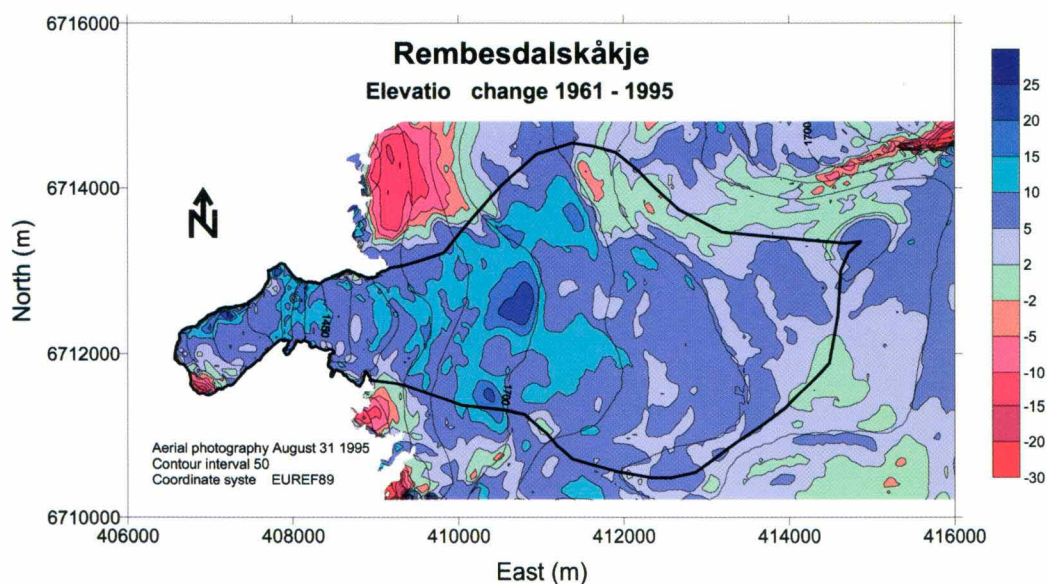
All databearbeiding og utrekning vart gjort ved hjelp av programmet Surfer 7 (Golden Software 1999).

Begge karta vart opprinneleg konstruert med høgdekoter. På grunnlag av høgdekotene vart det generert terrengmodellar på rasterformat. Ut ifrå tidlegare erfaring med ulike interpolasjonsmetodar vart terrengmodellane generert ved krieging. For å unngå at høgderyggar vart utflata og senka vart ein funksjon som definerer kvar høgderygge ligg lagt inn.

Sidan kartet frå 1995 har 20 m ekvidistanse, vert terrenget meir utglatta enn i kartet frå 1961 som har 10 m ekvidistanse. Det vart derfor naudsynt å legge inn fiktive hjelpekoter med høgde 1830 m i to område for å støtte genereringa av høgderasteret frå 1995. Dei fiktive kotene vart plassert ut ifrå høgdekoter frå 1961 og forhold mellom tilsvarende høgdekoter frå 1961 og 1995 i områda rundt.

Dei to karta er vist saman i figur 7-6. Figuren viser at den delen av Hardangerjøkulen som drenerer til Rembesdalskåkje har vorte tjukkare i perioden 1961-95.

Høgdeendringa mellom 1961 og 1995 vart utrekna som differansen mellom dei to terrengmodellane (fig. 7-7). Det meste av dreneringsområdet til Rembesdalskåkje har auka i tjukkheit. Den store auken i to område mellom 1650 og 1700 moh. heng saman med ei vesentleg utglating av topografien i området mellom 1961 og 1995. Det er mogleg at dette skuldast feil i det eine kartet og då truleg i kartet frå 1995 då dette kartet er laga med større ekvidistanse, og frå vertikalbilete i mindre målestokk.



Figur 7-7

Høgdeendring mellom 1961 og 1995 på den delen av Hardangerjøkulen som drenerer til Rembesdalskåkje.

Change in elevation between 1961 and 1995 over the part of Hardangerjøkulen that drains to Rembesdalskåkje.

For å rekne om høgdeendringa frå høgdemeter til meter vassekvivalentar forutset vi at høgdeendring ikkje påvirker tettleiksprofilen frå overflata ned til overgangen firn/is. Dermed kan høgdeendringsrasteret konverterast til eit vassekvivalentraster ved å multiplisere med tettleiken til is ($0,9 \text{ g/cm}^3$). Total volumendring i vassekvivalentar mellom 1961 og 1995 vart så utrekna for brefeltet som drenerer til Rembesdalskåkje. Brefeltet er avgrensa av dreneringsgrenser utrekna frå overflatehøgde og botn-topografi (Elvehøy mfl., 1997).

Uvissa i utrekna høgdeendring i vassekvivalentar har mange komponentar: 1) uvissa i kartkonstruksjonen der plassering av høgdekoter er avhengig av nettet av fastpunkt, bildemålestokk, kontrastar i biletet med meir, 2) uvissa i digitalisering av koter frå originalfoliar og transformering av koordinatar frå NGO til EUREF89 (gjeld 1961), 3) genereringa av raster, og 4) forutsetning om at tettleiksprofilen ikkje er endra. Uvissa i kartkonstruksjonane er truleg den største komponenten i den totale uvissa, og også den komponenten som kan variere mest over det kartlagte området. Sidan denne uvissa kan slå ut i både for stor og for liten høgdeendring vil uvissa i midlare høgdeendring vere mindre enn uvissa i enkelte punkt. Uvissa i midlare høgdeendring er derfor estimert til å vere ± 3 m. Ved tilsvarende kartsamanlikning for Jostefonn 1966-93 vart uvissa estimert til $\pm 0,5$ m (Andreassen 1998), medan uvissa i kartsamanlikning for Harbardsbreen 1966-96 vart estimert til ± 2 m (Kjøllmoen 1997).

Resultat

Høgdeendringane si fordeling er vist i figur 7-7. Volumendringa i perioden 1961-95 for området som drenerer til Rembesdalskåkje er utrekna til $+109 \pm 50$ mill. m^3

vassekvivalentar eller $+7 \pm 3$ m vatn jamnt fordelt over brefeltet. Det tilsvarar eit overskot på $0,2 \pm 0,1$ m vatn kvart år.

For å samanlikne volumendring frå kartsamanlikning med målt massebalanse må nettobalansen i 1962 estimerast fordi massebalansemålingane starta i 1963. Ved lineær korrelasjon mellom målt nettobalanse på Hardangerjøkulen og på Nigardsbreen og Storbreen i perioden 1963-99 vart nettobalansen på Hardangerjøkulen estimert til 1,5 m vassekvivalentar. Kumulativ nettobalanse i perioden 1961-95 vart då 9 ± 2 m vassekvivalentar eller $0,27 \pm 0,05$ m pr. år. Innafor estimert uvisse er ikkje dei to resultatata signifikant forskjellige, men dei antyder at målt nettobalanse kan vere litt for positiv.

7.4 English summary

Hardangerjøkulen ($61^{\circ}30'N$, $7^{\circ}30'E$) is the sixth largest (73 km^2) glacier in Norway. The glacier is situated on the main water divide between Hardangerfjorden and Hallingdal. In 1963, the Norwegian Polar Institute started mass balance measurements on the southwestern part of the glacier called Rembesdalskåki, which drains to Simadalen and Hardangerfjorden. This valley has been ravaged by jøkulhlaups from the glacier-dammed Lake Demmevatn, the latest occurring in 1937 and 1938. The investigated basin is 17.1 km^2 , and covers the altitude range between 1020 and 1865 m a.s.l. Since 1985, the Norwegian Water Resources and Energy Directorate (NVE) has been responsible for the mass balance investigations at Hardangerjøkulen.

Mass balance

The winter balance was calculated to 35 ± 3 mill. m^3 w.eqv. based on two stake measurements (1270 and 1820 m a.s.l.), three snowdepth measurements with coring (1535, 1660 and 1770 m a.s.l.), and 78 soundings above 1500 m a.s.l. (Fig. 7-1, Fig. 7-3 and Tab. 7-1). The snow depth varied from 2.5 to 5.5 m. Specific winter balance was 2.0 ± 0.2 m w.eqv which is 96 % of the 1963-98 average and 96 % of the 1994-98 average. The summer balance was calculated from an altitude distribution based on five stake measurements between 1270 and 1820 m a.s.l. (Fig. 9-3). Total summer balance was $-34 \pm 3 \times 10^6 \text{ m}^3$ w.eqv. corresponding to a specific summer balance of -2.0 ± 0.2 m w.eqv. (Fig. 7-3 and Tab. 7-1). This is 102 % of the 1963-98 average and 90 % of the 1994-98 average.

The resulting net balance was a mass surplus of $1 \pm 5 \times 10^6 \text{ m}^3$ w.eqv. or 0.1 ± 0.3 m water averaged over the basin area (Fig. 7-3 and Tab. 7-1). For comparison, the 1963-98 and 1994-98 means are 0.18 and -0.09 m w.eqv., respectively. The ELA estimated from calculated net balance was 1685 m a.s.l. and the AAR was 71 %. Figure 7-4 shows the results of mass balance measurements at Hardangerjøkulen between 1963 and 1999, while Figure 7-5 shows the cumulative net balance in the same period.

Front position change

A fix point for front position observations was established. The front was at the same position as in 1995, and retreated about 20 m since September 1998. Photographs indicate that the glacier tongue has become thinner since the autumn of 1998.

Volume change 1961-95

Digital elevation models were constructed from maps from 1961 (1:20 000, 10 m contour interval) and 1995 (1:50 000, 20 m contour interval), the change in elevation is shown in Figure 7-6. The results show a volume change of $109 \pm 50 \times 10^6 \text{ m}^3$, which equals a specific change of $7 \pm 3 \text{ m w.eqv.}$ for the period 1961-1995. This gives an average annual surplus of $0.2 \pm 0.1 \text{ m w.eqv. a}^{-1}$.

Cumulative specific net mass balance from 1961 to 1995 was $9 \pm 2 \text{ m w.eqv.}$ (0.27 m w.eqv. annual average) based on observations (1963-95) and modelling (1961-62). The results from these two independent methods are similar, also in the view of the uncertainties involved.

8 Harbardsbreen (Bjarne Kjøllmoen)

Harbardsbreen (61°40'N, 7°35'E) ligger mellom Mørkridsdalen og Fortundalen nordøst i Breheimen. Hele breens areal er ca. 25 km² der ca. 13 km² drenerer østover til Steindalselvi og Fivlemyrane kraftmagasin (fig. 8-1). Det er på denne østlige delen av Harbardsbreen undersøkelsene foregår. Breen strekker seg fra 1250 moh. opp til 1970 moh. (fig. 8-2).

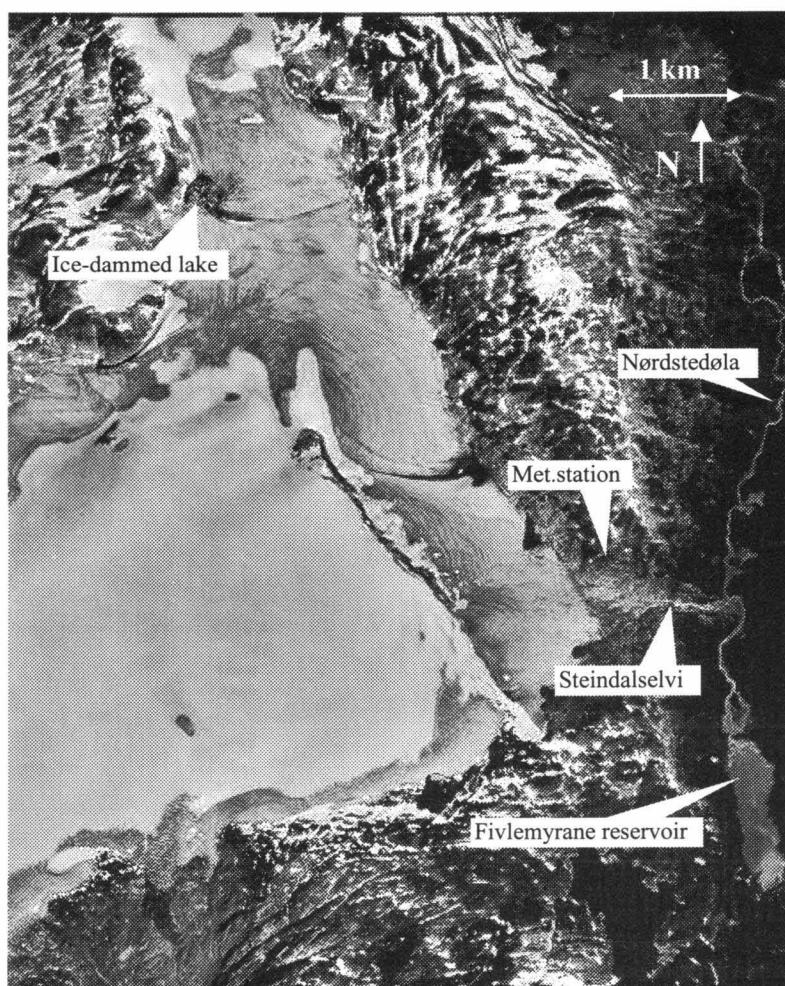
Breundersøkelser på Harbardsbreen er en del av de konsesjonspålagte hydrologiske undersøkelsene i Fortun- Grandfastavassdragene. Måleprogrammet i 1999 omfattet massebalanse, lufttemperatur og kartlegging av istykkelse i området rundt en bredemt sjø. Undersøkelsene startet sommeren 1996 med flyfotografering og påfølgende kartkonstruksjon. Samme høst ble det etablert stakenett på breen for måling av massebalansen. En meteorologisk stasjon for måling av lufttemperatur ble bygget og satt i drift våren 1997. Målingene skal pågå i 5 år.

Figur 8-1

Harbardsbreen dekker totalt et areal på rundt 25 km² der ca. 13 km² drenerer østover til Steindalselvi og Fivlemyrane magasin. Det er på denne delen av breen undersøkelsene foregår.

The total area of Harbardsbreen is approximately 25 km² of which ca. 13 km² drains eastward to Steindalselvi and Fivlemyrane reservoir. The investigations are performed at this east-facing part of the glacier.

Foto/Photo by Fjellanger Widerøe AS on 15th August 1996 (Contract No. 11999).



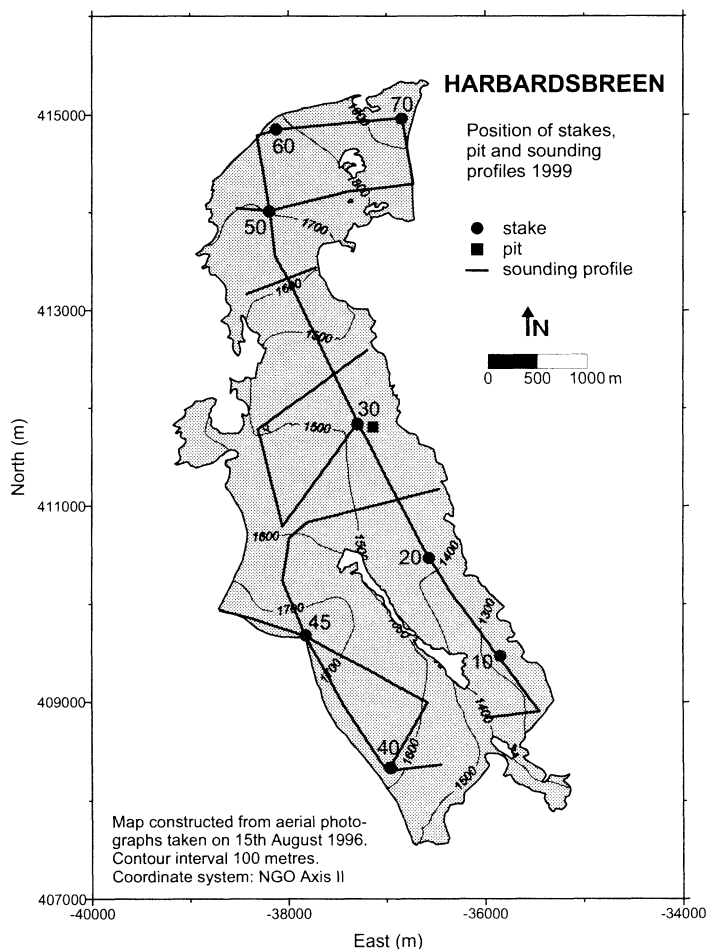
8.1 Massebalanse

Feltarbeid

Akkumulasjonsmålingene ble utført 8. mai. Grunnlaget for beregning av vinterbalansen er (fig. 8-2):

- Direkte målinger av stakene 30 (1495 moh.), 50 (1700 moh.) og 60 (1790 moh.) som viste snødybder på hhv. 3,4 - 3,7 - 4,0 m. I tillegg var det mulig å knytte sammen målinger av flere staker i posisjonene 10 (1285 moh.), 40 (1605 moh.), 45 (1720 moh.) og 70 (1940 moh.). Disse viste snødybder på hhv. 3,8 - 4,7 - 4,5 - 3,2 m.
- Kjerneboringer i høydenivåene 1285 (stake 10), 1605, 1720 og 1940 moh. som viste snødyp på hhv. 3,6 - 4,5 - 4,5 - 3,1 m.
- 147 sonderingspunkter langs 23 km måleprofiler mellom 1270 og 1930 moh. Sonderingsforholdene var stort sett gode, men noe vanskelig på den sørvestlige delen av breen. Sonderingene ble sammenlignet og kontrollert med målinger av tre staker og fire kjerneboringer. Snødyppet var svært jevnt med rundt 3 m over store deler av breen. På den sørvestlige delen var snødyppet størst med $3\frac{1}{2}$ - $4\frac{1}{2}$ m.
- Tetthetsprøve ned til sommeroverflaten (SO 3,4 m) i høydenivået 1495 moh.

Måleopplegg med plassering av staker og tårn, tetthetsprøver og sonderingsprofiler er vist i figur 8-2.



Figur 8-2

Beliggenheten av staker, tetthetsprøve og sonderinger på Harbardsbreen i 1999.

Location of stakes, density pit and sounding profiles at Harbardsbreen in 1999.

Minimumsmålinger ble utført den 30. september. Nettobalansen ble målt direkte på staker i åtte ulike posisjoner mellom 1285 og 1940 moh. Bortsett et lite område på den sørvestlige delen av breen, var all snøen fra siste vinter smeltet bort. Snøgrensa må derfor anses å ligge over breens høyeste punkt. Det var ikke kommet nysnø.

Resultater

Massebalansen er beregnet etter den tradisjonelle metoden der breens balanse mellom to sommeroverflater blir beregnet. Beregningene er basert på kartgrunnlag fra 1996.

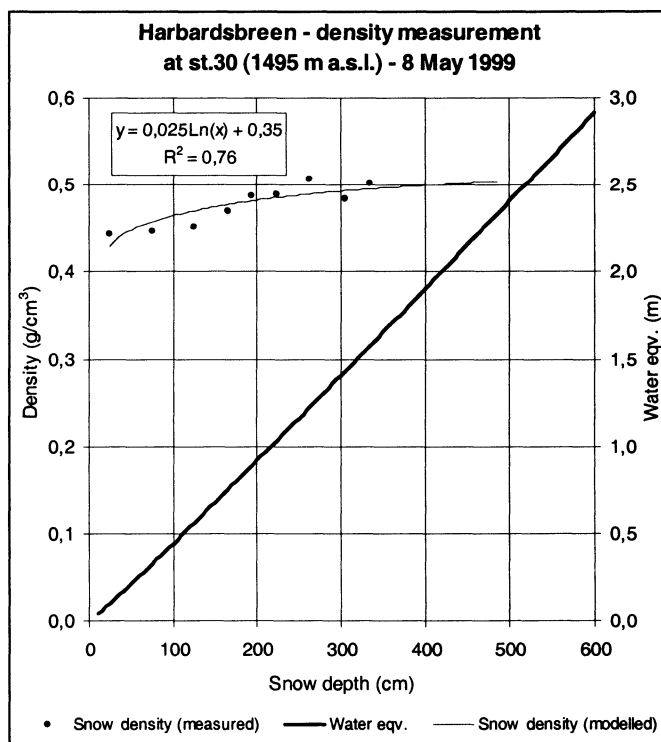
Vinterbalanse

Beregninger av vinterbalansen er basert på punktmålinger av snødybder (staker, sonderinger og kjerneboringer) og på måling av snøens tetthet ved stake 30 (snødybde 3,4 m). Ut fra de målte verdiene av snøens tetthet er det modellert et tetthetsprofil av hele snøpakken. Modellen beskriver sammenhengen mellom snødybde og vannverdi (fig. 8-3). Med denne modellen blir midlere tetthet for 3,4 m snø $0,47 \text{ g/cm}^3$. Alle snødybder er omregnet til vannverdier med denne modellen.

Figur 8-3

Snøens tetthet (•) ved stake 30 (1495 moh.) og modell (—) som viser økningen av snøens tetthet med økende snødybde. Den tykke linjen viser vannverdier (på den sekundære y-aksen) i snøpakken beregnet ut fra modellen.

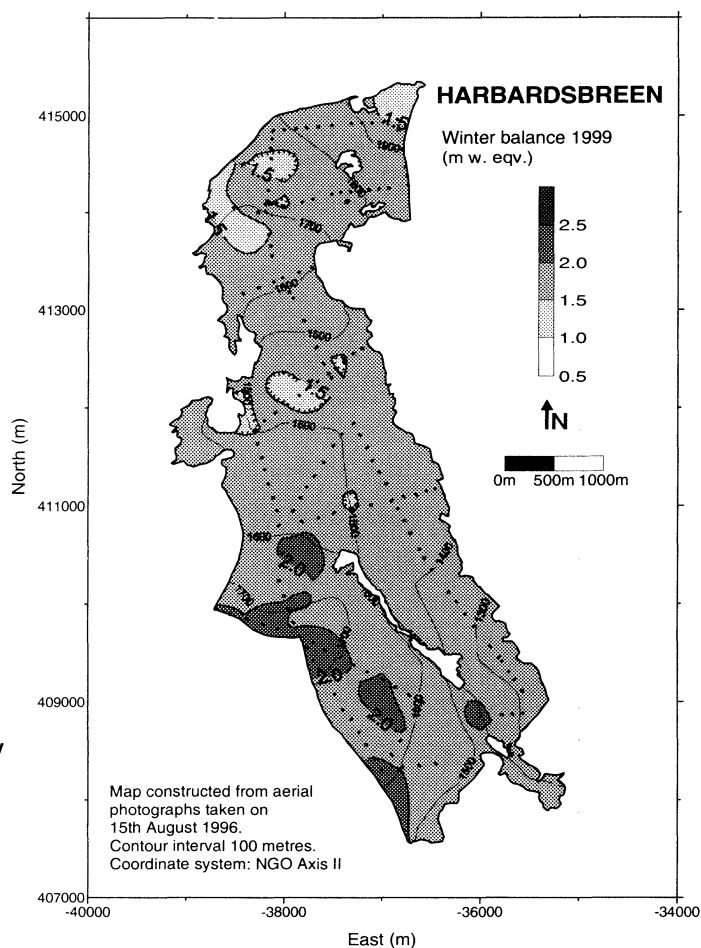
Snow density (•) at stake 30 (1494 m a.s.l.) and model (—) showing the increase in snow density with increasing snow depth. The bold line shows the water equivalents (at the secondary y-axis) in the snow pack estimated from the model.



Beregning av vinterbalansen er utført på to ulike måter. Med den første metoden er alle punktmålingene (vannverdier) plottet mot høyde i et diagram. Ut fra en visuell bedømming er en kurve trukket (fig. 8-5), og en middelvei for hver 50. høydemeter er bestemt (tab. 8-1). Figur 8-4 viser at hele breen er godt representert med målepunkter. Beregningene gir en vinterbalanse på $1,8 \pm 0,2$ m vannekvivalenter, som tilsvarer et vannvolum på 24 ± 3 mill. m^3 vann. Fjorårets resultat var 1,7 meter. Videre er vinterbalansen også beregnet ut fra snødypmålingenes romlige fordeling (fig. 8-4).

Vannverdier for hver celle i et rutenett på 100 x 100 meter er beregnet og summert. Denne beregningsmetoden gir samme resultat.

Et snøfordelingskart eller vinterbalansekart som illustrerer vinterbalansens fordeling over hele brearealet er vist i figur 8-4.



Figur 8-4

Vinterbalansen på Harbardsbreen i 1999 interpolert fra 153 målinger av snødyp (•).

Winter balance at Harbardsbreen in 1999 interpolated from 153 snow depth measurements.

Sommerbalanse

Sommerbalansen er målt og beregnet direkte på sju staker, og avtar fra -2,9 m ved stake 10 til -1,7 m på stake 70. Tettheten til siste vinters gjenværende snø er estimert til $0,60 \text{ g/cm}^3$, mens tettheten til avsmeltet eldre firn er estimert til $0,65 \text{ g/cm}^3$.

Tettheten til avsmeltet is er satt til $0,90 \text{ g/cm}^3$. På grunnlag av disse estimatene og stakemålinger er sommerbalansen beregnet til $-2,1 \pm 0,3 \text{ m}$ vannekvivalenter eller $-28 \pm 4 \text{ mill. m}^3$ vann. Fjorårets resultat var -1,6 meter.

Nettobalanse

Harbardsbrens nettobalanse for 1999 er beregnet til $-0,3 \pm 0,3 \text{ m}$ vannekvivalenter, hvilket tilsvarer et underskudd på $4 \pm 4 \text{ mill. m}^3$ vann. Fjorårets resultat var et lite overskudd (0,1 m) mens resultatet for 1997 var et underskudd på 0,5 meter. Figur 8-5 viser at likevektslinjens høyde ligger over breens høyeste punkt og akkumulasjonsområdets andel av det totale breareal (AAR) er derfor 0 %. Det må likevel poengteres at det lå igjen ca. 40 cm snø over et lite område på den sørvestlige delen av breen.

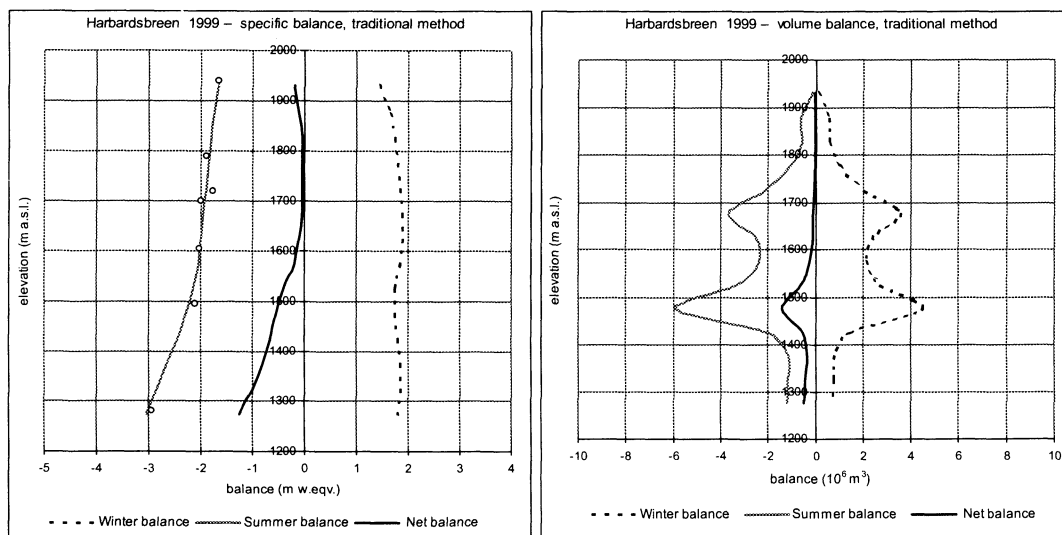
Verdiene for massebalansen i de enkelte høydeintervall er vist i tabell 8-1. Tilsvarende kurver for hhv. spesifikke verdier og volumverdier fordelt med høyden er vist i figur 8-6.

Mass balance Harbardsbreen 1998/99 – traditional method							
Altitude (m a.s.l.)	Area (km ²)	Winter balance		Summer balance		Net balance	
		Measured May 8 1999		Measured Sep 30 1999		Summer surfaces 1998 - 1999	
		Specific (m w.eq.)	Volume (10 ⁶ m ³)	Specific (m w.eq.)	Volume (10 ⁶ m ³)	Specific (m w.eq.)	Volume (10 ⁶ m ³)
1900 - 1960	0,28	1,45	0,4	-1,65	-0,5	-0,20	-0,1
1850 - 1900	0,35	1,65	0,6	-1,75	-0,6	-0,10	0,0
1800 - 1850	0,32	1,75	0,6	-1,80	-0,6	-0,05	0,0
1750 - 1800	0,58	1,80	1,0	-1,85	-1,1	-0,05	0,0
1700 - 1750	1,12	1,85	2,1	-1,90	-2,1	-0,05	-0,1
1650 - 1700	1,89	1,90	3,6	-1,95	-3,7	-0,05	-0,1
1600 - 1650	1,27	1,90	2,4	-2,00	-2,5	-0,10	-0,1
1550 - 1600	1,16	1,85	2,1	-2,05	-2,4	-0,20	-0,2
1500 - 1550	1,57	1,75	2,7	-2,15	-3,4	-0,40	-0,6
1450 - 1500	2,56	1,75	4,5	-2,30	-5,9	-0,55	-1,4
1400 - 1450	0,82	1,80	1,5	-2,45	-2,0	-0,65	-0,5
1350 - 1400	0,43	1,85	0,8	-2,65	-1,1	-0,80	-0,3
1300 - 1350	0,42	1,85	0,8	-2,85	-1,2	-1,00	-0,4
1250 - 1300	0,39	1,80	0,7	-3,05	-1,2	-1,25	-0,5
1250 - 1960	13,16	1,81	23,8	-2,15	-28,3	-0,34	-4,5

Tabell 8-1

Vinter-, sommer- og nettobalanse for Harbardsbreen i 1999 beregnet med tradisjonell metode.

Winter, summer and net balance for Harbardsbreen in 1999.



Figur 8-6

Massebalansediagram for Harbardsbreen i 1999 som viser spesifikke verdier (venstre) og volumverdier (høyre) for hhv. vinter-, sommer- og nettobalanse. Sommerbalansen for hver stake er vist som punkter (○). Ut fra diagrammet ligger likevektslinjens høyde over breens høyeste punkt.

Mass balance diagram for Harbardsbreen 1999 showing specific balance (left) and volume balance (right). Summer balance at each stake is shown as dots (○).

8.2 Meteorologiske målinger

En stasjon (nr. 75.42) for måling av lufttemperatur ble satt opp på østsiden av Harbardsbreen (fig. 8-1) i mai 1997. Data lagres lokalt i en lagringsenhet og overføres ved hvert feltbesøk. I 1999 ble stasjonen ettersatt og data overført den 28. januar, 8. mai, 30. juli og 30. september. På grunn av en operatørfeil under dataoverføringen finnes det ikke data for perioden 23. september 1998 - 27. januar 1999.

Meteorologisk Institutt har en klimastasjon på Sognefjellet (nr. 55290, 1413 moh.) der blant annet lufttemperatur blir målt. Stasjonen har vært operativ siden 1980, men det finnes ikke tilstrekkelige data i perioden 1989-95.

I tabell 8-2 er noen resultater fra målingene ved Harbardsbreen og Sognefjellet presentert. Tabellen viser døgnmiddelverdier i "sommersesongen" (1. juni - 30. september) fra begge stasjonene for årene 1997, 1998 og 1999. For å ha et sammenligningsgrunnlag er middelverdier i perioden 1980-88 for stasjonen på Sognefjellet også vist i tabellen. For årene 1997 og 1998 er "sommertemperaturen" omtrent lik for de to stasjonene. I 1999 viser målingene derimot en forskjell på ca. 2 °C. Sammenlignes temperaturmålingene med sommerbalansen på breen, er korrelasjon bedre med målingene fra Sognefjell. Det kan tyde på at temperaturmålingene ved Harbardsbreen for 1999 er beheftet med visse feil.

<i>Daily mean values</i>	<i>1 June – 30 September (Summer season)</i>			
	<i>1999</i>	<i>1998</i>	<i>1997</i>	<i>Mean 1980-88</i>
Air temperature Harbardsbreen (°C)	3.46	4.18	6.09	-
Air temperature Sognefjell (°C)	5.51	4.10	6.33	4.21

Tabell 8-2

Døgnmiddeltemperatur ved Harbardsbreen (ca. 1350 moh.) og Sognefjell (1413 moh.) i perioden 1. juni – 30. september for årene 1997, 1998 og 1999. Tallene for Sognefjell er sammenlignet med middelverdier for perioden 1980-88.

Daily mean temperature at Harbardsbreen (ca. 1350 m a.s.l.) and Sognefjell (1413 m a.s.l.) during the "Summer season" (1 June - 30 September) for the years 1997, 1998 and 1999. The values for Sognefjell are compared with the average for the period 1980-88.

8.3 Bredemt sjø

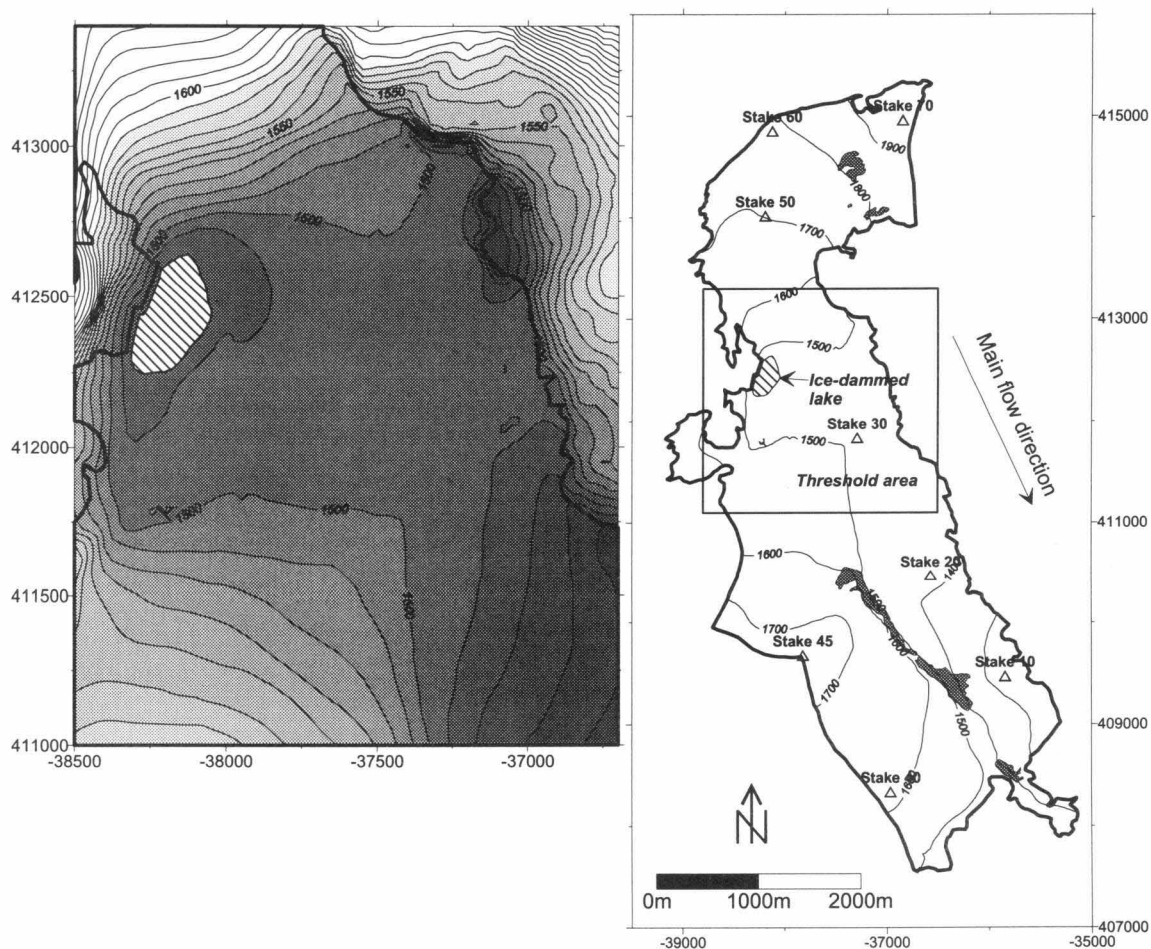
Siden 1992 er det gjort observasjoner (tab. 8-3) av den bredemte sjøen som ligger på vestsiden av breen (fig. 8-7) i høydenivå ca. 1480 moh. Observasjonene tyder på at sjøen tømmes relativt hyppig. En slik tømming fører nødvendigvis til en midlertidig økning av vannføringen inn til Fivlemyrane magasin. Størrelsen på tømmingen og hvordan den utvikler seg er ukjent. Fra andre steder vet en at tappinger fra bredemte sjøer kan være en potensiell trussel mot damanlegg og ferdsel langs vassdraget.

For å skaffe en bedre forståelse for tappingsprosessen er istykkelsen i området ved bresjøen kartlagt med breradarmåling våren 1999. Videre er tappingsvolum og utløsende vannhøyde grovt vurdert.

Oversikt

Terskelområdet

I terskelområdet ligger breoverflata mellom 1480 og 1510 moh. (fig. 8-7). Overflata i området er meget flat og det er derfor grunn til å tro at bunntopografien kan styre hvor tappingskanalen går under isen. Breoverflata ble kartlagt ved flyfotografering 15. august 1996, og et kart med 10 m høydeintervall er tilgjengelig på digital form.



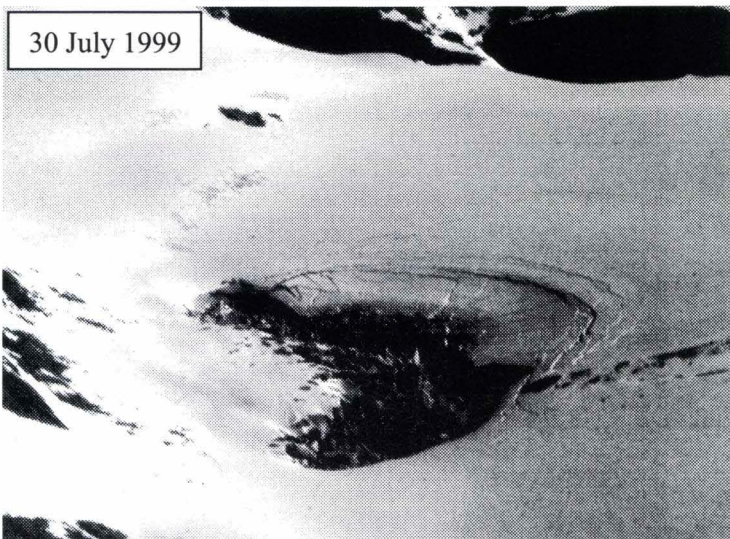
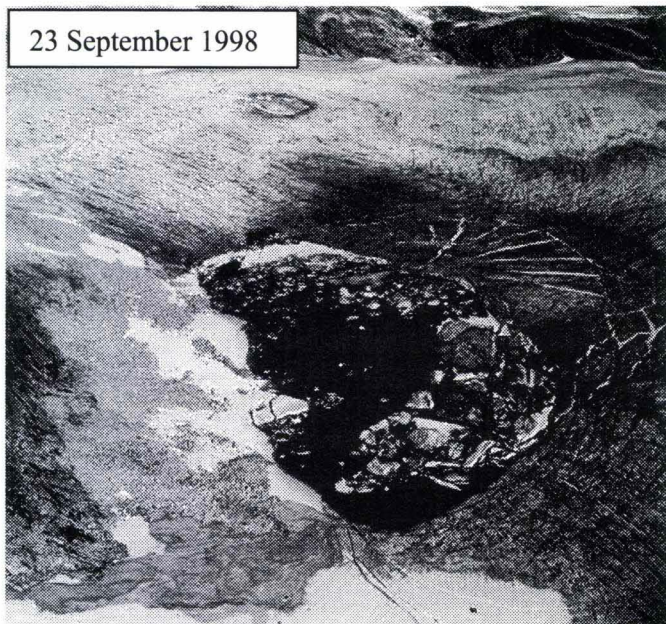
Figur 8-7

Terskelområdet for det bredemte vannet ved Harbardsbreen. Kartkoordinater (NGO 1948) er vist i meter.

The threshold area for the glacier-dammed lake by Harbardsbreen. Co-ordinates (NGO 1948) are shown in metres.

Observasjoner av den bredemte sjøen

Kartleggingen viser at breoverflata i det flate terskelområdet i august 1996 var 1495 moh., mens vannhøyden var 1483,8 moh. (sjøens utbredelse er vist i figur 8-10). Bilder som ble tatt under feltarbeid høsten 1998 og sommeren 1999 viser sjøen før og etter tapping (fig. 8-8).

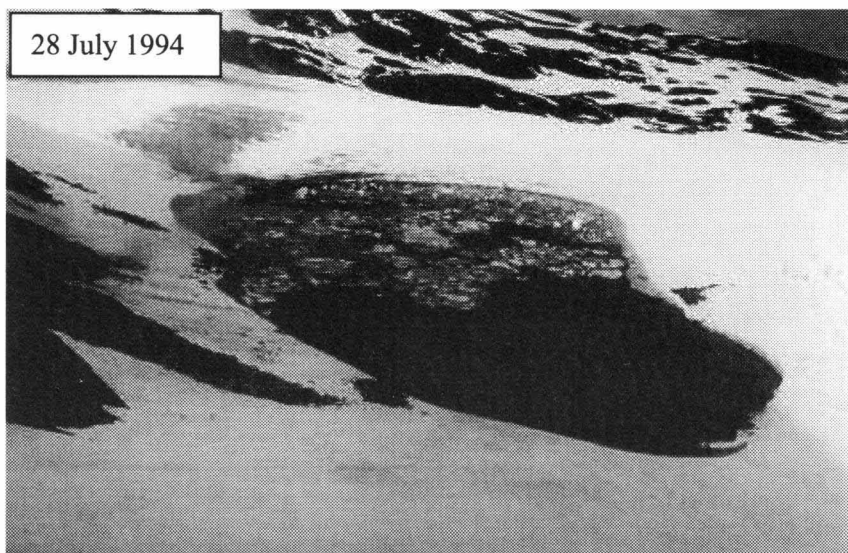


Figur 8-8

Bildene viser sjøen før (høsten 1998) og etter (sommeren 1999) tapping.

**Photos showing the lake before (Fall 1998) and after (Summer 1999) a drain.
Foto/Photo: Erik Roland and Bjarne Kjøllmoen.**

Sprekke mønsteret vist på bildene antyder at deler av breen flyter i vannet når det er høy vannstand. Videre er det tydelig at mengder med is brekker av i sjøen og blir liggende utover bunnen etter tappingen. Det ser ut til at sjøen tappes helt. En viss usikkerhet er knyttet til om det er igjen vann under breen, der breoverflata har kollapset. Bildet fra 1994 (fig. 8-9) viser at sjøen kan bli enda større enn observert høsten 1998.

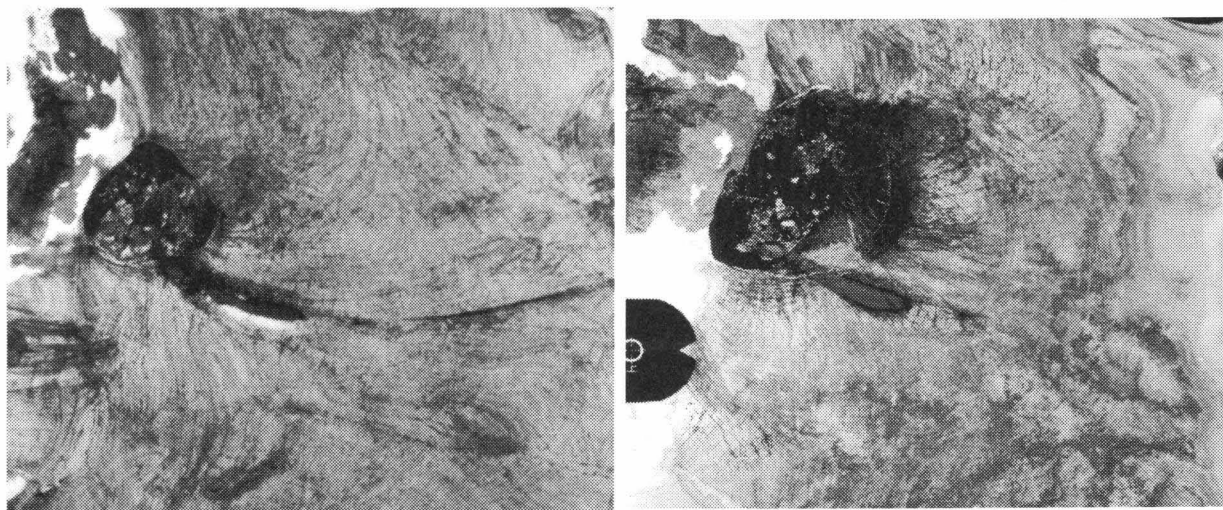


Figur 8-9

Den bredemte sjøen fotografert sommeren 1994.

The glacier-dammed lake photographed in the Summer of 1994.
Foto/Photo: Bjarne Kjølmoen.

Flybildene i figur 8-10 viser bresjøen den 19. juli 1966 og 15. august 1996. Tabell 8-3 gir en beskrivelse av de observasjoner som er gjort av bresjøen i perioden 1992 til 1999.



Figur 8-10

Sjøen flyfotografert 19. juli 1966 (venstre) og 15. august 1996 (høyre).

Aerial photos of the lake taken on the 19th July 1966 (left) and on the 15th August 1996 (right).
Foto/Photo: Fjellanger Widerøe AS.

Date	Observation
19 09 1992	Water in the lake
23 09 1993	Water in the lake (uncertain observation)
28 07 1994	Water in the lake
20 07 1996	Water in the lake
14 09 1996	Water in the lake
01 02 1997	Empty lake
19 05 1997	Much snow, but no visible water- or ice surface in the lake
25 07 1997	Water in the lake
24 09 1997	Water in the lake
15 05 1998	Much snow, probably some water in the lake
12 08 1998	Water in the lake
23 09 1998	Water in the lake
08 05 1999	Empty lake
30 07 1999	Empty lake
30 09 1999	Empty lake

Tabell 8-3

Observasjoner av den bredemte sjøen i perioden 1992-99.

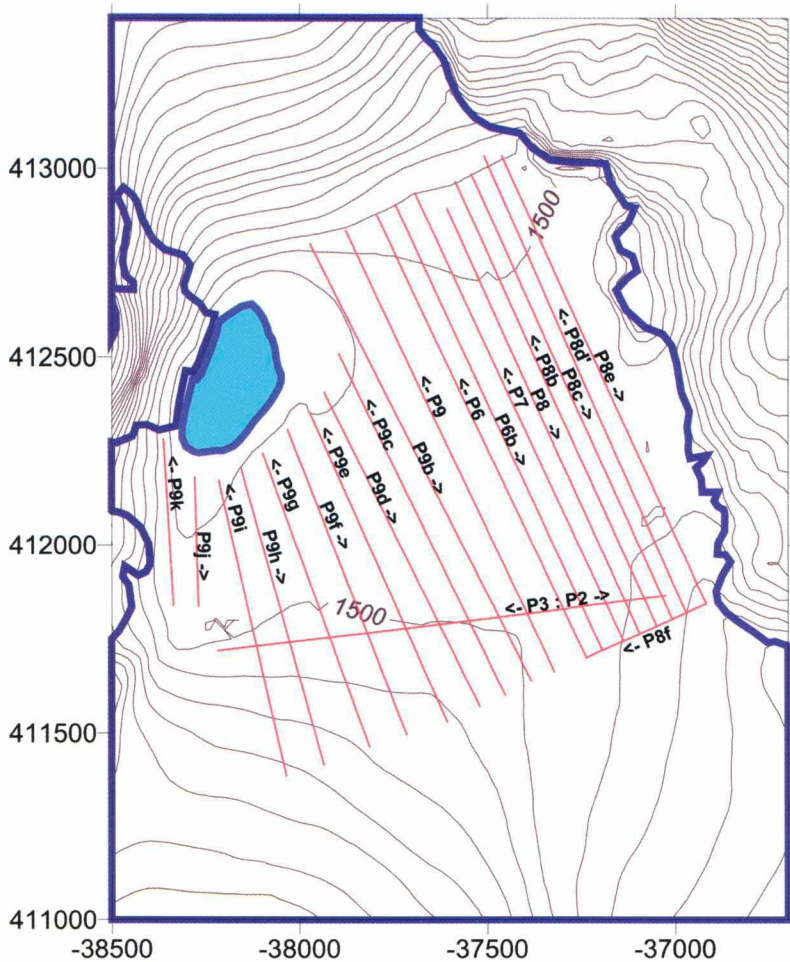
Observations of the glacier-dammed lake during 1992-99.

Observasjonene viser at det var vann i sjøen på sommerstid i årene 1992, 1993, 1994, 1996, 1997 og 1998, mens den var tom sommeren 1999. Sommeren 1995 ble det ikke gjort observasjoner. Det ser dermed ut til å være sikre indikasjoner på at tapping forekom mellom 14. september 1996 og 1. februar 1997, og mellom 23. september 1998 og 8. mai 1999. Det er også sannsynlig at det skjedde en tapping i tidsrommet 24. september 1997 og 15. mai 1998. Det ser med andre ord ut til at tapping har forekommet årlig de tre siste årene.

Kartlegging av terskelområdet

Breradarmålinger

Breisen danner en demning mot sjøen når isens trykk ved brebunn er større enn vanntrykket ved bunnen. For å kartlegge bunntopografi og bretrykkelse ble det utført istykkelsemålinger med breradar i terskelområdet i mai 1999. Feltarbeidet gav rom for dekning av terskelområdet, men det ble ikke tid til å kartlegge breen nedstrøms terskelområdet. Kinematiske GPS-målinger med høy presisjon ble brukt for posisjonering. I ettertid viste det seg dessverre at disse dataene ikke kunne prosesseres. Derfor ble breradarmålingene posisjonert utfra visuell bestemmelse av endepunktene for hvert profil. Usikkerheten i posisjoneringen er dermed større enn forventet og er anslått til ± 50 meter. Til sammen ble det samlet inn data fra 21 profiler fordelt som vist i figur 8-11.



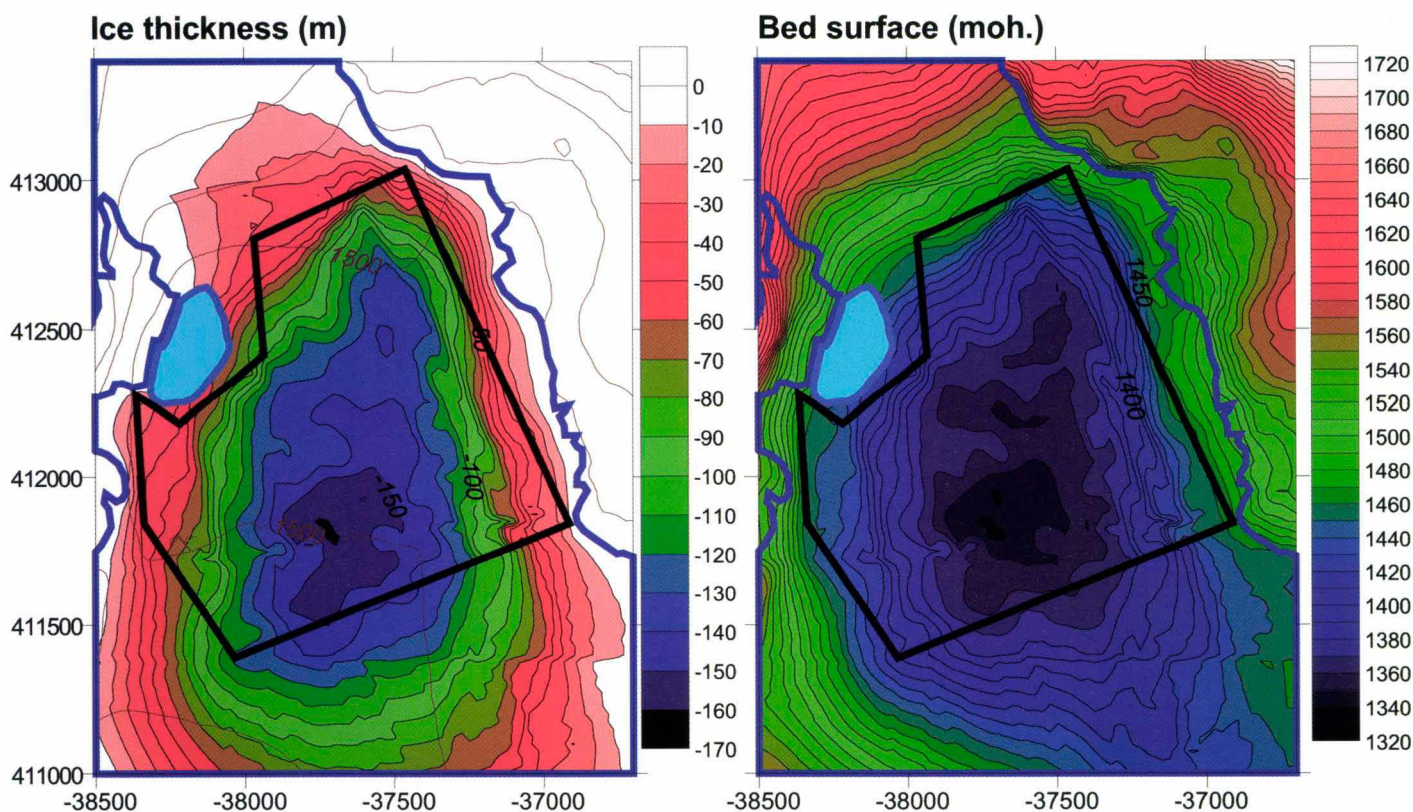
Figur 8-11

Lokalisering av breradarmålingene. Data ble samlet inn fra 21 profiler (røde linjer) som til sammen dekker et område på ca. 1½ km². Pilene viser kjøreretningen under målingene.

Localization of the radio-echo soundings. Data were obtained from 21 profiles (red lines) covering an area of about 1½ km². The arrows show the moving direction during the measurements.

Beregning av bretykkelse og bunntopografi

Radargrammene ble tolket og bretykkelse beregnet. Beregning av tykkelsen antas å ha en usikkerhet på ±5-10 m. Videre ble det konstruert et kart over bretykkelsen ved å interpolere resultatene fra breradarmålingene sammen med innlagte punkter langs brekanten der bretykkelsen er null. Valgt interpolasjonsmetode er "kriging" med gridstørrelse 25 x 25 meter. Dette er vist i figur 8-12 sammen med kart over bunntopografi. Bunntopografi ble konstruert ved å kombinere overflatetopografi fra kartet fra 1996 og bredyp fra breradarmålinger. Kartet er kun gyldig for terskelområdet, dvs der det er samlet inn breradardata (se fig. 8-11).



Figur 8-12

Bretykkelse (m) til venstre og bunntopografi (moh.) til høyre i terskelområdet. Blå tykk linje viser brekanten og svart tykk linje markerer utstrekning av breradarmålingene. I områdene utenfor denne svarte linjen (spesielt nedre del av kartet) er bretykkelse og bunntopografi noe usikkert bestemt.

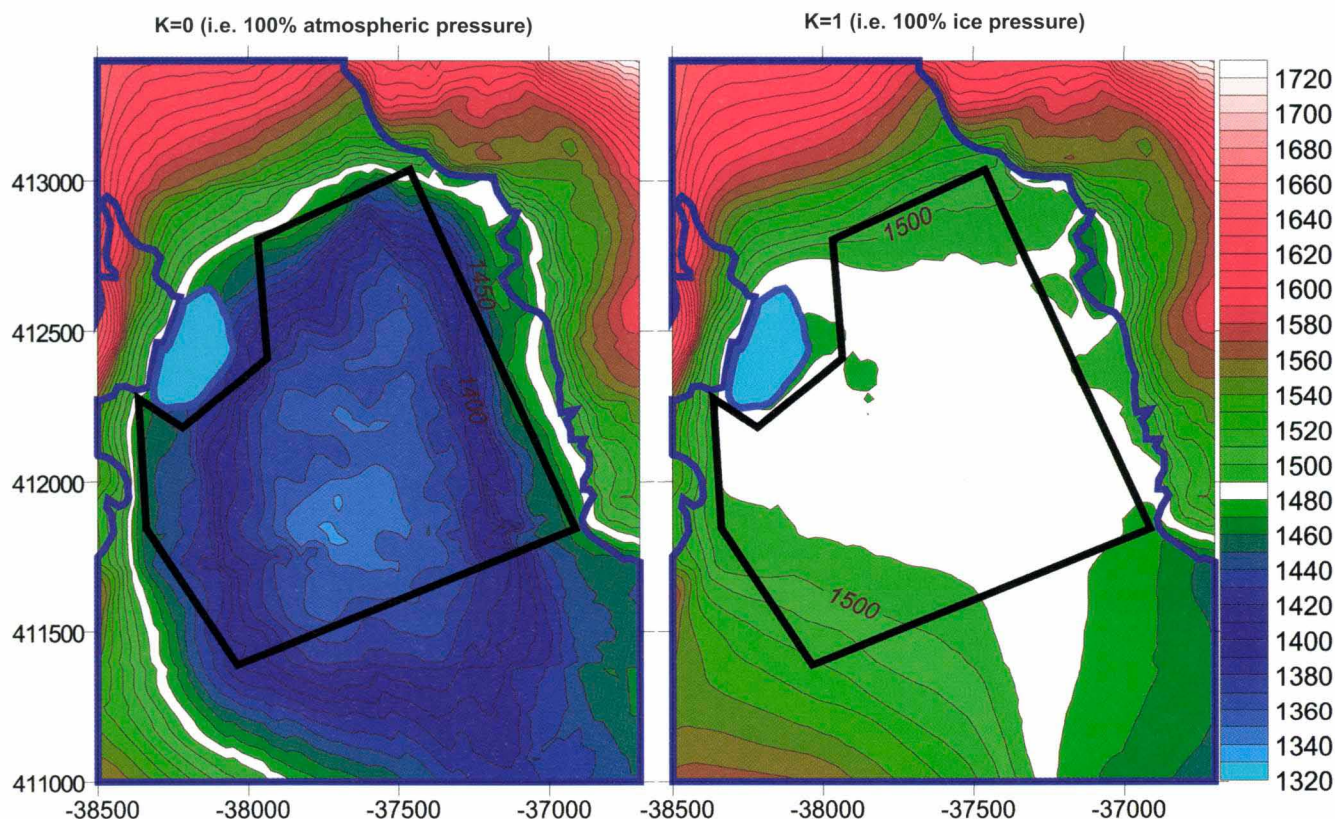
Ice thickness (m) to the left and bed surface (m a.s.l.) to the right in the threshold area. The blue bold lines show the glacier outline and the black bold lines indicate the area where the radio-echo soundings were made. In the areas outside the black line (especially in the lower parts in the map) the ice thickness and bed topography are inaccurate.

Målingene viste en overfordypning midt under breen. Breens tykkelse er der opp til 160 meter. Den store variasjonen i bretykkelse gjør at overfordypningen fylles effektivt opp med is og gjør overflata nesten horisontal (jf. fig. 8-7). Det bør merkes at det i nedre del av kartene gis en dårlig presentasjon av virkeligheten, da det her ikke finnes breradarmålinger (se fig. 8-11).

Beregning av vannpotensial og drenering

Ved drenering langs bunnen kan istrykket styre vannets vei vekk fra de veier det ville tatt dersom kun bunntopografien (og ikke istrykket) var avgjørende. For å vurdere de ulike dreneringsveiene beregnes vannpotensialet, hvor effekten av isens trykk kan forenklet uttrykkes ved en konstant, k . Vannpotensialet ble beregnet på samme måte som i Kjølmoen og Kennett (1995) og Elvehøy mfl. (1997). Vannet vil drenere i den retning der potensialet avtar mest.

Figur 8-13 viser potensialflater beregnet ved ulike verdier av k , fra 0 (dvs ikke påvirket av istrykket, vannet drenerer ved atmosfærisk trykk) til 1 (istrykket bestemmer dreneringen sammen med bunntopografien).

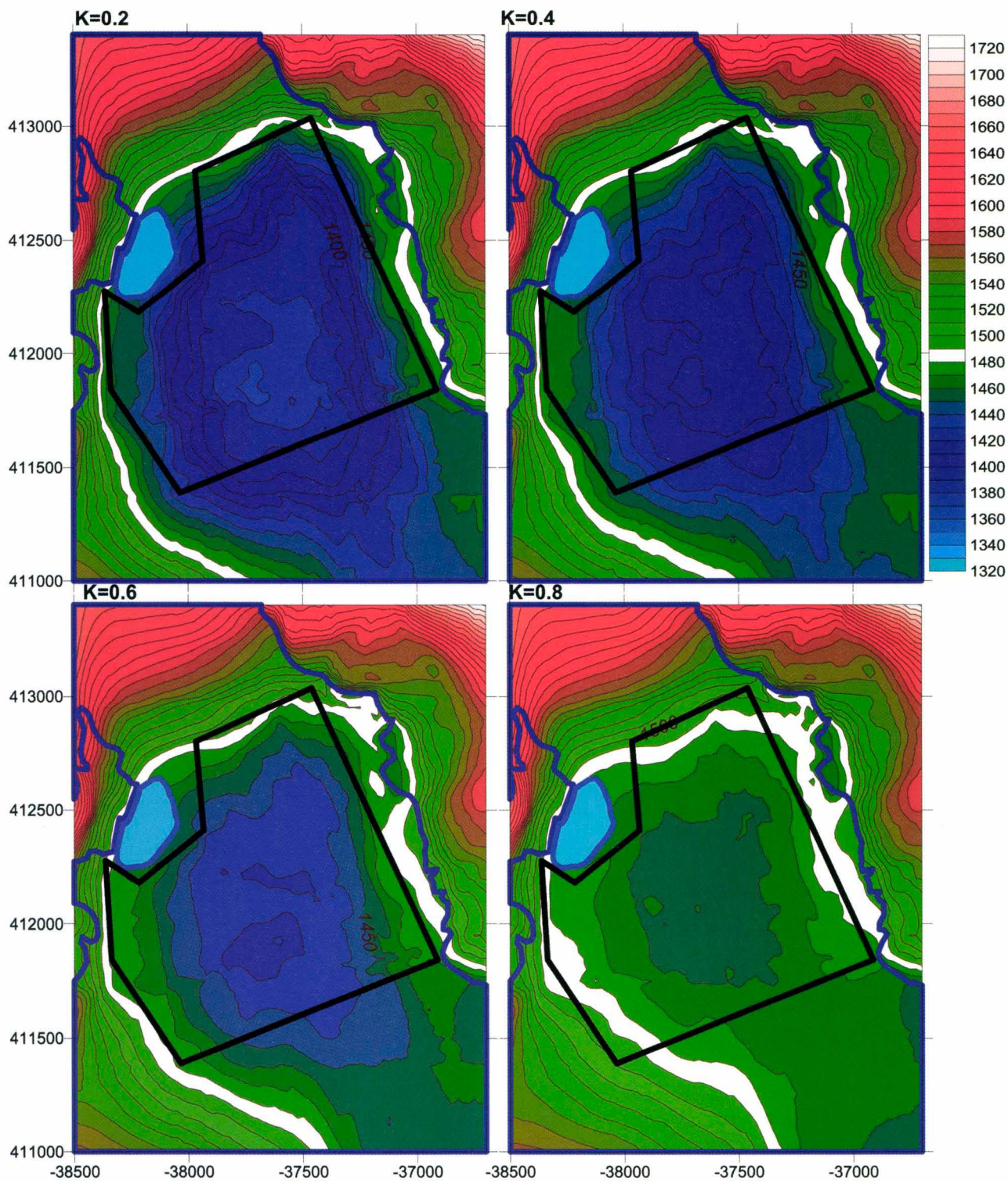


Figur 8-13

Vannpotensialkart ved $k=0$ (venstre) og $k=1$ (høyre). Verdiene angir potensialhøyde i meter. Blå tykk linje viser brekanten og svart tykk linje markerer utstrekning av breradarmålingene. I områdene utenfor den svarte linjen (spesielt nedre del av kartet) er vannpotensialet noe usikkert bestemt.

Map showing water potential with $k=0$ (left) and $k=1$ (right). The values indicate the potential altitude in metres. Blue bold lines show the glacier outline and black bold lines indicate the area of radar measurements. In the areas outside the black line (especially in the lower parts in the map) the water potential is inaccurate.

Figur 8-13 og 8-14 viser at dersom vannet drenerer ved atmosfærisk trykk ($k=0$) så er det grunn til å tro at vannet drenerer mot midten av breen og renner videre ved eller nær midten av breen. På den annen side danner som regel slike tappinger drenerings-systemer, hvor også isens trykk bestemmer den veien vannet tar ($k>0$). Dersom isens fulle trykk tas med i vurderingen ($k=1$) så vil som regel breoverflatens helling overstyre bunntopografien. Vi ser her at vannpotensialet er nærmest likt over hele terskelområdet. Dreneringen drives av endringer i potensialet og målingene antyder at tappekanalen kan være lokalisert innenfor en større sektor sørøst for vannet (hvitt felt i figur 8-13). Kanalens plassering kan også være styrt av lokaltopografi (f.eks. renner eller rygger under breen) som leder vannet i bestemte veier. Kartene i figur 8-13 og 8-14 antyder at breen bare så vidt er tykk nok til å demme vannet når bresjøens overflate er 1483,5 moh.



Figur 8-14

Vannpotensialkart ved $k=0,2, 0,4, 0,6$ og $0,8$. Verdiene angir potensialhøyde i meter. Blå tykk linje viser brekanten og svart tykk linje markerer utstrekning av breardmålingene. I områdene utenfor denne svarte linjen (spesielt nedre del av kartet) er vannpotensialet noe usikkert bestemt.

Map showing water potential with $k=0.2, 0.4, 0.6$ and 0.8 . The values indicate the potential altitude in metres. Blue bold lines show the glacier outline and black bold lines indicate the area of radar measurements. In the areas outside the black line (especially in the lower parts in the map) the water potential is inaccurate.

Beregningene og observasjonene tyder på at vannet dreneres i sørøstlig retning ved tapping. Smeltevann fra de høyereliggende deler av breen over sjøen dreneres av én eller flere elver under breen. Om det er én eller flere (to) er uvisst. Disse passerer enten gjennom, nær, eller langt fra sjøen. Dermed er det grunn til å tro at vannet ved en tapping enten løper sammen med denne (disse) breelva midt langs breen eller langs østre side av breen dersom breelva er plassert her. Dersom hovedbreelva renner langs østsiden av breen kan det også være mulig at tappekanalen løper separat nær senterlinja til breen et godt stykke. For å vite dette bedre må utfyllende breradar-målinger og eventuelt sporstoffmålinger utføres.

Vurdering av vannmengde

Det ble under befaring i 1992 gjort en vurdering av mulig volum i bresjøen. Anslaget gav et volum på 300 m x 200 m x 10 m, dvs 600 000 m³. Fordelt over et areal på 0,5 km², som er magasinarealet til Fivlemyrane ved høyeste regulerte vannstand (HRV), gir dette en økning av vannstanden med 1,2 m (600 000 m³/500 000 m³). Basert på sjøens areal på det nye kartet og flybilder fra 15. august 1996, samt vurdering av tidligere bilder og feltbesøk, vurderes dette anslaget som lavt. Vi anslår et volum på 400 m x 200 m x 20 m, dvs. 1 600 000 m³. Dette vil ved tapping gi en økt vannstand ved HRV på 3,2 m gitt at magasinarealet er konstant.

En viss grad av usikkerhet knytter seg til hvor mye vann det er under brekanten ved sjøen (som nevnt ser denne ut til delvis å flyte), samt nøyaktig estimering av bunntopografi til sjøen. Videre er tappingstid eller vannføring forbundet med tapping ikke kjent.

Konklusjon

Istykkelse og bunntopografi i området rundt bresjøen er kartlagt. Målingene viser en overfordypning midt under breen med en istykkelse opptil 160 meter.

Målingene antyder at bresjøen tappes ved en utløsende vannhøyde mellom 1485 og 1490 moh.

Volumet av en tapping anslås til å være opptil 1,6 mill. m³ vann under nåværende forhold.

Dreneringsretningen ved en tapping ser ut til å være mot sørøst. Den nøyaktige dreneringsveien kan ikke bestemmes uten at det gjøres utfyllende målinger.

Hypptigheten på tappingene er usikre, men observasjoner tyder på at tapping har forekommet årlig de tre siste årene (1996/1997 - 1997/1998 - 1998/1999).

8.4 English summary

Harbardsbreen (61°40'N, 7°35'E) is a plateau glacier located approx. 25 km east of Jostedalsbreen in the Breiheimen area. Its area is about 25 km², of this drains approx. 13 km² eastward to Steindalselvi and Fivlemyrane reservoir. The studies

presented in this report were performed on this east-facing part, ranging from 1250 to 1970 m a.s.l. (Fig. 8-2). The calculations are based on map from 1996.

Mass balance

Field work

The accumulation measurements were made on 8th May. The winter balance calculation was based on seven stake measurements, four core drillings, 147 soundings and one density pit (Fig. 8-2). Overall the snow depth varied between 3 and 4½ m and the mean snow density at stake 30 (S.S. 3.4 m) was 0.47 g/cm³ (Fig. 8-3). Ablation measurements were made on 30th September when the net balance could be measured directly at eight stakes. No fresh snow had fallen at that time.

Results

Winter balance was calculated to 1.8 m w.eqv., summer balance to -2.1 m and subsequently, the net balance turned out to be -0.3 m w.eqv (Fig 8-6 and Tab. 8-1).

Meteorological measurements

Observations of air temperature are made by automatic instruments close to Harbardsbreen (Fig. 8-1). The Norwegian Meteorological Institute makes identical measurements at the climate station Sognefjell (No. 55290) located about 20 km south-east of Harbardsbreen. Data from the "Summer season" 1999 for the two stations are shown in Table 8-2.

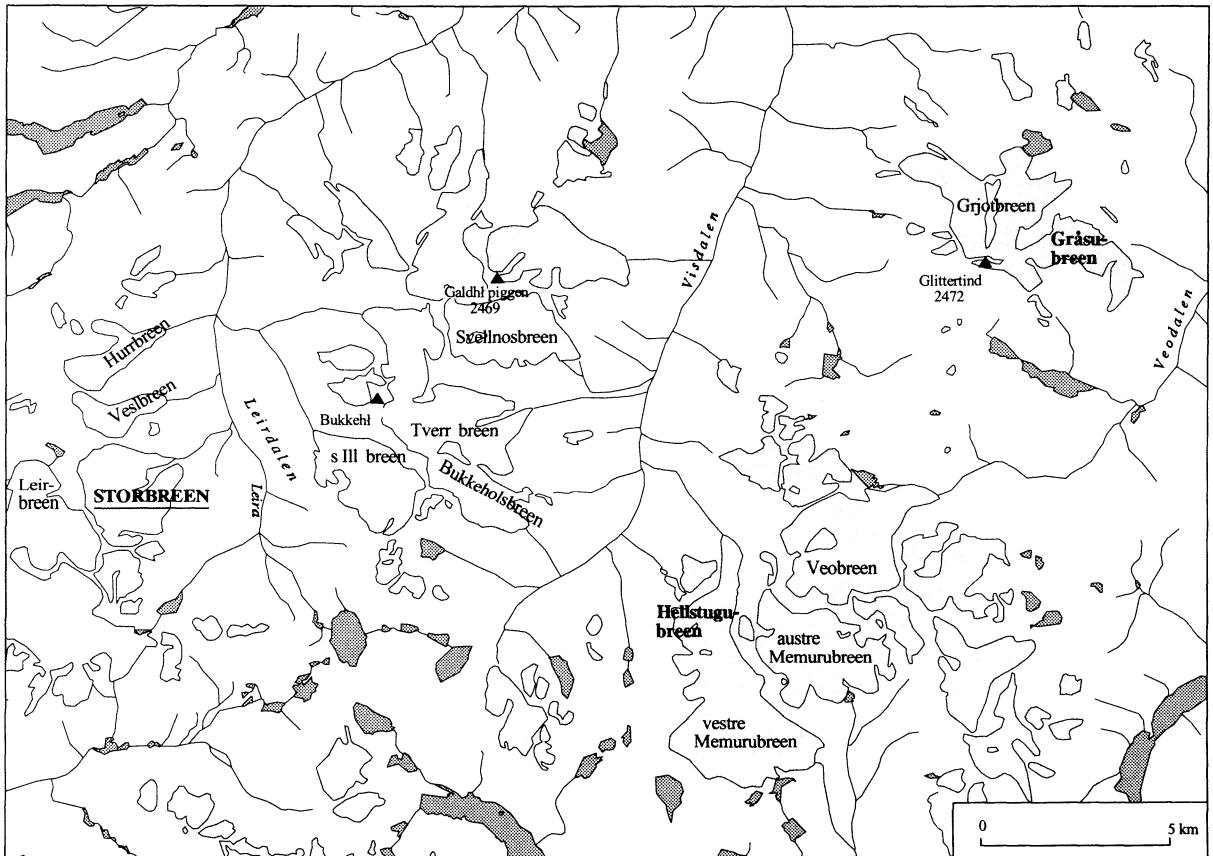
Ice-dammed lake

Observations (Tab. 8-3) of an ice-dammed lake at the western side of the glacier (Fig. 8-7) indicate frequently jökulhlaups. For obtaining more knowledge about the drain off processes the ice thickness in the lake surrounding has been measured by radio-echo sounding. The discharge volume and the triggering water level are roughly estimated.

The localization of the radio-echo soundings is shown in Figure 8-11. The accuracy of the profile positioning is estimated to about ±50 m. Data were obtained from 21 profiles covering an area of about 1½ km². The calculations of ice thickness and bed topography (Fig. 8-12) have an estimated accuracy of ±5-10 m. Ice thickness was measured up to 160 m. The water potential was calculated as in Kjöllmoen and Kennett (1995) and Elvehøy et al (1997) (Fig. 8-13 and 8-14). The measurements indicate a triggering water level between 1485 and 1490 m a.s.l., and a total discharge volume up to 1.6 mill. m³ of water during the present conditions. The drainage direction seems to be south-east, but the exact route cannot be determined without supplemented measurements. The frequency of the jökulhlaups is uncertain, but observations indicate that drain off has occurred annually during the last three years (1996/97, 1997/98 and 1998/99).

9 Storbreen (Liss M. Andreassen og Nils Haakensen)

Storbreen ($61^{\circ}36'N$, $8^{\circ}8'E$) ligger i Leirdalen i Jotunheimen i Sør-Norge (fig. 9-1). Breen har et areal på $5,4 \text{ km}^2$, er 3 km lang og strekker seg fra 1390 til 2080 moh. (fig. 9-2). Årlige massebalansemålinger har vært utført kontinuerlig på breen siden 1949. Storbreen ligger nær vannskillet mellom Østlandet og Vestlandet og har større materialomsetning enn breene lenger øst i Jotunheimen. Storbreen er derfor viktig i den vest-østgående profil med massebalansemålinger i Sør-Norge.



Figur 9-1

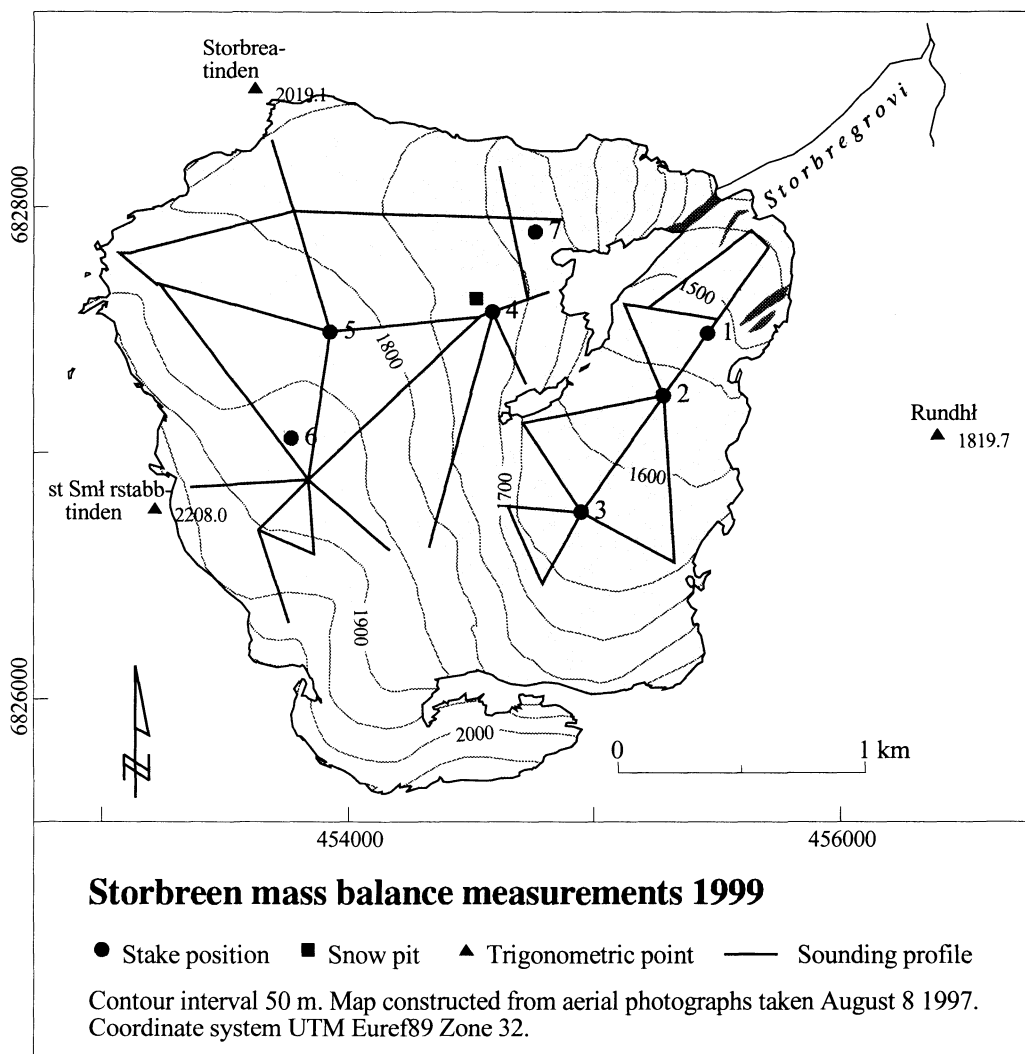
Oversiktskart over breer i Jotunheimen. NVE måler massebalanse på Storbreen i Leirdalen, Hellstugubreen i Visdalen og Gråsusbreen i Veodalen på nordøstsiden av Glittertind.

Location map of Storbreen and other investigated glaciers in Jotunheimen. Mass balance measurements are carried out on Storbreen and Hellstugubreen in the central part, and Gråsusbreen in the eastern part of Jotunheimen.

9.1 Massebalanse

Feltarbeid

Akkumulasjonsmålingene ble utført den 10.-11. mai. Snødyppet ble sondert i 181 punkt langs 18 km sonderingsprofiler mellom 1450 og 1980 moh. (fig. 9-2). Bortsett fra aller øverst på breen var sommeroverflaten lett å identifisere. Snødyppet varierte mellom 1,7 og 5,8 meter, men 75 % av målingene var mellom 3,0 og 4,5 m. Fire staker hadde overlevd vinteren. En erstatningsstake ble satt ut. Tetthetsprøve ble tatt av hele snøpakken (3,2 m) ned til sommeroverflaten ved stake 4, ca. 1720 moh. (fig. 9-2). Middeltettheten til snøen var $0,44 \text{ g}\cdot\text{cm}^{-3}$.



Figur 9-2

Kart over Storbrean som viser måleprogram for massebalanse i 1999. Morene på breen er skravert med mørkt grått.

Map of Storbrean showing the mass balance programme for 1999. Moraines on the glacier are shaded in dark grey.

Minimumsmålingene ble foretatt den 21. september. Da ble 12 staker i 7 posisjoner funnet og målt. En varm ettersommer hadde ført til stor avsmeltning på breen etter 1. august. Sommerbalansen ble beregnet på 7 staker.

Resultater

Resultatene av massebalansemålingene på Storbreen 1999 er vist i tabell 9-1 og figur 9-3.

Vinterbalanse

Utregningen av vinterbalansen var basert på sonderingene og tetthetsprøven som er ansett som representativ for hele breen. I hvert høydeintervall er vinterbalansen regnet ut som middelverdien av de sonderingene som er gjort innenfor hvert enkelt intervall. Vinterbalansen ble beregnet til 1,7 m vannekvivalenter eller uttrykt i volum til $8,9 \cdot 10^6 \text{ m}^3$ vann. Dette er 116 % av gjennomsnittet for perioden 1949-99. Bare 10 ganger har det vært målt større akkumulasjon på Storbreen. Fem av disse har vært i løpet av de siste 10 år (fig. 9-4).

Sommerbalanse

Sommerbalansen ble beregnet til -1,9 m vannekvivalenter eller i volumbalanse $-10,2 \cdot 10^6 \text{ m}^3$ vann. Dette er 115 % av gjennomsnittet for perioden 1949-99. Større sommerbalanse har vært målt 13 ganger, men kun to ganger i løpet av de siste 10 år.

Nettobalanse

I 1999 var både vinterbalansen og sommerbalansen større enn middelverdien for perioden 1949-99. Avsmeltingen var noe større enn akkumuleringen, og Storbreen fikk et netto underskudd på -0,2 m vannekvivalenter dvs. $-1,3 \cdot 10^6 \text{ m}^3$ vann.

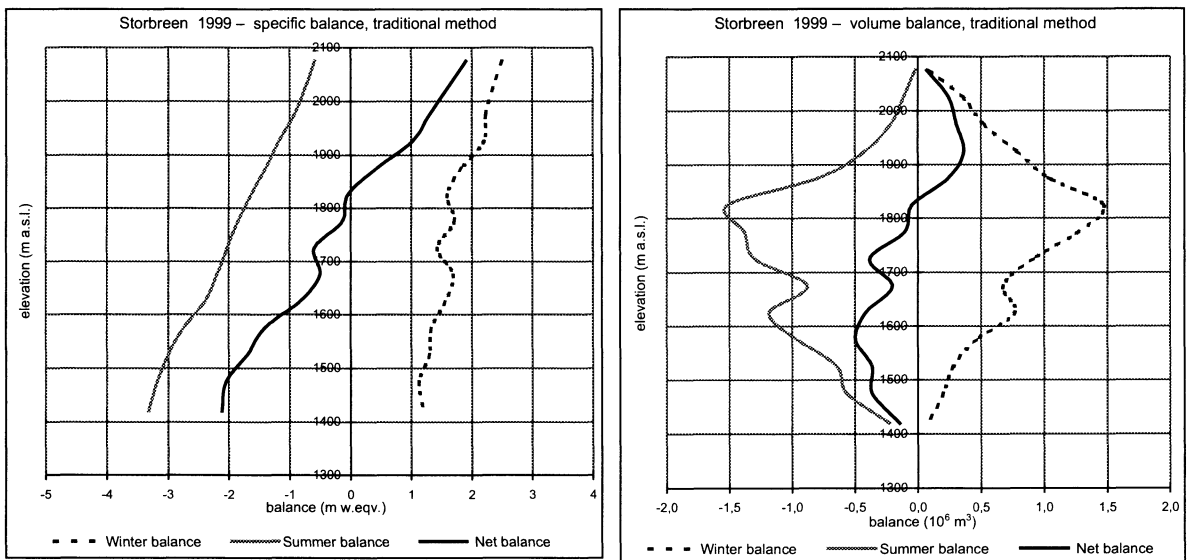
Likevektslinjen lå ca. 1840 moh. (fig. 9-3). Det er over 100 m høyere enn når breen er i likevekt. Arealet over årets likevektslinje (AAR) var 26 %. I perioden 1949-1999 har breen hatt et kumulativt underskudd på 11,0 m vannekvivalenter eller i gjennomsnitt -0,22 m vannekvivalenter per år (fig. 9-4). Det meste av dette underskuddet fant sted før 1980. Etter 1980 har det kumulative underskuddet vært 1,4 m vannekvivalenter.

Mass balance Storbreen 1998/99 – traditional method							
Altitude (m a.s.l.)	Area (km ²)	Winter balance		Summer balance		Net balance	
		Measured May 10 1999		Measured Sep 21 1999		Summer surfaces 1998 - 1999	
		Specific (m w.eq.)	Volume (10 ⁶ m ³)	Specific (m w.eq.)	Volume (10 ⁶ m ³)	Specific (m w.eq.)	Volume (10 ⁶ m ³)
2050 - 2100	0,04	2,50	0,1	-0,60	-0,0	1,90	0,1
2000 - 2050	0,15	2,35	0,4	-0,75	-0,1	1,60	0,2
1950 - 2000	0,23	2,23	0,5	-0,93	-0,2	1,30	0,3
1900 - 1950	0,36	2,20	0,8	-1,18	-0,4	1,02	0,4
1850 - 1900	0,57	1,83	1,0	-1,40	-0,8	0,43	0,2
1800 - 1850	0,92	1,59	1,5	-1,64	-1,5	-0,05	0,0
1750 - 1800	0,75	1,71	1,3	-1,85	-1,4	-0,14	-0,1
1700 - 1750	0,64	1,43	0,9	-2,03	-1,3	-0,60	-0,4
1650 - 1700	0,40	1,69	0,7	-2,20	-0,9	-0,51	-0,2
1600 - 1650	0,49	1,56	0,8	-2,40	-1,2	-0,84	-0,4
1550 - 1600	0,35	1,33	0,5	-2,75	-1,0	-1,42	-0,5
1500 - 1550	0,22	1,30	0,3	-3,00	-0,6	-1,70	-0,4
1450 - 1500	0,18	1,13	0,2	-3,18	-0,6	-2,05	-0,4
1390 - 1450	0,07	1,20	0,1	-3,32	-0,2	-2,12	-0,1
1390 - 2100	5,36	1,67	8,9	-1,91	-10,2	-0,24	-1,3

Tabell 9-1

Fordelingen av sommer-, vinter- og nettobalanse på Storbreen i 1999 for 50 meters høydeintervall.

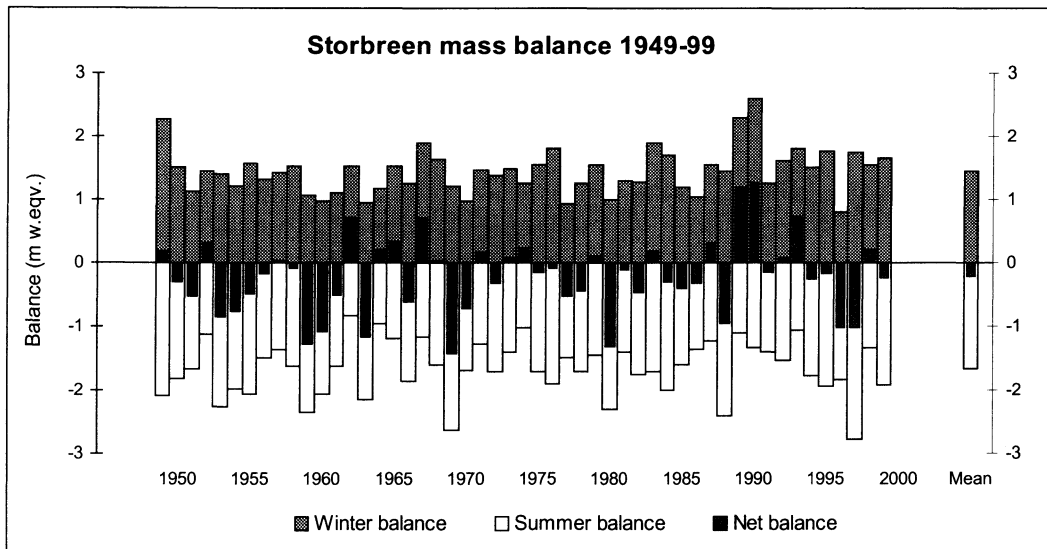
The distribution of winter, summer and net balance for 50 m altitude intervals for Storbreen in 1999.



Figur 9-3

Massebalansediagram for Storbreen 1999 som viser spesifikke verdier til venstre og volumverdier til høyre. Diagrammet viser at likevektslinjens høyde var 1840 moh.

Mass balance diagram for Storbreen 1999 showing specific balance to the left and volume balance to the right. ELA was 1840 m a.s.l. corresponding to AAR 26 %.



Figur 9-4

Søylediagram som viser vinter-, sommer- og nettobalansen på Storbreen i perioden 1949-99. I denne perioden har Storbreen hatt et gjennomsnittlig massetap på 0,22 m per år.

Bar graph showing winter, summer and net balance at Storbreen during the period 1949-99. Storbreen has had an average annual mass loss of 0.22 m w.eqv. during this period.

9.2 Frontposisjon

Frontmåling på Storbreen ble utført 22. september. Målingen viste at breen har gått fram 1 m siden forrige måling i september 1998, dvs. tilnærmet ingen endring tatt i betraktning usikkerheten av målingen (se også kap. 15.1). Breen har smeltet tilbake mer enn 1 km siden målingene startet rundt 1901. Brefronten har i dag den samme posisjonen som i 1988.

9.3 English summary

Storbreen (61°36' N, 8°8' E) is situated in the Leirdalen valley in the western part of Jotunheimen, a mountain area in southern Norway (Fig. 9-1). The glacier has a total area of 5.4 km² and ranges in altitude from 1390 to 2090 m a.s.l. (Fig. 9-2). Mass balance measurements were initiated in 1949 and have proceeded continuously since then.

Mass balance

Field work

Accumulation measurements were carried out on 10th May. Four stakes were visible. Snow depth was measured in 181 points, covering almost all height intervals of the glacier (Fig. 9-2). Snow depth varied between 1.7 and 5.8 m. For 60 % of the measurements snow depths were between 3 and 4 metres. The snow density was measured at stake 4 (1720 m a.s.l.) in a snow pit (3.25 m snow). The density was

0.44 g/cm³. Ablation measurements were carried out on 21st September. Summer balance was calculated from stakes in seven positions.

Results

The results are shown in Table 9-1 and Figure 9-3. Winter balance was 1.7 m w.eqv., 116 % of the mean for the period 1949-99. Summer balance was -1.9 m w.eqv., 115 % of the mean for the observation period. Thus, the net balance was negative, 0.24 m w.eqv. ELA was 1840 m a.s.l., which corresponds to AAR 26 % (Fig. 10-3). Storbreen has experienced a cumulative mass loss of -11.0 m w.eqv. between 1949 and 1999, or -0.22 m w.eqv. per year. Most of the mass loss occurred before 1980.

Front position

The front position of Storbreen was nearly unchanged from September 1998 to September 1999 and the glacier has the same position as in 1988. Between 1900 and 1988 the glacier retreated more than 1 km.

10 Hellstugubreen

(Liss M Andreassen og Nils Haakensen)

Hellstugubreen (61°34' N, 8°26' S) er en nordvendt dalbre i det sentrale Jotunheimen og den drenerer til Visdalen (fig. 9-1). Breens areal er 3,0 km² og den ligger mellom 1460 og 2200 moh. (fig. 10-2). Over halvparten av arealet ligger mellom 1800 og 2000 moh. Massebalansemålingene på Hellstugubreen startet i 1962 og har pågått kontinuerlig siden. Frontmålinger på breen startet allerede i 1901. Hellstugubreens regime er kontinentalt med en liten materialomsetning sammenlignet med breene lenger vest.



Figur 10-1

Vertikalt flyfoto av Hellstugubreen tatt den 8. august 1997.

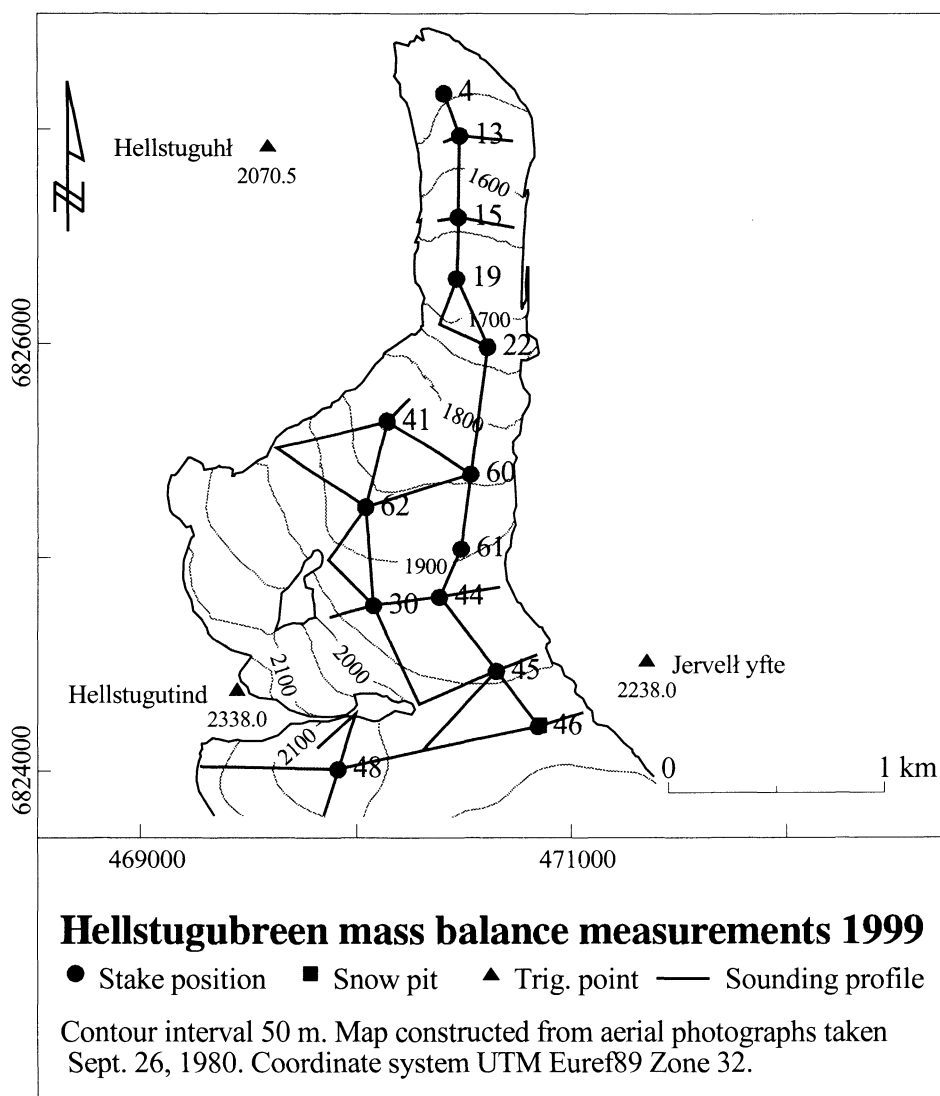
Vertical aerial photo of Hellstugubreen taken August 8 1997.
Foto/Photo: Fjellanger Widerøe, AS,
(Contract No. 12173).

10.1 Massebalanse

Feltarbeid

Akkumulasjonsmålingene ble utført den 13. og 14. mai. Totalt 13 staker ble funnet og målt. Snødyppet ble sondert i 154 punkt langs 13 km sonderingsprofil mellom 1480 og 2180 moh. Under 2000 moh. var sommeroverflaten lett å identifisere, men på de aller høyeste deler av breen var den stedvis vanskelig å påvise nøyaktig. Snødyppet varierte fra 1,6 m nederst på breen til nær 4 m i de øverste områdene. Over 70 % av målingene var mellom 3,5 og 4,5 m. En tetthetsprøve av hele snøpakken ble tatt ved stake 46 (1955 moh.) der snødyppet var 3,3 m (fig. 10-2). Middeltettheten av snøpakken var 0,42 g/cm³.

Ved minimumsmålingene 23. september ble 21 staker i 16 posisjoner funnet og målt. En svært varm ettersommer hadde avstedkommet stor smelting, og henimot to tredjedeler av smeltingen fant sted etter 1. august.



Figur 10-2

Kart over Hellstugubreen som viser måleprogrammet for massebalanse i 1999. Lokaliseringskart over breer i Jotunheimen er vist i figur 9-1.

Map of Hellstugubreen showing the mass balance programme in 1999. Figure 9-1 shows a location map of the investigated glaciers in Jotunheimen.

Resultater

Resultatene fra massebalansemålingene 1999 er vist i tabell 10-1 og figur 10-3.

Vinterbalanse

Utrekningen av vinterbalansen var basert på sonderingene og en tetthetsprøve som er ansett som representativ for hele breen. Vinterbalansen for hvert høydeintervall er regnet ut som middelerdien av de sonderingene som er gjort innenfor hvert enkelt intervall. Vinterbalansen ble 1,2 m vannekvivalenter (3,7 mill. m³). Dette er 109 % av middelerdien for måleperioden 1962-98. Det er målt større vinterbalanse 12 ganger tidligere og seks ganger etter 1988.

Sommerbalanse

Sommerbalansen ble beregnet på 15 staker. For hele breen ble sommerbalansen beregnet til -1,6 m vannekvivalenter (-4,9 mill. m³). Dette er 118 % av midlere sommerbalanse i måleperioden. Bare åtte ganger tidligere, siste gang i 1997, er det målt større sommerbalanse på Hellstugubreen.

Nettobalanse

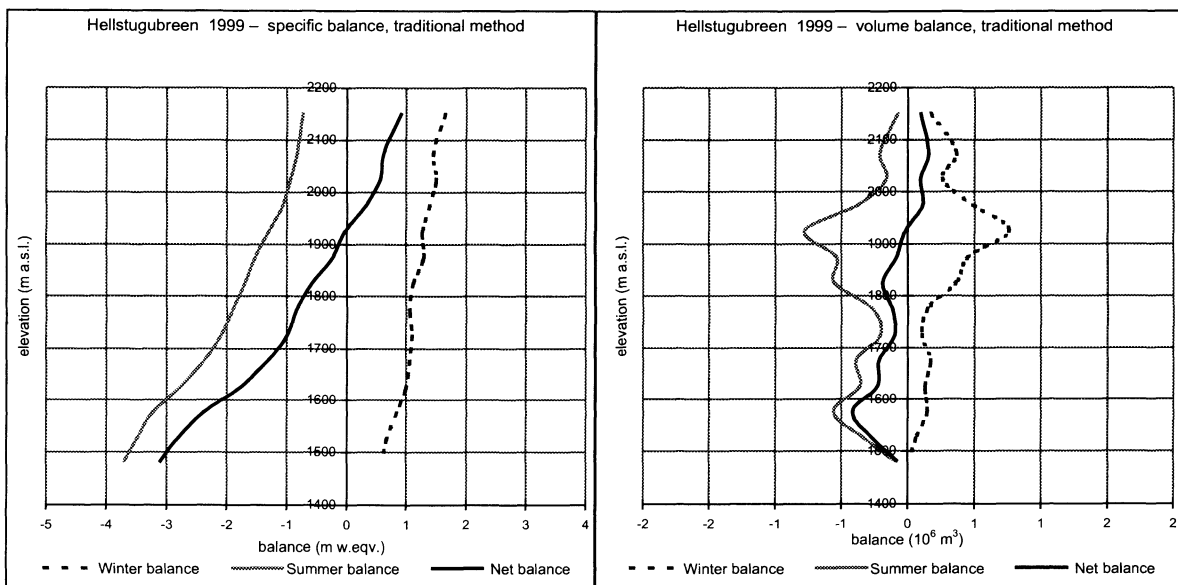
Nettobalansen for Hellstugubreen var negativ i 1999, resultatet ble -0,42 m vannekvivalenter eller -1,3 mill. m³ vann. Breens likevektslinje lå rundt 1930 moh. (ca. 80 m høyere enn når breen er i likevekt), og AAR var 47 % (fig. 10-3). I løpet av den 37-årige måleperioden er 1999 det 27. året med underskudd. Middelverdien for hele måleperioden er -0,27 m vannekvivalenter.

Mass balance Hellstugubreen 1998/99 – traditional method							
Altitude (m a.s.l.)	Area (km ²)	Winter balance		Summer balance		Net balance	
		Measured May 13 1999		Measured Sep 23 1999		Summer surfaces 1998 - 1999	
		Specific (m w.eq.)	Volume (10 ⁶ m ³)	Specific (m w.eq.)	Volume (10 ⁶ m ³)	Specific (m w.eq.)	Volume (10 ⁶ m ³)
2100 - 2200	0,10	1,65	0,2	-0,74	-0,1	0,91	0,1
2050 - 2100	0,25	1,45	0,4	-0,83	-0,2	0,62	0,2
2000 - 2050	0,17	1,50	0,3	-0,94	-0,2	0,56	0,1
1950 - 2000	0,35	1,39	0,5	-1,07	-0,4	0,32	0,1
1900 - 1950	0,60	1,27	0,8	-1,30	-0,8	-0,03	0,0
1850 - 1900	0,35	1,29	0,5	-1,53	-0,5	-0,24	-0,1
1800 - 1850	0,33	1,12	0,4	-1,70	-0,6	-0,58	-0,2
1750 - 1800	0,14	1,06	0,1	-1,90	-0,3	-0,84	-0,1
1700 - 1750	0,10	1,10	0,1	-2,10	-0,2	-1,00	-0,1
1650 - 1700	0,16	1,06	0,2	-2,38	-0,4	-1,32	-0,2
1600 - 1650	0,13	1,00	0,1	-2,77	-0,4	-1,77	-0,2
1550 - 1600	0,17	0,84	0,1	-3,24	-0,6	-2,40	-0,4
1500 - 1550	0,09	0,67	0,1	-3,50	-0,3	-2,83	-0,3
1465 - 1500	0,03	0,60	0,0	-3,70	-0,1	-3,10	-0,1
1465 - 2200	2,98	1,22	3,6	-1,64	-4,9	-0,42	-1,3

Tabell 10-1

Vinter-, sommer- og nettobalanse samt arealfordeling på Hellstugubreen i 1999 for 50 m høydeintervall.

Winter, summer, and net balance and area distribution for 50 m height intervals for Hellstugubreen in 1999.

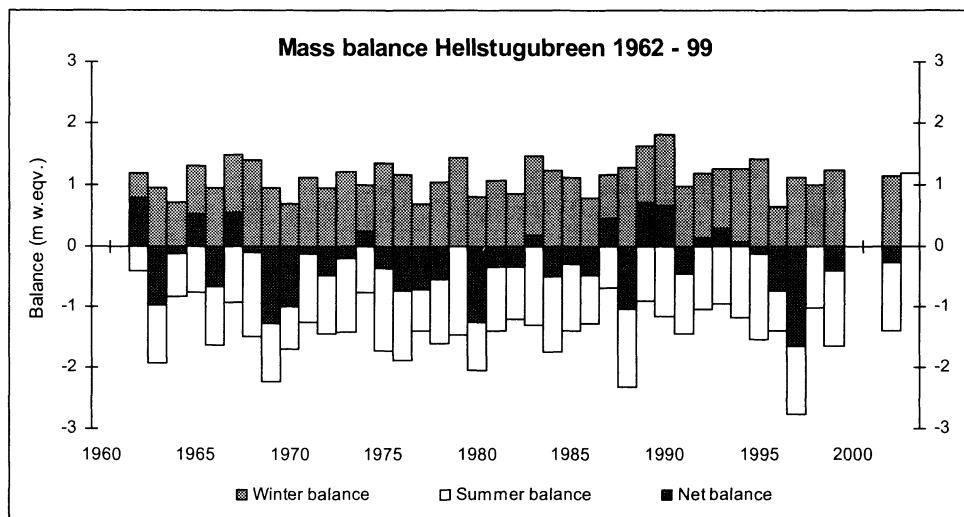


Figur 10-3

Massebalansediagram for Hellstugubreen i 1999 som viser vinter-, sommer- og nettobalanse med spesifikke verdier til venstre og volumverdier til høyre.

Mass balance diagram showing winter, summer and net balance at various altitudes for Hellstugubreen in 1999, specific values are shown to the left and volume values to the right. The ELA is 1930 m a.s.l. and AAR is 47 %.

Siden målingene startet på Hellstugubreen i 1962, har breen hatt et samlet underskudd på 10,4 m vannekvivalenter. Siden 1988 har underskuddet vært 1,4 m vannekvivalenter (fig. 10-4).



Figur 10-4

Søylediagrammet viser vinter-, sommer- og nettobalanse for Hellstugubreen i perioden 1962-99.

The diagram shows mass balance results for Hellstugubreen 1962-99.

10.2 Frontposisjon

Måling av frontposisjon ble foretatt 24. september. Brefronten var noe mindre bratt enn den har vært tidligere. Breen hadde smeltet tilbake 7 m siden forrige måling i september 1998. Siden frontmålingene startet i 1901 har breen smeltet tilbake 900 m. Halvparten av denne tilbakesmeltingen har skjedd etter at massebalansemålingene startet i 1962.

10.3 English summary

Hellstugubreen is a north-facing valley glacier situated in central Jotunheimen (Fig. 9-1 and 10-1). It ranges between 1460 and 2200 m a.s.l. and the area is 3.0 km² (Fig. 10-2). Mass balance investigations have been performed since 1962.

Mass balance

Field work

Accumulation measurements were carried out on 13th and 14th May. 13 stakes had survived the winter. About 150 snow depth soundings indicated less than 2 m of snow at the tongue, increasing to nearly 4 m in the upper areas. Snow sampling in a pit through the total snow pack gave a mean snow density of 0.42 g cm⁻³. Ablation measurements were made on 23rd September when stakes in 16 positions were measured.

Results

The mass balance results at Hellstugubreen 1999 are presented in Table 10-1 and Figure 10-3. Winter balance was calculated to 1.2 m w.eqv., which was 109 % of the mean during the period 1962-98. Summer balance was based on 15 stake measurements and was calculated to -1.6 m w.eqv., which is 118 % of the mean value for the entire observation period. The net balance was -0.42 m w.eqv. The equilibrium line altitude (ELA) was 1930 m a.s.l. and the AAR was 47 % (Fig. 10-3). Since 1962 the glacier had showed a deficit amounting to 10.4 m water equivalents and the mean annual net balance is -0.27 m water equivalents (Fig. 10-4).

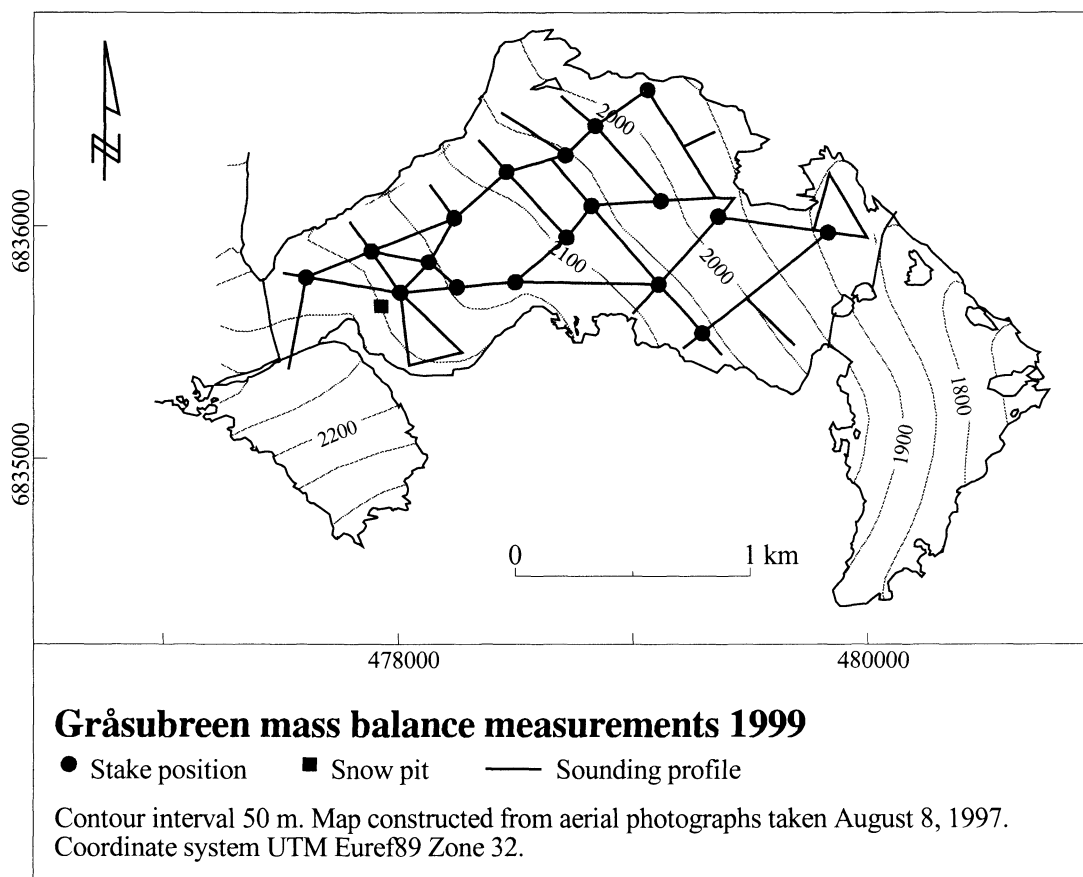
Front position

Hellstugubreen retreated 7 m from September 1998 to September 1999. The glacier receded totally 900 m since the measurements started in 1901, and the half of this recession has occurred after 1962.

11 Gråsubreen (Liss M. Andreassen og Nils Haakensen)

Gråsubreen (61°39' N, 8°37'E) ligger på nordøstsiden av Glittertind i Jotunheimen (fig. 9-1). Breen har et areal på 2,2 km² og strekker seg fra 1850 til 2290 moh. (fig. 11-1). Gråsubreen er den høyest beliggende breen i landet. Massebalanse-målinger på breen har vært utført årlig siden 1962.

Gråsubreen er en kontinental og delvis kald bre med liten materialomsetning. Breen har liten bevegelse og minimalt med sprekker. Påfrossen is utgjør en del av materialbudsjettet (opp til 8 % av akkumulasjonen) i de sentrale deler der snøen lett blåser av.



Figur 33-1

Kart over Gråsubreen med måleprogram for massebalanse i 1999. Målingene er utført på den delen av breen som er skravert med grått. Lokaliseringskart av breer i Jotunheimen er vist i figur 9-1.

Map of Gråsubreen with mass balance programme in 1999. The investigated part is shaded in grey. Figure 9-1 shows a location map of the glaciers in Jotunheimen.

11.1 Massebalanse

Feltarbeid

Akkumulasjonsmålingene ble utført 16. mai. Til sammen 16 staker i 15 posisjoner hadde overlevet vinteren. Sommeroverflaten var lett å identifisere over hele breen. Snødyppet ble sondert i 154 punkt langs 14 km sonderingsprofiler mellom 1860 og 2280 moh. (fig. 11-1). Snøen var som vanlig ujevnt fordelt på breen, og snødyppet varierte mellom 0,3 og 3,7 m. Over 70 % av sonderingene var mellom 1,5 og 3,0 m. På den sentrale delen der det er minst snø, ble det registrert opp til 20 cm påfrossen is. Dette området utgjør imidlertid bare ca 15 % av breens areal. En tetthetsprøve ble tatt av hele snøpakken ved stake 8, 2180 moh. (fig. 11-1) der snødyppet var 2,4 meter. Middeltettheten var $0,40 \text{ g/cm}^3$. Denne dannet grunnlaget for beregning av vannverdien av snøen på breen.

Minimumsmålingen ble foretatt den 25. september. 29 staker i 21 posisjoner ble funnet og målt. Den varme ettersommeren hadde medført stor avsmelting. Smeltingen etter 1. august hadde vært nesten dobbelt så stor som tidligere på sommeren.

Resultater

Vinterbalanse

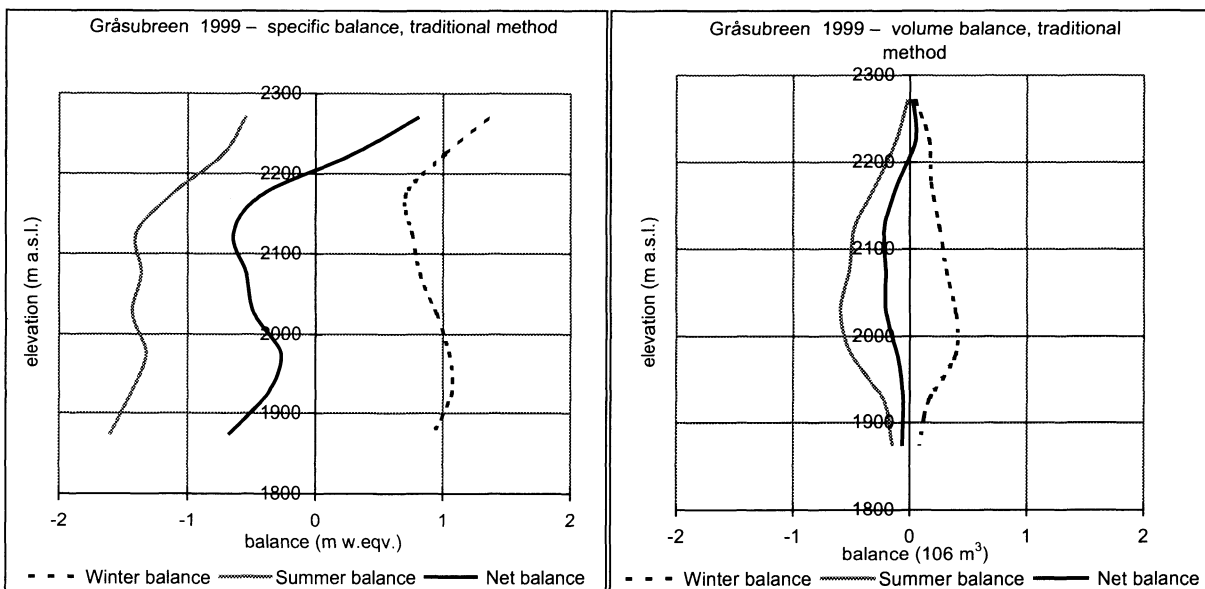
Gråsubreen har en ujevn snøfordeling pga. vinddrift. Vinterbalansen ble derfor beregnet ved å plote inn alle målinger på et detaljert brekart (1: 10 000) og deretter tegne isolinjer gjennom punkter med lik akkumulasjon. Deretter ble arealene for lik akkumulasjon i hvert høydenivå planimetrert og multiplisert med den respektive akkumulasjonen. En gjennomsnittlig akkumulasjon ble så beregnet for hvert høydenivå. I 1999 ble vinterbalansen beregnet til 0,9 m vannekvivalenter eller totalt 2,0 mill. m^3 vann (tab. 11-1). Av dette utgjør påfrossen is 2 %. Årets vinterbalanse er 17 % høyere enn gjennomsnittet for perioden 1962-98. Det er målt høyere vinterbalanse 11 ganger tidligere, men bare 2 ganger før 1982.

Sommerbalanse

Sommerbalansen ble beregnet direkte på 16 staker og indirekte på ytterligere sju som var vekk i mai. Totalt var den spesifikke sommerbalansen -1,3 m vannekvivalenter og volumbalansen -2,9 mill. m^3 vann. Dette er 26 % høyere enn middelverdien for 1962-98. Bare åtte ganger tidligere har det vært målt større sommerbalanse på Gråsubreen (fig. 11-3).

Nettobalanse

Spesifikk nettobalanse var -0,4 m vannekvivalenter, og volumbalansen var -0,9 mill. m^3 vann. Til sammenligning er den midlere nettobalansen i hele måleperioden -0,26 m vannekvivalenter (fig. 11-3). Siden 1962 har breen hatt en kumulativ nettobalanse på -9,8 m vannekvivalenter. Det meste av dette volumtapet fant sted de første 20 årene av måleperioden. Siden 1988 har breen nesten vært i balanse (fig. 11-3) og midlere nettobalanse i den perioden er -0.13 m vannekvivalenter.



Figur 11-4

Vinter-, sommer- og nettobalansens variasjon med høyden på Gråsубreen i 1999. Spesifikk balanse er vist i det venstre diagrammet, mens volumbalansen er vist i det høyre diagrammet. Likevektslinjas høyde i 1999 var 2210 moh. og AAR var 12 %.

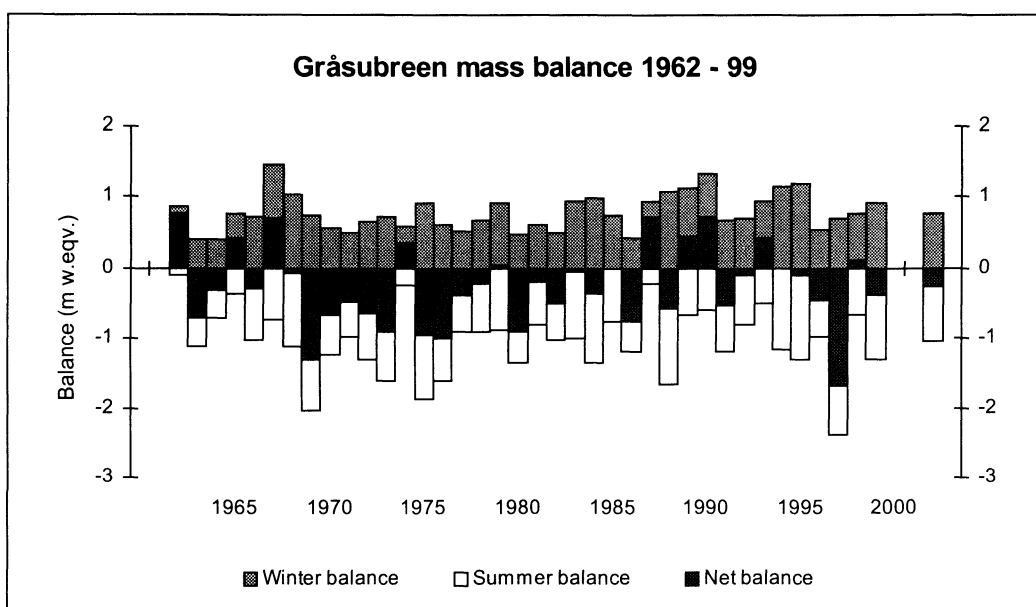
Mass balance diagram showing winter, summer and net balance at Gråsубreen in 1999. Specific balance is plotted on the left-hand diagram, while volume balance is shown to the right. The ELA was 2210 m a.s.l. and AAR was 12 %.

Mass balance Gråsубreen 1998/99 – traditional method							
Altitude (m a.s.l.)	Area (km ²)	Winter balance		Summer balance		Net balance	
		Measured May 16 1999		Measured Sep 25 1999		Summer surfaces 1998 - 1999	
		Specific (m w.eq.)	Volume (10 ⁶ m ³)	Specific (m w.eq.)	Volume (10 ⁶ m ³)	Specific (m w.eq.)	Volume (10 ⁶ m ³)
2250 - 2290	0,04	1,35	0,0	-0,55	0,0	0,80	0,0
2200 - 2250	0,16	1,02	0,2	-0,72	-0,1	0,30	0,0
2150 - 2200	0,26	0,71	0,2	-1,12	-0,3	-0,41	-0,1
2100 - 2150	0,34	0,76	0,3	-1,40	-0,5	-0,64	-0,2
2050 - 2100	0,38	0,82	0,3	-1,36	-0,5	-0,54	-0,2
2000 - 2050	0,41	0,95	0,4	-1,43	-0,6	-0,48	-0,2
1950 - 2000	0,37	1,05	0,4	-1,32	-0,5	-0,27	-0,1
1900 - 1950	0,15	1,07	0,2	-1,44	-0,2	-0,37	-0,1
1850 - 1900	0,09	0,93	0,1	-1,60	-0,1	-0,67	-0,1
1850 - 2290	2,20	0,91	2,0	-1,30	-2,9	-0,39	-0,9

Tabell 11-1

Fordelingen av sommer-, vinter- og nettobalanse på Gråsубreen i 1999 for 50 meters høydeintervaller.

The distribution of winter, summer and net balance for 50 m height intervals for Gråsубreen in 1999.



Figur 11-3

Søylediagram som viser vinter-, sommer- og nettobalansen på Gråsubreen i perioden 1962-99.

Bar graph showing winter, summer and net balance at Gråsubreen during the period 1962-99.

11.2 English summary

Gråsubreen (61°39' N, 8°37'E) is located on the northern side of Glittertind in the mountain area Jotunheimen in southern Norway (Fig. 9-1). The glacier covers an area of 2.2 km² and ranges from 1850 to 2290 m a.s.l. (Fig. 11-1). Annual mass balance measurements started in 1962 and have continued every year since then. Gråsubreen is a polythermal glacier. Superimposed ice occurs at the central parts of the glacier where snowdrift causes a relatively thin snow pack, and superimposed ice may be responsible for up to 8 % of the total accumulation.

Mass balance 1999

Field work

Accumulation measurements were carried out on 16th May. Stakes in 15 positions were measured. 154 snow depth measurements were made, covering the entire glacier (Fig. 11-1). Snow depth varied between 0.3 and 3.7 m, and over 70 % of the measurements were between 1.5 and 3.0 m. The snow density was measured at 2180 m a.s.l. in a snow pit dug down to the last summer's surface (2.4 m snow). The average density was 0.40 g/cm³. Ablation measurements were carried out on 25th September. Totally 29 stakes in 21 positions were visible.

Results

Since the snow distribution at Gråsubreen varies quite a lot due to wind drift, the winter balance was calculated by planimetry areas with equal accumulation from a

detailed accumulation map. Winter balance was 0.9 m w.eqv. Summer balance was calculated from 23 stakes and turned out to be -1.3 m w.eqv. Hence, the net balance of Gråsubreen 1999 was negative, -0.39 m w.eqv. Since 1962 the cumulative net balance was -9.8 m w.eqv. Most of this mass loss occurred in the first 20-25 years of measurements. Since 1988 the glacier have been more or less in balance (Fig. 11-3).

12 Svartisheibreen (Hallgeir Elvehøy)

Svartisheibreen (5,5 km²) ligger i Rødøy kommune sørvest for vestre Svartisen og drenerer til Glomåga og Langvatnet i Rana. Breen strekk seg frå 1530 moh. og ned til eit vatn (Heiavatnet) med høgde 774 moh. der brefronten kalvar. Breen er undersøkt sidan 1987 i samband med planlegging av eventuell kraftutbygging i området (Kjøllmoen og Kennett, 1995). Sidan 1995 er måleprogrammet redusert og omfattar no observasjon av vasstand i Heiavatnet, endring i istjukkleik, og estimering av årleg nettobalanse (Elvehøy mfl. 1997, Kjøllmoen (red.) 1998).

12.1 Observasjonar 1999

Heiavatnet

Heiavatnet vart observert og fotografert 22. september (fig. 12-1). Vasstanden var då lågare enn normalt slik at elva frå vatnet var tørr. Det viser at ei subglasial tapping av Heiavatnet har funne stad ein gong etter siste observasjon 1. oktober 1998, men mest truleg i løpet av sommaren 1999. Det vart ikkje observert nokon tappetunnel i isen.



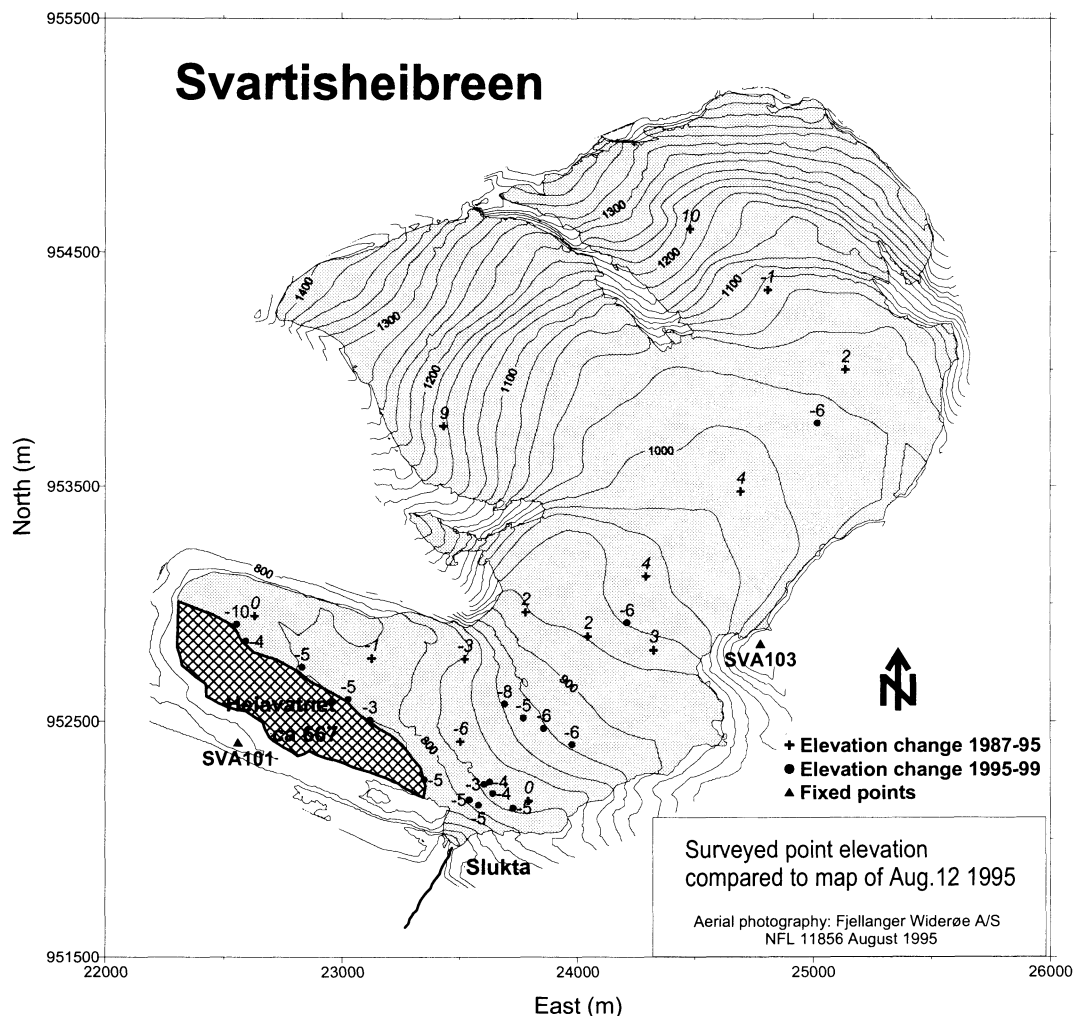
Figur 12-1

Nedre del av Svartisheibreen og Heiavatnet 22. september 1999. Heiavatnet er senka om lag 7 m, slik at det ikkje lengre renn vatn over fjellterskelen på høgre sida av vatnet. Langs kanten av vatnet ligg det isblokker på tørt land. Dreneringa frå Heiavatnet går under isen frå bortre enden av vatnet ut i Slukta (fig. 12-2).

Lower part of the glacier Svartisheibreen and the lake Heiavatnet on 22nd September 1999. Heiavatnet has been lowered about 7 m so that water does not drain across the rock threshold to the right of the lake anymore. At the verge of the lake, icebergs are stranded on dry ground. Heiavatnet is drained subglacially in the to the right on the photo, down to Slukta (Fig. 12-2).
Foto/Photo: Hallgeir Elvehøy.

Likevektslinehøgda

Då Svartisheibreen vart vitja 22. september 1999 hadde det enno ikkje komme nysnø på breen. Breen var relativt mykje avsmelta slik at det berre låg att snø frå siste vinter i dei bratte, øvre partia av breen. Snøfordelinga var ujamn slik at likevektslinehøgda dermed vart vanskeleg å bestemme. Det vart teke fire bilete frå fastpunktet SVA103 (fig. 12-2). Ut ifrå desse bileta vart likevektslinehøgda (ELA) på slutten av smeltesesongen 1999 estimert til 1100 ± 50 moh.



Figur 12-2

Endring i overflatehøgde mellom 12. september 1987 og 12. august 1995 (+), og mellom 12. august 1995 og 22. september 1999 (●). Ein liten del av endringa i høgde (om lag 1 m) kan forklarast med smelting på seinsommaren i 1995. Tala for 1987-95 er minimumsestimert for overflateheving og forutset at registrert høgde i 1987 refererer til breoverflata (ikkje oppgitt i datasettet). Vasstanden i Heiavatnet er normalt 774 moh. Vasstanden 22. september 1999 er estimert ut ifrå lågaste målte breoverflatehøgde lengst vest på Bretunga der breen dei siste par åra har vore delvis flytande.

Change in surface elevation between 12th September 1987 and 12th August 1995 (+), and between 12th August 1995 and 22nd September 1999 (●). A small fraction of the change in elevation (about 1 m) could be due to intense melt in the late summer of 1995. Figures for the 1987-95 changes are minimum estimates and it is assumed that the 1987 elevations refer to the glacier surface (not documented data set). Lake level in Heiavatnet is normally 774 m a.s.l. Lake level on 22nd September 1999 was estimated from lowest measured surface elevation over the western part of the glacier tongue, where the ice has been partly floating during the last few years.

Høgdeprofilering

Det vart målt inn i alt 18 terrengpunkt på breoverflata langs brefronten (6 punkt), i området ved Slukta (6 punkt) og i området 850-1000 moh. lengre oppe på breen (6 punkt, fig. 12-2).

Den vestlegaste delen av bretunga har vore flytande i fleire år. Tappinga medførte at denne delen av bretunga sank ned. Det vestlegaste innmålte punktet viste derfor ein relativt mykje større senking enn dei andre punkta langs brefronten (fig. 12-2). Begge dei vestlegaste punkta viste overflatehøgde under normal vasstand i Heiavatnet (774 moh.). Det tyder på at grensa for den delen av breen som har stått på botn ligg aust for disse to punkta. Høgda til breoverflata i det vestlegaste punktet var ved innmålinga 768,9 moh. Vasstanden til Heiavatnet er derfor estimert til å ha vore omlag 767 moh. Til samanlikning vart vasstanden etter tappinga i april 1991 målt til 766,7 moh. Då heldt vasstanden seg låg til langt ut på neste vinter (Kjøllmoen & Kennett 1995).

12.2 Resultat

Endring i istjukkleik

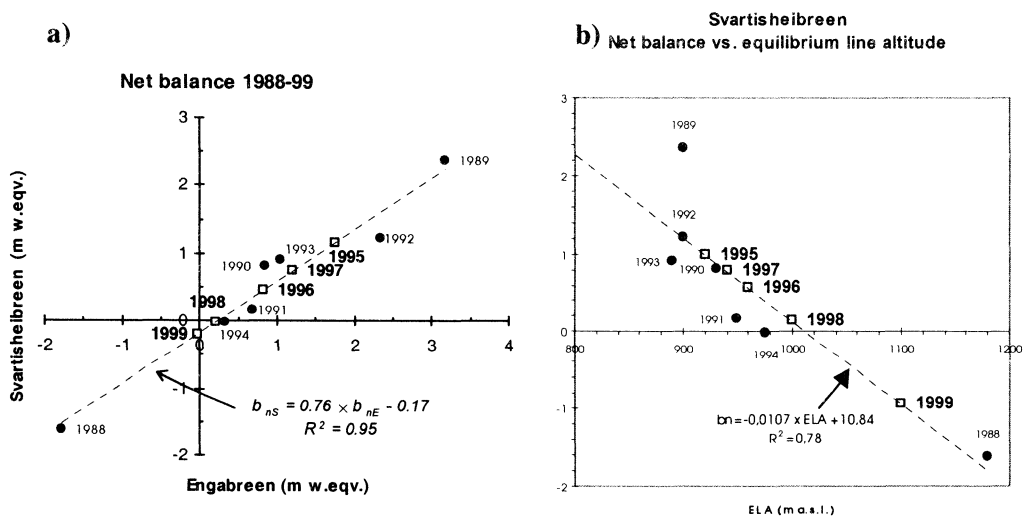
Innmålte overflatehøgder er samanlikna med eit 5 m x 5 m høgderaster konstruert frå flybilete teke 12. august 1995 (fig. 12-2). I området ved Slukta, som er det kritiske området for subglasiale tappingar av Heiavatnet, var overflatesenkinga i perioden frå 12. august 1995 til 22. september 1999 om lag 4 m. Langs brefronten i Heiavatnet var senkinga om lag 4,5 m, og i området mellom 850 og 1050 moh. om lag 6 m. Smelting på seinsommaren 1995 kan truleg forklare om lag 1 m av overflatesenkinga. Resultata for 1999 er ikkje direkte samanliknbare med resultata frå 1998, men viser at overflatehøgda på den nedre delen av breen fortsett å synke.

Frontposisjonendring

Frontposisjonen vart samanlikna med målingar frå tidlegare år. Sidan den vestlegaste delen av bretunga har vore flytande og er til dels oppsprekt, har det vore vanskeleg å definere brefronten der. Samanlikning av den sentrale delen av brefronten viser førebels at brefronten i 1999 har stått noke lengre tilbake enn det som har vore registrert tidlegare, og at Heiavatnet har vokse.

Nettobalansen 1999

Nettobalansen for Svartisheibreen er estimert ut ifrå to uavhengige parametar; nettobalansen på Engabreen ($b_n = 0,0$ m vassekvivalentar) og likevektslinehøgda på Svartisheibreen ($ELA = 1100$ moh.). Begge metodane baserer seg på resultat frå perioden 1988-94 då massebalansen på Svartisheibreen vart målt (Kjøllmoen & Kennett 1995). Grunnlaget for modellane og resultata for 1999 er vist i figur 12-3, og resultata for perioden 1995-99 er vist i tabell 12-1. Merk at forskjellen i resultat mellom dei to metodane er større i år enn tidlegare.



Figur 12-3

- a) Lineær regresjon mellom nettobalansen på Engabreen og Svartisheibreen (•) basert på samtidige målinger i perioden 1988-94. Nettobalansen på Svartisheibreen i perioden 1995-99 (•) er modellert med regresjonslikninga.
- b) Lineær regresjon mellom likevektslinehøgda (ELA) og nettobalansen (b_n) på Svartisheibreen basert på målinger i perioden 1990-94 (•). Resultata frå 1988 og 1989 vart ikkje vurdert å vere representative (Kjøllmoen & Kennett 1995). Nettobalansen på Svartisheibreen i perioden 1995-99 (•) er modellert med regresjonslikninga.

- a) Linear regression between net balances of Engabreen and Svartisheibreen (•) based upon observation pairs in the period 1988-94. Net balance of Svartisheibreen in the period 1995-99 (•) was modelled using the regression equation.
- b) Linear regression between equilibrium line altitude (ELA) and net balance (b_n) of Svartisheibreen based upon observations during the period 1990-94 (•). Results from 1988 and 1989 were discarded as non-representative (Kjøllmoen & Kennett 1995). Net balance of Svartisheibreen for the period 1995-99 (•) was modelled using the regression equation.

Year	Date of visit	ELA (m a.s.l.)	Heiavatnet filled ?	method 1 ¹	method 2 ²	mean
1995	Sep 20	920	Yes	1.2	1.0	1.1
1996	Sep 19	960	Yes	0.5	0.6	0.5
1997	Oct 4	940 ³	Yes	0.7	0.8	0.8
1998	Oct 1	1000	Yes	0.0	0.1	0.1
1999	Sep 22	1100	No	-0.2	-0.9	-0.6

¹Based on the relation between net balance of Engabreen and Svartisheibreen.

²Based on the relation between ELA and net balance at Svartisheibreen

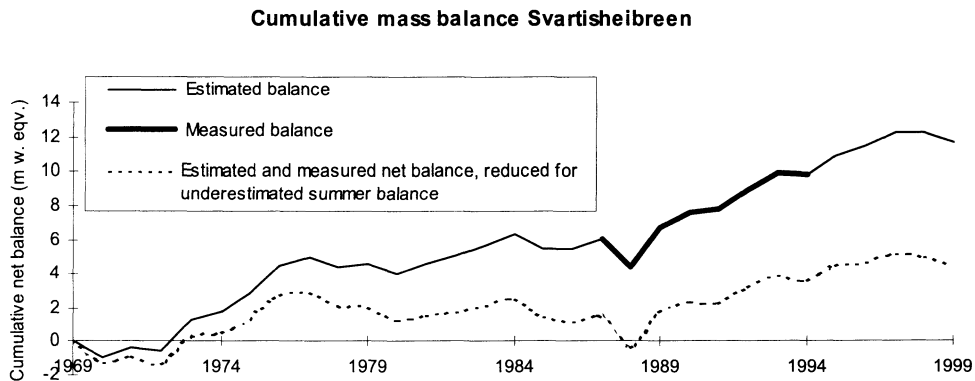
³Estimated

Tabell 12-1

Observasjonar av likevektslinehøgde (ELA) på Svartisheibreen og vasstand i Heiavatnet, og modellert nettobalanse på Svartisheibreen i perioden 1995-99.

Observed equilibrium line altitude (ELA) at Svartisheibreen and the lake level in Heiavatnet, and modelled net balance of Svartisheibreen for the period 1995-99.

Kumulativ nettobalanse for perioden 1969-99 er vist i figur 12-4. Kumulativ nettobalanse for perioden er estimert til +11,7 m vassekvivalentar jamt fordelt over breoverflata. Det tilsvarar at breen i perioden har halde tilbake eit vassvolum på 64 mill. m³ vatn.



Figur 12-4

Kumulativ nettobalanse på Svartisheibreen for perioden 1969-99. Estimert nettobalanse (tynn strek) er modellert frå nettobalansen på Engabreen (1969-87), og frå likevektslinehøgde på Svartisheibreen og nettobalanse for Engabreen (1995-99). Kumulativ nettobalanse når årleg nettobalanse er redusert med 0,25 m vassekvivalentar er også vist (sjå tekst for diskusjon).

Cumulative net balance of Svartisheibreen for the period 1969-99. Estimated net balance (thin line) was modelled from the net balance of Engabreen (1969-87), and from equilibrium line altitude of Svartisheibreen and the net balance of Engabreen (1995-99). Cumulative net balance when annual net balance was reduced by 0.25 m w.eqv. is also shown (see text for discussion).

12.3 Diskusjon av volumendring

Modellen for nettobalansen på Svartisheibreen tilsei at Svartisheibreen har hatt ein generell volumauke heilt sidan 1969 (fig. 12-4). Massebalansemålingane gjort i perioden 1988-94 indikerte at breen hadde lagt på seg 3,8 m vassekvivalentar. Etter 1995 indikerer modellert nettobalanse ein ytterlegare vekst på 1,8 m vassekvivalentar. Samanlikning med andre typar informasjon tyder på at denne positive trenden kan vere overdriven. Mellom anna viser samanlikning av kart frå 1968, 1985 og 1995 at Heiavatnet har vokse heile perioden.

Heiavatnet vart i 1999 tappa subglasialt, mest truleg for første gong sidan 1991. Det tyder på at istjukkleik og overflatetopografi i området som demmer Heiavatnet må ha vore tilnærma lik i 1991 og i 1999. Den modellerte og utrekna kumulative nettobalansen i perioden 1990-99 er førebels +4 m vassekvivalentar og tilsei at tapping ikkje skulle finne stad. Innmålt overflatehøgde tyder på ei senking av breoverflata mellom 1995 og 1999 på 3-5 meter på den nedre delen av breen, medan samanlikning mellom innmålte overflatehøgder i 1987 og kartet frå 1995 tyder på overflateheving over det meste av breen med unntak av området nær Slukta som er kritisk for subglasiale tappingar. Begge desse samanlikningane er kritisk avhengig av uvissa i

kartkonstruksjonen. Sidan store deler av breen truleg var dekt av nysnø ved flyfotografering i 1995 kan denne uvissa vere relativt stor.

Høgdeendringar for perioden 1985-95 ut ifrå samanlikning av kart viste ein midlare auke i volum i denne perioden på 2,2 m vassekvivalentar, men med overflatesenkning i området ved Slukta (Elvehøy mfl. 1997), medan modellert og målt nettobalanse i samme tidsrom var 5,5 m vassekvivalentar. Det tyder på ein årleg overestimering av nettobalansen på om lag 0,3 m vassekvivalentar. Ved flyfotografering i 1985 var så godt som all snø frå siste vinter smelta vekk. Kartet er derfor truleg rimeleg nøyaktig. Kartet frå 1995 er derimot meir usikkert (sjå over).

Ein årsak til overestimering av nettobalansen i måleperioden kan vere at massetapet frå kalving og smelting i Heiavatnet ikkje vart rekna med i massebalansen. Bidraget til sommarbalansen frå kalving og smelting i Heiavatnet er førebels vanskeleg å estimere. Midlare nettobalanse på bretunga under 800 moh. i perioden 1988-94 var om lag 0,8 mill. m³ vassekvivalentar medan istransporten gjennom eit tverrprofil 800 moh. mot den vestlege delen av bretunga var om lag 1,3 mill. m³ vassekvivalentar (500 m (breidde) x 65 m (istjukkelse) x 45 m/år (isrørsle) x 0,9). Det tyder på at massetapet ved Heiavatnet og Slukta kan vere undervurdert med i storleiken 0,5 - 1 mill. m³ vatn pr. år. I tillegg kjem at det ikkje vart målt smelting i dei bratte, sør- og søraustvendte øvre områda på breen. Det er rimeleg å rekna med større smelting både frå stråling og frå vind (kondensasjon og følbar varme) der enn i dei flate områda rundt 1000 moh. Dersom underestimeringa i dei øvre områda er i samme storleik, men på eit større areal vert årleg underestimering av sommarbalansen i storleiken 1-2 mill. m³ som tilsvarar om lag 0,3 m vatn jamnt fordelt over breoverflata kvart år. Til samanlikning var nettobalansen i perioden 1988-94 +0,55 m/år.

Med eit konservativt anslag på underestimering av sommarbalansen på 0,25 m vassekvivalentar kvart år vert kumulativ nettobalanse for perioden 1969-99 +4,5 m vassekvivalentar, og for perioden 1985-95 vert nettobalansen +3 m vassekvivalentar. For perioden 1995-99 vil breen vere i balanse.

Forskjellen mellom modellert nettobalanse og målt overflateendring er imidlertid framleis stor. Ein forklaring kan då vere at det stadig voksande Heiavatnet fører til at brerørsla på nedre delen av breen aukar frå år til år og dermed aukande istransport mot Heiavatnet. Det fører dermed til ei dynamisk senking av breoverflata på den nedre delen av breen (under 1050 moh.).

Vidare utvikling

Det ser ut til at Heiavatnet vil fortsette å vokse medan istjukkeleiken i området ved Slukta vil fortsette å avta. Det vil truleg føre til gradvis større subglasiale tappingar etter som Heiavatnet veks. Så langt ser det ut til at tappingane har vore kontrollert av fjellgrunnen nær brekanten mellom Heiavatnet og Slukta sidan Heiavatnet berre vert tappa 6-7 meter kvar gong. Dersom tappinga derimot går frå botn av Heiavatnet vil vasstanden synke 60-70 meter, og volumet som tappast ut vil vere i storleiken 30-50 mill. m³ vatn.

12.4 English summary

Svartisheibreen (66°35'N, 13°45'E) (5.5 km²) is a small valley glacier south-west of Svartisen (Fig. 12-1) calving into a recently formed proglacial lake, Heiavatnet (Fig. 12-2). The glacier has been monitored in connection with a planned hydropower development (Kennett et al. 1997). Since 1995 the monitoring programme has been reduced to observations of lake level in Heiavatnet to see if jökulhlaups occur, and observations of the snow line altitude to calculate annual net balance.

Jökulhlaup from Heiavatnet

Although no drainage tunnel was observed, the lake was dry and had clearly been drained between 22nd September 1998 and 22nd September 1999, most probably during the summer. This is most probably the first jökulhlaup from Heiavatnet since 1991.

Net balance

Most snow from the winter 1997-98 was melted. The snow line was patchy and difficult to identify. The ELA was estimated to 1100 ±50 m a.s.l. The annual net balance is estimated using two methods; 1) a linear regression model based on ELA and net balance at Svartisheibreen (Fig. 12-3a), and 2) a linear regression model based on net balance at Engabreen and Svartisheibreen (Fig. 12-3b). The methods give estimates between -0.2 to -0.9 m w.eqv., and the difference between the methods is larger than has been observed in preceding years (Tab. 12-1). The cumulative specific net balance between 1969 and 1999 is shown in Fig. 12-4 and total +11.7 m w.eqv.

Front position and surface changes

18 points were surveyed on the glacier surface, 6 close to Slukta, 6 along the front and 6 points between 850-1000 m a.s.l. The drainage of the lake caused the floating ice to collapse, and indeed two points at the front were lowered much more than the rest of the glacier surface, at a level below normal lake level of Heiavatnet. Compared with surface elevations constructed from aerial photos from 12th August 1995, the front was lowered by 4 m whereas the surface in the area between 850 and 1050 m a.s.l. was lowered by about 6 m. The glacier front retreated slightly from earlier observations, and the surface area of Heiavatnet is increasing.

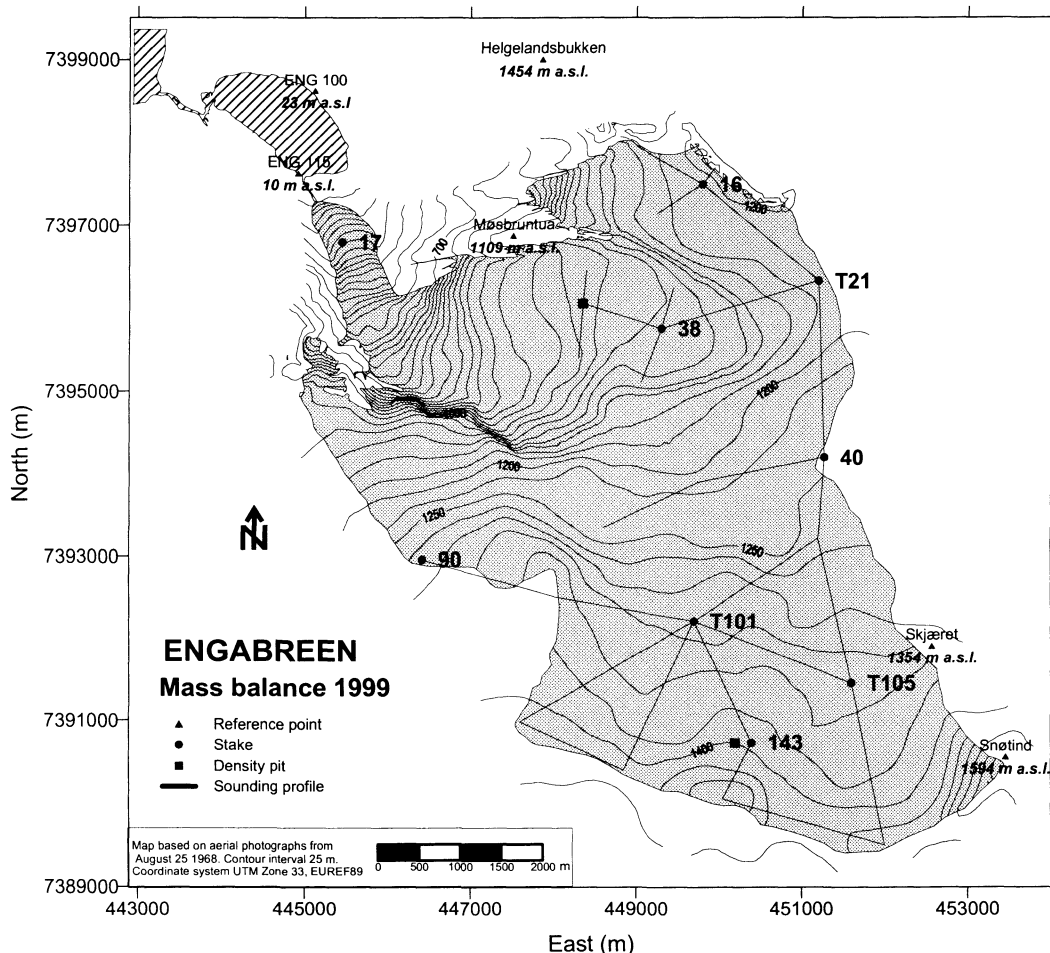
Volume change discussion

The observation programme suggests that Svartisheibreen had a specific mass balance of +5.5 m w.eqv. for the period 1985-95, while a volume change calculation by map comparison for the same period suggests +2.2 m w.eqv. only. Furthermore, the surface area of Heiavatnet increased as clearly seen on maps from 1968, 1985 and 1995. Both these observations indicate that the mass balance observations (1988-94) and estimates (using the established relationship between net balance and ELA)

overestimate the actual balance. An explanation for the divergent findings may be found in the following two factors; a) the effects of melt and calving at the glacier front were ignored and this could contribute about $0.5-1.0 \times 10^6 \text{ m}^3 \text{ w.eqv.a}^{-1}$, b) the effect of increased melt over the steep S-SE exposed upper areas of the glacier was ignored, and this could possibly contribute to an equal ($0.5-1.0 \times 10^6 \text{ m}^3 \text{ w.eqv.a}^{-1}$) underestimate in summer balance. A lower estimate of these combined effects introduces a correction in the specific net balance of $0.25 \text{ m w.eqv. a}^{-1}$, as shown in Figure 12-4. These differences could also be due to a dynamic lowering of the front surface caused by increased terminal velocities or low-quality data from the map construction in 1995 caused by a fresh snow cover over parts of the glacier.

13 Engabreen (Hallgeir Elvehøy)

Engabreen (fig. 13-1) er ein nordleg utløpar frå Vestre Svartisen og drenerer til Holandsfjorden i Meløy. Breen strekk seg frå toppen av Snøtind (1594 moh.) og ned til Engabrevatnet (7 moh.). Engabreen har eit areal på om lag 38 km². Av dette arealet ligg 86 % på breplataet over 1000 moh. Massebalansemålingar på Engabreen er konsesjonspålagt Svartisen Kraftverk og har pågått sidan 1970.



Figur 13-1

Kart som viser plasseringa av stakar, tettleikssjakter og sonderingsprofil på Engabreen i 1999.

Location of stakes, density pits and sounding profiles at Engabreen in 1999.

13.1 Massebalanse 1999

Feltarbeid

Akkumulasjonsmålingane vart gjort 20. - 23. mai. Følgjande målingar er grunnlag for utrekning av vinterbalansen (fig. 13-1):

- Stakane 17 (300 moh.) og 38 (1060 moh.), og tårna T21 (1180 moh.), T101 (1315 moh.) og T105 (1340 moh.) som viste 0,00 - 4,25 - 4,70 - 5,30 - 5,60 m snø. Ved stake 17 hadde det smelta vekk 0,5 m is sidan 30. september 1998.
- Kjerneboringar 1000 moh., 1190 moh. (stake 16), 1245 moh. (stake 40), 1280 moh. (stake 90) og 1400 moh. (stake 143) som viste 3,00 - 3,95 - 4,20 - 5,40 - 6,70 m snø.
- Snøtettleik målt ned til sommaroverflata på 3,0 m dyp 1000 moh. og til 6,7 m dyp 1400 moh. (stake 143). Midlare snøtettleik var 0,45 og 0,48 g/cm³.
- 188 sonderingar langs 36 km sonderingsprofil. Av desse vart 16 sonderingar i området rundt stake 40 korrigert etter at ein stake frå hausten 1998 dukka opp, og 13 sonderingar vart vraka som urealistiske. Over 1250 moh. var snødjupet stort sett mellom 5 og 7 m, medan det mellom 1000 og 1250 moh. stort sett låg mellom 3 og 5 m.

Snøgrensa i brefallet låg om lag 500 moh.

Minimumsmålingane vart gjort 22. september. Det hadde ikkje komme nysnø på breen før minimumsmålingane. Snølinehøgda var om lag 1250 moh. Nettobalansen vart målt i 9 posisjonar mellom 300 og 1400 moh. Ved dei øvste posisjonane (1400, 1340, 1310 og 1280 moh.) låg det att 3,4, 1,85, 1,45 og 1,35 m snø frå siste vinter. Ved stakane mellom 1000 og 1240 moh. hadde all snøen frå siste vinter og opp til 0,7 m firn/is smelta vekk. Ved den nederste staken på bretunga om lag 300 moh. hadde det smelta vekk 7,2 m is.

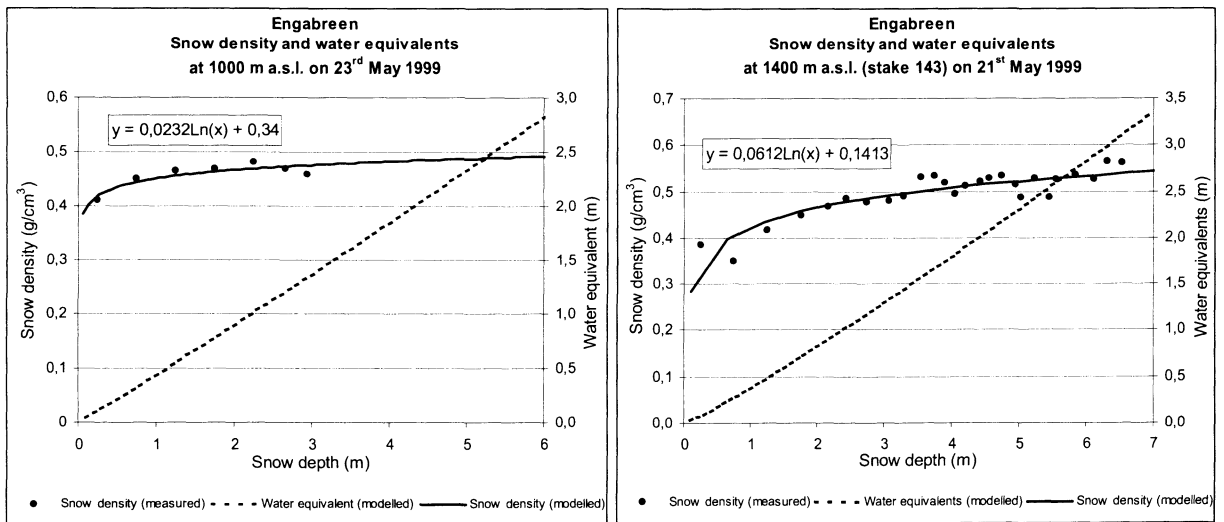
Resultat

Massebalansen er rekna ut etter ein stratigrafisk metode der nettobalansen er endringa mellom to sommaroverflater. Eventuell nysnø ved minimumsmåling om hausten vert då ikkje rekna med.

Vinterbalanse

Ut ifrå målt tettleik ved stake 143 (1400 moh.) og i 1000 moh. (fig. 13-1) vart det laga formlar for samanhengen mellom snødjup og vassekvivalentar (fig. 13-2). Med desse modellane vert middeltettleik for 5 meter snø 0,46 g/cm³ (1000 moh.) og 0,47 g/cm³ (1400 moh.). Modellen for 1000 moh. er brukt for omrekning av snødjup til vassekvivalentar for områda under 1200 moh., medan modellen for 1400 moh. er brukt for områda over 1200 moh.

Utrekna vassekvivalent i kvart sonderingspunkt er plotta mot høgde i eit diagram, og høgdefordelingskurve trekt ut ifrå visuell vurdering. Frå denne kurva er middelverdiar for 50-meters høgdeintervall funne. Under 1000 moh. vart det ikkje gjort sonderingar. For høgdeintervalla under 1000 moh. er vinterbalansen interpolert mot observert snøgrense 500 moh. og negativ vinterbalanse på stake 17.



Figur 13-2

Snøtetleik målt 1000 moh. og ved stake 143 (1400 moh.), modell for korleis snøtetleiken auker med aukande snødjup, og samanhengen mellom snødjup og snøpakken sin vannekvivalent ut ifrå tetleiksmodellen. Desse samanhengane er brukt for alle omrekningar av snødjup.

Snow density measured at stake 143 (1400 m a.s.l.), model of snow density as a function of snow depth, and relationship between snow depth and water equivalent using the depth-density model.

Vinterbalansen er dermed utrekna til $2,1 \pm 0,2$ m vassekvivalentar eller 81 ± 8 mill. m^3 vatn. Det er 70 % av middelveidien for perioden 1970-98 som er 3,05 m vassekvivalentar. Dei omrekna snødjupmålingane er også plotta på kart, og vinterbalansen si fordeling estimert med krieging interpolasjon (fig. 13-3). Midlare vinterbalanse utrekna frå dette kartet er 2,17 m vassekvivalentar.

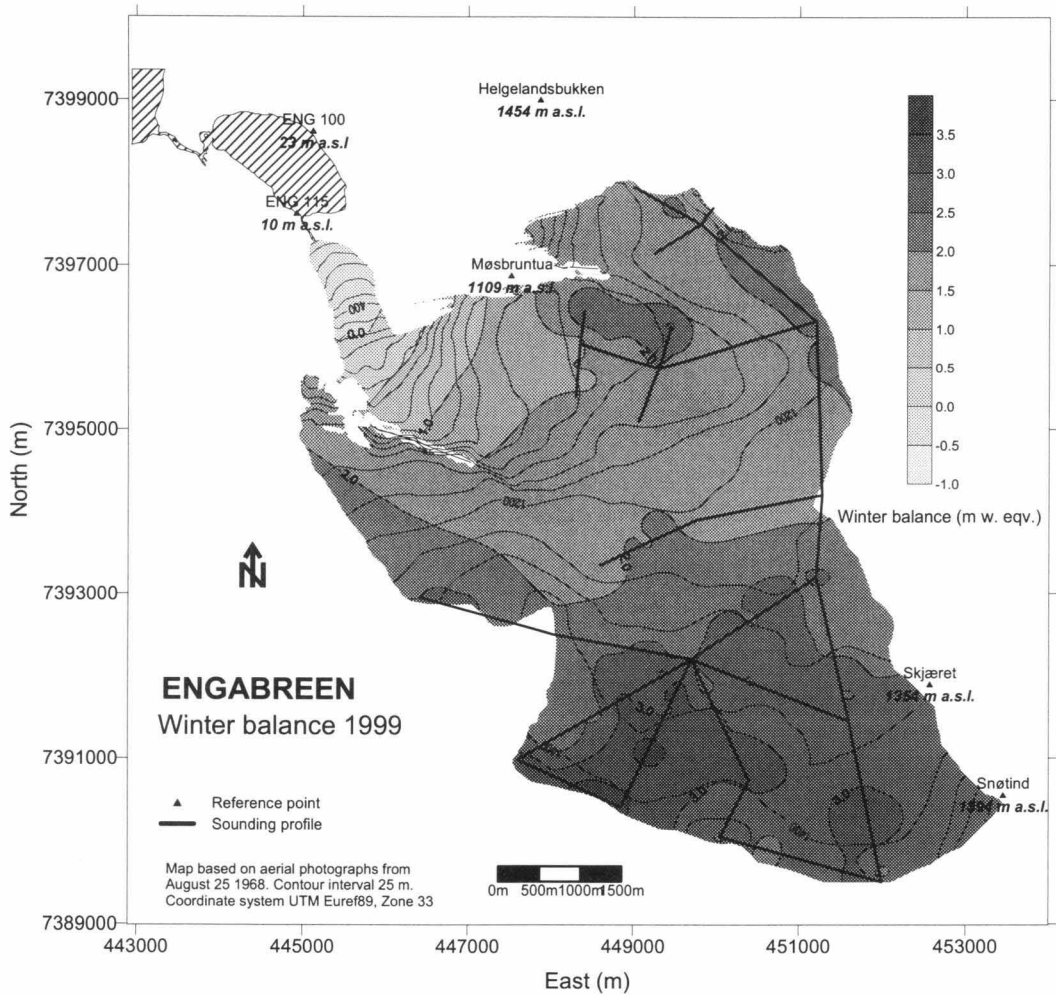
Sommarbalanse

Sommarbalansen kunne reknast ut for 9 posisjonar mellom 300 og 1400 moh. Ut ifrå desse verdiane vart ei utjamna sommarbalansekurve trekt (fig. 13-4).

Sommarbalansen vart dermed utrekna til -82 ± 8 mill. m^3 vassekvivalentar som tilsvarar $-2,2 \pm 0,2$ m vatn jamt fordelt over breoverflata. Den utrekna sommarbalansen er 95 % av midlare sommarbalanse for perioden 1970-98 som er $-2,27$ m vassekvivalentar.

Nettobalanse

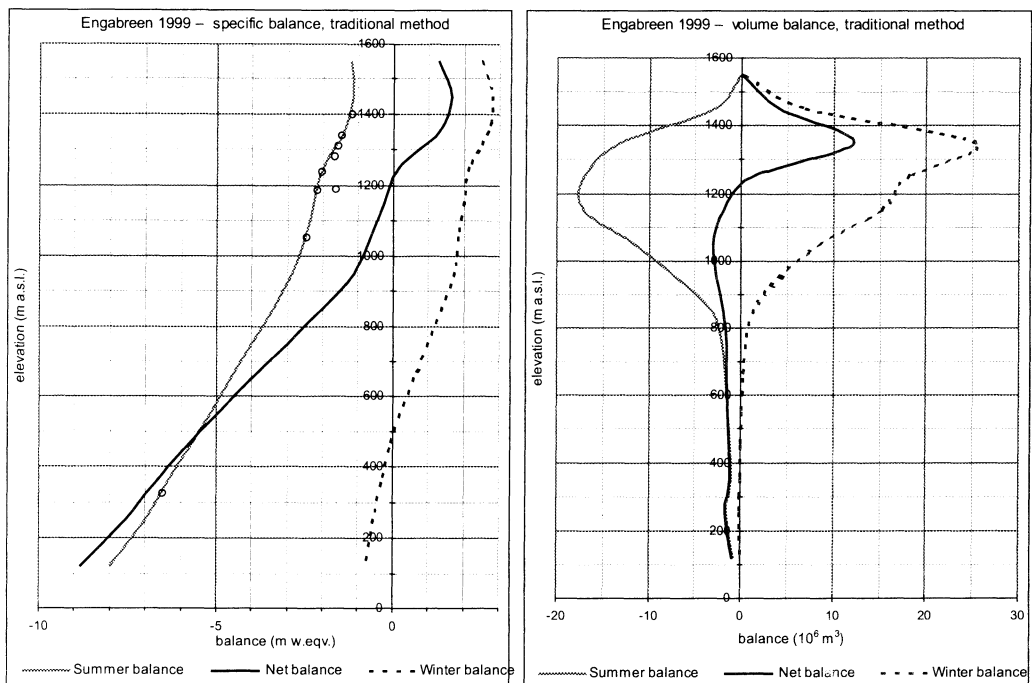
Masseunderskotet på Engabreen for massebalanseåret 1998-99 vart utrekna til 1 ± 10 mill. m^3 vassekvivalentar. Spesifikk nettobalanse vart dermed $0,0 \pm 0,3$ m vatn jamt fordelt over breoverflata. Middelveidien for perioden 1970-98 er til samanlikning $+0,78$ m vassekvivalentar. Likevektslina for 1999 utrekna frå nettobalansekurva i figur 4 er 1215 moh. som er litt lågare enn observert snøline på 1225-1250 moh. Ut ifrå utrekna likevektslinehøgde låg 51 % av breen høgare enn likevektslina. Vinter-, sommar- og nettobalansen si høgde- og volumfordeling er vist i figur 13-4 og tabell 13-1. Resultata for perioden 1988-99 er vist i figur 13-5.



Figur 13-3

Vinterbalansen på Engabreen 23. mai 1999 interpolert frå 175 sonderingar av snødjup.

Winter balance of Engabreen 1999 interpolated from 175 snow depth soundings.



Figur 13-4

Spesifikk vinter-, sommar- og nettobalanse (venstre) og volumbalansen (høgre) på Engabreen i 1999. Utrekna spesifikk sommerbalanse ved målestakane er vist (o).

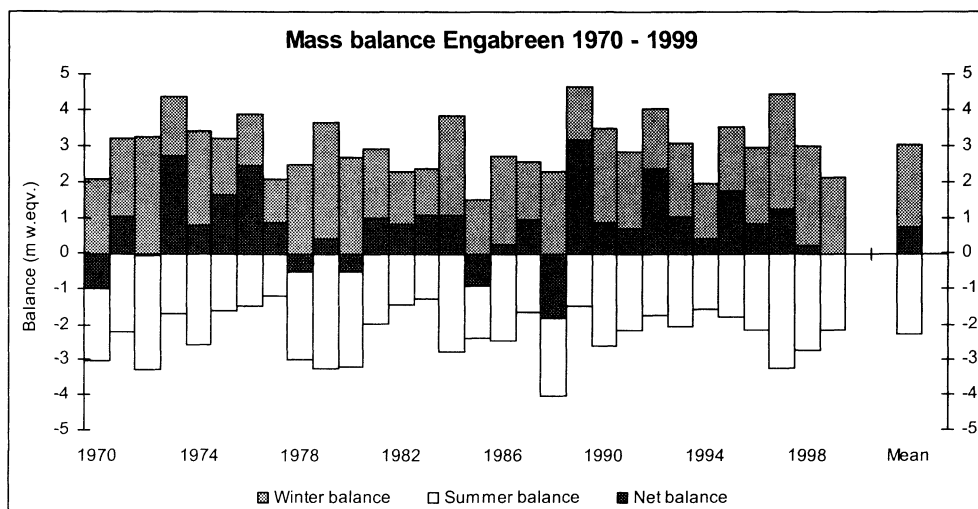
Altitudinal distribution of specific (left) and volumetric (right) winter, summer and net mass balance at Engabreen in 1999. Calculated specific summer balance at stakes are shown (o).

Mass balance Engabreen 1998/99 – traditional method							
Altitude (m a.s.l.)	Area (km ²)	Winter balance		Summer balance		Net balance	
		Measured May 21 1999		Measured Sep 22 1999		Summer surfaces 1998 - 1999	
		Specific (m w.eq.)	Volume (10 ⁶ m ³)	Specific (m w.eq.)	Volume (10 ⁶ m ³)	Specific (m w.eq.)	Volume (10 ⁶ m ³)
1500 - 1594	0,12	2,50	0,3	-1,20	-0,1	1,30	0,2
1400 - 1500	2,51	2,80	7,0	-1,15	-2,9	1,65	4,1
1300 - 1400	9,35	2,70	25,2	-1,40	-13,1	1,30	12,2
1200 - 1300	8,55	2,13	18,2	-2,00	-17,1	0,13	1,1
1100 - 1200	7,60	2,00	15,2	-2,25	-17,1	-0,25	-1,9
1000 - 1100	4,66	1,85	8,6	-2,50	-11,7	-0,65	-3,0
900 - 1000	2,46	1,75	4,3	-2,85	-7,0	-1,10	-2,7
800 - 900	0,94	1,40	1,3	-3,40	-3,2	-2,00	-1,9
700 - 800	0,50	1,00	0,5	-4,00	-2,0	-3,00	-1,5
600 - 700	0,37	0,60	0,2	-4,60	-1,7	-4,00	-1,5
500 - 600	0,27	0,20	0,1	-5,20	-1,4	-5,00	-1,4
400 - 500	0,21	-0,11	0,0	-5,80	-1,2	-5,91	-1,2
300 - 400	0,17	-0,34	-0,1	-6,40	-1,1	-6,74	-1,1
200 - 300	0,22	-0,55	-0,1	-7,00	-1,5	-7,55	-1,7
40 - 200	0,10	-0,80	-0,1	-8,00	-0,8	-8,80	-0,9
40 - 1594	38,0	2,12	80,7	-2,2	-81,9	-0,03	-1,2

Tabell 13-1

Vinter-, sommar- og nettobalansen si høgdefordeling på Engabreen i 1999.

Altitude distribution of winter, summer and net balance of Engabreen in 1999.



Figur 13-5

Vinter-, sommar og nettobalansen på Engabreen i perioden 1970-99. Akkumulert masseoverskot i perioden utgjør 22,7 m vassekvivalentar.

Specific winter, summer and net balance of Engabreen for the period 1970-99. Accumulated surplus totals 22.7 m w.eqv.

13.2 Frontposisjonendring

Fra hausten 1998 til hausten 1999 er det ikkje registrert netto endring i fronten til Engabreen. Nøyaktig registrering er gjort langs ei punktrekke midt på brefronten. I tillegg er det gjort observasjonar ved utløpet av breelva der brefronten no står ved rotpunktet på deltaet. Frå hausten 1998 til våren 1999 hadde brefronten gått noke fram og laga ein ny morenerygg på vestsida av elva og dette viser at breen då var lengre framme enn på svært lenge.

Denne sommaren har det vore relativt stor vassføring i breelva pga. hyppige overløp frå sandfanget i overføringstunnelen mot Storglomvatnet og spyling av det samme sandfanget. Sidan den nederste delen av brefronten ligg i eit trangt gjel har den store vassføringa smelta mykje av isen i denne aller nederste Bretunga og har dermed ført til at Bretunga her trakk seg noke tilbake i løpet av sommaren.

13.3 English summary

Engabreen (66°40'N, 13°45'E) (38 km²) is a northwestern outlet from the western Svartisen ice cap. It covers an altitude range from Snøtind (1594 m a.s.l.) down to Engabrevatnet (7 m a.s.l.) (Fig. 13-1). Mass balance measurements have been performed annually since 1970. During this period there has been a calculated cumulative mass surplus of 22.7 m w.eqv., resulting in a marked advance of the glacier front after 1991. In addition to the mass balance measurements the hydrological monitoring program at Engabreen comprise sediment transport, river discharge, meteorological parameters on the plateau, front position change and change in geometry of the glacier tongue.

Other studies involving Engabreen is the mapping of the subglacial topography (Sætrang, 1988, Kennett et al 1993), and calculations of drainage divides (Kennett et al 1997). In 1993, as part of a hydroelectric power development the main subglacial river beneath Engabreen was diverted through a tunnel system to the reservoir Storglomvatn. Kohler (1998) has studied the effects of this diversion to the glacier dynamics. From the rock tunnel system beneath Engabreen there is access to the glacier bed through the Svartisen Subglacial Observatory.

Mass balance

The winter balance was calculated to $81 \pm 8 \times 10^6 \text{ m}^3$ ($2.1 \pm 0.2 \text{ m}$) w.eqv. based on five stake measurements (300, 1060, 1180, 1315 and 1340 m a.s.l.), two snow depth/density measurements with coring (1000 and 1400 m a.s.l.), 188 soundings, and an observed snowline at 500 m a.s.l. at the time of accumulation measurements (Fig. 13-1, Fig. 13-2, Fig. 13-3, Fig. 13-4 and Tab. 13-1). At the plateau above 1050 m a.s.l., the snow depth was 5 to 7 m. Specific winter balance was $2.1 \pm 0.2 \text{ m w.eqv.}$, which is 70 % of the 1970-98 average. The summer balance was calculated from an altitude distribution based on measurements at nine positions between 300 and 1400 m a.s.l. and an observed snow line at about 1250 m a.s.l. Total summer balance was $-82 \pm 8 \times 10^6 \text{ m}^3 \text{ w.eqv.}$ corresponding to a specific summer balance of $-2.2 \pm 0.2 \text{ m w.eqv.}$ (Fig. 13-4 and Tab. 13-1). This is 95 % of the 1970-98 average.

The net balance was $1 \pm 10 \times 10^6 \text{ m}^3 \text{ w.eqv}$ in volume and $0.0 \pm 0.3 \text{ m w.eqv.}$ specific averaged over the basin area (Fig. 13-4 and Tab. 13-1). For comparison, the 1970-98 mean is 0.78 m w.eqv. The ELA was 1215 m a.s.l. as opposed to the snow line observed at 1225-1250 m a.s.l. The AAR was 51 %. Figure 13-5 shows the results of mass balance measurements at Engabreen between 1970 and 1999.

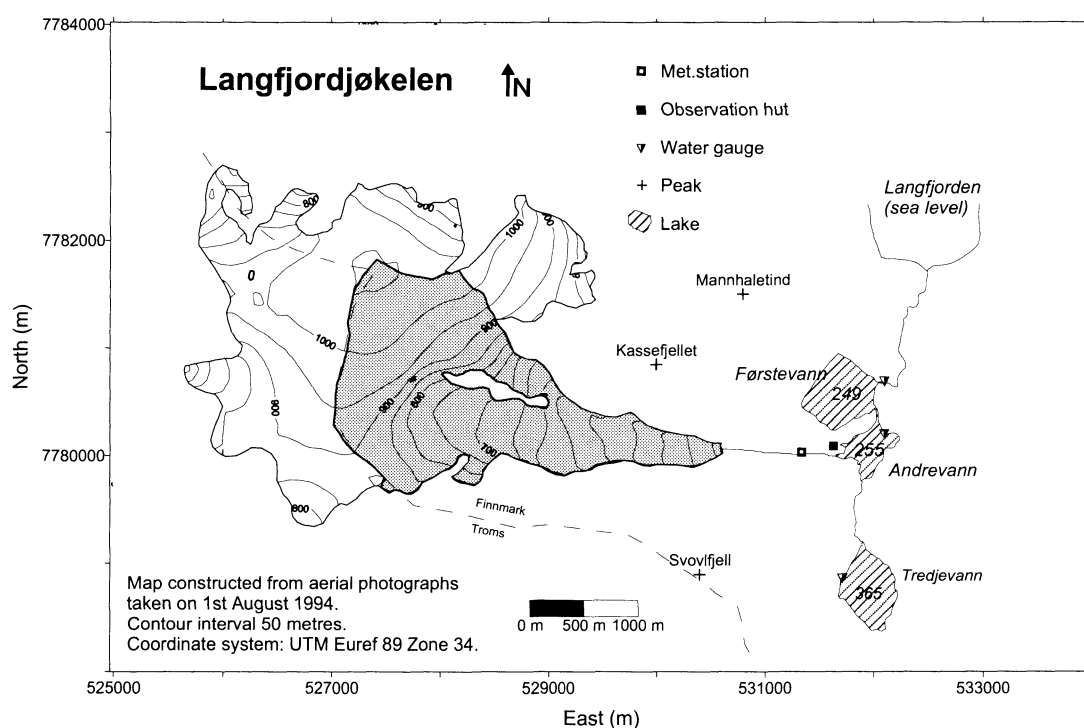
Front position change

The glacier front did not make any net advanced from September 1998 to September 1999. However, during the winter 1998-99, the front advanced and pushed up a moraine ridge indicating that the glacier at that stage was more advanced than observed for a very long time. Very high discharge in the river caused the glacier front to melt down more than normal.

14 Langfjordjøkelen (Bjarne Kjellmoen)

Langfjordjøkelen (70°10'N, 21°45'E) ligger på grensen mellom Troms og Finnmark, ca. 60 km nordvest for Alta. Den er en liten platåbre som ligger i et område med maritimt klima og relativt mye nedbør (årsmiddel er ca. 1000 mm). Breen strekker seg fra 1050 moh. og ned langs en veldefinert østvendt brearm til rundt 300 moh. Den dekker totalt et areal på 8,4 km² (1994) der litt mindre enn halvparten (43 %) drenerer ned til Andrevann (255 moh.). Det er på denne delen de årlige massebalanse-målingene utføres. Resten av breen drenerer til en rekke mindre utløpere, spesielt i nord og vest. Andrevann som også har tilførsel fra Tredjevann (365 moh.), drenerer til Førstevann (249 moh.) og videre ned til Langfjorden (fig. 14-1).

Seksjon bre og snø har gjennomført målinger på breen siden 1989. I 1999 ble målingene finansiert gjennom forskningsprogrammet "Vassdragsmiljø 1997-2000". Undersøkelsene omfatter måling av massebalanse, frontendringer og lufttemperatur.



Figur 14-1

Langfjordjøkelen ligger på grensen mellom Troms og Finnmark fylker. Massebalansemålingene utføres på den delen av breen som drenerer østover til Andrevann.

Langfjordjøkelen lies on the border between Troms and Finnmark counties. Mass balance measurements are performed at the east-facing outlet, which drains to the lake Andrevann.

14.1 Massebalanse

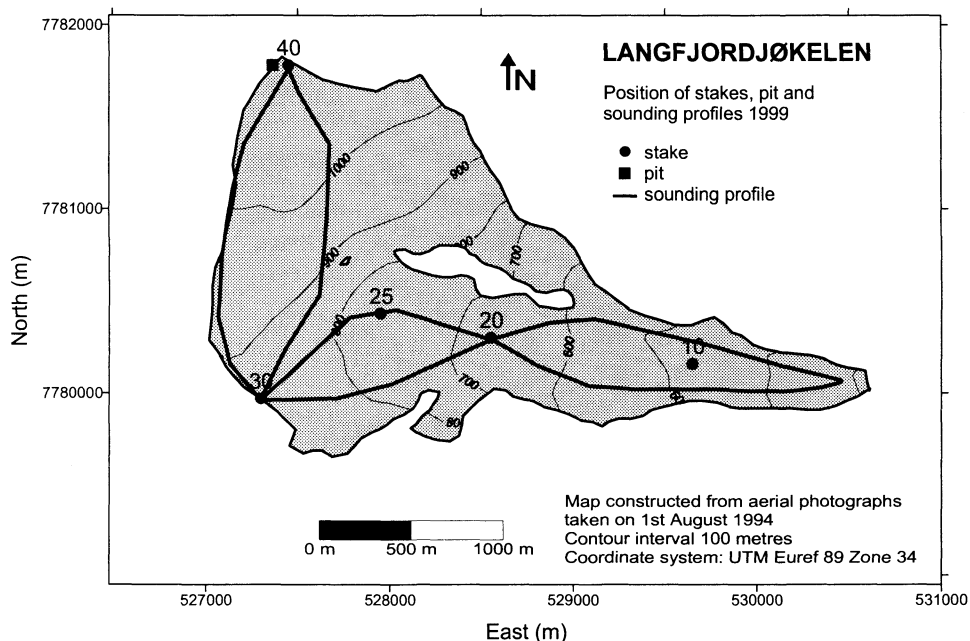
Massebalansen er målt i periodene 1989-93 og 1996-99. For årene 1994 og 1995 er massebalansen estimert ut fra meteorologiske observasjoner (Kjøllmoen (red.) 1999).

Feltarbeid

Akkumulasjonsmålingene ble utført 25. mai og grunnlaget for beregning av vinterbalansen er:

- Direkte målinger av stakene 10-97 (470 moh.) og 20-98 (670 moh.) som viste snødybder på hhv. 1,5 og 2,4 m. I tillegg var det mulig å knytte sammen målinger av flere staker i posisjon 40 (1050 moh. - 3,8 m snø).
- Kjerneboringer i høydenivåene 745 og 1050 moh. som viste snødyp på 2,6 og 3,1 m.
- 79 sonderingspunkter fordelt på 10 km måleprofiler mellom 320 og 1050 moh. Sonderingsforholdene var svært gode, og sommeroverflaten (SO) kunne med letthet følges helt opp til toppen av breen. Sonderingene ble sammenlignet og kontrollert med målinger av to staker og to kjerneboringer. Målingene viste snødyp fra under én meter nederst på bretunga til ca. 3½ m i de øverste områdene på breen.
- Tetthetsprøve ned til sommeroverflaten (SO 3,0 m) i høydenivået 1050 moh.

Måleopplegg med plassering av staker og tårn, tetthetsprøver og sonderingsprofiler er vist i figur 14-2.



Figur 14-2

Beliggenheten av staker, tetthetsprøve og sonderinger på Langfjordjøkelen i 1999.

Location of stakes, pit and sounding profiles at Langfjordjøkelen in 1999.

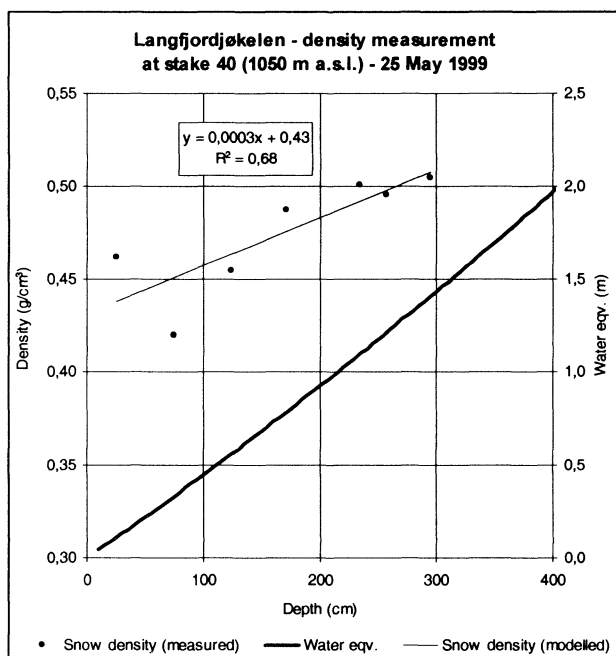
Minimumsmålingene ble utført den 25. september. Nettobalansen ble målt direkte på stakene 20, 25 (745 moh.) og 40. På stake 10 kunne avsmeltingen måles i perioden 10. august til 25. september. Snøgrensa var vanskelig å bestemme visuelt, men den ble antatt til å ligge omkring 950 moh. På toppen av breen lå det igjen rundt 1 m av siste vinters snø, og det var ikke kommet nysnø under målingene den 25. september.

Resultater

Massebalansen er beregnet etter den tradisjonelle metoden der breens balanse mellom to sommeroverflater blir beregnet. Beregningene er basert på kartgrunnlag fra 1994.

Vinterbalanse

Beregning av vinterbalansen er basert på punktmålinger av snødybde (staker, sonderinger og kjerneboringer) og på måling av snøens tetthet ned til 3,0 m dybde ved stake 40. Ut fra de målte verdiene av snøens tetthet er det modellert et tetthetsprofil av hele snøpakken. Modellen beskriver sammenhengen mellom snødybde og vannverdi (fig. 14-3). Med denne modellen blir midlere tetthet for 3,0 m snø $0,48 \text{ g/cm}^3$. Alle målte snødybder er omregnet til vannverdier med denne modellen.



Figur 14-3

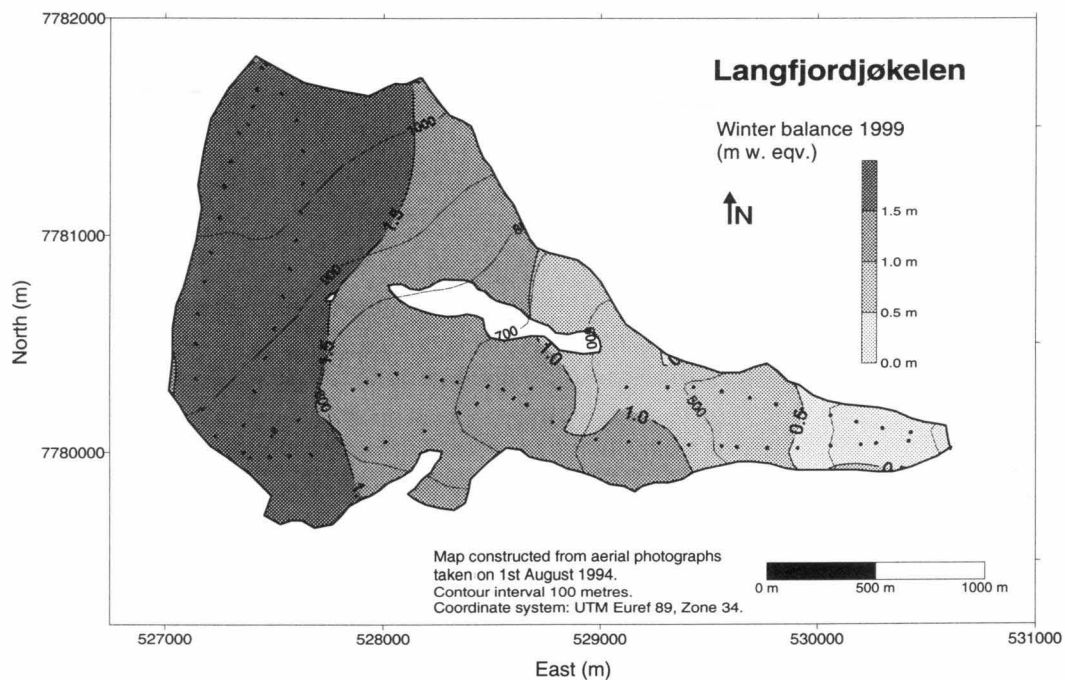
Snøens tetthet (•) målt ved stake 40 (1050 moh.), modell (—) som viser økningen av snøens tetthet med økende snødyp og vannverdier (—) i snøpakken beregnet ut fra modellen.

Snow density (•) measured at stake 40 (1050 m a.s.l.), model (—) showing the increase in snow density with increasing snow depth and water equivalents (—) in the snow pack estimated from the model.

Beregning av vinterbalansen er utført på to ulike måter. Med den ene metoden er alle punktmålingene (vannverdier) plottet mot høyde i et diagram. Ut fra en visuell bedømming er en kurve trukket (fig. 14-5), og en middelvei for hvert 100 m høydeintervall er bestemt (tab. 14-1). Beregningene gir en vinterbalanse på $1,3 \pm 0,2$ m vannekvivalenter, som tilsvarer et vannvolum på 5 ± 1 mill. m^3 vann. Dette resultatet utgjør bare 57 % av midlere vinterbalanse for perioden 1989-98, og det er den minste vinterbalansen som er målt på Langfjordjøkelen siden målingene startet i 1989. Vinterbalansen er også estimert ut fra snødypmålingenes romlige fordeling (fig.

14-4). Vannverdier for hver celle i et rutenett på 100 x 100 meter er beregnet etter bestemte interpolasjonsmetoder og summert. Resultatet med denne metoden gir samme resultat.

Et snøfordelingskart eller vinterbalansekart som illustrerer vinterbalansens fordeling over hele brearealet er vist i figur 14-4.



Figur 14-4

Vinterbalansen på Langfjordjøkelen i 1999 interpolert fra 80 målinger av snødybden (•). Nederst på bretunga ble det målt snødybde under 1 m, mens det ble målt opp til 3½ meter snø i de højestliggende områdene på breen.

Map showing winter balance for Langfjordjøkelen in 1999 interpolated from 80 snow depth measurements. Snow depth increased from ca. 1 m on the tongue to about 3½ m in the upper parts above 900 m a.s.l.

Sommerbalanse

Sommerbalansen er målt og beregnet på fire staker og avtar fra omkring -5 m vannekvivalenter nederst på bretunga til rundt -1 m øverst på breen. Tettheten til siste vinters gjenværende snø er estimert til $0,65 \text{ g/cm}^3$, mens tettheten for avsmeltet eldre firn er estimert til $0,75 \text{ g/cm}^3$. Tettheten for avsmeltet is er satt til $0,90 \text{ g/cm}^3$. På grunnlag av disse estimatene og stakemålinger er en kurve trukket (fig. 14-5), og en middelværdi for hvert 100 m høydeintervall er bestemt (tab. 14-1). Beregningene gir en sommerbalanse på $-2,9 \pm 0,3$ m vannekvivalenter eller 11 ± 1 mill. m^3 vann. Det er 116 % av middelværdien for måleperioden 1989-98.

Nettobalanse

Langfjordjøkelens nettobalanse for 1999 er beregnet til $-1,6 \pm 0,3$ m vannekvivalenter. Det tilsvarer et volumtap på 6 ± 1 mill. m^3 vann. Dette er det største underskuddet som

er målt i perioden 1989-99. Middelverdien i samme periode er -0,20 m, og det samlede underskuddet i disse 11 årene er ca. 3½ m vannekvivalenter (ca. 13 mill. m³). Kartstudier (Kjøllmoen (red.) 1999) viser en årlig middelverdi på -0,69 m for perioden 1966-94. Likevektslinjen (ELA) ble visuelt bestemt til ca. 950 moh., mens den beregnede ELA (fig. 14-5) er 970 moh. Akkumulasjonsområdet andel av det totale breareal (AAR) er ca. 35 %.

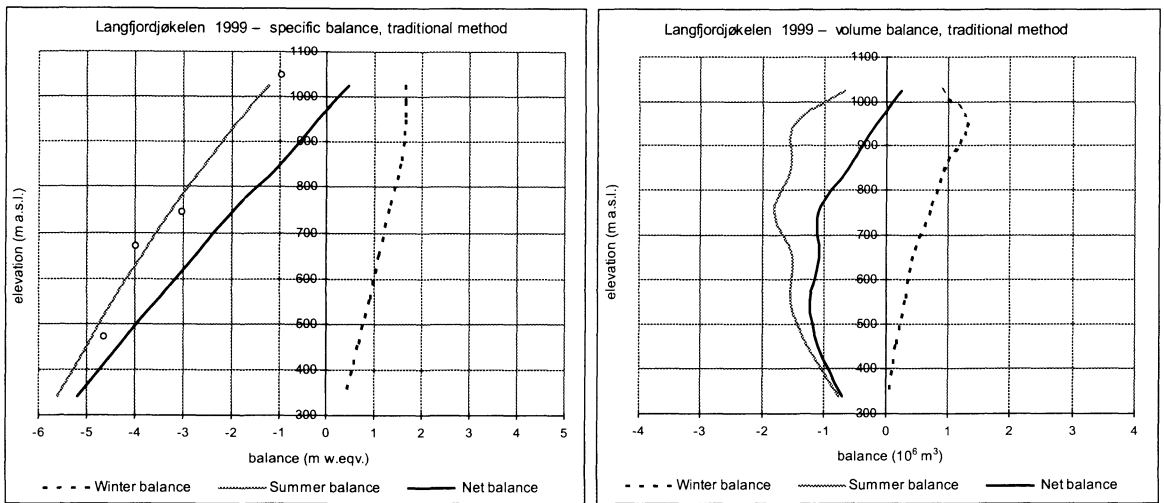
Verdiene for massebalansen i de enkelte høydeintervall er vist i tabell 14-1. Tilsvarende kurver for hhv. spesifikke verdier og volumverdier fordelt med høyden er vist i figur 14-5. Langfjordjøkelens årlige variasjoner i massebalansen siden målingene startet i 1989 er vist i figur 14-6.

Mass balance Langfjordjøkelen 1998/99 – traditional method							
Altitude (m a.s.l.)	Area (km ²)	Winter balance		Summer balance		Net balance	
		Measured May 25 1999		Measured Sep 25 1999		Summer surfaces 1998 - 1999	
		Specific (m w.eq.)	Volume (10 ⁶ m ³)	Specific (m w.eq.)	Volume (10 ⁶ m ³)	Specific (m w.eq.)	Volume (10 ⁶ m ³)
1000 - 1050	0,55	1,65	0,9	-1,20	-0,7	0,45	0,2
900 - 1000	0,81	1,65	1,3	-1,85	-1,5	-0,20	-0,2
800 - 900	0,61	1,55	0,9	-2,55	-1,5	-1,00	-0,6
700 - 800	0,56	1,30	0,7	-3,25	-1,8	-1,95	-1,1
600 - 700	0,39	1,10	0,4	-3,85	-1,5	-2,75	-1,1
500 - 600	0,35	0,90	0,3	-4,45	-1,5	-3,55	-1,2
400 - 500	0,25	0,65	0,2	-5,00	-1,3	-4,35	-1,1
280 - 400	0,14	0,40	0,1	-5,60	-0,8	-5,20	-0,7
280 - 1050	3,65	1,33	4,9	-2,91	-10,6	-1,57	-5,7

Tabell 14-1

Vinter-, sommer- og nettobalanse for Langfjordjøkelen i 1999. Middelverdiene for måleperioden 1989-98 er 2,32 m (b_w), -2,52 m (b_s) og -0,20 m vannekvivalenter (b_n).

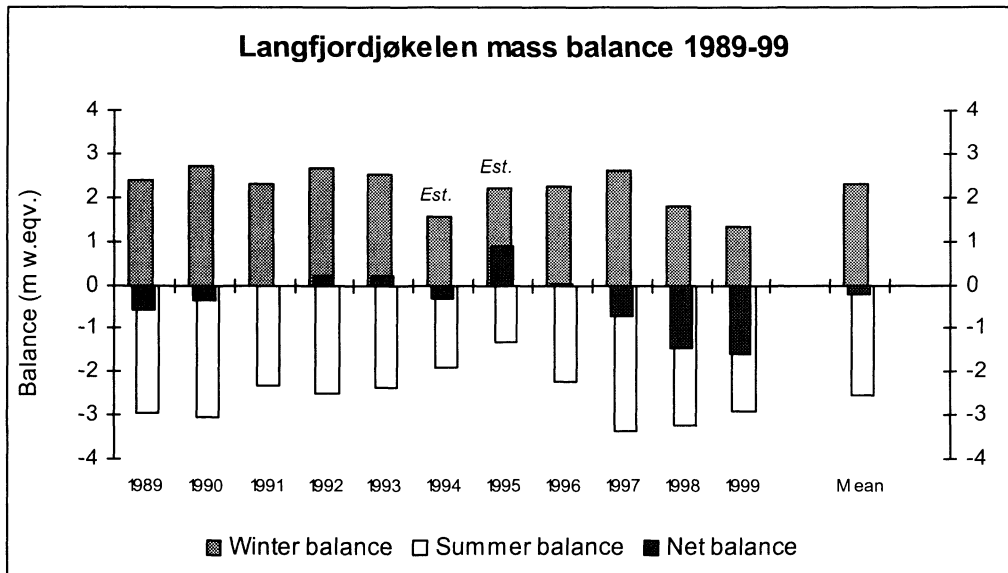
Winter, summer and net balance for Langfjordjøkelen 1999. Mean values for the period 1989-98 are 2.32 m (b_w), -2.52 m (b_s) and -0.20 m water equivalents (b_n).



Figur 14-5

Massebalansediagram for Langfjordjøkelen i 1999 som viser spesifikke verdier til venstre og volumverdier til høyre. Sommerbalansen for hver stake er vist som punkter (◦). Ut fra diagrammet er likevektslinjens høyde (ELA) 970 moh.

Mass balance diagram for Langfjordjøkelen 1999 showing specific balance to the left and volume balance to the right. Summer balance at each stake is shown as dots (◦). Estimated from the diagram the equilibrium line altitude (ELA) is 970 m a.s.l.



Figur 14-6

Diagrammet viser massebalansen for Langfjordjøkelen i perioden 1989-99. I løpet av disse 11 årene har breen hatt et samlet underskudd på 3½ m vannekvivalenter. For 1994 og 1995 er det estimerte verdier.

Diagram showing mass balance for Langfjordjøkelen during the period 1989-99. The accumulated deficit is about 3½ m w.eqv. during this 11 years period. The mass balance is estimated for 1994 and 1995.

14.2 Frontposisjon

Et gradteigskart fra 1907 (fig. 14-7) viser at Langfjordjøkelens østlige utløper gikk helt ned til Første- og Andrevann for omtrent hundre år siden. Siden har breen trukket seg tilbake ca. 1,2 km. Mer enn halvparten (750 m) av denne tilbakegangen har skjedd i løpet av de siste 33 årene.



Figur 14-7

Gradteigskart utgitt av Norges geografiske opmaaling i 1907. Kartet viser at den østlige utløperen av Langfjordjøkelen gikk helt ned til Første- og Andrevann rundt 1900. Siden har breen trukket seg tilbake ca. 1,2 km og mer enn halvparten av denne tilbakegangen har skjedd i løpet av de siste 33 årene.

Map published by Norges geografiske opmaaling in 1907 showing that the east-facing outlet of Langfjordjøkelen reached the lakes Første- and Andrevann around 1900. Since then the glacier has receded about 1.2 km and more than half of this retreat has occurred during the last 33 years.

Flybilder viser at breen trakk seg tilbake ca. 200 m i perioden 1945-66 og ca. 700 m i perioden 1966-94. Studier av flybilder og observasjoner av morener i felten har også gjort det mulig å antyde breens maksimale utbredelse (LIAM). Figur 14-8 og tabell 14-2 viser breens tilbakegang siden LIAM.

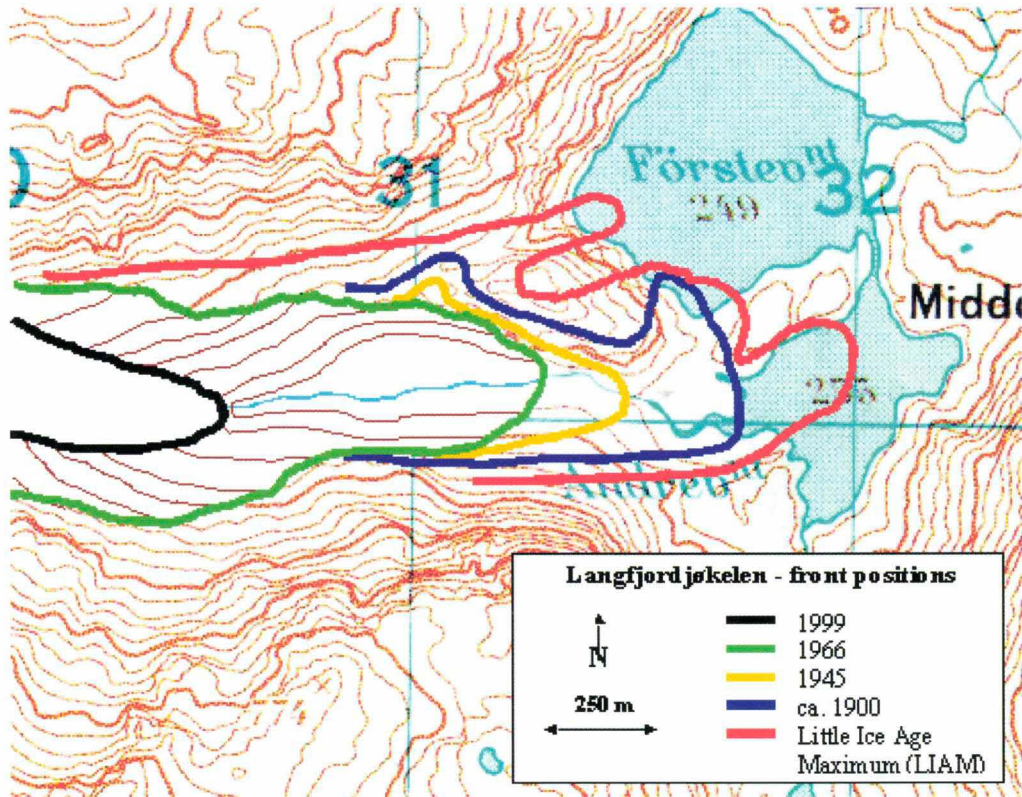
Period	Retreat	
	(m)	(m/year)
LIAM - ca. 1900	250	-
ca. 1900 - 1945	250	ca. 6
1945 - 1966	200	ca. 10
1966 - 1999	750	ca. 23

Tabell 14-2

Langfjordjøkelens østlige utløper har siden breens maksimale (LIAM) utbredelse gått tilbake omkring 1450 meter.

Since the Little Ice Age Maximum (LIAM) the east-facing outlet of Langfjordjøkelen has receded about 1450 metres.

Årlige frontmålinger ble satt i gang sommeren 1998. Målingene utføres etter tradisjonelle metoder der avstanden mellom brefronten og avmerkede fastpunkter bestemmes med målebånd. I 1999 ble det gjort målinger den 10. august og 25. september. For å kunne sammenligne tallene fra år til år benyttes høstens (september/oktober) målinger hvert år. I perioden fra 1. oktober 1998 til 25. september 1999 gikk breen tilbake rundt 40 meter.



Figur 14-8

Frontendringer siden lille istids maksimum (LIAM) basert på feltmålinger, flybilder, kart og morenefunn.

Front position changes since Little Ice Age Maximum (LIAM) determined by field measurements, aerial photos, maps and moraines.

14.3 Lufttemperatur

I perioden 1993-96 ble det målt lufttemperatur ved Andrevann (255 moh.). En ny målestasjon (nr. 211.4) for lufttemperatur ble satt i drift i august 1997. Denne stasjonen er plassert ved breelva mellom brefronten og Andrevann (fig. 14-1), og ligger rundt 270 moh. Det registreres timeverdier som senere blir konvertert til døgnmiddelverdier. Data fra målingene er presentert i tabell 14-2. Tidligere ble verdiene sammenlignet med målinger fra værstasjonen Loppa (nr. 92700). Denne stasjonen ble imidlertid nedlagt sommeren 1999, og det er derfor nå gjort sammenligninger med værstasjonen Nordstraum i Kvænangen (nr. 92350, 6 moh.) som ligger omkring 35 km sør for Langfjordjøkelen. Data fra denne stasjonen finnes tilbake fra 1965.

Etter noen års målinger kan det være mulig å opprette en korrelasjon av målt lufttemperatur mellom de to stasjonene.

Tabell 14-2 viser døgnmiddelverdier fra begge stasjonene for "sommersesongen" 1999, som er definert fra 1. juni til og med 30. september. Middeltemperaturen ved Langfjordjøkelen i sommersesongen 1999 var 3,5 °C. Til sammenligning var tilsvarende temperatur 5,9 °C i 1998. Sommertemperaturen fra Nordstraum er 10,6 °C for 1999. Fjorårets temperatur var 10,7 °C, mens stasjonens middelvei for hele måleperioden (1966-98) er 10,1 °C.

<i>Daily mean values</i>	<i>1 June – 30 September (Summer season)</i>		
	<i>1999</i>	<i>1998</i>	<i>Mean 1966-98</i>
Air temperature Langfjordjøkelen (°C)	3.54	5.92	-
Air temperature Nordstraum (°C)	10.60	10.68	10.12
Lapse rate Nordstraum/Langfjordjøkelen (°C/100 m)	2.67	1.80	-

Tabell 14-2

Døgnmiddeltemperatur ved Langfjordjøkelen (ca. 270 moh.) og Nordstraum (6 moh.) i "sommersesongen" 1999 (1. juni – 30. september).

Daily mean temperature at Langfjordjøkelen (ca. 270 m a.s.l.) and Nordstraum (6 m a.s.l.) during the "Summer season" 1999 (1 June - 30 September).

14.4 English summary

Langfjordjøkelen (70°10'N, 21°45'E) is a plateau glacier located at the border between Troms and Finnmark counties, about 60 km north-west of Alta in northern Norway. Its area is 8.4 km², but only 3.7 km² drains eastward to Andrevann (Fig. 14-1). The annual mass balance measurements have been made at this east-facing part of the glacier. It is ranging from 280 to 1050 m a.s.l. The studies at Langfjordjøkelen started in 1989 and include mass balance measurements, front position changes and daily mean air temperature. The calculations are based on map from 1994.

Mass balance

Field work

The accumulation was measured on 25th May. The stakes were not extended during the winter season. However, two stakes (10 and 20, see Fig. 14-2) survived the winter and gave useful information in addition to 79 snow depth soundings. Snow density was measured at stake position 40 (ca. 1050 m a.s.l.). The snow depth varied from less than 1 m at the tongue to ca. 3½ m in the upper parts. Ablation measurements were performed on 25th September. Net balance was directly measured at three stakes (20, 25 and 40). No fresh snow had fallen.

Results

Winter balance was 1.3 m w.eqv. and this is the lowest measured winter balance since the observations started in 1989. Summer balance amounted to -2.9 m w.eqv. The net balance, hence, was -1.6 m w.eqv, which is the greatest deficit in the period 1989-99. The results are shown in Table 14-1 and Figure 14-5.

Front position

Comparison of an old map from 1907 with the current map from 1994 shows that the eastern outlet of Langfjordjøkelen has retreated approx. 1.2 km during the last century. Aerial photos show that the glacier snout receded approx. 200 m during 1945-66 and approx. 700 m during 1966-94. Simple front position measurements were initiated in July 1998. From 1st October 1998 to 25th September 1999 the snout retreated about 40 m.

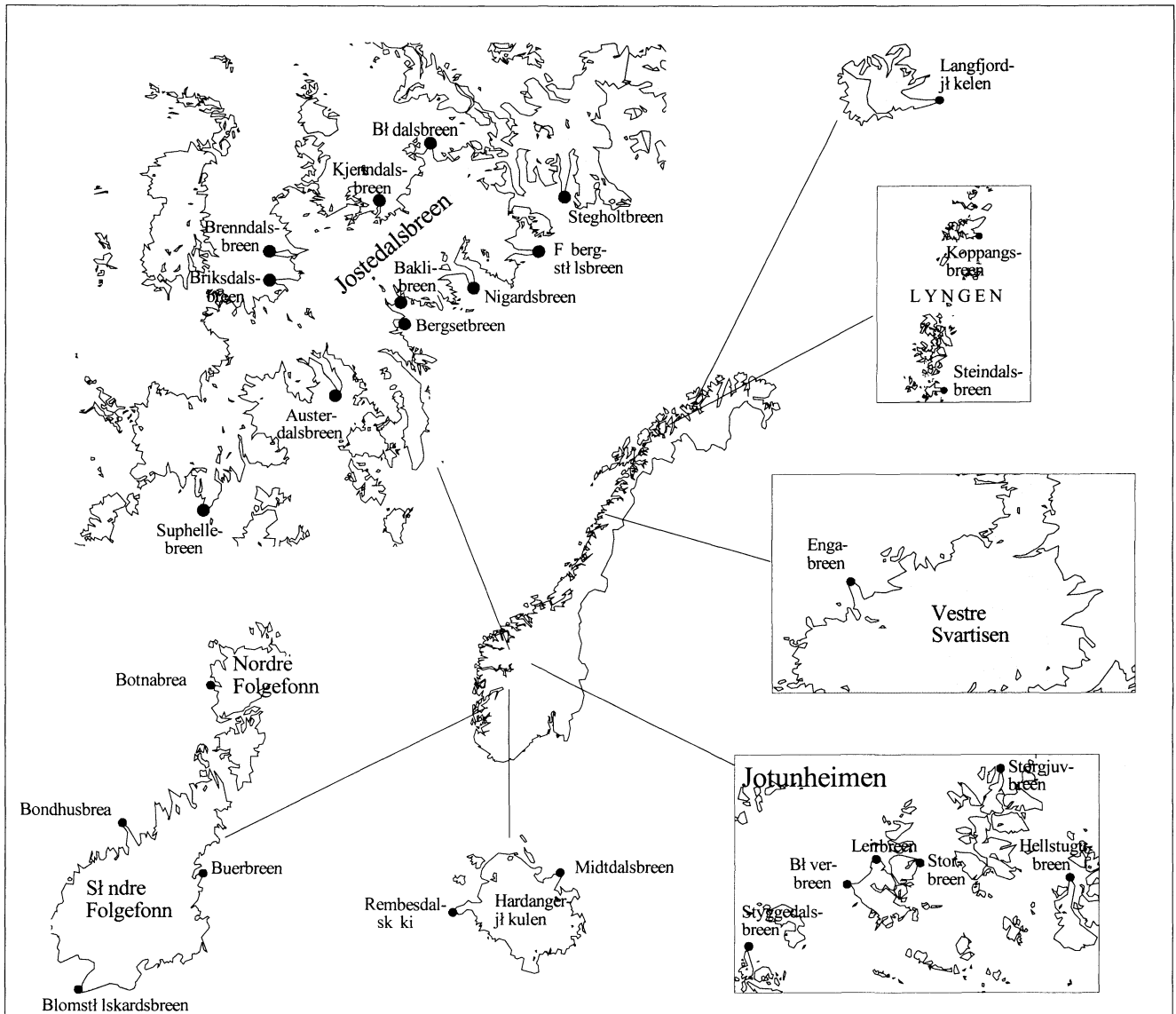
Air temperature

A meteorological station (No. 211.4) measuring air temperature is located by the river between the glacier front and Andrevann (Fig. 14-1). Data from measurements in the "Summer season" is presented in Table 14-2. The values are compared with observations from the weather station Nordstraum (No. 92350) (The Norwegian Meteorological Institute) located about 35 km south of Langfjordjøkelen.

15 Breovervåking

(Liss M. Andreassen og Bjarne Kjøllmoen)

I 1999 ble frontposisjon målt på et tyvetalls breer i Norge. I tillegg ble det gjort enkelte observasjoner og målinger på den rasfarlige Baklibreen (fig. 15-1).



Figur 15-5

Lokaliseringskart som viser breer hvor det ble gjort frontposisjonsmålinger i 1999 og som er omtalt i dette kapittel. Vær oppmerksom på at de ulike breområdene ikke er i samme målestokk.

Location map showing glaciers where front position measurements were performed in 1999, described in this chapter. Notice that the different glacier areas are not to scale.

15.1 Frontposisjonendringer

Målinger av breers frontposisjon gir et estimat av hvordan breer endrer lengde over tid. I 1999 ble til 26 norske breer målt¹. Av disse breene ligger 22 i Sør-Norge, mens bare fire ligger i Nord-Norge (fig. 15-1). Den største endringen ble registrert for Langfjordjøkelen i Finnmark som hadde en netto tilbakegang på nær 40 meter.

Metode

For å gjøre målingene enkle og ikke for tidkrevende blir ikke hele brefrontens bredde målt opp. Avstanden til ett eller flere punkt foran fronten blir målt med målebånd fram til brefronten langs etablerte siktelinjer. Disse siktelinjene består av varder, fastmerker i fjell eller malte punkt på fjell i omtrent samme retning som brebevegelsen nær brefronten. Frontmålingene blir foretatt om høsten, vanligvis i september eller oktober. Siden målingene er såpass enkle vil det være en viss grad av usikkerhet både for selve lengdemålingen og for hvor representativ målingen er for hele brefronten. Målingene gir allikevel verdifull informasjon om endringer av breer gjennom tid. Slike målinger er foretatt i Norge siden slutten av 1800-tallet.

Resultater

Endringen av frontposisjon fra 1998 til 1999 for alle de målte breene er vist i tabell 15-1.

Jostedalsbreen

Ved Jostedalsbreens utløpere ble brefrontposisjon målt ved 10 Bretunger. Fåbergstølsbreen, Nigardsbreen, Bødalsbreen og Suphellebreen hadde gått markert fram med mellom 17 og 28 meter. De andre breene viste kun mindre endringer. Kjennaldalsbreen var gått mest tilbake med syv meter.

Folgefonna

Buerbreen fra Søndre Folgefonn har smeltet tilbake 27 m fra 1998 til 1999, mens Botnbrea fra Nordre Folgefonn har gått fram 12 m. De andre breene har hatt stabil frontposisjon.

Hardangerjøkulen

Den nordvendte utløperen Midtdalsbreen har hatt en liten framgang på 3 meter, mens den sørvestlige Remesdalskåki har smeltet tilbake 20 meter.

Jotunheimen

I Jotunheimen blir det målt frontposisjon for to utløpere fra Smørstabbreen og for fire små dalbreer (fig. 15-1). Leirbreen har hatt en markert tilbakegang på nærmere 30 meter, mens Hellstugubreens front smeltet tilbake 7 meter. De andre breene hadde små endringer, størst positiv endring hadde Storgjuvbreen med en framgang på 6 meter.

¹ I tillegg er det blitt gjort målinger på Austdalsbreen. Fronten til denne breen kalver i et regulert vann. Målingene er omtalt i et eget kapittel (se kap. 6.2) og er ikke tatt med her.

Svartisen

Engabreen i Nord-Norge viste ingen netto endring av frontposisjonen fra 1998 til 1999 (fig. 15-2).

Lyngen

Målingene på breene Koppangsbreen og Steindalsbreen i Lyngen ble startet i 1998. Begge breene gikk markert tilbake med hhv. 31 og 16 m.

Finnmark

Målingene på Langfjordjøkelen ble startet i 1998. Frontposisjonen blir målt på den største utløperen der det også gjøres massebalansemålinger (se kap. 14). Denne bretungen smeltet tilbake hele 39 meter i det første måleåret.

Area	Glacier	Change (m)	Measured by
Jostedalbreen	Austerdalsbreen	0	NVE
	Bergsetbreen	-3	NVE
	Brenndalsbreen	5	University of Bergen
	Briksdalsbreen	-2	NVE
	Bødalsbreen	20	University of Bergen
	Fåbergstølsbreen	28	NVE
	Kjennedalsbreen	-7	University of Bergen
	Nigardsbreen	17	NVE
	Stegholtbreen	6	NVE
	Store supphellebre	24	Norwegian Glacier Museum
Folgefonna	Blomstølskardsbreen	0	Sunnhordland Kraftlag
	Bondhusbrea	-1	Norwegian Energy Corporation
	Botnabrea	12	Norwegian Energy Corporation
	Buerbreen	-27	NVE
Hardangerjøkulen	Midtdalsbreen	3	University of Bergen
	Rembesdalskåki	-20	Statkraft
Jotunheimen	Bøverbreen	2	University of Bergen
	Hellstugubreen	-7	NVE
	Leirbreen	-28	NVE
	Storbreen	1	NVE
	Storgjuvbreen	6	University of Bergen
	Styggedalsbreen	3	NVE
Svartisen	Engabreen	0	NVE
Lyngen	Koppangsbreen	-31	NVE
	Steindalsbreen	-16	NVE
Finnmark	Langfjordjøkelen	-39	NVE

Tabell 15-2

Frontposisjonendring fra høsten 1998 til høsten 1999 ved 26 breer i Norge.

Front position change between autumn 1998 and autumn 1999 at 26 glaciers in Norway.



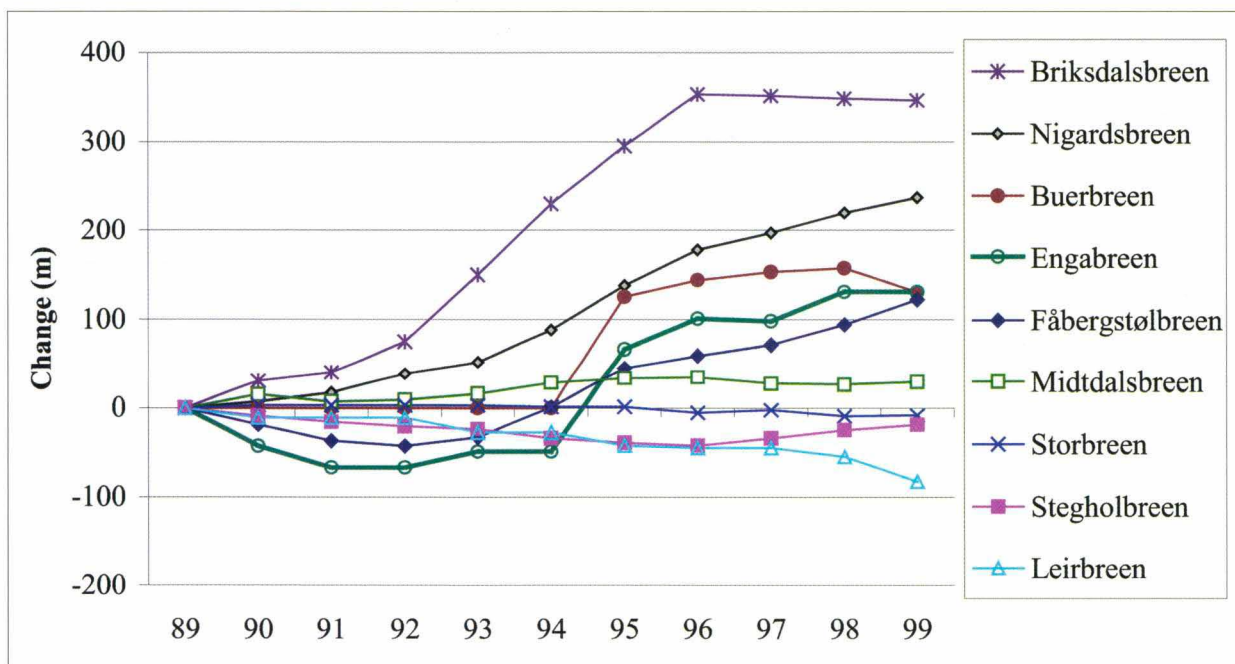
Engabreen har avansert kraftig de siste årene, men fra 1998 til 1999 var det ingen netto endring.

Engabreen has advanced strongly during the last decade, but from 1998 to 1999 there was no netchange in the front position.

Foto/Photo: Liss M. Andreassen, July 1999.

Endringer 1989-99

Det har vært store lokale og regionale forskjeller i brefrontvariasjon det siste tiåret (fig. 15-3). Briksdalsbreen har hatt den største framgangen totalt, men de siste årene har brefronten stagnert og smeltet noe tilbake. Den samme utviklingen har Buarbreen. En rekke av utløperne fra Jostedalsbreen er fortsatt i framgang, breene Nigardsbreen, Fåbergstølsbreen, Austerdalsbreen og Stegholtbreen har gått jevnt fram de siste årene. Midtdalsbreen fra Hardangerjøkulen har hatt en netto framgang på om lag 30 meter det siste tiåret, men i slutten av 1990-årene har det bare vært små endringer. Breene i Jotunheimen har alle hatt en negativ endring i frontposisjon det siste tiåret, men mens Storbreen kun har hatt små negative endringer, har Leirbreen smeltet jevnt tilbake, totalt over 80 meter.



Figur 15-7

Frontposisjonsendringer ved ni norske breer i perioden 1989-1999.

Front position change at nine Norwegian glaciers during the period 1989-1999.

15.2 Overvåking av Baklibreen

Baklibreen (61°40'N, 7°05'E) er en breutløper på østsiden av Jostedalsbreen (fig. 15-1). Breen dekker et areal på ca. 3,5 km² og strekker seg fra ca. 1950 moh. (Høgste Breakulen) og ned til ca. 1200 moh. Breen er blitt undersøkt med målinger og observasjoner i tidsrommet 1987-1999. Bakgrunnen for undersøkelsene har vært at det sommeren 1986 gikk et ras fra breen ut i Krundalen som er en sidedal til Jostedalen. Tre personer som gikk på en sti nede i dalen ble drept. Raset hadde en fallhøyde på 600-700 m og det ble estimert til et volum på ca. 200 000 m³.

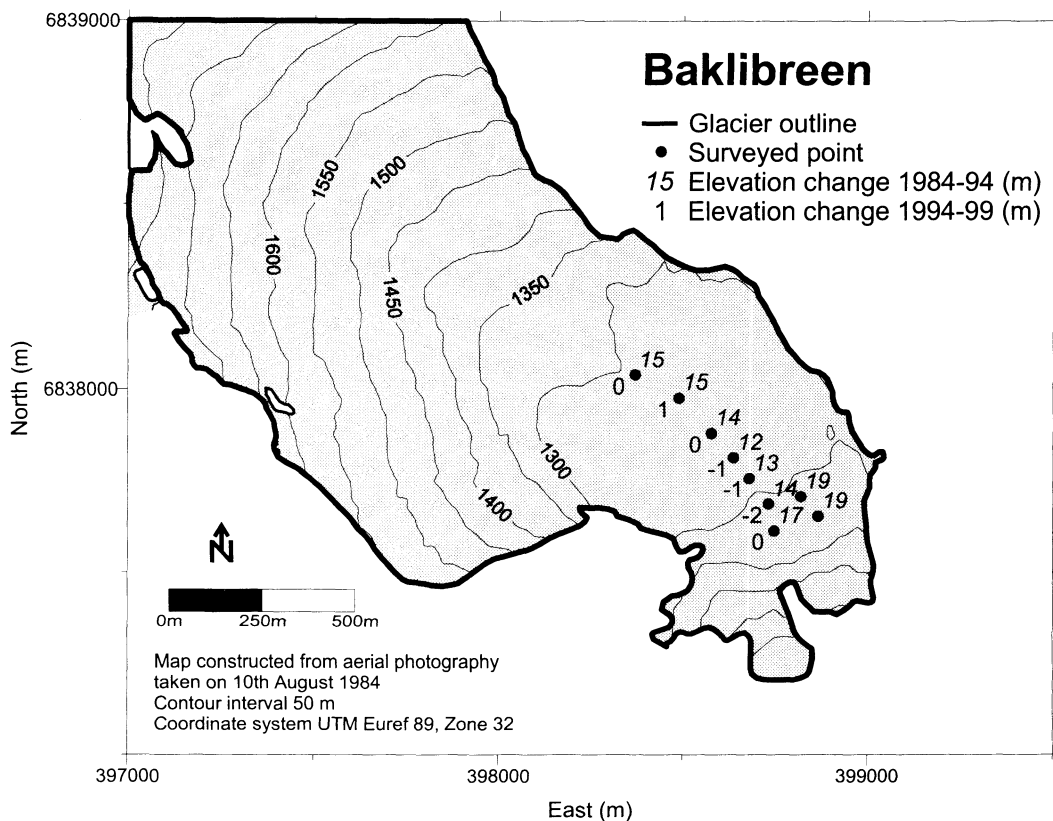
De regelmessige undersøkelsene på Baklibreen ble avsluttet i 1999 og en oppsummering av observasjoner og resultater fra perioden 1987-99 er beskrevet nedenfor.

Høydeendringer

Breoverflatens høyde er avhengig av breens massebalanse og istransporten nedover breen. Overskudd i nettobalansen vil føre til at istykkelsen øker, mens underskudd i nettobalansen medfører en senkning av breflaten.

Endringer av breoverflaten på den nederste delen av Baklibreen er kartlagt ved målinger av terrengpunkter i et ca. 700 m langt lengdeprofil langs senterlinja av breen (fig. 15-4). Målingene er foretatt om sommeren (juli) eller høsten (september), og det finnes data for perioden 1989-99. I september 1999 ble det målt inn ni punkter langs

profilen. Målingene er sammenlignet med et høyderaster generert fra flybilder tatt 10. august 1984 (fig. 15-4). Resultatene viser at det ikke var signifikante endringer av breoverflatens høyde fra 1984 til 1989. I perioden 1989-94 økte istykkelsen mellom 10 og 20 m. Det ble videre også registrert en svak økning fra 1994 til 1996, mens det fra 1996 til 1999 ikke ser ut til å være synlige endringer av breoverflaten.

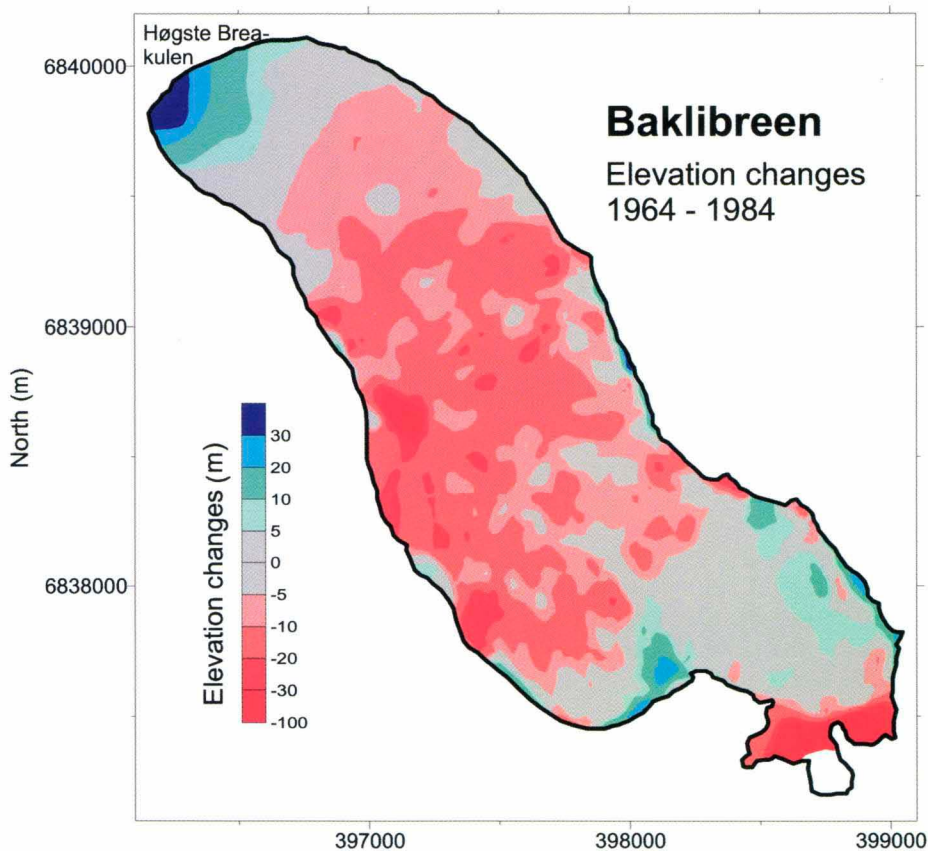


Figur 15-4

Endringer av breflatens høyde mellom 10. august 1984 og 28. juli 1994 (blå tall), og mellom 28. juli 1994 og 30. juli 1999 (røde tall).

Elevation changes between 10th August 1984 and 28th July 1994 (blue values), and between 28th July 1994 and 30th July 1999 (red values).

I tillegg til høyderasteret fra 1984 er det også laget en tilsvarende terrengmodell basert på flybilder fra 1964. En sammenligning av de to rastermodellene (fig. 15-5) viser at istykkelsen ble redusert over store deler av brearealet i denne 20-års perioden. Det var bare på toppen av breen (Høgste Breakulen) og i et mindre område på bretunga at istykkelsen økte. Beregninger viser at breens totale volum ble redusert med rundt 25 mill. m³ vann, eller omkring 7 m vannekvivalenter jevnt fordelt over hele breflaten (ca. 3,5 km²) i perioden 1964-84.



Figur 15-5

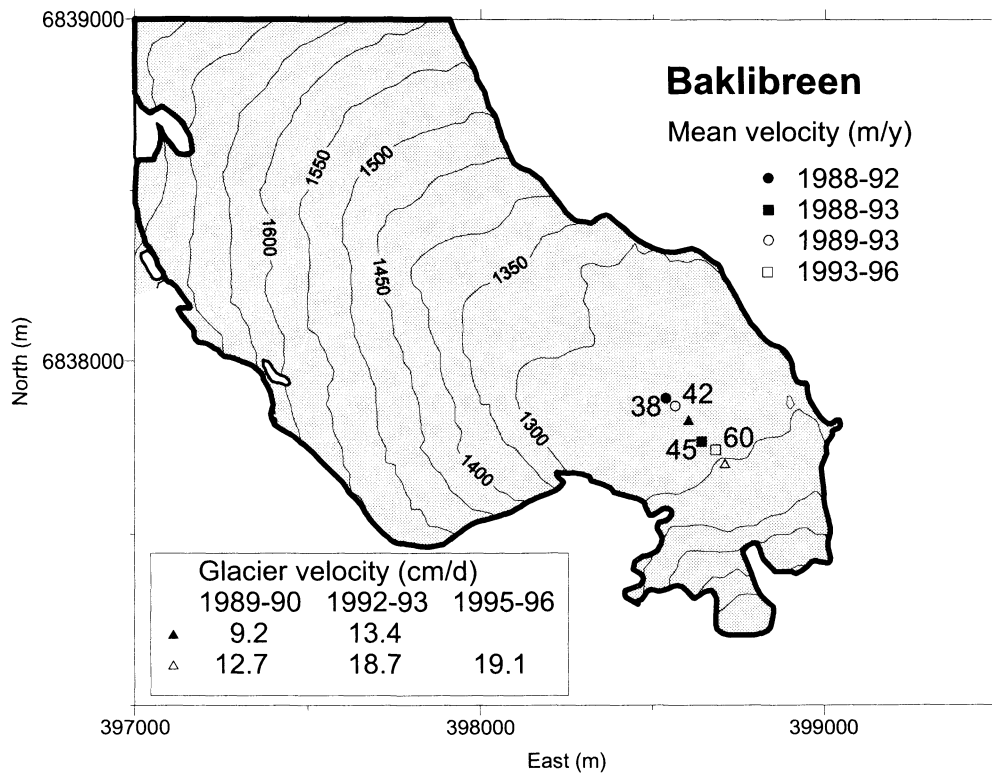
Høydeendringer på Baklibreen i perioden 1964-84. Blå farger viser positiv endring, grått viser endringer mellom -5 og +5 m, og røde farger viser negativ endring.

Elevation changes at Baklibreen during 1964-84. Blue colours show positive changes, grey show changes between -5 and +5 m, and red colours show negative changes.

Brebevegelse

Brebevegelsen oppstår fordi is og snø fra de høyereliggende områdene med masseoverskudd fraktes nedover til områder hvor det smelter mer om sommeren enn det faller snø om vinteren. Breen beveger seg som en plastisk masse som siger nedover på grunn av tyngden. Breens hastighet forandres stadig og døgnvariasjonene skyldes i stor grad værforholdene. Breens massebalanse har størst betydning for langtidsvariasjonene.

På Baklibreen ble brebevegelsen målt på én eller flere staker i perioden 1988-96. Ut fra stakenes posisjoner ble en middelhastighet for periodene mellom målingene beregnet. Målingene viste at brebevegelsen er størst nær brefronten for så å avta gradvis innover breen. Midlere årshastighet i perioden 1988-96 lå mellom 38 og 60 m (fig. 15-6). Resultatene viser at brebevegelsen økte gjennom måleperioden. Målinger på en av stakene nærmest fronten (\triangle i fig. 15-6) viser at hastigheten økte fra 9 cm/døgn i 1989-90 til 19 cm/døgn i 1995-96. På samme måte viser sammenlignbare målinger på en stake 160 m lengre inne på bretunga (\blacktriangle i fig. 15-6) en økning i brebevegelsen fra 9 cm/døgn i 1989-90 til 13 cm/døgn i 1992-93.

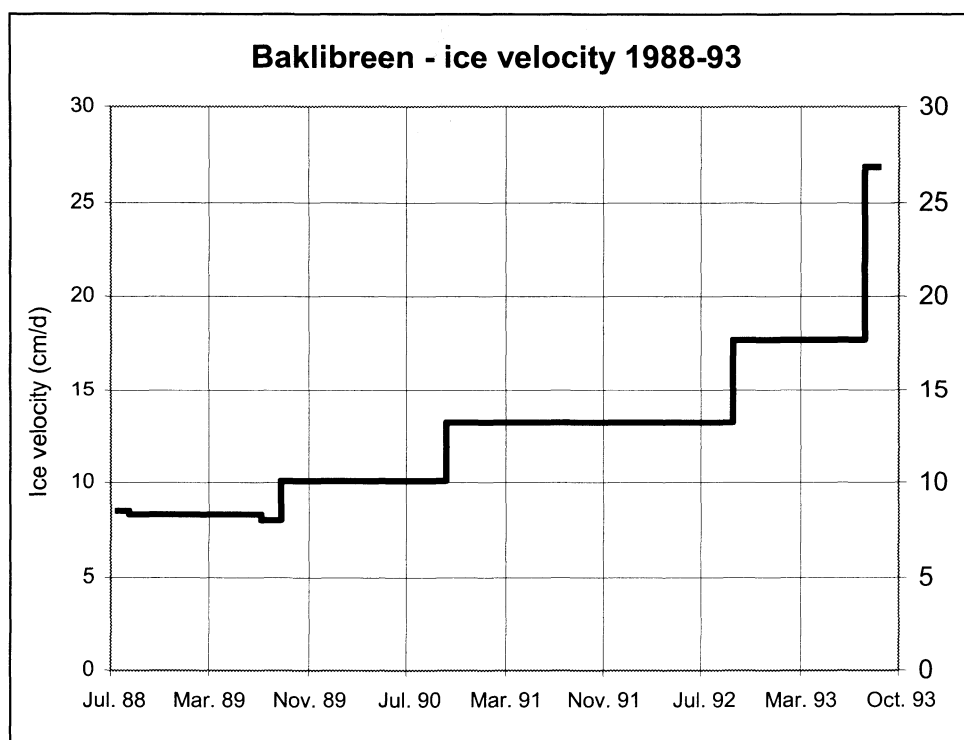


Figur 15-6

Gjennomsnittlig brebevegelse (m/år) målt i fire stakeposisjoner (●-1988-92, ■-1988-93, ○-1989-93, og □-1993-96) og brehastigheten (cm/døgn) målt i to posisjoner (△▲) for periodene 1989-90, 1992-93 og 1995-96.

Mean ice movement (m/y) measured in four stake positions (●-1988-92, ■-1988-93, ○-1989-93, and □-1993-96) and glacier velocity (cm/d) measured in two positions (△▲) for the periods 1989-90, 1992-93 and 1995-96.

Hastigheten målt på én stake ble fulgt fra august 1988 til september 1993 uten at denne ble flyttet tilbake til sitt utgangspunkt. Resultatene fra disse målingene bekreftet at ishastigheten øker ut mot brefronten (fig. 15-7). Ved utgangspunktet var brebevegelsen rundt 8 cm/døgn. Etter fem år hadde staken flyttet seg 233 m mot brefronten og hastigheten var da økt til ca. 25 cm/døgn.



Figur 15-7

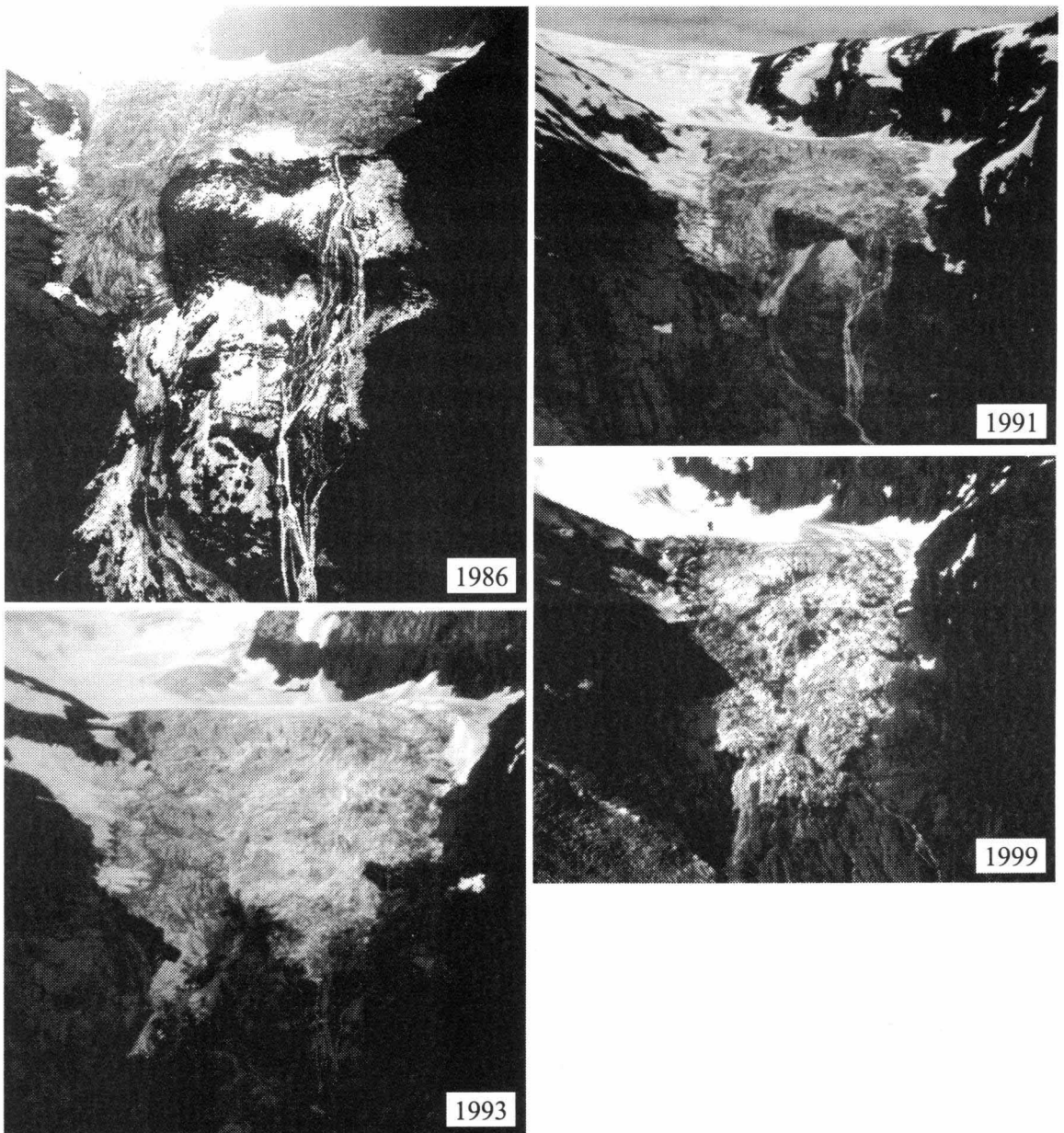
Brebevegelsen målt på én stake i perioden fra 5. august 1988 til 14. september 1993. I løpet av måleperioden flyttet staken seg 233 m mot brefronten. Målingene viser at hastigheten på staken øker jo nærmere den kommer brefronten.

Ice movement measured at one single stake from 5th August 1988 to 14th September 1993. During this period the stake moved 233 m towards the glacier snout. The measurements show that the velocity of the stake increased towards the glacier snout.

Frontposisjon

Brefronten endres som en følge av forandringer i breens tykkelse. Dersom istykkelsen øker vil brefronten reagere ved å rykke framover. I motsatt fall vil avsmeltingen resultere i at fronten trekker seg tilbake.

På Baklibreen er det ikke foretatt direkte målinger av brefrontens posisjon. Det foreligger imidlertid bildedokumentasjon fra perioden 1986-99 (fig. 15-8). Bildene viser at siden 1986 har brefronten rykket fram. Store ismasser har bygget seg opp og henger ned langs fjellsiden. Mindre rastilløp av isblokker er blitt observert hvert år i perioden 1992-99. Nabobreen i sør, Bergsetbreen, har imidlertid gått så mye fram de siste årene at rasene fra Baklibreen nå går inn i bretunga på Bergsetbreen.



Figur 15-8

Baklibreen fotografert etter raset sommeren 1986 (øverst til venstre), i juli 1991 (øverst til høyre), i september 1993 (nederst til venstre) og i juli 1999 (nederst til høyre). Siden 1986 har breen gått fram og bretungen henger nå nedover fjellsiden.

Baklibreen photographed after the avalanche in the summer of 1986 (upper left), in July 1991 (upper right), in September 1993 (lower left) and in July 1999 (lower right). Since 1986 the glacier has advanced and the snout are now extending down the rock face.

Foto/Photo: unknown (1986), M. Kennett (1991), B. Kjølmoen (1993, 1999).

Oppsummering

Observasjoner og målinger av brebevegelse, frontposisjon og endringer i overflatehøyde på Baklibreen er foretatt i perioden 1987-99. Målingene viste at istykkelsen på bretunga økte 10-20 m fra 1989 til 1994. En svak økning ble også registrert de neste to årene. Etter 1996 har det ikke skjedd synlige høydeendringer av breflaten.

Målinger av brebevegelsen viser at denne har økt i perioden 1989-96. Sammenlignbare målinger i en stakeposisjon nær brefronten viser at hastigheten økte fra 9 cm/døgn i 1989-90 til 19 cm/døgn i 1995-96. Målingene viser dessuten at hastigheten er størst nærmest brefronten. Siden 1986 har brefronten gått betydelig fram og mindre rastilløp er observert. Rasmassene går nå inn i siden på bretunga til Bergsetbreen som også har gått kraftig fram de siste årene.

15.3 English summary

Front position change

In 1999 front position change has been measured at 26 glaciers, 22 in southern Norway and four in northern Norway (Fig. 15-1).

Methods

The method used to measure the front positions is simple. For most of the glaciers the distance is measured from established cairns to the glacier front in a well defined direction in September or October every year. This gives a rough estimate of the front fluctuations at one or more points at the glacier fronts. These measurements will, of course, have a degree of uncertainty both in the actual length determination, and to what extent the measurement is representative for the entire glacier front. The measurements give, nevertheless, valuable information about glacier fluctuations and regional tendencies and variations. Similar observations have been made at several Norwegian glaciers since the 1880s.

Results

The front position change from 1998 to 1999 is shown in Table 15-1. At Jostedalbreen 10 outlets were measured. Four of these glaciers have had remarked advances, while the rest of the glaciers have had small changes in their front position. At Folgefonna the outlet Buarbreen retreated 27 metres, while Botnbrea advanced 12 metres. The other two measured outlets have had stable front positions. Rembesdalskåki, Hardangerjøkulen's largest outlet, retreated 20 m while the northern outlet Midtdalsbreen showed a net advance of 3 metres. In Jotunheimen Leirbreen is still retreating, the last year it receded 29 metres. The other glaciers in Jotunheimen had minor changes. The only investigated outlet from Svartisen, Engabreen, had no change in its front position from 1998 to 1999 (Fig. 15-2). Front position measurements started on three glaciers in northern Norway in 1998, two in Lyngen and one in Finnmark. The results show that all glaciers retreated remarkably, especially Langfjordjøkelen in Finnmark with 39 metres.

Looking at the trends in frontal behaviour the last decade, we find both local and regional changes (Fig. 15-3). The famous outlet Briksdalsbreen has had the largest and most rapid advance, but the last years the glacier has been in a stable position. The same trend is found for Buarbreen and possibly also for Engabreen. Several of the outlets from Jostedalbreen are still advancing. In Jotunheimen the glaciers have retreated slowly or have been more or less in a stable position during the last years.

Survey of Baklibreen

Baklibreen (61°40'N, 7°05'E) is situated at the eastern side of Jostedalsbreen (Fig. 15-1). It covers an area of about 3.5 km² and ranges from about 1950 m a.s.l. (Høgste Breakulen) down to approx. 1200 m a.s.l.

Observations and measurements of glacier movement, front position and elevation changes have been carried out during 1987-99. The measurements indicated an increase of ice thickness at the glacier tongue of 10-20 m from 1989 to 1994 (Fig. 15-4). A slight increase was also recorded the next two years. After 1996 no visible elevation changes had occurred. Measurements of the ice movement demonstrate an increase of the velocity during 1989-96. Comparable measurements at one stake position close to the snout show that the velocity increased from 9 cm/d in 1989-90 to 19 cm/d in 1995-96 (Fig. 15-6). The measurements also show that the velocity is highest close to the glacier snout (Fig. 15-7). Since 1986 the glacier front has advanced (Fig. 15-8) and some small avalanche events have been observed. During the last years Bergsetbreen (the glacier next to Baklibreen to the south) has advanced considerably. Therefore, ice blocks from Baklibreen will now fall onto its tongue.

16 Referanser

Andreassen, L.M.

1998: Volumendringer på Jostefonn 1966-93. *NVE Rapport 3 1998*, 10 s.

Andreassen, L.M.

1999: Comparing traditional mass balance measurements with long-term volume change extracted from topographical maps; A case study of Storbreen glacier in Jotunheimen, Norway, for the period 1940-1997. *Geografiska Annaler*, 81A (4), s. 467-476.

Elvehøy, H., N. Haakensen, M. Kennett, B.Kjøllmoen, J.Kohler & A.M. Tvede.

1997: Glasiologiske undersøkelser i Norge 1994 og 1995. *NVE Publikasjon 19 1997*, 197 s.

Elvehøy, H., J. Kohler, R. Engeset & L.M. Andreassen.

1997: Jökulhlaup fra Demmevatn. *NVE Rapport 17 1997*, 36 s.

Golden Software, Inc. USA.

1999: Surfer 7, User's Guide, 619 s.

Haakensen, N.

1999: Ålfotbreen. In: Kjøllmoen, B. (red.) 1999: Glasiologiske undersøkelser i Norge - 1998. *Norges Vassdrags- og Energidirektorat Rapport 5 1999*, s. 15-23.

Kennet, M., T. Laumann, C. Lund, & E. Ruud.

1993: Helicopter-borne radio-echo sounding of Svartisen, Norway. *Annals of Glaciology 17*, s. 23-26.

Kjøllmoen, B. & M. Kennett.

1995: Breundersøkelser på Svartiseibreen 1988-94. *NVE Rapport 17 1995*, 35 s.

Kjøllmoen, B.

1997: Volumendringer på Harbardsbreen 1966-96. *NVE Rapport 6 1997*, 17 s.

Kjøllmoen B. (red.) 1998: Glasiologiske undersøkelser i Norge 1996 og 1997. *Norges Vassdrags- og Energiverk Rapport 20 1998*, 134 s.

Kjøllmoen B. (red.) 1999: Glasiologiske undersøkelser i Norge - 1998. *Norges*

Vassdrags- og Energidirektorat Rapport 5 1999, 119 s.

Kohler, J.

1998: The effect of subglacial intakes on ice dynamics at Engabreen. *NVE Rapport 12 1998*, 47 s.

Rekstad, J.

1904: Fra Jostedalsbræen. *Bergen Museums Aarbog 1904, Naturvidenskaplig rekke No. 1*, 95 s.

Sætrang, A.C.

1988: Kartlegging av istykkelse på Vestre Svartisen 1986. *NVE Rapport 3 1988*, 20 s.

Østrem, G. & M. Brugman.

1991: Glacier mass-balance measurements. A manual for field and office work.

National Hydrology Research Institute, *Scientific Report, No 4*. Environment Canada, N.H.R.I., Saskatoon and Norwegian Water Resources and Energy Directorate, Oslo, 224 s.

Østrem, G. & N. Haakensen.

1999: Map comparison or traditional mass-balance measurements: Which method is better? *Geografiska Annaler, 81A (4)*, s. 703-711.

Vedlegg

Publikasjoner i 1999

Andreassen, L.M.

1999: Comparing traditional mass balance measurements with long-term volume change extracted from topographical maps; A case study of Storbreen glacier in Jotunheimen, Norway, for the period 1940-1997. *Geografiska Annaler*, 81A (4), s. 467-476.

Andreassen, L.M. & G. Østrem.

1999: Storbresymposiet. 50 år med massebalansemålinger. *NVE Dokument 5 1999*, 58 s.

Engeset, R.V. (ed.)

1999: Inflow to Storglomvatn Reservoir in Norway. *NVE Report 2 1999*, 135 s.

Engeset, R.V. & R.S. Ødegård.

1999: Comparison of annual changes in winter ERS-1 SAR images and glacier mass balance of Slakbreen, Svalbard. *International Journal of Remote Sensing*, 20(2), s. 259-271.

Kjøllmoen, B.

1999: Breundersøkelser på Langfjordjøkelen 1998. *NVE Dokument 2 1999*, 24 s.

Kjøllmoen, B. (red.)

1999: Glasiologiske undersøkelser i Norge - 1998. *NVE Rapport 5 1999*, 119 s.

Liston, G.E., J.-G. Winther, O. Bruland, H. Elvehøy & K. Sand.

1999: Below-surface ice melt on the coastal Antarctic ice sheet. *Journal of Glaciology*, Vol. 45(150), s. 273-285.

Østrem, G.

1999: Glasiologiske undersøkelser i Norge. In: Fra jordas indre til atmosfærens ytre. *Festskrift for Oslo Geofysikeres Forening 50 år*, s. 86-97.

Østrem, G. & N. Haakensen.

1999: Map comparison or traditional mass-balance measurements: Which method is better? *Geografiska Annaler*, 81A (4), s. 703-711.



Norges
vassdrags- og
energidirektorat

Norges vassdrags- og energidirektorat
Middelthunsgate 29
Postboks 5091 Majorstua
0301 Oslo

Telefon: 22 95 95 95
Telefaks: 22 95 90 00
Internett: www.nve.no

NORGES VASSDRAG
OG ENERGIVERK



00533034