RAPPORT

20 1998

Norges vassdrags- og energiverk

NVE

Bjarne Kjøllmoen (red.)

Glasiologiske undersøkelser i Norge 1996 og 1997

NORGES VASSDRAGS-
OG ENERGIDIREKTORAT
BIBLIOTEKET

556 (05)

Omslagsbilde:
Bergsetbreen er en breutløper på østsiden av Jostedalsbreen innerst i Krundalen i Jostedalen. Siden midten av 1960-tallet har breen gått fram omkring 650 meter. Bildet er tatt i juli 1994.
Foto: Bjarne Kjøllmoen

Bergsetbreen is an outlet glacier at the eastern side of the Jostedalsbreen icecap in the Jostedalen valley. The glacier has advanced about 650 metres since the middle of the 1960s. The photo is taken in 1994.
Photo: Bjarne Kjøllmoen

NORGES VASSDRAGS- OG ENERGIVERK

Bjarne Kjøllmoen (red.)

Forfattere: Liss M. Andreassen, Hallgeir Elvehøy, Nils Haakensen,

Bjarne Kjøllmoen, Niels Tvis Knudsen, Jack Kohler og Hilleborg K. Sorteberg

GLASIOLOGISKE UNDERSØKELSER I NORGE 1996 OG 1997

NVE-Publikasjon nr 20

fra

HYDROLOGISK AVDELING

1998

NVE
NORGES VASSDRAGS-
OG ENERGIVERK

TITTEL Glasiologiske undersøkelser i Norge 1996 og 1997	**RAPPORT** 20/1998
	DATO August 1998
FORFATTERE Liss M. Andreassen, Hallgeir Elvehøy, Nils Haakensen, Bjarne Kjøllmoen (red.), Niels Tvis Knudsen, Jack Kohler og Hilleborg K. Sorteberg	ISBN 82-410-0344-7

SAMMENDRAG

Resultatene fra NVEs glasiologiske undersøkelser i 1996 og 1997 er samlet i denne rapporten. Hoveddelen av rapporten omhandler massebalanseundersøkelser. I 1996 ble vinterbalansen svært liten på alle breene i Sør-Norge. Sommerbalansen ble generelt noe over det normale og alle de målte breene i landsdelen fikk et betydelig masseunderskudd. I Nord-Norge var situasjonen mer som normalt. I 1997 ble vinterbalansen stor over hele landet med unntak av Øst-Jotunheimen. Sommerbalansen ble også stor over hele landet, og spesielt var avsmeltningen stor på breene i Jotunheimen. Resultatet ble underskudd på de aller fleste breene. Resultatet av frontmålinger i 1996 og 1997 er presentert for 18 breer. Resultater av overflate- og volumendringer er presentert for 2 breer. Et sammendrag av 4 oppdragsrapporter er også med i denne rapporten. Som vedlegg i slutten ar rapporten er det satt opp en fullstendig oversikt over alle massebalansemålinger som er utført på norske breer.

ABSTRACT

Results of glaciological investigations performed by NVE in 1996 and 1997 are presented in this report. The main part of it concerns mass balance investigations. In 1996, the winter balance was extremely low for most glaciers in southern Norway, and the summer balance was above average so all glaciers in this part of the country had a considerably deficit. The situation in northern Norway was more normal. In 1997, the winter balance was high all over the country, with exception of East-Jotunheimen. The summer balance was high for all glaciers, particularly in Jotunheimen., which resulted in a deficit for the most of the glaciers. Front position measurements in 1996 and 1997 are presented for 19 glaciers. Results of change in surface topography and ice volume are presented for 2 glaciers. Abstracts from 4 contract reports are also included in this report. The results are presented in tables and diagrams, which all have extended English captions. There is also an English Summary after each chapter. Finally, as an appendix, there is a complete overview over all mass balance measurements performed at Norwegian glaciers.

EMNEORD /SUBJECT TERMS
Glasiologi/Glaciology
Massebalanse/Mass balance
Brehydrologi/Glacier hydrology
Frontposisjon/Front position
Brebevegelse/Ice motion

ANSVARLIG UNDERSKRIFT

Kjell Repp
avd.direktør

FORORD

Foreliggende rapport er en ny utgave i serien «Glasiologiske undersøkelser i Norge» som har utkommet hvert år siden 1963. De siste årene har to års målinger vært samlet i én rapport.

Denne publikasjonen er utarbeidet på grunnlag av en rekke notater og rapporter om forskjellige undersøkelser på de enkelte breene. Massebalansemålinger, brefrontmålinger og flere andre glasiologiske undersøkelser blir presentert.

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

Hensikten med denne rapporten er å gi en presentasjon av de undersøkelser og beregninger som Hydrologisk avdeling, seksjon bre og snø har utført i 1996 og 1997. Det er forsøkt å få innholdet så ensartet som mulig, til tross for de forskjellige bidragenes ulike utseende. 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 med hovedvekt på den engelske teksten. Evy M. Vollmo har renskrevet deler av teksten sammen med Bjarne Kjøllmoen som også har vært fagredaktør med ansvar for redigering og layout.

Oslo, august 1998

Erik Roland

Erik Roland
seksjonssjef

INNHOLDSFORTEGNELSE

		Side
1.	MASSEBALANSEMÅLINGER I NORGE 1996-97	7
1.1	Metode	7
1.2	Måleprogram	7
1.3	Værforhold og resultater	8
1.4	English summary	11
2.	ÅLFOTBREEN (086.6C1B)	13
2.1	Massebalanse 1996	13
2.2	Massebalanse 1997	15
2.3	Hansebreen	18
2.4	Nytt brekart	22
2.5	English summary	23
3.	FOLGEFONNA (042.Z)	25
3.1	Kartlegging av bunntopografi på Svelgjabreen	25
3.2	English summary	26
4.	JOSTEFONN (078.5Z)	28
4.1	Massebalanse 1996	29
4.2	Massebalanse 1997	31
4.3	Volumendringer 1966-93	33
4.4	English summary	34
5.	BRIKSDALSBREEN (088.1C)	36
5.1	Bredynamikk	37
5.2	English summary	39
6.	NIGARDSBREEN (076.EZ)	40
6.1	Massebalanse 1996	40
6.2	Massebalanse 1997	42
6.3	Frontposisjon	45
6.4	Meteorologiske målinger	46
6.5	English summary	47
7.	TUNSBERGDALSBREEN (076.BC)	49
7.1	Massebalanse 1996 og 1997	49
7.2	English summary	50
8.	AUSTDALSBREEN (076.H)	51
8.1	Massebalanse 1996	51
8.2	Massebalanse 1997	54
8.3	Frontposisjonendring	56
8.4	Brerørsle	58
8.5	English summary	59
9.	HARDANGERJØKULEN (050.4C1Z)	61
9.1	Massebalanse 1996	61
9.2	Massebalanse 1997	63
9.3	English summary	68
10.	HARBARDSBREEN (075.Z)	69
10.1	Massebalanse 1997	69
10.2	Meteorologiske målinger	72
10.3	Bredemt sjø	73
10.4	Volumendringer 1966-96	74
10.5	English summary	74

11. STORBREEN (002.DHBBZ) 76
11.1 Massebalanse 1996 76
11.2 Massebalanse 1997 78
11.3 English summary 80

12. HELLSTUGUBREEN (002.DHBAZ) 82
12.1 Massebalanse 1996 82
12.2 Massebalanse 1997 84
12.3 English summary 86

13. GRÅSUBREEN (002.DGDC) 88
13.1 Massebalanse 1996 88
13.2 Massebalanse 1997 90
13.3 English summary 92

14. AUSTRE OKSTINDBRE (155.4G) 95
14.1 Massebalanse 1996 95
14.2 Massebalanse 1997 97
14.3 En sammenligning mellom Austre Okstindbre og Engabreen 98
14.4 English summary 100

15. SVARTISHEIBREEN (159.33A) 102
15.1 Breovervåking 1996 og 1997 102
15.2 English summary 104

16. ENGABREEN (159.81) 106
14.1 Massebalanse 1996 106
14.2 Massebalanse 1997 109
14.3 Variasjoner i brefronten 113
14.4 English summary 114

17. LANGFJORDJØKELEN (211.33A) 116
17.1 Massebalanse 1996 117
17.2 Massebalanse 1997 119
17.3 Meteorologiske målinger 122
17.4 English summary 122

18. REGIONAL BREOVERVÅKING I SØR-NORGE 1997 124
18.1 Innledning 124
18.2 Resultater 124
18.3 English summary 125

19. FRONTPOSISJONENDRINGER 128
19.1 Historikk 129
19.2 Metode 129
19.3 Resultater 130
19.4 English summary 131

20. REFERANSER 133

VEDLEGG
A: Publlikasjoner/rapporter/artikler 1996 og 1997
B: Samlet oversikt over massebalansemålinger utført på norske breer

1 MASSEBALANSEMÅLINGER I NORGE 1996 OG 1997

1.1 METODE

Metodikken for massebalansemålingene er stort sett den samme som tidligere år (Østrem & Brugman, 1991). På grunn av lange måleserier og økende detaljkunnskap er omfanget av målingene blitt noe redusert de siste seks-sju årene uten at det har 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 kjenne 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 gjenværende snøen er erfaringsmessig antatt å være 0.6 g/cm^3 Etter spesielt kjølige somrer eller etter somrer med mye gjenliggende snø er tettheten på den gjenværende snøen blitt målt under minimumsmålingene om høsten.

Som hovedregel er massebalansen 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. For noen breer er resultatet i tillegg beregnet med en datovariabel metode, kalt «floating-date method». Her er det breens nettobalanse mellom tidspunktene for to suksessive høstmålinger som blir beregnet. Denne metoden gir breens endring fra ett års høstmåling til neste års. Dette betyr at nysnø som kommer før målingene på høsten blir medregnet i årets sommerbalanse og trukket fra neste års vinterbalanse. Resultater fra den datovariable metoden er nyttige ved modellering av massebalansen. Forskjellen på resultatene målt etter disse to metodene er som regel liten og mindre enn usikkerheten i de beregnede resultatene.

1.2 MÅLEPROGRAM

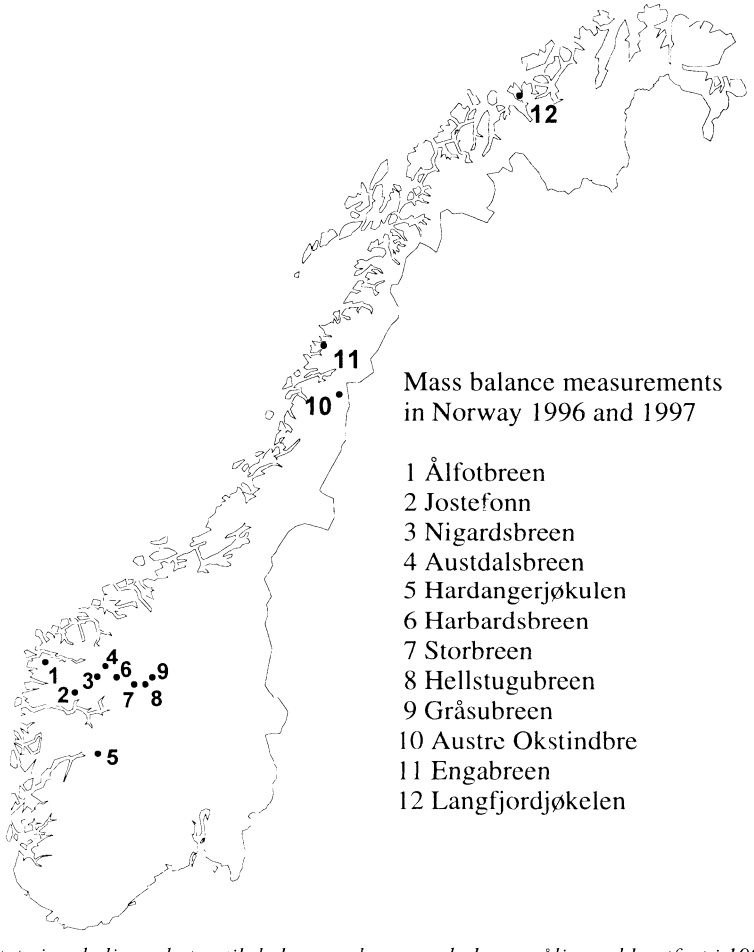
I 1996 ble det målt massebalanse på 11 breer i Norge – åtte i Sør-Norge og tre i Nord-Norge. I 1997 fortsatte målingene på de samme åtte breene i Sør-Norge, og i tillegg ble det igangsatt nye målinger på en bre i Breheimen. I Nord-Norge ble det målt på tre breer i 1997 (kun akkumulasjon på én av dem). Breene i Sør-Norge utgjør et vest-øst tverrsnitt av landsdelen - fra den svært maritime Ålfotbreen i vest med en gjennomsnittsakkumulasjon på ca 3.7 m vannekvivalenter, til den kontinentale Gråsubreen i Øst-Jotunheimen der gjennomsnittsakkumulasjonen er bare ca 0.8 meter. Seks av breene i Sør-Norge har en måleserie på 35 år eller mer. Lengst måleserie har Storbreen med 49 år. Den lengste måleserien i Nord-Norge har Engabreen som er målt siden 1970. De undersøkte breenes beliggenhet er vist i figur 1-1.

Idet etterfølgende refereres samtlige massebalansemålinger på norske breer i 1996 og 1997. Vassdragsnummeret ifølge NVEs vassdragsregister REGINE er oppgitt for hver bre både i innholdsfortegnelsen og i hver kapitteloverskrift.

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 massebalanseresultater presentert i et histogram.

Det ble dessuten utført frontmålinger på flere norske breer i 1997. En del av disse målingene har kontinuitet helt tilbake til siste århundreskifte. Foruten at de er presentert i et eget kapittel, er frontmålingene også presentert for hver bre innen det respektive kapittel.



Figur 1-1 *Kartet viser beliggenheten til de breene der massebalansemålinger ble utført i 1996 og 1997.*

Location map showing where mass balance investigations were performed in 1996 and 1997.

1.3 VÆRFORHOLD OG RESULTATER

Året 1996

I Sør-Norge ble vinteren 1995-96 svært nedbørfattig. I enkelte breområder i Jotunheimen og Indre Sogn var månedsnedbøren i november og desember bare 25% av normalen, mens flere steder på Vestlandet hadde omtrent ikke nedbør i januar og mars. Totalt sett ble vinteren 1995-96 den snøfattigste i Sør-Norge siden 1920-21.

I Nord-Norge ble vinteren sett under ett mer som normal. I Svartisenområdet var det mindre nedbør enn normalt i januar og mars, mer enn normalt i april og omtrent som normalt de øvrige månedene. I Vest-Finnmark var det mer nedbør enn normalt før jul, og omtrent som normalt etter jul.

Vinteren 1995-96 resulterte dermed i bunnrekorder på seks av ni breer i Sør-Norge, hvorav fire har målinger helt tilbake til 1963 eller lengre. Verken på Ålfotbreen, Nigardsbreen, Hardangerjøkulen eller Storbreen er det målt mindre vinterbalanse siden målingene startet. Målingene i 1996 utgjør rundt 50 % av middelverdiene i Sør-Norge, og prosentvis hadde Hardangerjøkulen minst med 46 % av normalen. I Nord-Norge ble vinterbalansen omtrent som normalt.

I Sør-Norge var sommertemperaturen totalt sett omtrent som normalt i 1996. Juni og juli var kaldere enn normalt, mens august var betydelig varmere enn normalt. Store deler av Vestlandet fikk den tredje varmeste augustmåned siden 1835. I september var temperaturen omtrent som normalen.

I Nord-Norge var det også kaldere enn normalt i juni og juli bortsett fra Vest-Finnmark.
På enkelte steder i Nordland var augustmåned den varmeste siden 1969, og Bodø hadde den femte varmeste siden 1868. Også Vest-Finnmark hadde varmere august enn normalt, mens september var omtrent som normalt i hele Nord-Norge.

I Sør-Norge varierte sommerbalansen mellom 95 og 113 % av normalen, mens breene i Nord-Norge hadde sommerbalanse mellom 90 og 97 %.

Den snøfattige vinteren i Sør-Norge førte til underskudd på alle de målte breene. På Ålfotbreen (og Hansebreen), og Nigardsbreen er dette det første året siden 1988 med negativ massebalanse. I Nord-Norge ble det negativ balanse på Austre Okstindbre og positiv balanse på Engabreen, mens Langfjordjøkelen var omtrent i likevekt.

Glacier	Period	Area	b_w	% of average	b_s	% of average	b_n	b_n middle	ELA
Ålfotbreen	1963-96	4.8	1.83	49	-3.71	112	-1.88	0.45	>1380
Hansebreen	1986-96	3.3	1.74	47	-3.76	107	-2.02	0.18	>1320
Jostefonn	1996	3.8	1.19	-	-2.81	-	-1.62		>1615
Nigardsbreen	1962-96	47.8	1.40	58	-1.81	95	-0.41	0.50	1660
Austdalsbreen[1)]	1988-96	11.8	1.20	47	-2.27	110	-1.07	0.47	1565
Hardangerjøkulen	1963-96	17.1	0.99	46	-2.10	111	-1.11	0.23	>1860
Storbreen	1949-96	5.3	0.81	56	-1.84	112	-1.03	-0.19	1890
Hellstugubreen	1962-96	3.0	0.65	57	-1.39	102	-0.74	-0.22	1955
Gråsubreen	1962-96	2.2	0.53	67	-0.98	97	-0.45	-0.22	2205
Austre Okstindbre[2)]	1987-96	14.0	1.62	69	-1.92	90	-0.30	0.20	1330
Engabreen	1970-96	38.0	2.97	99	-2.14	97	0.83	0.79	970
Langfjordjøkelen	1989-96	3.7	2.25	97	-2.23	94	-0.02	-0.07	680

[1)] 0.22 m w.eqv. of b_s is calving
[2)] Carried out of University in Århus, Denmark

Tabell 1-1 *Resultater fra massebalansemålingene i Norge 1996. Breene i Sør-Norge er ordnet fra vest mot øst (økende kontinentalitet).*

Review of the results from mass balance measurements performed in Norway 1996. The glaciers in southern Norway are listed from west to east.

Resultater av massebalansemålinger i Norge 1996 er vist i tabell 1-1, der b_w, b_s og b_n er hhv vinterbalanse, sommerbalanse og nettobalanse målt i meter vann jevnt fordelt på hele breens overflate. % av middel er årets resultat i prosent av middelverdien for de foregående årene det er gjort målinger. Nettobalansen sammenlignes med midlere nettobalanse på samme måte. ELA er likevektslinjens høyde over havet.

Året 1997

I Sør-Norge var høstmånedene i 1996 preget av en tørr værtype. Områdene nord for Sognefjorden hadde prosentvis minst nedbør med rundt 75 % av normalen for oktober, november og desember. Spesielt lite nedbør kom det i desember med rundt 25 % av månedsnormalen. I fjellområdene i Jotunheimen kom det også mindre nedbør enn normalt, dog prosentvis litt mer enn på Vestlandet. Når så januar ikke bød på mer nedbør enn 25 % av normalen i Jotunheimen og i underkant av 100 % på Vestlandet, lå det an til nok en sesong med liten vinterbalanse på breene. Men slik ble det ikke. Væromslaget kom i februar med månedsnedbør rundt 200 % av normalen i fjellområdene i Sør-Norge. Fortsettelsen ble enda mer nedbørrik og for områdene rundt Jostedalsbreen kulminerte det i april med en månedsnedbør opp mot 500-600 % av normalen. I Jotunheimen ble nedbørforholdene på slutten av vinteren mer som normalt.

I Nord-Norge var førjulsvinteren omtrent som normalt i Vest-Finnmark og Nordland. Fortsettelsen ble mer nedbørrik med 200-250 % av månedsnormalen i januar, omtrent som normalt i februar og opp mot 200 % i mars og april.

Denne noe spesielle vinteren i Sør-Norge med svært lite nedbør på høsten, men desto mer i februar, mars og april, resulterte i en vinterbalanse godt over gjennomsnittet for breene på Vestlandet. For breene i Jotunheimen ble resultatet over gjennomsnittet i vest og under i øst. Særlig mye hadde Hardangerjøkulen med 140 % av gjennomsnittet for perioden 1963-96, mens Gråsubreen hadde prosentvis minst med 90 %. I Nord-Norge resulterte den nedbørrike etterjulsvinteren til en vinterbalanse godt over det normale. Engabreen hadde den nest største vinterbalansen siden målingene startet i 1970 med 148 % av gjennomsnittet.

Sommeren 1997 var totalt sett varmere enn normalt over hele landet. I Sør-Norge var juli og spesielt august varm med opp til 4 °C høyere middeltemperatur enn normalt. Juni og september var litt varmere enn normalt, og hele sommersesongen (mai-september) er den varmeste i Sør-Norge siden 1947. I Nord-Norge var temperaturen i juni og juli omtrent som normalt i Vest-Finnmark, og varmere enn normalt i Nordland. August var rundt 2 °C varmere enn normalt over hele landsdelen.

I Sør-Norge førte den rekordvarme sommeren til en sommerbalanse langt over det normale på breene både på Vestlandet og i Jotunheimen. Særlig stor avsmelting var det i Jotunheimen der det ble ny rekord på alle de tre målte breene. Prosentvis mest ble det på Gråsubreen med hele 237 % av gjennomsnittet, mens Hellstugubreen og Storbreen fikk hhv 202 og 170 %. For Hardangerjøkulen ble det også ny rekord med en sommerbalanse på -3.41 m vannekvivalenter eller 179 % av gjennomsnittet. I Nord-Norge ble sommerbalansen 146 % av gjennomsnittet på Engabreen, mens resultatet for Langfjordjøkelen ble 142 % som er den største sommerbalansen siden målingene startet i 1989.

Selv om vinteren var forholdsvis snørik, ble det et klart underskudd på de aller fleste breene i Sør-Norge på grunn av den svært varme sommeren. Breene i Jotunheimen fikk det største underskuddet, og på Gråsubreen (-1.70 m) og Hellstugubreen (-1.65 m) er det ikke målt så negativ nettobalanse siden målingene startet i 1962.

Resultater av massebalansemålingene i Norge 1997 er vist i tabell 1-2, der b_w, b_s og b_n er hhv vinterbalanse, sommerbalanse og nettobalanse målt i meter vann jevnt fordelt på hele breens overflate. % av middel er 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.

Glacier	Period	Area	b_w	% of average	b_s	% of average	b_n	b_n middle	ELA
Ålfotbreen	1963-97	4.4	4.22	114	-4.14	124	0.08	0.38	1200
Hansebreen	1986-97	2.9	3.77	107	-3.92	111	-0.15	-0.02	1160
Jostefonn	1996-97	3.8	3.45	-	-3.87	-	-0.42		1400
Nigardsbreen	1962-97	47.8	2.66	112	-2.62	137	0.04	0.47	1500
Austdalsbreen[1)]	1988-97	11.8	2.67	112	-3.20	153	-0.53	0.30	1450
Hardangerjøkulen	1963-97	17.2	2.94	140	-3.41	179	-0.47	0.19	1700
Harbardsbreen	1997	13.2	2.17	-	-2.72	-	-0.55		
Storbreen	1949-97	5.3	1.75	122	-2.78	170	-1.03	-0.19	1875
Hellstugubreen	1962-97	3.0	1.12	99	-2.77	204	-1.65	-0.24	2200
Gråsubreen	1962-97	2.2	0.70	90	-2.39	237	-1.69	-0.22	>2290
Austre Okstindbre[2)]	1987-97	14.0	2.60	115					
Engabreen	1970-97	38.0	4.44	148	-3.22	146	1.22	0.79	1010
Langfjordjøkelen	1989-97	3.7	2.65	115	-3.34	142	-0.69	-0.06	820

[1)] 0.29 m w.eqv. of b_s is calving
[2)] Carried out of University in Århus, only accumulation measured

Tabell 1-2 *Resultater fra massebalansemålingene i Norge 1997. Breene i Sør-Norge er ordnet fra vest mot øst (økende kontinentalitet).*

Review of the results from mass balance measurements performed in Norway 1996. The glaciers in southern Norway are listed from west to east.

1.4 ENGLISH SUMMARY

Methods

The methods used to measure mass balance are the same as in previous years. With the experience gained from many years of measurements, we have been able to reduce the measurement network on individual glaciers over the past six-seven years, without affecting the accuracy of the resultant balance calculations.

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 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 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 is accumulated during the winter. Above the equilibrium line, in the accumulation area, the net balance is always positive. Snow density of the remaining snow in the accumulation area is typically assumed to be 0.6 g/cm^3, based on past experience, but snow density is measured using snow-cores after especially cold summers, or if there is unusually much snow remaining at the end of a summer.

As a rule, 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). This is in contrast to the floating-date method, employed on certain glaciers with large elevation differences. In this method, the net balance is calculated between the surfaces at two successive autumn measurements. Snow which comes after the melt season is over, but before measurements are made, is taken to be part of the summer balance, and is therefore subtracted from the following winter balance.

Mass balance program

Mass balance measurements were performed on eleven glaciers in Norway in 1996 and 97. In southern Norway six of the glaciers have been measured for 35 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 its 49 years of measurements, while Engabreen has the longest series (28 years) in northern Norway. The location of the investigated glaciers is shown on the map in Figure 1-1.

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

Weather conditions and mass balance results

- The balance year 1995-96

In southern Norway, the winter 1995/96 was the driest since 1920/21 and all months in the winter season had less precipitation than normal. November and December was the relatively driest months with only ca. 25 % of normal precipitation. Thus, winter balance was the lowest ever measured for six of totally nine glaciers in southern Norway. The winter was about normal in northern Norway.

The beginning of the summer (June and July) was colder than normal all over the country, while August was considerably warmer. Summer balance, accordingly, was mainly higher than average in southern Norway and lower than average in northern Norway.

The net balance turned out to be negative for all glaciers, except for Engabreen in northern Norway. 1996 was the first year since 1988 when Ålfotbreen and Nigardsbreen experienced negative mass balance. A summary of all mass balance results from 1996 is shown in Table 1-1.

- The balance year 1996-97

In southern Norway, the beginning of the winter from October through January was very dry with 25-75 % of normal precipitation, while the rest of the winter was characterised of heavy precipitation (200-500 %). The very dry autumn season was compensated by heavy accumulation in the subsequent winter months, and the result was a winter balance above average for most of the glaciers in southern Norway. In northern Norway, winter accumulation was normal in the autumn months and considerably above average in the subsequent winter months.

The summer 1997 was dry and warm over the whole country. In southern Norway, all summer months (June through September) were warmer than normal and, in general, the summer was the warmest since 1947. In August, the temperature was 4 °C warmer than normal. Summer balance was therefor extremely high for all glaciers, particularly in Jotunheimen (170-237 %).

Net balance was negative at nine of the glaciers, about zero at two and positive at one glacier. A summary of the mass balance results from 1997 is shown in Table 1-2.

2 ÅLFOTBREEN (086.6C1B) Nils Haakensen

Ålfotbreen og Hansebreen er to nordlige utløpere fra platåbreen Ålfotbreen. Avløpet fra den utløperen som kalles Ålfotbreen (4,4 km^2), er overført til Åskåravann som er magasin for Åskåra kraftverk. Hansebreen (2,9 km^2) er nabobreen mot øst og drenerer naturlig til Åskåravann.

Massebalansemålingene på den vestre delen (kalt Ålfotbreen) har pågått siden 1963. Det ble imidlertid tidlig klart at en relativt stor del av snøakkumulasjonen der skyldes vindtransport fra syd og vest. 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 viser helt klart at forskjellen 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 alle årene det har vært parallelle målinger på de to nabobreene (Haakensen 1997).

I 1996 ble det utgitt et nytt brekart over Ålfotbreen. Dette kartet er basert på flybilder som er tatt i 1988 – et år da breen var mye avsmeltet. Arealet i hvert enkelt høydenivå for de to breene er beregnet på nytt. Arealene avviker noe fra det gamle kartet fra 1968. Beregningene av massebalansen for 1996 er basert på arealfordelingen på kartet fra 1968, mens beregningene for 1997 er basert på kartet fra 1988 (se tabell 2-5). Begge breene har et vesentlig mindre areal på det nye kartet, men arealfordelingen er svært lik. Derfor kan spesifikk massebalanse sammenlignes med tidligere år, mens volumverdiene ikke er helt sammenlignbare.

I 1996 hadde begge breene underskudd for første gang siden 1988. Dette skyldes i første rekke uvanlig liten vinterbalanse - den minste som har vært målt. Sommerbalansen var omtrent som i et gjennomsnittsår. I 1997 var både vinter- og sommerbalanse større enn i et gjennomsnittsår på begge breene. Resultatet ble at begge breene kom ut med en nettobalanse som var svært nær likevekt.

2.1 MASSEBALANSE 1996

Feltarbeid

Årets akkumulasjonsmålinger ble utført den 1. og 2. mai. Det var bare kommet rundt én meter sne siden nyttår - litt mer på toppen, og det er uvanlig lite. Tårnet på toppen (1380 moh.) og to staker på hhv. 1130 m og 950 moh. hadde overlevet på Ålfotbreen og alle tre stakene (1075 m, 1140 m og 1140 moh.) på Hansebreen.

Sommeroverflaten var relativt enkel å identifisere ved sondering. Bare på toppen var enkelte sonderinger noe usikre. Det overvintrede tårnet var derfor nyttig. Det ble gjort ca. 100 sonderinger av snødypet på Ålfotbreen og ca. 75 på Hansebreen. Snødypet varierte fra vel fire meter øverst, jevnt avtagende nedover til rundt tre meter nederst på begge de to breene. Helt nederst på Ålfotbreen var snødypet tillike under 3 meter.

Tetthetsprøve av hele snøpakken ble tatt i 1200 m nivå på Ålfotbreen der snødypet var 3,5 meter. Middeltettheten var 0,48 g/cm^3. Denne tettheten ble ansett som representativ for samtlige snedypmålinger på begge breene.

Minimumsmålingene ble gjort den 23. september. Den varme ettersommeren hadde avstedkommet stor avsmelting. Siden slutten av juli hadde det smeltet rundt 4 m is nederst på breen, og tårnet på toppen (1380 moh.) hadde smeltet ut ytterligere 3 meter. Det var ingenting igjen av årets snø. Selv på toppen var det smeltet rundt 1,5 m firn. Det er ikke regnet med smelting av betydning etter at minimumsmålingene ble gjort.

Resultater

Vinterbalansen på Ålfotbreen i 1996 ble beregnet til 1,83 m vannekvivalenter. Dette tilsvarer 8,8 mill.m^3 vann. Resultatet er bare 49 % av middelverdien for måleperioden 1963-96. Sammenlignet med perioden 1989-95 er årets resultat helt nede i 37 % av middel. Årets vinterbalanse er suverent den minste som har vært registrert i løpet av måleperioden på 34 år. Tidligere minsteverdi var 2,33 m i 1977 og 2,35 m i 1986.

Sommerens første del var kald. Smeltingen kom derfor sent i gang, men august og delvis september var svært varm. Dette gav en sommerbalanse på 3,71 m vannekvivalenter eller 17,8 mill. m^3 vann. Dette er 112 % av midlere sommerbalanse i måleperioden. Nettobalansen på Ålfotbreen ble dermed regnet ut til -9,1 mill.m^3 vann eller -1,88 m vannekvivalenter. Det vil si at breen gav en ekstra avrenning som var større enn hele vinterbalansen. Midlere nettobalanse for hele måleperioden 1963-95 er +0,45 meter. På Ålfotbreen har det ikke vært målt underskudd siden 1988. Årets underskudd har bare vært underskredet to ganger tidligere med hhv. -2,17 m i 1969 og -2,48 m i 1988.

Tabell 2-1 viser massebalansen på Ålfotbreen og den viser at det var masseunderskudd i alle høydenivåer varierende fra ca. 4½ m vannekvivalenter nederst til ca 1 m øverst på breen. Dette innebærer at likevektslinjen lå over breens høyeste punkt. Massebalansediagrammet for breen er vist i figur 2-1.

Mass balance Ålfotbreen1995/96 – traditional method

Altitude (m a.s.l.)	Area (km^2)	Winter balance Measured Nov 4 1995 Specific (m w.eq.)	Winter balance Volume (10^6 m^3)	Summer balance Measured Sep 23 1996 Specific (m w.eq.)	Summer balance Volume (10^6 m^3)	Net balance Summer surfaces 1995 - 1996 Specific (m w.eq.)	Net balance Volume (10^6 m^3)
1350 - 1378	0,274	2,02	0,55	-2,95	-0,81	-0,93	-0,25
1300 - 1350	1,015	2,09	2,12	-2,98	-3,02	-0,89	-0,90
1250 - 1300	0,811	1,95	1,58	-3,15	-2,55	-1,20	-0,97
1200 - 1250	0,765	1,84	1,41	-3,42	-2,62	-1,58	-1,21
1150 - 1200	0,649	1,75	1,14	-3,80	-2,47	-2,05	-1,33
1100 - 1150	0,553	1,69	0,93	-4,38	-2,42	-2,69	-1,49
1050 - 1100	0,356	1,55	0,55	-5,03	-1,79	-3,48	-1,24
1000 - 1050	0,216	1,34	0,29	-5,40	-1,17	-4,06	-0,88
950 - 1000	0,125	1,40	0,18	-5,65	-0,71	-4,25	-0,53
900 - 950	0,047	1,32	0,06	-5,82	-0,27	-4,50	-0,21
870 - 900	0,004	1,45	0,01	-5,95	-0,02	-4,50	-0,02

Total area 4,82

Total for whole glacier between summer surfaces 1995 - 1996

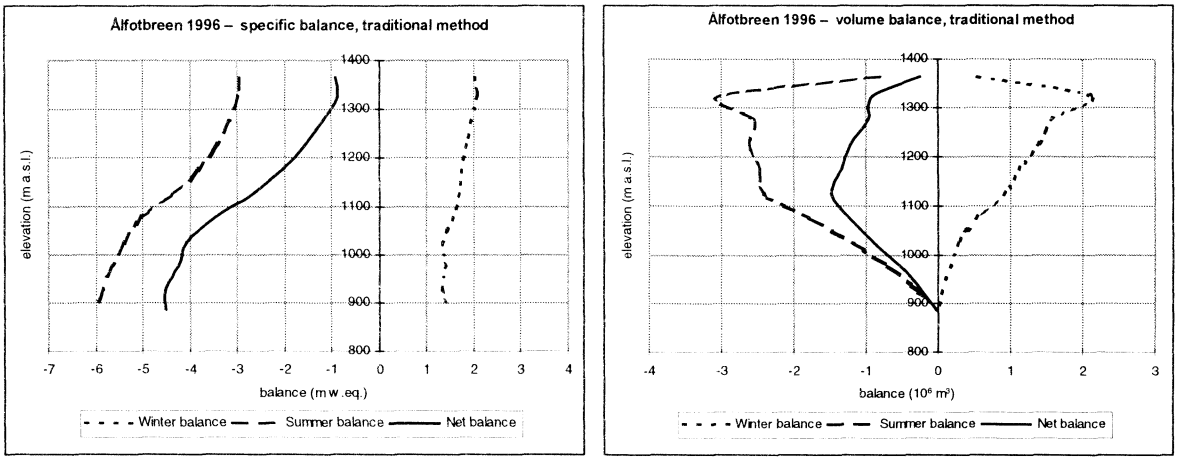
	Winter bal.	Summer bal.	Net bal.
volume (10^6 m^3)	**8,82**	**-17,85**	**-9,03**
specific (m)	**1,83**	**-3,71**	**-1,88**

Tabell 2-1 *Vinter-, sommer- og nettobalansen for Ålfotbreen 1996 for hvert 50 m høydeintervall samt arealfordeling for disse.*

Winter, summer and net balance and area distribution for 50 m height intervals for Ålfotbreen 1996.

Året 1996 var det 34. året i rekken med massebalansemålinger på Ålfotbreen. Av disse har 13 år hatt underskudd. I løpet av perioden har breen hatt et samlet overskudd på ca. 63 mill.m^3 vann eller 13 m vannekvivalenter. Det meste av overskuddet er kommet i løpet av de siste ti årene. Ålfotbreen er en av

de mest maritime breene i Norge, og massebalansen vil derfor i meget stor grad avhenge av vinterbalansen.



Figur 2- 1 *Massebalansediagram for Ålfotbreen 1996 (spesifikk balanse til venstre og volumbalanse til høyre) som viser variasjonen av vinter-, sommer og nettobalansen med høyden. Nettobalansekurven viser negative verdier for hele breen. Følgelig ligger likevektslinjen over breens høyeste punkt.*

Mass balance diagram for Ålfotbreen 1996 showing winter, summer and net balance in various height intervals. The left figure indicates specific values, the right one volume values. The net balance was negative all over the glacier mainly due to an extraordinary low winter balance. Accordingly, ELA was higher than 1380 m a.s.l. and AAR was 0 %. 1996 was the first negative year since 1988.

2.2 MASSEBALANSE 1997

Feltarbeid

Årets akkumulasjonsmålinger ble utført den 27.-29. april. Det var da kommet 4-5½ m snø siden 1. februar, og alle stakene var vekk. Ti nye staker ble satt ut.

Sommeroverflaten var relativt enkel å identifisere ved sondering under 1200 moh. På breens øvre del var det mer usikkert. Et islag ble identifisert, og målinger på staker som smeltet frem i løpet av sommeren, bekreftet sonderingene. Det ble gjort 136 sonderinger av snødypet på Ålfotbreen og 66 på Hansebreen. Snødypet varierte fra nesten 10 meter øverst på Ålfotbreen, jevnt avtagende nedover til 6-7 meter nederst. På Hansebreen varierte snødypet fra vel 9 meter øverst til vel 6 meter på breens midtre og nedre del.

Tetthetsprøve av hele snøpakken ble tatt i 1210 moh. midt på Ålfotbreen der snødypet var ca. 7,0 meter. Middeltettheten var 0,47 g/cm^3. Dette er lavere tetthet enn vanlig, og endog lavere enn foregående år da snødypet bare var halvparten. Den lave tettheten forklares med at rundt 60 % av snøen kom etter 1.februar, og var derfor nyere og mindre omvandlet enn normalt. Denne tetthetsprofilen ble ansett som representativ for samtlige snødypmålinger på begge breene.

Minimumsmålingene ble gjort den 20. november. Til sammen 18 staker ble funnet og målt. Den varme augustmåneden hadde avstedkommet svært stor avsmelting, og smeltingen fortsatte langt inn i september. Siden den 8. august hadde det smeltet over 3,5 meter is nederst på breen (950 moh.), mens tårnet på toppen (1380 moh.) var smeltet ut ytterligere 3,5 meter. På toppen lå det igjen rundt 1 m av årets snø foruten at det var kommet 2½ m nysnø. På de andre stakene, som alle ligger 1220 moh. eller lavere, var det kommet mellom ¾ og 1¼ meter med nysnø.

Resultater

Vinterbalansen på Ålfotbreen i 1997 er beregnet til 4,22 m vannekvivalenter. Rundt 60 % av akkumulasjonen skjedde i perioden februar – april. Dette tilsvarer 18,4 mill.m^3 vann og er 114 % av middelverdien for måleperioden 1963-96. Sammenlignet med perioden 1989-96 er årets resultat 93 % av middel. Resultatet er imidlertid 2,3 ganger vinterbalansen i 1996.

Sommeren 1997 (mai-september) var blant de varmeste som har vært målt i denne delen av landet, og middeltemperaturen for perioden mai-september var rundt 1,5 °C høyere enn normalt. Spesielt var august varm og da var det en betydelig avsmeltning på breen. Mai var imidlertid kald, og på nærliggende værstasjoner ble det ved flere anledninger registrert nedbør og så lave temperaturer at nedbøren må ha falt som snø oppe på breen. Endog i midten av juni var det et kaldluftsinnbrudd med mye nedbør som høyst sannsynlig kom som snø oppe på Ålfotbreen. Denne tilleggsakkumulasjonen ble ikke registrert ved akkumulasjonsmålingene, og heller ikke smeltingen av den. Derfor ble også sommerbalansen som ble målt (netto avsmeltning i perioden mai september), mindre enn den egentlige snøsmeltingen.

Mass balance Ålfotbreen1996/97 – traditional method

Altitude (m a.s.l.)	Area (km^2)	Winter balance Measured Sep 23 1996 Specific (m w.eq.)	Winter balance Volume (10^6 m^3)	Summer balance Measured Nov 20 1997 Specific (m w.eq.)	Summer balance Volume (10^6 m^3)	Net balance Summer surfaces 1996 - 1997 Specific (m w.eq.)	Net balance Volume (10^6 m^3)
1350 - 1380	0,270	4,47	1,21	-3,80	-1,03	0,67	0,18
1300 - 1350	0,993	4,48	4,45	-3,75	-3,72	0,73	0,72
1250 - 1300	0,769	4,46	3,43	-3,90	-3,00	0,56	0,43
1200 - 1250	0,701	4,23	2,97	-4,05	-2,84	0,18	0,13
1150 - 1200	0,583	4,03	2,35	-4,20	-2,45	-0,17	-0,10
1100 - 1150	0,472	3,84	1,81	-4,60	-2,17	-0,76	-0,36
1050 - 1100	0,286	3,67	1,05	-4,85	-1,39	-1,18	-0,34
1000 - 1050	0,178	3,90	0,69	-5,05	-0,90	-1,15	-0,20
950 - 1000	0,087	4,06	0,35	-5,25	-0,46	-1,19	-0,10
890 - 950	0,019	4,20	0,08	-5,40	-0,10	-1,20	-0,02

Total area 4,36

Total for whole glacier between summer surfaces 1996 - 1997

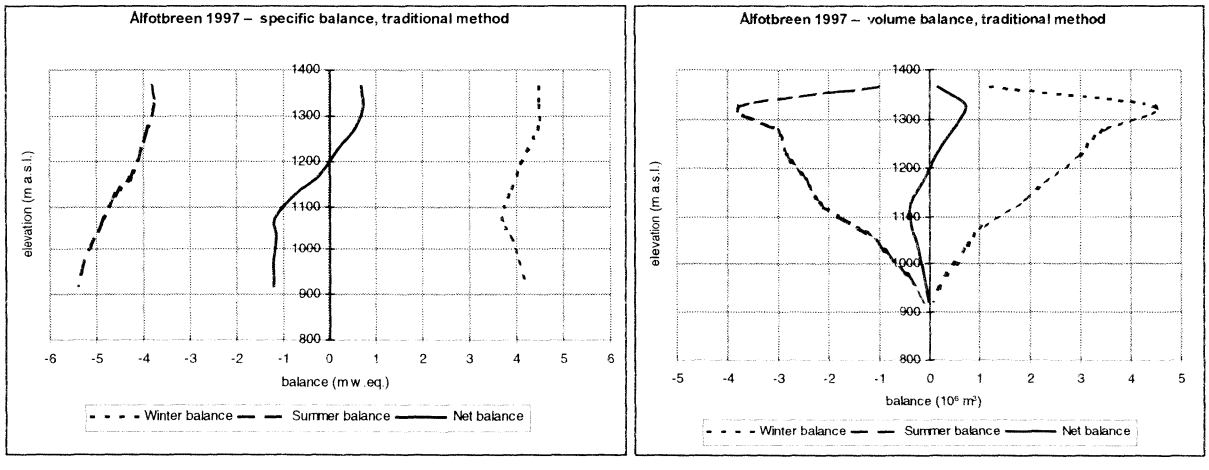
	Winter bal.	Summer bal.	Net bal.
volume (10^6 m^3)	**18,39**	**-18,05**	**0,34**
specific (m)	**4,22**	**-4,14**	**0,08**

Tabell 2-2 *Vinter-, sommer- og nettobalansen for Ålfotbreen 1997 for hvert 50 m høydeintervall samt arealfordeling for disse.*

Winter, summer and net balance and area distribution for 50 m height intervals for Ålfotbreen west 1997.

Målingene gav en sommerbalanse på 4,14 m vannekvivalenter eller 18,1 mill.m^3 vann. Dette er 12 % mer enn i 1996 og 125 % av midlere sommerbalanse i måleperioden 1963-96. Bare to ganger tidligere har det blitt målt større sommerbalanse på Ålfotbreen – i 1969 med 4,83 m og i 1988 med 5,21 m vannekvivalenter. I 1990 var den like stor som i 1997. Uten den omtalte tilleggsakkumulasjonen og med den økning i albedo som nysnø medfører, ville den målte sommerbalansen på Ålfotbreen ha vært en del større enn det som ble registrert.

Nettobalansen på Ålfotbreen ble dermed så vidt positiv og ble beregnet til 0,3 mill.m^3 vann eller 8 cm vannekvivalenter. Midlere nettobalanse for hele måleperioden 1963-95 er +0,38 meter, men for perioden 1989-96 er den +1,17 meter.

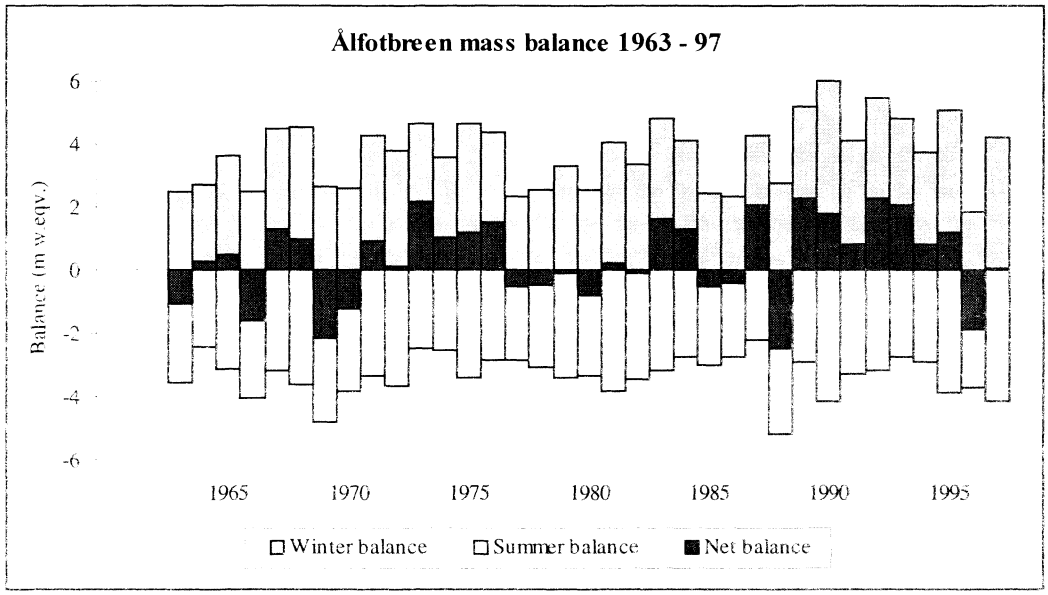


Figur 2-2 *Massebalansediagram for Ålfotbreen 1997 (spesifikk balanse til venstre og volumbalanse til høyre) som viser variasjonen av vinter-, sommer og nettobalansen med høyden. Nettobalansekurven viser viser at likevektslinjen ligger 1200 moh. Over dette nivå er breens nettobalanse positiv. AAR er 60, det vil si at akkumulasjonsområdet utgjør 60 % av breens totale areal.*

Mass balance diagram for Ålfotbreen (part of Ålfotbreen ice cap) for 1997. The left figure indicates specific values; the right indicates volume values. Both the winter balance and summer balance was considerable higher than average. The net balance was very close to average. The diagram indicates that the equilibrium line altitude is 1200 m a.s.l., which indicates that AAR was 60 %.

Massebalansens variasjon med høyden på Ålfotbreen i 1997 er presentert i tabell 2-2, og den viser at nettobalansen varierte fra et underskudd på ca 1,25 m vannekvivalenter på breens nederste del til et overskudd på nesten én meter øverst. Likevektslinjen lå 1200 moh. Massebalansediagrammet for breen er vist i figur 2-2.

Året 1997 var det 35. året i rekken med massebalansemålinger på Ålfotbreen. Av disse har bare 14 år hatt underskudd. I løpet av måleperioden har breen hatt et samlet overskudd på nesten 13 m vann jevnt fordelt over hele breens overflate. Over 9 meter av dette overskuddet er kommet etter 1988. I perioden 1988-97 har midlere nettobalanse vært +1,05 m vannekvivalenter. Ålfotbreen er en av de mest maritime breene i Norge, og massebalansen vil derfor i meget stor grad avhenge av vinterbalansen. Selv etter en så varm sommer som i 1997 viste breen overskudd pga. stor vinterbalanse. Figur 2-3 viser vinter-, sommer- og nettobalansen for Ålfotbreen i perioden 1963-97.



Figur 2-3 *Histogram som viser vinter-, sommer- og nettobalanse for Ålfotbreen i perioden 1963-97. Første halvdel av 1970-årene og årene 1989-95 skiller seg ut som to perioder med masseoverskudd med hhv. seks og syv år etter hverandre med overskudd. Den første perioden viser et samlet overskudd på ca. 7 meter, den andre på over 11 meter. De fem årene med høyest vinterbalanse har alle vært etter 1988. Masseoverskudd på Ålfotbreen skyldes primært høy vinterbalanse. Årene 1969, 1988 og 1996 skiller seg ut som store underskuddsår.*

Mass balance results measured on Ålfotbreen 1963-97. Two periods – the beginning of the 1970'ies 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 7.0 m, whereas the second one shows more than 11 m w.eqv. surplus. Net balance for the period 1963-97 is +0.38 m w.eqv., whereas it is +1.04 m w.eqv. for the period 1989-97.

2.3 HANSEBREEN

Hansebreen er trolig mer representativ for nedbøren i Ålfotbreområdet enn den brearmen som drenerer til Breelven (kalt Ålfotbreen i tidligere rapporter). Forskjellen, som skyldes vinddrift, er beskrevet av Haakensen (1997). Hansebreen viser tydelig mindre akkumulasjon, særlig i nedbørrike år. Feltarbeidet på Hansebreen utføres samtidig med arbeidet på Ålfotbreen.

Resultater 1996

Vinterbalansen på Hansebreen ble beregnet til 1,74 m vannekvivalenter (5,8 mill.m^3 vann) og det er 9 cm lavere enn på Ålfotbreen. Resultatet for 1996 er 47 % av middelverdien og den minste vinterbalansen som er målt.

Sommerbalansen var 3,76 m vannekvivalenter (12,5 mill.m^3), og det er 5 cm mer enn på Ålfotbreen. Dette er 107 % av middelverdien for måleperioden.

Nettobalansen på Hansebreen ble dermed -2,02 m vannekvivalenter (6,7 mill.m^3). Det vil si at breens underskudd ga et ekstra tilsig som var større enn årets totale vinterakkumulasjon. Middelverdien for måleperioden er +0,18 meter.

I tabell 2-3 er vist vinter-, sommer og nettobalanse i 50 m høydeintervall. Figur 2-4 viser massebalansediagram for Hansebreen. Nettobalansen var negativ i alle høydenivå. Likevektslinjens høyde var dermed over breens høyeste punkt og har derfor ingen mening.

Mass balance Hansebreen1995/96 – traditional method

Altitude (m a.s.l.)	Area (km^2)	Winter balance Measured Nov 4 1995 Specific (m w.eq.)	Winter balance Volume (10^6 m^3)	Summer balance Measured Sep 23 1996 Specific (m w.eq.)	Summer balance Volume (10^6 m^3)	Net balance Summer surfaces 1995 - 1996 Specific (m w.eq.)	Net balance Volume (10^6 m^3)
1300 - 1320	0,122	1,75	0,21	-2,92	-0,36	-1,17	-0,14
1250 - 1300	0,504	2,01	1,01	-2,92	-1,47	-0,91	-0,46
1200 - 1250	0,550	2,11	1,16	-3,00	-1,65	-0,89	-0,49
1150 - 1200	0,541	1,94	1,05	-3,25	-1,76	-1,31	-0,71
1100 - 1150	0,722	1,46	1,05	-3,80	-2,74	-2,34	-1,69
1050 - 1100	0,427	1,32	0,56	-4,80	-2,05	-3,48	-1,49
1000 - 1050	0,259	1,42	0,37	-5,25	-1,36	-3,83	-0,99
950 - 1000	0,158	1,75	0,28	-5,54	-0,88	-3,79	-0,60
925 - 950	0,040	1,85	0,07	-5,60	-0,22	-3,75	-0,15

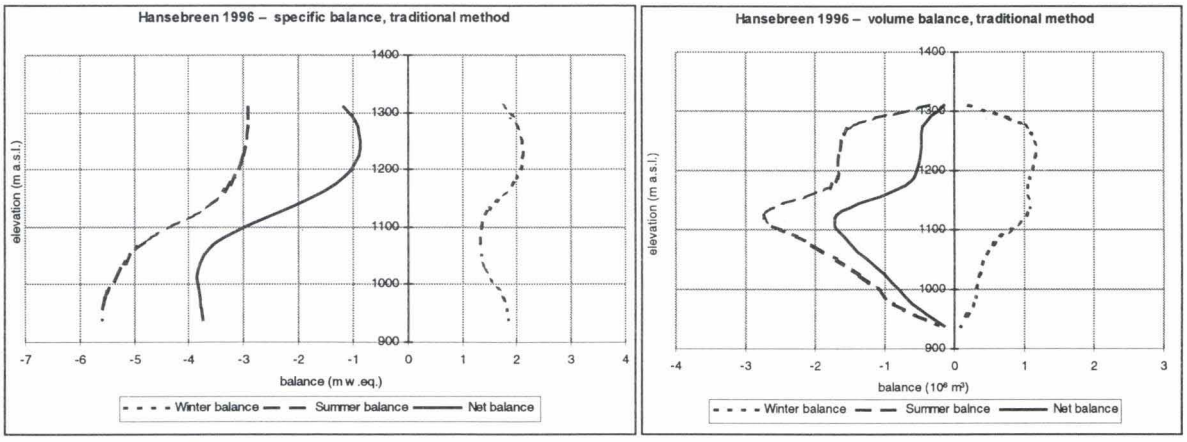
Total area 3,32

Total for whole glacier between summer surfaces 1995 - 1996

	Winter bal.	Summer bal.	Net bal.
volume (10^6 m^3)	5,77	-12,49	-6,72
specific (m)	1,74	-3,76	-2,02

Tabell 2-3 *Vinter-, sommer- og nettobalanse for Hansebreen 1996 for 50 m høydeintervall, samt arealfordeling for disse.*

Winter, summer and net balance and area distribution for 50 m height intervals for Hansebreen 1996.



Figur 2-4 *Massebalansediagram for Hansebreen 1996 (spesifikke verdier til venstre og volumverdier til høyre) som viser fordelingen av vinter-, sommer- og nettobalansen med høyden. Breen hadde negativ nettobalanse i alle høydeintervall. Likevektslinjen lå derfor over breens høyeste punkt.*

Mass balance diagrams for Hansebreen 1996 showing winter, summer and net balance in different height intervals. The left figure indicates specific balance, the right shows the volume balance. Extremely low winter balance resulted in negative net balance all over the glacier. Accordingly, ELA was higher than 1320 m a.s.l. and AAR was 0 %.

Resultater 1997

Vinterbalansen på Hansebreen ble beregnet til 3,78 m vannekvivalenter (11,0 mill.m^3 vann) og det er 0,44 m lavere enn på Ålfotbreen. Resultatet for 1997 er 108 % av middelverdien for måleperioden 1986-96, men 2,2 ganger det som ble målt i 1996.

Sommerbalansen var 3,93 m vannekvivalenter (11,4 mill m^3), og det er 111 % av middelverdien for måleperioden og 0,21 m mindre enn på Ålfotbreen.

Nettobalansen på Hansebreen ble dermed –0,15 m vannekvivalenter (6,7 mill.m^3). Middelverdien for måleperioden er –0,02 meter.

Av de tolv årene det har vært gjort målinger på Hansebreen, har bare fire av dem vist underskudd. Likevel viser breen samlet et lite underskudd i løpet av måleperioden. Dette skyldes primært de to årene 1988 og 1996 som begge hadde et underskudd på over to meter vannekvivalenter. Størst var overskuddet i 1987 og 1993. Figur 2-6 viser massebalanseresulater for Hansebreen 1986-97. Også her var det syv suksessive år med overskudd fra 1989 til 1995. Det samlede overskuddet i den perioden var bare ca. 4 m vannekvivalenter på Hansebreen, mens det på Ålfotbreen var over 11 meter.

Mass balance Hansebreen1996/97 – traditional method

		Winter balance		Summer balance		Net balance	
		Measured Sep 23 1996		Measured Nov 20 1997		Summer surfaces 1996 - 1997	
Altitude (m a.s.l.)	Area (km^2)	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	0,112	4,48	0,50	-3,70	-0,41	0,78	0,09
1250 - 1300	0,427	4,39	1,87	-3,65	-1,56	0,74	0,32
1200 - 1250	0,451	4,54	2,05	-3,78	-1,70	0,76	0,34
1150 - 1200	0,491	4,16	2,04	-3,90	-1,91	0,26	0,13
1100 - 1150	0,626	3,19	2,00	-3,92	-2,45	-0,73	-0,46
1050 - 1100	0,429	3,26	1,40	-4,05	-1,74	-0,79	-0,34
1000 - 1050	0,221	2,84	0,63	-4,20	-0,93	-1,36	-0,30
950 - 1000	0,125	3,08	0,39	-4,55	-0,57	-1,47	-0,18
930 - 950	0,024	3,90	0,09	-4,90	-0,12	-1,00	-0,02

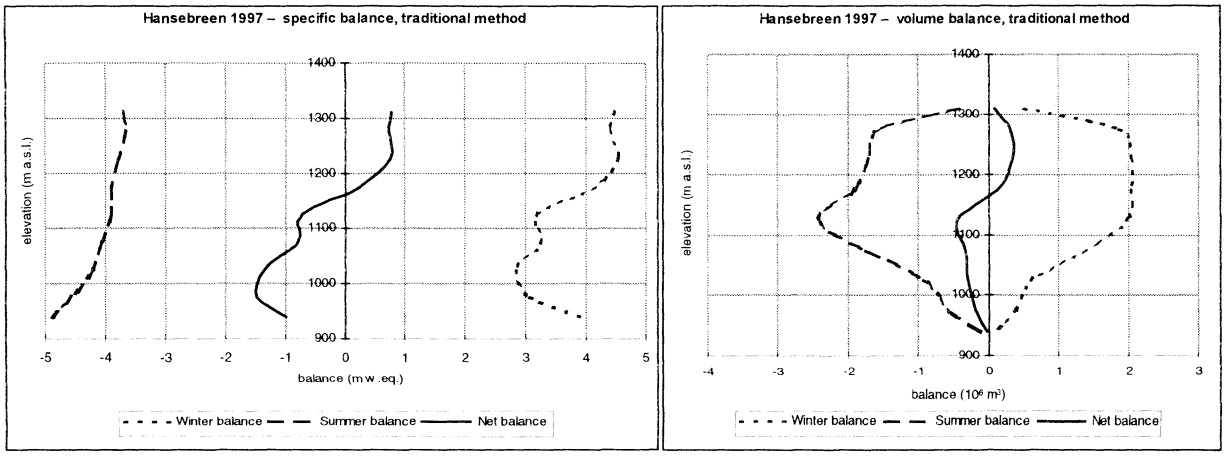
Total area 2,91

Total for whole glacier between summer surfaces 1996 - 1997

	Winter bal.	Summer bal.	Net bal.
volume (10^6 m^3)	**10,97**	**-11,40**	**-0,43**
specific (m)	**3,77**	**-3,92**	**-0,15**

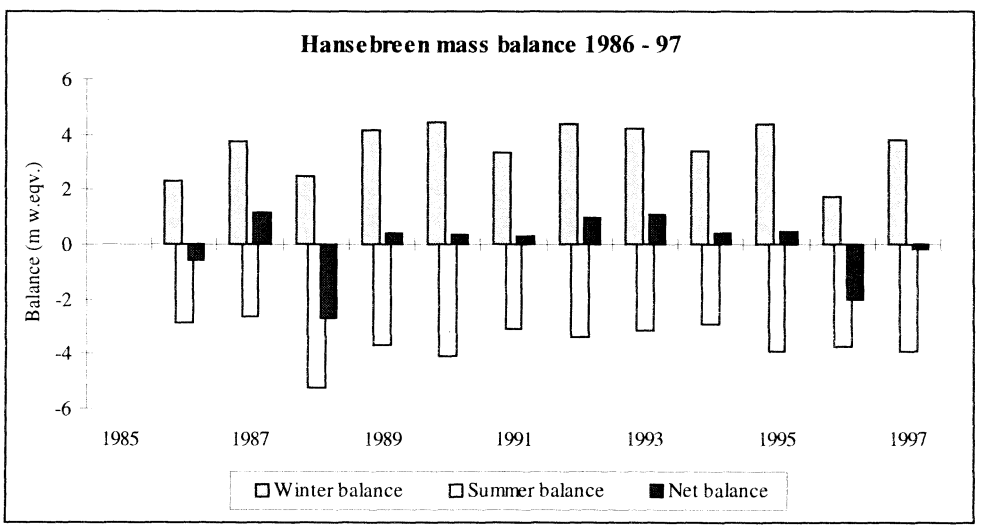
Tabell 2-4 *Vinter-, sommer- og nettobalanse for Hansebreen 1997 for 50 m høydeintervall, samt arealfordeling for disse.*

Winter, summer and net balance and area distribution for 50 m height intervals for Hansebreen 1997.



Figur 2-5 *Massebalansediagram for Hansebreen 1997 (spesifikke verdier til venstre og volumverdier til høyre) som viser fordelingen av vinter-, sommer- og nettobalansen med høyden. Nettobalansekurven viser at likevektslinjen ligger 1160 moh. Nøyaktig 50 % av breens areal ligger over dette nivå.*

Mass balance diagram for Hansebreen 1997. The left figure indicates specific values, whereas the right indicates volume values. The ELA is 1160 m a.s.l. (40 m lower than at Ålfotbreen) and AAR is exactly 50 %.



Figur 2-6 *Oversikt over massebalanseresultater på Hansebreen 1986-97. Etter 1988 har også Hansebreen øst hatt syv suksessive overskuddsår med et samlet overskudd på ca. 4 m vannekvivalenter, men overskuddet var betydelig mindre enn på Ålfotbreen (se figur 2-3) som hadde over 11 meter.*

Winter, summer and net balance measured on Hansebreen 1986-97. During the period there is only 4 negative years. The cumulative surplus is much less than at Ålfotbreen.

En må ikke uten videre sammenligne middelverdiene for Ålfotbreen og Hansebreen. Mens måleserien på Ålfotbreen omfatter 35 år, er den bare tolv år for Hansebreen. Alle de fem årene med størst vinterakkumulasjon på Ålfotbreen har vært etter 1988, og midlere vinter- og nettobalanse for årene 1986-96, som er undersøkelsesperioden for Hansebreen, er vesentlig større enn for hele perioden 1973-96. (Ved sammenligning med middelverdien er ikke det aktuelle året med i beregningen av middelverdien). For Ålfotbreen er midlere vinterbalanse for hele undersøkelsesperioden 3,70 m, mens den for perioden 1986-96 er 4,14 m vannekvivalenter. Tilsvarende er midlere nettobalanse +0,38 m for hele perioden, mens den er +0,77 m for årene 1986-96. For sommerbalansen er det ingen forskjell.

2.4 NYTT BREKART

Ålfotbreen ble flyfotografert den 7.september 1988. Dette var et år med rekordunderskudd, og det var negativ nettobalanse over hele breen. På fototidspunktet var all nysnøen smeltet, og det var ingen vanskelighet med å avgrense breens utstrekning. Dette året var derfor meget godt egnet for fotografering, og bildene er av meget god kvalitet. Bildene har en målestokk på 1:35 000.

I 1996 ble det utgitt et nytt brekart over Ålfotbreen og Hansebreen som er basert på disse bildene. Kartkonstruksjonens nøyaktighet anses som god pga. bildenes gode kvalitet. Kartet har en målestokk på 1:10 000, har en ekvidistanse på 10 meter og er trykket i fire farger. På baksiden er det trykket noen kommentarer til kartet og konstruksjonen samt et sammendrag over massebalansemålingene på Ålfotbreen 1973-95.

Det har vist seg at punktgrunnlaget for 1968-konstruksjonen ikke var god nok. Derfor er det visse feil i kartets koter og høydeangivelser. For å kunne beregne breens volumforandring i perioden 1968-88 ble det derfor foretatt en nykonstruksjon av kartet fra 1968 basert på de samme bildene, men med korrigerte koordinater for passpunktene. Identiske koordinater ble brukt ved konstruksjon av det nye brekartet (flybilder fra 1988).

Arealfordelingen for Ålfotbreen og Hansebreen er beregnet ut fra det nye kartet. Det viser seg at Ålfotbreens totalareal er redusert med 0,457 km^2 eller 9,5 % i forhold til det gamle kartet. For Hansebreen er arealet redusert med 0,417 km^2 eller 12,5 %. For et gjennomsnittsår betyr dette en sommerbalanse som er ca. 1,5 mill.m^3 mindre enn det som er beregnet på det gamle kartet for hver av de to breene.

Beregningen av massebalansen for 1997 er beregnet ut fra den nye arealfordelingen. For begge breene fordeler arealreduksjonen seg relativt likt i alle høydeintervaller. De spesifikke massebalanse-verdiene (b_w, b_s og b_n) endres ubetydelig ved bruk av arealene fra det nye kartet og er derfor sammenlignbare med tidligere års resultater. Men volumverdiene (B_w, B_s og B_n) fra tidligere år må reduseres med hhv. 9,5 % og 12,5 % for å være sammenlignbare med årets resultater.

Area differences 1968-1988 - Ålfotbreen and Hansebreen

	Area (km^2) 1968-map	Area (km^2) rev. 1968-map	Area (km^2) 1988-map	Area difference (km^2) 1968-map and 1988-map
Ålfotbreen	4,815	4,726	4,358	– 0,457
Hansebreen	3,323	3,371	2,906	– 0,417

Tabell 2-5 *Tabellen viser arealene til Ålfotbreen og Hansebreen fra kart 1968, fra revidert kart 1968 og fra det nye kartet basert på flybilder fra 1988. Kolonnen til høyre viser arealforskjellen mellom brekart fra 1968 (hvilket er brukt som grunnlag for massebalanseberegninger frem til og med 1996) og brekart fra 1988.*

Areas of Ålfotbreen from maps based on aerial photographs taken in 1968 and 1988. The construction of the 1968 map was based on incorrect coordinates of the fix points used in the construction. This map was therefor reconstructed and the revised glacier areas are shown in the table. From 1997, areas from the 1988 map are used in mass balance calculation.

2.5 ENGLISH SUMMARY

Ålfotbreen ice cap is 17 km^2 and it is the westernmost and the most maritime glacier in Norway. Mass balance studies has been carried out on two adjacent northfacing outlet glaciers - Ålfotbreen (4.4 km^2) and Hansebreen (2.9 km^2). The westernmost of these has been subject to mass balance investigation, and has always been reported as Ålfotbreen. The other is called Hansebreen. To investigate the representativity of mass balance results at Ålfotbreen, similar measurements were started at Hansebreen in 1986. It is clear that there is an explicit difference between the two glaciers. The difference is likely due to wind drift.

Due to its maritime regime, the net balance at Ålfotbreen is mainly dependent on winter balance. In 1996 both glaciers showed a net balance for first time since 1998. In 1997 they were close to be in a steady state.

A new glacier map based on aerial photographs was produced in 1996. Both glaciers show a smaller area at the new map than on the old map from 1968. The 1996 results were plotted on the old map, whereas from 1997 all results will be based on the new map. The area distribution shows the same pattern on both maps, therefore specific values are comparable with old ones, but not the volume values (see Table 2-5).

Mass balance 1996

- Field work

The accumulation was measured on 1 and 2 May. The calculation of the winter balance was based on 100 snow depth soundings, one snow pit where the mean snow density was 0.48 g/cm^3, and six stakes, three on each glacier. The general snow depth was 3-4 metres. Ablation was measured on 23 September. Then, all the winter's snow had melted from both of the glaciers.

- Results

Winter balance was 1.83 m w.eqv., only 49 % of the mean value for the period 1963-95 and the lowest winter balance ever measured. Summer balance was 3.71 m or 112 % of the mean value. Net balance accordingly turned out to be –1.88 m w.eqv., whereas the mean value is +0.45 m w.eqv. All height intervals had negative mass balance. Accordingly, ELA was higher than 1380 m a.s.l. (the top of the glacier), and consequently, AAR was 0. The results are presented in Table 2-1 and in Figure 2-1.

Mass balance 1997

- Field work

The accumulation was measured on 26-28 April. All stakes had disappeared. However, the summer surface was easy to identify. The calculations were based on 136 snow depth soundings and snow sampling in one pit where the mean density of the total snow pack was 0.47 g/cm^3. The snow depth was mainly 7-10 metres, the deepest snow was found on Ålfotbreen. Ablation measurements were made on the 20 November and the calculations were based on 18 stakes on the two glaciers. Fresh snow which had fallen after the melt season was over, but before the ablation measurements, were not taken in consideration, but is calculated as next year's accumulation.

- Results

Winter balance 1997 was 4.22 m w.eqv. This is 114 % of the mean value for the investigation period 1963-96, but only 93 % of the mean, compared with the period after 1988. Summer balance was 4.14 m w.eqv. (125 % of the mean value), and the third highest summer balance ever measured at Ålfotbreen. Net balance, accordingly, turned out to be slightly positive and was +0.08 m w.eqv. The mean net balance for the total investigation period is +0.38 m, but for the period 1989-96 it is +1.18 m w.eqv. The results are presented in Table 2-2 and Figure 2-2.

The cumulative net balance for the entire investigation period at Ålfotbreen (35 years) is +13.1 m w.eqv. More than 9 m of this surplus has taken place after 1998. Large winter balances cause the great surplus after 1988. Due to its extreme maritime position, the net balance is mainly dependent on winter balance, and this has increased after 1988 (1996 is an exception). Mass balance results from Ålfotbreen are presented in Figure 2-3.

Hansebreen

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

- Results 1996

Winter balance was based on 75 snow depth soundings, and the snow density measurement at Ålfotbreen because it is assumed similar densities at both glaciers. The winter balance was 1.74 m w.eqv., which is 47 % of the mean value for the investigation period. Summer balance was 3.76 m w.eqv. (110 % of the mean). Net balance was –2.02 m w.eqv., whereas the mean value for the investigation period is +0.18 m w.eqv. ELA was above the highest point of the glacier and, accordingly, AAR was 0. Mass balance results at Hansebreen 1996 are presented in Figure 2-4.

- Results 1997

Winter balance was based on 66 snow depth soundings and the same snow density as was found at Ålfotbreen. Winter balance was 3.78 m w.eqv. (108 % of the mean value for the period 1986-96). Summer balance was 3.93 m w.eqv., which is 111 % of the mean value. Accordingly, the net balance turned out to be slightly negative, amounting to –0.15 m w.eqv. ELA was at 1140 m a.s.l., AAR was exactly 50 %. The mass balance results are shown in Table 2-4 and Figure 2-4.

A new glacier map

A new glacier map, including both of the two investigated glaciers was issued in 1996. The map is based on aerial photographs taken on 7 September 1988. The picture scale is 1:30 000. At time of photography all new snow on the glacier had melted and the photographs have a very good quality. The mass balance for 1997 is based on this map, whereas the calculation of the 1996 (and earlier) results is based on the old map from 1968. When the new map is compared with the old one (based on photographs from 1968) the area of the two glaciers has been reduced with about 10 % (see Table 2-5). However, the relative area distribution has not changed very much, and the specific values of winter, summer, and net balance in 1997 can be compared with earlier results. For comparing volume balance some adjustments must be done.

3 FOLGEFONNA (042.G) Hallgeir Elvehøy og Liss M. Andreassen
(sammendrag av NVE-rapport 22/97)

3.1 KARTLEGGING AV BUNNTOPOGRAFI PÅ SVELGJABREEN (KJERRINGBOTNBREEN)

Innledning

Svelgjabreen er en sørvendt utløper fra Søndre Folgefonna. Breen har et areal på 29 km^2 og strekker seg i høyde fra 870 til 1630 moh. Denne breen er tidligere kalt Blomsterskardsbreen[1] (Tvede, 1972 og 1994, og Smith-Meyer & Tvede, 1996) og Kjerringbotnbreen (Elvehøy 1997). I denne rapporten vil vi bruke navnet Svelgjabreen på breen selv om navnet Kjerringbotnbreen ble brukt i NVE-rapport 22/97 (Elvehøy 1997).

I 1997 ble det foretatt radarmålinger på Svelgjabreen for å bestemme istykkelse og bunntopografi. Det er gjort målinger av istykkelse på Søndre Folgefonna tidligere. Målingene ble da gjort på to breutløpere øst for Svelgjabreen (Kennett & Sætrang, 1987).

Metode

Radarmålinger på Svelgjabreen ble foretatt den 9. mai 1997. Totalt ble 8 km profiler målt. Målingene ble konsentrert om et ca 0.5 km^2 stort område mellom ca 900 og 1050 moh. på breen (figur 3-1). Radarens posisjon ble bestemt ved bruk av differensiell GPS. Et raster over istykkelse med rutenett 5 × 5 m ble laget ved å interpolere ca 600 radarmålinger og ved å bruke brekanten som grense der istykkelsen er null. Kriging ble benyttet som interpolasjonsmetode.

Til bestemmelse av breoverflatens høyde ble det brukt et topografisk kart med ekvidistanse 10 m konstruert fra flybilder tatt 31. august 1995. Høydeendringen mellom 31. august 1995 og 9. mai 1997 ble antatt å være ubetydelig (± 2 m i snitt). Det ble laget en digital terrengmodell med 5 meters rutestørrelse fra det topografiske kartet.

Bunntopografien under nedre delen av Svelgjabreen ble deretter beregnet ved at rasteret med istykkelse ble trukket fra den digitale terrengmodellen av breoverflaten. Usikkerhet i høyden på brebunnen ble anslått til å være ± 20 meter i punkter målt med radar.

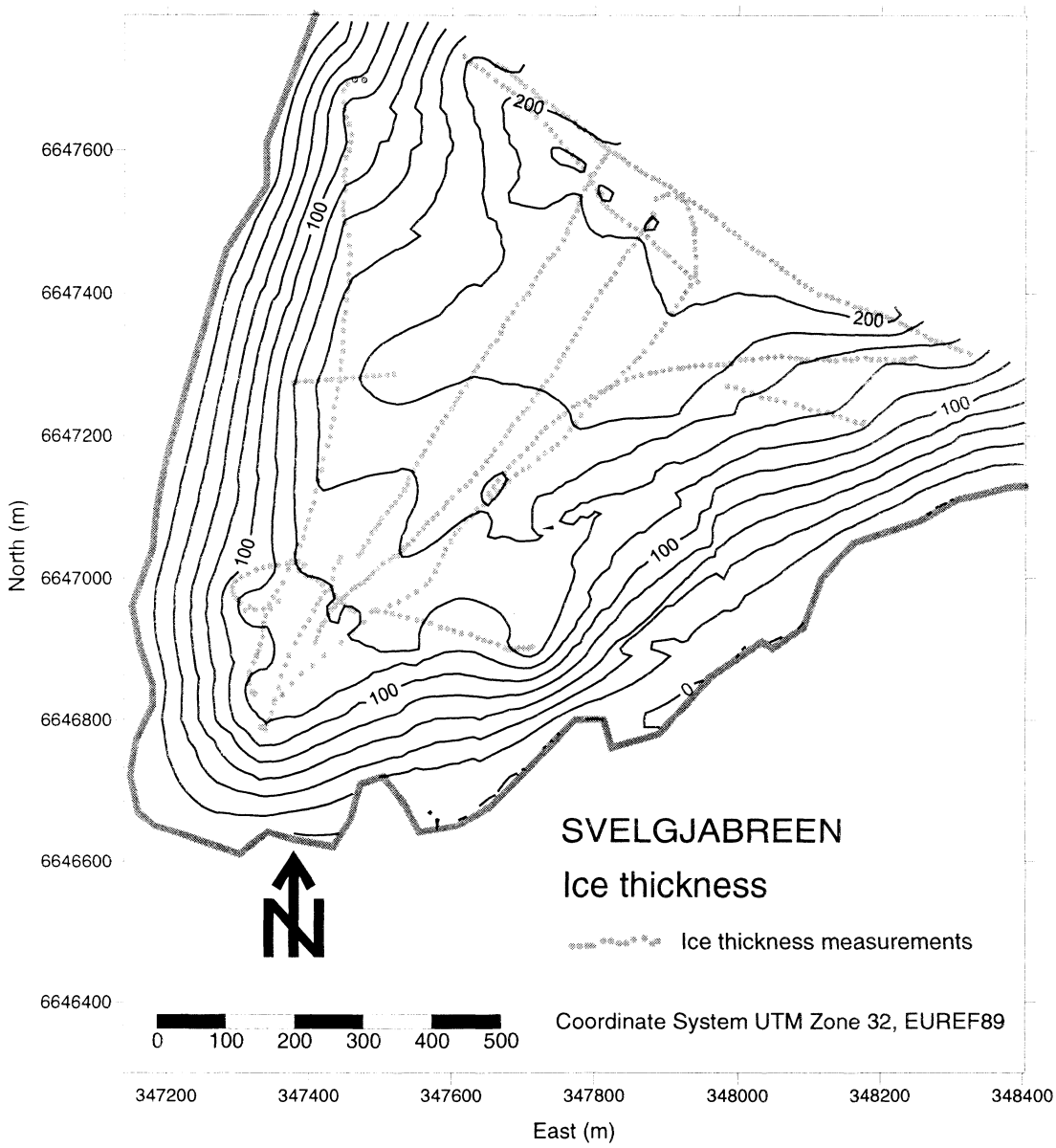
Resultater

Den største istykkelsen som ble målt var ca 230 meter. Istykkelseskartet viser en del mindre strukturer ved brekanten som skyldes interpolasjonen og som ikke har grunnlag i målingene (figur 3-1).

Kartet over brebunnen (figur 3-2) viser at bunnen er ganske flat fra brefronten og minst 1.2 km oppover breen. Brebunnen under den sentrale delen av bretungen ligger mellom 800 og 840 moh.

---

[1] *Blomsterskarsbreen ble da brukt som navn på to breenheter, både på Svelgjabreen (kjerringbotnbreen) og på nabobreutløperen øst for denne som i dag kalles Blomstølskarsbreen.*



Figur 3-1 *Istykkelse på nedre del av Svelgjabreen interpolert fra istykkelsesmålinger med radar. Usikkerheten i istykkelse er anslått til ±20 m i nærheten av måleprofilene. I NVE-rapport 22/97 ble denne breen omtalt som Kjerringbotnbreen (Elvehøy 1997).*

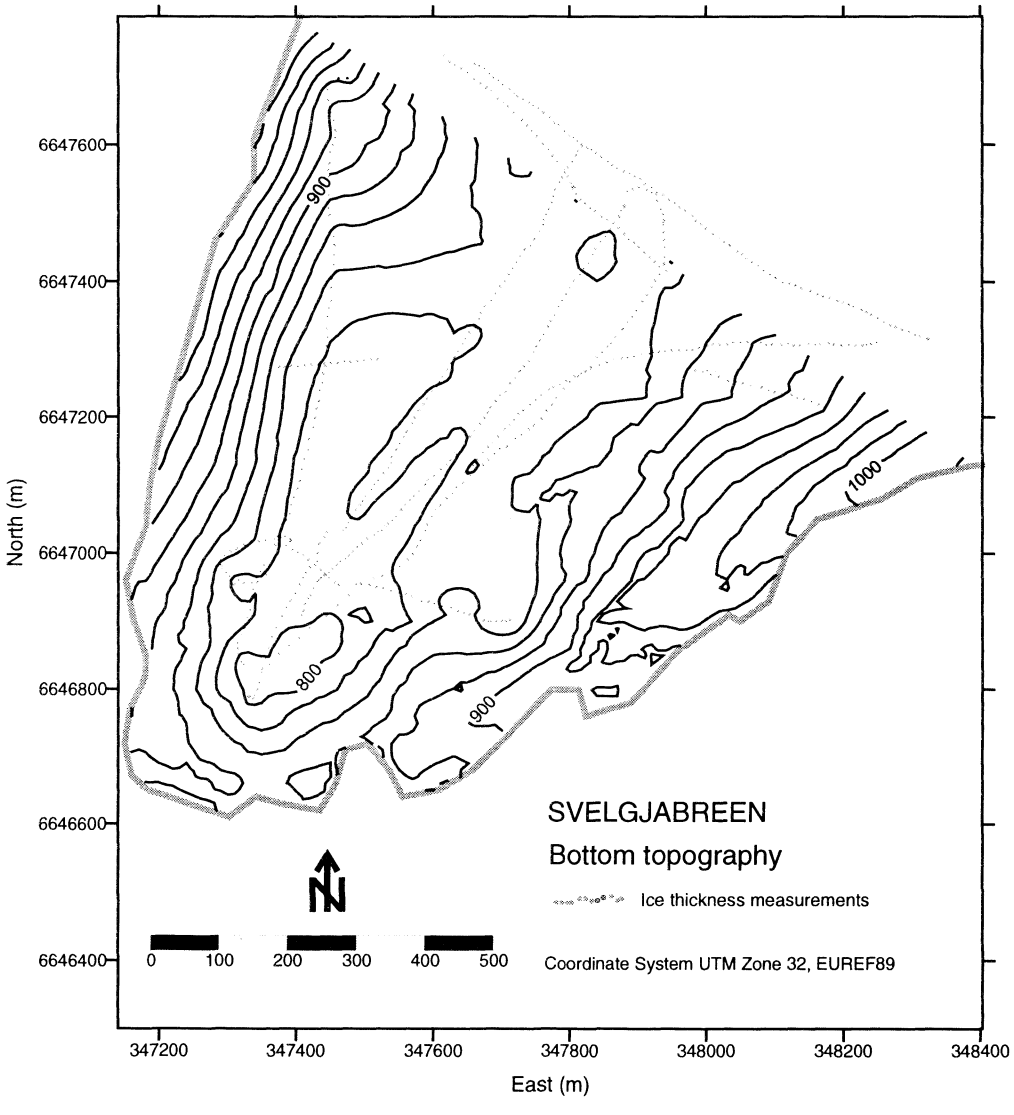
Ice thickness in the lower part of Svelgjabreen. Estimated uncertainty is ±20 metres along the measured profiles. In NVE-Rapport 22/97 this glacier was called Kjerringbotnbreen (Elvehøy 1997).

3.2 ENGLISH SUMMARY

Svelgjabreen is a south-facing outlet of Southern Folgefonna located in the South West of Norway. The glacier covers an area of 29 km2. In previous investigations the glacier has been named Blomsterskardsbreen (Tvede, 1972 and 1974, Kennett & Sætrang, 1987 and Smith-Meyer & Tvede, 1996) and Kjerringbotnbreen (Elvehøy 1997).

Ice thickness was measured in 600 points with radar on May 9. 1997. The measurements were concentrated in the area between 900 and 1050 m a.s.l. The position of the radar was determined by differential GPS. A map showing ice thickness was constructed by interpolating radar measurements and the glacier outline (where ice thickness is 0 metres) (figure 3-1). Maximum ice thickness was 230

metres. The map was then used to construct an ice thickness grid with cell size 5 metres. A topographical map at the scale of 1:10000 with 10 metres contour lines, constructed from aerial photos taken on August 31, 1995, was used to generate a surface elevation grid with cell size 5 metres. The bed topography under Svelgjabreen was calculated by subtracting the ice thickness grid from the surface elevation grid. A map of the bed topography was derived from the grid (figure 3-2). The bed under Svelgjabreen seems to be quite flat from the glacier terminus and at least 1.2 km up the glacier.



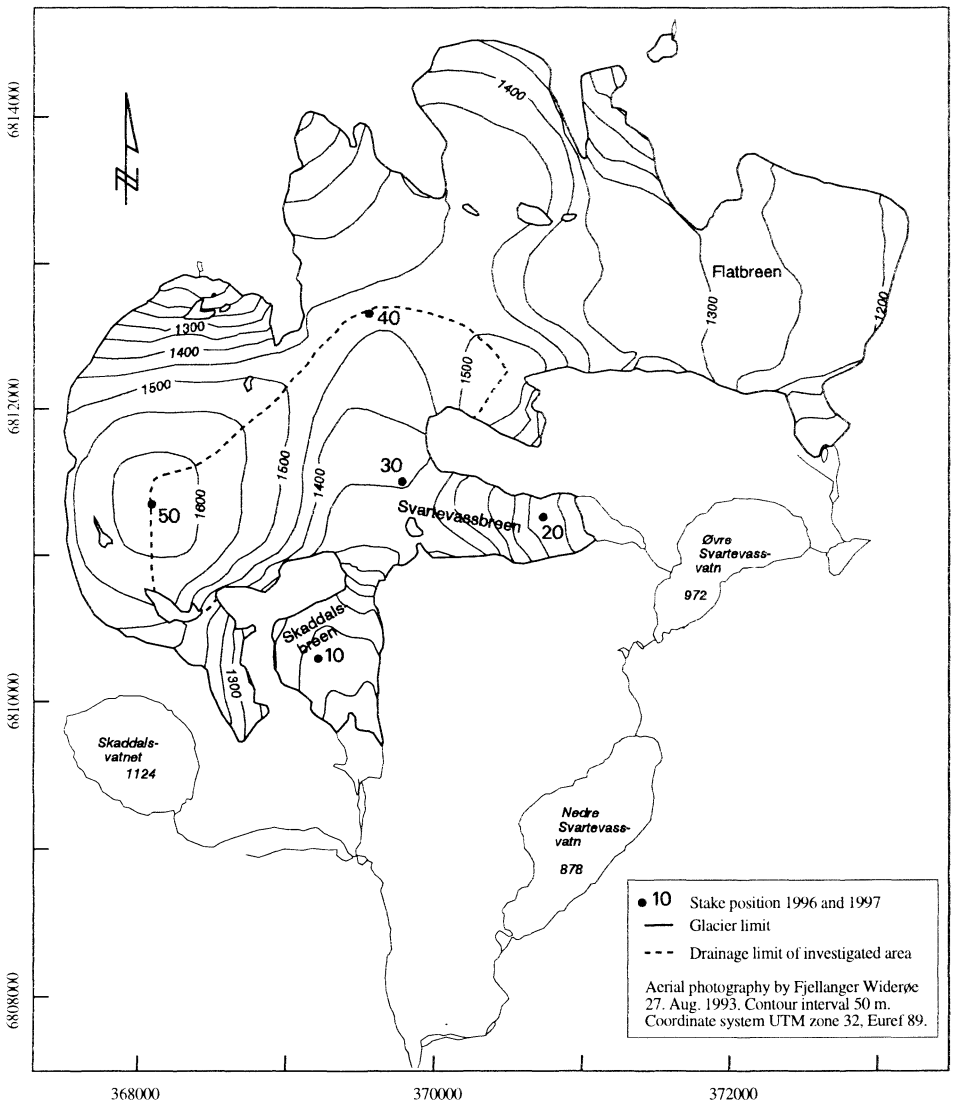
Figur 3-2 *Bunntopografien på nedre del av Svelgjabreen konstruert ut fra breoverflatehøyden 31.august 1995 og interpolert istykkelse (figur 3-1). Usikkerheten i bunnhøyden er anslått til ±20 m i nærheten av måleprofilene. I NVE-rapport 22/97 ble denne breen omtalt som Kjerringbotnbreen (Elvehøy 1997).*

Bed topography under the lower part of Svelgjabreen. The estimated uncertainty is the same as for the ice thickness, ±20 metres. In NVE-Rapport 22/97 this glacier was called Kjerringbotnbreen (Elvehøy 1997).

4 JOSTEFONN (078.5Z) Liss M. Andreassen og Hallgeir Elvehøy

Jostefonn er en platåbre som ligger i kommunene Balestrand og Førde i Sogn og Fjordane fylke. Breen ligger ca. 10 km vest for Fjærland og ca. 10 km sørvest for Jostedalsbreen. Jostefonn har et samlet areal på 12.5 km^2 og strekker seg fra 950 til 1620 moh. Breen kan deles inn i syv mindre dreneringsenheter (Østrem m.fl. 1988). Årlige massebalansemålinger på Jostefonn er en del av de hydrologiske målingene som er konsesjonspålagt Sogn og Fjordane energiverk for Mel kraftverk i Vetlefjorden i Balestrand. Målingene ble startet høsten 1995 og skal pågå i 5 år.

Målingene blir foretatt på to østlige brearmer, Skaddalsbreen og Svartevassbreen. Disse brearmene drenerer til nedre Svartevassvatn, som er magasin for kraftverket. Vannet fra Skaddalsbreen blir ført med overføringstunnel hit. En tredje brearm, Flatbreen, som også drenerer til Nedre Svartevassvatn er ikke med i måleopplegget (figur 4-1).



Figur 4-1 *Oversiktskart over Jostefonn med dreneringsgrensen til brearmene Skaddalsbreen og Svartevassbreen der massebalansemålingene pågår. Posisjonene til stakene brukt til massebalansemålinger er markert på kartet.*

Map of Jostefonn with the drainage divide of Skaddalsbreen and Svartevassbreen. The position of the stakes used for mass balance measurements are marked.

De to første årene med massebalansemålinger har begge gitt negativ nettobalanse. Den kumulative nettobalansen for disse to årene er -2.05 m vann ekvivalenter, dvs. at breen har mistet masse tilsvarende $8 \cdot 10^6$ m^3 vann.

4.1 MASSEBALANSE 1996

Feltarbeid

Massebalansemålingene ble startet i september 1995 med utsetting av fem staker, 10-50 (figur 4-1).

Akkumulasjonsmålingene ble gjort 30.april. Snødypet ble målt på stakene 10, 20, 30, 40 og ved kjerneboring der en ny stake 50 ble satt ut øverst på breen (figur 4-1). I tillegg ble det sondert i 59 punkt i ulike profil. Snødypet lå stort sett mellom 2.3 og 3.3 meter, men med flest høye verdier i høydeområdet 1300 - 1450 moh., og flest lave verdier mellom 1000 og 1100 moh. på Skaddalsbreen. Det ble også sondert et profil fra stake 40 mot Flatbreen og på Svartevassbreen. I høydeintervallet mellom 1200 og 1300 moh. var det mer snø på Svartevassbreen enn på Flatbreen, mens det mellom 1300 og 1450 moh. var omlag like mye snø. Snøtettheten ble målt ned til 3.7 m dyp ved stake 30. Midlere snøtetthet ned til sommeroverflaten fra 1995 på 3.4 m dyp var 0.44 g/cm^3.

Minimumsmålingene ble gjort 22.september 1996. Likevektslinja lå over toppen av breen, mens firnlinja (grensen mellom blåisområde og område dekt av gammel snø) lå 1250 - 1300 moh. Stakene hadde blitt mellom 4.8 og 5.6 m lengre siden 30. april. Sommerbalansen kunne regnes ut på 5 staker.

Resultater

Høyde-arealfordeling for det undersøkte området av Jostefonn er beregnet fra brekart fra 1993 (se kap 4.3 og figur 4-1).

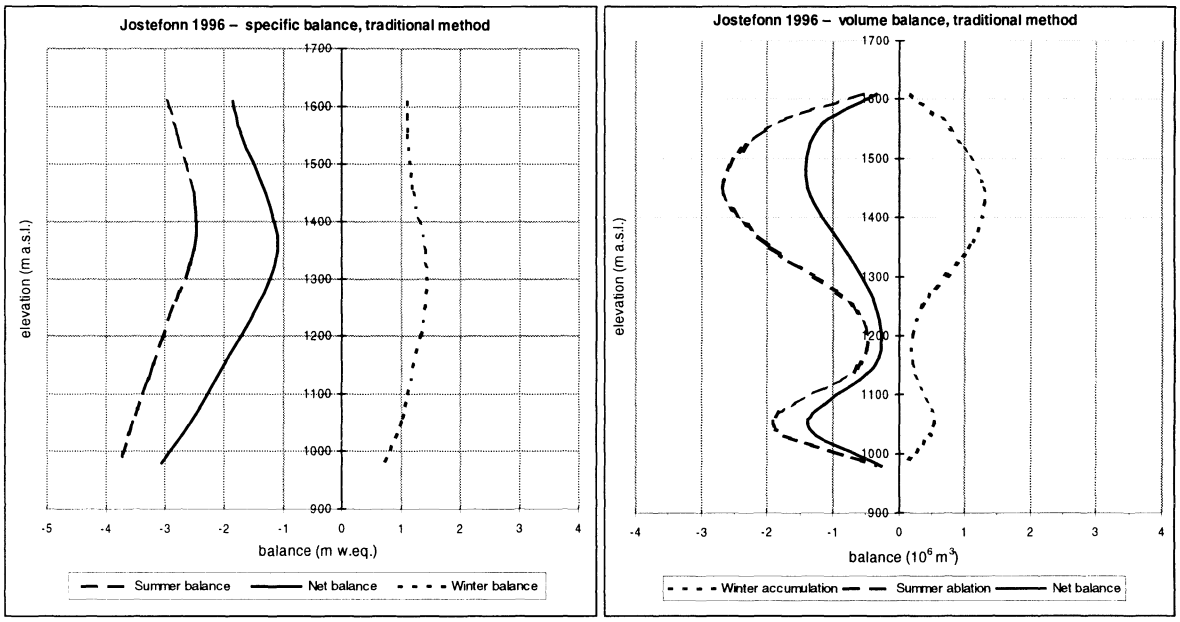
- Vinterbalanse

På grunnlag av målingene 30.april ble vinterbalansen beregnet til $4.5 \cdot 10^6$ m^3 vannekvivalenter eller 1.19 m vann jevnt fordelt over måleområdet. Vanligvis øker nedbørmengden med økende høyde over havet. På Jostefonn blir trolig nedbøren noe omfordelt av vind slik at toppen får mindre nedbør enn forventet, mens lavereliggende områder som ligger i le får mer nedbør enn forventet.

- Sommerbalanse

Ut fra målingene 22.september ble sommerbalansen beregnet til $-10.7 \cdot 10^6$ m^3 vannekvivalenter eller -2.81 m vann jevnt fordelt over breoverflaten. I utregningene ble tettheten på gammel snø (firn) og is antatt å være hhv. 0.65 g/cm^3 og 0.9 g/cm^3.

Sommerbalansens fordeling med høyde i 1996 viser større avsmelting på toppen av Jostefonn enn lengre nede (figur 4-2). Smeltingen pleier normalt å avta med økende høyde. Årsaken til dette uvanlige mønstret er noe uklar. Det er ikke noe som tyder på at resultatene er påvirket av alvorlige målefeil siden mønsteret var det samme både tidlig og sent på sommeren. Den uvanlige fordelingen kan ha sammenheng med fordelinga av vinternedbøren fordi smeltingen er avhengig av overflaten sin evne til å absorbere solstråling. Gammel snø og is absorberer mer energi enn ny snø (snø fra siste vinter). Siden vinterbalansen var størst ved 1200-1400 moh., startet trolig avsmeltningen av firn tidligere på toppen enn lengre nede. En lignende fordeling av nysnø som faller i juli kan ha forsterket denne effekten. Siden det blåser mer på toppen enn lengre nede, gjør det også at mer luft passerer over toppområdet og avgir varme til breoverflata. Dette kan også være med på å forklare den uvanlige fordelingen av sommerbalansen.



Figur 4-2 *Fordeling av vinter-, sommer- og nettobalanse med høyde på Jostefonn i 1996 (venstre) og tilsvarende volumbalanse (høyre).*

Mass balance diagram showing winter, summer and net balance at Jostefonn in 1996. Specific balance is indicated in the left diagram, volume balance in the right one.

Mass balance Jostefonn1995/96 – traditional method

Altitude (masl)	Area (km^2)	Winter balance Measured Apr 30 1996 Specific (m w.eq.)	Winter balance Volume (10^6 m^3)	Summer balance Measured Sep 22 1996 Specific (m w.eq.)	Summer balance Volume (10^6 m^3)	Net balance Summer surfaces 1995 - 1996 Specific (m w.eq.)	Net balance Volume (10^6 m^3)
1600 - 1615	0,18	1,09	0,2	-2,95	-0,5	-1,86	-0,3
1500 - 1600	0,72	1,09	0,8	-2,80	-2,0	-1,71	-1,2
1400 - 1500	1,07	1,20	1,3	-2,50	-2,7	-1,30	-1,4
1300 - 1400	0,78	1,40	1,1	-2,50	-2,0	-1,10	-0,9
1200 - 1300	0,25	1,41	0,4	-2,85	-0,7	-1,44	-0,4
1100 - 1200	0,18	1,20	0,2	-3,20	-0,6	-2,00	-0,4
1000 - 1100	0,54	0,99	0,5	-3,55	-1,9	-2,56	-1,4
960 - 1000	0,09	0,70	0,1	-3,75	-0,3	-3,05	-0,3

Total area 3,8

Total for whole glacier between summer surfaces 1995 - 1996

	Winter bal.	Summer bal.	Net bal.
volume (10^6 m^3)	4,5	-10,7	-6,2
specific (m)	1,19	-2,81	-1,63

Tabell 4-1 *Fordelingen av vinter-, sommer-, nettobalansen og areal med 100 m høyde intervall på Jostefonn i 1996.*

The distribution of winter, summer, net balance and area for 100 m height intervals at Jostefonn 1996.

• Nettobalanse
Beregningene viser at nettobalansen på den undersøkte delen av Jostefonn i 1996 var -6.2 mill.m^3 vannekvivalenter eller et lag som tilsvarer -1.63 m vann jevnt fordelt over dreneringsområdet. Den negative balansen gjorde at likevektslinjen lå over toppen av breen. Høydefordelingen av vinter-, sommer- og nettobalansen er vist på figur 4-2 og i tabell 4-1.

Usikkerheten i massebalansemålingene er svært vanskelig å estimere, men blir her antatt å være ± 0.20 m vannekvivalenter for vinter- og sommerbalansen, og ± 0.30 m vannekvivalenter for nettobalansen.

4.2 MASSEBALANSE 1997

Feltarbeid

Akkumulasjonsmålingene ble foretatt 26. april. Ingen staker ble funnet igjen på breen. Det ble kjerneboret ned til sommeroverflaten (SO) i posisjonene 10, 40 og 50, og erstatningsstaker ble satt ut. Snødypet var der hhv. 7.5, 7.35 og 7.95 meter. Snøtettheten ble målt ned til SO på 7.95 m dyp ved stake 50 (figur 4-1). Midlere snøtetthet var 0.45 g/cm^3. Det ble sondert i 61 punkt langs de samme profilene som i 1996. Snødypet lå stort sett mellom 7 og 9 meter. Relativt store forskjeller i snødyp over korte avstander vitnet om mye omfordeling av snø fra vindutsatte områder til lesider. Det var gode sonderingsforhold over hele breen.

Minimumsmålingene ble gjort 26. september 1997. Alle stakene fra høsten 1996 ble funnet, men bare erstatningsstaken på toppen (50) viste smeltingen over hele sommeren. Denne staken hadde blitt 7.5 meter lengre siden akkumulasjonsmålingene i april. Bare på østsiden av høyeste brekulen og ved stake 40 lå det igjen snø fra siste vinter. Ved minimumsmålingene lå det nysnø ned til ca 1300 moh.

Resultater

• Vinterbalanse
På grunnlag av målingene 26.april ble vinterbalansen utregnet til $13.1 \cdot 10^6$ m^3 vannekvivalenter eller 3.45 m vann jevnt fordelt over måleområdet, nesten tre ganger så mye som i 1996. Fordeling av vinterbalansen med høyden viser en svært jevn kurve (figur 4-3 og tabell 4-2). I området mellom 1500 og 1550 moh. er det antatt at midlere vinterbalanse er litt høyere enn det som målingene viser pga. avblåsing, mens det i høydeintervallet 1250-1300 er antatt en noe mindre vinterbalanse enn målt pga. mye ekstra oppfanging i lesiden ned mot Svartevassvatnet. Vi regner imidlertid med at det blir akkumulert mer snø på østsiden av den høyeste brekulen enn det målingene tyder på. Siden det er svært vanskelig å måle akkumulasjonen der (bratt og mange store bresprekker) har vi valgt å ikke ta hensyn til dette i utregningene av massebalansen. Det gjør at sluttresultatene trolig blir mer negative enn reelt. Usikkerheten i vinterbalansen er estimert til ± 0.20 m vannekvivalenter.

• Sommerbalanse
På grunn av problemer med å holde stakenettet ved like om sommeren måtte smelting i enkelte perioder på enkelte staker estimeres på bakgrunn av målinger på andre staker. På denne måten kunne sommerbalansen regnes ut for stakeposisjonene 20, 30 og 50 (tabell 4-2). Dermed kunne sommerbalansen regnes ut til $-14.7 \cdot 10^6$ m^3 vannekvivalenter eller -3.87 m vann jevnt fordelt over breoverflaten. På grunn av problemene med stakenettet denne sommeren ble usikkerheten i utregnet sommerbalanse estimert til ± 0.40 m vannekvivalenter mot normalt ± 0.20 m vannekvivalenter.

Mass balance Jostefonn1996/97 – traditional method

Altitude (m a.s.l.)	Area (km^2)	Winter balance Measured Apr 26 1997 Specific (m w.eq.)	Winter balance Volume (10^6 m^3)	Summer balance Measured Sep 26 1997 Specific (m w.eq.)	Summer balance Volume (10^6 m^3)	Net balance Summer surfaces 1996 - 1997 Specific (m w.eq.)	Net balance Volume (10^6 m^3)
1600 - 1622	0,18	3,50	0,6	-3,30	-0,6	0,20	0,0
1500 - 1600	0,72	3,55	2,6	-3,35	-2,4	0,20	0,1
1400 - 1500	1,07	3,50	3,7	-3,45	-3,7	0,05	0,1
1300 - 1400	0,78	3,60	2,8	-3,70	-2,9	-0,10	-0,1
1200 - 1300	0,25	3,50	0,9	-4,10	-1,0	-0,60	-0,2
1100 - 1200	0,18	3,40	0,6	-4,60	-0,8	-1,20	-0,2
1000 - 1100	0,54	3,10	1,7	-5,20	-2,8	-2,10	-1,1
960 - 1000	0,09	2,70	0,2	-5,60	-0,5	-2,90	-0,3

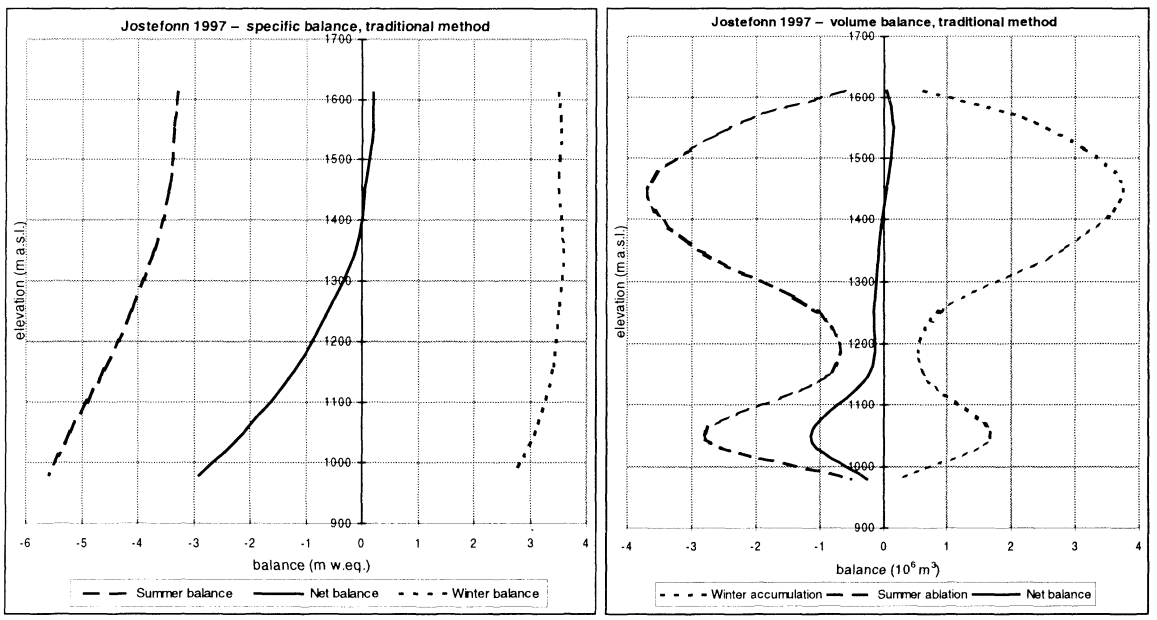
Total area 3,8

Total for whole glacier between summer surfaces 1996 - 1997

	Winter bal.	Summer bal.	Net bal.
volume (10^6 m^3)	13,1	-14,7	-1,6
specific (m)	3,45	-3,87	-0,42

Tabell 4-2 *Fordelingen av vinter-, sommer-, nettobalansen og areal med 100 m høyde intervall på Jostefonn i 1997.*

The distribution of winter, summer, net balance and area for 100 m height intervals at Jostefonn 1997.



Figur 4-3 *Fordeling av vinter-, sommer- og nettobalanse med høyde på Jostefonn i 1997 (venstre) og tilsvarende volumbalanse (høyre).*

Mass balance diagram showing winter, summer and net balance at Jostefonn in 1997. Specific balance is indicated in the left diagram, volume balance in the right one.

• Nettobalanse
Utregningene viser at netto avsmelting på den undersøkte delen av Jostefonn var -1.6 · 10^6 m^3 vannekvivalenter eller et lag som tilsvarer -0.42 m vann jevnt fordelt over dreneringsområdet. Likevektslinja lå rundt 1375 moh. (figur 4-3). Usikkerheten i nettobalansen er estimert til ± 0.40 m vannekvivalenter.

4.3 VOLUMENDRINGER 1966-93 (sammendrag av NVE-rapport 3-98)

Datagrunnlag og metode

Jostefonn er flyfotografert flere ganger de siste tiårene. På grunnlag av vertikale flyfoto fra 21.juli 1966 (Fjellanger Widerøe A/S, oppgave 1833, målestokk 1:38 000) og 27.august 1993 (Fjellanger Widerøe A/S, oppgave 12181, målestokk 1:40 000) ble nye digitale kart over hele Jostefonn i målestokk 1:10 000 konstruert. For å beregne volumendringer på Jostefonn i perioden mellom 1966 og 1993 ble de detaljerte fotogrammetriske kartene sammenlignet.

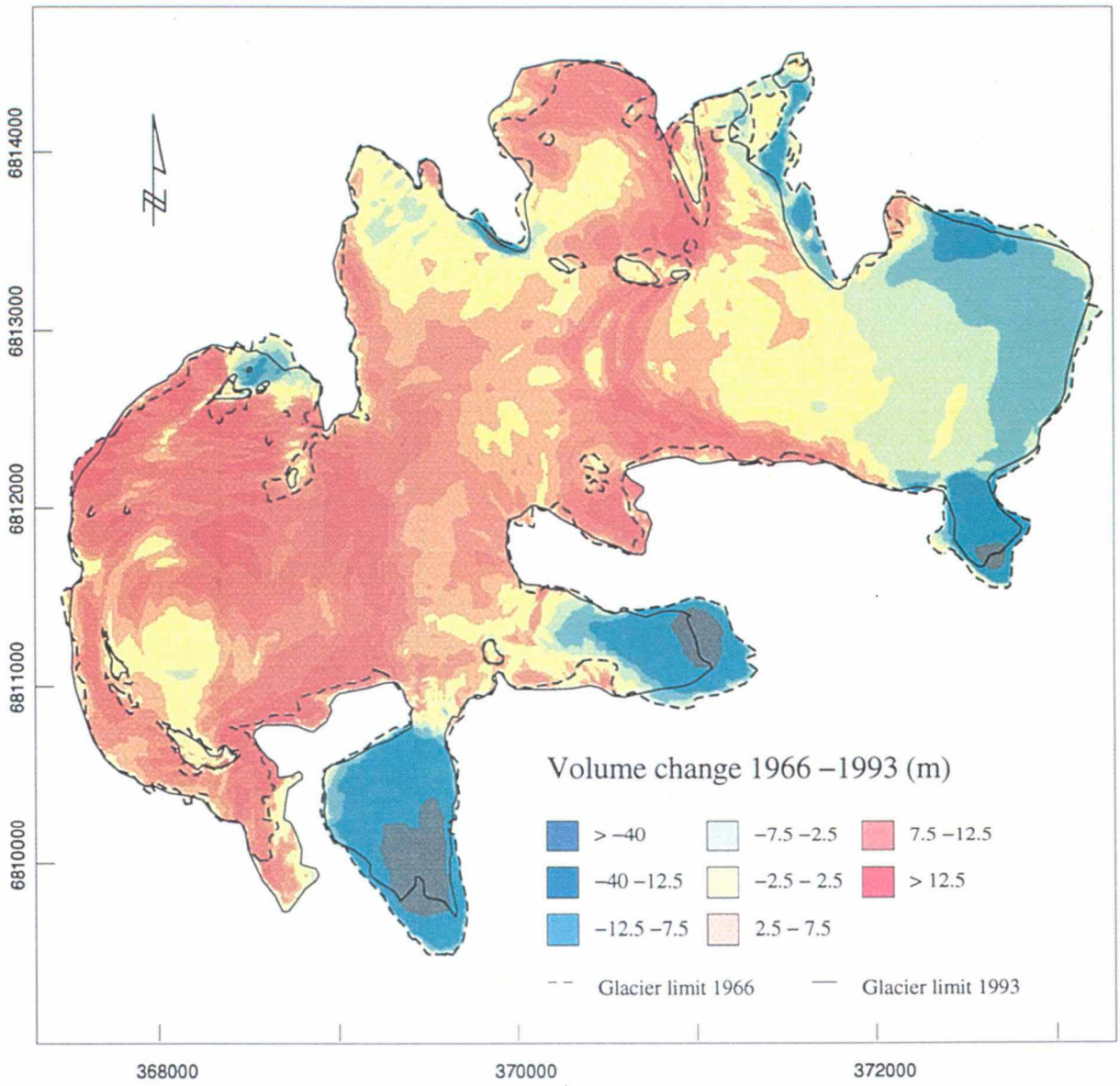
Databearbeidelse og beregninger ble gjort digitalt i et geografisk informasjonssystem. Høyde-areal fordeling ble beregnet for begge år ved å bestemme arealet innenfor 50 m høydeintervaller på breen. Høydedataene var konstruert som høydekurver, og ble konvertert til et raster for å få digitale terrengmodeller for hvert år. Overflaten fra 1966 ble deretter trukket fra overflaten fra 1993 for å få et bredifferansekart. Ved å anta at tettheten i et dybdeprofil er uendret fra 1966 til 1993, kunne volumendringen beregnes ved å multiplisere verdiene i bredifferansekartet med tettheten til is (som vanligvis oppgis som 0.9 g/cm^3, Paterson 1994). Vanndifferansekartet ble så brukt til å beregne gjennomsnittlig volumendring per m^2 og total volumendring for hele Jostefonn i vannekvivalenter.

Resultater

• Høyde-areal fordeling
Arealet av Jostefonn har minket med 0.1 km^2 fra 12.6 km^2 i 1966 til 12.5 km^2 i 1993. I høydeintervallet 1450-1500 moh. har breen i 1993 et større areal, mens i de laveste områdene har brearealet blitt betydelig redusert. De sørøstvendte bretungene har smeltet mye tilbake i denne perioden, mens den delen av breen som vender nordvest har hatt liten endring av frontposisjon.

• Volumendring
Jostefonn har i perioden fra 21.7.1966 til 27.8.1993 lagt på seg i gjennomsnitt 0.6 m ± 0.5 m over hele breen. Dette tilsvarer en økning av breens volum med 8 ± 7 · 10^6 m^3 vann. Jostefonn har i perioden dermed vært tilnærmet i balanse, men det har skjedd store lokale volumendringer på breen. De øverste områdene har lagt på seg, mens smelting av brefrontene har ført til stort volumtap i de lavere områdene i perioden. Totalt har 30 % av breens areal minket i tykkelse, mens 65 % av breen har økt i tykkelse.

Ved å sammenligne volumendringen på Jostefonn med andre breer i Sør-Norge ser en at Jostefonn skiller seg ut fra de relativt nærliggende breene Austdalsbreen og Nigardsbreen som har hatt stort overskudd i samme periode. Ulik høydefordeling av breene, ulik geometri og lokale klimaforhold kan forklare denne forskjellen.



Figur 4-4 *Volumendringer av Jostefonn (vanndifferansekart) i perioden 1966 til 1993. Blågrønne farger viser negativ endring, gult viser endring mellom –2.5 og 2.5 m vannekvivalenter, mens røde farger viser positiv endring.*

Volume change of Jostefonn (water difference) from 1966 to 1993. Blue and green colours shows negative change, yellow shows change between -2.5 and 2.5 w.eqv., while red colours shows positive change.

4.4 ENGLISH SUMMARY

Jostefonn is a plateau glacier located 10 km southwest of Jostedalsbreen in southwestern Norway. The glacier ranges in altitude from 950 to 1620 m a.s.l. and has an area of 12.5 km^2. The glacier can be divided in seven different drainage units (Østrem et.al. 1988). The mass balance measurements are carried out on two east facing outlets, Skaddalsbreen and Svartevassbreen (figure 4-1).

The measurements started in September 1995 when five stakes (10-50) were drilled into the glacier (figure 4-1). Mass balance will be measured for a total of five years. The first two years of the measurements gave negative net balance results. Cumulative net balance for the two years of measurements (1996 and 1997) was −2.05 m water equivalents.

Mass balance 1996

The accumulation was measured on 30 April. Most of the snow depth measurements showed depths between 2.3 and 3.3 metres. Total winter balance was 1.19 m water equivalents. Ablation was measured 22 September. The equilibrium line was then above the top of the glacier. The summer balance was -2.18 m water equivalents. This gives a negative net balance of -1.63 m water equivalents.

Mass balance 1997

Accumulation was measured 26 April. No stakes were found. The snow depth varied between 7 and 9 metres. Winter balance was 3.45 m water equivalents or almost three times the measured winter balance in 1996. Ablation was measured 26 September. The summer balance was calculated to -3.87 m water equivalents with a larger uncertainty than usually due to problems with maintaining the stake net. The net balance was negative in 1997, amounting to −0.42 m water equivalents.

Volume changes 1966-93

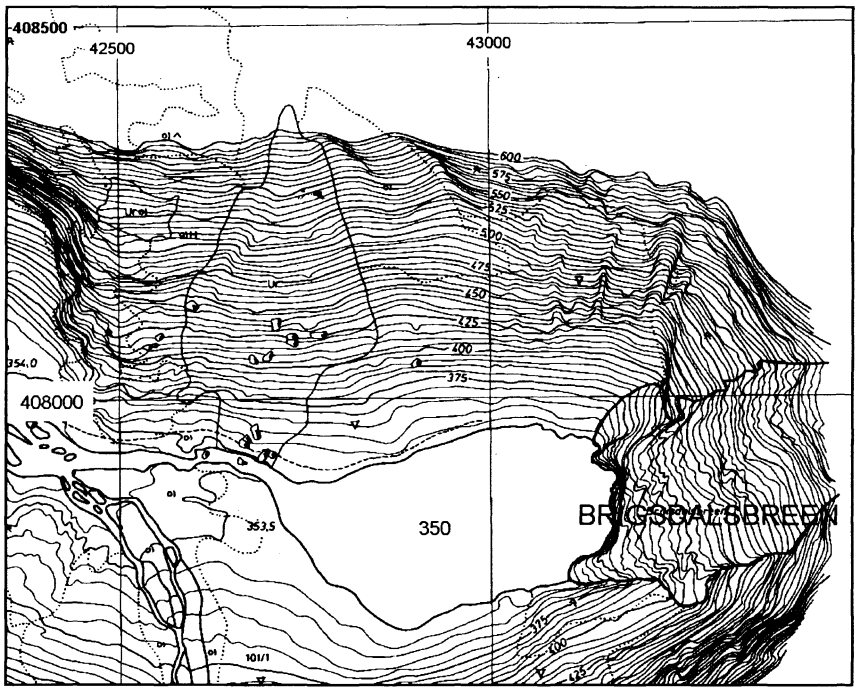
The volume change of Jostefonn between 1966 and 1993 has been calculated by map comparison. Digital topographic maps with 10 m contours were constructed from air photos taken in 1966 and in 1993 (picture scale 1:38 000 and 1:40 000). The area of Jostefonn had decreased by 0.1 km^2 from 12.6 km^2 in 1966 to 12.5 km^2 in 1993. Comparison of the maps showed that Jostefonn had an average increase of 0.6 ± 0.5 m water equivalents in this period, totally a volume increase of $8 \pm 7 \cdot 10^6$ m^3 water. While the glacier as a whole had only a small total change in volume, there have been major local changes in the geometry. In the upper parts of the glacier the total thickness has increased, while in the lower parts there has been a retreat and thinning. Around 30 % of Jostefonn's area have experienced a decrease in volume, and around 65 % have increased.

5 BRIKSDALSBREEN (088.1C) Hallgeir Elvehøy

Briksdalsbreen (ca 10,4 km^2) er en vestlig utløper fra Jostedalsbreen og strekker seg fra Kvitekulen 1910 moh. ned til Briksdalsvatnet 350 moh. Det meste av arealet (88 %) ligger på breplatået over 1500 moh. I brefallet ned fra breplatået går breen fra 1500 moh. til 450 moh. over en horisontal avstand på 2,2 km. Figur 5-1 viser Briksdalsvatnet og nederste delen av Briksdalsbreen i 1967. Etter det siste breframstøtet som startet rundt 1987 har breen fylt Briksdalsvatnet og dannet en slakere bretunge med en helning på 11 grader der Briksdalsvatnet lå tidligere. Brefronten har rykket frem 435 meter siden 1967 og står nå ved utløpet av Brigsdalsvatnet. Ved den indre enden av Briksdalsvatnet er nå breen 80-100 meter tykk. Breens areal har økt med ca 0,15 km2 eller ca 1,5 % mellom 1967 og 1997 som følge av brefremstøtet.

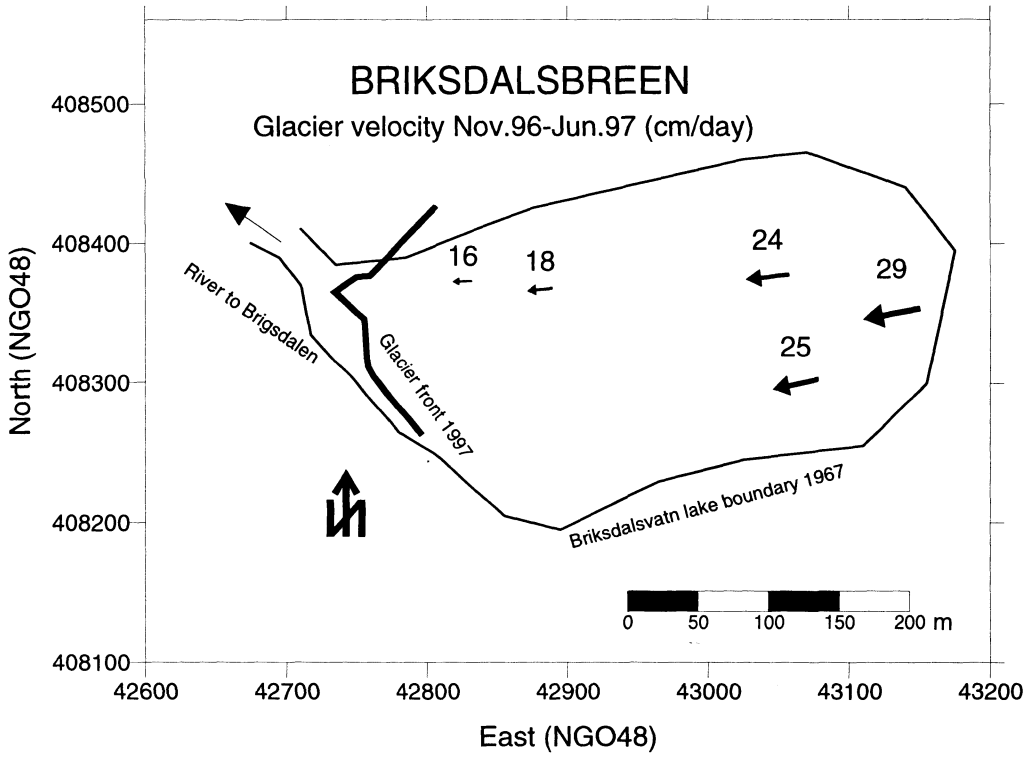
Briksdalsbreen hadde sin største utbredelse under "den lille istiden" i perioden 1760-65 da brefronten lå ved Kleivafossen ca 1100 meter lengre nede i dalen enn i 1997. I perioden 1870-1930 lå brefronten i området ved Bredesvedene ca 500 m fra dagens brefront. I denne perioden ble målinger av frontposisjonendringer startet opp av K.Rekstad fra Bergen Museum. Mellom 1930 og 1951 trakk så brefronten seg raskt tilbake og avdekket Briksdalsvatnet. Etter 1951 har så brefronten gradvis rykka fram igjen og redusert størrelsen på Briksdalsvatnet. Siden 1987 har breen rykket fram ca 340 meter, og Briksdalsvatnet er nå helt fylt med is.

Når brefronten nå har rykket fram gjennom Briksdalsvatnet, har den dannet nye morenerygger foran seg bestående av gamle bresjøsedimenter. Som en følge av breveksten er sedimentasjonsforholdene i Briksdalselva blitt helt forandret i og med at Briksdalsvatnet tidligere fungerte som sedimentasjonsbasseng mens det nå er en sedimentkilde. NVE har derfor startet målinger av sedimenttransport i Briksdalselva. I tillegg ble målinger av isbevegelse på Briksdalsbreen startet i 1996 for å lære mer om hvordan en framrykkende bre oppfører seg. Målingene gjøres på den nederste, slakere delen av bretungen som ligger der Briksdalsvatnet låg tidligere.



Figur 5-1 *Briksdalsvatnet og nedre del av Briksdalsbreen i 1967. Datum NGO48. Modifisert fra Økonomisk Kartblad AU 086-5-4 i målestokk 1:5000.*

Lake Briksdalsvatn and the lowest part of Briksdalsbreen in 1967. The reference datum is NGO48. Modified from Economic Map sheet AU 086-5-4 at scale 1:5000.



Figur 5-2 *Isbevegelse (cm/døgn) vinteren og våren 1996-97 på Briksdalsbreens bretunge målt på 5 staker. Briksdalsvatnets omkrets i 1967 (figur 5-1) er vist for sammenligning av posisjon*

Glacier velocity (cm/d) during the winter and spring 1996-97 measured at 5 stakes on the lowest part of Briksdalsbreen. The outline of Lake Briksdalsvatn in 1967 (figure 5-1) is shown for comparison. During this periode the glacier has advanced approximately 435 metres and covered Lake Briksdalsvatn.

5.1 BREDYNAMIKK

Isbevegelse

Brebevegelsen beregnes ut ifra gjentatte posisjoneringer av aluminiumsstaker boret ned i isen. Brebevegelsen beregnes som middelverdi mellom måletidspunktene. På grunn av mye issmelting og isbevegelse må stakene flyttes og bores om flere ganger i løpet av sommeren.

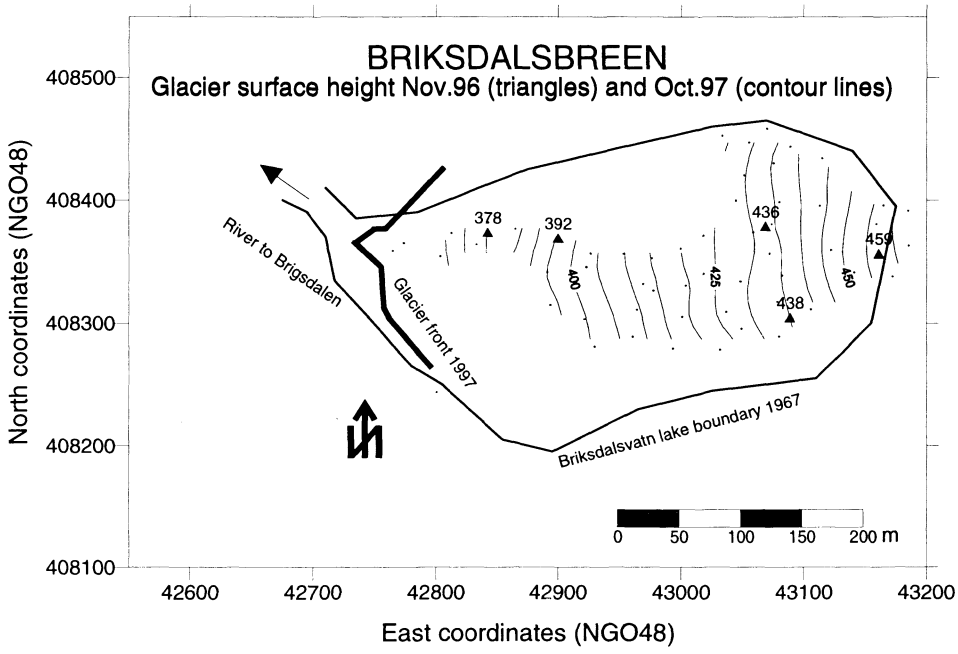
Figur 5-2 viser brebevegelsen vinteren 1996-97. Isbevegelsen avtar nedover mot brefronten og blir nesten halvert innenfor måleområdet. Årsaken til hastighetsreduksjonen er at både istykkelsen og overflatehellingen reduseres. Samtidig med kompresjon langs breens bevegelseretning er det et betydelig strekk på tvers av bevegelsesretningen som fører til dannelse av radiære sprekker.

Basert på målinger på flere staker var brebevegelsen i et område ca 300 m ovenfor brefronten (ca 430 moh.) 95 m/år (26 cm/d). Målingene viser at brebevegelsen var størst på forsommeren (35 cm/d), og noe mindre på sensommeren (27 cm/d) og vinteren (24 cm/d).

Endring i istykkelse

Ut ifra målingene kan også endringer i istykkelsen til bretungen beregnes. Figur 5-3 viser overflatehøyden ved de innmålte stakene 8.november 1996 sammenlignet med terrenghøyden 15.oktober 1997. Ved de to nederste stakene har breen tilsynelattende blitt litt tykkere, mens de tre

øverste stakene viser at breen har blitt noe tynnere. Endringene er imidlertid små (+2 til -3 meter) og ikke entydige. Målingene viser dermed at smeltingen den varme sommeren 1997 har vært så stor at den har kompensert for transporten av is i breen ned mot brefronten og dermed på kort sikt har fjernet grunnlaget for videre brefremstøt.



Figur 5-3 *Breoverflatens høyde i november 1996 (▲) sammenlignet med høyden i oktober 1997 (høydekurver). Punktgrunnlaget for kurvene er også vist (•). Store ujevnheter og sprekker i breoverflaten kan forklare en del av forskjellene. For den nest nederste stakene (392 moh.) er kotene svært usikre i og med det ikke er målt punkt i området der staken stod.*

Glacier surface altitude in November 1996 measured at stakes (▲) compared to the altitude contour lines interpolated from point measurements of surface altitude (•). Large undulations and crevasses can explain some of the suggested change. At the second lowest stake (392 masl.) the contour lines are quite uncertain since this area was not covered by measurements i November 1997.

Smelting

Briksdalsbreen er en av de breene i Sør-Norge som strekker seg lengst ned i lavlandet (350 moh.). I denne høyden kan det smelte svært mye is i løpet av sommeren. Målinger på stakene viste at det sommeren 1997 (ca 15.april – ca 1.oktober) smeltet mer enn 13 meter is på bretungen. Det tilsvarer et vannlag på 11,7 meter. Tilsvarende målinger på Nigardsbreen viste omtrent like mye smelting (11,6 m vannekvivalenter). Der var smeltingen omtrent 120% av gjennomsnittet for perioden 1983-97. Målingene viser at smeltingen var mest intens i begynnelsen av august med et gjennomsnitt over 15 døgn på 12,5 cm is/døgn.

Briksdalsbreen har siden ca 1945 kalvet i Briksdalsvatnet, og kalving har da stått for en del av den totale ablasjonen på bretungen. Etter som breen har rykket fram har den også fylt opp vatnet med sedimenter, slik at omfanget av kalving har blitt redusert. Det kan forventes at den reduserte kalvingen har kompensert for noe av den økte avsmeltingen som skyldes at breens areal i de nederste områdene har vokst. Dette er dermed en faktor som har bidratt til at breen har hatt framstøt.

5.2 ENGLISH SUMMARY

Briksdalsbreen is a western outlet glacier from the Jostedalsbreen ice cap, with an area of ca 10.4 km^2. Most of the area lies between 1500 and 1910 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 (figure 5-1). The glacier has advanced 435 metres since 1967 and has covered entirely the former lake. Thereby the glacier area has increased by approximately 0.15 km^2 or 1,5 %.

Glaciological investigations started in 1900 when K. Rekstad put up marks to measure front position change. The measurements of glacier velocity started in 1996 to learn more about the dynamics of advancing glaciers.

The measurements show a drastic reduction in ice velocity towards the snout (figure 5-2).

Measurements show only small changes in surface elevation from November 1996 to October 1997 (figure 5-3). This and the fact that the glacier had filled up the lake Briksdalsvatn, has resulted in a drastic reduction in glacier advance.

Due to the low altitude at the snout of Briksdalsbreen, the melting is intense. More than 13 metres of ice corresponding to 11.7 m of water equivalents melted away during the summer of 1997. The melt rate was at its highest early in August with 0.125 m ice./day.

Since 1945, this glacier has been calving into Lake Briksdalsvatn. During the last advance, the amount of glacier calving most likely has been reduced due to a reduction in water depth and the forming of moraines. This reduction in ablation has compensated for some of the glacier melting and thereby contributed to the glacier advance.

6 NIGARDSBREEN (076.EZ) Bjarne Kjøllmoen

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. Massebalansen ble i 1997 målt for 36. år på rad.

6.1 MASSEBALANSE 1996

Feltarbeid

Akkumulasjonsmålingene ble utført i tiden 9.-11.mai. Grunnlaget for beregning av vinterbalansen er:
- Måling av tårn og staker i høydenivåene 1320, 1435, 1520, 1610, 1630, 1690 og 1800 moh. Disse viste snødybder på hhv 4.6, 3.8, 2.8, 2.85, 2.9, 3.45 og 2.65 meter.
- Kjerneboring i høydenivå 1960 moh. som viste snødyp på 4 meter.
- 139 sonderingspunkter i profiler mellom 1440 og 1955 moh., samt enkelte punkter i høydenivåene 600 og 1000 moh. Sommeroverflaten (SO) var enkel å påvise opptil 1800 moh. Over denne høyden ble sonderingene kontrollert med kjerneboring. Snødybden varierte fra 2.5 til 4.6 m inne på breplatået. På bretunga varierte snødybden fra 0.5 til 0.7 m i 600 m nivå og fra 1.0 til 1.9 m i 1000 m nivå.
- Snøtettheten ble målt ned til 3.2 m dybde i 1520 m nivå og til 4.8 m dybde i 1800 m nivå.

Minimumsmålingene ble utført 16.september. Nettobalansen ble målt i 10 posisjoner mellom 600 og 1960 moh. I høydenivåene fra 1960 og ned til 1700 moh. lå det igjen mellom 1 og 2 m snø. Det var kommet 10-25 cm nysnø i de samme områdene, men denne vil bli regnet som en del av neste års akkumulasjon. Nede på bretunga var stakelengdene økt med 3.5 m og 9 m i hhv 1000 og 600 m nivå siden september 1995.

Resultater

Massebalansen er som de siste årene beregnet på to måter; den vanlige tradisjonelle metoden (traditional method), og den datovariable metoden (floating-date method). Ved bruk av den tradisjonelle metoden er det breens balanse mellom to sommeroverflater som blir beregnet. Den datovariable metoden gir breens endringer i perioden fra minimumsmåling til neste års minimumsmåling. Dette betyr at nysnø som kommer før minimumsmålingene på høsten blir medregnet i sommerbalansen, og trukket fra neste års vinterbalanse.

- Vinterbalanse

Høydeintervallet fra 1960 og ned til 1325 moh. er representert med over 140 målepunkter. Resultatene må sies å være svært pålitelige for dette høydeintervallet. Områdene nedenfor 1325 moh. er på grunn av utilgjengelighet kun representert med punktmålinger på hhv 1000 og 600 moh. Snøakkumulasjonen i dette intervallet er derfor bestemt med interpolasjon mellom målepunktene. Midlere snøtetthet er beregnet til 0.45 g/cm^3 i 1800 m nivå og 0.42 g/cm^3 i 1520 m nivå. Den tradisjonelle beregningsmetoden gir en vinterbalanse på 1.40 m ±0.20 m vannekvivalenter (67 mill.m^3). Dette er den minste vinterbalansen som er målt siden målingene startet i 1962 og resultatet utgjør bare 58 % av middelverdien for måleperioden. Den datovariable metoden viser en vinterbalanse på 1.29 meter.

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

Mass balance Nigardsbreen1995/96 – traditional method

Altitude (masl)	Area (km^2)	Winter balance Measured May 10 1996 Specific (m w.eq.)	Winter balance Volume (10^6 m^3)	Summer balance Measured Sep 16 1996 Specific (m w.eq.)	Summer balance Volume (10^6 m^3)	Net balance Summer surfaces 1995 - 1996 Specific (m w.eq.)	Net balance Volume (10^6 m^3)
1900 - 1960	0,38	1,90	0,72	-0,70	-0,27	1,2	0,5
1800 - 1900	3,92	1,95	7,64	-0,80	-3,14	1,2	4,5
1700 - 1800	9,39	1,75	16,43	-1,00	-9,39	0,8	7,0
1600 - 1700	12,88	1,45	18,68	-1,50	-19,32	-0,1	-0,6
1500 - 1600	9,18	1,30	11,93	-1,95	-17,90	-0,7	-6,0
1400 - 1500	5,82	1,20	6,98	-2,10	-12,22	-0,9	-5,2
1300 - 1400	2,28	1,05	2,39	-2,35	-5,36	-1,3	-3,0
1200 - 1300	0,90	0,90	0,81	-2,60	-2,34	-1,7	-1,5
1100 - 1200	0,45	0,75	0,34	-2,95	-1,33	-2,2	-1,0
1000 - 1100	0,58	0,60	0,35	-3,40	-1,97	-2,8	-1,6
900 - 1000	0,47	0,45	0,21	-4,20	-1,97	-3,8	-1,8
800 - 900	0,44	0,35	0,15	-5,35	-2,35	-5,0	-2,2
700 - 800	0,33	0,30	0,10	-6,60	-2,18	-6,3	-2,1
600 - 700	0,39	0,20	0,08	-7,70	-3,00	-7,5	-2,9
500 - 600	0,24	0,15	0,04	-8,65	-2,08	-8,5	-2,0
400 - 500	0,12	0,12	0,01	-9,25	-1,11	-9,1	-1,1
320 - 400	0,05	0,10	0,01	-9,80	-0,49	-9,7	-0,5

Total area 47,8

Total for whole glacier between summer surfaces 1995 - 1996

	Winter bal.	Summer bal.	Net bal.
volume (10^6 m^3)	**66,9**	**-86,4**	**-19,5**
specific (m)	**1,40**	**-1,81**	**-0,41**

Tabell 6-1 Vinterbalanse, sommerbalanse og nettobalanse for Nigardsbreen 1996 beregnet med tradisjonell metode.

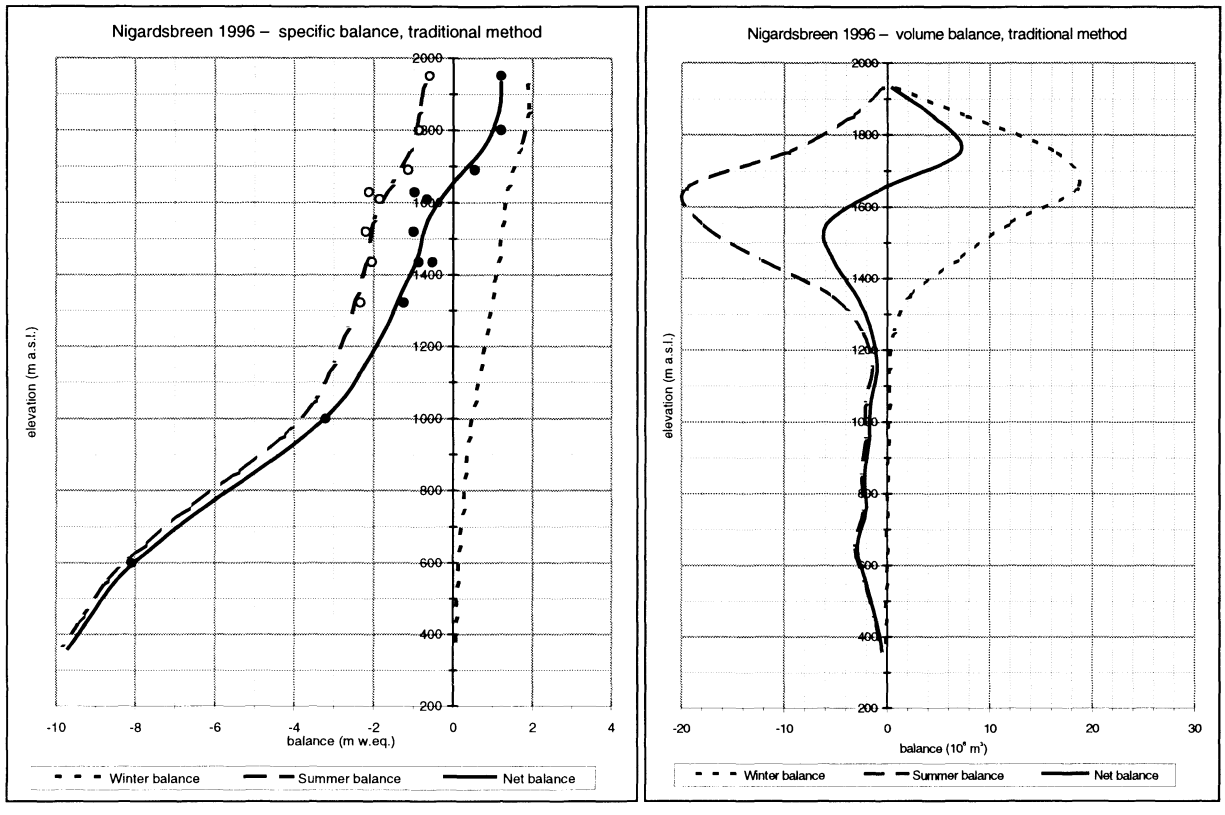
Winter balance, summer balance and net balance for Nigardsbreen 1996, traditional method.

- Sommerbalanse

På grunnlag av stakemålingene og en estimert midlere snøtetthet på 0.6 g/cm^3 på gjenværende snø, ble sommerbalansen beregnet til 1.81 m ±0.30 m vannekvivalenter (86 mill.m^3). Det er 95 % av middelverdien i måleperioden på 35 år. Ved å ta hensyn til høstens nysnø blir sommerbalansen 1.77 m beregnet med den datovariable metoden.

- Nettobalanse

Nigardsbreens nettobalanse for 1996 er beregnet til -0.41 m ±0.30 m vannekvivalenter som betyr et underskudd på 20 mill.m^3 vann. Det er første gang siden 1988 det måles negativ massebalanse på Nigardsbreen. Middelverdien for hele måleperioden er +0.50 m, mens middelverdien for perioden 1989-95 er så mye som +1.48 meter. Den datovariable metoden gir en nettobalanse på -0.48 m mellom 30.september 1995 og 16.september 1996. Likevektslinjen lå ca 1660 moh., og det er nesten 100 m høyere enn et år når breen er i likevekt.



Figur 6-1 *Massebalansediagram for Nigardsbreen 1996 som viser spesifikke verdier til venstre og volumverdier til høyre for vinterbalanse, sommerbalanse og nettobalanse beregnet med tradisjonell metode. Balansen for hver stake er vist som punkter (○=b_s og ●=b_n). Likevektslinjens høyde er rundt 1660 m o.h.*

Mass balance diagram showing specific values (left) and volume values (right) for Nigardsbreen 1996, traditional method. The balance for each stake is shown as dots (○=b_s and ●=b_n). ELA is approximately 1660 m a.s.l.

6.2 MASSEBALANSE 1997

Feltarbeid

Akkumulasjonsmålingene ble utført 21.-23.mai. Grunnlaget for beregning av vinterbalansen er:

- Målinger av tårn og staker i høydenivåene 1325, 1520, 1610, 1630, 1690, 1800 og 1950 moh. Disse viste snødybder på hhv 5.5, 5.0, 5.3, 4.3, 6.7, 7.2 og 5.7 meter.
- Kjerneboringer i høydenivåene 1325, 1520, 1610 og 1800 moh. som viste snødyp på hhv 5.0, 4.6, 5.1 og 7.3 meter.
- 112 sonderingspunkter i profiler mellom 1480 og 1950 moh., samt enkelte punkter i høydenivåene 600, 1000, 1325 og 1435 moh. Inne på breplatået var sommeroverflaten (SO) vanskelig å påvise i alle høydenivåer. Sonderingene ble derfor kontrollert med flere kjerneboringer. Snødybden varierte mellom 4.5 og 7.5 m inne på breplatået. På bretunga var snødybden ca 1.5 m i 600 m nivå og ca 3.3 m i 1000 m nivå.
- Snøtettheten ble målt ned til 3.9 m dybde i 1520 m nivå og til 7.7 m dybde i 1800 m nivå.

Minimumsmålingene ble utført den 24.september. Nettobalansen ble målt i 10 posisjoner mellom 600 og 1950 moh. Snøgrensa lå i 1600 m nivå, og nede på bretunga hadde det i tillegg til årets snø smelta ca 10 m is siden mai. Det lå igjen i underkant av 2 m snø i de høystliggende områdene på breen. Her var det dessuten kommet over én meter nysnø.

Resultater

• Vinterbalanse

Områdene i høydeintervallet 1500 til 1950 moh. er representert med over 100 målepunkter. Under 1500 moh. er beregningene gjort på grunnlag av punktmålinger på 600, 1000, 1325 og 1435 moh. Midlere snøtetthet er beregnet til 0.49 g/cm^3 i 1520 m nivå og 0.47 g/cm^3 i 1800 m nivå. Den tradisjonelle beregningsmetoden gir en vinterbalanse på 2.66 ±0.20 m vannekvivalenter, som tilsvarer et vannvolum på 127.0 mill.m^3 vann. Det er 111 % av midlere vinterbalanse for perioden 1962-96. Under minimumsmålingene i 1996 lå det opp til 20 cm nysnø på breen. Når denne tas med i beregningene blir vinterbalansen regnet med den datovariable metoden 2.63 ±0.20 meter.

Verdiene for massebalansen i de enkelte høydeintervall beregnet etter "traditional method" er vist i tabell 6-2. Tilsvarende kurver for hhv spesifikke verdier og volumverdier fordelt med høyden er vist i figur 6-2. Nigardsbreens årlige variasjoner i massebalansen siden målingene startet i 1962 er vist i figur 6-3.

Mass balance Nigardsbreen1996/97 – traditional method

		Winter balance		Summer balance		Net balance	
		Measured May 22 1997		Measured Sep 24 1997		Summer surfaces 1996 - 1997	
Altitude (masl)	Area (km^2)	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	3,00	1,1	-1,50	-0,6	1,50	0,6
1800 - 1900	3,92	3,40	13,3	-1,90	-7,4	1,50	5,9
1700 - 1800	9,39	3,05	28,6	-2,20	-20,7	0,85	8,0
1600 - 1700	12,88	2,80	36,1	-2,30	-29,6	0,50	6,4
1500 - 1600	9,18	2,50	23,0	-2,45	-22,5	0,05	0,5
1400 - 1500	5,82	2,45	14,3	-2,60	-15,1	-0,15	-0,9
1300 - 1400	2,28	2,35	5,4	-2,80	-6,4	-0,45	-1,0
1200 - 1300	0,90	2,10	1,9	-3,30	-3,0	-1,20	-1,1
1100 - 1200	0,45	1,80	0,8	-4,00	-1,8	-2,20	-1,0
1000 - 1100	0,58	1,50	0,9	-4,70	-2,7	-3,20	-1,9
900 - 1000	0,47	1,25	0,6	-5,70	-2,7	-4,45	-2,1
800 - 900	0,44	1,00	0,4	-6,70	-2,9	-5,70	-2,5
700 - 800	0,33	0,80	0,3	-7,60	-2,5	-6,80	-2,2
600 - 700	0,39	0,60	0,2	-8,70	-3,4	-8,10	-3,2
500 - 600	0,24	0,50	0,1	-9,70	-2,3	-9,20	-2,2
400 - 500	0,12	0,45	0,1	-10,70	-1,3	-10,25	-1,2
320 - 400	0,05	0,40	0,0	-11,60	-0,6	-11,20	-0,6

Total area 47,8

Total for whole glacier between summer surfaces 1996 - 1997

	Winter bal.	Summer bal.	Net bal.
volume (10^6 m^3)	**127,0**	**-125,5**	**1,5**
specific (m)	**2,66**	**-2,62**	**0,03**

Tabell 6-2 *Vinterbalanse, sommerbalanse og nettobalanse for Nigardsbreen i 1997 beregnet med tradisjonell metode. Middelverdiene for måleperioden 1962-96 er bw=2.38 m, bs=-1.91 m og bn=+0.47 m vannekvivalenter.*

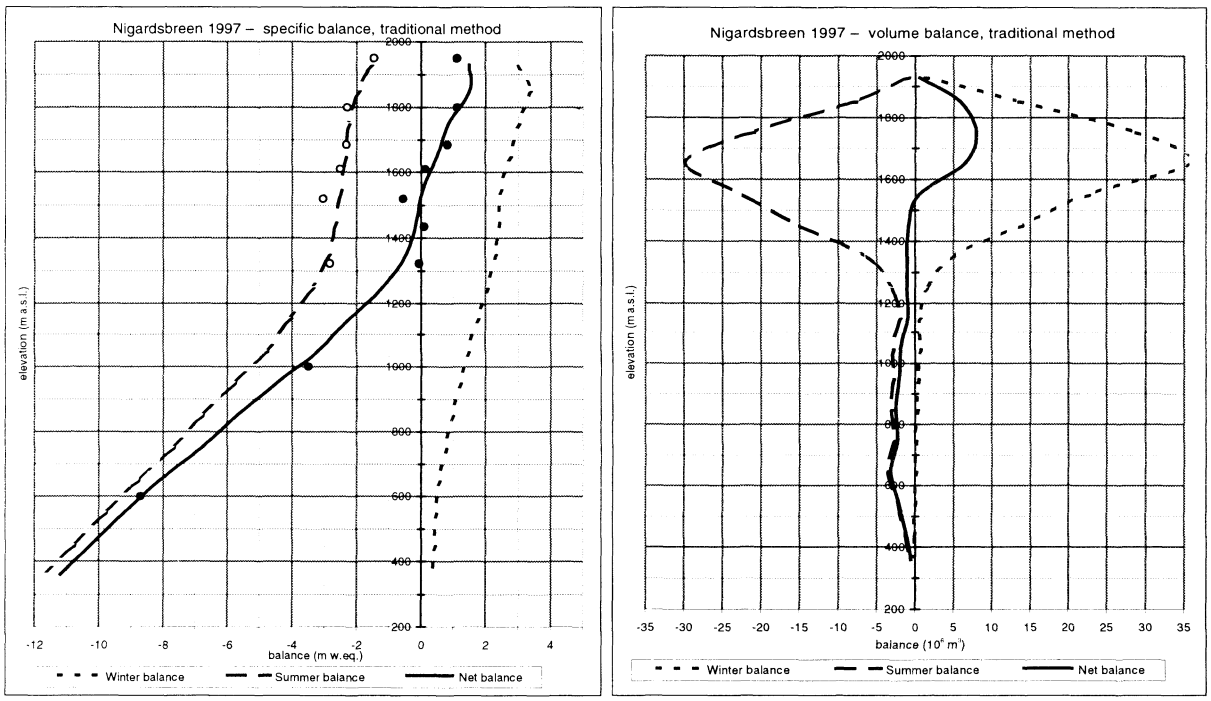
Winter balance, summer balance and net balance for Nigardsbreen 1997, traditional method. Mean values for the period 1962-96 are bn=2.38 m, bs=-1.91 m and bn=+0.47 m water equivalents.

• Sommerbalanse

På grunnlag av stakemålingene og en estimert midlere snøtetthet på 0.6 g/cm^3 på gjenværende snø, er sommerbalansen beregnet til 2.62 ±0.30 m vannekvivalenter eller 125,5 mill.m^3 vann. Det er 137 % av middelverdien for hele måleperioden. Bare fire ganger tidligere (1966, 1969, 1980 og 1988) er det målt større sommerbalanse på Nigardsbreen. Ved å ta med høstens nysnø blir sommerbalansen 2.40 ±0.30 m beregnet med den datovariable metoden.

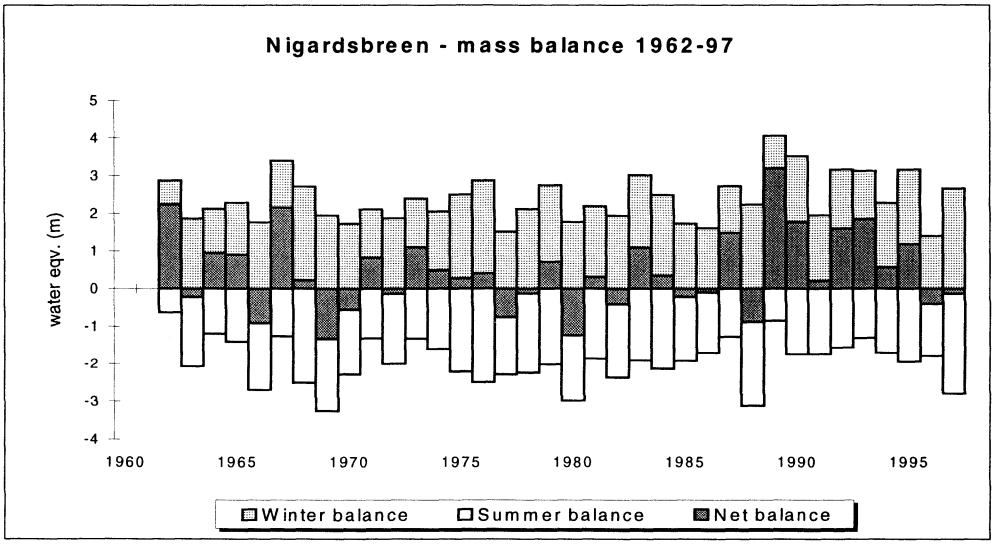
• Nettobalanse

Med både stor vinterbalanse og stor sommerbalanse blir sluttresultatet for sesongen 1996-97 at Nigardsbreen er omtrent i likevekt. Beregningene viser et knapt overskudd på 0.04 ±0.30 m vannekvivalenter som tilsvarer et volumtillegg på 1.5 mill.m^3 vann. Middelverdien for hele måleperioden er +0.47 m, mens middelverdien for perioden 1989-96 er så mye som +1.25 meter. Den datovariable metoden gir en nettobalanse på +0.07 m mellom 16.september 1996 og 24.september 1997. Likevektslinjen lå ca 1500 moh.



Figur 6-2 *Massebalansediagram for Nigardsbreen 1997 som viser spesifikke verdier til venstre og volumverdier til høyre for hhv vinter-, sommer- og nettobalanse beregnet med tradisjonell metode. Balansen for hver stake er vist som punkter (○●). Likevektslinjens høyde er rundt 1600 moh. Er breen i likevekt vil likevektslinjen ligge ca 1570 moh.*

Mass balance diagram showing winter-, summer- and net balance at Nigardsbreen 1997. Specific balance is indicated in the left diagram and volume balance is shown to the right. The balance at each stake is shown as dots (○●). The net balance curve indicates that the equilibrium line altitude (ELA) is 1500 m a.s.l.

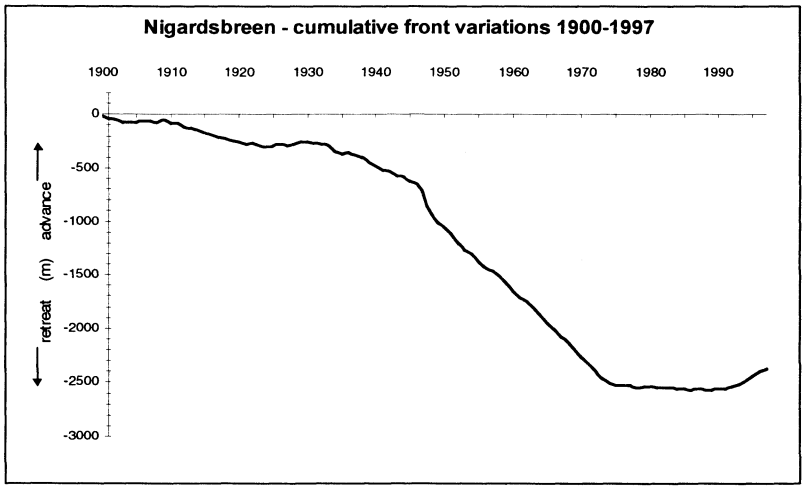


Figur 6-3 *Diagrammet viser massebalansen for Nigardsbreen i perioden 1962-97.*

Diagram showing mass balance for Nigardsbreen during the period 1962-97.

6.3 FRONTPOSISJON

Endringer av brefrontens posisjon måles fra fastpunkt langs én linje ved utløpet av breelva. Frontmålinger er utført høsten 1996 og høsten 1997. Målingene viser at Nigardsbreen gikk fram ca 40 m i perioden september 95 – september 96, og ca 25 m året etter. Etter en lang periode med tilbaketrekning som stanset i 1988 har breen hatt et samlet framstøt på ca 200 meter. Den raskeste tilbaketrekningen var fra slutten av 1930-årene og fram til midten av 1970-årene med gjennomsnittlig 55 meter pr år. Figur 6-4 viser de kumulative endringene for Nigardsbreens frontposisjon siden 1900.



Figur 6-4 *Kumulative endringer av Nigardsbreens frontposisjon i perioden 1900-97. Tilbaketrekningen stanset i 1988 og siden da har breen hatt et samlet framstøt på ca 200 meter.*

Cumulative changes of Nigardsbreens front position during the period 1900-97. The retreat stopped in 1988 and since then the glacier has had a cumulative advance of ca. 200 meters.

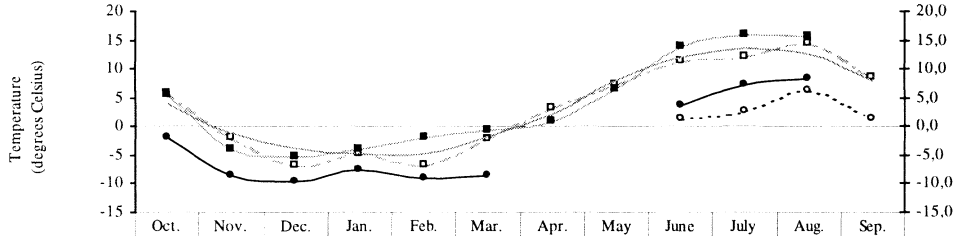
6.4 METEOROLOGISKE MÅLINGER

Klimastasjonen på Steinmann (1630 moh.) har sensorer for måling av vindhastighet, vindretning og lufttemperatur. Hver time registrerer loggeren data som blir lagret på en DSU (Data Storing Unit). Dataene blir behandlet og lagret i Hydrologisk avdelings database. Herfra kan ulike tabeller og diagrammer hentes ut etter behov.

Meteorologisk Institutt eier og driver en klimastasjon på Bjørkehaug (324 moh.) i Jostedalen der blant annet lufttemperatur og nedbør blir målt.

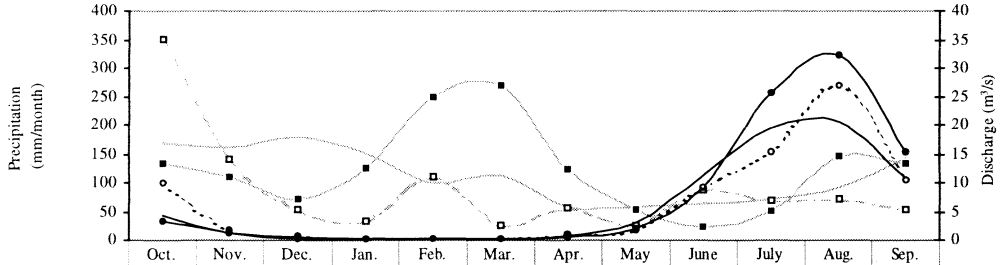
I figur 6-5 er det presentert resultater fra de meteorologiske målingene på Steinmann og Bjørkehaug samt vannføringsmålinger ved utløpet av Nigardsvatnet. Figuren er inndelt etter et tilnærmet glasiologisk år, dvs fra oktober ett år til september året etter.

Air temperature at Steinmann and Bjørkehaug during the periods October 95 to September 96 and October 96 to September 97



	Oct.	Nov.	Dec.	Jan.	Feb.	Mar.	Apr.	May	June	July	Aug.	Sep.
St. Oct.95-Sep.96									1,3	2,7	6,3	1,3
St. Oct.96.Sep.97	-2,0	-8,6	-9,6	-7,6	-9,0	-8,7			3,6	7,3	8,2	
Bj. Oct.95-Sep.96	5,8	-2,0	-6,9	-4,9	-6,7	-2,3	3,1	7,2	11,2	12,0	14,4	8,5
Bj. Oct96-Sep.97	5,5	-3,9	-5,4	-3,9	-1,9	-0,8	0,9	6,4	13,8	16,0	15,7	
Bj. mean 1964-96	4,0	-1,3	-3,8	-4,7	-4,7	-1,7	2,1	7,9	12,2	13,6	12,5	8,1

Precipitation at Bjørkehaug and discharge at Nigardsvatnet during the periods October 95 to September 96 and October 96 to September 97



	Oct.	Nov.	Dec.	Jan.	Feb.	Mar.	Apr.	May	June	July	Aug.	Sep.
Bj. prec.Oct.95-Sep.96	352	141	55	33	111	26	56	26	87	69	72	54
Bj. prec.Oct.96-Sep.97	134	110	72	126	250	268	123	54	23	51	147	133
Bj. prec.mean 1964-96	170	162	180	151	101	113	58	60	65	72	93	144
Ni. disc.Oct.95-Sep.96	9,9	1,9	0,7	0,3	0,2	0,2	0,9	1,9	9,3	15,3	26,9	10,5
Ni. disc.Oct.96-Sep.97	3,3	1,2	0,3	0,3	0,3	0,3	0,5	2	9,3	25,6	32,3	15,5
Ni. disc.mean 1964-96	4,4	1,3	0,5	0,3	0,2	0,2	0,7	3,2	11,2	19,6	20,4	10,7

Figur 6-5 *Den øverste figuren viser månedlige døgnmiddelverdier for lufttemperatur på Steinmann (St.) og Bjørkehaug (Bj.) i perioden oktober 1995 til september 1997. Figuren under viser månedsvis nedbør på Bjørkehaug (Bj.prec.) samt vannføring ved utløpet av Nigardsvatnet (Ni.disc.) i samme periode. Tallene og grafen for lufttemperatur og nedbør fra Bjørkehaug samt vannføring fra Nigardsvatnet er sammenlignet med middelverdiene i perioden 1964-96.*

The upper diagram shows monthly daily mean values for air temperature at Steinmann (St..) and Bjørkehaug (Bj.) in the period from October 1995 to September 1997. The lower diagram shows monthly precipitation at Bjørkehaug (Bj.prec.) and water discharge by the outflow of Nigardsvatnet (Ni.disc.) in the same period. The values for air temperature and precipitation at Bjørkehaug and discharge at Nigardsvatnet are compared with the mean values during the period 1964-96.

Dataseriene fra stasjonen på Steinmann er mangelfull i store deler av måleperioden fra oktober 1995 til oktober 1996. Av figur 6-5 kan man se at temperaturen på Bjørkehaug for juni, juli og august 1997 samlet sett var 2.4 °C varmere enn gjennomsnittet siden målingene startet i 1964. Døgnmiddeltemperaturen for august var mer enn 3 grader varmere enn i perioden 1964-96, mens juni og juli var hhv 1½ og 2½ grader varmere. Den varme sommeren førte til stor smelting på breen, med som tidligere nevnt, en sommerbalanse på 2.62 m vannekvivalenter. Det er ellers verdt å legge merke til at nedbøren var mindre enn normalt for alle høstmånedene i 1996 og januar året etter. Derimot hadde både februar, mars og april i 1997 mer enn dobbelt så mye nedbør som det normale for perioden 1964-96. Alle disse observasjonene stemmer godt overens med de målingene som ble gjort på Nigardsbreen med lite snø fram til 1.februar (2-3 m), mye snø fra februar til mai og stor smelting på sommeren.

6.5 ENGLISH SUMMARY

Nigardsbreen is one of the largest outlet glaciers (47.8 km^2) from the icecap Jostedalsbreen. The glacier has been studied in a detailed programme of mass balance investigations since 1962. These studies shows that the glacier has increased in volume more than 16 m of water equivalent during the period 1962-97. Most of this increase has taken place in the upper parts of the glacier, whereas the front has retreated up to 1988.

Mass balance 1996

The accumulation measurements were made on May 9-11. About 140 snow depth soundings were performed. Seven stakes had survived the winter. Snow depths were found to be between 2.5 and 4.6 m above 1320 m a.s.l., but only between 0.5 and 0.7 m on the glacier tongue. Total winter balance was 1.40 ±0.20 m w.eqv. (67 $mill.m^3$), which is 58 % of the mean value for the entire period of measurements. This is the smallest winter balance ever recorded since the measurements started in 1962. Summer balance was measured on September 16. In the areas between 1700 and 1960 m a.s.l., there was 1-2 m of remaining snow. Total summer balance was –1.81 ±0.30 m w.eqv. (86 $mill.m^3$), which is 95 % of the average. The net balance was measured at ten stake positions between 600 and 1960 m a.s.l. The final result was a deficit of 0.41 ±0.30 m w.eqv. or 20 $mill.m^3$ of water. The mean value is 0.50 m for the period 1962-95, and the ELA was about 1660 m a.s.l. The height distribution of winter, summer and net balance is presented in Table 6-1 and Figure 6-1.

Mass balance 1997

The accumulation measurements were performed on May 21-23. About 110 snow depth soundings were made and compared with the seven remaining stakes. Snow depth showed variations from 4.5 to 7.5 m on the plateau and from 1.5 to 3.3 m at the glacier tongue. Winter balance was calculated to 2.66 ±0.20 m w.eqv. (127 $mill.m^3$). This is 111 % of the mean winter balance. Ablation was measured on September 24. In the upper areas there was only just 2 m of remaining snow. Summer balance could be calculated directly at six stakes, and turned out to be –2.62 ±0.30 m w.eqv. (126 $mill.m^3$). This is 137 % of the average for the period. Only four years earlier (1966, 69, 80 and 88) a greater summer balance has been measured at Nigardsbreen. The net balance turned out to be slightly positive, only 0.04 ±0.30 m .eqv. The mean net balance for the entire investigation period is 0.47 m whereas the mean value for the period 1989-96 is 1.25 m w.eqv. ELA was about 1500 m a.s.l. The height distribution of winter, summer and net balance is presented in Table 6-2 and Figure 6-2.

Front position

The glacier front position was measured both in 1996 and 97 from fixed points along a fixed survey line near the outflow of the glacier river. Nigardsbreen advanced about 40 m from September 1995 to September 1996 and about 25 m the following year. After a long period of retreat that stopped in 1988, the glacier has advanced about 200 m until September 1997. Cumulative front position measurements are shown in Figure 6-4. For more information, see chapter 20.

Meteorological measurements

Meteorological observations, e.g. air temperature, wind speed and direction are recorded automatically at the field station Steinmann (1630 m a.s.l.). Down in the valley Jostedalen, there is another meteorological station, Bjørkehaug (324 m a.s.l.), run by The Norwegian Meteorological Institute. Data from October 1995 to September 1997 for these two stations are shown in Figure 6-5.

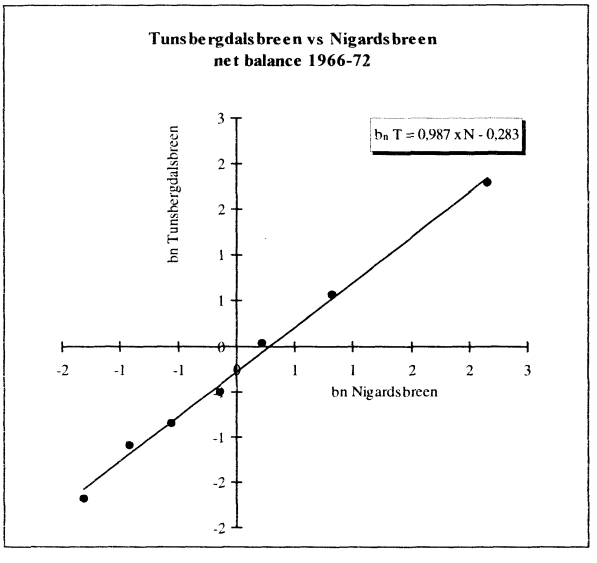
7 TUNSBERGDALSBREEN (076.BZ) Bjarne Kjøllmoen

7.1 MASSEBALANSE 1996 OG 1997

I perioden 1966-72 ble det utført massebalansemålinger både på Tunsbergdalsbreen (47.7 km^2) og på Nigardsbreen. En lineær regresjonsanalyse (figur 7-1) av resultatene for disse 7 årene gir følgende formel:

$$T = 0.987 \times N - 0.283$$

der T = Tunsbergdalsbreen nettobalanse og N = Nigardsbreens nettobalanse.

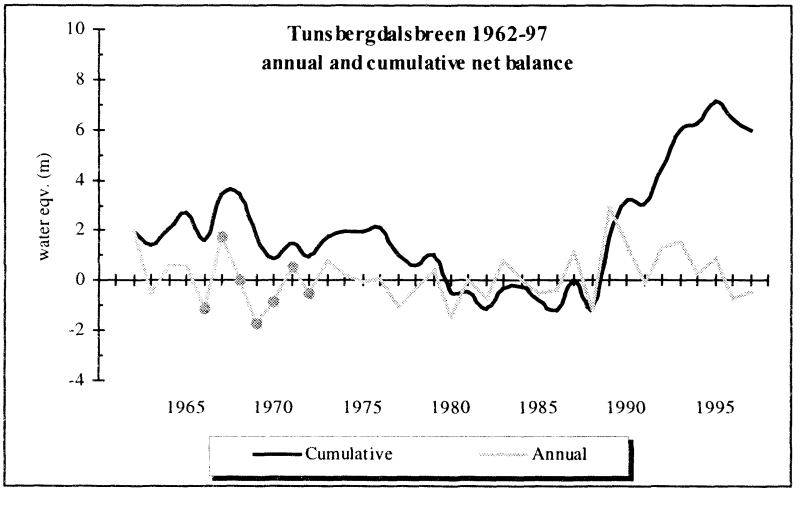


Figur 7-1
En lineær regresjonsanalyse av nettobalanseresultatene på Nigardsbreen og Tunsbergdalsbreen i perioden 1966-72.

Correlation between net balance at Nigardsbreen and Tunsbergdalsbreen in the period 1966-72.

Ut fra denne formelen er nettobalansen for Tunsbergdalsbreen i 1996 beregnet til -0.69 ±0.45 m vannekvivalenter eller et underskudd på 34 mill.m^3 vann. For 1997 er resultatet -0.42 ±0.45 m vannekvivalenter eller et underskudd på ca 20 mill.m^3 vann.

Beregningene viser at siden 1962 har Tunsbergdalsbreen et samlet overskudd på 6.0 meter vannekvivalenter. Resultatet for de to siste årene (1996 og 1997) viser derimot et samlet underskudd på ca 1 meter. Diagrammet i figur 7-2 viser årlig og kumulativ nettobalanse for perioden 1962-97.



Figur 7-2
Estimert årlig og kumulativ nettobalanse på Tunsbergdalsbreen i perioden 1962-97. For årene 1966-72 (markert med ●) er det målte verdier. I perioden 1962-97 er overskuddet på Tunsbergdalsbreen 6.0 m vannekvivalnter. Nigardsbreen har i samme periode et overskudd på ca 16.5 meter.

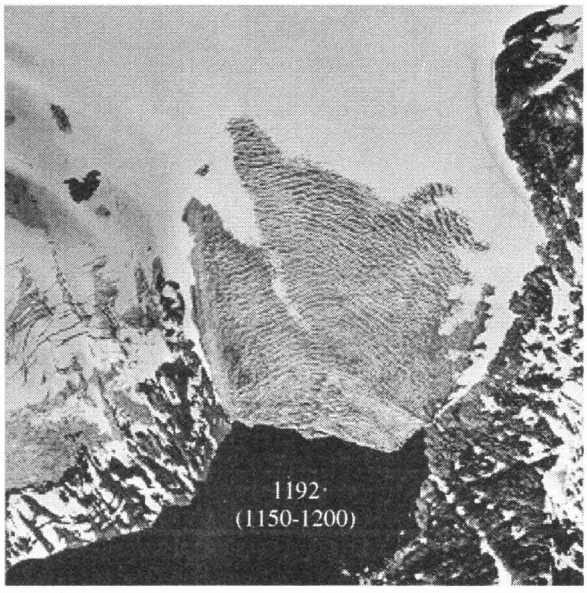
Estimated annual and cumulative net balance at Tunsbergdalsbreen in the period 1962-97. The years 1966-72 (marked ●) are measured values. The surplus is 6.0 m w.eqv. for the period 1962-97. The surplus for Nigardsbreen is about 16.5 m w.eqv. for the same period.

7.2 ENGLISH SUMMARY

From 1966 to 1972, mass balance measurements were made at both Tunsbergdalsbreen (47.7 km^2) and Nigardsbreen. A linear regression analysis of the results from these seven years gives an equation to calculate the annual net balance of Tunsbergdalsbreen (Fig.7-1). For 1996 and 1997, net balance was estimated to –0.69 m and –0.42 m w.eqv., respectively. Since 1962 the cumulative net balance is estimated to be a surplus of 6.0 m w.eqv. However, the result for the two latest years (1996 and 1997) shows a deficit of about 1 m w.eqv. The diagram in Fig.7-2 shows annual and cumulative net balance for the period 1962-97.

8 AUSTDALSBREEN (076.H) Hallgeir Elvehøy

Ausdalsbreen er ein nordaustleg utløper av Jostedalsbreen. Breen har eit areal på 11.8 km^2 og strekker seg frå 1200 til 1760 moh. Austdalsbreen kalvar ut i det regulerte vatnet Austdalsvatnet (figur 8-1). Glasiologiske undersøkingar på Austdalsbreen vart sett i gang i 1986 i samband med regulering av Jostedøla der Austdalsvatnet er magasin. Målingane er konsesjonpålagd Statkraft SF for Jostedal kraftverk. Massebalansemålingar vart starta i 1988, og breen har i perioden 1988-97 hatt ein kumulativ nettobalanse på +2.16 m vassekvivalentar. I 1996 og 1997 omfatta måleprogrammet frontposisjonendring, brerørsle på den nedre delen av breen og massebalanse.



Figur 8-1
Vertikalt flyfoto som viser Austdalsvatnet og nedre del av Austdalsbreen 14. august 1997. Vatnhøgde med reguleringshøgde i parentes av Austdalsvatnet er angitt på fotoet. Foto: Fjellanger Widerøe A/S.

Aerial photo showing the lake Austdalsvatn and the lower part of Austdalsbreen. The photo is taken on August 14 1997. The altitude and regulation limits are marked on the photo. Photo: Fjellanger Widerøe A/S.

8.1 MASSEBALANSE 1996

Feltarbeid

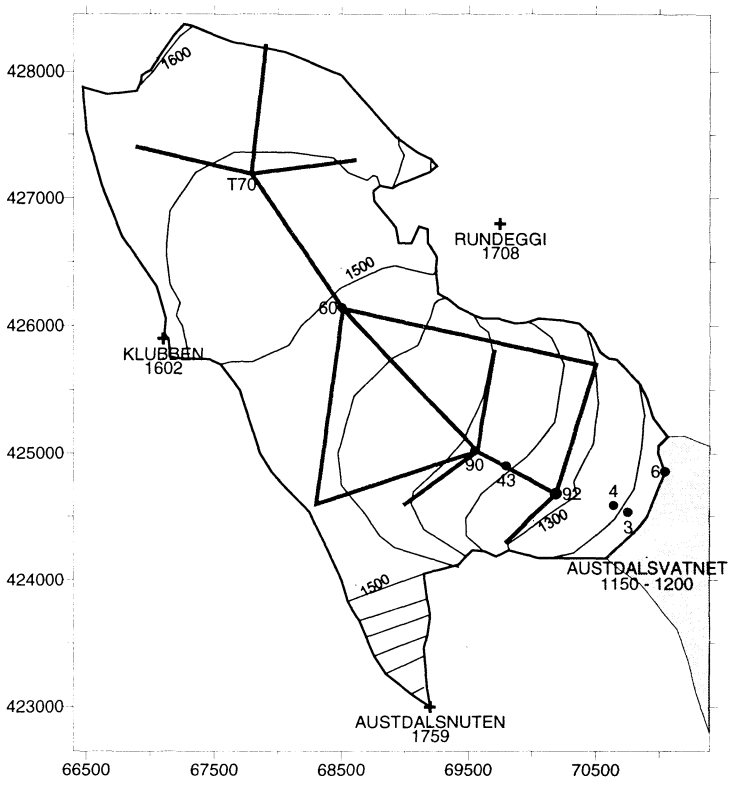
Akkumulasjonsmålingane vart gjort 8.mai. Stakane 3 (1245 moh.), 6 (1227 moh.), 92 (1305 moh.), 43 (1365 moh.), T90 (1400 moh.), 60 (1495 moh.) og T70 (1550 moh.) vart funne, og to nye stakar 90 (1405 moh.) og 70 (1550 moh.) vart sett ut (figur 8-2). Ved T70 vart snøtettleik målt ned til 3.8 m djup. Det vart sondert i alt 68 punkt (figur 8-2). Snødjupet varierte hovudsakleg mellom 2.0 og 3.5 meter.

Minimumsmålingane vart gjort 15.september. Det var ikkje nysnø på breen. Sommerbalansen og nettobalansen kunne reknast ut for stakane 2 (1230 moh.), 3, 6, 92, 43, 90, 60, 70 og T70. Snøen frå siste vinter hadde smelta vekk ved alle stakane, og likevektslinja låg truleg mellom 1550 og 1575 moh., medan firngrensa låg rundt 1400 moh. Det hadde smelta frå 3.5 m snø øvst på breen til 5.0 meter is nederst på breen.

Resultat

- Vinterbalanse

Utifrå målt tettleik ved T70 ned til 3.85 m djup (gjennom heile årslaget) vart det laga eit tettleiksprofil ned til 3.5 m djup. Dette tettleiksprofilet vart rekna som representativt for heile breen. Målte snødjup vart så omrekna til vassverdiar v.h.a. tettleiksprofilet. Figur 8-3 viser korleis vinterbalansen varierer med høgda over havet. Under 1300 moh. er fordelinga av akkumulasjonen svært ujamn p.g.a. store sprekker. Det vart rekna med at mildare akkumulasjon i høgdeintervallet er noko høgare enn det som



Figur 8-2
Sonderingsprofil og målestakar på Austdalsbreen i 1996 og 1997.

Sounding profiles and stakes at Austdalsbreen in 1996 and 1997.

vert målt på stakane som står mellom breie sprekker eller nær brefronten. For område over 1575 moh. vart det antatt ei svak auke og så reduksjon over 1700 moh. Akkumulasjonen kan stige p.g.a. auka høgde, men effektar av vinddrift er også større i dei høgreliggjande områda som på Austdalsnuten. Midlare vinterbalanse er utrekna til 1.20 ±0.20 m vassekvivalentar. Det er 47 % av middelverdien for perioden 1988-95, og den minste målte vinterbalansen i måleperioden.

• Sommarbalanse

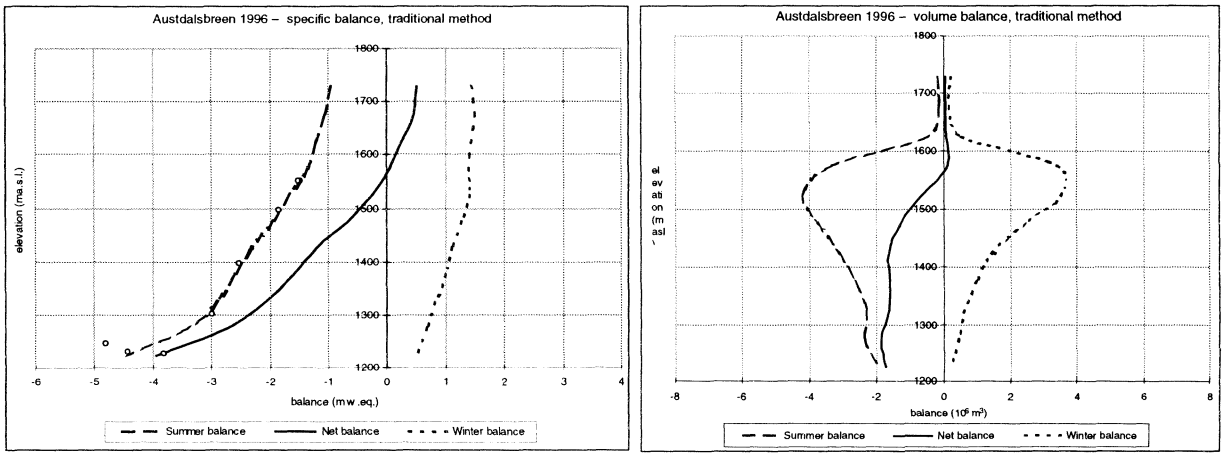
Sommarbalansen vart rekna ut på 8 stakar mellom 1227 og 1545 moh. Utifrå disse stakane vart ei utjamna kurve for sommarbalanse trekt (figur 8-3). Den store forskjellen mellom dei tre nedste stakane skuldast ein liten, men variabel snømengde på nedste delen av breen. På den nedste staken er ikkje akkumulasjonen målbar fordi staken står mellom breie sprekker som samler opp det meste av snøfallet. Sidan isen ikkje vert dekt av snø vert også netto avsmelting om sommaren større her.

I tillegg til smelting frå breoverflata mister Austdalsbreen masse ved kalving og smelting av brefronten som står i Austdalsvatnet. Disse prosessane kan ikkje skiljast i vårt måleopplegg og vert handsama under eitt som kalving. Massetapet ved kalving vert rekna ut som volumet av vassekvivalentar som vert transportert gjennom eit tverrprofil nær brefronten i løpet av eit år med tillegg av eit volumtap som skuldast at brefronten trekk seg tilbake. Kalvingsvolumet i vassekvivalentar kan reknast ut med formelen:

$$Q_k = \rho_{is} \cdot (u_{is} - u_f) \cdot B \cdot H \qquad (8\text{-}1)$$

der $\rho_{is} = 0.917$ m^3 vatn/m^3 is, u_{is} og u_f er hhv. brehastigheita og frontposisjonendringa midla over frontbredda (m/år), B er frontbredda (m) og H er midlare istjukkleik (m) langs brefronten.

Brehastigheita gjennom brefronten ble estimert ved å bruke målingar på stake 2 som står nær midtlina av breen og stake 6 som står på den nordlege delen av brefronten. Midlare rørsle vart rekna ut til 55 ±10 m/år (sjå kap. 8-4). Midlare endring i frontposisjon var –10 ±5 m/år. Istjukkleiken vart utrekna frå overflatehøgda målt langs brefronten hausten 1994 og eit botnkart laga på grunnlag av botntopografikart frå breradar i 1988, smelteboringar i 1987 og opplodding i Austdalsvatnet framfor



Figur 8-3 *Til venstre den spesifikke vinter-, sommar- og nettobalansen si høgdefordeling på Austdalsbreen i 1996. Sommarbalansen (○) målt på stakar markert. Til høgre volumbalansen si høgdefordeling.*

Altitudinal distribution of winter, summer and net balance at Austdalsbreen in 1996. Melting measured at stakes (○) are marked.

Mass balance Austdalsbreen1995/96 – traditional method

Altitude (m a.s.l.)	Area (km^2)	Winter balance Measured May 8 1996		Summer balance Measured Sep 15 1996		Net balance Summer surfaces 1995 - 1996	
		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	1,45	0,23	-0,95	-0,15	0,50	0,08
1650 - 1700	0,13	1,50	0,19	-1,05	-0,13	0,45	0,06
1600 - 1650	0,38	1,45	0,55	-1,20	-0,45	0,25	0,09
1550 - 1600	2,45	1,40	3,43	-1,35	-3,30	0,05	0,12
1500 - 1550	2,54	1,41	3,58	-1,65	-4,19	-0,24	-0,61
1450 - 1500	1,92	1,28	2,46	-1,95	-3,75	-0,67	-1,29
1400 - 1450	1,36	1,10	1,49	-2,30	-3,12	-1,20	-1,63
1350 - 1400	1,01	1,00	1,01	-2,60	-2,63	-1,60	-1,62
1300 - 1350	0,79	0,81	0,64	-2,90	-2,28	-2,09	-1,64
1250 - 1300	0,69	0,67	0,46	-3,40	-2,34	-2,73	-1,88
1200 - 1250	0,44	0,50	0,22	-4,45	-1,94	-3,95	-1,72

Total area 11,8

Total for whole glacier between summer surfaces 1995 - 1996 including calving

	Winter bal.	Summer bal.	Net bal.
volume (10^6 m^3)	**14,2**	**-26,9**	**-12,7**
specific (m)	**1,20**	**-2,27**	**-1,07**

Tabell 8-1 *Vinter- sommar- og nettobalansen si høgdefordeling på Austdalsbreen i 1996.*

Altitudinal distribution of winter, summer and net balance at Austdalsbreen in 1996.

brefronten i 1989 (Hooke et.al.1989, Laumann 1990, Laumann & Wold 1992). Midlare istjukkleik var 43 ±5 meter, og frontbredda var omlag 1050 ±50 meter. Kalvingsvolumet vart då 2.6 ±0.5 mill.m^3 eller 0.22 ±0.04 meter vass ekvivalentar jamt fordelt over heile breoverflata.

Midlare sommarbalanse (inkludert kalving) vart utrekna til -26.9 ±3.5 mill.m^3 vassekvivalentar som tilsvarer 2.3 ±0.3 m vatn jamt fordelt over breoverflata. Det er 110 % av gjennomsnittet for perioden 1988-95. I 1996 utgjorde kalving 10 % av sommarbalansen.

• Nettobalanse
Det totale masseunderskotet på Austdalsbreen er utrekna til 13 ±5 mill. m^3 vassekvivalentar eller 1.1 ±0.4 m vatn jamt fordelt over breoverflata (tabell 8-1). Midlare nettobalanse for perioden 1988-95 var til samanlikning eit overskot på 0.3 m vatn. Likevektslina låg i 1996 omlag 1565 moh (figur 8-3).

8.2 MASSEBALANSE 1997

Feltarbeid

Akkumulasjonsmålingane vart gjort 20.mai. Stakane 3 (1225 moh.), 4 (1250 moh.), 6 (1220 moh.), T90 (1391 moh.) og T70 (1550 moh.) vart funne, og fire erstatningsstakar 92 (1310 moh.), 43 (1362 moh.), 90 (1400 moh.), og 60 (1495 moh.) vart sett ut. Ved T70 vart snøtettleik målt ned til 6.6 m djup. Sommaroverflata vart påvist på 6.15 meters djup. Det vart sondert i alt 78 punkt (figur 8-2). Over 1400 moh. var snødjupet stort sett mellom 5 og 6 meter, mellom 1300 og 1400 moh. var snødjupet mellom 3 og 5 meter, og nedst ved brefronten var snødjupet rundt 1 meter. Det var stort sett gode sonderingsforhold.

Minimumsmålingane vart gjort 25.september. Det låg då mellom 0.1 og 0.95 m nysnø på breen. Sommerbalansen og nettobalansen kunne reknast ut for stakane 4, 92, 43, 90, 60 og T70. Det låg att snø frå siste vinter på dei to øvste stakane, så likevektslinja låg mellom 1400 og 1495 moh. Firngrensa låg òg mellom 1400 og 1495 moh. Det hadde smelta ca 5 m snø øvst på breen (tilsvarar ca 2.5 m vatn), og 5 meter is og 1 m snø nedst på breen (tilsvarar ca 5 m vatn).

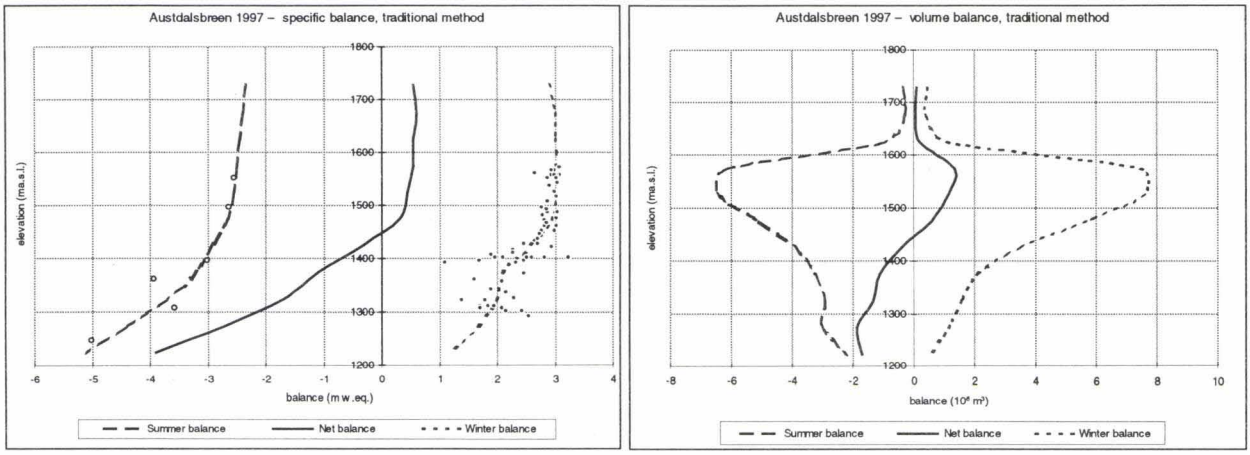
Resultat

• Vinterbalanse
Utifrå målt tettleik ned til 6.15 m djup (gjennom heile årslaget) ved T70 vart det laga ein formel for samanhengen mellom snødjup og vassekvivalentar. Denne formelen vart rekna som representativ for heile breen, og målte snødjup vart omrekna til vassverdiar v.h.a. denne formelen.

Vinterbalansen varierte med høgda over havet (figur 8-4). Under 1400 moh. var fordelinga av akkumulasjonen svært ujamn p.g.a. vinddrift. Under 1300 moh. vart det rekna med at midlare akkumulasjon i høgdeintervallet var noko høgare enn det som vert målt på stakane som står mellom breie sprekker eller nær brefronten. Over 1575 moh. vart det antatt ein svak reduksjon vidare oppover. Akkumulasjonen kan stige p.g.a. auka høgde, men effektar av vinddrift er også større i dei høgreliggjande områda som på Austdalsnuten.

Midlare vinterbalanse for 1997 er utrekna til 2.7 ±0.2 m vassekvivalentar, medan middelverdien for perioden 1988-96 var 2.39 meter.

• Sommarbalanse
Sommarbalansen vart rekna ut for 6 stakeposisjonar mellom 1240 og 1545 moh. Utifrå disse verdiane vart ei utjamna kurve for sommarbalanse trekt (figur 8-4). Massetapet ved kalving frå breen og smelting på brefronten vart regna ut på samme måte som i 1996 (formel 8-1, kap 8-1). I 1997 sesongen vart midlare rørsle rekna ut til 57 ±10 m/år. Midlare endring i frontposisjon var -25 ±5 m/år. Midlare istjukkleik var 43 ±5 meter, og frontbredda var omlag 1050 ±50 meter. Kalvingsvolumet vart då 3.3 ±0.5 mill.m^3 eller 0.29 ±0.04 meter vassekvivalentar jamt fordelt over heile breoverflata.



Figur 8-4 *Til venstre den spesifikke vinter-, sommar- og nettobalansen si høgdefordeling på Austdalsbreen i 1997. Sonderingspunkta for vinterbalansen (●), og sommarbalansen (○) målt på stakar, er også vist. Til høgre volumbalansen si høgdefordeling.*

Altitude distribution of winter, summer and net balance at Austdalsbreen in 1997. Distribution of snow depth measurements (●) and melting measured at stakes (○) are marked.

Mass balance Austdalsbreen1996/97 – traditional method

Altitude (m a.s.l.)	Area (km^2)	Winter balance Measured May 20 1997		Summer balance Measured Sep 27 1997		Net balance Summer surfaces 1996 - 1997	
		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	2,90	0,46	-2,35	-0,37	0,55	0,09
1650 - 1700	0,13	3,00	0,38	-2,40	-0,31	0,60	0,08
1600 - 1650	0,38	3,00	1,13	-2,45	-0,92	0,55	0,21
1550 - 1600	2,45	3,05	7,47	-2,50	-6,12	0,55	1,35
1500 - 1550	2,54	3,00	7,62	-2,55	-6,47	0,45	1,14
1450 - 1500	1,92	2,95	5,67	-2,65	-5,09	0,30	0,58
1400 - 1450	1,36	2,60	3,52	-2,90	-3,93	-0,30	-0,41
1350 - 1400	1,01	2,10	2,12	-3,20	-3,23	-1,10	-1,11
1300 - 1350	0,79	2,00	1,57	-3,70	-2,91	-1,70	-1,34
1250 - 1300	0,69	1,70	1,17	-4,40	-3,02	-2,70	-1,85
1200 - 1250	0,44	1,20	0,52	-5,10	-2,22	-3,90	-1,70

Total area 11,8

Total for whole glacier between summer surfaces 1996 - 1997 including calving

	Winter bal.	Summer bal.	Net bal.
volume (10^6 m^3)	**31,6**	**-37,9**	**-6,3**
specific (m)	**2,67**	**-3,20**	**-0,53**

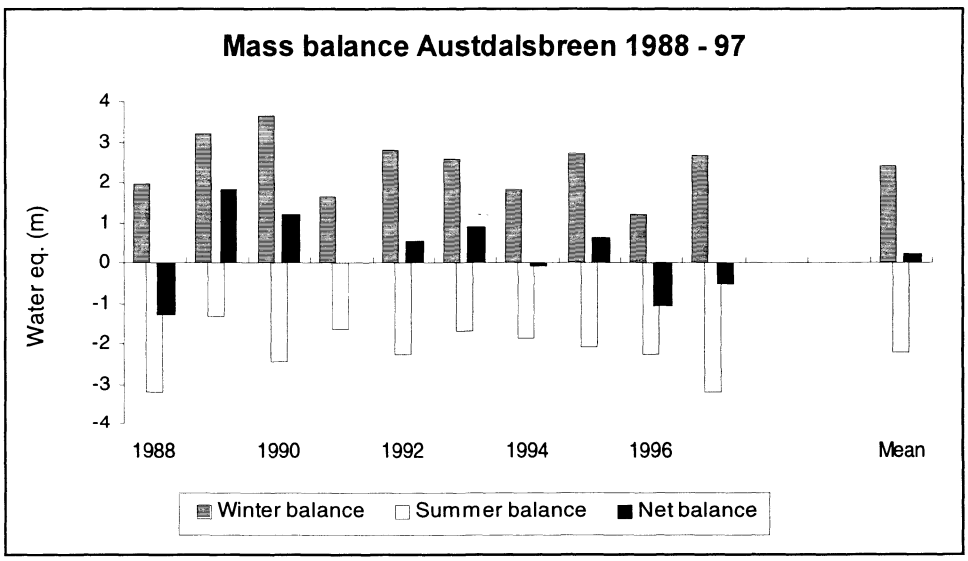
Tabell 8-2 *Vinter- sommar- og nettobalansen si høgdefordeling på Austdalsbreen i 1997.*

Altitude distribution of winter, summer and net balance at Austdalsbreen in 1997.

Sommarbalansen (inkludert kalving) vart utrekna til -37.9 ±3.5 mill. m^3 vassekvivalentar som tilsvarar 3.2 ±0.3 m vatn jamt fordelt over breoverflata. Det er like mykje som i 1988 som tidlegare var året med størst sommarbalanse. Då var imidlertid bidraget frå kalving noko mindre (2 mill.m^3). Gjennomsnittet for perioden 1988-96 er 2.21 m vassekvivalentar. I 1997 utgjorde kalving 8.5 % av sommarbalansen.

• Nettobalanse

Det totale masseunderskotet på Austdalsbreen er utrekna til 6 ±5 mill.m^3 vassekvivalentar eller 0.5 ±0.4 m vatn jamt fordelt over breoverflata (tabell 8-2). Midlare nettobalanse for perioden 1988-96 er til samanlikning eit overskot på 0.2 m vatn (figur 8-5). Likevektslinja låg i 1997 omlag 1450 moh. (figur 8-4).

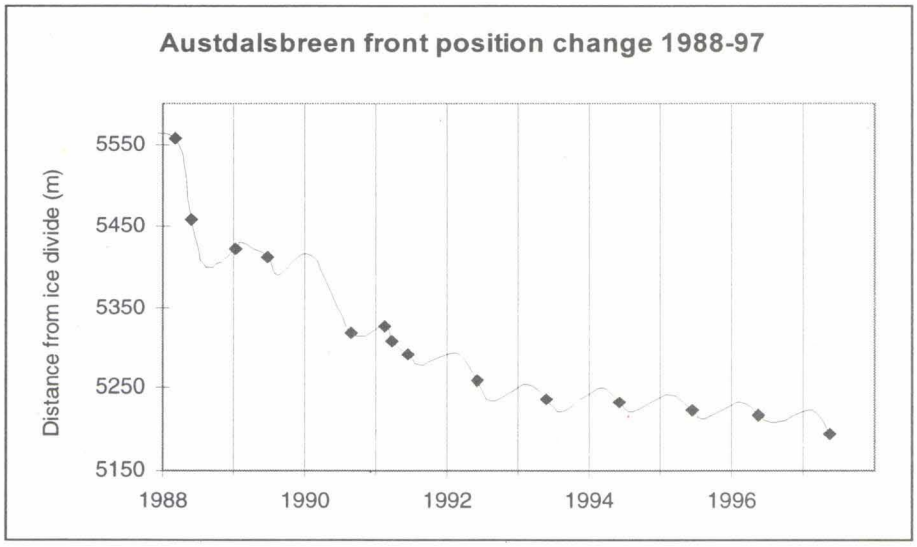


Figur 8-5 *Vinter-, sommar-, og nettobalansen på Austdalsbreen i perioden 1988-97. Akkumulert masseoverskot i perioden utgjer 2.16 m vassekvivalentar.*

Winter, summer and net balance for Austdalsbreen during the period 1988-97. The accumulated surplus in the period was 2.16 m water equivalents.

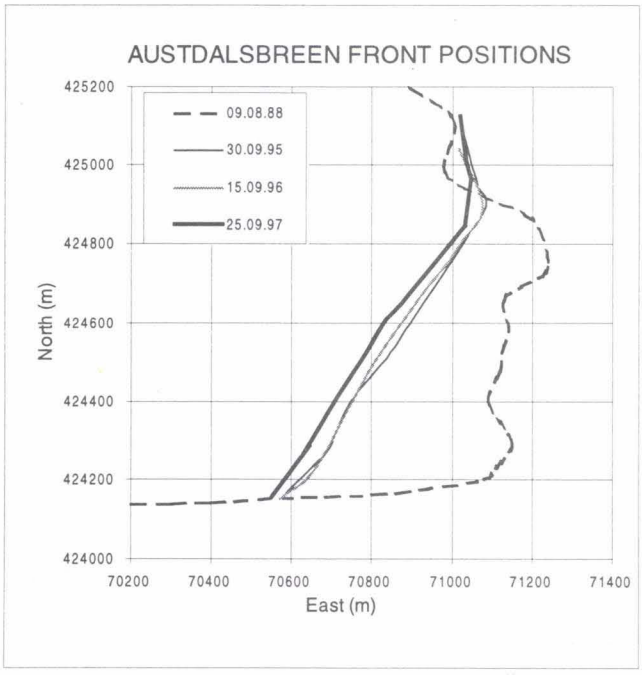
8.3 FRONTPOSISJONENDRING

Det vart målt inn 7 punkt langs brefronten 15.september 1996. Dessutan vart det målt inn nokre punkt i februar og juli 1996. Målingane viser at frontposisjonen varierer ein del gjennom året. Midlare tilbakegang mellom 30.september 1995 og 15.september 1996 var om lag 10 meter (figur 8-7).
Det vart målt inn 12 punkt langs brefronten 25.september 1997. Midlare tilbakegang mellom 15.september 1996 og 25.september 1997 var omlag 25 meter (figur 8-6). Fronttilbakegangen har ikkje vore så stor sidan 1992-93 (då var den 22 meter). Sidan 1988 har brefronten trekt seg omlag 350 meter tilbake (figur 8-6).



Figur 8-6 *Frontposisjonar (prikkar) målt langs ei sentral flyteline i Austdalsbreen. Stipla line illustrerer korleis frontposisjonen varierer gjennom året med framstøyt frå november/desember til juni/juli medan isen ligg på vatnet, og kalving og tilbakegang om sommaren og hausten frå juni/juli til november/desember. Den omfattande tilbakegangen i 1988 skuldast første gongs fylling av Styggevassmagasinet og ein svært varm sommar.*

Front positions (dots) along the central flow line of Austdalsbreen. Broken line indicates how the front position varies throughout the year. The glacier advances from November and December to June and July, then the glacier retreats during the summer and the autumn due to calving and melting. The large retreat in 1988 was a result of filling of the reservoir Styggevatn, and a very hot summer.

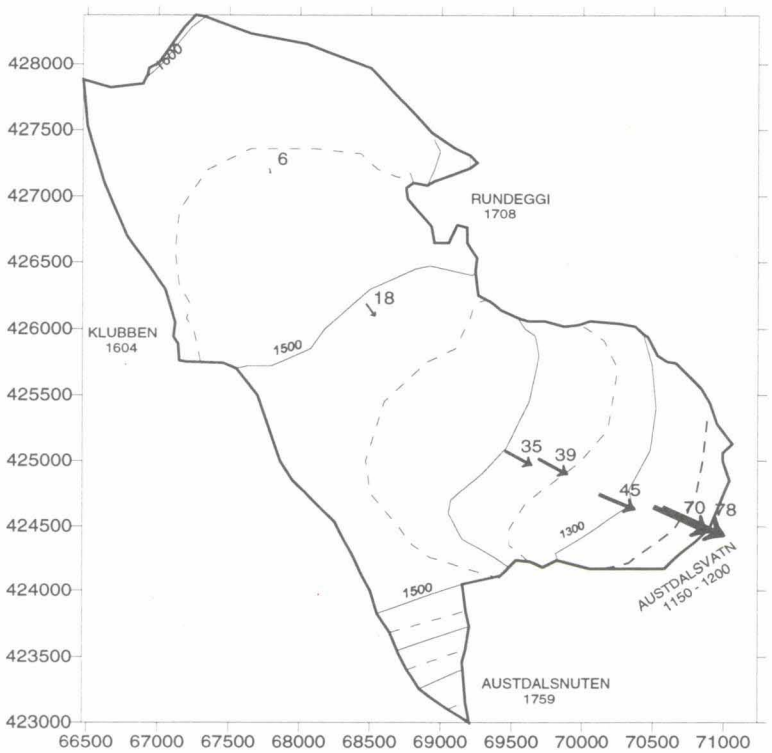


Figur 8-7
Frontposisjonar på Austdalsbreen i 1988, 1995, 1996 og 97. Mellom hausten 1996 og hausten 1997 har fronten til Austdalsbreen trekt seg tilbake langs nesten heile kalvingsfronten i Austdalsvatnet. Berre lengst nord er brefronten tilnærma stabil. Midlare tilbakegang mellom 1996 og 1997 var ca 25 meter.

Front positions at Austdalsbreen in 1988, 1995, 1996 and 1997. Between the autumns of 1996 and 1997 the glacier front has retreated along most of the calving front. Only the northernmost part of the glacier front is stable. The average retreat between 1996 and 1997 was 25 metres.

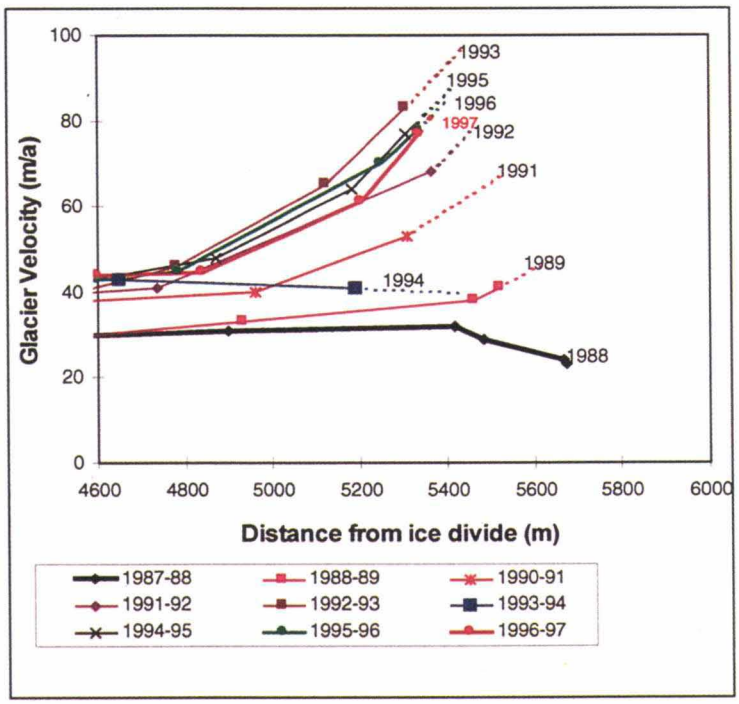
8.4 BRERØRSLE

Brerørsla på nedre delen av Austdalsbreen auka frå reguleringa av Austdalsvatnet/Styggevatnet vart starta i 1988 fram til 1993. I 1994 var brerørsla låg p.g.a. svært låg vasstand i Styggevatnet. Etter dette ser hastigheitsmønsteret ut til å ha vore noko lunde stabilt. Brehastigheita varierer ein del gjennom året dels som følgje av naturlege svingingar i vasstilførselen til brebotnen (frå smelting og regn) og utviklinga av dreneringssystemet under breen, og dels som følgje av variasjonar i vasstand i Styggevatnet.



Figur 8-8
Isrørsle på Austdalsbreen i perioden 30.september 1995 til 15.september 1996). Pilene viser retning av rørslen, mens talet angir forflytting i m. Hastigheiten er målt ved gjentatte innmålingar av stakar som også brukes til massebalansemålingar.

Glacier velocity measured on Austdalsbreen from September 30 1995 to September 15 1996. The arrows indicate the direction of the movement, while the numbers give the total velocity in metres in the measuring period. The velocity is measured on the same stakes as used in mass balance measurements.



Figur 8-9
Brehastigheit (frå september til september) langs eit sentralt lengdeprofil på den nedre del av brefronten til Austdalsbreen. Avstand 4600 meter frå isskiljet ligg om lag ved stake 92 (figur 8-2). Mellom 1988 og 1997 har brefronten trekt seg 350 meter tilbake. Frå nedste stake til brefronten er brehastigheita ekstrapolert til å auke i samme takt som mellom dei to nedste stakane.

Glacier velocity (from September to September) along the central flow line in the lower part of Austdalsbreen. The distance 4600 metres from the ice divide corresponds to stake 92 (Figure 8-2). Between 1988 and 1997 the glacier has retreated 350 metres. The glacier velocity is extrapolated from the lowest stake down to the glacier front assuming a similar increase as observed between the two lowest stakes.

1996

Målestakar på den nedre delen av breen vart posisjonert 13.februar, 8.mai, 19.juli og 15.september. I tillegg vart tårn T70 målt inn 19.juli. Den målte hastigheiten var størst for stakane nærmast brefronten med 78 m/år og minka oppover breen til 6 m/år (figur 8-8).

1997

Målestakar i 7 posisjonar på den nedre delen av breen vart posisjonert 1.februar, 20.mai, 30.juli og 25.september. Dette året ble hastigheit målt berre i nedre del av breen. På to stakar nær midten av breen var årleg hastigheit 82 m/år og ved ein stake nær nordenden av brefronten var den 33 m/år. Midla brehastigheit i fronten i overflata var 60 m/år (73 % av senterhastigheita).

På figur 8-9 er årleg hastigheit på stakar langs ei line midt i breen vist som funksjon av avstanden til toppen av breen (isskiljet mot Sygneskardsbreen). Hastigheitsmønsteret ser ut til å ha vore nokolunde stabilt dei siste tre åra med ein årleg middelhastigheit ved brefronten på 80–90 m/år, og 40-45 m/år 500-600 meter frå brefronten.

8.5 ENGLISH SUMMARY

Austdalsbreen is a northern outlet of Jostedalsbreen. The glacier is east facing, has an area of 11.8 km^2 and ranges in height from 1200 to 1760 m a.s.l. (Figure 8-2). Austdalsbreen calves into the regulated lake Austdalsvatn (Figure 8-1). Glaciological work started at Austdalsbreen in 1986 in connection with construction of a hydro-electric power plant in which lake Austdalsvatn is a reservoir. Mass balance measurements started in 1988 and cumulative net balance from 1988 to 1997 was 2.16 m w.eqv. (Figure 8-5). In 1996 and 1997 both mass balance, glacier velocities, and front position were measured.

Mass balance 1996

Accumulation was measured on May 8 in 68 points. The snow depth varied between 2.0 and 3.5 metres. Winter balance was 1.20 m w.eqv. or $12.7 \cdot 10^6$ m^3. Ablation was measured on September 15. The snow from last winter had completely melted at all the stakes. The equilibrium line altitude was 1560 m a.s.l. The calculated summer balance including calving was -2.27 m w.eqv. or $-26.9 \cdot 10^6$ m^3. This gave a negative specific net balance of -1.07 m w.eqv. or a volume balance of $-12.7 \cdot 10^6$ m^3 (Table 8-1).

Mass balance 1997

Accumulation was measured on May 20 in 78 points. The measured snow depth varied between 1 and 6 metres. Winter balance was 2.7 m w.eqv. or $32 \cdot 10^6$ m^3 w.eq. Ablation was measured on September 25. A fresh snow layer between 0.1 and 1.0 m covered the glacier. The height of the equilibrium line was approximately 1450 m a.s.l. Specific ablation was 3.2 m w.eqv. or $38 \cdot 10^6$ m^3 w.eqv. The net balance was negative in 1997, with specific balance of -0.53 m w.eqv. or a volume balance of $6 \cdot 10^6$ m^3 w.eqv. (Table 8-2).

Changes in front position

The glacier front position was measured in seven points on September 15, 1996 and in 12 points on September 25, 1997. Additional measurements in February and July, 1996 shows that the front positions vary throughout the year. Average annual retreat of the glacier front from 1995 (September 30) to 1996 was approximately 10 metres. From 1996 to 1997 the glacier retreated 25 m further. Since 1988 the glacier front has retreated around 350 metres (Figure 8-7).

Glacier movement

The velocity pattern of Austdalsbreen has changed a lot since the regulation of the lake Austdalsvatn in 1988-89 (Figure 8-8). 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 the last three years with an annual velocity between 80 and 90 metres at the glacier front, and an annual velocity of 40 to 45 metres at a distance of 500-600 metres up from the glacier front.

9 HARDANGERJØKULEN (050.4C1Z) Hallgeir Elvehøy

Målingane vert gjort på den sørvestlege delen av Hardangerjøkulen med utløparen Rembesdalskåki som drenerer til Rembesdalsvatn og Simadalen i Hardanger. Målingane vart igangsett av Norsk Polarinstitutt i 1963, og har sidan 1982 vore utført som ein del av dei hydrologiske målingane konsesjonspålagt Statkraft Region Sør-Norge i samband med vasskraftprosjektet Eidfjord Nord. Målingane har sidan 1985 vore utført av NVE og Statkraft.

9.1 MASSEBALANSE 1996

Feltarbeid

Vinterbalansen vart målt 22.mai. Stakane 10.94 og 10.95 (1270 moh.), 7.93 og 7.95 (1650 moh.), 4.95 (1750 moh.) og T2 (1820 moh.) vart funne og målt. På breplatået over 1650 moh. vart det sondert i 47 punkt langs to lengdeprofil og eit tverrprofil ca 1700 moh. Dessutan vart to punkt omlag 1500 moh. og to punkt ved stake 10.95 (1260 moh.) sondert. Det var gode sonderingsforhold over heile breen. På bretunga var det svært lite snø (0-45 cm), rundt 1500 moh. var det omlag 1 m snø, og over 1650 moh. var det mellom 2 og 2,85 m snø med dei fleste punktverdiane mellom 2,5 og 2,85 meter. Tettleiken vart målt ned til sommaroverflata (1,4 m dyp) ved stake 7.93 (1650 moh.). Midlare tettleik var omlag 0,45 g/cm^3.

Minimumsmålingane vart gjort 28.oktober då alle stakar vart målt og nye stakar sett ut i posisjonane 10 og 4. Stakemålingane som er grunnlaget for utrekning av sommar- og nettobalansen er vist i tabell 9-1.

	Measured May 22 1996		Melting May 22 – Oct 28 1996	
	Snow depth (m)	Density (g/cm^3)		Density (g/cm^3)
Stake 10 (1270 m a.s.l.)	0.45	0.42	0.45 m snow 5.40 m ice (*)	0.42 0.90
Stake 7 (1650 m a.s.l.)	1.40	0.44	1.40 m snow 2.20 m firn	0.44 0.70
T2 (1820 m a.s.l.)	2.80	0.46	2.80 m snow 0.10 m firn	0.46 0.70

Tabell 9-1 *Stakemålingar som dannar grunnlag for utrekning av sommar- og nettobalansen på Hardangerjøkulen 1996. (*) Smeltinga på stake 10 måtte estimerast utifrå samanheng mellom sommarbalansen i høgdenivå 1275 (stake 10) og 1650 (stake 7) funne på grunnlag av 22 av åra i perioden 1963-95 (data frå «Glasiologiske Undersøkelser i Norge 19..» (NVE-Publikasjon)).*

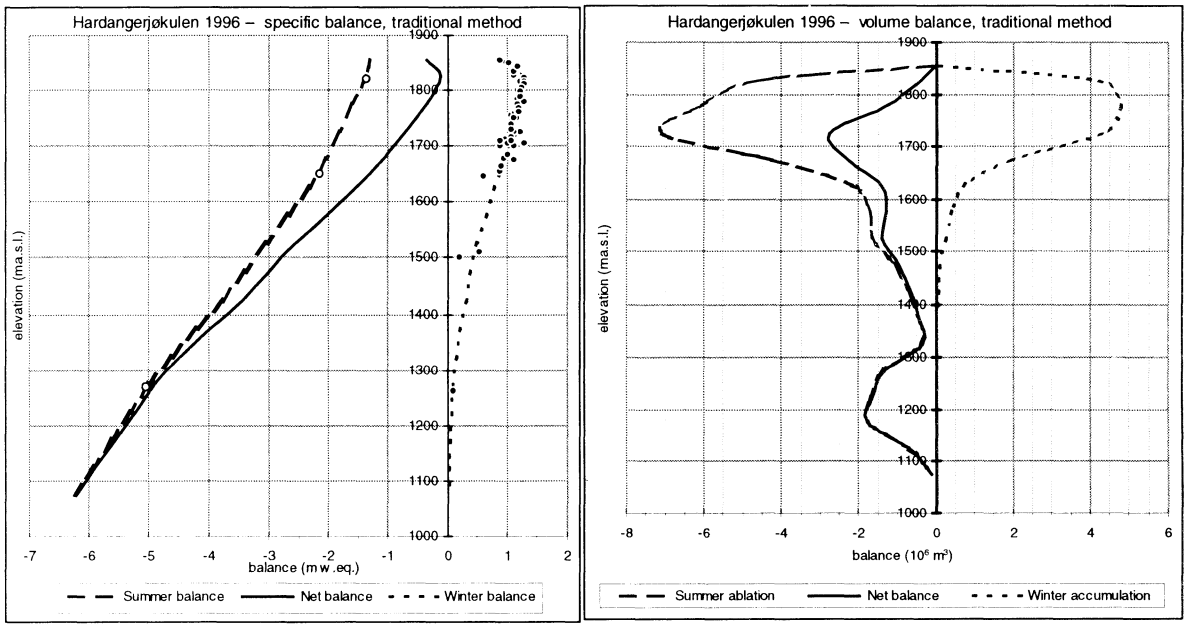
Stake measurements which are the basis for calculating the summer balance and net balance at Hardangerjøkulen in 1996. (*) Melting at stake 10 was estimated from a relation between the summerbalance 1275m a.s.l. (stake 10) and 1650 m a.s.l. (stake 7) based on 22 of the years between 1963 and 1995 (data from NVE-reports "Glaciological Investigations in Norway 19..).

Resultater

Massebalansen er rekna ut etter såkalla tradisjonell metode der nettobalansen er endringa mellom to sommeroverflater. 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 22.mai vart vinterbalansen utrekna. Målte snødjup vart omrekna til vassekvivalentar vha ein lineær formel for tettleiksauke med aukande snødjup basert på målte verdiar



Figur 9-1 *Kurver for spesifikke verdier til venstre og volumverdier til høyre for vinter-, sommar- og nettobalanse på Hardangerjøkulen i 1996, saman med sonderingar (•) og sommarbalansen utrekna for stakar (○).*

Altitudinal distribution of specific (left) and volume (right) values for winter, summer and net balance at Hardangerjøkulen in 1996. Point measurements of winter balance (•, soundings) and summer balance (○, stakes) are indicated. The ELA was higher than the top of the glacier.

ned til 1,4 m djup. Vassverdien av 1,4 og 2,8 m, som var største målte snødjup, vart såleis estimert til hhv. 0,6 og 1,3 m vassekvivalentar. Mellom 1500 og 1270 moh. og under 1250 moh. vart ikkje snødjupet målt. Der er verdiane ekstrapolert frå høgdeintervalla med målingar.

Vinterbalansen vart dermed utrekna til totalt 17,1 mill.m^3 vassekvivalentar eller 0,99 m vatn jamt fordelt over breoverflata. Det er 46 % av gjennomsnittet for perioden 1963-95, og 40 % av gjennomsnittet for perioden 1991-95. Uvissa i spesifikk vinterbalanse er estimert til ±0,20 m vassekvivalentar. Vinterbalansen si høgdefordeling er vist i tabell 9-2 og figur 9-1.

• Sommarbalanse

Sommarbalansen kunne reknast ut for stakane 7.95 (1650 moh.) og T2 (1800 moh.). I tillegg vart sommarbalansen på stake 10 (1270 moh.) estimert utifrå ein samanheng mellom sommarbalanse 1650 moh. (stake 7) og 1270 moh.(stake 10), basert på resultat frå 22 år i perioden 1963-95. Data til samanlikninga er henta frå NVE-Publikasjonar i serien «Glasiologiske Undersøkelser i Norge 19..». Grunnlaget for utrekning av sommarbalansen er vist i tabell 9-1.

Sommarbalansen vart dermed utrekna til totalt 36,1 mill.m^3 vassekvivalentar eller 2,10 m vatn jamt fordelt over breoverflata. Det er 105 % av gjennomsnittet for perioden 1963-95, men 125 % av gjennomsnittet for perioden 1991-95. Uvissa i spesifikk sommarbalanse er anslått til å vere ±0,20m vassekvivalentar. Sommarbalansen si høgdefordeling er vist i tabell 9-2 og i figur 9-1.

Mass balance Hardangerjøkulen1995/96 – traditional method

Altitude (m a.s.l.)	Area (km^2)	Winter balance Measured May 22 1996 Specific (m w.eq.)	Winter balance Volume (10^6 m^3)	Summer balance Measured Oct 28 1996 Specific (m w.eq.)	Summer balance Volume (10^6 m^3)	Net balance Summer surfaces 1995 - 1996 Specific (m w.eq.)	Net balance Volume (10^6 m^3)
1850 - 1860	0,07	0,95	0,1	-1,30	-0,1	-0,35	0,0
1800 - 1850	3,38	1,25	4,2	-1,37	-4,6	-0,12	-0,4
1750 - 1800	3,87	1,24	4,8	-1,59	-6,2	-0,35	-1,4
1700 - 1750	3,91	1,10	4,3	-1,81	-7,1	-0,71	-2,8
1650 - 1700	2,08	0,94	2,0	-2,04	-4,2	-1,10	-2,3
1600 - 1650	0,94	0,80	0,8	-2,33	-2,2	-1,53	-1,4
1550 - 1600	0,64	0,66	0,4	-2,68	-1,7	-2,02	-1,3
1500 - 1550	0,54	0,50	0,3	-3,05	-1,6	-2,55	-1,4
1450 - 1500	0,32	0,40	0,1	-3,39	-1,1	-2,99	-1,0
1400 - 1450	0,20	0,32	0,1	-3,76	-0,8	-3,44	-0,7
1350 - 1400	0,11	0,22	0,0	-4,20	-0,5	-3,98	-0,4
1300 - 1350	0,08	0,15	0,0	-4,62	-0,4	-4,47	-0,4
1250 - 1300	0,27	0,10	0,0	-5,00	-1,4	-4,90	-1,3
1200 - 1250	0,32	0,08	0,0	-5,30	-1,7	-5,22	-1,7
1150 - 1200	0,32	0,05	0,0	-5,62	-1,8	-5,57	-1,8
1100 - 1150	0,12	0,04	0,0	-5,93	-0,7	-5,89	-0,7
1050 - 1100	0,02	0,03	0,0	-6,25	-0,1	-6,22	-0,1

Total area 17,2

Total for whole glacier between summer surfaces 1995 - 1996

	Winter bal.	Summer bal.	Net bal.
volume (10^6 m^3)	**17,1**	**-36,1**	**-19,0**
specific (m)	**0,99**	**-2,10**	**-1,11**

Tabell 9-2 Vinter-, sommar- og nettobalansen på Hardangerjøkulen i 1996

Winter, summer and net balance on Hardangerjøkulen 1996.

• Nettobalanse

Nettobalansen er utrekna til eit masseunderskot på -19 ±5 mill.m^3 vassekvivalentar eller –1,11 ±0,30 m vatn jamt fordelt over breoverflata. Til samanlikning er middelverdien for perioden 1963-95 +0,23 m vassekvivalentar medan middelverdien for perioden 1991-95 er +0,85 m vassekvivalentar.

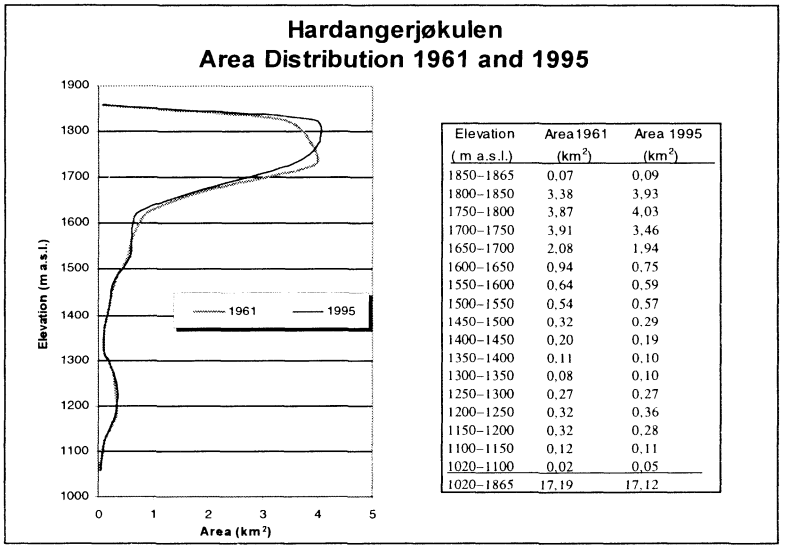
Nettobalansen si høgdefordeling er vist i figur 9-1, og i tabell 9-2 er verdiane for vinter-, sommar- og nettobalansen gitt. Det var i år netto avsmelting på heile breen. Dermed vart likevektslina liggjande over toppen av Hardangerjøkulen.

9.2 MASSEBALANSE 1997

Kartgrunnlag

Massebalansen på den undersøkte delen av Hardangerjøkulen har vore utrekna på grunnlag av ei høgde-arealfordeling basert på kart frå 1961. I samband med utrekning av dreneringsgrenser for Demmevatnet og vurdering av fara for jøkulhlaup frå Demmevatnet (NVE-Rapport 17 1997) vart det konstruert et nytt kart over Hardangerjøkulen på grunnlag av flybilete frå 1995 (Fjellanger Widerøe oppgåve 11862) . Frå dette kartgrunnlaget er ei ny høgde-arealfordeling utrekna. Figur 9-2 viser

høgdefordelinga i 1961 og 1995 for den undersøkte delen av Hardangerjøkulen som drenerer til Rembesdalskåki. Arealet er redusert frå 17,19 til 17,12 km^2. Arealet over 1750 moh. har auka, medan arealet mellom 1600 og 1750 moh. har minka. Under 1600 moh. er det små endringar. For balanseåret 1997 fører overgangen til ny arealfordeling berre til små forandringar (<1%) i utrekna vinter- og sommarbalanse. Derfor vert ikkje tidlegare utrekna massebalanseresultat rekna om.



Elevation (m a.s.l.)	Area 1961 (km^2)	Area 1995 (km^2)
1850–1865	0,07	0,09
1800–1850	3,38	3,93
1750–1800	3,87	4,03
1700–1750	3,91	3,46
1650–1700	2,08	1,94
1600–1650	0,94	0,75
1550–1600	0,64	0,59
1500–1550	0,54	0,57
1450–1500	0,32	0,29
1400–1450	0,20	0,19
1350–1400	0,11	0,10
1300–1350	0,08	0,10
1250–1300	0,27	0,27
1200–1250	0,32	0,36
1150–1200	0,32	0,28
1100–1150	0,12	0,11
1020–1100	0,02	0,05
1020–1865	17,19	17,12

Figur 9-2 *Brearealet si høgdefordeling i 1961 og 1995 for den delen av Hardangerjøkulen som drenerer til Rembesdalskåki.*

Altitudinal area distribution curves for the investigated part of Hardangerjøkulen draining to Rembesdalskåki in 1961 and 1995

Feltarbeid

Vinterbalansen vart målt 30.mai. Stakane 10.96 (1270 moh.) og T2 (1820 moh.) vart funne og målt, medan to nye stakar 7.97 (1650 moh.) og 4.97 (1750 moh.) vart sett ut. Det vart dessutan sondert i 18 punkt langs eit lengdeprofil frå toppen av Hardangerjøkulen (1860 moh.) via T2, stake 4 og stake 7 til Tresnut ca 1500 moh. Snødjupet var mellom 4 og 7 meter. Det var gode sonderingsforhold over heile breen. På bretunga viste stake 10.96 eit snødjup på 2,95 meter. Tettleiken vart målt ned til 2 meters djup ved stake 4 og 7.

	Measured May 30		Melting May 30 – Nov 25	
	Snow depth (m)	Density (g/cm^3)		Density (g/cm^3)
Stake 10 (1270 m a.s.l.)	2.95	0.49	2.95 m snow 5.50 m ice	0.49 0.90
Stake 7 (1650 m a.s.l.)	6.70	0.50	6.70 m snow 0.20 m ice	0.50 0.90
T2 (1820 m a.s.l.)	6.00	0.50	6.00 m snow -0.40 m firn *	0.50 0.60

Tabell 9-3 *Stakemålingar som danner grunnlag for utrekning av sommar- og nettobalansen på Hardangerjøkulen 1997. (* ved T2 låg det att 0,4 m snø frå siste vinter.)*

Stake measurements which are the basis for calculating the summer balance and net balance at Hardangerjøkulen in 1997. (at T2 there was 0.4 m of snow left over from last winter.)*

Ved minimumsmålingane 25.november hadde det smelta 5,5 til 8,5 meter snø og is sidan akkumulasjonsmålingane i mai. Det hadde også komme opp til 1 meter nysnø på breen. Målingane som er grunnlaget for utrekning av sommar- og nettobalansen er vist i tabell 9-3.

Resultater

Massebalansen er rekna ut etter ein stratigrafisk (tradisjonell) metode der nettobalansen er endringa mellom to sommeroverflater. 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 30.mai vart vinterbalansen utrekna. Basert på tettleiksmålingane og målingar frå tidlegare år vart ein funksjon som gir samanhengen mellom snødjup og vassekvivalentar funnen. Funksjonen vart brukt til å rekne om sondert snødjup til vassekvivalenter. Til dømes vert midlare tettleik for 6 meter snø utrekna til 0,50 g/cm^3 med denne funksjonen. Mellom 1500 og 1270 moh. og under 1250 moh. vart ikkje snødjupet målt. Der er verdiane ekstrapolert frå høgdeintervalla der målingar ligg føre.

Vinterbalansen vart dermed utrekna til 50,4 mill.m^3 vassekvivalentar eller 2,94 m vatn jamt fordelt over breoverflata. Det er 140 % av gjennomsnittet for perioden 1963-96, og 125 % av gjennomsnittet for perioden 1992-96. Vinterbalansen i 1997 er den femte største som er målt på Hardangerjøkulen. Uvissa i spesifikk vinterbalanse er estimert til ±0,20 m vassekvivalentar. Vinterbalansen si høgdefordeling er vist i tabell 9-4 og figur 9-3.

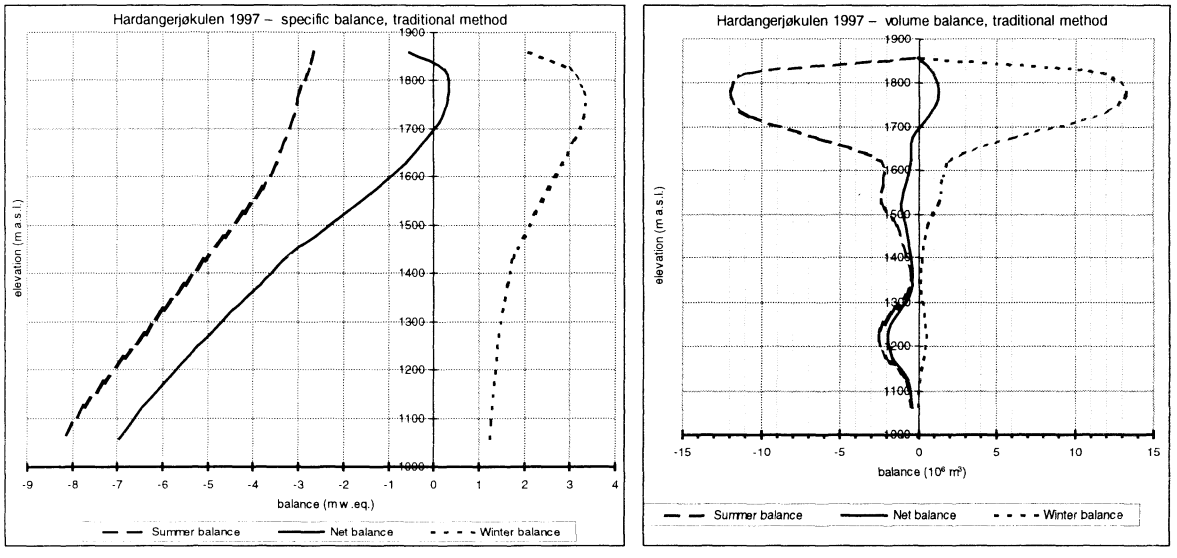
- Sommarbalanse

Sommarbalansen kunne reknast ut for stakeposisjonane 10 (1270 moh.), 7 (1650 moh.) og T2 (1820 moh.). Grunnlaget for utrekning av sommarbalansen er vist i tabell 9-3.

Sommarbalansen vart dermed utrekna til –58,4 mill.m^3 vassekvivalentar eller –3,41 m vatn jamt fordelt over breoverflata. Det er 175 % av gjennomsnittet for perioden 1963-96, og heile 200 % av gjennomsnittet for perioden 1992-96. Det er største sommarbalansen som nokon gong er målt på Hardangerjøkulen. I 1988, som også hadde ein varm sommar, var sommarbalansen til samanlikning -3,13 m vassekvivalentar. Uvissa i spesifikk sommarbalanse er estimert til å vere ±0,20 m vassekvivalentar. Sommarbalansen si høgdefordeling er vist i tabell 9-4 og i figur 9-3.

- Nettobalanse

Nettobalansen er utrekna til eit masseunderskot på –8,0 ± 5,0 mill.m^3 vassekvivalentar eller –0,47 ± 0,30 m vatn jamt fordelt over breoverflata. Til samanlikning er middelverdien for perioden 1963-96 +0,19 m vassekvivalentar medan middelverdien for perioden 1992-96 er +0,85 m vassekvivalentar.



Figur 9-3 *Kurver for spesifikke verdiar (venstre) og volumverdiar (høgre) for vinter-, sommar- og nettobalansen på Hardangerjøkulen i 1997.*

Altitudinal distribution of specific (left) and volume (right) values for winter, summer and net balance at Hardangerjøkulen in 1997.

Mass balance Hardangerjøkulen1996/97 – traditional method

Altitude (m a.s.l.)	Area (km^2)	Winter balance Measured May 30 1997 Specific (m w.eq.)	Winter balance Volume (10^6 m^3)	Summer balance Measured Nov 25 1997 Specific (m w.eq.)	Summer balance Volume (10^6 m^3)	Net balance Summer surfaces 1996 - 1997 Specific (m w.eq.)	Net balance Volume (10^6 m^3)
1850 - 1865	0,09	2,10	0,2	-2,65	-0,2	-0,55	0,0
1800 - 1850	3,93	3,00	11,8	-2,75	-10,8	0,25	1,0
1750 - 1800	4,03	3,30	13,3	-2,97	-12,0	0,33	1,3
1700 - 1750	3,46	3,30	11,4	-3,10	-10,7	0,20	0,7
1650 - 1700	1,94	3,10	6,0	-3,30	-6,4	-0,20	-0,4
1600 - 1650	0,75	2,85	2,1	-3,50	-2,6	-0,65	-0,5
1550 - 1600	0,59	2,55	1,5	-3,80	-2,3	-1,25	-0,7
1500 - 1550	0,57	2,25	1,3	-4,20	-2,4	-1,95	-1,1
1450 - 1500	0,29	2,00	0,6	-4,65	-1,4	-2,65	-0,8
1400 - 1450	0,19	1,75	0,3	-5,10	-1,0	-3,35	-0,6
1350 - 1400	0,10	1,65	0,2	-5,50	-0,6	-3,85	-0,4
1300 - 1350	0,10	1,55	0,2	-6,00	-0,6	-4,45	-0,4
1250 - 1300	0,27	1,45	0,4	-6,40	-1,7	-4,95	-1,3
1200 - 1250	0,36	1,40	0,5	-6,85	-2,5	-5,45	-2,0
1150 - 1200	0,28	1,35	0,4	-7,30	-2,1	-5,95	-1,7
1100 - 1150	0,11	1,30	0,1	-7,75	-0,8	-6,45	-0,7
1020 - 1100	0,05	1,25	0,1	-8,20	-0,4	-6,95	-0,4

Total area 17,1

Total for whole glacier between summer surfaces 1996 - 1997

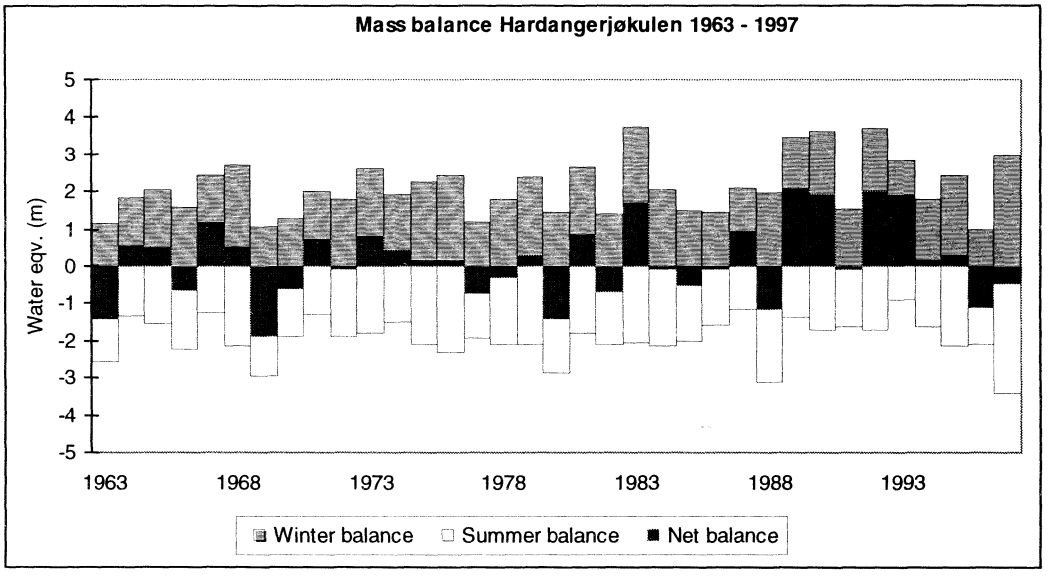
	Winter bal.	Summer bal.	Net bal.
volume (10^6 m^3)	**50,4**	**-58,4**	**-8,0**
specific (m)	**2,94**	**-3,41**	**-0,47**

Tabell 9-4 *Vinter-, sommar- og nettobalansen på Hardangerjøkulen i 1997.*

Winter, summer and net balance at Hardangerjøkulen in 1997.

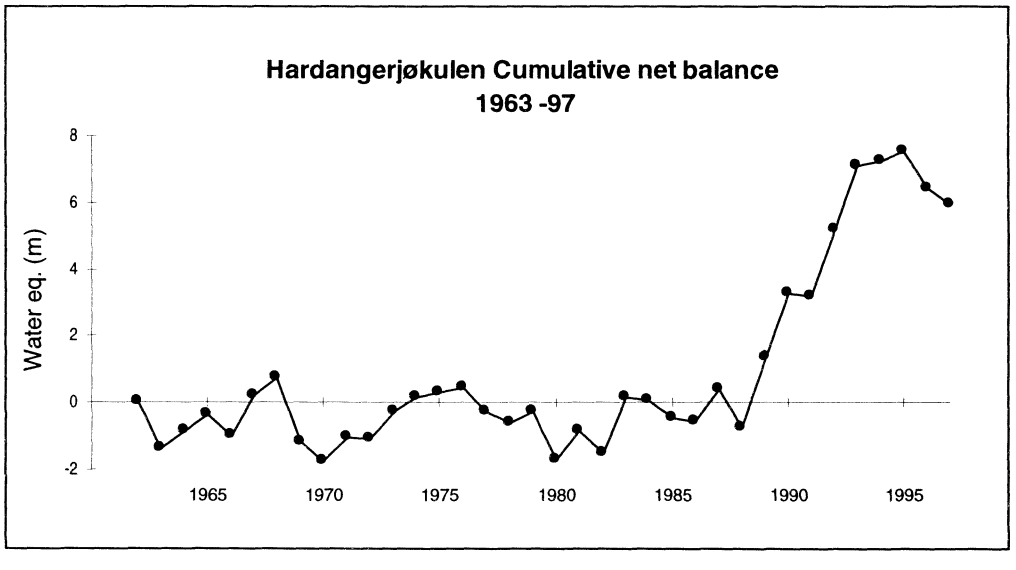
Nettobalansen si høgdefordeling er vist i figur 9-3, og i tabell 9-4 er verdiane for vinter-, sommar- og nettobalansen gitt. Likevektslinehøgda er fastsett utifrå nettobalansekurvene i figur 9-3 til 1700 moh.

I figur 9-4 er vinter-, sommar- og nettobalansen på Hardangerjøkulen i perioden 1963-97 vist, medan figur 9-5 viser den kumulative nettobalansen.



Figur 9-4 *Kurver som viser vinter-, sommar- og nettobalansen på Hardangerjøkulen i perioden 1963-97.*

Diagram showing mass balance for Hardangerjøkulen during the period 1963-97.



Figur 9-5 *Kurven viser kumulativ nettobalanse på Hardangerjøkulen. Legg merke til at den store auken etter 1988 skuldast stort overskot i åra 1989, 1990,1992 og 1993.*

Cumulative net balance at Hardangerjøkulen. The increase in mass after 1988 is due to large surplus in the years 1989, 1990, 1992 and 1993.

9.3 ENGLISH SUMMARY

Hardangerjøkulen (73 km^2) is the sixth largest 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. Since 1985, Norwegian Water resources and Energy Administration (NVE) has been responsible for the mass balance investigations at Hardangerjøkulen.

Mass balance1996

The winter balance was $17.1 \cdot 10^6$ m^3 water equivalents (w.eqv.) based on three stake measurements (1270, 1650 and 1820 m a.s.l.) and 51 soundings between 1270 and 1860 m a.s.l. (Figure 9-1). The snow depth varied from 0.45 to 2.85 metres. Specific winter balance was 1.0 ±0.2 m w.eqv., which is 46 % of the 1963-93 mean but only 40 % of the 1991-95 mean.

The summer balance was calculated by fitting a curve to measurements at three stakes (figure 9-1). Total summer balance was $-36.1 \cdot 10^6$ m^3 w.eqv. corresponding to a specific summer balance of –2.1 ±0.2 m w.eqv. This is 105 % of the 1963-95 mean, but as much as 125 % of the 1991-95 mean.

The net balance was $-19.0 \cdot 10^6$ m^3 w. eqv. based on 3 stake measurements between 1270 and 1820 m a.s.l. Specific net balance was –1.1 ±0.3 m w.eqv. (Figure 9-1 and Table 9-2). For comparison, the 1963-95 mean was +0.23 m w.eqv. while the 1991-95 mean was +0.85 metres. The ELA was higher then the top of the glacier, and consequently the AAR was 0 %.

Mass balance 1997

A new altitudinal area-distribution was used based on aerial photos from 1995 (Figure 9-2). Due to small changes from the old area-distribution the difference in mass balance results originating from the change in area-distribution was less than 1% in winter and summer balances.

The winter balance was $50.4 \cdot 10^6$ m^3 w. eqv. based on three stake measurements (1270, 1650 and 1820 m a.s.l.) and 18 soundings between 1500 and 1860 m a.s.l. The snow depth varied from 2.95 to 7 metres. Specific winter balance was 2.9 ±0.2 m w.eqv., which is 140 % of the 1963-96 mean but only 125 % of the 1992-96 mean.

The summer balance was calculated by fitting a curve to measurements at three stakes (at 1270, 1650 and 1820 m a.s.l.). Based upon this calculation, the total summer balance was $-58.4 \cdot 10^6$ m^3 w.eqv. corresponding to a specific summer balance of –3.4 ±0.2 m w.eqv. This is 175 % of the 1963-96 mean, and as much as 200 % of the 1992-96 mean.

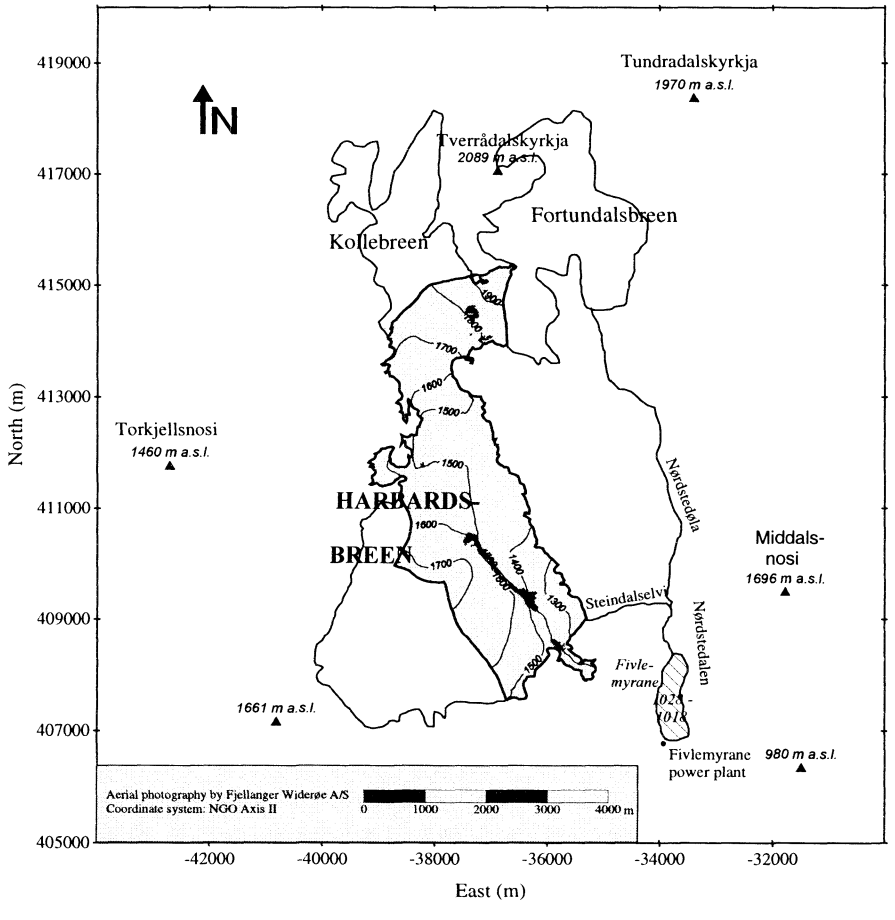
The net balance was $-8.0 \cdot 10^6$ m^3 w.eqv., corresponding to a specific net balance of –0.5 ±0.3 m w.eqv. The 1963-96 mean is +0.19, and the 1992-96 mean is +0.85 m w.eqv. The ELA was 1700 m a.s.l., while the AAR was 67 %. The altitudinal distribution of winter, summer and net balances at Hardangerjøkulen in 1997 is shown in Figure 9-3.

Figure 9-4 shows the results of mass balance measurements at Hardangerjøkulen between 1963 and 1997. In the period 1963 - 88 there were only minor changes in the glacier mass (Figure 9-5). After 1988 there has been a cumulative growth corresponding to ca. 6 m water equivalents.

10 HARBARDSBREEN (075.Z) Bjarne Kjøllmoen

Breundersøkelsene på Harbardsbreen utføres som en del av de konsesjonspålagte hydrologiske undersøkelsene i Fortun- Grandfastavassdragene. Måleprogrammet omfatter massebalanse, lufttemperatur og overvåking av bredemte sjøer. 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.

Harbardsbreen ligger mellom Mørkridsdalen og Fortundalen nordøst i Breheimen.
Hele breens areal er ca 25 km^2, der ca 13 km^2 drenerer østover til Steindalselvi og Fivlemyrane kraftmagasin. Det er på denne østlige delen av Harbardsbreen undersøkelsene foregår (figur 10-1). Breen strekker seg fra 1250 moh. opp til 1970 moh.



Figur 10-1
Harbardsbreen ligger i Breheimen i Luster kommune. Breundersøkelsene foregår på den østvendte delen av breen (ca 13 km^2) som drenerer til Steindalselvi og Fivlemyrane kraftmagasin.

Harbardsbreen is located in "Breheimen" between Jostedalsbreen to the west and Jotunheimen to the east. The investigations are taking place at the east-facing part of the glacier (ca. 13 km^2) which drains to the Steindalselvi and Fivlemyrane reservoir.

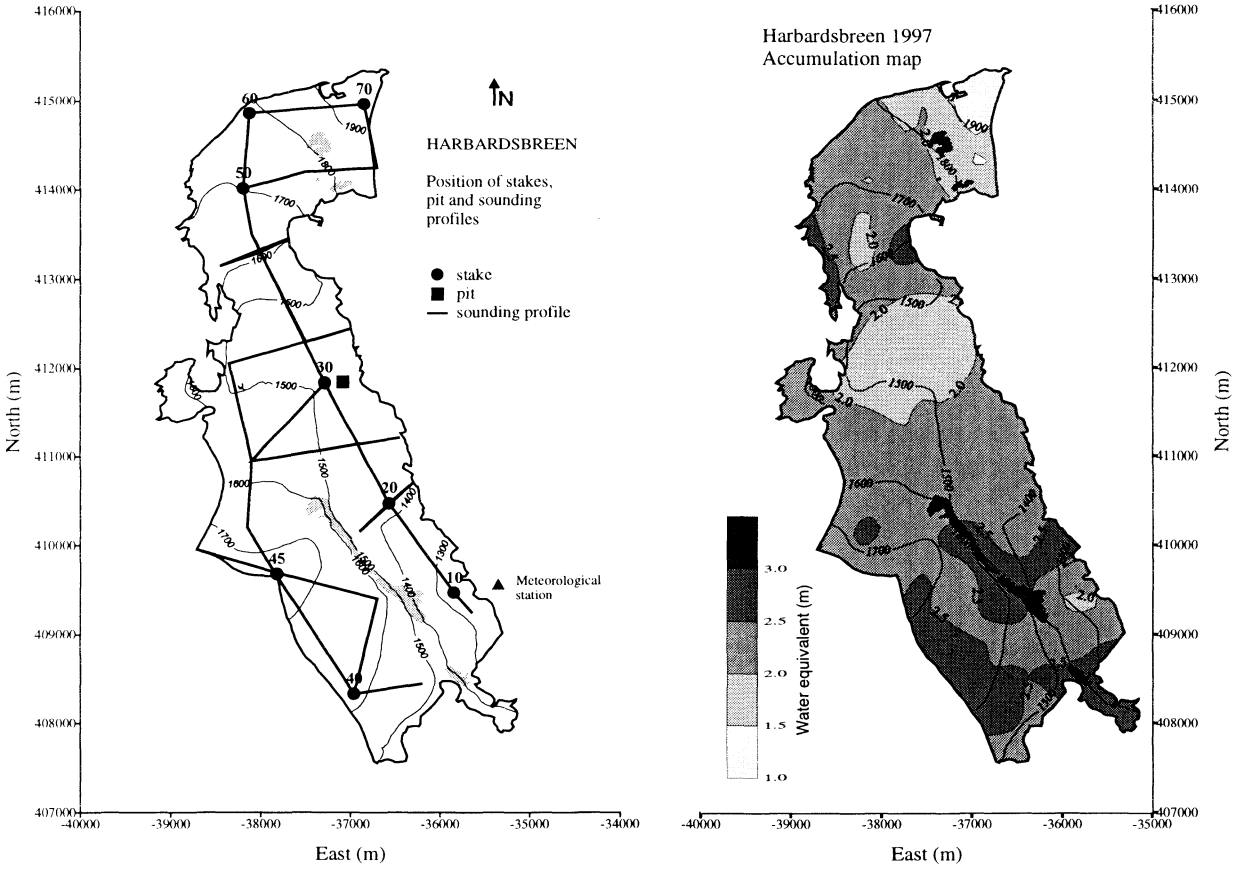
10.1 MASSEBALANSE 1997

Feltarbeid

Akkumulasjonsmålingene ble utført i to omganger - først den 9. og siden den 19.mai. Grunnlaget for beregning av vinterbalansen er:
- Måling av staker i høydenivåene 1280, 1415, 1495, 1700, 1790 og 1940 moh. Disse viste snødybder på hhv 4.2, 4.3, 4.0, 3.9, 4.5 og 3.2 meter.
- Kjerneboringer i høydenivåene 1280, 1605, 1720 og 1940 moh. som viste snødyp på hhv 4.2, 5.3,

4.7 og 2.9 meter.
- 185 sonderingspunkter i profiler mellom 1260 og 1940 moh. Sommeroverflaten (SO) var enkel å påvise i alle høydenivåer. Snødybden varierte mellom 3 og 6 meter.
- Måling av snøtettheten ned til 4 m dybde i 1500 m nivå. Midlere snøtetthet er beregnet til 0.47 g/cm^3 i 1500 m nivå.

Kart som viser måleopplegg med stakeplasseringer og sonderingsprofiler er vist til venstre i figur 10-2. Som kartet viser var hele breens areal representert med målepunkter. De største snødybdene var, som antatt, på den sørvestlige delen av breen. Et snøfordelingskart eller akkumulasjonskart som illustrerer snøfordelingen angitt i meter vannekvivalenter er vist til høyre i figur 10-2.



Figur 10-2 *På kartet til venstre er beliggenheten av staker, tetthetsprøve og sonderingsprofiler vist, mens kartet til høyre viser akkumulasjonen angitt i vannverdier på Harbardsbreen i 1997. De største snømengdene var på den sørvestlige delen av breen hvor det ble målt mellom 5 og 6 meter.*

The location of stakes, pit and sounding profiles are shown at the left hand map, while the map to the right shows the accumulation (m w.eqv.) for Harbardsbreen 1997. Maximum snow depth were found in the south-western part of the glacier with 5 to 6 metres of snow.

Minimumsmålingene ble utført den 24.september. Nettobalansen ble målt i 7 posisjoner mellom 1280 og 1940 moh. Ved stake 40 (1605 moh.) lå det igjen 1.4 m av årets snø. Ved alle de andre stakene var all snøen fra sist vinter smeltet bort. Over 1400 m nivå var det kommet mellom 30 og 55 cm nysnø.

Resultater

Massebalansen er beregnet på to måter; den vanlige tradisjonelle metoden (traditional method), og den datovariable metoden (floating-date method). Ved bruk av den tradisjonelle metoden er det breens balanse mellom to sommeroverflater som blir beregnet. Den datovariable metoden gir breens endringer i perioden fra minimumsmåling til neste års minimumsmåling. Dette betyr at nysnø som kommer før minimumsmålingene på høsten blir medregnet i sommerbalansen, og trukket fra neste års vinterbalanse.

Mass balance Harbardsbreen1996/97 – traditional method

		Winter balance		Summer balance		Net balance	
		Measured May 19 1997		Measured Sep 24 1997		Summer surfaces 1996 - 1997	
Altitude (masl)	Area (km^2)	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)
1950 - 1970	0,07	1,20	0,08	-2,50	-0,17	-1,30	-0,09
1900 - 1950	0,21	1,45	0,31	-2,60	-0,55	-1,15	-0,24
1850 - 1900	0,35	1,60	0,57	-2,65	-0,94	-1,05	-0,37
1800 - 1850	0,32	1,75	0,56	-2,65	-0,85	-0,90	-0,29
1750 - 1800	0,58	2,00	1,16	-2,65	-1,53	-0,65	-0,38
1700 - 1750	1,12	2,25	2,52	-2,60	-2,91	-0,35	-0,39
1650 - 1700	1,89	2,40	4,55	-2,50	-4,74	-0,10	-0,19
1600 - 1650	1,27	2,50	3,18	-2,40	-3,05	0,10	0,13
1550 - 1600	1,16	2,40	2,79	-2,40	-2,79	0,00	0,00
1500 - 1550	1,57	2,10	3,29	-2,50	-3,92	-0,40	-0,63
1450 - 1500	2,56	2,00	5,13	-2,75	-7,05	-0,75	-1,92
1400 - 1450	0,82	2,15	1,75	-3,30	-2,69	-1,15	-0,94
1350 - 1400	0,43	2,25	0,97	-3,55	-1,53	-1,30	-0,56
1300 - 1350	0,42	2,25	0,95	-3,70	-1,56	-1,45	-0,61
1250 - 1300	0,39	2,15	0,83	-3,80	-1,47	-1,65	-0,64

Total area 13,2

Total for whole glacier between summer surfaces 1996 - 1997

	Winter bal.	Summer bal.	Net bal.
volume (10^6 m^3)	**28,6**	**-35,7**	**-7,1**
specific (m)	**2,17**	**-2,72**	**-0,54**

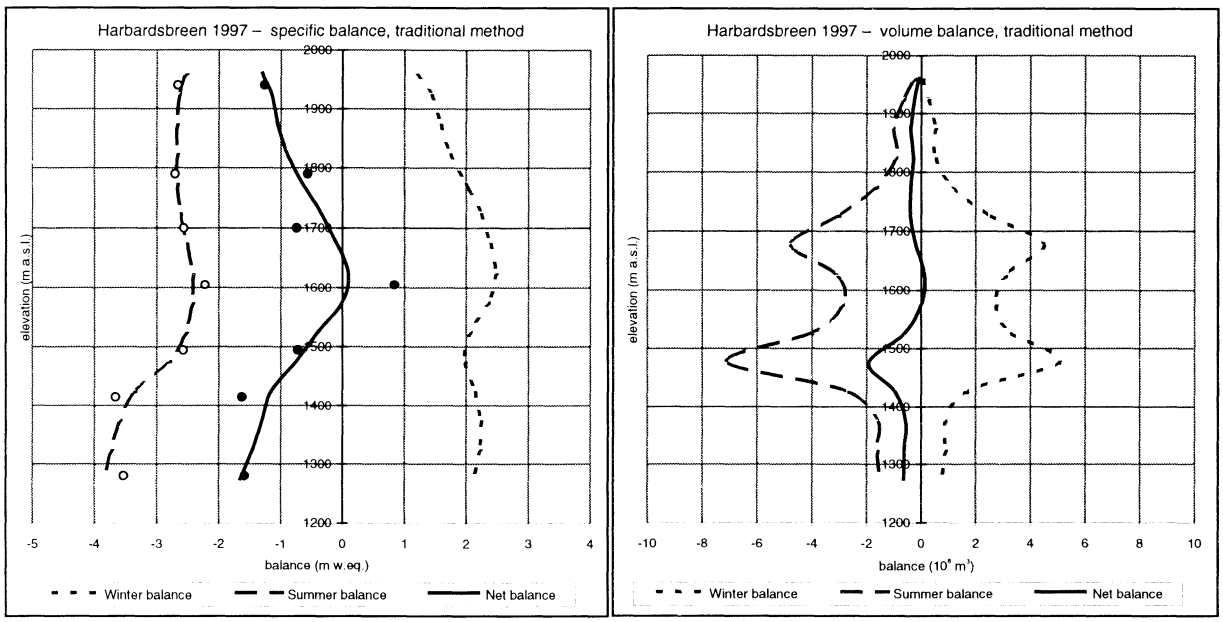
Tabell 10-1 Vinter-, sommer- og nettobalanse for Harbardsbreen i 1997 beregnet med tradisjonell metode.

Winter-, summer- and net balance for Harbardsbreen 1997 made by the traditional method calculation.

• Vinterbalanse

Beregning av vinterbalansen gjøres ved at punktmålingene (staker, sonderinger og kjerneboringer) blir plottet i et diagram. Ut fra en visuell bedømming blir så kurven trukket og en middelverdi for hver 50. høydemeter blir angitt. Resultatet for Harbardsbreen 1997 er vist i tabell 10-1 og diagrammene i figur 10-3. Den tradisjonelle beregningsmetoden gir en vinterbalanse på 2.17 m vannekvivalenter med en antatt usikkerhet på ±0.20 meter. Det tilsvarer et vannvolum på 28.6 mill.m^3 vann. Det var ikke kommet nysnø under målingene på høsten 1996, slik at resultatet for den datovariable metoden blir det samme. Vinterbalansen er også beregnet med grunnlag i akkumulasjonskartet i figur 10-2. Ved hjelp av

et Geografiske Informasjonssystem (GIS) ble punktverdiene (vannverdier) brukt til å generere en terrengmodell med rutestørrelse 200 meter. Denne beregningsmetoden gir en vinterbalanse på 29 mill. m^3 vann (2.20 m vannekv.).



Figur 10-3 *Massebalansediagram for Harbardsbreen 1997 som viser spesifikke verdier til venstre og volumverdier til høyre til høyre for hhv vinter-, sommer- og nettobalanse beregnet med tradisjonell metode. Balansen for hver stake er vist som punkter (○=b_s og ●=b_n).*

Mass balance diagram for Harbardsbreen 1997 showing specific values (left) and volume values (right) for winter-, summer- and net balance. Balance for each stake is shown by dots (○=b_s and ●=b_n).

- Sommerbalanse

En varm sommer førte til stor smelting. All snøen fra sist vinter var smeltet bort med unntak av de sørvestlige områdene på breen der det lå igjen en drøy meter. På grunnlag av stakemålingene og en estimert midlere snøtetthet på 0.6 g/cm^3 for gjenværende snø, er sommerbalansen beregnet til 2.72 ±0.30 m vannekvivalenter eller 35.7 mill.m^3 vann. Ved å ta med høstens nysnø med en estimert tetthet på 0.2 g/cm^2, blir sommerbalansen 2.61 m beregnet med den datovariable metoden.

- Nettobalanse

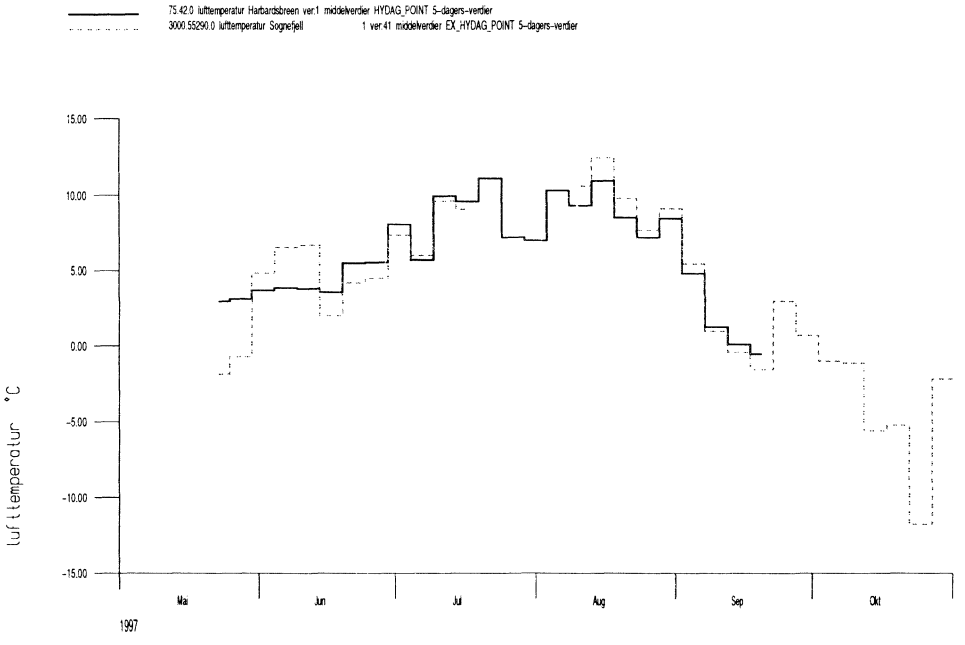
Beregningene for Harbardsbreen 1997 viser et underskudd på 0.55 ±0.30 m vannekvivalenter som tilsvarer et volumtap på 7.1 mill.m^3 vann. Den datovariable metoden gir en nettobalanse på -0.44 m mellom 14.september 1996 og 24.september 1997, og dette tilsvarer 5.8 mill.m^3 vann som er tilført vassdraget.

10.2 METEOROLOGISKE MÅLINGER

På østsiden av Harbardsbreen (ca 1350 moh., figur 10-2) ble det i mai montert og satt i drift en klimastasjon som hver time logger lufttemperaturdata. Dataene blir lagret i en egen lagringsenhet som blir tappet ved hvert feltbesøk med en såkalt PSION. Dataene blir videre behandlet og lagret i Hydrologisk avdelings databaser. Herfra kan ulike tabeller og diagrammer hentes ut etter behov.

Meteorologisk Institutt eier og driver en klimastasjon på Sognefjellet (1413 moh.) der blant annet lufttemperatur blir målt.

I figur 10-4 er det presentert resultater fra de meteorologiske målingene ved Harbardsbreen og Sognefjell i perioden mai til oktober 1997.

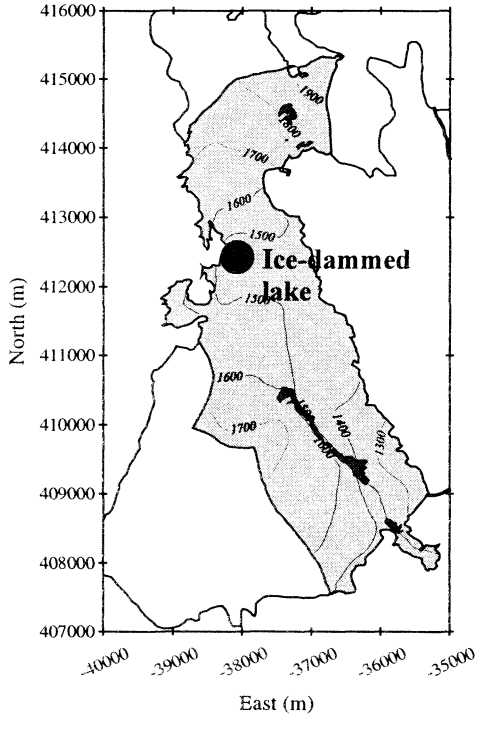


Figur 10-4 *5-døgns middelverdier for lufttemperatur ved Harbardsbreen (ca 1350 moh.) og Sognefjell (1413 moh.) i perioden mai - september 1997.*

5-days mean for air temperature at Harbardsbreen (ca.1350 m a.s.l.) and Sognefjell (1413 m a.s.l.) during the period May – September 1997.

10.3 BREDEMT SJØ

Siden 1992 er det foretatt både befaringer og observasjoner under feltarbeid for å få en viss forståelse omkring dannelsen av en bredemt sjø midt på Harbardsbreen (figur 10-5). Under en befaring i august 1992 ble det konkludert med at sjøen hadde endret lokalisering siden forrige kartlegging i 1966. Volumstørrelsen på sjøen ble i 1992 anslått til ca 600 000 m^3. Nye befaringer ble gjennomført i 1994 og 1995 uten at det ble oppdaget vann i sjøen.



Figur 10-5
Den bredemte sjøen ligger inntil vestsiden av breen i omtrent 1500 meters høyde. Tappingen under breen skjer østover og ned langs brekanten.

The ice-dammed lake is located to the west-side of the glacier in 1500 m elevation. The outburst beneath the glacier occurs eastwards and down along the margin.

For de to siste årene har Hydrologisk avdeling bildemateriale som viser sjøen i juli og september 1996 og mai, juli og september 1997. I juli og september 1996 var sjøen delvis fylt med vann, mens den i mai 1997 var uten vann. Det betyr at et jøkulhlaup har funnet sted i tidsrommet mellom september 1996 og mai 1997. I juli og september 1997 var sjøen igjen delvis oppfylt. Den 25.juli var det tydelige tegn som viste at vannstanden hadde vært flere meter (anslagsvis 4-6 meter) høyere tidligere på sommeren. Store isberg lå igjen på breen over vannspeilet og strandlinjen var godt synlig som en bruddkant rundt sjøen. Ettersom sjøen var tom den 19.mai, betyr det at et nytt jøkulhlaup har funnet sted en gang mellom 19.mai og 25.juli 1997. Observasjonene tyder på at tappingen av sjøen skjer under breen i østlig retning, dvs på tvers av breens lengderetning. Når vannet kommer til kanten av breen ser det ut som at det følger langs den østlige brekanten, delvis oppå og delvis under breen, som er tynn langs kanten, og ned til brefronten der det går sammen med det andre smeltevannet fra breen.

Konklusjonen er at det er en bredemt sjø midt på Harbardsbreen. Sjøen har i tidsrommet mellom september 1996 og juli 1997 hatt minst to tappinger eller jøkulhlaup. Tappingene skjer østover og ned langs kanten av breen.

10.4 VOLUMENDRINGER 1966-96 (sammendrag av NVE-rapport nr 6-97)

På grunnlag av flybilder fra 19.juli 1966 og 15.august 1996 er nye kart over den østvendte delen av Harbardsbreen konstruert. Kartene er sammenlignet og beregninger foretatt for å finne areal- og volumendringer i denne perioden (Kjøllmoen, 1997).

Arealet er redusert fra 14.2 til 13.2 km^2. De største arealendringene har skjedd i høydeintervallet 1400-1600 moh. Mellom 1400 og 1500 moh. er arealet økt med 60 %, mens det er redusert med 40 % i høydeintervallet 1500-1600 moh.

Volumberegningene for denne delen av Harbardsbreen viser et kumulativt underskudd i nettobalansen på 124 $mill.m^3$ vann i perioden 1966-96. Fordeles dette jevnt over hele breens areal tilsvarer det et vannlag på 8.5 meter. Midlere årlig nettobalanse i 30-årsperioden blir da –0.28 m vannekvivalenter. Breflaten har sunket på 70 % av brearealet, og det er bare i de høystliggende områdene i sørvest og nord at breen har økt i tykkelse. De største negative endringene er på den lavestliggende delen av breen i sørøst der den vertikale høydereduksjonen er mer enn 60 meter. Høydeendringene er vist på kartet i figur 10-6.

10.5 ENGLISH SUMMARY

Harbardsbreen is a plateau glacier with a total area of ca. 25 km^2 located in Breheimen in area southwestern of Norway. The studies presented in this report are taking place on the east-facing part of the glacier (ca.13.2 km^2) which drains to Steindalselvi and Fivlemyrane reservoir (Fig.10-1). The elevation ranges between 1250 and 1970 m a.s.l. for the investigated parts of the glacier.

The investigations at Harbardsbreen started in August 1996 with air photography and subsequent mapping. Further on, a stake net was established in September for mass balance measurements.

Mass balance 1997

In 1997 the accumulation measurements were made on May 9 and 19. Snow depths were determined at six stakes, four core samples and 185 soundings. Snow depth varied between 3 and 6 m and the total winter balance was 2.17 ±0.20 m w.eqv. (29 $mill.m^3$). Summer balance was measured on September 24. All snow had then melted away except of in the south-western areas (elevation range 1550-1650 m a.s.l.) where about 1 m snow was remaining. Summer balance was –2.72 ±0.30 m w.eqv. (36 $mill.m^3$).

The net balance was measured at seven stake positions between 1280 and 1940 m a.s.l. The final result showed a net balance of –0.55 ±0.40 m w.eqv. or a deficit of 7 mill.m^3 of water. The height distribution of winter, summer and net balance is presented in Table 10-1 and Figure 10-3.

Meteorological measurements

Observations of air temperature are made by automatic instruments close by Harbardsbreen (ca. 1350 m a.s.l., Fig.10-2). The Norwegian Meteorological Institute makes identical measurements at the climate station Sognefjell (1413 m a.s.l.). Data from May to September 1997 for these two stations are shown in Figure 10-4.

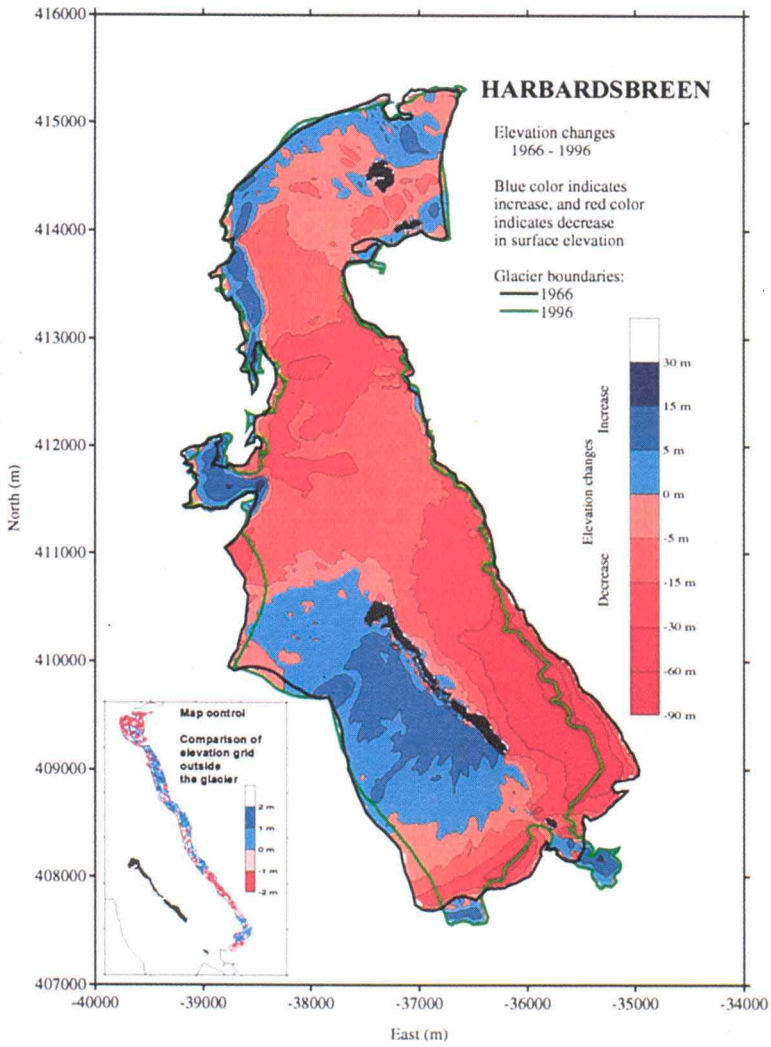
Ice-dammed lake

An ice-dammed lake along the western side of Harbardsbreen (Fig.10-5) has been visually observed since 1992. The observations in 1996 and 1997 indicates that at least two outbursts have occurred in the period from September 96 to July 97. The volume of the lake is estimated to about 600 000 m^3.

Volume changes 1966-96

Volume changes of the east-facing part of Harbardsbreen between 1966 and 1996 have been calculated by comparison of maps. Digital topographic maps were constructed from air photos taken July 19, 1966 and August 15, 1996.

The glacier area has decreased from 14.2 km^2 in 1966 to 13.2 km^2 in 1996. The volume calculation shows that this part of Harbardsbreen had a deficit of 124 mill.m^3 of water (8.5 m w.eqv.) in the period 1966-96. Glacier thickness has decreased in 70 % of the total area, whereas the major increase was found in the south-western part of the glacier.



Figur 10-6
Høydeendringer på den østvendte delen av Harbardsbreen i perioden 1966-96.

Elevation changes on the east-facing part of Harbardsbreen in the period 1966-96.

11 STORBREEN (002.DHBBZ) Nils Haakensen

På Storbreen, som ligger på vestsiden av Leirdalen i Vest-Jotunheimen, har det vært utført årlige massebalansemålinger i 49 år. Frontmålingene startet allerede i 1902. Breen er 5,3 km^2 og ligger under Store Smørstabbtind, og er eksponert mot nordøst. Dens beliggenhet nær vannskillet mellom Øst- og Vestlandet gjør at den påvirkes av vær både fra vest og øst. Samtidig som Storbreen er kontinental sammenlignet med breene lenger mot vest, har den en vesentlig større materialomsetning enn breene lenger øst i Jotunheimen. Derfor er Storbreen viktig i den vest-øst gående profil med massebalansemålinger som utføres i Syd-Norge. I løpet av måleperioden 1949-97 har Storbreen hatt et samlet masseunderskudd på 11 m vannekvivalenter. Siden 1962, da massebalansemålingene startet på de andre breene i den omtalte vest-øst profilen, har Storbreen hatt en kumulativ nettobalanse på –5.5 m vannekvivalenter, og det er et mindre underskudd enn for breene lenger øst. Både i 1996 og 1997 hadde breen et underskudd på rundt én meter vannekvivalenter. Etter 1988, da de store overskuddsårene startet på breene lenger vest, har Storbreen bare hatt et kumulativt overskudd på 0,5 meter.

11.1 MASSEBALANSE 1996

Feltarbeid

Akkumulasjonsmålingene ble utført den 9. og 10.mai under gode værforhold.

- Snødypet ble sondert i 130 punkt, (60 på den nedre delen og 70 på den øvre) mellom 1400 og 1910 moh. På den nedre delen av breen varierte snødypet fra ca 1,0 m nederst til 2,3 m øverst. På breens øvre del var snødypet stort sett mellom 1,8 og 2,6 m, som er uvanlig lite. Sommeroverflaten var lett å identifisere.
- Det var uvanlig lite snø, og til sammen 7 staker var synlige og bekreftet sonderingene.
- Tetthetsprøve ble tatt av hele snøpakken 1750 moh. der snødypet bare var 1,80 meter. Middeltettheten ble beregnet til 0,35 g/cm^3, og det er meget lavt.

Minimumsmålingene ble utført den 15.september. Et lite nysnølag ble neglisjert ved målingen. En varm august hadde avstedkommet stor smelting, og stakene var blitt 2-3 m lenger siden mai. Ni staker ble funnet og målt. Pga. det lille nysnølaget var det ikke mulig å observere årets snøgrense direkte. Men stakemålingene viste at det var bare på breens aller øverste del at det lå igjen noe av årets snø.

Resultater

• Vinterbalanse

Lite snø og lav tetthet ga en vinterakkumulasjon på 0.81 m vannekvivalenter (4,3 mill.m^3) som er det minste som er målt siden målingene startet i 1949. Fem ganger tidligere er det målt vinterbalanse på under 1,0 m, siste gang i 1980. Årets vinterbalanse er bare 56 % av middelverdien for perioden 1949-95.

• Sommerbalanse

Sommerbalansen ble beregnet direkte på seks staker og varierte mellom ½ m vannekvivalenter øverst på breen til over 3 m nederst. Dessuten kunne nettobalansen beregnes på ytterligere to staker. Sommerbalansen ble beregnet til 1,84 m vannekvivalenter (9,7 mill.m^3 vann). Det er omtrent det samme som er målt de to foregående år. Årets resultat er 112 % av midlere sommerbalanse, men 127 % av middel for årene etter 1988.

• Nettobalanse

Nettobalansen på Storbreen er beregnet etter den stratigrafiske metode ("traditional method") og ble –1,03 m vannekvivalenter (5,4 mill.m^3 vann). Det vil si at under halvparten av breens avløp kom fra

Mass balance STORBREEN1995/96 – traditional method

Altitude (m a.s.l.)	Area (km^2)	Winter balance Measured May 10 1996 Specific (m w.eq.)	Winter balance Volume (10^6 m^3)	Summer balance Measured Sep 27 1996 Specific (m w.eq.)	Summer balance Volume (10^6 m^3)	Net balance Summer surfaces 1995 - 1996 Specific (m w.eq.)	Net balance Volume (10^6 m^3)
2050 - 2100	0,04	1,50	0,06	-0,52	-0,02	0,98	0,04
2000 - 2050	0,12	1,42	0,17	-0,65	-0,08	0,77	0,09
1950 - 2000	0,22	1,34	0,29	-0,78	-0,17	0,56	0,12
1900 - 1950	0,33	1,20	0,40	-0,90	-0,30	0,30	0,10
1850 - 1900	0,51	1,02	0,52	-1,17	-0,60	-0,15	-0,08
1800 - 1850	0,84	0,80	0,67	-1,45	-1,22	-0,65	-0,55
1750 - 1800	0,79	0,78	0,62	-1,70	-1,34	-0,92	-0,73
1700 - 1750	0,65	0,64	0,42	-1,96	-1,27	-1,32	-0,86
1650 - 1700	0,40	0,74	0,30	-2,20	-0,88	-1,46	-0,58
1600 - 1650	0,50	0,80	0,40	-2,45	-1,23	-1,65	-0,83
1550 - 1600	0,36	0,65	0,23	-2,70	-0,97	-2,05	-0,74
1500 - 1550	0,22	0,52	0,11	-3,00	-0,66	-2,48	-0,55
1450 - 1500	0,19	0,35	0,07	-3,28	-0,62	-2,93	-0,56
1400 - 1450	0,08	0,28	0,02	-3,62	-0,29	-3,34	-0,27
1360 - 1400	0,01	0,20	0,00	-3,90	-0,04	-3,70	-0,04

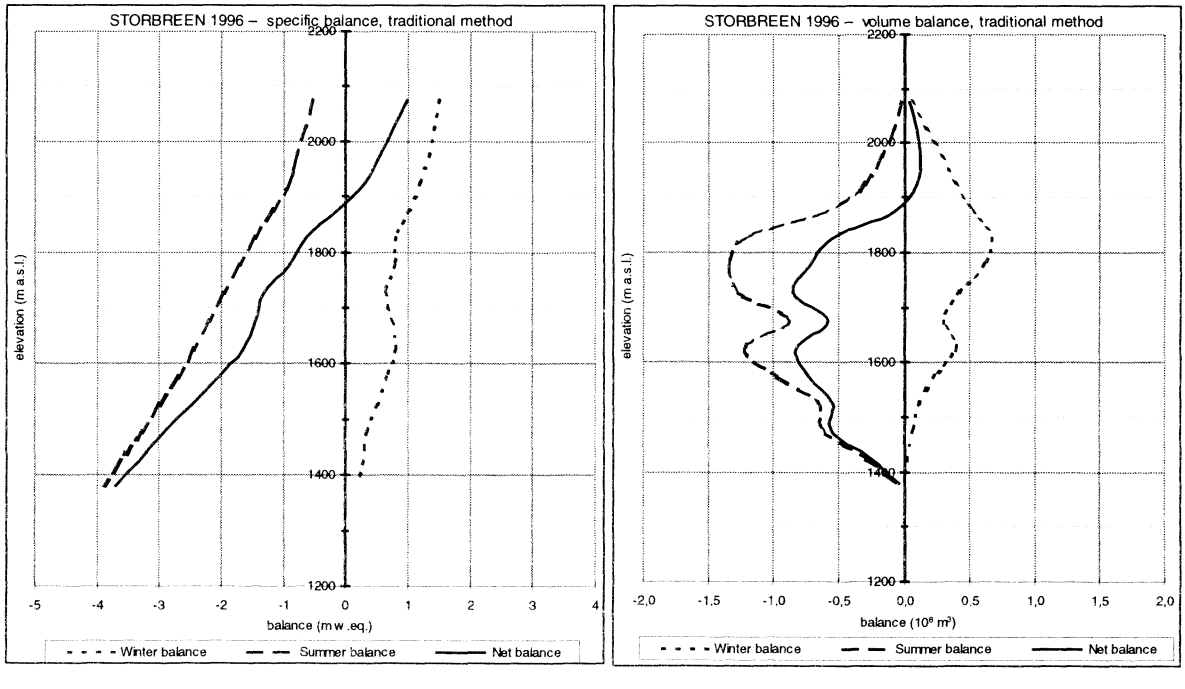
Total area 5,26

Total for whole glacier between summer surfaces 1995 - 1996

	Winter bal.	Summer bal.	Net bal.
volume (10^6 m^3)	**4,3**	**-9,7**	**-5,4**
specific (m)	**0,81**	**-1,84**	**-1,03**

Tabell 11-1 *Fordelingen av vinter-, sommer- og nettobalanse på Storbreen i 1996 samt arealene av hvert 50 meter høydeintervall.*

The distribution of winter, summer, and net balance for 50 m height intervals for Storbreen in 1996, as well as the area distribution.



Figur 11-1 *Vinter-, sommer- og nettobalansens variasjon med høyden på Storbreen i 1996 med spesifikk balanse til venstre og volumbalanse til høyre.*

Mass balance diagram showing winter, summer, and net balance at Storbreen in 1996. Specific balance is indicated in the left hand diagram, volume balance is shown to the right.

årets vinterakkumulasjon. Resten (56 %) skyldes masseunderskudd. Midlere nettobalanse i måleperioden er –0.19 m vannekvivalenter. Ser en på tiden etter 1988, har breen hatt et lite overskudd.

I følge nettobalansekurven er årets likevektslinje 1890 moh., og det er ca 200 m høyere enn når breen er i likevekt. Bare 15 % av breens areal ligger over dette nivå.

Vinter-, sommer- og nettobalansen i 50 m høydeintervall er vist i tabell 11-1 og massebalanse-diagrammet er vist i figur 11-1.

11.2 MASSEBALANSE 1997

Feltarbeid

Akkumulasjonsmålingene ble utført den 20.mai under svært gode værforhold. Bare to staker (1540 moh. og 1670 moh.) hadde overlevd vinteren, men pga. den store avsmeltingen i 1996 var sommeroverflaten krystallklar over hele breen. Det ble gjort 55 sonderinger på breens øvre del og 45 på den nedre. På den nedre delen varierte snødypet mellom 3 og 4 meter. Bare helt nederst ble det målt snødyp under 3 meter. På breens øvre del varierte snødypet fra rundt 3½ m på breens sentrale deler til omkring 5 meter øverst. Største målte snødyp var 5,20 meter. Tetthetsprøve ble tatt av hele snøpakken (3,3 m) ved st.4 (1720 moh.). Middeltettheten var 0,43 g/cm^3, og det er mindre enn vanlig.

Minimumsmålingene ble gjort den 14. oktober. Det var kommet 20-30 cm nysnø, og snøgrensen kunne ikke observeres. Åtte staker ble funnet og målt. En svært varm august hadde avstedkommet meget stor smelting, og på noen av stakene ble det registrert en smelting på opp til 3 m is i løpet av august. Det var svært lite igjen av årets snø.

Resultater

• Vinterbalanse
Vinterbalansen ble beregnet til 1,75 m vannekvivalenter (9,2 mill.m^3 vann), og det er 122 % av midlere vinterbalanse i perioden 1949-96, men er det samme som middelverdien for årene etter 1988.

• Sommerbalanse
Den rekordvarme sommeren resulterte i en rekordstor sommerbalanse på 2,78 m vannekvivalenter (14,6 mill.m^3 vann), og overgår 1969 og 1988 da det ble målt hhv. 2,64 m og 2,40 m vannekvivalenter. Årets resultat er 170 % av midlere sommerbalanse i perioden 1949-96 og over det dobbelte av middelverdien for årene 1989-94.

Det er uvanlig god korrelasjon mellom sommertemperatur i Bergen og ablasjon på Storbreen (Liestøl 1967, s 40). Ved hjelp av denne korrelasjonen kan man gjøre en beregning av sommerbalansen på Storbreen tilbake til 1816. Den største sommerbalansen får man da i 1947 med 2,88 m vannekvivalenter. Sommeren 1947 er ved siden av 1997 den varmeste som har vært målt i store deler av Sør-Norge.

• Nettobalanse
Den store sommerbalansen ga et betydelig underskudd på Storbreen, og nettobalansen ble –1.03 m vannekvivalenter (5,4 mill. m^3), og det er nøyaktig det samme som foregående år. Men i 1997 var både vinter- og sommerbalansen omtrent én meter større enn i 1996. Midlere nettobalanse i måleperioden er –0,21 m vannekvivalenter. Årets nettobalanse er underskredet fem ganger, siste gang i 1980. Diagrammet i figur 11-2 viser at likevektslinjen ligger 1875 moh., og det er ca 180 m høyere enn når breen er i likevekt. 18 % av breens areal ligger over dette nivå.

Vinter-, sommer- og nettobalansens fordeling med høyden er vist i tabell 11-2 og massebalanse-diagrammet med spesifikke og absolutte verdier er vist i figur 11-2.

Mass balance STORBREEN1996/97 – traditional method

Altitude (m a.s.l.)	Area (km^2)	Winter balance Measured May 20 1997 Specific (m w.eq.)	Winter balance Volume (10^6 m^3)	Summer balance Measured Oct 14 1997 Specific (m w.eq.)	Summer balance Volume (10^6 m^3)	Net balance Summer surfaces 1996 - 1997 Specific (m w.eq.)	Net balance Volume (10^6 m^3)
2050 - 2100	0,04	2,63	0,11	-1,28	-0,05	1,35	0,05
2000 - 2050	0,12	2,58	0,31	-1,35	-0,16	1,23	0,15
1950 - 2000	0,22	2,48	0,55	-1,46	-0,32	1,02	0,22
1900 - 1950	0,33	2,27	0,75	-1,68	-0,55	0,59	0,19
1850 - 1900	0,51	2,03	1,04	-2,02	-1,03	0,01	0,01
1800 - 1850	0,84	1,75	1,47	-2,45	-2,06	-0,70	-0,59
1750 - 1800	0,79	1,63	1,29	-2,80	-2,21	-1,17	-0,92
1700 - 1750	0,65	1,49	0,97	-3,14	-2,04	-1,65	-1,07
1650 - 1700	0,40	1,91	0,76	-3,35	-1,34	-1,44	-0,58
1600 - 1650	0,50	1,68	0,84	-3,46	-1,73	-1,78	-0,89
1550 - 1600	0,36	1,53	0,55	-3,52	-1,27	-1,99	-0,72
1500 - 1550	0,22	1,40	0,31	-3,58	-0,79	-2,18	-0,48
1450 - 1500	0,19	1,06	0,20	-3,76	-0,71	-2,70	-0,51
1400 - 1450	0,08	0,88	0,07	-3,95	-0,32	-3,07	-0,25
1365 - 1400	0,01	0,75	0,01	-4,10	-0,04	-3,35	-0,03

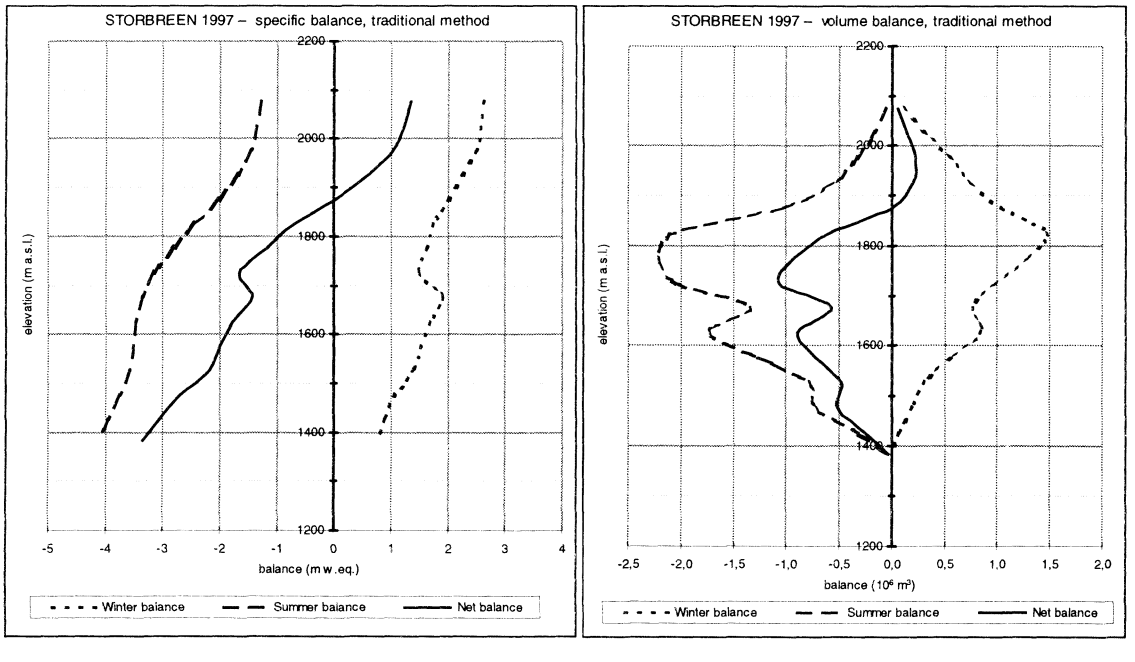
Total area 5,26

Total for whole glacier between summer surfaces 1996 - 1997

	Winter bal.	Summer bal.	Net bal.
volume (10^6 m^3)	9,2	-14,6	-5,4
specific (m)	1,75	-2,78	-1,03

Tabell 11-2 *Fordelingen av vinter-, sommer- og nettobalanse på Storbreen i 1997 samt arealene av hvert 50 meter høydeintervall.*

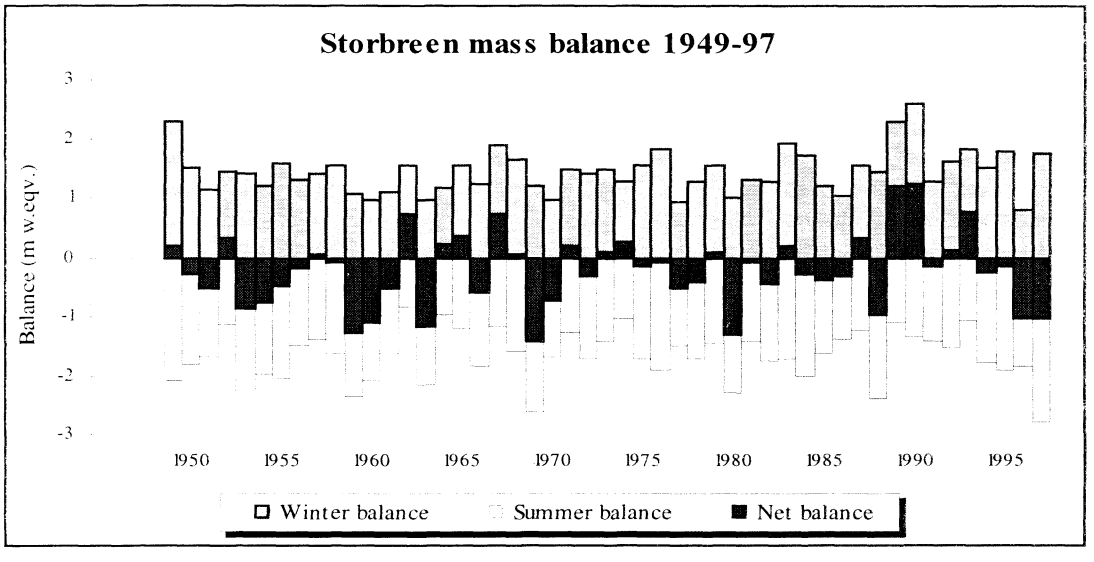
The distribution of winter, summer, and net balance for 50 m height intervals for Storbreen in 1997, as well as the area distribution.



Figur 11-2 *Vinter-, sommer- og nettobalansens variasjon med høyden på Storbreen i 1997 med spesifikk balanse til venstre og volumbalanse til høyre.*

Mass balance diagram showing winter, summer, and net balance at Storbreen in 1997. Specific balance is indicated in the left hand diagram, volume balance is shown to the right.

Siden målingene startet på Storbreen i 1949, har breen hatt et samlet underskudd på 11 m vannekvivalenter. Inntil 1970 var samlet underskudd 7 m, mens det etter 1970 har vært et underskudd på 4 m vannekvivalenter. Siden 1986 har breen vært akkurat i balanse med en samlet nettobalanse lik null. Massebalanseresultatene for Storbreen 1949-97 er vist i figur 11-3.



Figur 11-3 *Søylediagram som viser vinter-, sommer- og nettobalansen på Storbreen i perioden 1949-97.*

Bar graph showing winter, summer and net balance at Storbreen during the investigation period 1949-97.

Siden 1962, da målingene startet på Gråsubreen og Hellstugubreen, har Storbreen hatt et masseunderskudd på ca 5½ m vannekvivalenter, mens de to andre har hatt et underskudd på henimot 10 meter i samme periode.

Frontmålinger på Storbreen ble satt i gang allerede i 1902. Uaktet to korte perioder uten målinger er det kontinuitet for hele perioden. En jevn tilbakegang kulminerte i 1988, siden da har fronten gått frem 7 meter. De to siste årene viser observasjonene hhv. –7 m og +3 meter.

11.3 ENGLISH SUMMARY

Storbreen is a northeast-facing glacier in West-Jotunheimen in central southern Norway. It ranges between 1360 and 2100 m a.s.l. and the area is 5.3 km^2. The glacier is situated close to the main water divide between east and west Norway. Thus, this glacier forms a link between the maritime glaciers further west and the more continental ones in East-Jotunheimen. Front measurements started in 1902, and mass balance investigations started in 1949. Storbreen has the longest mass balance series in Norway. During the investigation period the glacier had a net mass deficit amounting to 11 m of water equivalents. Since 1962, when mass balance studies began at the other glaciers in southern Norway the cumulative net balance is −5.5 m w.eqv., compared to −9.6 m at the continental Gråsubreen and +13.1 m at the maritime Ålfotbreen.

Mass balance 1996

• Field work

The winter accumulation was measured on 9-10 May. Then, 130 snow depth soundings were performed between 1400 and 1910 m a.s.l. The snow depth varied between 1.0 m and 2.6 m, and this is unusually low. In addition the snow had a very low density. The mean density was only 0.35 g/cm^3.

Ablation measurements were performed on 15 September and were based on 9 visible stakes. Remaining snow did exist only at the very upper parts of the glacier.

• Results
Winter balance was only 0.81 m w.eqv., which is only 56 % of the mean, and is the lowest value ever measured during the observation period 1949-96. Summer balance was calculated to be 1.84 m w.eqv., whereas the mean value for the investigation period is 1.64 m w.eqv. Thus, the net balance came up with a deficit amounting to −1.03 m w.eqv. The mean net balance is −0.19 m w.eqv. However, since 1988 the glacier has shown a minor surplus. The 1996 results from Storbreen are shown in Table 11-1 and Figure 11-1.

Mass balance 1997

• Field work
The accumulation measurements were made on 20 May. Only two stakes had survived the winter. About 100 snow depth soundings were made and the depth varied between 3 m and 5 metres. Snow pit measurements showed that the mean snow density was 0.43 g/cm^3, which is less than normal. Ablation measurements were made on 14 October and were based on measurements at eight stakes. 20-30 cm of fresh snow was not taken into account, because it will be included in next year's balance calculations.

• Results
Winter balance was 1.75 m w.eqv., which is 122 % of the mean. Compared with the period after 1988 the 1997 result is just equal to the mean value. The warm summer, the warmest since 1947, resulted in an extraordinarily melting. The summer balance was 2.78 m w.eqv., the highest value ever measured at Storbreen. The result is 170 % of the mean summer balance. The net balance, hence, was −1.03 m w.eqv. – exactly the same as in the previous year. The mean net balance is −0.21 m of water equivalents. The 1997 mass balance results are shown in Table 11-2 and Figure 11-2.

Since 1949, when the measurements at Storbreen started, the cumulative mass balance is −11 m w.eqv. Since 1986 the glacier has been in equilibrium. Winter, summer, and net balance for Storbreen 1949-97 is presented in a diagram in Figure 11-3.

Glacier front measurements have shown a continuous retreat that culminated in 1988. Since then the glacier has advanced seven metres.

12 HELLSTUGUBREEN (002.DHBAZ) Nils Haakensen

På Hellstugubreen, som er en nordvendt dalbre i det sentrale Jotunheimen og drenerer til Visdalen, startet massebalansemålingene i 1962 og har fortsatt siden. Frontmålingene startet allerede i 1901, og det er kontinuitet i målingene hele tiden. Breen er 3,0 km^2 og ligger mellom 1460 m og 2200 moh. Over halvparten av arealet ligger mellom 1800 og 2000 moh. Regimet på Hellstugubreen er kontinentalt med relativt liten materialomsetning sammenlignet med breene som ligger lenger vest. Derfor har sommerbalansen større betydning for nettobalansen enn på de maritime breene. Siden målingene på Hellstugubreen startet i 1962, har breen hatt et samlet masseunderskudd på 10 m vannekvivalenter. Siden 1986 har imidlertid breen vært nesten i likevekt.

12.1 MASSEBALANSE 1996

Feltarbeid

Akkumulasjonsmålingene ble utført den 11.mai under meget gode arbeidsforhold. Det var svært lite snø, og bare tre av de 16 stakene som ble målt om høsten, hadde forsvunnet. Dette gjorde det enkelt å kontrollere sonderingene. Dessuten var sommeroverflaten enkel å identifisere. Det ble gjort over 100 sonderinger av snødypet som varierte fra under ½ meter nederst på breen til ca 2 m øverst. Bare 20 sonderinger viste over 2 m snø. Dette er usedvanlig lite. Tetthetsprøve av hele snøpakken (2,21 m) ble tatt ved stake 46 (1955 moh.). Middeltettheten var 0,42 g/cm^3, og dette er også lavere enn normalt.

Første delen av sommeren var kald, men det ble en svært varm august som avstedkom stor avsmelting, og ved minimumsmålingene 17.september var det aller meste av årets snø smeltet vekk. Bare i de aller høyeste områdene lå det igjen spredte snøflekker. Frontmålingene viste en tilbakegang på 2 m siden høsten 1995.

Resultater

- Vinterbalanse

Utregningen av vinterbalansen var basert på 102 sonderinger langs faste profiler og én tetthetsprøve. Nettobalansen for hvert høydeintervall ble regnet ut som middelverdien av de sonderingene som er gjort innenfor det enkelte intervall.

Vinterbalansen ble 0,65 m vannekvivalenter (1,9 $mill.m^3$). Det er bare 57 % av middelverdien i måleperioden 1962-95 og den laveste vinterbalansen som er målt.

- Sommerbalanse

Sommerbalansen kunne beregnes direkte på 13 staker mellom 1500 og 1955 moh. På ytterligere to staker kunne sommerbalansen beregnes indirekte. For hele breen ble sommerbalansen beregnet til 1,39 m vannekvivalenter (4,1 $mill.m^3$), og det er omtrent det samme som midlere sommerbalanse i måleperioden, men 117 % av middelverdien for årene etter 1988.

- Nettobalanse

For 1996 ble nettobalansen beregnet mellom to sommeroverflater. Breen viste et netto underskudd på –0,74 m vannekvivalenter (2,2 $mill.m^3$) Man må tilbake til 1988 for å finne en mindre verdi, da den var –1.04 meter. Gjennomsnittsverdien for måleperioden 1962-95 er –0,24 m vannekvivalenter. Vinter-, sommer- og nettobalansens variasjon med høyden er vist i tabell 12-1 og massebalanse-kurvene er vist i figur 12-1. Massebalansediagrammet viser at breens likevektslinje lå 1955 moh. Bare 29 % av breens areal ligger over dette nivået.

Mass balance HELLSTUGUBREEN1995/96 – traditional method

Altitude (m a.s.l.)	Area (km^2)	Winter balance Measured May 11 1996 Specific (m w.eq.)	Winter balance Volume (10^6 m^3)	Summer balance Measured Sep 17 1996 Specific (m w.eq.)	Summer balance Volume (10^6 m^3)	Net balance Summer surfaces 1995 - 1996 Specific (m w.eq.)	Net balance Volume (10^6 m^3)
2150 - 2200	0,02	1,01	0,02	-0,33	-0,01	0,68	0,01
2100 - 2150	0,08	0,92	0,08	-0,38	-0,03	0,54	0,05
2050 - 2100	0,25	0,88	0,22	-0,49	-0,12	0,39	0,10
2000 - 2050	0,17	0,86	0,15	-0,58	-0,10	0,28	0,05
1950 - 2000	0,35	0,88	0,31	-0,75	-0,26	0,13	0,05
1900 - 1950	0,60	0,81	0,49	-0,97	-0,58	-0,16	-0,10
1850 - 1900	0,35	0,73	0,26	-1,17	-0,41	-0,44	-0,15
1800 - 1850	0,33	0,55	0,18	-1,52	-0,50	-0,97	-0,32
1750 - 1800	0,14	0,42	0,06	-2,04	-0,29	-1,62	-0,23
1700 - 1750	0,10	0,37	0,04	-2,27	-0,22	-1,90	-0,19
1650 - 1700	0,16	0,35	0,06	-2,37	-0,39	-2,02	-0,33
1600 - 1650	0,13	0,27	0,04	-2,55	-0,33	-2,28	-0,30
1550 - 1600	0,17	0,22	0,04	-2,90	-0,50	-2,68	-0,46
1500 - 1550	0,09	0,14	0,01	-3,20	-0,30	-3,06	-0,28
1465 - 1500	0,03	0,12	0,00	-3,40	-0,09	-3,28	-0,09

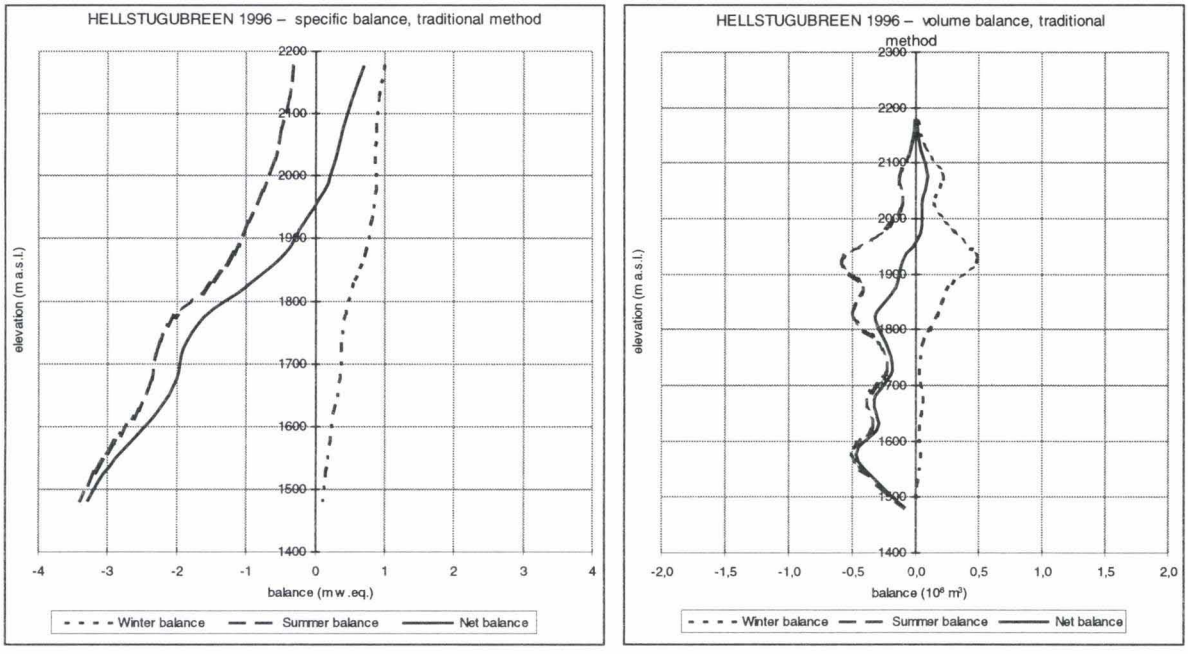
Total area 2,98

Total for whole glacier between summer surfaces 1995 - 1996

	Winter bal.	Summer bal.	Net bal.
volume (10^6 m^3)	**1,9**	**-4,1**	**-2,2**
specific (m)	**0,65**	**-1,39**	**-0,74**

Tabell 12-1 *Vinter-, sommer- og nettobalanse samt arealfordeling på Hellstugubreen i 1996.*

Winter, summer, and net balance and area distribution for Hellstugubreen in 1996.



Figur 12-1 *Massebalansediagram for Hellstugubreen 1996 som viser vinter-, sommer- og nettobalanse med spesifikke verdier til venstre og volumverdier til høyre.*

Mass balance diagram showing specific values (left) and volume values (right) for Hellstugubreen 1996.

12.2 MASSEBALANSE 1997

Feltarbeid

Akkumulasjonsmålingene ble utført den 16. og 17.mai.
- 12 av 15 staker fra sist høst ble funnet. På dem ble vinterbalansen registrert direkte.
- Det ble gjort 85 sonderinger av snødypet langs faste profil mellom 1500 og 2175 moh. Sonderingsforholdene var unormalt gode. Sommeroverflaten var krystallklar over hele breen. Snødypet varierte fra omkring en meter nederst på breen til mellom 3-4 meter øverst. På de aller øverste delene (over 2175 moh.) avtok snødypet igjen.
- Tetthetsprøve ble tatt av hele snøpakken ved st. 46 (1955 moh.). Snødypet var 3,5 meter. Middeltettheten var 0,39 g/cm^3, og det er mindre enn vanlig. Den lave tettheten forklares med at brorparten av akkumulasjonen kom etter 1.februar, og at snøen var relativt nyfallen.

Minimumsmålingene ble utført den 14.oktober. Det var da kommet nysnø over hele breen – opp til ½ meter. Det var uvanlig varmt i hele august. Uten hensyntagen til nysnøen hadde det smeltet 4-6 m på stakene siden mai. Over halvparten av dette hadde skjedd i august. Breen var uvanlig mye oppsprukket. Frontmålingene viste at breen hadde gått fram 2 meter.

Resultater

• Vinterbalanse
Vinterbalansen ble basert på 85 sonderinger av snødypet – hovedsakelig langs faste profiler, og dessuten en tetthetsprøve som anses som representativ for hele breen. Vinterbalansen er regnet ut som middelverdien innenfor hvert enkelt høydeintervall, og ble utregnet til 1,12 m vannekvivalenter (3,3 mill.m^3). Det er nøyaktig det samme som middelverdien i hele måleperioden. Midlere vinterbalanse for årene etter 1988 er imidlertid 15 % høyere enn for hele perioden.

• Sommerbalanse
Sommerbalansen kunne beregnes direkte på 12 staker mellom 1500 og 1955 moh. På ytterligere tre staker som dukket fram, den øverste på 2175 moh., kunne sommerbalansen beregnes indirekte som forskjellen i målt vinterbalanse i stakenes nærhet og nettobalansen målt direkte på staken. Sommerbalansen ble beregnet til 2,77 m vannekvivalenter (8,3 mill.m^3), og det er 204 % av middelverdien. Dette er i særklasse den største sommerbalansen som har vært målt. Nest størst var det i 1988 med 2,32 m vannekvivalenter. Bare tre ganger siden 1962 har det vært målt sommerbalanse på over 2 meter på Hellstugubreen.

• Nettobalanse
Den ekstraordinært store sommerbalansen førte til et betydelig masseunderskudd på breen. Nettobalansen ble beregnet til –1,65 m vannekvivalenter (4,9 mill.m^3), og det er det største underskuddet som er målt på Hellstugubreen. Nettobalansen er målt mellom to sommeroverflater, og kan således direkte sammenlignes med resultatene fra tidligere målinger. Det nest største underskuddet var i 1969 med 1,28 m vannekvivalenter. Bare tre ganger tidligere har Hellstugubreen hatt et underskudd på over én meter vannekvivalenter. Midlere vinterbalanse er –0,28 m vannekvivalenter. Vinter-, sommer- og nettobalansens fordeling med høyden er vist i tabell 12-2 og et massebalansediagram som viser spesifikke verdier og volumverdier i figur 12-2. Breen hadde negativ nettobalanse i alle høydeintervaller. Det vil si at likevektslinjens høyde var over 2200 moh.

Siden målingene startet på Hellstugubreen i 1962, har breen hatt et samlet underskudd på akkurat 10 m vannekvivalenter. Av dette kom 9 meter i 20-års perioden 1969–1988. Årene 1969, 1980, 1988 og 1997 skiller seg ut som år med stor sommerbalanse og stort masseunderskudd.

Figur 12-3 viser en oversikt over vinter-, sommer- og nettobalanse for måleperioden 1962-97.

Mass balance HELLSTUGUBREEN1996/97 – traditional method

Altitude (m a.s.l.)	Area (km^2)	Winter balance Measured May 16 1997 Specific (m w.eq.)	Winter balance Volume (10^6 m^3)	Summer balance Measured Oct 14 1997 Specific (m w.eq.)	Summer balance Volume (10^6 m^3)	Net balance Summer surfaces 1996 - 1997 Specific (m w.eq.)	Net balance Volume (10^6 m^3)
2150 - 2200	0,02	1,20	0,02	-1,40	-0,03	-0,20	0,00
2100 - 2150	0,08	1,17	0,10	-1,65	-0,14	-0,48	-0,04
2050 - 2100	0,25	1,32	0,33	-1,84	-0,46	-0,52	-0,13
2000 - 2050	0,17	1,60	0,28	-1,90	-0,33	-0,30	-0,05
1950 - 2000	0,35	1,38	0,48	-1,93	-0,68	-0,55	-0,19
1900 - 1950	0,60	1,18	0,71	-2,22	-1,33	-1,04	-0,62
1850 - 1900	0,35	1,11	0,39	-2,65	-0,93	-1,54	-0,54
1800 - 1850	0,33	1,05	0,34	-2,92	-0,95	-1,87	-0,61
1750 - 1800	0,14	0,91	0,13	-3,35	-0,47	-2,44	-0,34
1700 - 1750	0,10	1,10	0,11	-3,92	-0,38	-2,82	-0,28
1650 - 1700	0,16	1,08	0,18	-4,05	-0,66	-2,97	-0,48
1600 - 1650	0,13	0,87	0,11	-4,20	-0,55	-3,33	-0,43
1550 - 1600	0,17	0,70	0,12	-4,38	-0,76	-3,68	-0,64
1500 - 1550	0,09	0,37	0,03	-4,90	-0,46	-4,53	-0,42
1465 - 1500	0,03	0,32	0,01	-5,35	-0,14	-5,03	-0,14

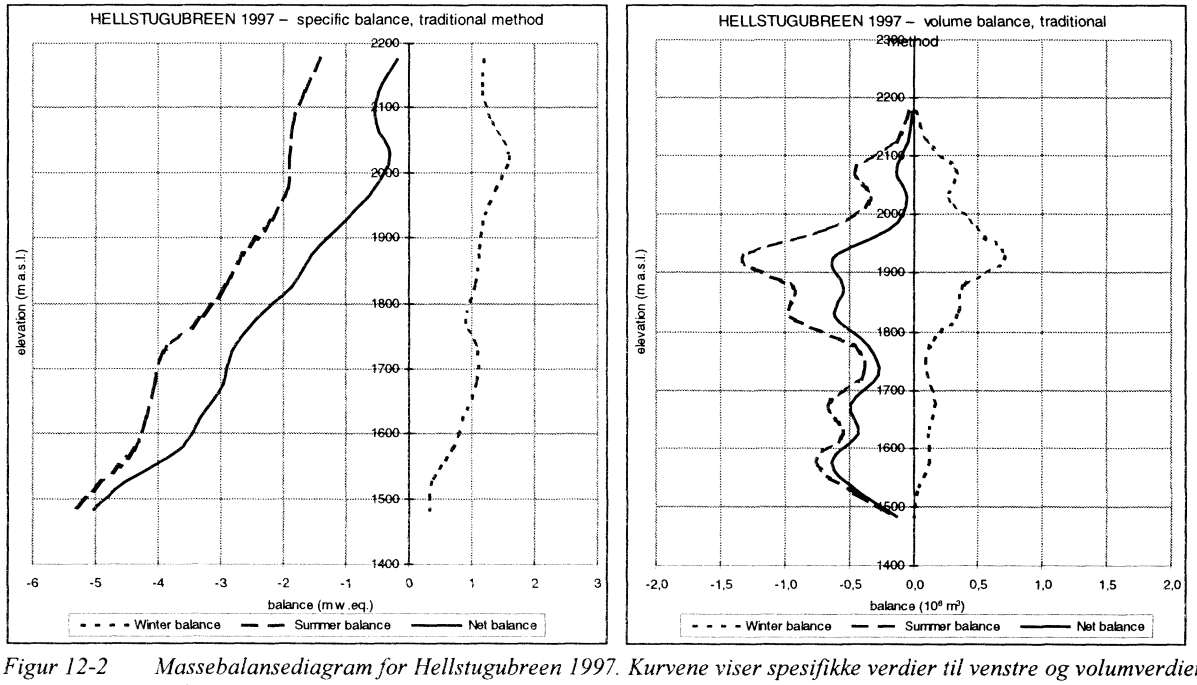
Total area 2,98

Total for whole glacier between summer surfaces 1996 - 1997

	Winter bal.	Summer bal.	Net bal.
volume (10^6 m^3)	3,3	-8,3	-4,9
specific (m)	1,12	-2,77	-1,65

Tabell 12-2 Vinter-, sommer- og nettobalanse, samt arealfordeling for 50 m høydeintervall på Hellstugubreen i 1997.

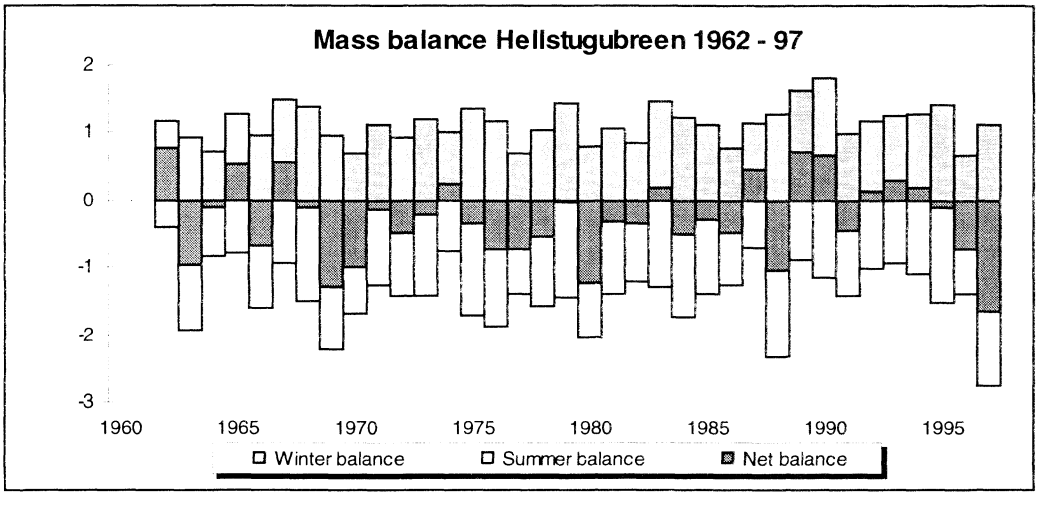
Winter, summer, and net balance, and area distribution for Hellstugubreen in 1997.



Figur 12-2 Massebalansediagram for Hellstugubreen 1997. Kurvene viser spesifikke verdier til venstre og volumverdier til høyre for vinter-, sommer- og nettobalanse.

Mass balance diagram showing specific values (left) and volume values (right) for Hellstugubreen 1997.

Siden frontmålingene startet på Hellstugubreen i 1901, har tilbakegangen vært 890 meter. I 1996 gikk fronten tilbake 2 meter, men i 1997 viste fronten en fremrykning på 2 meter til tross for den varme sommeren. Det er første gang siden 1905 at det er målt fremrykning på Hellstugubreen. Det finnes riktignok år med manglende målinger, men kontinuiteten i målingene er bevart helt tilbake til 1901.



Figur 12-3 *Søylediagrammet viser vinter- og sommer og nettobalanse for Hellstugubreen i perioden 1962-97. I denne perioden har breen bare hatt 11 år med overskudd – fem av disse har vært etter 1988. I hele perioden har breen hatt en midlere vinterbalanse på 1,13 m, en midlere sommerbalanse på 1,36 m og en totalt underskudd på 10 m vannekvivalenter. Underskuddet de to siste årene har kompensert overskuddet som ble målt i begynnelsen av 1990-tallet.*

Diagram presenting mass balance results at Hellstugubreen 1962-97. During this period the glacier shows only 11 positive years, five of them, however, occurred after 1988. During the period mean winter balance is 1.13 m, mean summer balance is 1.36 m and total net balance is −10 m water equivalents. The two last year's deficit compensate the surplus measured in the beginning of the 1990'ies.

12.3 ENGLISH SUMMARY

Hellstugubreen is a north-facing valley glacier situated in central Jotunheimen. It is ranging between 1460 and 2200 m a.s.l. and its area is 3.0 km^2. Front position measurements started in 1901, and mass balance investigations have been performed since 1962. Hellstugubreen is a continental glacier and the mass exchange is small compared to glaciers situated further west. The summer balance is more important for the net balance than it is at more maritime glaciers. Since 1962 the glacier showed a deficit amounting to 10 m water equivalents. Since 1986 the glacier has been nearly in a steady state.

Mass balance 1996

• Field work

Accumulation measurements were carried out on 10 May. Then it was very little snow on the glacier. More than 100 snow depth soundings showed less than ½ m of snow at the tongue, increasing to 2 m in the upper areas. Mean snow density was 0.42 g/cm^3 – less than usual. Ablation measurements were made on 17 September. A very warm August had resulted in a considerable melting, and hardly any snow was left on the glacier.

• Results

Winter balance was 0.65 m w.eqv., 57 % of the mean for the period 1962-95, and the lowest winter balance ever measured. Summer balance was based on 15 stake measurements and was calculated to 1.39 m w.eqv., which is equal to the mean value for the entire observation period. The net balance

(traditional stratigraphic method) was −0.74 m w.eqv., the lowest net balance since 1988. The mean net balance is −0.24 m water equivalents. The equilibrium line altitude was 1955 m a.s.l. The AAR, accordingly, was 29 %. The mass balance results at Hellstugubreen 1996 is presented in Table 12-1 and Figure 12-1.

Mass balance 1997

• Field work
The accumulation was measured on 16-17 May, when 15 stakes were found. Snow depth was measured in 85 points between 1500 and 2175 m a.s.l. and varied between 1 m at the tongue to 3-4 m in the upper parts. Mean snow density was 0.39 g/cm^3, which is less than usual. Ablation measurements were made on 14 October. The entire glacier was then covered by fresh snow – up to ½ metre, but this new snow was not taken in account when calculating the net balance. It will be included in next year's calculations. The summer 1997 was the warmest in 50 years, and resulted in abnormal melting conditions.

• Results
Winter balance was 1.12 m water equivalents, equal to the mean 1962-96. Summer balance, based on 15 stake measurements, was 2.77 m w.eqv. The result is more than twice (204 %) the mean summer balance during the entire investigation period. The second highest summer balance was 2.32 m w.eqv. in 1988. The warm summer caused a considerable mass deficit. The net balance was −1.65 m w.eqv., the greatest deficit since the investigation started in 1962. The second greatest deficit was −1.28 m w.eqv. in 1969. The mean net balance is −0.28 m w.eqv. The mass balance results for Hellstugubreen 1997 are presented in Table 12-2 and in Figure 12-2.

Hellstugubreen has shown a cumulative deficit amounting to exactly 10 m w.eqv. during the investigation period. Winter, summer, and net balance for Hellstugubreen 1962-97 is presented in Figure 12-3.

Since the front measurements at Hellstugubreen started in 1901, the front has retreated 890 metres. Since 1962 the retreat is 420 metres. Although the summer 1997 was very warm, the glacier advanced 2 metres. This is the first recorded advance since 1905.

13 GRÅSUBREEN (002.DGDC) Nils Haakensen

Gråsubreen ligger på nordøst-siden av Glittertind i Øst-Jotunheimen og drenerer til Veodalen. Den er 2,2 km^2 og ligger mellom 1860 og 2290 moh. Den er en av landets høyestliggende og mest kontinentale breer. Massebalansemålinger på Gråsubreen har pågått kontinuerlig siden 1962.

Gråsubreen har en nettobalanse som er svært lik Hellstugubreens, men både vinter- og sommerbalansen er omtrent 30 % lavere. Gråsubreen har en gjennomsnittlig materialhusholdning som er bare 20 % av Ålfotbreens, og det forteller klart hvilken stor forskjell det er på regimet til breene i det vest-øst profilet i Syd-Norge der det måles massebalanse (figur 1-1).

På grunn av stor høyde og lite snø er Gråsubreen delvis en kald bre med forekomst av påfrossen is. Dette gjelder først og fremst de sentrale deler av breen der snøen lett blåser av. Det er enkelte år blitt registrert 20-30 cm påfrossen is enkelte steder på breen, og den kan være vanskelig å måle nøyaktig. Gråsubreen har på grunn av sin høye beliggenhet kort ablasjonssesong og er særlig utsatt for sommersnøfall. På Gråsubreen har sommerbalansen større betydning for nettobalansen enn på noen av de andre undersøkte breene. Siden 1962 har breen hatt en kumulativ nettobalanse på −9,5 m vannekvivalenter som er omtrent det samme som på Hellstugubreen.

13.1 MASSEBALANSE 1996

Feltarbeid

Akkumulasjonsmålingene ble utført den 14.mai. Det ble sondert i vel 100 punkt jevnt fordelt over breen mellom 1850 m og 2270 moh. Snødypet varierte mellom 5 cm og vel 2 meter. Halvparten av målingene viste snødyp under 1,0 m, og 70 % av målingene lå mellom 1,5 og 2,5 m. Til sammen 20 staker hadde overlevet vinteren. Sammenligning av stakene med målt snødyp viser at et område øverst på breens vestlige del hadde 20-30 cm påfrossen is. En tetthetsprøve ble tatt av en snøpakke på 2,0 m ved stake 8 (2125 moh.) Middeltettheten var 0,43 g/cm^3. Tetthetsfordelingen av denne dannet grunnlaget for beregning av vannverdien av snøen på resten av breen.

Minimumsmålingene ble gjort den 18.september. En varm august hadde avstedkommet relativt stor smelting i den siste del av sommeren. Alle de 24 stakene ble funnet og målt. De var blitt 1-2 meter lenger siden mai.

Resultater

- Vinterbalanse

Vinterbalansen ble beregnet ned til forrige års sommeroverflate på grunnlag av 100 sonderinger og en snøprøve. På Gråsubreen er snøen meget ujevnt fordelt pga. vinddrift. Beregningene er gjort ved å tegne linjer gjennom punkt med lik akkumulasjon og så planimetrere arealene for ulik akkumulasjon innen hvert høydenivå.

Vinterbalansen ble beregnet til 0,53 m vannekvivalenter (1,2 $mill.m^3$ vann). Dette er bare 67 % av midlere vinterbalanse for måleperioden 1962-95 og den minste vinterbalansen siden 1986. Kun seks ganger tidligere, siste gang i 1986, er det målt mindre vinterbalanse på Gråsubreen. Sammenlignet med årene etter 1988 er årets resultat bare 52 % av middelverdien.

- Sommerbalanse

Sommerbalansen ble regnet ut ved 20 staker. I tillegg kunne nettobalansen regnes ut ved fire andre. Sommerbalansen varierte fra nesten 1½ m nederst til rundt ½ m øverst. Totalresultatet ble 0,98 m vannekvivalenter (2,2 $mill.m^3$ vann), og det er 97 % av midlere sommerbalanse i måleperioden, men 110 % av middelet for årene etter 1988.

• Nettobalanse

Svært liten vinterbalanse og en normal sommerbalanse resulterte i en nettobalanse på –0,45 m vannekvivalenter (1,0 mill.m^3 vann). Midlere nettobalanse i måleperioden er –0.22 m vannekvivalenter. For årene etter 1988 har imidlertid midlere nettobalanse vært +0,12 m vannekvivalenter.

Mass balance GRÅSUBREEN1995/96 – traditional method

Altitude (m a.s.l.)	Area (km^2)	Winter balance Measured May 14 1996 Specific (m w.eq.)	Winter balance Volume (10^6 m^3)	Summer balance Measured Sep 18 1996 Specific (m w.eq.)	Summer balance Volume (10^6 m^3)	Net balance Summer surfaces 1995 - 1996 Specific (m w.eq.)	Net balance Volume (10^6 m^3)
2250 - 2290	0,04	0,65	0,02	-0,44	-0,02	0,21	0,01
2200 - 2250	0,16	0,62	0,10	-0,48	-0,08	0,14	0,02
2150 - 2200	0,26	0,44	0,11	-0,67	-0,17	-0,23	-0,06
2100 - 2150	0,34	0,37	0,12	-0,98	-0,33	-0,61	-0,20
2050 - 2100	0,38	0,53	0,20	-1,08	-0,41	-0,55	-0,21
2000 - 2050	0,41	0,51	0,21	-1,07	-0,44	-0,56	-0,23
1950 - 2000	0,37	0,65	0,24	-1,05	-0,39	-0,40	-0,15
1900 - 1950	0,15	0,62	0,10	-1,20	-0,18	-0,58	-0,09
1860 - 1900	0,09	0,63	0,06	-1,42	-0,13	-0,79	-0,07

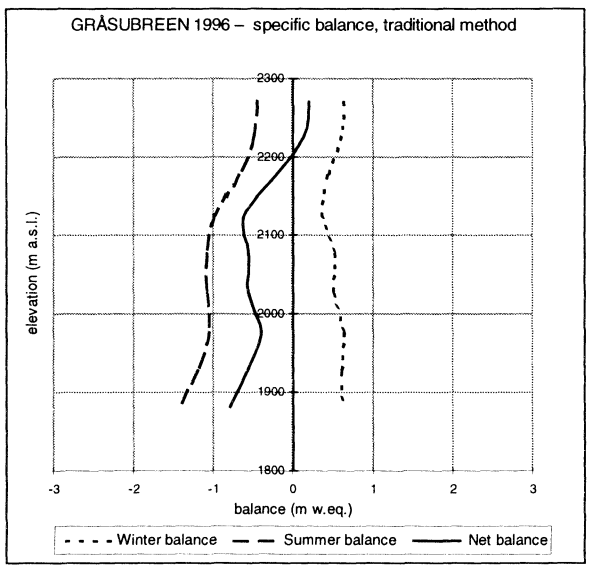
Total area 2,20

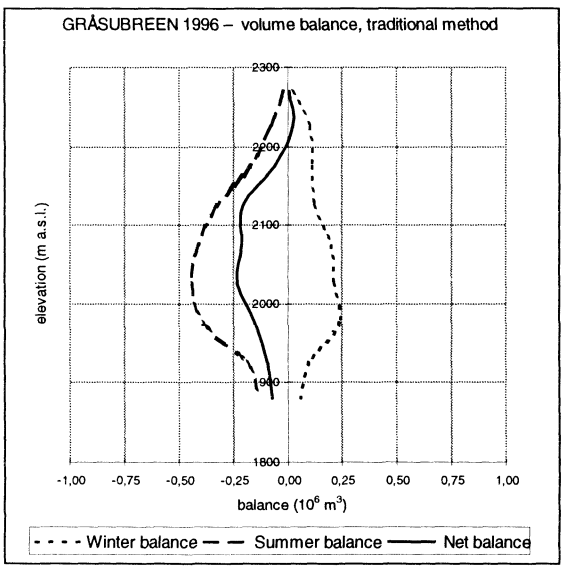
Total for whole glacier between summer surfaces 1995 - 1996

	Winter bal.	Summer bal.	Net bal.
volume (10^6 m^3)	**1,17**	**-2,15**	**-0,98**
specific (m)	**0,53**	**-0,98**	**-0,45**

Tabell 13-1 *Fordelingen av vinter-, sommer- og nettobalanse på Gråsubreen i 1996 samt arealene av hvert 50 meter høydeintervall.*

The distribution of winter, summer, and net balance for 50 m height intervals for Gråsubreen in 1996, as well as the area distribution.





Figur 13-1 *Vinter-, sommer- og nettobalansens variasjon med høyden på Gråsubreen i 1996 med spesifikk balanse til venstre og volumbalanse til høyre.*

Mass balance diagram showing winter, summer, and net balance at Gråsubreen in 1996. Specific balance is indicated in the left diagram, volume balance is shown to the right. The ELA is 2205 m a.s.l., and AAR is 8 %.

Pga. svært ulik snøfordeling er det umulig å definere en visuell likvektslinje. En beregnet likevektslinje ligger imidlertid 2205 moh. Bare 8 % av breens areal ligger over dette nivå.

Vinter-, sommer- og nettobalansens fordeling med høyden er vist i tabell 13-1, og figur 13-1 viser diagram for vinter-, sommer- og nettobalansen med spesifikke verdier til venstre og arealverdier til høyre.

13.2 MASSEBALANSE 1997

Feltarbeid

Akkumulajsonsmålinger ble utført den 18.mai under perfekte vær- og sonderingsforhold. Av 24 staker ble 19 funnet. Snødypet ble sondert i 165 punkt mellom 1850 og 2280 moh. Den store avsmeltingen det foregående år gjorde at sommeroverflaten var helt entydig over hele breen. Snødypet varierte fra under 1 meter øverst på breen til 2,5–3 m nederst. Sammenligning mellom sonderingene ved stakene og stakelengdene tyder på at det ikke var påfrossen is av betydning.

Gråsubreen er utsatt for vind, og svært mye snø transporteres fra breens øvre til nedre del, og den største akkumulasjonen ble målt nederst. Dette finner sted hvert år, men det er sjelden så påfallende som i 1997. Ved stake 8 (2125 moh.) ble det tatt tetthetsprøve av hele snøpakken. Snødypet var 2,25 m, og middeltettheten var 0,382 g/cm^3, og det er svært lavt. Den lave tettheten forklares med at en forholdsvis stor del av snøen kom i siste del av vinteren.

Minimumsmålingene ble gjort ble gjort den 27. september. Allerede i slutten av juli var det meste av årets nysnø smeltet. Den ekstremt varme august hadde avstedkommet ytterligere mye avsmelting, og det hadde smeltet 1½ - 2 m is eller firn over hele breen. Alle 24 stakene ble funnet, og i tillegg hadde fire gamle staker dukket opp. Det var is eller gammel firn over hele breen.

Under minimumsmålingene ble det observert et stort innsynkningsområde like nedenfor stake 12 (2050 moh., midt på breen). Området var sirkulært med en diameter på 50-60 meter og bunnen ble anslått å være 5-6 m under overflaten. I ytterkanten av området var det konsentriske sprekker. De ytterste var opp til 1½ meter brede og flere meter dype. Forklaringen kan være at den ekstremt varme ettersommeren har dannet en vannansamling under breen, og at denne plutselig er blitt tappet ved et slags jøkulhlaup. Denne antagelsen understøttes ved at det i slutten av august ble observert en stor flom i Gråsubekken, og den ødela broen over bekken og deler av veien i nærheten.

Resultater

• Vinterbalanse
Vinterbalansen ble regnet ut på grunnlag av 165 snødypsonderinger, 19 stakemålinger og en tetthetsprøve av 2,25 m snø. Det var store variasjoner i snødyp innenfor de enkelte høydeintervall. Vinterbalansen er beregnet ved planimetrering av arealer med samme vinterbalanse innenfor de enkelte høydeintervall.

Vinterbalansen ble beregnet til 0,70 m vannekvivalenter (1,5 mill.m^3 vann), og det er 88 % av midlere vinterbalanse i måleperioden 1962-96. Sammenlignet med de siste 10 årene er årets resultatet bare 73 % av middelverdien.

• Sommerbalanse
Sommerbalansen ble regnet ut direkte ved 19 staker og indirekte ved 5 staker som smeltet frem i løpet av sommeren. Sommerbalansen ble regnet ut til –2,39 m vannekvivalenter (5,2 mill.m^3 vann), og det er hele 237 % av midlere sommerbalanse for måleperioden 1962-96. Sammenlignet med årene etter 1988 er årets sommerbalanse 267 % av middelverdien. Årets sommerbalanse er suverent den største

som er målt på Gråsubreen. Tidligere er det bare i 1969 at sommerbalansen var over 2 meter. Da var den 2,04 meter vannekvivalenter.

Mass balance GRÅSUBREEN1996/97 – traditional method

Altitude (m a.s.l.)	Area (km^2)	Winter balance Measured May 18 1997 Specific (m w.eq.)	Winter balance Volume (10^6 m^3)	Summer balance Measured Sep 27 1997 Specific (m w.eq.)	Summer balance Volume (10^6 m^3)	Net balance Summer surfaces 1996 - 1997 Specific (m w.eq.)	Net balance Volume (10^6 m^3)
2250 - 2290	0,04	0,27	0,01	-1,38	-0,05	-1,11	-0,04
2200 - 2250	0,16	0,53	0,09	-1,52	-0,25	-0,99	-0,16
2150 - 2200	0,26	0,60	0,15	-1,90	-0,49	-1,30	-0,33
2100 - 2150	0,34	0,51	0,17	-2,48	-0,83	-1,97	-0,66
2050 - 2100	0,38	0,60	0,23	-2,60	-0,99	-2,00	-0,76
2000 - 2050	0,41	0,70	0,29	-2,52	-1,04	-1,82	-0,75
1950 - 2000	0,37	0,89	0,33	-2,50	-0,92	-1,61	-0,59
1900 - 1950	0,15	1,06	0,16	-2,67	-0,41	-1,61	-0,25
1860 - 1900	0,09	1,16	0,11	-2,90	-0,27	-1,74	-0,16

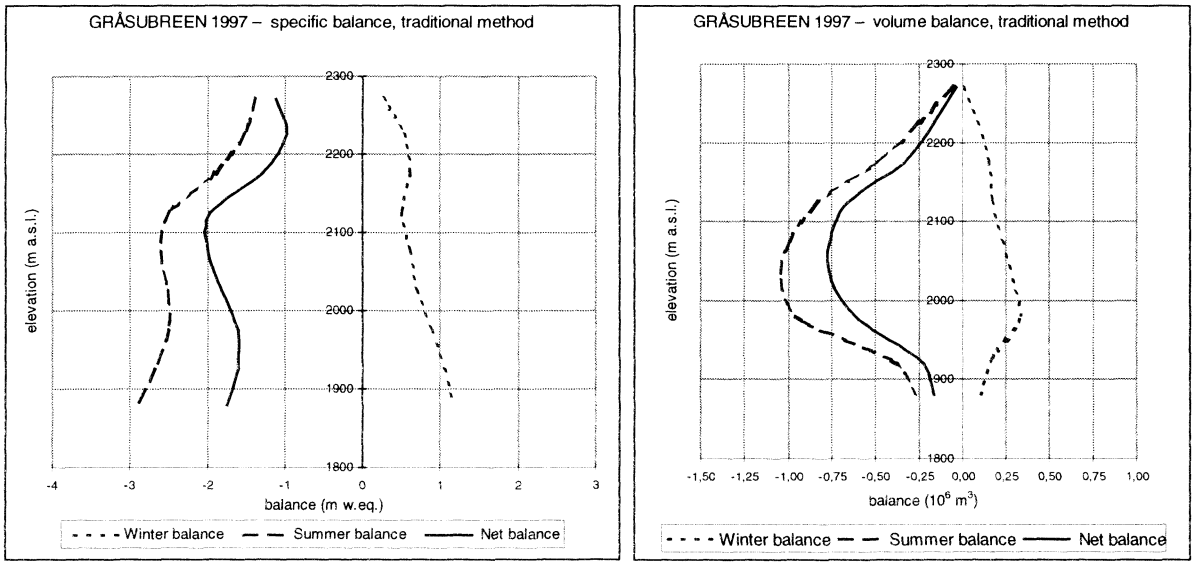
Total area 2,20

Total for whole glacier between summer surfaces 1996 - 1997

	Winter bal.	Summer bal.	Net bal.
volume (10^6 m^3)	**1,54**	**-5,25**	**-3,71**
specific (m)	**0,70**	**-2,39**	**-1,69**

Tabell 13-2 *Fordelingen av vinter-, sommer- og nettobalanse på Gråsubreen i 1997 samt arealene av hvert 50 meter høydeintervall.*

The distribution of winter, summer, and net balance for 50 m height intervals for Gråsubreen in 1997, and the area distribution.



Figur 13-2 *Vinter-, sommer- og nettobalansens variasjon med høyden på Gråsubreen i 1997 med spesifikk balanse til venstre og volumbalanse til høyre.*

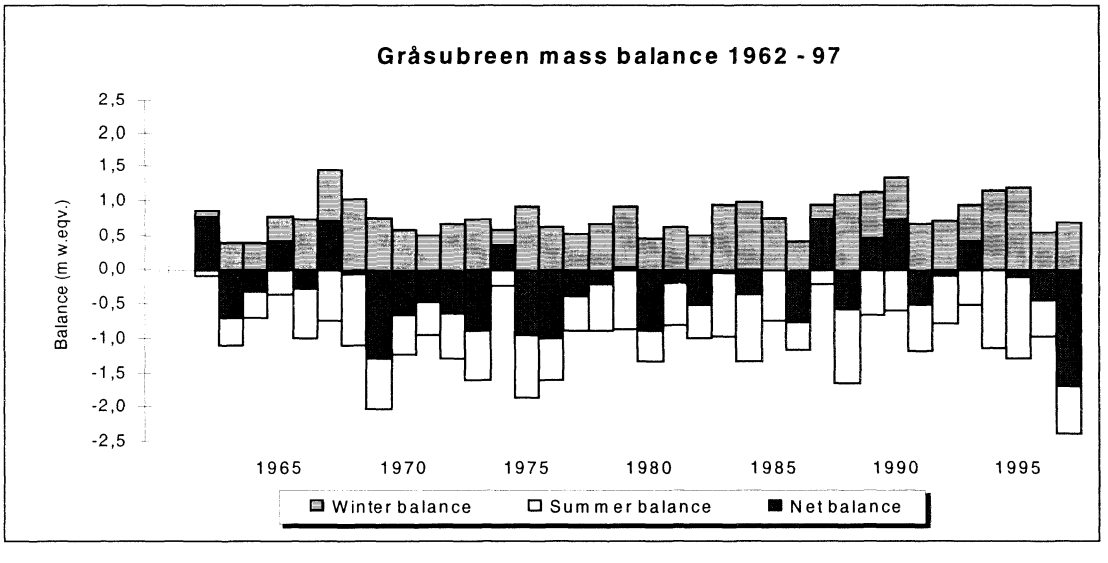
Mass balance diagram showing winter, summer, and net balance at Gråsubreen in 1997. Specific balance is plotted in the left hand diagram, volume balance is shown to the right.

• Nettobalanse
Nettobalansen er beregnet mellom sommeroverflatene fra 1996 og 1997, mens nysnøen ved minimumsmålingene er ikke regnet med. Den meget varme sommeren avstedkom en helt uvanlig avsmeltning på Gråsubreen, og nettobalansen var over én meter vannekvivalenter i alle høydeintervall. Nettobalansen ble målt til –1,69 m vannekvivalenter (3,7 mill.m^3 vann) og det er det absolutt største underskuddet som har vært målt på Gråsubreen. Tidligere er det bare 1969 som har hatt et underskudd større enn én meter. Da var nettobalansen –1.30 m vannekvivalenter. Midlere nettobalanse er –0.23 m vannekvivalenter.

Vinter-, sommer- og nettobalansens fordeling med høyden, samt breens arealfordeling er vist i tabell 13-2. Figur 13-2 viser massebalansediagram med spesifikke verdier til venstre og arealverdier til høyre. Massebalansediagrammet viser at likevektslinjen (ELA) ligger over breens høyeste punkt (2290 moh.), og har således ingen mening.

Siden massebalansemålingene startet på Gråsubreen i 1962, har breen hatt et kumulativt masseunderskudd på nesten 10 m vannekvivalenter. Det er omtrent det samme som for Hellstugubreen. Av dette underskuddet er 7½ m kommet etter 1982. Bare ni år har breen hatt positiv nettobalanse.

Søylediagrammet (Figur 13-3) viser vinter-, sommer- og nettobalansen for Gråsubreen i måleperioden 1962-97. Foruten 1997 skiller 1969 seg ut med stort underskudd.



Figur 13-3 *Søylediagram som viser vinter-, sommer- og nettobalansen på Gråsubreen i perioden 1962-97. Året 1997 skiller seg klart ut som det største underskuddsåret.*

Bar graph showing winter, summer and net balance at Gråsubreen during the investigation period 1962-97. The year 1997 stands out as the most important deficit year. Only nine years of 36 the glacier had positive net balance.

13.3 ENGLISH SUMMARY

Gråsubreen is a northeast-facing glacier situated on the northern side of Glittertind in the eastern part of Jotunheimen. It is 2.2 km^2 and is ranging between 1860 and 2290 m a.s.l. Mass balance investigations have been performed continuously at Gråsubreen since 1962. Gråsubreen is one of the highest situated and most continental glaciers in Norway. The net balance at Gråsubreen turns out to be very similar to that of Hellstugubreen. The mass exchange, however, is approximately 30 % lower than that on Hellstugubreen, and only 20 % of Ålfotbreen. This demonstrates the great variations in

regime at the glaciers in the west-east profile in southern Norway where mass balance measurements have been performed. Due to its continentality and high position Gråsubreen is partly a cold glacier and some superimposed ice may exist in the central parts of the glacier where the snowcover is usually thin due to snowdrift. At Gråsubreen the summer balance is more important for the net balance than at any other of the investigated glaciers. Since 1962 the cumulative net balance is −9.5 m w.eqv.

Mass balance 1996

• Field work
Accumulation measurements were performed on 14 May. Then 20 stakes were visible. More than 100 snow depth soundings were made, and the depth varied from 5 cm to more than 2 metres; 50 % of the soundings indicated snow depth less than 1.0 m w.eqv. Comparing stake length with snow depth indicates 20-30 cm superimposed ice at the upper, western part of the glacier. The density of a 2.0 m snow sample was 0.43 g/cm^3. The ablation measurements were done on 18 September. 24 stakes were visible. Most of the glacier had exposed ice or firn.

• Results
Winter balance was 0.53 m w.eqv. or 67 % of the mean during the period 1962-95, and the lowest value since 1986. Summer balance was 0.98 m w.eqv., which is very close to average summer balance. The result is based on 24 stake measurements. The net balance, accordingly, was −0.45 m w.eqv., whereas the mean value is −0.22 metres. Winter, summer, and net balance results for Gråsubreen 1996 are presented in Table 13-1 and Figure 13-1.

Mass balance 1997

• Field work
The accumulation was measured on 18 May. Snow depth soundings were made at 165 points, the depth varied from less than one meter at the upper part to 2½-3 m on the lower part. Stake measurements on 19 surviving stakes did not indicate any occurrence of superimposed ice. The mean density of a 2.25 m snow sample was 0.38 g/cm^3. Mean net balance is −0.23 m w.eqv. Ablation measurements were done on 27 September. The summer was extremely warm and most of the snow had disappeared at the end of July. In August 1½-2 m ice or firn melted all over the glacier. 28 stakes were visible. At that occasion a circular hollow, 50-60 m in diameter and 5-6 m deep in the middle was observed in the central part of the glacier. At the rim there were concentric crevasses up to 1½ m wide and several metres deep. It may have been formed by a sudden drainage of a water body collected underneath the glacier. A sudden melt water flow destroying a bridge and parts of the road in the valley below may support this theoretical explanation.

• Results
Winter balance calculation was based on 165 snow depth soundinds and measurements at 19 visible stakes. The mean snow density was determined from one snow sample. The winter balance was 0.70 m w.eqv. (88 % of the mean), but only 73 % of the last ten years' mean. Summer balance was calculated from 24 stake measurements. A very warm summer resulted in an extreme melting. The summer balance was −2.39 m w.eqv. This is 237 % of the mean summer balance during the entire investigation period, and 267 % of the mean of the last 10 years. The result is the unrivalled highest summer balance ever measured (see Fig. 13-3) compared with 2.04 m in 1969. The warm summer and high melting resulted in a great negative net balance. The results show a net deficit more than one meter water equivalents in all height intervals. Total net balance was −1.69 metres. Only once before the deficit at Gråsubreen has been more than 1.0 m water equivalents. In 1969 the net balance was −1.30 m w.eqv.

The distribution of winter, summer, and net balance for 50 m height intervals at Gråsubreen 1997 is presented in Table 13-2 and Figure 13-2. The cumulative net balance at Gråsubreen since 1962 is

nearly −10 m w.eqv. Since 1986, however, the cumulative net balance is only −1.1 m w.eqv. The diagram (Fig. 13-3) is indicating winter, summer, and net balance at Gråsubreen 1962-97. Note the negative years in the beginning of the 1970'ies.

14 AUSTRE OKSTINDBRE (155.4G) Niels Tvis Knudsen og Nils Haakensen

Austre Okstindbre er den nordøstligste utløperen fra Okstindbreen og har et areal på 14 km^2. Den er en veldefinert dalbre som er enkel å ferdes på, og er derfor godt egnet for undersøkelser. Et brefall mellom 1000 og 1200 moh. deler breen i en øvre og en nedre del. Ovenfor brefallet er breen relativt flat, mens den nedenfor er mer ujevn med noen sprekker og eksponert blåis hver sommer. Brefallet danner et skille i massebalansen som viser seg som en tydelig knekk i massebalansekurvene. Ovenfor brefallet er det markert større akkumulasjon enn nedenfor. Nedenfor brefallet er det derimot en tydelig økning i ablasjon, og det forklares med at lite snø gir raskere avsmelting til is med mindre albedo. Det er derfor naturlig å skille mellom breens øvre og nedre del. Dette skillet går ca 1200 moh. Selv om Okstindbreen ligger langt fra kysten, må den likevel karakteriseres som en maritim bre. Mesteparten av akkumulasjonen kommer med vestavær.

Massebalansemålinger startet på Okstindbreen i 1987 og pågikk frem til 1996. I 1997 ble bare vinterbalansen målt. I løpet av denne 10-års perioden ble det målt et samlet masseoverskudd på 1,53 meter vannekvivalenter.

14.1 MASSEBALANSE 1996

Feltarbeid

Akkumulasjonsmålingene ble utført mellom 2. og 10.mai. Kun én stake ble observert på breens øvre del og fire på den nedre delen. På disse kunne snødypet kontrolleres. På den nedre delen av breen ble det utført ca 130 sonderinger av snødypet langs 6 km profiler, og 125 sonderinger langs 12 km profiler på den øvre delen. Snødypet var mellom 1 og 3 meter på den nedre delen av breen og stort sett mellom 3 og 6 meter på den øvre. Tetthetsprøver ble tatt to steder, 825 moh. og 1230 moh., der snødypet var hhv. 2,3 m og 1,8 meter. Middeltettheten var hhv. 0,48 g/cm^3 og 0,40 g/cm^3. Tetthetsprøvene ble regnet som representative for hver sin del av breen. For større dyp er tettheten regnet ut etter tidligere års erfaringer med tetthetsøkning med økende snødyp.

Minimumsmålingene ble utført 16.-18.september. Sommerbalansen (evt. nettobalansen) ble målt på breens nedre del. I alt ble sommerbalansen bestemt ved 11 staker. Værforholdene gjorde det ikke mulig å utføre noen målinger på breens øvre del.

Resultater

- Vinterbalanse

Vinterbalansen ble beregnet til 1,62 m vannekvivalenter (22,7 mill.m^3 vann). Det er 69 % av middelverdien for måleperioden som startet i 1987. Bare i 1988 og 1994 har det vært målt mindre vinterbalanse på Austre Okstindbre.

- Sommerbalanse

Første del av sommeren var kald, men fra slutten av juli til midten av september var det varmt med stor avsmelting. Sommerbalansen ble regnet ut til 1,92 m vannekvivalenter eller 26,9 mill.m^3 vann. Dette er 90 % av midlere sommerbalanse i måleperioden, men litt større enn foregående år. Ettersom de øverste stakene ble målt i slutten av juli, men ikke under minimumsmålingen, ble ablasjonen på breens øverste del i august-september ekstrapolert ut fra målingene på breens nedre del.

- Nettobalanse

Nettobalansen er beregnet etter den tradisjonelle, stratigrafiske metode, dvs. mellom to sommeroverflater. Lav vinterbalanse og en sommerbalanse nær middels medførte et totalt underskudd på breen. Nettobalansen ble beregnet til –0,30 m vannekvivalenter (-4,2 mill.m^3 vann) jevnt fordelt

Mass balance Austre Okstindbre1995/96 – traditional method

Altitude (m a.s.l.)	Area (km^2)	Winter balance Measured May 4 1996 Specific (m w.eq.)	Winter balance Volume (10^6 m^3)	Summer balance Measured Sep 17 1996 Specific (m w.eq.)	Summer balance Volume (10^6 m^3)	Net balance Summer surfaces 1995 - 1996 Specific (m w.eq.)	Net balance Volume (10^6 m^3)
1600 - 1750	0,21	1,60	0,3	-0,63	-0,1	0,97	0,2
1500 - 1600	1,91	1,90	3,6	-0,80	-1,5	1,10	2,1
1400 - 1500	4,14	2,05	8,5	-1,03	-4,3	1,02	4,2
1300 - 1400	2,56	1,80	4,6	-1,40	-3,6	0,40	1,0
1200 - 1300	2,56	1,10	2,8	-2,50	-6,4	-1,40	-3,6
1100 - 1200	0,64	1,10	0,7	-3,25	-2,1	-2,15	-1,4
1000 - 1100	0,61	1,15	0,7	-3,80	-2,3	-2,65	-1,6
900 - 1000	0,59	1,10	0,6	-4,30	-2,5	-3,20	-1,9
800 - 900	0,61	1,05	0,6	-5,00	-3,1	-3,95	-2,4
730 - 800	0,18	0,80	0,1	-5,75	-1,0	-4,95	-0,9

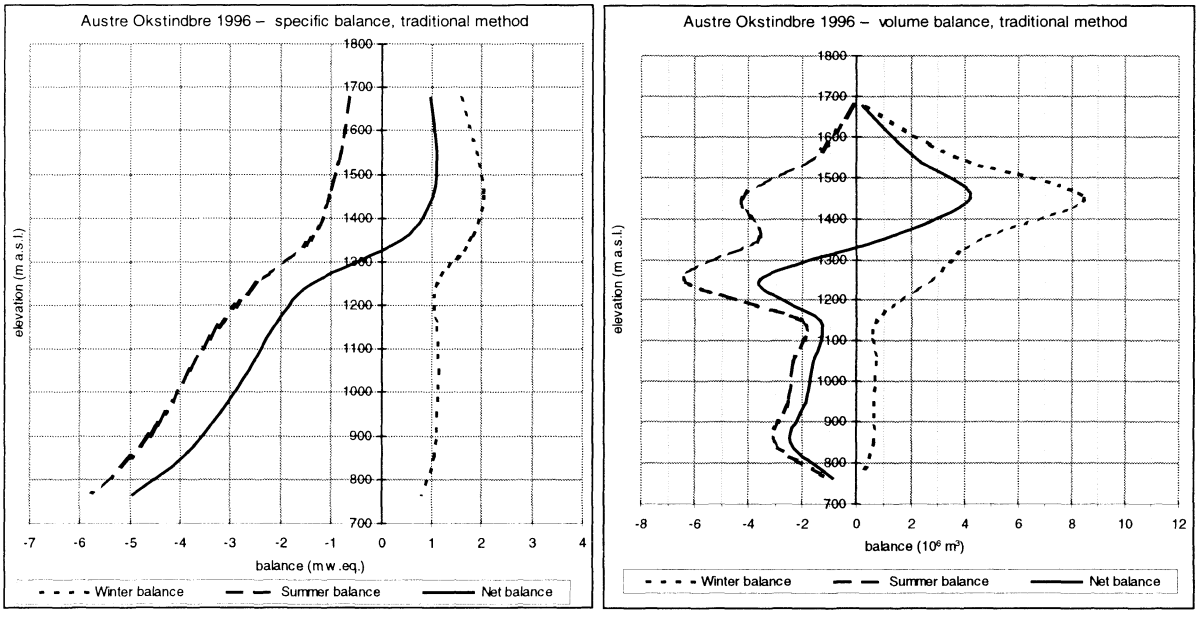
Total area 14,0

Total for whole glacier between summer surfaces 1995 - 1996

	Winter bal.	Summer bal.	Net bal.
volume (10^6 m^3)	22,7	-26,9	-4,2
specific (m)	1,62	-1,92	-0,30

Tabell 14-1 *Vinter-, sommer- og nettobalanse for Austre Okstindbre i 1996 for hvert 100 m høydeintervall.*

Winter, summer, and net balance and area distribution for 100 m height intervals for Austre Okstindbre 1996.



Figur 14-1 *Massebalansediagram for Austre Okstindbre 1996 som viser vinter-, sommer og nettobalansens fordeling med høyden med spesifikke verdier til venstre og arealverdier til høyre. Merk kurvenes form i brefallet og hvordan de flater ut på toppen av dette (ca 1250 moh.). Likevektslinjens høyde er 1330 moh.*

Mass balance diagram for Austre Okstindbre 1996 showing winter, summer, and net balance at various altitudes. The left hand figure indicates specific values, to the right volume values are shown. Note the features of the curves in the icefall and how they flatten above it (ca. 1250 m a.s.l.). ELA was 1330 m a.s.l. and AAR was 57 %.

over hele breoverflaten. Året 1996 ble dermed det fjerde året med underskudd siden målingene begynte i 1987.

Massebalansen i ulike høydeintervall er vist i tabell 14-1. Diagrammet i figur 14-1 viser vinter-, sommer- og nettobalansens fordeling med høyden.

Likevektslinjens høyde i 1996 var 1330 moh. og det er rundt 10 m høyere enn når breen er i likevekt. 57 % av breens areal lå over likevektslinjen. På grunn av den raske økningen i akkumulasjon ovenfor brefallet og den raske økningen i ablasjon i og nedenfor brefallet vil nettobalansekuven flate ut i dette nivået (1250-1350 moh.). Det er bare ved spesielt stort overskudd eller underskudd at likevektslinjen vil ligge utenfor dette området.

14.2 MASSEBALANSE 1997

Feltarbeid

Akkumulasjonsmålingene ble utført mellom 29.april og 4.mai. På breens øvre del ble ingen staker observert, men 6 ble funnet på den nedre delen. På disse kunne snødypet kontrolleres. På nedre del av breen ble det utført ca 100 sonderinger av snødypet langs 4 km profiler, og ca 90 sonderinger langs 4 km profiler på den øvre del av breen i området rett ovenfor likevektslinjen. Det ble ikke tatt tetthetsprøver, så beregning av akkumulasjonen er basert på tidligere års observasjoner. Ovenfor ca 1400 moh. er akkumulasjonen vurdert ut fra målingene på nedre del og korrelasjon med tidligere års observasjoner.

Da minimumsmålingene skulle utføres i september, var været så dårlig at det ikke lot seg gjøre å komme inn til breen, og sommerbalansen ble ikke målt.

Resultater

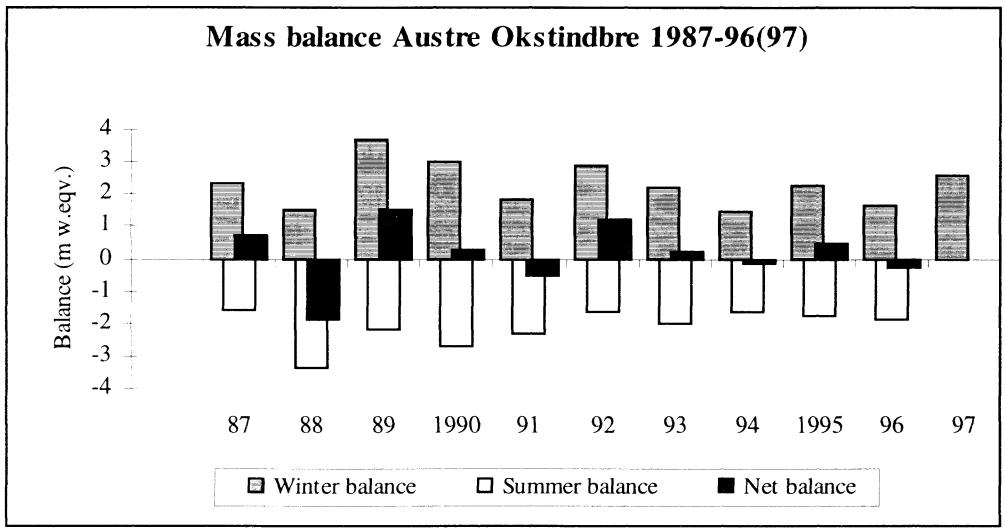
• Vinterbalanse
Vinterbalansen ble beregnet til 2,6 m vannekvivalenter (36,4 mill.m^3 vann). Det er 115 % av middelverdien for måleperioden som startet i 1987. Til sammenligning hadde Engabreen 142 % av middel sammenlignet med den samme perioden. På grunn av manglende sonderinger på størstedelen av breens øvre del, vil den beregnede vinterbalanse for 1997 ha større usikkehet enn resultatene fra tidligere år.

• Sommerbalanse
Ved hjelp av en korrelasjonsanalyse med massebalanseresultater på Engabreen (se kap. 14.3) er sommerbalansen på Austre Okstindbre beregnet til 2,86 m vannekvivalenter, og det er 135 % av midlere sommerbalanse i måleperioden 1987-96. På Engabreen var årets sommerbalanse 153 % av middelverdien for den samme perioden.

• Nettobalanse
Differansen mellom målt vinterbalanse og beregnet sommerbalanse gir en nettobalanse på –0,26 m vannekvivalenter. Korrelasjonsanalyse med Engabreen (se kap. 14-3) gir imidlertid en nettobalanse på +0,29 m vannekvivalenter. Denne forskjellen oppstår fordi årets målte vinterbalanse på Austre Okstindbre avviker forholdsvis mye fra resultatet beregnet ved korrelasjonsanalyse med Engabreens vinterbalanse (se figur 14-3).

Figur 14-2 viser årlig vinter-, sommer og nettobalanse målt på Austre Okstindbre for 10-årsperioden 1987-96. I denne perioden har breen hatt en midlere vinterbalanse på 2,27 m vannekvivalenter, en midlere sommerbalanse på 2,12 m og en kumulativ nettobalanse på +1,53 m vannekvivalenter. Til sammenligning har Engabreen i den samme perioden hatt en kumulativ nettobalanse på over 10 meter

vannekvivalenter. Midlere nettobalanse for Austre Okstindbre for måleperioden 1987-96 er +0,15 m vannekvivalenter.



Figur 14-2 *Søylediagram som viser vinter-, sommer- og nettobalanse på Austre Okstindbre i måleperioden 1987-96 (97). Året 1988 skiller seg ut som et år med meget stor sommerbalanse og et stort masseunderskudd. Motsatt skiller 1989 seg ut med svært stor vinterbalanse og det største masseoverskuddet i måleperioden. Vinterbalanseresultatet for 1997 er ikke av samme kvalitet som resultater fra tidligere år og korrelasjonsanalyse med Engabreens vinterbalanse (figur 14.3) gir større avvik enn for de andre år. Sommerbalansen ble ikke målt i 1997.*

Mass balance results measured at Austre Okstindbre during the period 1987-96 (97). Two of the years stand out as relatively unusual. 1988 had a very large summer balance and subsequently a large mass deficit, while 1989 had a very large winter balance and the greatest mass surplus during the period.. The results from 1997 are not of the same quality as for earlier years. The winter balance measurements were less detailed than usual. The summer balance was not measured in 1997.

14.3 EN SAMMENLIGNING MELLOM AUSTRE OKSTINDBRE OG ENGABREEN

En korrelasjonsanalyse av massebalanseresultatene for Austre Okstindbre og Engabreen for perioden 1987-96 viser at det er en god og positiv lineær korrelasjon mellom både vinter-, sommer- og nettobalanse. Analysen gir følgende ekvasjoner:

(1) $b_{w(oks)} = 0.81 \bullet b_{w(enga)}, - 0,28 \quad r = 0.90$

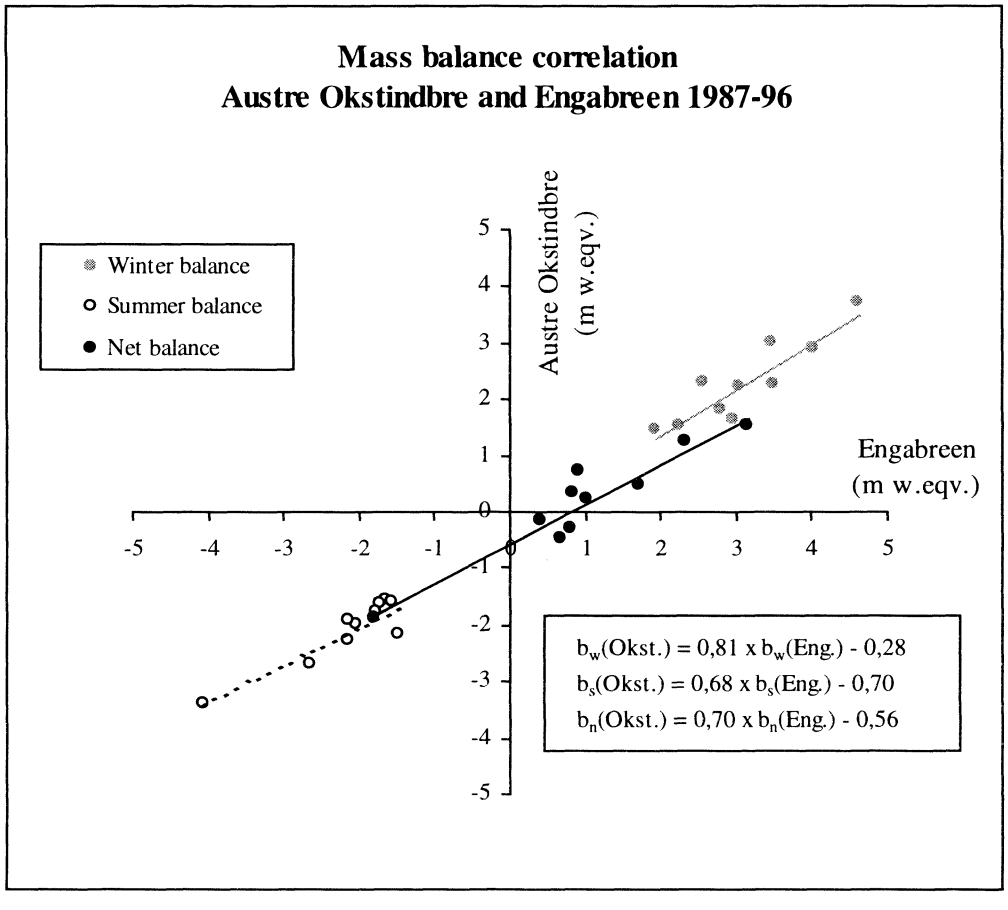
(2) $b_{s(oks)} = 0.67 \bullet b_{s(enga)}, - 0,70 \quad r = 0.91$

(3) $b_{n(oks)} = 0.70 \bullet b_{n(enga)}, - 0,56 \quad r = 0.95$

Korrelasjonsberegningene over måleperiodens massebalanseobservasjoner ved de to breene viser at det finnes en god sammenheng. Resultatene viser at det er overveiende samme trend i balansen på de to breer selv om de ligger et stykke fra hverandre og i forskjellig avstand fra kysten. Både for vinter-, sommer- og nettobalansen er korrelasjonskoeffisienten 0,90 eller større. Best korrelasjon viser nettobalansen med korrelasjonskoeffisient 0,95 (se figur 14-3).

Hvis man beregner verdiene på b_w innenfor måleintervallet (tabell 14-2), ser en at den relative forskjell mellom Okstindbreens og Engabreens vinterbalanse øker med økende verdier for vinterbalansen.

For sommerbalansen (tabell 14-2) ser en at absoluttverdiene er størst for Austre Okstindbre for dårlige sommere (b_s < 2,0 m vannekv.) For større verdier blir sommerbalansen størst på Engabreen. Forklaringen er trolig at i kalde og fuktige sommere blir sommerbalansen minst på Engabreen fordi denne er mest utsatt for sommersnefall. I varme og tørre sommere derimot, som er dominert av høytrykksvær uten nedbør, blir smeltingen på Engabreen større enn på Austre Okstindbre fordi Engabreen har lavere middelhøyde.



Figur 14-3 *Figuren viser henholdsvis vinter-, sommer- og nettobalansen på Austre Okstindbre som en lineær funksjon av de tilsvarende verdier på Engabreen for perioden 1987-96. Alle kurvene viser en korrelasjonskoeffisient ≥ 0,9. Best er korrelasjonen for nettobalansen der korrelasjonskoeffisienten er 0,95.*

Diagram indicating linear correlationship between Engabreen and Austre Okstindbre for winter, summer, and net balance, respectively. The correlation coefficient for all of them is greater than 0.9; for the net balance it is as high as 0.95.

Ved å studere disse tallene (tabell 14-2) vil en se at været over en lengere periode (klimaet) kan påvirke de to breene forskjellig. Ved et kaldere og tørrere klima enn i dag vil Austre Okstindbre vise et underskudd selv om Engabreen er i likevekt. Ved et varmere og fuktigere klima med økt materialomsetning vil Okstindbreens underskudd reduseres selv om Engabreen er i likevekt. Med materialomsetning > 7 m vannekvivalenter på Engabreen, vil Austre Okstindbre vise overskudd selv om Engabreen er i likevekt.

$b_{w(oks)}$	$b_{w(enga)}$	$b_{w(oks)}$ / $b_{w(enga)}$
0,53	1,0	0,53
1,35	2,0	0,68
2,17	3,0	0,72
2,98	4,0	0,75
3,79	5,0	0,76

$b_{s(oks)}$	$b_{s(enga)}$	$b_{s(oks)}$ / $b_{s(enga)}$
-1,37	-1,0	1,37
-2,05	-2,0	1,02
-2,72	-3,0	0,92
-3,39	-4,0	0,85
-4,06	-5,0	0,81

Tabell 14-2 *Ved hjelp av den utførte korrelasjonsanalyse mellom Austre Okstindbre og Engabreen er massebalansen (vinterbalanse til venstre og sommerbalanse til høyre) for Austre Okstindbre beregnet for verdier innenfor det aktuelle måleområdet. Man ser at det relative forhold mellom vinter- og især sommerbalansen på de to breene endres markert med balansenes størrelse.*

The left hand table indicates values for the winter balance of Austre Okstindbre calculated from the regression analysis shown above and their relationship. The right hand table shows corresponding figures for the summer balance. The relative ratio between balances, especially summer balance, changes depending on the size of the balances.

14.4 ENGLISH SUMMARY

Austre Okstindbre is a northeast facing outlet glacier from the Okstindbreen ice cap. It ranges between 730 and 1750 m a.s.l., and is a typical valley glacier. The area is 14.0 km^2. An ice fall between 1000 and 1200 m a.s.l. divides the glacier into two parts. The upper part has a smooth surface, hardly any crevasses, and is snow covered almost all the time. The lower part, however, has an uneven surface with crevasses and exposed ice during parts of the summer. Above the upper part of the ice fall there is normally a sudden increase in winter accumulation, whereas there is a sudden increase in ablation, emphasized by higher albedo, below the ice fall. Consequently, there is a significant difference in net balance of the two parts of the glacier. The ELA is usually just above the border between the two parts of the glacier. Although the glacier is situated fairly distant from the coast Austre Okstindbre has to be regarded as a maritime glacier with most of its accumulation coming from the west. The mass balance studies at the glacier began in 1987 and were terminated in 1997.

Mass balance 1996

• Field work
The accumulation was measured on 2-10 May. Only five stakes had survived the winter. About 250 snow depth soundings were made, and snow density measurements were taken at 825 and 1230 m a.s.l. The snow depth was generally 1-3 m on the lower part and 3-6 m on the upper part of the glacier. Ablation measurement was performed on 16-18 September at 11 stakes on the glacier's lower part. Weather conditions did not make the upper part accessible.

• Results
Winter balance was 1.62 m w.eqv. which is 69 % of the mean value for the investigation period. Lower winter balance has only been measured in 1988 and in 1994. Summer balance was 1.92 m w.eqv. or 90 % of the average. At the upper part of the glacier the ablation in August and September was extrapolated from the lower part, partly based upon earlier knowledge of the glacier. Net balance (stratigraphic method) was calculated to be –0.30 m w.eqv., whereas the mean for the period 1987-95 is +0.20 m w.eqv.

The results of the mass balance measurements are shown in Table 14-1 and Figure 14-1. The ELA was 1330 m a.s.l. Accordingly, AAR was 57 %.

Mass balance 1997

• Field work
The accumulation was measured on 29 April - 4 May. Six stakes were visible on the lower part of the glacier, none on the upper part. Altogether 190 snow depth soundings were made, but there were no soundings above ca. 1400 m a.s.l. Snow density was based on earlier years' measurements. Accordingly, the results of the winter accumulation measurements 1997 have not the same accuracy as during earlier years. Summer balance was not measured 1997 due to very bad weather conditions.

• Results
Winter balance was calculated to be 2.6 m w.eqv. which is 115 % of the mean value for the period 1987-96. Summer balance is calculated from the correlation analysis to Engabreen (see below) and is estimated to be −2.86 m w.eqv. or 135 % of the mean value. Net balance, accordingly, is estimated to −0.26 m w.eqv., whereas the mean value is +0.15 m w.eqv. Correlation analysis, however, gives a net balance amounting to +0.29 m w.eqv.

In Figure 14-2 the winter, summer, and net balance for Austre Okstindbreen 1987-97 is presented graphically.

A comparison between mass balance at Austre Okstindbre and Engabreen

Correlation analysis of mass balance results from Austre Okstindbre and Engabreen, 1987-96 (the period with parallel investigations), indicate a rather good linear correlation between the two glaciers concerning both winter, summer, and net balance. The results of the analysis are shown in equations (1), (2), and (3) in section 14-3 and in Figure 14-3.

Table 14-2 indicates that the proportion between winter balance for Austre Okstindbre and Engabreen increases with increasing winter balance, whereas the corresponding proportion between summer balance decreases with increasing summer balance. The figures indicate that climate changes may influence the net balance at the two glaciers in a different manner. A more continental climate than today will result in a deficit at Austre Okstindbre even though Engabreen is in equilibrium. On the contrary, if the climate becomes more maritime and both winter and summer balance at Engabreen exceed 7 m w.eqv. Austre Okstindbre will experience a surplus whereas Engabreen may be in a steady state.

15 SVARTISHEIBREEN (159.33A) Jack Kohler

Svartisheibreen er en liten dalbre sørvest for vestre Svartisen. Den dekker et areal på 5.5 km^2 og strekker seg fra 1530 moh. og ned til et vann (Heiavatnet) med høyde 774 moh der isfronten kalver. Breen er blitt undersøkt med en rekke målinger siden 1988 (Kjøllmoen og Kennett, 1995) i forbindelse med planlegging av mulig kraftutbygging i området. Planene inkluderer inntak av det bredemte Heiavatnet. Siden 1995 er breundersøkelsene blitt redusert og omfatter nå observasjon av vannstand i Heiavatnet og estimering av årlig nettobalanse.

15.1 BREOVERVÅKING 1996 OG 1997

Under minimumsmålinger på Engabreen høsten 1997 var det mulig å fly med helikopter til Svartisheibreen. Hensikten med besøket var å bestemme vannstanden i Heiavatnet og likevektslinjen for 1997.

Ved besøket den 4. oktober 1997 var Heiavatnet fullt. Flyfoto tatt den 15. august (FW, oppgave 12183) viste også at Heiavatnet var fullt. Det siste besøket før dette var 20. september 1996, og da var Heiavatnet også fullt. Vi vil derfor konkludere med at det sannsynligvis ikke har vært jøkulhlaup i perioden fra 15. september 1994 fram til 19. august 1996.

Ved besøket den 4. oktober 1997 lå likevektslinjen over tåkenivået (ca. 800 m o.h.) og var derfor dessverre umulig å observere. Da flybildene ble tatt 15. august i år lå likevektslinjen på omtrent det samme nivået som 1. august 1995, d.v.s 920 m o.h. I motsetning til 1995 var avsmeltningen etter medio august relativt stor. Vi estimerer derfor at likevektslinjen lå ca. 980 m o.h. ved slutten av smeltesesongen.

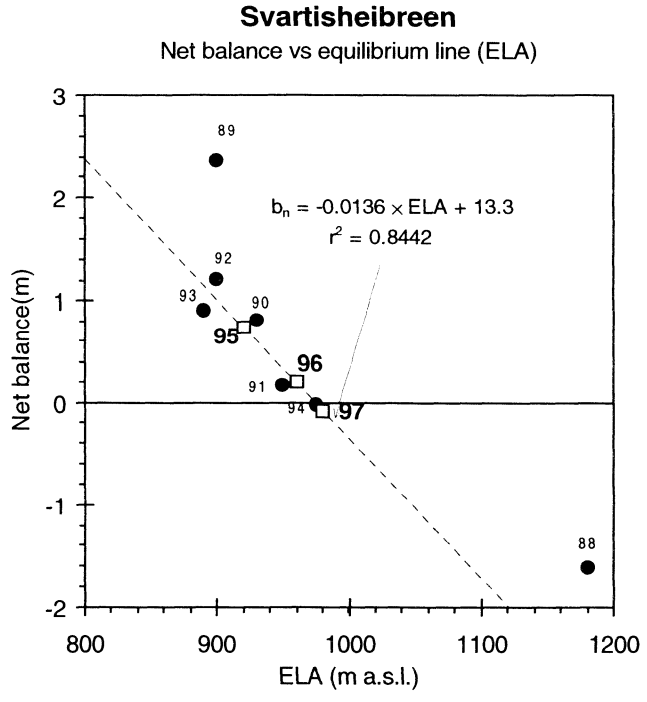
For å beregne nettobalansen kan en se på forholdet mellom likevektslinjens høyde og nettobalansen (metode 1). Dette er beskrevet i Kjøllmoen og Kennett (1995). Ved å benytte formelen fra figur 15-1 som beskriver denne sammenhengen, blir nettobalansen (bn) for 1997 estimert til ca. -0,03 m vannekvivalenter.

Den andre metoden som kan brukes til å estimere massebalansen på Svartisheibreen, er å se på sammenhengen mellom massebalansen på Engabreen og Svartisheibreen (metode 2, figur 15-2).

I 1996 var Engabreens nettobalanse 0,83 m, hvilket tilsvarer 0,46 m nettobalanse på Svartisheibreen (figur 15-2). Likevektslinjens høyde i 1996 tydet på at nettobalansen var ca. 0,20 m vannekvivalenter. Middelverdien av de to estimatene var altså 0,33 m for 1996. Tilsvarende tall for 1997 antyder en nettobalanse på Svartisheibreen på 0,74 m basert på nettobalansen på Engabreen, mens likevektslinjens høyde indikerer en nettobalanse på -0,03 meter. Middelverdien av resultatene fra de to metodene for 1997 blir 0,36 meter.

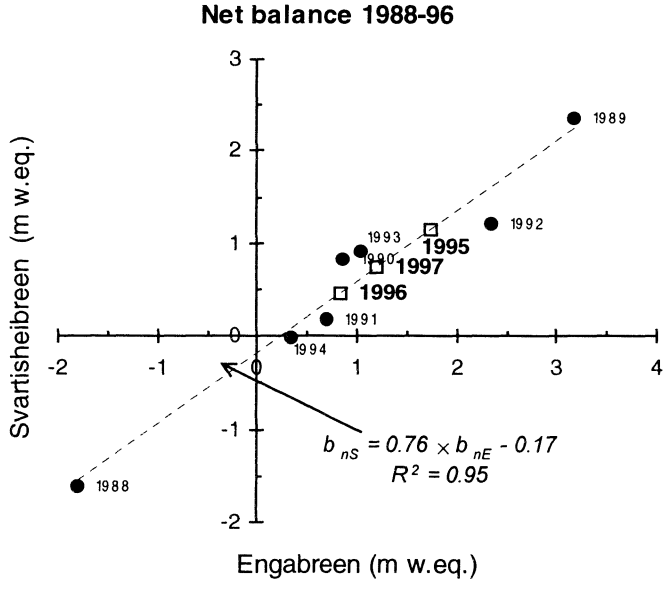
Dataene samlet siden 1995 er oppsummert i tabell 15-1.

Akkumulert nettobalanse beregnet med de tidligere målte massebalanseverdiene fra Svartisheibreen og verdiene estimert ut fra Engabreens balansedata for årene 1970-87 og 1995-97 er vist i figur 15-3.



Figur 15-1 *Sammenheng (den prikkete linjen) mellom likevektslinjen (ELA) og nettobalansen (bn) på Svartisheibreen. Formelen er basert på dataene fra 1988-94 (•) (for forklaring se Kjøllmoen og Kennett (1995)). Dataene fra 1995-97 (□) er benyttet ved bruk av denne formelen.*

Correlation (dotted line) between the equilibrium line (ELA) and net balance (bn) at Svartisheibreen. The equation is based on data from 1988-94 (•) (for details, see Kjøllmoen and Kennett (1995)). Data from 1995-97 (□) is employed using this equation.



Figur 15-2 *Sammenheng (den prikkete linjen) mellom nettobalansen (bn) på Engabreen og Svartisheibreen. Formelen er basert på dataene fra 1988-94 (•) (for forklaring se Kjøllmoen og Kennett (1995)). Dataene fra 1995-97 (□) er benyttet ved bruk av denne formelen.*

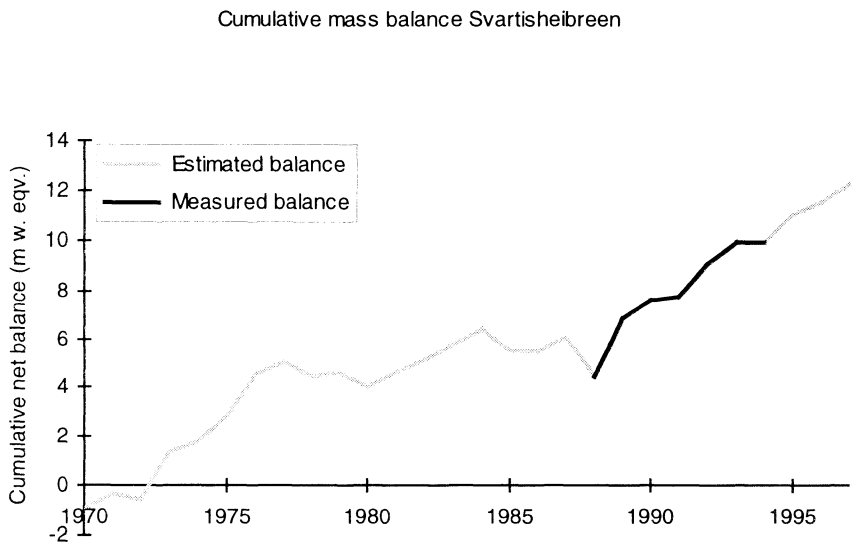
Correlation (dotted line) between net balance (bn) for Engabreen and Svartisheibreen. The equation is based on data from 1988-94 (•) (for details, see Kjøllmoen and Kennett (1995)). Data from 1995-97 (□) is employed using this equation.

Year	ELA	Date of visit	Heiavatnet filled	b_n (method 1)[1]	b_n (method 2)[2]
1994-95	920	20.09.95	Yes	0.74	1.15
1995-96	960	19.09.96	Yes	0.20	0.46
1996-97	980[3]	04.10.97	Yes	-0.03	0.74

[1] *Based on relation between ELA and net balance*
[2] *Based on relation between net balance of Engabreen and of Svartisheibreen*
[3] *Estimated*

Tabell 15-1 *Oppsummering av observasjonene av likevektslinjens høyde, vannstand i Heiavatnet og massebalansen estimert på to forskjellige måter for årene 1995-97.*

Summary of observations for the period 1994-97 of equilibrium line altitude (ELA), water level in Heiavatnet, and mass balance estimated two different ways.



Figur 15-3 *Kumulativ massebalanse på Svartisheibreen fra estimerte balansedata (grå linje) og målte verdier (sort linje).*

Cumulative mass balance for Svartisheibreen, from balance data estimated using Engabreen net balance data (grey line) and measured values (black line).

15.2 ENGLISH SUMMARY

Svartisheibreen is a small calving valley glacier of 5.5 km^2 close to Svartisen in northern Norway. The glacier has been a focus of a monitoring program since 1988 in connection with a proposed hydropower development. The scheme includes possible regulation of the lake Heiavatnet into which the glacier calves. Since 1995, our investigations have been restricted to observations of the lake level and estimations of the net balance.

The glacier was visited on September 20 1996 and October 4 1997. At both these occasions, the lake Heiavatnet was filled with water. The conclusion is that no outburst has occurred during this period.

The net balance is estimated using two different methods. Method 1 based on a regression of ELA (equilibrium line altitude) and net balance on Svartisheibreen for the period 1988-94 (Fig.15-1).

Method 2 is based on the correlation between the net balance for Svartisheibreen and Engabreen (Fig.15-2). Both are described further in Kjøllmoen and Kennett (1995).

Using the equations in Figure 15-1 and 15-2, net balance for 1996 is estimated to 0.20 (Method 1) and 0.46 m w.eqv. (Method 2), with an average of 0.33 m w.eqv.

Corresponding values for 1997 are –0.03 (Method 1) and 0.74 m w.eqv. (Method 2), with an average of 0.36 m w.eqv.

Data collected since 1995 are shown in Table 15-1. Accumulated net balance for the period 1970-97, calculated using measured balance data from Svartisheibreen (1988-94) and the estimated values based on Engabreen net balance data (1970-87 and 1995-97) are shown in Figure 15-3.

16 ENGABREEN (158.81) Nils Haakensen

Engabreen er en vestlig utløper fra Vestre Svartisen, som er en iskappe med utløpere i alle retninger. Mesteparten av iskappens areal utgjøres av et breplatå som ligger mellom 1100 m og 1500 moh. Engabreens areal er 38 km^2 og strekker seg fra toppen av Snetind (1594 moh.) og ned til ca 20 moh. Det meste av arealet (86 %) ligger mellom 1100 og 1500 moh. Arealet som ligger under 1000 moh., utgjør bare 6 % av totalarealet.

Siden massebalansemålingene startet på Engabreen i 1969, er det blitt målt et samlet masseoverskudd på mer enn 22 m vannekvivalenter. Det vi si at 855 mill.m^3 vann er akkumulert på breen i løpet av denne perioden. Over halvparten av dette overskuddet har kommet etter 1988. Det store overskuddet har resultert i at brefronten har hatt en markert fremgang de siste årene, og den er nesten kommet ned til Engabrevannet. I løpet av 1997 gikk brefronten forbi limnigrafen som stod i breelven ca 60 m ovenfor roten av deltaet. Bretungen er også blitt både bredere og tykkere.

16.1 MASSEBALANSE 1996

Feltarbeid

Akkumulasjonsmålingene på Engabreen ble gjort 21.- 24. mai. Som følge av den dårlige sommeren 1995 med snøfall og lite smelting var sommeroverflaten (SO) dårlig utviklet og derfor meget vanskelig å definere ved sondering. Det var heller ikke noe identifiserbart lag av begerkystaller over SO som kunne være til hjelp. Endog i 1000 m nivå var det like vanskelig. Heller ikke kjerneboring ga noen klar definisjon av SO verken visuelt eller ved tetthetsdiskontinuitet. De to tårnene på breplatået hadde imidlertid overlevet vinteren og var av avgjørende betydning for fastsettelse av snødypet og beregning av vinterbalansen. Stake 36 (1050 moh.) og stake 105 (1320 moh)., som var forsvunnet i løpet av vinteren, ble satt ut på nytt.

Beregningen av vinterbalansen var således basert på følgende:
- to tårn på hhv. 1170 m og 1350 moh. der snødypet var kjent; det var hhv. 5,65 m og 6,35 m,
- en stakekjede på bretungen som ble gjenfunnet viste en netto avsmeltning på 1,1 m siden minimumsmålingene 1995,
- ca 100 sonderinger av snødypet på breplatået (mellom 920 og 1440 moh.); mange av disse sonderingene er imidlertid svært usikre pga. dårlig utviklet sommeroverflate,
- to kjerneboringer på hhv. 1060 og 1320 moh.; disse viste heller ingen klar sommeroverflate, men en overgangssone,
- tre tetthetsprøver ned til vel 3 m dyp ved hhv. 1060, 1170 og 1350 moh., som ved hjelp av en empirisk formel gir en middeltetthet på hhv. 0,50 g/cm^3, 0,50 g/cm^3 og 0,49 g/cm^3 av en 6 m dyp snøpakke,
- tetthetsprøve av hele snøpakken, (7,1 m) ved st.101 (1320 moh.) der middeltettheten var 0,48 g/cm^3, men heller ikke ved tetthetsdiskontinuitet var det her mulig å definere sommeroverflaten nøyaktig.

Minimumsmålingene ble utført 19.-20. september. Det var da kommet 20-50 cm nysne på breplatået. Denne nysnøen ble ikke inkludert i sommerbalansen, som følgelig ble beregnet etter den tradisjonelle stratigrafiske metode. Sommerbalansen ble beregnet ut fra målinger på tre tårn/staker (1060, 1170 og 1350 moh.) foruten to gamle staker (1060 moh. og 1170 moh.) som dukket frem i løpet av sommeren hvorpå nettobalansen kunne måles direkte. På bretungen hadde stakekjeden som ble målt i mai smeltet helt ut innen en ny ble satt ut i august. Det er derfor et brudd i målingene, og usikkerheten blir derfor større enn vanlig. Imidlertid vil vi ha en minimumsverdi for smeltingen samtidig som det har vist seg at sommerbalansens gradient med høyden ikke varierer mye fra ett år til et annet. Ut fra disse kjensgjerninger er smeltingen på tungen ekstrapolert empirisk og sommerbalansen på bretungen beregnet ut fra dette. Bretungen utgjør imidlertid en så liten del av hele breens areal (se ovenfor), at en større usikkerhet enn vanlig på tungen betyr svært lite for resultatet av breens totale vinterbalanse.

Mass balance Engabreen 1995/96 – traditional method

Altitude (m a.s.l.)	Area (km^2)	Winter balance Measured May 21 1996 Specific (m w.eq.)	Winter balance Volume (10^6 m^3)	Summer balance Measured Sep 19 1996 Specific (m w.eq.)	Summer balance Volume (10^6 m^3)	Net balance Summer surfaces 1995 - 1996 Specific (m w.eq.)	Net balance Volume (10^6 m^3)
1500 - 1594	0,12	4,00	0,5	-1,50	-0,2	2,50	0,3
1400 - 1500	2,51	3,75	9,4	-1,65	-4,1	2,10	5,3
1300 - 1400	9,35	3,45	32,3	-1,75	-16,4	1,70	15,9
1200 - 1300	8,55	3,20	27,4	-1,90	-16,2	1,30	11,1
1100 - 1200	7,60	2,90	22,0	-2,05	-15,6	0,85	6,5
1000 - 1100	4,66	2,80	13,0	-2,15	-10,0	0,65	3,0
900 - 1000	2,46	2,40	5,9	-2,50	-6,2	-0,10	-0,2
800 - 900	0,94	1,95	1,8	-3,00	-2,8	-1,05	-1,0
700 - 800	0,50	1,40	0,7	-3,70	-1,9	-2,30	-1,2
600 - 700	0,37	0,80	0,3	-4,35	-1,6	-3,55	-1,3
500 - 600	0,27	0,25	0,1	-5,05	-1,4	-4,80	-1,3
400 - 500	0,21	-0,25	-0,1	-5,90	-1,2	-6,15	-1,3
300 - 400	0,17	-0,90	-0,2	-6,80	-1,2	-7,70	-1,3
200 - 300	0,22	-1,20	-0,3	-7,70	-1,7	-8,90	-2,0
40 - 200	0,09	-1,60	-0,1	-8,50	-0,8	-10,10	-0,9

Total area 38,0

Total for whole glacier between summer surfaces 1995 - 1996

	Winter bal.	Summer bal.	Net bal.
volume (10^6 m^3)	**112,8**	**-81,2**	**31,6**
specific (m)	**2,97**	**-2,14**	**0,83**

Tabell 16-1 *Vinter-, sommer- og nettobalanse på Engabreen 1996, samt breens arealfordeling for hvert 100 m høydeintervall. Massebalansen er beregnet mellom to sommeroverflater. Nederst på bretungen forekommer det netto smelting i løpet av vinteren. Dette er angitt som negativ vinterbalanse.*

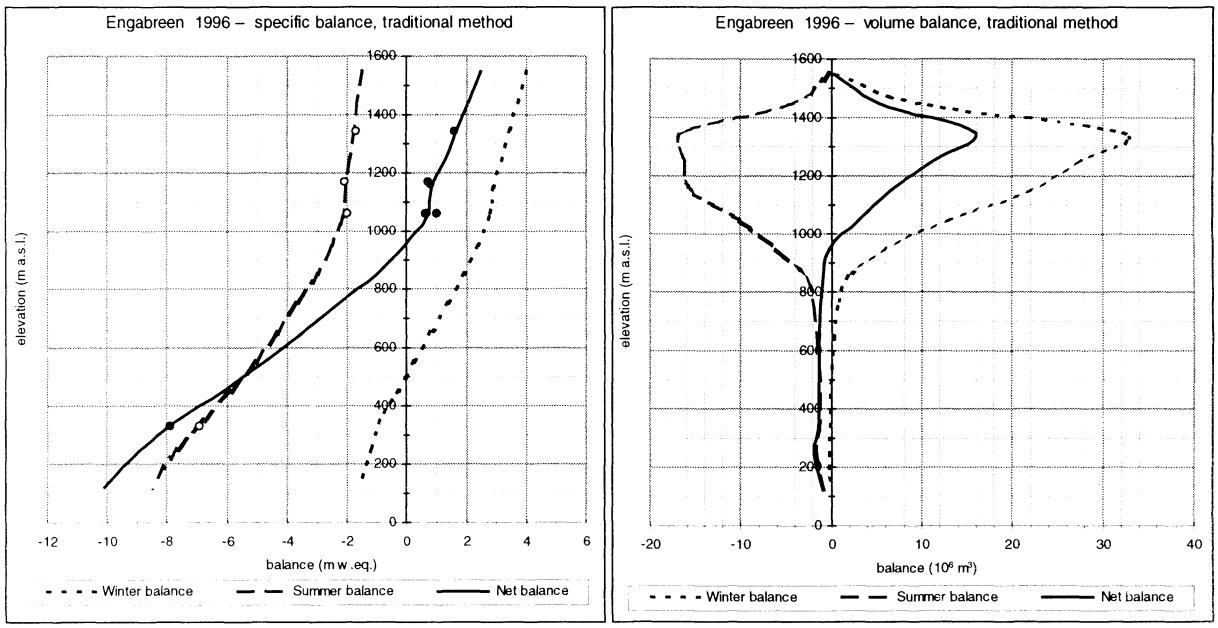
Winter, summer, and net balance and area distribution for Engabreen 1996. The mass balance is calculated between two successive summer surfaces i.e. the traditional stratigraphic method. Below 400 m a.s.l. there is a net ablation during the winter season, which is indicated by negative values.

Resultater

• Vinterbalanse

Vinterbalansen er beregnet etter den tradisjonelle stratigrafiske metode, dvs. forskjellen ned til forrige års sommeroverflate. På grunn av de store vanskelighetene med å definere sommeroverflaten over hele breplatået er usikkerheten i beregnet vinterbalanse større i 1996 enn den vanligvis er. Usikkerheten er vanskelig å tallfeste, men kan være 0,6 - 0,8 m vannekvivalenter eller 25 % av resultatet. På tungen er usikkerheten muligens enda større fordi sneen her er svært ujevnt fordelt pga. vind. Derfor vil også vintersmeltingen kunne variere mye. Mellom 300 og 950 moh. er vinterbalansen interpolert mellom målingene ovenfor og nedenfor.

Årets vinterbalanse ble beregnet til 2,97 ±0,75 m vannekvivalenter eller 113 ±29 mill.m^3 vann. Dette er det samme som middelverdien for perioden 1970-95, men 90 % av middelverdien for årene etter 1988.



Figur 16-1 *Vinter-, sommer- og nettobalanse for Engabreen 1996 som funksjon av høyden med spesifikke verdier til venstre og arealverdier til høyre. Massebalansen er beregnet mellom to sommeroverflater. Nederst på breen har det vært netto smelting i løpet av vinteren. Derfor er det umulig å definere en sommeroverflate der. Vinterbalansen er derfor beregnet fra overflaten ved minimumsmålingene.*

Mass balance diagram for Engabreen 1996 showing winter, summer, and net balance between two successive summer surfaces. The left hand diagram indicates specific values, the volume values are shown to the right. The ELA is about 970 m a.s.l., and AAR is 88 %. On the lower part of the tongue there is a net melting during the winter season. The winter balance there is calculated from the surface on Sept 19 when the final ablation measurements were performed.

• Sommerbalanse

Sommerbalansen ble målt på tre staker/tårn oppe på breplatået (hhv. 1060, 1170 og 1350 moh.) og er beregnet til hhv. -1,99 m, -2,09 m og -1,71 m vannekvivalenter i de respektive høydenivåer. På bretungen er sommerbalansen beregnet til -7,9 m vannekvivalenter på en stakestreng 330 moh. Da det ikke er kontinuitet i målingene, er usikkerheten her større enn vanlig. Imidlertid utgjør bretungen en så liten del av breens totale areal at denne usikkerheten betyr lite for den totale sommerbalanse.

Sommerbalansen, som i første rekke er avhengig av temperaturen, avtar forholdsvis jevnt med høyden og fordeler seg mye jevnere enn vinterbalansen innen samme høydeintervall. Derfor vil usikkerheten i beregnet sommerbalanse bli mindre enn for beregnet vinterbalanse da mengden gjenværende snø på de tre stakene er kjent. Tettheten av gjenværende snø ble empirisk satt til 0,60 g/cm^3.

Beregningen viser at årets sommerbalanse dermed blir -2,14 m vannekvivalenter eller -81 mill.m^3 vann. Usikkerheten er skjønnsmessig anslått til ±0,3 m vannekvivalenter eller ±11 mill.m^3 vann. Årets sommerbalanse er også omtrent lik (97 %) midlere sommerbalanse for hele måleperioden 1970-95, men 113 % av middelverdien for årene etter 1988.

• Nettobalanse

På breplatået varierte nettobalansen stort sett mellom +1,0 og + 2,0 m, mens den nederst på bretungen var -10 meter. Totalt ble nettobalansen beregnet til +0,83 m vannekvivalenter. Usikkerheten er anslått til ± 0,5 meter. Middelverdien for hele måleperioden 1970-95 var +0,79 meter. Imidlertid har årene etter 1988 vist en tendens til større vinterbalanse og mindre sommerbalanse, og midlere nettobalanse for årene etter 1988 er +1,39 m vannekvivalenter.

Likevektslinjens høyde (ELA) lå ca. 970 moh., og det er ca. 200 m lavere enn når breen er i likevekt.

Akkumulasjonsområdets andel av det totale breareal (AAR) er 88 %.

Vinter-, sommer- og nettobalansens variasjon med høyden er vist i tabell 16-1 og figur 16-1. Kurven viser at det var negativ vinterbalanse (dvs. netto avsmelting) på bretungen under 500 moh. Dette en helt normalt forekommende foreteelse fordi Engabreens tunge går så lavt ned.

16.2 MASSEBALANSE 1997

Feltarbeid

Akkumulasjonsmålingene på Engabreen i 1997 ble gjort 8.-11. mai under svært gode værforhold. Av stakene var det kun tårnet T-21 (1170 moh.) som ble funnet. Det var så vidt synlig og var til uvurderlig hjelp for å identifisere sommeroverflaten (SO) lenger innover breen. SO var definert ved et umiddelbart ovenforliggende lag av løse begerkrystaller. Dette laget kunne følges innover hele breen selv om det var dårligere utviklet på de høyeste delene av platået. Kjerneboring gav ingen klar definisjon av SO - verken visuelt eller ved tetthetsdiskontinuitet. På de høyeste områdene av breen (over 1250 moh.) var snødypet 10 –11 meter, men avtok forholdsvis jevnt nedover til 9 m i 1150 m nivå og 8 m i 1000 m nivå. Det blev satt ut nye erstatningsstaker ved 105 (1350 moh.), 101 (1310 moh.), 20 (1160 moh.) og ved 37 og 38 (1060 moh.). Dessuten blev det satt ut en ny stake på bretungen (ca. 330 moh.).

Beregningen av vinterbalansen var således basert på følgende:
- Tårn T-21 som står 1170 moh. der snødypet kunne kontrolleres til 8,75 meter.
- 5 sonderinger av snødyp på tungen (330 moh.). Snødypet var ca 2 meter.
- 68 sonderinger av snødypet på breplatået (mellom 940 og 1440 moh. Snødypet var stort sett 9-11 meter.
- 5 kjerneboringer på hhv. 1060, 1060, 1170, 1310 og 1350 moh. Disse viste ingen klar sommer-overflate, men understøttet resultatet av sonderingene.
- Tetthetsprøve ned til 4,0 m ved st. 20 (1060 moh.) og tetthetsprøve av hele snøpakken (10,7 m) ved st.101 (1320 moh.) der middeltettheten var 0,48 g/cm^3.

Minimumsmålingene ble utført 9.-10. oktober. Det var da kommet rundt én meter nysne på breplatået. Snøgrensen lå ca. 600 moh. Sommerbalansen kunne beregnes ved seks tårn/staker mellom 1060 og 1350 moh.). Foruten tårnet T-105 (1350 moh.) kunne nettobalansen beregnes ved to gamle staker som smeltet frem i løpet av sommeren. På bretungen ble nettobalansen beregnet ut fra én stakekjede der det var kontinuitet i målingene gjennom hele sommeren. Resultatet av målingen der er noe usikkert pga. ujevn smelting. Dette betyr imidlertid lite for den totale nettobalansen fordi bretungen utgjør bare 6 % av hele breens areal. Nysnøen ble ikke inkludert i sommerbalansen, og massebalansen er følgelig beregnet etter den tradisjonelle stratigrafiske metode.

Resultater

• Vinterbalanse

Vinterbalansen for 1997 er beregnet etter den tradisjonelle stratigrafiske metode, dvs. forskjellen ned til forrige års sommeroverflate. Usikkerheten for hver enkelt sondering på breplatået vurderes som relativt liten. På tungen er usikkerheten noe større, dels fordi sneen her er ujevnt fordelt pga. vind og dels fordi det foreligger få målinger pga. vanskelig tilgjengelighet. I området mellom 330 og 950 moh. er vinterbalansen interpolert mellom målingene som er gjort ovenfor og nedenfor. Usikkerheten i den totale vinterbalanse er stipulert til ± 0,25 m vannekvivalenter.

Årets vinterbalanse ble beregnet til 4,44 ± 0,25 m vannekvivalenter eller 168,8 ± 9,5 mill.m^3 vann. Resultatet er 148 % av middelverdien for måleperioden 1970 - 96 og er den nest høyeste vinterbalanse som er målt på Engabreen siden målingene startet. Den største verdien blev målt i 1989 med 4,62 m

vannekvivalenter. Kun fire ganger tidligere har vinterbalansen vært over 4 meter. Sammenlignet med årene etter 1988 utgjør årets resultat 134 % av middelverdien.

Mass balance Engabreen 1996/97 – traditional method

Altitude (m a.s.l.)	Area (km^2)	Winter balance Measured May 10 1997 Specific (m w.eq.)	Winter balance Volume (10^6 m^3)	Summer balance Measured Oct 10 1997 Specific (m w.eq.)	Summer balance Volume (10^6 m^3)	Net balance Summer surfaces 1996 - 1997 Specific (m w.eq.)	Net balance Volume (10^6 m^3)
1500 - 1596	0,12	5,05	0,6	-2,18	-0,3	2,87	0,3
1400 - 1500	2,51	5,32	13,4	-2,30	-5,8	3,02	7,6
1300 - 1400	9,35	5,26	49,2	-2,56	-23,9	2,70	25,2
1200 - 1300	8,55	4,82	41,2	-2,84	-24,3	1,98	16,9
1100 - 1200	7,60	4,20	31,9	-3,14	-23,9	1,06	8,1
1000 - 1100	4,66	3,92	18,3	-3,58	-16,7	0,34	1,6
900 - 1000	2,46	3,48	8,6	-4,15	-10,2	-0,67	-1,6
800 - 900	0,94	3,05	2,9	-4,70	-4,4	-1,65	-1,6
700 - 800	0,50	2,55	1,3	-5,30	-2,7	-2,75	-1,4
600 - 700	0,37	2,10	0,8	-6,05	-2,2	-3,95	-1,5
500 - 600	0,27	1,60	0,4	-6,85	-1,8	-5,25	-1,4
400 - 500	0,21	1,15	0,2	-7,70	-1,6	-6,55	-1,4
300 - 400	0,17	0,65	0,1	-8,65	-1,5	-8,00	-1,4
200 - 300	0,22	0,20	0,0	-9,60	-2,1	-9,40	-2,1
20 - 200	0,09	-0,20	0,0	-10,70	-1,0	-10,90	-1,0

Total area 38,0

Total for whole glacier between summer surfaces 1996 - 1997

	Winter bal.	Summer bal.	Net bal.
volume (10^6 m^3)	**168,8**	**-122,3**	**46,5**
specific (m)	**4,44**	**-3,22**	**1,22**

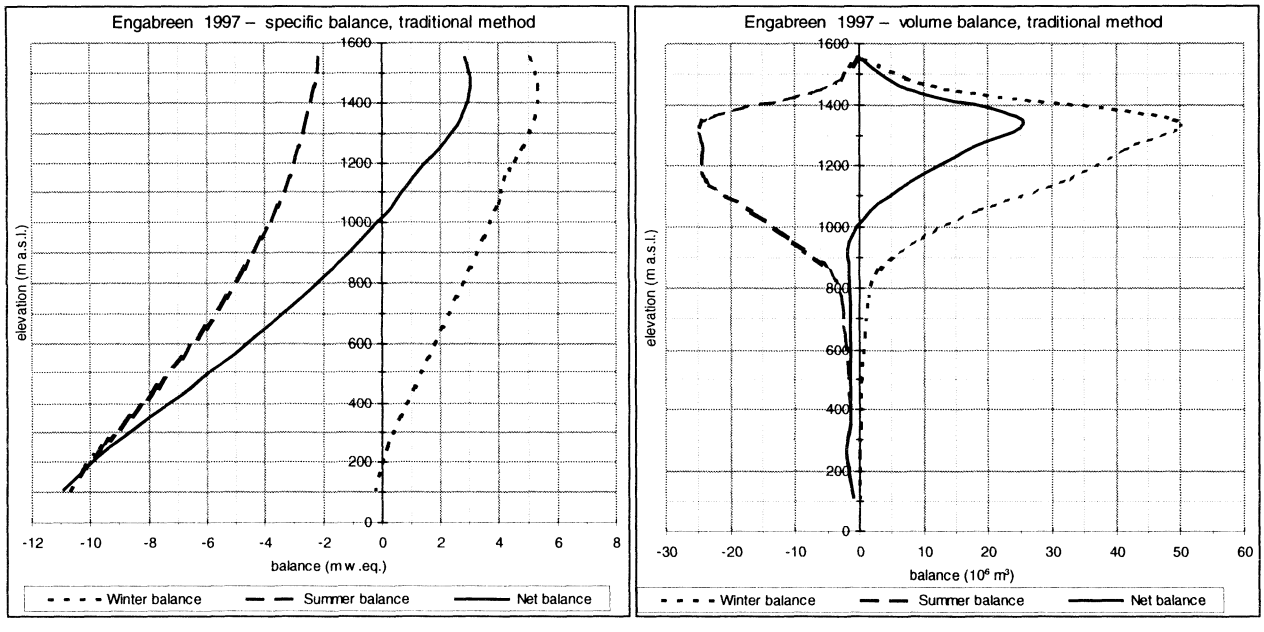
Tabell 16-2 *Vinter-, sommer- og nettobalanse på Engabreen 1997, samt breens arealfordeling for hvert 100 m høydeintervall. Nettobalansen er beregnet mellom to sommeroverflater. Helt nederst på bretungen forekommer det netto smelting i løpet av vinteren. Dette er angitt som negativ vinterbalanse.*

Winter, summer, and net balance, and area distribution on Engabreen 1997. The net balance is calculated according to the stratigraphic method, i.e. between two successive summer surfaces. At the very lowest part of the tongue there has been a net ablation during the winter, which is indicated as negative winter balance.

- Sommerbalanse

Sommerbalansen ble målt på seks staker/tårn oppe på breplatået mellom 1050 og 1350 moh. Den varierte fra ca. 3,2 m vannekvivalenter nederst til ca. 2,5 m øverst. På bretungen er sommerbalansen beregnet til 8,7 m vannekvivalenter på en stakestreng 330 moh.

Sommerbalansen, som i første rekke er avhengig av temperaturen, avtar forholdsvis jevnt med høyden og fordeler seg mye jevnere enn vinterbalansen innen samme høydeintervall. Derfor vil usikkerheten i beregnet sommerbalanse være mindre enn for beregnet vinterbalanse. Mengden gjenværende snø på de seks stakene er kjent. Sommerbalansen blir forskjellen mellom målt vinterbalanse og den igjenliggende sne. På bretungen er usikkerheten noe større, men det betyr lite for den totale balansen. For den totale sommerbalansen er usikkerheten anslått til ±0,20 m vannekvivalenter. Tettheten av gjenværende snø er empirisk satt til 0,60 g/cm^3.



Figur 16-2 *Vinter-, sommer- og nettobalanse for Engabreen 1997 som funksjon av høyden over havet med spesifikke verdier til venstre og arealverdier til høyre. Massebalansen er beregnet mellom to sommeroverflater. Ekstrapolasjon av vinterbalansekurven viser at det har vært negativ vinterbalanse (netto avsmeltning) nederst på breen. Derfor er det umulig å definere en sommeroverflate der. og vinterbalansen er beregnet fra overflaten ved minimumsmålingene. Nettobalansekurven viser at likevektslinjen ligger 1010 moh.*

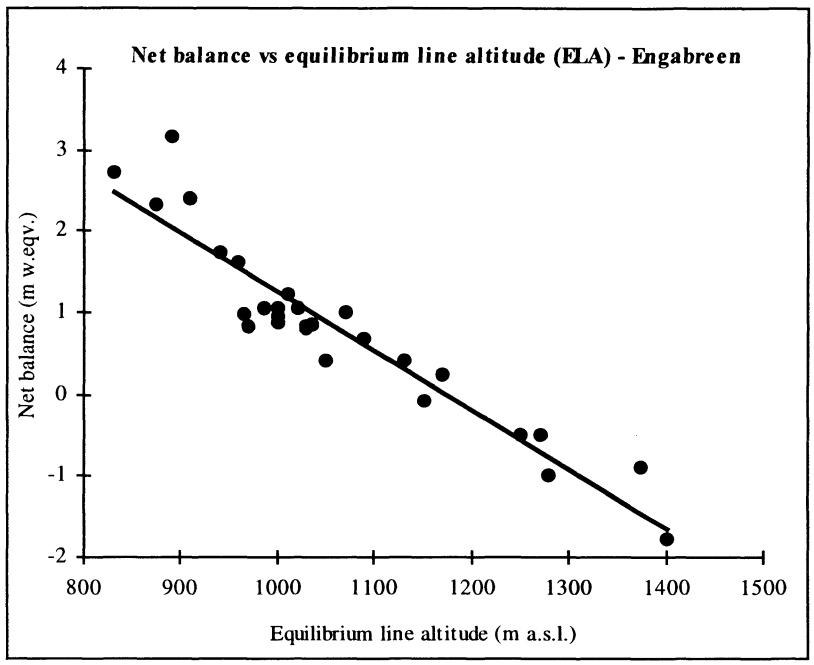
Mass balance diagrams from Engabreen 1997 showing winter, summer, and net balance in various height intervals. The left hand figures shows spesific values, the volume values are shown to the right. The mass balance is calculated according to the stratigraphic method, i.e. between two successive summer surfaces. Extrapolation of the winter balance curve from the lowest measuring point (330 m a.s.l.) indicates net melting at the very lowest part of the glacier tongue. The diagram indicates that ELA is 1010 m a.s.l., 85 % of the glacier area is above this level.

Sommerbalansen 1997 er beregnet til 3,22 ± 0,20 m vannekvivalenter. Det tilsvarer 122,4 ±7,6 mill.m^3 vann, og er 146 % av middelverdien for måleperioden 1970-96. Bare i 1988 har det vært målt høyere sommerbalanse på Engabreen med 4,05 meter. Årene 1972, 1979 og 1980 hadde omtrent samme sommerbalanse som i 1997. Sammenlignet med perioden etter 1988, er årets resultat 169 % av middelverdien.

- Nettobalanse

Oppe på breplatået varierte nettobalansen fra +0,7 m vannekvivalenter i høyden 1050 moh. til 2,7 m på de øverste stakene omkring 1350 moh. På bretungen (330 moh.) var nettobalansen ca. -7,5 meter. Den totale nettobalansen ble beregnet til +1,22 ±0,25 m vannekvivalenter, og 1997 er således det niende suksessive året med positiv nettobalanse. Middelverdien for hele måleperioden 1970-96 var +0,79 meter. Årene etter 1988 har vist en tendens til større vinterbalanse og mindre sommerbalanse, og for denne perioden er midlere nettobalanse +1,39 m vannekvivalenter.

Vinter-, sommer- og nettobalansens variasjon med høyden er vist i tabell 16-2 og figur 16-2. Kurven viser at vinterbalansen var negativ helt nederst på bretungen. Engabreens tunge går så lavt ned at det er helt vanlig at det der forekommer smelting i løpet av vinteren.



Figur 16-3 *Diagrammet viser likevektslinjens høyde (ELA) som funksjon av nettobalansen (b_n) for Engabreen 1970 - 97. En lineær regresjonsanalyse gir formelen ELA = 1165 – 1,25 · b_n.*

Glacier net balance (b_n) plotted versus equilibrium line altitude (ELA) for Engabreen 1970-97. The relation ELA = 1165 – 1.25 · b_n is obtained.

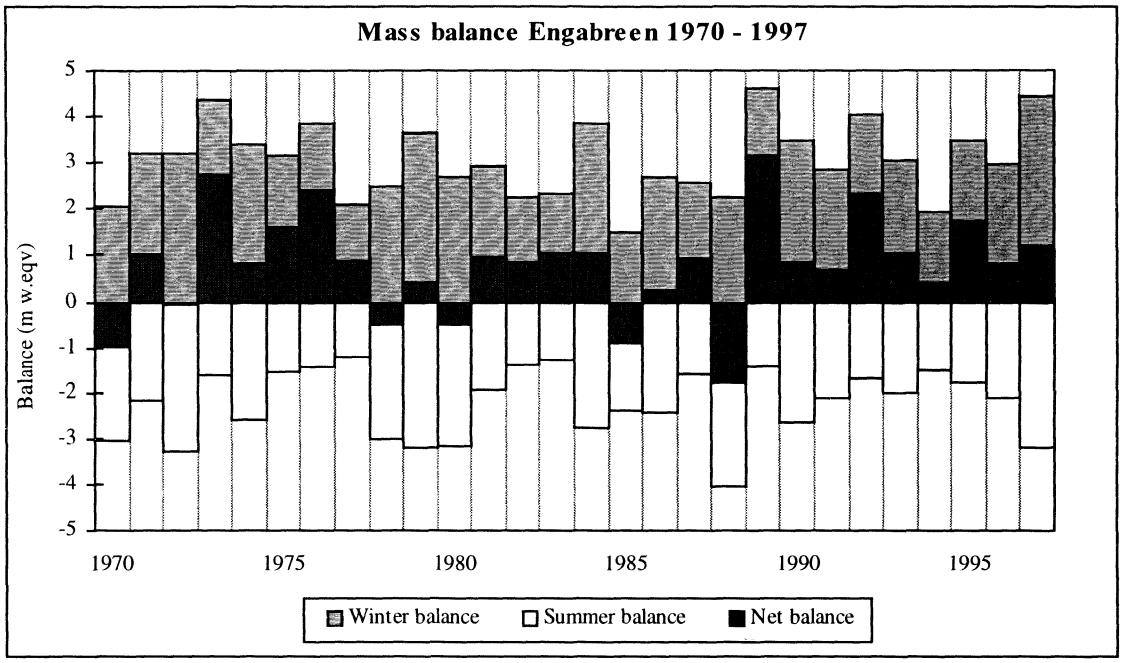
Det er god relasjon mellom likevektslinjens høyde og nettobalansen. Ved å gjøre en lineær regresjonsanalyse for de 28 årene det er gjort massebalansemålinger på Engabreen, erholder vi følgende relasjon:

(1) $$\mathbf{ELA = 1165 - 1{,}25 \cdot b_n}$$

der ELA er likevektslinjens høyde i moh. og b_n er nettobalansen målt i meter vannekvivalenter. Korrelasjonskoeffisienten r = -0,915. Formelen viser at når breen er i likevekt (dvs: $b_n = 0$), er ELA 1165 moh. Likevektslinjens høyde som funksjon av nettobalansen er vist i figur 16-3.

Likevektslinjens høyde (ELA) i 1997 lå 1010 moh. (iflg. fig. 16-2), og det er ca. 160 m lavere enn når breen er i likevekt (se fig. 16-3). Formelen (1) gir samme resultat. Det er således helt klart at breens nettobalanse var positiv i 1997. Akkumulasjonsområdets andel av det totale breareal (AAR) er 85 %.

I løpet av måleperioden 1970-97 har det blitt målt et totalt masseoverskudd på 22,5 m vannekvivalenter på Engabreen. Bare seks av de 28 årene målingene har pågått, har vist negativ nettobalanse, siste gang var i 1988. (Se figur 16-4.). Bare i løpet av årene etter 1988 har Engabreen hatt et samlet overskudd på over 12 meter vannekvivalenter. En sammenligning av de to periodene 1970-88 og 1989-97 viser at midlere vinterbalanse har økt med 20 % – fra 2,87 m vannekvivalenter i den første perioden til 3,44 m i den siste, mens midlere sommerbalanse har avtatt med 11 % – fra 2,33 m vannekvivalenter i den første perioden til 2,07 m i den siste. Følgelig har midlere nettobalanse økt betydelig fra +0,54 m vannekvivalenter i perioden 1970-88 til +1,36 m vannekvivalenter i perioden 1989-97.



Figur 16-4 *Søylediagram som viser årlig vinter-, sommer- og nettobalanse på Engabreen for undersøkelsesperioden 1970 - 97. I løpet av denne perioden er det målt en midlere vinterbalanse på 3,00 m, en midlere sommerbalanse på 2,21 m og en total nettobalanse på 22,5 m vannekvivalenter. Bare seks av de 27 årene undersøkelsene har pågått, har hatt negativ nettobalanse. Legg også merke til at det har vært flere suksessive år med stor nettobalanse midt på 1970-tallet og i tiden etter 1988.*

Diagram showing winter, summer, and net balance for Engabreen 1970-97. During the investigation period the mean winter balance is 3.00 m w.eqv., mean summer balance is 2.21 m w.eqv., and the total net balance in the period is a surplus of 22.5 m water equivalents. Only in six of the 28 investigation years the glacier has shown a negative mass balance. Note that the winter balance has shown an increasing tendency during the period, whereas summer balance has shown a decreasing tendency. Accordingly, the net balance has shown a considerable increase. Two periods, the middle of the 1970'ies and the years after 1988, stand out as series of continuous positive years. Maritime glaciers in southern Norway show a similar pattern.

16.3 VARIASJONER I BREFRONTEN

Det betydelige masseoverskuddet på Engabreen har ført til at brefronten har rykket fram ca. 150 m i løpet av de siste fire årene. Målinger fra et fast målepunkt på berget på nordsiden av breelven viste at brefronten rykket frem 66 meter fra september 1996 til mai 1997. Men pga. den varme sommeren i 1997 smeltet den like mye tilbake fra mai til september. Nede i det dypt nedskårne elveløpet smeltet breen lite tilbake i løpet av sommeren 1997. Limnigrafen i breelven ble rigget ned i mai da avstanden til breen bare var 6 meter. I løpet av oktober 1997 ble dette stedet helt dekket av breen.

Frontmålingene på Engabreen viser at brefronten ikke har vært så langt fremme som i dag siden rundt 1950. Dessuten har bretungen blitt både bredere og tykkere i løpet av de siste årene. Vi vet ikke hvor lang Engabreens reaksjonstid er. Massebalansemålingene på breen har vist positiv nettobalanse hvert eneste år etter 1988, og det tyder på at den framgangen som har funnet sted de siste årene vil fortsette enda noen år.

16.4 ENGLISH SUMMARY

Engabreen is a northwestern outlet glacier from the Svartisen ice cap. Its area is 38 km^2. Most of this area is a glacier plateau and lies between 1100 and 1550 m a.s.l. The glacier tongue comes all the way down to 20 m a.s.l.

Mass balance measurements have been performed annually at Engabreen since 1970. During this period there has been measured a cumulative surplus amounting to 22.5 m w.eqv. This considerable surplus has resulted in a marked glacier advance during the last years. The glacier tongue has also increased in width and thickness.

Mass balance 1996

• Field work
The accumulation was measured on 21-24 May. It was based on:
- Snow depth measurement at two stakes on the upper part (snow depth 5.65 and 6.35 m) and at one stake on the lower part where net melting had taken place.
- About 100 snow depth soundings in the upper part (above 920 m a.s.l.).
- Snow density measurement of the total snow pack at 1060, 1170 and 1350 m a.s.l. The density was determined from 7.1 m accumulated snow at the elevation of 1320 m a.s.l. Mean density was 0.48 m/cm^3. In addition, the density of the upper two metres was measured at three other locations.
- Two drillings (1060 and 1320 m a.s.l.) to determine the depth to the summer surface.

Ablation measurements were made on 19-20 September at five stakes on the plateau. On the tongue there was no continuous measurements. The density of the remaining snow was estimated to 0.60 g/cm^3.

• Results
The accumulation was 2.8-4.0 m at the plateau. At the tongue the accumulation was negative due to winter melting. The total winter balance was calculated to 2.97 m w.eqv., which is equal to the mean value.

Summer balance varied between -1.5 m at the upper part of the plateau to -8.5 m w.eqv. at the tongue. Total summer balance was –2.14 m w.eqv., which is very close to the mean value.

On the plateau the net balance varied between 1.0 and 2.0 m w.eqv. and it was 10.0 m on the lowest part of the tongue. Total net balance was +0.83 m w.eqv. The mean net balance turned out to be +0.79 m w.eqv. 1996 was the 8th consecutive year of positive net balance. The ELA was 970 m a.s.l., and AAR was 88 %.

Mass balance results for 1996 are presented in Table 16-1 and Figure 16-1.

Mass balance 1997

• Field work
The accumulation was measured on 8-11 May and was based on:
- One survived stake which was very important to identify the summer surface.
- 68 snow depth soundings at the plateau 950-1450 m a.s.l. Most soundings showed 9-11 m of snow.
- 5 soundings at the tongue. The snow depth was about 2 metres.
- 5 corings on the plateau to identify the summer surface.
- Snow density measurement of the total snow pack (10.7 m) 1350 m a.s.l. and of the upper four metres at 1060 m a.s.l.

Ablation was measured on 9-10 October. There was then about one metre of fresh snow at the plateau. This new snow, however, was not taken in account in calculating the summer balance, because it will be included in next season's winter balance.

• Results

At the plateau the accumulation was between 4.0 m and 5.4 m water equivalents. At the tongue (330 m a.s.l.) there was less than 1.0 m w.eqv. The total winter balance was 4.44 m w.eqv. and this is 134 % of mean winter balance. Except for 1989 this is the highest winter balance ever measured at Engabreen.

Summer balance ranged between -2.2 m w.eqv. at the upper part of the plateau (>1500 m a.s.l.) to more than -10 m w.eqv. near the glacier front (<100 m a.s.l.). The total summer balance was –3.22 m w.eqv., which is 146 % of mean summer balance.

The entire plateau had positive net balance – up to 3.0 m w.eqv. Total net balance was +1.22 m w.eqv., whereas the mean value is +0.79 m w.eqv. ELA was 1010 m a.s.l. and AAR was 85 %.

Mass balance results for Engabreen 1997 are presented in Table 16-2 and Figure 16-2. Figure 16-3 indicates that there is a good relation between net balance (b_n) and equilibrium line altitude (ELA). The relation is calculated to

$$ELA = 1165 - 1.25 \cdot b_n$$

During the period of mass balance measurements at Engabreen (since 1970) there has been measured a total positive mass balance amounting to 22.5 m water equivalents. The winter balance has shown an increasing tendency whereas the summer balance has shown a decreasing tendency. Accordingly, the net balance has been strongly increasing. Since 1988 the cumulative net balance has been more than 12 m w.eqv. Winter, summer, and net balance at Engabreen 1970-97 are shown in Figure 16-4.

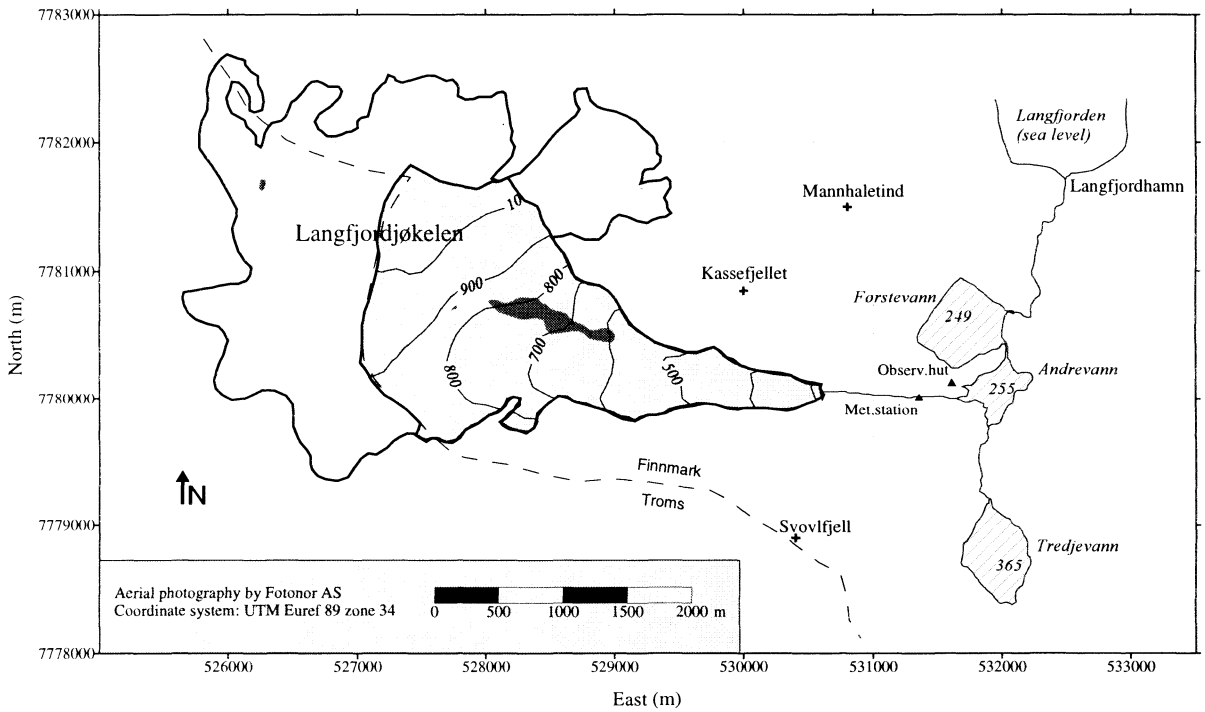
Glacier front variation

Due to the great mass surplus, the front of Engabreen has advanced approx. 150 m during the last four years and a watergage in the glacier river had to be dismantled so it should not be destroyed by the glacier. The glacier today has its foremost position since about 1950. According to the considerable positive net balance during the last nine years, a further advance of the glacier tongue can be expected for a number of coming years.

17 LANGFJORDJØKELEN (211.33Z) Bjarne Kjøllmoen

Våren 1989 ble det satt i gang breundersøkelser på Langfjordjøkelen i Vest-Finnmark. Undersøkelsene som ble delfinansiert av NVEs FoU-program «Vassdragsdrift», ble etter 5 års målinger avsluttet høsten 1993. Undersøkelsene ble gjenopptatt med massebalansemålinger våren 1996. Målingene skal foreløpig pågå fram til og med 2001 og finansieres nå fra FoU-programmet "Vassdragsmiljø 1997-2000".

Langfjordjøkelen er en liten platåbre på skillet mellom Troms og Finnmark. Breen, som ligger i et område med relativt mye nedbør, strekker seg fra 1050 moh. og ned til 280 moh. (figur 17-1). Den dekker totalt et areal på 8.4 km^2. Målingene foregår på den østlige utløperen som utgjør litt mindre enn halvparten av breens totale areal (3.7 km^2).



Figur 17-1 *Langfjordjøkelen ligger på grensen mellom Troms og Finnmark fylker. Breundersøkelsene foregår på den østvendte delen av breen (3.7 km^2) som drenerer ned til Andrevann.*

Langfjordjøkelen is located both in Troms and Finnmark counties in northern Norway. The investigations are taking place at the east-facing part of the glacier (3.7 km^2) which drains down to Andrevann.

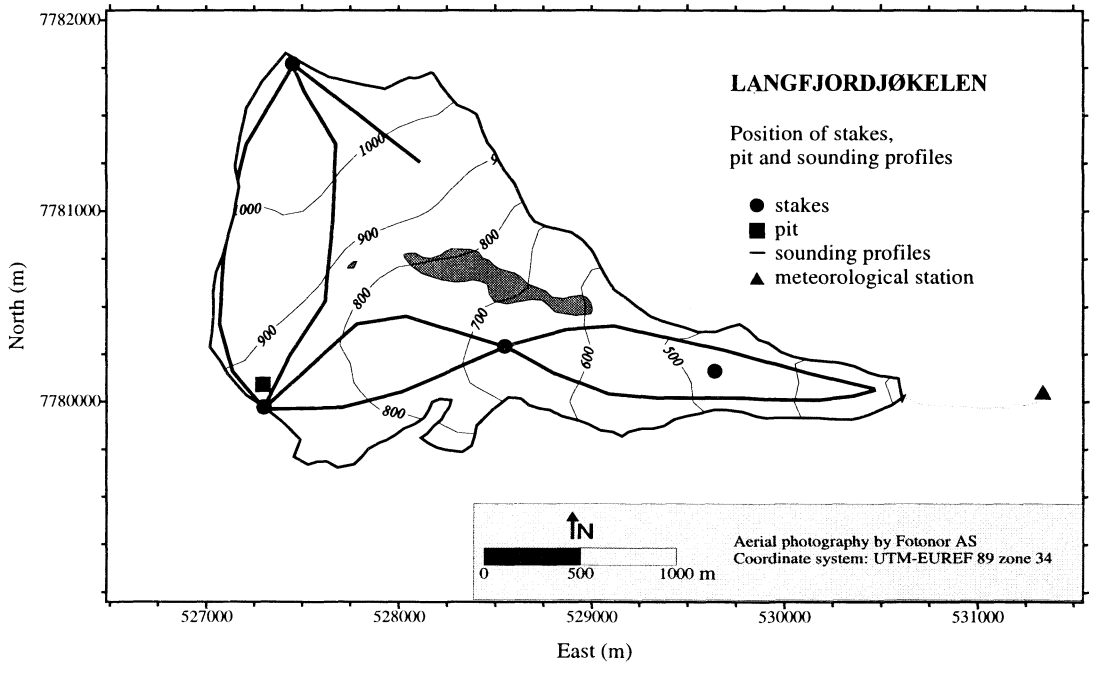
Kartgrunnlaget for de beregninger som er gjort tidligere år på Langfjordjøkelen, var basert på flyfotografering i 1966. Et nytt kart over breen, basert på flybilder fra 1994, er nå blitt konstruert. Det nye kartet viser at det har skjedd noen arealendringer i hvert høydeintervall, og prosentvis mest under 700 moh. Breens totale areal er redusert med 20 %. Beregningene for 1996 og 97 er gjort på grunnlag av dette nye kartet og er derfor ikke direkte sammenlignbare med tidligere års resultater. En revidering og nyberegning av massebalansen for årene fra 1989-93 vil bli presentert i neste utgave i serien "Glasiologiske undersøkelser i Norge".

17.1 MASSEBALANSE 1996

Feltarbeid

Akkumulasjonsmålingene ble utført 24.mai. Grunnlaget for beregning av vinterbalansen er:
- Kjerneboringer i høydenivåene ca 485, ca 670, ca 910 og ca 1065 moh. Boringene viste snødyp på hhv 3.2, 4.1, 4.7 og 4.9 meter.
- 108 sonderingspunkter i profiler mellom ca 310 og ca 1065 moh. Sommeroverflaten (SO) var vanskelig å påvise over størstedelen av breen. Bare i områdene under 600 moh. kunne SO med sikkerhet bestemmes. Over dette høydenivået ble sonderingene supplert med kjerneboringer. Snødybden varierte fra ca 2.5 m på bretunga til drøyt 6 m i de høystliggende områdene.
- Snøtettheten ble målt ned til 5 m dybde i høydenivå ca 910 moh, dvs ned til SO.

Kart som viser måleopplegg med stakeplasseringer og sonderingsprofiler er vist i figur 17-2.



Figur 17-2 Beliggenheten av staker, tetthetsprøve og sonderingsprofiler på Langfjordjøkelen.

Location of stakes, pit and sounding profiles at Langfjordjøkelen.

Minimumsmålingene ble utført 16.oktober. Nettobalansen ble målt på tre staker i høydenivåene 670, 910 og 1065 moh. På toppen av breen lå det igjen nesten 2 m av årets snø, mens det var kommet drøyt 1 m nysnø i samme høydenivå.

Resultater

Massebalansen er beregnet på to måter; den vanlige tradisjonelle metoden (traditional method), og den datovariable metoden (floating-date method). Ved bruk av den tradisjonelle metoden er det breens balanse mellom to sommeroverflater som blir beregnet. Den datovariable metoden gir breens endringer i perioden fra minimumsmåling til neste års minimumsmåling. Dette betyr at nysnø som kommer før minimumsmålingene på høsten blir medregnet i sommerbalansen, og trukket fra neste års vinterbalanse.

Mass balance Langfjordjøkelen1995/96 – traditional method

Altitude (masl)	Area (km^2)	Winter balance Measured May 24 1996		Summer balance Measured Oct 16 1996		Net balance Summer surfaces 1995 - 1996	
		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	2,80	1,54	-1,45	-0,80	1,35	0,74
900 - 1000	0,81	2,70	2,17	-1,55	-1,25	1,15	0,93
800 - 900	0,61	2,30	1,39	-1,70	-1,03	0,60	0,36
700 - 800	0,56	2,10	1,17	-1,90	-1,06	0,20	0,11
600 - 700	0,39	1,90	0,75	-2,20	-0,87	-0,30	-0,12
500 - 600	0,35	1,70	0,59	-3,40	-1,18	-1,70	-0,59
400 - 500	0,25	1,60	0,41	-4,70	-1,19	-3,10	-0,79
280 - 400	0,14	1,40	0,19	-5,70	-0,78	-4,30	-0,58

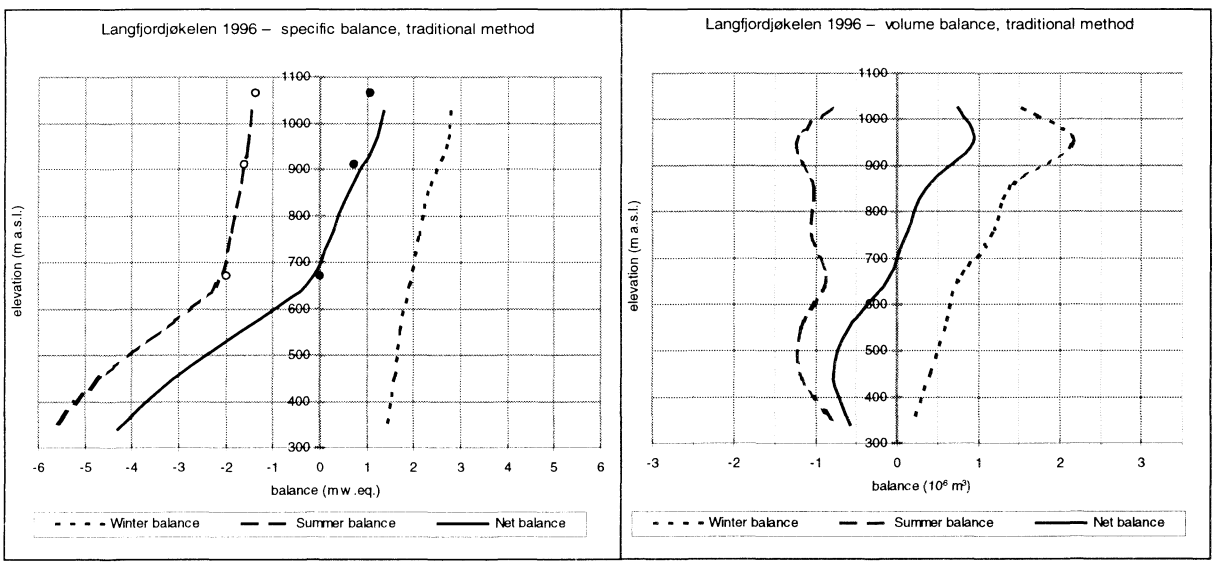
Total area 3,65

Total for whole glacier between summer surfaces 1995 - 1996

	Winter bal.	Summer bal.	Net bal.
volume (10^6 m^3)	**8,2**	**-8,2**	**0,1**
specific (m)	**2,25**	**-2,23**	**0,02**

Tabell 17-1 *Vinter-, sommer- og nettobalanse for Langfjordjøkelen 1996 beregnet med tradisjonell metode.*

Winter-, summer- and net balance for Langfjordjøkelen 1996, traditional method.



Figur 17-3 *Massebalansediagram for Langfjordjøkelen 1996 som viser spesifikke verdier (venstre) og volumverdier (høyre) for vinter-, sommer- og nettobalanse beregnet med tradisjonell metode. Sommer- og nettobalanse målt på tre av stakene er vist som punkter (○=b_s og ●=b_n). Likevektslinjens høyde er rundt 700 moh.*

Mass balance diagram showing specific values (left) and volume values (right) for Langfjordjøkelen 1996, traditional method. Summer- and net balance for three of the stakes are shown as dots (○=b_s og ●=b_n). ELA was about 700 m a.s.l.

• Vinterbalanse
Den tradisjonelle beregningsmetoden gir en vinterbalanse på 2.25 ±0.30 m vannekvivalenter eller 8.2 mill.m^3 vann. Midlere snøtetthet er beregnet til 0.49 g/cm^3 i 910 m nivå.

• Sommerbalanse
På grunnlag av stakemålingene og en estimert midlere snøtetthet på 0.6 g/cm^3 på gjenværende snø, ble sommerbalansen beregnet til 2.23 m ±0.40 m vannekvivalenter eller 8.2 mill.m^3 vann. Ved å ta med høstens nysnø blir sommerbalansen 2.18 m beregnet med den datovariable metoden.

• Nettobalanse
Beregningene viser da at Langfjordjøkelen var omtrent i likevekt i 1995-96 med et ubetydelig overskudd på 0.02 ±0.35 m vannekvivalenter. Likevektslinjen lå ca 700 moh.

Verdiene for massebalansen i de enkelte høydeintervall beregnet etter "traditional method" er vist i tabell 17-1. Tilsvarende kurver for hhv spesifikke verdier og volumverdier fordelt med høyden er vist i figur 17-3.

17.2 MASSEBALANSE 1997

Feltarbeid

Akkumulasjonsmålingene ble utført så sent som 10.juni. Det sene tidspunktet hadde ingen betydninge verken for utførelsen av jobben eller for måleresultatene da smeltingen ennå ikke var kommet i gang. Grunnlaget for beregning av vinterbalansen er:
- Kjerneboringer i høydenivåene ca 450, ca 675, ca 895 og 1050 moh. Disse viste snødyp på hhv 3.3, 4.9, 4.1 (usikker) og 5.0 meter.
- 112 sonderingspunkter i profiler mellom 300 og 1050 moh. Sommeroverflaten (SO) var lett definerbar nedenfor 600 m nivået, noe vanskeligere over, og til dels meget vanskelig i enkelte områder mellom 600 og 700 m samt i 900 m nivå. Sonderingene ble supplert med fire kjerneboringer. Snødybden varierte fra 3 m på bretunga til 6 m i de høystliggende områdene.
- Snøtettheten ble målt ned til 4 m dybde i høydenivå ca 895 moh. Midlere snøtetthet er beregnet til hele 0.54 g/cm^3.

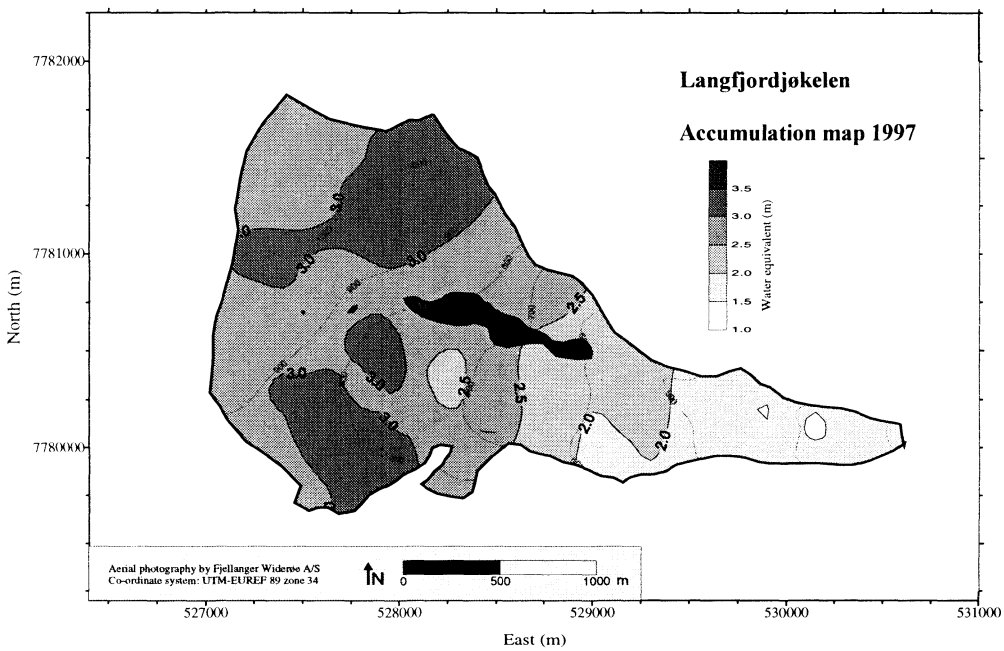
Minimumsmålingene ble utført 2.oktober. Nettobalansen kunne måles direkte på to staker i høydenivå 895 og 1050 moh. De to andre stakene (450 og 675 moh.) var utsmeltet, og nettobalansen ble her ekstrapolert ut fra tidligere års målinger. På toppen av breen lå det igjen 35 cm av årets snø, og det var kommet omtrent like mye nysnø i samme høydenivå.

Måleopplegget med stakeplasseringer og sonderingsprofiler er det samme som i 1996. Dette er vist på kartet i figur 17-2. Et snøfordelingskart eller akkumulasjonskart som illustrerer snøfordelingen angitt i meter vannekvivalenter er vist i figur 17-4.

Resultater

• Vinterbalanse
Beregning av vinterbalansen gjøres vanligvis ved at punktmålingene (staker, sonderinger og kjerneboringer) blir plottet i et diagram. Ut fra en visuell bedømming blir så kurven trukket og en middelverdi for hver 50. høydemeter blir angitt. Resultatet for Langfjordjøkelen 1997 er vist i tabell 17-2 og diagrammene i figur 17-5. Den tradisjonelle beregningsmetoden gir en vinterbalanse på 2.65 ±0.25 m vannekvivalenter eller 9.7 mill.m^3 vann. Under minimumsmålingene høsten 96 lå det opp til 1.15 m nysnø på breen. Tas denne med i beregningene kan vinterbalansen beregnes etter den datovariable metoden og blir da 2.36 ±0.30 m vannekvivalenter.

Vinterbalansen er også beregnet med grunnlag i akkumulasjonskartet i figur 17-4. Ved hjelp av et Geografisk Informasjonssystem (GIS) som heter SURFER, ble punktverdiene (vannverdier) brukt til å generere en terrengmodell med rutestørrelse 100 meter. Denne beregningsmetoden gir en vinterbalanse på 9.6 mill. m^3 vann eller 2.63 m vannekvivalenter, som altså stemmer meget godt med den tradisjonelle beregningsmetoden.



Figur 17-4 *Akkumulasjonskart som viser vannverdier på Langfjordjøkelen i 1997. Det ble målt snødybder fra ca 3 m nederst på bretungen til ca 6 m over 750 m nivå.*

Accumulation map (m w.eqv.) for Langfjordjøkelen 1997. Snow depths varied from ca. 3 m on the tongue to ca. 6 m above the 750 m elevation.

- Sommerbalanse

En varm sommer førte til mye smelting. På grunnlag av stakemålingene og en estimert midlere snøtetthet på 0.6 g/cm^3 på gjenværende snø, ble sommerbalansen beregnet til 3.34 ±0.35 m vannekvivalenter eller 12.2 mill.m^3 vann. Ved å ta med høstens nysnø blir sommerbalansen 3.28 m beregnet med den datovariable metoden.

- Nettobalanse

Beregningene for Langfjordjøkelen 1997 viser et underskudd på 0.69 m ±0.40 m vannekvivalenter som tilsvarer et volumtap på 2.5 mill.m^3 vann som altså ble tilført vassdraget som "ekstra" smeltevann fra breen. Den datovariable metoden gir en nettobalanse på -0.93 ±0.40 m mellom 16.oktober 1996 og 2.oktober 1997. Likevektslinjen lå litt i overkant av 800 moh.

Verdiene for massebalansen i de enkelte høydeintervall beregnet etter "traditional method" er vist i tabell 17-2. Tilsvarende kurver for hhv spesifikke verdier og volumverdier fordelt med høyden er vist i figur 17-5.

Mass balance LANGFJORDJØKULEN1996/97 – traditional method

Altitude (masl)	Area (km^2)	Winter balance Measured Jun 10 1997 Specific (m w.eq.)	Winter balance Volume (10^6 m^3)	Summer balance Measured Oct 2 1997 Specific (m w.eq.)	Summer balance Volume (10^6 m^3)	Net balance Summer surfaces 1996 - 1997 Specific (m w.eq.)	Net balance Volume (10^6 m^3)
1000 - 1050	0,55	2,85	1,56	-2,60	-1,43	0,25	0,14
900 - 1000	0,81	2,90	2,33	-2,70	-2,17	0,20	0,16
800 - 900	0,61	3,10	1,88	-2,90	-1,76	0,20	0,12
700 - 800	0,56	2,80	1,57	-3,40	-1,90	-0,60	-0,34
600 - 700	0,39	2,45	0,97	-3,90	-1,54	-1,45	-0,57
500 - 600	0,35	2,05	0,71	-4,30	-1,50	-2,25	-0,78
400 - 500	0,25	1,70	0,43	-4,70	-1,19	-3,00	-0,76
280 - 400	0,14	1,60	0,22	-5,10	-0,69	-3,50	-0,48

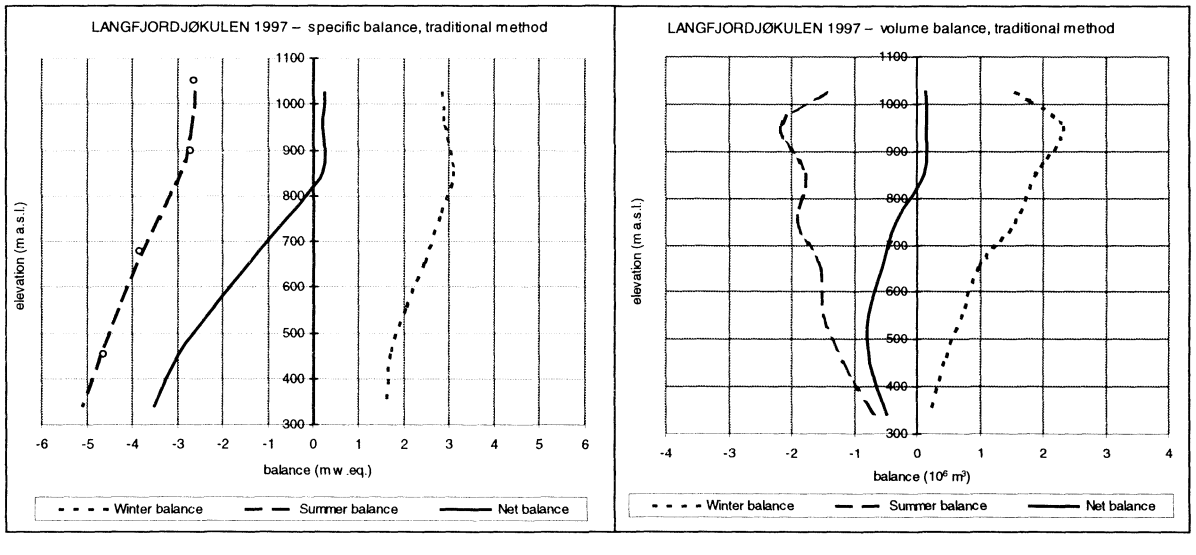
Total area 3,65

Total for whole glacier between summer surfaces 1996 - 1997

	Winter bal.	Summer bal.	Net bal.
volume (10^6 m^3)	9,7	-12,2	-2,5
specific (m)	2,65	-3,34	-0,69

Tabell 17-2 *Vinter-, sommer- og nettobalanse for Langfjordjøkelen 1997 beregnet med tradisjonell metode.*

Winter-, summer- and net balance for Langfjordjøkelen 1997, traditional method.



Figur 17-5 *Massebalansediagram for Langfjordjøkelen 1997 som viser spesifikke verdier til venstre og volumverdier til høyre for vinter-, sommer- og nettobalanse beregnet med tradisjonell metode. Sommerbalansen målt på hver stake er vist som punkter (○). Likevektslinjens høyde er litt over 800 moh.*

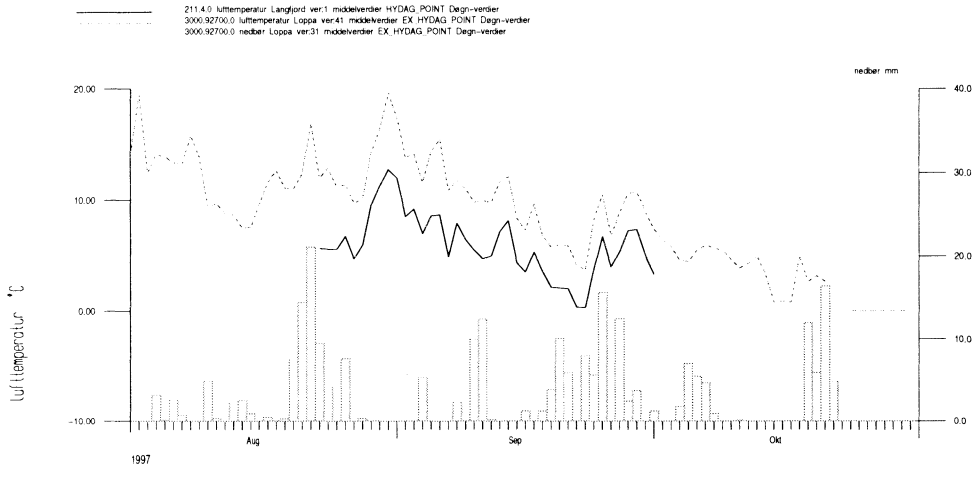
Mass balance diagram showing winter-, summer- and net balance at Langfjordjøkelen 1997. Spesific balance is indicated in the left hand diagram and volume balance is shown to the right. The summer balance at each stake is shown as dots (○). The ELA was about 800 m a.s.l.

17.3 METEOROLOGISKE MÅLINGER

Ved breelva ca 700 m fra fronten av Langfjordjøkelen (ca 270 moh., figur 17-2) ble det i august 1997 montert og satt i drift en klimastasjon som hver time registrerer lufttemperaturer. Dataene blir lagret i en egen lagringsenhet og tappet ved hvert feltbesøk. Dataene blir videre behandlet og lagret i Hydrologisk avdelings databaser.

På Loppa, ca 25 km nord for Langfjordjøkelen, driver Meteorologisk Institutt en værstasjon (92700 Loppa, 10 moh.) der blant annet lufttemperatur og nedbør blir målt. Stasjonen ble opprettet i 1991.

I figur 17-6 er det presentert resultater fra de meteorologiske målingene både ved Langfjordjøkelen og Loppa.



Figur 17-6 *Døgnmiddelvariasjonene for lufttemperatur ved Langfjordjøkelen (270 moh.) (heltrukket linje) og Loppa (10 moh.) (stiplet linje) samt nedbør på Loppa (søyler).*

Daily mean air temperature at Langfjordjøkelen (270 m a.s.l.) (black line) and at Loppa (10 m a.s.l.) (dottet line) and daily precipitation at Loppa (bars).

17.4 ENGLISH SUMMARY

Langfjordjøkelen is a plateau glacier with a total area of 8.4 km^2 located at the border between Finnmark and Troms counties in northern Norway. The investigations are taking place on the east-facing part of the glacier (3.7 km^2) which drains to Andrevann (Fig. 17-1). The elevation ranges between 280 and 1050 m a.s.l.

Earlier mass balance calculations (1989-93) were based on a map from 1966. A new map based upon verticals taken in 1994 is now constructed. A comparison between these two maps shows some changes in the area distribution, and the total area is reduced by 20 %. The calculations for 1996 and 97 are based on the new map from 1994. Thus, the results in this report are not directly comparable with earlier results obtained at the same glacier.

Mass balance 1996

In 1996 the accumulation measurements were made on May 24. About 110 snow depth soundings were

made and they were checked by four core samples. The snow depth varied from 2.5 m on the tongue to 6 m in the higher areas. Winter balance was calculated to 2.25 ±0.30 m w.eqv. (8 mill.m^2). Ablation was measured on October 16. In the upper areas there was about 2 m of remaining snow. Summer balance was –2.23 ±0.40 m w.eqv. (8 mill.m^3). Thus, the glacier was near a steady state, only slightly positive with 0.02 ±0.35 m w.eqv. ELA was about 700 m a.s.l. The height distribution of winter, summer and net balance is presented in Table 17-1 and Figure 17-3.

Mass balance 1997

In 1997 the accumulation measurements were performed on June 10. Snow depth was determined by about 110 soundings and compared to four core samples. Snow depth showed variations from 3 m on the tongue to 6 m in the upper areas. Winter balance was 2.65 ±0.25 m w.eqv. (10 mill.m^3). Summer balance was measured on October 2. In the upper areas there was only 0.35 m of remaining snow, and summer balance was –3.34 ±0.35 m w.eqv. (12 mill.m^3). Net balance was then –0.69 ±0.40 m w.eqv. or a deficit of 2 mill.m^3 of water. ELA was about 800 m a.s.l. The height distribution of winter, summer and net balance is presented in Table 17-2 and Figure 17-5.

Meteorological measurements

Automatic instruments records the air temperature near the glacier river about 700 m from the terminus of Langfjordjøkelen (Fig. 17-2). The Norwegian Meteorological Institute makes similar measurements of air temperature and records also daily precipitation at the climate station Loppa (10 m a.s.l.) located 25 km north of Langfjordjøkelen. Data from August to October 1997 for these two stations are shown in Figure 17-6.

18 REGIONAL BREOVERVÅKING I SØR-NORGE 1997 Hilleborg Konnestad Sorteberg (sammendrag av NVE-rapport 8/98)

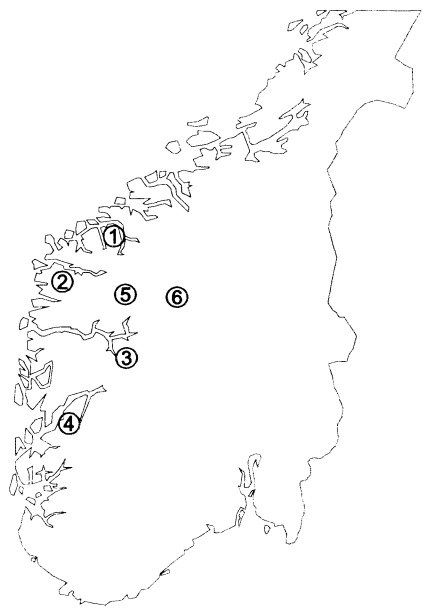
18.1 INNLEDNING

Målinger utført av Seksjon bre og snø viser store endringer i massebalansen på breene i Sør-Norge siden 1960-åra. Dette har ført til endringer i brefrontene, enten ved tilbaketrekning eller framrykk. På grunn av disse breendringene ble en omfattende flyfotografering gjennomført i august 1997 av utvalgte breområder i Sør-Norge. Hensikten med fotograferingen var å få en oversikt over breenes front- og arealendringer.

Dette kapitlet gjengir hovedresultatene av undersøkelsen og presenterer kun enkelte resultater av brefrontendringene. En nærmere og mer detaljert beskrivelse finnes i NVE Rapport nr. 8 (Sorteberg, 1998).

Følgende geografiske breområder er blitt undersøkt (figur 18-1):
1 Sunnmøre
2 Ålfotbreen
3 Aurlandsfjella
4 Folgefonna
5 Jostedalsbreen og Jostefonn
6 Jotunheimen

Undersøkelsene er basert på visuelle observasjoner av vertikale flyfoto og kart fra 1960-tallet, 1980-tallet og fra 1997, samt data fra "Atlas over breer i Sør-Norge" (Østrem et al. 1988).



Figur 18-1 *Geografisk plassering av de utvalgte breområdene.*
1 Sunnmøre, 2 Ålfotbreen,
3 Aurlandsfjella, 4 Folgefonna,
5 Jostedalsbreen og Jostefonn,
6 Jotunheimen.

The location of the selected glacier areas.
1 Sunnmøre, 2 Ålfotbreen,
3 Aurlandsfjella, 4 Folgefonna,
5 Jostedalsbreen and Jostefonn,
6 Jotunheimen.

18.2 RESULTATER

Breene på Sunnmøre har ikke endret frontposisjon fra 1960-tallet til 1997. Arealet av breene har økt svakt i tilsvarende periode.

Den nordlige og østlige delen av Ålfotbreen minket i areal fra 1968 til 1988, men økte i perioden 1988-1997. Dette kan imidlertid til en viss grad skyldes mye snø på breen i 1968 og 1997. Snøforholdene har nemlig gjort det umulig å definere frontposisjonen. I Aurlandsfjella har snøforholdene gjort det vanskelig å skille mellom hva som er breområde og hva som er snøfonner. Resultatene viser at arealet til Svartavassbreen og Storskavlen har økt, men for å kunne dokumentere endringene bør disse befares i felt.

Det er fire klare hovedtrekk i brefrontendringene til utløperne fra Nordre- og Søndre Folgefonna. Tabell 18-1 viser enkelte resultater.

1. Gråfjellsbrea, Breidablikkbrea og Kjeringebotnbreen har trukket seg tilbake i hele perioden 1959-1997
2. Bondhusbrea, Dettebreen og Blomstølskardbreen har gått fram i hele perioden 1959-1997.
3. Den tredje gruppen er breer som har hatt en tilbaketrekning i perioden 1959-1981 og et framstøt i perioden 1981-1997. Dette gjelder Botnabreen, Øvre- og Nedre Buerbreen. Figur 18-2 illustrerer brefrontendringene til Øvre- og Nedre Buerbreen.
4. Utløpere tilknyttet et regulert magasin har trukket seg tilbake i hele perioden 1959-1997. Disse breene er Juklabreen, Blådalsbreen og Mosevassbreen. Tilsvarende har frontendringene vært for Sauanutbreen og Svartenutbreen som har brefronten tilknyttet uregulerte vann.

Utløperne fra Jostedalsbreen viser fire hovedtrekk i brefrontendringene. Tabell 18-1 viser enkelte resultater.

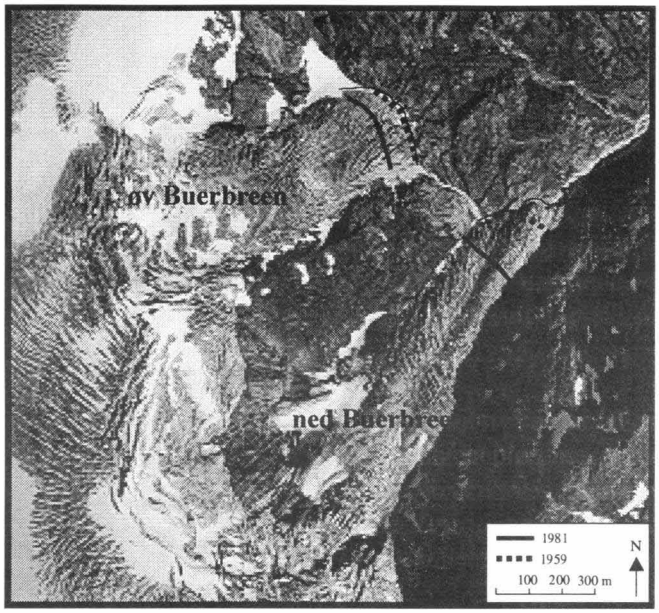
1. I nordre del har Erdalsbreen, Vetledalsbreen, Stegholtbreen og Lodalsbreen trukket seg tilbake i hele perioden fra 1960-tallet til 1997. Tilsvarende tilbaketrekning viser Fåbergstølsbreen og Tunsbergdalsbreen i østre del. Målinger på bakken viser at Fåbergstølsbreen begynte å gå fram igjen i 1993.
2. Breene i vestre del har hatt framstøt i hele perioden fra 1960-tallet til 1997. Dette er Melkevollbreen, Kjøtabreen, Briksdalsbreen, Brenndalsbreen, Kjenndalsbreen og Bødalsbreen. Tilsvarende framstøt hadde Baklibreen og Bergsetbreen i østre del. Den nedre regenererte delen av både Bøyabreen og Supphellebreen har økt i størrelse i hele perioden.
3. Nigardsbreen og Tuftebreen trakk seg tilbake fra midten av 1960-tallet til 1984, men har hatt et framstøt fra 1984-1997. Tilsvarende viser brefrontendringene til Austerdalsbreen. Figur 18-3 illustrerer brefrontendringene til Nigardsbreen og Tuftebreen.
4. Austdalsbreen, hvor brefronten er tilknyttet regulert magasin, har trukket seg tilbake i hele perioden fra 1960-tallet til 1997.

På Jostefonn har de sørøstlige brearmene trukket seg tilbake i perioden 1964-97. Området i nordvest viser ingen frontendringer.

I Jotunheimen har breenes areal avtatt opp til 35 % (Austre Memurubre). Fra midten av 1960-tallet og fram til 1997 har Vestre- og Austre Memurubre, Gråsubreen, Hellstugubreen, Tverråbreen og Storbreen trukket seg tilbake. Svellnosbreen er den eneste breen som har gått fram i tilsvarende periode. Tabell 18-1 viser enkelte resultater.

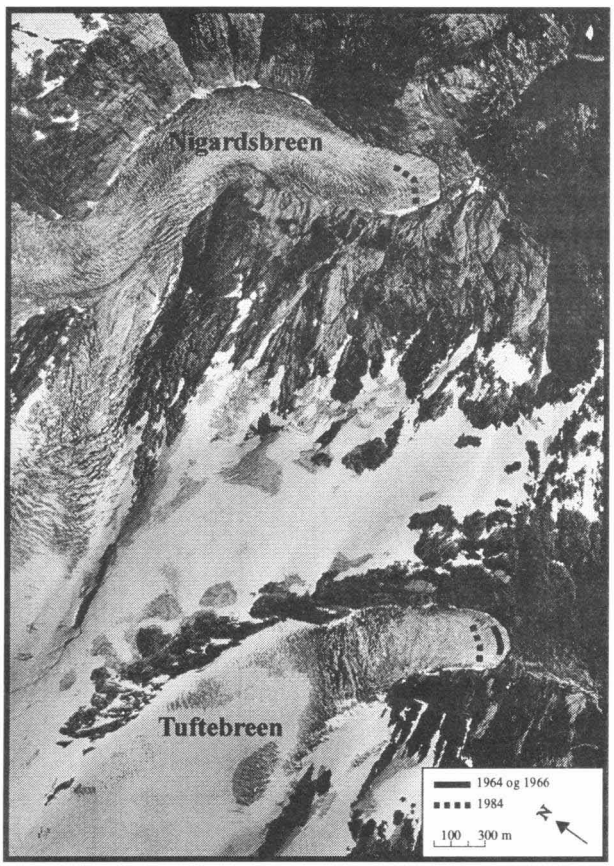
18.3 ENGLISH SUMMARY

Selected glaciers in southern Norway were investigated to quantify changes since the 1960s in glacier front positions and, in some cases, variations in glacier area (Sorteberg, 1998). The results are based on visual inspection of vertical air photos from the 1960s, the 1980s and 1997. The outlet glaciers from the ice caps Folgefonna and Jostedalsbreen have either retreated, retreated until the 1980s and then advanced, or advanced throughout the entire period. The maximum front variations were +920 m (Kjenndalsbreen) or -1050 m (Lodalsbreen). All calving glaciers have been retreating. In cases where the lakes have been regulated e.g. for hydroelectric purposes, most of the changes took place during the first few years after the regulations were initiated. The glaciers in the Sunnmøre area show a minor increase in area from the middle of the 1960s to 1997, but no significant change in front position. In Aurlandsfjella the areas of Svartavassbreen and Storskavlen have increased. Six of the seven glaciers in Jotunheimen have retreated, and their areas have been reduced up to 35 %. At Jostefonn the south-eastern outlets have retreated while the northern part is more or less stationary. At Ålfotbreen the northern outlets show only small changes during the study period.
For more details, see NVE Report nr. 8 (Sorteberg, 1998).



Figur 18-2 *Illustrasjon som viser front-posisjonendringene til Øvre- og Nedre Buerbreen mellom årene 1959, 1981 og 1997. Flyfoto er fra 1997.*

Illustration showing front position change of Øvre- and Nedre Buerbreen between the years 1959, 1981 and 1997. Air photo shows the glacier in 1997.



Figur 18-3 *Illustrasjon som viser frontposisjonendringene til Nigardsbreen og Tuftebreen (østlige utløpere fra Jostedalsbreen) mellom årene 1964/1966,1984 og 1997. Flyfoto viser breene i 1997.*

Illustration showing front position change of Nigardsbreen and Tuftebreen (eastern outlets of Jostedalsbreen) between the years 1964/1966,1984 and 1997. Air photo shows the glaciers in 1997.

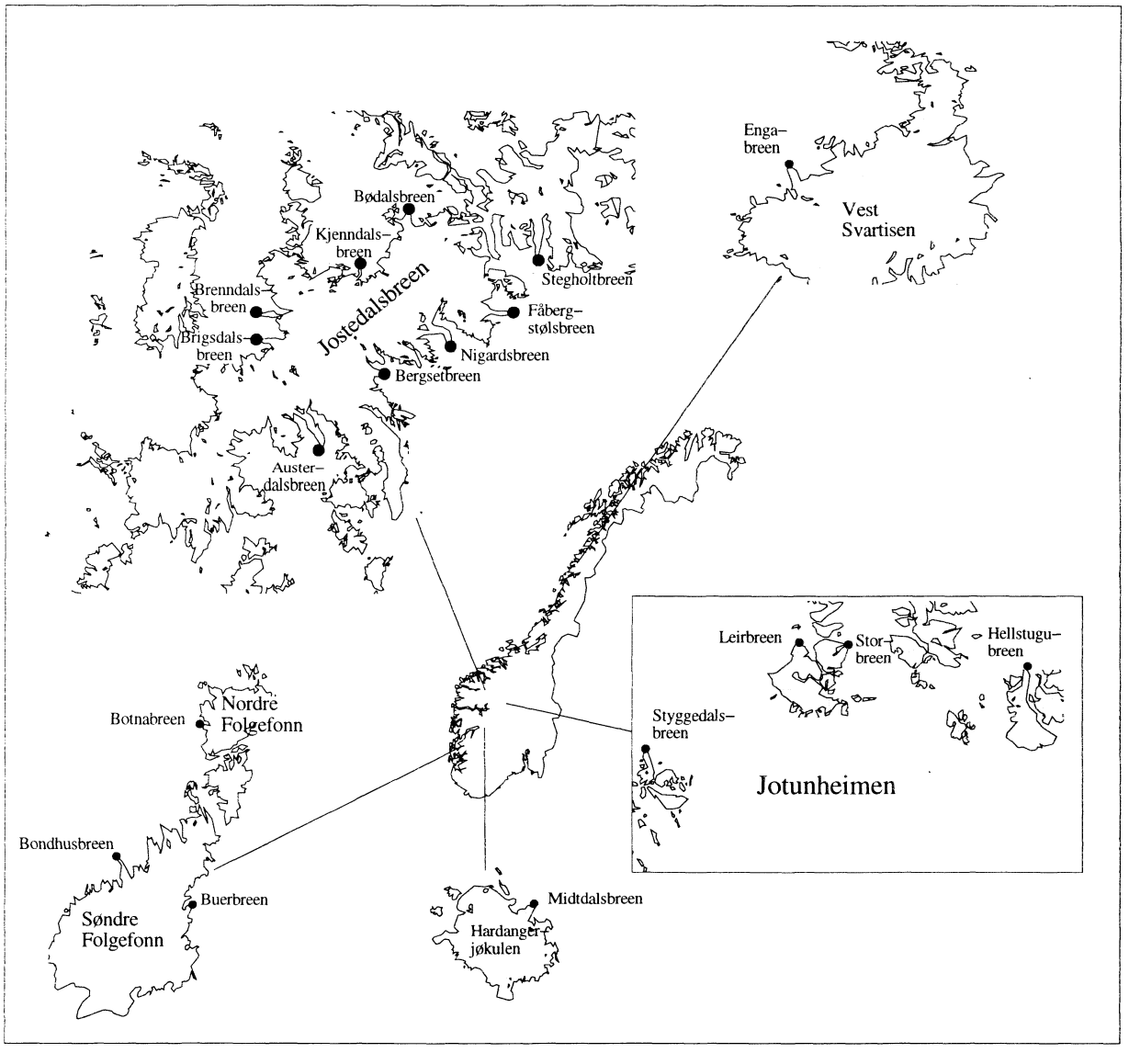
	Glacier name (Hydrological number)	1960s–1980s	1980s-1997	1960s-1997
Folgefonna	Blådalsbreen (048.4Z)	-380 [1]	-110	-490
	Øvre Buerbreen (048.B1)	-50 [1]	+70	+20
	Nedre Buerbreen (048.B1)	-150 [1]	+260	+110
	Svartenutbreen (048.B1)	-240 [1]	±0	-240
	Bondhusbrea (046.3C)	+50 [1]	+130	+180
	Gråfjellsbrea (046.32B)	-200 [1]	-230	-430
Jostedalsbreen	Melkevollbreen (088.1Z.1C)	+170	+600	+770
	Briksdalsbreen (088.1Z.1C)	+180	+390	+570
	Erdalsbreen (088.Z.B1Z)	-200	-60	-260
	Vetledalsbreen (088.Z.B1Z)	-180	-70	-250
	Nigardsbreen (076.Z.EZ)	-480	+190	-290
	Tuftebreen (076.Z.DA)	-130	+190	+60
Jotunheimen	Tverråbreen (002.DHBAZ)	-330	-190	-520
	øv Storbreen (002.DHBBZ)	-130	-170	-300
	ned Storbreen (002.DHBBZ)	-170	-20	-190
	Svellnosbreen (02.DHBAZ)	+30	+250	+280

Tabell 18-1 *Noen av de undersøkte breutløperne fra Folgefonna, Jostedalsbreen og breer i Jotunheimen. Frontendringene er angitt i meter. Nummeret i parentes er breenes tilhørende vassdragsnummer. +) framrykk og -) tilbaketrekning. [1])Periode 1959-1981.*

Some of the investigated outlet glaciers from Folgefonna, Jostedalsbreen and glaciers in the Jotunheimen area. Front variation in metres. The number in parenthesis is the water system number of the glaciers. +) advance, and -) retreat. [1]) Period 1959-1981.

19 FRONTPOSISJONENDRINGER Liss M. Andreassen

Målinger av breers frontposisjon gir et estimat av hvordan breen endrer lengde over tid. I 1996 og 1997 har NVE foretatt målinger på 12[1] norske breer. I tillegg er ytterligere seks breer blitt målt av andre personer og institusjoner. Målingene er foretatt på Jostedalsbreen, Folgefonna, Hardangerjøkulen, Svartisen og i Jotunheimen. 17 av de 18 breene ligger i Sør-Norge, mens kun én ligger i Nord-Norge (figur 19-1). En generell tendens for disse to årene er at breene på Vestlandet fortsetter framgangen fra tidligere år, mens breene i Jotunheimen har hatt tilnærmet stabil frontposisjon i denne perioden. Den største endringen av frontposisjon er blitt målt på Brigsdalsbreen, som har gått fram over 100 m fra 1995 til 1997.



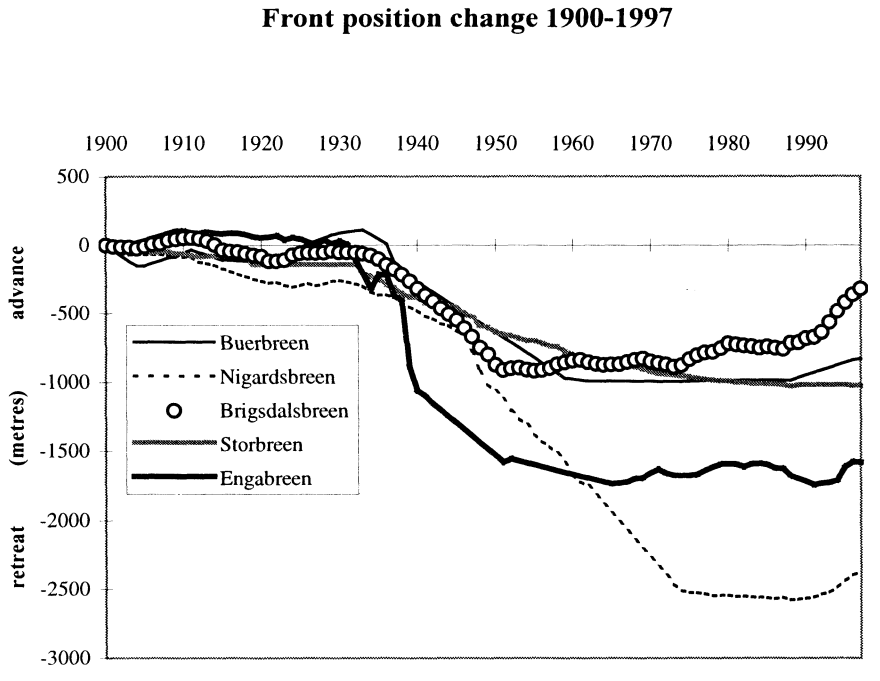
Figur 19-1 *Kart som viser lokalisering av breer hvor det ble gjort målinger av frontposisjon i Norge i 1996 og 1997 og som er omtalt i dette kapittel. Vær oppmerksom på at de ulike breområdene ikke er i samme målestokk.*

Location map showing glaciers where front positions were measured in Norway in 1996 and 1997 which is described in this chapter. The glacier areas are not to scale.

[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 8-3) og er ikke tatt med her.*

19.1 HISTORIKK

De fleste breene i Norge er antatt å ha hatt sin største utbredelse etter siste istid et sted mellom midten av 1700-tallet og begynnelsen av 1800-tallet, som en følge av den 'Lille Istid'. Siden da har de fleste breer i Norge smeltet mye tilbake. De første målingene av frontposisjoner for norske breer startet rundt år 1900. En beskrivelse av oppstarten av disse arbeidene er gitt i Hoel og Werenskiold (1962). Det er opp gjennom årene blitt målt frontposisjoner på en rekke breer i Norge i kortere og lengre perioder. I 1994 overtok NVE ansvaret etter Norsk Polarinstitutt for målinger av brefrontposisjoner på Norges fastland.



Figur 19-2 *Frontposisjonvariasjoner for fem norske breer i perioden 1900-1997. Se figur 19-1 for lokaliseringskart.*

Front position change at five Norwegian glaciers in the period 1900-1997. See figure 19-1 for their location.

Hovedtrekk i målingene er at breene gjorde framstøt rundt 1910 og 1930. Etter 1930 har breene smeltet til dels kraftig tilbake. På slutten av 1980-tallet og begynnelsen av dette tiåret har utløperbreer i vest og i nord begynt å rykke frem igjen. Nigardsbreen har smeltet mest tilbake, over 2.4 km siden århundreskiftet, men har de siste årene begynt å rykke fram igjen. Den korte og bratte utløperen Brigsdalsbreen smeltet ikke tilbake så mye som Nigardsbreen, og har hatt generell framgang siden 1950. Breene i Jotunheimen har hatt jevn tilbakegang fram til i dag. Storbreen har smeltet tilbake en drøy km siden 1902 (figur 19-2).

19.2 METODE

Brefrontmålinger kan gjøres på flere måter. For å gjøre målingene enkle og ikke for tidkrevende er ikke hele brefrontens bredde målt opp. Avstanden til ett eller flere punkt ved brefronten er 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 på de 18 breene ble foretatt i september eller oktober måned begge årene. I tillegg ble det for noen av breene gjort målinger på våren og sommeren. Resultatet er sammenlignet med målinger fra høsten 1995 og tidligere år. 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 norske breer gjennom tid.

19.3 RESULTATER

Jostedalsbreen

Ved Jostedalsbreen ble brefrontposisjonen målt for ni bretunger (figur 19-1 og tabell 19-1). På fire av disse breutløperene (Bergsetbreen, Brenndalsbreen, Bødalsbreen og Kjenndalsbreen) ble frontposisjonmålinger gjenopptatt i 1996 etter lengre opphold i målingene (se tabell 19-1). Alle de målte breene gikk frem både fra 1995 til 1996 og fra 1996 til 1997. Det eneste unntaket var Stegholtbreen som i følge målingene smeltet tilbake 3 m fra 1995 til 1996. Den største framgangen hadde Brigsdalsbreen som gikk fram drøye 100 m fra 1995 til 1997. Stor framgang hadde også Nigardsbreen som avanserte totalt 65 m i samme periode.

Folgefonna

På Søndre Folgefonna ble det gjort målinger på Buerbreen i 1996 og 1997. Denne østvendte utløperen gikk frem totalt 28 m på disse to årene. I tillegg ble målinger på Bondhusbreen gjenopptatt i 1996. Breen gikk frem hele 43 m fra 1996 til 1997. På Nordre Folgefonna ble det startet målinger ved Botnabreen i 1996. Denne brearmen smeltet tilbake 8 m fra 1996 til 1997.

Hardangerjøkulen

På Norges 6. største bre foretas målingene av Universitetet i Bergen på den nordvendte utløperen Midtdalsbreen (figur 19-1). Siden målingene startet i 1982 har breen gått fram 24 m, mens de siste to årene har breen hatt en netto tilbakesmelting på 6 m.

Jotunheimen

Rundt århundreskiftet og på 1930- og 1940-tallet ble det målt frontposisjon ved hele 17 breer i Jotunheimen, mens det i dag måles ved fire breer (figur 19-1). Målingene viser små netto endringer av posisjon de to siste årene, men at alle breene har hatt en liten netto tilbakesmelting. Storbreen og Hellstugubreen hadde en liten framgang i 1997. På Hellstugubreen er dette det første framstøt som er registrert siden 1907.

Svartisen

Engabreen, en vestlig utløper fra Svartisen, er målt siden århundreskiftet, men med noen avbrudd (se figur 19-2). Siden 1993 har Engabreen gått betydelig fram. Fra 1995 til 1996 gikk breen frem hele 115 m, mens fra 1996 til 1997 smeltet breen tilbake tre meter delvis p.g.a. en meget varm sommer med mye smelting. Breen står i dag ved den posisjon den hadde rundt 1950.

Area	Glacier	Distance (m)		Measured by
		1995-1996	1996-1997	
Jostedals-breen	Austerdalsbreen	10	20	NVE
	Bergsetbreen	X	18	NVE
	Brenndalsbreen (Åbrekkebreen)	X	9	Universitetet in Würzburg
	Brigsdalsbreen	58	44	NVE
	Bødalsbreen	X	30	Universitetet in Würzburg
	Fåbergstølsbreen	14	12	NVE
	Kjenndalsbreen	X	10	Universitetet in Würzburg
	Nigardsbreen	40	25	NVE
	Stegholtbreen	-3	8	NVE
Folgefonna	Bondhusbreen	X	43	Statkraft
	Botnabreen	X	-8	Statkraft
	Buerbreen	19	9	NVE
Hardangerjøkulen	Midtdalsbreen	1	-7	University in Bergen
Jotunheimen	Hellstugubreen	-3	2	NVE
	Leirbreen	-3	-9	NVE
	Storbreen	-7	3	NVE
	Styggedalsbreen	9	-17	NVE
Svartisen	Engabreen	35	-3	NVE

Tabell 19-1 *Frontposisjonendring i meter i perioden 1995-1996 og 1996-1997 for 18 breer i Norge. Målinger ved Austdalsbreen er omtalt i eget kapittel og er ikke med i tabellen (se kap 8-3). Bokstaven X indikerer at målingene ble startet eller tatt opp igjen i 1996.*

Annual front position change in metres in the periods 1995-1996 and 1996-1997 for 18 Norwegian glaciers. Measurements on the calving glacier Austdalsbreen are described in chapter 8-3 and are not included in this table. The letter X indicates that the measurements started or restarted in 1996.

19.4 ENGLISH SUMMARY

The first annual measurements of glacier front position changes in Norway started around 1900 at Jostedalsbreen, Folgefonna, Svartisen and in Jotunheimen. A description of the first years of these measurements are given in Hoel and Werenskiold (1962). The Glaciology Section at NVE has carried out the measurements since 1994. Twelve glaciers were monitored by NVE, and additional six glaciers were measured by others in 1996 and 1997. Of these glaciers 17 are located in South-Norway and only one, Engabreen, in North-Norway (figure 19-1).

The method used for estimating the front positions is simple. For most of the glaciers the distance is measured from established cairns to the glacier front in the same direction every year. This gives a rough estimate of the front fluctuations at one or two 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.

Results

At Jostedalsbreen, the largest glacier in Norway, nine outlets were measured. In the two year period all the glaciers have advanced forward. On four of the glaciers the measurements restarted in 1996 after periods without measurements. The glaciers Brigsdalsbreen and Nigardsbreen had the largest advances from 1995 to 1997 with 102 and 65 metres, respectively.

The two glaciers measured at southern Folgefonna had advanced: Buerbreen advanced approx. 30 m from 1995 to 1997, while the restarted measurements on Bondhusbreen showed an advance of more than 40 metres from 1996 to 1997. Measurements on northern Folgefonna, which started on Botnabreen in 1996, showed a minor negative retreat.

On Hardangerjøkulen, the outlet Midtdalsbreen retreated six metres during the two last years of measurements, in contrast to the last ten years, when the glacier has had a small advance. In Jotunheimen, in the central east part of Norway, four glaciers have been measured. All the glaciers show minor retreat from 1995 to 1997.

In the north, Engabreen, a western facing outlet of western Svartisen, is still advancing. From 1995 to 1996 the glacier advanced 115 metres, while it had a minor retreat the following year.

20 REFERANSER

Andreassen, L.M.
1998: Volumendringer på Jostefonn 1966-93. NVE Rapport nr 03 1998.

Elvehøy, H. 1997:
Istykkelsesmålinger på Kjerringbotnbreen, Søndre Folgefonna. NVE Rapport nr 22 1997, 13 s.

Elvehøy, H., Haakensen, N., Kennett, M., Kjøllmoen, B., Kohler, J. & Tvede, A.M.
1997: Glasiologiske undersøkelser i Norge 1994 og 1995. NVE Publikasjon nr 19 1997 (197 s).

Hoel, A. & Werenskiold, W.
1962: Glaciers and snowfields in Norway. Norsk Polarinsitutt Skrifter Nr 114, (291 s).

Hooke, R.LeB., Laumann, T. & Kennett, M.I.
1989: Austdalsbreen, Norway: Expected reaction to a 40 m increase in water level in the lake into which the glacier calves. Cold. Reg. Sci. Technol., 17 (2), s. 113-126.

Haakensen, N. (red.)
1995: Glasiologiske undersøkelser i Norge 1992 og 1993. Hydrologisk avd., NVE Publikasjon nr 08 1995.

Haakensen, N.
1997: Ålfotbreen in: Elvehøy et al.: Glasiologiske undersøkelser i Norge 1994 og 1995. NVE Publikasjon nr 19 1997 (197 s).

Kennett, M. & Sætrang, A.C.
1987: Istykkelsesmålinger på Folgefonna. NVE Oppdragsrapport nr 18 1987, Hydrologisk avdeling, 13 s.

Kjøllmoen, B. & Kennett, M.I.
1995: Breundersøkelser på Svartisheibreen 1988-94. NVE Rapport nr 17 1995.

Kjøllmoen, B.
1997: Volumendringer på Harbardsbreen 1966-96. NVE Rapport nr 06 1997.

Laumann, T.
1990: Konsekvenser av Jostedalsutbyggingen. NVE Oppdragsrapport nr 06 1990, 61 s.

Laumann, T. & Wold, B.
1992: Reactions of a calving glacier to large changes in water level. Annals of Glaciology 16, s. 158-162.

Liestøl, O.
1967: Storbreen glacier in Jotunheimen, Norway. Norsk Polarinstitutt Skrifter Nr 141, (63 s).

Smith-Meyer, S. & Tvede, A.M.
1996: Volumendringer på Søndre Folgefonna mellom 1959 og 1995. NVE Rapport nr 39 1996, Hydrologisk avdeling, 12 s.

Sorteberg, H.K.
1998: Regional breovervåking i Sør-Norge 1997. NVE Rapport nr. 08 1998.

Tvede, A.M.
1972: En glasio-klimatisk undersøkelse av Folgefonni. Upublisert hovedfagsoppgave. Geografisk institutt, Universitetet i Oslo.

Tvede, A.M.
Blomsterskardbreen, Folgefonni. En oversikt over breens variasjoner i nyere tid. NVE Rapport nr 22 1994, 12 s.

Østrem, G., Dale Selvig, K. & Tandberg, K.
1988: Atlas over breer i Sør-Norge. Meddelelse nr 61, Hydrologisk avdeling.

Østrem, G. & Brugman, M.
1991: Mass balance measurements: a manual for field and office work. National Hydrology Research Institute Scientific Report, 4, Environment Canada, N.H.R.I., Saskatoon and Norwegian Water Resources and Energy Administration, Oslo.

Vedlegg A

Publikasjoner/Rapporter/Artikler 1996 OG 1997

Elvehøy, H. & Kristensen, S.
1996: Avrenning til inntakene til Svartisen Kraftverk. NVE Rapport nr 19/96. NVE Rapport 14 1996 (16 s).

Elvehøy, H., Haakensen, N., Kennett, M., Kjøllmoen, B., Kohler, J. & Tvede, A.M.
1997: Glasiologiske undersøkelser i Norge 1994 og 1995". NVE-Publikasjon 19 1997 (197 s).

Elvehøy, H., Kohler, J., Engeset, R. & Andreassen, L.M.
1997: Jøkullaup fra Demmevatn, NVE Rapport 17 1997 (36 s).

Elvehøy, H.
1997: Istykkelsesmålinger på Kjerringbotnbreen, Søndre Folgefonna, NVE Rapport 22 1997 (13 s).

Engeset, R., & Schjødt-Osmo, O.
1997: Retrievel of snow information using passive microwave data in Norway. EARSeL Workshop "Remote Sensing of Land Ice and Snow", 17-18 April 1997, Freiburg, Germany, (8 s).

Haakensen, N. (ed.)
1996: Changing glaciers: Field guide to excursions in conjuction with symposium in Fjærland, Norway, June 1996 (132 s).

Kelly,R.E.J., Engeset, R., Kennett, M., Barrett, E.C., & Theakstone, W.
1997: Characteristic snow and ice properties of a Norwegian ice cap determined from complex ERS SAR. The 3rd ERS Symposium (ESA), 18-21 March 1997, Florence, Italy.

Kennett, M., Laumann, T. & Elvehøy, H.
1996: SnowPro – et barometer basert utstyr for profilmåling av snødyp, NVE Rapport 14 1996 (16 s).

Kennett, M., Rolstad, C., Elvehøy, H. & Ruud, E.
1997: Calculation of drainage divides beneath the Svartisen ice-cap using GIS hydrologic tools. Norsk geografisk Tidsskrift, Vol. 51, s. 23 -28.

Kennett, M. & Eiken, T.
1997: Airborne measurement of glacier surface elevation by scanning laser altimeter. Meddelelse nr 100, NVE/Hydrologisk avdeling. Reprint from Annals of Glaciology Vol. 24, s. 293-296.

Kennett, M., Laumann, T. & Kjøllmoen, B.
1997: Predicted response of the calving glacier Svartisheibreen, Norway, and outbursts from it, to future changes in climate and lake level. Meddelelse nr 99, NVE/Hydrologisk avdeling. Reprint from Annals of Glaciology, Vol. 24, s 16-20.

Kjøllmoen, B.
1996: Massebalansemålinger Storsteinsfjellbreen (173.AB6Z) 1991-95. Sluttrapport. NVE Rapport nr 05 1996. NVE/Hydrologisk avdeling (23 s).

Kjøllmoen, B.
1997: Breundersøkelser Langfjordjøkelen. Statusrapport 1989-93. NVE Publikasjon nr 01 1997. NVE/Hydrologisk avdeling (19 s).

Kjøllmoen, B.
1997: Volumendringer på Harbardsbreen 1966-96. NVE Rapport nr 06 1997. NVE/Hydrologisk avdeling (17 s).

Kjøllmoen, B. & Østrem, G.
1997: Storsteinsfjellbreen: Variations in mass balance from the 1960s to the 1990s. Meddelelse nr 97, NVE/Hydrologisk avdeling. Reprint from Geografiska Annaler, Vol. 79 A, No. 3, s. 195-200.

Kohler, J., Jansson P. & Pohjola, V.
1996: Characteristics of basal ice at Engabreen, northern Norway. Annals of Glaciology, Vol 22, s. 114-120.

Kohler, J., Moore, J., Kennett, M. Engeset. R. & Elvehøy, H.
1997: Using ground-penetrating radar to image previous years` summer surfaces for mass-balance measurements. Meddelelse nr 101, NVE/Hydrologisk avdeling. Reprint from Annals of Glaciology Vol. 24, s. 355-360.

Kohler, J.
1997: Forandringer på en bretunge i Dimdalen, Svartisen; observasjoner og modellering. NVE Rapport 20 1997 (12 s).

Schjødt-Osmo. O. & Engeset, R.
1997: Management Remote sensing and snow monitoring: Application to flood forecasting. In: Operational Water, Balkema, Rotterdam, s. 83-87.

Winkler, S., Haakensen, N., Nesje, A. & Rye, N.
1997: Glaziale Dynamik in Westnorwegen – Ablauf unc Ursachen des aktuellen Gletchervorstosses am Jostedalsbreen. Meddelelse nr 96, NVE/Hydrologisk avdeling. Reprint from Petermanns Geographische Mitteilungen, 141, 1991/1, s. 43-63.

Winther, J-G., Elvehøy, H. Bøggild, C.E., Sand, K. & Liston, G.
1996: Melting, runoff and the formation of frozen lakes in a mixed snow and blue ice field in Dronning Maud Land, Antarctica. Journal of Glaciology, 42 (141), s. 271-278.

Winther, J-G., Sand, K., Elvehøy, H. & Bøggild, C.E.
1996: Glaciological measurements in Jutulgryta. Report of the Norwegian Antarctic Research Expedition 1993/94, red. J-G. Winther, Meddelelser no 140, s. 11-17.

Winther, J-G., Sand, K., Elvehøy, H. & Bøggild, C.E.
1996: Surface and sub-surface melting i Dronning Maud Land, Antarctica, In Parlow, E. (red.), Progress in Environmental Remote Sensing Research and Applications (Proceedings of the 15 EARSeL Symposium, Basel, Switzerland), Rotterdam, A.A. Balkema, s. 235-239.

Vedlegg B

Samlet oversikt over massebalansemålingene utført på norske breer.

I perioden 1949-97 er det utført massebalansemålinger på til sammen 35 norske breer. I det følgende er det gitt en oversikt over disse målingene. Den første tabellen viser noen karakteristiske data for de enkelte breene. Deretter følger tabeller som viser årlig vinter- sommer- og nettobalanse samt kumulativ nettobalanse og likevektslinjens høyde for hvert enkelt måleår for hver bre.

No. Glacier	Area km^2	Altitude m a.s.l.	Period	No. of years	Reference	Mapping Year
ÅLFOTBREEN						
1 Ålfotbreen	4.4	890-1380	1963-	35		1968, 1988
2 Hansebreen	2.9	940-1320	1986-	12		1968, 1988
FOLGEFONNA						
3 Blomsterskardsbreen	45.7	850-1640	1970-77	8	Tvede (1972,1978)	
4 Bondhusbreen	10.7	480-1635	1977-81	5		1979
5 Breidablikkbreen and Gråbreen	15.2	1030-1660	1963-68, 1974-75	8		1959
6 Blåbreen and Ruklebreen	4.5	1065-1610	1963-68	6		1959
7 Midtre Folgefonna	8.7	1100-1570	1970-71	2	Tvede (1972)	1959, 1981
JOSTEDALSBREEN						
8 Jostefonn	3.8	960-1615	1996-	2	Andreassen (1998)	1966, 1993 (not printed)
9 Vesledalsbreen	4.2	1130-1730	1967-72	6		1966
10 Tunsbergdalsbreen	50.1	540-1930	1966-72	7		1964
11 Nigardsbreen	47.8	320-1960	1962-	36	Østrem et al (1977)	1964, 1974, 1984
12 Store Supphellebreen	12.0	80-300/ 720-1740	1964-67, 1973-75, 1979-82	11	Orheim (1970 and pers comm)	
13 Austdalsbreen	11.8	1200-1760	1988-	10		1988 (not printed)
14 Spørteggbreen	27.9	1260-1770	1988-91	4	Elvehøy (1993)	1988 (not printed)
15 Harbardsbreen	13.2	1250-1970	1997-	1	Kjøllmoen (1997)	1966, 1996 (not printed)
HARDANGERJØKULEN AREA						
16 Rembesdalsskåkje	17.2	1050-1860	1963-	35		1961 (not printed)
17 Omnsbreen	1.5	1460-1570	1966-70	5	Messel (1971)	1969
JOTUNHEIMEN AREA						
18 Tverråbreen	5.9	1415-2200	1962-63	2	Dybwadskog (1965)	1927.1942
19 Blåbreen	3.6	1550-2150	1962-63	2	Klemsdal (1964)	
20 Storbreen	5.3	1350-2100	1949-	49	Liestøl (1967)	1951, 1968, 1984, 1997
21 Vestre Memurubre	9.0	1570-2230	1968-72	5		1966
22 Austre Memurubre	8.7	1630-2250	1968-72	5		1966
23 Hellstugubreen	3.0	1450-2200	1962-	36	Haakensen (1986)	1941, 1962, 1968, 1980
24 Gråsubreen	2.2	1850-2290	1962-	36	Haakensen (1986)	1968, 1984
SVARTISEN AREA						
25 Austre Okstindbre	14.0	730-1750	1987-96	10	Tvis Knudsen (1995)	1962 (not printed)
26 Høgtuvbreen	2.6	590-1170	1971-77	7		1972
27 Svartisheibreen	5.5	770-1420	1988-94	7	Kjøllmoen and Kennett (1995)	1995 (not printed)
28 Engabreen	38.0	40-1595	1970-	28		1968
29 Storglombreen	59.0	520-1580	1985-88	4		
30 Trollbergdalsbreen	1.8 1.6	900-1375 900-1300	1970-75 1990-94	 11	Kjøllmoen (1995)	1968
SKJOMEN AREA						
31 Blåisen	2.2	850-1200	1963-68	6		1960 (not printed)
32 Storsteinsfjellbreen	6.1 5.9	920-1850 970-1850	1964-68 1991-95	 10	Kjøllmoen (1996)	1960, 1993
33 Cainhavarre	0.7	1210-1540	1965-68	4		1960
FINNMARK						
34 Svartfjelljøkelen	2.7	500-1080	1978	1	Liestøl (pers comm)	
35 Langfjordjøkelen	3.7	280-1050	1989-93 1996-	 7	Kjøllmoen (1997)	1966 (not printed), 1994

1 Ålfotbreen (4.4 km²)

No.of Years	Year	b_w	b_s	b_n	$\sum b_n$	Eq.line
		m		m		M a.s.l.
1	1963	2.48	-3.58	-1.10	-1.10	1300
2	64	2.69	-2.41	0.28	-0.82	1140
3	65	3.64	-3.16	0.48	-0.34	1150
4	66	2.47	-4.08	-1.61	-1.95	>1380
5	67	4.46	-3.18	1.28	-0.67	950
6	68	4.55	-3.60	0.95	0.28	1075
7	69	2.66	-4.83	-2.17	-1.89	>1380
8	1970	2.60	-3.83	-1.23	-3.12	>1380
9	71	4.29	-3.35	0.94	-2.18	1140
10	72	3.81	-3.70	0.11	-2.07	1195
11	73	4.67	-2.49	2.18	0.11	<870
12	74	3.57	-2.54	1.03	1.14	1065
13	75	4.64	-3.43	1.21	2.35	1050
14	76	4.40	-2.87	1.53	3.88	<870
15	77	2.33	-2.89	-0.56	3.32	1280
16	78	2.56	-3.07	-0.51	2.81	1290
17	79	3.28	-3.41	-0.13	2.68	1240
18	1980	2.53	-3.14	-0.61	2.07	1275
19	81	4.04	-3.82	0.22	2.29	1210
20	82	3.35	-3.48	-0.13	2.16	1240
21	83	4.79	-3.19	1.60	3.76	1010
22	84	4.09	-2.77	1.32	5.08	1050
23	85	2.44	-3.00	-0.56	4.52	1290
24	86	2.35	-2.76	-0.41	4.11	1255
25	87	4.29	-2.22	2.07	6.18	870
26	88	2.73	-5.21	-2.48	3.70	1380
27	89	5.20	-2.93	2.27	5.97	1030
28	1990	5.98	-4.18	1.80	7.77	995
29	91	4.09	-3.30	0.79	8.56	1035
30	92	5.48	-3.19	2.29	10.85	1050
31	93	4.81	-2.74	2.07	12.92	<870
32	94	3.71	-2.92	0.79	13.71	925
33	95	5.10	-3.90	1.20	14.91	1120
34	96	1.83	-3.71	-1.88	13.03	>1380
35	97	4.22	-4.14	0.08	13.11	1200
Mean	1963-97	3.72	-3.34	0.37		

2 Hansebreen (2.9 km²)

No.of Years	Year	b_w	b_s	b_n	$\sum b_n$	Eq.line
		m		m		M a.s.l.
1	1986	2.28	-2.87	-0.59	-0.59	1200
2	87	3.76	-2.63	1.13	0.54	1100
3	88	2.50	-5.24	-2.74	-2.20	>1320
4	89	4.13	-3.71	0.42	-1.78	1140
5	1990	4.42	-4.10	0.32	-1.46	1140
6	91	3.37	-3.11	0.26	-1.20	1050
7	92	4.41	-3.43	0.98	-0.22	1125
8	93	4.23	-3.15	1.08	0.86	<925
9	94	3.39	-2.97	0.42	1.28	1120
10	95	4.38	-3.90	0.48	1.76	1140
11	96	1.74	-3.76	-2.02	-0.26	>1320
12	97	3.77	-3.92	-0.15	-0.41	1160
Mean	1986-97	3.53	-3.57	-0.03		

3 Blomsterskardsbreen (45.7 km²)

No.of Years	Year	b_w	b_s	b_n	$\sum b_n$	Eq.line
		m		m		M a.s.l.
1	1970			0.00	0.00	1370
2	71	2.85	-1.87	0.98	0.98	1240
3	72			0.32	1.30	1340
4	73			1.57	2.87	1180
5	74			0.51	3.38	1325
6	75			1.70	5.08	1170
7	76			1.40	6.48	1210
8	77			-1.40	5.08	>1640
Mean	1970-77			0.64		

4 Bondhusbreen (10.7 km²)

No.of Years	Year	b_w	b_s	b_n	$\sum b_n$	Eq.line
		m		m		M a.s.l.
1	77	1.96	-2.96	-1.00	-1.00	1620
2	78	2.37	-2.88	-0.51	-1.51	1540
3	79	2.82	-2.49	0.33	-1.18	1445
4	1980	2.33	-2.78	-0.45	-1.63	1500
5	81	3.32	-2.00	1.32	-0.31	1460
Mean	1977-81	2.56	-2.63	-0.06		

5 Breidablikkbreen and Gråbreen (15.2 km²)

No.of Years	Year	b_w	b_s	b_n	$\sum b_n$	Eq.line
		m		m		m a.s.l.
1	1963[1)]	1.30	-2.30	-1.00	-1.00	1620
2	64	1.99	-1.62	0.34	-0.66	1410
3	65	2.30	-2.26	0.04	-0.62	1480
4	66	1.66	-3.03	-1.37	-1.99	>1660
5	67	3.51	-2.14	1.37	-0.62	1360
6	68	3.42	-2.69	0.72	0.12	1350
8	1974[2)]	2.14	-1.55	0.59	0.59	1380
7	75[2)]	2.62	-2.25	0.37	0.96	1375
Mean	1963-68	2.36	-2.34	0.02		
Mean	1974-75	2.38	-1.90	0.48		

1) Breidablikkbreen only

2) Gråbreen only

6 Blåbreen and Ruklebreen (4.5 km²)

No.of Years	Year	b_w	b_s	b_n	$\sum b_n$	Eq.line
		m		m		m a.s.l.
1	1963[1)]	1.30	-3.40	-2.10	-2.10	1620
2	64	2.18	-1.68	0.50	-1.60	1350
3	65	2.53	-2.48	0.05	-1.55	1450
4	66	1.76	-3.26	-1.50	-3.05	>1620
5	67	3.86	-2.56	1.30	-1.75	1300
6	68	3.18	-2.80	0.37	-1.38	1395
Mean	1970-77	2.47	2.70	-0.23		

1) Blåbreen only

7 Midtre Folgefonna (8.7 km²)

No.of Years	Year	b_w	b_s	b_n	$\sum b_n$	Eq.line
		m		m		m a.s.l.
1	1970	2.07	-2.69	-0.62	-0.62	>1580
2	71	2.33	-1.96	0.37	-0.25	1260
Mean	1970-71	2.20	-2.33	-0.13		

8 Jostefonn (3.8 km²)

No.of Years	Year	b_w	b_s	b_n	$\sum b_n$	Eq.line
		m		m		m a.s.l.
1	1996	1.19	-2.81	1.62	1.62	
2	97	3.45	-3.87	-0.42	1.20	1400
Mean	1996-97	2.32	-3.34	0.60		

9 Vesledalsbreen (4.2 km²)

No.of Years	Year	b_w	b_s	b_n	$\sum b_n$	Eq.line
		m		m		m a.s.l.
1	67	2.06	-1.71	0.35	0.35	1400
2	68	3.14	-2.50	0.64	0.99	1320
3	69	1.26	-3.44	-2.18	-1.19	>1730
4	1970	1.52	-2.66	-1.14	-2.33	>1730
5	71	2.21	-1.80	0.41	-1.92	1375
6	72	1.92	-2.27	-0.35	-2.27	1570
Mean	1967-72	2.02	-2.40	-0.38		

10 Tunsbergdalsbreen (50.1 km²)

No.of Years	Year	b_w	b_s	b_n	$\sum b_n$	Eq.line
		m		m		m a.s.l.
1	66	1.57	-2.66	-1.09	-1.09	1640
2	67	3.31	-1.52	1.79	0.70	1160
3	68	2.74	-2.70	0.04	0.74	1550
4	69	1.53	-3.22	-1.69	-0.95	1700
5	1970	1.54	-2.38	-0.84	-1.79	1590
6	71	2..36	-1.79	0.27	-1.52	1240
8	72	2.02	-2.52	-0.50	-2.02	1490
Mean	1966-72	2.15	-2.40	-0.29		

11 Nigardsbreen (47.8 km²)

No.of Years	Year	b_w	b_s	b_n	$\sum b_n$	Eq.line
		m		m		M a.s.l.
1	1962	2.88	-0.63	2.25	2.25	1260
2	63	1.87	-2.09	-0.22	2.03	1550
3	64	2.13	-1.18	0.95	2.98	1400
4	65	2.29	-1.38	0.91	3.89	1395
5	66	1.76	-2.68	-0.92	2.97	1700
6	67	3.40	-1.24	2.16	5.13	1310
7	68	2.72	-2.50	0.22	5.35	1550
8	69	1.95	-3.26	-1.31	4.04	1850
9	1970	1.73	-2.29	-0.56	3.48	1650
10	71	2.11	-1.29	0.82	4.30	1400
11	72	1.88	-2.02	-0.14	4.16	1570
12	73	2.40	-1.30	1.10	5.26	1410
13	74	2.06	-1.58	0.48	5.74	1490
14	75	2.50	-2.23	0.27	6.01	1450
15	76	2.88	-2.48	0.40	6.41	1540
16	77	1.52	-2.29	-0.77	5.64	1650
17	78	2.12	-2.25	-0.13	5.51	1590
18	79	2.75	-2.04	0.71	6.22	1500
19	1980	1.77	-2.99	-1.22	5.00	1730
20	81	2.19	-1.88	0.31	5.31	1560
21	82	1.94	-2.36	-0.42	4.89	1600
22	83	3.02	-1.93	1.09	5.98	1445
23	84	2.49	-2.15	0.34	6.32	1500
24	85	1.73	-1.95	-0.22	6.10	1590
25	86	1.61	-1.71	-0.10	6.00	1590
26	87	2.73	-1.25	1.48	7.48	1350
27	88	2.24	-3.13	-0.89	6.59	1660
28	89	4.05	-0.85	3.20	9.79	1175
29	1990	3.52	-1.75	1.77	11.56	1430
30	91	1.95	-1.75	0.20	11.76	1520
31	92	3.16	-1.56	1.60	13.36	1360
32	93	3.13	-1.28	1.85	15.21	1300
33	94	2.28	-1.72	0.56	15.77	1400
34	95	3.16	-1.97	1.19	16.96	1325
35	96	1.40	-1.81	-0.41	16.55	1660
36	97	2.66	-2.62	0.04	16.59	1500
Mean	1963-97	2.39	-1.93	0.46		

12 Store Supphellebreen (12.0 km²)

No.of Years	Year	b_w	b_s	b_n	$\sum b_n$	Eq.line
		m		m		m a.s.l.
1	1964	2.20	-1.50	0.70	0.70	1190
2	65	2.32	-1.76	0.56	1.26	1250
3	66	1.63	-2.40	-0.77	0.49	1590
4	67	2.72	-1.50	1.22	1.71	1190
5	73			1.50	1.50	
6	74			0.80	2.30	
7	75			1.00	3.30	
8	79			1.10	1.10	
9	1980			-1.40	-0.30	
10	81			0.20	-0.10	
11	82			-1.70	-1.80	
Mean	1964-67	2.22	-1.79	0.43		
Mean	1973-75			1.10		
Mean	1979-82			-0.45		

13 Austdalsbreen (11.8 km²)

No.of Years	Year	b_w	b_s	b_n	$\sum b_n$	Eq.line
		m		m		m a.s.l.
1	88	1.94	-3.22	-1.28	-1.28	1570
2	89	3.18	-1.34	1.84	0.56	1275
3	1990	3.65	-2.65	1.20	1.76	1310
4	91	1.64	-1.64	0.00	1.76	1435
5	92	2.80	-2.26	0.54	2.30	1375
6	93	2.60	-1.69	0.91	3.21	1350
7	94	1.81	-1.88	-0.07	3.14	1425
8	95	2.72	-2.10	0.62	3.76	1360
9	96	1.20	-2.27	-1.07	2.69	1565
10	97	2.67	-3.20	-0.53	2.16	1450
Mean	1988-97	2.42	-2.21	0.21		

14 Spørteggbreen (27.9 km²)

No.of Years	Year	b_w	b_s	b_n	$\sum b_n$	Eq.line
		m		m		m a.s.l.
1	88	1.61	-3.15	-1.54	-1.54	>1770
2	89	2.76	-1.62	1.14	-0.40	1410
3	1990	3.34	-2.33	1.01	0.61	1390
4	91	1.40	-1.37	0.03	0.64	1540
Mean	1988-91	2.28	-2.12	0.16		

15 Harbardsbreen (13.2 km²)

No.of Years	Year	b_w	b_s	b_n	$\sum b_n$	Eq.line
		m		m		m a.s.l.
1	1997	2.17	-2.72	-0.55	-0.55	

16 Rembesdalsskåkje (17.2 km²)

No.of Years	Year	b_w	b_s	b_n	$\sum b_n$	Eq.line
		m		m		m a.s.l.
1	1963	1.15	-2.55	-1.40	-1.40	>1860
2	64	1.85	-1.31	0.54	-0.86	1620
3	65	2.05	-1.54	0.51	-0.35	1620
4	66	1.60	-2.24	-0.64	-0.99	1750
5	67	2.44	-1.25	1.19	0.20	1540
6	68	2.68	-2.15	0.53	0.73	1600
7	69	1.07	-2.97	-1.90	-1.17	>1860
8	1970	1.29	-1.89	-0.60	-1.77	1780
9	71	2.02	-1.28	0.74	-1.03	1600
10	72	1.78	-1.86	-0.08	-1.11	1650
11	73	2.62	-1.79	0.83	-0.28	1570
12	74	1.91	-1.50	0.41	0.13	1615
13	75	2.25	-2.10	0.15	0.28	1620
14	76	2.45	-2.30	0.15	0.43	1620
15	77	1.20	-1.92	-0.72	-0.29	>1860
16	78	1.80	-2.10	-0.30	-0.59	
17	79	2.40	-2.10	0.30	-0.29	
18	1980	1.45	-2.85	-1.40	-1.69	>1860
19	81	2.65	-1.80	0.85	-0.84	1590
20	82	1.40	-2.10	-0.70	-1.54	1800
21	83	3.75	-2.05	1.70	0.16	1450
22	84	2.05	-2.15	-0.10	0.06	1675
23	85	1.48	-2.00	-0.52	-0.46	1715
24	86	1.47	-1.57	-0.10	-0.56	1670
25	87	2.08	-1.14	0.94	0.38	1535
26	88	1.98	-3.13	-1.15	-0.77	1860
27	89	3.48	-1.37	2.11	1.34	1420
28	1990	3.65	-1.72	1.93	3.27	1450
29	91	1.52	-1.61	-0.09	3.18	1660
30	92	3.71	-1.72	1.99	5.17	1525
31	93	2.82	-0.91	1.91	7.08	1450
32	94	1.79	-1.63	0.16	7.24	1600
33	95	2.44	-2.14	0.30	7.54	1565
34	96	0.99	-2.10	-1.11	6.43	>1860
35	97	2.94	-3.41	-0.47	5.96	1700
Mean	1963-97	2.12	-1.95	0.17		

17 Omnsbreen (1.5 km²)

No.of Years	Year	b_w	b_s	b_n	$\sum b_n$	Eq.line
		m		m		M a.s.l.
1	1966	1.44	-2.28	-0.84	-0.84	
2	67	2.21	-1.72	0.49	-0.35	
3	68	2.20	-2.38	-0.18	-0.53	1520
4	69	1.09	-3.68	-2.59	-3.12	
5	1970	1.12	-2.62	-1.50	-4.62	
Mean	1966-70	1.61	-2.53	-0.92		

18 Tverråbreen (5.9 km²)

No.of Years	Year	b_w	b_s	b_n	$\sum b_n$	Eq.line
		m		m		m a.s.l.
1	1962	2.03	-1.28	0.75	0.75	
2	63	1.24	-2.46	-1.22	-0.47	
Mean	1962-63	1.64	-1.87	-0.24		

19 Blåbreen (3.6 km²)

No.of Years	Year	b_w	b_s	b_n	$\sum b_n$	Eq.line
		m		m		m a.s.l.
1	1962	1.15	-0.35	0.80	0.80	<1550
2	63	0.85	-1.71	-0.86	-0.06	1970
Mean	1962-63	1.00	-1.03	-0.03		

20 Storbeen (5.3 km²)

No.of Years	Year	b_w	b_s	b_n	$\sum b_n$	Eq.line
		m		m		M a.s.l.
1	49	2.28	-2.08	0.20	0.20	1650
2	1950	1.52	-1.81	-0.29	-0.09	1750
3	51	1.13	-1.67	-0.54	-0.63	1770
4	52	1.44	-1.13	0.31	-0.32	1630
5	53	1.40	-2.25	-0.85	-1.17	1850
6	54	1.21	-1.98	-0.77	-1.94	1830
7	55	1.57	-2.06	-0.49	-2.43	1800
8	56	1.31	-1.48	-0.17	-2.60	1705
9	57	1.42	-1.37	0.05	-2.55	1680
10	58	1.54	-1.62	-0.08	-2.63	1700
11	59	1.07	-2.35	-1.28	-3.91	1930
12	1960	0.98	-2.07	-1.09	-5.00	1910
13	61	1.10	-1.62	-0.52	-5.52	1820
14	62	1.54	-0.82	0.72	-4.80	1510
15	63	0.96	-2.14	-1.18	-5.98	1900
16	64	1.16	-0.95	0.21	-5.77	1655
17	65	1.54	-1.20	0.34	-5.43	1650
18	66	1.25	-1.86	-0.61	-6.04	1815
19	67	1.89	-1.17	0.72	-5.32	1570
20	68	1.64	-1.59	0.05	-5.27	1700
21	69	1.22	-2.64	-1.42	-6.69	2020
22	1970	0.97	-1.69	-0.72	-7.41	1840
23	71	1.46	-1.28	0.18	-7.23	1690
24	72	1.39	-1.70	-0.31	-7.54	1770
25	73	1.48	-1.40	0.08	-7.46	1705
26	74	1.26	-1.02	0.24	-7.22	1630
27	75	1.55	-1.70	-0.15	-7.37	1760
28	76	1.81	-1.90	-0.09	-7.46	1740
29	77	0.94	-1.48	-0.54	-8.00	1840
30	78	1.26	-1.70	-0.44	-8.44	1815
31	79	1.55	-1.45	0.10	-8.34	1700
32	1980	0.99	-2.30	-1.31	-9.65	1975
33	81	1.30	-1.40	-0.10	-9.75	1730
34	82	1.28	-1.75	-0.47	-10.22	1780
35	83	1.90	-1.70	0.20	-10.02	1625
36	84	1.70	-2.00	-0.30	-10.32	1760
37	85	1.20	-1.60	-0.40	-10.72	1790
38	86	1.05	-1.37	-0.32	-11.04	1770
39	87	1.55	-1.23	0.32	-10.72	1580
40	88	1.45	-2.40	-0.95	-11.67	1970
41	89	2.30	-1.10	1.20	-10.47	1550
42	1990	2.60	-1.35	1.25	-9.22	1530
43	91	1.26	-1.41	-0.15	-9.37	1740
44	92	1.61	-1.53	0.08	-9.29	1715
45	93	1.81	-1.06	0.75	-8.54	1610
46	94	1.52	-1.77	-0.25	-8.79	1800
47	95	1.77	-1.93	-0.16	-8.95	1810
48	96	0.81	-1.84	-1.03	-9.98	1890
49	97	1.75	-2.78	-1.03	-11.01	1875
Mean	1949-97	1.44	-1.67	-0.22		

21 Vestre Memurubre (9.0 km²)

No.of Years	Year	B_w b_s		b_n	$\sum b_n$	Eq.line
				m		m a.s.l.
1	68	1.70	-1.46	0.24	0.24	1820
2	69	1.05	-2.11	-1.06	-0.82	2170
3	1970	0.84	-1.63	-0.79	-1.61	1990
4	71	1.30	-1.19	0.11	-1.50	1845
5	72	1.19	-1.47	-0.28	-1.78	1885
Mean	1968-72	1.22	-1.57	-0.36		

22 Austre Memurubre (8.7 km²)

No.of Years	Year	b_w	b_s	b_n	$\sum b_n$	Eq.line
		m		m		m a.s.l.
1	68	1.77	-1.76	0.01	0.01	1960
2	69	0.99	-2.45	-1.46	-1.45	2130
3	1970	0.81	-1.71	-0.90	-2.35	2090
4	71	1.33	-1.51	-0.18	-2.53	1960
5	72	1.02	-1.42	-0.40	-2.93	1985
Mean	1968-72	1.18	-1.77	-0.59		

23 Hellstugubreen (3.0 km²)

No.of Years	Year	b_w	b_s	b_n	$\sum b_n$	Eq.line
		m		m		m a.s.l.
1	1962	1.18	-0.40	0.78	0.78	
2	63	0.94	-1.92	-0.98	-0.20	2020
3	64	0.71	-0.83	-0.12	-0.32	1900
4	65	1.29	-0.77	0.52	0.20	1690
5	66	0.95	-1.62	-0.67	-0.47	1940
6	67	1.48	-0.93	0.55	0.08	1800
7	68	1.38	-1.49	-0.11	-0.03	1875
8	69	0.95	-2.23	-1.28	-1.31	2130
9	1970	0.7	-1.70	-1.00	-2.31	2020
10	71	1.12	-1.25	-0.13	-2.44	1860
11	72	0.94	-1.43	-0.49	-2.93	1950
12	73	1.20	-1.41	-0.21	-3.14	1880
13	74	1.00	-0.76	0.24	-2.90	1785
14	75	1.35	-1.71	-0.36	-3.26	1950
15	76	1.16	-1.89	-0.73	-3.99	1970
16	77	0.68	-1.40	-0.72	-4.71	2075
17	78	1.05	-1.59	-0.54	-5.25	1890
18	79	1.43	-1.45	-0.02	-5.27	1820
19	1980	0.81	-2.05	-1.24	-6.51	2050
20	81	1.06	-1.39	-0.33	-6.84	1950
21	82	0.85	-1.20	-0.35	-7.19	1920
22	83	1.47	-1.30	0.17	-7.02	1820
23	84	1.22	-1.73	-0.51	-7.53	1965
24	85	1.11	-1.40	-0.29	-7.82	1880
25	86	0.78	-1.27	-0.49	-8.31	1940
26	87	1.15	-0.70	0.45	-7.86	1690
27	88	1.28	-2.32	-1.04	-8.90	2025
28	89	1.62	-0.90	0.72	-8.18	1660
29	1990	1.81	-1.15	0.66	-7.52	1640
30	91	0.98	-1.43	-0.45	-7.97	1950
31	92	1.17	-1.03	0.14	-7.83	1850
32	93	1.25	-0.95	0.30	-7.53	1670
33	94	1.26	-1.19	0.07	-7.46	1850
34	95	1.42	-1.54	-0.12	-7.58	1885
35	96	0.65	-1.39	-0.74	-8.32	1955
36	97	1.12	-2.77	-1.65	-9.97	2200
Mean	1962-97	1.13	-1.40	-0.28		

24 Gråsubreen (2.2 km²)

No.of Years	Year	b_w	b_s	b_n	$\sum b_n$	Eq.line
		m		m		m a.s.l.
1	1962	0.86	-0.09	0.77	0.77	<1870
2	63	0.40	-1.11	-0.71	0.06	>2275
3	64	0.39	-0.71	-0.32	-0.26	2160
4	65	0.77	-0.36	0.41	0.15	1900
5	66	0.72	-1.01	-0.29	-0.14	2150
6	67	1.45	-0.74	0.71	0.57	<1870
7	68	1.03	-1.11	-0.08	0.49	2140
8	69	0.74	-2.04	-1.30	-0.81	>2275
9	1970	0.57	-1.23	-0.66	-1.47	2200
10	71	0.49	-0.96	-0.47	-1.94	2200
11	72	0.66	-1.30	-0.64	-2.58	2240
12	73	0.72	-1.61	-0.89	-3.47	>2275
13	74	0.58	-0.24	0.34	-3.13	<1870
14	75	0.91	-1.86	-0.95	-4.08	>2275
15	76	0.62	-1.62	-1.00	-5.08	>2275
16	77	0.51	-0.90	-0.39	-5.47	>2275
17	78	0.67	-0.89	-0.22	-5.69	2140
18	79	0.91	-0.87	0.04	-5.65	2025
19	1980	0.46	-1.35	-0.89	-6.54	2225
20	81	0.62	-0.81	-0.19	-6.73	2180
21	82	0.50	-1.01	-0.51	-7.24	>2275
22	83	0.94	-0.99	-0.05	-7.29	2090
23	84	0.98	-1.35	-0.37	-7.66	>2275
24	85	0.75	-0.75	0.00	-7.66	2100
25	86	0.42	-1.18	-0.76	-8.42	>2275
26	87	0.94	-0.22	0.72	-7.70	1870
27	88	1.08	-1.66	-0.58	-8.28	2195
28	89	1.12	-0.67	0.45	-7.83	1870
29	1990	1.33	-0.60	0.73	-7.10	1870
30	91	0.67	-1.19	-0.52	-7.62	1950
31	92	0.70	-0.80	-0.10	-7.72	
32	93	0.93	-0.51	0.42	-7.30	<1850
33	94	1.16	-1.16	0.00	-7.30	2075
34	95	1.19	-1.30	-0.11	-7.41	2180
35	96	0.53	-0.98	-0.45	-7.86	2205
36	97	0.70	-2.39	-1.69	-9.55	>2290
Mean	1962-97	0.78	-1.04	-0.27		

25 Austre Okstindbre (14.0 km²)

No.of Years	Year	b_w	b_s	b_n	$\sum b_n$	Eq.line m a.s.l.
		m		m		
1	87	2.30	-1.60	0.70	0.70	1280
2	88	1.50	-3.40	-1.90	-1.20	<1750
3	89	3.70	-2.20	1.50	0.30	1275
4	1990	3.00	-2.70	0.30	0.60	1310
5	91	1.80	-2.30	-0.50	0.10	1315
6	92	2.88	-1.65	1.23	1.33	1260
7	93	2.22	-2.01	0.21	1.54	1290
8	94	1.45	-1.62	-0.17	1.37	1310
9	95	2.25	-1.79	0.46	1.83	1280
10	96	1.62	-1.92	-0.30	1.53	1330
Mean	1987-96	2.27	-2.12	0.15		

26 Høgtuvbreen (2.6 km²)

No.of Years	Year	b_w	b_s	b_n	$\sum b_n$	Eq.line m a.s.l.
		m		m		
1	1971	3.05	-3.78	-0.73	-0.73	950
2	72	3.34	-4.30	-0.96	-1.69	970
3	73	3.90	-2.82	1.09	-0.60	720
4	74	3.46	-3.68	-0.22	-0.82	900
5	75	3.00	-2.27	0.73	-0.09	760
6	76	3.66	-2.75	0.91	0.82	730
7	77	2.20	-2.72	-0.52	0.30	900
Mean	1971-77	3.23	-3.19	0.04		

27 Svartisheibreen (5.5 km²)

No.of Years	Year	b_w	b_s	b_n	$\sum b_n$	Eq.line m a.s.l.
		m		m		
1	88	2.42	-4.03	-1.61	-1.61	1180
2	89	3.72	-1.36	2.36	0.75	900
3	1990	.3.79	-2.97	0.82	1.57	930
4	91	2.61	-2.44	0.17	1.74	950
5	92	3.89	-2.68	1.21	2.95	900
6	93	3.50	-2.59	0.91	3.86	890
7	94	1.83	-1.85	-0.02	3.84	975
Mean	1988-94	3.11	-2.56	0.55		

28 Engabreen (38.0 km²)

No.of Years	Year	b_w	b_s	b_n	$\sum b_n$	Eq.line m a.s.l.
		m		m		
1	1970	2.05	-3.04	-0.99	-0.99	1280
2	71	3.20	-2.19	1.01	0.02	1070
3	72	3.22	-3.29	-0.07	-0.05	1150
4	73	4.37	-1.65	2.72	2.67	830
5	74	3.39	-2.59	0.80	3.47	1030
6	75	3.18	-1.57	1.61	5.08	960
7	76	3.86	-1.45	2.41	7.49	910
8	77	2.08	-1.20	0.88	8.37	1000
9	78	2.48	-2.99	-0.51	7.86	1250
10	79	3.64	-3.22	0.42	8.28	1130
11	1980	2.68	-3.18	-0.50	7.78	1270
12	81	2.91	-1.93	0.98	8.76	965
13	82	2.27	-1.43	0.84	9.60	1030
14	83	2.34	.1.28	1.06	10.66	1020
15	84	3.83	-2.78	1.05	11.71	1000
16	85	1.50	-2.40	-0.90	10.81	1375
17	86	2.70	-2.45	0.25	11.06	1170
18	87	2.57	-1.63	0.94	12.00	1000
19	88	2.26	-4.05	-1.79	10.21	1400
20	89	4.62	-1.45	3.17	13.38	890
21	1990	3.49	-2.64	0.85	14.23	1035
22	91	2.83	-2.14	0.69	14.92	1090
23	92	4.05	.1.71	2.34	17.26	875
24	93	3.06	-2.02	1.04	18.30	985
25	94	1.95	-1.53	0.42	18.72	1050
26	95	3.50	-1.76	1.74	20.46	940
27	96	2.97	-2.14	0.83	21.29	970
28	97	4.44	-3.22	1.22	22.51	1010
Mean	1970-97	3.05	2.25	0.80		

34 Svartfjelljøkelen (2.7 km²)

No.of Years	Year	b_w	b_s	b_n	$\sum b_n$	Eq.line m a.s.l.
		m		m		
1	1978	2.30	-2-40	-0.10	-0.10	
2	79	2.10				
Mean	1965-68	2.20				

29 Storglombreen (59.0 km²)

No.of Years	Year	b_w	b_s	b_n	$\sum b_n$	Eq.line m a.s.l.
		m		m		
1	1985	1.40	-2.59	-1.19	-1.19	1300
2	86	2.45	-2.87	-0.42	-1.61	1100
3	87	2.32	-1.87	0.45	-1.16	1020
4	88	2.06	-3.88	-1.82	-2.98	1350
Mean	1985-88	2.06	-2.80	-0.75		

30 Trollbergdalsbreen (1.8/1.6 km²)

No.of Years	Year	b_w	b_s	b_n	$\sum b_n$	Eq.line m a.s.l.
		m		m		
1	1970	1.74	-4.21	-2.47	-2.47	>1400
2	71	2.14	-2.47	-0.33	-2.80	1100
3	72	2.44	-3.68	-1.24	-4.04	1160
4	73	3.19	-2.43	0.76	-3.28	<900
5	74	2.57	-2.97	-0.40	-3.68	1095
6	75			-0.28	-3.96	1090
7	1990	2.94	-3.23	-0.29	-0.29	1075
8	91	2.29	-2.45	-0.16	-0.45	1070
9	92	2.63	-2.13	0.50	0.05	<900
10	93	2.45	2.38	0.07	0.12	1060
11	94	1.49	-2.59	-1.10	-0.98	1180
Mean	1970-74(75)	2.42	-3.15	-0.66		
Mean	1974-75	2.36	-2.56	-0.20		

31 Blåisen (2.2 km²)

No.of Years	Year	b_w	b_s	b_n	$\sum b_n$	Eq.line m a.s.l.
		m		m		
1	1963	2.60	-2.40	0.20	0.20	1050
2	64	2.30	-1.67	0.63	0.83	980
3	65	2.00	-1.46	0.54	1.37	960
4	66	1.12	-2.39	-1.27	0.10	>1200
5	67	1.38	-2.35	-0.97	-0.87	1175
6	68	1.62	-1.36	0.26	-0.61	1010
Mean	1963-68	1.84	-1.94	-0.10		

32 Storsteinsfjellbreen (6.1/5.9 km²)

No.of Years	Year	b_w	b_s	b_n	$\sum b_n$	Eq.line m a.s.l.
		m		m		
1	1964	1.85	-1.20	0.65	0.65	1220
2	65	1.69	-1.25	0.44	1.09	1270
3	66	1.05	-1.88	-0.83	0.26	1500
4	67	1.37	-1.77	-0.40	-0.14	1450
5	68	1.44	-0.99	0.45	0.31	1275
6	1991	1.59	-1.63	-0.04	-0.04	1395
7	92	2.21	-1.10	1.11	1.07	1200
8	93	2.10	-1.29	0.81	1.88	1200
9	94	1.15	-1.35	-0.20	1.68	1375
10	95	1.81	-1.24	0.57	2.25	1290
Mean	1964-68	1.48	-1.42	0.06		
Mean	1991-95	1.77	-1.32	0.45		

33 Cainhavarre (0.7 km²)

No.of Years	Year	b_w	b_s	b_n	$\sum b_n$	Eq.line m a.s.l.
		m		m		
1	1965	1.41	-1.20	0.21	0.21	1300
2	66	1.12	-2.07	-0.95	-0.74	>1550
3	67	1.63	-1.79	-0.16	-0.90	1450
4	68	1.31	-1.05	0.26	-0.64	1290
Mean	1965-68	1.37	-1.53	-0.16		

35 Langfjordjøkelen (3.7 km²)

No.of Years	Year	b_w	b_s	b_n	$\sum b_n$	Eq.line m a.s.l.
		m		m		
1	89	2.40	-2.96	-0.56	-0.56	870
2	1990	2.74	-3.06	-0.32	-0.88	780
3	91	2.31	-2.31	0.00	-0.88	710
4	92	2.68	-2.49	0.19	-0.69	700
5	93	2.55	-2.35	0.20	-0.49	720
6	1996	2.25	-2.23	0.02	0.02	680
7	97	2.65	-3.34	-0.69	-0.67	820
Mean	1989-93	2.54	2.63	-0.10		
Mean	1996-97	2.45	2.79	-0.79		

Denne serien utgis av Norges vassdrags- og energiverk (NVE)
Adresse: Postboks 5091 Majorstua, 0301 Oslo

I 1998 ER FØLGENDE RAPPORTER UTGITT:

Nr 1 Oslo Energi Konsult: Sluttbrukertiltak og lokal kraftsystemplanlegging. (55 s.)

Nr 2 Halfdan Benjaminsen, Jim Bogen, Truls Erik Bønsnes: Suldalslågens sedimentkilder. Fotoregistrering 1997 (149 s.)

Nr 3 Liss M. Andreassen: Volumendringer på Jostefonn 1966 - 93 (10 s.)

Nr 4 Tharan Fergus og Jim Bogen: Bunntransport i vassdrag - en gjennomgang av internasjonal litteratur (50s.)

Nr 5 Olvar Bergland: Verdsetjing av estetiske verdiar i tilknytning til tersklar i regulerte vassdrag. (69 s.)

Nr 6 Rolv Bjelland: KONTROLLBESØK 1997 Rapport fra NVEs kontrollbesøk ved 15 energiverk våren 1997 (10s.)

Nr 7 Inger Sætrang (red): Statistikk over overføringstariffer (nettleie) i regional- og distribusjonsnettet 1998 (64 s.)

Nr 8 Hilleborg Konnestad Sorteberg: Regional breovervåking i Sør-Norge 1997 (21 s.)

Nr 9 Hans Otnes, Frode Trengereid og Sjur Bjerkli: Årsrapport for Norges vassdrags- og energiverks(NVEs) havarigruppe (21 s.)

Nr 10 Randi Pytte Asvall, Ånund S. Kvambekk: Vanntemperatur- og isforhold i Jostedalen Virkninger av vannkraftutbyggingene i vassdraget (104 s.)

Nr 11 Thomas Skaugen: Studie av skillettemperaturen for snø ved hjelp av samlokaliserte snøpute, nedbør og temperaturdata (13 s.)

Nr 12 Jack Kohler: The Effect of Subglacial Intakes on Ice Dynamics at Engabreen (47 s.)

Nr 13 Hervé Colleuille og Nils-Otto Kitterød: 2D simulering av strømningsforholdene i løsmassene på Sundreøya i Ål kommune. Oppdragsrapport. (55 s.)

Nr 14 Hervé Colleuille og Tor Simon Pedersen: Grunnvannsundersøkelser på Otta. Forenkling av grunnvannsmålinger. Oppdragsrapport. (16 s.)

Nr 15 John G. Martinsen: Undersøkelse og vurdering av nødstrømsberedskapen i Norge (12 s.)

Nr 16 Eva Widenoja, Heidi Hemstad: Estetiske hensyn ved valg av kraftledningsmaster (65 s.)

Nr 17 Ketil Grasto: Kompensasjon for ikke levert energi. Forslag til regelverk.

Nr 18 Hervé Colleuille og Nils-Otto Kitterød: Forurensning av drikkevannsbrønn på Sundreøya i Ål kommune. Resultat av sporstoff-forsøk. (22 s.)

Nr 19 Asle Selfors og Siv Sannem: Vindkraft - en generell innføring (40 s.)

Nr 20 Bjarne Kjøllmoen (red.) Glasiologiske undersøkelser i Norge 1996 og 1997 (134 s.)

Norges vassdrags- og energiverk

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

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

NORGES VASSDRAGS-
OG ENERGIDIREKTORAT
72026763