

NVE NORGES VASSDRAGS-OG ENERGIVERK

Hallgeir Elvehøy Nils Haakensen Mike Kennett Bjarne Kjøllmoen Jack Kohler Arve M. Tvede

GLASIOLOGISKE UNDERSØKELSER I NORGE 1994 OG 1995



HYDROLOGISK AVDELING

Omslagsbilde

Engabreen er en av de mest kjente utløperne fra Vestre Svartisen. Breen har gått sterkt tilbake i vårt århundre, og i 1996 er brefronten omtrent 1.5 km lenger tilbake enn den var i 1931 da tilbakegangen startet. Siden 1992 har imidlertid breen gått fram ca 160 meter. Bildet er tatt en klar høstdag i 1993. Foto: Bjarne Kjøllmoen

Engabreen is one of the best known outlet glaciers from the Vestre Svartisen icecap. The glacier has retreated strongly in this century, and in 1996 the front position is about 1.5 km further back from its position in 1931, when the retreat started. However, since 1992, the glacier has advanced approximately 160 meters. The photo is taken on a clear day in September 1993. Photo: Bjarne Kjøllmoen

NORGES VASSDRAGS- OG ENERGIVERK

Forfattere: Hallgeir Elvehøy, Nils Haakensen, Mike Kennett, Bjarne Kjøllmoen, Jack Kohler, Arve M. Tvede

GLASIOLOGISKE UNDERSØKELSER I NORGE 1994 OG 1995

NVE-Publikasjon nr 19 fra HYDROLOGISK AVDELING 1997



TITTEL Glasiologiske undersøkelser i Norge 1994 og 1995	PUBLIKASJON 19/1997
	DATO August 1997
FORFATTER Hallgeir Elvehøy, Nils Haakensen, Mike Kennett, Bjarne	ISBN 82-410-0309-9
Kjøllmoen, Jack Kohler og Arve M. Tvede	ISSN 0802-2569

SAMMENDRAG

Resultatene fra NVEs glasiologiske undersøkelser i 1994 og 1995 er samlet i denne rapporten. Hoveddelen av rapporten omhandler massebalanseundersøkelser. I 1994 ble vinterbalansen liten over hele landet med unntak av Jotunheimen. Sommerbalansen ble generelt mindre enn middels og de fleste breene hadde nettobalanse rundt null. I 1995 ble vinterbalansen relativt stor på alle breene, mens sommerbalansen ble liten i Nord-Norge og litt over middels i Sør-Norge. Bortsett fra breene i Jotunheimen ble det klart overskudd på alle andre breer i 1995. Resultatet av frontmålinger i 1994 og 1995 er presentert for 11 breer. Overvåkning av rasfaren på Baklibreen er omtalt, og resultater av hastighetsmålinger og overflateendringer er presentert for 3 breer. Sammendrag fra 4 sluttrapporter er også med i denne rapporten.

ABSTRACT

Results of glaciological investigations performed by NVE in 1994 and 1995 are presented. The main part of the report concerns mass balance investigations. In 1994, winter balance was low for most Norwegian glaciers, with the exception of Jotunheimen. Summer balance was below average and net balance was near zero for most glaciers. In 1995, winter balance was relatively high while summer balance was low in Northern Norway and somewhat above average in Southern Norway. Except for glaciers in Jotunheimen, all glaciers had a surplus in 1995. Front position measurements in 1994 and 1995 are presented for 11 glaciers. Monitoring for possible avalanches on Baklibreen is described, and results of ice motion and change in surface topography are presented for 3 glaciers. Abstracts from 4 final reports are also included in this report. The results are presented in tables and diagrams, which have extended English captions. There is also an English Summary after each chapter.

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

Arne Tollan avd.direktør

Kontoradresse: Middelthunsgate 29 Postadresse: Postboks 5091, Maj. 0301 Oslo Telefon: 22 95 95 95 Telefax: 22 95 90 00 Bankgiro: 6003 06 04221 Postgiro: 0803 5052055

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 en rapport.

Denne publikasjonen er utarbeidet på grunnlag av en rekke notater om forskjellige undersøkelser på de enkelte breene. Massebalansemålinger, hastighetsmålinger og mange 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 rapporten er å gi en presentasjon av undersøkelser og beregninger som Seksjon Bre og Snø har utført i 1994 og 1995. 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 resultat av samarbeid mellom ansatte ved Seksjon Bre og Snø, både i felt og på kontoret.

Oslo, august 1997

peir Ehrly

Hallgeir Elvehøy fung. seksjonssjef

INNHOLDSFORTEGNELSE

1.

MASSE	BALANSEMÅLINGER I NORGE 1994-95
1.1	Metode
1.2	Måleprogram og oversikt over målingene
1.3	Værforholdene - oversikt over massebalanseresultater
1.4	English summary
Å LEOTE	

	1.4	English summary
2	ÅI FO	TBREEN (086 6C1B)
2.	2.1	Massabalanse 1001
	2.1	Massebalarise 1994
	2.2	
	2.3	En commentioning mellem Ålfetbroop og Hencebroop
	2.4	
	2.5	Sammendrag
	2.6	
	2.7	English summary
3.	SØND	RE FOLGEFONNA (042.Z)
	3.1	Volumendringer 1959-95
	3.2	English summary
A	NICAR	
4.	1 1 1 1	Massabalansa 1004
	4.0	Massebalanse 1994
	4.2	Iviassesiaianse 1930
	4.3	rionposisjon
	4.4	
	4.5	English summary
5.	TUNS	BERGDALSBREEN (076.BC)
	5.1	Massebalanse 1994 og 1995
	5.2	English summary
6	RAKU	BREEN (076 DZ)
0.	61	Resoven/åking
	6.2	Finalish summany
	0.2	English summary
7.	AUSTI	DALSBREEN (076.H)
	7.1	Massebalanse 1994
	7.2	Massebalanse 1995
	7.3	Frontposisjonendring
	7.4	Brerørsle
	7.5	Endring i overflatehøgde
	7.6	English summary
0		
о.		ΔΙΟΣΙΑυσιουτοι 100.40 ΙΔ
	0.1	19185555510111155 1994
	8.2	Massepalarise 1995
	8.3	English summary
9.	STOR	BREEN (002.DHBBZ)
	9.1	Massebalanse 1994
	9.2	Massebalanse 1995
	9.3	Frontposisjon
	9.4	English summary
10	טכוומ	
10.		Manapalanaa 1004
	10.1	
	10.2	Midsseparatise 1990
	10.3	Frontposisjon
	10.4	English summary

Side

3

3 3 6

11.	GRÅS	UBREEN (002.DGDC)	93
	11.1	Massebalanse 1994	93
	11.2	Massebalanse 1995	96
	11.3	English summary	99
12.	AUSTE	RE OKSTINDBREEN (155.4G)	102
	12.1	Massebalanse 1994	102
	12.2	Massebalanse 1995	106
	12.3	Avløpsmålinger	110
	12.4	Bevegelsesmålinger	111
	12.5	English summary	112
13	SVAR	TISHEIBREEN (159 334)	111
10.	13.1	Massebalanse 1004	114
	12.7	Probovogolso	117
12.2	Frontn	Diebevegeise	117
13.5	12.4	Vanatand Lleioveta	110
	13.4	Provedense la la constance de	119
	13.5	Breundersøkelser 1988-94	120
	13.6 13.7	Breundersøkelser 1995 English summary	121
		_ ;	-
14.	ENGA	BREEN (159.81)	126
	14.1	Massebalanse 1994	126
	14.2	Massebalanse 1995	130
	14.3	Hastighetsmålinger	134
	14.4	Variasjoner i brefronten og istykkelse på tungen 1990-95	152
	14.5	Sporstoffmålinger med farge 1993-94	157
	14.6	English summary	157
15			166
15.		DERGDALSDREEN (101.F)	100
	10.1	Massebalarise 1994	100
	15.2	Massebalanse 1990-94	108
	15.5	English summary.	171
16.	DREN	ERINGSGRENSER FOR INNTAKENE TIL SVARTISEN KRAFTVERK	172
	16.1	Datagrunnlag	172
	16.2	Metode	172
	16.3	Resultater og konklusjoner	174
	16.4	English summary	175
17	STOP		176
	17 4	Massahalansa 1004	170
	17.1		170
	17.2	Massebalanse 1995	1/8
	17.3	Massedalanse 1991-95	181
	17.4	English summary	184
18.	FRON	TPOSISJONENDRINGAR 1900-95	186
	18.1	Metode	186
	18.2	Historikk	186
	18.3	Generelle trekk i frontposisionendringane	187
	18.4	Frontposisionmålingar 1986-95	188
	18.5	English summary	189
10			400
19.	KEFEF	(AIN)ER	190
20.	VEDLE	EGG	193
	A:	Publikasjoner/rapporter/artikler 1994 og 1995	193
	B :	Frontposisjonmålinger	195

1 MASSEBALANSEMÅLINGER I NORGE 1994-95

1.1 METODE

Metodikken for massebalansemålingene er stort sett den samme som tidligere år (Østrem & Stanley 1969, Østrem & Brugman 1971). På grunn av lange måleserier og økende detaljkunnskap er omfanget av målingene blitt noe redusert de siste femseks 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. Under likevektslinjen er nettobalansen negativ. Det betyr at det smelter mer snø og is om sommeren enn det kommer snø i løpet av vinteren. Over likevektslinjen er nettobalansen 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 datavariable 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 OG OVERSIKT OVER MÅLINGENE

I 1994 ble massebalansen målt på 13 breer i Norge - åtte i Syd-Norge og fem i Nord-Norge. I 1995 fortsatte målingene på de samme åtte breene i Syd-Norge, mens det bare ble målt på tre breer i Nord-Norge. De undersøkte breenes beliggenhet samt måleserienes lengde er vist i figur 1-1. På seks av breene i Syd-Norge har massebalansen vært målt i 33 år eller mer. Lengst måleserie har Storbreen med 47 år. Engabreen i Nordland har vært målt i 26 år.



Mass balance measurements in Norway 1994 and 1995

- 1 Alfotbreen, 1963-
- 2 Nigardsbreen, 1962-
- 3 Tunsbergdalsbreen, *1966-72
- 4 Austdalsbreen, 1988-
- 5 Hardangerjøkulen, 1963-
- 6 Storbreen, 1949-
- 7 Hellstugubreen, 1962-
- 8 Gråsubreen, 1962-
- 9 Austre Okstindbre, 1986-
- 10 Svartisheibreen, 1988-94
- 11 Engabreen, 1970-
- 12 Trollbergdalsbreen, 1970-74 and 1990-94
- 13 Storsteinsfjellbreen, 1964-68 and 1991-95
- Figur 1-1 Kart som viser beliggenheten av de breer der massebalansemålinger ble utført i 1994 og 1995. (For Tunsbergdalsbreen er resultatene beregnet på grunnlag av målinger gjort på Nigardsbreen.)

Location map showing glaciers where mass balance investigations were performed in 1994 and 1995.

Bortsett fra målingene på Austre Okstindbre i Nordland, som utføres av Geologisk Institut ved Aarhus Universitetet, utføres alle de andre massebalansemålingene av NVE. Mange av undersøkelsene ble startet og blir fremdeles drevet pga. vannkraftutbygging i breenes nedbørfelt eller målingene er konsesjonspålagt et allerede utbygget kraftverk for en kortere eller lengere periode. Dette gjelder foruten Ålfotbreen også Nigardsbreen og Austdalsbreen på Jostedalsbreen, Hardangerjøkulen og dessuten breene i Svartisenområdet. Målingene i Jotunheimen derimot er av ren forvaltningsmessig karakter.

På Ålfotbreen i Nordfjord utføres målingene på to nordvendte brearmer. På den ene brearmen har undersøkelsene pågått siden 1963, på den andre siden 1986. Målingene er konsesjonspålagt Sogn og Fjordane Energiverk i forbindelse med kraftutbygging i området.

Målingene på Nigardsbreen i indre Sogn, en sydøstlig utløper fra Jostedalsbreen, har pågått siden 1962 og er nå konsesjonspålagt Statkraft ved Leirdøla Kraftverk. I forbindelse med Jostedalsutbyggingen(Statkraft) ble det startet massebalanse- og bevegelsesmålinger på Austdalsbreen helt øverst i Jostedalen i 1988.

På Hardangerjøkulen utføres massebalansemålingene på Rembesdalsskåkje, en vestlig utløper som drenerer ned til Simadalen i Hardanger. Målingene, som har pågått siden 1963, er konsesjonspålagt Statkraft ved Eidfjordanleggene.

I Jotunheimen startet Norsk Polarinstitutt massebalansemålinger på Storbreen i 1949. Måleserien derfra er den lengste i Norge. På Hellstugubreen og Gråsubreen startet målingene i 1962 og drives nå som rene forvaltningsprosjekter.

De undersøkte breene i Syd-Norge er meget forskjellige og representerer et vest-øst gående profil fra den meget maritime Ålfotbreen (og Hansebreen) i ytre Nordfjord med gjennomsnittlig vinterakkumulasjon på rundt 3,75 m vannekvivalenter på den ene siden til den svært kontinentale Gråsubreen i Øst-Jotunheimen, der midlere vinterakkumulasjon er under 0,8 m vannekvivalenter, på den annen side. Mellom disse ligger Nigardsbreen og Austdalsbreen som også må karakteriseres som maritime, Hardangerjøkulen som er en slags intermediær type og til slutt breene i Jotunheimen med Storbreen og i enda større grad Hellstugubreen som eksempler på kontinentale breer.

De undersøkte breene i Nord-Norge ligger alle i Nordland. De er ikke så ulike som breene i Syd-Norge. Det ble ikke utført bremålinger i Troms eller Finnmark i 1994 eller 1995 etter at målingene på Langfjordjøkulen ble foreløbig avsluttet i 1993.

På Austre Okstindbre, som ligger sørøst for Svartisen og nær vannskillet mot Sverige, har Geologisk Institut ved Aarhus Universitet drevet undervisning og forskning siden 1987. Det er blant annet gjort omfattende massebalansemålinger og bevegelsesmålinger samt avløpsmålinger.

I Svartisenområdet har det vært målt på Engabreen, Svartisheibreen og Trollbergdalsbreen. Den lengste måleserien i Nord-Norge er fra Engabreen og går tilbake til 1970. På Trollbergdalsbreen i Beiarn ble det gjort massebalansemålinger i årene 1970-75 og 1990-94, men de er nå avsluttet. På Svartisheibreen startet målingene, som omfattet massebalanse- og bevegelsesmålinger, i 1988 og ble avsluttet i 1994. I tillegg har det vært utført massebalansemålinger på Høgtuvbreen i en periode på 1970-tallet og på Storglombreen en periode på 1980-tallet. Alle disse målingene ble utført i forbindelse med kraftutbyggingen i området. Målingene på Engabreen er nå konsesjonspålagt Statkraft i forbindelse med Svartisutbyggingen.

På Storsteinsfjellbreen i Skjomen ble det utført massebalansemålinger i perioden 1964-68 som forundersøkelser for kraftutbygging. Målingene ble gjenopptatt i 1991 som et konsesjonspålegg til Skjomenverkene (Statkraft) og pågikk fram til 1995. Denne breen er den nordligste og mest kontinentale av de undersøkte breene i Nord-Norge. Midlere vinterbalanse er omtrent halvparten av den på Engabreen.

I det etterfølgende refereres samtlige massebalansemålinger på norske breer i 1994 og 1995. Vassdragsnummeret i følge 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 fremstillet 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 12 norske breer i 1995. 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.

Foruten dette er det for Engabreen presentert resultatene fra noen av de spesialundersøkelsene som er gjort i forbindelse med Svartisen Subglaciale Laboratorium samt bevegelsesmålinger som er utført på bretungen på Engabreen.

1.3 VÆRFORHOLDENE - OVERSIKT OVER MASSEBALANSERESULTATER

<u>Året 1994</u>

Vinteren 1994 ble i de fleste breområdene den nedbørfattigste siden 1988. Relativt minst nedbør fikk Nord-Norge, og relativt mest fikk de østligste områdene i Syd-Norge.

I Syd-Norge var hele høsten preget av østavær med lite nedbør. Både i september, oktober og november fikk mange steder i breområdene bare rundt 50% av normal

nedbørmengde. Østlandet derimot fikk relativt mye nedbør, og det medførte at breene i Øst-Jotunheimen (Hellstugubreen og særlig Gråsubreen) fikk relativt mye sne. Desember og januar var derimot preget av stor lavtrykksaktivitet med vestavær og mye nedbør - opp mot 200% av normalt og forholdsvis mest i vest. På de vestligste breene kom en vesentlig del av årets akkumulasjon i løpet av disse to månedene. I februar var det nesten ikke nedbør (OL-været), mens mars og april hadde mer enn normal nedbørmengde. På våren er det imidlertid normalt lite nedbør, så et nedbøroverskudd på den tiden betyr ikke så mye.

Nord-Norge var i enda sterkere grad preget av østavær og lite nedbør. Bortsett fra oktober og april var nedbøren i breområdene et betydelig under normalt i samtlige vintermåneder. Både september og februar, stedvis også desember og januar, hadde tillike under 50% av normal nedbør.

Denne vinteren resulterte dermed i en vinterbalanse som lå nær eller litt under middelverdien på de vestlige breene i Syd-Norge og over middelverdien på de østlige. Særlig mye hadde Gråsubreen med 153% av av middelverdien av 33 års målinger. Prosentvis minst hadde Hardangerjøkulen med 84%. I Nord-Norge var akkumulasjonen 55-70% av middelverdien. For Engabreen var akkumulasjonen i 1994 bare 65% av middelverdien for en måleserie på 25 år. Bare i 1985 er det blitt målt lavere vinterbalanse på Engabreen..

Sommeren 1994, som av fleste ble ansett som en rekordvarm sommer, ble imidlertid svært ordinær sett med glasiologiske øyne. Den fine juli-måneden ble mer enn kompensert av en dårlig juni som var svært kald og fuktig over det meste av landet. Verst var forholdene i fjellområdene i Syd-Norge og på indre strøk av Vestlandet der temperaturen var 2,5 - 3,5°C under normalt og nedbøren var 2-300% av normalen. Flere steder på Vestlandet hadde nedbørrekord, og dessuten må man enkelte steder helt tilbake til 1952 for å finne en kaldere juni måned. Også i Nord-Norge var juni kald og våt, men forholdene var ikke så ekstreme som i Syd-Norge.

Det kalde været førte til svært lite smelting i juni. I stedet var det hyppige snefall, og snemengden på enkelte av breene økte i løpet av måneden. Juli derimot ble en svært varm, og stedvis meget tørr måned. Enkelte steder var det den varmeste juli siden 1901 og den tørreste siden 1904. Breområdene i Syd-Norge hadde et temperaturoverskudd på 3-4°C, og nedbøren var rundt 50% av normalt. I Nord-Norge var forholdene mer normale. I august var temperaturen nær eller litt over normalt i hele landet. I Syd-Norge ble sommeren som helhet (juni-august) dermed i nærheten av en middelsommer både temperatur- og nedbørmessig. I Nord-Norge var sommeren kald. Glasiologisk ble det imidlertid en dårlig sommer med relativt lite smelting de fleste steder. Stadige snefall i hele juni førte til akkumulasjon i stedet for smelting svært mange steder, og ablasjonssesongen ble derfor kort. Smeltingen startet ikke fra breene før i begynnelsen av juli.

I Syd-Norge var sommerbalansen 80-90% av middelverdien i vest og rundt middels i Jotunheimen. I Nord-Norge var sommerbalansen 60-90% av middels. Engabreen, som har lengst måleserie, hadde 68% av midlere sommerbalanse.

Glacier	Measuring	Area	b _w	% of	b _s	% of	b _n	b _n	ELA
	period			average		average		middle	
Ålfotbreen	1963-94	4.8	3.70	99	2.92	88	0.78	0.42	925
Hansebreen	1986-94	3.3	3.39	93	2.97	84	0.42	0.11	1120
Nigardsbreen	1962-94	47.8	2.28	95	1.72	90	0.56	0.48	1400
Austdalsbreen*	1988-94	11.6	1.81	69	1.88	90	- 0.07	0.54	1425
Hardangerjøkulen	1963-94	17.2	1.79	84	1.63	86	0.16	0.23	1600
Storbreen	1949-94	5.3	1.52	106	1.77	109	- 0.25	- 0.19	1800
Hellstugubreen	1962-94	3.0	1.29	114	1.10	81	0.19	- 0.24	1850
Gråsubreen	1962-94	2.2	1.16	153	1.16	117	0.00	- 0.23	
Austre Okstindbre**	1987-94	14.0	1.45	58	1.62	72	- 0.17	0.22	1300
Svartisheibreen	1988-94	5.5	1.83	55	1.85	69	- 0.02	0.64	975
Engabreen	1970-94	38.0	1.95	65	1.53	68	0.42	0.75	1050
Trollbergdalsbreen	1970-75, 90-94	1.6	1.49	59	2.59	91	- 1.10	- 0.33	1180
Storsteinsfjellbreen	1964-68, 91-94	5.9	1.15	70	1.35	99	- 0.20	0.28	1375

Mass balance results 1994

* kalving utgjør 0.30 m av bs

** utført av Universitetet i Århus

Review of the results from mass balance measurements performed in Norway 1994. The first two columns indicate the observation period and the glacier area. Further b_w , b_s og b_n are winter, summer, and net balance respectively in water equivalents evenly distributed over the total glacier area. The percentage is the present years result in percent of the mean of previous years measurements. Net balance is compared with the mean value of previous years measurements. ELA indicate equilibrium line altitude.

For de fleste breene var avviket fra normalen det samme både for vinter- og sommerbalansen, og dette resulterte i at de fleste var tilnærmet i balanse. Seks av de målte breene hadde overskudd og seks hadde underskudd. Størst positivt avvik hadde Ålfotbreen og størst negativt avvik hadde Trollbergdalsbreen. (Se tabell 1-1)

Året 1995

Vinteren 1994-95 ble en ny vinter med relativt stor vinternedbør i hele landet. Det kom forholdsvis mest nedbør i Syd-Norge.

Tabell 1-1Resultater av massebalansemålinger i Norge 1994. bw, bs og bn står for hhv. vinter-,
sommer- og nettobalansen målt i meter vannekvivalenter jevnt fordelt på hele breens
overflate, % av middel betyr årets resultat i prosent av middelverdien for de tidligere
årene det er gjort målinger. Nettobalansen sammenlignes med midlere nettobalanse
på samme måte. ELA er likevektslinjens høyde. Venstre kolonne viser måleseriens
lengde.

I Syd-Norge startet akkumulasjonen på breene i slutten av september (på Ålfotbreen først i oktober) uten at det kom alt for store snemengder. Oktober var en kald og relativt tørr måned i hele Syd-Norge. Resten av vinteren ble så preget av vestavær med relativt høye temparaturer og mye nedbør. Samtlige måneder fra november til april hadde nedbør over normalt. November og desember hadde mye nedbør, spesielt i høyere strøk som hadde opp mot 150% av normalen. Januar fortsatte på samme måte - spesielt Øst-Jotunheimen fikk mye nedbør. Februar hadde opp til 300% av normalen, mens både mars og april hadde 100-150% av normal nedbør. På våren er det midlertid normalt lite nedbør, så et overskudd da betyr lite i absoluttverdier.

I Nord-Norge (Nordland) startet vinteren med lite nedbør i september. Oktober, november og desember hadde nedbør litt over det normale, mens januar hadde litt under. Februar og mars ble begge nedbørike med nedbør på 150-200% av normalen, relativt mest i Skjomen-området. April hadde mye nedbør i kystområdene, men bare rundt 50% i grenseområdene.

Glacier	Period	Area	b _w	% of average	b _s	% of average	b _n	b _n middle	ELA
Ålfotbreen	1963-95	4.8	5.10	136	- 3.90	118	1.20	0.43	1125
Hansebreen	1986-95	3.3	4.38	121	- 3,90	112	0.48	0.18	1140
Nigardsbreen	1962-95	47.8	3.16	132	- 1.97	103	1.19	0.48	1320
Austdalsbreen*	1988-95	11.6	2.72	108	- 2.10	101	0.62	0.45	1360
Hardangerjøkulen	1963-95	17.2	2.44	115	- 2.14	113	0.30	0.23	1575
Storbreen	1949-95	5.3	1.77	123	- 1.30	118	- 0.16	- 0.19	1810
Hellstugubreen	1962-95	3.0 *	1.42	126	- 1.54	113	- 0.12	- 0.22	1885
Gråsubreen	1962-95	2.2	1.19	153	- 1.30	130	- 0.11	- 0.22	2180
Austre Okstindbre**	1987-95	14.0	2.25	95	- 1.79	82	0.46	0.17	1275
Engabreen	1970-95	38.0	3.50	117	- 1.76	79	1.74	0.79	940
Storsteinsfjellbreen	1964-68, 91-95	5.9	1.81	103	- 1.24	93	0.57	0.42	1380

Mass balance reults 1995

* kalving utgjør 0.28 m av b,

** utført av Århus Universitetet

Tabell 1-2Resultater av massebalansemålinger i Norge 1995. De to første kolonnene viser måle-
seriens lengde og breens areal. b_w, b_s og b_n er hhv. vinter-, sommer- og nettobalansen
målt i meter vann jevnt fordelt på hele breens overflate. % av middel er årets resultat i
prosent av middel-verdien for de foregående årene det er gjort målinger. Nettobalansen
sammenlignes med midlere nettobalanse på samme måte. ELA er likevektslinjens høyde.

Review of the results from mass balance measurements performed in Norway 1995 showing the observation period and the glacier area. Further b_w , b_s og b_n are winter, summer, and net balance respectively in water equivalents evenly distributed of the total glacier arsea. The percentage is the present years result in percent of the mean of previous years measurements. Net balance is compared with the mean value of previous years. ELA is equilibrium line altitude. Vinteren 1994-95 resulterte dermed i en vintebalanse som var godt over normalt på samtlige breer i Syd-Norge. Relativt størst var akkumulasjonen i Øst-Jotunheimen med 153% på Gråsubreen, som var nøyaktig det samme som i det foregående år. I Nord-Norge hadde Engabreen 117% av middel, mens Austre Okstindbre og Storsteinsfjellbreen, som er mer kontinentale, hadde normal vinterakkumulasjon.

I Syd-Norge steg så temperaturen 10-15°C på få dager i slutten av mai. Dette førte til sterk snesmelting, og sammen med mye nedbør førte dette til storflom i de fleste større vassdragene på Østlandet. Juni og juli hadde temperaturer nær eller litt over det normale, mens august var 1-2°C varmere enn normalt i fjellområdene.

I Nord-Norge derimot kan sommeren 1995 enkelt beskrives som kald og fuktig. Både mai, juni, juli og august hadde temperatur som var 1-2°C under normalt. Nedbøren var godt over normalt - i juni og august tillike nesten 200%.

Dette resulterte i en sommerbalanse som var over normalt på alle breer i Syd-Norge, størst på Gråsubreen med 130 % av middel. På de målte breene i Nordland var sommerbalansen bare rundt 80% av middelverdien - prosentvis størst i Skjomen.

For de maritime breene i Syd-Norge var overskuddet i akkumulasjon større enn overskuddet i ablasjon, og de endte opp med et tildels betydlig masseoverskudd, størst på de maritime breene. Breene i Jotunheimen endte derimot opp med et lite underskudd. I Nord-Norge ble det et relativt stort overskudd, og det må i stor grad tilskrives en dårlig sommer med liten ablasjon. Størst var overskuddet på Engabreen med 1,74 m vannekvivalenter.

1.4 ENGLISH SUMMARY

<u>Methods</u>

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 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 measurements are used as controls for probing. Since the stakes can occasionally be snowed under in particularly snow-rich winters, and since it is often difficult to distinguish the summer surface (s.s.) by probing alone, snow cores are also used as controls. Snow density is measured at one or two places 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

negative, meaning that more snow and ice melts during a given summer than accumulates during the winter. Above the equilibrium line, in the accumulation area, the net balance is positive. Snow density in the remaining snow in the accumulation area is typically assumed to be 0.6 g/cm³, based on past experience, but density is measured using snow-cores after especially cold summers, or when 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 (e.g. Østrem and Brugman, 1991). The balance is calculated between two succesive 'summer' surfaces (i.e., surface minima), neither of which are necessarily contemporaneous. This is in contrast to the floating-date method, employed on certain glaciers with large elevation differences; in this method, the the net balance is calculated between the extant 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 eight glaciers in southern Norway and five in northern Norway (in 1995 only three). In southern Norway six of the glaciers have been measured for 34 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. The location of the investigated glaciers is shown at the map in figure 1-1.

All the investigated glaciers in northern Norway are situated in Nordland county. There is no investigation in the far northern part of Norway. Engabreen has the longest series, with 26 years of measurements.

Many of the investigations are made for hydropower companies (e.g. Ålfotbreen, Nigardsbreen, and the glaciers in northern Norway). For others the purpose of the investigation is general hydrological administration (e.g. the glaciers in Jotunheim). The work on Austre Okstindbre is performed by the Geological Institute of the University of Aarhus, Denmark.

In the following chapters mass balance studies performed on Norwegian glaciers are reported, with results sumarized both in tables and diagrams. The figures are all in metres 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. In the chapter dealing with Engabreen some additional results from investigations made in connection with the subglacial laboratory were presented.

Finally, all mass balance results are presented in a common table for each year and compared with avarage values (table 1-1 and 1-2).

Weather conditions 1993-94 and 1994-1995. Summary of mass balance results

•The balance year 1993-94

Winter 1994 was the dryest since 1988. In southern Norway only the most continental glaciers in Jotunheimen had accumulation higher than the average. Most of the accumulation occured during December and January. In northern Norway all months have less precipitation than the normal and the total accumulation was only about 60% of the average.

The beginning of the summer was extremly cold and wet in southern Norway. Snowfalls periodically occurred on the higest part of the glaciers several times in June. The cold June was nearly compensated by a very warm July. August was about normal. In northern Norway the whole summer was cold. The summer balance thus was mainly less than average, particularly in northern Norway.

The net balance was positive at six of the glaciers and negative on six, but did not differ very much from zero at any glacier. A summary of the mass balance results from 1995 is shown in table 1-1.

•The balance year 1994-95

Generally the winter 1994-95 was a new winter with heavy winter precipitation. In southern Norway the period from November through April had predominant westerly winds and the precipitation was higher than the average. In northern Norway the precipitation during September - January did not differ much from the average, whereas the rest of the winter had 150-200% of the normal precipitation. Except for the continental glaciers in northern Norway the winter accumulation was higher than the average. Relatively highest accumulation occurred at the most continental glaciers in southern Norway.

The summer was cold and wet in northern Norway. For all months from May through August the glaciated areas were about 1°C colder than the normal and the precipitation was about 150%. In June and August the precipitation was almost 200% of the normal. In southern Norway the temperature in June and July was slightly lower than the normal, whereas August was about 2°C warmer than the normal. The summer balance, accordingly, was 80-90% of the average in northern Norway and 110-130% in southern Norway.

The net balance was therefore positive for all investigated glaciers except for the continental glaciers in Jotunheimen which were slightly negative. The most maritime glaciers had a surplus of 1.2 - 1.8 m of w. eq. A summary of the mass balance results 1995 is shown in table 1-2.

2 ÅLFOTBREEN (086.6C1B) Nils Haakensen

Ålfotbreen, som er den mest maritime breen i Norge, er en 17 km² stor platåbre som ligger mellom 870 og 1380 m o.h. Massebalansemålingene ble startet i 1963 på en 4,8 km² nordvendt utløper som drenerer naturlig til Breelven og Lille Åskåravann, men som nå overføres til Store Åskåravann. Det er denne delen som er kalt Ålfotbreen. For å undersøke hvor representativ denne utløperen var for hele breen, ble det i 1986 startet målinger på en annen nordvendt utløper som er blitt kalt Hansebreen, og som drenerer til Store Åskåravann. Denne er nabobreen til Ålfotbreen mot øst, er 3,3 km² og ligger mellom 925 og 1320 m o.h. (Se figur 2-7.)

2.1 MASSEBALANSE 1994

Feltarbeid

I løpet av 1994 ble Ålfotbreen besøkt fire ganger. Ved et kort besøk med helikopter i februar ble det konstatert at alle staker og tårn var forsvunnet under sneen.

Mass balance Ålfotbreen 1993/94 – traditional method									
		Winter acc	cumulation	Summer	ablation	Net balance			
		Measured	27 apr 1994	Measured	21 okt 1994	Summer surfac	es 1993 - 1994		
Altitude (masl)	Area (km²)	Specific (m w.eq.)	Volume (10 ⁶ m³)	Specific (m w.eq.)	Volume (10 ⁶ m ³)	Specific (m w.eq.)	Volume (10 ⁶ m ³)		
1350 - 1378	0,274	3,62	0,99	-2,50	-0,69	1,12	0,31		
1300 - 1350	1,015	3,80	3,86	-2,54	-2,58	1,26	1,28		
1250 - 1300	0,811	3,78	3,07	-2,62	-2,12	1,16	0,94		
1200 - 1250	0,765	3,62	2,77	-2,72	-2,08	0,90	0,69		
1150 - 1200	0,649	3,53	2,29	-3,02	-1,96	0,51	0,33		
1100 - 1150	0,553	3,60	1,99	-3,32	-1,84	0,28	0,15		
1050 - 1100	0,356	3,76	1,34	-3,60	-1,28	0,16	0,06		
1000 - 1050	0,216	3,95	0,85	-3,80	-0,82	0,15	0,03		
950 - 1000	0,125	4,06	0,51	-4,00	-0,50	0,06	0,01		
900 - 950	0,047	4,15	0,20	-4,15	-0,20	0,00	0,00		
870 - 900	0,004	4,18	0,02	-4,26	-0,02	-0,08	0,00		
Total area	4,82					_			
Total for who	ole glaci	er between	summer su	rfaces 1990	3 - 1994				
]		Winter acc.	Summer abl.	Net bal.	1				
volume	e (10 ⁶ m ³)	17,88	-14,08	3,80					
sp	specific (m) 3,71 -2,92 0,79								

 Tabell 2-1
 Vinter-, sommer- og nettobalanse for Ålfotbreen 1994 for hvert 50 m høydeintervall, samt arealfordeling for de ulike høydeintervall.

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



Figur 2-1 Massebalansediagram for Ålfotbreen 1994 (spesifikk balanse øverst og volumbalanse nederst) som viser variasjonen av vinter-, sommer- og nettobalansen med høyden. Nettobalansekurven viser at breens likevektslinje ligger på 925 m o.h. Det er 300 m lavere enn når breen er i likevekt. Bare 0,5% av breens areal ligger under dette nivå.

> Mass balance diagram for Ålfotbreen (a north facing part of the Ålfotbreen ice cap) 1994. The upper figure indicates specific values, the lower one indicates volume values. An average winter balance and a low summer balance resulted in a positive net balance. Accordingly the balance year 1994 was the sixth successive positive year. Since 1988 the glacier has had a positive mass balance amounting to 10 m water equivalents. At the end of the melting season there was hardly any exposed ice on the glacier. The diagram shows that the equilibrium line is 925 m a.s.l. That means that the AAR was 99.5%.

Akkumulasjonsmålingene ble utført 25.-29. april under til dels dårlige værforhold. Sommeroverflaten (SO) var stort sett enkel å definere. Tårnet på toppen var synlig og var til god hjelp øverst på breen, der sommeroverflaten alltid er dårligst utviklet. Det ble foretatt 70 sonderinger av snedypet på den delen av breen som drenerer til Breelven. Snedypet varierte mellom 6,5 og 8,0 meter. Tetthetsprøve ble tatt ned til 8,0 m i 1200 m nivå. Her var SO lett identifiserbar. Middeltettheten var 0,50 g/cm³.

Et sommerbesøk ble foretatt den 2. august. Stakene var da blitt 3-5 meter lenger siden april. To gamle staker var kommet frem, og de kunne brukes som en kontroll av akkumulasjonsmålingene.

Minimumsmålingene ble gjort den 20. oktober. Det var smeltet 1-2 m siden 2. august og derefter kommet ½-1 meter nysne. Det var bare enkelte spredte små områder nederst på breen der all årets sne hadde smeltet bort. Øverst på breen var tykkelsen av gjenværende sne rundt 2 meter.

Resultater

Vinterbalansen

ble beregnet til 3,71 m vannekvivalenter eller 17,9 mill. m³ for den delen av breen som drenerer til breelven (4,82 km²). Det er nøyaktig det samme som middelverdien for måleperioden på 32 år og den minste akkumulasjonen siden 1988.

Sommerbalansen

er beregnet til 2,92 m vannekvivalenter (14,1 mill. m³). Det er bare 88% av middelverdien i måleperioden. Dette resultatet kan for mange virke underlig etter en rekordvarm juli, men da må man også være klar over at juni var henimot rekordkald og hadde mye nedbør, og at det tidvis snedde på breen i juni.

Nettobalansen

Nettobalansen ble etter dette +0,78 m vannekvivalenter (midlere nettobalanse for perioden 1963-93 er +0,42 m), eller 3,8 mill. m³ vann (tabell 2-1). Det vil si at 21% av årets akkumulasjon ble liggende igjen. Øverst på breen var nettobalansen over 1 m vannekvivalenter, mens den var 0 nederst. På grunn av vinddrift blir gjerne akkumulasjonen størst på breens nedre del. Derfor blir nettobalansekurven bratt med liten forskjell i nettobalanse øverst og nederst på breen. Ingen høydeintervaller hadde negativ nettobalanse. Året 1994 ble således det 6. året på rad med masseoverskudd.

Årets likevektslinje lå på 925 m o.h. og det er omtrent 300 m lavere enn et år breen er i likevekt (se figur 2-1). Bare 0,5 % av breens areal ligger under dette nivå.

På Ålfotbreen var 1994 det 32. året i rekken med massebalansemålinger. I løpet av måleperioden har det vært et samlet masseoverskudd på 13,7 m vannekvivalenter. Det vil si at 66 mill. m³ vannekvivalenter er blitt bundet til den delen av Ålfotbreen som drenerer til Breelven. Av denne økningen har 10,2 m (48 mill m³) skjedd etter 1988.

2.2 MASSEBALANSE 1995

Også i 1995 hadde Ålfotbreen et stort masseoverskudd. En svært nedbørrik vinter ga et stort overskudd selv om en varm sommer førte til en avsmelting som var nesten 20% større enn vanlig. Men for en så maritim bre som Ålfotbreen er det vinterbalansen som er avgjørende for nettobalansen. Året 1995 var det 7. året på rad med masseoverskudd.

Feltarbeid

Sesongens første besøk ble foretatt den 12. januar. Det var da kommet over 5 meter sne på breens øvre deler. Tårnet på toppen hadde brukket ned, men var ennå såvidt synlig, og ble restaurert.

Akkumulasjonsmålingene ble utført 26.-28. april. Tårnet på toppen hadde såvidt overlevd, og det var kommet ytterligere over 54 m sne siden januar. Det ble foretatt rundt 60 sonderinger av snedypet som stort sett lå mellom 9 og 11 m - mest på den

Mass balance Ålfotbreen1994/95 – traditional method									
		Winter acc	cumulation	Summer	ablation	Net ba	Net balance		
		Measured	27 apr 1995	Measured	04 nov 1995	Summer surfac	es 1994 - 1995		
Altitude	Area	Specific	Volume	Specific	Volume	Specific	Volume		
(masl)	(km²)	(m w.eq.)	(10⁵ m³)	(m w.eq.)	(10 ⁶ m³)	(m w.eq.)	(10 ⁶ m³)		
1350 - 1378	0,274	5,17	1,42	-3,04	-0,83	2,13	0,58		
1300 - 1350	1,015	5,66	5,74	-3,17	-3,22	2,49	2,53		
1250 - 1300	0,811	5,35	4,34	-3,38	-2,74	1,97	1,60		
1200 - 1250	0,765	5,19	3,97	-3,70	-2,83	1,49	1,14		
1150 - 1200	0,649	5,05	3,28	-4,20	-2,73	0,85	0,55		
1100 - 1150	0,553	4,70	2,60	-4,68	-2,59	0,02	0,01		
1050 - 1100	0,356	4,48	1,59	-4,95	-1,76	-0,47	-0,17		
1000 - 1050	0,216	4,24	0,92	-5,20	-1,12	-0,96	-0,21		
950 - 1000	0,125	4,05	0,51	-5,38	-0,67	-1,33	-0,17		
900 - 950	0,047	4,02	0,19	-5,58	-0,26	-1,56	-0,07		
870 - 900	0,004	4,13	0,02	-5,70	-0,02	-1,57	-0,01		
Total area	4,82								
Total for who	ole glaci	er between	summer su	Irfaces 199	4 - 1995]			
		Winter acc.	Summer abl.	Net bal.	_				
volume	: (10⁵ m³)	24,57	-18,78	5,79					
spe	specific (m) 5,10 -3,90 1,20								
					•				
						-			

Tabell 2-2Vinter-, sommer- og nettobalanse for Ålfotbreen 1995 for hvert 50 meter høydeintervall,
samt arealfordeling for de ulike høydeintervall.

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





Figur 2-2 Massebalansediagram for Ålfotbreen 1995 som viser variasjonen av vinter-, sommer- og nettobalanse med høyden. Det øverste diagrammet viser spesifikke verdier, det nederste viser volumverdier. Nettobalansekurven viser at breens likevektslinje ligger 1120 m o.h., og det er ca 100 m lavere enn når breen er i likevekt. Bare 20 % av breens areal ligger under dette nivået.

Mass balance diagram for Ålfoten 1995 showing winter, summer, and net balance in various height intervals. The upper figure indicates specific values, the lower one indicates volume values. The winter balance 1995 was considerable higher than average. Although the summer balance was higher than average, the net balance was a surplus amounting to more than 1 m water equivalents. 1995 was the seventh successive positive year. Since 1988 the glacier has had a cumulative net balance amounting to 11 metres of water equivalents. According to the diagram ELA was 1120 m a.s.l. which corresponds to AAR of 80%.

øvre delen. På breens øvre del var sommeroverflaten vanskelig å definere. Derfor var tårnet til stor nytte ved bestemmelsen av denne over 1200 m o.h. Største målte snedyp var 11,5 m.

Tetthetsprøve ble tatt ned til 9,0 m i 1200 m nivå, og middeltettheten av hele snepakken var 0,517 g/cm³, og det er litt høyere enn gjenomsnitt. Det ble satt ut seks nye staker for ablasjonsmålinger.

Et sommerbesøk ble foretatt den 1. august. Stakene var da blitt 4-6 meter lenger siden april.

Minimumsmålingene ble gjort den 4. november. Det var da smeltet 2,5 - 4,5 m siden sommerbesøket. Dessuten var det kommet ³/₄-1 m nysne. Det var derfor vanskelig å bestemme firnlinjen direkte, men stakemålinger og enkelte spredte snemålinger viste blåis og firn under ca 1100 m o.h. Øverst var tykkelsen på gjenliggende sne opp til 4 meter.



Ålfotbreen mass balance 1963 - 95

Figur 2-3 Massebalanseverdier på Ålfotbreen i perioden 1963-95. Første halvdel av 1970-årene og årene etter 1988 skiller seg ut som perioder med masseoverskudd med hhv 6 og 7 år etter hverandre med overskudd. Den første perioden viser en kumulativ nettobalanse på 7,0 m, den andre på 11,2 m vannekvivalenter. Masseoverskudd på Ålfotbreen skyldes i første rekke stor vinterbalanse. De fem høyeste vinterbalansene i måleperioden har alle vært målt efter 1988.

Mass balance results measured on Ålfotbreen 1963-95. Two periods - the beginning of the 1970'ies and the years after 1988 - 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 years after 1988 show 11.2 m surplus. Mean net balance for the period 1963-95 is +0.45 m water equivalents, whereas it is +1.60 m w.eq. for the period 1989-95.

Resultater

Vinterbalansen

ble beregnet til 5,10 m vannekvivalenter, hvilket tilsvarer 24,6 mill. m³ vann på den delen av Ålfotbreen som drenerer til breelven (4,82 m²). Dette er 136% av midlere vinterbalanse for perioden 1963-94, men kun 105% av middel for perioden 1989-94. Tre ganger tidligere (1989, 1990 og 1992) har det blitt målt høyere vinterbalanse på Ålfotbreen.

Sommerbalansen

En varm sommer - spesielt ettersommeren - ga stor smelting. Sommerbalansen ble beregnet til 3,90 m vannekvivalenter (18,8 mill m³), og det er 118% av middelverdien for måleperioden.

Nettobalansen

Til tross for den store sommerbalansen ble det et betydelig masseoverskudd på Ålfotbreen. Nettobalansen ble målt til +1,20 m vannekvivalenter (5,8 mill. m³). Midlere nettobalanse for hele måleperioden er 0,43 m, mens den er 1,03 m for perioden 1989-94.

Tabell 2-2 viser massebalansen i forskjellige høydenivåer. Øverst på breen var det et masseoverskudd på nær 2,5 m vann, mens det nederst var en netto avsmelting på 1,5 m vann. Årets likevektslinje (ELA) lå på 1120 m o.h., og det er ca 100 m lavere enn når breen er i likevekt. Områdene over dette nivå hadde netto akkumulasjon og utgjør 80% av breens areal. Denne faktor, som betegnes som AAR, ligger mellom 0 og 100%, og øker med økende nettobalanse.

Året 1995 var det 33. året i rekken med massebalansemålinger på Ålfotbreen, og det 7. året på rad med positiv nettobalanse. I løpet av denne perioden er 72 mill. m³ vann bundet til den delen av Ålfotbreen som drenerer til Breelven. Det vil si at breen har lagt på seg 15 m vann jevnt fordelt på hele sin overflate eller gjennomsnittlig 0,45 m pr år. Mesteparten av dette overskuddet er kommet i årene 1989-95. I løpet av disse syv årene har breen lagt på seg 54 mill. m³, hvilket motsvarer 12,2 m vannekvivalenter. Det betyr imidlertid ikke at avløpet fra breen har vært mindre. Siden 1988 har midlere sommerbalanse vært 3,31 m, og det er nøyaktig det samme som for hele undersøkelsesperioden. Det er jo sommerbalansen som bestemmer avløpet av smeltevann.

I perioden 1963-88 var gjennomsnittlig nettobalanse +0,14 m, mens den for årene 1989-95 var +1,60 m. Den store forskjellen skyldes i første rekke nedbørrike vintre med til dels svært store snemengder i årene etter 1988. I perioden 1963-88 var midlere vinterbalanse 3,45 m, men den var 4,91 m vannekvivalenter i perioden 1989-95. De fem årene med størst målt vinterbalanse har alle vært i denne siste perioden. Sommerbalansen er 3,31 m i begge periodene. Følgelig er det bare økt vinternedbør som er årsaken til den store økningen i Ålfotbreens volum de siste årene. En grafisk oversikt over vinter, sommer og nettobalansen for Ålfotbreen i undersøkelsesperioden er vist i figur 2-3.

2.3 HANSEBREEN (086.6E)

Innledning

Sammen med målingene på Ålfotbreen er det siden 1986 også målt på nabobreen mot øst, som er kalt Hansebreen. Denne breen, som også er en del av hele platåbreen Ålfotbreen, er 3,3 km² og strekker seg mellom 925 og 1320 m o.h.(Se fig. 2-7.)

Hansebreen er trolig mer representativ for nedbøren i hele Ålfotbreområdet enn den brearmen som drenerer til Breelven (kalt Ålfotbreen i tidligere rapporter). Ålfotbreen mottar en del av sin akkumulasjon i form av vinddrift fra syd.

Også i 1994 ble det gjort massebalansemålinger på Hansebreeen, som er Ålfotbreens nabobre mot øst, for å vurdere hvor representativ den målte delen av Ålfotbreen er for sneforholdene i området. I kuperte fjellområder kan det være store lokale forskjeller i værforholdene - særlig nedbør - innenfor små avstander. Tidligere års målinger viser stor forskjell på de to breene - spesielt for vinterbalansen. Helt tydelig viser Hansebreen mindre akkumulasjon. Denne forskjellen forklares først og fremst med større vinddrift av sne fra brekappens sydvendte del til Ålfotbreen enn til Hansebreen, men også en stigende nedbørgradient mot vest pga.større orografisk nedbøreffekt i den vestlige delen av området kan ha en viss betydning.

Mass balance Hansebreen1993/94 – traditional method									
		Winter acc	cumulation	Summer	ablation	Net balance			
		Measured	27 apr 1994	Measured	21 okt 1994	Summer surfac	es 1993 - 1994		
Altitude (masl)	Area (km²)	Specific (m w.eq.)	Volume (10 ⁶ m³)	Specific (m w.eq.)	Volume (10⁵ m³)	Specific (m w.eq.)	Volume (10 ⁶ m³)		
1300 - 1320	0,122	4,04	0,49	-2,08	-0,25	1,96	0,24		
1250 - 1300	0,504	3,82	1,93	-2,10	-1,06	1,72	0,87		
1200 - 1250	0,550	3,55	1,95	-2,20	-1,21	1,35	0,74		
1150 - 1200	0,541	3,20	1,73	-2,44	-1,32	0,76	0,41		
1100 - 1150	0,722	3,08	2,22	-2,96	-2,14	0,12	0,09		
1050 - 1100	0,427	3,24	1,38	-3,96	-1,69	-0,72	-0,31		
1000 - 1050	0,259	3,38	0,88	-4,62	-1,20	-1,24	-0,32		
950 - 1000	0,158	3,48	0,55	-4,98	-0,79	-1,50	-0,24		
925 - 950	0,040	3,52	0,14	-5,12	-0,20	-1,60	-0,06		
Total area	3,32					-			
Total for who	ole glaci	er between	summer su	rfaces 1993	- 1994				
		Winter acc.	Summer abl.	Net bal.					
volume	e (10º m³)	11,28	-9,86	1,42		4			
specific (m) 3,39 -2,97 0,43									
						J			

Tabell 2-3Vinter-, sommer- og nettobalanse for Hansebreen 1994 for hvert 50 m høydeintervall,
samt arealfordeling for de ulike høydeintervall.

Winter, summer and net balance for Hansebreen in 1994 for 50 m height intervals.



Figur 2-4 Massebalansediagram (spesifikk balanse øverst og volumbalanse nederst) for Hansebreen 1994 med variasjon av vinter-, sommer- og nettobalansen med høyden. Nettobalansekurven viser at likevektslinjens høyde ligger på 1120 m o.h. 66% av breens areal ligger over dette nivå.

Mass balance diagram for Hansebreen (adjacent to Ålfotbreen to the east) 1994. The upper figure indicates specific values, whereas the lower ione indicates volume values. The winter balance is about 19% lower than that for Ålfotbreen, which is principally explained with wind drift of snow from other parts of the ice cap to Ålfotbreen. The ELA was at 1120 m a.s.l. which corresponds to an AAR at 66%.

Resultater 1994

Feltarbeid

Feltarbeidet ble gjort i forbindelse med arbeidet på Ålfotbreen. Ved akkumulasjonsmålingene ble det gjort 24 sonderinger av snedypet forholdsvis jevnt fordelt over hele breens areal. Snedypet var stort sett mellom 5,5 og 7,5 meter. Forskjellen til Ålfotbreen var noe mindre enn vanlig. Stakene var forsvunnet, og to nye ble satt ut. Vannverdien ble basert på tetthetsprøven på Ålfotbreen. Ved sommerbesøket den 2. august var de to gamle stakene kommet frem. Ved minimumsmålingene, som ble gjort den 20. oktober, var det kommet noe nysne. Firngrensen kunne derfor ikke bestemmes direkte.

Vinterbalansen

Vinterbalansen på Hansebreen ble målt til 3,39 m vannekvivalenter, og det er 8% mindre enn på Ålfotbreen (den vestre delen). Det har vært gjort målinger på Hansebreen siden 1986, og det har alltid vært målt mindre vinterbalanse der. Målingene har imidlertid vist at den relative forskjellen mellom de to breene har vært størst i år med stor akkumulasjon. Dette underbygger forklaringen om at en del av akkumulasjonen på Ålfotbreen skyldes vinddrift fra syd, da nedbørrike år også vanligvis er år med overveiende vestavær og mye vind.

Sommerbalansen

Sommerbalansen ble målt til 2,97 meter vannekvivalenter, og det er litt mer enn på Ålfotbreen. Det er helt naturlig eftersom Hansebreen har lavere middelhøyde enn Ålfotbreen.

Nettobalansen

Nettobalansen på Hansebreen i 1994 ble beregnet til +0,42 m vannekvivalenter. Likevektslinjens høyde lå på 1120 m o.h., og det er rundt 170 meter høyere enn for Ålfotbreen (se figur 2-2). Forskjellen på de to breene er ikke så stor som denne forskjellen kan tyde på. Men fordi Ålfotbreen har størst akkumulasjon nederst pga. vinddrift, vil tilsvarende høyder på Hansebreen bli snefrie tidligere. Dermed blir albedoen lavere på Hansebreen enn på Ålfotbreen. Massebalansen i de ulike høydeintervall er vist i tabell 2-3, og massebalansediagrammet er vist i figur 2-4.

Resultater 1995

• Feltarbeid

Feltarbeidet på Hansebreen ble utført på samme tid som på Ålfotbreen. Under akkumulasjonsmålingene 27. april ble det gjort 22 sonderinger av snedypet, som varierte mellom 6,1 og 10,4 meter. Vannverdien ble basert på tetthetsmålingene på Ålfotbreen. Ingen staker hadde overlevet vinteren, og det ble derfor satt ut to nye. Ved sommerbesøket den 1. august hadde de to gamle stakene fra 1994 dukket opp. Ved minimumsmålingene 4. november var det kommet rundt ¾ m nysne. Derfor kunne ikke firngrensen bestemmes direkte. Ved en stake på 1150 m o.h. lå det igjen 10 cm sne. Følgelig er firngrensen stipulert til ca. 1140 m o.h.

Vinterbalansen

på Hansebreen 1995 ble målt til 14,6 mill. m³ vann eller 4,38 m vannekvivalenter. Dette er 116% av middelverdien for årene 1986-94 og 0,72 m mindre enn vinterbalansen på Ålfotbreen.

• Sommerbalansen

ble beregnet til 3,90 m vannekvivalenter (13,0 mill. m³). Det er det samme som for Ålfotbreen og 117% av middelverdien for måleperioden.

Nettobalansen

på Hansebreen ble +0,48 m, mens den midlere nettobalanse for måleperioden er +0,44 m vannekvivalenter. Likevektslinjen for Hansebreen lå på 1140 m o.h., og det er 20 meter høyere enn for Ålfotbreen. Det vil si at AAR er 57%. Det er betydelig mindre enn for Ålfotbreen som hadde 80 %.

Mass balance Hansebreen1994/95 – traditional method									
		Winter ac	cumulation	Summer	ablation	Net balance			
		Measured	27 apr 1995	Measured	04 nov 1995	Summer surfaces 1994 - 1995			
Altitude (masl)	Area (km²)	Specific (m w.eq.)	Volume (10 ⁶ m³)	Specific (m w.eq.)	Volume (10 ⁶ m³)	Specific (m w.eq.)	Volume (10 ⁶ m³)		
1300 - 1320	0,122	5,80	0,71	-3,05	-0,37	2,75	0,34		
1250 - 1300	0,504	5,38	2,71	-3,30	-1,66	2,08	1,05		
1200 - 1250	0,550	4,80	2,64	-3,52	-1,94	1,28	0,70		
1150 - 1200	0,541	4,32	2,34	-3,75	-2,03	0,57	0,31		
1100 - 1150	0,722	3,76	2,71	-4,05	-2,92	-0,29	-0,21		
1050 - 1100	0,427	3,45	1,47	-4,28	-1,83	-0,83	-0,35		
1000 - 1050	0,259	4,08	1,06	-4,62	-1,20	-0,54	-0,14		
950 - 1000	0,158	4,60	0,73	-5,05	-0,80	-0,45	-0,07		
925 - 950	0,040	4,80	0,19	-5,40	-0,22	-0,60	-0,02		
Total area	3,32					_			
Total for who	ole glac	ier betweer	n summer su	urfaces 1994	4 - 1995				
	ł	Winter acc.	Summer abl.	Net bal.	I				
volume	(10 ⁶ m ³)	14,56	-12,96	1,60					
spe	ecific (m)	4,38	-3,90	0,48					

Tabell 2-4Vinter-, sommer- og nettobalanse for Hansebreen 1995 for hvert 50 m høydeintervallsamt arealfordeling for de ulike høydeintervall.

Winter, summer, and net balance for Hansebreen 1995, and area distribution for 50 m height intervals.



Figur 2-5 Massebalansediagram for Hansebreen 1995 (spesifikke verdier øverst og volumverdier nederst). Nettobalansekurven viser at likevektslinjen ligger 1140 m o.h. Arealet som ligger over dette nivå utgjør 57% av breen samlede areal.

Mass balance diagram for Hansebreen 1995 showing winter, summer and net balance in various height intervals. The upper figure indicates specific values, whereas the lower one indicates volume values. Both the winter and the summer balance were higher than average. The winter balance had greatest deviation from the average. The net balance is principally dependent on winter balance and accordingly the net balance became positive. According to the diagram the ELA was at 1140 m, and the AAR was 57%.



Massebalanse Hansebreen 1986 - 95



Mass balance results measured on Hansebreen 1986-95. Every year since 1988 the glacier has had positive net balance, but the cumulative surplus is much less than at Ålfotbreen.

En må være oppmerksom på at middelverdiene for Hansebreen 1986-95 ikke kan sammenlignes med middelverdien for Ålfotbreen 1963-95. Årene 1989-95 hadde til dels svært stor vinterakkumulasjon. På Ålfotbreen har alle de fem mest nedbørrike vintrene forekommet i løpet av de siste 7 årene. Midlere vinterakkumulasjon i hele undersøkelsesperioden (33 år) er 3,76 m vannekvivalenter, mens middelverdien de siste 10 år, som er den perioden det finnes parallelle målinger på Hansebreen, er 4,34 meter. Tilsvarende er midlere nettobalanse for Ålfotbreen for perioden 1963-95 +0,45 m, mens den for perioden 1986-95 er +1,04 m vannekvivalenter. For sommerbalansen er det ingen signifikant forskjell mellom de to periodene.

2.4 EN SAMMENLIGNING MELLOM ÅLFOTBREEN OG HANSEBREEN

Med <u>Ålfotbreen</u> menes den nordvestlige delen av platåbreen Ålfotbreen som naturlig drenerer til Breelven og Lille Åskåravann, men som i forbindelse med kraftutbygging i området er overført til Store Åskåravann. På denne breen har det vært utført massebalansemålinger siden 1963.

<u>Hansebreen</u> er nabobreen mot øst og er også en del av platåbreen Ålfotbreen. Denne drenerer direkte til Store Åskåravann. Disse to breene er til sammen 8,2 km² og utgjør omtrent halvparten av hele Ålfotbreens areal.

Det ble tidlig registrert at det var mindre vind på Hansebreen enn på Ålfotbreen. Den sterke vinden i det skrånende terrenget på Ålfotbreen gjorde at stakene lett ble bøyet ned og forsvant. Det var derfor nesten umulig å få stakene til å overleve



Figure 2-7 Kart som viser de største breene samt elver og vann i området omkring Ålfotbreen. Dammer og overføring av vann mellom vassdrag viser inngrep som er gjort i forbindelse med kraftutbyging i området. Pga. svært mye nedbør er området attraktivt for kraftutbygging.

Map showing the largest glaciers, rivers, and lakes in the Ålfotbreen area. Dams and water diversions between various basins are plotted to show construction related to hydropower developments. The area has very high precipitation, and accordingly it is attractive to hydro-power exploitation.

vinteren. Ved flere anledninger hadde man registrert at det var mindre vind på Hansebreen enn på Ålfotbreen, både ved utføring av feltarbeid og ved iakttagelse av vindgenererte former på sneen vinterstid. I 1985 ble det derfor satt ut to staker på Hansebreen som et forsøk på å få staker der til å overleve til hjelp for bestemmelse av sommeroverflaten på Ålfotbreen og således gjøre målingene der mer sikre og nøyaktige. Et kart over Ålfotbre-området med Ålfotbreen og Hansebreen og kraftutbyggingen i området er vist i figur 2-2.

Under akkumulasjonsmålingene våren 1986 viste det seg så at det var merkbart mindre sne på Hansebreen enn i tilsvarende høyde på Ålfotbreen. Det ble derfor gjort noen tilleggsmålinger, og massebalansen ble beregnet for Hansebreen og sammenlignet med resultatet på Ålfotbreen. Dette arbeidet har fortsatt siden.

Hvert eneste år siden har vinterakkumulasjonen på Ålfotbreen vært større enn på Hansebreen. Forskjellen har variert mellom 0,07 m (3%) i 1986 til 1,56 m (35%) i 1990 (se tabell 2-5) og har vært størst i år med stor akkumulasjon.

Year	Alfotbreen b _w (A)	Difference b _w (A) - b _w (H)	
1986	2.35	2.28	0.07
1987	4.29	3.76	0.53
1988	2.73	2.50	0.23
1989	5.20	4.13	1.07
1990	5.98	4.42	1.56
1991	4.08	3.37	0.71
1992	5.48	4.41	1.07
1993	4.81	4.23	0.58
1994	3.70	3.39	0.31
1995	5.10	4.38	0.72

Tabell 2-5 Vinterbalansen på Ålfotbreen og Hansebreen i årene 1986-95, samt forskjellen mellom de to (se også figur 2-8). Forskjellen er relativt størst i år med stor vinterbalanse (1989, 1990 og 1992). Denne forskjellen antas hovedsaklig å være forårsaket av vindtransport av sne. Se forøvrig teksten.

The table shows measured winter balances at the two adjacent north-facing glaciers Ålfotbreen and Hansebreen for the period 1986-95. The right column indicate the difference between the two parameters. As Ålfotbreen is more exposed for wind and receive much winddrifted snow from the southern part of the icecap, the difference is increasing exponentially with increasing accumulation. Years with great accumulation are years with great low pressure activity and accordingly much wind (see also Fig. 2-8). I figur 2-8 er forskjellen i vinterbalanse vist som en funksjon av Ålfotbreens vinterbalanse for årene 1986-95. Denne kurven viser helt entydig at forskjellen både absolutt og prosentuelt - er markert større i år med stor vinterbalanse.

Denne forskjellen i akkumulasjon forklares hovedsaklig med vinddrift. Ålfotbreens øvre del, som er toppen av hele breplatået, er mye mer vindutsatt enn de øvre delene av Hansebreen. Sne fra brekappens syd-side og terrenget syd for breen



Figur 2-8 Kurven viser forskjellen i vinterbalanse mellom Ålfotbreen og Hansebreen som en funksjon av målt vinterbalanse på Ålfotbreen. Det er god dobbeltlogaritmisk korrelasjon mellom de to størrelsene som kan uttrykkes

$y = 0,0087 \cdot x^{2,85}$

der korrelasjonskoeffesienten er 0,957.

Det viser at forskjellen i akkumulasjonen for de to breene øker eksponensielt med økende akkumulasjon på Ålfotbreen. Det betyr at forskjellen i akkumulasjonen øker mye sterkere enn akkumulasjonen på Ålfotbreen. Denne forskjellen tillegges større snedrift på Ålfotbreen. Se for øvrig teksten.

The graph indicates the differences in winter balance between Ålfotbreen and Hansebreen (two adjacent northfacing outlets from Ålfotbreen ice cap) drawn as a function of measured winter balance at Ålfotbreen. There is good correlation between the two variables shown, which is expressed in the equation

$y = 0.0087 \cdot x^{2.85}$

where the correlation coefficient is 0.957.

x = the winter balance for Ålfotbreen

y = the difference between winter balances for the two glaciers That means that the difference increases exponentially with increasing accumulation. The explanation is that the wind carries snow from the southern part of the ice cap to the western part of Ålfotbreen whereas Hansebreen is more sheltered and is not so exposed to wind drift. Further, most precipitation on these glaciers come with low pressure systems from the west - usually combined with strong westerly winds. In years with much precipitation, westerly winds prevail, a considerable wind drift of snow occurs, and the difference in winter accumulation becomes high (1989, 1990, and 1992). In years with small accumulation easterly winds are more frequent and wind drift occurs at a smaller extent and thus the difference in winter accumulation becomes small (1986 and 1988). transporteres med vinden over toppen og akkumuleres på Ålfotbreen. Syd for Hansebreen er det lite breareal og brattere terreng. Sne i dette terrenget er mindre utsatt for transport. Under sterk vind på høsten er det tillike registrert betydelige mengder bjerkeløv i drift på toppen av Ålfotbreen, og det underbygger ovennevnte påstand.

Da Ålfotbreen er en svært maritim bre, vil år med stor akkumulasjon være ensbetydende med år med stor lavtrykksaktivitet og mye vind og følgelig stor vindtransport av sne. Derfor vil forskjellen i akkumulasjon mellom Ålfotbreen og Hansebreen være mye større i nedbørrike år. Figur 2-8 viser at de to årene med lavest akkumulasjon på Ålfotbreen (1986 og 1988) var forskjellen mellom Ålfotbreen og Hansebreen under 0,25 m vannekvivalenter (under 10%), mens de tre årene med mest akkumulasjon (1990, 1992 og 1989) var forskjellen over 1 meter (mer enn 25%). I rekordåret 1990 hadde Ålfotbreen en vinterbalanse på 5,98 m vannekvivalenter, mens Hansebreen hadde 4,42 m, dvs. en forskjell på 1,56 m vannekvivalenter eller 35%.

Det ser derfor ut til at verdiene for vinterakkumulasjonen på Ålfotbreen i undersøkelsesperioden 1963-95 ikke er helt representative for nedbøren. En del sne som faller på syd-siden av brekappen, og som drenerer til Hyen og Grøndalen, vil bli transportert med vinden over til nordsiden og til Åskåras nedbørfelt. Forskjellen i sommerbalanse mellom de to breene varierer mye mindre og viser intet typisk





A comparison of cumulative net balances for Ålfotbreen and Hansebreen in the period 1986-1995. Ålfotbreen shows a substantial higher surplus than Hansebreen. While Ålfotbreen had a cumulative net balance amounting to more than +10 m of water equivalent, the figures for Hansebreen is only about +1.8 m in the same period.

Ålfotbreen 1986-95





A comparison of mass balance for Ålfotbreen and Hansebreen in the 10-years period 1986-95. There are minor differences in summer balance whereas some years have great differences in winter and net balance. The difference is greatest in years with high snow accumulation. The explanation for this is more drifting snow at Ålfotbreen. (See Fig. 2-9.)

mønster. Dog er Hansebreens midlere sommerbalanse i perioden 1986-95 bare 0,18 m lavere enn Ålfotbreens. Tatt i betraktning at Hansebreens middelhøyde er 75 meter lavere enn Ålfotbreens, er denne lille forskjellen likevel relevant. Enkelte år har Hansebreen hatt betydelig større sommerbalanse enn Ålfotbreen. Dette kan skyldes at det blir eksponert blåis på Hansebreen tidligere pga. mindre sne og at store deler av Hansebreen kan være snefri, mens hele Ålfotbreen ennå er helt snedekket. Det vil da være stor forskjell i albedo for de to breene, og Hansebreen vil absorbere større mengder strålingsenergi. Da breene i Ålfoten-området er svært maritime, vil vinteren ha størst betydning for nettobalansen, og variasjonen i nettobalanse viser samme mønster som variasjonen i vinterbalanse.

I perioden 1986-95 har Ålfotbreen hatt en kumulativ nettobalanse på +10,4 m vannekvivalenter (50 mill. m³ vann), mens Hansebreen har hatt +1,76 m (5.8 mill. m³ vann).

2.5 SAMMENDRAG

Massebalanse 1995

<u>Ålfotbreen (4.82 km²) (måleperiode 1963-95)</u>

Vinterbalanse	(b _w)	5.10 m	(24.6 mill. m ³)	136% av middel
Sommerbalanse	(b _s)	3.90 m	(18.8 mill. m ³)	118% av middel
Nettobalanse	(b _n)	+1.20 m	(5.8 mill. m³)	middel er 0.43 m

Likevektslinjens høyde (ELA)1120 m o.h.Akk. områdets andel av totalareal (AAR)80%Kumulativ nettobalanse 1963-95+14.9 mKumulativ nettobalanse 1986-95+10.4 m

Hansebreen (3.32 km²) (Måleperiode 1986-95)

Vinterbalanse	(b _w)	4.38 m	(14.6 mill. m ³)	121% av middel
Sommerbalanse	(b_s)	3.90 m	(13.0 mill. m ³)	112% av middel
Nettobalanse	(b _n)	0.48 m	(1.6 mill. m ³)	middel er 0.18 m

Likevektslinjens høyde (ELA) Akk. områdets andel av totalareal (AAR) Kumulativ nettobalanse 1986-95

Sammenligning Ålfotbreen-Hansebreen 1986-95

Midlere verdier 198	6-95	5							
Ålfotbreen	b,,	4.37 m	bs	3.33 m	b _n	+1.04 m			
Hansebreen	b _w	3.69 m	b _s	3.51 m	b _n	+0.18 m			
Målinger 1995 sammelignet med middel 1986-95									
Ålfotbreen	b _w	118%	b _s	101%	b _n -	$b_{n(middel)} = 0.16 \text{ m}$			
Hansebreen	b,	121%	b	112%	b _n .	$b_{n(middel)} = 0.30 \text{ m}$			

Det påpekes at ved sammenligning av én verdi (årets måling) med en middelverdi, er ikke denne enkeltverdien brukt til beregningen av middelverdien.

1140 m o.h.

57%

+1.76 m
2.6 ANNET

I løpet av de 10 årene som er gått siden de nye hyttene ble bygget, har breen hatt en kumulativ nettobalanse på over 10 m vann. Dette har medført at overflaten rundt hyttene er høynet. Der garasjen ble satt opp i 1985, var det våren 1995 over 10 m sne. Sneoverflaten var jevnt med taket på bolighytten. Fortsetter tendensen med så stort breoverskudd, kan det bli kritisk for hytten. Imidlertid ser sneforholdene i 1996 ut til å bli slik at problemet i det minste utsettes. Det er satt opp en stake som rager ca 2 m over hyttetaket.

I 1985 ble den nye garasjen (containeren) innredet, og en del skrot er klarlagt for transport. Hytten er nybeiset og er i bra stand.

De snerike vintrene de siste 7 årene har medført at flere tårnledd har brukket ned, og 12 nye ledd til målestaker ble innkjøpt i 1995.

2.7 ENGLISH SUMMARY

Introduction

Ålfotbreen ice cap (17 km²) is the westernmost and the most maritime glacier in Norway. Melt water from the northern side of the ice cap is exploited to water power production. In this connection one northfacing outlet glacier (4.8 km²) has been subject to mass balance investigations since 1963, and has always been reported as <u>Ålfotbreen</u>. To investigate the representativity of the data series from Ålfotbreen, additional mass balance studies were started in 1986 on an adjacent northfacing glacier outlet which is called <u>Hansebreen</u> (3.3 km²). There is proved an explicit difference between these two glaciers. (See Figure 2-7.)

Mass balance 1994

• Field work

The accumulation was measured 25-29 April. The measurement was based on ca. 70 snow depth soundings, one survived stake, and one snow pit where the mean density was $0.50 \text{ g} \cdot \text{cm}^{-3}$. The general snow depth varied between 6.5 and 8.0 meter. Ablation was measured 20 October based on stake measurement at 5 positions on the glacier.

Results

Winter balance was 3.71 m water equivalents which is identical with the mean value for the investigation period 1963-94.

Summer balance was 2.92 m w.eq. which is 88% of the mean value. Net balance accordingly turned out to be +0.78 m w.eq., whereas the mean value for

the investigation period is +0.42 m w.eq. No places on the glacier had negative net balance. ELA was 925 m a.s.l. and AAR was 99.5 %.

The results are presented in Table 2-1 and Figure 2-1.

Mass balance 1995

• Field work

Accumulation measurements were performed 26-28 April. Only one single stake survived the winter, and it was very useful for identifying the summer surface. It was taken about 60 snow depth measurements and one snow density determination. Generally the snow depth was 9-11 m, and the mean density of the snow pack (9 m) was measured to be $0.517 \text{ g} \cdot \text{cm}^{-3}$.

Ablation measurements were made on the 4 November, and were based on stake measurements at 6 different positions on the glacier.

Results

Winter balance was 5.10 m water equvalents or 136 % of the mean winter balance during the investigation period of 33 years. This value has only been exceeded in 1989, 1990, and 1992.

Summer balance was 3.90 m w.eq. which is 118 % of the mean value. Net balance accordingly turned out to be positive, and was +1.20 m w.eq. This value has been exceeded 10 times during 33 years. Mean net balance was + 0.43 m w.eq. ELA was 1120 m a.s.l. and AAR was 80 %.

The results are presented in Table 2-2 and Figure 2-2.

The year 1995 was number 33 in the series of glaciological investigations on Ålfotbreen, and the 7th consequtive year of positive balance. The cumulative net balance for the investigation period is +14.9 m water equivalents ($72 \cdot 10^6 \text{ m}^3$). Most of the surplus has occurred after 1988. The period 1989-95 has a cumulative surplus amounting to 12.2 m w.eq. This great surplus is caused by large winter balance. The five highest measured winter balances at Ålfotbren have all occurred during the last seven years. Before 1989 the mean winter balance was 3.45 m w.eq. whereas it was 4.91 m in the period 1989-94. For the very maritime glacier Ålfotbreen the net balance is mainly dependent on winter balance, and has thus increased after 1988. A diagram showing all mass balance results for Ålfotbreen during the period 1963-95 is shown in Figure 2-3.

Hansebreen

Introduction

Hansebreen (3.32 km²) is another north facing outlet glacier from the Ålfotbreen ice cap adjacing Ålfotbreen (see above) to the east. Hansebreen is thought to be more representative for the precipitation in the area than the above-mentioned Ålfotbreen, which is very exposed to wind and snow drift. Snow is transported to Ålfotbreen by the wind from other parts of the ice cap and surrounding areas and, thus, the accumulation measured is not representative. Hansebreen is more sheltered. Therefore, mass balance measurements have been performed at Hansebreen since 1986. The field work has been coordinated with that on Ålfotbreen.

• Results 1994

Winter balance was based on 24 snow depth soundings, whereas the snow density

was determined at Ålfotbreen. Snow depth was 5.5-7.5 m Winter balance amounted to 3.39 m water equivalents which is 8 % less than that on Ålfotbreen.

Summer balance was 2.27 m w.eq. - slightly more than on Ålfotbreen.

The *net balance* came up with +0.42 m w.eq. ELA was 1120 m a.s.l., and AAR was 66 %.

The mass balance results for Hansebreen 1994 are presented in Table 2-3 and on Figure 2-4.

• Results 1995

Winter balance is based on 22 snow depth soundings that varied between 6.1 m and 10.4 m. The snow density measurements was made at the neighbouring Ålfotbreen. The winter balance was 4.38 m w.eq. which is 0.72 m less than for Ålfotbreen and 116 % of mean winter balance 1986-94.

Summer balance was measured on 2 stakes and was calculated to 3.90 m w.eq. which is 117 % of the mean. This is exact the same value as for Ålfotbreen. *Net balance* accordingly was 0.48 m w.eq., whereas mean 1986-94 is 0.18 m w.eq.

ELA was at 1140 m a.s.l., whereas AAR was 57 %.

Mass balance results at Hansebreen 1995 are presented in Table 2-4 and Figure 2.5.

The results of mass balance measurements at Hansebreen for the period 1986-95 are shown in Figure 2-6. However, it should be noticed that the mean values for Hansebreen (1986-95) are not directly comparable with those for Ålfotbreen (1963-95). At Ålfotbreen the five years with the highest measured winter balance all have occurred after 1988. High winter balance results in high net balance. Therefore the mean values of both winter and net balance at Ålfotbreen are about 0.6 m water equivalent higher for the period 1986-95 (the investigaion period of Hansebreen) than for the entire investigation period 1963-95. Regarding the summer balance there is no significant difference between the two glaciers.

A comparison between Ålfotbree and Hansebreen

Ålfotbreen and *Hansebreen* are two adjacent north-facing outlet glaciers from Ålfotbreen ice cap (Figure 2-7). Before the investigations started at Hansebreen it was noticed that the wind was weaker there. In 1985 two stakes were inserted at Hansebreen as an attempt to obtain surviving stakes there. This has proven difficult at Ålfotbreen. They did survive and it was registered that snow depth was smaller at Hansebreen than at Ålfotbreen. Therefore, some additional snow depth measurements were performed and complete mass balance studies at Hansebreen were performed in 1986 and every year since then.

Every year the winter accumulation has been larger at Ålfotbreen than at Hansebreen. The difference has been relatively greatest in years with large accumulation (see Table 2-5). In Figure 2-8 the relation is shown graphically.

Although it may be small differences in elevation and orographical effect, the explanation for the above-mentioned difference is principally the wind. Snow from the southern part of the ice cap and surrounding areas is transported by the wind

and accumulates at Ålfotbreen. Even birch leaves has been observed in drift at the top of the glacier which is 6-700 m above the tree line in this area. Hansebreen is not so exposed to wind. The terrain on its south side is steeper and very small areas there are glacier covered. Accordingly less snow is available for snow drift.

The Ålfotbreen area is very maritime and most of the precipitation is coming from the west. This means that high accumulation is connected with intensive low pressure activity, much wind, and accordingly much snow drift. The difference between the two glaciers varies between 3% in 1986 and 35% in 1990. This difference is very clearly shown in table 2-5 and Figure 2-8.

Apparently the winter balance at Hansebreen is more representative for the area than that on Ålfotbreen. The summer balance, however, does not show any significant difference. Accordingly, there will be a considerable difference in net balance. Since 1986 the cumulative net balance at Ålfotbreen has been 10.4 m water equivalent whereas, at Hansebreen it has been 1.8 m in the same period. (See Figure 2-9.) In Figure 2-10 winter, summer, and net balance for the two glaciers are compared.

3. SØNDRE FOLGEFONNA (042.Z) Arve M. Tvede

3.1 VOLUMENDRINGER 1959-95

Den sørlige del av Søndre Folgefonna drenerer til Blådalsvassdraget hvor kraften er bygget ut av Sunnhordaland Kraftlag (SKL) gjennom en lang periode etter krigen. Utbyggingshistorien er beskrevet i Tjelmeland, 1992. Selv om anslagsvis nesten 50% av totaltilsiget til Blåelva har sitt utspring fra Folgefonna, så har SKL ikke hatt gående noen systematiske bremålinger. Hovedgrunnen til dette har vel vært at magasinene nedover vassdraget har vært store nok til å fange opp det aller meste av smeltevannet. NVE v/Statkraftverkene kartla hele Folgefonna i målestokk 1:20.000 basert på flybilder fra 10.august 1959. Dette har til nå vært det beste brekartet over området.

I juli 1994 skjedde det en endring i dreneringen fra Østre Blomsterskardbre slik at det meste av avløpet tok veien til Tverrelva og videre ned til Londalsvassdraget, se Tvede 1994. Denne hendelsen og de etterfølgende arbeider for å få vannet tilbake til Blådalsvassdraget, har initiert et behov om å få vite mer om denne delen av Folgefonna. SKL og NVE, Hydrologisk avdeling inngikk derfor et samarbeid om en ny kartlegging og 31.august 1995 ble det tatt flybilder. Fjellanger-Widerøe konstruerte fra disse bildene et nytt brekart i målestokk 1:20.000 og leverte kartdataene digitalt til NVE som i mellomtiden hadde digitalisert kartet fra 1959. Disse to datasettene er så kombinert i NVEs GIS-verktøy (Geografiske Informasjon Systemer) for å lage et kart som viser breforandringene mellom 1959 og 1995. Kartet ligger som et vedlegg bakerst i rapporten om prosjektet, Smith-Meyer og Tvede, 1996. Her skal bare gjengis noen av hovedresultatene.

Resultater

Kartet fra 31.8.95 dekker ca 70 % av brefeltet til Blåelva. Det er først utført beregninger av volumendringer innenfor hvert enkelt delnedbørfelt. Det undersøkte området er delt i fire, henholdsvis Møsevassbreen, Sauabreen samt østre og vestre Blomsterskarbreen, se figur 3-1. Tabellen nedenfor viser endring i volum for hvert av nedbørfeltene.

BREENHET	AREAL	VOLUMENDRING
Møsevassbreen	11.9 km²	- 13 mill m ³
Blomsterskardbreen, vest	16.7 km²	+ 197 mill m ³
Blomsterskardbreen, øst	14.9 km²	+ 182 mill m ³
Sauabreen	8.5 km ²	+ 4 mill m ³

Tabell 3-1 Endring i brevolum mellom 1959 og 1995 for de forskjellige delnedbørfeltene.

Glacier volume changes between 1959 and 1995 for the different subbasins.

Tabellen viser altså at Møsevassbreen har negativ volumendring, mens breen har

økt i volum i de tre andre nedbørfeltene. Endringen på Sauabreen er liten, mens Blomsterskardbreen har hatt en markert økning.

VOLUMENDRING INNENFOR HVERT NEDBØRFELT



Figur 3-1 Den kartlagte delen av Søndre Folgefonna med de delnedbørsfelter som omtales i teksten.

The subbasins of the part of southern Folgefonna that was mapped from air photos taken 31.08.95.

• Ekstrapolering for hele breområdet i nedbørsfeltet

1995-kartet dekker bare breområdene lavere enn 1450-1550 m oh. For å kunne beregne volumendringene for hele nedbørsfeltet til Blåelva, så er det nødvendig å ekstrapolere verdier for arealet fra kartkanten til antatt nedbørsfeltgrense i nord. Dette ikke-kartlagte arealet er GIS-beregnet til 19.6 km² og høyeste punkt på M711kartet, som igjen er basert på flybilder fra 1981, er oppgitt til 1638 m oh. Kartet viser at volumendringene er mer "stabile" på kartets øvre del enn lenger nede og synes ikke å øke med høyden. Snøakkumulasjonsmålingene i 1970-71 (Tvede, 1972) viste også at snødypene avtok litt mot breens høyeste område pga avblåsingeffekten. Den midlere høydeøkningen på det ikke kartlagte breområdet <u>settes ut fra disse</u> forholdene til 7 m. Volumøkningen på dette brearealet blir da 137.2 mill. m³. Totalt volumøkning for hele breområdet som idag drenerer til Blåelva blir da:

Kartlagt område	45.3 km ²	366 mill. m ³
lkke kartlagt område	19.6 km²	137 mill. m ³
Sum hele brefeltet	64.9 km ²	<u>503 mill. m³</u>

Disse arealtallene er beregnet med NVEs GIS-verktøy fra Kartverkets digitale kartgrunnlag. Brearealtall er tradisjonelt basert på overflatens topografi. En antar da at dreneringen under breen vil følge fallinjene på breens overflate. Hydrologisk riktigere er det imidlertid å basere seg på fjelltopografien under breen. Dette krever imidlertid først en oppmåling av istykkelsen ved hjelp av radarteknikk.

• Omregning til vannverdier

De volumer som er beregnet fra kartene, er volumer sammensatt av visse andeler breis og firn mens resten er 1995-snø. For å regne alt om til vannverdier, så må vi derfor først estimere hvor stor disse andelene er og så multiplisere disse med sine respektive tettheter. Massbalansemålingene på Hardangerjøkulen viser at det aller meste av volumøkningen antakelig er kommet etter 1988. Dette betyr at mye av volumøkningen fortsatt er firn. Vi foreslår her en fordeling med 45% som is med tetthet 0.9 kg/l, 45% som firn med tetthet 0.65 kg/l og 10% som 1995-snø med tetthet 0.5 kg/l. Ut fra dette får vi følgende omregninger til vannverdier:

226 mill. m^3 is
226 mill. m^3 firn
50 mill. m^3 snø= 204 mill. m^3 vann
= 147 mill. m^3 vann
= 25 mill. m^3 vannSum= $\underline{376}$ mill. m^3 vann

Fordeles disse 376 mill. m³ jevnt utover hele breflaten tilsvarer dette et vannlag på 5.8 m. For hele perioden på 36 år så blir dette i middel 0.16 m/år.

Veksten har vært konsentrert til tre perioder hvorav den siste fra 1989 til 1995 har vært den klart sterkeste.

I skrivende stund vet vi at denne trenden har snudd i 1996 som vil bli et stort underskuddsår. Antakelig har så mye som 1/4 av det akkumulerte overskuddet fra 1959 til 1995 smeltet i løpet av sommeren 1996 og har kommet de nedenforliggende magasiner i Blåelva til gode.

Glasiologiske vurderinger og konsekvenser

<u>Møsevassbreen</u> har minket over det meste av sitt dreneringsområde og da aller mest på selve bretunga. Her har den vertikale nedsmeltingen vært opptil 70-80 meter og fronten har trukket seg ca 700 m tilbake mellom 1959 og 1995. Noe av denne tilbaketrekningen skyldes nok ekstra stor kalving i Møsevatnet pga den varierende vannstanden, men det er ingen tvil om at hele bremassen har avtatt og at en fortsatt må vente tilbakegang av brefronten de nærmeste årene.

<u>Sauabreen</u> synes å være omtrent i samme tilstand som Møsevassbreeen, men her har det vært en betydelig økning på de høyestliggende, vestre delene av breen slik at brevolumet totalt omtrent har vært i balanse. Også fronten av Sauabreen har smeltet ned vertikalt ca 70 m og har trukket seg tilbake 700-900 m siden 1959. Det kan også her ventes fortsatt tilbakegang de nærmeste årene. Deler av fronten ender i Sauavatnet som tidligere var en mye større bredemt sjø med store uttappinger til Londalsvassdraget. Disse flommene fra Sauavatnet er beskrevet av Tvede, 1989. Det kan ellers nevnes at istykkelsen på Sauabreen under ca 1200 m oh ble målt med radar i mars 1987, se Kennett og Sætrang, 1987.

Blomsterskardbreen, både den østlige og vestlige delen, har lagt på seg betydelig i

volum. Relativt mest har nedre delen av den østlige bretunga lagt på seg og her har økningen også nådd helt til fronten mot Blomsterskardvatn. Her har brefronten i netto gått fram opptil 100 m siden 1959. Det er denne økningen som antas å ligge bak endringen i dreneringen under breen som oppstod i juli 1994. Denne hendelsen og det en vet om Blomsterskardbreens historiske variasjoner er dokumentert av Tvede, 1994. Ut fra kartet kan det se ut som om økningen videre oppover breen er mindre enn den økningen som allerede har nådd fronten. Vi vet også at Østre Blomsterskardbre må være en tykk bretunge og at den har et "tregt" reaksjonsmønster. Det kan ut fra dette ansees som mest sannsynlig at brefronten ved Blomsterskardvatn ikke vil fortsette sin fremgang særlig lenge, men vil stabilisere seg.

Den vestre bretunga, lokalt kalt "breen i Svelgjen", har gått tilbake ca 250 m siden 1959, men vi vet at den var på svak fremgang i 1994. Det ansees som sannsynlig at denne svake fremgangen vil fortsette de nærmeste årene fordi breflaten har økt fra ca 2 km ovenfor brefronten.

Det kan altså slås fast at Blomsterskardbreen avviker merkbart i forhold til sine nabobreer både i øst og vest. Dette ble forsåvidt dokumentert allerede av Tvede, 1972. Hva er så årsaken(e) til dette? Vi vil her postulere den hypotesen at hovedårsaken ligger i økende vinddrift av vintersnø fra vest mot øst. Tvede og Laumann, 1996 har dokumentert at det på 1970-, 1980- og 1990-tallet har vært en stadig økende styrke i den gjennomsnittlige vestavinden i akkumulasjonssesongen. Denne sterkere vestavinden har da kunnet blåse mer snø bort fra de eksponerte vest- og sørvestvendte deler av Møsevassbreeen over til den breie senkningen som utgjør Blomsterskardbreens akkumulasjonsområde.

3.2 ENGLISH SUMMARY

The southern part of Folgefonna has been mapped from air photos taken 10.08.1959 and 31.08.1995. These maps have been the basis for a detailed GISmap showing the net glacier mass changes between 1959 and 1995. The detailed map is not presented in this report, but is enclosed in a report by Smith-Meyer and Tvede, 1996. In Figur 3-1 and Table 3-1 are found the volume changes for the four subbasins. In total, the part of Folgefonna draining to the river Blaelva, has increased by 503 Mill. m³ of ice, firn and snow masses, which again has been calculated to be 376 Mill. m³ of water. The volume changes is unevenly distributed. The westernmost subbasin, Møsevassbreen, has had a decrease, the easternmost basin Sauabreen has been very close to a balance while the basin Blomsterskardbreen, in between the two others, has had an increase. The reasons behind these differencies in volume changes, and the implications for future glacier front variations are discussed. A hypotesis is postulated that there has been an increase in the wind transport of snow from the west (from Møsevassbreen) towards the east (to Blomsterskardbreen) caused by an increase in the mean western wind field in the winter period.

4 NIGARDSBREEN (076.EZ) Bjarne Kjøllmoen

4.1 MASSEBALANSE 1994

Feltarbeid

Akkumulasjonsmålingene ble utført mellom 4. og 6.mai. Disse målingene danner grunnlaget for beregning av vinterakkumulasjonen:

Måling av tårn 1810 og 1690 m o.h. som viste hhv 6.5 m og 5.5 m snø.
100 sonderingspunkter i profiler mellom 1320 og 1960 m o.h. I tillegg ble det sondert i 10 punkter i høydenivåene 1000 og 600 m o.h. Ved å ta enkelte kjerneboringer samt kontroll mot tårnene, var sommeroverflaten lett å finne i alle høydenivåer. Snødybden inne på breplatået varierte mellom 4 og 6.5 meter. Nede på bretungen var snødypet mellom 2 og 2.5 meter.

- Snøtettheten ble målt ned til 2 m dybde i høydenivåene 1810 og 1630 m o.h.

Minimumsmålingene ble utført 20.-22.september. Ablasjonen ble målt på tårnene 1810 og 1690 m o.h. samt på staker 1630, 1610, 1520, 1440, 1000 og 600 m o.h. Det lå igjen mellom 2 og 3 m av årets snø på breens øvre områder.

<u>Resultater</u>

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 fra en dato første høst til en dato neste høst. Dette betyr at nysnø som kommer før minimumsmålingene på høsten blir medregnet i sommerbalansen, og trukket fra neste års vinterakkumulasjon. Denne nye datovariable metoden er nyttig ved bruk av massebalansemodelleringer.

Vinterbalanse

Høydenivåene fra 1960 m o.h. og ned til ca 1320 m o.h. er godt representert med målepunkter slik at resultatene her må sies å være pålitelige. Områdene nedenfor 1320 m o.h. er på grunn av utilgjengelig terreng kun representert med punktmålinger på hhv 1000 og 600 m o.h. Akkumulasjonen i disse områdene er derfor bestemt med interpolasjon mellom målepunktene. Midlere snøtetthet er beregnet til 0.48 g/cm³ i 1810 m nivå og 0.45 g/cm³ i 1630 m nivå. Det var ikke kommet nysnø før minimumsmålingene høsten 93. Vinterbalansen, som da blir den samme for begge beregningsmetodene, ble beregnet til 2.28 m \pm 0.30 m vannekvivalenter (109 mill.m³). Dette utgjør 95% av midlere vinterbalanse for måleperioden 1962-93.

Sommerbalanse

Ut i fra den målte smeltingen og en midlere estimert snøtetthet på 0.6 g/cm³ på gjenværende snø, er sommerbalansen beregnet til 1.72 m ±0.45 m vannekvivalenter (82 mill.m³). Det er 90% av middelverdien i måleperioden på 33 år. Ved å ta med nysnøen vil sommerbalansen bli 1.69 m med den såkalte "floating-date method". Verdiene for massebalansen i de enkelte høydeintervall er vist i tabell 4-1. Figur 4-1 viser tilsvarende kurver for hhv spesifikke verdier og volumverdier fordelt med høyden.

		Winter accumulation Summer ablation		Net balance			
		Measured	05 mai 1994	Measured 3	21 sep 1994	Summer surfaces 1993 - 1994	
Altitude (masi)	Area (km²)	Specific (m w.eq.)	Volume (10 [°] m ³)	Specific (m w.eq.)	Volume (10 ^e m³)	Specific (m w.eq.)	Volume (10⁵ m³)
1900 - 1960	0,38	3,15	1,2	-0,90	-0,3	2,25	0,9
1800 - 1900	3,92	2,95	11,6	-1,00	-3,9	1,95	7,6
1700 - 1800	9,39	2,60	24,4	-1,20	-11,3	1,40	13,1
1600 - 1700	12,88	2,35	30,3	-1,35	-17,4	1,00	12,9
1500 - 1600	9,18	2,20	20,2	-1,55	-14,2	0,65	6,0
1400 - 1500	5,82	2,10	12,2	-1,85	-10,8	0,25	1,5
1300 - 1400	2,28	2,00	4,6	-2,25	-5,1	-0,25	-0,6
1200 - 1300	0,90	1,80	1,6	-2,80	-2,5	-1,00	-0,9
1100 - 1200	0,45	1,50	0,7	-3,45	-1,6	-1,95	-0,9
1000 - 1100	0,58	1,25	0,7	-4,15	-2,4	-2,90	-1,7
900 - 1000	0,47	1,05	0,5	-4,85	-2,3	-3,80	-1,8
800 - 900	0,44	1,00	0,4	-5,50	-2,4	-4,50	-2,0
700 - 800	0,33	0,90	0,3	-6,15	-2,0	-5,25	-1,7
600 - 700	0,3 9	0,80	0,3	-6,80	-2,7	-6,00	-2,3
500 - 600	0,24	0,70	0,2	-7,25	-1,7	-6,55	-1,6
400 - 500	0,12	0,65	0,1	-8,15	-1,0	-7,50	-0,9
320 - 400	0,05	0,55	0,0	-8,75	-0,4	-8,20	-0,4
Total area	47,8					7	
Fotal for who	ole glaci	er between Winter acc.	Summer sul	rfaces 1993 Net bal.	3 - 1994		
volum	e (10 ⁶ m ³)	109,3	-82,1	27,2			
60	ecific (m)	2.28	_1 72	0.57		1	

Tabell 4-1Vinterbalanse, sommerbalanse og nettobalanse for Nigardsbreen 1994, tradisjonell
metode.

Winter balance, summer balance and net balance for Nigardsbreen 1994, traditional method.

Nettobalanse

Nigardsbreens nettobalanse for 1994 er beregnet til 0.57 m ±0.35 m vannekvivalenter eller 27 mill.m³ vann. Middelverdien for hele måleperioden er 0.48 meter. Den datovariable metoden gir en nettobalanse på 0.50 m mellom 15.september 1993 og 21.september 1994. Likevektslinjen lå ca 1400 m o.h.



Figur 4-1 Massebalansediagram som viser spesifikke verdier (venstre) og volumverdier (høyre) for Nigardsbreen 1994, tradisjonell metode.

Mass balance diagram showing specific values (left) and volume values (right) for Nigardsbreen 1994, traditional method.



Figur 4-2 Fronten av Nigardsbreen fotografert i september 1993. Siden framrykkingen startet i 1988 og fram til høsten 1995 har breen hatt et samlet framstøt på ca 140 meter. Foto: Bjarne Kjøllmoen.

The front of Nigardsbreen photographed in September 1993. In the period 1988-95 the front has advanced about 140 meters.

4.2 MASSEBALANSE 1995

Feltarbeid

Akkumulasjonsmålingene ble utført 23. og 24.april. Grunnlaget for beregning av vinterakkumulasjonen er:

- Måling av tårn 1800 og 1690 m o.h. som viste hhv 8.15 m og 7.4 m snø.

- Kjerneboringer i høydenivåene 1325, 1435, 1610 og 1950 m o.h. Boringene viste snødyp på hhv 5.9 m, 7.4 m, 6.7 m og 7.0 meter.

- 46 sonderingspunkter i profiler mellom 1325 og 1920 m o.h., og 10 punkter i høydenivåene 600 og 1000 m o.h. Sonderingsforholdene var vanskelige over 1325 m nivået. Snødybden varierte fra 6.7 m i 1325 m nivå til 8.1 m i 1800 m nivå. På bretungen var snødybden mellom 2.2 og 3.2 m i 600 m nivå og rundt 4 m i 1000 m nivå.

- Snøtettheten ble målt ned til hhv 2.4 og 2.9 m dybde i høydenivåene 1325 og 1800 m o.h.

Minimumsmålingene ble utført 30.september. Nettobalansen ble målt i 10 posisjoner mellom 600 og 1950 m o.h. Det lå igjen mellom 4 og 5 m av årets snø på breens øverste områder. Det var kommet 50-90 cm lett nysnø inne på breplatået.

Resultater

• Vinterbalanse

Høydeintervallet fra 1960 m o.h. og ned til 1325 m o.h. er representert med over 50 målepunkter. Selv om sommeroverflaten i disse områdene var vanskelig å påvise, må resultatene her sies å være rimelig pålitelige. Områdene nedenfor 1325 m o.h. er på grunn av utilgjengelighet kun representert med punktmålinger på hhv 1000 og 600 m o.h. Akkumulasjonen i disse områdene er derfor bestemt med interpolasjon mellom målepunktene. Midlere snøtetthet er beregnet til 0.49 g/cm³ i 1800 m nivå og 0.47 g/cm³ i 1325 m nivå. Den tradisjonelle beregningsmetoden gir en vinterbalanse på 3.16 m ±0.30 m vannekvivalenter (151 mill.m³). Det utgjør 132% av midlere vinterbalanse i måleperioden som har vart kontinuerlig siden 1962. Bare tre ganger tidligere i denne perioden (1967, 1989 og 1990) er det målt større vinterbalanse på Nigardsbreen. Den datovariable metoden viser en vinterbalanse på 3.12 meter.

Sommerbalanse

På grunnlag av stakemålingene og en estimert midlere snøtetthet på 0.6 g/cm³ på gjenværende snø, ble sommerbalansen beregnet til 1.97 m ±0.45 m vannekvivalenter (94 mill.m³). Det er 103% av middelverdien i måleperioden på 34 år. Ved å ta med høstens nysnø blir sommerbalansen 1.87 m beregnet med den datovariable metoden.

Nettobalanse

Nigardsbreens nettobalanse for 1995 er beregnet til 1.19 m ±0.35 m vannekvivalenter eller 57 mill.m³ vann. Middelverdien for hele måleperioden er 0.48 meter. Den datovariable metoden gir en nettobalanse på 1.26 m mellom 21.september 1994 og 30.september 1995. Likevektslinjen lå ca 1320 m o.h., og det

43

0

er nesten 250 m lavere enn et år breen er i likevekt.

Verdiene for massebalansen i de enkelte høydeintervall med "traditional method" er vist i tabell 4-2. Kurvene for den tradisjonelle metoden med hhv spesifikke verdier og volumverdier fordelt med høyden er vist i figur 4-3.

Mass balance Nigardsbreen1994/95 – traditional method								
		Winter accumulation		Summer ablation		Net balance		
		Measured	23 apr 1995	Measured 30 sep 1995		Summer surfaces 1994 - 1995		
Altitude	Area	Specific	Volume	Specific	Volume	Specific	Volume	
(masl)	(km²)	(m w.eq.)	(10 ⁶ m ³)	(m w.eq.)	(10 ⁶ m ³)	(m w.eq.)	(10 ⁶ m³)	
1900 - 1960	0,38	3,55	1,35	-1,10	-0,42	2,45	0,93	
1800 - 1900	3,92	3,70	14,50	-1,10	-4,31	2,60	10,19	
1700 - 1800	9,39	3,45	32,40	-1,15	-10,80	2,30	21,60	
1600 - 1700	12,88	3,35	43,15	-1,60	-20,61	1,75	22,54	
1500 - 1600	9,18	3,10	28,46	-1,90	-17,44	1,20	11,02	
1400 - 1500	5,82	3,00	17,46	-2,10	-12,22	0,90	5,24	
1300 - 1400	2,28	2,85	6,50	-2,55	-5,81	0,30	0,68	
1200 - 1300	0,90	2,55	2,30	-3,30	-2,97	-0,75	-0,68	
1100 - 1200	0,45	2,25	1,01	-4,10	-1,85	-1,85	-0,83	
1000 - 1100	0,58	2,00	1,16	-4,85	-2,81	-2,85	-1,65	
900 - 1000	0,47	1,70	0,80	-5,65	-2,66	-3,95	-1,86	
800 - 900	0,44	1,50	0,66	-6,55	-2,88	-5,05	-2,22	
700 - 800	0,33	1,30	0,43	-7,40	-2,44	-6,10	-2,01	
600 - 700	0,39	1,10	0,43	-8,20	-3,20	-7,10	-2,77	
500 - 600	0,24	0,95	0,23	-8,90	-2,14	-7,95	-1,91	
400 - 500	0,12	0,85	0,10	-9,60	-1,15	-8,75	-1,05	
320 - 400	0,05	0,75	0,04	-10,30	-0,52	-9,55	-0,48	
Total area	47,8							
Total for who	le glaci	er between	summer su	rfaces 1994	1 - 1995			
		Winter acc	Summer abl	Net hal				
volumo	$(10^6 m^3)$	151.0	_04.2	56.7				
Volume		2 16	1 07	1 10				
spe	ecilic (m)	3,10	-1,97	1,19				
L								

Tabell 4-2 Vinterbalanse, sommerbalanse og nettobalanse for Nigardsbreen 1995 beregnet med tradisjonell metode. Middelverdiene for perioden 1962-94 er b_w =2.39 m, b_s =-1.91 m og b_n =+0.48 meter.

Winter balance, summer balance and net balance for Nigardsbreen 1995 made by the traditional method calculation. The average for 33 years is b_w =2.39 m, b_s =-1.91 m and b_n =+0.48 meter water equivalent.

Nigardsbreens årlige variasjoner siden målingene startet i 1962 er vist i figur 4-4, og den kumulative nettobalansen i samme periode er vist i figur 4-5.



Figur 4-3 Massebalansediagram for Nigardsbreen 1995 som viser spesifikke verdier (venstre) og volumverdier (høyre) for vinterbalanse, sommerbalanse og nettobalanse beregnet med tradisjonell metode. Likevektslinjens høyde er rundt 1320 m o.h. Er breen i likevekt vil likevektslinjen ligge ca 1570 m o.h. Høydeintervallet mellom 1600 og 1800 m o.h. utgjør under halvparten av breens areal, men over 75% av breens netto tilvekst.

Mass balance diagram for Nigardsbreen 1995 showing specific values (left) and volume values (right) for winter balance, summer balance and net balance made by the traditional method calculation. The ELA is ca. 1320 m a.s.l. In a year with net balance 0, the ELA will be about 1570 m a.s.l. The height interval between 1600 and 1800 m a.s.l. represents less than 50% of the area, but over 75% of Nigardsbreens volume balance.



Figur 4-4 Diagrammet viser massebalansen for Nigardsbreen i perioden 1962-95. Diagram showing mass balance for Nigardsbreen between 1962-95.



Figur 4-5 Kumulativ nettobalanse for Nigardsbreen 1962-95. Siden 1962 har Nigardsbreen hatt et samlet overskudd i nettobalansen på ca 17 m vannekvivalenter. Mer enn 10 m av overskuddet er kommet siden 1988.

The cumulative net balance for Nigardsbreen between 1962 and 1995 is about 17 m w.eq., with an increase of 10 m since 1988.

4.3 FRONTPOSISJON

Endringer av brefrontens posisjon måles fra ett fastpunkt ved utløpet av breelva. Frontmålinger er utført høsten 1994 og høsten 1995. Målingene viste at Nigardsbreen gikk fram 36 m i perioden september 93 - september 94 og 50 m det neste året. Denne forholdsvis store framrykkingen skyldes sannsynligvis det store masseoverskuddet de seneste årene. Etter en lang periode med tilbaketrekning som stanset i 1988 har breen hatt et samlet framstøt på 140 meter. Målingene viser en markert økning i brefrontens årlige framrykking siden 1988. Dette er illustrert i figur 4-6, mens figur 4-7 viser at Nigardsbreens front høsten 1995 står nesten like langt framme som i 1972.



Figur 4-6 Figuren viser Nigardsbrefrontens årlige endringer siden framrykkingen startet i 1988. Økningen i framrykkingen er spesielt markert de siste to årene. Dette skyldes sannsynligvis mest det betydelige overskuddet i nettobalansen de siste 7 årene.

Annual changes in front position since the advance started in 1988. The increase of the advance is due to the last seven years' positive net balance.



Figur 4-7 Kumulative frontmålinger på Nigardsbreen 1972 - 95. Siden 1988 har breen hatt et samlet framstøt på ca 140 meter. Brefronten står i 1995 omtrent på samme sted som i 1972.

The front position of Nigardsbreen 1972-95. Since 1988 the front has advanced about 140 meters. In 1995, Nigardsbreens front is at about the same position as it was in 1972.

4.4 KLIMASTASJON

Klimastasjonen på Steinmann 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 tabeller og diagrammer hentes ut etter behov.



Figur 4-8 Feltstasjonen på Steinmann, som ble utbedret med ny beboelseshytte og garasje i 1980. Bak garasjen, til venstre, skimtes den meteorologiske stasjonen. Foto: Bjarne Kjøllmoen.

Field station Steinmann, built in 1980, consists of living quarters and garage. Behind the garage, to the left, is the meteorological station.

For årene 1994 og 1995 foreligger det data fra periodene 5.mai 94 til 21.september 94 og fra 1.august 95 til 30.september 95. Figur 4-9 viser daglige middeltemperaturer for de to periodene. Målingene er sammenlignet med data fra klimastasjonen Bjørkehaug som ligger nede i dalen (324 m o.h.). Kurvene viser en klar sammenheng mellom de to stasjonene. I gjennomsnitt var temperaturen på Steinmann 8.6°C lavere enn på Bjørkehaug. Det gir en temperaturgradient på 0.64°C/100 meter.



Figur 4-9 Daglige middeltemperaturer for Steinmann (1630 m o.h.) og Bjørkehaug (324 m o.h.) i periodene 5.mai - 21.september 1994 og 1.august - 30.september 1995.

Daily mean temperature of the climate stations Steinmann (1630 m a.s.l.) and Bjørkehaug (324 m a.s.l.) during the periods May 5 - September 21 1994 and August 1 - September 30 1995.

4.5 ENGLISH SUMMARY

The annual mass balance on Nigardsbreen has been measured every year since 1962. In 1994, the accumulation measurements were made May 4-6. Snow depth varied between 4 and 6.5 m above 1320 m a.s.l., and between 2 and 2.5 m on the glacier tongue. Total winter balance was 2.28 m \pm 0.30 m w.eqv. (109 mill.m³), which is 95% of the average for the years 1962-93. Summer balance was measured September 20-22. In the accumulation area, there was 2-3 m of snow remaining. Total summer balance was 1.72 m \pm 0.45 m w.eqv. (82 mill.m³), which is 90% of the average. Net balance was then +0.57 m \pm 0.35 m w.eqv., or a surplus of 27 mill.m³ water, and the mean value is +0.48 meter. The ELA was at about 1400 m a.s.l.

In 1995, accumulation measurements were made April 23-24. Snow depth varied from 6.7 to 8.1 m above 1320 m a.s.l., and from 2.2 to 3.2 m on the tongue. Winter balance was 3.16 m \pm 0.30 m w.eqv. (151 mill.m³), 132% of the average. A greater winter balance has only been recorded three times before in the period 1962-95, in 1967, 1989 and 1990. Summer balance was measured September 30. In the upper part of the glacier, there was 4-5 m of snow remaining. Total summer balance was 1.97 m \pm 0.45 m w.eqv. (94 mill.m³), which is close to the average for 1962-95. Net

balance was then 1.19 m \pm 0.35 m w.eqv., or a surplus of 57 mill.m³ water. The ELA was at about 1320 m a.s.l.

Front position was measured both in 1994 and 95. Nigardsbreen advanced about 36 m from September 1993 to September 1994 and about 50 m the year after. For further information, see chapter 2.

Meteorological observations, air temperature, wind speed and wind direction are made by automatic instruments at the field station Steinmann (1630 m a.s.l.). In 1994 data were collected from May 5 to September 21, and in 1995, from August 1 to September 30. Air temperature measurements are shown in Figure 4-9.

5 TUNSBERGDALSBREEN (076.BZ) Bjarne Kjøllmoen

5.1 MASSEBALANSE 1994 OG 1995

I årene 1966-72 ble det utført massebalansemålinger både på Tunsbergdalsbreen og Nigardsbreen. En lineær regresjonsanalyse av resultatene for disse 7 årene gir følgende formel:

 $T = 0.987 \cdot N - 0.283$

der T = Tunsbergdalsbreen nettobalanse og N = Nigardsbreens nettobalanse. Korrelasjonskoeffesienten er 0.987.

Ut fra denne formelen er nettobalansen for 1994 beregnet til 0.28 m vannekvivalenter eller 14 mill.m³ vann . For 1995 er resultatet 0.89 m eller 44 mill.m³ vann. Usikkerheten i estimatene er ± 0.50 meter. For Tunsbergdalsbreen er nettobalansen i perioden 1962-95 estimert til et overskudd på ca 7 meter.

Ut fra målingene i perioden 1966-72 viste det seg å være en korrelasjon mellom likevektslinjens høyde på de to breene. På Tunsbergdalsbreen lå den gjennomsnittlig 130 m lavere enn på Nigardsbreen. Dette betyr at likevektslinjen på Tunsbergdalsbreen høsten 1994 lå i området 1290-1330 m o.h., mens den lå i området 1170-1210 m o.h. i 1995.

5.2 ENGLISH SUMMARY

From 1966-72, mass balance measurements were made at both Tunsbergdalsbreen and Nigardsbreen. A linear regression of the results from these seven years gives an equation to calculate the annual net balance of Tunsbergdalsbreen. For 1994 and 1995, the net balance was estimated at +0.28 m and +0.89 m w.eqv., respectively. The cumulative net balance is estimated to be a surplus of ca. 7 m w.eqv. since 1962.

6 BAKLIBREEN (076.DZ) Bjarne Kjøllmoen

6.1 RASOVERVÅKING

Sommeren 1986 gikk det et ras fra Baklibreen ut i Krundalen, en sidedal til Jostedalen. Raset hadde en fallhøyde på 600-700 meter. Tre personer som gikk på en sti nede i Krundalen ble drept. Raset hadde en størrelse på 200 000 m³.

For å få en bedre forståelse av ras fra breer generelt og Baklibreen spesielt, ble det satt i gang målinger på breen høsten 1987. Målingene, som fortsatt pågår, omfatter brebevegelse, endringer i overflatehøyde og fotografering av bretungen. Breoverflatens høyde, som er avhengig av breens massebalanse og istransporten nedover breen, er målt i et lengdeprofil langs senterlinjen av breen. Figur 6-1 viser endringene i overflatehøyden fra 1984 og fram til 1996. Som det framgår av figuren har bretykkelsen økt med 10-25 m fra 1989 til 1996. Høydeendringene er størst nær brefronten. De to siste årene ser det ut til at endringene har stagnert. Brebevegelsen, som måles på èn stake, øker mot brefronten hvor bevegelsen er rundt 20 cm/døgn. Bildene i figur 6-2 viser Baklibreen fra 1991 og 1996. Visuelle observasjoner har vist små rastilløp av isblokker gjennom hele sommersesongen de siste 2-3 årene. Rasene går nå ned i kanten av Bergsetbreen som har gått fram betydelig de siste 4-5 årene.



Figur 6-1 Endringer i overflatehøyden på nedre dal av Baklibreen fra 1984 til 1996. Mellom 1989 og 1996 har breen økt 10-25 m i tykkelse.

Changes in surface elevation on the lower part of Baklibreen from 1984 to 1996. Between 1989 and 1996 the glacier thickness has increased 10-25 meters.

Konklusjonen på målingene så langt viser at den nedre delen av Baklibreen har økt i tykkelse, men denne økningen ser nå ut til å ha stagnert. Brefronten rykker fortsatt fram, og ismasser bygger seg opp i fjellsida ned mot kanten av Bergsetbreen. Små rastilløp er registrert og rasene går nå ned på Bergsetbreen.



Figur 6-2 Baklibreen fotografert i juli 1991 (til venstre) og juli 1996 (til høyre). Bildene viser tydelig at ismasser har bygget seg opp langs fjellsida. Foto: Mike Kennett og Bjarne Kjøllmoen.

Baklibreen photographed in July 1991 (left) and July 1996 (right). The images show clearly how ice volume has increased at the front.

6.2 ENGLISH SUMMARY

After a large ice avalanche on Baklibreen in August 1986, in which 200 000 m³ of ice fell more than 600 m, killing three tourists, monitoring for possible avalanches has been carried out since summer 1987. This includes measurements of glacier movement, changes in elevation and photographing the glacier front. Observations show that the lower part of Baklibreen has increased in thickness by 10-25 m since 1989, (Figure 6-1). The advance of the glacier continues, and some minor avalanches have been observed during the last two years.

7. AUSTDALSBREEN (076.H) Hallgeir Elvehøy

Glasiologiske undersøkingar på Austdalsbreen vart igangsett i 1986 i samband med regulering av Jostedøla. Austdalsvatnet som Austdalsbreen kalver ut i, er saman med Styggevatnet reguleringsmagasin for Jostedal Kraftverk. I 1994 og 1995 omfatta måleprogrammet frontposisjonendring, brerørsle på den nedre delen av breen, og massebalansemålingar. Utifrå posisjonering av målestaker kunne også endringar i breen si overflatehøgde registrerast.

7.1 MASSEBALANSE 1994

Feltarbeid

Akkumulasjonsmålingane vart gjort 4.mai. Snødjupet vart målt på 4 staker og tårn hhv. 1222, 1312, 1400 og 1550 m o.h., og sondert i 37 punkt frå 1220 til 1560 m o.h. Snødjupet var frå 1 meter nederst ved brefronten (der ein del snø bles ned i sprekker eller av breen) til 4.5 - 5 meter rundt 1550 m o.h. Snøtettleiken vart målt i dei øvste 2 meter av snøpakken ved tårnet 1550 m o.h.

Minimumsmålingane vart gjort 20.september. Over 1400 m o.h. låg det eit par cm nysnø på breen. Nettobalansen kunne reknast ut på 6 staker hhv. 1243, 1312, 1375, 1400, 1495 og 1550 m o.h. Øvst på breen hadde stakane vorte 3 - 3.5 m lengre og det låg att 1 - 1.5 m snø frå siste vinter. Nederst på breen hadde all snøen og 4 - 5 m is smelta vekk. Snølina låg mellom 1400 og 1495 m o.h., og overgangen is/firn låg mellom 1375 og 1400 m o.h.

Resultat

Vinterbalansen

Utifrå målt tettleik ned til 2 m djup vart eit tettleiksprofil ned til 6 meter laga ved hjelp av ein modell for tettleiksauke med aukande snødjup. Midlare tettleik i øvre 2 meter vart målt til 0.37 g/cm³, medan midlare tettleik for 5 meter snø vart utrekna til 0.45 g/cm³. Dette tettleiksprofilet vart rekna som representativt for heile breen. Målte snødjup vart så omrekna til vassverdiar vha tettleiksprofilet. Figur 7-1 viser korleis vinterbalansen varierer med høgda. For områda over 1550 m o.h. er det antatt at snødjupet vil auke svakt for så å avta mot toppen av Austdalsnuten, Rundeggi og Svartfjellet pga avblåsing.

Vinterbalansen er utrekna til 21.3 mill. m^3 vassekvivalentar eller 1.8 ± 0.1 m vatn midla over heile breoverflata. Det er 69% av middelverdien for perioden 1988 - 93.

• Sommarbalansen

På Austdalsbreen bidrar både smelting på breoverflata og kalving av isfjell frå brefronten til sommarbalansen.





Altitudinal distribution of winter, summer and net balance at Austdalsbreen in 1994..

Smeltinga på breoverflata vart målt ved 4 stakar mellom 1230 og 1550 m o.h. Utifrå disse målepunkta vart ei utjamna sommarbalansekurve trekt (figur 7-1). Smeltinga på Austdalsbreen er utrekna til å vere 19.3 mill m³ vassekvivalentar eller 1.6 \pm 0.2 m vatn jamnt fordelt over breoverflata.

Kalving frå brefronten 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:

$$Q_{k} = \rho_{is} * (u_{is} - u_{f}) * B * H$$
(1)

der $\rho_{is} = 0.9 \text{ m}^3 \text{ vatn/m}^3 \text{ is, } u_{is} \text{ og } u_f \text{ er hhv brehastigheita og frontposisjonendringa midla over frontbredda (m/år), B er frontbredda (m) og H er midlare istjukkleik (m) langs brefronten.$

Frontposisjonen til Austdalsbreen forandra seg lite mellom hausten 1993 og hausten 1994 (u_f =0, figur 7-4). Årsmiddel for brehastigheita målt på stakar nær brefronten var 21 cm/døgn eller 80 m/år (figur 7-5). Midla for heile brefronten antar vi at hastigheita var omlag 70±5 m/år. Med midlare istjukkleik estimert til 45±5 meter, frontbredde på 1000±50 meter og istettleik på 0.9 g/cm³, tilsvara kalvinga (2.8±0.4) mill. m³ vassekvivalentar. Sommarbalansen (smelting + kalving) frå Austdalsbreen vart då 22.1 mill.m³ vassekvivalentar eller 1.87 m vatn jamnt fordelt over breoverflata. Det er 92% av middelverdien for perioden 1988 -93. Uvissa i sommarbalansen er estimert til \pm 0.2 m vassekvivalentar.

Nettobalansen

Nettobalansen for heile breen vart utrekna til -0.8 mill. m³ vassekvivalentar eller -0.07 m vatn jamnt fordelt over breoverflata. Gjennomsnitt for perioden 1988 - 93 er til samanlikning +0.58 m vassekvivalenter. Likevektslina låg omlag 1425 m o.h. Uvissa i nettobalansen vart anslått til ± 0.2 m vassekvivalentar.

Vinter-, sommar- og nettobalansen si høgdefordeling er vist i tabell 7-1 og figur 7-1, og resultata for perioden 1988 - 95 er vist i figur 7-3.

		Winter balance Summer balance		balance	Net balance			
		Measured 04 m	nai 1994	Measured 20 se	ap 1994	Summer surfaces	es 1993 - 1994	
Altitude (masl)	Area (km² ⁾	Specific (m.w.eq.)	Volume (10 ^e m³)	Specific (m.w.eq.)	Volume (10° m²)	Specific (m.weq.)	Volume (10°m²)	
1700 - 1757	0.16	1.80	0.28	-0.90	-0.14	0.90	0.14	
1650 - 1700	0.13	2.10	0.27	-1.00	-0.13	1.10	0.14	
1600 - 1650	0.38	2.15	0.81	-1.05	-0.39	1.10	0.41	
1550 - 1600	2.45	2.10	5.14	-1.10	-2.69	1.00	2.45	
1500 - 1550	2.54	2.00	5.08	-1.20	-3.05	0.80	2.03	
1450 - 1500	1.92	1.90	3.65	-1.45	-2.79	0.45	0.86	
1400 - 1450	1.36	1.75	2.37	-1.75	-2.37	0.00	0.00	
1350 - 1400	1.01	1.55	1.57	-2.05	-2.07	-0.50	-0.51	
1300 - 1350	0.79	1.35	1.06	-2.40	-1.89	-1.05	-0.83	
1250 - 1300	0.69	1.10	0.76	-3.05	-2.10	-1.95	-1.34	
1200 - 1250	0.44	0.70	0.30	-3.85	-1.67	-3.15	-1.37	
Total area	11.8							
otal for who	ole glaci	er between	summer su	rfaces 1993	3 - 1994 ind	cluding calvi	ng	
		Winter bal.	Summer bal.	Net bal.				
volume	e (10 ⁶ m ³)	21.3	-22.1	-0.8				
sp	ecific (m)	1.80	-1.87	-0.07				

Tabell 7-1 Vinter- sommar- og nettobalansen si høgdefordeling på Austdalsbreen i 1994.

Altitudinal distribution of winter, summer and net balance at Austdalsbreen in 1994.

7.2 MASSEBALANSE 1995

Feltarbeid

Akkumulasjonsmålingane vart gjort 25.april. Snødjupet vart målt på tårna 1400 og 1550 m o.h., og ved to nye staker sett ut 1300 og 1490 m o.h., og sondert i 42 punkt langs eit lengdeprofil frå sadelen mot Sygneskardsbreen (1575 m o.h.) via tårna og stakane ned til 1300 m o.h., og i tverrprofil 1550, 1400 og 1300 m o.h. Snødjupet var mellom 4 og 6.5 meter. Snøtettleik vart målt ned til 2.85 m djup ved staken 1490 m o.h.

Minimumsmålingane vart gjort 30.september. Det låg då frå 0.1 til 0.6 m nysnø på breen. Nettobalansen vart målt ved 7 stakar mellom 1230 og 1550 m o.h. I dei øvre områda hadde stakane vorte ca 3.7 m lengre sidan akkumulasjonsmålingane, og ca 2.5 m snø låg att. I området mellom 1300 og 1400 m o.h. hadde nesten all snøen frå siste vinter smelta vekk. Nederst på bretunga hadde opp til 5.7 m is smelta vekk i løpet av sommaren. Snøgrensa kunne ikkje påvisast pga nysnø, men stakemålingane tyder på at snøgrensa låg mellom 1300 og 1400 m o.h.

Resultat

Vinterbalansen

Utifrå målt tettleik ned til 2.85 m djup vart eit tettleiksprofil ned til 7 meter laga ved hjelp av ein modell for tettleiksauke med aukande snødjup. Dette tettleiksprofilet vart rekna som representativt for heile breen. Målte snødjup vart så omrekna til vassverdiar vha tettleiksprofilet. Figur 7-2 viser korleis vinterbalansen varierer med høgda. Under 1300 m o.h. er fordelinga av akkumulasjonen svært ujamn pga store sprekker. Det vart rekna med ein liten reduksjon av akkumulasjonen under 1300 m o.h. Over 1575 m o.h. vart det antatt inga endring i akkumulasjonen. I områda rundt Rundeggi, Svartfjellet og Austdalsnuten kan akkumulasjonen auke med aukande høgde, men effekta av vinddrift er også større rundt disse toppane.

Vinterbalansen vart utrekna til 32.2 mill. m^3 vassekvivalentar eller 2.7 ± 0.2 m vatn jamnt fordelt over breoverflata. Det er 108% av middelverdien for perioden 1988-94.

Sommarbalansen

På Austdalsbreen bidrar både smelting på breoverflata og kalving av isfjell frå brefronten til sommarbalansen.

Smeltinga på breoverflata vart målt på 5 staker mellom 1230 og 1550 m o.h. Utifrå disse målepunkta vart ei utjamna sommarbalansekurve trekt (figur 7-2). På den nederste staken måtte smeltinga mellom 25.april og 8.juni estimerast utifrå smelting på staken i 1300 meter nivå. Den store forskjellen mellom dei to nederste stakane skuldast at det i området der den nederste staken står er breie sprekker som samlar opp det meste av snøfallet slik at det mellom stakane er svært lite snø. Smeltinga på breoverflata vart utrekna til 21.6 mill m³ vassekvivalentar som tilsvarer 2.7 ± 0.2 m vatn jamnt fordelt over breoverflata.



Figur 7-2 Vinter-, sommar- og nettobalansen si høgdefordeling på Austdalsbreen i 1995. Sonderingar (+) og smelting målt ved stakar (•) er også vist.

Altitudinal distribution of winter, summer and net balance at Austdalsbreen in 1995. Distribution of snow depth measurements (+) and melting measured at stakes (•) is shown too.

Kalvingsvolumet vart utrekna som for 1993/94. Utifrå stakemålingar (figur 7-5) vart midlare brehastigheita gjennom brefronten anslått til 75± 5 m/år. Midlare endring i frontposisjon var -6.5±5 m/år (figur 7-4). Istjukkleiken vart utrekna frå overflatehøgda målt langs brefronten hausten 1994 og eit bunnkart laga på grunnlag av botntopografikart frå breradar (1988), smelteboringar (1987) og opplodding i Austdalsvatnet framfor brefronten (1989). Midlare istjukkleik var 43 ± 5 meter, og frontbredda var omlag 1050 ± 50 meter. Det gir eit kalvingsvolum på 3.3 ± 0.5 mill. m³ vassekvivalntat eller 0.28 ± 0.04 meter vatn jamnt fordelt over heile breoverflata.

Sommarbalansen (inkludert kalving) vart då 24.9 mill. m³ vassekvivalentar eller -2.1±0.2 m vatn jamnt fordelt over breoverflata. Det er 101% av gjennomsnittet for perioden 1988-94. I 1995 utgjorde kalving 14% av sommarbalansen.

Nettobalansen

Nettobalansen på Austdalsbreen vart dermed 7.3 mill. m^3 vassekvivalentar eller 0.6 ± 0.3 m vatn jamnt fordelt over breoverflata. Midlare nettobalanse for perioden 1988-94 er til samanlikning 0.45 m vassekvivalentar. Likevektslina låg i 1995 omlag 1360 m o.h. Vinter-, sommar- og nettobalansen si høgdefordeling er vist i figur 7-2 og tabell 7-2, medan resultata for perioden 1988-95 er vist i figur 7-3.

		Winter bal	ance	Summer balance		Net balance	
		Measured	25 apr 1995	Measured 3	Measured 30 sep 1995		es 1994 - 1998
Altitude	Area	Specific	Volume	Specific	Volume	Specific	Volume
(masl)	(km²)	(m w.eq.)	(10 ⁶ m³)	(m w.eq.)	(10° m³)	(m.w.eq.)	(10° m³)
1700 - 1757	0.16	3.00	0.47	-1.25	-0.20	1.75	0.27
1650 - 1700	0.13	3.00	0.38	-1.28	-0.16	1.72	0.22
1600 - 1650	0.38	3.00	1.13	-1.32	-0.50	1.68	0.63
1550 - 1600	2.45	3.00	7.34	-1.35	-3.30	1.65	4.04
1500 - 1550	2.54	3.00	7.62	-1.45	-3.68	1.55	3.94
1450 - 1500	1.92	2.85	5.48	-1.60	-3.08	1.25	2.40
1400 - 1450	1.36	2.50	3.39	-1.85	-2.51	0.65	0.88
1350 - 1400	1.01	2.25	2.27	-2.10	-2.12	0.15	0.15
1300 - 1350	0.79	2.20	1.73	-2.50	-1.97	-0.30	-0.24
1250 - 1300	0.69	2.15	1.48	-3.20	-2.20	-1.05	-0.72
1200 - 1250	0.44	2.00	0.87	-4.25	-1.85	-2.25	-0.98
Total area	11.8						
Fotal for who	le glacie	er between	summer su	rfaces 1994	- 1995 inc	luding calvin	g
	_	Winter bal.	Summer bal.	Net bal.			
volume	• (10 ⁶ m³)	32.2	-24.9	7.3			
SD	ecific (m)	2.72	-2.10	0.62			

Tabell 7-2 Vinter-, sommar- og nettobalansen si høgdefordeling på Austdalsbreen i 1995.

Altitudinal distribution of winter, summer and net balance at Austdalsbreen in 1995.



Figur 7-3 Vinter-, sommar- og nettobalanse på Austdalsbreen i perioden 1988-95. Akkumulert masseoverskot i perioden utgjer 3.74 m vassekvivalentar.

Diagram showing mass balance at Austdalsbreen between 1988 and 1995. Mean winter balance, summer balance (including calving) and net balance for this periode was 2.54, -2.07 and +0.47 m w.eq., respectively, while cumulative net balance in this periode was 3.74 m water equivalents. The mean contribution to the summer balance from calving was -0.23 m w.eq.

7.3 FRONTPOSISJONENDRING

Figur 7-4 viser utviklinga i frontposisjonen i perioden 1993 til 1995 saman med frontposisjonen i 1988 då Austdalsvatnet vart regulert. Det har vore relativt små endringar i frontposisjonen dei siste åra. Den nordlegaste delen av brefronten ser ut til å gå fram, den sørlegaste delen har stabilisert seg, medan den midtre delen framleis går tilbake. Mellom september 1993 og september 1994 var det ikkje endring i midla frontposisjon, medan det mellom september 1994 og september 1995 var ein midla tilbakegang på 6.5 meter. Sidan 1988 har brefronten trekt seg i snitt ca. 250 m tilbake.



Figur 7-4 Frontposisjonendringar på Austdalsbreen etter regulering av Austdalsvatn i 1988-89. Frå 1993 til 1994 var det ikkje endring i midla frontposisjon, medan det frå 1994 til 1995 var ein fronttilbakegang på 6.5 m. Ved kartlegging 9.august 1988 hadde brefronten trekt seg omlag 60 m attende på den sørlegaste delen av brefronten som då kalva i Austdalsvatnet.

> Front position change at Austdalsbreen after regulation of Lake Austdalsvatn in 1988-89. From 1993 to 1994 the averaged frontal change was 0, from 1994 to 1995 averaged retreat was 6.5 meters. In 1988 the glacier front had already retreated ca 60 meters on the southernmost 300 meters when the glacier was mapped on the 9th August.

7.4 BRERØRSLE

Brerørsla vert målt ved å posisjonere stakar som er bora ned i isen, fleire gongar. Utifrå posisjonane kan middelhastigheita for periodar reknast ut. På den nedre delen av Austdalsbreen vert målestakar nær midten av breen posisjonert 3 - 5 gongar pr år. Stakane vert også brukt i massebalansemålingane.

På figur 7-5 er ishastigheit på den nedre delen av breen vist. Sidan stakane heile tida flytter seg er ikkje resultata berre uttrykk for endringar i breen men også endringar i posisjon. Dette er spesielt tydeleg for stakane nær brefronten der hastigheitsauken mot brefronten kan vere betydeleg.

Til samanlikning er vasstanden i Austdalsvatnet midla over periodane mellom stakeinnmålingar vist. Nær brefronten var brerørsla større i 1992 og 1993 enn i 1994 og 1995, og dette kan knyttast til generelt lavare vasstand dei to siste åra. Sommaren 1994 var vasstanden så lav at heile brefronten stod på tørt land delar av sommaren. Dette førte til senking av brerørsla så langt opp på breen som til T90 1500 meter frå brefronten. Årsakssamanhengen er truleg at lavare vasstrykk under breen gjer at friksjonen mot underlaget vert større og dermed vert glidninga mot underlaget mindre. Lavare hastigheit lengre oppe på breen kan skuldast lavare vasstrykk, men kan óg skuldast at isen nær brefronten bremsar på isen lengre opp.

7.5 ENDRING I OVERFLATEHØGDE

Reguleringa av Austdalsvatnet har ført til auka kalving frå Austdalsbreen. Brefronten har derfor trekt seg opp til 400 meter og midla over frontbredda ca 250 meter tilbake sidan 1988. Ved hjelp av matematisk modellering er total tilbaketrekning som følgje av reguleringa estimert til 750 meter i løpet av 50 år (Laumann, 1990). Denne tilbakegangen vil også medføre ei overflatesenking på 20-30 meter over det meste av breen (Laumann, 1990)

Utifra innmåling av målestakar i 1988, 1992 og 1995 kan endringar i overflatehøgde og dermed istjukkleik estimerast. I eit område nær brefronten i 1995 (1250 m o.h.) viser målingane ei senking på omlag 2 meter mellom 1988 og 1992, og omlag 8 meter mellom 1992 og 1995. Rundt 1300-1400 m o.h. var det berre små endringar i overflatehøgde. Lengre oppe på breen (ca 1550 m o.h.) hadde breen vorte ca 4 meter tjukkare mellom 1988 og 1992, og ytterligere ca 2.5 meter tjukkare frå 1992 til 1995.

Målingane viser at Austdalsbreen vert påverka gjennom fleire prosessar. På den nedre delen av breen trekk fronten seg tilbake og breoverflata vert senka som følgje av reguleringa av Austdalsvatnet. I dei øvre områda av breen derimot vert breen



Figur 7-5 Ishastigheit målt på stakar på nedre delen av Austdalsbreen. Stakane 5.90, 1.92, 2.94 og 3.94 stod mindre enn 200 m frå brefronten, stake 92.93 stod ca 800 m frå brefronten, medan T90 stod ca 1500 m frå brefronten. Når ein måleserie sluttar skuldast det at staken har kalva ut i vatnet. Vasstanden i Austdalsvatnet er vist som middelverdi for periodar mellom stakeinnmålingar.

Ice velocity measured at stakes on the lower part of Austdalsbreen. Stakes 5.90, 1.92, 2.94 and 3.94 was placed less than 200 m from the terminus, while stake 92.93 and T90 stood ca 800 and ca 1500 m from the terminus. The stakes are measured until they are lost due to calving. Lake level in Austdalsvatn is averaged over periods between stake measurements .

tjukkare som ei følgje av at massebalasen har vore positiv dei siste åra. Berre sidan 1988 har det samla massebalanseoverskot midla over heile breen vore ca 3.75 m vassekvivalentar. Samspelet mellom disse to prosessane vil truleg føre til at Austdalsbreen ikkje vil trekkje seg så langt tilbake som tidlegare forventa, og dessuten vil stabilisere seg tidligare enn forventa (Laumann, 1990).

7.6 ENGLISH SUMMARY

Glaciological work started at Austdalsbreen i 1986 in connection with construction of a hydro-electric power plant. Austdalsbreen calves into lake Austdalsvatn which is reservoir for the power plant. In 1994 and 1995 mass balance, glacier velocities and front position has been measured.

Mass balance1994

Winter balance was $2.13 \cdot 10^7$ m³ water equivalents (w.eq.) based on two stake measurements (1222, 1312,1400 and 1550 m a.s.l.) and 37 soundings between 1220 and 1560 m a.s.l. Snow depth varied from 1 to 5 meters. Specific winter balance was 1.8±0.1 m w. eq. which is 69% of the 1988-93 mean.

At Austdalsbreen both melting at the glacier surface and calving from the glacier front contributes to the summer balance. The melting was $1.93 \cdot 10^7$ m³ w. eq. based on 4 stake measurements between 1230 and 1550 m a.s.l. The calving was calculated using eq. (1) where ρ_{is} = density of ice, u_{is} and u_f = glacier velocity and frontal change both averaged over the frontal width, B = frontal width, and H = ice thickness averaged over frontal width. For 1994 the numbers were u_{is} = 70±5 m/a, u_f = 0±5 m/a, B= 1000±50 meter and H= 45±5 meter, which gives a calving volume of 2.8 $\cdot 10^6$ m³ w. eq. Spesific summer balance was -1.9±0.2 m w.eq. Which is 92% of the 1988-93 mean.

Spesific net balance was -0.1±0.2 m w. eq. (figure 7-1 and table 7-1). For comparison, the 1988-93 mean was 0.58 m w.eq. The ELA was 1425 m a.s.l., and the AAR was 69%.

Mass balance1995

Winter balance was $2.13 \cdot 10^7$ m³ water equivalents (w.eq.) based on four stake measurements (1300, 1400,1490 and 1550 m a.s.l.) and 42 soundings between 1300 and 1575 m a.s.l. Snow depth varied from 4 to 6.5 meters. Specific winter balance was 2.7 ± 0.2 m w. eq. which is 108% of the 1988-94 mean.

At Austdalsbreen both melting at the glacier surface and calving from the glacier front contributes to the summer balance. The melting was $2.16 \cdot 10^7 \text{ m}^3 \text{ w}$. eq. based on 5 stake measurements between 1230 and 1550 m a.s.l. Using eq. (1) with $u_{is} = 75\pm5 \text{ m/a}$, $u_f = -6.5\pm5 \text{ m/a}$, B= 1050±50 meter and H= 43±5 meter, a calving volume of $3.3 \cdot 10^6 \text{ m}^3 \text{ w}$. eq. was calculated. Spesific summer balance was $-2.1\pm0.2 \text{ m}$ w.eq. which is 101% of the 1988-94 mean.

Spesific net balance was 0.6±0.3 m w. eq.(figure 7-2 and table 7-2). For comparison, the 1988-93 mean was 0.58 m w.eq. The ELA was 1360 m a.s.l., and the AAR was 83%. Figure 7-3 shows results from the 1988-95 periode.

Front position change

The terminus of Austdalsbreen is retreating slowly (figure 7-4). Since 1988 when Austdalsvatn was regulated the average frontal retreat has been ca. 250 meters.

Ice velocity

Ice veocities are measured on the lower part of austdalsbreen by repeated positioning of stakes. The measurements started in 1987 before the regulation of Lake Austdalsvatn. Close to the terminus the ice velocity has increased two-fold due to the increased lake level, causing stretching and increased crevassing on the lower part of the glacier. Figure 7-5 shows some calculated velocities between 1992 and 1995 at stakes on the lower part of the glacier, together with lake level averaged for the periods between stake positionings. The results show that close to the terminus the glacier velocity and the strain rate is highly variable. In 1992 and 1993 the ice velocities there were relatively higher, corresponding to generally higer lake levels, while in 1995 and especially in 1994, the ice velocities and the corresponding lake levels were relatively lower.

Thickness change.

The regulation of Lake Austdalsbreen for hydo-electric development was expected to lead to increased glacier calving, a terminus retreat in the order of 750 m and a surface down-draw of 20-30 m during the next 50 years assuming a constant climate (Laumann, 1990). By comparing surface altitudes measured at stakes in 1988, 1992 and 1995 the thickness change between 1988 and 1995 can be estimated. These calculations show that the glacier is influenced by several different processes. The terminus is retreating as a response to the increased water depth at the front, leading to surface down-draw in the order of 10 m close to the 1995 front position. At the same time the glacier thickness has increased ca 6.5 m in the upper areas due to several years with positive net balance after 1988.

8. HARDANGERJØKULEN (050.4C1Z) Hallgeir Elvehøy

Målingane vert gjort på den sør-vestlege delen av Hardangerjøkulen med utløparen Rembesdalskåkje 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.

8.1 MASSEBALANSE 1994

Feltarbeid

Akkumulasjonsmålingane vart gjort 3. - 5. mai. Snødjupet vart målt på stake 7.93 (1640 m o.h.) og tårn T2 (1820 m o.h.), og sondert i 22 punkt langs eit profil frå Tresnut (1500 m o.h.) til toppen av Hardangerjøkulen (1860 m o.h.) og i 5 punkt på bretunga (1250-1270 m o.h.). Snødjupet varierte frå omlag 2.5 meter på bretunga og ved Tresnut, til omlag 5 meter ved tårn T2. Snøtettleiken vart målt i dei øverste 2 meter av snøpakken ved stake 7.93. Vatnverdi for større snødjup vart estimert ved hjelp av modellar utvikla på bakgrunn av tidlegare års målingar. Vassverdien av 2 og 5 meter snø vart såleis estimert til hhv. 0.84 og 2.35 meter vassekvivalentar.

Minimumsmålingane vart gjort 10.oktober 1994. Det låg då nysnø over heile breen, frå 0.2 m på bretunga til 0.5 m over 1500 m o.h. Årets snølinje kunne derfor ikkje identifiserast. Stakane 10.93 (1240 m o.h.), 7.93 (1640 m o.h.), 4.92 (1750 m o.h.) og T2 (1820 m o.h.) vart brukt til å rekne ut nettobalansen.

Resultat

Vinterbalansen

På grunnlag av målingane 5.mai vart vinterbalansen på Hardangerjøkulen utrekna. Ved minimumsmålingane hausten 1993 vart det ikkje målt nysnø. Ved utrekningane er det derfor antatt at det ikkje var nysnø på breen. Vinterbalansen vart dermed utrekna til 30.8 mill. m³ vassekvivalentar eller 1.79 m vatn jamnt fordelt over dreneringsområdet. Dette er 84% av midlare vinterbalanse i perioden 1963 - 93, men berre 58% av gjennomsnittet for perioden 1989 - 93.

Sommarbalansen og nettobalansen

Utifrå målingane 10.oktober og tidlegare målingar vart nettobalansen utrekna, og sommarbalansen bestemt. I utrekningane vart tettleiken på gammal snø og is rekna til hhv. 0.6 og 0.9 g/cm³. Sommarbalansen vart utrekna til 28.1 mill m³ vassekvivalentar eller 1.63 m vatn jamnt fordelt over breoverflata. Det er 86% av gjennomsnittet for perioden 1963 - 93, men 111% av gjennomsnittet for perioden 1989 - 93.

Nettobalansen vart utrekna til 2.8 mill m³ vassekvivalentar eller 0.16 m vatn jamnt fordelt over dreneringsområdet. Gjennomsnittet for perioden 1963 - 93 er 0.23 m,

medan gjennomsnittet for perioden 1989 - 93 er 1.57 m vatn. Utifrå høgdefordelinga av nettobalansen låg likevektslina 1600 m o.h (figur 8-1).

Vinter-, sommar- og nettobalansen si høgdefordeling er vist på figur 8-1 og i tabell 8.1. Resultata frå perioden 1963 - 95 er vist i figur 8-3, medan figur 8-4 viser den kumulative nettobalansen i måleperioden.

Mass balance Hardangerjøkulen1993/94 – traditional method							
		Winter balance		Summer balance		Net balance	
		Measured 05 mai 1994		Measured 10 okt 1994		Summer surfaces 1993 - 1994	
Altitude	Area	Specific	Volume	Specific	Volume	Specific	Volume
(masl)	(km²)	(m w.eq.)	(10 ⁶ m ³)	(m w.eq.)	(10 ⁶ m ³)	(m w.eq.)	(10 ⁶ m ³)
1850 - 1860	0.07	1.5	0.1	-1.2	-0.1	0.3	0.0
1800 - 1850	3.38	1.9	6.4	-1.2	-4.2	0.7	2.3
1750 - 1800	3.87	2.1	8.1	-1.3	-5.0	0.8	3.2
1700 - 1750	3.91	2.0	7.8	-1.3	-5.2	0.7	2.6
1650 - 1700	2.08	1.8	3.7	-1.4	-2.9	0.4	0.9
1600 - 1650	0.94	1.6	1.5	-1.4	-1.3	0.2	0.2
1550 - 1600	0.64	1.3	0.8	-1.6	-1.0	-0.3	-0.2
1500 - 1550	0.54	1.3	0.7	-1.9	-1.0	-0.6	-0.3
1450 - 1500	0.32	1.1	0.3	-2.3	-0.7	-1.2	-0.4
1400 - 1450	0.20	1.0	0.2	-2.8	-0.6	-1.8	-0.4
1350 - 1400	0.11	1.0	0.1	-3.4	-0.4	-2.4	-0.3
1300 - 1350	0.08	1.0	0.1	-3.9	-0.3	-2.9	-0.2
1250 - 1300	0.27	0.9	0.2	-4.5	-1.2	-3.6	-1.0
1200 - 1250	0.32	0.9	0.3	-5.1	-1.6	-4.2	-1.3
1150 - 1200	0.32	0.8	0.3	-5.6	-1.8	-4.7	-1.5
1100 - 1150	0.12	0.8	0.1	-6.1	-0.7	-5.3	-0.6
1050 - 1100	0.02	0.8	0.0	-6.7	-0.1	-5.9	-0.1
Total area	17.2						
Total for who	le glaci	er between	summer su	rfaces 1993	3 - 1994		
			0	Next Part			
	(105	vvinter bal.	Summer bal.	Net bal.			
volume	e (10° m³)	1 70	-20.1	2.0			
spe	ecific (m)	1.79	-1.05	0.10			

Tabell 8-1Vinter-, sommar- og nettobalansen si høgdefordeling på Hardangerjøkulen 1994.

Altitudinal distribution of winter-, summer- and net balance at Hardangerjøkulen in 1994.



Figur 8-1 Vinter-, sommar- og nettobalansen si høgdefordeling på Hardangerjøkulen 1994.

Altitudinal distribution of winter-, summer- and net balance at Hardangerjøkulen in 1994.

8.2 MASSEBALANSE 1995

Feltarbeid

Akkumulasjonsmålingane vart gjort 23.mai. Snødjupet vart målt på stake 10.93 (1270 m o.h.) på bretunga og på tårn T2 (1820 m o.h.) på platået. Snødjupet vart målt ved kjerneboring 1630 m o.h. der ein ny stake (7.95) vart sett ut. Der vart også snøtettleiken målt ned til 3.05 m djup. Det vart gjort i alt 32 sonderingar fordelt på to områder på bretunga (1200 og 1270 m o.h.) og eit profil frå Tressnut (1500 m o.h.) til toppen av breen (1860 m o.h.). Snødjupet var omlag 2.5 m på bretunga (1200-1270 m.oh.), omlag 4 m ved Tressnut (1500-1550), og omlag 5.5 m ved T2. Det var godt samsvar mellom sonderingar og tårn/kjerneboring.

Minimumsmålingane vart gjort 6.september på bretunga og 9.oktober oppe på platået. På bretunga hadde stake 10 (1270 m o.h.) vorte 4 m lengre sidan 10.oktober 1994. Oppe på platået hadde stakar og tårn vorte omlag 4 m lengre sidan 23.mai, og det låg att frå 0.7 m snø ved stake 7 (1640 m o.h.) til 2.35 m snø ved T2 (1820 m o.h.). I tillegg hadde det kome omlag 0.5 m nysnø på platået. Snølina låg mellom 1550 og 1600 m o.h.

Resultat

Vinterbalansen

På grunnlag av målingane 23.mai vart vinterbalansen utrekna. Målte snødjup vart omrekna til vassekvivalentar vha eit tettleiksprofil basert på målte verdiar ned til 3.05 m djup og estimerte verdiar frå ein modell utvikla på bakgrunn av tidlegare års målingar ned til 6 m som var største målte snødjup. Vassverdien av 2 og 6 m snø vart såleis estimert til hhv. 0.9 og 3.04 m vassekvivalentar. Mellom 1500 og 1270 m o.h. og under 1200 m o.h. er det ikkje gjort målingar. Der er verdiane ekstrapolert frå høgdeintervalla med målingar. Det målte lengdeprofilet er det same som har vore brukt tidlegare år og vert rekna som representativt og samanliknbart med tidlegare års målingar.

Vinterbalansen vart dermed utrekna til 42 mill m³ vassekvivalentar eller 2.44 m vatn jamnt fordelt over breoverflata. Det er 115% av gjennomsnittet for perioden 1963-94, men 90% av gjennomsnittet for perioden 1990-94. Uvissa i spesifikk vinterbalanse er estimert til ±0.2 m vassekvivalentar. Vinterbalansen si høgdefordeling er vist på figur 8-2 og i tabell 8-2.

Sommarbalansen

Sommarbalansen kunne reknast ut for stakane 10.93/10.94 (1270 m o.h.), 7.94/7.95 (1640 m o.h.) og T2 (182 m o.h.). I utrekningane er tettleiken til oversomra snø sett til 0.6 g/cm³, medan tettleiken til breis er sett til 0.9 g/ cm³. Sidan minimumsmålingane på bretunga vart gjort ein månad tidlegare enn målingane på breplatået, vart smeltinga mellom 6.september og 10.oktober estimert utifrå målt lufttemperatur på DNMI sin målestasjon Midtlæger på Hardangervidda. Midlare lufttemperatur der i perioden 6.september - 10.oktober 1995 (ca 3.2 °C) vart samanlikna med perioden 7.september - 20.oktober 1990 (ca 2.1 °C) då det smelta 0.3 m is på Rembesdalskåkje. Utifrå dette vart smeltinga på Rembesdalskåkje i perioden 6.september - 10.oktober 1995 estimert til 0.2 m is.

Sommarbalansen vart dermed utrekna til 36.8 mill m³ vassekvivalentar eller 2.14 m vatn jamnt fordelt over breoverflata. Det er 113% av gjennomsnittet for perioden 1963-94, men 141% av gjennomsnittet for perioden 1990-94. Uvissa i spesifikk sommarbalansen er anslått til å vere ± 0.2 m vassekvivalentar. Sommarbalansen si høgdefordeling er vist på figur 8-2 i tabell 8-2.
		Winter bal	ance	Summer balance		Net balance	
	[Measured	23 mai 1995	Measured	09 okt 1995	Summer surfac	es 1994 - 1998
Altitude (masl)	Area (km²)	Specific (m w.eq.)	Volume (10 ⁶ m ³)	Specific (m w.eq.)	Volume (10 ⁶ m³)	Specific (m w.eq.)	Volume (10 ⁶ m ³)
1850 - 1860	0.07	2.5	0.2	-1.7	-0.1	0.8	0.1
1800 - 1850	3.38	2.7	9.1	-1.7	-5.7	1.0	3.4
1750 - 1800	3.87	2.7	10.3	-1.8	-7.0	0.9	3.3
1700 - 1750	3.91	2.6	10.2	-1.9	-7.2	0.8	2.9
1650 - 1700	2.08	2.5	5.2	-2.0	-4.1	0.6	1.1
1600 - 1650	0.94	2.3	2.2	-2.1	-1.9	0.3	0.2
1550 - 1600	0.64	2.2	1.4	-2.2	-1.4	0.0	0.0
1500 - 1550	0.54	2.0	1.1	-2.5	-1.4	-0.5	-0.3
1450 - 1500	0.32	1.9	0.6	-2.9	-0.9	-1.1	-0.3
1400 - 1450	0.20	1.7	0.3	-3.4	-0.7	-1.7	-0.3
1350 - 1400	0.11	1.6	0.2	-3.8	-0.4	-2.2	-0.2
1300 - 1350	0.08	1.5	0.1	-4.3	-0.3	-2.8	-0.2
1250 - 1300	0.27	1.3	0.4	-4.8	-1.3	-3.5	-0.9
1200 - 1250	0.32	1.2	0.4	-5.3	-1.7	-4.1	-1.3
1150 - 1200	0.32	1.1	0.3	-5.8	-1.8	-4.7	-1.5
1100 - 1150	0.12	0.9	0.1	-6.3	-0.8	-5.4	-0.6
1050 - 1100	0.02	0.7	0.0	-6.8	-0.1	-6.1	-0.1
Total area	17.2					-	<u></u>
otal for who	ole glaci	er between	summer su	rfaces 1994	- 1995	1	
	J	Winter bal.	Summer bal.	Net bal.			
volum	e (10 ⁶ m ³)	42.0	-36.8	5.1			
sn	ecific (m)	2.44	-2.14	0.30			
00							

Tabell 8.2 Vinter-, sommar- og nettobalansen si høgdefordeling på Hardangerjøkulen 1995.

Altitudinal distribution of winter, summer and net balance at Hardangerjøkulen 1995.

Nettobalansen

Utifrå vinterbalansen og sommarbalansen er nettobalansen utrekna til eit masseoverskot på 5.1 mill. m³ vassekvivalentar eller 0.30 m vatn jamnt fordelt over breoverflata. Uvissa er anslått å vere ±0.3 m vassekvivalentar. Til samanlikning er middelverdien for perioden 1963-94 +0.23 m vassekvivalentar medan middelverdien for perioden 1990-94 er +1.18 m vassekvivalentar. Nettobalansen si høgdefordeling er vist i figur 8-2 og tabell 8-2.

Figur 8-3 viser årlege resultat frå massebalansemålingane på Hardangerjøkulen i perioden 1963-95, medan figur 8-4 viser den kumulative nettobalansen i den samme perioden. Frå 1963 til 1988 var det berre små endringar i breen sitt volum. Deretter har det vore ein rask auke på til saman nesten 8 meter vatn jamnt fordelt over breoverflata.



Figur 8-2 Vinter-, sommar- og nettobalansen på Hardangerjøkulen i 1995 saman med sonderingar
 (•) og sommarbalansen utrekna for stakar (■).

Altitudinal distribution of winter, summer and net balance at Hardangerjøulen in 1995. Calculated winterbalance at sounding points (•) and calculated summer balance at stakes (■) is also shown.



Figur 8-3Vinter-, sommar- og nettobalansen på Hardangerjøkulen i perioden 1963 - 95.Annual winter, summer and net balance at Hardangerjøkulen in the periode 1963 - 95.



Figur 8-4 Kumulativ nettobalanse på Hardangerjøkulen i perioden 1963-95. Legg merke til at den store auken etter 1988 skuldast stort overskot i åra 1989, 1990, 1992 og 1993.

8.3 ENGLISH SUMMARY

Hardangerjøkulen (73 km²) 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 south-western 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 occuring in 1937 and 1938. Since 1987, Norwegian Water resources and Energy Administration (NVE) has been responsible for the mass balance investigations at Hardangerjøkulen.

Mass balance1994

Winter balance was $3.08 \cdot 10^7$ m³ water equivalents (w.eq.) based on two stake measurements (1650 and 1820 m a.s.l.) and 27 soundings between 1200 and 1860 m a.s.l. Snow depth varied from 2.5 to 5 meters. Specific winter balance was 1.8 ± 0.2 m w. eq. which is 84% of the 1963-93 mean but only 58% of the 1989-93 mean.

Net balance was $+2.8 \cdot 10^6$ m³ w. eq. based on 4 stake measurements between 1270 and 1820 m a.s.l. Spesific net balance was $+0.2\pm0.3$ m w. eq.(figure 8-1 and table 8-1). For comparison, the 1963-95 mean was +0.23 m w.eq. while the 1989-93 mean was +1.57 meters. The ELA was 1605 m a.s.l., and the AAR was 83%.

Cumulative net balance at Hardangerjøkulen 1963-95. The increase after 1988 is due to large surplus in the years 1989, 1990, 1992 and 1993.

Mass balance 1995

Winter balance was $4.2 \cdot 10^7$ m³ w. eq. based on two stake measurements (1250 and 1820 m a.s.l.) and 32 soundings between 1200 and 1860 m a.s.l. (figure 8-2). Snow depth varied from 2.5 to 6 meters. Spesific winter balance was 2.4 ± 0.2 m w.eq., which is 115% of the 1963-94 mean but 90% of the 1990-94 mean.

Summer balance was calculated by fitting a curve to measurements at four stakes (at 1270, 1650, 1750 and 1820 m a.s.l.)(figure 8-2). Total summer balance was $3.7 \cdot 10^7$ m³ w.eq. corresponding to a specific summer balance of 2.1 ± 0.2 m w.eq. This is 113% of the 1963-94 mean, but 141% of the 1990-94 mean.

Net balance was $5 \cdot 10^6$ m³ w.eq., corresponding to a spesific net balance of 0.3 ± 0.3 m water eq. The 1963-95 mean is 0.23, and the 1990-94 mean is 1.18 m w.eq. The ELA was 1575 m a.s.l., while the AAR was 85%. The altitudinal distribution of winter, summer and net balances at Hardangerjøkulen in 1995 is shown in figure 8-2.

Figure 8-3 shows the results of mass balance measurements at Hardangerjøkulen between 1963 and 1995. In the period 1963 - 88 there were only minor changes in the glacier mass (figure 8-4). After 1988 there has been a cumulative growth corresponding to ca. 8 m water equivalents.

9 STORBREEN (002.DHBBZ) Hallgeir Elvehøy og Nils Haakensen

På Storbreen, som ligger på vestsiden av Leirdalen i Vest-Jotunheimen, er 1995 det 47. år i rekken med kontinuerlige massebalansemålinger. Breens areal er 5,3 km². Den er eksponert mot nordøst og strekker seg mellom 1350 m og 2150 m o.h. Over 50% av breens areal ligger mellom 1700 og 1900 m o.h. Storbreen er et viktig ledd i den øst-vest-gående profil med massebalansemålinger som utføres i Syd-Norge. Samtidig som Storbreen er kontinental sammenlignet med breene lenger vest, har den merkbart større materialomsetning enn Hellstugubreen og Gråsubreen lenger øst i Jotunheimen.

Siden 1962, da massebalansemålingene startet på de andre breene i den omtalte øst-vest-profilen, har Storbreen hatt en samlet nettobalanse på –4,1 m vannekvivalenter. Dette passer godt inn i mønsteret sammenlignet med Nigardsbreens overskudd og et enda større underskudd på breene lenger øst i Jotunheimen. Siden starten i 1949, har Storbreen hatt et samlet underskudd på 9 m vannekvivalenter. Hele dette underskuddet skjedde før 1980. Etter 1980 har breen vært i likevekt.

9.1 MASSEBALANSE 1994

Feltarbeid

Akkumulasjonsmålingene ble gjort den 25. mai. Alle stakene var da nedsnedd. En erstatningsstake ble satt ut 1850 m o.h. Det ble sondert i 61 punkt mellom 1450 og 1900 m o.h. Sommeroverflaten var lett å påvise over hele breen. Snedypet varierte mellom 2,5 og 4,2 meter, men de fleste målingene lå mellom 2,5 og 3,5 meter. Snetetheten ble målt 1750 m o.h. Middelverdien for de øverste 1,5 m av snepakken var 0,46 g·cm⁻³.

Breen ble besøkt igjen 31. juli. Staken fra mai var blitt 2,25 m lenger. Dessuten var alle stakene fra høsten 1993 dukket frem. Blåis var eksponert under 1550 m o.h.

Minimumsmålingene ble utført den 10. oktober. Det hadde da kommet mellom 0,25 og 0,6 m nysne på breen. Åtte staker ble funnet og målt. Ved stakene under 1750 m o.h., ble det registrert blåis under nysneen. Ved de øverste stakene (1800 - 1850 m o.h.) lå det igjen 20 - 50 cm av årets sne.

Resultater

Vinterbalanse

Med utgangspunkt i tetthetsprøven 1750 m o.h. og ved hjelp av en modell som er basert tidligere års tetthetsmålinger, ble vannverdien for snedyp opp til 5 m beregnet. Vinterbalansen ble derefter regnet ut på grunnlag av 61 sonderinger. Midlere vinterbalanse i hvert 50-meters høydeintervall ble beregnet som middelverdien av sonderingene innenfor hvert enkelt høydeintervall. Vinterbalansen for hele breen ble beregnet til 8,0 mill. m³ vann eller 1,52 m vannekvivalenter jevnt fordelt over breens overflate. Dette utgjør 106% av gjennomsnittet for perioden 1949-93, men bare 79% av gjennomsnittet for perioden 1989-93. Usikkerheten i vinterbalansen er beregnet til ±0,1 m vannekvivalenter.

Sommerbalanse

Sommerbalansen kunne beregnes direkte bare på én stake fordi alle de gamle stakene var nedsnedd ved akkummulasjonsmålingene. Disse kom alle frem i løpet av sommeren, og nettobalansen kunne beregnes direkte. På de fem stakene mellom 1520 og 1860 m o.h. ble sommerbalansen dermed regnet ut som differansen mellom målt nettobalanse og estimert vinterbalanse på de samme stakene ut fra snedypet i nærliggende sonderingspunkt. Sommerbalansen viste en jevn, men ikkelineær reduksjon med økende høyde. Én av stakene avvek fra dette mønsteret og ble ignorert ved beregningene.

For hele breen ble sommerbalansen beregnet til –9,3 mill. m³ vann eller –1,77 m vann jevnt fordelt over hele breoverflaten. Dette er 109% av gjennomsnittet for hele undersøkelsesperioden 1949-93, men hele 138% av gjennomsnittet for perioden 1989-93. Usikkerheten i årets sommerbalanse er estimert til å være ±0,15 m i alle høydeintervall.

1	Mass balance STORBREEN1993/94 – traditional method									
ſ			Winter bal	ance	Summer balance		Net ba	lance		
			Measured 25 mai 1994		Measured 10 okt 1994		Summer surfaces 1993 - 1994			
	Altitude	Area	Specific	Volume	Specific	Volume	Specific	Volume		
l	(masl)	(km²)	(m w.eq.)	(10 ⁶ m ³)	(m w.eq.)	(10 ⁶ m ³)	(m w.eq.)	(10° m³)		
	2050 - 2100	0,04	2,00	0,08	-1,23	-0,05	0,77	0,03		
	2000 - 2050	0,12	1,90	0,23	-1,23	-0,15	0,67	0,08		
	1950 - 2000	0,22	1,80	0,40	-1,25	-0,28	0,55	0,12		
	1900 - 1950	0,33	1,80	0,59	-1,30	-0,43	0,50	0,17		
	1850 - 1900	0,51	1,70	0,87	-1,35	-0,69	0,35	0,18		
	1800 - 1850	0,84	1,50	1,26	-1,40	-1,18	0,10	0,08		
	1750 - 1800	0,79	1,50	1,19	-1,60	-1,26	-0,10	-0,08		
	1700 - 1750	0,65	1,50	0,98	-1,75	-1,14	-0,25	-0,16		
	1650 - 1700	0,40	1,50	0,60	-1,90	-0,76	-0,40	-0,16		
	1600 - 1650	0,50	1,40	0,70	-2,10	-1,05	-0,70	-0,35		
	1550 - 1600	0,36	1,30	0,47	-2,35	-0,85	-1,05	-0,38		
	1500 - 1550	0,22	1,30	0,29	-2,70	-0,59	-1,40	-0,31		
	1450 - 1500	0,19	1,30	0,25	-3,00	-0,57	-1,70	-0,32		
	1400 - 1450	0,08	1,25	0,10	-3,30	-0,26	-2,05	-0,16		
	1350 - 1400	0,01	1,25	0,01	-3,75	-0,04	-2,50	-0,03		
	Total area	5,26								
ſ	Total for who	le glaci	er between	summer su	rfaces 1993	- 1994				
	volume (10° m ³) 8,00 -9,29				-1,29					
	spe	ecific (m)	1,52	-1,77	-0,25					
L										

 Tabell 9-1
 Fordelingen av vinter-, sommer- og nettobalanse på Storbreen 1994 samt arealfordeling for 50 meters høydeintervall.

Winter, summer, and net balance for 50 m height intervals for Storbreen 1994, and the area distribution.



Figur 9-1 Vinter-, sommer- og nettobalansens variasjon med høyden på Storbreen 1994 med spesifikk balanse øverst og volumbalanse nederst. Diagrammet viser at likevektslinjens høyde var 1800 m o.h. Akkumulasjonsområdet, som ligger over dette nivå, utgjør 39 % av breens areal.

Mass balance diagram showing winter, summer, and net balance at Storbreen 1994. Specific balance is shown in the upper diagram, volume balance in the lower one. The net balance curve indicates that the equilibrium line altitude (ELA) is 1800 m a.s.l. Accordingly the accumulation area ratio (AAR) constitute 39 % of the total glacier area.

Nettobalanse

Nettobalansen for Storbreen er beregnet etter den tradisjonelle stratigrafiske metode som forskjellen mellom sommeroverflatene fra høsten 1993 og høsten 1994. Nettobalansen er beregnet til – 1,3 mill. m³ vann eller – 0,25 m vann jevnt fordelt over hele breens overflate. Dette er den minste nettobalansen som er målt siden 1988. Gjennomsnittet for hele perioden 1949-93 er – 0,19 m, mens det for perioden 1989-93 er +0,63 m vannekvivalenter. Usikkerheten i hele breens nettobalanse er beregnet til ±0,17 m vannekvivalenter. I følge nettobalansekurven er årets likevektslinje 1800 m o.h. Det er nesten 100 meter høyere enn et år breen er i likevekt.

Vinter-, sommer- og nettobalansens høydefordeling er vist i tabell 9-1 og figur 9-1.

9.2 MASSEBALANSE 1995

Feltarbeid

Akkumulasjonsmålingene ble gjort 29. mai. Fire staker på den nedre delen av breen ble funnet og målt. Sommeroverflaten var lett å identifisere under 1800 m o.h. Over 1800 m var den mer usikker pga.flere islag. Over dette nivå hadde heller ingen staker overlevet, men en kjerneboring 1860 m o.h., der en ny stake ble satt ut, bidro til å klarlegge forholdene.

Det ble gjort 55 sonderinger på breens øvre del og 30 på den nedre. Snedypet viste generelt jevn stigning med økende høyde. Ca. 75% av sonderingene viste snedyp mellom 3 og 4 meter. Rundt 10 sonderinger øverst på breen (over 1800 m o.h.) viste mer enn 4 m sne, 10 sonderinger nederst (under 1550 m o.h.) viste under 3 meter. Største målte snedyp var 4.75 meter. Snetettheten ble målt ned til sommeroverflaten (3,32 m) 1730 m o.h. Middeltettheten var 0,49 g⋅cm⁻³.

Ved et vedlikeholdsbesøk den 27. juli ble samtlige syv staker fra foregående år funnet. Stakene på breens nedre del var blitt ca. 2½ m lenger siden mai. Den øverste staken, som sto i firnområdet, var blitt nesten 2 m lenger. Bare helt nederst på breen (under 1500 m o.h.) var det eksponert blåis.

Minimumsmålingene ble utført den 13. september. Ni staker i syv posisjoner ble funnet og målt. Snegrensen lå mellom 1700 og 1800 m o.h. Øverst på breen lå det igjen ca 1,5 m sne, og nederst var det smeltet rundt én meter is.

Resultater

Vinterbalansen

ble beregnet til 1,77 m vannekvivalenter (9,3 mill. m³). Verdien for hvert høydeintervall er utregnet som middelverdien av sonderingene som er gjort innenfor de respektive høydeintervall. Årets vinterbalanse er 123% av midlere vinterbalanse i måleperioden som startet i 1949, men bare 96% av middelverdien for årene etter 1988.

•Sommerbalanse

Sommerbalansen er beregnet til 1,93 m vannekvivalenter (10,1 mill. m³). Det er 118% av midlere sommerbalanse i 47 år, men 142% av middelverdien for årene etter 1988 og den største avsmeltingen siden 1988.

Nettobalansen

Nettobalansen ble beregnet til -0,16 m vannekvivalenter, og det er omtrent som middelverdien for måleperioden 1949-94. Dersom en sammenligner med årene etter 1988, som har gjennomsnittlig nettobalanse på +0,48 m vannekvivalenter, er årets nettobalanse vesentlig mindre enn middelverdien.

Ut fra tidligere beregninger av usikkerheten og et subjektivt skjønn av utførelsen av årets målinger er usikkerheten av total vinter-, sommer- og nettobalanse stipulert til $\pm 0,15$ meter vannekvivalenter.

Vinterbalansens, sommerbalansens og nettobalansens fordeling med høyden er vist i tabell 9-2 og i figur 9-2.

Mass balance STORBREEN1994/95 – traditional method									
		Winter bal	ance	Summer balance		Net balance			
1		Measured	29 mai 1995	Measured 14 sep 1995		Summer surfaces 1994 - 1995			
Altitude	Area	Specific	Volume	Specific	Volume	Specific	Volume		
(masl)	(km²)	(m w.eq.)	(10 ⁶ m ³)	(m w.eq.)	(10 ⁶ m ³)	(m w.eq.)	(10 ⁶ m ³)		
2050 - 2100	0,04	2,32	0,09	-0,75	-0,03	1,57	0,06		
2000 - 2050	0,12	2,28	0,27	-0,92	-0,11	1,36	0,16		
1950 - 2000	0,22	2,25	0,50	-1,08	-0,24	1,17	0,26		
1900 - 1950	0,33	2,20	0,73	-1,29	-0,43	0,91	0,30		
1850 - 1900	0,51	2,11	1,08	-1,50	-0,77	0,61	0,31		
1800 - 1850	0,84	1,84	1,55	-1,68	-1,41	0,16	0,13		
1750 - 1800	0,79	1,60	1,26	-1,87	-1,48	-0,27	-0,21		
1700 - 1750	0,65	1,66	1,08	-2,04	-1,33	-0,38	-0,25		
1650 - 1700	0,40	1,92	0,77	-2,14	-0,86	-0,22	-0,09		
1600 - 1650	0,50	1,73	0,87	-2,25	-1,13	-0,52	-0,26		
1550 - 1600	0,36	1,53	0,55	-2,45	-0,88	-0,92	-0,33		
1500 - 1550	0,22	1,34	0,29	-2,70	-0,59	-1,36	-0,30		
1450 - 1500	0,19	1,05	0,20	-3,05	-0,58	-2,00	-0,38		
1400 - 1450	0,08	0,93	0,07	-3,38	-0,27	-2,45	-0,20		
1350 - 1400	0,01	0,86	0,01	-3,70	-0,04	-2,84	-0,03		
Total area	5,26								
Total for who	le glaci	er between	summer su	rfaces 1994	- 1995				
		Winter bal.	Summer bal.	Net bal.					
volume	e (10 ⁶ m ³)	9,31	-10,13	-0,81					
spe	ecific (m)	1,77	-1,93	-0,15					
	. /			<u>_</u>					

Tabell 9-2Fordelingen av vinter-, sommer- og nettobalanse på Storbreen 1995 samt arealene av
hvert 50 meters høydeintervall.

The distribution of winter, summer, and net balance for 50 m height intervals for Storbreen 1995, and the area distribution.



STORBREEN 1995 - specific balance, traditional method

Figur 9-2 Vinter-, sommer- og nettobalansens variasjon med høyden på Storbreen 1995 med spesifikk balanse øverst og volumbalanse nederst. Diagrammet viser at likevektslinjens høyde er 1815 m o.h. Den delen av breen som ligger over dette nivå, er årets akkumulasjonsområde, og utgjør 34 % av breens areal.

> Mass balance diagram showing winter, summer, and net balance at Storbreen 1995. Specific balance is indicated in the upper diagram, volume balance in the lower one. The net balance curve indicates that the equilibrium line altitude (ELA) is 1815 m a.s.l. and the accumulation area ratio (AAR) constitute 34 % of the total glacier area.

Likevektslinjen lå 1815 m o.h., og det er ca. 100 m høyere enn et år med breen i likevekt. 34% av breens areal ligger over dette nivå. At likevektslinjen ligger så høyt med et så lite underskudd, skyldes nettobalansekurvens spesielle form rundt 1700-1800 m o.h. (se figur 9-2).

Siden målingene startet på Storbreen i 1949, har breen hatt et samlet underskudd på 9 m vannekvivalenter. Siden 1980 har breen imidlertid vært i likevekt med samlet nettobalanse lik null. Men siden 1988 har breen økt og hatt et samlet overskudd på ca. 3 m vannekvivalenter. Dette skyldes i første rekke økt vinterbalanse. Etter 1988 har vinterbalansen vært mindre enn middelverdien bare én eneste gang. Frem til 1988 var midlere vinterbalanse 1,38 m vannekvivalenter, mens middelverdien efter 1988 er 1,84 meter. I tillegg har midlere sommerbalanse avtatt fra 1,67 m i den første perioden til 1,45 m vannekvivalenter i den siste. Dermed har midlere nettobalanse økt fra –0,29 m vannekvivalenter før 1988 til +0,39 m etter 1988. Massebalanseresultatene på Storbreen for perioden 1949-95 er vist i figur 9-3.



 Figur 9-3 Søylediagram som viser vinter-, sommer- og nettobalansen for Storbreen i perioden 1949-95. Av disse 47 årene har 18 hatt overskudd, mens 29 har hatt underskudd. I løpet av perioden har breen hatt en midlere vinterbalanse på 1,45 m, en midlere sommerbalanse på 1,64 m og en kumulativ nettobalanse på -9,0 meter vannekvivalenter. Merk hvordan årene etter 1988 har vist en tendens til økende vinterbalanse og minkende sommerbalanse hvilket har ført til en positiv nettobalanse.

Bar graph showing winter, summer and net balance at Storbeen during the investigation period 1949-95. There have been 18 positive years and 29 negative ones. The mean winter balance is 1.45 m, the mean summer balance is 1.64 m, and the cumulative net balance is –9.0 metres of water equivalents. Note the increasing tendency of the winter balance and the decreasing tendency of the summer balance after 1988. This has resulted in a cumulative positive net balance amounting to approx. 3 m w.eq. during seven years.

Siden 1962, da målingene på Hellstugubreen og Gråsubreen startet, har Storbreen hatt et samlet underskudd på ca. 4 m vannekvivalenter Det er bare rundt halvparten av underskuddet på de to andre breene.

9.3 FRONTPOSISJON

Frontmålinger på Storbreen viste at brefronten ikke har forandret seg de siste to år. Heller ikke siden 1990 er det noen forandring av brefronten.



Cumulative front recession of Storbreen 1902-95. Some few measurings are missing. In these cases the retreat is interpolated between the missing year(s). The glacier has shown a continuous retreat during this century amounting to 1030 metres. The greatest retreat occurred between 1935 and 1950. The retreat seems preliminary to have come to an end around 1990. Since then the glacier actually has advanced about 10 metres.

Frontmålinger er utført på Storbreen siden 1902. Ennskjønt det er to korte perioder uten målinger, finnes kontinuiteten for hele perioden. Siden målingene startet, har brefronten trukket seg tilbake 1030 meter. Siden massebalansemålingene startet i 1949 har tilbakegangen vært 430 meter. Størst var tilbaketrekningen i slutten av 1930-årene og i 1940-årene med gjennonsnittlig 28 meter pr år. Siden har den avtatt jevnt frem til 1988; siden da har fronten gått frem omtrent 10 meter. Figur 9-4 viser kumulativ tilbakegang for Storbreen siden 1902.

9.4 ENGLISH SUMMARY

Storbreen is a northeast-facing glacier situated in the western part of Jotunheimen. Its area is 5.3 km² and elevation ranges between 1350 and 2150 m a.s.l. Mass balance investigations started in 1949, the longest measurements in Norway. Its behaviour is something between the maritime glaciers further west and the more continental ones in eastern Jotunheimen. Storbreen is an important link in the east-west profile of mass balance investigations in Southern Norway. The cumulative mass balance since 1949 is 9 m w.eq.

Mass balance 1994

• Field work

Accumulation measurements were made on 25 May. About 60 snow depth soundings were made between 1450 and 1900 m a.s.l. The snow depth was mostly between 2.5 and 3.5 m. No stakes were visible.

Ablation measurements were made on 10 October. All the seven original stakes have emerged during the summer.

Results

The total winter balance was calculated to 1.52 m w.eq. This represents 106% of the mean winter balance in the period 1949-93, but only 79% of the mean for the period 1989-93. Summer balance was calculated directly on one stake. On seven others the summer balance was determined as the difference between measured net balance and winter balance.

The summer balance was – 1.77 m w.eq., which represent 109% of the average for the period 1949-93. Compared with the period 1989-93 the result is 138% of the average.

Net balance (traditional stratigraphic method) was -0.25 m w.eq. The mean net balance for the period 1949-93 is -0.19 m. For the period 1989-93 the mean value is +0.63 m w.eq. ELA was at 1800 m a.s.l. (see Figure 9-1) and AAR, accordingly, was 62%.

The height distribution of winter, summer, and net balance is presented in Table 9-1 and Figure 9-1.

Mass balance 1995

• Field work

Accumulation measurements were made on 29 May. Of 85 snow depth soundings 65 indicated snow depths between 3 and 4 metres. Stakes had survived on the lower part of the glacier. On the upper part the soundings were verified by two core samples.

Ablation measurements were made 13 September. All stakes from last year had appeared and the net balance could be calculated directly. The snow line was between 1700 and 1800 m a.s.l.

Results

The winter balance was calculated to 1.77 m w.eq., -123% of the mean winter balance in the period 1949-94, but only 96% of the mean for the period after 1988.

The summer balance was 1.93 m w.eq. which is 118% of the mean for the years 1949-94, but 142% of the mean for the years 1989-94. The net balance then was -0.16 m w.eq., very close to the mean value. For the period after 1988, however, the mean net balance is +0.48 m w.eq. The ELA was at 1815 m a.s.l. and the AAR, consequently, is 34%.

The distribution of winter, summer, and net balance at 50 m height intervals is shown in Table 9-2 and Figure 9-2.

Since 1949 Storbreen has lost about 9 m w.eq., evenly distributed over the glacier surface. Since 1988, however, there has been a surplus amounting to approx. 3 m w.eq. This is mainly due to increased winter balance. A comparison of mass balance results from the period before 1988 with those after 1988 shows that mean winter balance has increased from 1.38 m to 1.84 m w.eq. Mean net balance has increased from -0.29 m to +0.39 m w.eq. Mass balance results for the entire investigation period is presented in Figure 9-3.

Front measurements

Front position measurements at Storbreen have been performed since 1902, and the front has retreated 1030 metres since then and the retreat has been continuous. However, the retreat has diminished since 1980. Since 1990 the glacier, in fact, has advanced 10 metres. Cumulative front positions are shown in Figure 9-4.

10 HELLSTUGUBREEN (002.DHBAZ) Hallgeir Elvehøy og Nils Haakensen

Hellstugubreen er en norvendt dalbre som ligger i Visdalen i Sentral-Jotunheimen. Breen er 3,0 km² og strekker seg fra 1460 m og opp til 2200 m o.h., men over halvparten av arealet ligger mellom 1800 og 2000 m o.h. Massebalansemålingene ble startet i 1962 og har pågått kontinuerlig siden. Frontmålinger ble startet på breen allerede i 1901.

Regimet på Hellstugubreen er kontinentalt med relativt liten materialomsetning sammenlignet med de maritime breene lenger vest. Sommerbalansen har derfor større betydning for nettobalansen enn på de maritime breene. I løpet av de 34 årene målingene har pågått, har Hellstugubreen hatt et samlet masseunderskudd på 7,5 m vannekvivalenter eller 0,22 m pr år. Siden 1984 har imidlertid breen vært i likevekt.

10.1 MASSEBALANSE 1994

Feltarbeid

Akkumulasjonsmålingene ble gjort 4. mai under gode arbeidsforhold. Det ble sondert i 102 punkt langs faste profil mellom 1500 og 2200 m o.h. Snedypet lå mellom 1,2 og 4,8 meter. De fleste målingene lå mellom 2,0 og 3,0 meter under 1850 m o.h. og mellom 3,0 og 4,0 meter over 1850 m o.h. Over 1900 m o.h. var sommeroverflaten usikker. Flere steder ble to lag tydelig identifisert. Målinger på staker, som smeltet frem senere på sommeren, viste at det øverste av lagene lå nær sommeroverflaten fra høsten 1993.

Under 1900 m o.h. hadde fem staker overlevet vinteren. En ny stake ble satt ut 1955 m o.h. Der ble også sneens tetthet målt helt ned til sommeroverflaten fra 1993 som lå 3,1 meter under overflaten. Middeltettheten av denne snepakken ble målt til 0,42 g·cm⁻³.

Ved et besøk den 30. juli ble samtlige 15 staker funnet, og stakenettet var komplett. Stakene var blitt 2½ - 3 meter lenger siden mai. Det var eksponert blåis under ca. 1650 m o.h.

Ved minimumsmålingen 11. oktober var det kommet nysne over ca 1550 m o.h. Ved st. 46 (1955 m o.h.) ble det i tillegg til et 35 cm tykt lag tørr nysne øverst også påvist et 45 cm tykt lag med grov, frossen nysne nærmest sommeroverflaten. Dette laget, som kunne være vanskelig å skille fra firn, stammet høyst sannsynligvis fra et snefall i begynnelsen av august og så bare ut til å finnes over 1850 m o.h. Alle de 15 stakene ble funnet og målt og skjøtt om nødvendig. Det ble ikke tatt tetthetsprøve av gjenliggende sne.

I forbindelse med minimumsmålingene ble også brefrontens posisjon målt. Målingene viste at den langvarige tilbakegangen fortsatte.

Resultat

Vinterbalanse

Vinterbalansen ble regnet ut på grunnlag av 102 snedypsonderinger ned til siste års sommeroverflate samt tetthetsprøve tatt ved st 46 (1955 m o.h.) ned til 3,1 meter. Ut fra målt tetthet her ble vannverdien for snedyp ned til 5,0 meter regnet ut med hjelp av en empirisk modell som er basert på tidligere års tetthetsmålinger. Midlere vinterbalanse i hvert 50-meters høydeintervall ble så utregnet som middelverdien av vannekvivalenten i samtlige sonderingspunkt innenfor hvert høydeintervall.

Vinterbalansen for hele breen blet dermed regnet ut til 3,7 mill. m^3 vann eller 1,26 m vannekvivalenter jevnt fordelt over hele breens areal. Det er 112% av gjennom-snittet for hele undersøkelsesperioden 1962-93, men bare 92% av gjennomsnittet for perioden 1989-93. Vinterbalansens variasjon med høyden er vist i tabell 10-1 og på figur 10-1. Usikkerheten i vinterbalansen er anslått for hvert enkelt høydeintervall ut fra fordelingen av sonderingspunktene o.a., og er utregnet til ± 0,08 m vannekvivalenter for hele breen.

Mass balance HELLSTUGUBREEN1993/94 – traditional method									
		Winter bal	ance	Summer	balance	Net ba	lance		
		Measured 04 mai 1994		Measured 11 okt 1994		Summer surfaces 1993 - 1994			
Altitude	Area	Specific	Volume	Specific	Volume	Specific	Volume		
(masl)	(km²)	(m w.eq.)	(10 ⁶ m ³)	(m w.eq.)	(10 ⁶ m ³)	(m w.eq.)	(10 ⁶ m ³)		
2150 - 2200	0,02	1,55	0,03	-0,40	-0,01	1,15	0,02		
2100 - 2150	0,08	1,55	0,13	-0,40	-0,03	1,15	0,10		
2050 - 2100	0,25	1,50	0,38	-0,45	-0,11	1,05	0,26		
2000 - 2050	0,17	1,50	0,26	-0,45	-0,08	1,05	0,18		
1950 - 2000	0,35	1,45	0,51	-0,50	-0,18	0,95	0,33		
1900 - 1950	0,60	1,45	0,87	-0,75	-0,45	0,70	0,42		
1850 - 1900	0,35	1,40	0,49	-1,25	-0,44	0,15	0,05		
1800 - 1850	0,33	1,05	0,34	-1,50	-0,49	-0,45	-0,15		
1750 - 1800	0,14	1,10	0,16	-1,70	-0,24	-0,60	-0,08		
1700 - 1750	0,10	1,00	0,10	-1,75	-0,17	-0,75	-0,07		
1650 - 1700	0,16	1,00	0,16	-1,85	-0,30	-0,85	-0,14		
1600 - 1650	0,13	0,90	0,12	-2,05	-0,27	-1,15	-0,15		
1550 - 1600	0,17	0,75	0,13	-2,40	-0,42	-1,65	-0,29		
1500 - 1550	0,09	0,60	0,06	-2,90	-0,27	-2,30	-0,21		
1450 - 1500	0,03	0,50	0,01	-3,40	-0,09	-2,90	-0,08		
Total area	2,98								
Total for who	le alaci	er between	summer su	rfaces 1993	- 1994				
	5								
		Winter bal.	Summer bal.	Net bal.					
volume	(10 ⁶ m ³)	3,74	-3,54	0,20					
spe	ecific (m)	1,26	-1,19	0,07					

Tabell 10-1 Vinter-, sommer- og nettobalansen for 50 meters høydeintervall på Hellstugubreen 1994, samt arealet for hvert enkelt høydeintervall.

Winter, summer and net balance for 50 m height intervals, and the area of these intervals.



Figur 10-1 Massebalansediagram som viser vinter-, sommer-, og nettobalanse på Hellstugubreen 1994. Det øverste diagrammet viser spesifikk balanse, det nederste viser volumbalanse. Nettobalansekurven viser at likevektslinjens høyde var 1860 m o.h., og 59 % av breens areal ligger over denne høyde.

> Mass balance diagram showing winter, summer, and net balance at Hellstugubreen 1994. The upper diagram indicates specific balance, the lower one indicates volume balance. The net balance curve indicates that ELA (equilibrium line altitude) is 1860 m a.s.l. According to this AAR (accumulation area ratio) is 59 %.

Sommerbalansen

Sommerbalansen ble utregnet direkte på 8 staker i 7 stakeposisjoner mellom 1580 og 1955 m o.h. På ytterligere 7 staker mellom 1500 og 1850 m o.h. kunne sommerbalansen estimeres som differansen mellom anslått vinterbalanse og målt nettobalanse. Ved beregningen av sommerbalansen ble det ikke tatt hensyn til den nysneen som var kommet. For hele breen ble sommerbalansen beregnet til –3,5 mill. m³ vann. Det tilsvarer –1,19 m vann jevnt fordelt over hele breens overflate. Dette er 88% av gjennomsnittsverdien for hele undersøkelsesperioden perioden 1962-93, men 109% av gjennomsnittet for perioden 1989-93. Sommerbalansens fordeling med høyden er vist i tabell 10-1 og på figur 10-1. Usikkerheten i sommerbalansen er estimert til ±0,10 m i alle høydeintervall.

Nettobalansen

Nettobalansen for Hellstugubreen 1994 er beregnet mellom sommeroverflatene fra høsten 1993 og høsten 1994, dvs. etter den tradisjonelle stratigrafiske metode. Nettobalansen er beregnet til +0,2 mill. m³ vann eller +0,07 m vann jevnt fordelt over hele breens areal. Gjennomsnittsverdien for perioden 1962-93 er -0,22 m, mens den for perioden 1989-93 er +0,27 m vannekvivalenter. Nettobalansens variasjon med høyden er vist i tabell 10-1 og på figur 10-1 og viser at likevektslinjens høyde er 1860 m a.s.l. Den uregelmessige formen på kurven skyldes at det mellom 1700 og 1800 m o.h. er et brefall der det er relativt lite akkumulasjon pga. vinddrift og relativt mye avsmelting pga. større albedo fordi sneen smelter vekk tidligere. Usikkerheten i nettobalansen er beregnet ±0,12 m vannnekvivalenter ut fra usikkerheten i vinterog sommerbalansen.

10.2 MASSEBALANSE 1995

Feltarbeid

Akkumulasjonsmålingene ble gjort den 27. mai. Ni av stakene ble funnet, og ca 130 sonderinger utført. Snedypet varierte fra 1,5 m helt nederst på breen til mellom 3 og 4 meter over ca.1850 m o.h. Sonderingsforholdene var relativt enkle med lett identifiserbar sommeroverflate. Bare over 2000 m o.h. var det noe vanskeligere med enkelte usikre målinger.

Snetettheten ble målt ned til fjorårets sommeroverflate ved stake 46 (1955 m o.h.), der snedypet var 3,7 meter. Middeltettheten av årets sne var 0,47 g·cm⁻³.

Ved et sommerbesøk den 28.- 29. juli ble samtlige 15 staker funnet. Stakene var blitt $1\frac{1}{2}$ - 3 meter lenger siden i mai, og det var eksponert is over ca. 1700 m o.h. En ny stake ble satt ut i høyde 2075 m o.h.

Minimumsmålingene ble gjort den 14. september. Stakene var blitt 1 - 1½ meter lenger siden slutten av juli. Det var ikke kommet nysne på breen. Snegrensen lå i området 1850 - 1900 m o.h. Nettobalansen kunne beregnes på 14 staker. Av disse kunne sommerbalansen beregnes direkte på de ni som var synlige i mai.

Resultater

Vinterbalanse

Vinterbalansen på Hellstugubreen 1995 ble beregnet til 1,42 meter vannekvivalenter eller 4,2 mill. m³ vann. Resultatet i hvert 50 meters høydeintervall er middelverdien av de sonderinger som er gjort innen de respektive høydeintervall. Årets resultat er 126% av middelverdien i måleperioden som startet i 1962, men bare 104% av middelverdien for årene etter 1988 og er den høyeste vinterbalanse siden 1990. Bare fem ganger tidligere i løpet av 34 år er det målt høyere vinterbalanse på Hellstugubreen.

•Sommerbalanse

Det var stor avsmelting på breen, spesielt på ettersommeren. Sommerbalansen ble beregnet til til 1,54 m vannekvivalenter (4,6 mill. m³ vann). Dette er den høyeste sommerbalanse siden 1988 og 113% av middelverdien for perioden 1962-94, men 135% av middelverdien for perioden 1989-94.

Mass balance HELLSTUGUBREEN1994/95 – traditional method										
		Winter bal	ance	Summer	balance	Net ba	lance			
		Measured	27 mai 1995	Measured '	Measured 14 sep 1995		es 1994 - 1995			
Altitude	Area	Specific	Volume	Specific	Volume	Specific	Volume			
(masl)	(km²)	(m w.eq.)	(10 ⁶ m ³)	(m w.eq.)	(10 ⁶ m ³)	(m w.eq.)	(10 ⁶ m ³)			
2150 - 2200	0,02	1,38	0,03	-0,43	-0,01	0,95	0,02			
2100 - 2150	0,08	1,54	0,13	-0,54	-0,05	1,00	0,08			
2050 - 2100	0,25	1,51	0,38	-0,65	-0,16	0,86	0,22			
2000 - 2050	0,17	1,63	0,28	-0,78	-0,13	0,85	0,15			
1950 - 2000	0,35	1,82	0,64	-0,94	-0,33	0,88	0,31			
1900 - 1950	0,60	1,65	0,99	-1,17	-0,70	0,48	0,29			
1850 - 1900	0,35	1,43	0,50	-1,56	-0,55	-0,13	-0,05			
1800 - 1850	0,33	1,32	0,43	-1,90	-0,62	-0,58	-0,19			
1750 - 1800	0,14	1,42	0,20	-2,02	-0,28	-0,60	-0,08			
1700 - 1750	0,10	1,15	0,11	-2,12	-0,21	-0,97	-0,10			
1650 - 1700	0,16	1,23	0,20	-2,32	-0,38	-1,09	-0,18			
1600 - 1650	0,13	0,96	0,12	-2,48	-0,32	-1,52	-0,20			
1550 - 1600	0,17	0,80	0,14	-2,70	-0,47	-1,90	-0,33			
1500 - 1550	0,09	0,56	0,05	-3,05	-0,28	-2,49	-0,23			
1450 - 1500	0,03	0,50	0,01	-3,25	-0,09	-2,75	-0,07			
Total area	2,98									
Total for who	le glaci	er between	summer su	rfaces 1994	- 1995					
		Winter bal.	Summer bal.	Net bal.						
volume	(10 ⁶ m ³)	4,22	-4,58	-0,36						
spe	ecific (m)	1,42	-1,54	-0,12						

Tabell 10-2 Vinter,- sommer- og nettobalanse for hvert 50 høydeintervall, samt arealfordeling for de ulike høydeintervall.

Winter, summer, and net balance at Hellstugubreen 1995 for 50 m height intervals, and the area of each interval.



Figur 10-2 Massebalansediagram for Hellstugubreen 1995 som viser fordelingen av vinter-, sommerog nettobalanse. Det øverste diagrammet viser spesifikke verdier, det nederste viser volumverdier. Likevektslinjen lå 1885 m o.h., 51% av breens areal lå over denne.

Mass balance diagram showing winter, summer, and net balance at Hellstugubreen 1995. The upper diagram indicates specific values, the lower one indicates volume values. The ELA is 1885 m a.s.l. and that is 25 m higher than in 1994, when the glacier had a small surplus that amounted to 0.07 m of water equivalents. The AAR for 1995 was 51%.

Nettobalanse

Året 1995 ga et lite masseunderskudd etterat både akkumulasjon og ablasjon var større enn middelverdien for måleperioden. Nettobalansen ble beregnet til –0,12 m vannekvivalenter som er 10 cm mer enn middelverdien for hele måleperioden. For perioden 1989-94 er midlere nettobalanse +0,24 m vannekvivalenter eller 0,46 m høyere enn for hele måleperioden. Økningen i nettobalanse efter 1988 skyldes både økende vinterbalanse og avtagende sommerbalanse. Usikkerheten i både vinter-, sommer- og nettobalansen er på grunnlag av tidligere års vurderinger anslått til å være rundt ±10 cm vannekvivalenter.

Vinter-, sommer- og nettobalansens fordeling med høyden er vist i tabell 10-2 og i figur 10-2. Ut fra diagrammet lå årets likevektslinje 1885 m o.h. Det er 25 m høyere enn i 1994 da breen hadde et overskudd på 0,07 meter. 51% av breens areal ligger over årets likevektslinje.



Mass balance Hellstugubreen 1962 - 95

Figur 10-3 Søylediagrammet viser vinter-, sommer- og nettobalanse for Hellstugubreen i perioden 1962-95. I denne perioden har breen hatt overskudd i 11 år, og 5 av overskuddsårene har vært etter 1988. I løpet av hele perioden 1962-95 har det vært målt en midlere vinterbalanse på 1,14 m, en midlere sommerbalanse på 1,37 m og en total nettobalanse på -7,5 m vannekvivalenter. Etter 1988 har imidlertid denne tendensen snudd seg, og siden da har breen hatt et samlet overskudd på ca. 1,5 meter vannekvivalenter.

Bar graph presenting mass balance results on Hellstugubreen 1962-95. Until 1988 the glacier had a cumulative surplus amounting to ca. 9 m w.eq. Since then there has been a change, and in the period 1989-95 it has been a net surplus amounting to ca. 1.5 m w.eq. The change is due to both increasing winter balance and decreasing summer balance. During the entire investigation period 1962-95 mean winter balance is 1.14 m, mean summer balance is 1.37 m, and mean net balance is -0.22 metres of water equivalents.

Figur 10-3 viser årlig vinter-, sommer- og nettobalanse på Hellstugubreen i perioden 1962-95. Siden massebalansemålingene startet i 1962, har breen hatt et samlet underskudd på 7,6 m vannekvivalenter. Frem til 1988 hadde breen et akkumulert

underskudd på ca. 9 m, men i løpet av de siste 7 årene har det vært et samlet overskudd på ca 1,5 m vannekvivalenter. I perioden 1962-88 var gjennomsnittlig nettobalanse – 0,33 m, mens det i årene 1988-95 var +0,19 meter vannekvivalenter.

10.3 FRONTPOSISJON

På Hellstugubreen er frontposisjonen målt siden 1901. Den samlede tilbakegangen i løpet av denne perioden er ca. 1000 meter. Hellstugubreen hadde trolig sin største utbredelse etter siste istid rundt år 1750. Denne perioden kalles "Den Lille Istiden". Maksimal postglacial utbredelse er markert i terrenget med en meget tydelig endemorene. Dessuten er det et relativt tykt humusdekke utenfor morenen, mens det innenfor nesten ikke finnes humus Følgelig danner den såkalte 1750-morenen et meget skarpt vegetasjonsskille.



Figur 10-4 Forandringer i frontposisjonen på Hellstugubreen i perioden 1901-94. Fram til 1964 ble målingene gjort langs to linjer på hver sin side av breelven. Etter 1971 er det målt langs én linje på nordsiden av elven. Mellom 1964 og 1971 er det brudd i målingene. Tilbakegangen i denne perioden er anslått til å være 90 ± 30 m ut fra avstand mellom tidfestede varder. Periodene 1912-29, 1964-71 og 1976-83 har ingen målingerer, og kurven viser årlige middeltall. Breen har hatt en jevn tilbakegang gjennom hele dette århundret.

Front position at Hellstugubreen during the period 1901-95. Until 1964 the annual figure is the mean value of two measuring lines on each side of the river. Between 1964 and 1971 there is a break in the measurements. However, based on dated cairns the retreat during this period is reconstructed with a fairly good accuracy. There are neither measurements in the periods 1912-29 and 1976-83. These periods are indicated with mean annual values in the diagram. The glacier has shown a steady retreat during our century.

Høsten 1995 lå fronten til Hellstugubreen omtrent 1200 m innenfor endemorenen fra 1750, og tilbakegangen fortsetter ennu. Siden frontmålingene startet i 1901, har tilbakegangen vært 890 meter, og det er ikke registrert fremrykning siden 1905.

År	1987	1988	1989	1990	1991	1992	1993	1994	1995
Endring (m)	- 10	- 18	-7	-8	-7	-9	-3	-9	-6

Arlig tilbakegang for Hellstugubreen 1987-95

Tabell 10-3Forandringer i Hellstugubreens frontposisjon 1986-95. I denne perioden har tilbake-
gangen vært 77 meter, og det er ingen brudd i måleserien. Tilbakegangen, som har
pågått helt siden 1901, ser ut til å fortsette.

Exact values for front position measurements at Hellstugubreen 1985-96. In this period there is no break in the measurements. Since 1986 the total retreat has been 77 metres and the withdrawal seems to continue.

Tilbaketrkningen har aksellerert utover i vårt århundre. Mens den i perioden 1901-50 var 300 meter, har den vært 590 meter etter 1950. Siden massebalansemålingene starter på Hellstugubreen i 1962, har tilbakegangen vært 417 meter. Kumulativ tilbaketrekning av brefronten siden 1901 er vist på figur 10-4. Tabell 10-3 viser nøyaktig endring i frontposisjonen siden 1986. I denne perioden har det ikke vært brudd i målingene.

10.4 ENGLISH SUMMARY

Hellstugubreen is a north-facing valley glacier situated in central Jotunheimen ranging between 1460 and 2200 m a.s.l. Its area is 3.0 km². Mass balance measurements have been performed since 1962. The glacier is continental, and the mass exchange is small compared with the more westerly situated glaciers. For the 34 years of observations the cumulative net balance is –7.5 m w.eq..

Mass balance 1994

• Field work

Accumulation measurements were made on 4 May. The snow depth was sounded in 102 points along fixed profiles. Above 1850 m a.s l. there was, in general, 2-3 m of snow, below that level 1-2 metres. All stakes in the upper part of the glacier had been snowed under. Possible errors in the upper part was checked by stakes that emerged during the summer.

Ablation measurements were performed on 11 October. All 15 stakes were then intact. Remaining snow from a storm early in August made it difficult to identify the summer surface above 1850 m a.s.l.

Results

Based on 102 snow depth soundings the winter balance was calculated to 1.26 m w.eq. This constitutes 112% of the mean for the period 1962-93, but only 92% of the mean for the years1988-93.

Summer balance was – 1.19 m of w. eq. This is 88% of the mean summer balance, but 109% of the mean for the years 1988-93. Net balance, disregarding fresh snow fallen before the ablation measurements were done (i.e. traditional method), came out to +0.07 m w.eq. The mean value is –0.22 m w.eq. For the period after 1988, however the mean net balance is +0.27 m w.eq. The equilibrium line altitude (ELA) was 1860 m a.s.l.

Mass balance results, including height distribution of winter, summer, and net balance, are shown in Table 10-1 and Figure 10-1.

Mass balance 1995

Field work

The accumulation was measured on 27 May. The snow depth was measured in 130 points between 1500 and 2200 m a.s.l. The snow depth varied from 1.5 m near the terminus to almost 4 metres above 1850 m a.s.l. The summer surface was easy to identify all over the glacier. Nine stakes remained after the winter.

Ablation measurements were made on 14 September. The snow line was then at 1850-1900 m a.s l. An additional seven stakes had become unburied during the summer at which the net balance could be calculated directly.

Results

The winter balance was 1.42 m w.eq. This result is 126% of mean winter balance in the entire investigation period, but only 104% of the mean for the years 1988-93. Higher winter balance has occurred only five times in 34 years.

The summer balance was -1.54 m w.eq. This constitute 113% of the mean summer balance during the entire investigation period and 135% of the mean for the period 1988-93. Thus, the net balance turned out to be -0.12 m w.eq.. The mean value for the entire investigation period is -0.22 m of w. eq.; for the period 1988-93, however, it is +0.24 m w.eq. Equilibrium line altitude was at 1885 m a.s.l.

The mass balance distribution in 50 m height intervals is presented in Table 10-2 and Figure 10-2.

For the period 1962-88 Hellstugubreen had a cumulative deficit of 9 m w.eq. Since then there has been a 1.5 m surplus. Mass balance results during the investigation period are shown in the histogram in Figure 10-3.

Front position measurements

Front position measurements at Hellstugubreen were established in 1901 when the position was approx. 1200 m behind the 1750 moraine The observations have been continued with a few interruptions since then. The cumulative retreat since 1901 is 890 metres. Since mass balance investigations started in 1962, the retreat has been

417 metres. The retreat tendency is still ongoing, but it seems that the annual retreat is now somewhat smaller than some decades ago. Cumulative front position measurements are shown in Figure 10-4.

11 GRÅSUBREEN (002.DGDC) Hallgeir Elvehøy og Nils Haakensen

Gråsubreen ligger i Øst-Jotunheimen på nordøst-siden av Glittertind og drenerer til Veodalen. Den er 2,2 km² og ligger mellom 1850 m og 2290 m o.h. Den er en av landets høyestliggende breer og den mest kontinentale. Massebalansemålingene på breen har pågått kontinuerlig siden 1962.

Gråsubreen har et massebalansemønster som på mange måter ligner Hellstugubreens, men både vinter- og sommerbalansen er ca. 30% lavere. Pga. lite sne og stor høyde er den delvis en kald bre med forekomst av påfrossen is. Dette gjelder spesielt i de sentrale deler der sneen lett blåser av. Dessuten er Gråsubreen pga. sin høye beliggenhet særlig utsatt for sommersnefall som kan redusere sommerbalansen betydelig. På Gråsubreen har derfor sommerbalansen mer betydning for nettobalansen enn på noen av de andre undersøkte breene i Norge. Siden 1962 har breen hatt en kumulativ nettobalanse på –7,5 m vannekvivalenter, og det er det samme som for Hellstugubreen.

11.1 MASSEBALANSE 1994

Feltarbeid

Akkumulasjonsmålingene ble gjort 5.- 6. mai. Det ble sondert i 60 punkt mellom 1850 og 2230 m o.h. Snedypet varierte mellom 1,0 og 5,1 meter. Over 80 % av sonderingene lå imidlertid mellom 1,5 og 3,5 meter. Som vanlig var det store variasjoner i snedypet, noe som skyldes at sneen blåser bort fra breens sentrale deler og samles nederst på breen. Tilsammen 12 staker hadde overlevet vinteren. Sammenligning av sonderingene med snedyp målt på stakene viser rimelig god overensstemmelse Avviket i snedyp lå stort sett innenfor $\pm 0,1$ meter. Ved stake 8 (2050 m o.h.), der snedypet var 2,75 m, ble det tatt tetthetsprøve ned til 2,00 meter. Middeltettheten var 0,41 g·cm⁻³. For større dyp er tettheten regnet ut etter en modell som er basert empirisk på tidligere års målinger.

Ved et sommerbesøk 28. juli ble 18 staker funnet og to nye ble satt ut slik at stakenettet var komplett. Stakene var blitt fra 1,7 til 2,3 meter lenger siden akkumulasjonsmålingene.

Ved minimumsmålingene 13. oktober var det kommet nysne over hele breen. Denne bestod av et 10 - 50 cm tykt lag av lett sne øverst og et underliggende lag med grov, frossen sne som var 10 - 25 cm tykt. Tilsammen 23 staker ble funnet og målt.

Resultater

Vinterbalanse

Vinterbalansen ble beregnet ned til forrige års sommeroverflate og ble beregnet på grunnlag av 60 sonderinger langs faste profil og 12 overvintrede staker samt én tett-

hetsprøve. Som vanlig på Gråsubreen viste sonderingene store variasjoner i snedypet innenfor hvert enkelt høydeintervall. Massebalansen for de enkelte intervall er bestemt ved middelverdien av sonderingene innenfor de respektive intervallene, og massebalansekurven er trukket på grunnlag av disse verdier.

Vinterbalansen ble utregnet til 2,5 mill. m^3 vann eller 1,16 m vann jevnt fordelt over hele breoverflaten. Det er 153% av middelverdien for hele undersøkelsesperioden 1962 - 93, men bare 122% av middelverdien for perioden 1989-93. Bare i 1967 og i 1990 har det vært målt større vinterbalanse på Gråsubreen. Vinterbalansens variasjon med høyden er vist i tabel 11-1 og figur 11-1. Usikkerheten i vinterbalansen er anslått til ±0,1 m vannekvivalenter i alle høydeintervall og for hele breen.

Sommerbalanse

Sommerbalansen ble regnet ut på elleve staker mellom 1890 og 2230 m o.h. Den varierte mellom 1,6 m vannekvivalenter nederst og 0,9 m øverst. For hele breen ble sommerbalansen beregnet til -2,5 mill. m³ vann eller -1,16 m vann jevnt fordelt over hele breens overflate. Dette er 117% av gjennomsnittet for undersøkelsesperioden 1962-93, men 155% av gjennomsnittet for perioden 1989-93. Sommerbalansens fordeling med høyden er vist i tabell 11-1 og figur 11-2. Usikkerheten i sommerbalansen er anslått til ± 0,1 m vannekvivalenter i alle høydeintervall og for hele breen.

		Winter bal	ance	Summer	balance	Net balance		
		Measured	06 mai 1994	Measured	13 okt 1994	Summer surfaces 1993 - 1994		
Altitude (masl)	Area (km²)	Specific (m w.eq.)	Volume (10 ^e m³)	Specific (m w.eq.)	Volume (10⁵ m³)	Specific (m w.eq.)	Volume (10 ^e m³)	
2250 - 2290	0,04	1,00	0,04	-0,90	-0,03	0,10	0,00	
2200 - 2250	0,16	1,10	0,18	-0,90	-0,15	0,20	0,03	
2150 - 2200	0,26	1,20	0,31	-0,95	-0,24	0,25	0,06	
2100 - 2150	0,34	1,25	0,42	-1,00	-0,34	0,25	0,08	
2050 - 2100	0,38	1,10	0,42	-1,10	-0,42	0,00	0,00	
2000 - 2050	0,41	1,05	0,43	-1,20	-0,50	-0,15	-0,06	
1950 - 2000	0,37	1,20	0,44	-1,33	-0,49	-0,13	-0,05	
1900 - 1950	0,15	1,25	0,19	-1,50	-0,23	-0,25	-0,04	
1850 - 1900	0,09	1,25	0,12	-1,65	-0,15	-0,40	-0,04	
Total area	2,20							
Total for who	ole glaci	er between	summer su	irfaces 1993	3 - 1994]		
		Winter bal.	Summer bal.	Net bal.				
volume	e (10º m³)	2,54	-2,54	0,00				
	ecific (m)	1,16	-1,16	0,00		1		

Tabell 11-1 Vinter-, sommer- og nettobalanse for Gråsubreen 1994 for hvert 50 m høydeintervall samt arealfordeling for de samme høydeintervall.

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



Figur 11-1 Vinter-, sommer- og nettobalansens fordeling med høyden på Gråsubreen 1994. Det øverste dagrammet viser spesifik balanse, det nederste viser volumbalanse. Beregningen viser at breen var nøyaktig i balanse. Nettobalansekurven viser at breens likevektslinje ligger 2075 m o.h., og 44 % av breen ligger over dette nivå.

Mass balance diagram for Gråsubreen 1994 showing winter, summer, and net balance in different height intervals. The upper diagram indicates spesific values, the lower one indicates volume values. The result indicates that the glacier was in equilibrium. The net balance curve intersects the y-axis at 2075 m a.s.l. which indicates the equilibrium line altitude (ELA). AAR correspondingly is 44 %.

Nettobalansen

Nettobalansen er beregnet mellom sommeroverflatene fra 1993 og 1994, etter den såkalte stratigrafiske metode. Det er således ikke tatt hensyn til den nysneen som var kommet ved minimumsmålingene. Gråsubreen spenner imidlertid over et så lite høydeintervall at akkumulasjonen antas å starte samtidig over hele breen.

Siden vinter- og sommerbalansen var like store, ble nettobalansen for Gråsubreen lik null. Gjennomsnittlig nettobalanse for hele undersøkelsesperioden 1962-93 er -0,23 m vannekvivalenter, men for perioden 1989-93 er den +0,20 m vannekvivalenter. Usikkerheten i den spesifikke nettobalansen er anslått til ±0,1 m vannekvivalenter. Likevektslinjen lå 2075 m o.h., og 44 % av breens areal ligger over dette nivå. Nettobalansens fordeling med høyden er vist i tabell 11-1 og i figur 11-1.

11.2 MASSEBALANSE 1995

Feltarbeid

Som følge av en sen vår og deretter ekstreme værforhold, ble ikke akkumulasjonsmålingene på Gråsubreen utført før den 13. og 14. juni. Det hadde på det tidspunkt vært to uker med relativt varmt vær, så noe smelting må ha forekommet også på Gråsubreen. Det ble derfor den 15. juni tatt en tetthetsprøve på Hellstugubreen (1960 m o.h.) og sammenlignet med tetthetsprøven som ble tatt den 27. mai for å kunne vurdere hvor mye smelting som eventuelt hadde funnet sted på Gråsubreen. På Hellstugubreen hadde sneens tetthet økt fra 0,46 g·cm⁻³ til 0,56 g·cm⁻³. Snedypet hadde sunket 60 cm mens vannverdien var den samme. Det betyr at frit vanninnhold i sneen tilsvarte smeltet sne. Tetthetsprøven på Gråsubreen ble tatt 2170 m o.h. av en 2,25 m tykk snepakke som viste våt sne ned til ca 1,5 meter, og middeltettheten var 0,510 g·cm⁻³. Det ble derfor antatt at den målte vannverdi var representativ opp til 2100 m o.h., men at over dette nivå var det foregått lite eller ingen smelting, slik at snepakken inneholdt noe fritt vann fra nedbør. Ved beregningen ble det foretatt en liten, skjønnsmessig korreksjon for dette.

Ved akkumulasjonsmålingen var 15 staker synlige. Det ble foretatt 110 sonderinger av snedypet. Sommeroverflaten var lett å identifisere over hele breen. Snedypet var stort sett mellom 2,0 og 3,3 m, størst nederst på breen. Som vanlig hadde et område midt på breen lite sne pga. vinddrift. Her viste 30 sonderinger under 2 m snedyp, og endog 8 sonderinger under 1 meter.

Et sommerbesøk ble gjort 29. - 30. juli. Stakene var da blitt 1 - 1½ meter lenger siden juni. Til sammen 22 staker ble funnet.

Minimumsmålingene ble gjort 17. september. Stakene var da blitt ytterligere 1 - $1\frac{1}{2}$ meter lenger, og det var eksponert is på store deler av breen. På det meste var det smeltet opp til 1 meter is. Til sammen ble 26 staker i 20 posisjoner funnet og målt. Tetthetsprøve av 1,0 m gjenliggende sne ble tatt ved st. 8 (2170 m o.h.) og ble målt til 0,51 g·cm⁻³.

<u>Resultater</u>

Vinterbalanse

Vinterbalansen ble beregnet til 1,19 m vannekvivalenter eller 2,6 mill. m³ vann. Dette er 153% av midlere vinterbalanse i måleperioden som startet i 1962. Bare to ganger tidligere (1967 og 1990) er det målt høyere vinterbalanse på Gråsubreen. Sammenlignet med perioden etter 1988 er årets vinterbalanse bare 121 % av middelverdien.

Sommerbalanse

En varm sommer førte til stor avsmelting og sommerbalansen ble beregnet til 1,30 m vannekvivalenter (2,8 mill. m³ vann) som er 130% av midlere sommerbalanse i hele måleperioden. Sammenlignet med perioden etter 1988 er årets sommerbalanse 159% av middelverdien. Ikke siden 1988 har det vært målt høyere sommerbalanse på Gråsubreen.

Nettobalanse

Nettobalansen ble beregnet til -0,11 m vannekvivalenter. Dette tilsvarer -0,24 mill. m³ vann. Middelverdien for hele måleperioden 1962-1994 er -0,22 m, mens årene 1989-94 har en midlere nettobalanse på +0,16 meter vannekvivalenter.

Mass balance GRÅSUBREEN1994/95 – traditional method										
		Winter bal	ance	Summer	balance	Net balance				
		Measured	27 mai 1995	Measured	17 sep 1995	Summer surfac	es 1994 - 1995			
Altitude	Area	Specific	Volume	Specific	Volume	Specific	Volume			
2250 2200	(KIII)	1 20	(10 111)	(in w.eq.)	(10 11)	0.62	(10 11)			
2200 - 2250	0,04	1,30	0,05	-0,08	-0,03	0,62	0,02			
2150 - 2200	0,10	1,02	0,21	-0,94	-0.24	0,09	0.02			
2100 - 2150	0.34	0.96	0.32	-1.30	-0.44	-0.34	-0,11			
2050 - 2100	0,38	1,17	0,44	-1,26	-0,48	-0,09	-0,03			
2000 - 2050	0,41	1,07	0,44	-1,46	-0,60	-0,39	-0,16			
1950 - 2000	0,37	1,34	0,49	-1,56	-0,58	-0,22	-0,08			
1900 - 1950	0,15	1,56	0,24	-1,58	-0,24	-0,02	0,00			
1850 - 1900	0,09	1,55	0,14	-1,65	-0,15	-0,10	-0,01			
Total area	2,20									
Total for who	le glaci	er between	summer su	Irfaces 1994	4 - 1995					
		Winter bal.	Summer bal.	Net bal.						
volume	e (10 ⁶ m ³)	2,61	-2,86	-0,25						
sp	ecific (m)	1,19	-1,30	-0,11						
1997 NG 2019 HIT HT 2019 HT 2417 HIT			Cumper Violand and Annaeu Compensation	0.809,080,080,080,080,080,080,080,080,080,	ANNAN ANNA SOOMACH COMPANY AND					

Tabell 11-2 Vinter-, sommer- og nettobalanse for Gråsubreen 1995 i hvert 50 m høydeintervall samt arealfordeling for de samme høydeintervall.

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

GRÅSUBREEN 1995 - specific balance, traditional method

GRÅSUBREEN 1995 - volume balance, traditional method



Figur 11-2 Vinter-, sommer- og nettobalansens fordeling med høyden på Gråsubreen 1995. Det øverste diagrammet viser spesifikk balanse, mens det nederste viser volumbalanse. Pga. stor vinddrift er vinterbalansen størst nederst på breen. Nettobalansekurven viser at breens likevektslinje ligger 2170 m o.h. Bare 16 % av breen ligger over dette nivå. Diagrammet viser at nettobalansen er spesielt lav midt på breen. Dette skyldes vind som gir liten akkumulasjon i dette området i tillegg til litt ekstra avsmelting om sommeren.

> Mass balance diagram for Gråsubreen 1995 showing winter, summer, and net balance in different height intervals. The upper diagram indicates spesific values, the lower one indicates volume values. The result shows that the glacier was in equilibrium. The net balance curve intersects the y-axis at 2170 m a.s.l. which indicates the equilibrium line altitude (ELA). AAR correspondingly is 16 %. The net balance shows a minimum at the middle of the glacier. These areas are most exposed to wind and thus have least accumulation as well as an ablation higher than normal for this height level.

Vinter-, sommer og nettobalansens fordeling med høyden er vist i tabell 11-2 og figur 11-2. Massebalansediagrammet viser en likevektslinje (ELA) på 2170 m o.h. Det er ca 100 m høyere enn foregående år da breen var nøyaktig i likevekt. Enda breen viste et svært lite underskudd, lå bare 16% av breens areal over likevektslinjen. For Gråsubreen er imidlertid ikke disse tallene helt beskrivende. Stor vinddrift transporterer store mengder sne nedover breen slik at akkumulasjonen vanligvis er størst nederst på breen, og bare den aller øverste del av breen har større nettobalanse enn den nederste delen. Svært ofte har Gråsubreen positiv nettobalanse øverst og nederst, mens et område midt på, der sneen blåser vekk, har negativ nettobalanse.

Siden massebalansemålingene startet på Gråsubreen i 1962, har breen hatt en negativ nettobalanse på -7,4 m vannekvivalenter. Som for Hellstugubreen og Storbreen viste også Gråsubreen en jevn negativ tendens frem til 1988, som til sammen utgjorde -8,3 m vannekvivalenter eller gjennomsnittlig -0,31 meter pr år. I årene etter 1988 har breen derimot hatt en positiv utvikling med et samlet overskudd på 0,9 m eller 0,11 m pr år. Denne store økningen i midlere nettobalanse for årene etter 1988 skyldes både økt vinterbalanse og redusert sommerbalanse.



Gråsubreen mass balance 1962 - 95

Figur 11-3 Søylediagramet viser vinter-, sommer og nettobalanse på Gråsubreen i årene 1962-95. Frem til slutten av 1980-tallet hadde breen hatt et kumulativt underskudd på over syv meter vannekvivalenter. Siden har breen vært omtrent i likevekt. I løpet av hele perioden er midlere vinterbalanse 0,79 m, midlere sommerbalanse 1,01 m og total nettobalanse -7,4 meter vannekvivalenter. Bare ni av årene har hatt overskudd.

Mass balance results measured on Gråsubreen 1962-95. Untill the last part of the 1980s the cumulative deficit was more than seven metres of water equivalents. Since then the glacier has been in equilibrium. During the investigation period only nine years had positive mass balance. Mean winter balance is 0.79 m, mean summer balance is 1.01 m, and the cumulative net balance is –7.4 metres of water equivalents.

Søylediagrammet i figur 11-3 viser årlig vinter-, sommer- og nettobalanse for årene 1962-95. I denne perioden har breen bare hatt ni år med overskudd.

11.3 ENGLISH SUMMARY

Gråsubreen in Eastern Jotunheimen is situated between 1850 m and 2290 m a.s.l. It is one of the highest and most continental glacier in Norway. Its area is 2.2 km². The mass exchange is approx. 30% lower than that on Hellstugubreen.

Gråsubreen is partly a cold glacier and some superimposed ice exists. Due to its high position, summer snowfall is the rule, and therefore summer balance is more important for the net balance at Gråsubreen than for any other of the investigated Norwegian glaciers. Since 1962, the cumulative net balance at Gråsubreen is –7.5 m w.eq., i.e. about the same as for Hellstugubreen.

Mass balance 1994

• Field work

Accumulation measurements were performed on 5-6 May. Twelve stakes were visible. Snow depth soundings were made at 60 points, with 80% of the soundings indicating snow depths 1.5 - 3.5 m. The snow depth varies very much on Gråsubreen due to wind drift, and the highest accumulation occurs on the lower part of the glacier.

Ablation was measured on 13 October. A 10-25 cm layer of summer snow was difficult to distinguish from firn, and making it difficult to identify the summer surface exactly.

Results

Winter balance calculation was based on 12 stake measurements, 60 snow depth soundings, and snow density determination in one pit. The winter balance came out with 1.16 m w.eq., which is 153% of the mean winter balance, but only 122% of the mean for the period 1989-93. A higher winter balance has been measured at Gråsubreen only twice before.

The summer balance could be calculated directly at eleven stakes, and turned out to be -1.16 m w.eq., which is 117% of the mean summer balance, but 155% of mean summer balance for the years 1988-93. The net balance (traditional method) which is the difference between the summer surfaces 1993 and 1994 disregarding the fresh snow fallen before the ablation measurements, turned out to be zero. The equilibrium line altitude was 2075 m a.s.l.

The height distribution of winter, summer, and net balance at Gråsubreen 1994 is presented in Table 11-1 and Figure 11-1.

Mass balance 1995

• Field work

The accumulation measurements were performed on 11-14 June. About 110 snow soundings were made and compared with the 15 remaining stakes. Most snow depths were between 2-3 metres. In the middle of the glacier, snow depths were less than one meter. At that time some melting had occurred during the previous two weeks. However, the melting since 27 May was reconstructed by means of a snow density sample taken on Hellstugubreen on 15 June and compared with that taken there at the exact same site on 27 May.

The ablation measurements were performed on 17 September. Large areas at the central and lower part of the glacier had exposed ice. Summer balance (and/or net balance) could be calculated at 26 visible stakes.

Results

Winter balance was based on 120 snow depth soundings and 15 stakes and was

calculated to 1.19 m w.eq. This is 153% of the mean winter balance. Compared with the period 1988-94 the result is 121% of the average. Only twice before higher winter balance has been measured at Gråsubreen.

The summer balance was calculated directly at 15 stakes and indirectly on 13 others and turned out to be 1.30 m w.eq. This is 130% of the mean value and the highest summer balance since 1988. Compared with the period 1989-94 the result is 159% of the average. Net balance was -0.11 m w.eq.. The mean net balance for the entire investigation period is -0.22 m whereas the mean net balance for the period 1989-94 is +0.16 m w.eq.

The distribution of winter, summer, and net balance for 50 m height intervals is shown in Table 11-2 and Figure 11-2. ELA was at 2170 m a.s.l. Due to wind drift the lowest net balance at Gråsubreen usually occurs at the middle part of the glacier.

The cumulative net balance at Gråsubreen since 1962 is -7.4 m w.eq. During the investigation period the glacier has had nine positive years. Similar to other glaciers also Gråsubreen has shown an increasing net balance after 1988, due to both increased winter balance and decreased summer balance.

12 AUSTRE OKSTINDBRE (155.4G) Nils Haakensen

Austre Okstindbre er den nordøstlige og største utløperen fra Okstindbreen. Arealet er 14 km². Den er en veldefinert dalbre som er enkel å ferdes på og er således godt egnet for undersøkelser. Et brefall mellom 1000 og 1200 m o.h. deler breen i to. Ovenfor brefallet er breen relativt flat, mens den nedenfor er mer ujevn med enkelte sprekker og med eksponert blåis hver sommer. Brefallet danner et tydelig skille i akkumulasjon, men også i ablasjon. Ovenfor brefallet er det en markert økning i akkumulasjon, mens ablasjonen er markert mindre enn nedenfor. En skiller derfor mellom breens øvre og nedre del. Dette skillet går rundt 1200 - 1250 m o.h.

12.1 MASSEBALANSE 1994

Feltarbeid

Akkumulasjonsmålingene ble utført i perioden 3.-8. mai. Nedenfor isfallet (under 1000 m o.h.) ble det gjort 160 sonderinger av snedypet langs 6.5 km sonderingsprofiler. Ovenfor isfallet ble det gjort ca 170 sonderinger langs ca 18 km profiler. Under 1250 m o.h. var snedypet stort sett bare ½-2 m, unntaksvis opp mot 3 meter.



Figur 12-1 Diagrammet viser akkumulert snedyp (vannverdi) i 1992, 1993 og 1994 langs et sentralt lengdeprofil gjennom hele breens akkumulasjonsområde. Dette viser at sneen er svært likt fordelt fra år til annet. (Fra Knudsen 1995a.)

Diagram showing snow accumulation along the central flowline through the accumulation area (water equivalent) in 1992, 1993, and 1994. The diagram shows twice as much snow in 1992 compared with 1994. However, the snow distribution is very evenly from one year to another. (From Knudsen 1995a.)

På breens øvre del var snedypet stort sett mellom 2.0 m og 5.0 m. Årets målinger viste den minste akkumulasjon siden 1991. Sonderingene gjøres langs samme profiler hvert år slik at lokale snedyp kan sammenlignes. Den relative forskjell mellom de samme punktene innen ett profil viser seg å være svært jevn fra år til år. Figur 12-1 viser akkumulasjonen de siste 3 årene langs et profil midt i breen fra toppen av brefallet (1250 m o.h.) til vannskillet (ca 1550 m o.h.).

Til sammen 12 staker hadde overlevet vinteren og 12 nye ble satt ut. Tetthetsprøve ble tatt 3 steder, 825 m o.h., 1230 m o.h. og 1475 m o.h.; snedypet var hhv. 1.5 m, 1.8 m og 4.4 m. Middeltettheten var 0.47, 0.40 og 0.39 g·cm⁻³ respektive.

I juli måned ble stakene på breen målt hver uke.

Minimumsmålingene ble utført 17.-20. september. I løpet av sommeren var 10 staker kommet frem i akkumulasjonsområdet slik at ablasjonen (evt. nettobalansen) til sammen ble målt på 34 staker.

	Mass balance Austre Okstindbre1993/94 – traditional method										
			Winter bal	ance	Summer	balance	Net balance				
			Measured	05 mai 1994	Measured 19 sep 1994		Summer surfaces 1993 - 199				
	Altitude	Area	Specific	Volume	Specific	Volume	Specific	Volume			
	(masl)	(km²)	(m w.eq.)	(10 ⁶ m ³)	(m w.eq.)	(10 ⁶ m ³)	(m w.eq.)	(10 ⁶ m ³)			
	1600 - 1750	0,21	1,80	0,4	-0,30	-0,1	1,50	0,3			
	1500 - 1600	1,91	1,90	3,6	-0,40	-0,8	1,50	2,9			
	1400 - 1500	4,14	1,80	7,5	-0,60	-2,5	1,20	5,0			
	1300 - 1400	2,56	1,60	4,1	-1,10	-2,8	0,50	1,3			
	1200 - 1300	2,56	0,95	2,4	-2,30	-5,9	-1,35	-3,5			
	1100 - 1200	0,64	0,80	0,5	-3,25	-2,1	-2,45	-1,6			
	1000 - 1100	0,61	1,05	0,6	-3,45	<mark>-2</mark> ,1	-2,40	-1,5			
	900 - 1000	0,59	1,10	0,6	-3,95	-2,3	-2,85	-1,7			
	800 - 900	0,61	0,75	0,5	-5,05	-3,1	-4,30	-2,6			
	730 - 800	0,18	0,72	0,1	-6,30	-1,1	-5,58	-1,0			
	Total area	14,0									
	Total for whole glacier between summer surfaces 1993 - 1994										
	volume	e (10 ⁶ m ³)	20,4	-22.7	-2.4						
	spe	ecific (m)	1,45	-1,62	-0,17						
			Contraction of Contraction		-,						
L											

Tabell 12-1 Vinter-, sommer- og nettobalanse for Austre Okstindbre 1994 angitt i spesifikk vannverdi og vannvolum for hvert 100 m høydeintervall , samt arealverdier for de ulike høydeintervall.

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


Figur 12-2 Massebalansediagram for Austre Okstindbre 1994. Diagrammet viser vinter-, sommer- og nettobalanse samt arealfordeling. Merk hvordan kurvene flater ut på toppen av brefallet rundt 1250 m o.h. Likevektslinjens høyde er 1310 m o.h. (Nytegnet fra Knudsen 1995a.)

Mass balance diagram showing winter, summer, and net balance at Austre Okstindbre in 1994. Note the conspicious increase in winter balance above the ice fall 1250 m a.s.l. In adition there is increased ablation in the icefall due to decreased albedo. Accordingly net balance increases considerable above 1250 m level. The net balance curve indicate that ELA is 1310 m a.s.l. which means that AAR is 62 %. (Redrawn from Knudsen 1995a.)

Resultater

Vinterbalanse

Vinterbalansen varierte fra litt under 1 m vannekvivalenter på breens nedre del (under 1250 m o.h.) til nesten 2 m på breens øvre del. Det er en markert økning i akkumulasjonen over 1250 m o.h. Dette mønsteret går igjen hvert år. Totalt ble vinterbalansen utregnet til 1.45 m vann jevnt fordelt over hele breens overflate. Dette er bare 58% av midlere vinterbalanse og det minste som er målt siden målingene startet i 1986.

Sommerbalanse

Sommeren kan karakteriseres som kald og våt. Frem til begynnelsen av juli var været svært kaldt med lite smelting. Periodevis var det endog akkumulasjon, særlig på den øvre delen av breen. Deretter var det varmt frem til begynnelsen av august.



Figur 12-3 Fordeling av vinterbalanse basert på sonderinger av snedyp (til venstre) og nettobalansen basert på stakemålinger (til høyre) for Austre Okstindbre 1994. Tallene angir meter vannverdi. (Fra Knudsen 1995a.)

Maps showing the distribution of winter balance based on snow depth soundings (left), and net balance based on stake measurements (right) at Austre Okstindbreen 1994. Values are in m water. (From Knudsen 1995a.) Resten av sommeren var igjen kald. Øverst på breen var sommerbalansen bare rundt 0.5 meter vannekvivalenter. På breens nedre del (under 1250 m o.h.) var ablasjonen 3-6 m vann. Resultatet ble en sommerbalanse på 1.62 m vann jevnt fordelt over hele breens overflate. Det er bare 80% av forrige års sommerbalanse og 72% av middelverdien siden målingene startet i 1986. Årets sommerbalanse er sammen med 1987 og 1992 den laveste som har vært målt.

Nettobalansen

Breens nedre del hadde en negativ nettobalanse som varierte fra -5.5 m nederst til ca -2 m i 1250 m høyde. På breens øvre del lå nettobalansen mellom 0 og +1.5 m. Totalt ble nettobalansen -0.17 m vann jevnt fordelt på hele breens overflate mens middelverdien for måleperioden er +0.22 meter.

Likevektslinjens høyde var ca 1310 m o.h. Det viser seg at det er et markert skille både i akkumulasjon og ablasjon - rundt 1250 m o.h. Over dette nivå har man en klar økning i vinterakkumulasjonen samtidig som man brått får en redusert avsmelting (se figur 12-2). Likevektslinjen ligger vanligvis i dette området. Derfor vil en forskjell i nettobalansen gi svært liten forandring i likevektslinjens høyde da det samme nettobalansemønsteret går igjen hvert år.

Figur 12-2 viser vinter-, sommer- og nettobalansens fordeling med høyden, samt breens arealfordeling i de ulike høydenivåer. Tabell 12-1 viser tallverdiene for de forskjellige høydenivåene.

12.2 MASSEBALANSE 1995

Feltarbeid

Første besøk på breen var et vinterbesøk 22.-25. mars. Det ble da gjort noen sonderinger av snedypet foruten at det ble gjort tetthetsmålinger.

Akkumulasjonsmålingene ble utført mellom 26. april og 11. mai (det meste var ferdig til 3. mai). Kun én stake hadde overlevet på breens øvre del og tre på den nedre delen. På den nedre delen ble det utført ca 150 sonderinger langs 4.5 km profiler og ca 130 sonderinger langs 12 km profiler på den øvre delen. På breens nedre del var snedypet stort sett mellom 1 og 3 m, og på den øvre delen ble det stort sett målt 4-6 m sne. Enkelte områder helt øverst hadde endog over 7 m sne. På breens øverste deler var sommeroverflaten vanskelig å påvise. Det innebærer en større usikkerhet i resultatene der. Tetthetsprøve ble tatt 3 steder på breen, 825 m o.h., 1230 m o.h. og 1475 m o.h. der snedypet var hhv. 2.6 m, 2.4 m og 7.3 m.

I juli ble stakene besøkt ukentlig. Mellom 6. og 13. juli ble det sondert på nytt langs noen sonderingsprofiler. I områdene over 1200 m o.h. hadde det smeltet lite siden akkumulasjonsmålingene, og det var svært liten forandring i snedypet. Nedbør som sne hadde medført at noen staker endog var kortere begynnelsen av juli enn i mai. Minimumsmålingene ble utført 16.-19. september. Ablasjon (evt. nettobalanse) ble målt på til sammen 33 staker.

Resultater

Vinterbalansen

ble beregnet til 2.25 m vannekvivalenter. Det er 95% av middelverdien for måleperioden som startet 198, men 55% høyere enn det foregående år. Bare i 1989, 1990 og 1992 har det vært målt høyere vinterbalanse.

Sommerbalansen

Sommeren var på mange måter lik fjorårets og var relativt kald med bare korte perioder med stor avsmelting. Det var tidvis snefall helt ned til 8-900 m i juli. Det meste av sommerens smeltning fant sted i august. Sommerbalansen ble utregnet til 1.79 m vannekvivalenter. Det er 82% av midlere sommerbalanse, men 10% høyere enn foregående år.

Mass balance Austre Okstindbre1994/95 – traditional method									
		Winter balance		Summer	Summer balance		Net balance		
		Measured 01 mai 1995		Measured 17 sep 1995		Summer surfaces 1994 - 1995			
Altitude	Area	Specific	Volume	Specific	Volume	Specific	Volume		
(masl)	(km²)	(m w.eq.)	(10 ⁶ m ³)	(m w.eq.)	(10 ⁶ m ³)	(m w.eq.)	(10 ⁶ m³)		
1600 - 1750	0,21	2,25	0,5	-0,23	0,0	2,02	0,4		
1500 - 1600	1,91	2,70	5,2	-0,45	-0,9	2,25	4,3		
1400 - 1500	4,14	2,85	11,8	-0,80	-3,3	2,05	8,5		
1300 - 1400	2,56	2,55	6,5	-1,30	-3,3	1,25	3,2		
1200 - 1300	2,56	1,50	3,8	-2,20	-5,6	-0,70	-1,8		
1100 - 1200	0,64	1,40	0,9	-3,40	-2,2	-2,00	-1,3		
1000 - 1100	0,61	1,60	1,0	-4,15	-2,5	-2,55	-1,6		
900 - 1000	0,59	1,55	0,9	-4,65	-2,7	-3,10	-1,8		
800 - 900	0,61	1,25	0,8	-5,50	-3,4	-4,25	-2,6		
730 - 800	0,18	0,95	0,2	-6,20	-1,1	-5,25	-0,9		
Total area	Total area 14,0								
Total for who	Total for whole glacier between summer surfaces 1994 - 1995								
Winter bal. Summer bal. Net bal.									
volume	volume (10 ⁶ m ³)		-25,1	6,4					
spe	cific (m)	2,25	-1,79	0,46					
1									

Tabell 12-2 Vinter-, sommer- og nettobalanse for Austre Okstindbre 1995 angitt i spesifikk vannverdi foruten vannvolum for hvert 100 m høydeintervall , samt arealverdier for de ulike høyde-intervall.

Winter, summer, and net balance in m water equvalent and area distribution for 100 m height intervals.



Figur 12-4 Massebalansediagram for Austre Okstindbre 1995. Diagrammet viser vinter-, sommer- og nettobalanse samt arealfordeling. Merk hvordan kurvene flater ut på toppen av brefallet rundt 1250 m o.h. Særlig øker nettobalansen markert over dette nivå. Likevektslinjens høyde er 1280 m o.h. (Nytegnet fra Knudsen 1995b.)

Mass balance diagram showing winter, summer, and net balance at Austre Okstindbre in 1995. Note the distinct increase in winter balance above the top of theice fall 1250 m a.s.l. In addition there is increased ablation in the icefall due to decreased albedo. This lead to a considerable increase in net balance above 1250 m level. The net balance curve indicate that ELA is at 1280 m a.s.l. AAR is 62 %. (Redrawn from Knudsen 1995b.)

Nettobalanse

Normal akkumulasjon og liten ablasjon medførte et totalt masseoverskudd på breen. Nettobalansen ble beregnet til +0.46 m vannekvivalenter jevnt fordelt over hele breens overflate. Det vil si at 20% av årets akkumulasjon eller 6.4 mill. m³ vann ble liggende igjen på breen. Nettobalansens variasjon på breen er vist i figur 12-5. Midlere nettobalanse i måleperioden er +0.17 m. Balanseåret 1994/95 er det 6. året med positiv nettobalanse siden målingene begynte i 1987.

Likevektslinjens høyde i 1995 lå på 1280 m o.h. Det er rundt 40 m lavere enn når breen er i balanse. Diagram som viser massebalansens fordeling med høyden, er vist i figur 12-4. Også i 1995 viser kurvene en tydelig knekk i 1200-1300 m nivå. Dette skyldes stor forskjell i akkumulasjon over og under dette nivå. Dette fører til at områdene nedenfor brefallet blir raskere avsmeltet og får en lavere albedo og dermed en større avsmeltning enn områdene høyere oppe. Dette betyr igjen at det blir svært stor forskjell i nettobalansen over og under ca 1250 m o.h. Tallverdiene for vinter-, sommer- og nettobalanse i de ulike høydenivåer er vist i tabell 12-2.



Figur 12-5 Fordeling av vinterbalansen basert på sonderinger av snedypet (til venstre) og nettobalansen basert på stakemålinger (til høyre) for Austre Okstindbre 1995. Tallene angir meter vannverdi. (Fra Knudsen 1995b.)

Maps showing the distribution of winter balance based on snow depth soundings (left), and net balance based on stake merasurements (right) at Austre Okstindbreen 1995. Values are in m water. (From Knudsen 1995b.)

I 1994 ble avløpet fra breen målt i perioden 7. juli -19. september. I denne perioden var totalavløpet 44.0 mill. m³. Største målte vannføring var 17 m³ · s⁻¹. På grunn av instrumentfeil kom målingene sent i gang. Derfor er det målte totalavløpet ikke sammenlignbart med tidligere års målinger som omfatter hele ablasjonssesongen.



Figur 12-6 Avløpsregistreringer fra Austre Okstindbreen 6. Juli - 19. Sept. 1994. Vannføringen ligger stort sett i området 5 - 10 m³ • s⁻¹ og skyldes bre- og snesmeltning. Overskridende verdier skyldes nedbør. (Fra Knudsen 1995a.)

Daily discharge measured at Bretjørna water gauge at the front of Austre Okstindbre during the period 6 July to 19 Sept. 1994. The base flow, principally reflecting meltwater from the glacier and snow-covered areas, is a smooth curve touching the minima of the discharge curve during the period (5 - 10 $m^3 \cdot s^{-1}$). Exceeding values are due to rain fall. Only very short periods the discharge exceeded 12 $m^3 \cdot s^{-1}$. (Fra Knudsen 1995a.)





Water discharge measurement at the front of Austre Okstindbre for the period 27 May to 18 Sept. 1995. The flash flood in June is due to damming of snow and ice in the river bed near to the water gauge. Apart from the flash flood in the middle of August (ca. 45 $m^3 \cdot s^{-1}$) the discharge varied between 5 and 15 $m^3 \cdot s^{-1}$. (From Knudsen 1995b.)

I 1995 ble avløpet registrert gjennom hele ablasjonssesongen - fra 27. mai til 18. september (se figur 12-6). Vannføringen lå stort sett mellom 5 og 15 m³ · s⁻¹. Bare én gang i løpet av sommeren (til sammen ca 3 døgn) var den større enn 18 m³ · s⁻¹. Sommerens høyeste vannføring, som var 45 m³ · s⁻¹, ble registrert den 18. august og skyldtes store nedbørmengder. Knudsen (1995b) har beregnet at det gjennomsnittlig kom 200 mm nedbør over breen i løpet av en 5-dagers periode i midten av august.. Flommen i begynnelsen av juni skyldes bare oppdemming av is og sne i elveløpet. Den lille toppen 7. og 8. juli skyldes tapping av den bredemte sjøen Kalvtjørna (Knudsen 1995b, s.14). Totalavløpet i løpet av sommeren er beregnet til 70.0 mill. m³. Av dette skyldes 25.1 mill. m³ smelting fra breen. Middelavløpet for perioden 1988-93 er 64.6 mill. m³. Relativt stor avrenning til tross for lav sommerbalanse skyldtes store nedbørmengder. I løpet av sommeren ble det registrert 1100 mm nedbør, mens middelverdien for årene 1988-93 er 450 mm.

12.4 BEVEGELSESMÅLINGER

I 1994 ble brebevegelsen målt på 16 staker på breens nedre del for perioden juli 93 - juli 94. Ovenfor isfallet, der de gamle stakene hadde forsvunnet i løpet av vinteren, ble bevegelsen målt på 14 staker for perioden mai til september 1994.

Resultatene viser en bevegelse på 20 - 60 m pr. år nedenfor brefallet. Bevegelsen avtar mot fronten. Bevegelseshastigheten på stakene er meget lik de verdier som er målt tidligere år. Dog viste staker nær fronten større hastighet. Det antyder at den basale glidehastighet var høyere enn vanlig (Knudsen 1995a). Ovenfor brefallet tilsvarer den målte brebevegelse opp til 60 m i året midt på breen nær likevektslinjen og avtar oppover breen og mot sidene. Målingene viser dessuten at bevegelsen er størst i juni og juli, bortsett fra de høyeste stakene hvor de største hastigheter er målt sent på sommeren. Dette kan forklares med at hastigheten er størst når det er mest smeltevann ved bunnen av breen.

I 1995 ble brebevegelsen målt på 12 staker nedenfor brefallet for perioden juli 1994 - juli 1995. Ovenfor brefallet ble bevegelsen målt på 7 staker for perioden sept.1994 - sept. 1995.

Nedenfor brefallet viser målingene en bevegelse på 25-60 m pr år. Bevegelsen avtar nedover breen. Verdiene for de enkelte staker i 1995 er svært lik verdier fra tidligere år. For de øverste stakene nedenfor brefallet har imidlertid bevegelsen avtatt noe. Dette skyldes at stakene har beveget seg nedover breen mot det område der brebevegelsen er mindre. Ovenfor brefallet er brebevegelsen ca 50 m i året midt på breen, betydelig mindre nær kantene. Målingene indikerer at bevegelseshastigheten er større om sommeren enn om vinteren.

12.5 ENGLISH SUMMARY

Austre Okstindbreen is a northeast facing outlet glacier from Okstindbreen ice cap and is a typical valley glacier. It range between 730 and 1750 m a.s.l. and its area is 14.0 km². The glacier is divided into two parts by an ice fall between 1000 and 1200 m a.s.l. In the upper part (above ca 1200 m a.s.l.) the surface is smoothly and snow covered all the time. At the lower part (the ice fall and the area beneath) the surface is uneven with crevasses and exposed ice in summer time. The ELA is usually in the border area. At the upper part of the ice fall there is a sudden increase in winter accumulation whereas below there is a sudden increase in ablation emphasized by higher albedo. The consequence is a significant difference in net balance for the two parts of the glacier.

Mass balance 1994

• Field work

The accumulation was measured 3 - 8 May. Altogether 330 soundings of snow depth and 3 snow density measurements were made. At the lower part the snow depth was generally 0.5 - 2.0 m. At the upper part snow depth was mostly between 2.5 and 5.0 m. 12 stakes had survived the winter and 12 new ones were inserted. Ablation measurements were performed 17 - 20 Sept. Then 34 stakes were visible.

Results

Winter balance was calculated to 1.45 m water equivalent. This is only 58 % of the mean winter balance and the lowest value ever measured since the mass balance investigations started in 1986.

Summer balance. The summer was cold and wet, particularly June when snow melt was insignificant. The summer balance was 1.62 m w. eq. It is only 72 % of the mean value. Besides 1987 this is the lowest summer balance ever measured. *Net balance* then came out with -0.17 m w.eq. The mean value for the period 1987-94 is +0.22 m of w.eq.

ELA was 1310 at m a.s.l. (see Figure 12-2) and AAR was accordingly 62 %.

Mass balance 1995

• Field work

Accumulation measurements were performed 26 April - 3 May. Only one stake had survived on the upper part of the glacier, and three on the lower part. Calculation of accumulation is based on 280 snow depth soundings, three snow density samples, and the survived stakes. In the upper part of the glacier the only survived stake was very helpful to identify the summer surface.

Some snow depth measurements made in the beginning of July showed a net accumulation in the upper part of the glacier from the beginning of May through June. The ablation measurements were made 16 - 19 September. The ablation (or net balance) was measured at 33 stakes.

Results

Winter balance was 2.25 m water equivalent. This is 95 % of mean winter balance. *Summer balance* was 1.79 m w.eq., and only 82 % of the mean summer balance. *Net balance*. The cold summer resulted in mass surplus calculated to be +0.46 m w.eq. Mean net balance in the investigation period of 9 years is +0.14 m w.eq. ELA was at 1280 m a.s.l. which is about 40 m lower than when the glacier is in equilibrium. AAR accordingly will be 62 %. The diagram is shown in Figure 12-4.

Discharge measurements

From the summer 1994 discharge measurements in the glacier stream are available from 6 July to 19 Sept. During this period the total discharge was calculated to be 44 mill. m³. Due to an instrument defect no registration exists for the first part of the summer. (See Figure 12-6.)

In 1995 the water gauge was operating from 27 May to 18 September. The results are shown in Figure 12-7. Total discharge during this period was 70 mill. m³, only 25 mill. m³ were caused by snow and glacier melt (Knudsen 1995b). Mean summer discharge is 64.6 mill. m³. The high discharge is due to much precipitation. During the summer 1995 there was recorded 250 % of the mean summer precipitation during the entire investigation period (1988-94).

Ice Movement

In 1994 ice velocity measurements were made at a total of 30 stakes. For stakes on the lower part of the glacier the registration period was for a period of one year (from the previous fall). On the upper part, however, the velocity was only observed during the summer months. Similar measurements were made in 1995 at 19 stakes.

The velocity is 20 - 60 m \cdot y⁻¹ almost all over the glacier. It decrases from the flow line towards the glacier margins. Further, the velocity seems to increase during summer time. However, measured values on individual stakes are very consistent with earlier measurements. On the lower part of the glacier there are continuous measurements at about ten stakes available since 1988. On the upper part it is difficult to maintain stakes through the winter. On two stakes there are continuous measurements since 1991. On several others data are available for shorter periods only.

13 SVARTISHEIBREEN (159.33A) Bjarne Kjøllmoen

Svartisheibreen er arbeidsnavnet på en bre sørvest for vestre Svartisen. Breen ligger i Rødøy kommune i Nordland. Den dekker et areal på 5.48 km² og strekker seg fra Steintinden (1533 m o.h.) og Svartisheia (1471 m o.h.) ned til et vann med høyde 774 m o.h. (figur 13-1). Breens overflate er blitt kartlagt fra flybilder tatt i 1968 og 1985. Vannet foran breen har fått navnet Heiavatnet. Ca 400 m fra Heiavatnet er det en dyp kløft i fjellryggen langs den sørlige kanten av breen som har fått navnet Slukta. Før NVEs måleprogram begynte i 1987, fantes ingen feltmålinger fra breen.



Figur 13-1 Svartisheibreen ligger i Rødøy kommune i Nordland. Den dekker et areal på 5.48 km². Foran breen ligger Heiavatnet som er delvis fylt med isfjell. Ca 400 m sørøst for Heiavatnet ligger en dyp kløft i fjellet som har fått navnet Slukta.

Svartisheibreen glacier (5.48 km²) is located to Rødøy in Northern Norway. In front of the glacier there is a small lake called Heiavatn which is partially covered with ice. About 400 m south-east of this lake a deep cleft in the rock is visible in which an outburst was observed in 1989 and 1991.

13.1 MASSEBALANSE 1994

Feltarbeid

Akkumulasjonsmålingene ble utført den 12.mai. Følgende målinger danner grunnlaget for beregning av vinterakkumulasjonen:

- Måling av staker 805, 830, 905, 910 og 940 m o.h. Stakene viste snødyp mellom 2.5 og 4 meter.

- 50 sonderingspunkter fordelt på ett lengdeprofil fra 790 til 1230 m o.h. og ett tverrprofil i høydenivået 1015 m o.h. Sommeroverflaten (SO) var for det meste enkel å påvise over hele breen. Snødybden varierte mellom 2 og 6 m og variasjonene var store innenfor samme høydenivå. I 1015 m nivået ble det målt snødyp fra 3 til 6 meter. Sonderingene kunne kontrolleres på stakene i de nedre områdene på breen.
Kjerneboring til SO ved stake 70 i 1015 m nivå.

- Snøtettheten ble målt ned til 2 meters dyp i høydenivå 1015 m o.h. For større snødyp enn 2 m er tettheten bestemt ved hjelp av modeller basert på tidligere års målinger.

Minimumsmålingene ble utført den 15.september. Nettobalansen ble målt på 8 staker. Disse målingene danner grunnlaget for beregning av breens totale sommerablasjon og nettobalanse. Under 970 m o.h. lå det ikke igjen noe av årets snø.

Resultater

Vinterbalanse

Alle høydeintervallene mellom 770 og 1250 m o.h. er mer eller mindre godt representert med målepunkter. Over 1250 m o.h. er det ikke gjort målinger. Her er akkumulasjonen bestemt ved ekstrapolering bygget på erfaringer fra målingene i 1988 og 89. Arealet over 1250 m o.h. er imidlertid så lite (14% av totalarealet) at en feil i ekstrapoleringen i liten grad påvirker resultatet for hele breen. Midlere snøtetthet er beregnet til 0.47 g/cm³ i 1015 m nivå. Vinterbalansen er beregnet til 1.83 m ±0.45 m vannekvivalenter (10 mill.m³). Dette er den minste vinterbalansen som er målt på Svartisheibreen siden målingene tok til i 1988. Gjennomsnittet for måleperioden 1988-93 er 3.32 meter. Den relativt store usikkerheten i resultatet skyldes de store lokale variasjonene i snødybdene.

Sommerbalanse

Med grunnlag i den målte nettobalansen og en midlere estimert snøtetthet på 0.6 g/cm³ på gjenværende snø, er sommerbalansen beregnet til 1.85 m ±0.30 m vannekvivalenter (10 mill.m³). Bare én gang siden 1988 er det målt mindre sommerbalanse (1.36 m i 1989). Middelverdien for perioden 1988-93 er 2.68 meter.

Nettobalanse

Svartisheibreens nettobalanse for 1994 er beregnet til -0.03 m ±0.30 m vannekvivalenter. Det betyr at breen har vært omtrent i likevekt det siste året. Middelverdien for måleperioden 1988-93 er 0.64 m vannekvivalenter. Likevektslinjen lå omlag 975 m o.h.

Tabell 13-1 viser verdiene for massebalansen i de enkelte høydeintervall. Figur 13-2 viser kurvene for fordeling av vinterbalanse, sommerbalanse og nettobalanse med høyden med spesifikke verdier og volumverdier. Figur 13-3 viser Svartisheibreens årlige variasjoner i måleperioden 1988-94.

		Winter cor					
		Winter accumulation		Summer ablation		Net balance	
A 11-1 A	1	Measured 12 mai 1994		Measured 15 sep 1994		Summer surfaces 1993 - 1994	
Altitude	Area	Specific	Volume	Specific	Volume	Specific	Volume
(masi)	(km²)	(m w.eq.)	(10° m³)	(m.w.eq.)	(10° m³)	(m w.eq.)	(10 ⁶ m ³)
1400 - 1420	0,01	1,90	0,02	-0,90	-0,01	1,00	0,01
1350 - 1400	0,14	1,95	0,27	-0,95	-0,13	1,00	0,14
1300 - 1350	0,25	2,00	0,50	-1,00	-0,25	1,00	0,25
1250 - 1300	0,37	2,05	0,76	-1,05	-0,39	1,00	0,37
1200 - 1250	0,33	2,05	0,68	-1,10	-0,36	0,95	0,31
1150 - 1200	0,36	2,00	0,72	-1,15	-0,41	0,85	0,31
1100 - 1150	0,34	1,90	0,65	-1,20	-0,41	0,70	0,24
1050 - 1100	0,35	1,90	0,67	-1,35	-0,47	0,55	0,19
1000 - 1050	1,07	1,95	2,09	-1,50	-1,61	0,45	0,48
950 - 1000	0,63	1,95	1,23	-1,95	-1,23	0,00	0,00
900 - 950	0,54	1,80	0,97	-2,50	-1,35	-0,70	-0,38
850 - 900	0,31	1,50	0,47	-2,90	-0,90	-1,40	-0,43
800 - 850	0,35	1,25	0,44	-3,25	-1,14	-2,00	-0,70
770 - 800	0,43	1,30	0,56	-3,50	-1,51	-2,20	-0, 9 5
Total area	5,48						
Total for whole	e glacie	er between	summer su	rfaces 1993	3 - 1994		
	-	Winter acc.	Summer abl.	Net bal.			
volume ((10 ^₅ m³)	10,01	-10,16	-0,16			
spec	cific (m)	1,83	-1,85	-0,03			

Tabell 13-1 Vinterbalanse, sommerbalanse og nettobalanse for Svartisheibreen 1994.

Winter balance, summer balance and net balance for Svartisheibreen 1994.



Figur 13-2 Massebalansediagram som viser spesifikke verdier (venstre) og volumverdier (høyre) for Svartisheibreen 1994.

Mass balance diagram showing specific values (left) and volume values (right) for Svartisheibreen 1994.





Annual variations of mass balance for Svartisheibreen 1988-94.

13.2 BREBEVEGELSE

Brebevegelsen er også i 1994 målt og beregnet på de samme stakene som er benyttet til massebalansemålingene. Stakene er posisjonsbestemt i mai, august og september. Resultatene som er vist i figur 13-4, angir horisontal hastighet i cm/døgn målt på fem ulike staker i perioden januar 92 til september 94. De fem utvalgte stakene var plassert i følgende høydenivåer på breen: 20.91 - 780 m o.h., 30.91 -830 m o.h., 50.87 - 935 m o.h., 70.93 - 1010 m o.h. og 90.93 - 1100 m o.h.



Figur 13-4 Horisontal hastighet målt på 5 utvalgte staker på Svartisheibreen i perioden januar 1992 til september 1994.

Glacier surface velocity measured at five stakes at Svartisheibreen during the period Januar 1992 to September 1994.

Resultatene viser at det bare er små variasjoner i hastigheten over tid. Man kan likevel registrere en liten økning på to av stakene (20.91 og 30.91). Dette skyldes neppe en hastighetsøkning av breen. Derimot kan det forklares med at stakene som det måles på etter hvert kommer nærmere brefronten hvor hastigheten på breen er større. Hastigheten er fremdeles størst i de bratte partiene over 1100 m o.h. og i brefallet under 900 m o.h. med en årshastighet mellom 30 og 50 meter.



Figur 13-5 Breens hastighet og frontposisjon blir målt ved hjelp av AGA Geodimeter totalstasjon. Foto: Bjarne Kjøllmoen.

Velocity and front position are surveyed by AGA Geodimeter theodolite and distomat.

13.3 FRONTPOSISJON

Brefrontens posisjon har ikke endret seg vesentlig i løpet av 1994. På grunn av mye isfjell i Heiavatnet er brefronten tildels vanskelig å definere. Dette gjelder spesielt de nordvestlige og sørøstlige delene av bretungen. Variasjonene i frontposisjonen fra år til år skyldes derfor delvis observatørenes subjektive oppfatning av grensen mellom breen og vannet. Figur 13-6 viser brefrontens posisjon i 1985, 1991 og 1994.



Figur 13-6 Endringer i Svartisheibreens front. Figuren viser at det er små endringer i frontposisjonen siden høsten 1991. Posisjonene til de 3 nederste stakene det måles brebevegelse på, er dessuten markert.

Map showing changes of Svartisheibreens front position since 1985. The figure indicates relatively little change in front position since 1991.

13.4 VANNSTAND HEIAVATN

I september 1993 ble ny trykksensor med kabel lagt ut i Heiavatnet etter at det gamle utstyret hadde sluttet å virke. Ved ettersyn tidlig i mai 94 viste det seg at loggerenheten ikke hadde fungert normalt. Ny logger ble derfor installert i slutten av mai. Vannstandsobservasjoner for perioden 27.mai til 15.september er vist i figur 13-7. De visuelle observasjonene som ble gjort under feltarbeidet i mai, august og september 1994, tydet ikke på nevneverdig variasjon i vannstanden i Heiavatnet. Magasinet så ut til å være nærmest fullt ved alle av de tre besøkene. Registreringene fra trykklimnigrafen viser en senkning av vannstanden på ca 1.5 meter i løpet av noen dager i månedsskiftet juni-juli. Variasjonene gir ikke inntrykk av at det har funnet sted noen direkte tapping av magasinet. Derimot kan variasjonene skyldes oppstuving av is ved utløpet eller kraftig nedbør i samme periode.



13.5 BREUNDERSØKELSER 1988-94 (sammendrag av NVE-rapport nr 17-95)

Svartisheibreen er blitt undersøkt med en rekke målinger i tidsrommet 1988-1994 i forbindelse med Melfjordutbyggingen. Massebalanse, brebevegelse, frontposisjon og breoverflatens høyde ble målt i alle årene, mens vannstanden i Heiavatnet ble målt fra 1990. Istykkelsen ble kartlagt i 1990. Dataene er blitt benyttet til å kartlegge dreneringsgrensene under breen, evaluere faren for flom (jøkulhlaup) fra Heiavatnet, modellering av breens fremtidige utvikling og korrelasjon av massebalansen med Engabreen.

Dannelsen av Heiavatnet foran breen siden 1945 har hatt stor betydning, spesielt siden 1968 med en rask tilbaketrekking. Erfaring fra andre breer, f.eks. Nigardsbreen, Engabreen og Austerdalsisen, viser at tilbaketrekkingen kan bli flere hundre meter på ett år når et vann dannes foran breen. Tilbakegangen av Svartisheibreen har imidlertid stoppet opp på grunn av et massoverskudd de siste årene. Målinger av massebalanse og breens geometri tyder på at en "klimatisk" massebalanse (den som skyldes akkumulasjon og ablasjon på breens overflate) på ca +0.5 m er nødvendig for å holde frontposisjonen stabil, slik at kalving i Heiavatnet tilsvarer nå ca. -0.5 m vannekvivalenter fordelt over hele breen. Kalvingen blir antageligvis større hvis breen trekker seg ytterligere tilbake. I så fall må den klimatiske massebalansen være enda mer posiitiv for å holde den nye frontposisjonen stabil. Breen er derfor svært følsom for fremtidige klimendringer.

Jøkulhlaupene i 1989 og 1991 men ikke de andre 5 årene siden 1988 viser at breen er i en overgangsfase mellom ingen jøkulhlaup og jøkulhlaup hvert år. Sannsynligheten for jøkulhlaup vil øke hvis breen blir tynnere mellom Heiavatnet og Slukta inntil jøkulhlaup oppstår hvert år. Triggermekanismen for jøkulhlaup er ikke kjent, men den kan ha sammenheng med høy lufttemperatur i begynnelsen av smeltesesongen.

En dynamisk modell av Svartisheibreen tyder også på at en massebalanse på ca +0.5 m vil holde brefronten stabil, i samsvar med målingene. Modellen forutsier også en tilbaketrekking på ca. 10 m/år hvis nettobalansen er lik null.

Nåværende klima- og massebalansemodeller tyder på en reduksjon i massebalansen på norske breer de nærmeste tiårene. I så fall kommer Svartisheibreen til å trekke seg ytterligere tilbake samtidig som isoverflaten senker seg. Dette vil føre til en økende fare for jøkulhlaup inntil de etterhvert oppstår hvert år før vannstanden når 774 m o.h., slik at avrenningen fra breen slutter å gå over fjellterskelen. Jøkulhlaupene kan bli meget store, med en vannføring som øker til noen hundre m³s⁻¹ i løpet av ca 2 døgn. Opptil halvparten av den årlige avrenningen fra breen (ablasjon, kalving og sommernedbør på breen, totalt ca. 20 mill. m³) vil kunne drenere gjennom Slukta i dette jøkulhlaupet. Jøkulhlaupkanalen vil antageligvis ikke lukke seg igjen før vinteren.

Ved målinger av Svartisheibreens og Engabreens massebalanse har vi etablert en korrelasjon mellom dem, slik at massabalansen på Svartisheibreen nå kan estimeres rimelig bra ved hjelp av data fra Engabreen.

13.6 BREUNDERSØKELSER 1995

Svartisheibreen og Heiavatnet ble vertikalfotografert fra fly den 16.august 1995. Hensikten med fotograferingen var å få detaljert høydeinformasjon over breen, bestemme likevektslinja for 1995 og finne vannstanden i Heiavatnet.

Heiavatnets nivå den 16.august 1995 er bestemt til 774.2 m o.h. Det betyr at vannstanden er omtrent den samme som høsten 1994, dvs at magasinet er fullt. I perioden fra 15.september 1994 fram til 16.august 1995 har det sannsynligvis ikke vært jøkulhlaup.

Flybildene fra 1995 ble tatt ca 1 måned før ablasjonssesongen var slutt på Svartisheibreen. Det kalde været i Nord-Norge gjorde at smeltingen trolig var liten også etter 16.august. Likevektslinja for 1995 kan derfor med rimelig sikkerhet bestemmes ut fra flybildene til å ligge ca 920 m o.h. En sammenheng mellom likevektslinjens høyde og nettobalansen er beskrevet i Kjøllmoen og Kennett (1995). Ved å benytte formelen fra figur 13-8 som beskriver denne sammenhengen, blir nettobalansen for 1995 estimert til ca 0.8 m vannekvivalenter.



Kartet fra fotograferingen i 1995 (figur 13-11) er sammenlignet med et kart over breen fra 1985 (figur 13-10), og med punktmålinger fra 1994 (figur 13-13). Endringene mellom 1985 og 1995 er vist i figur 13-12. I områdene over 1000 m o.h., dvs i de øverste brefallene, har overflatehøyden stort sett økt. Midt på breen er endringene små, mens på den nederste delen av breen har overflatehøyden sunket. Den største senkingen av overflaten ser ut til å være i området mellom den såkalte "Slukta" og østenden av Heiavatnet, dvs rundt "kontrollpunktet" som bestemmer et eventuelt jøkulhlaup. Her viser beregningene at breoverflaten er mellom 5 og 15 meter lavere i 1995 enn i 1985. Punktmålingene fra 1994 som er vist i figur 13-13, viser en generell tendens til at overflatehøyden har økt fram til august '95. Det var også ventet da sommeren i år har vært kald med ditto liten smelting og positiv nettobalanse. Det som imidlertid er viktig å påpeke er at et målt punkt i nærheten av "kontrollpunktet" viser en senking av breoverflaten også det siste året. En vedvarende senking av breoverflaten i området rundt "kontrollpunktet" gjør at faren for jøkulhlaup fortsatt er stor. En senking av breoverflaten er også registrert i det øverste østre brefallet. Årsaken til overflatesenkingen her er en stor sprekk som har åpnet seg. Dette forholdet har ingen betydning for det videre forløpet på bretungen.

Siden 1989 er massebalanseoverskuddet på Svartisheibreen ca 6 m vann. Reaksjonstiden for Svartisheibreen er ikke kjent, men så langt har ikke dette overskuddet påvirket fronten nevneverdig.



- Figur 13-9 Foran Svartisheibreen ligger Heiavatnet som er delvis fylt med isfjell. Et jøkulhlaup fra vannet ble registrert i april 1991. Siden den gang er det bare registrert mindre variasjoner i vannstanden.
 - Foto: Bjarne Kjøllmoen.

In front of Svartisheibreen there is a lake, Heiavatnet, which is partially covered with ice. An outburst was recorded in April 1991. Since then, only minor variations in water level is observed.



Figur 13-10 Svartisheibreen 1985. Heiavatnets omkrets er omtrentlig.



Svartisheibreen 1985. The lake edge is approximate.

Figur 13-11 Svartisheibreen 1995. Heiavatnets omkrets er omtrentlig. Svartisheibreen 1995. The lake edge is approximate.



Figur 13-12 Endringer på Svartisheibreens overflate mellom 1985 og 1995 beregnet fra de topografiske kartene i figur 13-9 og 13-10. Rød farge betyr lavere overflate i 1995.

Elevation changes at Svartisheibreen between 1985 and 1995 based on the topographic maps in figur 13-9 and 13-10. Red colour means lower surface in 1995.



Figur 13-13 Endringer på Svartisheibreens overflate mellom 1994 og 1995 for enkelte punkt målt i 1994. Negative tall (røde markeringer) betyr lavere overflate i 1995.

Elevation changes at Svartisheibreen between 1994 and 1995 for some points measured in 1994. Negative numbers (red dots) means lower surface in 1995.

13.7 ENGLISH SUMMARY

Svartisheibreen has been monitored during the period 1988-94, with measurements of mass balance, surface velocity, front position and changes in surface elevation. The water level in the lake Heiavatnet has been recorded since 1990 and the subglacial topography was surveyed in 1990. All this monitoring activity is because of the risk of outbursts from Heiavatnet. An outburst was last recorded in April 1991. The water level observations for 1994 are shown in Figure 13-6.

In 1994, winter accumulation was measured May 12. Snow depth showed variations from 2 to 6 m in the height interval 790-1230 m a.s.l. Total winter balance was 1.83 m ± 0.45 m w.eqv. (10 mill.m³), the smallest winter balance recorded in the period 1988-94. The average for the period 1988-93 is 3.32 meters. Summer balance was measured September 15 and was 1.85 m ± 0.30 m w.eqv. (10 mill.m³). The average is 2.68 meters. Net balance was thus slightly negative, -0.03 m ± 0.30 m w.eqv., compared with the average of 0.64 m w.eqv. ELA was at about 975 m a.s.l. The velocity of the glacier surface has been measured at a number of locations over the glacier. Results from the period 1992-94 are shown in Figure 13-4. Typical values for velocity was 30-45 m per year in the areas over 1100 m a.s.l. and under 900 m a.s.l. In the flat region between 900 and 1100 m a.s.l. the velocity was less than 20 m per year. The glacier front terminates partly in the lake Heiavatnet. In the period 1991-94, there have been relatively small changes in the front position. Figure 13-5 indicates the changes since 1985.

Data for the period 1988-94 provide a basis for determining the configuration of the subglacial system, evaluating the risk of outburst from Heiavatnet, and modelling the future development of the glacier's geometry. Results are described in Kjøllmoen and Kennett (1995) "Breundersøkelser på Svartisheibreen 1988-94" and Kennett et al (1997) "Predicted response of the calving glacier Svartisheibreen, Norway, and outbursts from it, to future changes in climate and lake level".

Monitoring continued in 1995, with vertical aerial photos taken in August. The purpose was to obtain detailed information of the elevation of the glacier surface, determine the water level in Heiavatnet and decide the ELA. Maps of the glacier topography are shown in Figure 13-10 (1985) and 13-11 (1995). These maps are compared in Figure 13-12. The ELA was about 920 m a.s.l. and consequently the net balance is estimated to 0.8 meter (Figure 13-8). The water level in Heiavatnet was determined to 774.2 m a.s.l., which means that the lake was completely filled.

14. ENGABREEN (159.81) Hallgeir Elvehøy, Nils Haakensen og Jack Kohler

Engabreen er en nordvestlig utløper av Vestre Svartisen. Breens areal er 38 km². Mesteparten av arealet omfattes av det store breplatået som ligger mellom 1100 og 1500 m o.h. og utgjør 86 % av breens samlede areal. Fra platået strekker en bretunge seg helt ned til ca. 20 m o.h. Den øverste delen av bretungen er meget oppsprukket og utilgjengelig. Derfor utføres ingen målinger i dette området. Forsøk på å plassere stakestrenger i brefallet ved hjelp av helikopter har vært lite vellykket. Brebevegelsen er stor, og sprekkene åpner og lukker seg slik at de fleste stakene forsvant etter kort tid. Under 450 m o.h. har tungen en jevn overflate og er relativt lett tilgjengelig. Her er det utført både ablasjons- og bevegelsesmålinger.

Massebalansemålingene startet på Engabreen våren 1970. Dermed er 1995 det 26. suksessive året med målinger. I følge målingene har breen hatt et samlet overskudd på mer enn 20 m vannekvivalenter i løpet av måleperioden, og den har øket sitt volum med 780 mill. m³ siden 1969.

I forbindelse med kraftutbygging i området ble smeltevannet fra Engabreen tatt til kraftproduksjon i 1994. En tunnel ble drevet inn under breen i 600 m nivå, der breens tykkelse er ca 200 m, og vannet er overført til Storglomvann. Fra denne tunnelen er det bygget en adkomst til breens underside. Her kan man ved hjelp av varmt vann smelte seg inn i breen. Det er installert instrumenter som registrerer trykk og bevegelse m.m. på breens underside. I forbindelse med denne tunnelen er det også et laboratorium hvor man bl.a. kan analysere isprøver.

14.1 MASSEBALANSE 1994. Hallgeir Elvehøy og Nils Haakensen

Feltarbeid

Akkumulasjonsmålingene ble utført den 13. mai. Det ble utført følgende målinger som danner grunnlaget for beregning av vinterbalansen:

- tetthetsmåling 1160 m o.h. Tettheten ble målt i de øverste 2 meter som hadde en middeltetthet på 0,395 g cm-3. For snødyp ned til 6 meter ble vannverdien beregnet etter en modell som er basert på tidligere års målinger. Midlere tetthet for 5,45 meter snø (som var største registrerte snødyp) ble dermed beregnet til 0,47 g cm-3.
- snødyp ved åtte staker på hhv. 210, 330, 1060, 1160, 1170, 1340, og 1345 m o.h. som verifiserte sonderingene. På bretungen hadde det smeltet 3 meter is ved begge de to stakene siden minimumsmålingene i september 1993.
- 80 sonderinger mellom 950 og 1400 m o.h. Over 1300 m o.h. viste sammenligning mellom snødypmålinger på stakene og sondering på samme sted at det ble sondert til et lag som lå mellom 0,5 m og 1,0 m over siste års sommeroverflate. Under 1300 m o.h. var det godt samsvar mellom snødypet målt på stakene og sonderingene. Snødypet var mellom 3,5 m og 5,5 meter. Dette tilsvarer mellom 1,5 m og 2,5 meter vann.

Minimumsmålingene ble utført den 16. september. Det var da kommet mellom 2 og 10 cm lett nysnø over 1000 m o.h. Det var derfor ikke mulig å bestemme snølinjens høyde. Følgende målinger danner grunnlaget for beregning av nettobalansen:

- tettheten til 1,9 m gjenværende snø 1345 m o.h. som hadde tetthet 0,60 g cm-3.
- nettobalansen målt på elleve staker på hhv. 210, 330, 1060 (3), 1160 (2), 1170, 1340 og 1340 (2) m o.h.

<u>Resultater</u>

Vinterbalansen er beregnet for perioden mellom 24. september 1993 og 13. mai 1994. Høydeintervallene mellom 950 og 1400 m o.h. er godt representert med målepunkter for beregning av vinterbalansen. Over 80 % av Engabreens areal ligger innenfor dette høydeområdet. Bare 7 % av breens areal ligger over 1400 m o.h. med Snøtind (1594 m o.h.) som det høyeste punkt. Tidligere års målinger har vist at akkumulasjonen avtar med økende høyde i disse områdene pga avblåsning av snø. Mellom 950 og 450 m o.h. finnes ingen målinger pga. vanskelig tilgjengelighet. Mye av snøen som kommer her, vil dessuten forsvinne ned i sprekkene og vil ikke kunne måles. Det vil derfor være så stor variasjon i snødyp at eventuelle målinger her ikke vil være representative.

Målinger på stakestrenger hhv. 330 m og 210 m o.h. viser at det har vært en netto avsmelting på ca 2 meter vann på den nederste delen av breen i løpet av vinteren. Variasjonen lateralt i dette høydeområdet er trolig stor på grunn av variabel og ujevn snødekning gjennom vinteren noe som gjør målingene her mer usikre. Det var ikke snø på bretungen ved akkumulasjonsmålingene. For den delen av breen som ligger mellom 300 og 900 m o.h. og som ikke har målinger, er vinterbalansen interpolert mellom -2,0 m vannekvivalenter 200 m o.h. og +1,6 m vannekvivalenter 1000 m o.h. Bare 6 % av breens areal ligger innenfor dette høydeintervallet. Nøyaktigheten av disse tallene har derfor svært lite å si for breens totale vinterbalanse.

Ut fra dette er vinterbalansen på Engabreen beregnet til 74,3 mill m³ vann eller 1,95 m vannekvivalenter jevnt fordelt over hele breoverflaten. Dette er 65% av gjennomsnittet for hele måleperioden 1970-93, men bare 54% av gjennomsnittet for perioden 1989-93, og den nest laveste vinterbalanse som er målt på Engabreen. Bare 1985 har hatt mindre akkumulasjon. Vinterbalansens variasjon med høyden etter "floating date"- metoden (se kap. 1.1) er vist i tabell 14-1 og på figur 14-1.

Ved minimumsmålingene høsten 1993 var det kommet 20-30 cm lett nysnø i over 1000 m o.h. Det utgjør 3-5 cm vannverdi. Det vil si at vinterbalansen målt efter den tradisjonelle metoden vil være 3-5 cm vannekvivalenter høyere enn det som måles etter metoden med flytende dato over 1000 m o.h. Dette er imidlertid langt mindre enn usikkerheten i målingene av vinterbalansen, som er beregnet til $\pm 0,14$ m vannekvivalenter ut fra anslag på usikkerhet i de enkelte høydeintervallene.

Sommerbalansen er beregnet for perioden 13. mai til 16. september 1994. Den ble beregnet på grunnlag av nettobalansen på åtte staker og tårn i fire ulike høydenivåer samt tre stakestrenger på bretungen. Den beregnede sommerbalansen var -1,1 m vann 1345 m o.h., -1,5 m 1160 m o.h., -1,7 m 1060 m o.h. og omkring -5 m vann 200 m o.h. Fordi sommerbalansen i hovedsak avhenger av lufttemperaturen, som avtar med økende høyde over havet, vil også sommerbalansen avta med økende høyde, men ikke lineært.

Sommerbalansen på Engabreen er beregnet til -58,2 mill m³ vann eller -1,53 m vannekvivalenter jevnt fordelt over hele breens overflate. Dette er 68 % av middel for måleperioden 1970-93, men 77% av middel for perioden 1989-93. Bare fire ganger tidligere, siste gang i 1989, har det vært målt mindre sommerbalanse på Engabreen enn i 1994. Usikkerheten i sommerbalansen er beregnet til ±0,13 m vannekvivalenter ut fra anslag på usikkerheten i de enkelte høydeintervallene. Sommerbalansens variasjon med høyden er vist i tabell 14-1 og i figur 14-1.

Til tross for en nesten rekordlav vinterbalanse førte den dårlige sommeren til at nettobalansen på Engabreen ble positiv for 6. år på rad. Nettobalansen for perioden mellom 24. september 1993 og 16. september 1994 er beregnet til et overskudd på 16.1 mill. m³ vann eller +0,42 m vannekvivalenter jevnt fordelt over hele breens overflate. Gjennomsnittlig nettobalanse for måleperioden 1970-93 er +0,76 meter, mens den for perioden 1989-93 er +1,62 meter. Usikkerheten i nettobalansen er beregnet til å være ±0,12 m vannekvivalenter ut fra usikkerheten i vinter- og sommerbalansen.

Likevektslinjens høyde ligger i følge massebalansediagrammet 1080 m o.h. Det er ca 70 m lavere enn når breen er i likevekt. Dette vil da si at akkumulasjonsområdets andel av hele brearealet (AAR) er 76 %.

Nettobalansens variasjon med høyden på Engabreen 1994 er vist i tabell 14-1 og i figur 14-1.

Mass balance Engabreen 1993/94 – floating-date method								
		Winter balance		Summer	balance	Net balance		
		24 Sep 1993 - 13 May 1994		13 May 1994	13 May 1994 - 16 Sep 1994		24 Sep 1993 - 16 Sep 1994	
Altitude	Area	Specific	Volume	Specific	Volume	Specific	Volume	
(masl)	(km²)	(m w.eq.)	(10 ^e m ³)	(m w.eq.)	(10 ⁶ m ³)	(m w.eq.)	(10 ⁶ m ³)	
1500 - 1594	0.12	2.3	0.3	-0.8	-0.1	1.6	0.2	
1400 - 1500	2.51	2.5	6.1	-0.9	-2.3	1.6	3.9	
1300 - 1400	9.35	2.5	22.9	-1.1	-10.3	1.4	12.6	
1200 - 1300	8.55	2.2	18.8	-1.4	-11.5	0.9	7.3	
1100 - 1200	7.60	1.8	13.7	-1.6	-11.8	0.3	1.9	
1000 - 1100	4.66	1.7	7.9	-1.8	-8.4	-0.1	-0.5	
900 - 1000	2.46	1.5	3.7	-2.1	-5.2	-0.6	-1.5	
800 - 900	0.94	1.2	1.1	-2.4	-2.3	-1.2	-1.1	
700 - 800	0.50	0.9	0.5	-2.7	-1.4	-1.8	-0.9	
600 - 700	0.37	0.5	0.2	-3.0	-1.1	-2.6	-0.9	
500 - 600	0.27	0.0	0.0	-3.4	-0.9	-3.4	-0.9	
400 - 500	0.21	-0.5	-0.1	-3.9	-0.8	-4.4	-0.9	
300 - 400	0.17	-1.1	-0.2	-4.3	-0.7	-5.4	-0.9	
200 - 300	0.22	-1.8	-0.4	-4.8	-1.0	-6.5	-1.4	
40 - 200	0.09	-2.5	-0.2	-5.2	-0.5	-7.7	-0.7	
Total area	Total area 38.0							
Total for whole glacier 24 Sep 1993 - 16 Sep 1994								
		Winter bal.	Summer bal.	Net bal.				
volume	volume (10 ⁶ m ³)		-58.2	16.1				
spe	specific (m)		-1.53	0.42				
	· /							
L						I		

Tabell 14-1 Vinter-, sommer- og nettobalansen på Engabreen 1994 samt arealfordeling for hvert 100 m høydeintervall.

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



Figur 14-1 Massebalansediagram for Engabreen 1994 som viser variasjonen av vinter-, sommer- og nettobalansen med høyden (spesifikk balanse øverst og volumbalanse nederst). Nettobalansekurven viser at breens likevektslinje ligger 1080 m o.h.
Mass balance diagram for Engabreen 1994 showing winter, summer, and net balance. The upper figure indicates specific values, the lower figure volume values. The ELA lies at 1080 m a.s.l. which means that the AAR is 76 %.

14.2 MASSEBALANSE 1995. Hallgeir Elvehøy og Nils Haakensen

Feltarbeid

Akkumulasjonsmålingene ble gjennomført i tiden 29. april -1. mai. De to tårnene som står 1170 m og 1350 m o.h., var til god hjelp ved identifiseringen av sommeroverflaten. Det ble gjort 90 sonderinger av snødypet på breens øvre del (over 920 m o.h.) foruten to sonderinger på bretungen i området 200-300 m o.h., der én wire ble gjenfunnet. Dessuten ble det foretatt kjerneboringer på fire steder i forbindelse med utsetting av nye staker på breplatået i høydenivåene 1050, 1160, 1330 og 1350 m o.h. Snødypet viste en svært jevn øking med høyden. Over 1150 m o.h. var det mer enn 7 m snø, over 1250 m o.h mer enn 8 m og over 1350 m o.h. var det endog over 9 m snø. Høyeste målte snødyp var 9.3 meter. Nederst på tungen ble det målt 0,5 -1,0 m snø. Men pga. en mild høst ble det registrert negativ vinterbalanse (dvs. netto avsmelting) under 300 m o.h. Fordi Engabreens tunge går så lavt ned (ca. 20 m o.h.), er dette svært vanlig.

Snøens tetthet ble målt tre steder, ned til 3 m 1050 m o.h. og 1170 m o.h. og ned til 4 m dyp 1350 m o.h. Tettheten videre nedover er beregnet ved hjelp av en modell som er basert på tidligere års tetthetsmålinger på Engabreen. Middeltettheten de tre stedene er ut fra dette bestemt til hhv. 0,49, 0,48 og 0,49 g cm-3.

Minimumsmålingene ble utført 28. og 31. august. Det var kommet opp til 85 cm nysnø på platået, og nysnøen lå ned til 7-800 m o.h. Sommerbalansen kunne beregnes på fire staker og to tårn oppe på breplatået, samt én wire på bretungen. Det lå igjen over fem meter av årets snø øverst på breen.

Stakene på den øverste del av breen ble målt igjen den 15. september. Da var det meste av den nysnøen som ble målt i slutten av august, smeltet vekk. Denne ble derfor ikke tatt med i beregningen av sommerbalansen. Det vil således ikke bli noen forskjell på sommerbalansen beregnet efter den tradisjonelle stratigrafiske metode og metoden med flytende dato (se kap.1.1).

Resultater

Vinterbalansen er beregnet for perioden 16. september 1994 til 29. april 1995. Årets akkumulasjon varierer sterkt. På breplatåets øvre del (1300-1500 m o.h.) er den rundt 4,5 m og avtar forholdsvis jevnt nedover breen. I området rundt 1000 m o.h. er akkumulasjonen ca. 3,0 meter. Nederst på bretungen er vinterbalansen negativ. Det betyr at det der har vært en netto avsmeltning på 0.5-1.0 m i løpet av akkumulasjons-sesongen. Mellom 300 m og 920 m o.h. er verdiene for vinterbalansen interpolert pga. manglende målinger på denne delen av breen. Imidlertid utgjør dette så liten del av breens totale areal at usikkerheten i dett området vil ha svært lite å si for den totale massebalanse.

Vinterbalansen er beregnet til 3,50 m vannekvivalenter (133 mill. m³) jevnt fordelt over hele breens overflate. Det er 117% av midlere vinterbalanse i måleperioden 1970-94, men bare 105% av middelverdien for årene 1989-94. Bare seks ganger i løpet av måleperioden er det målt høyere vinterbalanse på Engabreen.

Sommerbalansen er beregnet for perioden 29. april-15. september 1995. En dårlig sommer førte til liten avsmeltning, spesielt i de øvre områder. Over 1400 m o.h. var ablasjonen under én meter vannverdi, og i 1000 m nivå var den bare vel to meter vannverdi. Beregningen gav en sommerbalanse på 1,76 m vannekvivalenter (67 mill. m³) som kun er 79% av middelverdien for måleperioden 1970-94. Midlere sommerbalanse for denne perioden er 2,23 m vannekvivalenter.

Relativt stor vinterakkumulasjon og dertil en kald sommer med liten avsmelting førte til stor positiv nettobalanse på Engabreen. Overskuddet mellom 24. september 1994 og 15. september 1995 ble beregnet til +1,74 m vannekvivalenter (66 mill. m³). Det vil si at bare halvparten av den snøen som kom i løpet av vinteren, smeltet i løpet av sommeren. Midlere nettobalanse i måleperioden (1970-94) er +0,79 meter. Bare fire ganger i løpet av måleperioden på 26 år (1973, 1976, 1989 og 1992) er det målt høyere nettobalanse på Engabreen. Da det ikke var kommet nysnø ved minimums-målingene hverken i 1994 eller i 1995, vil massebalansen målt etter metoden med flytende dato og den tradisjonelle stratigrafiske metode være identiske. Usikkerheten i de beregnede massebalanseresultater er anslått til \pm 0,15 meter vannekvivalenter. Vinter-, sommer- og nettobalansen variasjon med høyden er vist i tabell 14-2 og figur 14-2.

Likevektslinjens høyde (ELA) lå 940 m o.h., og det er over 200 m lavere enn når breen er i likevekt. Det vil si at hele breplatået lå over likevektslinjen. Bare selve bretungen med brefallet hadde eksponert is eller firn i slutten av ablasjonssesongen. Akkumulasjonsområdets andel av det totale brearealet (AAR) utgjorde 90%.

Mass balanc	e Enga	breen 1994	1/95 – tradit	ional meth	od		
		Winter accumulation		Summer ablation		Net balance	
		Measured 29 Apr 1995		Measured 15 Sep 1995		Summer surfaces 1994 - 1995	
Altitude	Area	Specific	Volume	Specific	Volume	Specific	Volume
(masi)	(km²)	(m w.eq.)	(10 ^e m ³)	(m w.eq.)	(10 [°] m ³)	(m w.eq.)	(10° m³)
1500 - 1596	0.12	4.4	0.5	-0.9	-0.1	3.5	0.4
1400 - 1500	2.51	4.4	11.1	-1.1	-2.6	3.4	8.5
1300 - 1400	9.35	4.3	40.4	-1.3	-11.7	3.1	28.7
1200 - 1300	8.55	3.7	31.5	-1.5	-12.7	2.2	18.8
1100 - 1200	7.60	3.4	25.6	-1.8	-13.9	1.5	11.7
1000 - 1100	4.66	3.2	14.9	-2.0	-9.5	1.2	5.4
900 - 1000	2.46	2.6	6.3	-2.4	-5.8	0.2	0.5
800 - 900	0.94	1.7	1.6	-2.8	-2.6	-1.0	-1.0
700 - 800	0.50	1.3	0.7	-3.2	-1.6	-1.9	-1.0
600 - 700	0.37	1.0	0.4	-3.8	-1.4	-2.8	-1.0
500 - 600	0.27	0.7	0.2	-4.4	-1.2	-3.7	-1.0
400 - 500	0.21	0.4	0.1	-5.0	-1.0	-4.6	-1.0
300 - 400	0.17	0.1	0.0	-5.5	-0.9	-5.4	-0.9
200 - 300	0.22	-0.2	0.0	-6.0	-1.3	-6.2	-1.4
40 - 200	0.09	-0.5	0.0	-6.5	-0.6	-7.0	-0.6
Total area	38.0						
Total for who	le glaci	er between	summer su	rfaces 1994	- 1995		
		Winter acc.	Summer abl.	Net bal.			
volume (10 ⁶ m ³)		133.1	-67.0	66.2			
sp	specific (m)		-1.76	1.74			
					•		

 Tabell 14-2
 Vinter- sommer- og nettobalanse for Engabreen 1995 samt arealfordeling for 100 meters høydeintervall

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



Figur 14-2 Vinter-, sommer og nettobalanse for Engabreen 1995 som funksjon av høyden, spesikk massebalanse øverst og volumbalanse nederst. Nettobaalansekurven viser at likevektslinjens høyde var 940 m o.h. Mindre enn 10 % av breens areal ligger under dette nivå.
Mass balance diagram for Engabreen 1995 showing winter, summer, and net balance. The upper figure indicates specific values, the lower figure volume values. The ELA lies at 940 m a.s.l. which means that the AAR is 90%.

Figur 14-3 fremstiller årlig vinter-, sommer- og nettobalanse på Engabreen gjennom måleperioden 1970-95. I løpet av denne tiden har Engabreen hatt et samlet masseoverskudd på over 20 meter vannekvivalenter eller 780 mill. m³ vann. Halvparten av dette (10,4 m) har kommet i perioden 1989-95. Mens midlere nettobalanse for perioden 1970-88 var +0,79 meter, er middelverdien +1,46 meter vannekvivalenter for perioden 1989-95.

Det store masseoverskuddet på Engabreen i årene efter 1988 skyldes både økt vinterbalanse og redusert sommerbalanse. Ved å sammenligne resultatene for perioden 1970-88 med årene etter 1988, ser en at midlere vinterbalanse har økt fra 2,87 m til 3,36 m vannekvivalenter, mens midlere sommerbalanse har avtatt fra 2,33 m vannekvivalenter i den første perioden til 1,89 meter i den siste. Følgelig har nettobalansen økt fra +0,54 meter vannekvivalenter i perioden 1970-88 til +1,46 m i perioden 1988-96. Bare seks av de 26 årene med målinger har breen hatt negativ nettobalanse—siste gang var i 1988. I løpet av de siste syv årene er det bare 1994 som har hatt mindre nettobalanse enn middelverdien for perioden 1970-88.

Den store positive nettobalansen på Engabreen har ført til at brefronten har rykket frem omtrent 100 meter i løpet av de siste tre årene. Brefronten står i dag lenger fremme enn da massebalansemålingene startet i 1970 (se kap. 14.4 nederst). Spesielt de siste årene har overskuddet på breen vært stort. Det tyder på at breen vil fortsette sin fremrykning ennå i noen tid.





Figur 14-3 Søylediagrammet viser vinter-, sommer- og nettobalanse på Engabreen gjennom undersøkelsesperioden 1970-95. I løpet av denne perioden er det målt en midlere vinter-balanse på 3,00 m, en midlere sommerbalanse på 2,21 m og en total nettobalanse på 20,6 m vannekvivalenter. Bare seks av disse årene har hatt negativ nettobalanse. Legg merke til flere på hverandre følgende år med stor nettobalanse midt på 1970-tallet og i årene etter 1989. Dette er i store trekk det samme mønsteret som går igjen på de maritime breene i Syd-Norge.

Winter, summer, and net balance at Engabreen 1970-95. Two periods, the middle of the 1970s and the years after 1988, stand out as series of continuous positive years. For the 26 years of measurements on Engabreen, mean winter balance is 3.00 m water equivalent, mean summer balance is 2.21 m w. eq., and cumulative net balance is 20.6 m w.eqv. Maritime glaciers in Southern Norway show a similar pattern.

14.3 HASTIGHETSMÅLINGER 1994-95. Jack Kohler

Siden juni 1990 er det utført hastighetsmålinger på Engabreen for å dokumentere de naturlige forholdene i breen. Disse dataene danner grunnlaget for vurdering av eventuelle endringer som finner sted etter at en stor del av vannet under breen tas inn i flere subglasiale vanninntak som en del av Stor-Glomfjord utbyggingen. Målinger ble gjort etter fire metoder.

1) Vertikalfotogrammetri.

En fotogrammetrisk metode som er basert på endring i posisjonen til gjenkjennelige strukturer som bresprekker på vertikale flybilder tatt med cirka 2-4 ukers mellomrom i løpet av sommeren. Metoden gir informasjon om variasjonen i brehastighet over et større område av breen.

2) Skråfotogrammetri.

En fotogrammetrisk metode som er basert på bevegelse av strukturer på bilder tatt 2 ganger i døgnet av inntaksområdet fra et punkt på Møsbruntuva. Metoden gir relative variasjoner i bevegelse over tid som eventuelt kan kalibreres ved innmåling av markører.

3) Staker og markører

Beregnede hastigheter ut i fra innmåling av staker på bretungen og markører i inntaksområdet 2–3 ganger i løpet av året viser forholdet mellom brebevegelsen om vinteren og sommeren.

4) Kontinuerlig avstandsmåling

Flere markører i inntaksområdet ble målt inn kontinuerlig gjennom et tidsrom på 6 døgn for å vise korttidsvariasjoner i brehastigheten.

Metodene 1,3,4 gir de ønskede data og er rapportert her for årene 1994-95. Analyse av skråfotogrammetridata fra sommeren 1992 er beskrevet her, men p.g.a metodens kostnad i forhold til den informasjonen som man har fått, er den ikke brukt i de følgende år.

Vertikalfotogrammetri

Ut i fra vertikale flybilder tatt med 2-4 ukers mellomrom kan gjennomsnittshastigheten for periodene mellom fotograferingene bestemmes i et stort antall punkt. Som markører brukes sprekke- og ismønster som til tross for smelting kan gjenkjennes. Vi har brukt to metoder for å beregne ishastighet. I den første metoden, som tidligere beskrevet i Haakensen (1995) sporer man strukturer på isen i to etterfølgende bilder. Undersøkelsen omfatter området rundt de subglasiale inntakene og et område ca 600 m nedstrøms for inntakene. Metoden gir både størrelse og retning av isens bevegelse.

Den andre metoden er å måle ishøyden langs profilene i breens senterlinje (figur 14-4). Med sammenligning av to tverrsnittsprofiler kan vi da følge sprekkenes bevegelse nedover breen. Metoden gir bare størrelse av isens bevegelse i profilretningen, men gir en kontroll på målinger som er gjort etter den første metoden.



Figur 14-4 Oversiktskart Engabreen, med tunnelsystemet (grå linjer), punkt hvor brehastighet er beregnet fra vertikalfotografier (≥), skråbildekamera (*) med bildeutsnitt (prikket linjer), målepunkt (◆) og markører (+) brukt i kontinuerlig hastighetsmålinger,og profil brukt for å beregne hastigheter ut fra sprekkehøyde (bøyd linje).

Map of Engabreen showing tunnel system (grey lines), location of aerial-photo derived velocity vectors (⇒), oblique camera placement (*) and field of view (dotted lines), survey points (♦) and markers (+) used in the continuous velocity measurements, and profile used for crevasse-elevation tracking (curved line).

Metode 1A: Sporing av isstrukturer

Målinger var gjort på et jevnt fordelt felt av 106 punkt (figur 14-4). Hastighetene 1994 er vist i figurer 14-5 og 14-6, og for 1995 i figurer 14-7 og 14-8. Breens bevegelse er vanligvis raskere i den første perioden enn i den andre perioden. Det er både fordi vanntrykket under breen er høyere i begynnelsen av hver sommer, noe som fører til mindre friksjon og høyere hastighet, og delvis på grunn av reduksjon i istykkelse gjennom smeltesesongen. Når vi sammenligner et enkelt års målinger med de som er gjort tidligere, må vi skille mellom de to periodene.

Figurene 14-9 og 14-10 viser de gjennomsnittlige hastighetsstørrelsene for period 1 og 2, fra 1990-1994, beregnet av respektive data som er innsamlet. Figurene 14-11, 14-12, 14-13, og 14-14 viser forskjellen mellom 1994 og 1995 data og gjennomsnittlige data for årene 1990-1994. Negative tall i disse figurene betyr at et enkelt års data er mindre.



Figur 14-5 Brebevegelse i perioden 4. juli 1994 til 30. juli 1994. Øvre diagram viser horisontale hastighetsvektorer som er tatt fra vertikale flyfotografier. Nedre diagram viser horisontal hastighetsverdi interpolert fra vektorene. Skala er i meter/døgn.
Glacier velocities for the period July 4-30, 1994. Upper diagram shows the horizontal velocity vectors taken from aerial photographs. Lower diagram shows velocity contours interpolated from the vector data. Scale is in m d¹

PERIOD 2



Figur 14-6 Brebevegelse i perioden 30. juli 1994 til 8. august 1994. Øvre diagram viser horisontale hastighetsvektorer som er tatt fra vertikale flyfotografier. Nedre diagram viser horisontal hastighetsverdi interpolert fra vektorene. Skala er i meter/døgn.

Glacier velocities for the period July 30 to August 8, 1994. Upper diagram shows the horizontal velocity vectors taken from aerial photographs. Lower diagram shows velocity contours interpolated from the vector data. Scale is in m d¹





Figur 14-7 Brebevegelse i perioden 14. juli til 2. august. Øvre diagram viser horisontale hastighetsvektorer som er tatt fra vertikale flyfotografier. Nedre diagram viser horisontal hastighetsverdi interpolert fra vektorene. Skala er i meter/døgn.
Glacier velocities for the period July 14 to August 2, 1995. Upper diagram shows the horizontal velocity vectors taken from aerial photographs. Lower diagram shows velocity contours interpolated from the vector data. Scale is in m d¹

PERIOD 2



Figur 14-8 Brebevegelse i perioden 2. august til 12. august. Øvre diagram viser horisontale hastighetsvektorer som er tatt fra vertikale flyfotografier. Nedre diagram viser horisontal hastighetsverdi interpolert fra vektorene. Skala er i meter/døgn.

Glacier velocities for the period August 2-12, 1995. Upper diagram shows the horizontal velocity vectors taken from aerial photographs. Lower diagram shows velocity contours interpolated from the vector data. Scale is in m d'
AERIAL-PHOTO DERIVED VELOCITY 1995

1.2

1.0



24000

Figur 14-8

Brebevegelse i perioden 2. august til 12. august. Øvre diagram viser horisontale hastighetsvektorer som er tatt fra vertikale flyfotografier. Nedre diagram viser horisontal hastighetsverdi interpolert fra vektorene. Skala er i meter/døgn.

Glacier velocities for the period August 2-12, 1995. Upper diagram shows the horizontal velocity vectors taken from aerial photographs. Lower diagram shows velocity contours interpolated from the vector data. Scale is in m d¹

AVERAGE VELOCITY FIELDS 1990-94

PERIOD 1



Figur 14-9 Gjennomsnittlig hastighet for de første periodene 1990-1994, og punkt brukt i beregning (•). Skala er i m/døgn.

Average velocity for the first periods, 1990-1994, and the points used in calculation (•). Scale is in $m d^{1}$.



Figur 14-10 Gjennomsnittlig hastighet for de andre periodene 1990-1994, og punkt brukt i beregning (•).
 Skala er i m/døgn.
 Average velocity for the second periods, 1990-1994, and the points used in calculation (•).
 Scale is in m d¹.

DIFFERENCE VELOCITY FIELD 1994

PERIOD 1





Difference between average velocity for all first periods, 1990-1994 (Fig. 14-9), and velocity for the first period 1994 (Fig. 14-5). Scale is in m d¹.



Figur 14-12 Forskjell mellom gjennomsnittlig hastighet i alle de andre periodene 1990-94 (figur 14-10) og hastigheten i den andre periodene i 1994 (figur 14-6). Skala er i m/døgn.
 Difference between average velocity for all second periods, 1990-1994 (Fig. 14-10), and velocity for the second period 1994 (Fig. 14-6). Scale is in m d¹.

DIFFERENCE VELOCITY FIELD 1995

PERIOD 1





for the first period 1995 (Fig. 14-7). Scale is in $m d^{1}$.





Hastigheten var merkbar høyere nedenfor inntaksområdet i den første perioden i 1994 og noe høyere i den andre perioden i 1994. I 1995 var det en merkbar nedgang i brehastighet over stort sett hele målområdet for begge perioder, med unntak av like ovenfor og nedenfor inntaksområdet der det var en svak økning i begge perioder. En del av grunnen til negative verdier er antagelig at alle de tre flybildene fra 1995 var tatt noe senere i forhold til de tidligere årene (figur 14-15). Men 1995 var et særlig kalt år, noe som kunne også har ført til lavere hastigheter.



Figur 14-15 Gjeldende datoer for hastighetene beregnet i periode I (sorte linjer) og periode II (gråe linjer). Dates for the velocities assigned to period 1 (black lines) and period II (grey lines).

Metode 1B: Sporing av sprekkenes høyder

Vi har målt høyden fra flybilder langs fem 1500 m lange profiler med 5 m mellomrom, og så mange målinger som nødvendig for å avgrense sprekkene, minst 400 punkt per profil. Et gjennomsnittlig profil er beregnet for hvert tidspunkt. Figur 14-16 viser to av profilene fra 4. og 30. juli 1994 før og etter at overflatens middelhøyde er trukket fra, og viser klart sprekkenes bevegelsen.



Figur 14-16 (Venstre) Overflateprofiler målt 4. juli (øverste) og 30. juli (nederste) 1994. (Høyre) Høyde langs profilene etter at overflatens middelverdi er trukket fra. (Left) Surface profiles for July 4 (upper plot) and July 30th (lower plot) 1994.. (Right) Elevation along the profiles after subtracting smoothed profile.

Krysskorrelasjon er brukt på korte snitter tatt langs et par profiler for å finne gjennomsnittlig forandring i posisjon av sprekker langs profilene. Figur 14-17 og 14-18 viser hastighetene beregnet med denne metoden for 1994 og 1995, sammen med hastigheten tatt fra profil gjennom overflatene vist i nedre diagrammer i figurer 14-5, 14-6, 14-7, og 14-8. Sammenheng mellom hastigheten beregnet av de to metodene er rimelig bra i den andre perioden i 1994 og begge periodene i 1995, men litt dårligere i den første perioden i 1994. Figur 14-19 viser middelverdi av hastighetene beregnet med denne metoden for 1994 og 1995. Hastighetene for de første periodene er ganske like hverandre, mens for de andre periodene er det en tydelig nedgang i inntaksområdet.

<u>Skråfotogrammetri</u>

Et kamera plassert på Møsbruntuva tar bilder av inntaksområdet på breen (figur 14-20) to ganger i døgnet (kl 1000 og 2200) i sommerhalvåret. Analyse er gjort på bilder fra 1992 tatt med en ukes mellomrom i perioden 31/5-5/9.

Dette intervallet ble valgt fordi analyser av bilder fra 1991 tyder på at det er vanskelig å bruke kortere perioder da usikkerheten i punktbestemmelsen da lett blir større enn eventuelle variasjoner i bevegelsen.

Meningen var å finne markørene som var plassert på isen, men det var ikke mulig å finne disse igjen på bildene. Punkt var da festet på tilfeldige steder på isen og på fjell i to suksessive bilder. Vektorene er så beregnet i mm bevegelse på bildets plan per døgn. Vektorene på fjellet er brukt til å korrigere for bevegelse av filmen i kameraet.

Vi definerer så et område i bildet der vi vil følge breens bevegelse og samler de vektorene som ligger i dette området (prikket linjer, figur 14-21). Figur 14-22 viser størrelse av alle vektorene som ligger i det definerte området og middelverdiene for hver periode. Hastighetsverdiene er sprett i noen grad for hver periode, men det er de relative forandringene gjennom tid som er av interesse.

Vi har ingen direkte kontroll over målinger gjort på denne måten, men kan sammenligne dem med vannføringsmålinger utført i Engabreelven. Sammenhengen mellom variasjon i hastigheten og vanntrykket i isen er kjent å være svært god. Her antar vi at det er direkte sammenheng mellom vanntrykk og vannføring, skjønt sammenhengen er mer komplisert enn det. Figur 14-23 viser at det er en rimelig god korrelasjon mellom de to signalene, som forutsatt av teori.

Staker og markører

Flere staker på bretungen var målt inn. Figur 14-24 viser de målte posisjonene, og figur 14-25 viser forandringer over tid for hvert stakeområde, som kan bestå av flere staker i enkelte perioder. Hensyn må derfor tas til at stakene beveger seg nedover breen og kan bli transportert til et område med større eller mindre hastighet. Likevel tyder en forsiktig tolkning av disse data på at hastigheten på tungen har økt tydelig over disse to år.

Kontinuerlig avstandsmålinger

Mellom 8. og 14. juli 1994 var fem markører satt ut på isbreen i inntaksområdet (fig 14-4). Med hjelp av et PC-styrt geodetisk instrument kunne markørene sammen med en referansemarkør plassert i motsatt dalside måles inn hvert femte minutt. Referansemarkøren er brukt for å korrigere for forandringer i målt avstand som skyldes variasjoner i lufttemperatur, fuktighet, osv.



Figur 14-17 Sammenheng mellom hastighet målt med sporing av isstrukturer og med sporing av sprekkenes høyder i 1994.





Figur 14-18 Sammenheng mellom hastighet målt med sporing av isstrukturer (metode 1A) og med sporing av sprekkenes høyder (metode 1B) i 1995.





Figur 14-19 Sammenheng mellom hastighet målt med sporing av isstrukturer i 1994 og 1995 Comparison of velocity measured using surface-feature tracking in 1994 and 1995.



Figur 14-20 Skråbilde tatt over inntaksområdet, 29.6.91. Oblique photograph over subglacial-intake area June 26 1991.



Figur 14-21 Vektorene fra to skråbilder tatt 28.6.92 og 5.7.92. Prikket linje viser bildets ramme, stiplet linje viser området hvor vektorene er tatt ut for sammenligning.
 Vectors from two oblique photographs taken June 28 and July 5, 1992. Dashed line shows the picture frame, dotted line shows the area from which velocity vectors are selected.

Figur 14-26 viser data fra en av markørene, M3. Den grå linjen viser hastigheten beregnet fra avstandsdata. Manglende data skyldes tåke og skyer. Fordi unøyaktigheten i avstandsmålingen er like stor som brebevegelsen i slike korte perioder er det mye variasjon i hastigheten beregnet på den måten, t.o.m. "negative" hastigheter. Den sorte linjen viser hastigheten beregnet av avstandsmålinger hver time, som er noe jevnere. Figur 14-27 viser hastigheten så beregnet for alle markørene.





Figur 14-22 Hastighetene (+) og midlere hastighet (linjer) tatt fra området vist i figur 14-21. Velocity (+) and average velocity (line) taken from area shown in Fig. 14-21.



Figur 14-23 Sammenligning av midlere hastighet vist i figur 14-22 og vannføring målt i Engabreelven. Comparison of average velocity shown in Fig. 14-22 and daily average discharge at the proglacial stream Engabreelven.

Eksperimentet var gjentatt mellom 7. og 12. juli 1995. Tåke og skyer førte til lengre perioder uten målinger i forsøket i 1994. Derfor ble markørene satt ut noe lavere på breen i 1995 (figur 14-4).

Figur 14-28 viser en sammenligning av gjennomsnittlig hastighet beregnet hver fjerde time for alle markørene. Selv om værforholdene under måleperioden var ganske stabil, d.v.s. kaldt, skyet, og lite regn, viser alle markørene mer eller mindre samtidige variasjoner i hastighet. Hastigheten øker på ettermiddagen og minker på nettersid, noe som skyldes forandringer i vanntrykk under breen. Noen av markørene viser større variasjoner enn de andre. Markørene som ligger i bratt terreng (M1, M3, M4) er mindre påvirket enn de som ligger i relativt flatt område (M2, M6).



Figur 14-24 Målte koordinater til staker brukt til å beregne hastighet på istungen i 1993-95. Surveyed locations of stakes used to calculate velocity on the glacier tongue in 1993-95.



Figur 14-25 Hastighet for stakene på istungen, 1993-95 Velocity magnitude for stakes on glacier tongue, 1993-95





Continuous velocity for marker M3 between July 8 and 14 1994. Grey line is velocity calculated using each distance measurement (every 5 minutes), black line shows hourly average velocity.

Konklusjon

Data fra stakemålinger viser at brehastigheten økte i 1994. Data fra vertikal fotogrammetri tyder på en økning i brehastigheten nedenfor inntaksområdet tidlig på sommeren, men en svakere økning i den påfølgende perioden. Disse økningene kan skyldes forandringer i det subglasiale dreneringssystemet, men kan også skyldes økning i istykkelsen på Engabreen som er observert i de siste få år. Sistnevnte er resultatet av mange års positiv massebalanse på Svartisen.

Stakemålinger i 1995 viser at brehastigheten på tungen fremdeles økte. Men data fra vertikal fotogrammetri viste en generell nedgang i brehastigheten i begge perioder. Nedgangen kan skyldes forandringer i det subglasiale dreneringssystemet, som kan være et resultat av den spesielt kalde sommeren i 1995, men kan også skyldes ulike tidspunkt for de forskjellige perioder. En annen mulighet er at økningen i istykkelsen som vi har observert tidligere år er blitt mindre.



Figur 14-27 Sammenligning av middelhastigheten for hver time mellom 8. og 14. juli 1994. Comparison of hourly average velocity measurements made between July 8th and 14th 1994.



Figur 14-28 Sammenligning av middelhastigheten for hver time mellom mellom 7. og 12. juli 1995. Comparison of hourly average velocity measurements for July 7-12, 1995.

14.4 VARIASJONER I BREFRONTEN OG ISTYKKELSE PÅ TUNGEN 1990-95

Etter mange år med overveiende positiv massebalanse på Engabreen (figur 14-3), uten noen forandringer ved brefronten, begynte isen å gå framover i 1994, over 100 m i løpet av 2 år. Den følgende teksten gir en oversikt over frontmålinger og snømålinger av isoverflatens høyde foretatt i perioden 1990-1995.

Flybilder ble brukt for å bestemme isfrontens beliggenhet i årene 1990-95, samt for å konstruere tre høydeprofiler i breens lengderetning for perioden 1990-94 (figur 14-29). Bare den midterste profilen "Profil 1" blir omtalt her.



Fig. 14-29 Beliggenheten av de profilene som ble målt på flybilder av Engabreen 1990-95. Location of profiles measured from aerial photography on Engabreen 1990-95.

Feltmålinger fra to besøk i mai og juli 1995 ble brukt for å bestemme isoverflatens høyde i nærheten av Profil 1 på den nederste delen av tungen. Tabell 14-4 viser data fra de forskjellige målingene.

For å bestemme profilen ble høyden målt i tilstrekkelig mange punkter for å kunne inntegne den øverste delen av sprekkene, mens det pga. solvinkelen ikke var mulig å bestemme dypet av alle sprekker, kun de største kunne måles.

En matematisk metode (se den engelske teksten for detaljer) ble brukt for å sammenlikne forskjellige år. Fig. 14-30 viser et tverrsnitt langs Profil 1, med breoverflatens beliggenhet i 1990, 1994 og 1995. I samme figur vises også fjellgrunnen, bestemt utfra radarmålinger (Haakensen 1995).

	Front position measurements		Surface measurements		
Year	Ground survey	Aerial photos	Ground survey	Aerial photos	
1990	Aug. 31	Aug. 11	_	Aug. 11	
1991	Sept. 30	July 31	_	July 31	
1992	_	Aug. 31		Aug. 31	
1993	Sept. 27	Aug 15		Aug 15	
1994	_	Aug. 11		Aug. 11	
1995	Sept. 15	Aug. 12	May 30, 6 points	_	
			July 18, 24 points		

 Table 14-4
 Dates of front position and elevation measurements



Fig. 14-30 Breoverflate i 1990, 1994, og 1995 og fjellgrunnen langs Profil 1. *Cross-section along Profile 1 showing bed topography and the glacier surface for 1990, 1994, and 1995.*

Selv i denne figurens målestokk er det klart at det har forekommet en økning av istykkelsen over en stor del av breen. Tydeligst er dette ovenfor og nedenfor sprekkeområdene, der sprekkemønsteret gjør sammenlikningen vanskelig.

Figur 14-31 viser isoverflatens forandringer ovenfor isfallet for årene 1992-94 i relasjon til overflaten i 1991. Den gjennomsnittlige økningen i istykkelse er 1.1 m fra 1991 til 1992, 0.8 m fra 1992 til 1993 og 0.75 m fra 1993 til 1994. Disse tallene er selvsagt beheftet med feil, spesielt på grunn av de veldige forskjeller i isoverflatens høyde i løpet av en smeltesesong. Dette demonstreres tydelig i figur 14-32, der Engabreen surface changes above intake area, relative to 1991 surface



Fig. 14-31 Endringer i isoverflatens høyde langs Profil 1 på den øvre delen av Engabreen, ovenfor isfallet. Forskjellene er relatert til slik isoverflaten var i 1981. Changes in surface elevation along Profile 1 on upper part of Engabreen, above ice-fall.





Fig. 14-32 Endringer i isoverflatens høyde langs hastighetensprofilene (figur 14-29) for 3 ulike tidspunkter i 1994 (til venstre) og i 1995 (til høyre)
 Changes in elevation along velocity profiles (Fig. 14-29), at three different times during the summer of 1994 (left) and 1995 (right).

isoverflatens høyde vises for 3 tidspunkter i løpet av sommeren 1994 og 1995. Forskjellen mellom første og siste høydebestemmelse er ca 5 m i 1994 og ca 3 m i 1995 i løpet av bare 38, resp. 29 dager. Dette betyr at det er uhyre viktig <u>når</u> på sommeren en profil er målt når den skal sammenliknes med forholdene et annet år. Når dette tas med i beregningen, synes det som det er en tendens til økning i istykkelse ovenfor isfallet mellom 1991 og 1994.

Engabreen surface changes on tongue, relative to 1990 surface



Fig. 14-33 Endringer i isoverflatens høyde langs Profil 1 på den nedre delen av Engabreen i forhold til isoverflaten i 1990. Profiler målt i 1995 avviker litt fra beliggenheten av Profil 1. Changes in surface elevation along Profile 1 on lower part of Engabreen. Changes are relative to the 1990 surface. Profile measured in 1995 is based on survey points on the tongue and does not follow Profile 1 exactly.









Fig. 14-35 Injeksonspunkter for fargestoff ved eksperimentene i 1993 (øverst) og 1994 (nederst). Prikket linje antyder sporstoffets veg under isen. Stiplet linje er skille mellom dreneringsområder.

Injection and sampling locations for tracer experiments conducted 1993 (upper figure) and 1994 (lower figure), with inferred tracer paths and catchment areas.

Økningen i istykkelse på tungen er lettere å fastslå enn i området ovenfor isfallet. Figur 14-33 viser overflatens forandringer på den nederste delen av tungen, i forhold til overflaten i 1990. Selv om målepunktene i 1995 ikke ligger eksakt på Profil 1, viser tallene at det er en gjennomsnittlig økning i istykkelsen på 21 m mellom 1990 og 1995. Økningen begynte allerede i 1991 i høydeområdet 1200-1500 m, men kom ikke ned til fronten før i 1994 (se figur 14-33). Dette kan også ses i resultatene fra frontmålingene (figur 14-34) idet fronten var stabil mellom 1990 og 1993 (omtrent samme posisjon som i 1968, vist i figur 14-29). Så gikk isfronten fram 30 m i 1994 og 55 m i 1995.

14.5 SPORSTOFFEKSPERIMENTER MED FARGE 1993-94

I august 1993 og i juli 1994 ble det utført 18 sporstoffeksperimenter på Engabreen. Hensikten med eksperimentene var å definere dreneringsområdene for de ulike subglasiale inntakene under Engabreens tunge for hvert av disse 2 årene, samt å finne vannets trasé fra injeksjonspunktene og inntakene.

I 1993 kom det subglasiale smeltevannet inn i tunnelsystemet via 2 punkter: forskningstunnelen W1 og tunnelen fra vindu W2 (se figur 14-35a). Det ble funnet 3 ulike dreneringsområder, ett av disse omfattet vann som kom fra de øverste dalsidene på sydsiden av breen. Et av de viktigste resultatene fra eksperimentene var at det ville lønne seg å konstruere et særskilt inntak for å få dette vannet inn i systemet.

Neste vinter ble det derfor boret ut en ny inntakstunnel fra det eksisterende inntak W2, og tre nye inntak ble sprengt ut i mai 1994 (A, B og C på figur 14-35b). Foruten disse kunstige inntakene ble det oppdaget et naturlig sprekkesystem som tillot betydelige vannmengder å komme inn i tunnelen i begynnelsen av sommeren.

Eksperimentene i 1994 viste at den nye tunnelen var vellykket idet den samlet inn vann fra alle de viktigste bekkene på sydsiden av Engabreen. Men fordi tunnelen er utilgjengelig når det kommer mye vann, var det ikke mulig å finne ut hvilket av de nye inntakene som fungerte ved farge-eksperimentene. Kartet over dreneringsgrensene er laget med antagelsen at inntak A og B drenerer det samme område som W2 gjorde foregående år. Da intet vann ble observert i inntak B i begynnelsen av sommeren, antar vi at alt vann kom gjennom inntak A, og lite eller intet vann i B og W2. Videre antas at vann fra dalsiden kommer inn gjennom inntak C og/eller via sprekkesystemet i fjellet.

14.6 ENGLISH SUMMARY

Mass balance

Introduction

Engabreen is a northwestern outlet glacier from the Svartisen ice cap, with an area is 38 km^2 . Most of the area lies between 1000 m and 1600 m a.s.l., with only 10% of the glacier area below 900 m a.s.l. The glacier tongue, however, comes all the way down to 20 m a.s.l

Mass balance has been measured yearly at Engabreen since 1970. During this period, the glacier has had a surplus amounting to approx. 20 m water equivalent (w. eqv.).

Engabreen has been exploited for hydro-power production. Subglacial meltwater is captured by intakes bored upward from a bedrock tunnel running under the glacier, and is diverted to a large reservoir to the north east. In the tunnel, a glaciological observatory has been installed, from which the glacier bed is accessible for investigations.

Mass balance 1994

• Field work

Accumulation was measured 13 May. It was based on

- more than 80 snow depth soundings in the area above 950 m a.s.l.,
- snow depth measurements at 6 stakes on the upper part (above 1000 m a.s.l.) and 2 stakes on the lower tongue (below 330 m a.s.l.),
- snow density of the upper 2 m layer on the glacier plateau, combined with earlier density measurements at greater depths. Mean density was determined to 0.47 g/cm³. There are no measurements on the inaccessible crevassed ice-fall between 950 and 460 m a.s.l.

Ablation measurements on 16 September were made on 11 stakes-two of them on the tongue-and the density of the remaining snow, which was 0.60 g/cm.

Results

Winter balance. The accumulation was 1.5-2.5 m w. eqv. at the plateau. Accumulation on the tongue was in fact negative due to winter melting. Total winter balance was 1.92 m w. eqv, which is 64% of the mean during the investigation period and the second lowest value ever measured.

Summer balance. The ablation ranged from less than one m w. eqv. on the upper part to more than five w. eqv. at the tongue. Total net balance was 1.53 m w. eqv. or 66% of average.

Net balance was +0.39 m w. eqv. (\pm 12cm), whereas mean net balance in the period 1970-93 is +0.76 m w. eqv., 1994 was the 6th consecutive year with positive mass balance. The ELA lay at 1080 m a.s.l., for an AAR of 76%.

Mass balance 1995

• Field work

Accumulation was measured 29 April-1 May, and is based on more than 90 snow depth soundings, density measurements on four snow cores, and two stakes measurements on the plateau, and snow depth and one stake measurement on the tongue. Snow depth on the plateau varied between 7-9 m w.eqv.

Ablation was measured 15 September. New snow on glacier was negligible. Accordingly there would be no difference between the traditional method and the floating date method (see section 1-5).

• Results

Winter balance. Accumulation was 3.0-4.5 m w. eqv. on the plateau, while at the tongue there was net melting. The total winter balance was 3.50 m w. eqv.-117% of the mean value for the period 1970-94.

Summer balance. The summer was cold. In the upper part of the glacier the ablation was less than one m w.eqv. The summer total was 1.76 m w.eqv. or 79% of the mean value for the period 1970-94.

Net balance. High winter precipitation combined with a cold summer resulted in a substantial positive net balance, amounting to +1.74 m w. eqv. That means that half of the winter accumulation remained on the glacier. The accuracy in the mass balance is estimated to be 0.15-0.20 m w. eqv. Mass balance figures are shown in Table 14-2 and Figure 14-2. ELA was 940 m a.s.l, with blue ice only on the glacier tongue, and the AAR was 90%.

Cumulative mass balance results for the period 1970-95 are presented in Figure 14-3. During the measurement period 1970-95, Engabreen had a net surplus amounting to more than 20 meter w. eqv., or 780 mill. m^3 of water. Half of this amount has accumulated since 1988. Average net balance in the period is +0.79 m w. eqv. Only six of 26 years have had negative net balance, the last time in 1988.

Dividing the measurement series into two periods, before and after 1998, shows that mean winter balance has increased from 2.87 m to 3.36 m w. eqv., whereas mean summer balance has decreased from 2.33 m to 1.89 m w. eqv. Accordingly, net balance has increased from +0.54 m w. eqv. in the period 1970-88 to +1.46 m w. eqv. in the period 1989-95.

This considerably positive net balance has resulted in a significant glacier advance; during the last three years the glacier has advanced by more than one hundred meters (see section 14-4).

Velocity measurements

Measurements have been made since June 1990 at Engabreen to document the natural variations in the glacier's velocity. These data provide the basis for evaluating changes in the glaciers flow regime due to the subglacial intakes constructed as part of a larger hydropower project in the area. Velocity was measured using four different methods:

1) Aerial photogrammetry

Aerial photographs taken at 2-4 week intervals are used to track recognizable features between photos. This method provides absolute movement information and can cover a large area of the glacier.

2) Oblique terrestrial photogrammetry

Similar to 1), but photos are taken from a point overlooking the glacier, looking over the area downstream from the intakes. This method covers a more restricted area, and gives only relative variations perpendicular to the camera plane, unless the tracked features are simultaneously measured using ground surveys.

3) Surveying of stakes and markers

Conventional ground surveying was done 2-4 times per year. An electronic theodolite (EDM) was used to measure the positions of mass balance stakes on the glacier tongue.

4) Continuous surveying

A field of markers set out on the glacier surface were tracked continuously over shorter periods of several days, using a computer-steered EDM. The objective was to measure short time-scale variations in glacier velocity in different areas.

Methods 1,3, and 4 worked well, and are reported here for 1994-95. Results from oblique photogrammetry performed during the 1992 season are reported here; in subsequent years, however, difficulties with the method led to it being dropped from the program.

Aerial photogrammetry

Three vertical aerial photograph strips were taken at 2-4 week intervals, with the exact length of time between photos depending, of course, on the weather. Conventional photogrammetric techniques were used to determine the correction 'model' needed to assign true map positions to any point on an individual photograph.

Two methods were then used to analyze the photographs.

In the first method (1a), described earlier in Haakensen (1995), the vector direction and distance along which individual points move on the glacier surface was determined by tracking and measuring distinctive ice features, crevasse patterns or dirty ice bands, for example, from one photo to the next. Despite continuous melting of the glacier surface, it was possible to successfully identify features and get velocity results consistent with those measured using conventional surveying.

The second method (1b) used was to make elevation measurements along a profile oriented on a flow line. By comparing two profiles, one can follow the movement of crevasse features downglacier. The method only gives the magnitude of the velocity in the profile direction. A natural extension of the method would be to construct two digital elevation models and compare them using a cross-correlation technique similar to that outlined below; this would make it possible to identify both the direction and magnitude of the glacier movement.

Method 1A: tracking ice structures

Measurements were made at 106 points both downglacier and upglacier from the intake area (Fig. 14-4). The procedure was to find recognizable ice structures in two sets of photographs, as close as possible to the predefined field of measurement points. Velocities determined for 1994 are shown in Figures 14-5 and 14-6, while those from 1995 are shown in Figures 14-7 and 14-8. Raw velocity vectors are shown in the upper diagrams, and a contour plot of the magnitude, or ice speed, is shown in the lower figures.

For both years, three aerial photographs are used. Results are thus categorized as either Period 1 and Period 2, although the exact dates of periods in individual years do not coincide. Velocities are generally higher in Period 1 than in Period 2, both because water pressure is higher in the beginning of the summer, leading to a

reduction in basal friction, and because ice thickness is reduced throughout the summer melt-season, with a reduction in velocity roughly proportional to the change in thickness raised to the fourth power (Paterson, 1994). When we compare results from year to year, therefore, one must distinguish between the two periods.

Figures 14-9 and 14-10 show the average velocity fields for each period, using all measurements made from 1990-1994, while Figures 14-11 to 14-14 show the difference between the 1994 and 1995 data and the 1990-94 average, determined by subtracting the contoured velocity magnitudes. Negative figures in these diagrams indicates that a given set of measurements are lower than the average.

In 1994, ice speed was noticeably higher below the intake area in the first period, and somewhat higher in the second period. In 1995 there was a definite decrease in ice speed in both periods. The decrease was over the entire measurement area, except over the intake area, where there was a weak increase in both periods. One possible reason for the decrease may have been that all three aerial photographs were taken much later in the season than in earlier years (Figure 14-15). Another reason was that 1995 was an especially cold year, with fewer rainstorms, fewer acceleration events and, therefore, generally lower velocities.

Method 1b: tracking crevasse elevations

Elevations along five 1500 m profiles were measured from the three aerial photograph sets. The profiles lie along the centerline (Figure 14-4) in the same area as the points used in method 1a) described above, and are separated 5 m from each other. Each profile consists of as many elevation measurements as necessary to define the shape of the crevasses, a minimum of 400 points per profile.

Analysis begins by resampling the profiles on a uniform, tightly spaced grid, and calculating a smoothed surface through the resultant profile. The mean is then subtracted to yield curves like those in Figure 14-16, which shows two profiles, one from July 4th and the other July 30th, both before and after removing the smoothed surface. Cross-correlation is then used on short stretches of data taken at regular intervals along the profile, to calculate the 'average' offset in the position of the crevasse patterns between successive photographs. Figure 14-17 and 14-18 show the velocities measured using this technique, for both periods and both years, compared with velocities determined using the method 1a). This is not a direct comparison, as the latter were taken from the three-dimensional interpolated surface of velocity magnitude shown in Figures 14-5 to 14-8. Nevertheless, the two methods give reasonably similar results, The 1994 profiles are laterally averaged for Figure 14-17, while the 1995 data in Figure 14-18 comprise both the laterally averaged velocity as well as the individual profile velocities; the latter give some idea of the variation one can expect as a result of errors in the method.

Finally, Figure 14-19 shows a comparison of the 1994 and 1995 data, for each period. The measured velocities are essentially the same for Period 1, but somewhat less in Period 2. This is in contrast to the results obtained using method 1a), where the decrease in 1995 was much more pronounced.

Oblique terrestrial photogrammetry

A programmable camera was placed on Møsbruntuva to take pictures over the intake area (Figure 14-20) twice daily during the summer. Analysis is presented here for pictures taken at one-week intervals between May 31st and September 9th,

1992. A one-week interval was chosen because earlier analysis showed that over shorter time intervals, uncertainties in the measurement were of the same order as the movements to be detected.

At the same time as the camera was placed out, several markers were placed out on the glacier surface in the camera's field of view, and measured using an EDM a few times during the summer. However, the markers proved to be impossible to find in the obligue photographs. Therefore the following techniques was used instead; points on the glacier and on the bedrock across the valley were measured in two successive pictures, with the bedrock points used to adjust the resultant glacier movement vectors. Vectors were then culled to yield only those found along the top of the ice swell lving nearest the camera's field of view (Figures 14-20 and 21). These data provide only a relative measure of velocity, and are accordingly presented in mm of movement relative to the camera plane (Figure 14-22). Scatter is significant, but the relative changes are generally larger than the scatter in individual epochs. There are no EDM measurements made at similar time intervals during this period, so no direct comparison can be made. There is, however, a relation between ice velocity and water pressure, and further, between water pressure and discharge, so that a comparison of velocity with discharge can be useful (Figure 23). Plotting the average velocity for each epoch against daily average discharge in the proglacial stream draining Engabreen, shows that there is a reasonably good correlation between the two, recognizing of course that the interconnection between these parameters is a good deal less straightforward than stated above.

Stakes

Conventional ground surveying was done 2-4 times per year. An electronic theodolite (EDM) was used to measure the positions of mass balance stakes placed on the glacier tongue. Figure 14-24 shows all of the measured ositions, and Figure 14-25 the calculated ice speeds, grouped by stake ID number. There is a general upward trend in the measurements, although some caution needs to be exercised in interpreting these data; the high velocities and large velocity gradients on the tongue mean that the position and thus velocity of an individual stake changes significantly from epoch to epoch. Nevertheless, a careful comparison of velocities measured at similar positions but at different times shows that there has been a clear increase in velocity on the tongue, commensurate with the increase in thickness (see section 14-4)

Continuous distance measurements

From July 8-14th, 1994, five 'markers', tripods with prisms, were set out on the glacier surface in the area above the subglacial intakes (Figure 14-4), and one on the glacier side for reference . A computer-controlled EDM set up in roughly the downflow direction from the markers was used to measure distances to these markers at circa five minute intervals. The reference marker was used to correct distances measured to the glacier prisms for air temperature, humidity and pressure changes, all of which can give rise to apparent position changes in EDM measurements.

Figure 14-26 shows data for one of the glacier markers, M3. The gray line shows apparent velocity calculated from the distance measurements. Because the error in position measurement far exceeds the distance a marker can move in a five minute period, there is great variation in velocities calculated over such short time spans—

with negative velocities even. The dark line shows velocities calculated from hourly mean positions, a much smoother record. Figure 14-27 shows hourly velocity data for all five markers. Long sections of constant velocity are due to clouds and rain. Unfortunately, these are also the times during which interesting changes in velocity would occur; during the relatively inactive cloud-free periods, the markers seem to move more or less independently of each other.

Because of the problem with clouds, in 1995 the measurement site was shifted down in elevation (Figure 14-4). Measurements to six markers on the tongue and one reference marker on the valley side were made from 7-12th July. Rain proved not to be a problem; in fact the weather was uniformly rain-free and cold, with high clouds present the entire period. Accordingly, measured velocities showed relatively little variation (Figure 14-28), although there is still a clear diurnal signal present in some of the data. Markers on the steeper part of the tongue (M1, M3, M4) show weak to non-existent diurnal variations, while those located on the flatter reaches (M2, M6) show the greatest swings in amplitude.

Conclusion

Stake measurements show that the velocity on the tongue increased in 1994, while the aerial photogrammetry gave a less clear indication of some increase in the intake area. The increase can either be due to changes in the subglacial drainage network, or they could simply be due to changes in thickness. The latter explanation is clearly the case on the glacier tongue.

In 1995, a relatively cold year, velocities in the intake area showed a weak decrease, which, again may have something to do with the changes in the subglacial drainage system, or changes in thickness, or, a combination of the two, possibly to the fact that the aerial photographs were taken quite a bit later in the season, relative to previous years. However, velocities on the tongue continued to increase, as did the thickness (see next section).

Front position and surface changes 1990-1995

After many years of mostly positive mass balances on Engabreen (Figure 14-3), with almost no changes to the glacier tongue, the front finally began to advance in 1994, pushing forward by more than 100 m in the course of two years. This section gives an overview of front position and surface elevation measurements made in the period 1990-95.

Aerial photographs were used to delineate the front position for the period 1990-95, and to generate three elevation profiles running the length of the glacier tongue for the period 1990-94 (Figure 14-29). Only the centermost profile, Profile 1, is reported here. In 1995, field survey data from two separate visits in May and July were used to determine the surface elevation in the vicinity of Profile 1, on the lower part of the tongue. Table 14-4 lists the dates of the different measurements.

For the profile measurements, elevation was determined at sufficiently close intervals along the profiles to delineate the uppermost part of individual crevasses; however, because of the sun angle, it is not possible to measure elevation all the way down into any but the largest of crevasses. For comparisons between years, profile data were resampled at 2 m intervals using a cubic spline interpolation algorithm. The 1995 field survey data were used to determine elevations at a few points along Profile 1, adjusting the locations of the measured points to the profile along the contours of the 1985 topography. It was necessary to use the 1985 topography because the survey data were not dense enough to permit construction of a two-dimensional interpolating grid. The adjusted points were then also interpolated and resampled at 2 m intervals over the relevant length, for comparison with the other data. Because of the paucity of measurements points, however, these measurements do not capture any fine-scaled details of the surface, and the fact that the measurement points do not coincide exactly with the aerial photographyderived profile measurements means that comparisons between the two are less reliable.

Figure 14-30 shows a cross-section along profile 1, and the glacier surface for 1990, 1994, and 1995. Bed elevations are determined from radar measurements (Haakensen, 1995). It is clear even at the scale of this figure that there has been a marked increase in thickness over a large part of the glacier. Close examination of the profiles shows that elevational changes are obscured in the ice-falls by intense crevassing. For this reason it is easier to discern changes in the crevasse-free areas above the ice-fall and on the lower part of the tongue.

Figure 14-31 shows elevational changes above the ice-fall for the years 1992-94, relative to the 1991 surface. The average increase in this particular area is 1.1 m between 1991 and 1992, 0.8 m between 1992 and 1993, and 0.75 m between 1993 and 1994. Of course, such figures are subject to many errors, not the least of which is the tremendous variation in surface elevation during the course of a melt season; Figure 14-32 shows surface elevation relative to the 1991 surface along the 1994 and 1995 profiles used in velocity measurements (see preceding section), for three different times during the summer. The differences between the first and last measurements amount to circa 5 m in 1994 and circa 3 m in 1995, over periods of 38 and 29 days, respectively, which means that comparison of yearly surface profiles is especially sensitive to the dates on which the profiles are made. Bearing that in mind, the trend seems to be for an increase in thickness above the ice-fall from 1991 to 1994.

Note that the elevational changes along the velocity profiles, as measured over a period of little more than one month, are about twice the entire summer melt as determined from the mass balance relation at this elevation (Table 14-1 and Table 14-2). This points either to gross errors in the mass balance measurements or to changes in the down-glacier velocity gradient. While standard errors in mass balance measurements are fairly high, and while the mass balance curve for Engabreen is based on stake measurements at 1000 m and at 400 m elevation, far in elevation and actual distance from the measured profiles, it is not unreasonable to suspect that there might be changes in the longitudinal strain rate. The measured profiles lie, after all, in the area of the subglacial intake, and diversion of water to the intakes should have a measurable effect on the sliding speed downstream of the intakes, as discussed in the preceding section.

The increase in ice thickness on the tongue is more easily discerned. Figure 14-33 shows the changes on the lower part of the glacier tongue, relative to the 1990 surface. While the 1995 data have the aforementioned problem that they don't lie exactly along Profile 1, there is nevertheless an average increase of 21 m in the

period between 1990 and 1995. The increase began already in 1991, between 1200 and 1500 m along Profile 1, but did not arrive at the snout until 1994 (Figure 14-33). This can be seen as well in the front position measurements (Figure 14-34). The front position was stable between 1990-93, lying at a position not significantly different from that of 1968 (Figure 14-29). In 1994 the front advanced 30 m, averaged across the front in the vicinity of the points used in 'traditional' front position measurements, and in 1995 it advanced substantially an average of 55 m.

Dye tracing experiments 1993-94

Eighteen tracer tests were conducted in August 1993 and July 1994 at Engabreen. The goal of these experiments was to define the catchment areas of the various subglacial intakes functioning beneath Engabreen during each year, and to characterize the connections between the tracer injection points and the intakes.

In 1993, subglacial water entered the tunnel system through two points: the research tunnel W1 and the tunnel window W2 (Figure 14-35a). Experiments conducted that year delineated three distinct catchment areas, one of which comprised streams draining the uppermost valley-sides along the south side of Engabreen. One of the main conclusions of this work was that there appeared to be sufficient uncaptured discharge on the south side to warrant construction of a separate intake for that area.

The following winter, a new intake tunnel was bored from the existing intake at W2, and three new intakes A, B and C (Figure 14-35b) were blasted in May 1994. Besides these man-made intakes, a pervasive fracture system encountered near intake C at the end of the new tunnel was observed to admit significant amounts of water during the early part of the melt season. The 1994 experiments showed that the new water collection tunnel seems to have been successful in capturing all of the major streams on the southern side of Engabreen. However, because the tunnel system is inaccessible for sampling during high flows, it is impossible to distinguish which of the intakes were actually functioning during the tracer experiments. The drainage divide is drawn assuming that intakes A and B drain the same area that W2 did last year. Based on the fact that no water was ever observed to come through intake B during the early part of the summer, we assume that tracer in this area returned solely through intake A to the exclusion of the other intakes B and W2. Furthermore, we assume from the geometry of the tunnel system that the valley side-streams formerly connected to EE now enter the tunnel system through intake C or the associated fractures in the bedrock.

15 TROLLBERGDALSBREEN (161.F) Bjarne Kjøllmoen

Trollbergdalsbreen er en liten dalbre innerst i Beiardalen i Beiarn kommune, Nordland. Den dekker et areal på 1.6 km², og strekker seg fra 900 opp til 1300 m o.h. Breen er blitt kartlagt fra flybilder tatt i 1968 og 1985. Hydrologisk avdelings måleprogram som startet i 1990, ble avsluttet høsten 1994. Tilsvarende måleprogram ble gjennomført i perioden 1970-74.

15.1 MASSEBALANSE 1994

Feltarbeid

Akkumulasjonsmålingene ble utført den 12.mai. Følgende målinger danner grunnlaget for beregning av vinterakkumulasjonen:

-Måling av staker 945, 995, 1045 og 1045 m o.h. Stakene viste snødyp mellom 2.8 og 3.5 meter.

-40 sonderingspunkter fordelt på 5 tverrprofiler i høydenivåene 930, 945, 995, 1020 og 1045 m o.h. samt ett lengdeprofil fra 1065 til 1195 m o.h. Sommeroverflaten var lett å påvise over hele breen og sonderingene kunne kontrolleres på stakene. Snødybden varierte fra 2.5 m i 1000 m nivå til 3.8 m i 1180 m nivå.

-Snøtettheten ble målt ned til 2 meters dyp i høydenivå 1045 m o.h. For større snødyp enn 2 m er tettheten bestemt ved hjelp av modeller basert på tidligere års målinger.

Minimumsmålingene ble utført den 16.september. Nettobalansen ble målt på 6 staker. Disse målingene danner grunnlaget for beregning av breens totale sommerablasjon og nettobalanse. Under 1170 m o.h. lå det ikke igjen snø fra vinteren 93/94.

Resultater

•Vinterbalanse

Høydeintervallene mellom 900 og 1050 m o.h., som utgjør 68% av breens totale areal, er godt representert med målepunkter. Fra 1050 til 1200 m o.h. er det betydelig færre målepunkter. Over 1200 m o.h. er det ikke gjort målinger. Her er akkumulasjonen bestemt ved ekstrapolering bygget på erfaringer fra 70-tallet. Arealet over 1200 m o.h. er imidlertid så lite at en feil i ekstrapoleringen ikke vil påvirke resultatet for hele breen. Midlere snøtetthet er beregnet til 0.48 g/cm³ i 1050 m nivå.

Vinterbalansen er beregnet til 1.49 m ±0.15 m vannekvivalenter (2.36 mill.m³). Dette er den minste vinterbalansen som er målt på Trollbergdalsbreen i de to måleperiodene 1970-74 og 1990-94. Gjennomsnittet for måleperioden 1970-74 var 2.42 m, mens den er 2.64 m vannekvivalenter for perioden 1990-93.

Tabell 15-1 viser verdiene for massebalansen i de enkelte høydeintervall. Figur 15-1 viser kurvene for fordeling av vinterbalanse, sommerbalanse og nettobalanse med høyden med hhv spesifikke verdier og volumverdier.

		Winter accumulation Measured 12 mai 1994		Summer ablation Measured 16 sep 1994		Net balance Summer surfaces 1993 - 1994		
Altitude (masl)	Area (km²)	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)	
1250 - 1270	0,00	1,80	0,01	-1,45	-0,01	0,35	0,00	
1200 - 1250	0,03	1,75	0,06	-1,55	-0,05	0,20	0,01	
1150 - 1200	0,14	1,65	0,23	-1,70	-0,24	-0,05	-0,01	
1100 - 1150	0,11	1,50	0,17	-1,95	-0,22	-0,45	-0,05	
1050 - 1100	0,24	1,65	0,39	-2,25	-0,53	-0,60	-0,14	
1000 - 1050	0,68	1,45	0,98	-2,70	-1,83	-1,25	-0,85	
950 - 1000	0,31	1,35	0,41	-3,15	-0,96	-1,80	-0,55	
900 - 950	0,08	1,45	0,11	-3,45	-0,27	-2,00	-0,16	
Total area	1,58							
Total for whole glacier between summer surfaces 1993 - 1994								
		Winter acc.	Summer abl.	Net bal.				
volume (10 ⁶ m ³)		2,36	-4,10	-1,74				
specific (m)		1.49	-2.59	-1.10				

Tabell 15-1 Vinterbalanse, sommerbalanse og nettobalanse for Trollbergdalsbreen 1994.

Winter balance, summer balance and net balance for Trollbergdalsbreen 1994.

•Sommerbalanse

Med grunnlag i den målte nettobalansen og en midlere estimert snøtetthet på 0.6 g/cm³ på gjenværende snø, er sommerbalansen beregnet til 2.59 m ±0.20 m vannekvivalenter (4.10 mill.m³). Middelverdien for måleperioden 1970-74 var 3.15 m, mens den er 2.46 m for perioden 1990-93.

•Nettobalanse

Trollbergdalsbreens nettobalanse for 1994 er beregnet til -1.10 m ±0.20 m vannekvivalenter. Dette betyr at breens masse har minket med 1.74 mill.m³ vann det siste året. Middelverdien for perioden 1970-74 var -0.74 m vannekvivalenter, mens den er 0.18 m for måleperioden 1990-93. Likevektslinjen lå omlag 1180 m o.h.



Figur 15-1 Massebalansediagram som viser spesifikke verdier (venstre) og volumverdier (høyre) for Trollbergdalsbreen 1994.

Mass balance diagram showing specific values (left) and volume values (right) for Trollbergdalsbreen 1994.

15.2 MASSEBALANSE 1990-94 (sammendrag av NVE-rapport nr 14-95)

Massebalanse er målt i perioden 1990-94. Resultatene fra alle disse årene er stilt sammen og sammenlignet med målinger som ble gjort i perioden 1970-74 (75 for nettobalansen). Analyser er gjort for å finne korrelasjoner til samtidige målinger på Engabreen. Til slutt er nettobalansen mellom 1968 og 1985 er beregnet med to enkle metoder.

Arealfordeling og breoverflatehøyde

Ved å sammenligne brekartet fra 1968 med Statkraft's "nye" kart fra 1985, (Oppdr. nr.585.54) viser det seg at breoverflaten har sunket en god del, og at arealfordelingen er noe endret. Det er spesielt stor arealendring i høydeintervallet 1050-1100 m o.h. Her er arealet redusert med 57% fra 1968 til 1985. Totalt er hele brearealet redusert fra 1.82 km² i 1968 til 1.58 km² i 1985. Brefronten har i samme periode trukket seg tilbake ca 100 m. Resultatene fra måleperioden 1990-94 er beregnet på grunnlag av kartet fra 1985.

Resultater

I løpet av måleperioden 1990-94 var massebalanseforholdene noe variable. Middelverdiene for hhv vinter-, sommer- og nettobalansen ble 2.36 m, 2.56 m og -0.20 m vannekvivalenter. Usikkerheten er anslått til ± 0.20 m vannekvivalenter for nettobalansen, og ± 0.15 m for vinter- og sommerbalansen.Til sammenligning var tilsvarende middelverdier i perioden 1970-74 (75) hhv 2.42 m, 3.15 m og -0.66 meter.

Year	b _w	b _s	b _n	ELA
1970	1.74	4.21	-2.47	>1400
1971	2.14	2.47	-0.33	1100
1972	2.44	3.68	-1.24	1160
1973	3.19	2.43	0.76	<900
1974	2.57	2.97	-0.40	1095
1975			-0.28	1090
1970-74 (75)	2.42	3.15	-0.66	
1990	2.94	3.23	-0.29	1075
1991	2.29	2.45	-0.16	1070
1992	2.63	2.13	0.50	<900
1993	2.45	2.38	0.07	1060
1994	1.49	2.59	-1.10	1180
1990-1994	2.36	2.56	-0.20	

Tabell 15-2 og figur 15-2 viser vinter-, sommer- og nettobalansen på Trollbergdalsbreen for måleperiodene 1970-74(75) og 1990-94.

Winter balance (b_w) , summer balance (b_s) , net balance (b_n) and the equilibrium line (ELA) for Trollbergdalsbreen during the peiods 1970-74 (75) and 1990-94.





Annual variations of mass balance for Trollbergdalsbreen 1970-74(75) and 1990-94, together with mean values for the same periods.

Tabell 15-2Vinterbalanse (b_w) , sommerbalanse (b_s) , nettobalanse (b_n) og likevektslinjens høyde
(ELA) på Trollbergdalsbreen i periodene 1970-74 (75) og 1990-94.

Korrelasjon med Engabreen

Måleresultatene fra begge måleperiodene er tatt med i analysene nedenfor. Korrelasjonene er foretatt med Engabreen som har samtidige målinger i begge måle-periodene. Engabreen er en kystnær bre med mye nedbør, mens Trollbergdalsbreen er en mer kontinental bre med relativt mindre nedbør. En sammenheng i netto-balansen mellom Trollbergdalsbreen og Engabreen er funnet ved lineær regresjons-analyse. Usikkerheten i de årlige estimatene er anslått til ±0.30 meter.



Figur 15-3 Regresjonsanalyse av nettobalansen mellom Engabreen og Trollbergdalsbreen i måleperiodene 1970-75 og 1990-94. Ligningen beskriver en lineær sammenheng mellom de to breenes nettobalanse. Formelens pålitelighet kan evalueres ved å beregne trendlinjens R-kvadrerte verdi som bør være så nær 1.0 som mulig. Her er verdien 0.87, som betyr at det er rimelig god sammenheng i nettobalansen mellom Engabreen og Trollberdalsbreen.

Linear regression analysis of net balance between Engabreen and Trollbergdalsbreen in the periods 1970-75 and 1990-94. Correlation between the two glaciers is reasonably good, with r^2 =0.87.

Analysen viser at det er relativt god korrelasjon mellom nettobalansen for de to breene (figur 15-3). Verdiene for Trollbergdalsbreen er gjennomgående lavere enn for Engabreen. Dessuten er variasjonen mellom årene mindre på Trollbergdalsbreen.

Nettobalanse 1968-85

For å estimere en midlere nettobalanse mellom 1968 og 1985 er to enkle metoder her benyttet. Perioden 1968-85 er valgt fordi det finnes gode kart over Trollbergdalsbreen for disse to årene.

Den første metoden bygger på korrelasjonen i nettobalanse som er funnet mellom Engabreen og Trollbergdalsbreen (figur 15-3). Måleperiodene 1970-75 og 1990-94 er benyttet for å estimere årlig nettobalanse fra 1970 til 1985. For året 1969 finnes det ikke målinger verken på Engabreen eller andre sammenlignbare breer i nærheten. Verdien for dette året er valgt som et aritmetisk middel av måleperioden 1970-75. Nettobalansen mellom 1968 og 1985 er estimert til et underskudd på ca 12 m vannekvivalenter eller 21 mill.m³ vann. Det gir et midlere årlig underskudd på ca 0.7 m vannekvivalenter.

Ved den andre beregningsmetoden er endringen i breoverflatens høyde mellom kartlegging i 1968 og 1985 benyttet. En sammenligning av kartene fra disse årene viser at breoverflaten sank mellom 5 og 25 meter i denne perioden. Enkle beregninger viser et underskudd i nettobalansen fra 1968 til 1985 på ca 16 m vannekvivalenter eller 27 mill.m³ vann. Det gir en årlig middelverdi på ca -0.9 meter.

Den årlige usikkerheten i estimatene er anslått til ca ±0.3 meter.

15.3 ENGLISH SUMMARY

The mass balance for Trollbergdalsbreen has been measured for the period 1990-94. Corresponding research was also carried out in the years 1970-74.

Mass balance studies in 1994 started with accumulation measurements on May 12. Snow depth varied from 2.5 m to 3.8 meters. Total winter balance was 1.49 m \pm 0.15 m w.eqv., or 2.4 mill.m³ of water, the smallest winter balance recorded during the two periods 1970-74 and 1990-94. Summer balance was measured September 16 and was 2.59 m \pm 0.20 m w.eqv., or 4.1 mill.m³ of water. Thus the net balance was to -1.10 m \pm 0.20 m w.eqv. This means that the volume of Trollbergdalsbreen has decreased with 1.7 mill.m³ of water the last year. ELA was at about 1180 m a.s.l.

The mass balance results from the five years 1990-94 are compared with the corresponding values for 1970-74. Table 15-2 shows the annual balance values and the average for the two periods. Both periods shows a deficit in net balance with an annual average of -0.66 m (1970-74) and -0.20 m (1990-94) w.eqv. respectively. There is a good correlation between the net balance of Trollbergdalsbreen and Engabreen as shown by linear regression analysis (Figure 15-3). Based on this correlation, the net balance in the period 1968-85 is estimated to a deficit of about 12 m w.eqv., or 21 mill.m³ water. Maps of Trollbergdalsbreen for 1968 and 1985 are used to estimate the net balance in the same period. Comparison of the two maps shows a deficit in net balance of about 16 m w.eqv., or 27 mill.m³ water.

16. DRENERINGSGRENSER FOR INNTAKENE TIL SVARTISEN KRAFTVERK Mike Kennett & Hallgeir Elvehøy

På oppdrag fra Statkraft SF er dreneringsgrensene for alle inntakene til Svartisen Kraftverk beregnet. Tidligere har NVE,Seksjon Bre og Snø kartlagt dreneringsgrenser på den nordlige delen av Jostedalsbreen (Kennett, 1989a), Spørteggbreen (Kennett, 1989b), Blåmannsisen (Kennett, 1990) og Svartisheibreen (Kjøllmoen og Kennett, 1995). Resultatene viser at avviket mellom dreneringsgrensene og isskillene kan være betydelig.

16.1 DATAGRUNNLAG

I analysen er det brukt flere typer data. Til manuelle vurderinger har vi brukt økonomiske kart i målestokk 1:10 000 konstruert fra flyfoto tatt i 1968, kart i målestokk 1:20000 over breområdene tegnet av Fjellanger Widerøe på grunnlag av profilpunkt beregnet fra flybilder tatt i 1985, og N50-kart i målestokk 1:50000 konstruert fra flyfoto tatt i 1968. I GIS-behandlingen er Fjellanger Widerøes profilpunkt fra 1985 brukt som primær høydeinformasjon støttet av Statens Kartverks 100x100m rasterdata basert på N50-kart. Brekanten fra 1985 bestemt av Fjellanger Widerøe er brukt som brebegrensning i analysen. Istykkelsen på Vestisen er målt med radar fra bakken (1986) og helikopter (1991 og 1992). Videre er høyden til alle bekkeintakene bestemt ved posisjonering i tunellsystemene brukt for å stedfeste bekkeinntakene. Flybilder fra 1985 og 1994 (Fjellanger Widerøe oppgave 8698 og 11717) er brukt som støtte i manuell tolking av dreneringsgrenser utenfor breen. Resultat fra sporstoffmålinger på Engabreen (NVE,1993; 1994) er brukt som verifisering av beregnede dreneringsgrenser.

16.2 METODE

Utenfor breen renner vann rett nedover, drevet av gradienten i terrenghøyden. Dreneringsgrensene kan da trekkes manuelt ut fra koter i terrenghøyde. Brevann (smeltevann og regn) drenerer gjennom breen og deretter langs brebunnen der det er drevet av gradienten i "hydraulisk head":

$$Z_{h} = Z_{bunn} + P_{vann} / (\rho_{vann} g)$$

(Shreve, 1972), der Z_{bunn} er bunnhøyde, P_{vann} er vanntrykk, ρ_{vann} er vannets tetthet (1 g/cm³) og g er tyngdens akselerasjon (9.81 m/s²). Dreneringsgrenser under breen finnes ved å trekke grenser i Z_h. Vi antar at brevann drenerer loddrett nedover i breen slik at dreneringsgrensene på breoverflaten ligger direkte ovenfor grensene på brebunnen. Björnsson (1988) og Kennett (1989a, 1989b, 1990) antar at vanntrykk er lik istrykket P_{is}:

$$P_{vann} = P_{is} = \rho_{is} g H$$

der H er istykkelsen og ρ_{is} er isens tetthet (917 kg/m³). Dette er antageligvis riktig nær dreneringsgrensene på grunn av små vannkanaler, men nærmere store kanaler (f.eks. under nedre deler av Engabreen) venter vi at P_{vann} er mindre enn P_{is} (Röthlisberger, 1972).

 Z_h ble benyttet til beregning av deneringsgrensene for Vestisen der vi har god dekning med istykkelsesmålinger. På de andre breene finnes det få eller ingen målinger, og her ble isoverflatehøyden Z_o benyttet.

Det geografisk informasjonssystem (GIS) Arc/Info Hydrologic Tools er benyttet til å beregne dreneringsgrenser ut fra et rutenett (grid) med verdier for "hydraulic head". Fremgangsmåten er tidligere benyttet på Engabreen, og resultatene derfra stemmer bra med sporstoffmålinger (Kennett og Kohler, 1993).

Et 50 m x 50 m grid av Z_o for hele området ble laget ut fra Fjellanger Widerøes (FW) og Statens Kartverk (SK) sine data for å kunne gjøre GIS-beregninger av grensene. FWs Z_o -data ble benyttet på Vestisen og Østisen. Dataene måtte glattes på grunn av støy ved å beregne et glidende middel over 150 m x 150 m. SKs 100 m x 100 m høydedata ble brukt i resten av området.

Et istykkelsesgrid ble beregnet for Vestisen ved å interpolere breradardataene. Istykkelsen H måtte imidlertid ekstrapoleres noen steder på grunn av manglende data, særlig nær brekanten. Dette ble gjort ved å anta at skjærspenningen T er konstant over breen, der

$$\tau = \rho_{is} g H \tan \alpha$$

og α er isoverflatehellingen. Middelverdien av τ ble beregnet til 1.27 bar der det fantes istykkelsesdata, og denne verdien ble benyttet til å ekstrapolere H til andre deler av Vestisen. Et Z_{b} -grid ble beregnet ved å kombinere grid for Z_{o} og H.

Dermed kunne dreneringsgrensene beregnes vha. GIS ut fra Z_h - eventuelt Z_o - grid. GIS-gensene utenfor breen ble imidlertid erstattet av mer nøyaktige grenser trukket manuelt på økonomiske (evt. M711) kart. For mange av de små feltene på vestsiden av Vestisen krysset GIS-grensene brekanten på feil sted på grunn av for grove høydedata. Disse grensene ble derfor trukket manuelt inn på breen ved hjelp av Z_h -kotene.

Kart fra ulike tidspunkt viser en del endring i bredekning og høyde. Disse endringene kan virke inn på plasseringen av dreneringsgrensene. I så fall er kartene fra 1985 blitt benyttet til hjelp.

Plassering av breelven ved fronten og sporstoffmålinger (NVE 1993, 1994) tyder på at $P_{vann} \approx 0.5 * P_{is}$ under nedre deler av Engabreen (Kennett og Kohler, 1993). Dette forholdet ble benyttet til å beregne grensene for innløpet til Engavann.

173



Figur 16-1 Dreneringsgrenser for bekkeinntak rundt vestlige Svartisen (Vestisen) beregnet i GIS fra istykkelse og bunntopografi (linjer), og basert på overflate topografi (stiplet) (fra Kennett et al, 1997).

Drainage divides for river intakes (large dottes) around W. Svartisen calculated from bottom topography and ice thickness using GIS hydrologic tools (solid lines), and manually interpreded from surface topography (dotted lines) (from Kennett et al, 1997).

16.3 RESULTATER OG KONKLUSJONER

Dreneringsområdet for kraftverket er beregnet til 565.96 km², en økning på 2.76 km² (0.5%) i forhold til tidligere beregninger basert på overflatetopografi (statkraft, 1989). Forandringene for enkelte inntak er store. De største absolutte forskjellene er for Storglomvatn (+7.65 km², tidligere 248.3 km²) og Terskaldvatn (-2.98 km², tidligere 22.0 km²), mens de største relative forskjellene er for noen av de små feltene (f.eks 0.2 til 1.11 km², og fra 1.8 til 0.09 km²). Den største endringen i plassering av grensene i forhold til skjønnsrapporten (Statkraft, 1989) er for Terskaldvatn der grensen er flyttet opp til 3 km. Figur 16-1 viser eksempler på endring av dreneringsgrenser.

Usikkerheten i plassering av dreneringsgrenser og feltareal er vanskelig å kvantifisere. Mulige feilkilder er datagrunnlaget, dataprosessering (f.eks. interpolasjon), tolking og digitalisering. Vi antar at den største usikkerheten utenfor breene er manuell tolking og digitalisering av grensene. På breene er feilen i grenseposisjoner større på grunn av stedvis manglende istykkelsesdata, usikkerheten i isoverflatehøyder og mindre tydelige former i Z_h.

Både automatiske (GIS) og manuelle metoder for beregning av dreneringsgrenser er avhengig av pålitelige høyde- og istykkelsesdata. GIS metoder er å foretrekke fordi de er raske, gir et entydig svar og feil ved tolking og digitalisering elimineres. I tillegg er GIS et kraftig verktøy for lagring, behandling og presentasjon, og gir gode muligheter for videre analyse. En manuell kontroll av grensene er likevel nødvendig fordi kart inneholder en del viktig informasjon som ikke kommer fram i et høydegrid, f.eks. plassering av bekker. I dette arbeidet har høydedataene utenfor breen i form av kart vært av bedre kvalitet enn tilgjengelige digitale data slik at manuelle metoder måtte benyttes noen steder. Resultatet har dermed blitt en blanding av begge metodene. Vi regner imidlertid med at den største usikkerheten i grenseposisjoner på breene skyldes manglende istykkelsesdata.

16.4 ENGLISH SUMMARY (from Kennett et al., 1997)

Glacier thickness and topographic data from the Svartisen ice-caps in northern Norway have been used to calculate subglacial drainage divides for intakes to the Svartisen Power Station. Grids of ice surface elevation and ice thickness are combined within a GIS to calculate the hydraulic head at the glacier bed which drives subglacial water flow. GIS hydrologic tools are then used to calculate subglacial drainage boundaries using the hydraulic head grid as input. The use of GIS methods allows the testing of hypotheses concerning hydrological conditions beneath the glacier. It is concluded that water pressure is equal to ice pressure close to ice divides on W. Svartisen, but significantly less than ice pressure beneath the ablation area of the Engabreen outlet glacier. Some of the calculated drainage divides for W. Svartisen show large deviations compared to previous calculations based on divides in the ice surface topography, with subglacial boundaries displaced by up to 3 km with respect to ice divides (figure 16-1).
17 STORSTEINSFJELLBREEN (173.AB6Z) Bjarne Kjøllmoen

Storsteinsfjellbreen ligger ca 25 km øst for Skjomen i Narvik kommune. Det er en typisk kontinental bre med tørt og kaldt klima. Den dekker et areal på 5.9 km² og strekker seg fra 970 til 1850 m o.h. (figur 17-1). Breens overflate er blitt kartlagt fra flybilder tatt i 1960 og 1993. Før Hydrologisk avdelings måleprogram begynte i 1991, fantes det tilsvarende målinger fra perioden 1964-68.





Storsteinsfjellbreen glacier (5.9 km²) is located near Narvik in Northern Norway. Storsteinsfjell (1893 m a.s.l.), one of the highest mountains in this region, is located above the north-west part of the glacier.

17.1 MASSEBALANSE 1994

Feltarbeid

Akkumulasjonsmålingene ble utført 11. og 12.mai. Følgende målinger danner grunnlaget for beregning av vinterakkumulasjonen:

-Måling av stakene 1-91(1150 m o.h.), 2-91(1240 m o.h.), 3-93(1315 m o.h), 4-91(1390 m o.h.), 5-92(1430 m o.h) og 6-93(1560 m o.h.). Disse viste snødyp fra 1.8 m på stake 1-91 til 3.1 m på stake 6-93.

-180 sonderingspunkter mellom 1100 og 1750 m o.h. Sommeroverflaten (SO) var lett å påvise over hele breen og sonderingene kunne kontrolleres på stakene. Snødybden varierte mellom 1.5 m nederst på breen og 3.5-4 m i de høyestliggende områdene.

-Snøtettheten ble målt ned til 2.5 meters dyp i høydenivå 1390 m o.h.

Minimumsmålingene ble utført 17.-18.september. Nettobalansen ble målt på samtlige staker, og disse målingene danner grunnlaget for beregning av breens totale sommerbalanse og nettobalanse. Det lå igjen ca 1 m av årets snø på breens øvre områder. Snølinjen lå ca 1375 m o.h.

Resultater

•Vinterbalanse

Alle høydeintervaller på breen er godt representert med målepunkter bortsett fra områdene under 1100 m o.h. og over 1750 m o.h. I disse høydeintervallene er akkumulasjonen bestemt ved ekstrapolering. Arealene i disse områdene er imidlertid så små at resultatet for hele breen påvirkes i svært liten grad. Midlere snøtetthet er beregnet til 0.42 g/cm³ i 1390 m nivå. Vinterbalansen er beregnet til 1.14 m ±0.20 m vannekvivalenter (6.8 mill.m³). Dette er den nest minste vinterbalansen som er målt på Storsteinsfjellbreen (1.05 m i 1966) i de to måleperiodene 1964-68 og 1991-93. Gjennomsnittet for de to måleperiodene er hhv 1.48 m og 1.93 m vannekvivalenter.

Sommerbalanse

Med grunnlag i den målte nettobalansen og en midlere estimert snøtetthet på 0.6 g/cm³ på gjenværende snø, er sommerbalansen beregnet til 1.35 m \pm 0.20 m vannekvivalenter (8.0 mill.m³). Middelverdiene for måleperiodene 1964-68 og 1991-93 er hhv 1.42 m og 1.28 m vannekvivalenter.

Nettobalanse

Storsteinsfjellbreens nettobalanse for 1994 er beregnet til -0.20 m ±0.20 m vannekvivalenter . Dette betyr at breens masse har minket med 1.2 mill.m³ vann det siste året. Middelverdien for 1964-68 var +0.06 m, mens den er +0.65 m for måleperioden 1991-93. Likevektslinjen lå omlag 1375 m o.h.

Tabell 17-1 viser verdiene for massebalansen i de enkelte høydeintervall. Figur 17-2 viser kurvene for fordeling av vinterbalanse, sommerbalanse og nettobalanse med høyden med spesifikke verdier og volumverdier.

		Winter acc	cumulation	Summer	ablation	Net ba	lance
		Measured	11 mai 1994	Measured	17 sep 1994	Summer surfac	es 1993 - 199
Altitude (masl)	Area (km²)	Specific (m w.eq.)	Volume (10 ⁶ m³)	Specific (m w.eq.)	Volume (10 ⁶ m³)	Specific (m w.eq.)	Volume (10 ⁶ m³)
1800 - 1850	0,02	1,00	0,0	-0,40	0,0	0,60	0,0
1750 - 1800	0,05	1,05	0,1	-0,45	0,0	0,60	0,0
1700 - 1750	0,15	1,15	0,2	-0,50	-0,1	0,65	0,1
1650 - 1700	0,18	1,30	0,2	-0,60	-0,1	0,70	0,1
1600 - 1650	0,18	1,55	0,3	-0,75	-0,1	0,80	0,1
1550 - 1600	0,26	1,55	0,4	-0,90	-0,2	0,65	0,2
1500 - 1550	0,40	1,45	0,6	-0,95	-0,4	0,50	0,2
1450 - 1500	0,52	1,30	0,7	-1,00	-0,5	0,30	0,2
1400 - 1450	0,85	1,15	1,0	-1,05	-0,9	0,10	0,1
1350 - 1400	1,01	1,15	1,2	-1,15	-1,2	0,00	0,0
1300 - 1350	0,66	1,20	0,8	-1,40	-0,9	-0,20	-0,1
1250 - 1300	0,66	1,00	0,7	-1,75	-1,2	-0,75	-0,5
1200 - 1250	0,42	0,85	0,4	-2,20	-0,9	-1,35	-0,6
1150 - 1200	0,24	0,80	0,2	-2,40	-0,6	-1,60	-0,4
1100 - 1150	0,20	0,70	0,1	-2,60	-0,5	-1,90	-0,4
1050 - 1100	0,09	0,55	0,0	-2,75	-0,2	-2,20	-0,2
1000 - 1050	0,02	0,45	0,0	-2,90	-0,1	-2,45	-0,1
970 - 1000	0,01	0,35	0,0	-3,05	0,0	-2,70	0,0
Total area Total for who	5,9 ble glaci	er between	summer su	faces 1993	- 1994		
		Winter acc.	Summer abl.	Net bal.			
volume	e (10 ⁶ m³)	6,8	-8,0	-1,2			
sp	ecific (m)	1,14	-1,35	-0,20			

 Tabell 17-1
 Vinterbalanse, sommerbalanse og nettobalanse for Storsteinsfjellbreen 1994.

Winter balance, summer balance and net balance for Storsteinsfjellbreen 1994.

17.2 MASSEBALANSE 1995

Feltarbeid

Akkumulasjonsmålingene ble utført 10. og 11.mai. Følgende målinger danner grunnlaget for beregning av vinterakkumulasjonen:

-Måling av stakene 1-91(1150 m o.h.), 2-91(1240 m o.h.), 5-92(1430 m o.h) og 7-94(1685 m o.h.). Stakene viste snødyp på hhv 3.1 m, 2.8 m, 4.0 m og 4.9 meter. -Kjerneboringer viste 4.0 m i 1315 m nivå, 4.4 m i 1390 m nivå og 6.1 m i 1560 m nivå. -163 sonderingspunkter mellom 1100 og 1760 m o.h. Sommeroverflaten (SO) var stort sett enkel å finne over hele breen, og sonderingene samsvarte godt med stakemålingene og kjerneboringene. Snødybden varierte fra i underkant av 2 m nederst på breen til rundt 6 m i de høyereliggende områdene.



-Snøtettheten ble målt ned til 4.35 meters dyp (SO) i høydenivå 1390 m o.h.

Figur 17-2 Massebalansediagrammer som viser spesifikke verdier (venstre) og volumverdier (høyre) for Storsteinsfjellbreen 1994.

Mass balance diagram showing specific values (left) and volume values (right) for Storsteinsfjellbreen 1994.

Minimumsmålingene ble utført 13.september. Nettobalansen ble målt ved alle de sju stakeposisjonene, og disse målingene danner grunnlaget for beregning av breens totale sommerbalanse og nettobalanse. Det lå igjen rundt 3 m av årets snø på breens øvre områder.

Resultater

Vinterbalanse

Områdene mellom 1100 og 1760 m o.h. er godt representert med målepunkter. Under og over disse høydene er akkumulasjonen bestemt ved ekstrapolering. Midlere snøtetthet er beregnet til 0.45 g/cm³ i 1390 m nivå. Vinterbalansen er beregnet til 1.81 m ±0.20 m vannekvivalenter (10.7 mill.m³). Det utgjør 103% av gjennomsnittet for måleperioden 1991-94.

•Sommerbalanse

På grunnlag av stakemålingene og en midlere estimert snøtetthet på 0.6 g/cm³ på gjenværende snø, er sommerbalansen beregnet til 1.24 m ±0.20 m vannekvivalenter (7.3 mill.m³). Middelverdien for måleperioden 1991-94 er 1.34 m vannekvivalenter.

Ν	lass balanc	e Stors	teinsfjellbr	een1994/95	5 – tradition	al method		
Г			Winter acc	cumulation	Summer	ablation	Net ba	lance
			Measured	10 mai 1995	Measured	13 sep 1995	Summer surfac	es 1994 - 1995
	Altitude	Area	Specific	Volume	Specific	Volume	Specific	Volume
	(masl)	(km²)	(m w.eq.)	(10 ⁶ m ³)	(m w.eq.)	(10 ⁶ m ³)	(m w.eq.)	(10 ⁶ m ³)
	1800 - 1850	0,02	2,15	0,0	-0,30	0,0	1,85	0,0
	1750 - 1800	0,05	2,20	0,1	-0,35	0,0	1,85	0,1
	1700 - 1750	0,15	2,25	0,3	-0,40	-0,1	1,85	0,3
	1650 - 1700	0,18	2,25	0,4	-0,45	-0,1	1,80	0,3
	1600 - 1650	0,18	2,40	0,4	-0,60	-0,1	1,80	0,3
	1550 - 1600	0,26	2,45	0,6	-0,70	-0,2	1,75	0,4
	1500 - 1550	0,40	2,30	0,9	-0,85	-0,3	1,45	0,6
	1450 - 1500	0,52	2,00	1,0	-0,95	-0,5	1,05	0,5
	1400 - 1450	0,85	1,85	1,6	-1,05	-0,9	0,80	0,7
	1350 - 1400	1,01	1,85	1,9	-1,10	-1,1	0,75	0,8
	1300 - 1350	0,66	1,75	1,1	-1,25	-0,8	0,50	0,3
	1250 - 1300	0,66	1,60	1,1	-1,70	-1,1	-0,10	-0,1
	1200 - 1250	0,42	1,25	0,5	-2,05	-0,9	-0,80	-0,3
	1150 - 1200	0,24	1,20	0,3	-2,15	-0,5	-0,95	-0,2
	1100 - 1150	0,20	1,20	0,2	-2,25	-0,5	-1,05	-0,2
	1050 - 1100	0,09	0,90	0,1	-2,30	-0,2	-1,40	-0,1
	1000 - 1050	0,02	0,70	0,0	-2,35	-0, 1	-1,65	0,0
	970 - 1000	0,01	0,60	0,0	-2,40	0,0	-1,80	0,0
	Total area	5,9						
Г	Total for who	le glaci	er between	summer su	faces 1994	- 1995		
		$(10^6 - 3)$	10.7		1 Net Dai.			
	voiume	(IUIII) acific (m)	1.81	-1,3	0.57			
	spe	some (m)	1,01	~1,24	0,57			
L							I	

Tabell 17-2Vinterbalanse, sommerbalanse og nettobalanse for Storsteinsfjellbreen 1995.Tilsvarende middelverdier for hele måleperioden 1991-95 er hhv 1.77 m for b_w , -1.32m for b_s og 0.45 m for b_n .

Winter balance, summer balance and net balance for Storsteinsfjellbreen 1995. The average values during the period 1991-95 is 1.77 m (b_w), -1.32 m (b_s) and 0.45 m (b_n).

Tabell 17-2 viser verdiene for massebalansen i de enkelte høydeintervall. Figur 17-3 viser kurvene for fordeling av vinterbalanse, sommerbalanse og nettobalanse med høyden med spesifikke verdier og volumverdier.

Nettobalanse

Storsteinsfjellbreens nettobalanse for 1995 er beregnet til et overskudd på 3.4 mill.m³ vann eller 0.57 m ±0.20 m vannekvivalenter. Middelverdien for måleperioden 1991-94 er 0.42 meter. Likevektslinjen lå omlag 1280 m o.h.



Figur 17-3 Massebalansediagram som viser spesifikke verdier (venstre) og volumverdier (høyre) for Storsteinsfjellbreen i 1995. De største snømengdene finner vi i 1500-1700 m nivået. Høyere oppe blåser mye av snøen bort. Over 1760 m o.h. og under 1100 m o.h. finnes ingen målinger. Her er kurvene ekstrapolert basert på erfaring. Likevektslinjens høyde er 1280 m o.h. Høydeintervallet mellom 1300 og 1500 m o.h. utgjør omtrent halvparten av breens areal, og mer enn 2/3 av breens netto tilvekst.

> Mass balance diagram indicating specific values (left) and volume values (right) for Stor-steinsfjellbreen 1995. Due to the wind drift the highest accumulation is between 1550 and 1700 m a.s.l. There is no measurements above 1760 and below 1100 m a.s.l. Based on earlier experience the curves are extrapolated in these areas. The ELA was 1280 m a.s.l. The height interval between 1300 and 1500 m a.s.l. represents about 50% of the entire area and more than 2/3 of the net increase.

17.3 MASSEBALANSE 1991-95 (sammendrag av NVE-rapport nr 5-96)

Massebalansen er målt i perioden 1991-95. Resultatene er stilt sammen og sammenlignet med målinger fra perioden 1964-68. Analyser er gjort for å finne

korrelasjoner til samtidige målinger på Storglaciären i Sverige. Til slutt er nettobalansen mellom 1960 og 1993 beregnet på to ulike måter.

Arealfordeling

En sammenligning av NVEs brekart fra 1960 med en ny kartlegging i 1993 viste at brefronten hadde trukket seg tilbake ca 400 m. Brearealet var redusert fra 6.2 til 5.9 km², mens arealfordelingen var lite endret. Resultatene fra måleperioden 1991-95 er beregnet på grunnlag av kartet fra 1993.

Resultater

Storsteinsfjellbreens massebalanse er målt i perioden 1991-95. I løpet av disse 5 årene var massebalanseforholdene stabile med relativt små årlige variasjoner i både vinterbalanse og sommerbalanse. Middelverdiene for hhv vinterbalanse, sommerbalanse og nettobalanse ble 1.77 m, -1.32 m og 0.45 m vannekvivalenter. Usikkerheten er anslått til ±0.20 meter. Til sammenligning var tilsvarende middelverdier i perioden 1964-68 hhv 1.48 m, -1.42 m og 0.06 meter.

De årlige resultatene for hele breen i måleperiodene 1964-68 og 1991-95 er vist i tabell 17-3 og figur 17-4.

Year	b _w	b _s	b _n	ELA
1964	1.85	-1.20	0.65	1220
1965	1.69	-1.25	0.44	1270
1966	1.05	-1.88	-0.83	1500
1967	1.37	-1.77	-0.40	1450
1968	1.44	-0.99	0.45	1275
Average 1964-68	1.48	-1.42	0.06	
1991	1.59	-1.63	-0.04	1395
1992	2.21	-1.10	1.11	1200
1993	2.10	-1.29	0.81	1200
1994	1.15	-1.35	-0.20	1375
1995	1.81	-1.24	0.57	1290
Average 1991-1995	1.77	-1.32	0.45	

Tabell 17-3Vinterbalanse (b_w) , sommerbalanse (b_s) , nettobalanse (b_n) og likevektslinjens høyde
(ELA) på Storsteinsfjellbreen i periodene 1964-68 og 1991-95.

Winter balance (b_w), summer balance (b_s), net balance (b_n) and ELA for Storsteinsfjellbreen during the periods 1964-68 and 1991-95.



Figur 17-4 Årlige variasjoner i massebalansen på Storsteinsfjellbreen 1964-68 og 1991-95, samt middelverdier for de samme periodene.

Mass balance variation at Storsteinsfjellbreen in the periods 1964-68 and 1991-95. The mean values are shown for the same periods.

Korrelasjon med Storglaciären

Måleresultatene fra begge måleperiodene er tatt med i analysene nedenfor. Korrelasjonene er foretatt med Storglaciären i Sverige som ligger ca 45 km sørøst for Storsteinsfjellbreen.



Relation between Storsteinsfjell-breen's and Storglaciären's net balance during the measured periods 1964-68 and 1991-95. The Rsquared value is 0.81.



Storglaciären, som har kontinuerlige målinger siden 1946, ble valgt fordi den er den nærmeste breen med målinger. I tillegg er brearealet omtrent i samme

størrelsesorden (ca 3 km²), den ligger i nesten samme høydeintervall (ca 1130-1820 m o.h.), og den er i likhet med Storsteinsfjellbreen en kontinental bre med relativt lite nedbør. Sammenhengen mellom årlig midlere nettobalanse for Storsteinsfjellbreen og Storglaciären er analysert ved hjelp av lineær regresjon. Resultatet er vist i figur 17-6. Analysen viser at korrelasjonen i nettobalansen mellom Storsteinsfjellbreen og Storglaciären er rimelig bra for de 10 årene som er sammenlignet. Verdiene fra 1968 avviker mest fra trendlinjen. Usikkerheten i de årlige estimatene er anslått til ± 0.40 meter.

Nettobalanse 1960-93

Midlere nettobalanse mellom 1960 og 1993 er beregnet med to ulike metoder. Først er det gjort en sammenligning av kart over breen fra 1960 og 1993. Resultatet fra denne beregningen, som er nøye beskrevet i HB-notat 8/94, viser at breen i denne perioden hadde et underskudd på ca 17 mill.m³ vann eller rundt 2.7 ±0.8 m vann jevnt fordelt over hele breflaten. Det gir en årlig middelverdi på -0.08 m vannekvivalenter.

Den andre metoden bygger på korrelasjonen i nettobalanse som er funnet mellom Storglaciären og Storsteinsfjellbreen (figur 17-5). Måleperiodene 1964-68 og 1991-95 er benyttet for å estimere årlig nettobalanse fra 1960-93. Resultatet av beregningene viser et samlet underskudd i perioden 1960-93 på ca 8 mill.m³ vann eller 1.3 \pm 1.0 m jevnt fordelt over hele breen. Det gir et midlere årlig underskudd på -0.04 meter.

17.4 ENGLISH SUMMARY

The mass balance for Storsteinsfjellbreen has been measured during the period 1991-95. Corresponding research was carried out in the years 1964-68.

Mass balance studies in 1994 started with accumulation measurements May 11 and 12. Snow depth varied from 1.5 m on the tongue to 4.0 m in the upper areas. Total winter balance was 1.14 m ± 0.20 m w.eqv. (6.8 mill.m³). A smaller winter balance was measured only once during the two periods, 1.05 m w.eqv. in 1966. Summer balance was measured September 17-18, and amounted to 1.35 m ± 0.20 m w.eqv. (8.0 mill.m³). Consequently, the net balance amounted to -0.20 m ± 0.20 m w.eqv., or 1.2 mill.m³ water. ELA was at about 1375 m a.s.l.

In 1995 the accumulation measurements was measured May 10-11. Snow depth varied from 2 m on the tongue to 6 m in the upper part of the glacier. Total winter balance was 1.81 m ± 0.20 m w.eqv. (10.7 mill.m³), which is close to the average for the years 1991-94. Summer balance was measured September 13, and amounted to 1.24 m ± 0.20 m of water eqv. (7.3 mill.m³). The average for 1991-94 is 1.34 m of water eqv. This resulted in a positive net balance of 0.57 m ± 0.20 m of water eqv., or a surplus of 3.4 mill.m³ water. The average for the period 1991-94 is +0.42 m water eqv. ELA was at about 1280 m a.s.l.

The mass balance results from the five years 1991-95 are compared to earlier results from 1964-68. Table 17-3 shows the annual values and mean values of the mass balance for the two periods. While the net balance in the period 1964-68 was slightly positive, with annual average of 0.06 m w.eqv., there was an obvious surplus in the period 1991-95, with an annual mean value of 0.45 m w.eqv. A relation between the net balance of Storsteinsfjellbreen and Storglaciären in Sweden is obtained by linear regression (Figure 17-5). Based on this correlation, the net balance in the period 1960-93 is estimated to a deficit of 1.3 m w.eqv., or a decrease in volume of about 8 mill.m³ water. Storsteinsfjellbreen was surveyed in 1960 and 1993. A comparison of the two maps shows a decrease in volume of about 17 mill.m³ of water or 2.7 m w.eqv. averaged on the entire glacier surface.

18. FRONTPOSISJONENDRINGAR 1900-95 Hallgeir Elvehøy

Frontposisjonmålingar har fram til no vore den enklaste måten å samle inn informasjon om utviklinga til mange brear på. Endringar i breane sine frontposisjonar er respons på endringar i den enkelte breen sitt volum og areal som igjen skuldast endringar i klimatiske forhold. Sidan endringar i frontposisjon er ein reaksjon på andre endringar i breane, vil endringane i frontposisjon vere forsinka i forhold til dei klimatiske endringane. Forsinkinga vert kalla breen si reaksjonstid, og varierer frå bre til bre etter breen si form og dynamikk.

18.1 METODE

Hensikta med målingane er å få eit kvantitativt estimat på korleis breen endrar lengde over tid. For å gjere målingane enkle vert som regel ikkje heile brefronten kartlagd, men berre endringar på ein eller nokre få utvalde stader. Det vanlege er at lengdeendringane vert målt langs ei eller to liner nær midten av brefronten eller der brefronten er mest aktiv. Linene har om lag samme retning som brerørsla nær brefronten. Linene vert definert enten ved å sette opp to varder i målerettninga, eller ved å måle i ei fast himmelretning frå ein varde, eit fastmerke i fjell (boltar el.l.) eller malte punkt på fjell. Når brefronten enten trekk seg tilbake eller rykkjer fram over lengre tid, er det viktig at fastpunkta og måleretningane vert tilpassa for best mogleg å representere endringar i breen si lengde. Dette vert som regel gjort ved å etablere nye punkt. Spesielt i periodar der brefronten rykkjer fram er det viktig å etablere nye punkt før gamle vert dekt av is slik at det vert samanheng i målingane.

18.2 HISTORIKK

Dei første målingane av frontposisjonendringar vart igangsett rundt år 1900. Ved Jostedalsbreen, Folgefonna og Svartisen vart målingane dreve av J. Rekstad ved Bergen Museum, og i Jotunheimen av P.A. Øyen ved Universitetet i Oslo. Målingane på Vestlandet og ved Svartisen vart videreført av Knut Fægri ved Bergen Museum, medan professor Werenskiold ved Universitetet i Oslo videreførte målingane i Jotunheimen. Etter 1948 stod først glasiolog Olav Liestøl og seinare glasiolog Jon Ove Hagen ved Norsk Polarinstitutt for målingane. Sidan 1994 har ansvaret for målingane av brefrontvariasjonar lagt hos NVE, Seksjon Bre og Snø.

I vedlegg B er frontposisjonendringar målt ved 42 norske brear vist. Dette er ikkje alle målingar som er gjort ved brear i Noreg, men det er ei oversikt over dei aller fleste brear som har vore målt over lengre periodar. Grunnlagsdata er årlege målingar av avstand mellom faste punkt og breen i faste retninger.

18.3 GENERELLE TREKK I FRONTPOSISJONENDRINGANE

Frontposisjonendringane til breane varierer frå område til område og med omsyn til breane sin storleik og form. I tabell 18-1 er observasjonane frå 11 brear oppsummert, medan figur 18-1 viser resultata frå 5 brear. Hovedtrekka er at breane gjorde framstøyt rundt 1910 og rundt 1930, og at dei så trakk seg langt tilbake (hovedtilbakegangen). Denne tilbakegangen stansa alt på 50-tallet ved nokre bratte utløpsbrear (som Brigsdalsbreen), på 60- og 70-tallet ved ein del lange utløparar (som Nigardsbreen og Engabreen), medan andre framleis gjeng tilbake (som Stegholtbreen og breane i Jotunheimen). Etter at hovedtilbakegangen stoppa opp har ein del brear starta nye framstøyt. Briksdalsbreen har vore i generell framgang sidan hovedtilbakegangen stansa i 1951, men har gått ekstra mykje fram etter 1988 då fleire andre vestlege utløpsbrear også tok til å gå fram. Elles representerer frontposisjonen ved starten av siste framstøyt i mange tilfeller breane si minimumsutstrekning etter den Vesle Istida som mange stader kuliminerte rundt 1750.

	1. framstøyt	2. framstøyt	Hovedtilbakeg.	Siste framstøyt
	1.advance	2.advance	Main retreat	Last advance
Jotunheimen				
Styggedalsbreen	1901-03	1922-24(?)	1926(?)-72	(-)
Leirbreen	(-)	n.m	1936-60	(-)
Storbreen	1907-14	n.m	1933-60	1989-95 (+/- 0)
Hellstugubreen	1907	n.m	1933-87	(-)
Jostedalsbreen				
Fåbergstølsbre	1907-10	1922-30	1930-91	1992-95
Stegholtbre	1903-10	1924-32	1932-74	(-)
Nigardsbre	1903-09	1925-30	1930-75	1988-95
Austerdalsbre	1905-09	n.m	1933-73	1989-95
Brigsdalsbre	1904-10	1921-29	1929-51	(1951-)1988-95
Folgefonna				
Buerbreen	1906-11	1921-33	1933-62(?)	1981(?)-95
Svartisen				
Engabreen	1903-10	(-)	1931-65(?)	1991-95

Tabell 18-1 Oppsummering av periodar med framstøyt og tilbakegang sidan målingane av brefrontvariasjonar tok til mellom 1900 og 1910 ved 11 norske brear. Ved breane i Jotunheimen er framstøyt 1 og 2 meir som periodar med +/- 0 meter i frontposisjonendring.
 (?) tyder at perioden truleg starta før eller slutta etter årstalet som er gitt. (-) tyder at breen ikkje har hatt framstøyt i perioden, og n.m tyder ikkje årlege målingar i perioden.

Periods when glaciers were advancing or retreating after measurements of frontal positions started between 1900 and 1910 at 11 Norwegian glaciers. In Jotunheimen the first and second periods of advance were more like periods with small changes (+/- 0 m) than real advances. Special comments: (?) = no measurements to pinpoint the start/end of an advance/readvance, (-)= no advance in this periode, and n.m. = no annual measurements in the periode.



Figur 18-1 Frontposisjonvariasjonar 1900-95 på 5 norske brear. Sjå figur 1-1 for plassering. Front posistion change at 5 Norwegian glaciers. Locarion map in figure 1-1.

18.4 FRONTPOSISJONMÅLINGAR 1986-95

Frontposisjonmålingar har tidlegare vore rapportert i årbøkene til Norsk Polarinstitutt. Sidan 1994 har NVE overtatt ansvaret for frontposisjonmålingar i Norge (bortsett frå Svalbard). Hausten 1995 vart det målt eller sett ut nye merke på 11 brear. I tabell 18-2 er målingane frå perioden 1986-95 vist. Heretter vert frontposisjonmålingane rapportert i serien "Glasiologiske undersøkelser i Norge 19.." (NVE-Publikasjonar).

		1986	1987	1988	1989	1990	1991	1992	1993	1994	1995
	Fåbergstølsbreen	-27	-7	-38	-25	-19	-18	-6	10	34	44
	Stegholtbreen	0	0	-8	-7	-9	-7	-5	-3	-10	-5
Jostedals- breen	Nigardsbreen	-7	11	-18	1	7	10	21	14	36	50
	Austerdalsbreen	1	-22	-2	-1	0	0	5	7	15	15
	Brigsdalsbreen	-8	-7	43	1	30	10	35	75	80	65
Folgefonna	Buerbreen	-	-	+25*	-	-	-	-	-	-	125**
Svartisen	Engabreen	-8	-6	-51	-	-43	-24	-	18	-	115
	Styggedalsbreen	-12	-1	-10	2			x	0	4	1
Jotun-	Leirbreen	-	-12	-	-	-11	-	-	-16	-	-15
heimen	Storbreen	-	-3	-13	10	3	-	-	-	-1	0
	Hellstugubreen	-49***	-10	-18	-7	-8	-7	-9	-3	-9	-6

Tabell 18-2 Frontposisjonendring i meter sidan forrige måling i perioden 1986 - 95. Spesiellekommentarar: *) Buerbreen fram ca 25m sidan 1981 basert på kart og bilder. **) Buerbreen fram ca 125m basert på kart og bilder. x) nye punkt etablert. ***)Hellstugubreen tilbake 49 m sidan 1983.

> Annual front position change in meters since last measurement 1986-95. Special comments: *) Buerbreen advanced ca 25 m since 1981 based on maps and pictures. **) Buerbreen advanced ca 125 m estimated from maps and pictures. x) Styggedalsbreen, new marks put out. ***) Hellstugubreen, retreated 49 meters since 1981.

18.5 ENGLISH SUMMARY

In Norway the first annual measurements of front position change started around 1900 at Jostedalsbreen, Folgefonna, Svartisen and in Jotunheimen. Since 1994 the measurements has been supervised by the Glaciology Section at NVE. At present 11 glaciers are monitored by NVE. In table 18-1 a summary of the front position change since 1900 is given for these glaciers, showing minor advances around 1910 and 1925-30, a major retreat between 1930 and 1950-70, and a last advance (at glaciers close to the coast) starting around 1990. Figure 18-1 shows the cummulative change at five of the glaciers. In table 18-2 the last 10 years of the records are listed.

Appendix B shows annual front position change at 42 glaciers in Norway. This is by no means a complete list of front measurements, but it shows, at least, most of the glaciers with longer records.

19. REFERANSER

Björnsson, H.

1988: Hydrology of ice caps in volcanic regions. Societas Scientarium Islandica. University of Iceland. 139 s. og 21 kart. Reykjavik.

Haakensen, N. (red.)

1995: Glasiologiske undersøkelser i Norge 1992 og 1993. Hydrologisk avd., NVE. Publikasjon 8-95,

Kennett, M.I.

1989a: Feltavgrensning på Nordre Jostedalsbreen., Hydrologisk avd., NVE. Oppdragsrapport 2-89.

Kennett, M.I.

1989b: Kartlegging av istykkelse og feltavgrensning på Spørteggbreen 1989. Hydrologisk avd., NVE. Oppdragsrapport 15-89.

Kennett, M.I.

1990:Kartlegging av istykkelse og feltavgrensning på Blåmannsisen 1990. Hydrologisk avdeling. Oppdragsrapport 8-90

Kennett M.I. og Sætrang A.C.

1987: Istykkelsesmålinger på Folgefonna. Hydrologisk avd., NVE. Oppdragsrapport nr. 18-87.

Kennett, M.I. og Kohler, J.

1993: Channel networks under Svartisen, Norway - a comparison of GIS modelling and tracer results. EOS vol. 74, no. 43, s. 233.

Kennett, M.I., Laumann, T. og Kjøllmoen, B.

1997: Predicted response of the calving glacier Svartisheibreen, Norway, and outbursts from it, to future changes in climate and lake level. Annals of Glaciology, 24

Kennett, M.I., Rolstad, C., Elvehøy, H. Og Ruud, E.

1997: Calculation of drainage divides beneath the Svartisen ice-cap using GIS hydrologic tools. Norsk Geografisk Tidsskrift. Vol. 51, 23-28.

Kjøllmoen, B.

1995: Massebalansemålinger Trollbergdalsbreen 1990-94. NVE Rapport 17/1995.

Kjøllmoen, B.

1996: Massebalansemålinger Storsteinsfjellbreen 1991-95. NVE Rapport 5/1996.

Kjøllmoen, B. og Kennett, M.I.

1995: Breundersøkelser på Svartisheibreen 1988-94. NVE Rapport 17/1995.

Knudsen, N.T.

1995a: Mass balance, meltwater discharge and ice velocity at Austre Okstindbreen, Nordland, Norway 1994 - 95. Okstind Glacier Project Report 95.2. 16 pp.

Knudsen, N.T.

1995b:Mass balance, meltwater discharge and ice velocity at Austre Okstindbreen, Nordland, Norway 1995 - 96. Okstind Glacier Project Report 95.3. 17 pp.

Kohler, J.

1993: Tracing at Engabreen August 1993. HB-notat 17/93. Hydrologisk avdeling, NVE.

Kohler, J.

1994: Tracing at Engabreen 1994. HB-notat 23/94. Hydrologisk avdeling, NVE.

Laumann, T.

1990: Austdalsbreen - Konsekvenser av Jostedalsutbyggingen. Oppdragsrapport 6-1990, Hydrologisk avdeling, NVE.

Paterson, W.S.B.

1994: The Physics of Glaciers, 3rd edition. Pergamon press, England.

Röthlisberger, H.

1972: Water pressure in intra- and subglacial channels: Journal of Glaciology, vol. 11 s. 177-203.

Shreve, R.L.

1972: Movement of water in glaciers. Journal of glaciology, vol.11, no 62, (s. 205-214)

Smith-Meyer S. og Tvede A.M.

1996: Volumendringer på Søndre del av Folgefonna mellom 1959 og 1985. NVE Rapport nr. 36-96.

Statkraft

1989: Storglomgjordutbyggingen - skjønnsrapport.

Tjelmeland S.

1992: Blåfalli. Anleggsarbeider i Matre i 45 år. Bok utgitt av Sunnhordaland Kraftlag.

Tvede A.M.

1972: En glasio-klimatisk undersøkelse av Folgefonni. Hovedfagsoppgave ved Universitetet i Oslo, Geografisk Institutt.

Tvede A.M.

1989: Floods caused by a glacier-dammed lake at the Folgefonni ice cap, Norway. Annals of Glaciology nr.13, pp. 262-264.

Tvede A.M.

1994: Blomsterskardbreen, Folgefonni. En oversikt over breens variasjoner i nyere tid. NVE Rapport nr. 22-1994.

Tvede A.M. og Laumann T.

1996: Glacial variations on a meso-scale: Examples from glaciers in the Aurland Mountains, Southern Norway. Annals of Glaciology no.24 (in press).

Østrem, G. & Stanley, A.

1969:Glacier Mass Balance Measurements. A manual for field and office work. Canadian Dept. of Energy, Mines and Resources, Ottawa <u>and</u> Norw. Water Res. and Electricity Board, Oslo (111 p.)

Østrem, G., Haakensen, H. og Melander, O.

1973: Atlas over breer i Nord-Skandinavia. Meddelelse nr. 22, Hydrologisk avd.

Østrem, G., O. Liestøl & B. Wold

1977: Glaciological investigations at Nigardsbreen, Norway. Norsk Geografisk Tidsskrift, vol. 30. s. 187-209.

Østrem, G. Dale Selvig, K. og Tandberg, K.

1988: Atlas over breer i Sør-Norge, Meddelelse nr. 16, Hydrologisk avd.

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 Norges Vassdrags- og Elektrisitetsvesen, Oslo (51).

20. VEDLEGG

A: Publikasjoner/rapporter/artikler 1994 og 1995

Bøggild, C.E., Winther, J-G., Sand, K. & Elvehøy, H.

1995: Sub-surface melting in blue ice fields in Dronning Maud Land, Antarctica: Observations and modelling. Annals of Glaciology, 21,162-168.

Haakensen, N. (red.)

1995: Glasiologiske undersøkelser i Norge 1992 og 1993, NVE-Publikasjon Nr 8, 1995 (139s).

Kennett, M. & Elvehøy, H.

1995: Bestemmelse av dreneringsgrenser for inntak til Svartisen Kraftverk. NVE-Rapport nr 22 1995 (25s).

Kjøllmoen, B.

1995: Massebalansemålinger Trollbergdalsbreen (161.F) 1990-94. Rapport nr 14/95 NVE/Hydrologisk avdeling (27 s).

Kjøllmoen, B. & Kennett, M.

1995: Breundersøkelser på Svartisheibreen 1988-94. Rapport nr 17/95. NVE/Hydrologisk avdeling (35 s).

Kohler, J.

1995: Signal analysis of mass balance and front position records from Nigardsbreen, Norway. AGU abstract. EOS, 76 (46), p. 209.

Kohler, J.

1995: Determining the extent of pressurized flow beneath Storglaciären, using results of tracer experiments and measurements of input and output discharge. Journal of Glaciology, 41 (138) p. 217-231.

Kohler, J.

1995: Signal analysis of mass balance and front position records from Nigardsbreen, Norway. AGU abstract. EOS, 76 (46), p. 209.

Kohler, J., Pohjola, V. and Jansson, P.

1994: Subglacial experiments at Engabreen, northern Norway. AGU abstract. EOS, 75 (44), p. 227.

Laumann, T. & Reeh N.

1994: Sensitivity to climate change of the mass balance of glaciers in southern Norway. Meddelelse nr 84, NVE/Hydrologisk avdeling. Reprint from "Journal of Glaciology", Vol. 39, No. 133, 1993, p. 656-665

Laumann, T., Kennett, M., Johannesseon, T. & Sigurdsson O.

1995: Degree-day glacier mass-balance modelling with applications to glaciers in Iceland, Norway and Greenland. Meddelelse nr 91, NVE/Hydrologisk avdeling. Reprint from "Journal of Glaciology", Vol. 41, No. 138, 1995, p. 345-358.

Winther, J-G., Sand, K., Bøggild, C.E., & Elvehøy, H

1995.: Melting, drainage patterns and frozen lakes on the land ice mass at Jutulgryta in dronning Maud Land, Antarctica, International GEWEX Project. Office workshop report, Banff, may 1995.

VEDLEGG B Frontposisjonmålingar ved Jostedalsbreen 1899-1995

Name Norm Norm <th< th=""><th>x = ny 45 = e</th><th>r måleserie star Indring i frontpos</th><th>et = front; sjon (m) siden</th><th>oosisjon ikke m forrige måling</th><th>ólt . 0 = front; C35 = anslá</th><th>posisjon ikke It endring (m)</th><th>endret siden forrig siden forrige måling</th><th>je måling.</th><th></th><th></th><th></th><th></th><th></th><th></th><th></th><th></th></th<>	x = ny 45 = e	r måleserie star Indring i frontpos	et = front; sjon (m) siden	oosisjon ikke m forrige måling	ólt . 0 = front; C35 = anslá	posisjon ikke It endring (m)	endret siden forrig siden forrige måling	je måling.								
Martener in prove in a prove	A	hatadalahraan														
i i	~	Fåbergstølbre	Stegaholtbre	Austerdalsbre	Brigsdalsbre	Nigardsbre	Tunsbergdalsbre	Bergsetbre	Lodalsbre	Bødalsbre	Kjenndalsbre	Mjølkevollsbre	Abrekkebre	Bøyumbreen	St. Supphellebre	L. Supphellebre
1 1	1900	x				×		x	x					X	×	
1 2 3	1				-12.5	-	-				^	-25.4	-18.3	-	6	
····································	3	-22	x		-3.4	-73	-34.5	-112.6	-74.4	-	-	-23.3	-3.6	-80.5	-20.5	-36.8
	1905			x	-8.8 16.7	-			-			-6.1 19	-6.7	-13.5	23.8	
I D25 D36 D36 <thd36< th=""> <thd36< th=""> <thd36< th=""></thd36<></thd36<></thd36<>	6 7	-35.3		20 15	16.3 5	9		 60.6	-72			33.2	30 7.8	83.5 13	13.5 13	
190 15	8	10.7	10.8 14	13.5 14	22 9.2	-10 18	-1.3	42	-21.5	7.5	31 13	30.1 36	25	36	17	52
10 11 1<	1910	3.5 -7.5	2.5 -2.5	-16 -1.5	9 -0.5	-31	-15	15 -11	-21.2	4.2	-2	29	15.4	-6	8-3	0
H A AB AB <th>12</th> <th>-4</th> <th>-11.5</th> <th>-3</th> <th>-6.2</th> <th>-40</th> <th>-67</th> <th>-20</th> <th>-15</th> <th>1.5</th> <th>1.5</th> <th>-3.8</th> <th>-5.2</th> <th>-4</th> <th>5</th> <th>-16</th>	12	-4	-11.5	-3	-6.2	-40	-67	-20	-15	1.5	1.5	-3.8	-5.2	-4	5	-16
M M	14	-9.5	-10	-9.5	-27.6	-13	-26	-13	-23	-20.2	-32.5	-18.4	-15.5	-40	-2	-32
U 31 104 32 32 32 33 33 34 35 36 36 36 36 36 36<	1915	-10.5	-5 -9	-11.5 -4.5	-38.4	-25 -20	-4 -17	-24.5	-21 -14	-6.2	-18.5	-35.2	-13 -6.7	-5/	-10.7 9	-2 -7
N N A	17	-17 -9.5	-14.5	-33.1 -30.6	-1.8 -12.5	-19 -16	-64 -5	-20.5 -24.5	-19.5 4.5	-5 -23.5	-36 -45	-37 -51.5	-37.5	-3	-12	-13
12 -04 -03 -0 -35 -16 -35 -16 -35 -16 -35 -16	19 1920	11 -10	-9 -11	 -33.6	-12.8 -8.3	-21 -14	-14 -4	-26.5 -5.5	-7.5 -15	-26.5 -13.5	-26.5 -29.5	-21.5 -15	-6 -47	-10 -11	-11 -0.7	-6 -17
D D <thd< th=""> D <thd< th=""> <thd< th=""> D D D</thd<></thd<></thd<>	21	-16 -4.5	-13.5	-	-36.3 0	-16 7	-10.5 -33.5	-19.5 -11.5	-14.5 -21	-5 -6.5	-22.5 -15.5	-100	-16.2	-37 30	-7 21	-33 39
195 114 114 100 100 126 116 7 128 44 100 100 44 100 44 100 44 100 44 100 44 100 44 100 44 100 44 100 44 100 44 100 44 100 45 100 100 45 100 10	23 24	81 -13	15.5 -12	-	8.7 36.5	-23 -13	-23 -13	21 30 5	-18.5 -18	10.5	20.5 57	37.7	1.7 48.3	15	19 38.3	11
P 10 </th <th>1925</th> <th>13.5</th> <th>34</th> <th>-</th> <th>13.1</th> <th>10</th> <th>-10</th> <th>52.5</th> <th>-1.5</th> <th>7</th> <th>53.5</th> <th>44</th> <th>-10.5</th> <th>45</th> <th>19</th> <th>21</th>	1925	13.5	34	-	13.1	10	-10	52.5	-1.5	7	53.5	44	-10.5	45	19	21
m x	20	9.5	-9	-	2.8	-16	-10 -14.5	-8	-33	9.5	12	22.9	-4	13	-8	2
ima ima <th>28</th> <th>3.5</th> <th>-6.5</th> <th>-</th> <th>1.7</th> <th>12</th> <th>-10 -8</th> <th>2.5 8</th> <th>15.5 3.5</th> <th>31</th> <th>6.5</th> <th>-1 17.5</th> <th>14.3</th> <th>3</th> <th>3 11</th> <th>-6 13</th>	28	3.5	-6.5	-	1.7	12	-10 -8	2.5 8	15.5 3.5	31	6.5	-1 17.5	14.3	3	3 11	-6 13
M AS U - - 27 10 12 4 10 13 41 11	1930 31	9.5 -1.5	-6,5 9.5		-11.5 1.8	6 -9	-23 -14.5	17 1.5	-27.5	1 -1.5	13	-3.8 -9.7	2.5 -6.7	17	-16 3	18
M 3 1.12 4.42 1.12 6.42 1.12 6.42 1.12 6.42 1.12 6.42 1.12 6.42 1.12 6.42 1.12 6.42 1.12 6.42 1.12 6.42 1.12 6.42 1.12 6.43 1.02 6.44 1.02 6.44 1.02 6.44 1.02 6.44 1.02 6.44 1.02 6.44 1.02 6.41 1.03 6.41 1.03 6.41 1.03 6.41 1.03 6.41 1.03 6.41 1.03 6.42 1.03 <th1.03< th=""> 1.03 1.03<!--</th--><th>32 33</th><th>-2.5 -8.5</th><th>12 -8</th><th> x</th><th>-2.7 -9.5</th><th>-15 -15</th><th>-12 -8</th><th>-6 -5.5</th><th>3.5 -14.5</th><th>-7.5 -19.5</th><th>6.5 -11.5</th><th>-3.8 -44</th><th>3 -17.5</th><th>-11 -10</th><th>-17 -12</th><th>-7 -18</th></th1.03<>	32 33	-2.5 -8.5	12 -8	 x	-2.7 -9.5	-15 -15	-12 -8	-6 -5.5	3.5 -14.5	-7.5 -19.5	6.5 -11.5	-3.8 -44	3 -17.5	-11 -10	-17 -12	-7 -18
M 7.75 4 30 40 7 30 <t< th=""><th>34 1935</th><th>-9 -3</th><th>-10 -5</th><th>-36 -11.5</th><th>-12 -26.5</th><th>-45 -25</th><th>-13.5 -20</th><th>-28.5</th><th>-32 -14</th><th>-17 -10.5</th><th>-55 -19.5</th><th>-15 -41</th><th>-20 -32.2</th><th>-10 -18</th><th>-11 -37</th><th>-14 -15</th></t<>	34 1935	-9 -3	-10 -5	-36 -11.5	-12 -26.5	-45 -25	-13.5 -20	-28.5	-32 -14	-17 -10.5	-55 -19.5	-15 -41	-20 -32.2	-10 -18	-11 -37	-14 -15
98 99 99 99 99 98 99 98 99 98 99 98 99 98 99 98 99 98 99 98 99 98 99 98 99 98 99 98 99 98 99 98 99 98 99 49 93 99 49 40 100 </th <th>36 37</th> <th>-7.5 -75</th> <th>-4 -9</th> <th>-36 -23</th> <th>-43 -31</th> <th>5 -17</th> <th>-26 -36.5</th> <th>-39.5</th> <th>-23</th> <th>-6</th> <th>-17.5</th> <th>-39 -100</th> <th>-39.5</th> <th>-35 -45</th> <th>-3 -35</th> <th>-43 -40</th>	36 37	-7.5 -75	-4 -9	-36 -23	-43 -31	5 -17	-26 -36.5	-39.5	-23	-6	-17.5	-39 -100	-39.5	-35 -45	-3 -35	-43 -40
190 -20 -12 -38 -59 -78 -98 -78 -98 -78 -98 -78 -98 -78 -98 -78 -98 -78 -98 -78 -98 -78 <th>38</th> <th>18.5</th> <th>-1</th> <th>-11</th> <th>-36.5</th> <th>-21</th> <th>-10.5</th> <th>4</th> <th>12</th> <th>-25</th> <th>-44.7</th> <th>-100.5</th> <th>-43.5</th> <th>-50</th> <th>-13</th> <th>-15</th>	38	18.5	-1	-11	-36.5	-21	-10.5	4	12	-25	-44.7	-100.5	-43.5	-50	-13	-15
I	1940	-23	-12	-38	-55.7	-28	-19	-32.5	-22	-20.5	-74	-202.3	-61.5	-50	-13	-30
S 33 29 27 332 34 168 40 333 1134 1135 115 50 30 M 36 16 46 335 133 133 133 135 30 40 30 40 30 40 30 40 30 40 40 40 40 40 40 40 40 40 40 40 40 40 40 40 40 40	41	-33	-30	-86 -187	-47.2	-41 -19	-4.5 -5	-29 -66	-22 -35	-10 -13	-120.5 -37.7	-120	-78 -43.7	-90	-13 -15	-70
1986 45 16 16 46 36 370 470 480 480 490 47 46 46 47 470 480 480 490 47 480 470 480 480 470 480 480 470 480 480 470 480 480 470 480 480 470 480 480 470 480 480 470 480 480 470 480 480 470 480 480 470 480 480 470 480 470 480 470 480 470 480 470 480 470 480 470 480 470 480 470 480 470 480 470 480 470 480 470 480 470 480 470 480 470 480 470 470 480 470 470 480 470 470 480 470 <	43	-53 7.5	-29 -16	-27 -31	-52.2 -43.3	-38 -10	-16 -18.5	-60 -42	-32 -14.5	-104 -83.5	174 -313.5		-79.5 -113.5	-115 -10	20 -5	-200 -15
df dd dd <td< th=""><th>1945 46</th><th>-59 -26</th><th>-16 -34</th><th>-16 -11</th><th>-42.5 -60</th><th>-43 -35</th><th>-36.5 -17</th><th>-160</th><th>-28.5 -63.5</th><th>-19 -35</th><th>-18 -80</th><th></th><th>-96.5 -254</th><th>-30 -20</th><th>-32 -17</th><th></th></td<>	1945 46	-59 -26	-16 -34	-16 -11	-42.5 -60	-43 -35	-36.5 -17	-160	-28.5 -63.5	-19 -35	-18 -80		-96.5 -254	-30 -20	-32 -17	
40 402 4.42 50 4.77 32 4.54 51 6.90 - 4.44 30 0.77 51 3.72 3.02 3.03 3.72 3.64 1.72 3.1 - - 3.022 1.0 - 51 3.72 2.0 1.0 4.7 1.0 1.0 - - 3.022 1.0 - - 3.022 1.0 - - 3.022 1.0 - - 3.022 1.0 - - 3.022 1.0 - - 3.022 1.0 - - 3.022 1.0 - - - 3.02 -	47	-42 -64	-25 -28	-17 -33	-62.2 -79.2	-113 -140	-43.5 -23		-34	-70.5 -26	-62 -130		-105 -84	-		
91	49 1950	-40.5 -44	-42 -45	-50 -25	-47.7 -76.5	-92 -47	-54 -23		-51 -45	-69 -71			-44 -44	-20 -30	-47 -15	
94 -47 -48 -47 -49 -10 -10 -10 -10 -10 -10 94 -40 -27 -40 -20 -30 -10 -10 -10 956 -42 -31 -43 -40 -20 -33 -43 -43 96 -44 -20 -33 -10 -42 -33 -43 -43 96 -46 -53 -47 -43 -47 -20 -2 -33 96 -46 -43 -43 -47 -43 -47 -50 -50 -2 -35 -35 -43 -51 -50 -50 -43 -51 -50 -50 -43 -51 -50	51 52	-27 -33	-29 -23	-30 -20	-37.2 10	-56 -87	-12.5		-31 -28.5				-32.2 -17.5	-10 -5	-4	
1996 42 31 44 57 170 54 55 56	53 54	-47 -40	-44 -27	-33	4.7	-60 -41	-15.5		-35	-18			-10	10	6 -10	
107 38 49 41 11 33 46 327 32 92 9 9 6 1980 46 40 33 14 66 5 46 92 5 1980 46 40 33 12 65 327 45 46 7 7 39 12 13 14 14 15 16 17 17 18 17 18 <	1955	-62	-31	-43	-8 7	-72	-12		-54				-		-3	
b0 co co <thco< th=""> co co co<!--</th--><th>57</th><th>-36</th><th>-25</th><th>-47</th><th>13</th><th>-34</th><th>-6</th><th>i i second</th><th>-27</th><th>1997 - 1997 - 1997 1997 - 1997 - 1997 1997 - 1997 - 1997</th><th></th><th></th><th>-2</th><th></th><th>-2</th><th></th></thco<>	57	-36	-25	-47	13	-34	-6	i i second	-27	1997 - 1997 - 1997 1997 - 1997 - 1997 1997 - 1997 - 1997			-2		-2	
1980 64 60 31 12 87 15 56 -	59	-46	-50	-43 -38	14	-49 -66	-5		-47 -48				12			
62 38 32 .11 64 .30 .7 .3 64 40 41 .22 .7 .65 .55	1960 61	-64 -62	-60 -17	-31 -27	12	-87 -55	-15 -27		-56 -51				7			anna reise fear i
64 460 411 28 77 465 50 <	62 63	-28 -43	-35 -51	-21 -21	-18 -11	-30 -65			-7 -35				3			
66 1-38 70 3-1 3 -<	64 1965	-60 -103	-41 -67	-28 -8	-7 2	-65 			-50 -120						ter stater en la	
98 .137 .110 .22 17	66 67	-138 -101	-70 -69	-31 -1	3 15				-145 -93							
1970 $\cdot 121$ $\cdot 116$ $\cdot 13$ $\cdot 19$ $ \cdot 116$ $\cdot 116$ 71 $\cdot 73$ $\cdot 646$ $\cdot 50$ $\cdot 22$ $\cdot 15$ $\cdot 116$ $\cdot 116$ $\cdot 116$ 72 $\cdot 666$ $\cdot 50$ $\cdot 22$ $\cdot 15$ $\cdot 656$ $\cdot 7$ $\cdot 18$ $\cdot 656$ 73 $\cdot 30$ $\cdot 26$ $\cdot 7$ $\cdot 18$ $\cdot 656$ $\cdot 7$ $\cdot 18$ $\cdot 656$ 74 $\cdot 22$ $\cdot 12$ $\cdot 10$ $\cdot 646$ $ $	68 69	-137 -135	-110 -99	-22 -33	17 8				-131 -127							
72 46 50 32 12 515 73 30 26 7 15 65 74 22 12 10 10 46 174 22 12 10 10 46 1875 11 1 3 41 16 78 30 -12 9 30 -1 77 28 12 1 23 7 78 -27 -9 -19 3 -14 79 -20 -6 -5 26 3 1800 -23 -7 3 343 1 181 -24 -10 -17 7.5 11 82 -15 -5 -6 -6 -27 84 -15 -11 -7.5 4 -27 9 -10 -3 -5 6 -27 9 -10 -7 11 -2 -27 1985 -22 -7 11 1 -2<	1970 71	-121	-116 -64	-13 -27	-19	-			-116							n annna lla Pala
74 22 12 10 46 1975 11 1 3 41 16 1975 11 1 3 41 16 77 28 12 3 23 7 77 28 12 3 314 $ 77$ 28 12 3 343 1 79 20 6 526 3 $ 180$ 23 -7 3343 1 $ 180$ 23 -7 3433 1 $ 81$ 24 10 17 7.5 41 $ 82$ 15 514 7.5 4 $ 27$ 1985 22 3 10 8 4 $ 1985$ 22 3 10 8 $ 1986$ 38 -7 0 22 -7	72	-66	-50	-32	-12	-515		and the second second				lar manana lar nar manana			ter et anter and	
$ \begin{array}{c c c c c c c c c c c c c c c c c c c $	74	-30	-20	10	-15	-65		1 - 28 - 1						el con co	· · · · · · · · · · · · · · · · · · ·	10 - 10 - 10 - 10 - 10 - 10 - 10 - 10 -
$ \begin{array}{c c c c c c c c c c c c c c c c c c c $	1975	-11 -30	1 -12	-3 9	41 30	-16 -1										
79 -20 -6 -5 26 3 1980 -23 -7 3 34.3 1 2 2 81 -24 -10 -17 -7.5 -11 2 2 82 -15 -14 -7.5 4 2 2 2 84 -15 -11 -14 -11 2 2 2 84 -15 -11 -14 -11 2 2 2 86 -22 -3 -10 8 4 2 2 86 -27 0 1 4 4 2 2 87 -7 0 22 7 11 4 4 89 -24 7 1 1 4 4 4 1900 -19 4 4 4 4 4 4 190 4 4 4 4 4 4 4 4	77 78	-28 -27	-12 -9	-1 -19	23 3	-7 -14									×	inne en la constante en la const
81 -24 -10 -17 -7.5 -11 82 -15 5 -14 -7.5 4 -4	79 19 8 0	-20 -23	-6 -7	-5 3	26 34.3	3 1									24 -12	
83 -9 -10 -3 -5 -6 .27 84 -15 -11 -14 -11 -2 1985 -22 3 -10 8 4 66 -27 0 1 -8 -7 87 -7 0 -22 -7 11 88 -8 -2 43 -18	81 82	-24 -15	-10 -5	-17 -14	-7.5 -7.5	-11 4									5 -8	
1985 .22 .3 .10 .8 .4 86 .27 0 .1 .8 .7 87 .7 0 .22 .7 11 86 .38 .8 .2 .43 .18 89 .25 .7 .1 1 1 1990 .19 .9 .0 .30 .7 91 .18 .7 .0 .0 92 .6 .5 .5 .35 .21 93 .10 .3 .7 94 .34 .10 1995 .44 1995	83 84	-9 -15	-10 -11	-3 -14	-5	-6 -2			an particular	0 00 00 1	2. m 11	na na ma il			-27	and the second s
87 -7 0 -22 -7 1 88 -38 -8 -2 -43 -18 99 -25 -7 1 1 1 1990 19 -9 0 30 7 91 -18 -7 0 10 10 92 -6 -5 53 21	1985	-22	3	-10	8	-4			and and a				(a) (a) (a) (a) (a) (a) (a)			ата не колоса а
B9 -25 -7 -1 1 1 1980 -19 -9 0 30 7 91 -18 -7 0 10 10 92 -6 -5 5 35 21 93 10 -3 7 75 14 94 34 -10 15 80 36 1996 44 -5 15 65 50	87 89	-7	0	-22	-7	11										1691 m m m
100 10	89	-38 -25	-8 -7	-2	43 1	-18				n taa - o see ay soosaa sada	n an an Maria					a comencia and
yz -0 -5 5 35 21 93 10 -3 7 75 14 94 34 -10 15 80 36 1995 44 -5 15 65 50	1990 91	-19 -18	-9 -7	0 0	30 10	7 10		li senere o nan marin				the second second	9 (4) (5) (1)			anaa) 201-22. 3 3
94 34 -10 15 80 36 1995 44 -5 15 65 50	92 93	-6 10	-5 -3	5 7	35 75	21 14		ar 1 4600 1760 1								
	94 1995	34 44	-10 -5	15 15	80 65	36 50	60 m a		1 14		a landar i					

VEDLEGG B (forts.) Frontposisjonmålingar i Jotunheimen 1900-1995

Ar Jotu Sityg	nheimen gedalsbre S	itorbreer	/esiebreet1	verrabre \	Veslejuvbre S	torjuvbre He	imre Illabre No	ordre Illåbre Sø	ondre likkbri l	Leirbre E	Boverbreer H	lellstugubre V	Memurubre @	. Memurubre S	Svartdalsbree	Langedaisbre S	lettmarkbred	Styggbree
900	*																	
1	-			x	x	×						x						
2		x	×	0		0		×	x		_	0	X .07	×	x	x	×	
4	-3	-27.5	-	-8.2		-5.1	-22.3	-7.9	2.3		-1.3	-12.7	-10.2	-0.4	-17	-7	-1.5	
905	4	-6.3	3.3	-9.6	-	1.8	5.7	-4.7	-12.7		-	-0.3	-5.8	-10.9	-7	-3.9	-4.5	
6	-12.5	-22.5	0.2	0.2	-12	-2	-1		1.9			-9						
8		-	-20	-30		-	1.4	-1.3	-0.4		-1	-	-2.7	-16.2	-8.1	0.1	-8.6	
9	-8.8	-16.7	-10.7	-9	-1.7	-5.3	-4.5	-13.1	-16.7	x	1.9	-44	-2.6	-5.5	-3.6	-6	-9.1	
910	-0.2	3.6	-5.4	-22	-43.1	6.5	-0.3	-3.3	-4.1	-0.3	.26.2	-3.6	-20.4	-6.5	-0.6	-0.3	-2.2	
12	-5.2	-10.5	-6.4	-12.9	-29	-7.9	-4	-14.1	-12.3	-8.1	-10	-25.3	-8.7	-2.9	-4.2	-2.5	-9	
13		5		-			-			-					-	-	-	
915		-1							-				-					+
16	-	-2	-	-	-			-		-	-		-	-		-	-	
17	-	-					-		-					-	-		-	
19	-	-59											_	_		-		
920		-	-	-						-	-		-			-	-	
21	-25.3		-	-			-						-	-			-	
23	1.3	-	-	-				-	-	-					-	-	-	
24	2.7		-		-						-		-	-			-	
26	-1.5								-									
27	-	-		-52.6	-		-		-	-	-	-	-		-		-	
28		-			-										-	-		
1930		-		-9.5					-	-	-	-87.3		-	-	-	-	-
31		-	-	-17.4				-	-	-	-	-13	-	-		-	-	
32		-		-6						-		-7					-	
34	-9.5	-23	-3.1	-23.2	-3.1	-3.3	-11.9	-118.6	-12.9	-	-	-8	_	-	-	-	-	
1935	-4.2	-15.5	-2.5	-14.8	-	-0.4	-0.4	-17.8	-13.5	-		-11		-	-		-	
36	-4.2	-41.5	-19		-4	-3	-4.2	-12.2	-5.2	-69.4	-111.7	-5	-76	-304	-57.4	-20.9	-32	
38	-5	-44.1	-6.4	-34	-5.2	-12.3	-18.7	-7.2	-18.1	-12.8	-12.6	-11	- 10.5	-10.4	-3.5	-2.9	-8.7	
39	-20.5	-23.4	-22		4.7	-16.2	-	-19	-11.6	-9.2	-14.1	-12		-30	-11	-12	-8.5	
41	-12.7	-43	-47	-16	-2	-12	-30.7	-9 -8	-35.3	-31.5	-58.3	-11	-	-30	-12	-2.2	-14	
42	-5	-5.2	-18.9	-13	-3	-7.5	-12.1	-16	-10.5	-16	-18	-12	-	-42	-8.5	-8.1	-9	
43	-3.5	-1		18		0.3	-1.5	-3.3	0.1	-12		-5	-149.5	-22.5	-2	-3	-4	
945	-3	-17.5		-		-12	-9	-14	-15	-15.5	-12	-	-13		-14	-10	-8	
46	-7.7	-43.3			-1	-33.7	-11.7	-31.5	-33	-56		-	-95.2		-8	-15.5	-15	
47	-12.7	-25		-58	-16	-30	-12.3	-20.5	-30	-32	-81	-43	-30	-107	-14	-10.5	-18.5	
49	-12	-13		-13	-3	-25	-13.5	-11	-19	-4.5	-	-10	-70	-11	-12	-5.5	-17.3	
950 51	-6.7	-36		-49	-11.5	-26	-8.5	-11.5	-44	-23.5	×	-19	-94.5	-31.5	-12	-2	-8.5	
52	-7	-8.7		-16.5	-1.5	-20	-10	-17	-14	-14.5	-16.2	-15.3	-11.7			-3.4	-13.2	-17.5
53	-7	-20		-19	-		-13	-13.5	-29	-11	-7	-13	-38	-39		-	-	-
1955	-14 -6	-18.3		-16	-13.2	-28	-9	-10.6	-12.3	-9.0		-14	-16.5	-19.7	-31.8	-29	-19.5	-20.3
56	-9	-18.1		-13	-4	-33	-30	-17	-17	-27	-33	-18						-11
57	-3	-20	-	-10	-2	-31	-14	-14	-18	-10	-36	-13						-30
59	-15	-40		-43	-4	-78	-27	-21	-25	-25	-26	-39		1				-55
960	-12	-20		-20	-	-45		-12	-18	-1	-13	-					-	-2
62	-10	-25		-23	-2	-36	-	-20	-16		-13	-14	5 5 <i>8 5</i> 5 7	- 2 - 2				-8
63	-11	-20		-24	-6	-	-	-	-	-6	-48	-12	1					-22
64	-8	-11			(a) (a)							-6					· · ·	
66	-9	-6								-		-						
67	-3	-5		-						-		-						
68 69	-1	-8							- 1	_		-			-			
970	-9	-18							-	-								
71	-11	-14		x				×	×	-54		C -90		×				×
73	0.5	-5					×	-	· · · ·			-	a 10 - 100	-				_
74	5	-5	-	-				-	-	-		-		-				-
975 76	-3.2	-7		-46		- 10	- S 7 14	-55	-42	-20		-69		-52				0
77	2	-8								-6		-						-3
78	-3	-5								C -7								
980	-3	-6								-13		-	10.000		-		-	1
81	-5	-10								-		-						_ 1
82	-7.5	-								-		-			Section 1			
84	-2	-10								-16		-95						
985	-5	-3.5								-7.5		-						
86	-12	-								-		-49				-		
88	-1	-2.5										-10						
80	2	10								-		-7						
09		3								-11		-8						
990 91		-										- /						
990 91 92	x	-								-		-9	-					
990 91 92 93	×	-								-16.5		-9 -3						

VEDLEGG B (forts.) Frontposisjonmålingar ved Svartisen, Folgefonna og på Sunnmøre 1900-1995

~ = 00	naesene sia	101 = 1 ninice / '	nician to	a máliara		ring (m) -id 4	len forrige måling.		
	idning i frompoi	Najon (m) i	aiden forng	emaleng Ca	s5 = anslatt end	nng (m) siden tor	ige maling		
Ar	Folgelonna		Svartisen			More			Hardangerjekulet
	Bondhusbreen	Buarbreen	Engabreen	Fonndalsbreen	Øslerdnisisen	Trollikyrkjebreen	Vesielangdalbreen	Finnebreen	Rembesdalskáki
		and the second				• 			
1900		X							
2									
3			×	×					
4	16.5	-150							
6	27		-						
7	6.7	37							
8	23.5	21	100	-					
1910	,3 28.9	30	2.7	5		• · · · · · · · · · · · · · · · · · · ·			
13	7.3	20	-13	19.5					
12	-5.7	-18	-2	13.5					
14	-25.5			-2					
1915	-20.3	-57	-3	2					
16 17	-6.2 .4.5		5	-12			a state and the state of the st	a for fallen house and a subset of the solution of the	
18	-12.4	-6	-10.3	-13					
19	-4.2	-1	- 15	-9					
1920	-15.7	-12	-7.7	17					
21	13.5	- 1 5	4	6					
23	8.5	18	-30	-81					
24	39.2	43	16	.9					
26	14_2 7	40	-10 -72	-31 -44					
27	3.2	20	-16	-30					
28	-6.5	20	29	42					
29 1930	3.2	23	·22 15	43					
31	-11	/L 10	·23	-12					
32	-12.2	7	-	18					
34	-14.5	4 -36	-325	-96 -561					
1935	-44.5	-34	104	•3					
36	-25.5	-36	-4	•1					
3/	-28.5	-129	-150.5	-6 -120					
39	-53.5	-62	-481	-55					
1940	-233	-43	-172	-124				-	
41	-33		-40 -55	·29 ·14					•
43	-32	-		-					
44		-				X	x		
46			-			-10	-2.5		
47	••			-		•20	- 19.5		
48	-		-			.7			
1950	-	-	 					x	
51	-87	-	-421	-507	-58	-7	-6	-17	
52			21.5		-4				
54	-				-32			-7	
1955	-13								
56 57		· · · ·							
58		-					-	8	
59	14	-	-			 7 -7.5		8 	
	14 -16	 C -700				 7 -7.5 -7	 -4 -8	8 -10	
1960 61	14 -16 0.1	 C -700 					-4 -8 -12	8 	
1960 61 62	14 -16 0.1 3 -8						-4 -8 -12 	8 .10 .25 .4	
1960 61 62 63	14 -16 0.1 3 -8						-4 -8 -12 	8 -10 -25 -4 -9	
1960 61 62 63 64 1965	14 -18 0.1 -8 -8					7 -7.5 -7 -12 -7 -		8 .10 .25 .4 .9 .2	
1960 61 62 63 64 1965 66	14 - 16 - 0.1 - 3 - 6 - 6 - 6 - 5					7 -75 -7 -12 -7 		-9 -2 -2 -2	
1960 61 62 63 64 1965 66 67	14 - 15 - 0.1 - 3 - 8 - 8 - 6 - 5 - 1					7 -7.5 -7.7 -12 -7.7 -7.7 -7.7 -7.7 -7.7 -7.5 -7.5 -7.5		8 	
1960 61 62 63 64 1965 66 67 68 69	14 -16 -0.1 -3 -6 -5 -5 -1 -1 -1 -1					7 -75 -12 -7 -7 -7 -15 -15 -15 -15 -15 -15 -15 -15 -15 -15		9 	
1960 61 62 63 64 1965 66 67 68 69 1970	14 -16 -0.1 -8 -8 -8 -8 -8 -9 -8 -9 -9 -9 -1 -1 -1 -3 -3 -3					7 -7.5 -12 -7 -12 -7 -15 -15 -15 -15 -15 -15 -15 -15 -15 -15			
1960 61 62 63 64 1965 66 67 68 69 1970 71	14 -16 0.1 -3 -4 -5 -7 -1 -1 -1 -3 -3 -3					77.755		• 	
1960 61 62 63 64 1965 66 67 68 69 1970 71 72 73	14 -16 0.1 -3 -4 -4 -5 -5 -1 -1 -1 -1 -1 -1 -1 -1 -1 -1 -1 -1 -1					7 -75 -77 -12 -7 -7 -7 -15 -15 -15 -15 -15 -15 -15 -15 -15 -15		• 	
1960 61 62 63 64 1965 66 67 68 69 1970 71 72 73 74	14 -15 0.1 - - - - - - - - - - - - - - - - - - -					7 75 7 7 7 7 7 7 7 7 7 7 7 7 7 7 7 7 7		• 	
1960 61 62 63 64 1965 66 67 68 69 1970 71 72 73 74 1975	14 -16 0.1 3 - - - - - - - - - - - - - - - - - -					7 -75 -77 -12 -7 -7 -75 -75 -15 -15 -15 -15 -15 -15 -15 -15 -15 -1		• 	
1960 61 62 63 64 1965 66 67 68 69 1970 71 72 73 74 1975 76 77	14 					7 -75 -7 -12 		• 	
1960 61 62 63 64 1965 66 67 68 69 1970 71 72 73 74 1975 76 77 78	14 -16 -0.1 -3 -4 -4 -4 -4 -1 -3 -1 -1 -1 -1 -1 -1 -1 -1 -1 -1 -1 -1 -1					7 -75 -7 -7 -7 -7 -7 -7 -7 -7 -7 -7 -7 -7 -7		• 	
1960 61 62 63 64 1965 66 67 68 69 1970 71 72 73 74 1975 76 77 78 79	14 -10 					7 -75 -77 -72 -77 -77 -77 -77 -77 -77 -77 -77		• 	
1960 81 62 63 64 1965 66 67 68 69 1970 71 72 73 74 1975 76 77 78 79 1980	14 -16 -0.1 -3 -4 -6 -6 -7 -1 -1 -1 -3 -3 -7 -7 -7 -7 -7 -7 -7 -7 -7 -7 -7 -7 -7	C -40 / X C -20 - - - - - - - - - - - - - - - - - -				775-77-712 -77-51-77 -77-712 -77-77-77-77 -77-77-77 -77-77-77-77 -77-77		• -10 -25 -2 -2 -2 -2 -2 -2 -2 -2 -2 -2 -2 -2 -2	
1960 81 62 63 64 1965 66 67 68 69 1970 71 72 73 74 1975 76 77 78 79 1980 81 1980 81 82 83 84 85 86 85 86 85 86 85 86 86 85 86 86 86 86 86 86 86 86 86 86	14 -16 - 0.1 - 0 - 0 - 0 - 0 - 0 - 0 - 0 - 0 - 0 - 0					7 -75 -7 -7 -7 -7 -7 -7 -7 -7 -7 -7 -15 -15 -15 -15 -15 -1 -1 -1		• 	
1960 61 62 63 64 1965 66 67 68 69 1970 71 72 73 74 1975 76 77 78 79 1980 81 82 83	14 0.1 3 - - - - - - - - - - - - - - - - - -					7 -75 -7 -12 		• 	
1960 61 62 63 64 1965 66 67 68 69 1970 71 72 73 74 1975 76 77 78 79 1980 81 1980 81 82 83 84	14 -16 -0.1 -3 -4 -6 -7 -1 -1 -3 -7 -7 -5 -5 -7 -7 -7 -7 -7 -7 -7 -7 -7 -7 -7 -7 -7					7 -75 -7 -12 -7 -7 -7 -7 -15 -7 -15 -1 -1 -1 -1 -1		• 	
1960 61 62 63 66 67 66 67 68 69 69 69 69 77 71 72 73 74 1975 76 77 78 79 1980 81 82 83 84 1985	14 -16 -01 -3 -4 -4 -4 -1 -1 -3 -3 -1 -1 -3 -3 -3 -3 -3 -3 -3 -3 -3 -3 -3 -3 -3					7 -75 -7 -12 -7 -7 -7 -7 -12 -7 -7 -12 -7 -7 -7 -7 -7 -7 -7 -7 -7 -7 -7 -7 -7		• 	
1960 61 62 63 66 67 66 67 68 69 1990 71 72 73 74 1975 6 77 78 79 1980 81 82 83 84 1985 85 86	14 -10 					775-77-712 775-77-712 77-71-77-77-77-77-77-77-77-77-77-77-77-7		• 	
1960 61 62 63 64 65 66 67 66 69 1970 71 72 73 74 1975 67 77 78 79 1980 81 82 83 84 1985 86 87 88	14 -16 -0.1 -3 -4 -6 -7 -1 -1 -1 -3 -3 -7 -7 -7 -7 -7 -7 -7 -7 -7 -7 -7 -7 -7					775-775-77-712 -77-7-72-77-7-72 -77-7-7-7-7-7-7-7-7-7		• 	
1960 61 62 63 64 1965 66 67 70 71 72 73 74 1975 76 77 73 74 1975 76 77 77 78 79 1980 81 82 83 84 1985 86 83 84	14 -10 					775-77-712 -775-77-712 -77 -77-712 -775-77-77 -775-77-77 -775-77-77-77-77 -775-77-77-77-77-77-77-77-77-77-77-77-77		• 	
1960 61 62 63 64 1965 66 67 70 71 72 73 74 1975 76 77 73 74 1975 76 77 77 78 79 1980 81 82 83 84 1985 85 86 83 84 1985 89 99 1990	14 0.1 3 - - - - - - - - - - - - - - - - - -					7 -75 -77 -122 		• 	
1960 61 62 63 64 1965 66 67 68 69 1970 71 72 73 74 77 75 76 77 75 76 77 79 1980 81 82 88 84 1985 84 1985 84 91 999 92	14 -16 -01 - - - - - - - - - - - - - - - - - -					77 -725 -77 -122 -7 -7 -75 -75 -75 -75 -75 -75 -75 -75 -		• 	
1960 61 62 63 64 1965 66 67 68 69 1970 71 72 73 74 77 75 76 77 77 78 81 975 76 77 79 1980 81 82 83 84 1985 84 1985 84 91 992 93	14 -16 -0.1 					77		• 	

Denne serien utgis av Norges vassdrags- og energiverk (NVE) Adresse: Postboks 5091 Majorstua, 0301 Oslo

I 1997 ER FØLGENDE PUBLIKASJONER UTGITT:

- Nr 1 Bjarne Kjøllmoen: Breundersøkelser Langfjordjøkelen. Statusrapport 1989-1993. (19 s.)
- Nr 2 Øystein Grundt: Løpsendringer i Koppangsøyene i Glomma under flommen i 1995. (39 s.)
- Nr 3 Jan Slapgård (red.): Gjenanskaffelsesverdier for særskilte driftsmidler i kraftforetak. (61 s.)
- Nr 4 Tor Erik Olsen og Svein Ivar Haugom: Statnett SF. Oppfølgingsrapport 1993/1994. (35 s.)
- Nr 5 Erling Solberg (red.): Kostnader for kraftverksprosjekter pr. 01.01.1996. Pengeverdi og prisnivå januar 1996. (58 s.)
- Nr 6 Lars-Evan Pettersson: Hydrologiske data for Mjøsa (002.DC). (20 s.)
- Nr 7 Ann-Kristin Hjelle: Kraftpriser til husholdninger pr. 1. januar 1997. (9 s.)
- Nr 8 Inger Sætrang (red.): Statistikk over overføringstariffer (nettleie) i regionalog distribusjonsnettet 1997. (56 s.)
- Nr 9 Martin Nordby: Avbruddsstatistikk 1995. Statistikk for avbrudd i leveringen av elektrisk energi til sluttbruker i Norge. (34 s.)
- Nr 10 Einar Markhus (red.): Anvendt urbanhydrologi. (198 s.)
- Nr 11 Kirsti Hind Fagerlund (red.) og Øystein Grundt (red.): FoU-prosjekter 1994-1996 innen vassdrags- og energisektoren. (106 s.)
- Nr 12 Inger Sætrang (red.): Oversikt over vedtak i tvistesaker andre *halvår* i 1996. Tariffer og vilkår for overføring av kraft. (10 s.)
- Nr 13 Kjell Sand: Veileder i bruk av risiko- og sårbarhetsanalyser i kraftforsyningen. (34 s.)
- Nr 14 Ketil Grasto: Regulering av energiverkenes monopolvirksomhet basert på inntektsrammer. En beskrivelse av bakgrunn, prinsipper, regelverk og spesielle problemområder. (21 s.)
- Nr 15 Tore Langset og Arne Martin Torgersen: Effektivitet i distribusjonsnettene 1995. (29 s.)
- Nr 16 BEGRENSET.
- Nr 17 Inger Sætrang (red.): Oversikt over vedtak i tvistesaker første halvår i 1997. Tariffer og vilkår for overføring av kraft. (12 s.)
- Nr 18 Magnus Køber og Ann-Kristin Hjelle : Kraftmarkedsundersøkelsen 1997
- Nr 19 Hallgeir Elvehøy, Nils Haakensen, Mike Kennett, Bjarne Kjøllmoen, Jack Kohler og Arve M. Tvede: Glasiologiske undersøkelser i Norge 1994 og 1995. (197 s.)

