NVE
NORGES VASSDRAGS-
OG ENERGIVERK

PUBLIKASJON

Gunnar Østrem
Nils Haakensen
Bjarne Kjøllmoen
Tron Laumann
Bjørn Wold

MASSEBALANSEMÅLINGER PÅ NORSKE BREER 1988 OG 1989

Resultater fra feltarbeid og beregninger

Nr 11
1991

HYDROLOGISK AVDELING

NORGES
VASSDRAGS- OG ENERGIDIREKTORAT
BIBLIOTEK

OMSLAGSBILDE

Engabreen, en utløper fra den vestre delen av Svartisen drenerer til Engabrevatnet i Holandsfjord. Den har smeltet sterkt tilbake i vårt århundre. Sammenlign med det gamle bildet på side 33! Resultater fra massebalansemålinger i 1988 og 1989 finnes i denne publikasjonen.

Engabreen is an outlet glacier from the ice-cap Svartisen in northern Norway. It drains into the lake Engavatn and further to Holandsfjord. Mass balance results for 1988 and 1989 are given in this publication. Compare the picture with an old photograph shown on page 33.

NORGES VASSDRAGS- OG ENERGIVERK

G. Østrem, N. Haakensen, B. Kjøllmoen,

T. Laumann, B. Wold

MASSEBALANSEMÅLINGER PÅ NORSKE BREER 1988 OG 1989

NVE-Publikasjon nr 11

fra

HYDROLOGISK AVDELING

1991

NORGES
VASSDRAGS- OG ENERGIDIREKTORAT
BIBLIOTEK

TITTEL MASSEBALANSEMÅLINGER PÅ NORSKE BREER 1988 og 1989	NR 11/1991
FORFATTER(E)/SAKSBEHANDLER(E) Gunnar Østrem (red), Nils Haakensen, Bjarne Kjøllmoen, Tron Laumann, Bjørn Wold	DATO April 1991 ISBN 82-410-0115-0 ISSN 0802-2569

SAMMENDRAG

Resultatene fra NVE's massebalanseundersøkelser på norske breer 1988 og 1989 presenteres i tekst, tabeller og diagram. Disse to årene var svært forskjellige, i 1988 var vinterbalansen relativt normal, sommerbalansen svært stor, og breene fikk en rekordartet negativ massebalanse. Året etterpå, i 1989, var forholdet helt omvendt, med rekordstore snømengder og en sval sommer. Da fikk alle breene veldige masseoverskudd, for noen breer opplevet vi en tilvekst som vi ikke tidligere har obervert.

ABSTRACT

Results from NVE's mass balance studies on Norwegian glaciers 1988 and 1989 are presented in text, tables and diagrams. These two years were quite different regarding glacier mass balance: In 1988 the winter balance was about normal whereas the hot summer produced a record in summer balance, resulting in a large net mass loss. In 1989 the conditions were the opposite: very large winter snowfalls and a cool summer. Consequently, the glaciers gained mass - the winter balances were in some cases larger than ever observed.

EMNEORD

Glasiologi
Massebalanse
Brehydrologi

SUBJECT TERMS

Glaciology
Mass balance
Glacier hydrology

ANSVARLIG UNDERSKRIFT

Bjørn Wold
fung.avd.dir.

FORORD

Resultatene fra massebalansemålingene på norske breer ble tidligere presentert sammen med andre glasiologiske undersøkelser i årlige rapporter fra Hydrologisk avdeling. Serien ble kalt "Glasiologiske undersøkelser i Norge 19.." og den kom ut hvert år fra 1963, de første årene under litt ulike navn og forskjellig format. Den siste utgaven i serien omhandlet året 1984, og ble utgitt som en såkalt V-Publikasjon fra Vassdragsdirektoratet.

For årene 1985-86-87 ble det så laget en samlerapport, der innholdet besto av konsentrerte utdrag fra en rekke oppdragsrapporter, bestilt av forskjellige oppdragsgivere som ville ha nærmere definerte bremålinger utført, blandt dem massebalanseundersøkelser.

Foreliggende rapport likner noe på den sistnevnte, men er litt fyldigere utformet. Redaktøren, G.Østrem, har forsøkt å få innholdet så ensartet som mulig, til tross for de forskjellige bidragenes ulike utseende. De var jo skrevet av forskjellige forfattere og med ulike siktemål.

I likhet med tidligere er således rapporten et resultat et av et godt samarbeid mellom en rekke personer ved Bre- og snøseksjonen, både i felt og på kontoret.

Oslo, april 1991

Bjørn Wold
fung.avd.dir.

INNHOLD

		Side
1.	INNLEDNING - UNDERSØKELSENE I 1988	4
2.	ÅLFOTBREEN (086.6C1B)	6
3.	NIGARDSBREEN (076.EZ)	10
4.	AUSTDALSBREEN (076.H)	13
5.	SPØRTEGGBREEN (076.Z JOSTEDALEN; 075.42 MØRKRIDSDALEN)	15
6.	HARDANGERJØKULEN (050.4C1Z)	19
7.	STORBREEN (002.DHBBZ)	20
8.	HELLSTUGUBREEN (002.DHBAZ)	22
9.	GRÅSUBREEN (002.DGDC)	24
10.	SVARTISHEIBREEN (159.33A)	26
11.	ENGABREEN OG STORGLOMBREEN (159.81 OG 160.Z)	28
12.	GENERELT	34
14.	INNLEDNING - UNDERSØKELSENE I 1989	36
15.	ÅLFOTBREEN (086.6C1B)	37
16.	NIGARDSBREEN (076.EZ)	39
17.	AUSTDALSBREEN (076.H)	43
18.	SPØRTEGGBREEN (076.Z JOSTEDALEN 075.42 MØRKRIDSDALEN)	45
19.	HARDANGERJØKULEN (050.4C1Z)	49
20.	STORBREEN (002.DHBBZ)	51
21.	HELLSTUGUBREEN (002.DHBAZ)	54
22.	GRÅSUBREEN (002.DGDC)	57
23.	SVARTISHEIBREEN (159.33A)	60
24.	ENGABREEN (159.81)	62
25.	LANGFJORDJØKELEN (211.33A)	66

26. GENERELT 70
26.1 Oversikter 71

27. ENGLISH SUMMARY 75
27.1 Introduction 75
27.2 Results from 1988 76
27.3 Results from 1989 76
27.4 Mass balance conditions in Norway 77

28. LITTERATUR 77

1. INNLEDNING - UNDERSØKELSENE I 1988

I 1988 ble det utført massebalansemålinger på 8 breer i Syd-Norge og 3 i Svartisen-området i Nord-Norge. Bortsett fra Storbreen i Jotunheimen, utføres alle massebalansemålingene av Brekontoret.

På Ålfotbreen i Nordfjord er det utført undersøkelser på to nordvendte brearmer. Undersøkelsene betales av Sogn og Fjordane Energiverk. På den ene brearmen har målingene pågått siden 1963, og det er resultatene fra denne som gjengis i foreliggende rapport.

På Nigardsbreen fortsatte målingene som startet allerede i 1962. Målingene er konsesjonspålagt og finansieres av Statkraft.

I 1988 ble det satt igang massebalansemålinger på Austdalsbreen på den nordlige del av Jostedalsbreen og på Spørteggbreen øst for Jostedalen. Disse målingene, som betales av Statkraft, er satt igang i forbindelse med Jostedalsutbyggingen. Disse målingene er planlagt å pågå i tre år.

På Hardangerjøkulen utføres massebalansemålinger på Rembesdalskåkji, en vestlig utløper som drenerer til Simadalen. Målingene er konsesjonspålagt Eidfjordanleggene og har pågått siden 1963.

I Jotunheimen utfører Norsk Polarinstitutt målinger på Storbreen, mens NVE finansierer målinger på Hellstugubreen og Gråsubreen. Målingene på Storbreen har pågått kontinuerlig siden 1948 og er den lengste måleserie i Norge og en av de lengste i verden. På Hellstugubreen og Gråsubreen har målingene pågått siden 1962. Sammen med Nigardsbreen er dette de nest lengste måleseriene i Norge.

I Svartisen-området har det vært utført målinger på Engabreen siden 1970 og på Storglombreen siden 1985. Begge disse breene ligger på den nordlige delen av Vestre Svartisen. I 1987 ble det satt ut staker for bevegelses- og massebalansemålinger på Svartisheibreen, en sydlig utløper av Vestre Svartisen, og våren 1988 ble akkumulasjonen målt for første gang, mens målingene på Storglombreen ble avsluttet sommeren 1988. Alle målingene i Svartisen-området betales av Statkraft i forbindelse med utbyggingen i området.

En samlet oversikt over massebalansemålinger utført på norske breer, samt en fullstendig litteraturliste finnes i brerapporten for 1982 (Roland & Haakensen, 1985).

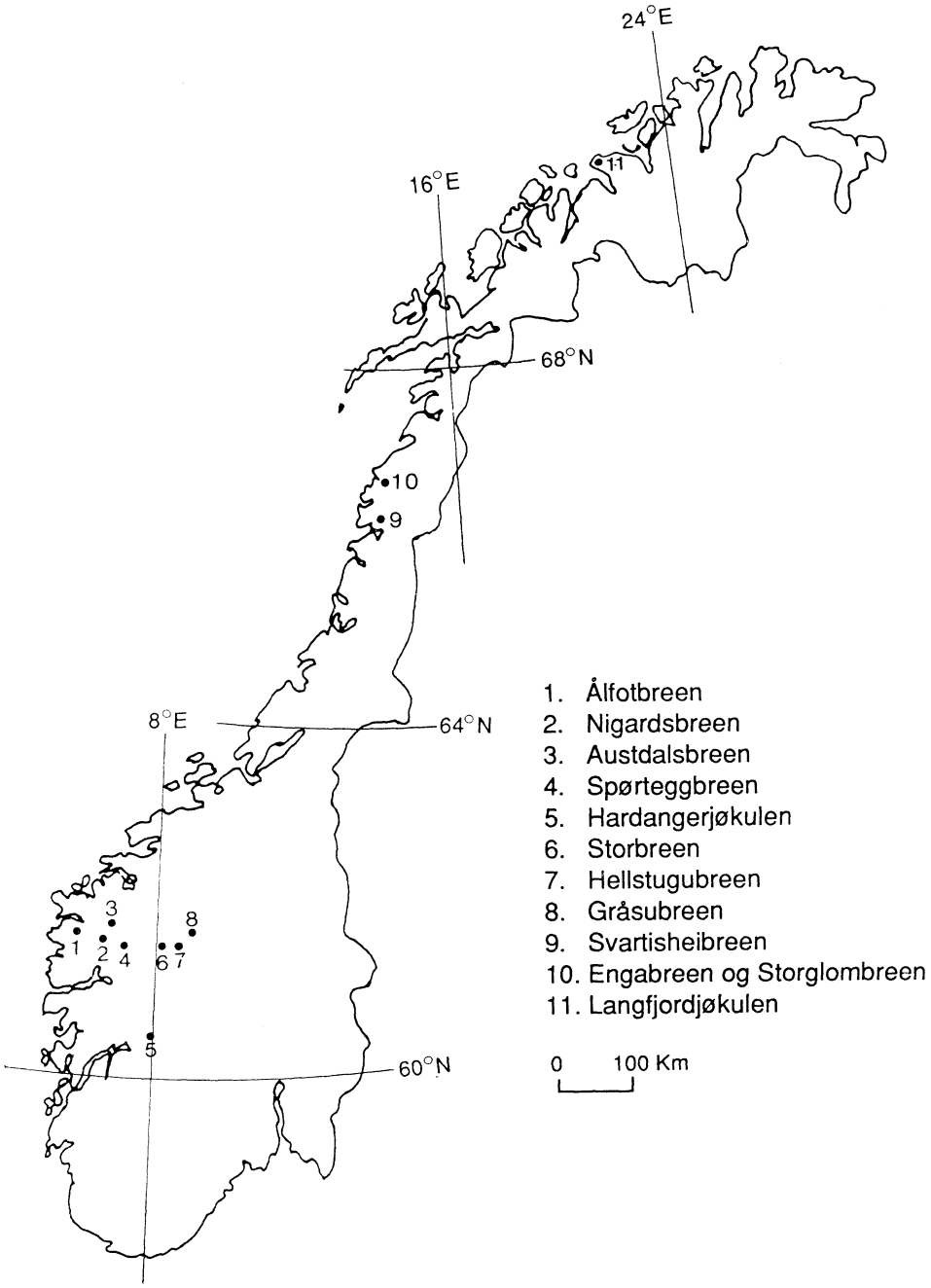


Fig. 1. Kartet viser beliggenheten av de breer der massebalansemålinger ble foretatt i 1988 og 1989.

Location map showing glaciers where mass balance investigations were performed 1988 and 1989.

2. ÅLFOTBREEN (086.6C1B)

Breen ble besøkt 4 ganger i løpet av 1988. Første besøk ble gjort 4.-5. februar. Det var da kommet 2.0 - 2.5 m snø siden forrige besøk 19. desember 1987. En av de 12 stakene som var synlige i desember hadde forsvunnet.

Ved neste besøk ble akkumulasjonsmålingene utført den 19.-23. april. 8 staker hadde overlevet vinteren, og 6 nye ble satt ut. Det ble tatt en snøprøve ned til 5.0 m og det ble utført ca 160 sonderinger av snødypet. Snøens middeltetthet var 0.45 g/cm^3, og snødypet varierte mellom 4.2 og 6.5 m.

Neste besøk ble foretatt 14.-15. juli. Det hadde vært stor smelting, og fram til da hadde smeltingen vært omtrent like stor som hele sommeren 1987. Stakene var blitt 4-5 m lengre siden april, og alle som hadde snødd ned dukket fram.

Minimumsmålingene ble gjort 21.-22. oktober. Da var det kommet 25-30 cm nysnø på breens øvre deler. Smeltingen i sommerens siste del hadde også vært stor, og siden besøket i juli var stakene blitt ca 4 m lengre.

Akkumulasjonen ble beregnet til 13 mill. m^3 vann på den 4.8 km^2 store delen av breen som drenerer til Breelva. Det tilsvarer 2.72 m vann jevnt fordelt over hele breen. Akkumulasjonen i 1988 var 78% av middelverdien i måleperioden 1963-88, og 64% av akkumulasjonen i 1987.

Sommerens avsmelting ble beregnet til 25 mill. m^3, og det tilsvarer 5.20 m vann jevnt fordelt på hele breens overflate. Smeltingen i 1988 var nesten det dobbelte av vinterens akkumulasjon, og 2.35 ganger så stor som smeltingen i 1987. Årets smelting er 161% av midlere avsmelting i måleperioden 1963-88 (som er 3.32 m pr år) og den største smelting som er målt noengang. Ingenting av årets snø lå igjen på breen. Den nest største smeltingen var i 1969 med 4.83 m vann.

Nettobalansen i 1988 viste et underskudd på 12 mill. m^3 vann eller 2.48 m vannverdi. Det er det største underskudd som er målt på Ålfotbreen siden målingene startet i 1963. I 1987 var det et overskudd på 10 mill. m^3 eller 2.07 m vannverdi.

Detaljerte resultater vises i tabell 1 og fig. 2.

ÅLFOTBREEN 1988

Høyde intervall m o.h.	Areal S km*2	Vinterbalanse Bw 10x6m*3	m	bw 1/s kmx2	Sommerbalanse Bs 10x6m*3	m	bs 1/s km*2	Nettobalanse Bn 10x6m*3	m	bn 1/s km*2
1350-1380	0.274	0.77	2.81	89	1.17	4.26	135	-0.40	-1.45	-46
1300-1350	1.015	2.81	2.77	88	4.60	4.53	144	-1.79	-1.76	-56
1250-1300	0.811	2.30	2.84	90	3.91	4.82	153	-1.61	-1.98	-63
1200-1250	0.765	2.07	2.71	86	3.97	5.19	165	-1.90	-2.48	-79
1150-1200	0.649	1.75	2.69	85	3.56	5.48	174	-1.81	-2.79	-88
1100-1150	0.553	1.48	2.67	85	3.19	5.76	183	-1.71	-3.09	-98
1050-1100	0.356	0.92	2.58	82	2.16	6.06	192	-1.24	-3.48	-110
1000-1050	0.216	0.55	2.54	81	1.37	6.33	201	-0.82	-3.79	-120
950-1000	0.125	0.33	2.66	84	0.82	6.52	207	-0.48	-3.86	-122
900- 950	0.047	0.14	2.91	92	0.31	6.65	211	-0.18	-3.74	-119
870- 900	0.004	0.01	3.15	100	0.03	6.75	214	-0.01	-3.60	-114
870-1380	4.815	13.12	2.72	86	25.04	5.20	165	-11.92	-2.48	-78

Tabell 1.

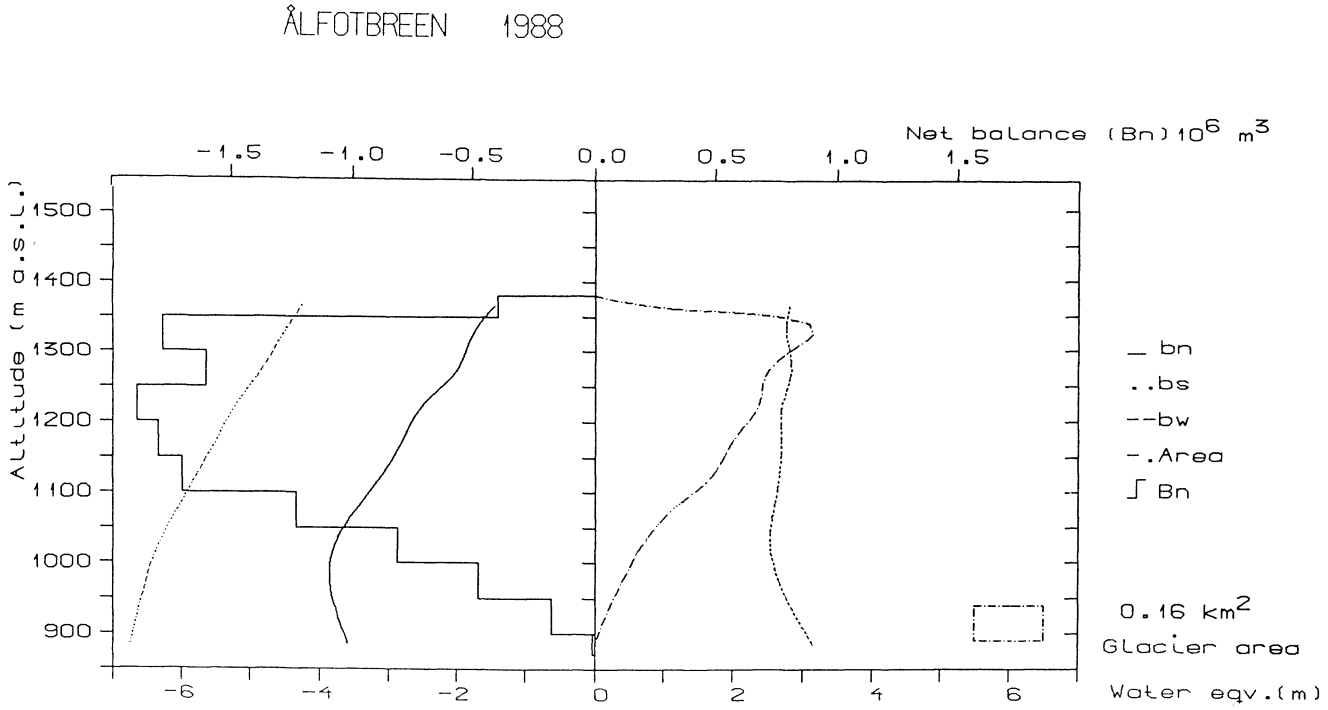
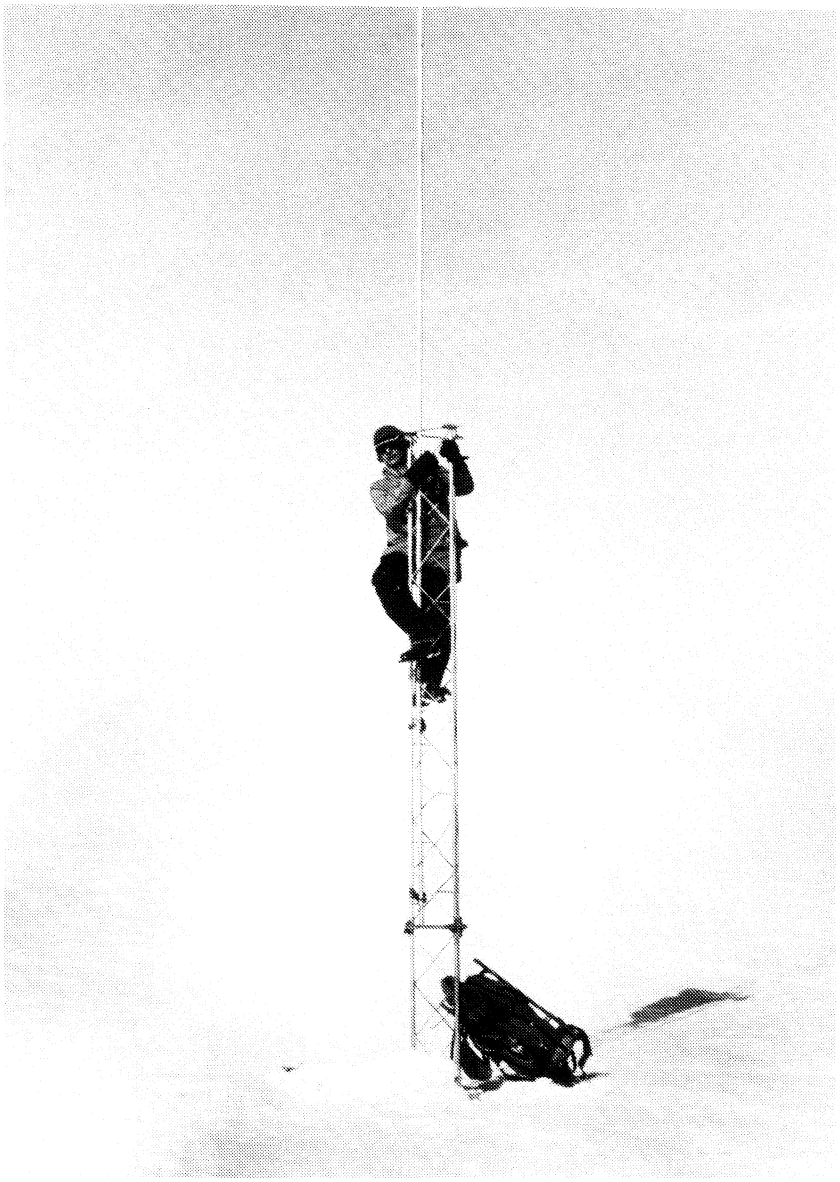


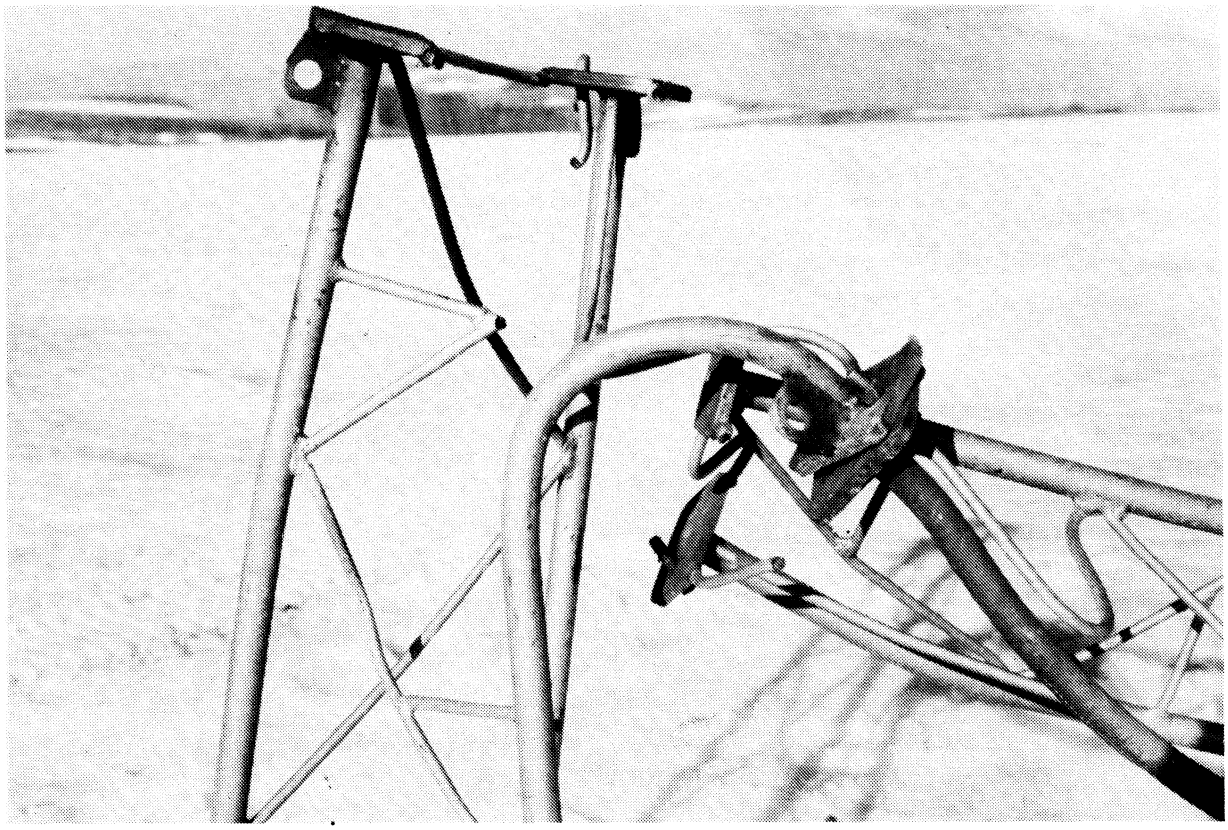
Fig. 2. Massebalansediagrammet for Ålfotbreen viser at likevektslinjen (der kurven for bn krysser y-aksen) ligger høyere enn breen. Hele breen mistet masse i 1988. Jfr. fig. 5. Massetapet var det største som noengang er målt.

This mass-balance diagram shows that the ELA is higher than the top of the glacier, which lost mass all over its surface. The specific figure is - 2.48 m w.eq, which is the largest loss ever observed (since 1963). The summer melt was almost the double of the total winter accumulation.



På Ålfotbreen, Nigardsbreen og Engabreen er vinterakkumulasjonen så stor at det har vist seg vanskelig å holde vanlige staker synlige gjennom hele vinteren, selv om man besøker breen vinterstid og foretar stakeskjøting. Derfor brukes "tårn" som består av 3-meters fagverksledd som skrus sammen til ønsket lengde. I toppen festes en vanlig stake, som i dette tilfelle øker tårnets høyde med ytterligere 3 meter. Foto: Nils Haakensen.

The winter accumulation on the maritime glaciers Ålfotbreen, Nigardsbreen and Engabreen is so large that normal stakes will soon disappear in the snow. Therefore, "towers" made of 3-m long sections are installed on these glaciers. The lower end is normally placed on the previous summer's surface. Here the tower is extended by one 3-m section plus a normal 6-m aluminium stake.



Det hender at selv høye tårn forsvinner i de store snømassene på våre maritimt beliggende breer. Årsaken kan være stor akkumulasjon (ofte over 10 m snø) eller en kombinasjon av snømektighet og bevegelse, snøsig. Her et av tårnene på Ålfotbreen etter en vinter med rekordstort snøfall. Et tårnledd er bøyd, en av boltene har holdt, mens de to andre er røket tvers av. Foto: Nils Haakensen.

Even high "towers" may disappear in the heavy winter accumulation on our maritime glaciers. Large snowfalls (often more than 10 m) may cover all towers, or snow creep may destroy them, as is shown on this picture from the Ålfotbreen glacier, the westernmost among observed glaciers in Norway.

3. NIGARDSBREEN (076.EZ)

Breen ble besøkt 19. januar 1988. Det var da kommet 3.5 m snø.

Akkumulasjonsmålingene ble utført 29.4-7.5 1988 i relativt dårlig vær. Det ble gjort ca 150 sonderinger av snødypet, som stort sett lå mellom 4 og 6 m. Bare 9 staker hadde overlevet vinteren og 5 nye ble satt ut som erstatning for de nedsnødde.

Nigardsbreen ble igjen besøkt 18.-21. juli. 11 staker ble målt.

Minimumsmålingene ble utført 18. oktober i strålende vær. 14 staker ble funnet. Det var kommet rundt 1 m nysnø.

Årets vinterakkumulasjon var nøyaktig lik middelverdien for måleperioden siden 1962 eller 2.24 m vannverdi. Den varme sommeren førte til ekstra stor smelting. Sommerbalansen ble målt til 3.13 m, og det er nesten 60% mer enn middelverdien for måleperioden 1962-88. Bare i 1969 er det målt større smelting. Nettobalansen ble -0.90 m, og det er 1.14 m mindre enn middelverdien. Dette utgjør en ekstra årsavrenning på 28 $l \cdot s^{-1} \cdot km^{-2}$. Bare tre ganger tidligere er det målt mindre nettobalanse (dvs. større breminskning) på Nigardsbreen.

Detaljerte resultater vises i tabell 2 og fig. 3.

NIGARDSBREEN 1988

Høyde intervall m o.h.	Areal S km*2	Vinterbalanse Bw 10x6m*3	m	bw l/s kmx2	Sommerbalanse Bs 10x6m*3	m	bs l/s km*2	Nettobalanse Bn 10x6m*3	m	bn l/s km*2
1900-1960	0.380	1.08	2.85	90	0.51	1.35	43	0.57	1.50	56
1800-1900	3.920	11.05	2.82	89	5.76	1.47	47	5.29	1.35	50
1700-1800	9.390	24.23	2.58	82	17.93	1.91	61	6.29	0.67	25
1600-1700	12.880	31.56	2.45	78	32.97	2.56	81	-1.42	-0.11	-4
1500-1600	9.180	19.83	2.16	68	29.93	3.26	103	-10.10	-1.10	-41
1400-1500	5.820	11.17	1.92	61	21.71	3.73	118	-10.53	-1.81	-67
1300-1400	2.280	3.88	1.70	54	10.35	4.54	144	-6.48	-2.84	-105
1200-1300	0.900	1.41	1.57	50	4.84	5.38	171	-3.43	-3.81	-141
1100-1200	0.450	0.62	1.38	44	2.76	6.14	195	-2.14	-4.76	-177
1000-1100	0.580	0.71	1.23	39	4.00	6.89	218	-3.28	-5.66	-210
900-1000	0.470	0.45	0.95	30	3.57	7.60	241	-3.13	-6.65	-247
800-900	0.440	0.35	0.80	25	3.68	8.37	265	-3.33	-7.57	-281
700-800	0.330	0.23	0.70	22	3.11	9.41	298	-2.87	-8.71	-323
600-700	0.390	0.21	0.55	17	4.01	10.28	326	-3.79	-9.73	-361
500-600	0.240	0.10	0.40	13	2.64	10.98	348	-2.54	-10.58	-393
400-500	0.120	0.04	0.33	10	1.39	11.60	368	-1.35	-11.27	-418
320-400	0.050	0.01	0.25	8	0.62	12.30	390	-0.60	-12.05	-447
320-1960	47.820	106.94	2.24	71	149.78	3.13	99	-42.84	-0.90	-28

Tabell 2.

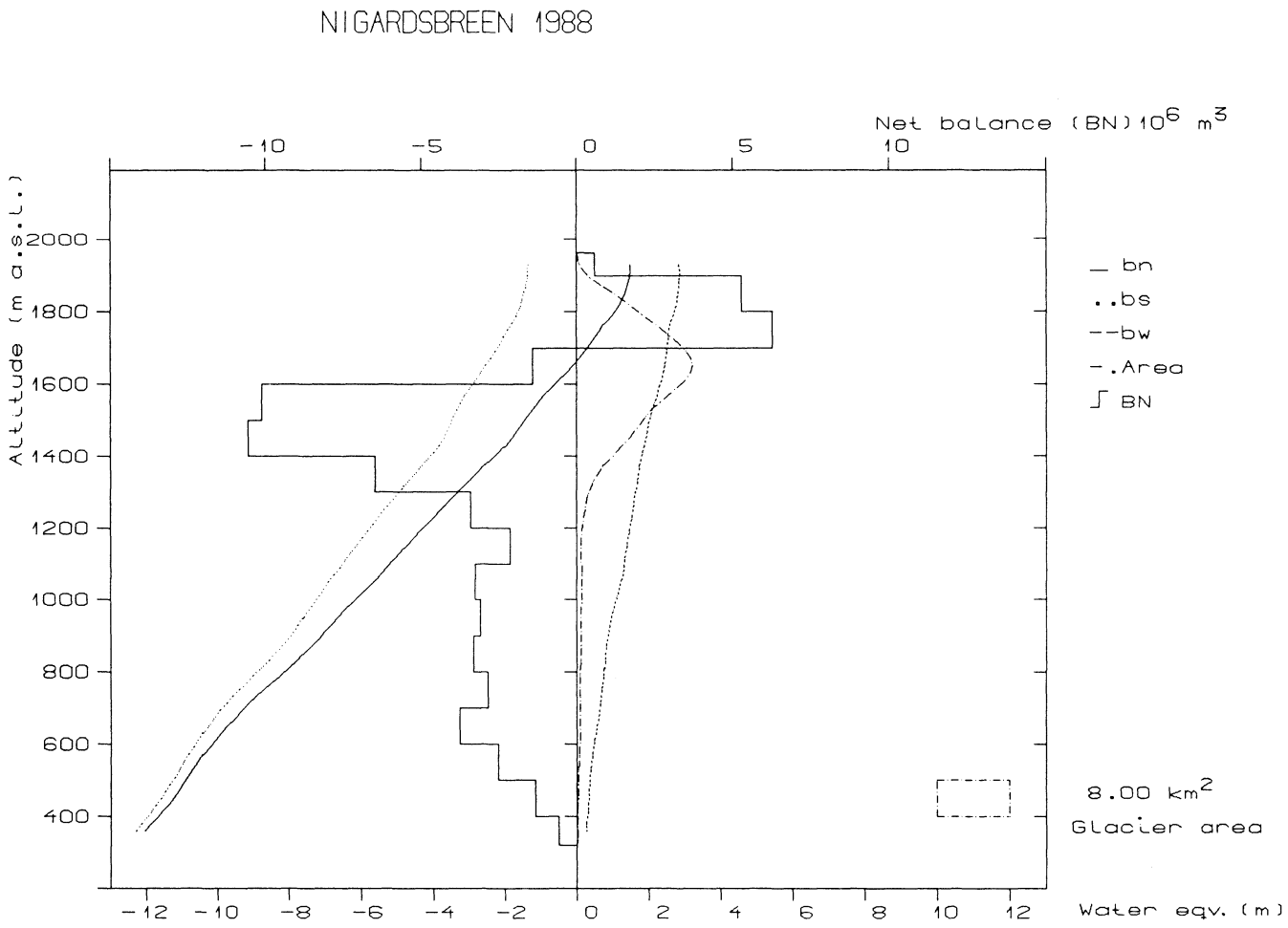


Fig. 3. Massebalansediagrammet for Nigardsbreen viser at bare de aller øverste delene av breen fikk en liten netto tilvekst i 1988. Likevektslinjen lå på ca 1760 m.

The ELA was at about 1760 m, so only small areas got a positive net balance. The main part of Nigardsbreen lost mass in 1988.

Frontmålinger viser at brefronten har smeltet tilbake 18 m i løpet av året.

Den automatiske værstasjonen på Steinmannen har bare delvis vært i virksomhet under året. Vinteren 1987-88 brakk masten med sensorene ned. På sommeren ble det satt opp en ny og mer solid mast.

Stakeskjøting på Nigardsbreens øvre deler - i bakgrunnen Kjenndalskruna. For noen år siden forsøkte vi å bruke ekstra kraftige staker i områder som er utsatt for rimdannelse og nedbøyning pga. sterk vind. Stålrør med 5 cm diameter viste seg å "overleve" bedre enn 34 mm aluminiumsrør, men de var tunge å håndtere og måtte males for å unngå rust. Senere gikk man over til en kombinasjon av "tårn" og aluminiumsstaker. Foto: Nils Haakensen.

Stake extension on Nigardsbreen's upper part - the characteristic peak of Kjenndalskruna is visible to the left. Several years ago we tried to replace the normal 34 mm aluminium stakes with 5 cm steel tubing on areas of heavy riming or strong winds which tended to bend or break the stakes. These steel pipes were stronger, but heavier to handle and they rusted. So in recent years a better solution was a combination of "towers" and aluminium stakes.

4. AUSTDALSBREEN (076.H)

På Austdalsbreen er det foretatt massebalansemålinger, hastighetsmålinger og dessuten er brefronten fotografert med et automatisk kamera.

Akkumulasjonsmålingene ble foretatt i begynnelsen av mai. Fordi det var første gang man målte snøfordelingen på denne breen, ble det gått et relativt tett profilnett. Snøfordelingskartet er vist i fig. 4. Det viser snødyp fra 2 m nederst på breen til 4 m øverst på breen.

Ablasjonen ble målt på 30 staker, de fleste av disse i ablasjonsområdet. Grunnen til det store antall staker er at disse også blir benyttet til hastighetsmålinger.

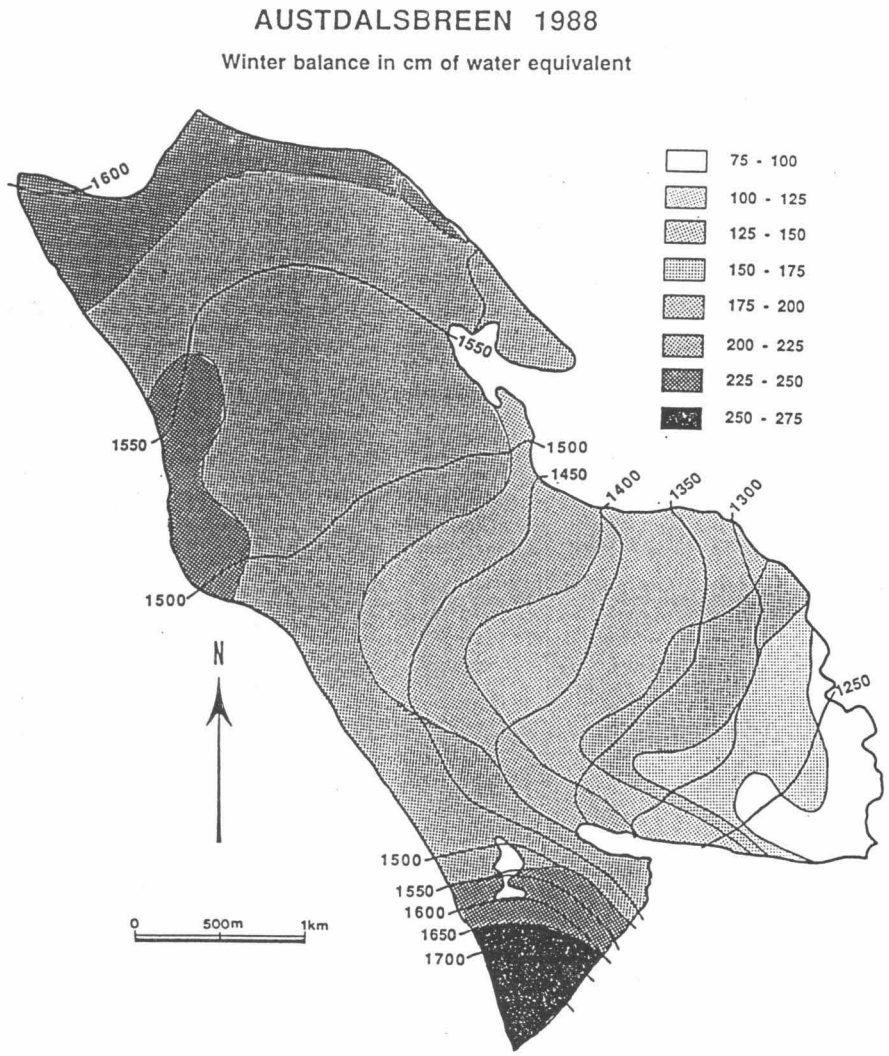


Fig. 4. Akkumulasjonskartet for Austdalsbreen viser at snøens fordelingsmønster øker med høyden, men med endel lokale avvikelser. Se diagrammet, fig. 5.

The snow accumulation increases with height, but with local variations. Compare Fig. 5.

Fig. 5 og tabell 3 viser resultatene av årets målinger. Nettobalansen er svært negativ, som den var på alle breene i Norge i 1988. Vi må tilbake til 1969 for å finne tilsvarende avsmelting på breene i Sør-Norge.

I beregningene er det tatt hensyn til kalvingen ut i Austdalsvatnet. Ved beregningene er kalvingsfronten antatt å være 50 m høy og 600 m bred. Brebevegelsen er 25 m/år. Hvis brefrontens posisjon antas å være stabil, tilsvarer kalvingen et volum på ca 0.7 mill m^3 vann.

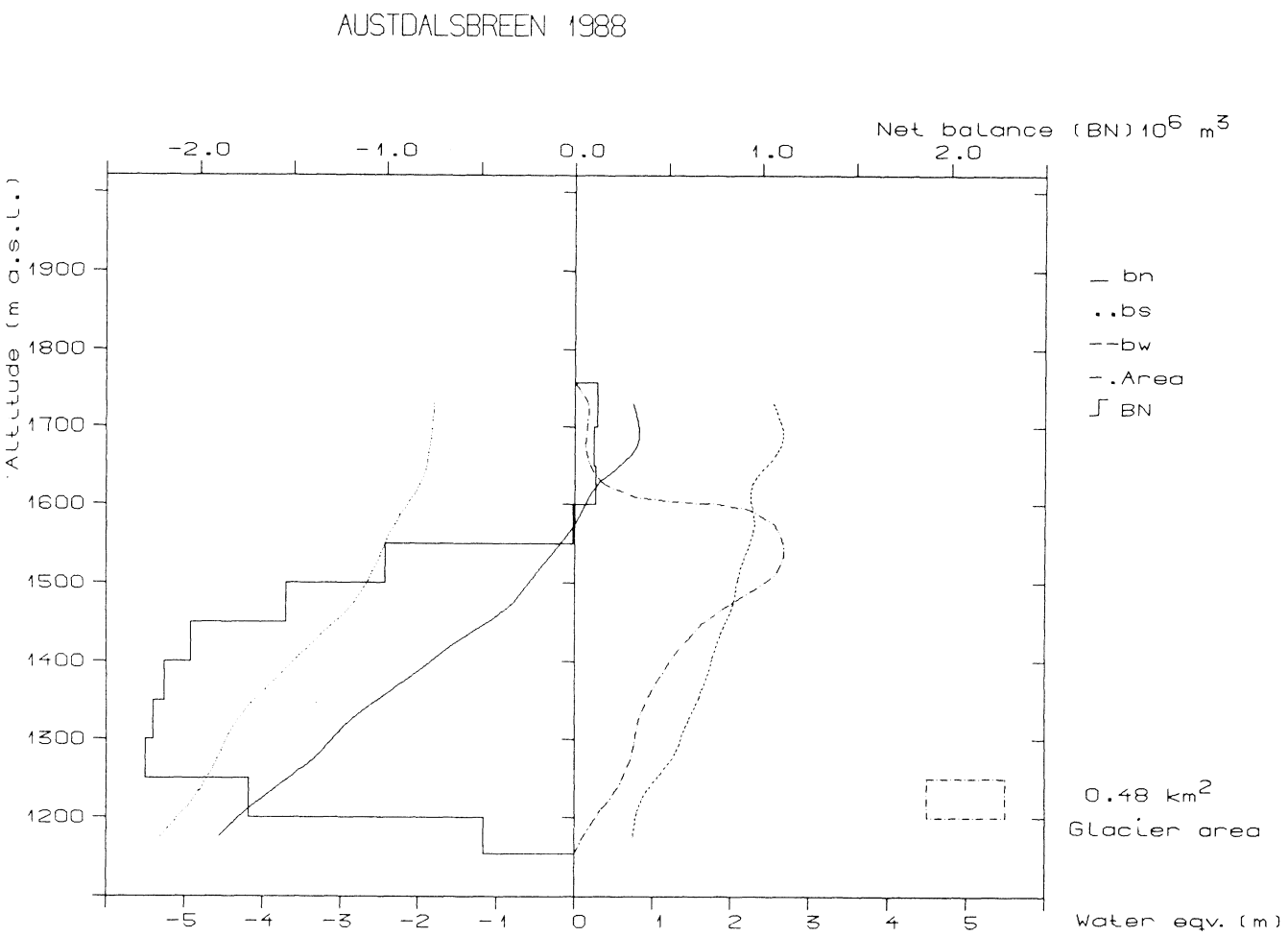


Fig. 5. Massebalansediagrammet for Austdalsbreen viser variasjonene med høyden over havet. Differansen mellom vinterakkumulasjon (bw) og sommeravsmeltning (bs) gir nettobalansekurven (bn). Likevektslinjen på breen, der vintersnøen akkurat såvidt smelter bort, ligger på det nivå der nettobalansekurven skjærer y-aksen, dvs. på ca 1570 m o.h. Bare i et lite område over denne høyden fikk breen et netto overskudd - resten av breflaten tapte masse i 1988.

The ELA was at approximately 1570 m, and only a small portion of the glacier above this altitude gained mass - the main part of the glacier experienced a large mass loss.

AUSTDALSBREEN 1988

Høyde intervall m o.h.	Areal S km*2	Vinterbalanse Bw 10x6m*3	m	bw l/s kmx2	Sommerbalanse Bs 10x6m*3	m	bs l/s km*2	Nettobalanse Bn 10x6m*3	m	bn l/s km*2
1700-1757	0.157	0.40	2.54	80	0.28	1.80	57	0.12	0.74	23
1650-1700	0.128	0.34	2.65	84	0.24	1.85	59	0.10	0.80	25
1600-1650	0.376	0.85	2.27	72	0.74	1.98	63	0.11	0.29	9
1550-1600	2.448	5.63	2.30	73	5.63	2.30	73	-0.01	-0.00	-0
1500 1550	2.539	5.44	2.14	68	6.45	2.54	81	-1.01	-0.40	-13
1450-1500	1.922	3.90	2.03	64	5.44	2.83	90	-1.54	-0.80	-25
1400-1450	1.355	2.48	1.83	58	4.53	3.34	106	-2.05	-1.51	-48
1350-1400	1.010	1.70	1.68	53	3.89	3.85	122	-2.19	-2.17	-69
1300-1350	0.787	1.15	1.46	46	3.40	4.32	137	-2.25	-2.86	-91
1250 1300	0.687	0.86	1.24	39	3.15	4.58	145	-2.29	-3.34	-106
1200-1250	0.435	0.38	0.87	28	2.12	4.88	155	-1.74	-4.01	-127
1155-1200	0.107	0.08	0.75	24	0.57	5.30	168	-0.49	-4.55	-144
1155-1757	11.951	23.19	1.94	62	36.43	3.05	97	-13.24	-1.11	-35
KALVING					2.00			- 2.00		
SUM					38.43	3.22	101	- 15.24	-1.28	-39

Tabell 3.

Frontens tilbakegang på grunn av oppdemmingen av Austdalsvatnet er anslått til ca 50 m i middel over hele bredden. Dette tilsvarer ca 1.3 mill m^3, slik at den totale kalvingen i 1988 var ca 2 mill m^3 av totalt 38 mill. m^3 sommerbalanse.

5. SPØRTEGGBREEN (076.Z Jostedalen; 075.42 Mørkridsdalen)

På Spørteggbreen utføres det enkle massebalansemålinger. Breen ble besøkt 3 ganger i løpet av sesongen, første gang i april da det ble satt ut 7 staker fordelt over hele breen (30 km^2), og sonderingsprofiler ble målt for å kartlegge akkumulasjonsmønstret. På grunnlag av disse målingene og med støtte av flyfotografier er det tegnet et akkumulasjonskart over breen (fig. 6). Snøfordelingen er meget jevn og følger i store trekk høydekotene.

Ablasjonen er fulgt på 7 staker gjennom sommeren. Fig. 7 viser spesifikk akkumulasjon og ablasjon fordelt på høyden, samt den tilhørende nettobalansen. Avsmeltingen har i år vært stor, i likhet med alle breene i Norge.

Da kartgrunnlaget for breen er meget dårlig, og i påvente av både nytt overflatekart og bunnkart, er det ikke beregnet spesifikt avløp til de forskjellige brearmene.

Et anslag for hele breen viser at den har gitt et ekstra tilskudd på ca 30 $l \cdot s^{-1} \cdot km^{-2}$ fordelt til alle vassdragene rundt. Dette tilsvarer et tilskudd fra breen på ca 30 mill. m^3 vann. I beregningene er gjennomsnittlig nettobalanse i 1 600 meters nivå benyttet. Arealet er satt til ca 30 km^2.

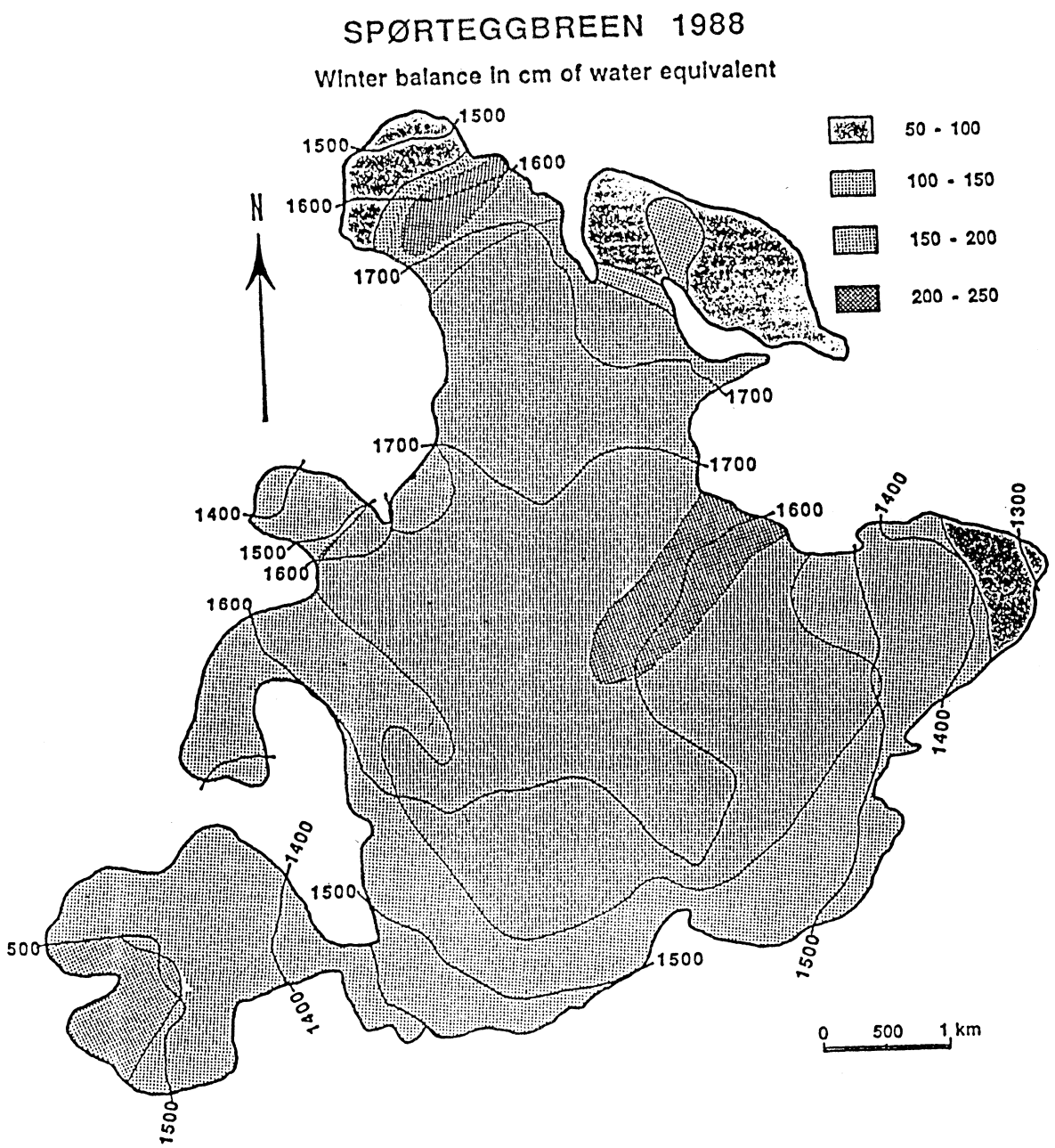


Fig. 6. Akkumulasjonskartet viser nokså jevne snøforhold over store flater på Spørteggbreen, som jo er en liten iskappe.

The snow accumulation on this dome-shaped glacier (a small ice cap) is relatively even.

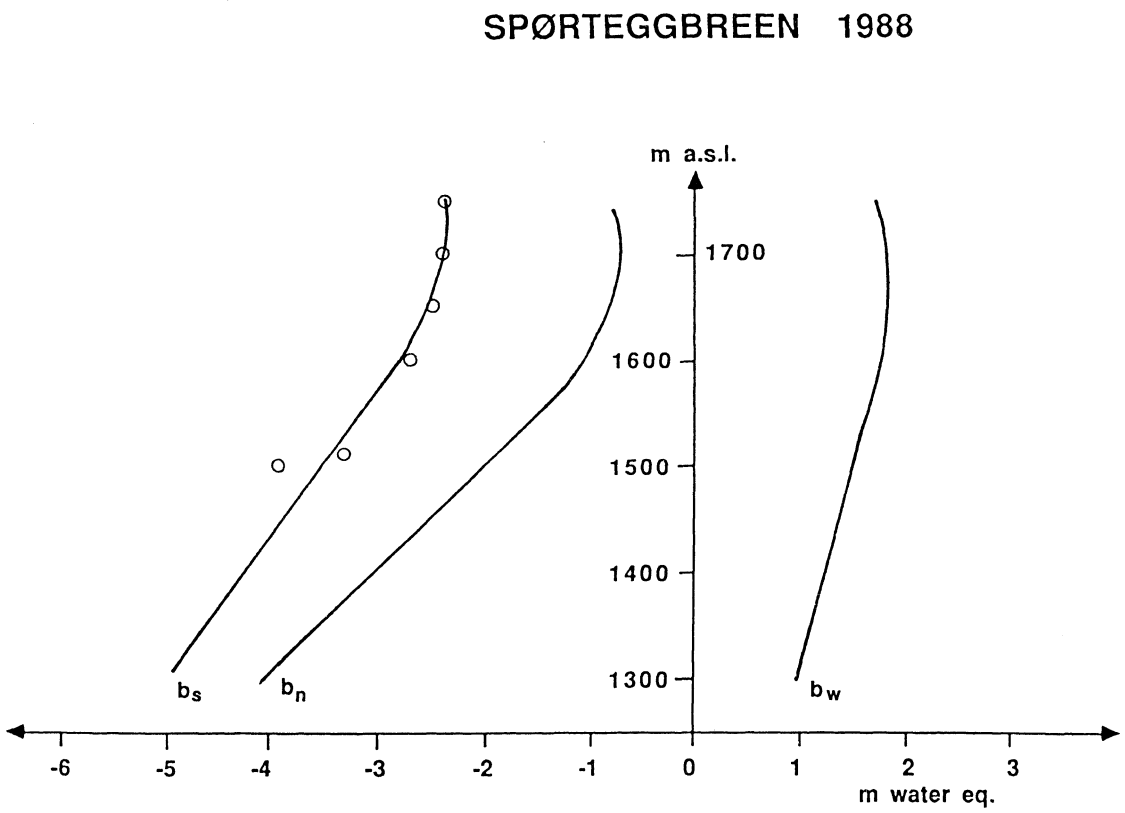


Fig. 7. Massebalansediagrammet viser at hele Spørteggbreen hadde negativ nettobalanse (bn-kurven skjærer ikke y-aksen).

The mass balance diagram indicated that no part of the glacier gained mass in 1988.

Å sondere snødypet ved akkumulasjonsmålingene på våren er ikke alltid lett hvis det er dypt ned til sommeroverflaten. Som sondestav har en bestemt type militære antenner vist seg å fungere bra. Her sonderer Nils Haakensen et ca 10 m tykt snølag med denne type sonde som i praksis vel er den eneste som kan brukes på våre maritime breer.

Snow surveys are made in the spring to determine the thickness of the snowpack. On our maritime glaciers, where the normal winter snow depth amounts to about 10 m, it is required to use specialized equipment. A special type tank antennas in sections of 3 feet are combined to form this sounding stick. It is probably the only type which can be used to determine correctly the depth to the summer surface.

6. HARDANGERJØKULEN (050.4C1Z)

Breen ble besøkt 6.-7. mai 1988 for å måle akkumulasjonen. Sonderingsforholdene var vanskelige. Snømengdene var mindre enn vanlig, pga. en uvanlig mild høst. Dette var spesielt merkbart i de lavereliggende områder på breen. Snødypet var 3-4 meter over ca 1 600 m o.h. og 1 meter i 1 200 m nivået. Fordelt over hele breen tilsvarer dette 1.61 m vannekvivalenter, som er ca 80% av gjennomsnittet.

Minimumsmålinger ble foretatt 14. september. På grunn av en meget varm sommer hadde smeltingen vært stor. Dette resulterte i en nettobalanse på -1.52 m vannekvivalenter, som er ca 150% av gjennomsnittet. Den lavest målte verdi er fra 1969 på -1.9 m. Både årets snømengde og fjorårets overskudd forsvant over hele breen. Smeltingen tilsvarer en vannmengde på ca 3 m jevnt fordelt over breen.

Alle data er vist i tabell 4 og fig. 8.

HARDANGERJØKULEN 1988

Høyde intervall m o.h.	Areal S km*2	Vinterbalanse Bw 10x6m*3	Vinterbalanse bw m	Vinterbalanse bw l/s kmx2	Sommerbalanse Bs 10x6m*3	Sommerbalanse bs m	Sommerbalanse bs l/s km*2	Nettobalanse Bn 10x6m*3	Nettobalanse bn m	Nettobalanse bn l/s km*2
1850-1900	0.070	0.10	1.43	45	0.19	2.65	84	-0.09	-1.22	-39
1800-1850	3.375	5.91	1.75	56	8.94	2.65	84	-3.03	-0.90	-28
1750-1800	3.866	7.54	1.95	62	10.44	2.70	86	-2.90	-0.75	-24
1700-1750	3.910	7.23	1.85	59	10.95	2.80	89	-3.72	-0.95	-30
1650-1700	2.084	3.13	1.50	48	6.04	2.90	92	-2.91	-1.40	-44
1600-1650	0.936	1.31	1.40	44	2.95	3.15	100	-1.64	-1.75	-55
1550-1600	0.640	0.74	1.16	37	2.21	3.45	109	-1.47	-2.29	-73
1500-1550	0.542	0.54	1.00	32	1.92	3.55	113	-1.38	-2.55	-81
1450-1500	0.319	0.29	0.91	29	1.31	4.10	130	-1.02	-3.19	-101
1400-1450	0.196	0.16	0.82	26	0.89	4.55	144	-0.73	-3.73	-118
1350-1400	0.112	0.08	0.71	23	0.56	5.00	159	-0.48	-4.29	-136
1300-1350	0.084	0.06	0.71	23	0.45	5.40	171	-0.39	-4.69	-149
1250-1300	0.270	0.18	0.67	21	1.59	5.90	187	-1.41	-5.23	-166
1200-1250	0.315	0.19	0.60	19	2.00	6.35	201	-1.81	-5.75	-182
1150-1200	0.321	0.19	0.59	19	2.33	7.25	230	-2.14	-6.66	-211
1100-1150	0.115	0.06	0.52	17	0.89	7.75	246	-0.83	-7.23	-229
1050-1100	0.022	0.01	0.45	14	0.18	8.25	262	-0.17	-7.80	-247
1050-1900	17.177	27.72	1.61	51	53.85	3.13	99	-26.13	-1.52	-48

Tabell 4.

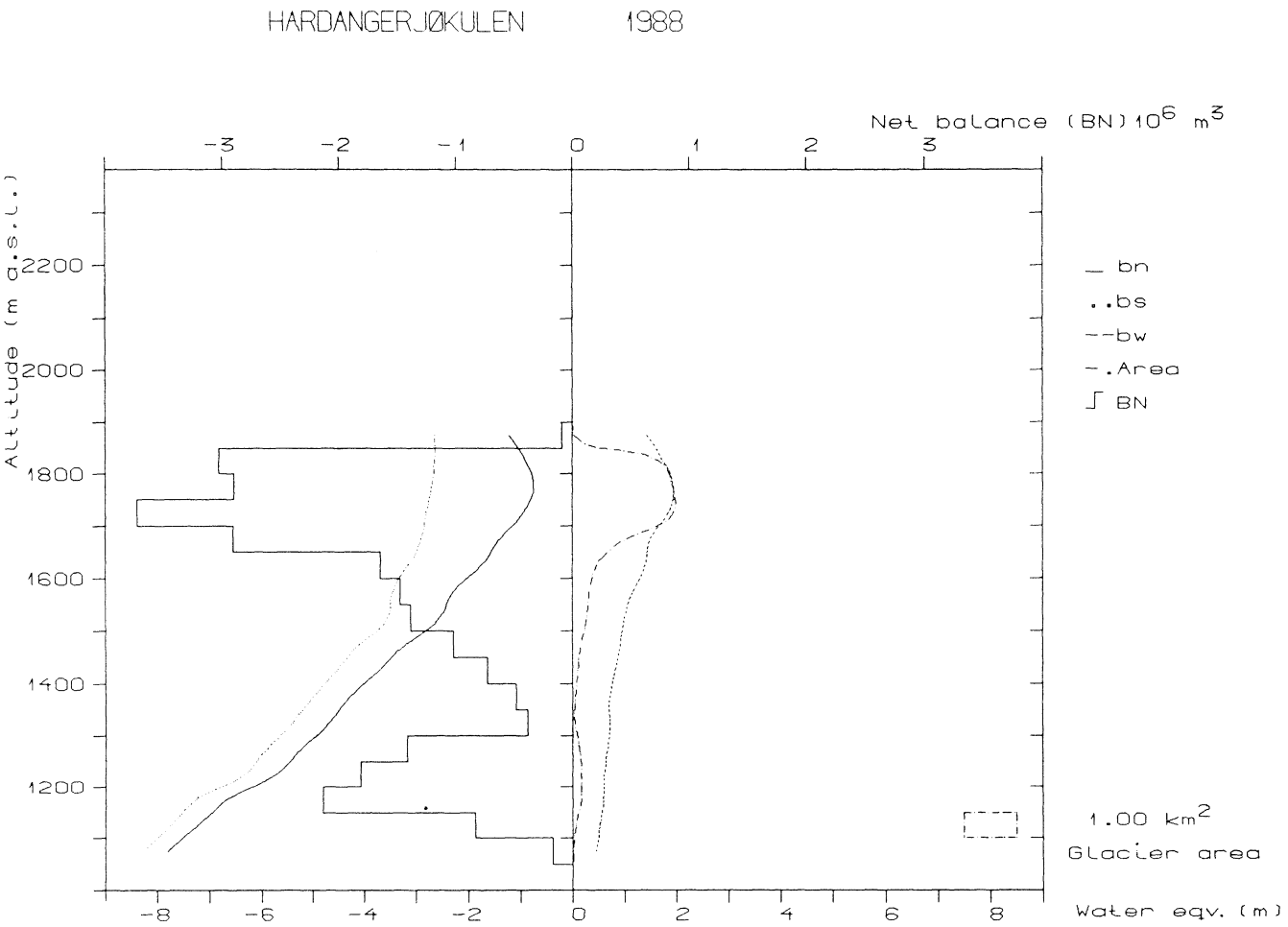


Fig. 8. Massebalansediagrammet viser at Hardangerjøkulen hadde et netto massetap helt til topps. Nettobalansekurven (bn) skjærer ikke y-aksen. På grunn av breens høydefordeling blir nettotapene størst i 16-1800 m og i 11-1300 m nivåene. Dette vises ved den trappeformede kurven.

The ice cap Hardangerjøkulen experienced a net mass loss all over. Due to its surface distribution vs. height, there are two maxima in the histogram, showing the largest total mass loss.

7. STORBREEN (002.DHBBZ)

På Storbreen ble vinterakkumulasjonen målt 12.- 14.mai. Snødybden varierte fra vel 2 m på nedre del av breen til rundt 3.5 m på øvre del av breen. Resultatet ble 1.45 m målt i spesifikk vannverdi. Dette er nokså nær et gjennomsnittsår, middelverdien for måleperioden 1949-1988 er nemlig 1.36 m.

Sommeren 1988 var varm og ga en ablasjon på hele 2.40 m som er 144% av et middelår (1.67 m). Minimumsmålingene ble foretatt 6.-7. september.

Nettobalansen ble dermed negativ, -0.95 m. Bare fem år siden 1949 har vist større negativ balanse. Likevektslinjen ble liggende høyt, ca 1 970 m o.h. Se fig. 9. Den kumulative nettobalansen siden 1949 er beregnet til -11.67 m vannekvivalenter. Se også oversiktsfigurene på side 53 og 74.

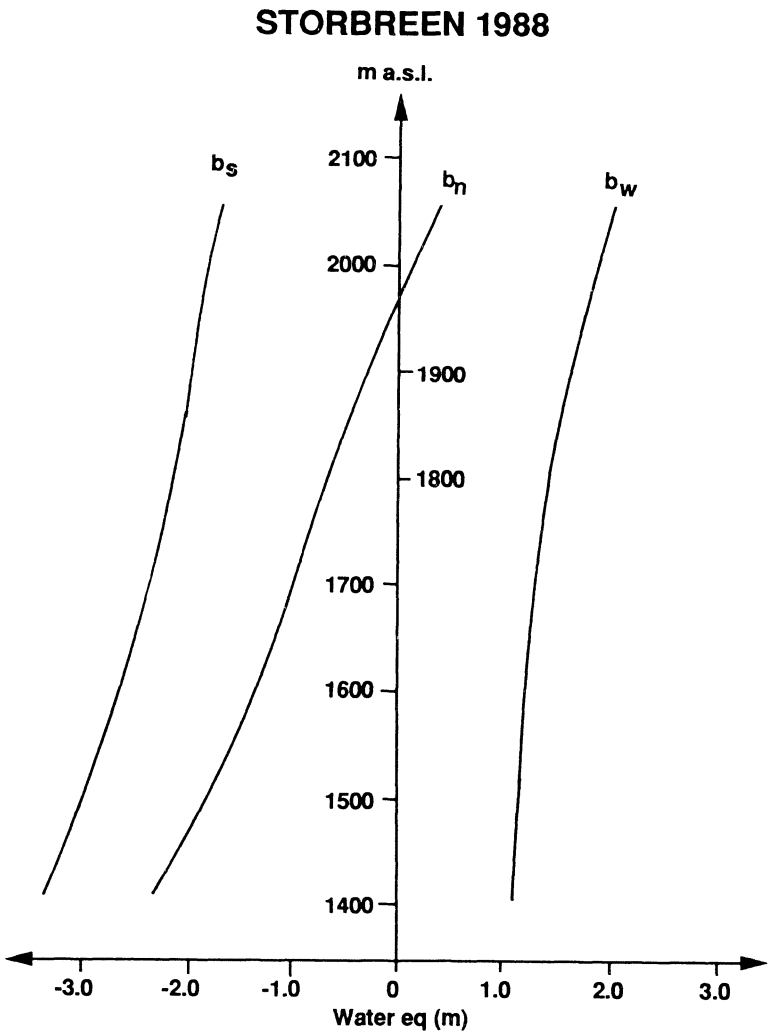


Fig. 9. På Storbreen lå likevektslinjen på ca 1970 m, men av dette diagrammet framgår ikke størrelsen av nettotilvekst, resp. tap, slik som på de fleste andre diagrammer i rapporten.

ELA on Storbreen was 1970 m a.s.l. so a small, upper part of the glacier got a positive net balance. The overall balance was, however, strongly negative, see text.

8. HELLSTUGUBREEN (002.DHBAZ)

Akkumulasjonsmålingene ble utført 28.-29. april. Sonderingsforholdene var noe vanskelige på de øverste delene pga. dårlig utviklet sommeroverflate. 10 av 13 staker hadde overlevet vinteren, og det gjorde usikkerheten mindre. Det ble gjort 110 sonderinger langs 11 km sonderingsprofiler og tatt snøprøve ned til 3 m i 1950 m nivå. Snødypet varierte fra vel 4 m på breens øvre deler til 1.2 m nederst på tungen. Vinterbalansen er beregnet til 1.28 m vannekvivalenter, hvilket er 119% av middelverdien for måleperioden 1962-88.

Ved besøk 16. juli ble alle stakene funnet og kontrollert.

Minimumsmålingene ble utført 16. september. Den varme sommeren hadde gitt svært stor avsmelting. På bretungen hadde det smeltet ca 4 m is, og selv på breens øverste deler var ablasjonen nesten 2 m. Totalt er sommerbalansen beregnet til 2.32 m som er 165% av middelverdien for perioden 1962-88, og den største sommerbalanse som noengang er målt på Hellstugubreen.

Breens nettobalanse ble -1.04 m, mens middelverdien er -0.33 m. Til tross for relativt stor vinterbalanse er det bare i 1969 og 1980 at det er målt mindre nettobalanse (dvs. et større massetap) på Hellstugubreen. Det målte underskuddet tilsvarer et ekstra avløp fra breen på 33 $l \cdot s^{-1} \cdot km^{-2}$.

Det var svært lite igjen av årets snø på breen. Selv over 2 000 m var det store områder som var frilagt for årets snø. Likevektslinjens høyde er beregnet til 2 010 m o.h. (se fig. 10) og dette er 180 m høyere enn for et år når breen er i balanse. Detaljerte data vises i tabell 5.

HELLSTUGUBREEN 1988

Høyde intervall m o.h.	Areal S km*2	Vinterbalanse Bw 10x6m*3	m	bw 1/s kmx2	Sommerbalanse Bs 10x6m*3	m	bs 1/s km*2	Nettobalanse Bn 10x6m*3	m	bn 1/s km*2
2150-2200	0.020	0.04	2.20	70	0.02	0.90	29	0.03	1.30	48
2100-2150	0.084	0.17	2.08	66	0.08	1.01	32	0.09	1.07	40
2050-2100	0.252	0.48	1.91	61	0.32	1.25	40	0.17	0.66	24
2000-2050	0.173	0.29	1.65	52	0.26	1.51	48	0.02	0.14	5
1950-2000	0.351	0.52	1.49	47	0.62	1.77	56	-0.10	-0.28	-10
1900-1950	0.599	0.81	1.36	43	1.14	1.90	60	-0.32	-0.54	-20
1850-1900	0.351	0.46	1.30	41	0.83	2.36	75	-0.37	-1.06	-39
1800-1850	0.326	0.40	1.24	39	0.89	2.72	86	-0.48	-1.48	-55
1750-1800	0.141	0.13	0.94	30	0.41	2.90	92	-0.28	-1.96	-73
1700-1750	0.098	0.09	0.90	29	0.31	3.14	100	-0.22	-2.24	-83
1650-1700	0.163	0.14	0.85	27	0.54	3.30	105	-0.40	-2.45	-91
1600-1650	0.130	0.10	0.80	25	0.44	3.40	108	-0.34	-2.60	-96
1550-1600	0.173	0.12	0.67	21	0.61	3.54	112	-0.50	-2.87	-106
1500-1550	0.093	0.05	0.53	17	0.34	3.70	117	-0.29	-3.17	-118
1450-1500	0.027	0.01	0.45	14	0.11	3.90	124	-0.09	-3.45	-128
1450-2200	2.981	3.82	1.28	41	6.91	2.32	74	-3.09	-1.04	-33

Tabell 5.

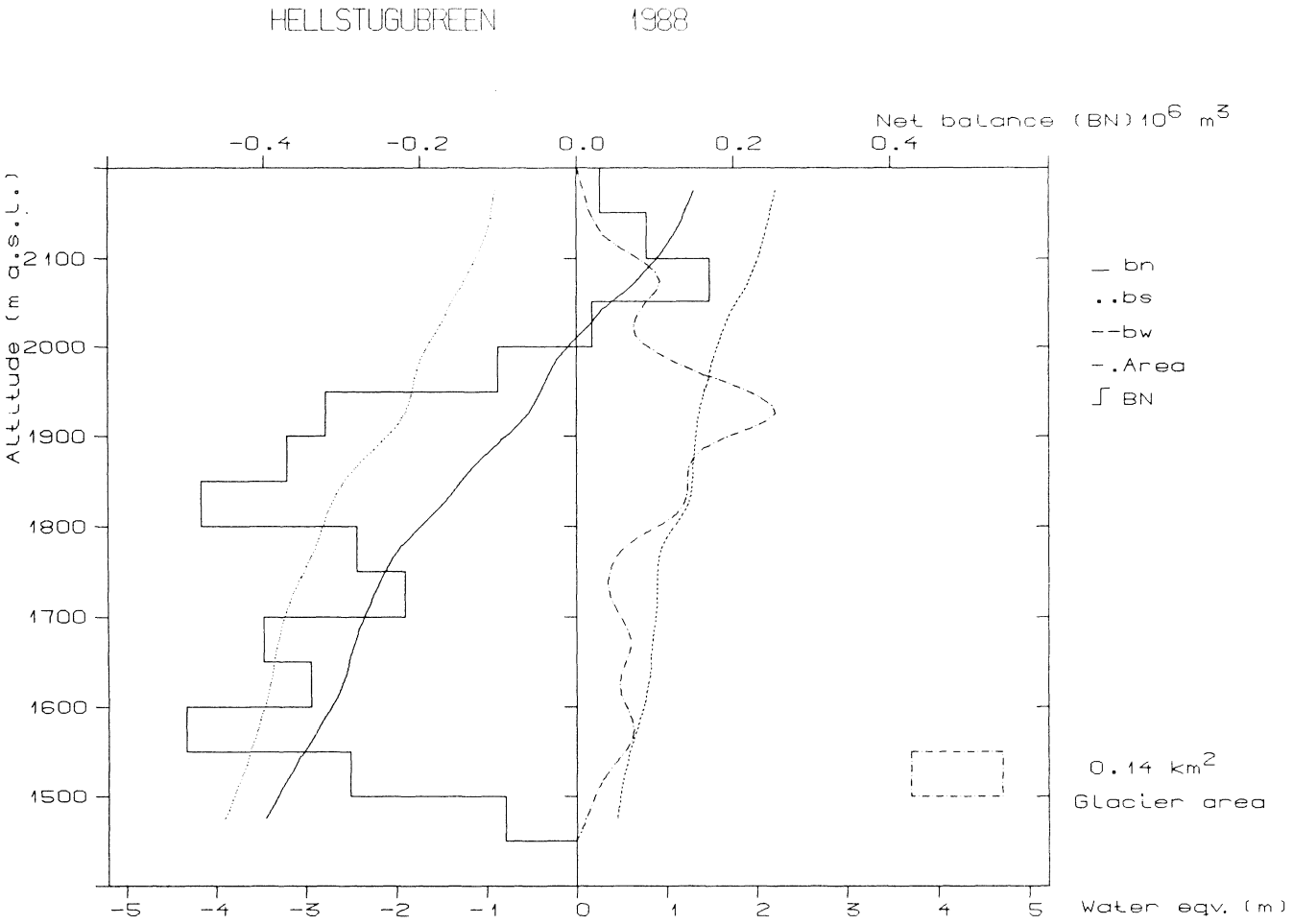


Fig. 10. Også Hellstugubreen hadde en svært negativ massebalanse i 1988. Likevektslinjen lå på ca 2010 m, slik at bare en liten del av breens øverste deler fikk netto massebalanseoverskudd.

Only the relatively small areas above approx. 2010 m a.s.l. showed a positive net balance, so in total, the glacier lost a very large mass in 1988. The spesific value amonted to -1.04 m while the average since 1962 is only -0.33 m.

9. GRÅSUBREEN (002.DGDC)

På Gråsubreen ble akkumulasjonsmålingene utført 30. april. Bare 16 av 25 staker hadde overlevet vinteren. Pga. den kalde forutgående sommeren, var sonderingsforholdene stedvis vanskelige, men de mange stakene med kjent høyde over sommeroverflaten var av stor betydning for å gjøre resultatet sikrere. Det ble gjort 112 sonderinger langs 11.5 km sonderingsprofiler og tatt tetthetsprøve ned til 2.20 m i høyde 2 170 m o.h. Snødypet var stort sett mellom 2 og 3 m. Akkumulasjonen er beregnet til 1.08 m vannekvivalenter. Dette er 150% av midlere akkumulasjon i måleperioden 1962-88. Bare i 1967 ble det målt større vinterbalanse på Gråsubreen.

En kontroll av stakenettet ble gjort 18. juli.

Minimumsmålingene ble utført 18. september. Smeltingen hadde da vært ca 1 m vann øverst på breen og 3 m nederst. Jevnt fordelt over hele breens overflate var sommerbalansen 1.66 m som er 160% av middelverdien i måleperioden. Siden 1962 er det bare i 1969 og 1975 at det har vært målt større sommerbalanse.

Til tross rekordmessig vinterbalanse resulterte målingene i et underskudd på -0.58 m vannekvivalenter. Det er 0.27 cm mindre enn middelverdien på -0.31 m for perioden 1962-88.

Fra massebalansediagrammet (fig. 11) er likvektslinjen beregnet til å ligge på 2195 m o.h. og dette er ca 80 m høyere enn i et år når breen er i likevekt. I tabell 6 fines detaljerte data for 50 m hvert høydeintervall.

GRÅSUBREEN 1988

Høyde intervall m o.h.	Areal S km*2	Vinterbalanse Bw 10x6m*3	m	bw l/s km*2	Sommerbalanse Bs 10x6m*3	m	bs l/s km*2	Nettobalanse Bn 10x6m*3	m	bn l/s km*2
2250-2290	0.037	0.04	1.14	36	0.03	0.85	27	0.01	0.29	9
2200-2250	0.162	0.19	1.17	37	0.15	0.92	29	0.04	0.25	8
2150-2200	0.256	0.26	1.01	32	0.30	1.19	38	-0.05	-0.18	-6
2100-2150	0.335	0.34	1.02	32	0.47	1.39	44	-0.12	-0.37	-12
2050-2100	0.380	0.43	1.12	36	0.60	1.58	50	-0.17	-0.46	-15
2000-2050	0.414	0.46	1.10	35	0.74	1.79	57	-0.29	-0.69	-22
1950-2000	0.369	0.39	1.05	33	0.73	1.99	63	-0.35	-0.94	-30
1900-1950	0.154	0.17	1.10	35	0.38	2.44	77	-0.21	-1.34	-42
1850-1900	0.092	0.10	1.10	35	0.26	2.78	88	-0.15	-1.68	-53
1850-2290	2.199	2.37	1.08	34	3.66	1.66	53	-1.29	-0.59	-19

Tabell 6.

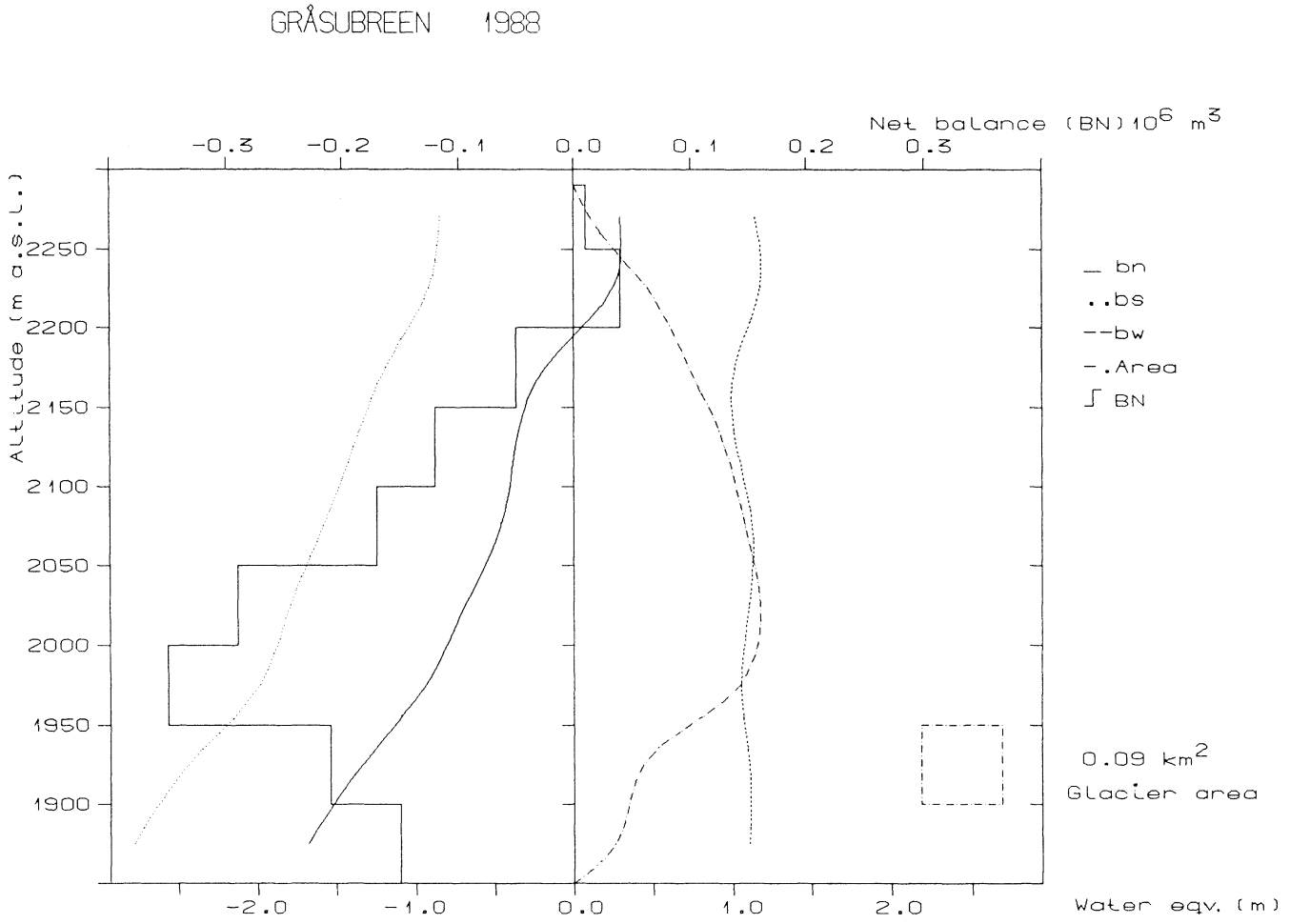


Fig. 11. Likevektslinjen kom til å ligge på 2195 m slik at bare en meget liten del av breen fikk et netto overskudd i 1988. Breens høydefordeling gjør at de største tapene kom i området omkring 2000 m o.h.

The higest situated Norwegian glacier under study is Gråsubreen, located in a continental (eastern) part of Jotunheimen. The winter balance is the second largest observed since 1962. Only in 1967 this glacier received more winter snow. However, the net balance turned out to be negative, see text.

10. SVARTISHEIBREEN (159.33A)

Målingene på Svartisheibreen ble startet den 12. sept 1987 da 14 staker ble satt ut på breen. Posisjonene ble innmålt. Den 9. desember 1987 ble 7 staker funnet og skjøtt. Ved et nytt besøk den 9. februar 1988 ble 6 av stakene funnet og skjøtt.

Akkumulasjonsmålingene ble utført 25. mai i svært godt vær og 9 staker ble funnet. Det ble gjort 125 snødypsonderinger og tatt en tetthetsprøve. Snødypet varierte mellom 2 og 6 m.

Ved et besøk den 27. juli ble 7 av de utsatte 14 stakene funnet og boret om. De 5 nederste stakene ble ikke funnet pga. tåke.

Minimumsmålingene ble gjort 18. oktober. Da ble 6 staker funnet. Antakelig er noen staker blitt borte ved at de har smeltet helt ut og er falt overende.

Akkumulasjonsmålingene ga en vinterbalanse på 2.42 m, som er 7% mer enn på Engabreen og 12% mer enn på Storglombreen.

Sommerbalansen ble målt til 4.03 m, som er svært nær det som ble målt på Engabreen og Storglombreen på Vestre Svartisen. Nettobalansen ble da -1.61 m, som er 10% større enn Vestre Svartisen som hadde ca -1.80 m. Det tilsvarer en nettoavrenning på 51 $l \cdot s^{-1} \cdot km^{-2}$. Resultatene er ellers vist i tabell 7 og fig. 12.

SVARTISHEIBREEN 1988

Høyde intervall m o.h.	Areal S km*2	Vinterbalanse Bw 10x6m*3	m	bw l/s kmx2	Sommerbalanse Bs 10x6m*3	m	bs l/s km*2	Nettobalanse Bn 10x6m*3	m	bn l/s km*2
1400-1420	0.010	0.03	3.25	103	0.02	1.80	57	0.01	1.45	46
1350-1400	0.140	0.46	3.28	104	0.29	2.07	66	0.17	1.21	38
1300-1350	0.250	0.81	3.22	102	0.56	2.24	71	0.25	0.98	31
1250-1300	0.370	1.16	3.13	99	0.94	2.55	81	0.21	0.58	18
1200-1250	0.330	1.00	3.04	96	0.93	2.83	90	0.07	0.21	7
1150-1200	0.360	1.09	3.03	96	1.11	3.08	98	-0.02	-0.05	-2
1100-1150	0.340	0.99	2.92	93	1.15	3.39	107	-0.16	-0.47	-15
1050-1100	0.350	0.96	2.74	87	1.30	3.70	117	-0.34	-0.96	-30
1000-1050	1.070	2.62	2.45	78	4.34	4.06	129	-1.72	-1.61	-51
950-1000	0.630	1.37	2.17	69	2.68	4.26	135	-1.32	-2.09	-66
900-950	0.540	1.03	1.91	61	2.54	4.71	149	-1.51	-2.80	-89
850-900	0.310	0.56	1.80	57	1.60	5.17	164	-1.04	-3.37	-107
800-850	0.350	0.59	1.68	53	1.96	5.61	178	-1.38	-3.93	-125
770-800	0.430	0.59	1.38	44	2.64	6.14	195	-2.05	-4.76	-151
770-1420	5.480	13.26	2.42	77	22.08	4.03	128	-8.82	-1.61	-51

Tabell 7.

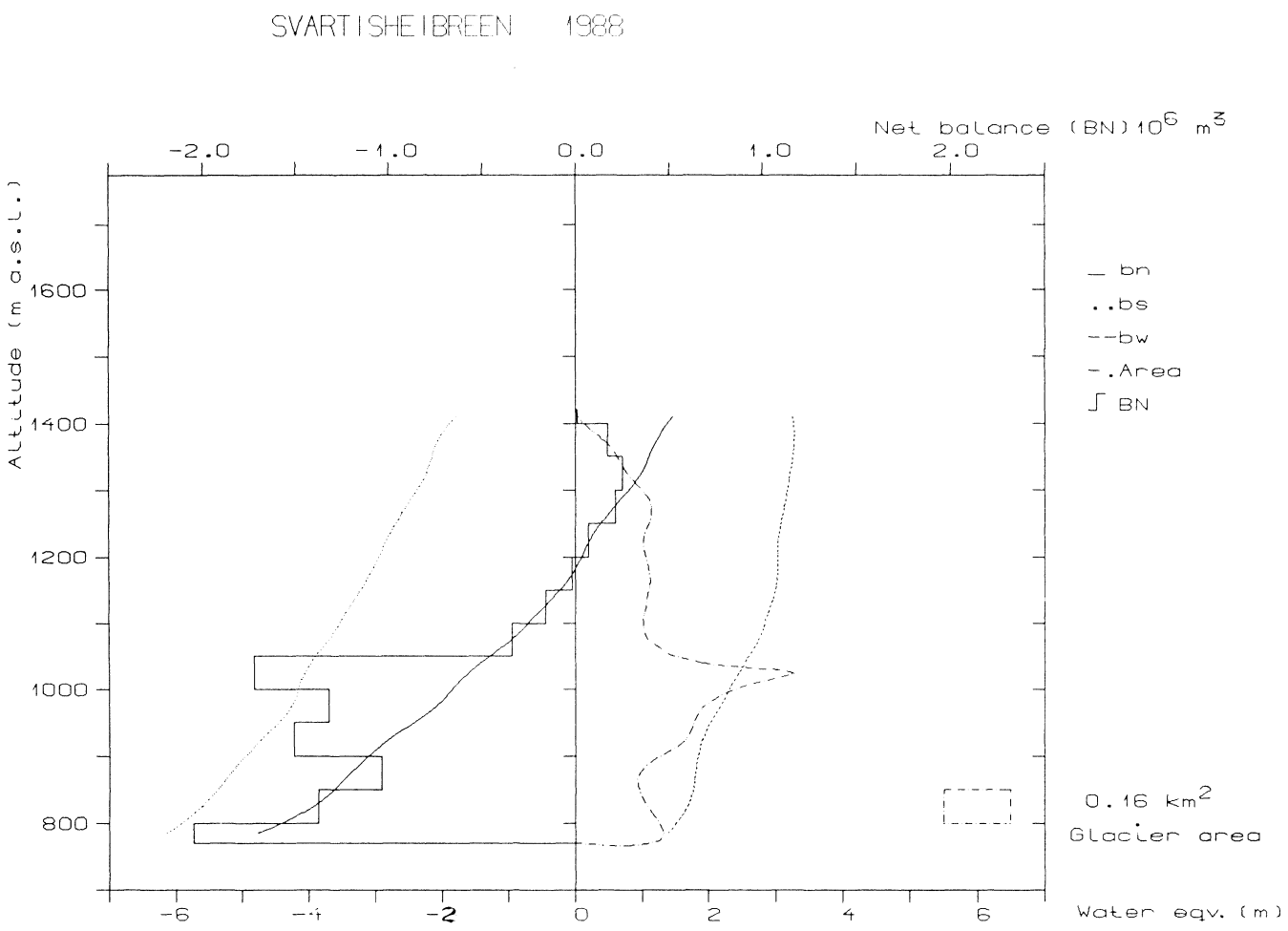


Fig. 12. Da målingene startet høsten 1987, er dette første gang et massebalansediagram er opprettet for Svartisheibreen. Likevektslinjen ligger på ca 1175 m, og størstedelen av breflaten fikk en negativ nettobalanse. Spesifikt uttrykt ble resultatet nokså likt Engabreens.

This is the first mass balance diagram from Svartisheibreen, where investigations started in September, 1987. ELA is about 1175 m a.s.l. and the spesific net balance turned out to be almost the same as for Engabreen.

11. ENGABREEN OG STORGLOMBREEN (159.81 og 160.Z)

Massebalansemålingene på Vestre Svartisen fortsatte på samme måte som tidligere år på Engabreen (38 km^2) og Storglombreen (59 km^2). Tilsammen utgjør disse to breenhetene 44% av arealet av Vestre Svartisen.

Første besøk på Svartisen vinteren 1987/88 foregikk 9.-15. desember 1987. Da kom et uventet kraftig uvær med sterkt snøfall, og det lot seg bare gjøre å finne to staker som sto nær hytten. Hele 3.5 m snø der tilsa at de fleste stakene ute på Engabreen og Storglombreen måtte være forsvunnet, og videre arbeid ble derfor oppgitt.

9.-12. februar ble breen besøkt på nytt. De to tårnene på Engabreen ble funnet, samt de to stakene som ble skjøtt i desember. Alle andre staker var selvfølgelig borte. Det var kommet 3.5 - 4 m snø.

Akkumulasjonsmålingene ble utført 26. mai - 1. juni under gode værforhold, og arbeidet ble gjort uten værhindringer. Snødypet varierte fra 4.0-6.5 m. På Engabreen hadde kun 4 staker overlevet vinteren og 8 nye ble satt ut. På Storglombreen hadde ingen staker overlevet og samtlige 9 staker ble satt ut igjen.

Neste besøk ble utført den 28.-30. juli. Pga. den varme sommeren og den store avsmeltingen ble alle staker som var snødd ned i løpet av vinteren funnet både på Engabreen og Storglombreen.

Minimumsmålingene ble utført den 18.-19. oktober. Både på Engabreen og Storglombreen ble 9 staker funnet. Den store avsmeltingen har utviklet en meget klar sommeroverflate, bortsett fra de høyeste områdene. Sommeroverflaten vil derfor bli lett identifiserbar ved kommende vårs akkumulasjonsmåling.

Resultatene av massebalansemålingene viser en vinterakkumulasjon litt under normalt og en rekordmessig stor avsmelting. Dette resulterte i den minste nettobalansen som har vært målt (altså rekordstor breminskning).

<u>Engabreen 1988</u> (19 års målinger)

Vinterbalanse	2.26 m	86 mill m^3	78% av middel
Sommerbalanse	4.05 m	154 mill m^3	174% av middel
Nettobalanse	-1.79 m	- 68 mill m^3	middel er +0.54 m

Nettobalansen på Engabreen tilsvarer en ekstra spesifikk avrenning fra breen på 57 $l \cdot s^{-1} \cdot km^{-2}$.

Storglombreen 1988 (4 års målinger)

Vinterbalanse	2.06 m	122 mill m^3	100% av middel
Sommerbalanse	3.88 m	229 mill m^3	139% av middel
Nettobalanse	-1.82 m	-107 mill m^3	middel er -0.74 m

Nettobalansen på Storglombreen tilsvarer en ekstra spesifikk avrenning på 58 $l \cdot s^{-1} \cdot km^{-2}$ fra breen.

En må være oppmerksom på at middelverdiene for Engabreen og Storglombreen ikke kan sammenlignes. Storglombreen har vært målt i perioden 1985-1988 og i denne perioden har Engabreen hatt både mindre vinterbalanse og større sommerbalanse enn i hele måleperioden 1970- 88.

Sammenligning mellom Engabreen og Storglombreen for perioden 1985-88 gir flg. resultater for 1988 i forhold til middelverdien.

	Engabreen	Storglombreen
Vinterbalanse	100%	100%
Sommerbalanse	154%	139%
Nettobalanse 1988	-1.79 m	-1.82 m
Midl.nettobal.1985-88	-0.37 m	-0.74 m

Detaljerte resultater er vist i tabellene 8 og 9 og figurene 13 og 14.

For å sette ned staker i breen er håndboret ennå det mest anvendte. Det tar ½-1 time å bore hull for en normal stake.

The hand-operated drill is still the most used equipment to insert stakes in glaciers. A skilled person can drill a normal hole in ½-1 hour.

ENGABREEN 1988

Høyde intervall m o.h.	Areal S km*2	Vinterbalanse Bw 10x6m*3	m	bw l/s kmx2	Sommerbalanse Bs 10x6m*3	m	bs l/s km*2	Nettobalanse Bn 10x6m*3	m	bn l/s km*2
1500-1594	0.120	0.24	1.97	62	0.26	2.20	70	-0.03	-0.23	-9
1400-1500	2.510	6.65	2.65	84	6.40	2.55	81	0.25	0.10	4
1300-1400	9.350	25.43	2.72	86	28.80	3.08	98	-3.37	-0.36	-13
1200-1300	8.550	21.12	2.47	78	31.04	3.63	115	-9.92	-1.16	-43
1100-1200	7.600	16.42	2.16	68	31.46	4.14	131	-15.05	-1.98	-73
1000-1100	4.660	9.18	1.97	62	22.09	4.74	150	-12.91	-2.77	-103
900-1000	2.460	4.11	1.67	53	13.31	5.41	172	-9.20	-3.74	-139
800-900	0.940	1.34	1.43	45	5.66	6.02	191	-4.31	-4.59	-170
700-800	0.500	0.64	1.28	41	3.33	6.66	211	-2.69	-5.38	-200
600-700	0.370	0.37	0.99	31	2.74	7.40	235	-2.37	-6.41	-238
500-600	0.270	0.21	0.76	24	2.16	8.01	254	-1.96	-7.25	-269
400-500	0.210	0.09	0.45	14	1.87	8.91	283	-1.78	-8.46	-314
300-400	0.170	0.04	0.24	8	1.63	9.59	304	-1.59	-9.35	-347
200-300	0.220	0.01	0.05	2	2.22	10.11	321	-2.21	-10.06	-373
40-200	0.090	0.00	0.00	0	0.97	10.82	343	-0.97	-10.82	-401
40-1594	38.020	85.84	2.26	72	153.95	4.05	128	-68.10	-1.79	-57

Tabell 8.

STORGLOMBREEN 1988

Høyde intervall m o.h.	Areal S km*2	Vinterbalanse Bw 10x6m*3	m	bw l/s km*2	Sommerbalanse Bs 10x6m*3	m	bs l/s km*2	Nettobalanse Bn 10x6m*3	m	bn l/s km*2
1500-1580	0.150	0.30	1.97	62	0.30	2.00	63	-0.00	-0.03	-1
1400-1500	0.570	1.29	2.26	72	1.24	2.17	69	0.05	0.09	3
1300-1400	3.370	8.83	2.62	83	8.76	2.60	82	0.07	0.02	1
1200-1300	13.320	32.90	2.47	78	43.82	3.29	104	-10.92	-0.82	-26
1100-1200	24.000	54.24	2.26	72	83.76	3.49	111	-29.52	-1.23	-39
1000-1100	9.080	16.62	1.83	58	36.32	4.00	127	-19.70	-2.17	-69
900-1000	5.210	5.73	1.10	35	25.63	4.92	156	-19.90	-3.82	-121
800-900	1.890	1.38	0.73	23	11.17	5.91	187	-9.79	-5.18	-164
700-800	0.900	0.54	0.60	19	6.00	6.67	212	-5.46	-6.07	-192
600-700	0.430	0.23	0.53	17	3.18	7.39	234	-2.95	-6.86	-217
520-600	0.240	0.10	0.42	13	1.93	8.04	255	-1.83	-7.62	-242
520-1580	59.160	122.15	2.06	65	222.12	3.75	119	-99.97	-1.69	-54
KALVING					7.20			-7.20		
SUM					229.32	3.88	123	-107.17	-1.82	-58

Tabell 9.

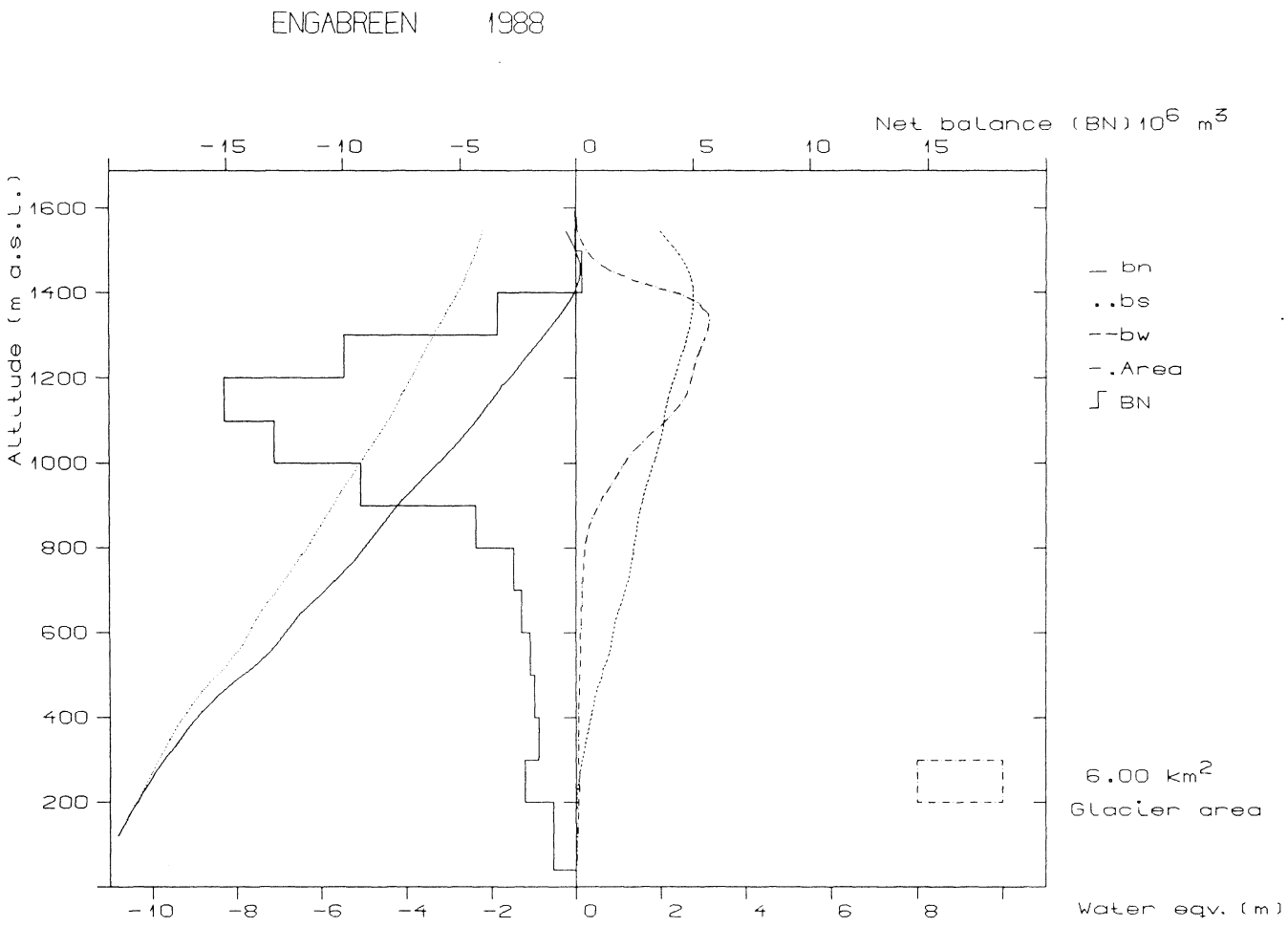


Fig. 13. For Engabreen kom likevektslinjen til å ligge nær breens høyeste punkt, slik at praktisk talt hele breen fikk et netto massetap i 1988. På grunn av breens arealfordeling med høyden, forekom de største totaltapene omkring 11-1200 m o.h. Spesifikt ble nettotapet -1.79 m, og dette er rekord for de 19 årene breen har vært målt. Breen ga 68 mill. m^3 ekstra vann til vassdraget.

Engabreen is the largest outlet glacier from the Svartisen icecap. Almost the entire glacier experienced a net mass loss in 1988, larger than ever observed during the last 19 years. ELA was about 1450 m a.s.l., which is close to the summit.

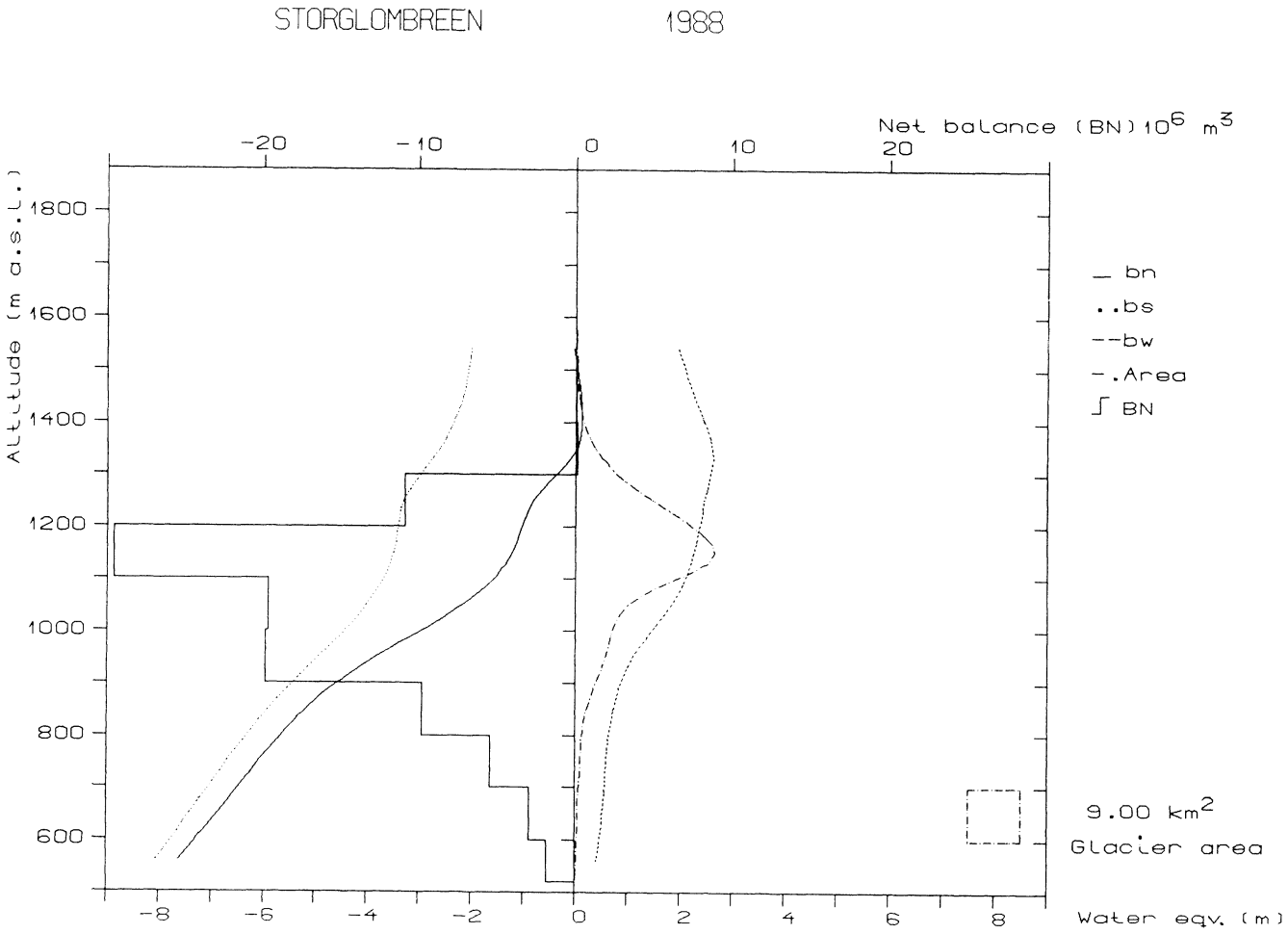
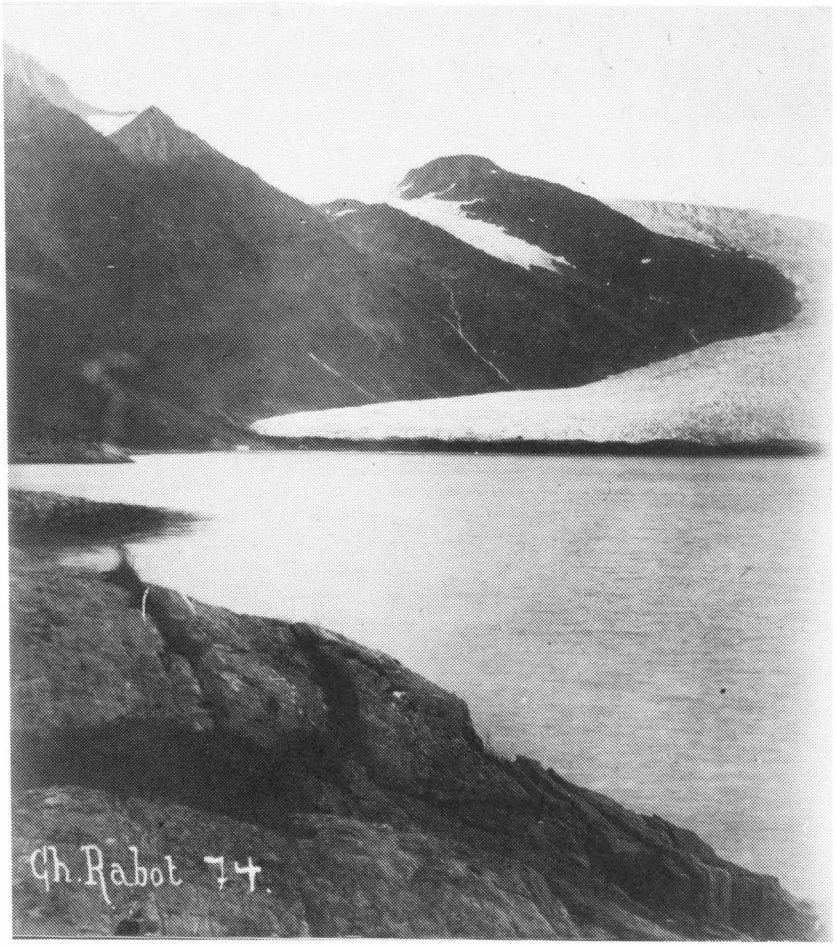


Fig. 14. Storglombreen grenser opp mot Engabreen, men renner ned mot Storglomvatn. I Breatlas for Nord-Skandinavia er den oppført som Nr. 13 og 14 til Fykanåga; den har nærmest en østlig orientering, mens Engabreen renner mot vest. I likhet med sistnevnte ble 1988 et meget negativt år for praktisk talt hele Storglombreen.

This glacier is, like Engabreen, a part of the Svartisen icecap, but it drains towards the lake Storglomvatn, in an almost eastern direction - opposite Engabreen. Not surprisingly the glacier experienced a similar negative net balance, -1.82 m, as Engabreen.



Den franske geografen Charles Rabot (1856-1944) reiste mye omkring på Nordkalotten og tok mange bilder med datidens utrustning. Hans mange glassplater er senere donert til forskjellige institusjoner i Skandinavia. Her et bilde av "Engabreen, sett fra Holand gård" tatt i 1882. Nesten alle ismassene på dette bildet er forsvunnet i dag.

The French Geographer Charles Rabot (1856-1944) made extensive travels in Northern Norway, Sweden and Finland. He also investigated glaciers in Greenland and on Svalbard, taking several photographs on glass plates. Later these negatives were donated to institutions in the countries where pictures were taken. Here is a photo taken in 1882 showing the outlet glacier Engabreen, seen from the farm Holand, northern side of Holandsfjord. Almost all ice masses seen on this picture have now disappeared.

12. GENERELT

Balanseåret 1987-88 ga underskudd for alle de målte breene - først og fremst pga. svært stor sommerbalanse (ablasjon). Dette fremgår tydelig av tallene i tabell 10.

MASS BALANCE 1988

Glacier	Area S km²	Winter balance B_w $10^6 m^3$	b_w m	b_w l/s km²	Summer balance B_s $10^6 m^3$	b_s m	b_s l/s km²	Net balance B_n $10^6 m^3$	b_n m	b_n l/s km²	Eq.line altitude m a.s.l.	AAR %
Ålfotbreen	4.8	13.12	2.72	86	25.04	5.20	165	- 11.92	-2.48	-78	>1380	< 1
Nigardsbreen	47.8	106.94	2.24	71	149.78	3.13	99	- 42.84	-0.90	-28	1660	37
Hardangerjøkulen	17.2	27.72	1.61	51	53.85	3.13	99	- 26.13	-1.52	-48	>1850	< 1
Spørteggbreen	27.9	45.30	1.62	51	87.85	3.14	100	- 42.55	-1.52	-48	>1750	< 1
Austdalsbreen	11.9	23.19	1.94	62	38.43	3.22	101	- 15.24	-1.28	-39	1650	2
Storbreen	5.3	7.69	1.45	46	12.72	2.40	76	- 5.03	-0.95	-30	1970	6
Hellstugubreen	3.0	3.82	1.28	41	6.91	2.32	74	- 3.09	-1.04	-33	2025	15
Gråsubreen	2.2	2.37	1.08	34	3.66	1.66	53	- 1.29	-0.59	-19	2190	10
Svartisheibreen	5.5	13.26	2.42	77	22.08	4.03	128	- 8.82	-1.61	-51	1180	22
Engabreen	38.0	85.84	2.26	72	153.95	4.05	128	- 68.10	-1.79	-57	1400	7
Storglombreen	59.1	122.15	2.06	65	229.32	3.88	123	-107.17	-1.82	-58	1350	4

Tabell 10.

September måned var kald med mye nedbør på Vestlandet og det falt mye snø på breene over 1 300 m. I Svartisen-området kom det lite nedbør. Resten av vinteren var preget av syd- og sydøstlige vinder over hele landet. I Syd-Norge ga denne værsituasjonen svært mye nedbør øst for vannskillet, mens på Vestlandet og i Svartisen-området var nedbøren omkring det normale. På breene i Jotunheimen ble vinterakkumulasjonen stor. Gråsubreen hadde 150% av midlere akkumulasjon og det er den nest største vinterbalansen siden målingene startet i 1962. På Vestlandet og i Svartisen-området var akkumulasjonen nær 100% av gjennomsnittet for de årene vi har foretatt målinger. Pga. svært mild oktober, begynte ikke akkumulasjonen på Ålfoten før i november, og her ble akkumulasjonen bare 78% av middels.

Sommeren 1988 startet tidlig. Allerede i mai, som var preget av høytrykk med temperaturer 1-2^{0}C høyere enn normalt over hele landet, kom smeltingen godt igang. Juni fortsatte med pent vær og rekordvarme i Syd-Norge, men også i Nord-Norge var det varmt. I fjellet i Syd-Norge var junitemperaturen opp til 5^{0}C over det normale slik at det ble en meget stor avsmelting i sommerens første del. Det førte til at snøens albedo minket raskt og det forsterket smeltingen senere på sommeren.

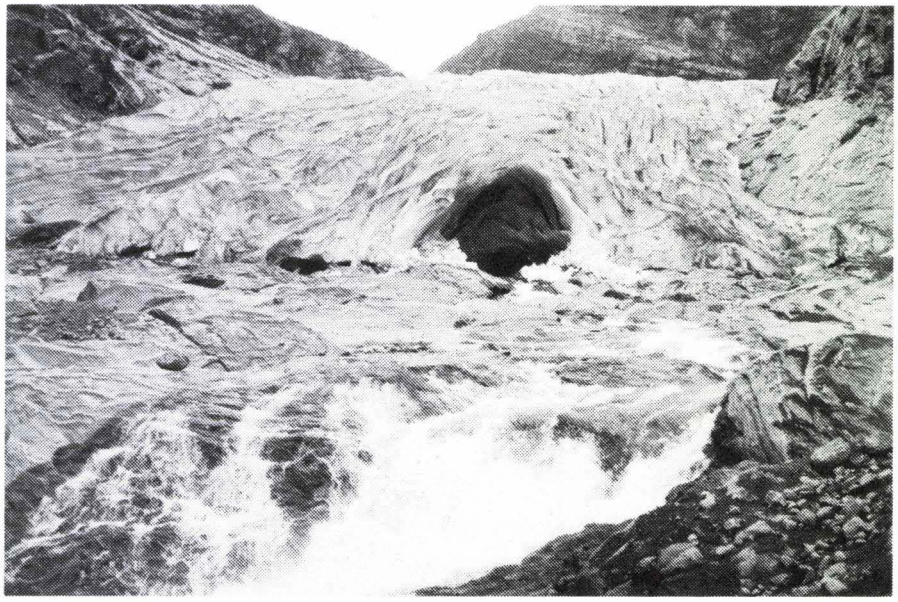
Juli og august fortsatte med varmt og pent vær i Nord-Norge (1-2^{0}C over det normale), mens det i Syd-Norge var 0-1^{0}C under det normale og stort nedbøroverskudd, særlig i juli.

Den varme sommeren medførte en avsmelting på 150-175% av det normale på alle de målte breene. Flere steder var avsmeltingen den største som er målt, mens den på enkelte steder var litt under rekordavsmeltingen i 1969. På Ålfoten var sommerbalansen mer enn 5 m, og på Svartisen rundt 4 m.

Selv om både juli og august var litt kaldere enn normalt i Syd-Norge, ble avsmeltingen svært stor. Dette viser at en tidlig vår med stor avsmelting i sommerens første del, og således en tidlig minking av breenes albedo, er viktig for å få stor sommerbalanse. Dessuten passerte sommeren uten kraftige kaldluftsinnbrudd med snøfall på breene, dog med unntagelse av de øvre deler av Gråsubreen.

Etter en vinterakkumulasjon nær eller litt over det normale for enkelte breer, medførte den store sommerbalansen et betydelig underskudd på alle de målte breene. For Svartisen og Ålfoten var underskuddet rekordstort med hhv. ca 1.8 m og 2.5 m.

I Jotunheimen og på Nigardsbreen var underskuddet ca 1.0 m eller litt mindre - minst i de østlige områder.



I hele dette århundre har Nigardsbreen trukket seg tilbake. Fra midten av 1930-årene til 1968 kalvet breen i Nigardsvatnet, og senere har tungen trukket seg opp på land. Her ser vi den imponerende breporten og litt av breelven.

The outlet glacier Nigardsbreen has been retreating during several decades. From about 1935 and up to 1968 it had a calving front in the lake Nigardsvatnet, later it continued to retreat up valley. Here is the portal and part of the glacier stream, draing into Nigardsvatnet.

14. INNLEDNING - UNDERSØKELSENE I 1989

I 1989 ble det utført massebalansemålinger på 8 breer i Syd-Norge og på 3 breer i Nord-Norge. De 8 breene i Syd-Norge har ulike lange observasjonsserier, den lengste kommer fra Storbreen i Jotunheimen der målinger har vært foretatt helt siden 1949 av Norsk Polarinstitutt. Dette er den nest lengste serien i sitt slag i verden, bare Storglaciären i Nord-Sverige har vært observert lenger (fra 1946). Deretter følger Nigardsbreen, Hellstugubreen og Gråsubreen fra 1967. De to sistnevnte ble det første året undersøkt av to hovedfagsstudenter, senere overtok Brekontoret målingene og man inkluderte Ålfotbreen (fra 1963). Hardangerjøkulen ble fra 1963 undersøkt av Polarinstituttet, men ble senere overtatt av Brekontoret. På grunn av vannkraftutbygging i Jostedalen ble massebalansemålinger igangsatt i 1988 på Austdalsbreen og Spørteggbreen.

I Nord-Norge ble målingene på Storglombreen avsluttet i 1988, men nye målinger igangsatt på Langfjordjøkelen, en av landets nordligste breer. Den lengste måleserien kommer fra Engabreen, der breundersøkelsene startet i 1970, mens målingene på Svartisheibreen startet i 1987.

Finansieringen av undersøkelsene hviler stort sett på kraftprodusenter. Målingene på Ålfotbreen betales av Sogn og Fjordane Energiverk. Målingene på Nigardsbreen er konsesjonspålagt Leirdøla kraftverk og betales av Statkraft, som også finansierer undersøkelsene på de andre breene i området, Austdalsbreen og Spørteggbreen.

Av Hardangerjøkulens mange utløpere foretas undersøkelsene på Rembesdalsskåkji som drenerer til Simadalen. Målingene er konsesjonspålagt og bekostes av Eidfjordanleggene. I Jotunheimen foretar Norsk Polarinstitutt målingene av Storbreen, mens NVE finansierer arbeidene på Hellstugubreen og Gråsubreen.

Alle bremålingene i Svartisen-området finansieres av Statkraft.

Nedenfor følger en beskrivelse av de undersøkelser som har vært utført i 1989, dvs. egentlig omfatter arbeidene alt som henfører seg til massebalanseåret 1988/89. For hver enkelt bre er resultatene for massebalansen oppgitt i vannekvivalenter og dessuten i de fleste tilfeller også angitt som avløpstall slik at dataene kan brukes til hydrologiske beregninger.

Diagrammene for massebalansens variasjon med høyden er konstruert i henhold til anbefalinger fra et internasjonalt glasiologsymposium om standardisering, avholdt i Seattle i november 1990. Derved kan bl.a. nettobalansekurvene lett sammenliknes fra bre til bre.

Tilslutt er det gitt en samletabell som gir massebalansedata for de 7 breene som har de lengste måleseriene. Den kumulative nettobalansen er dessuten gitt for 6 breer i Syd-

Norge. Her viser det seg f.eks. at Ålfotbreen og Nigardsbreen har vokst, mens de kontinentalt beliggende Hellstugubreen og Gråsubreen har avtatt sterkt i perioden 1963-89, se s. 74.

15. ÅLFOTBREEN (086.6C1B)

Breen ble besøkt 4 ganger i 1989. Første besøk var 15.-17. april da akkumulasjonsmålingene ble foretatt. Breen hadde da ikke vært besøkt siden minimumsmålingene i oktober 1988, og alle stakene var snødd ned. Den varme sommeren 1988 hadde imidlertid smeltet all nysnø, og forrige sommers overflate var derfor lett å finne med sondering til tross for store snødyp og ingen synlige staker til kontroll. Bare på toppen var det islag som gjorde det vanskelig. Det ble gjort ca 50 sonderinger av snødypet som var mellom 9 og 13 meter. I løpet av den ekstremt milde vinteren hadde det flere ganger regnet på breen, og tetthetsprøve viste våt snø under 2 meters dyp. Tettheten var derfor større enn vanlig, og middeltettheten ble satt til 0.535. Tre nye staker ble satt ut.

Neste besøk ble foretatt 16.-17. august. Stakene var da blitt 3-4 m lengre siden april. Staken på toppen var borte, men tårnet hadde dukket opp. Pga. ujevnt snødyp på toppen, kan ikke målingene anses som pålitelige.

Minimumsmålingene ble foretatt 27.-29. oktober. Stakene var da blitt rundt 2 m lengre siden august. Et par av stakene hadde sunket, og ga derfor usikre resultater. Ved minimumsmålingene var det kommet omkring ½ m snø nederst på breen og bortimot 2 m øverst. På tårnet på toppen av breen ble det montert en liten radiosender som ledd i et forsøk på å lokalisere staker som er forsvunnet under snø.

Den 12.-13. desember ble breen besøkt igjen for å skjøte staker. Alle staker ble funnet og skjøtt.

Akkumulasjonen ble beregnet til 25 mill m^3 vann på den delen av breen som drenerer til breelven (4.82 km^2). Dette tilsvarer 5.20 m vann jevnt fordelt over hele breflaten. Årets akkumulasjon var over 150% av midlere akkumulasjon (3.45 m) i den tiden som det har vært utført målinger på breen (1963-89) og over 190% av akkumulasjonen i 1988. Det har aldri vært målt større vinterbalanse på Ålfotbreen. Tidligere høyeste målte verdi var 4.79 m (1983) og 4.67 (1973). Årets akkumulasjon var like stor som rekordavsmeltingen i 1988.

Sommerens smelting er beregnet til 14 mill. m^3 vann, og dette tilsvarer 2.93 m vann jevnt fordelt over hele breen. Det vil si at årets smelting utgjør 88% av middelverdien for måleperioden (3.32 m). Bare i 1984, -86 og -87 ble det målt en mindre smelting.

På grunn av den store vinterbalansen og relativt liten sommerbalanse ble nettobalansen rekordstor med et overskudd på 11 mill. m^3 eller 2.27 m. Det vil si at 44% av årets akkumulasjon ble liggende igjen. Det er det største overskudd som noengang er målt på Ålfotbreen. Tidligere største målte overskudd var 2.18 m (i 1973) og 2.07 m (i 1987).

Årets nettobalanse ble 11 mill m^3 eller 23 mill. m^3 større enn i 1988, og dette motsvarer 2.27 m vannekvivalenter. Det tilsvarer en reduksjon av avløpet fra breen på 72 $l \cdot s^{-1} \cdot km^{-2}$. Det vil si at bare 56% av årets akkumulasjon smeltet.

Detaljerte resultater vist i tabell 11. Fig. 15 viser fordeling av akkumulasjon og smelting med høyden, samt nettobalansekurven (b_n).

Målingene i 1989 er vesentlig forenklet i forhold til tidligere år. Sonderingene ble redusert med 70% i forhold til i fjor. Det ble bare tatt tetthetsprøve av de øverste 2.5 m. Kun 3 staker ble satt ut for å måle smelting. En av dem forsvant, og en sank og viste gale resultater. To gamle staker dukket opp i løpet av sommeren. De var til en viss hjelp ved beregningene. Usikkerheten i resultatet er derfor betydelig større enn i tidligere år, spesielt gjelder det sommerbalansen. Dette innebærer at usikkerheten i nettobalansen anslåes til ±1.6 m. Pga. de spesielle klimatiske forholdene på Ålfotbreen er det vanskelig å korrelere resultatene der med massebalansen på andre breer i Syd-Norge.

ÅLFOTBREEN 1989

Høyde intervall m o.h.	Areal S km*2	Vinterbalanse Bw 10x6m*3	m	bw 1/s kmx2	Sommerbalanse Bs 10x6m*3	m	bs 1/s km*2	Nettobalanse Bn 10x6m*3	m	bn 1/s km*2
1350-1380	0.274	1.41	5.13	163	0.56	2.06	65	0.84	3.07	97
1300-1350	1.015	5.46	5.38	171	2.11	2.08	66	3.35	3.30	105
1250-1300	0.811	4.32	5.33	169	1.78	2.20	70	2.54	3.13	99
1200-1250	0.765	4.02	5.26	167	2.00	2.62	83	2.02	2.64	84
1150-1200	0.649	3.37	5.20	165	2.01	3.10	98	1.36	2.10	67
1100-1150	0.553	2.81	5.09	161	2.02	3.66	116	0.79	1.43	45
1050-1100	0.356	1.76	4.95	157	1.52	4.28	136	0.24	0.67	21
1000-1050	0.216	1.05	4.86	154	1.08	5.00	159	-0.03	-0.14	-4
950-1000	0.125	0.60	4.76	151	0.71	5.66	179	-0.11	-0.90	-29
900- 950	0.047	0.22	4.68	148	0.28	6.00	190	-0.06	-1.32	-42
870- 900	0.004	0.02	4.66	148	0.02	6.10	193	-0.01	-1.44	-46
870-1380	4.815	25.03	5.20	165	14.09	2.93	93	10.94	2.27	72

Tabell 11.

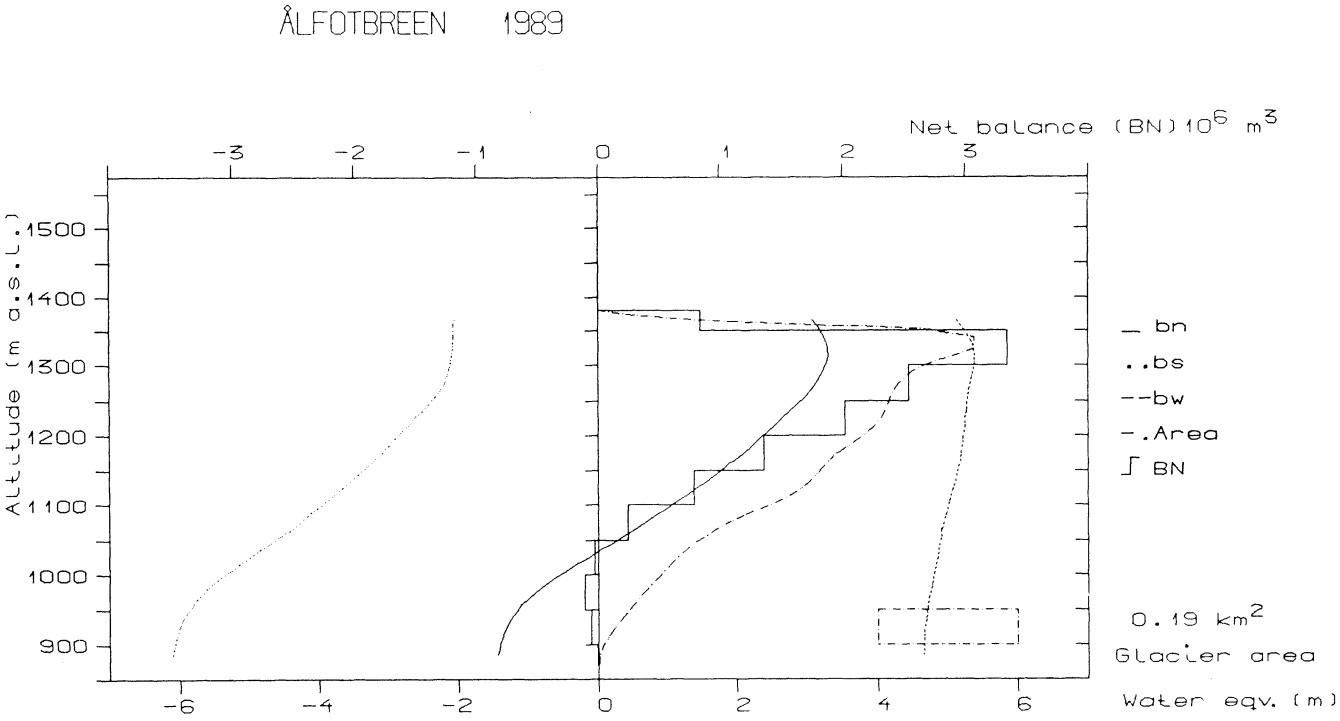


Fig. 15. Massebalansediagrammet for Ålfotbreen viser at breen mottok store snømengder i 1989, kurven for vinterbalansen (bw) viser en nesten jevn akkumulasjon på ca 5 m vannekvivalenter. Dette er mer enn noengang målt på Ålfotbreen (siden 1963). Sommeravsmeltingen var lavere enn vanlig, så derved framkommer en svært stor positiv nettobalanse (+2.27 m), også dette er rekord.

The mass balance diagram indicates a very large winter balance, about 5 m w.eq. whereas the summer melt was smaller than average. The net balance turned out to be larger than ever observed at this glacier, see table. ELA was about 1 030 m a.s.l.

16. NIGARDSBREEN (076.EZ)

Breen ble besøkt 4 ganger i løpet av 1989. Først ble akkumulasjonsmålingene utført 16.-17. april. De sonderte snødyp varierte fra 6 m ved Steinmannen til 12 m på de høyeste delene av breen. Ingen av stakene hadde overlevet vinteren. Det ble heller ikke utført kjerneboringer for å kontrollere sonderingene. Den store avsmeltingen foregående sommer hadde utviklet en god sommeroverflate under ca 1 650 m o.h., men over dette nivå var det vanskelig å definere sommeroverflaten med sikkerhet. Derfor er de sonderte snødyp usikre. Det ble utført ca 30 sonderinger - de fleste mellom Steinmannen og Høgste Breakulen. En tetthetsprøve på Steinmannen (1 630 m o.h.) ned til 2 m dyp ble sammen med erfaringsverdier brukt som grunnlag for fastsettelse av snøens

vannverdi. Tre staker ble satt ut med smeltebor. Dessuten ble 2 wirer smeltet ned på tunga (960 m o.h. og 560 m o.h.) for å måle ablasjonen.

Neste besøk ble gjort 25. juli. Stakene var da blitt 1 - 1,5 m lengre siden april.

Minimumsmålingene ble utført 12.-13. september. Stakene var bare blitt ca 2 m lengre i løpet av sommeren slik at det lå igjen opp til 10 m snø på breens øvre deler. Dette skyldes ikke bare lite avsmelting, men også flere kaldluftsinnbrudd med tildels betydelige snøfall i løpet av sommeren. Det ble ikke tatt tetthetsprøve av den gjenværende snøen. På grunnlag av erfaringsverdier fra tidligere år ble den antatt å være 0.60 $g \cdot cm^{-3}$.

Under dette besøket ble det satt ut to 7 m lange tårn inne på platået, samt en stake ved Steinmannen. Ved de to wirene på bretungen, nedsatt i april, ble det boret ned staker. Fire gamle staker under 1 650 m o.h. ble funnet. Ingen staker inne på platået ble imidlertid gjenfunnet.

Årets siste besøk ble foretatt 12. desember for å skjøte staker. Det var da kommet 2-4 m snø.

Beregningene viser en vinterakkumulasjon på 4.05 m vannverdi. Det er ikke mindre enn 180% av midlere vinterakkumulasjon i perioden 1962-89 og den største som noen gang har vært målt. Den forrige rekorden på 3.40 m ble satt i 1967.

Sommerbalansen ble beregnet til 0.85 m vannverdi, og det er 43% av midlere sommerbalanse. Bare i 1962 er det målt en mindre sommerbalanse.

Den lille sommerbalansen i tillegg til den rekordstore vinterakkumulasjonen førte til et meget stort overskudd. Nettobalansen er beregnet til 3.20 m eller 154 mill m^3 vann. Det vil si at 80% av årets snø ble liggende igjen på breen. Det tidigere største målte overskudd var 2.25 m i 1962.

I 1989 ble feltarbeidet på Nigardsbreen vesentlig redusert i forhold til tidligere år. De store snømengdene hadde begravet alle stakene, som er viktige for kontrollen av forrige års sommeroverflate ved snømålingene. Dessuten var sommeroverflaten dårlig utviklet på breens øvre deler og stedvis vanskelig å påvise. Dette har medført at usikkerheten i målingene er større enn vanlig. For vinterbalansen er usikkerheten antatt å være ca ±1.2 m vann. Sommerbalansen og nettobalansen er avhengige variable av vinterbalansen, og nøyaktigheten av disse kan derfor ikke bli bedre enn vinterbalansens nøyaktighet. Derfor antas usikkerheten i Nigardsbreen massebalanse å være ±1.2 m vannekvivalenter. Detaljerte resultater er vist i tabell 12 og fig. 16.

For Nigardsbreen er det dessuten utarbeidet et diagram som viser sammenhengen mellom likevektslinjens høyde og breens nettobalanse. En positiv nettobalanse vil gi en lavt-

liggende likevektslinje, mens denne ligger høyere når breen har negativ balanse. Fra diagrammet, fig. 17, ser man at hvis likevektslinjen ligger på ca 1 570 m o.h., så er breen akkurat i balanse.

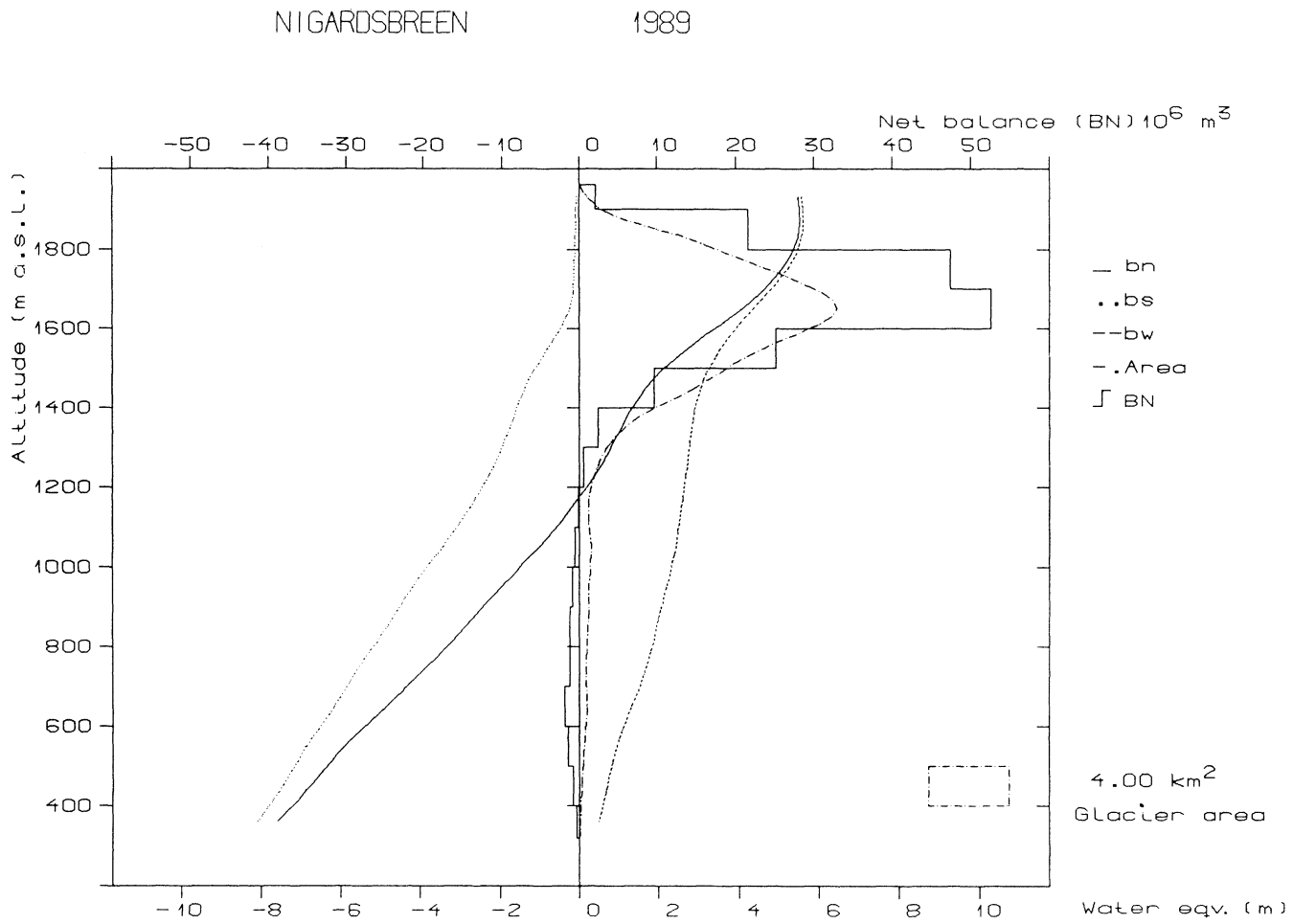


Fig. 16. Nigardsbreen fikk også en rekordartet snøtilvekst, aldri har vinterbalansen vært større i de årene breen har vært observert. Sommeravsmeltningen var nesten like liten som i 1962, slik at vi fikk et meget stort netto masseoverskudd (3.20 m),en absolutt rekord. Likevektslinjen lå på ca 1 150 m, dvs. nesten midt på breen høydemessig, men de små arealene på breens nedre deler betyr lite, selv om smeltingen riktignok var 7-8 m nederst på tungen.

Nigardsbreen experienced two records this year: The largest vinter accumulation ever observed since 1962, and the largest net balance. On the upper parts of the glacier, almost no melt occurred during the summer. This has happened only once before, in 1967.

NIGARDSBREEN 1989

Høyde intervall m o.h.	Areal S km*2	Vinterbalanse Bw 10x6m*3	m	bw l/s kmx2	Sommerbalanse Bs 10x6m*3	m	bs l/s km*2	Nettobalanse Bn 10x6m*3	m	bn l/s km*2
1900-1960	0.380	2.11	5.55	176	0.03	0.08	3	2.08	5.47	173
1800-1900	3.920	21.95	5.60	178	0.39	0.10	3	21.56	5.50	174
1700-1800	9.390	48.83	5.20	165	1.31	0.14	4	47.51	5.06	160
1600-1700	12.880	55.77	4.33	137	3.22	0.25	8	52.55	4.08	129
1500-1600	9.180	32.50	3.54	112	7.34	0.80	25	25.15	2.74	87
1400-1500	5.820	17.75	3.05	97	8.03	1.38	44	9.72	1.67	53
1300-1400	2.280	6.43	2.82	89	4.01	1.76	56	2.42	1.06	34
1200-1300	0.900	2.43	2.70	86	1.96	2.18	69	0.47	0.52	16
1100-1200	0.450	1.15	2.56	81	1.24	2.75	87	-0.09	-0.19	-6
1000-1100	0.580	1.40	2.42	77	2.00	3.45	109	-0.60	-1.03	-33
900-1000	0.470	1.03	2.20	70	1.96	4.18	133	-0.93	-1.98	-63
800-900	0.440	0.86	1.95	62	2.12	4.82	153	-1.26	-2.87	-91
700-900	0.330	0.56	1.70	54	1.82	5.52	175	-1.26	-3.82	-121
600-700	0.390	0.51	1.32	42	2.40	6.15	195	-1.88	-4.83	-153
500-600	0.240	0.23	0.95	30	1.64	6.85	217	-1.42	-5.90	-187
400-500	0.120	0.08	0.70	22	0.89	7.45	236	-0.81	-6.75	-214
320-400	0.050	0.03	0.50	16	0.41	8.10	257	-0.38	-7.60	-241
320-1960	47.820	193.63	4.05	128	40.79	0.85	27	152.83	3.20	101

Tabell 12.

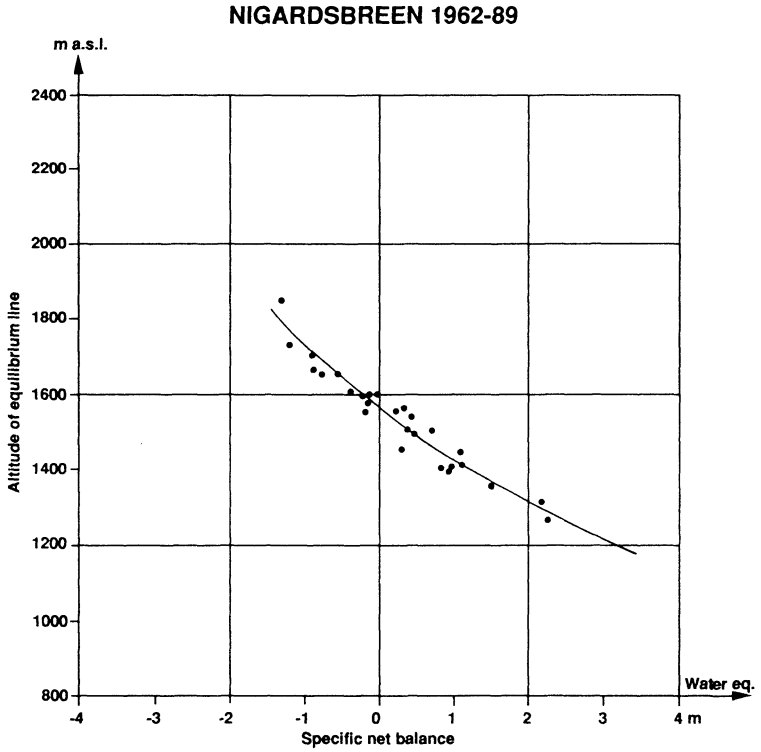


Fig. 17. Hver svart prikk er resultat av ett års massebalansemålinger. Nettobalansen er plottet som funksjon av likevektslinjens høyde. Til tross for breens uregelmessige topografi, ligger punktene fint samlet om en kurve som er trukket subjektivt.

Each dot represents results from one year's mass balance investigations. The net balance is here plotted against the equilibrium line altitude (ELA), showing a good correlation, apparentlig not influenced by the topography of the glacier. Similar plots for other glaciers are shown in Østrem 1975.

17. AUSTDALSBREEN (076.H)

Akkumulasjonsmålingene ble foretatt i april. På grunn av fjorårets store avsmelting var sonderingsforholdene gode. Snødypet varierte fra 4 m nederst på breen til 7 m øverst på breen - dobbelt så mye som vinteren 1987/88.

Fordi avsmeltingen var under normalen fikk breen i 1989 et overskudd på 21 mill. m^3 vann som tilsvarer et vannlag på 1.84 m over hele breen (tabell 13). Sammenligninger med andre breer der massebalansemålinger er utført over lengre tidsrom, viser at 1989 var et år med stor positiv nettobalanse. Til sammenligning hadde vi i 1988 et underskudd på ca 15 mill. m^3 vann, som tilsvarte et vannlag på ca 1 m fjernet jevnt over fra hele breen.

Kalvingen var bemerkelsesverdig liten, selv om vannstanden i Austdalsvatnet har vært høyere enn normalt. Dette bør antagelig sees i sammenheng med de store snømengdene vi hadde vinteren 1988-89. De resulterte i at Austdalsvatnet ikke ble isfritt før langt ut i juli. I løpet av høsten kalvet det imidlertid ut et par meget store isfjell på anslagsvis 20 000 m^3 og 40 000 m^3. Vi antar at kalvingen i 1989 totalt omfattet ca 0.2 mill. m^3 (omregnet til vann), dvs. ca 1% av sommerbalansen.

Alle resultatene er vist i tabell 13 og figur 18.

AUSTDALSBREEN 1989

Høyde intervall m o.h.	Areal S km*2	Vinterbalanse Bw 10x6m*3	m	bw l/s kmx2	Sommerbalanse Bs 10x6m*3	m	bs l/s km*2	Nettobalanse Bn 10x6m*3	m	bn l/s km*2
1700-1757	0.157	0.34	2.18	69	0.08	0.53	17	0.26	1.65	52
1650-1700	0.128	0.28	2.21	70	0.05	0.42	13	0.23	1.79	57
1600-1650	0.376	1.14	3.04	96	0.14	0.38	12	1.00	2.66	84
1550-1600	2.448	8.74	3.57	113	1.37	0.56	18	7.37	3.01	95
1500-1550	2.539	9.19	3.62	115	2.77	1.09	35	6.42	2.53	80
1450-1500	1.922	6.63	3.45	109	2.69	1.40	44	3.94	2.05	65
1400-1450	1.355	4.19	3.09	98	2.36	1.74	55	1.83	1.35	43
1350-1400	1.010	2.80	2.77	88	1.99	1.97	62	0.81	0.80	25
1300-1350	0.787	2.09	2.65	84	1.69	2.15	68	0.39	0.50	16
1250-1300	0.687	1.58	2.30	73	1.55	2.25	71	0.03	0.05	2
1200-1250	0.435	0.82	1.88	60	1.09	2.50	79	-0.27	-0.62	-20
1155-1200	0.107	0.20	1.89	60	0.29	2.68	85	-0.08	-0.79	-25
1155-1757	11.951	38.00	3.18	101	16.07	1.34	43	21.93	1.84	58

Tabell 13.

Fronten av Austdalsbreen kalver i det nye Styggevass-magasinet, dannet ved oppdemming av tidligere Styggevatn og Austdalsvatn.

For å studere dybdeforholdene foran den kalvende brefronten boret man hull i isen og loddet dypet langs kalvings-fronten. Slike målinger kan ikke utføres på sommeren, dels på grunn av faren for å bli truffet av nedrasende isblokker og dels på grunn av de store bølgene som kalvingen medfører. Foto: Nils Haakensen

The front of the Austdalsbreen outlet glacier from the northern part of the Jostedalsbreen icecap is calving in an artifical lake called Styggevassmagasinet, which includes the former natural lakes Styggevatn and Austdalsvatn.

To study the water depth along the front we drilled holes through the lake ice and measured the water depth. This work most be done in wintertime due to risks of falling ice blocks and high waves during the summer.

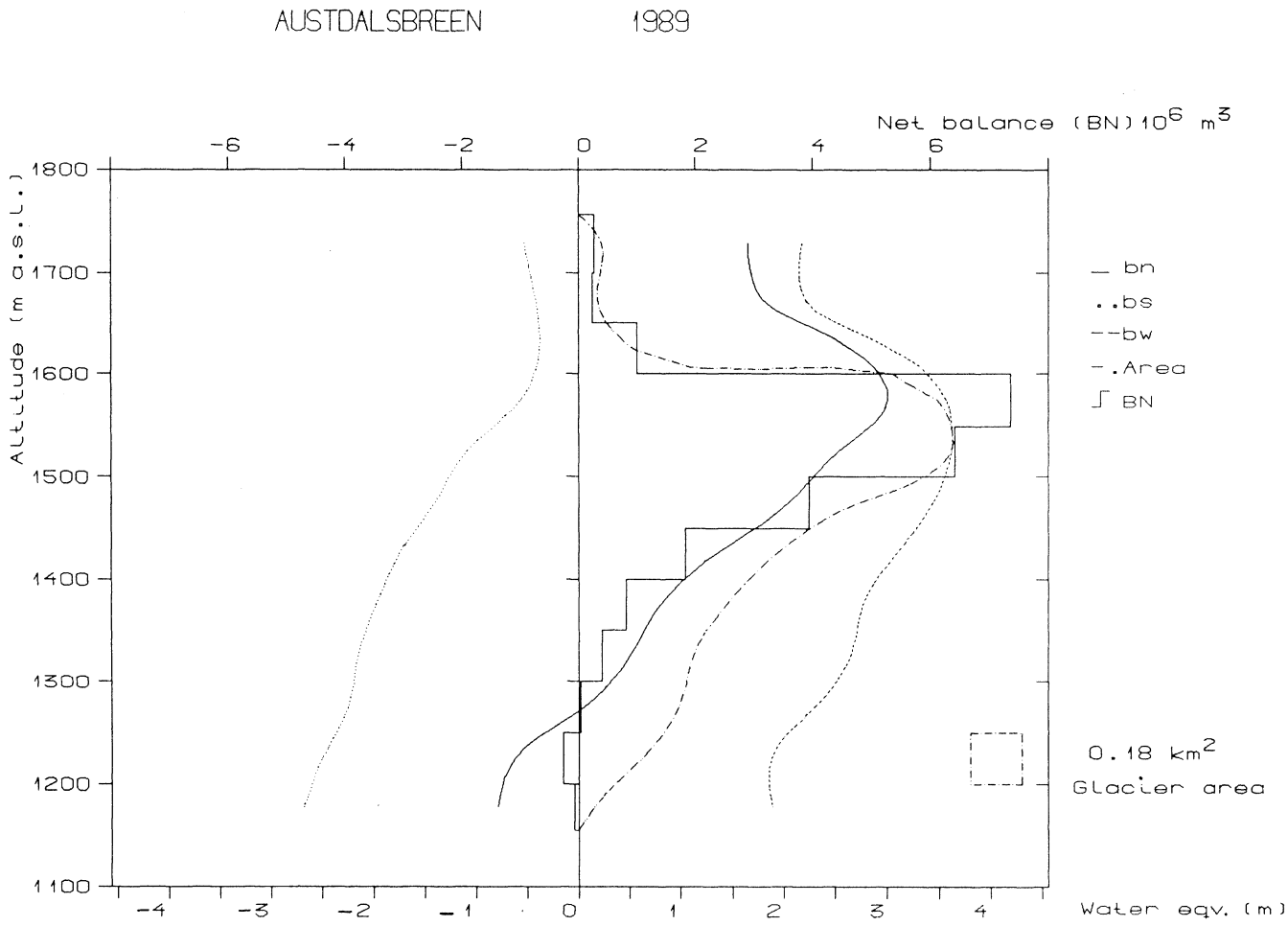


Fig. 18. Balansediagrammet for Austdalsbreen viser at de største snømengdene faller i 15-1600 metersnivået; høyere opp blåser antagelig snøen bort. Dette forhold, sammen med arealfordelingen gjør at nettotilveksten også blir størst i nevnte høydeintervall. Bare en liten del av breens nedre områder hadde negativ nettobalanse.

The diagram shows that the largest snow accumulation occurs in areas 15-1600 m a.s.l., whereas snow seems to blow away from the highest areas. Only a small area near the terminus had a negative net balance. ELA was near 1 270 m.

18. SPØRTEGGBREEN (076.Z Jostedalen; 075.42 Mørkridsdalen)

Spørteggbreen ble i 1989 kartlagt og dreneringsgrensene beregnet bl.a. ut fra radio-ekko målinger. (For nærmere detaljer henvises til Oppdragsrapport nr 15-89 fra Hydrologisk avdeling, utarbeidet ved Brekontoret.) Breen har 5 dreneringsområder, som er vist i fig. 19. Fire av disse, Fagerdalen, Geisdalen, Vigdalen og Vanndalen drenerer til Jostedalen, det femte drenerer til Mørkridsdalen.

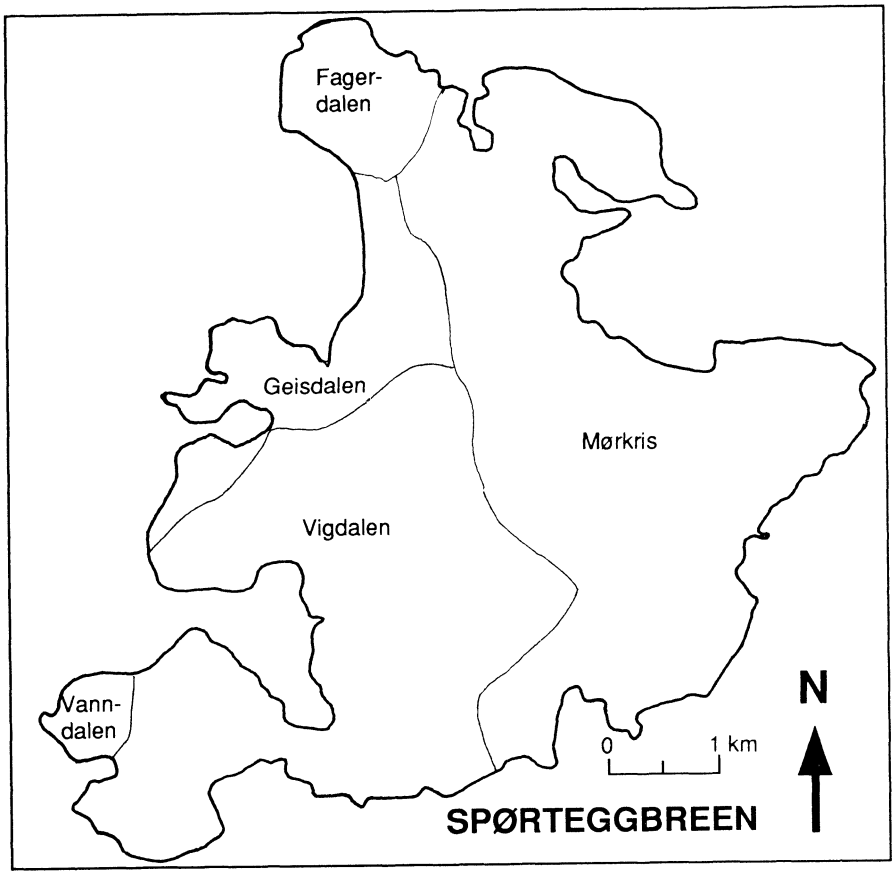


Fig. 19. Radarundersøkelser ble utført i 1989 for å avgrense Spørteggbreens fem forskjellige dreneringsområder.

Radar measurements were used in 1989 to deliniate the five main drainage areas for the ice cap Spørteggbreen.

I 1989 ble det utført enkle massebalansemålinger. Breen ble besøkt 3 ganger i løpet av sesongen, første gang i april. Snøfordelingen var meget jevn i breens flate øvre områder med snødyp på 5-6 m.

Ablasjonen ble fulgt på 6 staker gjennom sommeren. Fig. 20 viser spesifikk akkumulasjon, ablasjon og nettobalanse i forhold til høyden over havet. Denne høydefordelingen ble brukt til beregninger av avrenningen fra alle delfeltene. Tabell 14 som er tatt fra ovennevnte oppdragsrapport gir tallene for alle de fem dreneringsområdene.

For hele Spørteggbreen viser beregningene at breen har holdt tilbake ca 32 mill. m^3 vann fra vassdragene omkring. Dette tilsvarer et vannlag på 1.14 m jevnt over hele breen, se tabell 15. For de områdene av breen som drenerer til Jostedalen er de tilsvarende tall 1.45 m til Fagerdalen, 0.52 m til Vanndalen, 1.45 m til Geisdalen og 1.0 m til Vigdalen. Alle tall er gitt i vannekvivalenter.

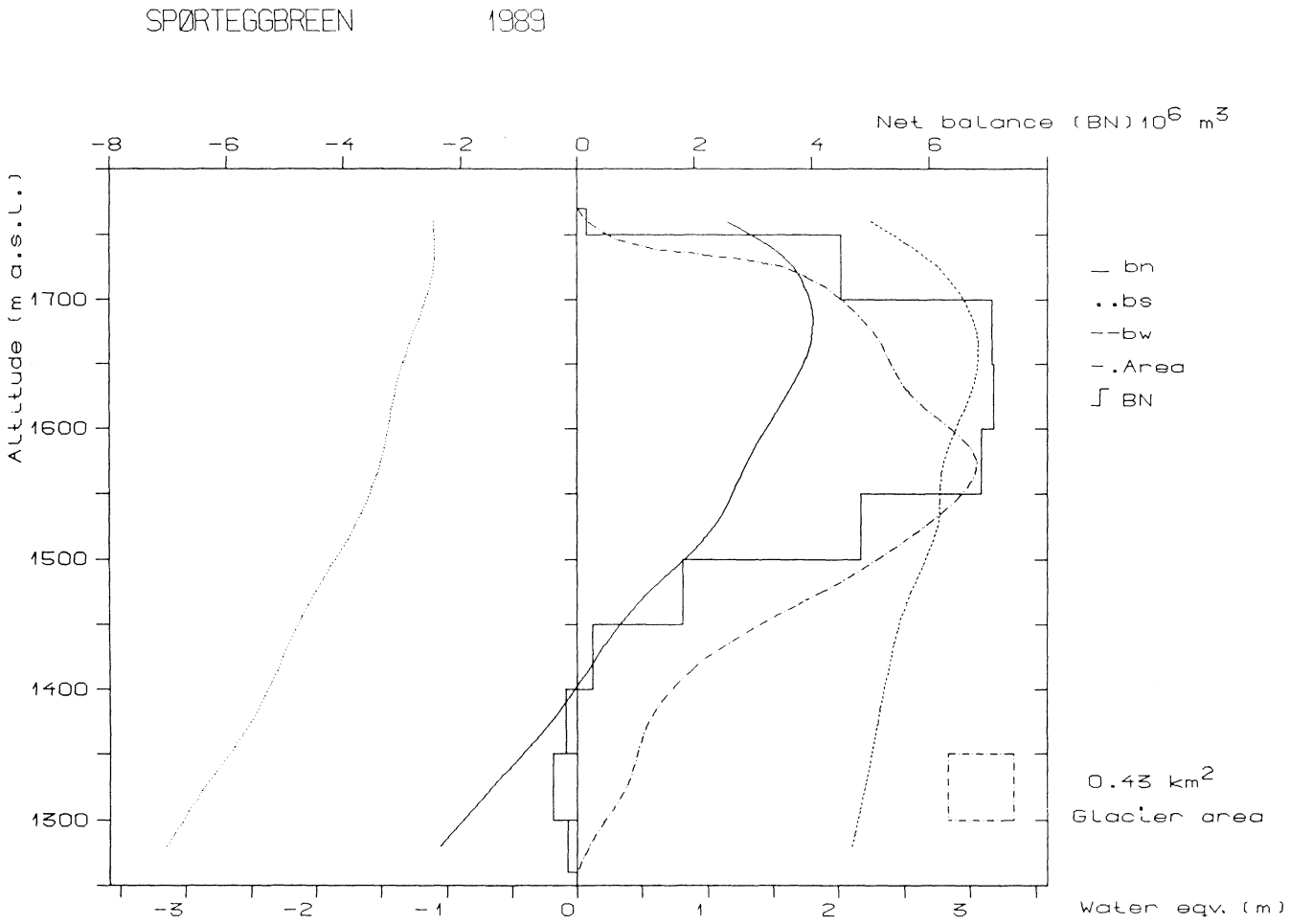


Fig. 20. På samme måte som ved Austdalsbreen viser vinterbalansekurven en avtagende tendens høyest opp. Dette antas å være betinget av vindforholdene. Bare en liten del av breens laveste deler fikk netto massetap i 1989.

Similar to Austdalsbreen, the winter balance curve indicates a decreasing tendency in the highest areas - probably a wind effect on this dome-shaped glacier. ELA was at 1 400 m a.s.l., so only small parts of the glacier experienced a net mass loss.

SPØRTEGGBREEN (FAGERDALEN) 1989

Høyde intervall m o.h.	Areal S km*2	Vinterbalanse Bw 10x6m*3	m	bw 1/s kmx2	Sommerbalanse Bs 10x6m*3	m	bs 1/s km*2	Nettobalanse Bn 10x6m*3	m	bn 1/s km*2
1700-1744	0.383	1.05	2.75	87	0.42	1.10	35	0.63	1.65	52
1650-1700	0.353	1.08	3.05	97	0.44	1.25	40	0.64	1.80	57
1600-1650	0.212	0.64	3.00	95	0.30	1.40	44	0.34	1.60	51
1550-1600	0.172	0.48	2.80	89	0.26	1.50	48	0.22	1.30	41
1500-1550	0.182	0.50	2.75	87	0.31	1.70	54	0.19	1.05	33
1462-1500	0.151	0.39	2.55	81	0.30	2.00	63	0.08	0.55	17
1462-1744	1.453	4.13	2.84	90	2.03	1.40	44	2.10	1.45	46

SPØRTEGGBREEN (GEISDALEN) 1989

Høyde intervall m o.h.	Areal S km*2	Vinterbalanse Bw 10x6m*3	m	bw 1/s kmx2	Sommerbalanse Bs 10x6m*3	m	bs 1/s km*2	Nettobalanse Bn 10x6m*3	m	bn 1/s km*2
1700-1746	0.719	1.98	2.75	87	0.79	1.10	35	1.19	1.65	52
1650-1700	0.879	2.68	3.05	97	1.10	1.25	40	1.58	1.80	57
1600-1650	0.379	1.14	3.00	95	0.53	1.40	44	0.61	1.60	51
1550-1600	0.389	1.09	2.80	89	0.58	1.50	48	0.51	1.30	41
1500-1550	0.439	1.21	2.75	87	0.75	1.70	54	0.46	1.05	33
1450-1500	0.129	0.33	2.55	81	0.26	2.00	63	0.07	0.55	17
1400-1450	0.060	0.14	2.40	76	0.14	2.25	71	0.01	0.15	5
1378-1400	0.050	0.12	2.30	73	0.13	2.50	79	-0.01	-0.20	-6
1378-1746	3.044	8.68	2.85	90	4.27	1.40	44	4.41	1.45	46

SPØRTEGGBREEN (VIGDALEN) 1989

Høyde intervall m o.h.	Areal S km*2	Vinterbalanse Bw 10x6m*3	m	bw 1/s kmx2	Sommerbalanse Bs 10x6m*3	m	bs 1/s km*2	Nettobalanse Bn 10x6m*3	m	bn 1/s km*2
1650-1690	1.193	3.64	3.05	97	1.49	1.25	40	2.15	1.80	57
1600-1650	2.377	7.13	3.00	95	3.33	1.40	44	3.80	1.60	51
1550-1600	2.015	5.64	2.80	89	3.02	1.50	48	2.62	1.30	41
1500-1550	1.554	4.27	2.75	87	2.64	1.70	54	1.63	1.05	33
1450-1500	1.584	4.04	2.55	81	3.17	2.00	63	0.87	0.55	17
1400-1450	0.822	1.97	2.40	76	1.85	2.25	71	0.12	0.15	5
1350-1400	0.361	0.83	2.30	73	0.90	2.50	79	-0.07	-0.20	-6
1340-1350	0.170	0.37	2.20	70	0.48	2.85	90	-0.11	-0.65	-21
1340-1690	10.076	27.90	2.77	88	16.89	1.68	53	11.01	1.09	35

SPØRTEGGBREEN (VANNDALEN) 1989

Høyde intervall m o.h.	Areal S km*2	Vinterbalanse Bw 10x6m*3	m	bw 1/s kmx2	Sommerbalanse Bs 10x6m*3	m	bs 1/s km*2	Nettobalanse Bn 10x6m*3	m	bn 1/s km*2
1500-1536	0.083	0.23	2.75	87	0.14	1.70	54	0.09	1.05	33
1450-1500	0.258	0.66	2.55	81	0.52	2.00	63	0.14	0.55	17
1412-1450	0.145	0.35	2.40	76	0.33	2.25	71	0.02	0.15	5
1412-1536	0.486	1.23	2.54	80	0.98	2.02	64	0.25	0.52	16

SPØRTEGGBREEN (MØRKRI) 1989

Høyde intervall m o.h.	Areal S km*2	Vinterbalanse Bw 10x6m*3	m	bw 1/s kmx2	Sommerbalanse Bs 10x6m*3	m	bs 1/s km*2	Nettobalanse Bn 10x6m*3	m	bn 1/s km*2
1750-1770	0.140	0.32	2.25	71	0.15	1.10	35	0.16	1.15	36
1700-1750	1.633	4.49	2.75	87	1.80	1.10	35	2.69	1.65	52
1650-1700	1.503	4.58	3.05	97	1.88	1.25	40	2.71	1.80	57
1600-1650	1.473	4.42	3.00	95	2.06	1.40	44	2.36	1.60	51
1550-1600	2.726	7.63	2.80	89	4.09	1.50	48	3.54	1.30	41
1500-1550	2.355	6.48	2.75	87	4.00	1.70	54	2.47	1.05	33
1450-1500	1.142	2.91	2.55	81	2.28	2.00	63	0.63	0.55	17
1400-1450	0.711	1.71	2.40	76	1.60	2.25	71	0.11	0.15	5
1350-1400	0.551	1.27	2.30	73	1.38	2.50	79	-0.11	-0.20	-6
1300-1350	0.481	1.06	2.20	70	1.37	2.85	90	-0.31	-0.65	-21
1260-1300	0.160	0.34	2.10	67	0.50	3.15	100	-0.17	-1.05	-33
1260-1770	12.875	35.20	2.73	87	21.12	1.64	52	14.08	1.09	35

Tabell 14.

SPØRTEGGBREEN 1989

Høyde intervall m o.h.	Areal S km*2	Vinterbalanse Bw 10x6m*3	m	bw l/s kmx2	Sommerbalanse Bs 10x6m*3	m	bs l/s km*2	Nettobalanse Bn 10x6m*3	m	bn l/s km*2
1750-1770	0.140	0.32	2.25	71	0.15	1.10	35	0.16	1.15	36
1700-1750	2.736	7.52	2.75	87	3.01	1.10	35	4.51	1.65	52
1650-1700	3.928	11.98	3.05	97	4.91	1.25	40	7.07	1.80	57
1600-1650	4.440	13.32	3.00	95	6.22	1.40	44	7.10	1.60	51
1550-1600	5.302	14.85	2.80	89	7.95	1.50	48	6.89	1.30	41
1500-1550	4.613	12.69	2.75	87	7.84	1.70	54	4.84	1.05	33
1450-1500	3.266	8.33	2.55	81	6.53	2.00	63	1.80	0.55	17
1400-1450	1.737	4.17	2.40	76	3.91	2.25	71	0.26	0.15	5
1350-1400	0.962	2.21	2.30	73	2.41	2.50	79	-0.19	-0.20	-6
1300-1350	0.651	1.43	2.20	70	1.86	2.85	90	-0.42	-0.65	-21
1260-1300	0.160	0.34	2.10	67	0.50	3.15	100	-0.17	-1.05	-33
1260-1770	27.935	77.15	2.76	88	45.29	1.62	51	31.86	1.14	36

Tabell 15.

19. HARDANGERJØKULEN (050.4C1Z)

Breen ble besøkt 15. april 1989 for å måle akkumulasjonen. På grunn av forrige års store avsmelting var sonderingsforholdene stort sett gode. Årets akkumulasjon var unormalt stor, 7-8 meter snø i 1 700 m nivået og ca 4 meter i 1 200 m nivået. Fordelt over breen tilsvarer dette 3.48 m vann, som er ca 170% av gjennomsnittet for perioden 1963-89.

Minimumsmålingene ble foretatt 5. oktober 1989. Det hadde smeltet svært lite, sommerbalansen ble bare 1.37 m vannekvivalenter. Dette resulterte i et totalt overskudd på 2.11 m vann fordelt over hele breen - det høyeste som noen gang er målt på Hardangerjøkulen.

I de siste årene er feltarbeidet ved massebalansemålingene blitt vesentlig redusert. Færre staker er benyttet og færre sonderingsprofiler er målt. Beregningsprosedyren er derfor også forandret noe. Når man har svært få datapunkter for snødyp blir det vanskelig å lage et tilfredsstillende akkumulasjonskart for beregning av gjennomsnittlig akkumulasjon i hvert høydenivå. Derfor har vi nå på grunnlag av eksisterende akkumulasjonskart valgt et representativt sonderingsprofil og alle data fra profilet er plottet i et høydefordelingsplott (fig. 21).

Usikkerheten i disse beregningene er noe større enn ved den "gamle" metoden, vesentlig pga. færre målepunkter. Usikkerheten antas å være ca 0.30 m vannekvivalenter for målingene på Hardangerjøkulen i 1989. En nærmere vurdering av usikkerheten ved denne forenklede metoden er planlagt foretatt i løpet av 1990.

Alle data er vist i tabell 16.

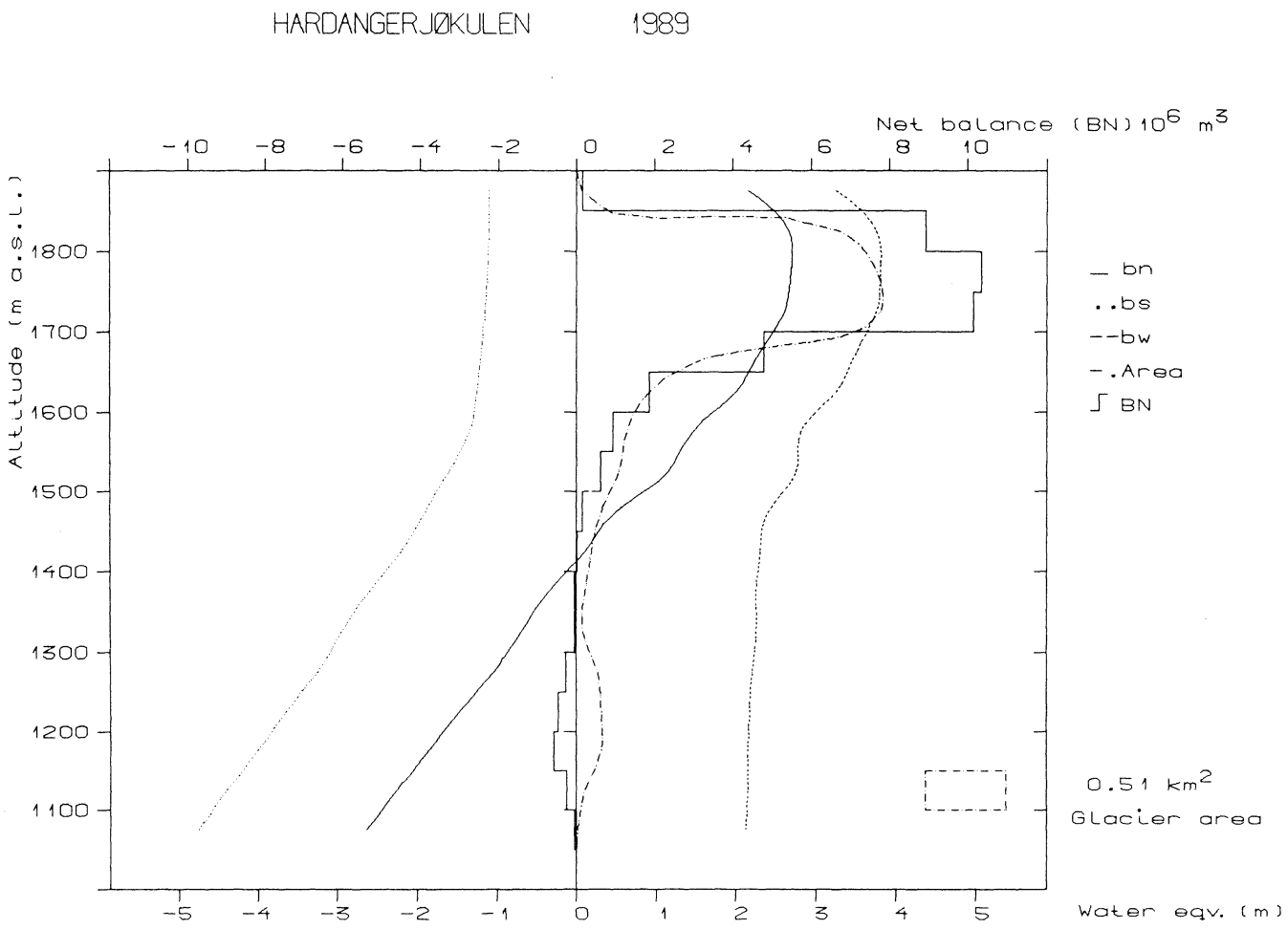


Fig. 21. Massebalansediagrammet for Hardangerjøkulen viser også en avtagende vinterbalnse mot toppen. Ellers viser diagrammet at det falt store snømengder helt nederst på breen, over 2 m vannekvivalenter. Bare de nederste delene av breen fikk negativ nettobalanse.

Also for Hardangerjøkulen it is obvious that snow is blowing off the upper areas - the winter balance curve shows a decreasing accumulation at the highest elevations. The overall accumulation is unusually large and only the lowest parts experienced a net mass loss. ELA was at 1 410 m a.s.l.

HARDANGERJØKULEN 1989

Høyde intervall m o.h.	Areal S km*2	Vinterbalanse Bw 10x6m*3	m	bw l/s kmx2	Sommerbalanse Bs 10x6m*3	m	bs l/s km*2	Nettobalanse Bn 10x6m*3	m	bn l/s km*2
1850-1900	0.070	0.23	3.25	103	0.08	1.10	35	0.15	2.15	68
1800-1850	3.375	12.66	3.75	119	3.71	1.10	35	8.94	2.65	84
1750-1800	3.866	14.69	3.80	120	4.33	1.12	36	10.36	2.68	85
1700-1750	3.910	14.66	3.75	119	4.50	1.15	36	10.17	2.60	82
1650-1700	2.084	7.29	3.50	111	2.50	1.20	38	4.79	2.30	73
1600-1650	0.936	3.04	3.25	103	1.17	1.25	40	1.87	2.00	63
1550-1600	0.640	1.79	2.80	89	0.86	1.35	43	0.93	1.45	46
1500-1550	0.542	1.49	2.75	87	0.87	1.60	51	0.62	1.15	36
1450-1500	0.319	0.77	2.40	76	0.61	1.90	60	0.16	0.50	16
1400-1450	0.196	0.45	2.30	73	0.43	2.20	70	0.02	0.10	3
1350-1400	0.112	0.25	2.25	71	0.29	2.60	82	-0.04	-0.35	-11
1300-1350	0.084	0.19	2.25	71	0.25	2.95	94	-0.06	-0.70	-22
1250-1300	0.270	0.59	2.20	70	0.88	3.25	103	-0.28	-1.05	-33
1200-1250	0.315	0.68	2.17	69	1.15	3.65	116	-0.47	-1.48	-47
1150-1200	0.321	0.69	2.15	68	1.28	4.00	127	-0.59	-1.85	-59
1100-1150	0.115	0.25	2.15	68	0.51	4.40	140	-0.26	-2.25	-71
1050-1100	0.022	0.05	2.12	67	0.10	4.75	151	-0.06	-2.63	-83
1050-1900	17.177	59.77	3.48	110	23.52	1.37	43	36.26	2.11	67

Tabell 16.

20. STORBREEN (002.DHBBZ)

På Storbreen, der Polarinstituttet har drevet massebalanse-undersøkelser siden 1949 (verdens nest lengste serie) ble vinterakkumulasjonen målt 14.-15. mai 1989.

Det var svært mye snø på breen, fra 3½-4½ m på den nedre delen til over 5 m på de øvre delene. Dette ga en rekordmessig vinterakkumulasjon på 2.30 m vannekvivalenter jevnt fordelt over hele breen. Dette er ikke mindre enn 170% av et normalår, og er den høyeste vinterbalanse som noensinne er observert siden målingene tok til i 1949.

Sommeren 1989 var usedvanlig kjølig i høyfjellet og det resulterte i at sommeravsmeltingen bare ble 66% av det normale. Sommerbalansen ble 1.10 m vannekvivalenter jevnt fordelt over breflaten.

De store snømengdene og den svale sommeren resulterte i at vi fikk et stort netto-overskudd for Storbreen i 1989, det største som noengang har vært målt. Nettobalansen ble +1.20 m. Tidligere rekorder ble satt i 1962 og i 1967, da ble overskuddet +0.72 m.

Likevektslinjen ble liggende så lavt som 1 550 m o.h., se fig. 22. Den kumulative massebalansen siden 1949 er nå blitt -10.47 m vannekvivalenter. Massebalansevariasjonene 1949-1989 er vist i fig. 23.

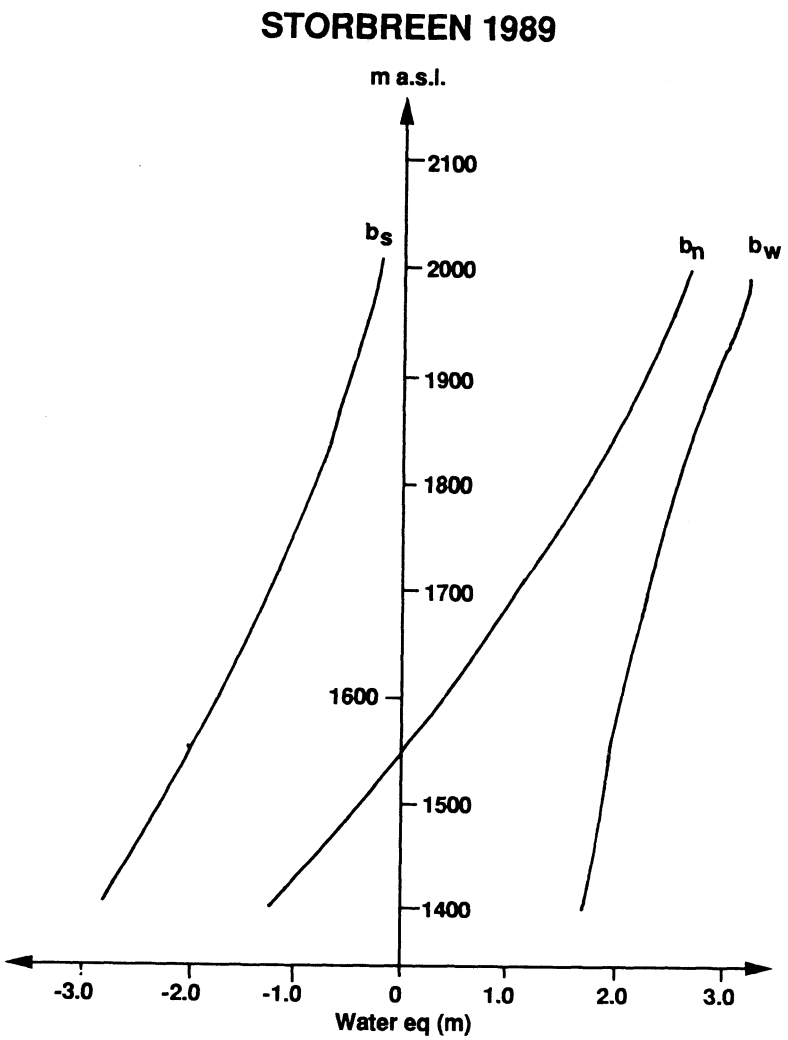


Fig. 22. Norsk Polarinstitutt har utarbeidet dette diagrammet for 1989. Det viser en svært stor vinterbalanse, den største som overhode er målt på denne breen! (Se fig. 23.) Sommerbalansen er svært liten, så breen øket sin masse i 1989, mer enn noengang på 41 år.

Storbreen received in 1989 more snow than ever observed. After a cool summer, the glacier experienced its largest positive net balance during 41 years, compare Fig. 23. ELA was as low as 1 550 m.

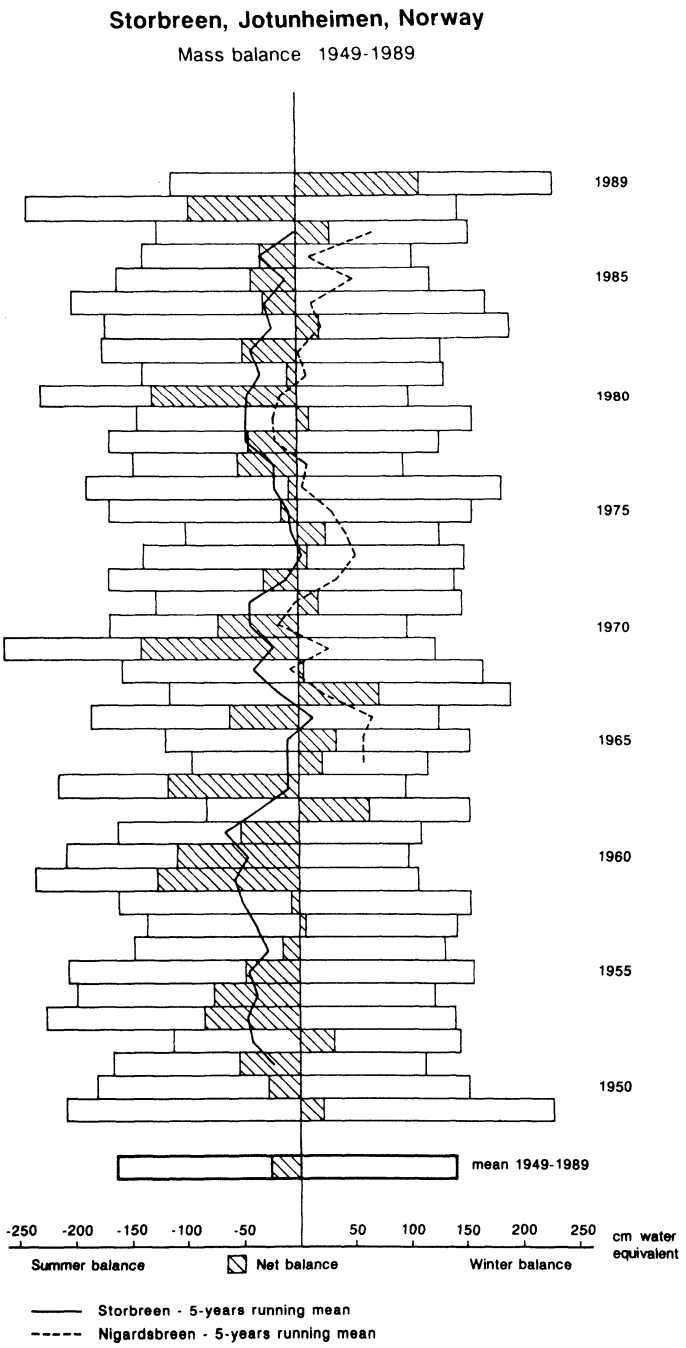


Fig. 23. Dette diagrammet viser Storbreens variasjoner siden målingene startet i 1949. De skraverte søylene viser nettobalansen, mens den heltrukne linjen er et løpende middeltall. Ved midten av 1960-tallet var det flere positive år, ellers har breen stort sett mistet masse. Året 1989 peker seg ut som svært uvanlig. For de siste årene er tilsvarende løpende middeltall også inntegnet for Nigardsbreen (streket linje).

Annual mass balance results are plotted in this histogram, the net balance variations is also shown by 5-year running means (solid line). The year 1989 is abnormal. For the last two decades, the running mean for Nigardsbreen is also shown (dashed line).

21. HELLSTUGUBREEN (002.DHBAZ)

Vinterakkumulasjonen på Hellstugubreen ble målt 14.-15. mai. Av 14 staker hadde 9 overlevet vinteren. Sonderingsforholdene var gode. Det ble utført 40 sonderinger langs 4 km sonderingsprofiler. Snøens tetthet ble beregnet utfra en snøprøve tatt av de øverste 2 m i 1950 m nivå. Snødypet varierte fra 1 m nederst på breen til over 5 m på breens øvre deler.

Vinterbalansen ble beregnet til 1.62 m. Det er den største vinterbalanse som er målt på Hellstugubreen siden målingene startet i 1962, og det er 150% av middelverdien for disse årene.

Ved et besøk den 18. august ble 13 staker funnet.

Minimumsmålingene ble utført 23. september. Da ble samtlige 14 staker fra høsten 1988 funnet. Smeltingen hadde vært relativt liten, spesielt på breens øvre områder, der den var mindre enn ½ m vannekvivalenter. Nederst på bretungen var det smeltet bort snø og is tilsvarende 3 m vannekvivalenter.

Sommerbalansen ble beregnet til 0.90 m, og det er 64% av midlere sommerbalanse i måleperioden (1962-1988).

Breens nettobalanse ble dermed +0.72 m. Bare i 1962 er det målt større nettobalanse på Hellstugubreen. Midlere nettobalanse i måleperioden er -0.33 m vannekvivalenter.

Likevektslinjens høyde er beregnet til 1 660 m o.h., og det er 170 m lavere enn når breen er i balanse. Resultatene er vist i tabell 17 og i diagrammet, fig. 24.

HELLSTUGUBREEN 1989

Høyde intervall m o.h.	Areal S km*2	Vinterbalanse Bw 10x6m*3	Vinterbalanse m	Vinterbalanse bw l/s kmx2	Sommerbalanse Bs 10x6m*3	Sommerbalanse m	Sommerbalanse bs l/s km*2	Nettobalanse Bn 10x6m*3	Nettobalanse m	Nettobalanse bn l/s km*2
2150-2200	0.020	0.04	1.94	62	0.00	0.16	5	0.04	1.78	66
2100-2150	0.084	0.17	2.07	66	0.02	0.21	7	0.16	1.86	69
2050-2100	0.252	0.62	2.45	78	0.06	0.25	8	0.55	2.20	82
2000-2050	0.173	0.45	2.58	82	0.07	0.38	12	0.38	2.20	82
1950-2000	0.351	0.77	2.18	69	0.19	0.54	17	0.58	1.64	61
1900-1950	0.599	1.00	1.67	53	0.41	0.68	22	0.59	0.99	37
1850-1900	0.351	0.48	1.36	43	0.28	0.81	26	0.19	0.55	20
1800-1850	0.326	0.46	1.40	44	0.30	0.93	29	0.15	0.47	17
1750-1800	0.141	0.18	1.26	40	0.15	1.09	35	0.02	0.17	6
1700-1750	0.098	0.14	1.47	47	0.13	1.28	41	0.02	0.19	7
1650-1700	0.163	0.27	1.63	52	0.24	1.48	47	0.02	0.15	6
1600-1650	0.130	0.12	0.96	30	0.22	1.71	54	-0.10	-0.75	-28
1550-1600	0.173	0.11	0.62	20	0.34	1.98	63	-0.24	-1.36	-50
1500-1550	0.093	0.04	0.41	13	0.21	2.24	71	-0.17	-1.83	-68
1450-1500	0.027	0.01	0.32	10	0.07	2.48	79	-0.06	-2.16	-80
1450-2200	2.981	4.84	1.62	51	2.69	0.90	29	2.15	0.72	23

Tabell 17.

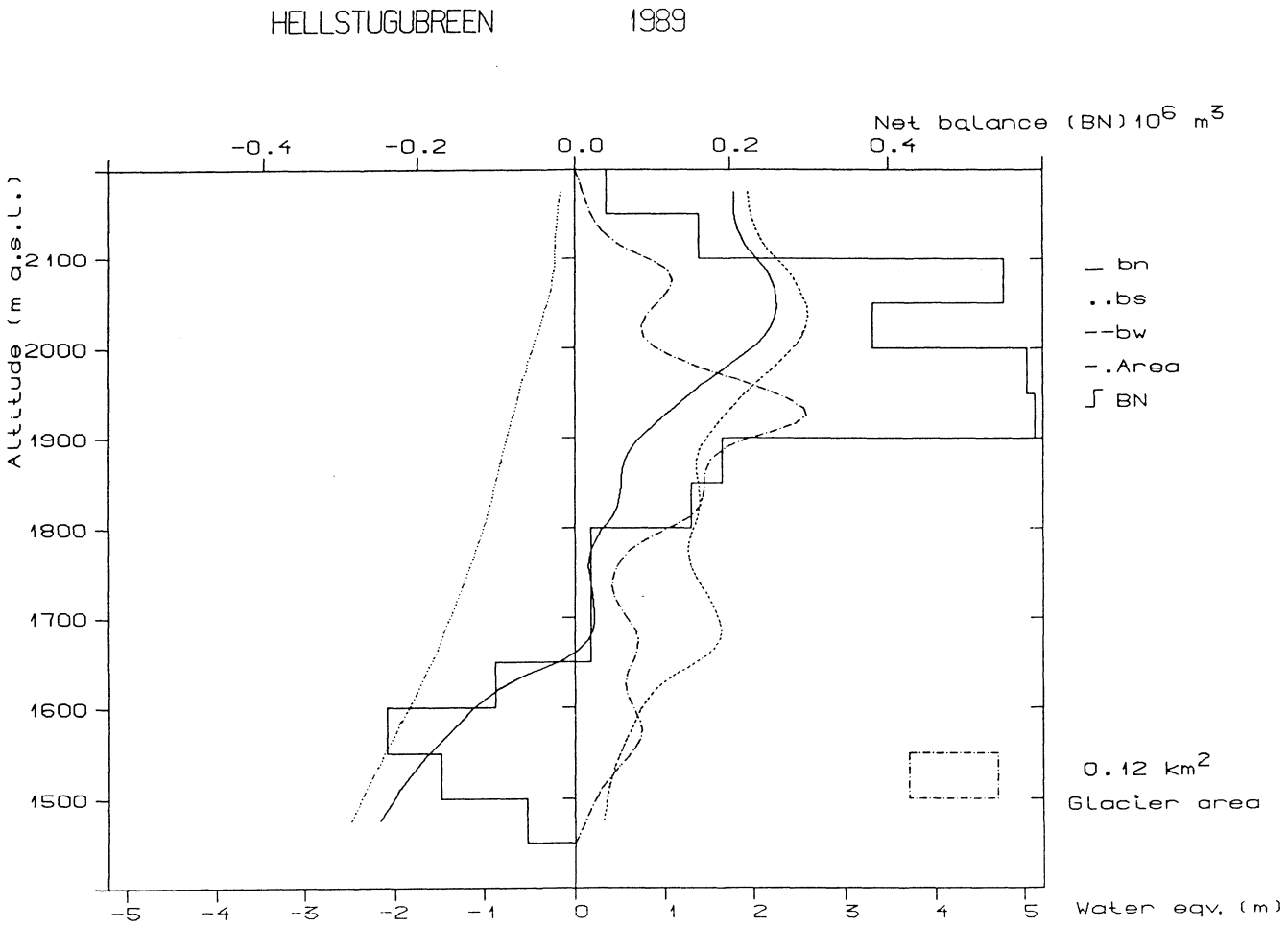
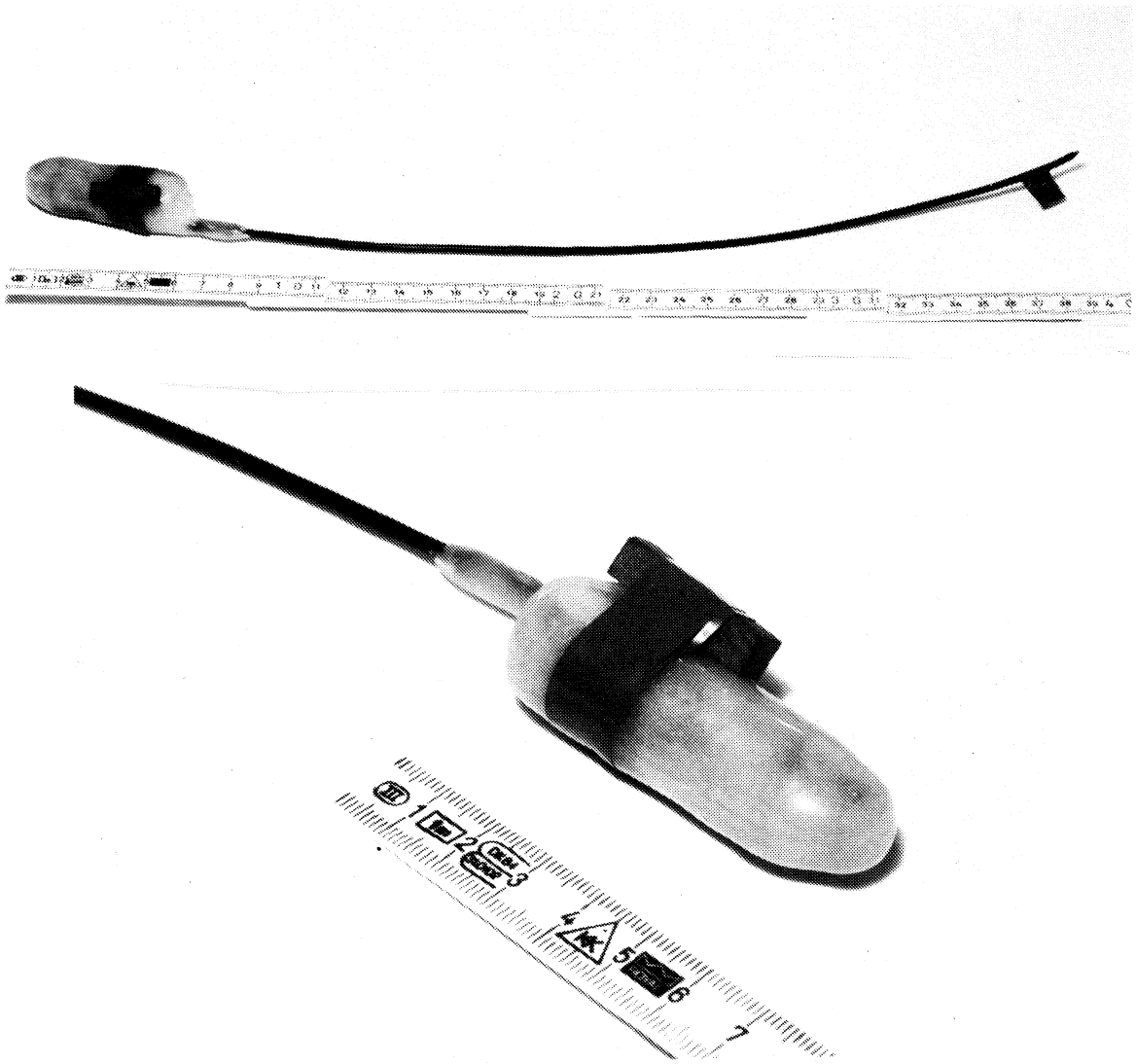


Fig. 24. Vinterakkumulasjonen på Hellstugubreen viser store variasjoner med høyden, antagelig på grunn av topografien og spesielt vindforholdene i løpet av vinteren. Avsmeltingen er mer direkte avhengig av høyden, så b_s-kurven (til venstre) blir jevnere, mens nettobalansekurven får et utseende som likner vinterbalansekurven.

The snow distribution shows large variations with height, due to topography and - particularly - wind conditions during the winter. ELA was at approx. 1 680 m a.s.l.



På breer med stor vinterakkumulasjon er det vanskelig å holde stakene synlig gjennom hele vintersesongen, til tross for vinterbesøk med stakeskjøting. Da det er vitalt for beregningene å gjenfinne staker i nøkkelposisjoner, har vi brukt små radiosendere som opprinnelig var utviklet for å følge ville dyr. Festet til en stake vil disse senderne kunne lokaliseres, selv under flere meter snø. De har en levetid på 2 år og koster ca 700 kr/stk.

On glaciers with heavy winter accumulation it is difficult to keep stakes visible during the entire winter season, in spite of winter visits and stake extensions. It is vital for mass balance calculation that at least stakes in key positions are found, so we have tried small animal-tracking radio transmitters. Tied to the upper end of a stake, they may be loacated even under several metres of snow. Their lifetime is 2 years and the price is about £60.

29. GRÅSUBREEN (002.DGDC)

Akkumulasjonsmålingene ble utført 12. mai 1989. Av de 23 stakene som ble målt ved minimumsmålingene, hadde bare 11 overlevet. Pga. stor avsmelting sommeren 1988 var sommeroverflaten godt utviklet og sonderingsforholdene var gode. Det ble utført 69 sonderinger langs 6 km sonderingsprofiler. Snødypet var mellom 0.8 og 4.3 m. Tetthetsprøve ble tatt i høyde 2 145 m o.h. der det var 80 cm snø.

Årets vinterbalanse ble beregnet til 1.12 m vannekvivalenter. Det er 153% av midlere vinterbalanse i perioden 1962-88 og litt mer enn i 1988 og den største vinterbalanse som er målt siden 1967.

Ved besøk 20. august ble 19 staker funnet. Under minimumsmålingene ble også 19 staker funnet.

Den kjølige sommeren hadde gitt relativt lite smelting, og det var bare små områder med eksponert blåis. Smeltingen var mellom 0.5 m og 1.0 m vann. Sommerbalansen ble beregnet til 0.67 m, og er 64% av midlere sommerbalanse i måleperioden. Bare i 1962, -65, -74 og -87 er det målt mindre sommerbalanse på Gråsubreen.

Stor vinterbalanse og liten sommerbalanse resulterte i et relativt stort overskudd. Nettobalansen ble +0.45 m vannekvivalenter. Bare i 1962, -67 og -87 er det målt større nettobalanse. Midlere nettobalanse i måleperioden er -0.31 m vannekvivalenter. Tallene fra hvert enkelt høydeintervall er vist i tabell 18.

Massebalansediagrammet fig. 25 viser at likevektslinjen ligger under breens laveste nivå.

GRÅSUBREEN 1989

Høyde intervall m o.h.	Areal S km*2	Vinterbalanse Bw 10x6m*3	Vinterbalanse m	Vinterbalanse bw l/s km*2	Sommerbalanse Bs 10x6m*3	Sommerbalanse m	Sommerbalanse bs l/s km*2	Nettobalanse Bn 10x6m*3	Nettobalanse m	Nettobalanse bn l/s km*2
2250-2290	0.037	0.02	0.57	18	0.02	0.46	15	0.00	0.11	3
2200-2250	0.162	0.14	0.86	27	0.06	0.39	12	0.08	0.47	15
2150-2200	0.256	0.22	0.86	27	0.14	0.54	17	0.08	0.32	10
2100-2150	0.335	0.28	0.83	26	0.20	0.59	19	0.08	0.24	8
2050-2100	0.380	0.41	1.08	34	0.25	0.67	21	0.16	0.41	13
2000-2050	0.414	0.48	1.17	37	0.30	0.72	23	0.19	0.45	14
1950-2000	0.369	0.50	1.35	43	0.29	0.79	25	0.21	0.56	18
1900-1950	0.154	0.25	1.64	52	0.13	0.85	27	0.12	0.79	25
1850-1900	0.092	0.15	1.64	52	0.08	0.90	29	0.07	0.74	23
1850-2290	2.199	2.45	1.12	35	1.47	0.67	21	0.98	0.45	14

Tabell 18.

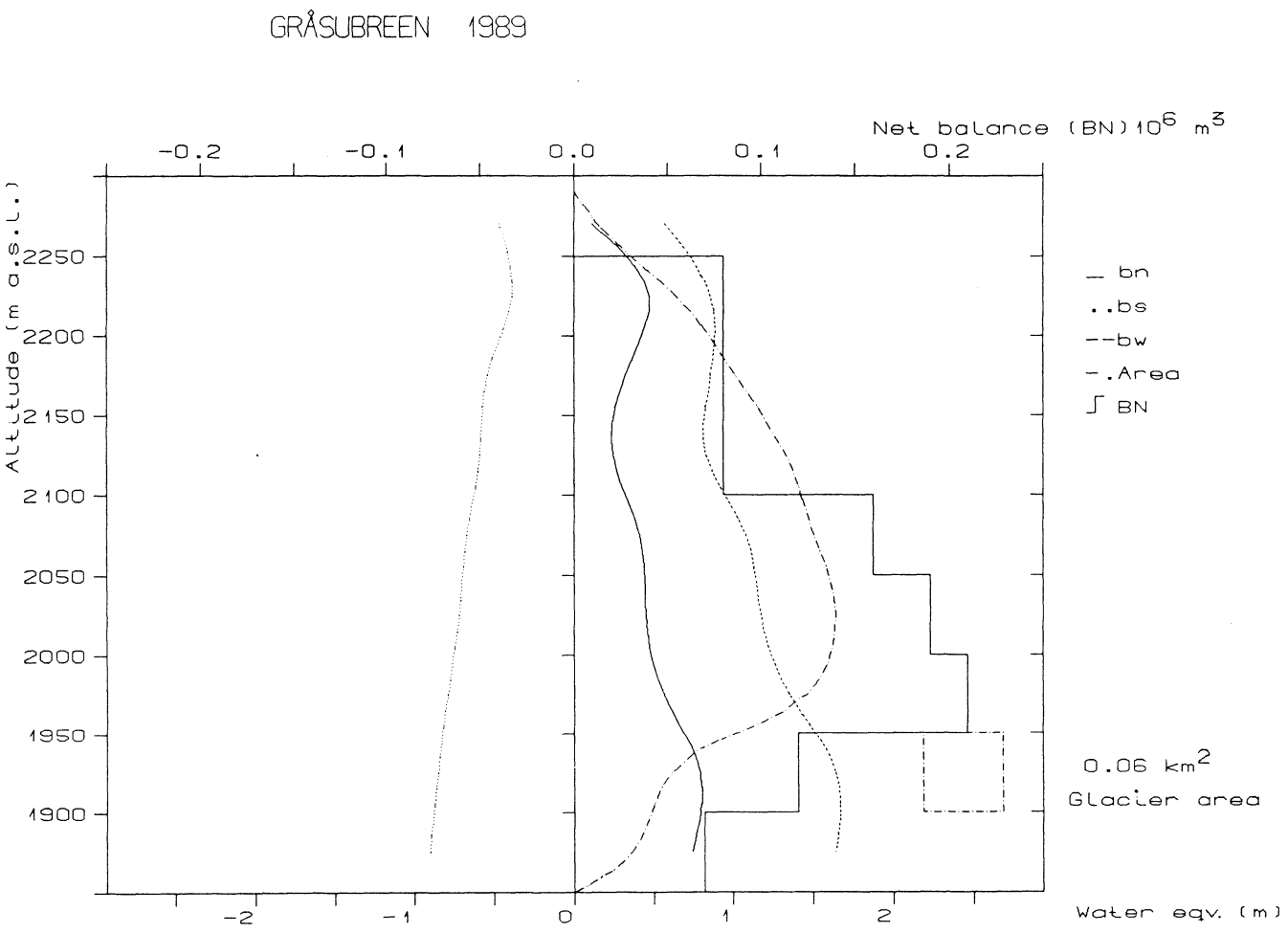


Fig. 25. Gråsubreen er den høyestliggende bre som observeres i Norge. I 1989 ble hele breen et netto akkumulasjonsområde, b_n-kurven skjærer ikke y-aksen og likevektslinjens høyde kan ikke bestemmes. Vinterbalansen var den største som noensinne er målt.

Gråsubreen is the highest situated glacier under study in Norway. In 1989 it was entirely above ELA, the height of which cannot be defined. The winter balance is the largest ever observed (since 1962).

For å bestemme topografien under breen har flere geofysiske metoder vært brukt. I de senere år har vi brukt et radio-ekko system der en sender (bakerste slede) sender ut radio-pulser. Disse reflekteres fra fjellgrunnen og mottas med en viss tidsforsinkelse (forreste slede) og derav beregnes istykkelse. På snøscooteren sees et "tårn" som er en del av posisjoneringssystemet. Foto fra Svartisen tatt av Mike Kennett.

The subglacial topography can be determined by various geo-physical methods. Here is our radio-echo system in use on the Svartisen icecap. The pulse transmitter is in one sledge, the receiver in the other. Each has a 10 m dipole antenna attached to the towing rope. Note the tower for positioning fixed to the ski-doo.

23. SVARTISHEIBREEN (159.33A)

Ved det første besøket på breen den 10. januar ble det konstatert at alle tidligere utsatte staker var nedsnødd. 3 nye staker ble derfor satt ut da akkumulasjonsmålingene ble utført den 21. mai. Snødypsonderinger ble gjort for hver 50. høydemeter og tetthetsprøve ble tatt for de 2 øverste metrene. Snødypet varierte fra 3.80 til 10.40 m.

Ved sommerbesøket den 5. august fant vi 2 gamle staker i tillegg til de 3 nye som ble satt ut i mai. Omboringer var unødvendig.

Minimumsmålingene ble gjort den 5. oktober. Da var det kommet ca 30 cm nysnø og 5 staker ble funnet, nemlig 2 av dem som ble satt ut i mai og 3 fra tidligere år. Ved årets siste besøk den 9. desember ble bare 4 staker (én fra mai og 3 gamle) funnet og disse ble skjøtt. Det hadde kommet mellom 2½ og 3½ meter snø som altså er begynnelsen til neste års akkumulasjon.

Akkumulasjonsmålingene for 1989 ga en vinterbalanse på 3.72 m vannekvivalenter, og dette utgjør 153% av fjorårets resultat. Sommerbalansen ble beregnet til 1.36 m vannekvivalenter, noe som utgjør bare 34% av fjorårets avsmelting.

Beregningene av nettobalansen for 1989 viste derfor at breen hadde hatt et overskudd på 13 mill. m^3 vann. Dette er ikke mindre enn 2.36 m vann jevnt fordelt over hele breens overflate. Likevektslinjen kom til å ligge så lavt som ca 900 m o.h. Detaljerte resultater er vist i tabell 19 og fig. 26.

SVARTISHEIBREEN 1989

Høyde intervall m o.h.	Areal S km*2	Vinterbalanse Bw 10x6m*3	m	bw l/s kmx2	Sommerbalanse Bs 10x6m*3	m	bs l/s km*2	Nettobalanse Bn 10x6m*3	m	bn l/s km*2
1400-1420	0.010	0.04	3.60	114	0.00	0.35	11	0.03	3.25	103
1350-1400	0.140	0.54	3.85	122	0.05	0.35	11	0.49	3.50	111
1300-1350	0.250	1.06	4.25	135	0.09	0.35	11	0.98	3.90	124
1250-1300	0.370	1.70	4.60	146	0.15	0.40	13	1.55	4.20	133
1200-1250	0.330	1.58	4.80	152	0.13	0.40	13	1.45	4.40	139
1150-1200	0.360	1.75	4.85	154	0.14	0.40	13	1.60	4.45	141
1100-1150	0.340	1.60	4.70	149	0.14	0.40	13	1.46	4.30	136
1050-1100	0.350	1.56	4.45	141	0.18	0.50	16	1.38	3.95	125
1000-1050	1.070	4.39	4.10	130	0.75	0.70	22	3.64	3.40	108
950-1000	0.630	2.05	3.25	103	0.72	1.15	36	1.32	2.10	67
900-950	0.540	1.49	2.75	87	1.11	2.05	65	0.38	0.70	22
850-900	0.310	0.81	2.60	82	0.96	3.10	98	-0.16	-0.50	-16
800-850	0.350	0.86	2.45	78	1.30	3.70	117	-0.44	-1.25	-40
770-800	0.430	0.99	2.30	73	1.74	4.05	128	-0.75	-1.75	-55
770-1420	5.480	20.40	3.72	118	7.45	1.36	43	12.94	2.36	75

Tabell 19.

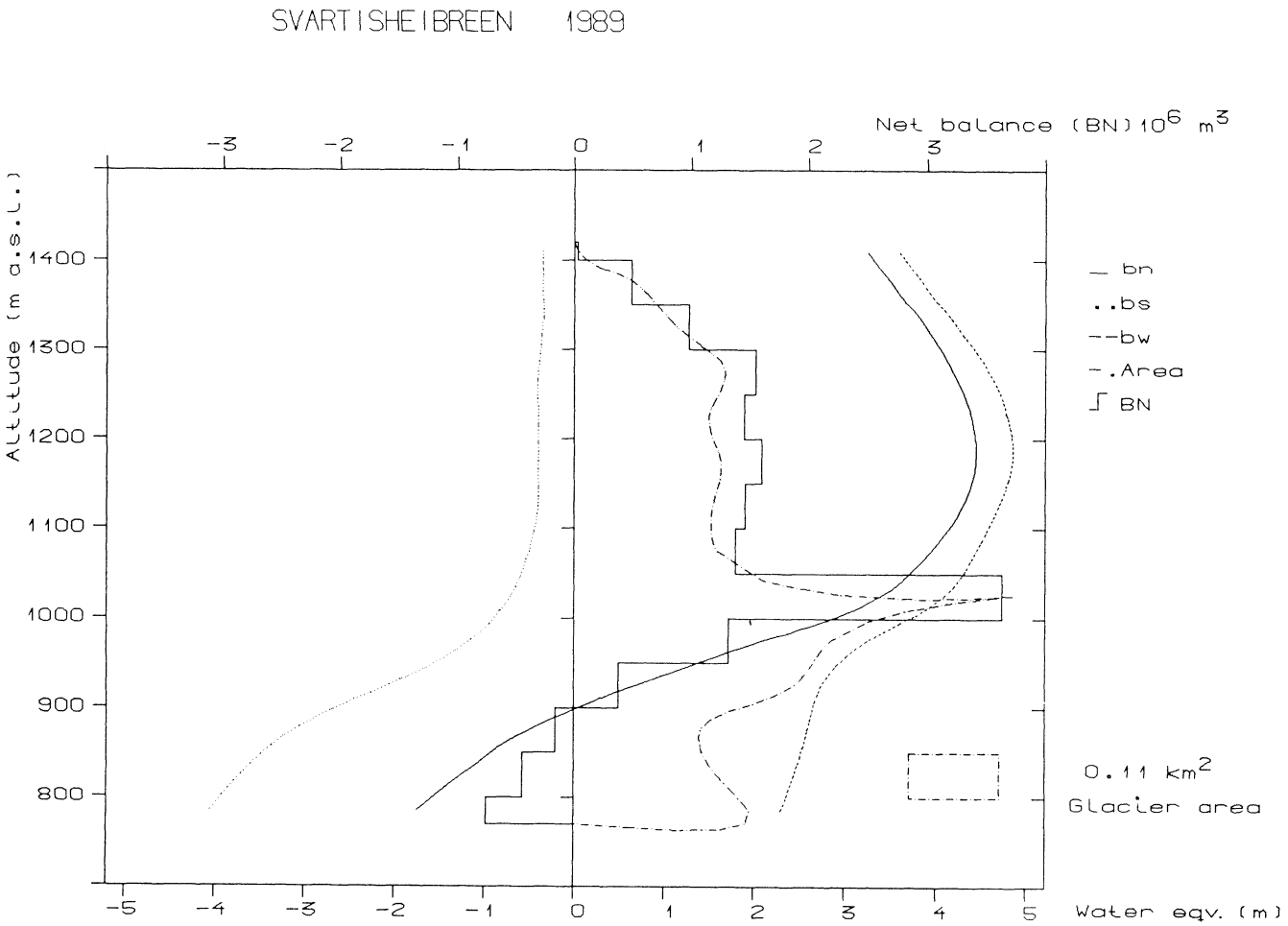


Fig. 26. Svartisheibreen i Nord-Norge fikk også svært stor positiv massebalanse i 1989. Størst snøfall kom i 11-1300 metersnivået, mens avsmeltingen var forbausende likeartet ovenfor 1 100 m. Se også kartet i neste figur.

Svartisheibreen experienced a large positive balance in 1989. The snow accumulation showed great variation with height, whereas the melt was surprisingly uniform above 1 100 m. See also next illustration. ELA turned out to be 900 m.

Balansetallene er beregnet på grunnlag av 15 sonderingspunkter i høydeintervallet 1 020 til 800 mo.h., og på grunnlag av 6 målestaker i høydeintervallet 1 300 til 800 m o.h. Fordi det var dårlig samsvar mellom sonderinger og målestaker på Svartisheibreen er fjorårets resultater for Svartisheibreen og årets resultater fra Engabreen tatt med i vurderingen for å få et mest mulig riktig bilde av årets nettobalanse på Svartisheibreen.

Sommeren 1989 ble det også foretatt endel bevegelsesmålinger ved 6 staker som ble innmålt 2-3 ganger i løpet av sommeren. Resultatene vises i fig. 27.

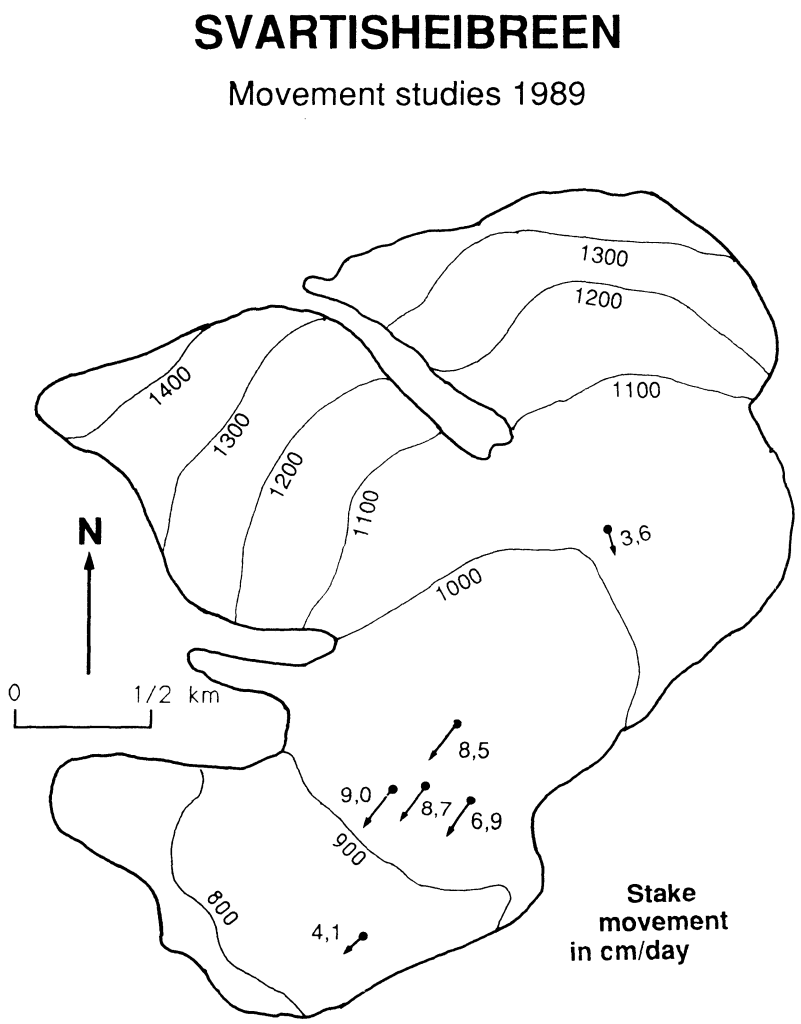


Fig. 27. Kartet over Svartisheibreen viser at breen har to firnområder. På kartet er også resultatene av bevegelsesmålingene innført for 6 staker.

This map shows the form of the glacier, its two main firn basins and the stakes where ice velocity studies were made. Figures indicate velocity in m per day.

24. ENGABREEN (159.81)

Breen ble besøkt 6 ganger i 1989. Akkumulasjonsmålingene ble påbegynt den 13. mai, men måtte avbrytes etter to dager pga. uvær. Arbeidet ble gjenopptatt og avsluttet 22. - 23. mai. Det var da kommet uvanlig store snømengder. Bare ett tårn hadde overlevet. Ved ialt ca 60 sonderinger kunne det konstateres at snødybden lå mellom 7 og 13 m. På de laveste delene av breen var sommeroverflaten lett identifiserbar, mens den til tross for den store avsmeltingen 1988 var

Nær Engabreens høyeste punkt stikker det opp en bergnabbe som kalles Skjæret. Her er det montert en automatisk datalogger som samler timeverdier for vindhastighet, vindretning, temperatur og lufttrykk. Muligheter foreligger også for å observere luftfuktighet. Nedbørmåleren (til høyre) viste seg ikke å gi noen brukbare verdier, noe som jo er et generelt problem i høyfjellet, så den er nu frakoblet loggeren.

Near the highest point of Engabreen outlet glacier from the Svartisen icecap, there is a small exposed bedrock area. An automatic meteorological station has been installed there, recording each hour the following parameters: wind speed, wind direction, air temperature, air pressure. Possibilities are present to observe also the humidity. The precipitation gauge (to the right) did not give reasonable data, a fact which is a common problem in high-mountain areas, so it is now abandoned.

dårlig utviklet over 1 250 m o.h., noe som allerede ble konstatert under minimumsmålingene høsten 1988. Det ble tatt tetthetsprøve ned til 2 m i høydenivå 1 350 m o.h. På grunnlag av denne prøven og erfaringsverdier fra en rekke tidligere år ble snøens vannverdi beregnet.

Omfanget av akkumulasjonsmålingene i 1989 var betydelig redusert i forhold til tidigere år, noe som medfører en større usikkerhet i resultatet.

Første sommerbesøk ble foretatt 12. juli. Da ble det smeltet ned 4 wirer på bretungen (200-400 m o.h.) for ablasjonsmålinger. Neste besøk ble foretatt den 5. august. Da ble 2 staker målt, og de var blitt ca 2.5 m lengre siden akkumulasjonsmålingen i mai. Minimumsmålingene ble utført den 5. oktober. Det hadde vært relativt lite smelting siden besøket i august.

Årets siste besøk ble gjort 8. desember. Været var for dårlig til at det var mulig å lande på breen med helikopter, men to tårn var synlige. Nysnødypet ble anslått til 3-4 m. Wirene på bretungen ble målt. Det var smeltet omkring 3 m is siden de ble satt ut i august.

Beregningen av massebalansen på Engabreen gir en vinterbalanse på 176 mill. m^3 eller 4.62 m vann jevnt fordelt på hele breens overflate. Det er over 160% av middelverdien for perioden siden målingene startet i 1970. Dette er den største vinterakkumulasjon som noengang er målt på Engabreen og over det dobbelte av akkumulasjonen i 1988. Tidligere største målte akkumulasjon var 4.37 m som ble målt i 1973. Usikkerheten i målingene er stipulert til ±1.2 m.

Sommerbalansen ble beregnet til 55 mill m^3 eller 1.45 m vannekvivalenter. Det er 62% av midlere sommerbalanse og bare 36% av avsmeltingen i 1988. Bare i 1977 er det blitt målt en mindre sommerbalanse. Den var da 1.20 m. Usikkerheten i sommerbalansemålingene er stipulert til ±1.0 m.

Rekordakkumulasjon og svært liten avsmelting ga et overskudd på 121 mill. m^3 eller 3.18 m vannekvivalenter. Det er den største nettobalansen som har vært målt på Engabreen. Bare 31% av årets akkumulasjon smeltet. Den tidligere største nettobalansen på 2.72 m ble målt i 1973. Det store overskuddet i 1989 motsvarer en reduksjon av avløpet fra breen på 101 $l \cdot s^{-1} \cdot km^{-2}$. Usikkerheten i nettobalansen er ±1.6 m.

Resultatene er vist i fig. 28 og tabell 20.

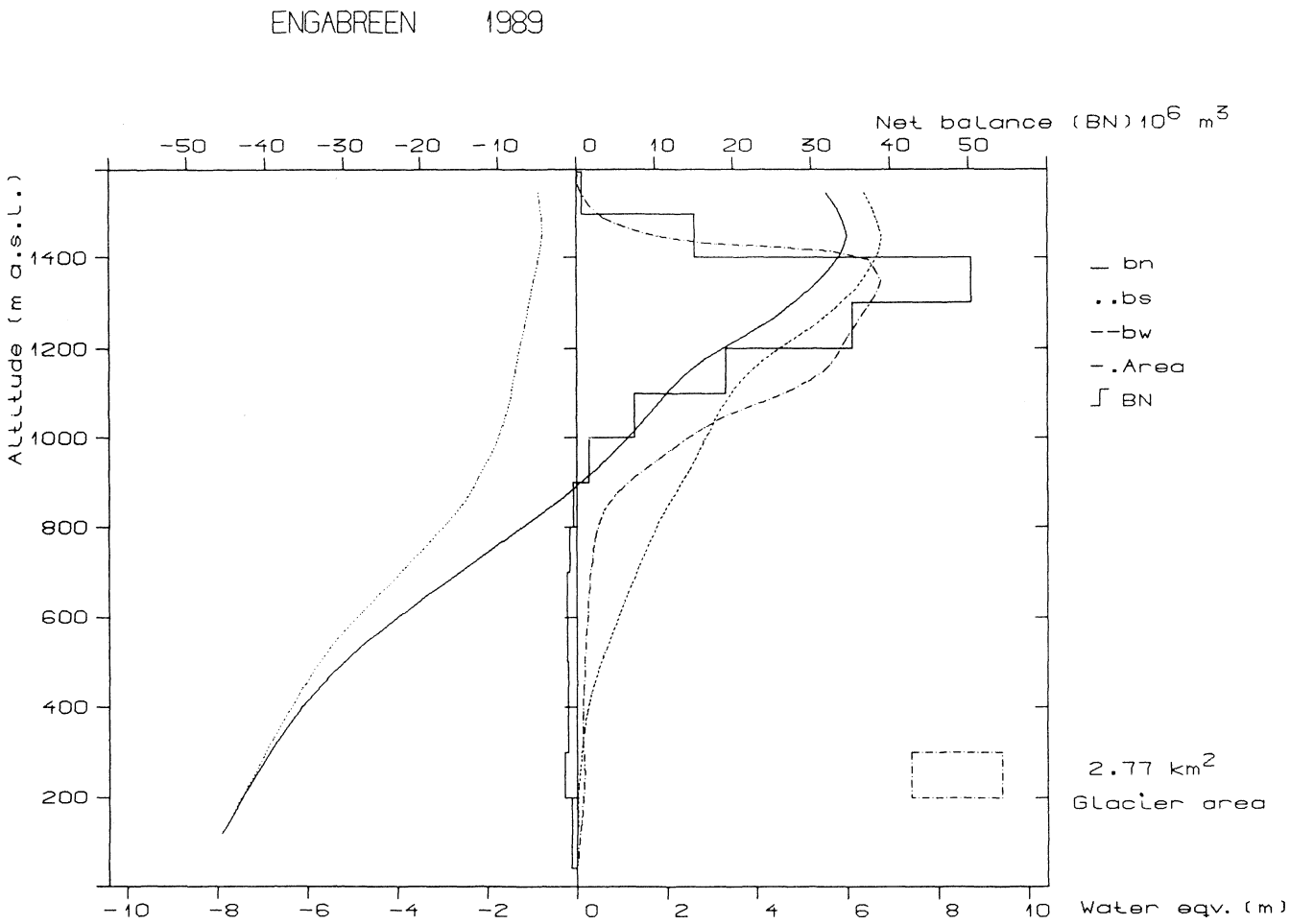


Fig. 28. Høydefordelingen på Engabreen ligner Nigardbreens. Begge breene har et meget stort firnområde og en relativt smal og bratt tunge. En forskyvning i nettobalansekurven vil lett gi store utslag i masseomsetningen. I 1989 ble balansen sterkt positiv pga. rekordartet vinterbalanse og svært liten avsmelting.

The area distribution of Engabreen is similar to that of Nigardsbreen. A shift in the net balance curve will give large variations in mass balance conditions. In 1989 the mass balance turned out to be very positive, due to a record in winter snow fall and a very cool summer.

ENGABREEN 1989

Høyde intervall m o.h.	Areal S km*2	Vinterbalanse Bw 10x6m*3	m	bw l/s kmx2	Sommerbalanse Bs 10x6m*3	m	bs l/s km*2	Nettobalanse Bn 10x6m*3	m	bn l/s km*2
1500-1594	0.120	0.77	6.38	202	0.10	0.84	27	0.66	5.54	206
1400-1500	2.510	16.94	6.75	214	1.91	0.76	24	15.03	5.99	222
1300-1400	9.350	59.19	6.33	201	8.79	0.94	30	50.40	5.39	200
1200-1300	8.550	45.06	5.27	167	9.83	1.15	36	35.23	4.12	153
1100-1200	7.600	29.41	3.87	123	10.34	1.36	43	19.08	2.51	93
1000-1100	4.660	14.59	3.13	99	7.27	1.56	49	7.32	1.57	58
900-1000	2.460	6.45	2.62	83	4.87	1.98	63	1.57	0.64	24
800-900	0.940	1.91	2.03	64	2.40	2.55	81	-0.49	-0.52	-19
700-800	0.500	0.77	1.54	49	1.72	3.43	109	-0.95	-1.89	-70
600-700	0.370	0.41	1.12	36	1.63	4.40	140	-1.21	-3.28	-122
500-600	0.270	0.20	0.73	23	1.44	5.35	170	-1.25	-4.62	-171
400-500	0.210	0.08	0.37	12	1.27	6.06	192	-1.19	-5.69	-211
300-400	0.170	0.03	0.16	5	1.13	6.65	211	-1.10	-6.49	-241
200-300	0.220	0.01	0.05	2	1.58	7.20	228	-1.57	-7.15	-265
40-200	0.090	0.00	0.00	0	0.71	7.90	251	-0.71	-7.90	-293
40-1594	38.020	175.80	4.62	147	54.99	1.45	46	120.81	3.18	101

Tabell 20.

25. LANGFJORDJØKELEN (211.33A)

Langfjordjøkelen er en liten dalbre som ligger ved fylkesgrensen på en halvøy mellom Kvænangen og Altafjord. Se fig. 29. Den er en av landets nordligste breer, bare Øksfjordjøkulen og Seilandsjøkulen ligger litt lengre nord.

Akkumulasjonsmålingene, som er de første som utført på Langfjordjøkelen, ble foretatt 24. mai. Dette var i seneste laget og bør i framtiden antagelig best gjøres i siste uke av april eller i første uke av mai. På toppen av breen ble det foretatt en kjerneboring som viste en helt klar referanseflate fra høsten 1988 på 675 cm dyp. Midlere tetthet for hele snøpakken var 0.52 g/cm^3. Snødypet ble målt ved sondering i ca 40 punkter fordelt over hele breen. Ovenfor ca 900 m o.h. var det vanskelig å finne sommeroverflaten med sonden. Det er derfor lagt stor vekt på resultatet av kjerneboringen ved vurderingen av akkumulasjonen i disse områdene.

Midlere vinterbalanse er beregnet til 2.46 m vann, med en antatt usikkerhet ikke over ±20%. Ved akkumulasjonsmålingene ble det satt ut staker på 408, 640 og 1 060 m o.h. Disse ble ettersett og målt den 9. august og ved minimumsmålingen den 19. oktober. Ved minimumsmålingen var det kommet nysnø over hele breen, varierende fra ca 50 cm nederst til vel 200 cm øverst. Minimumsmålingene bør heretter sannsynligvis helst gjøres i slutten av september.

Sommerbalansen er beregnet til 3.03 m vann for hele breen eller 78 l/s·km^2. Avrenningen hadde gått over hele året. Usikkerheten i sommerbalansen antas å være bedre enn ±10%.

LANGFJORDJØKELEN

Stake positions 1989

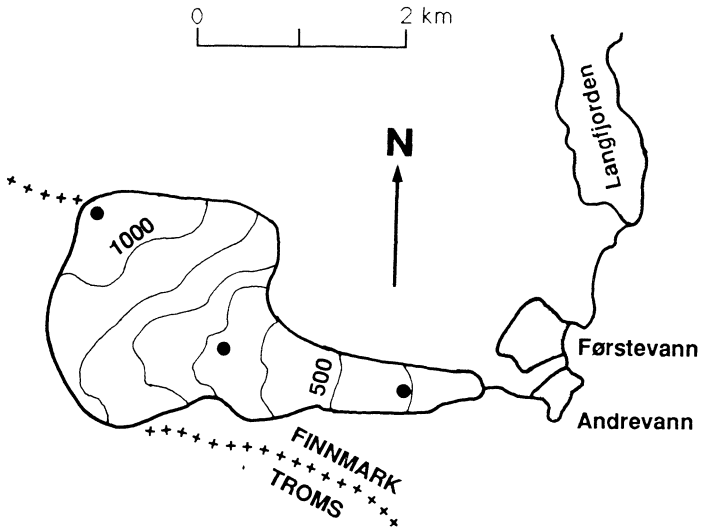


Fig. 29. Langfjordjøkelen er en liten dalbre i et maritimt område, og den er en av landets nordligste breer. Derfor er den tatt med i måleprogrammet fra 1989.

This small valley glacier is located in a maritime area, among the northernmost glaciers in Norway. It was, therefore, selected for studies from 1989.

Langfjordjøkelen kommer etter dette ut med en nettobalanse for 1989 på -0.57 m vann. Dette tilsvarer en ekstra avrenning til vassdraget på 18 l/s·km^2 over hele året, eller totalt 2.74 10^6 m^3 vann som er tilført vassdraget fra breens masse. Dataene er satt opp i tabell 21 og vist i et diagram, fig. 30.

Langfjordjøkelen er den eneste av de målte breene i Norge som hadde negativ massebalanse i 1989. Lengre sør var det tildels rekordstore vinterbalanser og nettobalanser, og små sommerbalanser i forhold til et normalår. Hva som er normalt for Langfjordjøkelen vet vi ennå ikke. Det er imidlertid helt klart at regimet for breene i Nord-Troms/ Finnmark er et annet enn det som måles lengre sør. Dette har tidligere vært antatt og er herved bekreftet, noe som viser betydningen av å opprettholde massebalansemålinger i denne regionen.

Årets negative balanse kan forklares med at snøforholdene i denne del av landet ikke var fullt så ekstreme som i andre breområder. Likevel viste Meteorologisk Institutts snøkart fra 30. april 1989 en akkumulasjon på 155% av normalt over området i 800 meters nivået. Sommeren var vesentlig bedre i Finnmark enn lengre sør, noe som sannsynliggjør at årets sommerbalansetall er høyere enn normaltall for området.

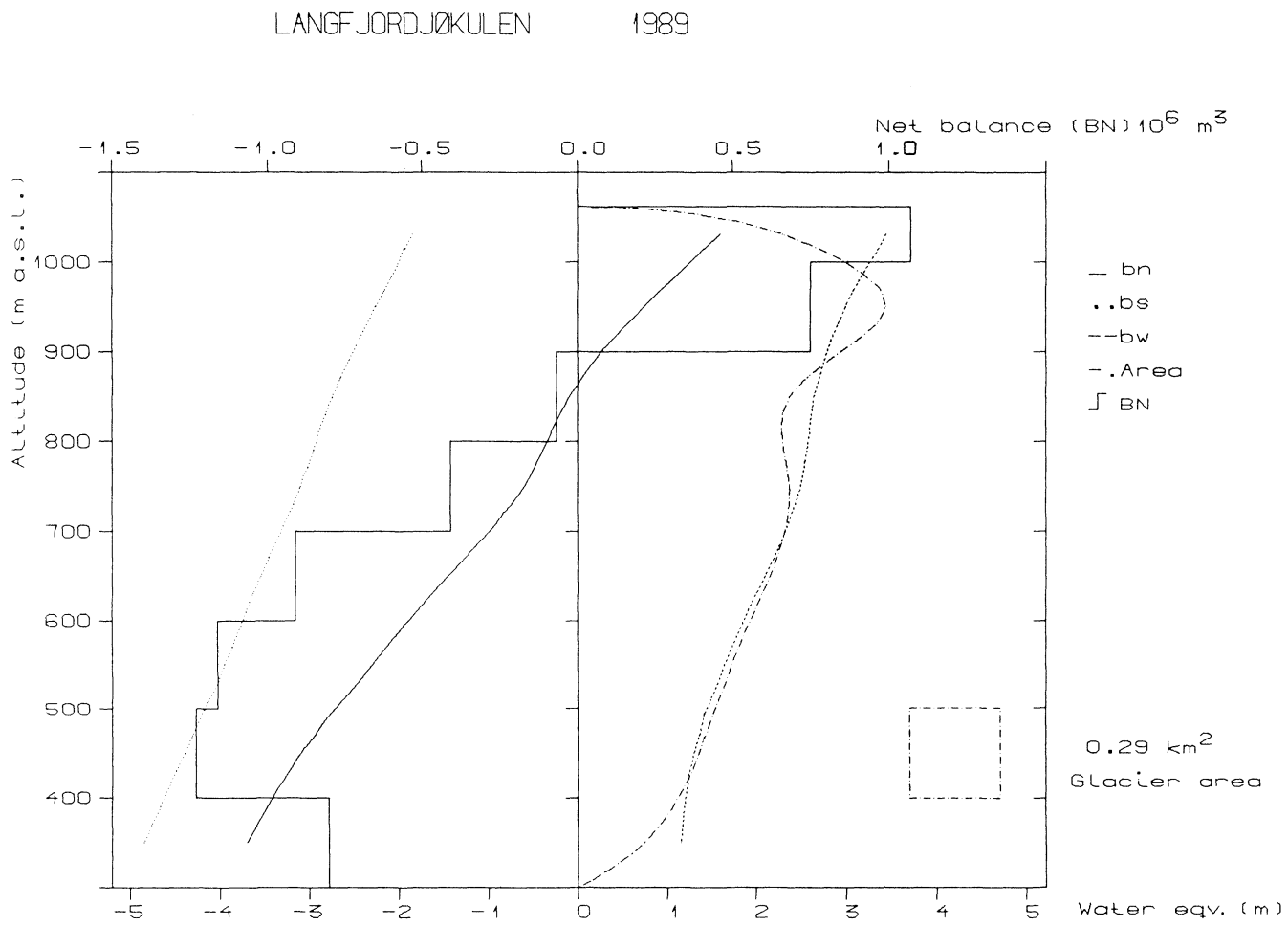
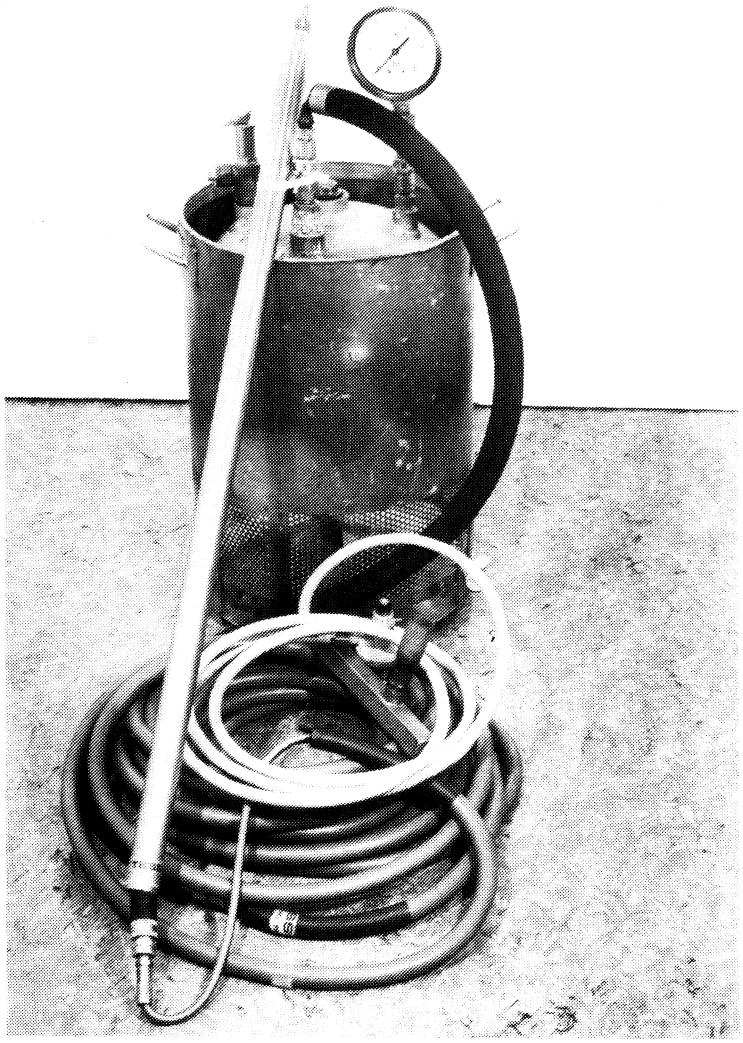


Fig. 30. Diagrammet viser at Langfjordjøkelen var den eneste av de observerte breene som hadde negativ massebalanse i 1989. Vinterakkumulasjonen var moderat og sommeren varmere enn i resten av landet. Da målingene startet dette året er det vanskelig å vurdere resulatene mot normalforhold.

This glacier was the only "negative" glacier in 1989, probably due to moderate snow accumulation and a warmer summer than in the rest of Norway - particularly compared to South Norway. ELA was at 870 m. Due to lack of previous data from this glacier, nothing can be said about the representativity of this year's data.



På bretungen der avsmeltingen er så stor at en enkelt 6 m stake vil smelte helt ut i løpet av sommeren, bruker vi å sette ned 15 meters stålwirer. For slik boring anvendes et smeltebor som bruker damp av 5-6 atm. trykk. Dampen presses ut av et lite hull i enden av røret på bildet. Kokeren varmes med propan. Også ved boring av dype hull i firnområdet er smelteboret mye raskere enn håndboret.

A hot-point drill using water vapor of 5-6 atm. pressure has been developed for use on Norwegian glaciers. It can drill a 10-15 m hole in ice within 1-1½ hour, for inserting steel cables instead of normal stakes in rapid-melting areas. In snow and firn the penetration speed is several metres pr min. The boiler is heated by propane, total weight is about 25 kg + fuel and water.

LANGFJORDJØKULEN 1989

Høyde intervall m o.h.	Areal S km*2	Vinterbalanse Bw 10x6m*3	m	bw l/s kmx2	Sommerbalanse Bs 10x6m*3	m	bs l/s km*2	Nettobalanse Bn 10x6m*3	m	bn l/s km*2
1000-1062	0.668	2.30	3.45	109	1.24	1.85	59	1.07	1.60	59
900-1000	1.005	3.02	3.00	95	2.26	2.25	71	0.75	0.75	28
800-900	0.691	1.83	2.65	84	1.90	2.75	87	-0.07	-0.10	-4
700-800	0.691	1.73	2.50	79	2.14	3.10	98	-0.41	-0.60	-22
600-700	0.628	1.32	2.10	67	2.23	3.55	113	-0.91	-1.45	-54
500-600	0.503	0.83	1.65	52	1.99	3.95	125	-1.16	-2.30	-85
400-500	0.396	0.51	1.30	41	1.74	4.40	140	-1.23	-3.10	-115
300-400	0.215	0.25	1.15	36	1.04	4.85	154	-0.80	-3.70	-137
300-1062	4.797	11.79	2.46	78	14.54	3.03	96	-2.75	-0.57	-18

Tabell 21.

26. GENERELT

Året 1989 kan betraktes som et glasiologisk rekordår. Først og fremst var vinterbalansen den største som har vært målt på alle breene, den viste seg å være mellom 150 og 180% av middelverdien. Dertil kom en kald sommer med flere snøfall på breene og således ble det en svært liten sommerbalanse. Bortsett fra Ålfotbreen med 88% var sommerbalansen bare 40-70% av middel. Nettoavsmeltingen viste seg å bli rekordartet liten.

At avviket fra middel på Ålfoten ikke var så stort som på de andre breene, skyldes først og fremst at breen ligger så lavt at den sommernedbøren som kom som snø på de andre breene, kom som regn der.

Resultatet ble et rekordmessig overskudd på samtlige breer, bortsett fra Gråsubreen. Mellom 40 og 80% av årets akkumulasjon ble liggende igjen på breene. På Engabreen og Nigardsbreen ble nettobalansen mer enn +3 m vannekvivalenter jevnt fordelt på hele breen, på Hardangerjøkulen og Storbreen over 2 m og selv i Øst-Jotunheimen var den rundt ½ m.

September var varmere enn normalt i hele landet. Med en nedbør på bortimot 200% av det normale ble det en del akkumulasjon på de høyest liggende breene der nedbøren falt som snø.

Oktober var den eneste av høst- og vintermånedene som ikke var preget av vestavær og mye nedbør. Breområdene i Syd-Norge og Nordland fikk bare rundt halvparten av normal nedbør, mens det i Finnmark var bortimot det dobbelte.

November og desember var preget av vind fra vest og hadde nedbør opp mot 200% av normalen i breområdene over hele landet. Så allerede ved årsskiftet hadde breene fått mye snø.

Så kom januar og februar som var ekstreme over hele landet. En rekke steder ble det registrert både temperatur-, nedbør- og vindrekorder. Breområdene fikk opp til 4 ganger normal nedbør, og temperaturen lå 8-10^{0}C over det normale. Tidvis kom det regn helt til topps på breene. Foruten at vi fikk de store snømengdene medførte regnværene at vi opplevet en unormalt høy tetthet på snøen. Under akkumulasjonsmålingene på Ålfotbreen ble det påvist fritt vann flere steder i snøpakken.

Mars fortsatte på samme måte i Syd-Norge, om enn ikke så ekstremt. I Nord-Norge kom det derimot lite nedbør. April hadde forholdsvis lite nedbør over hele landet.

Samlet resulterte den uvanlige vinteren i snødyp på opptil 12-14 m på Ålfotbreen, Nigardsbreen og Engabreen og opptil 8.5 m på Hardangerjøkulen. Selv på Hellstugubreen og Gråsubreen ble det målt snødyp på henholdsvis 6 m og 4 m.

Hele sommeren 1989 var kaldere enn normalt, spesielt i Syd-Norge og i fjellet. I Nord-Norge var det et lite temperaturoverskudd i august. I fjellet i Syd-Norge var temperaturen (mai-august) nærmere 2^{0}C under normalen.

Den kalde sommeren gjorde at smeltingen ble liten. I tillegg var det flere kaldluftsinnbrudd med snø - til dels betydelige mengder - som falt helt ned til 1 000 m o.h., og dette bidro også til at sommerbalansen ble så liten. På Finse (1 222 m o.h.) ble det i månedene juni, juli og august registrert 14 døgn med snøvær. På den øvre delen av Nigardsbreen var det ingen netto ablasjon i det hele tatt. Forrige gang slike forhold ble observert var i 1962.

Den kalde sommeren medførte at sommerbalansen var mye mindre enn normalt på alle de undersøkte breene både i Svartisen-området og i Syd-Norge. På Nigardsbreen var den bare 43% av middel og hele 79% av årets akkumulasjon ble liggende igjen. På de andre breene ble 40-70% av årets akkumulasjon liggende igjen, minst i Jotunheimen.

Målingene på Langfjordjøkulen i Finnmark viser avvikende resultat fra breene lengre syd. Den hadde et masseunderskudd. Dette skyldes delvis at vinternedbøren så langt nord ikke var så ekstrem som i resten av landet og dessuten at sommeren i Finnmark var forholdsvis varmere enn lengre syd i landet.

26.1 Oversikter

For samtlige observerte breer i 1989 er vinter-, sommer- og nettobalansetallene satt opp i en samletabell, tabell 22. Her er også likevektslinjen oppført og akkumulasjonsområdets andel av hele breflaten (AAR) regnet ut i prosent.

MASS BALANCE 1989

Glacier	Area S km²	Winter balance B_w $10^6 m^3$	b_w m	b_w l/s km²	Summer balance B_s $10^6 m^3$	b_s m	b_s l/s km²	Net balance B_n $10^6 m^3$	b_n m	b_n l/s km²	Eq.line altitude m a.s.l.	AAR %
Ålfotbreen	4.8	25.03	5.20	165	14.09	2.93	93	10.94	2.27	72	1030	94
Nigardsbreen	47.8	193.63	4.05	128	40.79	0.85	27	152.84	3.20	101	1175	94
Hardangerjøkulen	17.2	59.77	3.48	110	23.52	1.37	43	36.26	2.11	67	1420	92
Spørteggbreen	27.9	77.15	2.76	88	45.29	1.62	51	31.86	1.14	36	1405	93
Austdalsbreen	11.9	38.00	3.18	101	16.07	1.34	43	21.93	1.84	58	1275	92
Storbreen	5.3	12.19	2.30	73	5.83	1.10	35	6.36	1.20	38	1550	90
Hellstugubreen	3.0	4.84	1.62	51	2.69	0.90	29	2.15	0.72	23	1670	83
Gråsubreen	2.2	2.46	1.12	35	1.47	0.67	21	0.99	0.45	14	<1850	100
Svartisheibreen	5.5	20.40	3.72	118	7.45	1.36	43	12.94	2.36	75	900	80
Engabreen	38.0	175.80	4.62	147	54.99	1.45	46	120.81	3.18	101	890	93
Langfjordjøkulen	4.8	11.79	2.46	78	14.54	3.03	96	- 2.75	-0.57	- 18	865	47

Tabell 22.

For de 7 breene som har de lengste observasjonsseriene er det utarbeidet en oversiktstabell (tabell 23) der det foruten massebalansetallene (angitt i spesifikke vannekvivalenter) også er innført observert vannføring fra breen for sommermånedene juni-august, der slike data er tilgjengelige. Dessuten er det tatt med tall fra frontobservasjoner, enten disse er foretatt av Polarinstituttet, NVE eller andre.

For en samlet oversikt over massebalansemålinger utført på alle norske breer fram til 1982 henvises til Roland & Haakensen, 1985.

Tilslutt er det konstruert et diagram som viser kumulativ nettobalanse for 6 breer i Syd-Norge, fig. 31. Av dette diagrammet ser man både likheter og ulikheter mellom breene. F.eks. framstår 1966 og 1970 som meget negative år da samtlige breer hadde store massetap. Ulikheten mellom breene er også slående idet Nigardsbreen og Ålfotbreen har økt over 5 m mens de kontinentalt beliggende Gråsu- og Hellstugubreen har tapt masse - nesten 10 m vannekvivalenter i løpet av 26 år. Disse signifikante ulikheter må være betinget av en klimaendring som har slått ut forskjellig i maritime og kontinentale områder.

Tabell 23.

		1962	1963	1964	1965	1966	1967	1968	1969	1970	1971	1972	1973	1974	1975	1976	1977	1978	1979	1980	1981	1982	1983	1984	1985	1986	1987	1988	1989
Alfotbreen	B_w m		2.48	2.69	3.64	2.47	4.46	4.55	2.66	2.60	4.29	3.81	4.67	3.57	4.64	4.40	2.33	2.56	3.28	2.53	4.04	3.35	4.79	4.09	2.44	2.34	4.29	2.72	5.20
	B_s m		3.58	2.41	3.16	4.08	3.18	3.60	4.83	3.83	3.35	3.70	2.49	2.54	3.43	2.87	2.89	3.07	3.41	3.35	3.82	3.48	3.19	2.77	3.00	2.76	2.22	5.20	2.93
	B_n m		-1.10	+0.28	+0.48	-1.61	+1.28	+0.95	-2.17	-1.23	+0.94	+0.11	+2.18	+1.03	+1.21	+1.53	-0.56	0.51	-0.13	-0.82	0.22	-0.13	1.60	1.32	-0.56	-0.42	2.07	-2.48	+2.27
	Q juni-aug. $10^6 m^3$			28.2	29.4	25.4	30.4	22.3	25.6	26.5*	32.3	33.2		25.8			24.9	26.5	26.6	29.3	25.6			16.6					
	Front m																								+7				
Nigardsbreen	B_w m	2.88	1.87	2.13	2.29	1.76	3.40	2.72	1.95	1.73	2.11	1.88	2.40	2.06	2.50	2.88	1.52	2.12	2.75	1.77	2.19	1.94	3.02	2.49	1.77	1.61	2.73	2.24	4.05
	B_s m	0.63	2.09	1.18	1.38	2.68	1.24	2.50	3.26	2.29	1.29	2.02	1.30	1.58	2.23	2.48	2.29	2.25	2.04	2.99	1.88	2.36	1.93	2.15	1.87	1.71	1.25	3.13	0.85
	B_n m	+2.25	-0.22	+0.95	+0.91	-0.92	+2.16	+0.22	-1.31	-0.56	+0.82	-0.14	+1.10	+0.48	+0.27	+0.40	-0.77	0.13	+0.71	-1.22	0.31	-0.42	1.09	0.34	-0.10	-0.10	1.48	-0.90	+3.20
	Q juni-aug. $10^6 m^3$			117.1	92.3	144.4	111.2	121.8	130.0	167.8	120.2	139.1	140.6	111.1	134.8	139.4	132.1	52.2	146.7	181.6	120.7	133.8	125.3	149.1	159.5	156.1	104.8	182.4	120.6
	Front m	-30	-65	-65					-515				-65	-46	-16	-1	-7	-14	+3	+1	-11	+4	-6	±0	-2	-3	-1	-9	+4
Hardangerjøkulen	B_w m		1.15	1.85	2.05	1.60	2.44	2.68	1.07	1.29	2.02	1.78	2.62	1.91	2.25	2.45	1.20	1.80	2.40	1.45	2.65	1.40	3.75	2.05	1.61	1.47	2.08	1.61	3.48
	B_s m		2.55	1.31	1.54	2.24	1.25	2.15	2.97	1.89	1.28	1.86	1.79	1.50	2.10	2.30	1.92	2.10	2.10	2.85	1.80	2.10	2.05	2.15	1.99	1.57	1.14	3.12	1.37
	B_n m		-1.40	+0.54	+0.51	-0.64	+1.19	+0.53	-1.90	-0.60	+0.74	-0.08	+0.83	+0.41	+0.15	+0.15	-0.72	-0.30	+0.30	-1.40	0.85	-0.70	1.70	-0.10	-0.12	-0.10	0.93	-1.51	+2.11
	Q juni-aug. $10^6 m^3$																												
	Front m																			-7	-3	-3	±0						
Storbreen	B_w m	1.54	0.96	1.16	1.54	1.25	1.89	1.64	1.22	0.97	1.46	1.39	1.48	1.26	1.55	1.81	0.94	1.26	1.55	0.99	1.30	1.28	1.90	1.70		1.05	1.55	1.45	2.30
	B_s m	0.82	2.14	0.95	1.20	1.86	1.17	1.59	2.64	1.69	1.28	1.70	1.40	1.02	1.70	1.90	1.48	1.70	1.45	2.30	1.40	1.75	1.70	2.00		1.37	1.23	2.40	1.10
	B_n m	+0.72	-1.18	+0.21	+0.34	-0.61	+0.72	+0.05	-1.42	-0.72	+0.18	-0.31	+0.08	+0.24	-0.15	-0.09	-0.54	-0.44	+0.10	-1.31	-0.10	-0.47	0.20	-0.30	-0.40	-0.32	0.32	-0.95	+1.20
	Q juni-aug. $10^6 m^3$																												
	Front m	-5	-20	-11	-8	-6	-5	-8	-14	-18	-14	-10	-5	-5	-8	-10	-8	-5	-6		-10		-10		-3		-3	-13	+10
Hellstugubreen	B_w m	1.18	0.94	0.71	1.29	0.95	1.48	1.38	0.95	0.70	1.12	0.94	1.20	1.00	1.35	1.16	0.68	1.05	1.43	0.81	1.06	0.85	1.47	1.22	1.11	0.78	1.15	1.28	1.58
	B_s m	0.40	1.92	0.83	0.77	1.62	0.93	1.49	2.23	1.70	1.25	1.43	1.41	0.76	1.71	1.89	1.40	1.59	1.45	2.05	1.39	1.20	1.30	1.73	1.40	1.27	0.70	2.32	1.00
	B_n m	+0.78	-0.98	-0.12	+0.52	-0.67	+0.55	-0.11	-1.28	-1.00	-0.13	-0.49	-0.21	+0.24	-0.36	-0.73	-0.72	-0.54	-0.02	-1.24	-0.33	-0.35	0.17	-0.51	-0.29	-0.49	0.46	-1.04	+0.58
	Q juni-aug. $10^6 m^3$																												
	Front m	-10	-12	-6									-65			-10										-49	-10	-18	-7
Gråsubreen	B_w m	0.81	0.40	0.39	0.77	0.72	1.45	1.03	0.74	0.57	0.49	0.66	0.72	0.58	0.91	0.62	0.51	0.67	0.91	0.46	0.62	0.50	0.95	0.98	0.75	0.41	0.94	1.08	1.12
	B_s m	0.09	1.11	0.71	0.36	1.01	0.74	1.11	2.04	1.23	0.96	1.30	1.61	0.24	1.86	1.62	0.90	0.89	0.87	1.35	0.81	1.01	0.99	1.35	0.75	1.18	0.23	1.66	0.67
	B_n m	+0.77	-0.71	-0.32	+0.41	-0.29	+0.71	-0.08	-1.30	-0.66	-0.47	-0.64	-0.89	+0.34	-0.95	-1.00	-0.39	-0.22	+0.04	-0.89	-0.19	-0.51	-0.04	-0.37	0.00	-0.77	0.71	-0.58	+0.45
	Q juni-aug. $10^6 m^3$																												
	Front m																												
Engabreen	B_w m									2.05	3.20	3.22	4.37	3.39	3.18	3.86	2.08	2.48	3.64	2.68	2.91	2.27	2.34	3.83	1.54	2.70	2.57	2.26	4.62
	B_s m									3.04	2.19	3.29	1.65	2.59	1.57	1.45	1.20	2.99	3.22	3.18	1.93	1.43	1.28	2.78	2.49	2.45	1.63	3.88	1.45
	B_n m									-0,99	+1.01	-0.07	+2.72	+0.80	+1.61	+2.41	+0.88	-0.51	+0.42	-0.50	0.98	0.84	1.06	1.05	-0.95	0.25	0.94	-1.79	+3.18
	Q juni-aug. $10^6 m^3$									139.7	180.1	147.1	138.3	117.2	103.6	110.7	89.1	133.1	141.6	157.0	101.3	113.6	127.5	146.5	141.0	131.1	93.4	155.5	129.8
	Front m					+5	-10	+22	+8	+34	+28	-31	-12	-4	0	+7	+31	+25	+20	+2	-1	-18	+19	+4	-11	-8	-6	-51	-

* Mangler 11 døgn

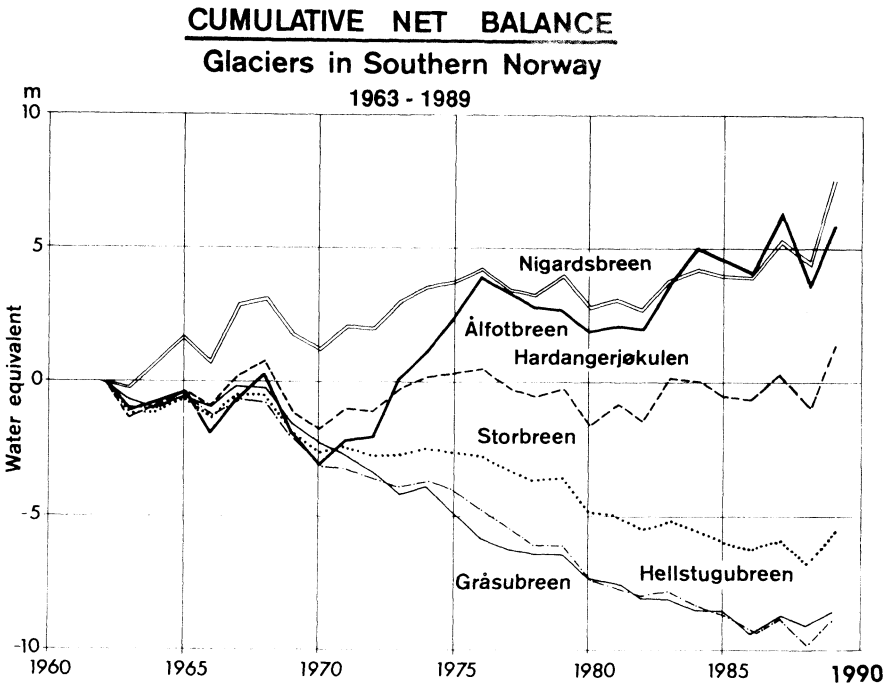


Fig. 31. For de breer i Syd-Norge der vi har litt lengre måleserier har man laget dette diagrammet. Det er slående at maritimt liggende breer har økt, mens de kontinentale har minsket. Men man ser også visse likheter i de årlige variasjonene.

This diagram comprises only glaciers in South Norway where long observation series exist. Glaciers in maritime areas have grown whereas glaciers in continental areas have suffered from a substantial mass loss.

27. ENGLISH SUMMARY

27.1 Introduction

The Norwegian Water Resources and Energy Administration. (NVE) is a Governmental organization which is responsible for various activities. One of these is of hydrological nature - to monitor river discharge, lake levels, ground water, ice formation in rivers, sediment transport, and glacier hydrology.

A number of glaciers which are regarded representative for certain areas have been selected for long-term mass balance studies. Data series are available from 1962 for some of these glaciers. The second longest series of this kind in the world is kept by the Norwegian Polar Research Institute, where Professor Olav Liestøl started detailed winter and summer balance studies 1948 on Storbreen in Jotunheimen.

In addition to these key glaciers, some additional glaciers have been studied during shorter periods, normally 5 years. This was done because water power engineers wanted run-off data and information about glacier impact on river hydrology in areas where hydro-electric pover development was planned. However, when power stations either were completed or the plans abandoned, these studies were terminated.

At present long term studies are performed at 8 glaciers in South Norway and 3 glaciers in North Norway, and results from these studies are presented in this report.

In previous years we produced annual reports called "Glasiologiske Undersøkelser i Norge 19.." Such reports were produced each year from 1963 and up to 1984. Then a 3-year report was made for the years 1985-86-87, and the present publication comprises the years 1988 and 1989. For 1990 a separate report is being produced.

A complete list of mass balance data from all Norwegian glaciers up to 1982, as well as a comprehensive reference list are given in Roland & Haakensen, 1985.

The eight glaciers which are observed in South Norway, are located on an west-east profile, from the maritime Ålfotbreen near the Atlantic coast, via the icecaps Jostedalsbreen and Spørteggbreen to the continental valley glaciers in Jotunheimen.

Thus, glaciological properties and impact on river hydrology can be studied under various climatological conditions within a reasonable distance, see Fig. 1.

NVE started mass balance studies on Ålfotbreen, Nigardsbreen, Hardangerjøkulen, Hellstugubreen and Gråsubreen in 1962 and 1963, Storbreen has data from 1948, whereas studies were started on Austdalsbreen and Spørteggbreen (both draining to the valley Jostedalen) in 1988. These two

glaciers are observed in connection with a hydro-electric power plant which was completed in 1990, and will be continued for a limited period only, probably 3-5 years.

In North Norway the outlet glacier Engabreen, draining to the west from the Svartisen icecap, was selected in 1970 for long-term studies. As a supplement to the mass balance data from Engabreen, the south-facing outlet glacier Svartisheibreen and, terminating in 1988, the east-facing Storglombreen were selected. The reason is to obtain a better hydrological base for hydro-electric calculations in this area where a large power generating system is being constructed.

27.2 Results from 1988

In general, the glaciological year ending in 1988 was abnormal with large negative net balances on all observed glaciers. The winter snowfalls in south Norway were less than normal in the west, but above normal in the east. The greatest deviation from normal conditions, however, was related to the summer temperature. The melt started already in May, and in June the mean air temperature was 5^0C higher than normal. Also July and August were warmer than the average. This caused extremely high melt on all the observed glaciers. The summer balances were larger than ever observed on Ålfotbreen (see p.6) and among the largest on Nigardsbreen and Hellstugubreen (see pages 9-10 and 21-22). Engabreen experienced the greatest net mass loss ever observed, -1,79 m water equivalent. See pages 30-31.

27.3 Results from 1989

The following year was also abnormal, but in the opposite direction - the glaciers gained mass due to extremely high winter balances and the following cool summer caused very small summer balances. The glaciological year ending in 1989 shows many extremes:

The winter balances were 150-180% of the average, the snowpack on Ålfotbreen, Nigardsbreen and Engabreen was 12-14 metres. Even the continental Hellstugubreen and Gråsubreen received about 6 m and 4 m snow, respectively. The summer was cool with frequent snowfalls on the glaciers (except on Ålfotbreen). The summer balances were in general only 40-70% of the average.

Consequently, we found a record in positive net balances for all observed glaciers, except Gråsubreen. More than 50% of the winter snow still remained on the glaciers at the end of the melt season. For Engabreen and Nigardsbreen, the net balances exeeded +3 m water equivalent, (see p.65-66 and 41), for Hardangerjøkulen and Storbreen it was more than +2 m. (pages 50-51 and 52).

The "new" glacier in our measuring program, Langfjordjøkelen - one of the northernmost glaciers in Norway - showed a different pattern (for location, see Fig. 1.) The net balance turned out to be negative in 1989. This is probably due to more normal winter conditions, and a warmer summer than in the rest of the country, compare the diagram on p.68.

27.4 Mass balance conditions in Norway

As mentioned priviously, the second longest series of complete, detailed mass balance observation is connected to the valley glacier Storbreen in Jotunheimen (see Fig. 1). The specific winter, summer, and net balances for each year since 1949 are shown in the diagram on p.53.

Data for all Norwegian glaciers where long-terms studies have been made, are shown on p.73. An interesting comparison is shown on p.74, where the cumulative net balance is shown for six glaciers in South Norway. The glaciers in maritime areas have increased their mass, whereas continental glaciers have decreased. The winter precipitation has been larger in western Norway during the last several years, and this is apparently the reason for glacier growth in maritime areas. However, we have no good explanation for this fluctuation in climatic conditions, causing the striking difference in glacier behaviour.

28. LITTERATUR

Haakensen, N.,
1990: Massebalanse på breene i Norge 1988-89. Været 14 (3): 108-111.

Kjeldsen, O., (ed)
1987: Glasiologiske undersøkelser i Norge 1984. Norges Vassdrags- og Energiverk, Vassdragsdirektoratet. V-publikasjon nr. 7 (70 s.). With an English summary.

Laumann, T., Haakensen, N. og Wold, B.,
1988: Massebalansemålinger på norske breer 1985, 1986 og 1987. Norges Vassdrags- og Energiverk, Vassdragsdirektoratet. Publikasjon nr. V 13 (46 s.). With a short English summary.

Roland, E. og Haakensen, N. (eds).
1985: Glasiologiske undersøkelser i Norge 1982. Norges Vassdrags- og Elektrisitetsvesen, Hydrologisk avdeling, Rapport nr. 1-85 (102 s.). With an English summary.

Roland, E. og Haakensen, N. (eds).
1986: Glasiologiske undersøkelser i Norge 1983. Norges Vassdrags- og Energiverk, Hydrologisk avdeling. Rapport nr. 1-86. (52 s.). With an English summary.

Østrem, G., Haakensen, N. og Melander, O.,
1973: Atlas over breer i Nord-Skandinavia. Medd.nr. 22 fra Hydrologisk avdeling, NVE. (315 s.).

Østrem, G.,
1975: ERTS data in glaciology - an effort to monitor glacier mass balance from satellite imagery. Journal of Glaciology 15(73): 403-415.

Østrem, G., Dahle Selvig, K. og Tandberg, K.,
1988: Atlas over breer i Sør-Norge. Medd.nr. 61 fra Hydrologisk avdeling, NVE. (248 s.)

Denne serien utgis av Norges vassdrags- og energiverk (NVE)
Adresse: Postboks 5091 Majorstua, 0301 Oslo 3

I PUBLIKASJONSSERIEN ER UTGITT:

Nr	NVE	1.	J. F. Nicolaisen: Retningslinjer for stenge/tappeorganer og rør. (18 s.) 1991.
"	"	2.	S. Taksdal: Vannstand/vannføringsarkiv pr 30.01.1991. (226 s.) 1991.
"	"	3.	J. Cock: Pris på elektrisk kraft 1991. (10 s.) 1991.
"	"	4.	O/U-prosjektet. Erfaringer fra gjennomførte prosjekter, nr 11. Dragefossen kr.verk. (9 s.) 1991.
"	"	5.	O/U-prosjektet. Erfaringer fra gjennomførte prosjekter, nr 12. Skoltefoss kr.verk. (8 s.) 1991.
"	"	6.	O/U-prosjektet. Erfaringer fra gjennomførte prosjekter, nr 13. Moksa kr.verk. (28 s.) 1991.
"	"	7.	O/U-prosjektet. Erfaringer fra gjennomførte prosjekter, nr 14. Dale kr.verk. (20 s.) 1991.
"	"	8.	O/U-prosjektet. Erfaringer fra gjennomførte prosjekter, nr 15. Nedre Vinstra kr.-verk. (18 s.) 1991.
"	"	9.	M.-B. Nordkild Aas og E. Solberg: Kostnader for kraftverkprosjekter. (32 s.) 1991.
"	"	10.	O/U-prosjektet. Erfaringer fra gjennomførte prosjekter, nr 16. Mesna kr.verk. (21 s.) 1991.
"	"	11.	G. Østrem, N. Haakensen, B. Kjøllmoen, T. Laumann, B. Wold: Massebalansemålinger på norske breer 1988 og 1989. (78 s.) 1991.

NORGES VASSDRAG
OG ENERGIVERK
00531982