NORGES VASSDRAGS-OG ELEKTRISITETSVESEN

GLASIOLOGISKE UNDERSÖKELSER I NORGE 1975

RAPPORT NR. 2-77

VASSDRAGSDIREKTORATET

HYDROLOGISK AVDELING

OSLO JANUAR 1977

NORGES VASSDRAGS-
OG ENERGIDIREKTORAT
BIBLIOTEKET

NORGES VASSDRAGS-OG ELEKTRISITETSVESEN

GLASIOLOGISKE UNDERSÖKELSER I NORGE 1975

Redigert av Björn Wold og Jon Ove Hagen

Bidragsytere: Nils Haakensen, Olav Liestöl, Sigmund Messel, Björn Wold og Gunnar Östrem

RAPPORT NR. 2-77

VASSDRAGSDIREKTORATET

HYDROLOGISK AVDELING

OSLO JANUAR 1977

NORGES VASSDRAGS-
OG ENERGIDIREKTORAT
BIBLIOTEKET

FORORD

Brekontoret, som er en del av Hydrologisk avdeling i Norges vassdrags- og elektrisitetsvesen, har siden 1962 drevet bre-hydrologiske undersøkelser i Norge. Hensikten med undersøkelsene har vært å skaffe data for flere ulike hydrologiske formål. Viktigst har det kanskje vært å skaffe grunnlagsdata for utarbeidelse av såkalte "isohydat"-kart, et viktig hjelpemiddel ved beregning av normal-tilsig fra et gitt dreneringsområde.

For å få rede på breenes innvirkning på hydrologien i de nedenforliggende vassdrag må man bl.a. foreta detaljerte undersøkelser av breens massebalanse. Slikt arbeid utføres f.t. ved endel utvalgte breer i Sør-Norge og ved Svartisen, samtidig som endel andre observasjoner foretas.

Resultatene av feltundersøkelsene i 1975 er bearbeidet og gjengis med forklarende tekst og illustrasjoner i denne rapport, som er et nummer i Hydrologisk avdelings rapportserie. Tidligere års bremålinger er publisert i årlige rapporter av liknende type.

Breundersøkelsene danner dels et ledd i de alminnelige hydrologiske undersøkelser av landets vassdrag, dels foretas de som følge av konsesjonsbetingelser, og sist, men ikke minst, utføres de på oppdrag av Statskraftverkene som ønsker grunnlagsmateriale for vurdering av planer for framtidig utbygging.

Feltarbeidet ble delvis planlagt av Arve Tvede og fortsatt av Bjørn Wold som også har hatt hovedansvaret med utarbeidelsen av denne rapport. I sluttfasen har Jon Ove Hagen assistert med å tilrettelegge materialet for offset-reproduksjon. De fleste diagram ble rentegnet av Bård Braskerud, og en lang rekke sommerassistenter deltok i feltarbeidet og sørget for at sommerens feltdata ble skaffet tilveie.

Oslo i desember 1976

Gunnar Østrem

INNHOLD

	Side
Materialhusholdningen, meteorologiske og hydrologiske undersøkelser ved utvalgte breer (Bjørn Wold)	3
Innledning	3
Metodikk	5
Ålfotbreen	7
Blomsterskardbreen	12
Gråbreen	13
Supphellebreen (Olav Liestøl)	16
Nigardsbreen	16
Hardangerjøkulen (Olav Liestøl)	24
Storbreen (Olav Liestøl)	25
Hellstugubreen	25
Gråsubreen	28
Høgtuvbreen	31
Engabreen	35
Trollbergdalsbreen	41
En sammenlikning av materialhusholdningen på de enkelte breer	42
Energibalansen på utvalgte breer (Sigmund Messel)	45
Innledning	45
Metoder og instrumenter	46
Resultater	47
Diskusjon	51
Frontmålinger (Nils Haakensen)	52
Engabreen	52
Ålfotbreen	53
Nigardsbreen	53
Summary (Gunnar Østrem)	54
Mass balance studies, meteorological and hydrological	54
investigations at selected glaciers	54
Energy balance investigation on selected glaciers	63
Glacier frontal variations	63
Litteratur	65

MATERIALHUSHOLDNINGEN, METEOROLOGISKE OG HYDROLOGISKE UNDERSØKELSER VED UTVALGTE BREER

Innledning

Norges vassdrags- og elektrisitetsvesen har i 1975 foretatt glasiologiske undersøkelser på 6 breer i Sør-Norge og 3 breer i Nord-Norge. Disse fordeler seg på følgende områder: 1) Ålfotbreen, 2) Folgefonni, 3) Jostedalsbreen, 4) Jotunheimen og 5) Svartisen. I tillegg foretar Norsk Polarinstitutt tilsvarende undersøkelser på 4 breer i Sør-Norge.

På Ålfotbreen i Nordfjord foretas undersøkelsene på en nordvendt brearm som nå drenerer til Store Åskåravann. Dette vassdrag er ferdig utbygd av Sogn og Fjordane fylke, og undersøkelsene er pålagt utbyggeren i konsesjonsbetingelsene. Utgiftene deles likt mellom Elektrisitetsforsyningen i Sogn og Fjordane fylke og Hydrologisk avdeling. Målingene har pågått siden høsten 1962. I 1975 ble det foruten materialbalansemålinger også foretatt endel spesielle meteorologiske registreringer.

På Folgefonni ble materialbalansemålinger foretatt på Gråbreen, en nordvestlig utløper fra hovedplatået. Måling av nettobalansen er for Norsk Polarinstitutts regning utført på Blomsterskardbreen som ligger på Folgefonnas sørvestlige side.

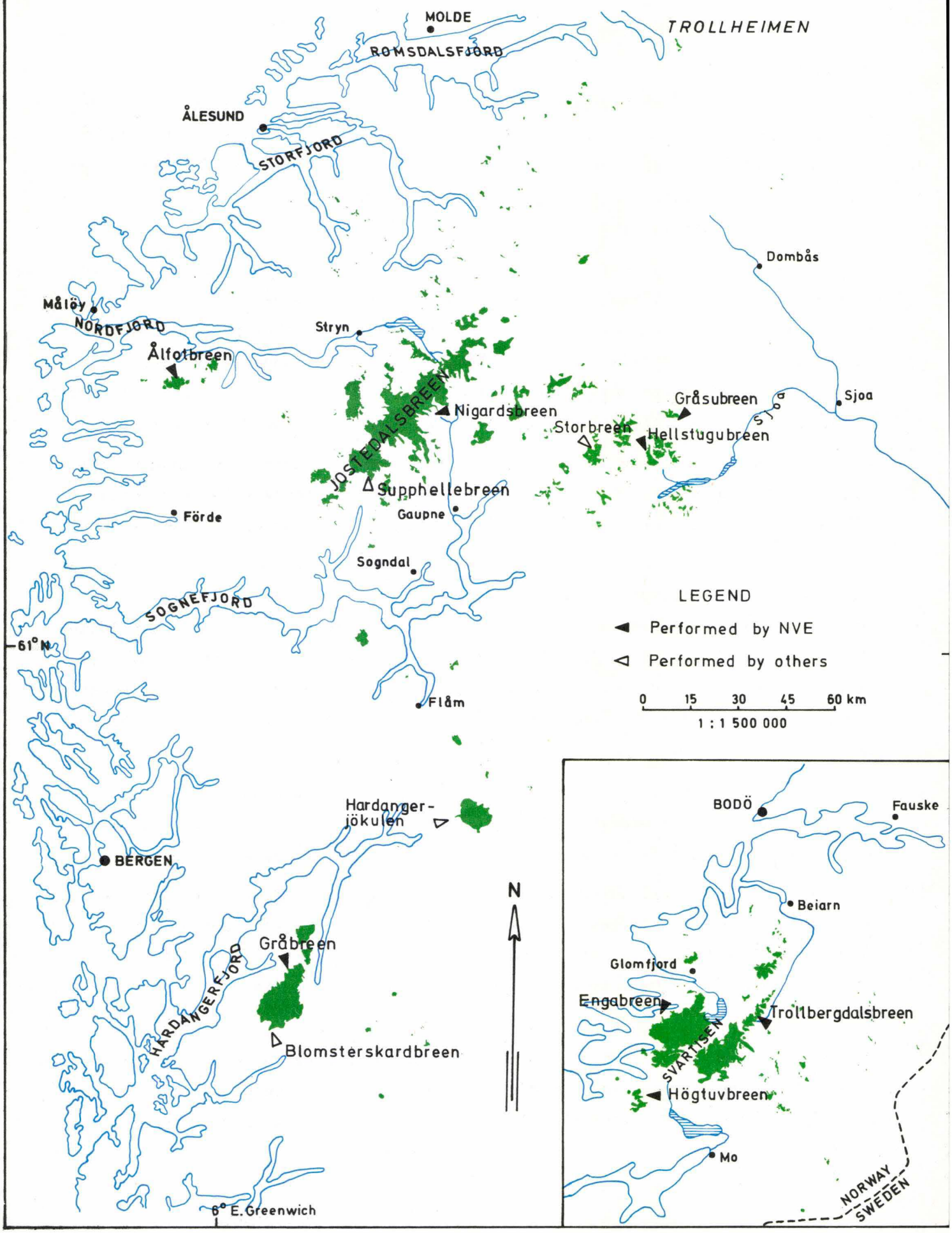
På Jostedalsbreen har Olav Orheim ved Norsk Polarinstitutt målt nettobalansen på Supphellebreen, mens Brekontoret har fortsatt undersøkelsene på Nigardsbreen. Dette var den første bre der Brekontoret utførte målinger av materialhusholdningen. Arbeidene har pågått siden 1962. Nigardsbreen er spesielt interessant som hydrologisk objekt, da planene for Breheimverkene forutsetter et subglasialt elveinntak under bretunga. Undersøkelsene her bekostes av Statskraftverkenes generalplanavdeling.

På Hardangerjøkulen ble materialbalansen målt på Rembesdalsskåki som drenerer til Simadalen og inngår i Eidfjordanleggenes interesseområde. Undersøkelsen, som ble igangsatt i 1963, er fra og med 1971 finansiert og utført av Norsk Polarinstitutt.

I Jotunheimen er materialhusholdningen målt på Storbreen, Hellstugubreen og Gråsubreen. Målingene på Storbreen i Vest-Jotunheimen har vært utført av Norsk Polarinstitutt siden 1948 og de utgjør den nest lengste måleserie i sitt slag i verden. På Hellstugubreen og Gråsubreen har målingene pågått siden 1963. Utgiftene belastes nå Hydrologisk avdelings budsjett.

I Nord-Norge ble det i 1970 satt igang målinger på Engabreen og Trollbergdalsbreen i Svartisområdet. Disse ble supplert med undersøkelser av en utløper fra Høgtuvbreen fra og med 1971. Disse målingene er en del av Svartisundersøkelsene som

Fig. 1 MASS BALANCE STUDIES OF NORWEGIAN GLACIERS 1975



finansieres av Statskraftverkene i forbindelse med kraftutbyggingsplanene i området. Arbeidet på Trollbergdalsbreen ble avsluttet i 1975. På Høgtuvbreen fortsatte målingene av materialhusholdningen, mens det på Engabreen i tillegg til bremålingene også ble foretatt meteorologiske observasjoner.

Metodikk

Materialhusholdningen

Metodikken som brukes ved massebalansemålinger av norske breer er utførlig beskrevet i tidligere årsrapporter fra Hydrologisk avdeling, se f.eks. Pytte 1969 og 1970. Arbeidsprosedyrer og måleteknikken som anvendes, bygger i hovedtrekkene på en arbeidsmanual utarbeidet av G.Østrem og A.Stanley. Interesserte henvises til denne (Østrem & Stanley 1969).

Målingene er i 1975 fortsatt etter tidligere års prinsipper som en har funnet hensiktsmessige for praktisk bruk. Terminologien bygger på de retningslinjer som er utarbeidet av "Commission on Snow and Ice of the International Association of Scientific Hydrology" (UNESCO 1970). Betydningen av de forskjellige termer og symboler er illustrert på fig. 2.

Vinterbalansen måles normalt i månedene april og mai ved sondering av snødypet i flere punkter utover breflaten. Sonderingene refererer seg alltid til forrige års sommeroverflate som kan bestå av breis eller firn, alt etter hvor på breen en befinner seg. I det første tilfelle er det normalt ingen vanskelighet å kjenne sommeroverflaten med sonden, mens det kan være vanskelig og ofte umulig å lokalisere forrige års snøoverflate, dersom denne er dårlig utviklet. I slike tilfeller er en avhengig av målinger på staker nedboret i breen.

Ved å ta opp snøprøver med et kjernebor er det også mulig å lokalisere siste sommers snøoverflate dersom denne framstår som en distinkt horisont. Dette er en meget arbeidskrevende prosess, hvis den må benyttes i mange punkter.

Snøens tetthet måles bare i noen få punkter på breen og frotrinnsvis i forskjellige høydenivåer. Den vanligste metoden er å grave seg ned til sommeroverflaten og måle volum og vekt av snødekket med en stålsylinder som slås vertikalt ned i snøen. Er snødypet over 4-5 m blir denne arbeidsmåten vanskelig å praktisere og en er nødt til å ta opp snøprøver med et kjernebor for å kunne foreta tetthetsbestemmelse.

Snøens vannverdi kan deretter bestemmes i en rekke punkter utover breoverflaten. Alle punktene plottes over på et kart og breens totale vinterbalanse (b_w) kan bestemmes ved å planimetrere dette kartet.

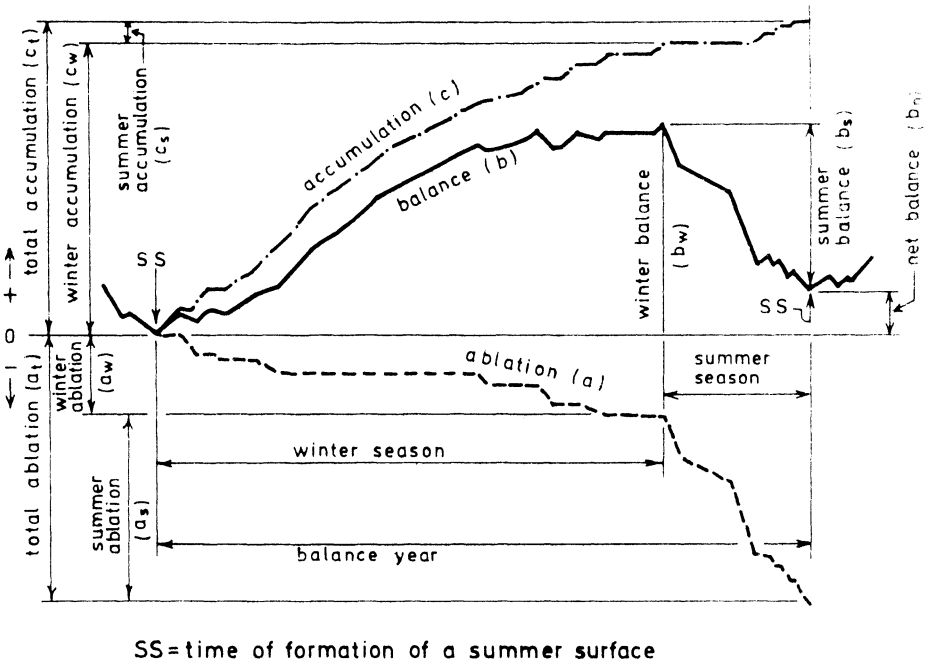


Fig. 2 Balansen i et punkt er vist som funksjon av tiden, og den terminologi som benyttes i det stratigrafiske system er angitt.

The balance as measured at a point is illustrated in relation to time. The terms used in the stratigraphic system are indicated in the diagram.

Som oftest vil det akkumulere endel snø på breen også etterat hovedmålingene er foretatt. Denne tilleggsakkumulasjonen kan enkelte ganger måles direkte ved målestekene, men vanligvis må den beregnes ut fra nedbør og temperaturobservasjoner på meteorologiske stasjoner nær breen. I årets resultater er vinterbalansen angitt som balansen målt ved hovedmålingene dersom ikke annet er nevnt i teksten.

Sommerbalansen måles i utvalgte punkter på breen ved at de horisontale forandringer ved stakene registreres gjennom sommeren. Dette gjøres ved å ta parallelle målinger av stakenes lengde over breoverflaten samt av tettheten i den gjenværende snø og firn. Siste måling foretas normalt etter at neste balanseårs akkumulasjon har startet. Sommerbalansen målt ved stakene, overføres til et kart over det aktuelle breområdet og isolinjer gjennom punkter med lik sommerbalanse kan trekkes. Kartet kan så planimeterbehandles og de søkte verdier B_s og b_s beregnes. Sommerbalansen fordeler seg normalt mer regelmessig over breflaten enn vinterbalansen ved at den nesten alltid vil synke med stigende høyde. Særlig utpreget er dette på de maritime breene hvor konveksjon fra varm luft yter et vesentlig bidrag til smelteprosessen. En nøyaktig måling av sommerbalansen kan derfor basere seg på langt færre punktmålinger enn vinterbalansen.

Nettobalansen beregnes som den algebraiske sum av vinterbalansen og sommerbalansen ($b_n = b_w + b_s$) og er positiv i det tilfellet at breen har øket sin masse i løpet

av balanseåret, negativ dersom breens masse er blitt mindre. Gjennom de punkter på breen hvor nettobalansen er null trekkes den såkalte likevektslinje.

Meteorologiske og hydrologiske observasjoner og beregninger

Disse er stort sett foretatt etter samme mønster som forrige år. Målinger av varmebalansen er iår utført på Engabreen og Nigardsbreen. Disse målingene er ment å skulle danne basis for en beregning av de forskjellige meteorologiske faktorers innflytelse på smelteprosessen, både som et gjennomsnitt for hele sommeren og i kortere perioder med forskjellige værforhold. Beregninger og presentasjon av materialet er utført av cand.real. S.Messel og finnes på s.45 i denne rapport.

Ellers er registreringer av skydekket, vindretning og styrke, lufttemperaturen, fuktighet og nedbør foretatt etter omtrent det samme mønster som tidligere år (se Pytte 1970). Sommernedbørens fordeling er også forsøkt registrert i noen brefelter ved måling av regnmengder oppsamlet i et større eller mindre antall "Pluvius"-målere.

Avløpet fra de breer hvor en har faste observatører blir registrert med limnigrafer eller vannstandsobservasjoner. Døgnavløpet er beregnet og satt inn i observasjonsdiagrammene sammen med de tilhørende meteorologiske observasjoner. Alle observasjonsdiagrammer er også iår tegnet maskinelt med kurveplotteren på NVE's dataanlegg. Programmet som utfører plottingen, er utarbeidet av statshydrolog J. Andersen og metoden er arbeidssparende selv om endel etterteqning alltid vil være nødvendig for publikasjonsøyemed.

Ålfotbreen

Materialhusholdning

Vintersesongen startet relativt tidlig, og allerede ved besøket den 20.september 1974 var det 20-30 cm nysnø over hele breen. Ved neste besøk 21.november var snømengdene øket til 200-250 cm. Stakene ble skjøtt, og nedsnødde staker erstattet av nye ved besøk 10.januar og 25.februar. Ved sistnevnte dato var snødypene 750-950 cm, og det forekom bare lite akkumulasjon den resterende del av vinteren fram til akkumulasjonsmålingene som ble foretatt i tiden 18.-22.april. 4 gamle staker og 4 staker utsatt tidligere på vinteren var synlige, og kunne brukes til kontroll av snømålingene. Det ble foretatt 50 snødypmålinger ved sondering og 9 ved kjerneboring langs profiler som er vist på fig. 3. Ovenfor fjorårets likevektslinje (ca. 1050 m o.h.) var det vanskeligere sonderingsforhold, mens det lenger ned var brukbare forhold. Snøens tetthet ble bestemt i snøsjakt ved stake 7-72. Vinterbalansekartet (fig. 4) ble utarbeidet på dette grunnlag og planimetrert. Resultatet var at det var akkumulert ialt 22,2 $\cdot$ $10^6 m^3$ vann som tilsvarer en spesifikk vannverdi

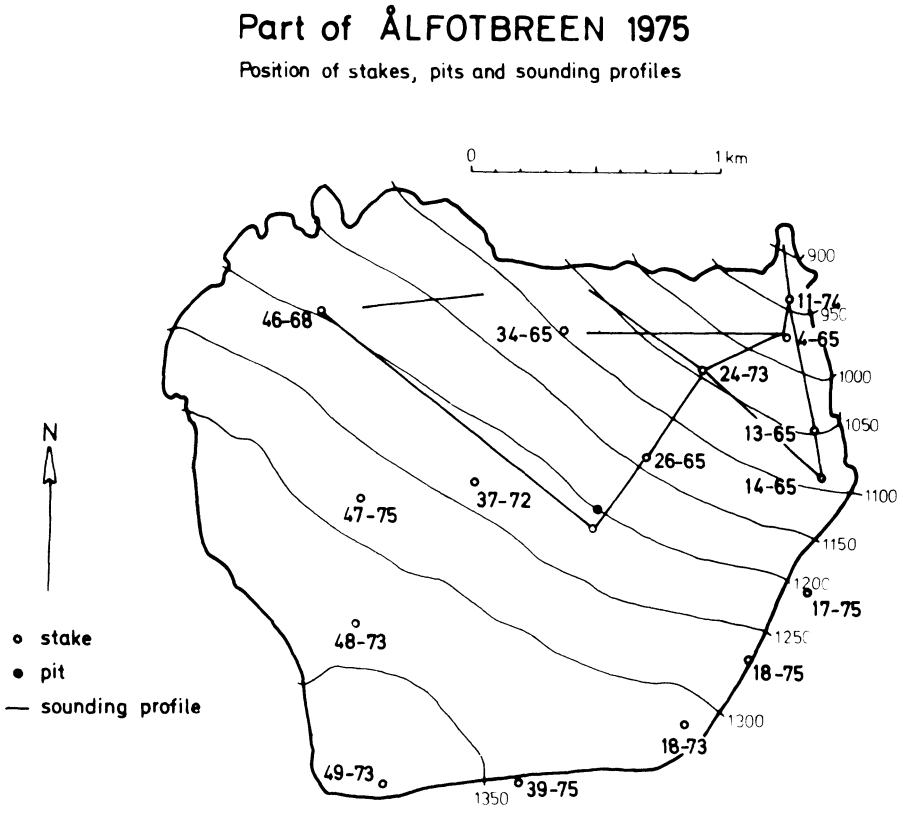


Fig. 3

Beliggenheten av staker, sjakter og sonderinger på Ålfotbreen 1975.

The location of stakes, pits and soundings on Ålfotbreen 1975.

på 4,64 m. Fordelt over året tilsvarer dette en avrenning på 147 l/s km^2.

Bare i 1973 ble det målt en større vinterbalanse på Ålfotbreen, og årets tall utgjorde 130% av middelet for perioden 1963-74.

I sommersesongen ble det gjort målinger på Ålfotbreen ved besøk 8.juni, 8.juli, 7.august, 3.september og 9.oktober. 15 staker smeltet fram, slik at breen på slutten av sesongen var målemessig dekket av hele 19 staker som var mer enn et år gamle. Smeltingen var ganske jevn hele sommeren. De store snømengdene sørget imidlertid for at albedoen var relativt høy hele sommeren, slik at smeltingen ble forholdsvis mindre her enn på mer østlige breer. Selv i begynnelsen av september var det bare kommet fram noen små felt med blåis nedenfor 1100 m o.h.

Sommerbalansen utgjorde 16,4 · 10^{6}m^3 vann, tilsvarende et vannlag med tykkelse 3,43 m over hele breen, mens middelet for perioden 1963-74 var 3,40 m vann. Sommerbalansen ga 109 l/s km^2 vassføring fordelt over hele året.

Nettobalansen på Ålfotbreen i 1975 ble +5,8 · 10^{6}m^3 vann. Dette kan illustreres som et heldekkende vannlag på 1,21 m tykkelse over hele breen. For året som helhet ble det holdt tilbake en vassføring på 38 l/s km^2 fra vassdraget nedenfor.

Likevektslinjen ble liggende på 1050 m o.h.

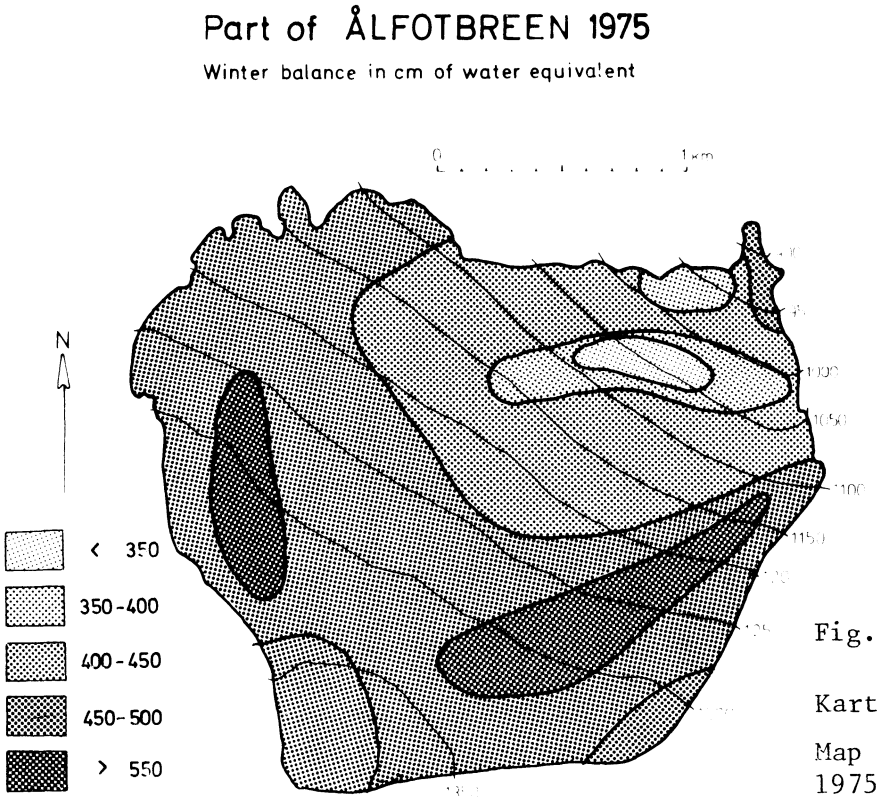


Fig. 4

Kart over vinterbalansen 1975.

Map showing the winter balance 1975.

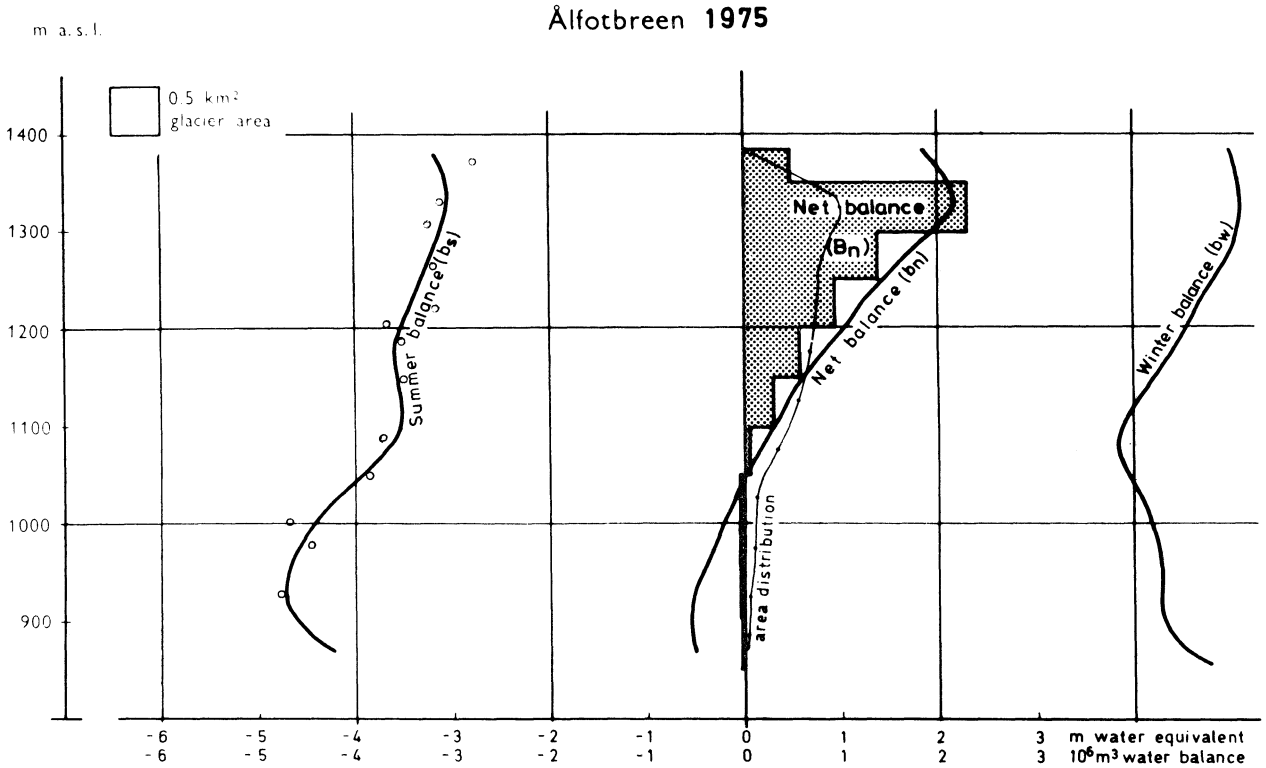


Fig. 5 Variasjonene med høyden over havet av vinter-, sommer- og nettobalanse, samt breens arealfordeling og arealverdier av netto-balansen i hvert 50 m høydeintervall.

Winter, summer and net balances in relation to elevation. Glacier area and areal values of net balance for every 50 m height interval are illustrated.

ÅLFOTBREEN 1975

Høyde intervall m o.h.	Areal S km^2	Vinterbalanse			Sommerbalanse			Nettobalanse		
		B_w $10^6 m^3$	b_w m	b_w l/s km^2	B_s $10^6 m^3$	b_s m	b_s l/s km^2	B_n $10^6 m^3$	b_n m	b_n l/s km^2
1350-1378	0,245	1,241	5,07	161	0,777	3,17	101	0,464	1,90	60
1300-1350	1,029	5,378	5,23	166	3,152	3,06	97	2,226	2,17	69
1250-1300	0,801	3,975	4,96	157	2,613	3,26	103	1,362	1,70	54
1200-1250	0,761	3,543	4,66	148	2,606	3,42	109	0,937	1,24	39
1150-1200	0,649	2,842	4,38	139	2,330	3,59	114	0,512	0,79	25
1100-1150	0,553	2,226	4,03	128	1,944	3,52	112	0,282	0,51	16
1050-1100	0,356	1,359	3,82	121	1,283	3,60	114	0,076	0,22	7
1000-1050	0,216	0,869	4,02	128	0,886	4,10	130	-0,017	-0,08	- 2
950-1000	0,125	0,547	4,38	139	0,582	4,66	148	-0,035	-0,28	- 9
900- 950	0,047	0,197	4,19	133	0,222	4,72	150	-0,025	-0,53	-17
850- 900	0,004	0,019	4,75	150	0,017	4,25	135	-0,002	-0,50	-16
850-1378	4,786	22,196	4,64	147	16,412	3,43	109	5,762	1,21	38

Meteorologiske observasjoner

Ved observasjonshytta var det satt opp en termograf, en hygrograf og en pluviograf med månedsomløp. Instrumentene ble igangsatt 9.juni og gikk uavbrutt til 10.oktober, med ettersyn hver måned. Resultatene er presentert i fig. 6.

Middeltemperaturen for hele observasjonsperioden var 5,4°C, med 5 døgn under frysepunktet. Av disse var et døgn i juni, tre døgn i september og et i oktober. Middeltemperatur for 9.-30.juni var 4,5°C, med døgnmaksimum 10,5°C og døgnminimum -0,5°C. Tilsvarende tall for juli var 6,7°C, 11,2°C og 3,5°C. I august var middeltemperaturen 7,8°C, med døgnlig maksimum og minimum på henholdsvis 12,8°C og 2,8°C. Temperaturgradienten mellom Førde i Sunnfjord og Ålfotbreen er beregnet til 0,79°C/100 m for perioden 9.-30.juni, 0,88°C/100 m for juli og 0,77°C/100 m for august. For hele måleperioden er gradienten beregnet til 0,82°C/100 m med et standardavvik på 30% for i alt 123 observasjonsdøgn.

Totalnedbøren for 9.-30.juni var 99 mm, for juli 208 mm, for august bare 93 mm, og for september hele 705 mm. For hele måleperioden oppfanget pluviografen ialt 1193 mm nedbør. Maksimal døgnnedbør kom den 9.september med ialt 93,1 mm. Av ialt 123 observasjonsdøgn var 47 døgn uten nedbør.

Også hygrografen ga stort sett brukbare resultater. Midlere vanndamptrykk for 124 observasjonsdøgn var 7,9 mb, med høyeste døgnverdi på 11,0 mb (5.august) og laveste på 4,8 mb (28.juni). 5 døgn i juni, 2 døgn i juli, 1 døgn i august og 4 døgn i september hadde midlere vanndamptrykk lavere enn 6,1 mb og følgelig var det en mulighet for sublimasjon fra breoverflaten i disse 8 døgn i løpet av sommeren. Det må dog presiseres at de nevnte tall gjelder døgnmiddel, så i kortere perioder av enkelte døgn kan det også ha eksistert muligheter for avdunstning. Dette er imidlertid ikke typisk for Ålfotbreen, der man generelt kan se bort fra avdunstningen som en del av ablasjonen.

ÅLFOTBREEN 1975

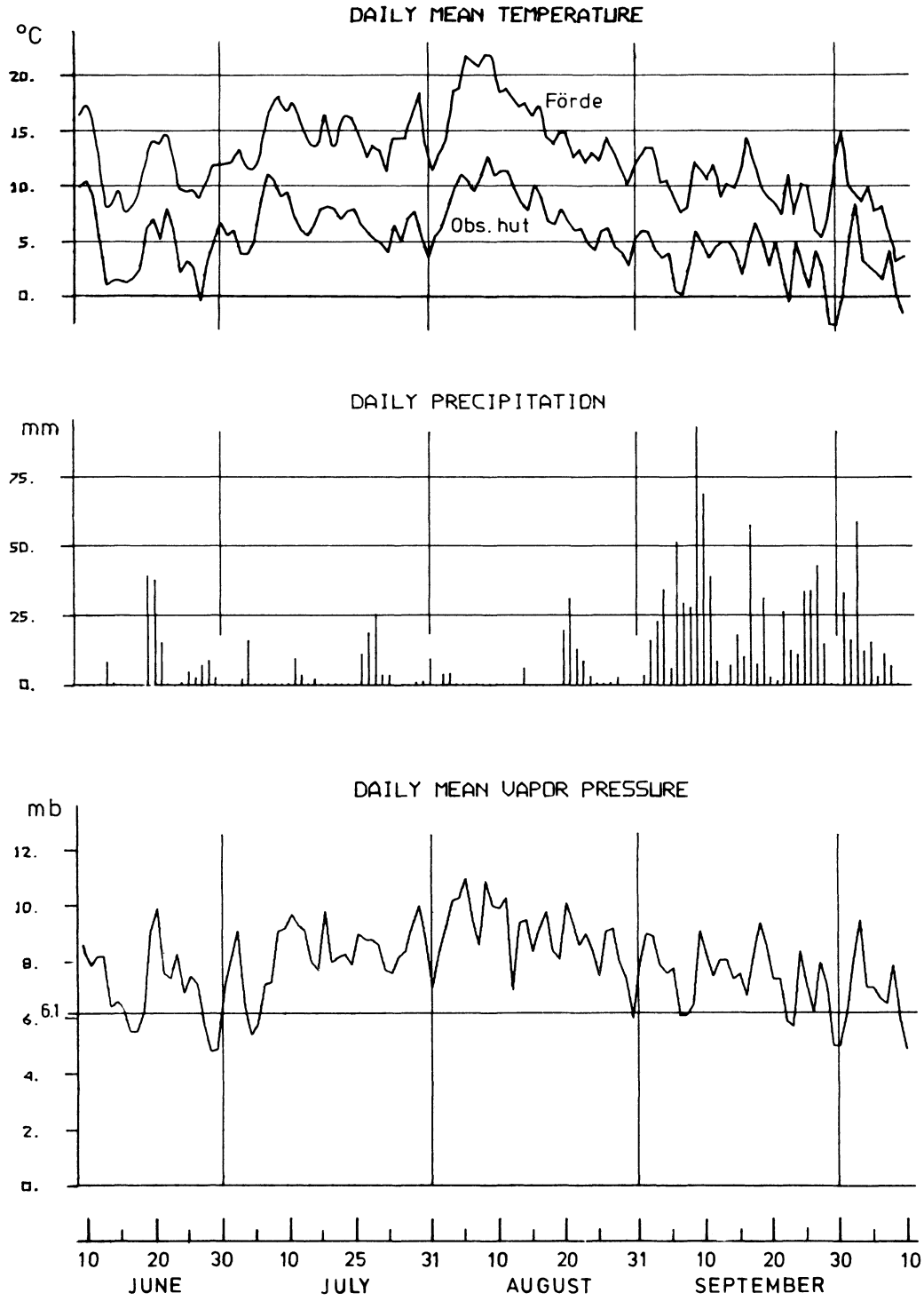


Fig. 6 Resultatene av de daglige meteorologiske observasjonene ved observasjonshytta, Ålfotbreen (910 m o.h.).

The results of the daily meteorological observations at Ålfotbreen (910 m a.s.l.).

Blomsterskardbreen

Materialhusholdning

Denne sørligste utløper av Folgefonni har vist seg å være et svært interessant glasiologisk objekt, idet den viser en større utbredelse nå enn noen gang tidligere i historisk tid. På grunnlag av noen få målestaker plassert nær likevektslinjen kan breens nettobalanse beregnes. Nettobalansekurvens form antas å være lik fra år til år, og kurvens plassering i balansediagrammet bestemmes ved målinger på de aktuelle staker hver høst. Metoden er grundigere beskrevet i den glasiologiske rapporten for 1972 (Tvede 1974). Målingene finansieres av Norsk Polarinstitutt.

Årets målinger ble utført 10.oktober, etter at det hadde falt 50-100 cm nysnø på breen. Tre staker ble funnet og målt. Beregningene viser at Blomsterskardbreen hadde et overskudd i nettobalanse for 1975 tilsvarende 77,7 · $10^6 m^3$ vann. Jevnt fordelt over hele breens overflate ville dette tilsvare et 1,7 m tykt vannlag, eller en avrenning på 54 l/s km^2 over hele året. På grunn av nysnø kunne årets likevektslinje ikke observeres direkte, men den er beregnet til å ligge ca. 1170 m o.h.

Dette er det femte året på rad som Blomsterskardbreen kommer ut med positiv nettobalanse, og den totale økning siden høsten 1970 tilsvarer et vel 5 m tykt vannlag over hele breens dreneringsområde, eller ca. 230 · $10^6 m^3$.

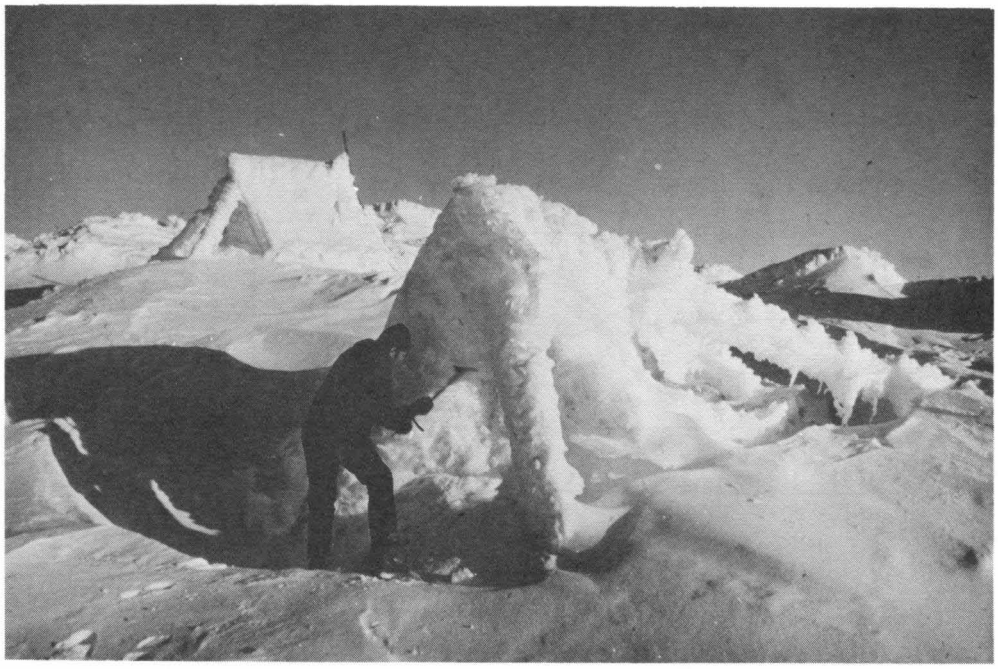


Fig. 7 Brehyttene på Holmaskjeri, Folgefonn ved et besøk i april 1975. Ispanseret var jevnt over 50 cm tykt.

Observation huts at Holmaskjeri, Folgefonn in April 1975. The ice cover was about 50 cm thick.

Gråbreen

Materialhusholdning

Akkumulasjonen hadde begynt på Gråbreen den 9. oktober 1974, og det var da opptil 70 cm nysnø ved enkelte staker. Det var jevn økning av snømengden hele vinteren, og stakene ble skjøtt den 21. november, 8. januar og 5. februar. I begynnelsen av februar varierte snømengden fra 300 cm til 600 cm. Snødypene var omtrent de samme ved akkumulasjonsmålingene som ble foretatt i tiden 26. - 28. april. 8 staker hadde overlevet vinteren og kunne brukes til kontroll av de 144 sonderingene som ble tatt langs profilene vist i fig. 8. Sonderingsmulighetene ble betegnet som

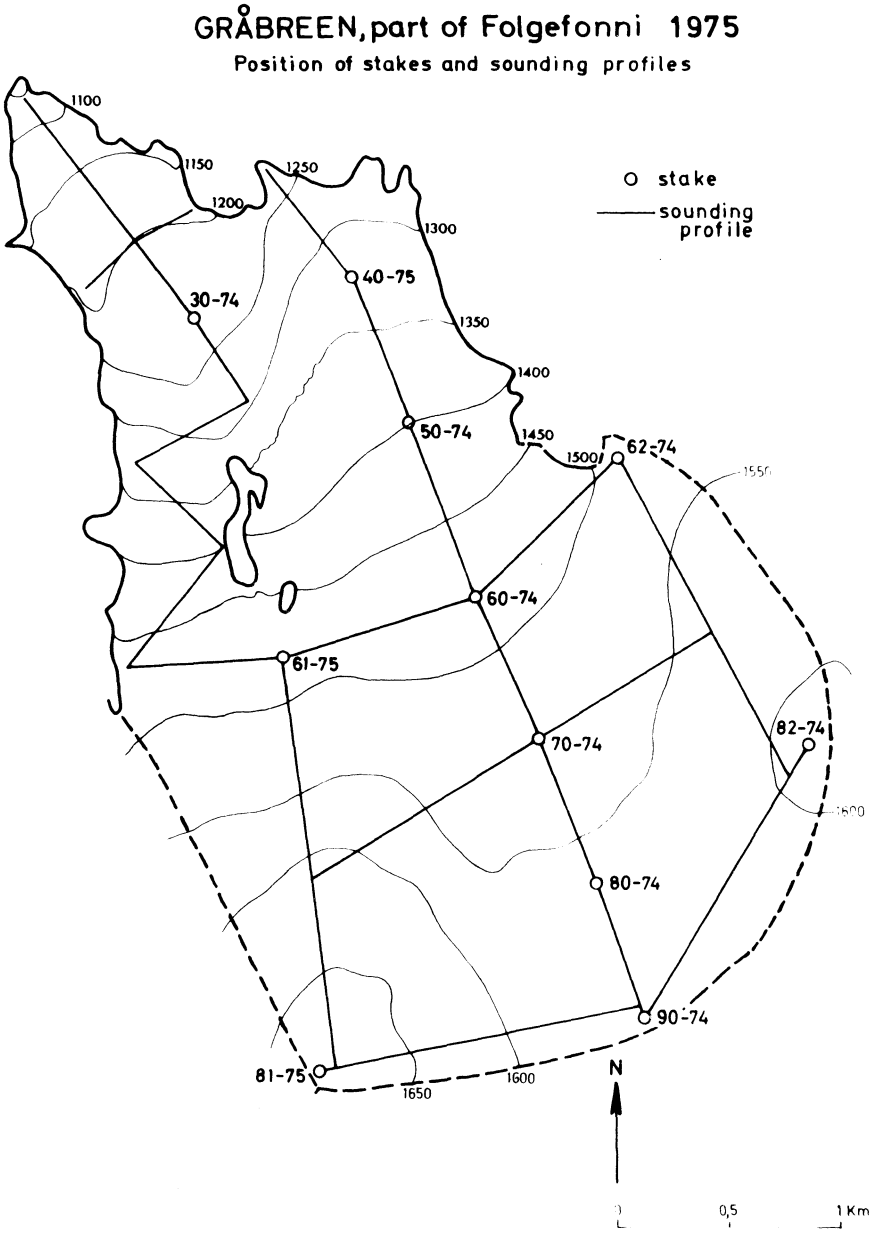


Fig. 8 Beliggenheten av staker og sonderingsprofiler på Gråbreen 1975.

The location of stakes, pits and soundings on Gråbreen 1975.

bra når vi hadde kontrollmuligheter ved stakene. Snøens tetthet ble målt i sjakt og ved kjerneboring på breen noe øst for Gråbreens dreneringsfelt (1550 m o.h.). Planimetreringen av vinterbalansen (fig. 9) ga en total vinterbalanse på 25,1 · $10^6 m^3$ vann, eller spesifikk fordelt 2,62 m (83 l/s km^2).

Gråbreen ble besøkt og ablasjonen målt 3.juni, 3.juli, 3.august og 7.september. Den siste dato kan regnes som avslutning på sommersesongen. Akkumulasjonen hadde da såvidt begynt på de øvre deler, og ved et nytt besøk 10.oktober var snømengden ca. 150 cm. Sommerbalansen beløp seg til 21,5 · $10^6 m^3$ vann. Dette tilsvarer et vannlag på 2,25 m over hele breen eller en årlig vassføring på 71 l/s km^2.

Gråbreen fikk i 1975 et overskudd i materialhusholdningen på 3,5 · $10^6 m^3$ vann. Fordelt over hele breen betyr dette en masseøkning på 0,37 m, noe som igjen betyr at 12 l/s km^2 ble holdt tilbake av årets vinternedbør. Likevektslinja lå på 1375 m o.h.

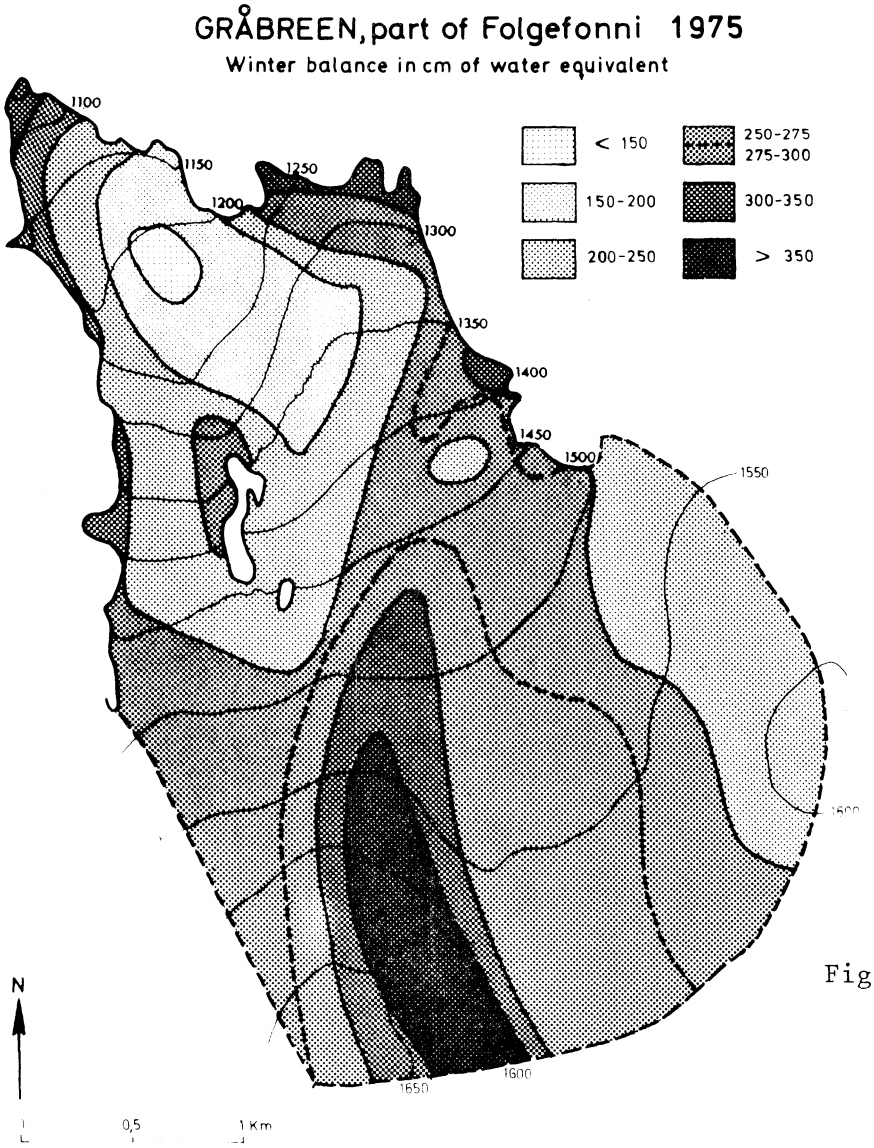


Fig. 9 Kart som viser vinterbalansen på Gråbreen 1975.

Map showing the winter balance 1975.

GRÅBREEN, Folgefonni 1975

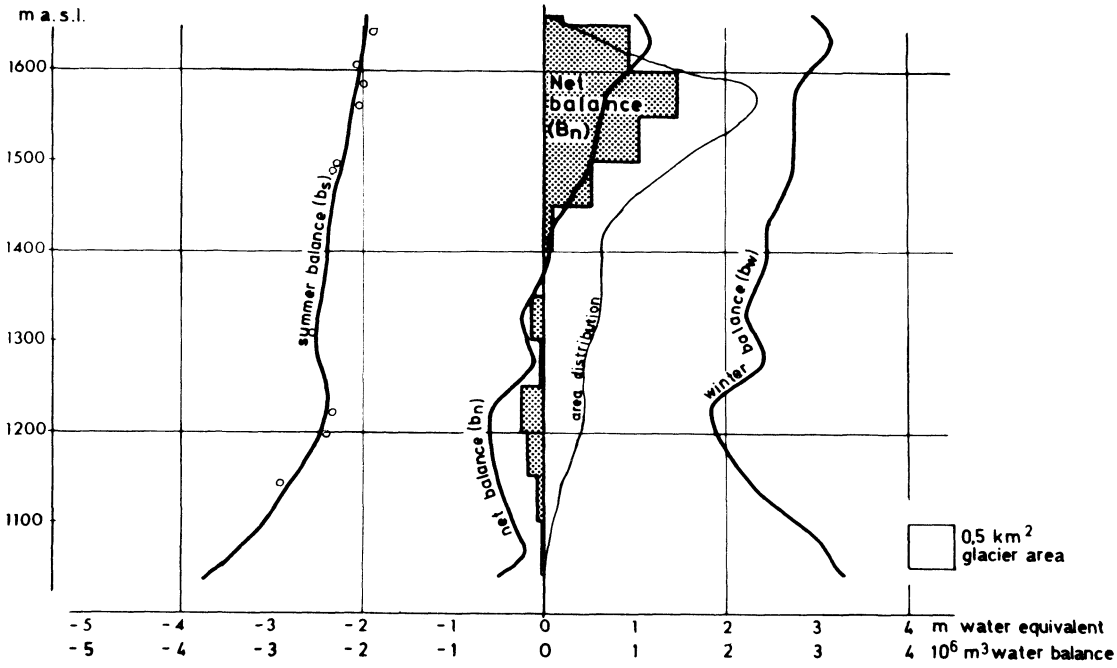


Fig. 10 Variasjonene med høyden over havet av vinter-, sommer- og nettobalansen, samt breens arealfordeling og arealverdier av nettobalansen i hvert 50 m høydeintervall.

The diagram illustrates winter, summer and net balances in relation to elevation, the area distribution and the areal net balance in every 50 m height interval.

G R Å B R E E N, Folgefonni 1 9 7 5

Høyde interval m o.h.	Areal S km²	Vinterbalanse B_w $10^6 m^3$	b_w m	b_w l/s km²	Sommerbalanse B_s $10^6 m^3$	b_s m	b_s l/s km²	Nettobalanse B_n $10^6 m^3$	b_n m	b_n l/s km²
1650-1700	0,221	0,653	2,95	94	0,435	1,97	62	0,218	0,98	32
1600-1650	0,781	2,483	3,18	101	1,560	2,00	63	0,923	1,18	38
1550-1600	2,254	6,193	2,75	87	4,708	2,09	66	1,485	0,66	21
1500-1550	1,844	5,069	2,75	87	4,010	2,17	69	1,059	0,58	18
1450-1500	1,183	3,207	2,71	86	2,695	2,28	72	0,512	0,43	14
1400-1450	0,695	1,703	2,45	78	1,648	2,37	75	0,055	0,08	3
1350-1400	0,664	1,604	2,42	77	1,604	2,42	77	0	0	0
1300-1350	0,546	1,216	2,23	71	1,363	2,50	79	-0,147	-0,27	- 8
1250-1300	0,434	1,045	2,41	76	1,087	2,50	79	-0,042	-0,09	- 3
1200-1250	0,455	0,828	1,82	58	1,096	2,41	76	-0,268	-0,59	-18
1150-1200	0,290	0,583	2,01	64	0,753	2,60	82	-0,170	-0,59	-18
1100-1150	0,141	0,346	2,45	78	0,413	2,93	93	-0,067	-0,48	-15
1050-1100	0,037	0,114	3,08	98	0,123	3,32	105	-0,009	-0,24	- 7
1000-1050	0,004	0,013	3,25	103	0,015	3,75	119	-0,002	-0,50	-16
1000-1700	9,549	25,057	2,62	83	21,510	2,25	71	3,547	0,37	12

Supphellebreen

Materialhusholdning

Denne breen er en sørlig utløper fra Jostedalsbreen. Den har tidligere vært undersøkt av Olav Orheim i årene 1963-68, og han gjenopptok massebalansemålingene i redusert målestokk i 1973. Målemetoden er identisk med den som brukes på Blomsterskardbreen, og gir kun tall for nettobalansen, som har vært positiv de siste tre år. For 1973 hadde breen et masseoverskudd tilsvarende 1,5 m vann, mens i 1974 viste målingene et overskudd på 0,8 m vann.

Supphellebreen har således hatt et betydelig større overskudd disse årene enn Nigardsbreen. Dette var også tilfelle for 1975, da Supphellebreen viste en positiv nettobalanse tilsvarende 1,0 m vann.

Nigardsbreen

Materialhusholdning

Ved målingene 15.oktober 1974 var det kommet fra 50 cm til 130 cm nysnø på breen. Neste besøk fant sted 21.november, da alle staker ble gjenfunnet og målt. Snødypet var da øket til 160 - 250 cm. Fram til 3.februar økte snømengden med ytterligere ca. 300 cm. Ved dette besøk ble 15 staker gjenfunnet, og 5 nye staker ble satt ut.

Fig. 11 Nigardsbreen 10.oktober 1975. Ved bruk av skifly direkte fra Oslo kan kortvarige godværsperioder utnyttes, og arbeid som ellers kunne ta flere uker kan gjøres unna på en eller et par dager.

Nigardsbreen on October 10, 1975. By using airplanes on ski directly from Oslo short good weather periods can be used for work that would normally take several weeks. Thus, work can be finished within one or a few days' time.

Ved akkumulasjonsmålingene i tiden 8.-18.mai ble 8 av fjorårets staker funnet. Disse og de staker som tidligere på vinteren ble boret ned til fjorårets sommeroverflate, ble brukt til kontroll av de ca. 270 sonderingene (snødypmålinger) som ble målt etter linjer som vist i fig. 12. Det var relativt gode sonderingsforhold over hele breen, og snødypene varierte fra mindre enn 1 m nederst på bretunga til 6-7 m i de øvre områder. Tetthetsprøver ble tatt i snøsjakter i tre ulike høydenivåer (se fig. 12). På dette grunnlag ble det utarbeidet et vinterbalansekart som er vist i fig. 13. Den totale vinterbalanse er beregnet til $120{,}6 \cdot 10^6 m^3$ vann, tilsvarende et 2,5 m tykt vannlag over hele breen eller 79 l/s km^2 over hele året. Dette er 10% over gjennomsnittet for perioden 1962-74. Bare i 1962,1967 og 1968 ble det målt en større vinterakkumulasjon.

Stasjonen på Steinmannen var fast bemannet med to sommerassistenter i perioden 18.juni til 1.september. Stakene på breplatået ble avlest hver uke, og wirene på bretunga omtrent hver 10.dag. Dessuten ble tre staker nær stasjonen avlest hver

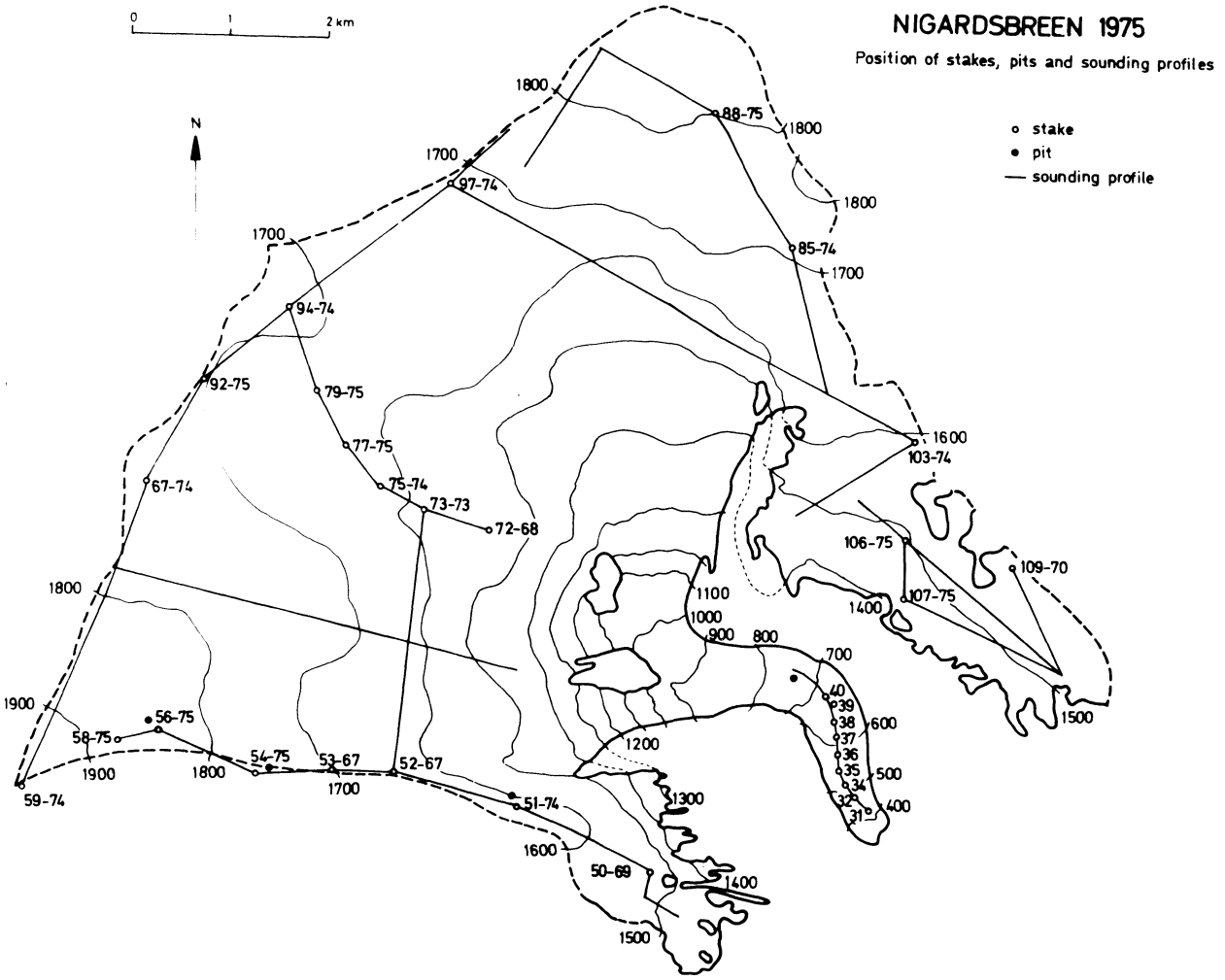


Fig. 12 Beliggenheten av staker, sjakter og sonderinger på Nigardsbreen 1975.
The location of stakes, pits and soundings on Nigardsbreen 1975.

dag. Ablasjonen etter 1.september ble målt ved et besøk den 10.oktober. Det var da kommet 50 - 150 cm nysnø over hele breen. Sommeren bød på mye varmt vær, og ablasjonen var stor, slik at årets totale sommerbalanse ble hele $107,3 \cdot 10^6 m^3$ vann. Dette tilsvarer et vannlag over hele breen på 2,23 m, eller en avrenning på 71 l/s km^2 for hele året. Sommerbalansen var 122% av middelet for perioden 1962-74, og vi må tilbake til 1970 for å finne en like stor avsmelting. Sommerbalansen er som balansetabellen side 20 og fig. 14 viser, jevnt avtagende med høyden. Nederst på breen tilsvarer den en avsmelting på vel 14 m is, mens avsmeltingen øverst på breen omtrent tilsvarer 3 m snø.

På grunn av den store ablasjonen ble årets nettobalanse ikke så sterkt positiv som ventet, men for tredje år på rad og for niende gang siden 1962, var den klart positiv. Det vil si at breen økte med en snø- og ismasse tilsvarende $13,3 \cdot 10^6 m^3$ vann, eller et 27 cm tykt vannlag fordelt over hele breen. Av årets totale nedbør ble altså 8 l/s km^2 holdt tilbake av breen, og dermed unndratt det nedenforliggende vassdrag. Likevektslinjen ble liggende på 1450 m o.h.

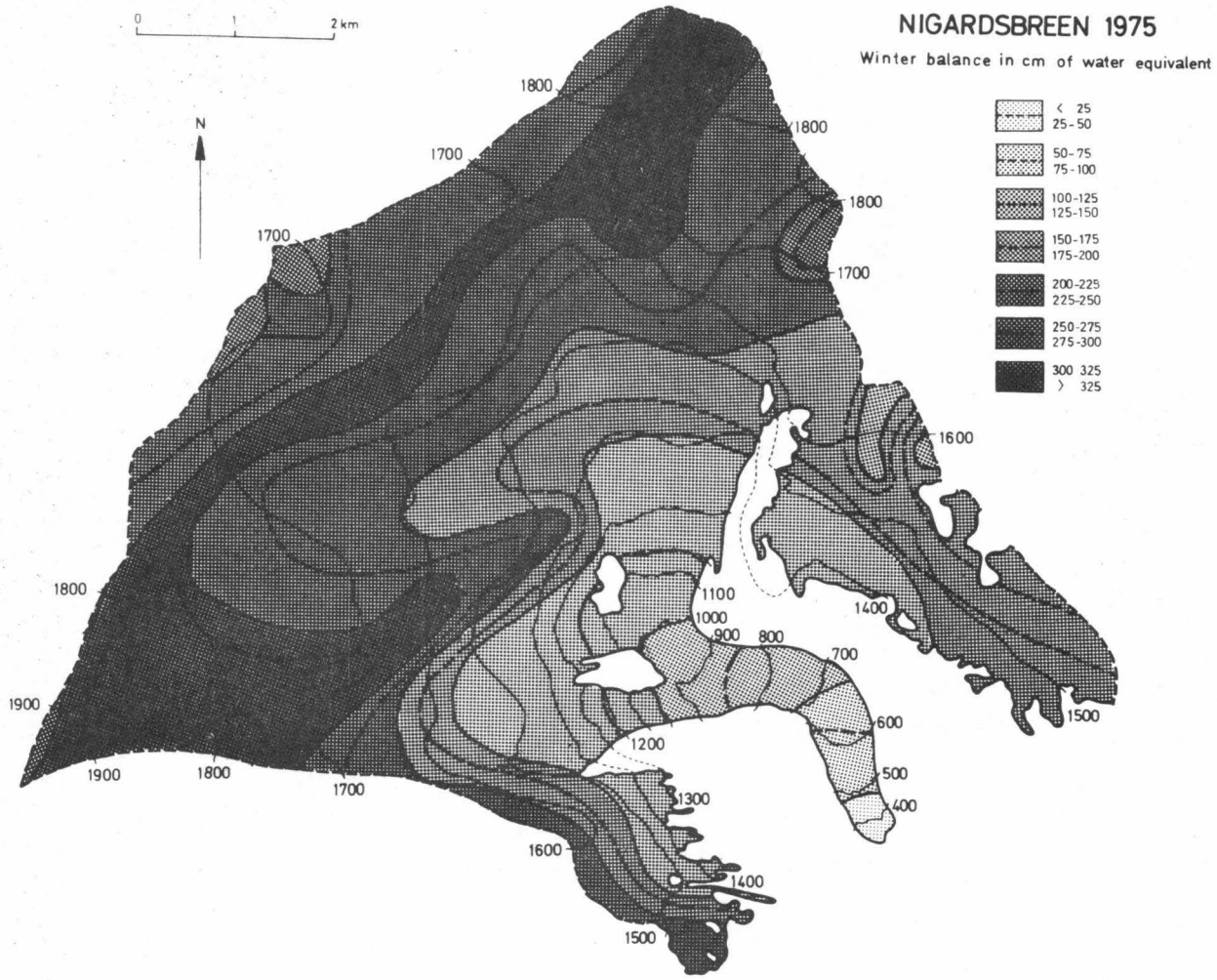


Fig. 13 Kart som viser vinterbalansen på Nigardsbreen 1975.
Map showing the winter balance 1975.

Målingene på Nigardsbreen har pågått siden 1962, og midlere årlig nettobalanse hittil er +0,43 m. Den spesifikke økning fordelt på hele breflaten blir dermed over 6 m. I praksis er selvsagt fordelingen annerledes, og fig. 16 viser hvordan den midlere nettobalanse fordeler seg for måleperioden 1965-75. Høyden av den gjennomsnittlige likevektslinje for samme periode er 1490 m o.h. Dette er 65 m lavere enn den teoretiske likevektslinje hvis breen var i absolutt likevekt (B_n=0).

Nigardsbreens masseøkning har ennå ikke gitt seg utslag i noe framstøt ved fronten. Den nedre del av bretunga er imidlertid blitt adskillig mektigere de siste årene, og vil, hvis trenden fortsetter, utvilsomt gi seg utslag i et brefremstøt i løpet av få år.

Et sammendrag av det glasiologiske arbeid som er utført på Nigardsbreen finnes i Østrem, Liestøl & Wold (1976).

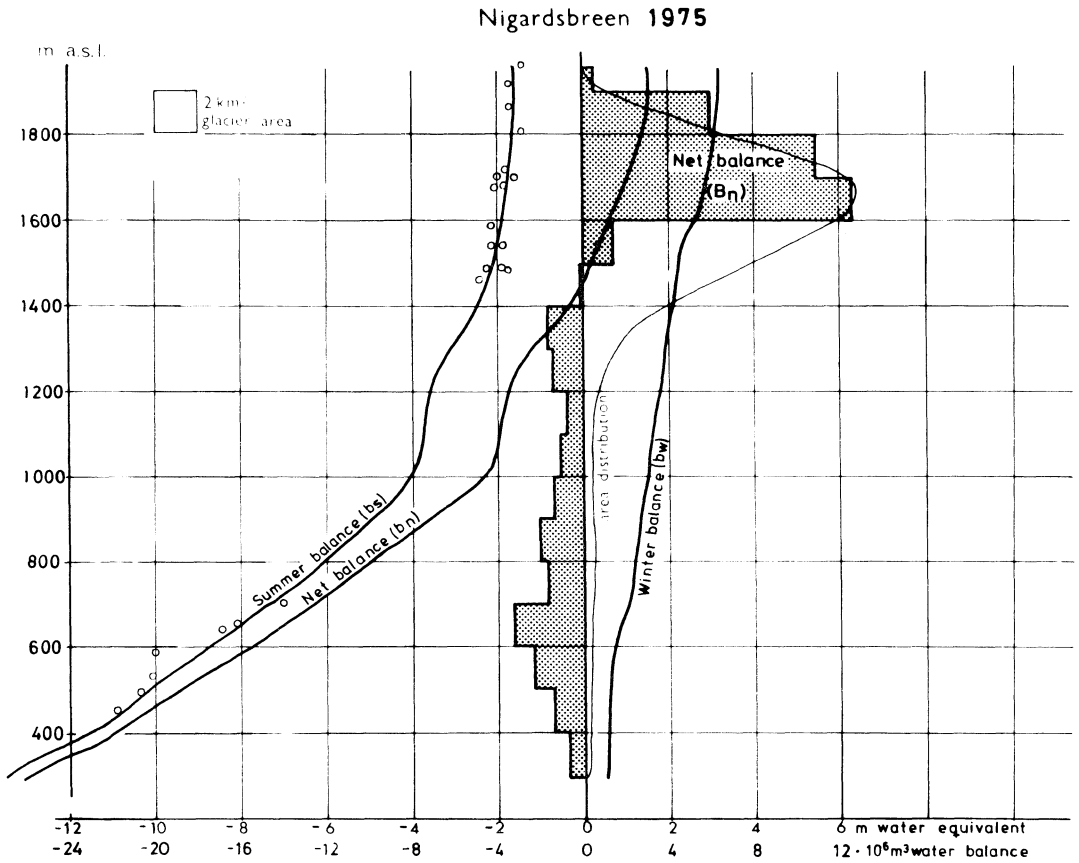


Fig. 14 Variasjonene med høyden over havet av vinter-, sommer- og netto-balansen, samt breens arealfordeling og arealverdier av netto-balansen i hvert 50 m høydeintervall.

The diagram illustrates winter, summer and net balances in relation to elevation, the area distribution and the areal net balance in every 50 m height interval.

N I G A R D S B R E E N 1 9 7 5

Høyde intervall m o.h.	Areal S km^2	Vinterbalanse B_w 10^6m^3	b_w m	b_w l/s km^2	Sommerbalanse B_s 10^6m^3	b_s m	b_s l/s km^2	Nettobalanse B_n 10^6m^3	b_n m	b_n l/s km^2
1900-1960	0,31	0,986	3,18	101	0,519	1,67	53	0,467	1,51	48
1800-1900	3,93	12,245	3,12	99	6,330	1,61	51	5,915	1,51	48
1700-1800	9,35	27,348	2,92	93	16,417	1,76	56	10,931	1,16	37
1600-1700	12,76	35,640	2,79	89	23,092	1,81	57	12,548	0,98	32
1500-1600	9,62	21,320	2,22	70	19,854	2,06	65	1,466	0,16	5
1400-1500	6,12	13,133	2,15	68	13,247	2,16	69	- 0,114	-0,01	- 1
1300-1400	2,18	4,387	2,01	64	6,120	2,81	89	- 1,733	-0,80	- 25
1200-1300	0,88	1,727	1,96	62	3,177	3,61	115	- 1,450	-1,65	- 53
1100-1200	0,44	0,719	1,63	52	1,537	3,49	111	- 0,818	-1,86	- 59
1000-1100	0,54	0,889	1,65	52	1,915	3,55	113	-1,026	-1,90	- 61
900-1000	0,45	0,633	1,41	45	2,031	4,51	143	-1,398	-3,10	- 98
800- 900	0,47	0,590	1,26	40	2,629	5,59	177	-2,039	-4,33	-137
700- 800	0,31	0,352	1,14	36	2,074	6,69	212	-1,722	-5,55	-176
600- 700	0,38	0,321	0,84	27	3,670	9,66	306	-3,349	-8,82	-279
500- 600	0,26	0,164	0,63	20	2,439	9,38	298	-2,275	-8,75	-278
400- 500	0,14	0,074	0,53	17	1,488	10,63	337	-1,414	-10,10	-320
300- 400	0,06	0,038	0,63	20	0,776	12,93	410	-0,738	-12,30	-390
300-1960	48,20	120,566	2,50	79	107,315	2,23	71	13,251	0,27	8

Meteorologiske observasjoner

Feltstasjonen på Steinmannen, Hauganosi (1630 m o.h.) var fast bemannet fra 17. juni til 1.september. De samme meteorologiske parametre som er beskrevet de foregående 3 sommere ble målt i år. Et utvalg av måleresultatene er presentert i fig. 15.

Midlere skydekke for hele perioden var 6/10 og antall helt skyfrie dager var 9. Dette er begge tall som ligger godt over gjennomsnittet for perioden 1965-75, og antyder relativt pent vær til tross for at 23 av 75 observasjonsdøgn hadde tett skydekke eller tåke.

Maksimal middelvindstyrke for et helt døgn ble observert den 2.juli og viste 11,3 m/s. Laveste døgnmiddelverdi var 1,7 m/s. Midlere verdi for hele observasjonssesongen ble 4,6 m/s. Disse tall ligger også lavere enn midlene for perioden 1965-74.

Fig. 15 Resultatene av de daglige meteorologiske observasjonene på Nigardsbreen (1630 m o.h.) og beregnet døgnavløp ved limnigrafen i Nigardsvatnet.

The diagram illustrates the daily meteorological observations on Nigardsbreen (1630 m a.s.l.) and computed daily discharge at the stream gauge in Nigardsvatnet.

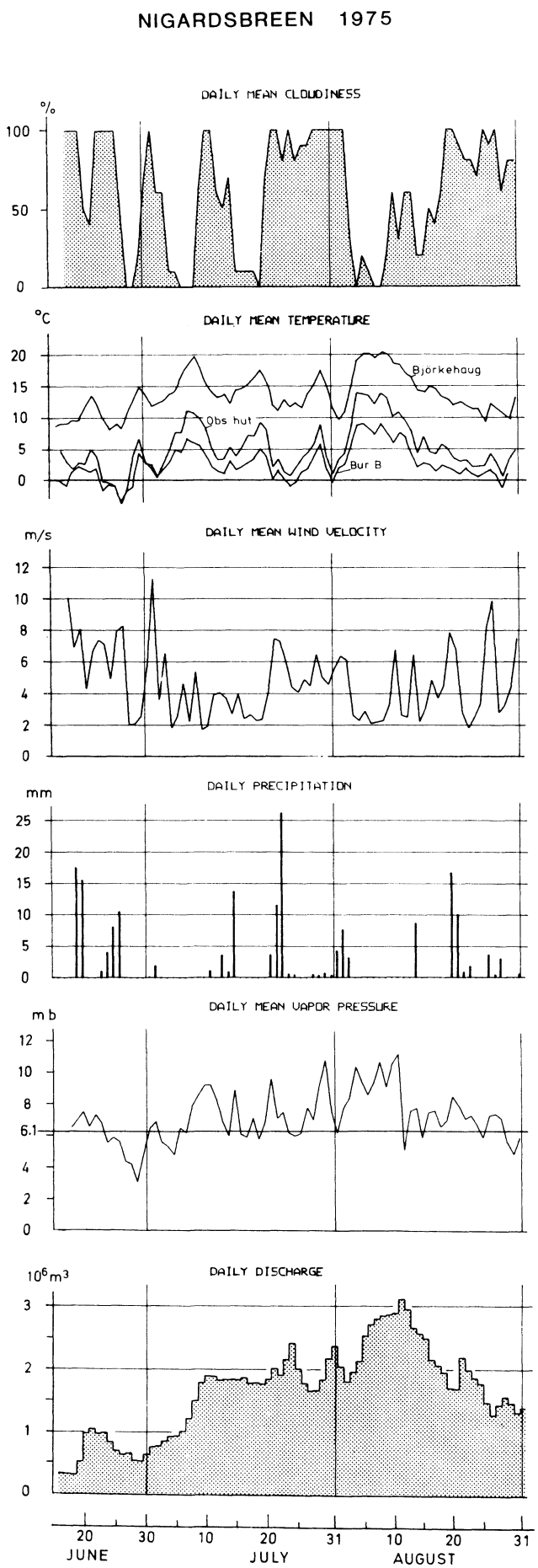

NIGARDSBREEN 1975
DAILY MEAN CLOUDINESS
%
100
50
0
DAILY MEAN TEMPERATURE
°C
20
15
10
5
0
Björkehaug
Obs hut
Bur B
DAILY MEAN WIND VELOCITY
m/s
12
10
8
6
4
2
0
DAILY PRECIPITATION
mm
25
20
15
10
5
0
DAILY MEAN VAPOR PRESSURE
mb
12
10
8
6.1
4
2
0
DAILY DISCHARGE
10⁶m³
3
2
1
0
20
30
10
20
31
10
20
31
JUNE
JULY
AUGUST

Fig. 15.

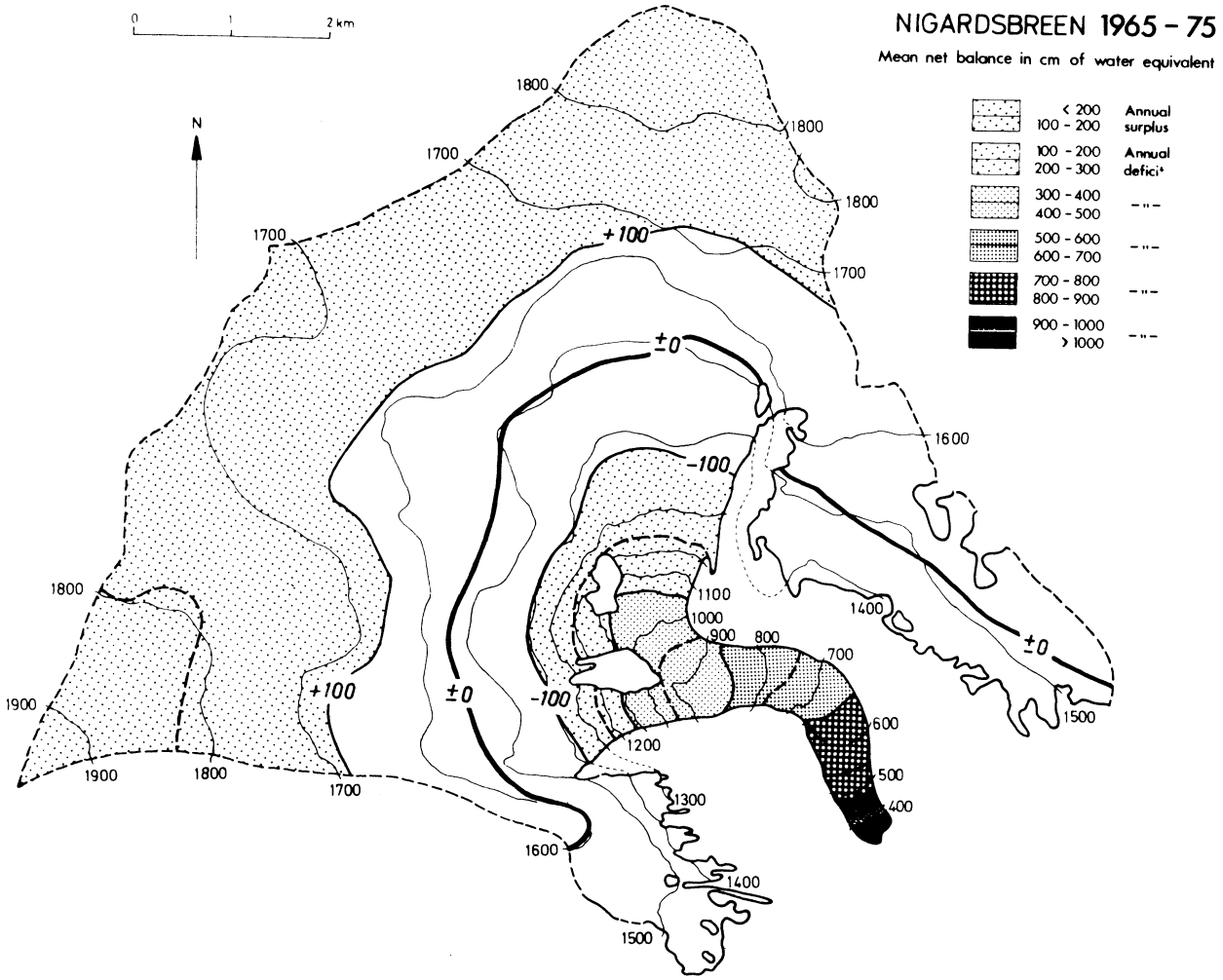


Fig. 16 Midlere nettobalanse for perioden 1965-75.
Mean net balance for the period 1965-75.

Middeltemperaturen for sesongen 1975 ble 5,2°C, dvs. 1,4°C høyere enn gjennomsnittet for 1965-74. Ytterpunktene ble 14,1°C (5.august) og -3,8°C (27.juni). Spesielt var perioden 5.-12.august svært varm, med samtlige døgnmidler over 10°C. Døgnmiddeltemperaturen var under frysepunktet i 5 døgn, alle i juni. Månedsmidlene for juni, juli og august var henholdsvis 2,0°C, 5,3°C og 6,5°C.

Ved bur B (1840 m o.h.) var sesongens middeltemperatur 2,8°C, med døgnlig maksimumstemperatur på 9,4°C (9.august) og minimumstemperatur på -3,2°C (27.juni). I alt 11 av 75 observasjonsdøgn hadde negativ middeltemperatur. Juni var den kaldeste måned med bare 0,4°C i middeltemperatur, mens juli og august hadde henholdsvis 2,9°C og 3,7°C.

Temperaturgradienten mellom Bjørkehaug (320 m o.h.) og Steinmann er for hele perioden beregnet til 0,67°C/100 m, med et standardavvik på 18,9%. Gradient mellom Bjørkehaug og Bur B er 0,73°/100 m, med et standardavvik på 13,2% for ialt 76 observasjonsdøgn.

I normalnedbørmåleren på Steinmann ble det totalt oppfanget 183 mm nedbør fra 18. juni til 1.september. Dette fordeler seg med 57 mm i juni, 64 mm i juli og 62 mm i august. Totalnedbøren er 46 mm mindre enn gjennomsnittet for perioden 1965-74. Det var i 1975 nedbør i 34 av 74 observasjonsdøgn.

Nedbøren på Bjørkehaug var i perioden 18.juni til 1.september 133 mm, altså 50 mm lavere enn på Steinmann.

Midlere vanndamptrykk for hele perioden var 7,2 mb. Månedsmiddelet for juli var 7,2 mb og august 7,7 mb. Seks døgn i august hadde vanndamptrykk på mindre enn 6,1 mb og positiv temperatur. Tilsvarende for juli var 7 døgn og for juni 2 døgn, noe som antyder at avdunstning bare har forekommet i beskjeden grad (15 døgn, samt teoretisk i mindre deler av visse døgn).

Avrenning

Fra 1.juni til 1.september passerte i alt 134,84 $\cdot$ $10^6 m^3$ vann forbi limnigrafen ved utløpet av Nigardsvatn. Største døgnavløp 3,13 $\cdot$ $10^6 m^3$, forekom 11.august på slutten av en kraftig varmeperiode. Midlere døgnverdi for hele sesongen ble 1,47 $\cdot$ $10^6 m^3$. Totalavløpet steg jevnt fra 16,6 $\cdot$ $10^6 m^3$ i juni, via 52,2 $\cdot$ $10^6 m^3$ i juli, til 66 $\cdot$ $10^6 m^3$ i august.

Fig. 17 Temporær snøgrense på Nigardsbreen 14.august 1975.
Transient snowline at Nigardsbreen on August 14, 1975.

Hardangerjøkulen

Materialhusholdning

Målingene foretas på Rembesdalskåki, en vestlig utløper fra Hardangerjøkulen. Også dette året foregikk målingene i redusert målestokk. Kun 3 staker var synlig etter vinteren. Det var også vanskelig å lokalisere fjorårets sommeroverflate ved sondering. Akkumulasjonen var imidlertid stor, og vinterbalansen er beregnet til 2,25 m vannekvivalent. Den etterfølgende varme sommer ga en sommerbalanse tilsvarende 2,10 m vann, og dette førte til en netto økning av breens masse med 0,15 m vann jevnt fordelt over hele breen. På grunn av de nevnte målevanskelighetene er usikkerheten stor, og anslås dette år til ± 0,20 m.

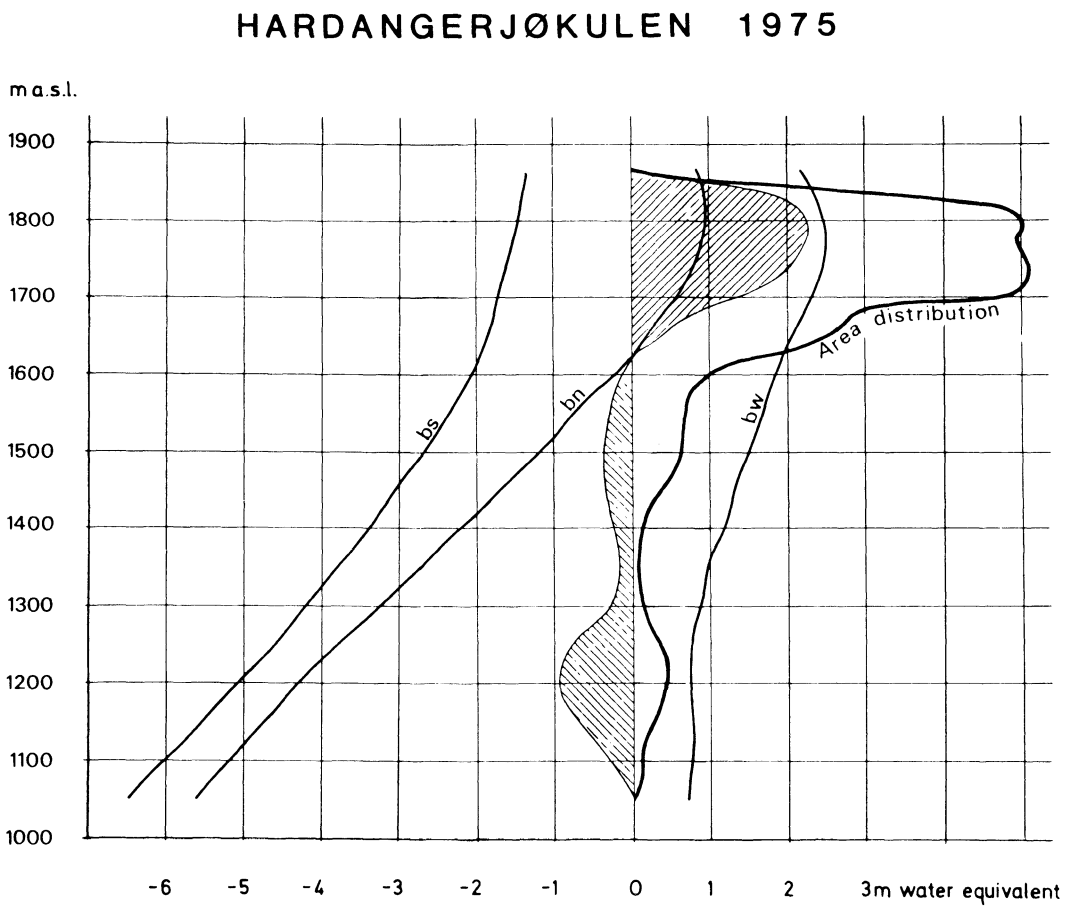


Fig. 18 Variasjonene av vinter-, sommer- og nettobalansen med høyden over havet, breens arealfordeling og arealverdier av nettobalansen.

Winter, summer and net balances in relation to the elevation, the area distribution and the areal net balance.

Storbreen

Materialhusholdning

Snøakkumulasjonen var større enn normalt i store deler av landet dette året, og vinterbalansen på Storbreen var også større enn vanlig med 1,55 m vann mot 1,36 m i et middelår. Den varme sommeren besørget en ablasjon på 1,70 m, slik at Storbreen på tross av den store akkumulasjonen kom ut med en negativ nettobalanse tilsvarende 0,15 m vann.

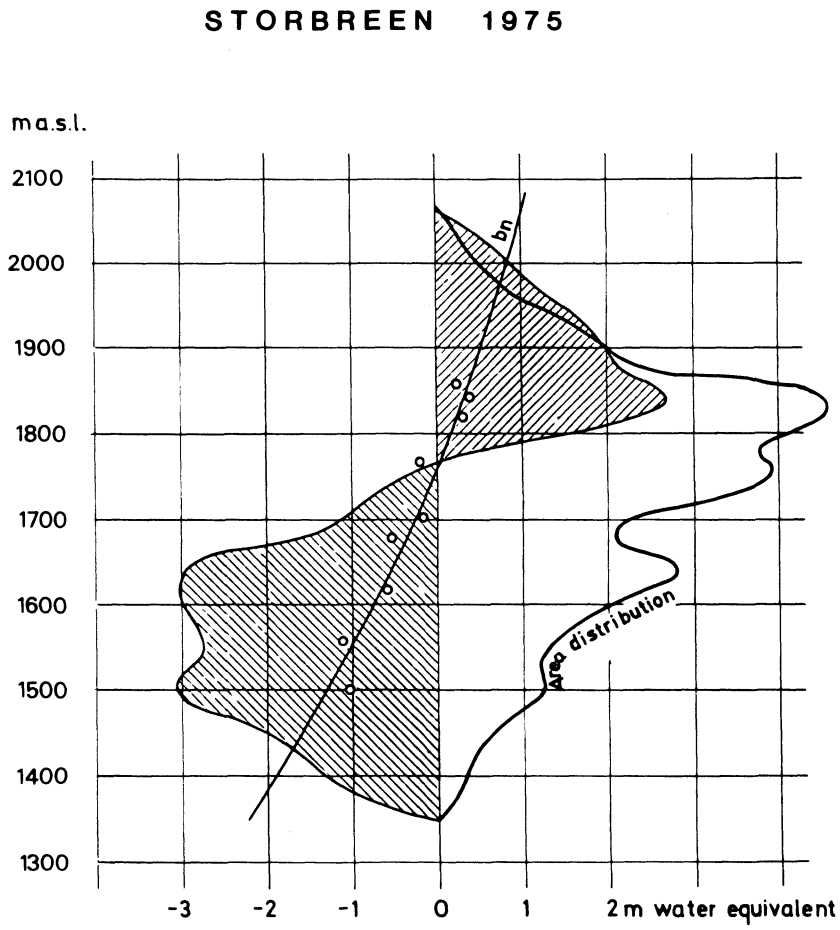


Fig. 19 Variasjonene av vinter-, sommer- og nettobalansen med høyden over havet, breens arealfordeling og arealverdiene av nettobalansen.

Winter, summer and net balances in relation to the elevation, the area distribution and the areal net balance.

Hellstugubreen

Materialhusholdning

Bare ett besøk ble foretatt i løpet av vinteren og det fant sted den 7.februar. Da ble 15 staker funnet og forlenget, mens 10 staker var nedsnødd. Snødypet varierte fra ca. 100 cm til litt over 300 cm. Akkumulasjonsmålingen ble utført 24.-

26.mai, 15 staker ble funnet, og brukt til kontroll av de ca. 110 sonderinger som ble foretatt langs profiler vist på fig. 20. Snødypet var ikke vesentlig større enn ved målingen i februar, men tettheten av snøen var selvsagt øket. De største snødyp fantes i de sørvestlige botner der ca. 500 cm ble målt. Tettheten ble bestemt i snøsjakter ca. 1650 m o.h. og ca. 1960 m o.h. Hellstugubreens totale vinterbalanse ble etter planimetrering av fordelingskartet (fig. 21) beregnet til $4{,}4 \cdot 10^6 m^3$ vann. Dette er 125% av midlere vinterbalanse i måleperioden 1963-74, og vi må tilbake til 1967 og 1968 for å finne større tall.

Etter endel mindre forandringer ble stakenettet for sommeren 1975 slik som vist på fig. 20. I løpet av sommeren ble breen besøkt 13.juni, 22.juli, 27.august og 13. oktober. Ablasjonen var jevn gjennom hele sommeren, men spesiellt stor i en varme-

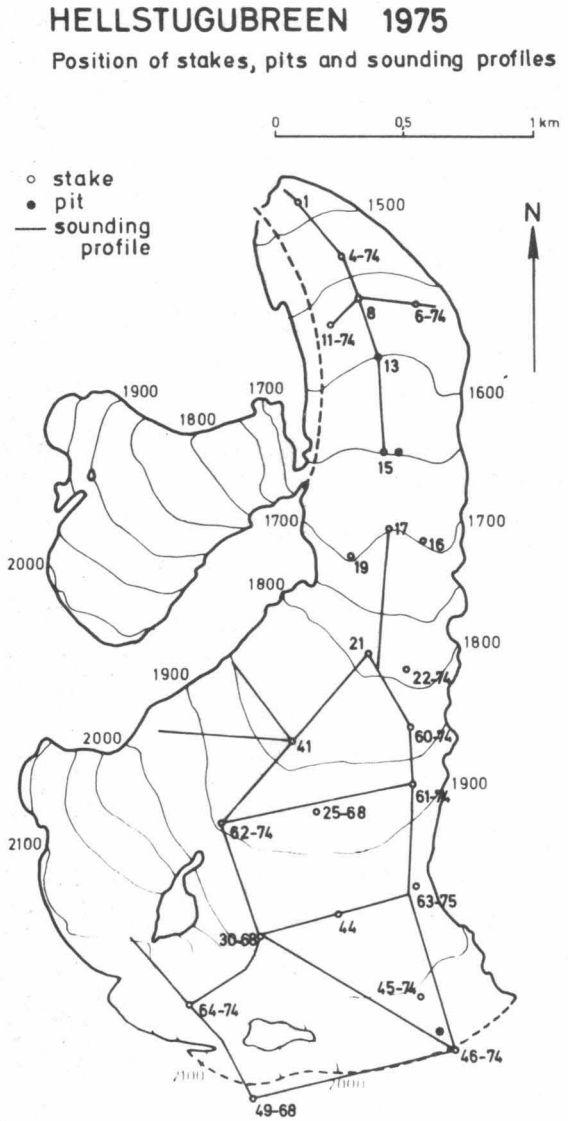


Fig. 20 Beliggenheten av staker, sjakter og sonderingsprofiler.

The location of stakes, pits and sounding profiles.

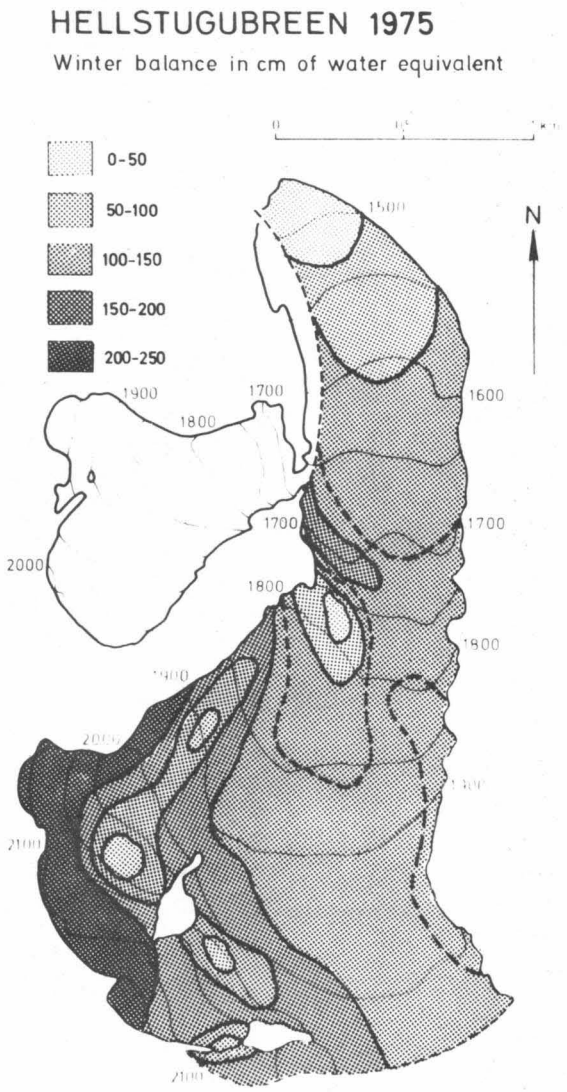


Fig. 21 Kart som viser vinterbalansen 1975.

Map of the winter balance 1975.

periode i august. Dette førte til at sommerbalansen ble hele 5,6 · $10^6 m^3$. I spesifikk vannverdi tilsvarer dette 1,71 m, eller 126% av midlere sommerbalanse (1963-74).

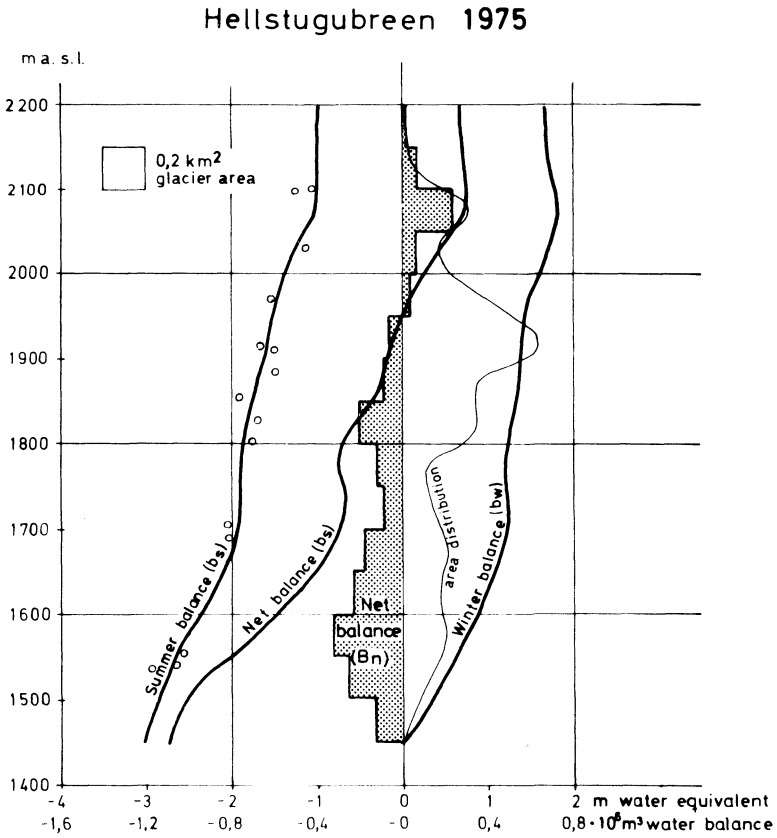


Fig. 22

Variasjonene av vinter-, sommer- og nettobalansen med høyden over havet, breens arealfordeling og arealverdier av nettobalansen i hvert 50 m høydeintervall.

Winter, summer and net balance in relation to the elevation, the area distribution and areal net balance in every 50 m height interval.

HELLSTUGUBREEN 1975

Høyde intervall m o.h.	Areal S km^2	Vinterbalanse B_w $10^6 m^3$	b_w m	b_w 1/s km^2	Sommerbalanse B_s $10^6 m^3$	b_s m	b_s 1/s km^2	Nettobalanse B_n $10^6 m^3$	b_n m	b_n 1/s km^2
2150-2200	0,021	0,035	1,67	53	0,021	1,00	32	0,014	0,67	21
2100-2150	0,088	0,153	1,74	55	0,087	0,99	31	0,066	0,75	24
2050-2100	0,301	0,544	1,81	57	0,311	1,03	33	0,233	0,78	24
2000-2050	0,159	0,275	1,73	55	0,214	1,35	43	0,061	0,38	12
1950-2000	0,362	0,549	1,52	48	0,509	1,41	45	0,040	0,11	3
1900-1950	0,605	0,873	1,44	46	0,938	1,55	49	-0,065	-0,11	- 3
1850-1900	0,368	0,508	1,38	44	0,596	1,62	51	-0,088	-0,24	- 7
1800-1850	0,348	0,459	1,32	42	0,647	1,86	59	-0,188	-0,54	- 17
1750-1800	0,149	0,186	1,25	40	0,276	1,85	59	-0,090	-0,62	- 19
1700-1750	0,146	0,191	1,31	42	0,275	1,88	60	-0,084	-0,57	- 18
1650-1700	0,213	0,249	1,17	37	0,431	2,02	64	-0,182	-0,85	- 27
1600-1650	0,182	0,184	1,01	32	0,410	2,25	71	-0,226	-1,24	- 39
1550-1600	0,196	0,157	0,80	25	0,479	2,44	78	-0,322	-1,64	- 52
1500-1550	0,110	0,056	0,51	16	0,311	2,83	90	-0,255	-2,32	- 74
1450-1500	0,045	0,010	0,22	7	0,128	2,84	90	-0,118	-2,62	- 83
1450-2200	3,293	4,429	1,35	43	5,633	1,71	54	-1,204	-0,36	- 12

Hellstugubreen fikk i 1975 redusert sin masse tilsvarende 1,2 · $10^6 m^3$ vann, noe som tilsvarer et vannlag på 0,36 m fordelt over hele breen. Dette betyr at vassdraget nedenfor i løpet av året fikk et ekstra vanntilskudd på 12 l/s km^2. Årets likevektslinje ble liggende ca. 1950 m o.h.

Fig. 23 Hellstugubreen sett fra Veoskaret 27.august 1975.

View of Hellstugubreen on August 27, 1975.

Gråsubreen

Materialhusholdning

Første besøk på breen etter 24.september 1974 (siste høstmåling) fant sted 5.februar 1975. Det ble da funnet 9 staker, mens like mange var nedsnødd. Snødypet varierte fra ca. 80 cm til ca. 300 cm. Neste besøk ble foretatt den 25. og 26.mai, da årets akkumulasjonsmålinger ble utført. Snøen hadde da sunket noe sammen og 11 staker var synlige. Det ble gjort ca. 115 sonderinger etter profiler som vist på fig. 24. Figuren viser også hvor snøprøven ble tatt i en 240 cm dyp sjakt ca. 1960 m o.h. Snødypene var relativt små, med maksimalt dyp på 370 cm, og det var lett å sondere over hele breen. Vinterbalansen tilsvarte totalt 2,3 · $10^6 m^3$ etter et fordelingsmønster som er vist på fig. 25. Jevnt fordelt over hele breområdet ville det tilsvare en vannhøyde på 0,91 m, som er 125% av midlere vinterbalanse for måleperioden 1963-74.

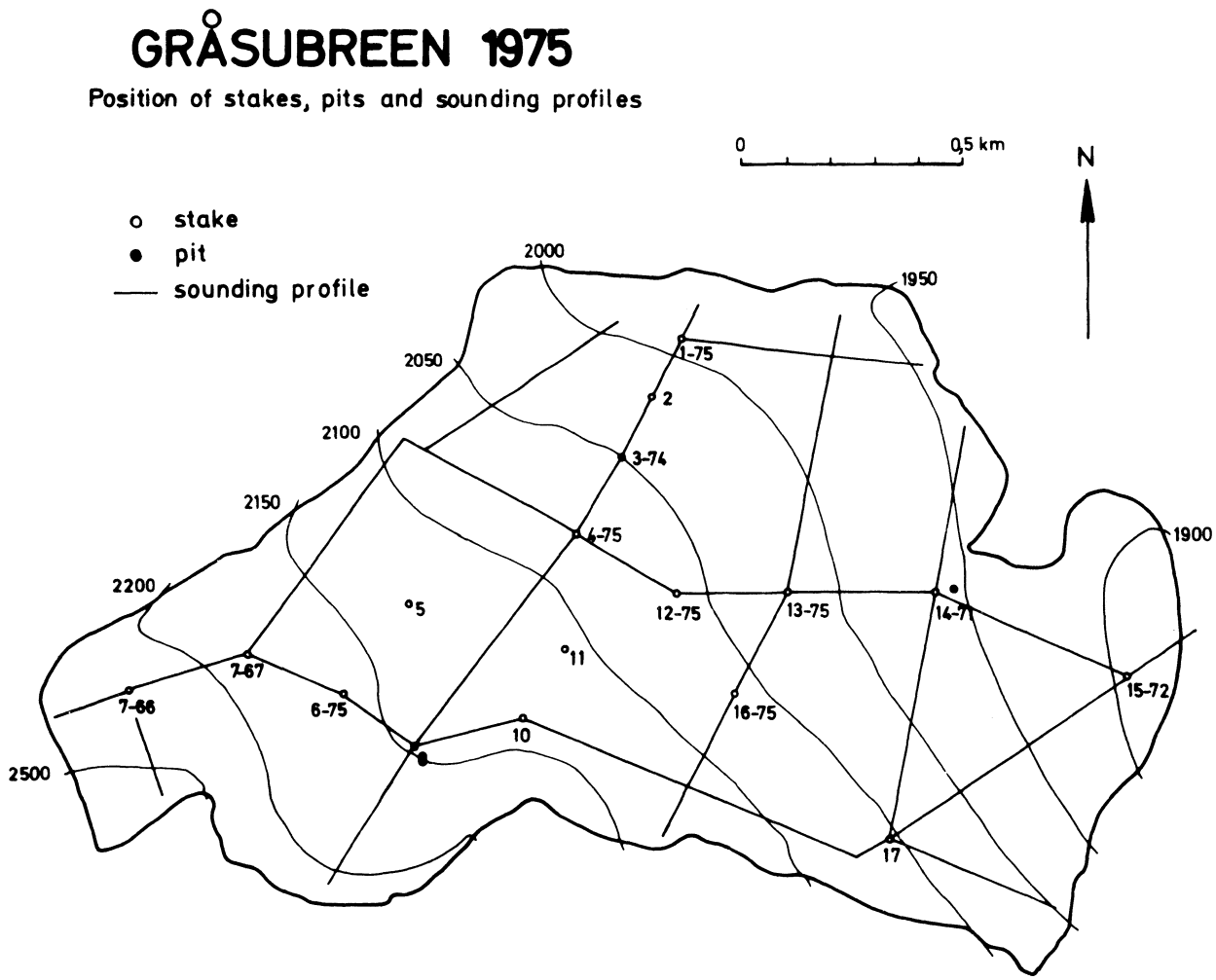


Fig. 24 Beliggenheten av staker, sjakter og sonderingsprofiler.
The location of stakes, pits and sounding profiles.

Sommeren 1975 ble Gråsubreen besøkt 24.juli, 26.august og 12.oktober. På tross av en varm sommer, var det ved alle besøkene falt litt nysnø, slik at den temporære snøgrense ikke kunne observeres direkte.

Stakenettet ble holdt intakt gjennom hele sommeren og ved siste besøk sto 19 staker på breen. Det hadde i løpet av sommeren vært smelting på hele breen og sommerbalansen beløp seg totalt til 4,7 · $10^6 m^3$ vann. Bortsett fra et midtområde med liten akkumulasjon, og dermed tidlig endring i albedo og en større ablasjon enn området rundt, fordelte ablasjonen seg som nedenforstående tabell viser, dvs. stort sett jevnt avtagende med høyden. Teoretisk ville sommerbalansen svare til et 1,86 m tykt vannlag over hele breen. Dette er hele 196% av sommerbalansen for perioden 1963-74, og bare sommeren 1969 ble det målt større ablasjon.

Den store smeltingen førte til at Gråsubreen fikk et underskudd i materialhushold-ningen på 2,4 · $10^6 m^3$ vann. Siden målingen tok til i 1963 har bare 1969 gitt et større underskudd. I 1975 ble det funnet negativ nettobalanse i alle høydenivåer,

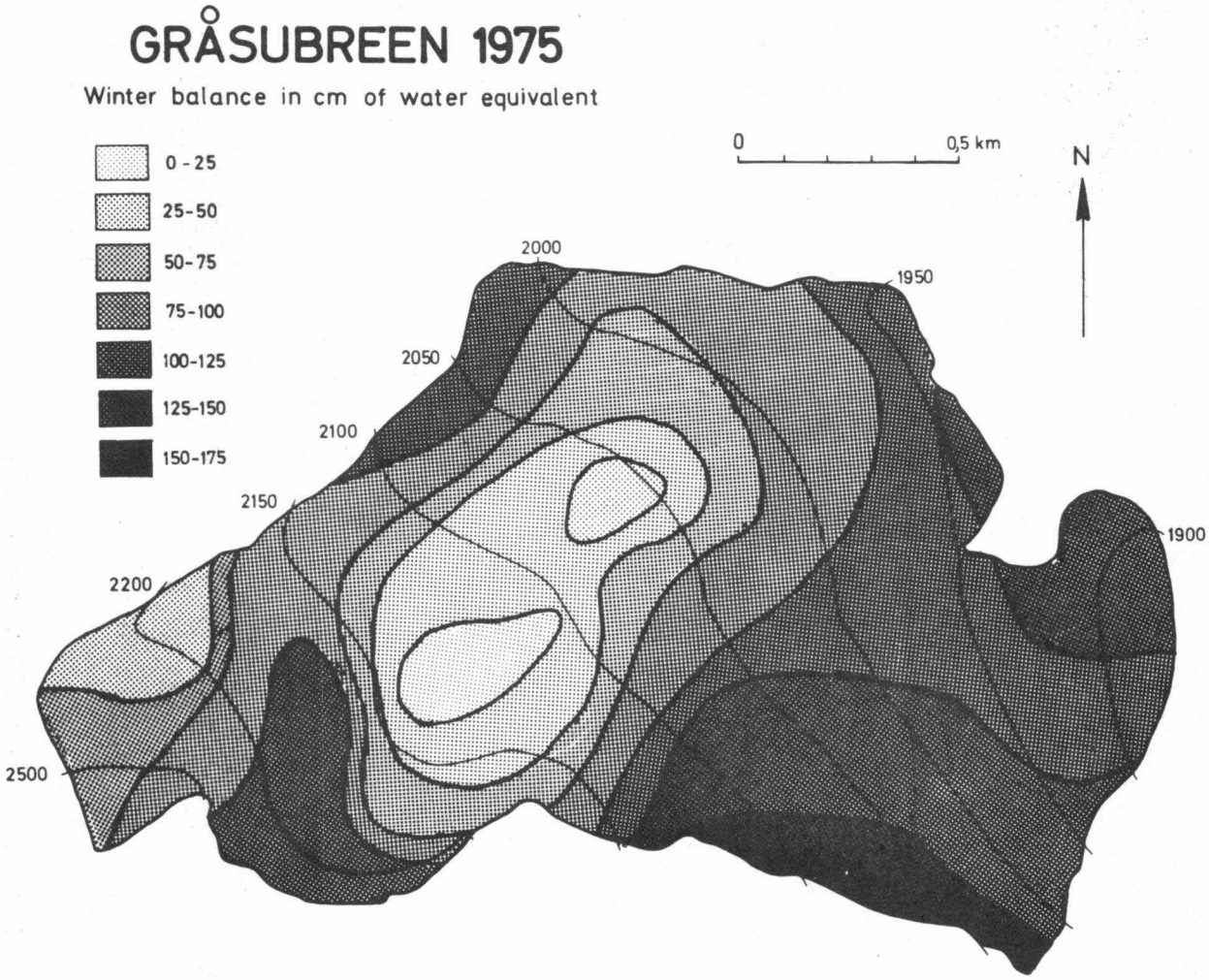


Fig. 25 Kart som viser vinterbalansen 1975.
Map of the winter balance 1975.

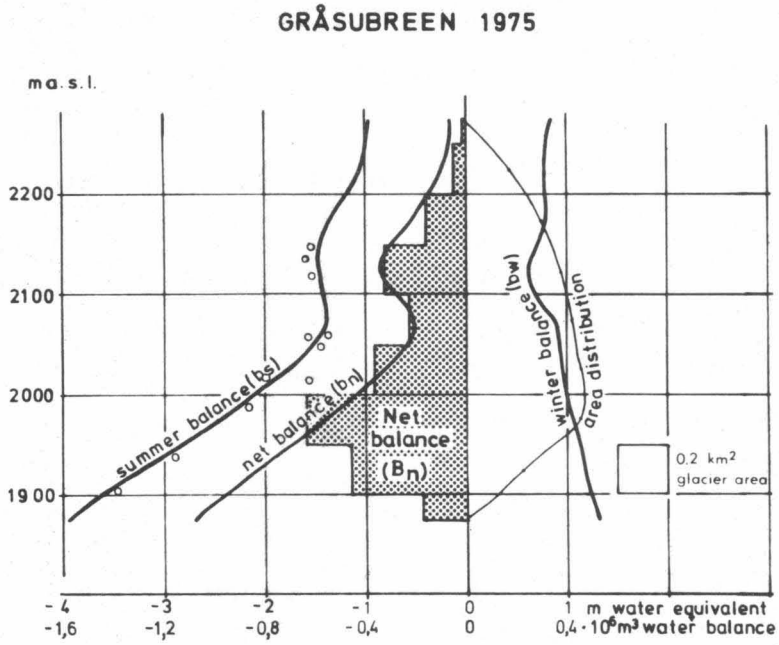


Fig. 26

Variasjonene av vinter-, sommer- og netto-balansen med høyden over havet, breens arealfordeling og arealverdier av netto-balansen i hvert 50 m høydeintervall.

Winter, summer and net balance in relation to the elevation, the area distribution and areal net balance in every 50 m height interval.

og gjennomsnittlig mistet breen en masse tilsvarende 0,95 m vann. Det vil si at breen i 1975 ga et midlere ekstra vanntilskudd til vassdraget nedenfor på 30 l/s km^2. Årets likevektslinje ble liggende over 2300 m o.h., dvs. høyere enn breens høyeste deler!

GRÅSUBREEN 1975

Høyde intervall m o.h.	Areal S km^2	Vinterbalanse B_w 10^6m^3	b_w m	b_w l/s km^2	Sommerbalanse B_s 10^6m^3	b_s m	b_s l/s km^2	Nettobalanse B_n 10^6m^3	b_n m	b_n l/s km^2
2250-2300	0,034	0,028	0,82	26	0,033	0,97	31	-0,005	-0,15	- 5
2200-2250	0,179	0,141	0,79	25	0,185	1,03	33	-0,044	-0,24	- 8
2150-2200	0,305	0,251	0,82	26	0,413	1,35	43	-0,162	-0,53	-17
2100-2150	0,384	0,234	0,61	19	0,565	1,47	47	-0,331	-0,86	-28
2050-2100	0,416	0,367	0,88	28	0,576	1,38	44	-0,209	-0,50	-16
2000-2050	0,464	0,451	0,97	31	0,825	1,78	56	-0,374	-0,81	-25
1950-2000	0,457	0,486	1,06	34	1,123	2,46	78	-0,637	-1,40	-44
1900-1950	0,214	0,255	1,19	38	0,705	3,29	105	-0,450	-2,10	-67
1850-1900	0,065	0,085	1,31	42	0,256	3,94	125	-0,171	-2,63	-83
1850-2300	2,518	2,298	0,91	29	4,681	1,86	59	-2,383	-0,95	-30

Høgtuvbreen

Materialhusholdning

Allerede 10.oktober 1974 var det kommet 300-400 cm nysnø på Høgtuvbreen. Stakene ble senere målt og forlenget midt i januar og midt i februar, før akkumulasjonen ble målt 17.-18.april. Snødypene varierte fra ca. 500 cm til ca. 700 cm. Sonderingsforholdene var ganske bra på breens nedre deler. Ovenfor stake 50 er sonderingene noe mer usikre, og ble derfor kontrollert med 9 kjerneboringer. Etter at akkumulasjonsmålingene var utført kom det adskillig snø på Høgtuvbreen. Tilleggsakkumulasjonen ble målt 1.juni, og lagt til de opprinnelige tall før vinterbalansekartet (fig. 28) ble utarbeidet. Bare 2 staker hadde overlevet vinteren. Snøens tetthet ble målt i sjakt og ved kjerneboring i 960 m o.h. Det ble gjort 207 sonderinger langs nesten 19 km sonderingsprofiler (fig. 27).

Vinterbalansen ble målt til 7,8 · 10^6m^3 vann, eller 3,00 m jevnt fordelt over breflaten.

I løpet av sommeren ble stakene målt 26.juni, 13.juli og 6.september. Sommerbalansen er målt og beregnet til 5,9 · 10^6m^3 vann som tilsvarer en jevn fordeling på 2,27 m over hele breen. Dette ga et overskudd på 1,9 · 10^6m^3 vann eller en spesifikk masseøkning på 0,73 m. Siden 1971 har bare året 1973 vist positiv nettobalanse. Årets overskudd skyldes vesentlig en usedvanlig kjølig sommer, med en ablasjon på bare ca. 65% av middel for årene 1971-74.

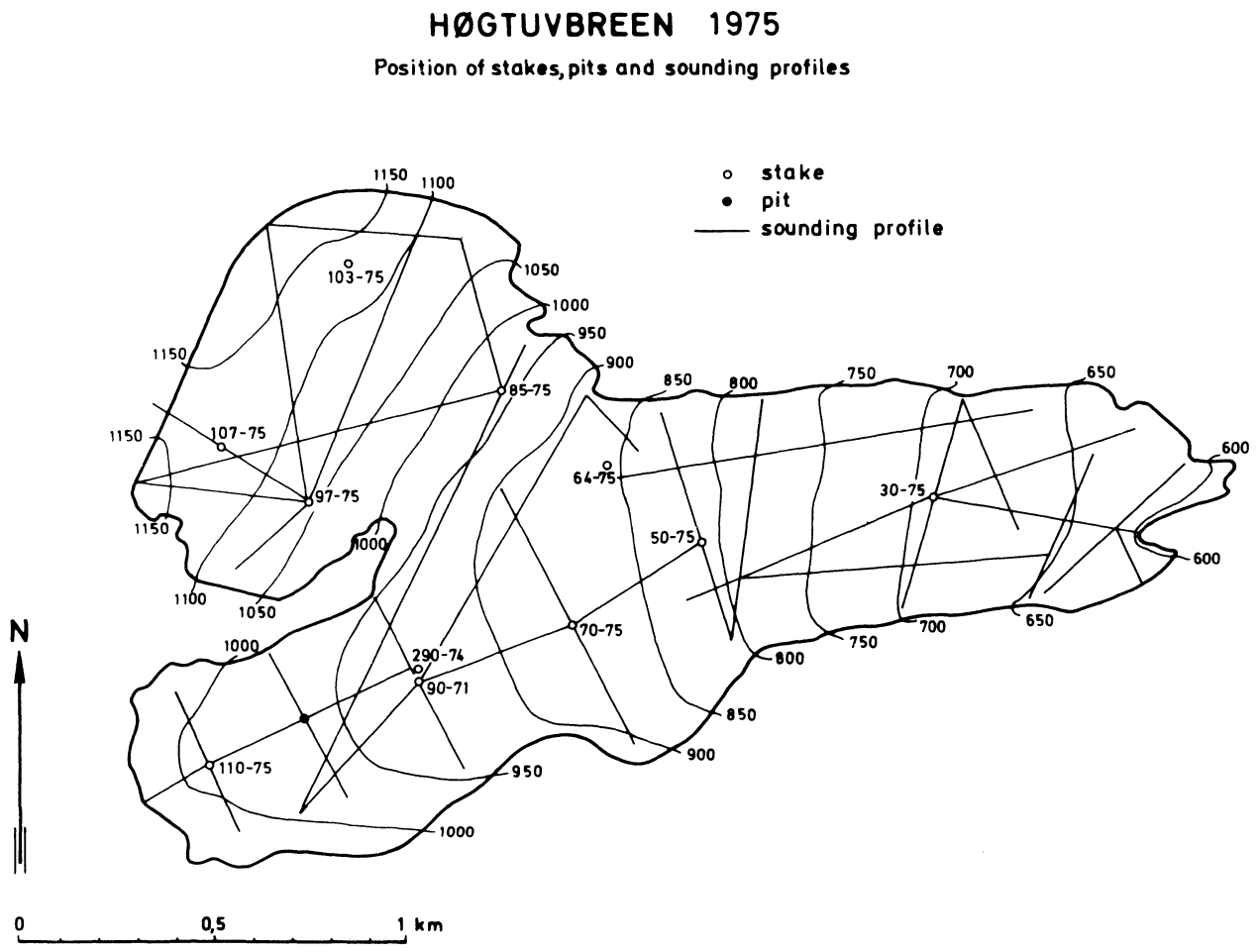


Fig. 27 Beliggenheten av staker, snøsjakter og sonderingsprofiler på Høgtuvbreen.
The location of stakes, pits and sounding profiles on Høgtuvbreen.

Årets likevektslinje lå på 760 m o.h.

Avrenning

Vannstandsmålingene ble satt igang 26.juni, mens elveløpet fremdeles var snødekket. Vannføringen var lav (0,8 m^3/s) de første dagene, og snøsmeltingen ble merkbar først 1.juli. Største avløp forekom 3.september, da det ble registrert i alt $0,63 \cdot 10^6 m^3$. Totalavløpet i observasjonsperioden (27/6 - 17/10) var $24,8 \cdot 10^6 m^3$, som gir en midlere døgnverdi på $0,22 \cdot 10^6 m^3$. Dette tilsvarer en middelvannføring på 2,54 m^3/s. Månedsverdiene for avløpet er $7,7 \cdot 10^6 m^3$ for juli, $8,1 \cdot 10^6 m^3$ for august og $6,1 \cdot 10^6 m^3$ for september. Til sammenligning kan nevnes at avløpet i juli-august 1975 bare var 80% av middelavløpet for disse måneder de siste fire år.

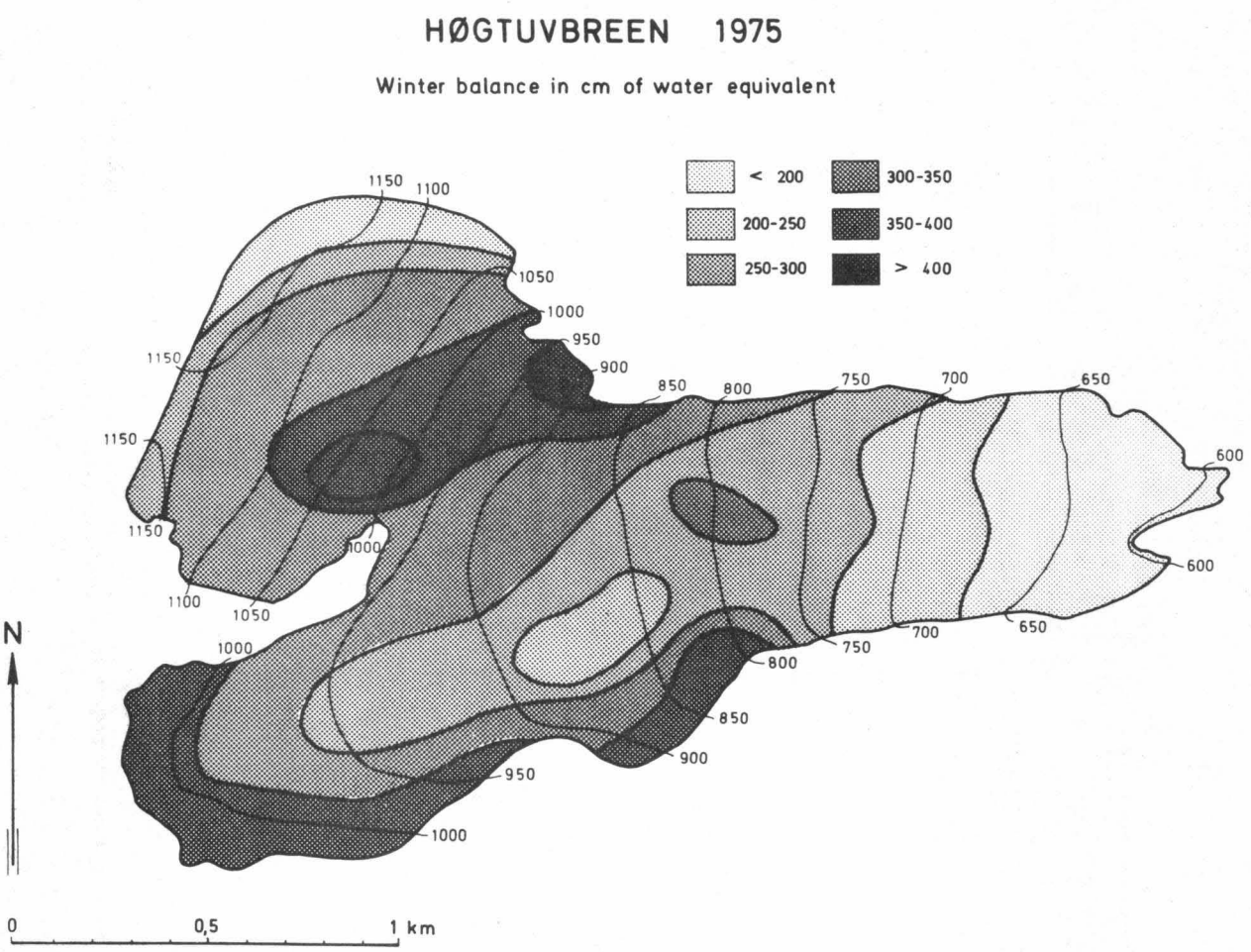


Fig. 28 Vinter-balansens fordeling på Høgtuvbreen 1975.
Distribution of the winter balance on Høgtuvbreen 1975.

H Ø G T U V B R E E N 1 9 7 5

Høyde interval m o.h.	Areal S km²	Vinterbalanse B_w $10^6 m^3$	b_w m	b_w l/s km²	Sommerbalanse B_s $10^6 m^3$	b_s m	b_s l/s km²	Nettobalanse B_n $10^6 m^3$	b_n m	b_n l/s km²
1150-1160	0,080	0,297	3,71	118	0,112	1,40	44	0,185	2,31	74
1100-1150	0,214	0,740	3,46	110	0,300	1,40	44	0,440	2,06	66
1050-1100	0,220	0,692	3,14	100	0,350	1,59	51	0,342	1,55	49
1000-1050	0,252	0,843	3,35	106	0,441	1,75	56	0,402	1,60	50
950-1000	0,318	1,030	3,24	103	0,578	1,82	58	0,452	1,42	45
900- 950	0,321	1,068	3,33	106	0,715	2,23	71	0,353	1,10	35
850- 900	0,316	0,966	3,06	97	0,716	2,27	72	0,250	0,79	25
800- 850	0,177	0,515	2,91	92	0,451	2,55	81	0,064	0,36	11
750- 800	0,161	0,459	2,85	90	0,443	2,75	87	0,016	0,10	3
700- 750	0,162	0,397	2,45	78	0,454	2,80	89	-0,057	-0,35	-11
650- 700	0,217	0,471	2,17	69	0,714	3,29	104	-0,243	-1,12	-36
588- 650	0,160	0,317	1,98	63	0,635	3,97	126	-0,318	-1,99	-63
588-1160	2,598	7,795	3,00	95	5,909	2,27	72	1,886	0,73	23

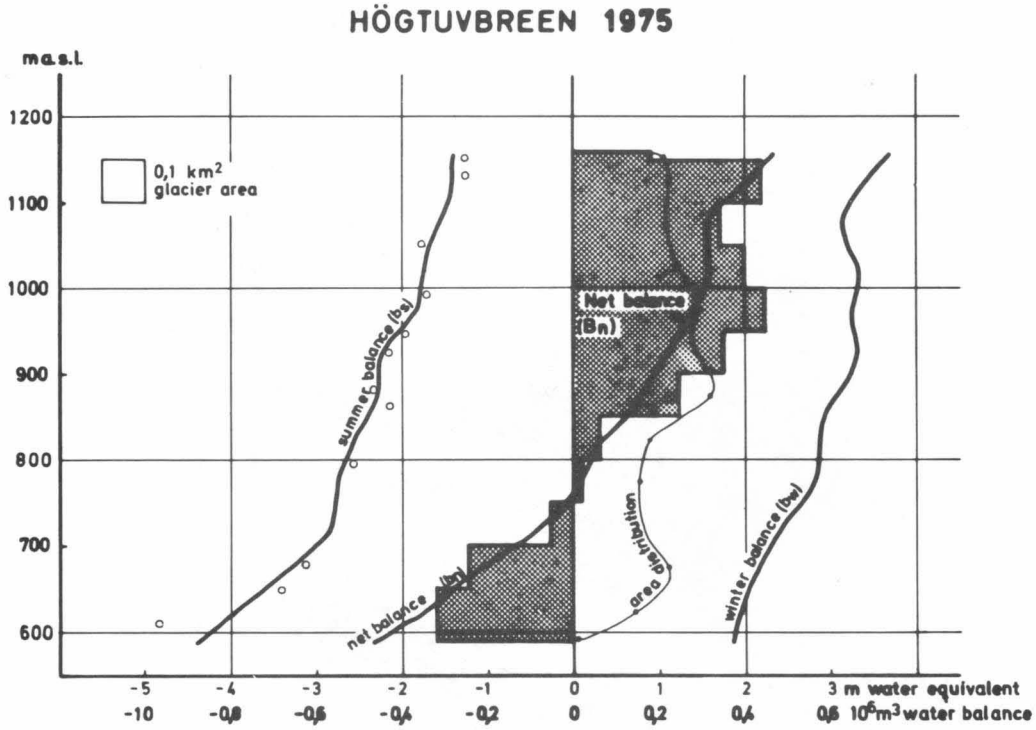


Fig. 29 Variasjonene med høyden over havet av vinter-, sommer- og netto-balansen, samt breens arealfordeling og arealverdier av netto-balansen i hvert 50 m høydeintervall.

The diagram illustrates winter, summer and net balances in relation to elevation, the area distribution and the areal net balance in every 50 m height interval.

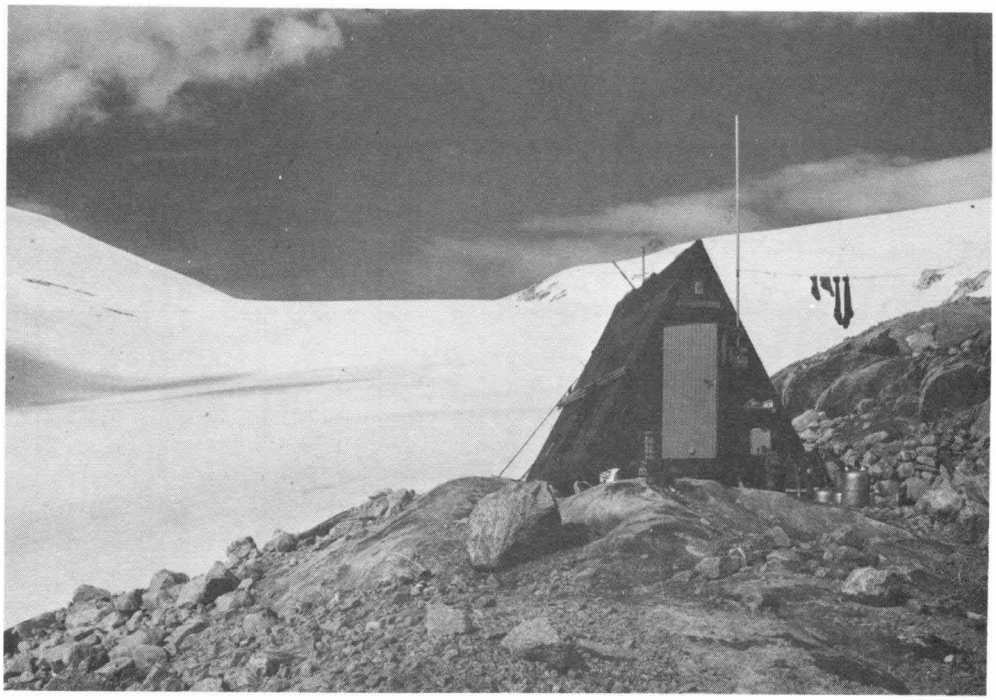


Fig. 30 Observasjonshytta på Høgtuvbreen. For ti år siden lå breen her.

The observation hut at Høgtuvbreen. Ten years ago the glacier covered this area.

Engabreen

Materialhusholdning

Akkumulasjonssesongen begynte i slutten av september, og ved målingene 5.oktober var det kommet opptil 80 cm nysnø i de øvre områder. Neste måling og stakeskjøting ble utført i slutten av desember. Snødypene var da øket til 200-300 cm. Nytt besøk fant ikke sted før midt i mars, da bare 2 staker ble funnet. Akkumulasjonsmålingene ble påbegynt 21.april. 4 av fjorårets staker var da synlige og kunne benyttes til kontroll av snødypmålingene. Sonderingsforholdene var meget vanskelige, og fjorårets sommeroverflate måtte derfor kontrolleres ved kjerneboring flere steder. Værforholdene var også dårlige, og stadig nedbør førte til at målingene ble avbrutt 26.april. Nye akkumulasjonsmålinger ble utført i tiden 22.-30.mai. Det ble tatt 280 sonderinger og 5 kjerneboringer. Snøens tetthet ble målt i sjakter og ved kjerneboring i ca. 1020 m o.h. og 1305 m o.h. Resultatene fra årets to akkumulasjonsmålinger er senere sammenholdt og vinterbalansekartet (fig. 33) er et resultat av dette. På grunn av de store områder og voldsomme snømengder er det normalt vanskeligere å utføre nøyaktige målinger av vinterbalansen på Engabreen, enn på de andre breer Brekontoret har målinger. Dette gjelder ikke minst for 1975, og usikkerheten i årets tall ligger nok adskillig over normalen.

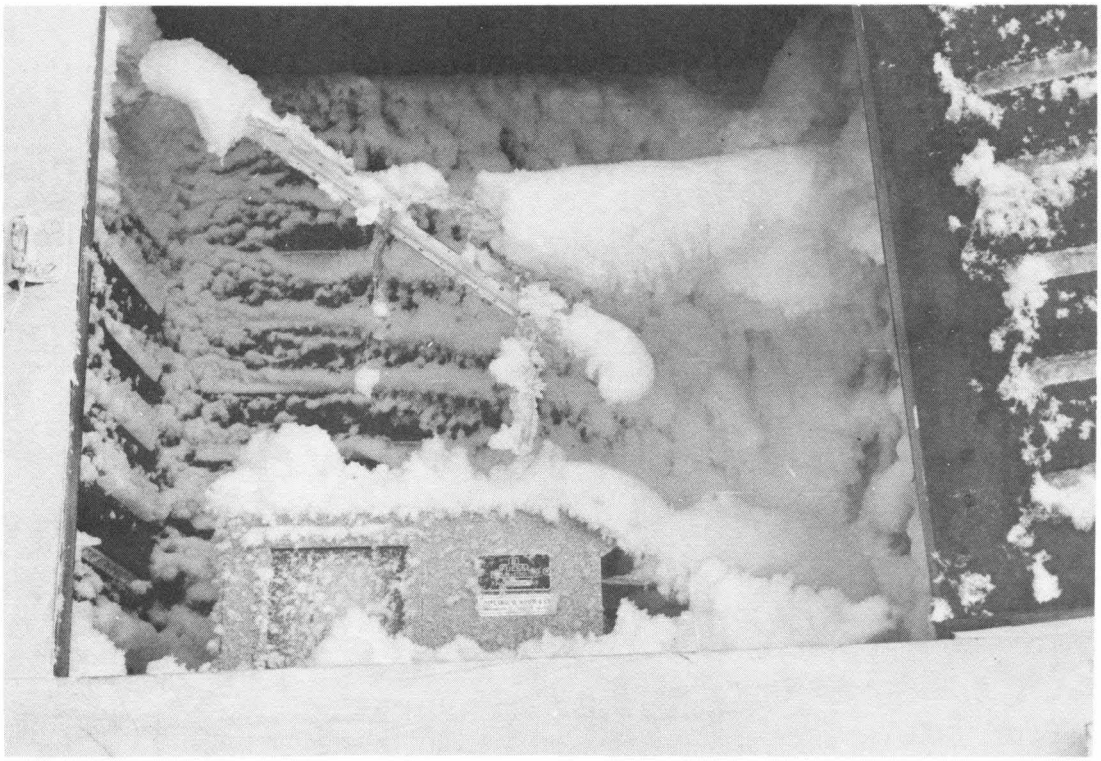


Fig. 31 Instrumentburet på "Skjæret" (1360 m o.h.) den 15.juli 1975.
The meteorological screen at "Skjæret" (1360 m a.s.l.) on July 15, 1975.

Totaltallet for årets vinterbalanse er 120,7 · $10^6 m^3$ vann eller en spesifikk vannverdi på 3,18 m (101 l/s km^2).

Også sommeren ble svært dårlig på Engabreen, med adskillig snøfall og uvær. Dette medførte at sommerassistentene hadde store vansker med å gjennomføre årets måleprogram. De endelige resultatene for årets sommerbalanse burde imidlertid likevel være ganske bra, og er beregnet å tilsvare et 1,57 m tykt vannlag over hele breen. Dette er en total vannmengde på 59,7 · $10^6 m^3$ (50 l/s km^2).

Nettobalansen for 1975 ble positiv for tredje år på rad med en masseøkning på hele 61 · $10^6 m^3$ vann. Fordelt over hele breflaten tilsvarer dette et vannlag på 1,61 m. Årstilsiget til Engavatn må derfor korrigeres med 51 l/s km^2. Likevektslinjen ble liggende på 960 m o.h.

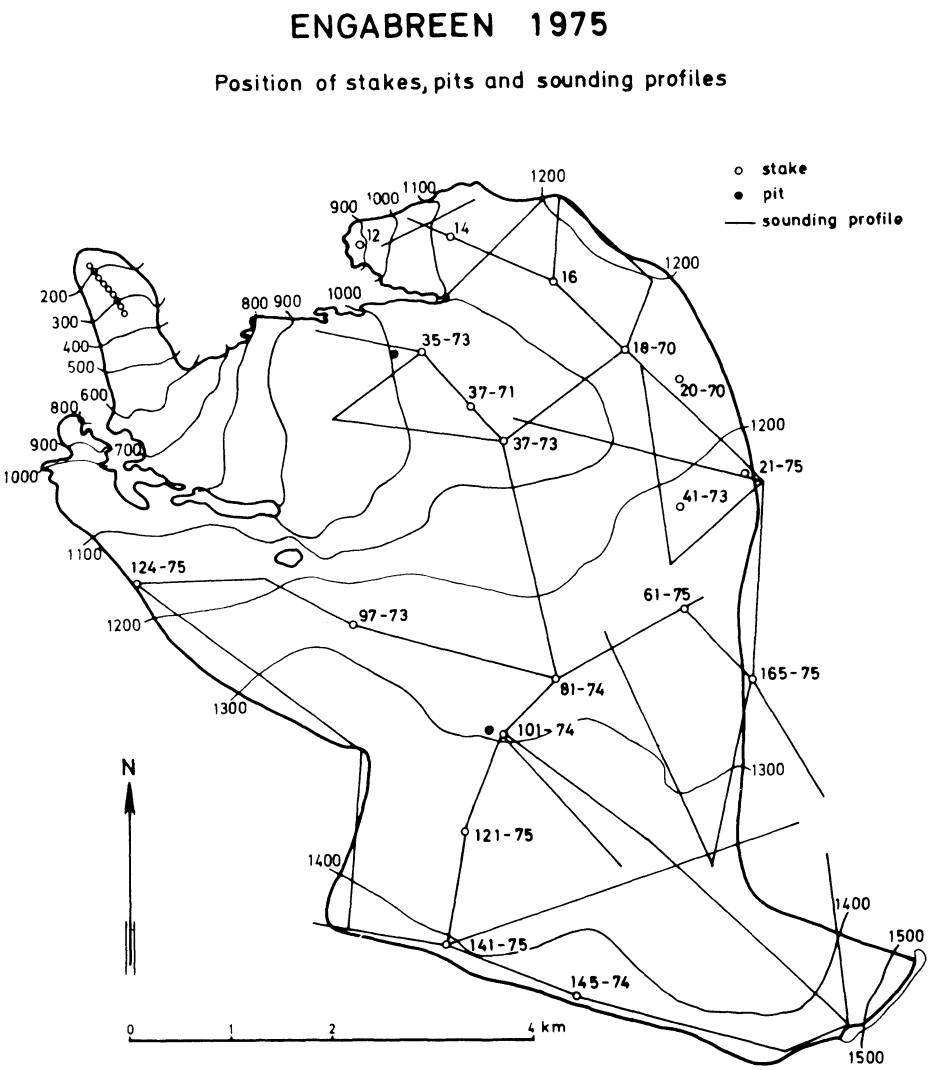


Fig. 32 Beliggenhet av staker, sjakter og sonderingsprofiler 1975.
The location of stakes, pits and sounding profiles 1975.

Meteorologiske observasjoner

Det meteorologiske måleprogrammet sommeren 1975 var stort sett identisk med tilsvarende for de foregående to år. Foruten observasjoner av nedbør, temperatur, vindstyrke, fuktighet, skydekke og kortbølget innstråling ved observasjonshytta (880 m o.h.). Observasjonene ved skjæret ble mangelfulle og svært vanskelige å gjennomføre p.g.a. mye kaldt og dårlig vær. Nedbørmålingene ble totalt mislykket, delvis fordi mye nedbør kom som snø, og delvis fordi været ikke tillot jevnlig kontroll, mens temperaturregistreringene ble brukbare for enkelte perioder. Et utvalg av observasjonsresultatene er presentert i fig. 35.

Midlere skydekke for 75 observasjonsdøgn (18.juni-31.august) ble 8,7. Juli hadde et middel på 9,0, med hele 23 døgn notert som helt overskyet eller tåket. Middelet for august var 8,1, med 18 døgn med tåke eller tett skydekke. Bare 9 døgn av observasjonsperioden var halvskyet eller klarere.

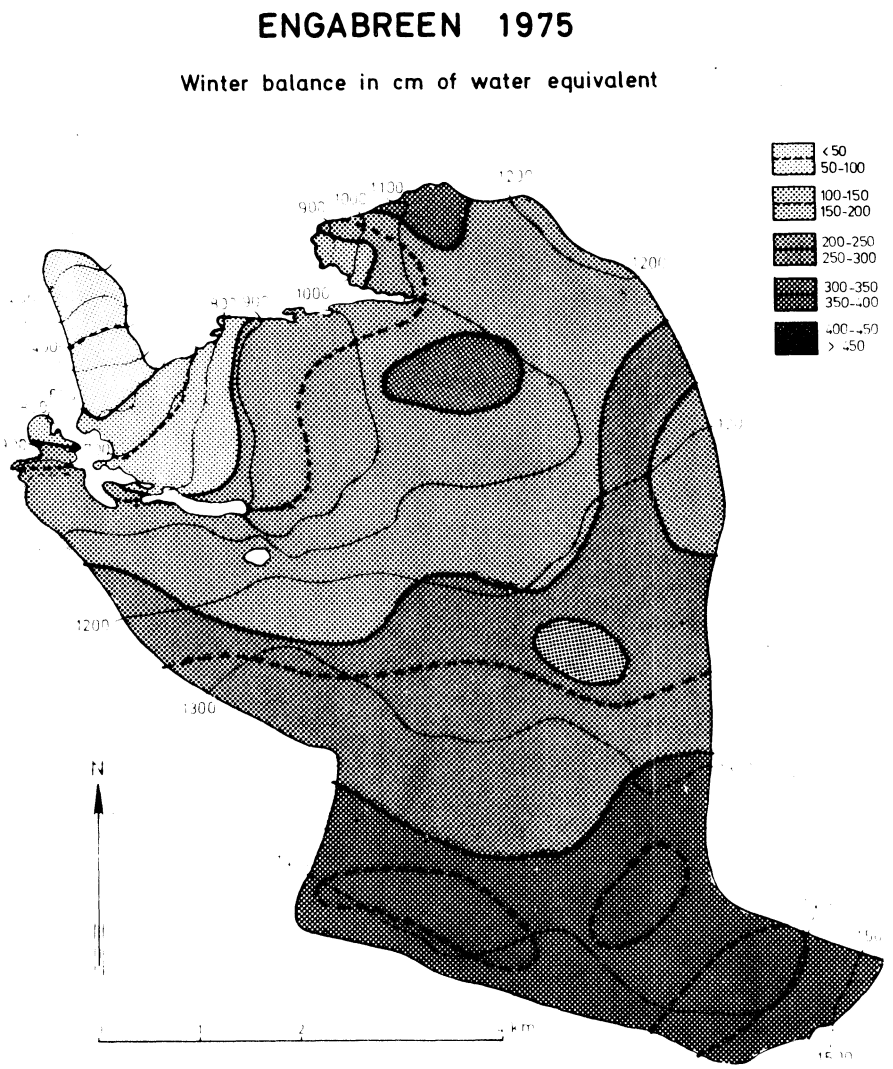


Fig. 33 Kart som viser vinterbalansen 1975.
Map showing the winter balance 1975.

ENGABREEN 1975

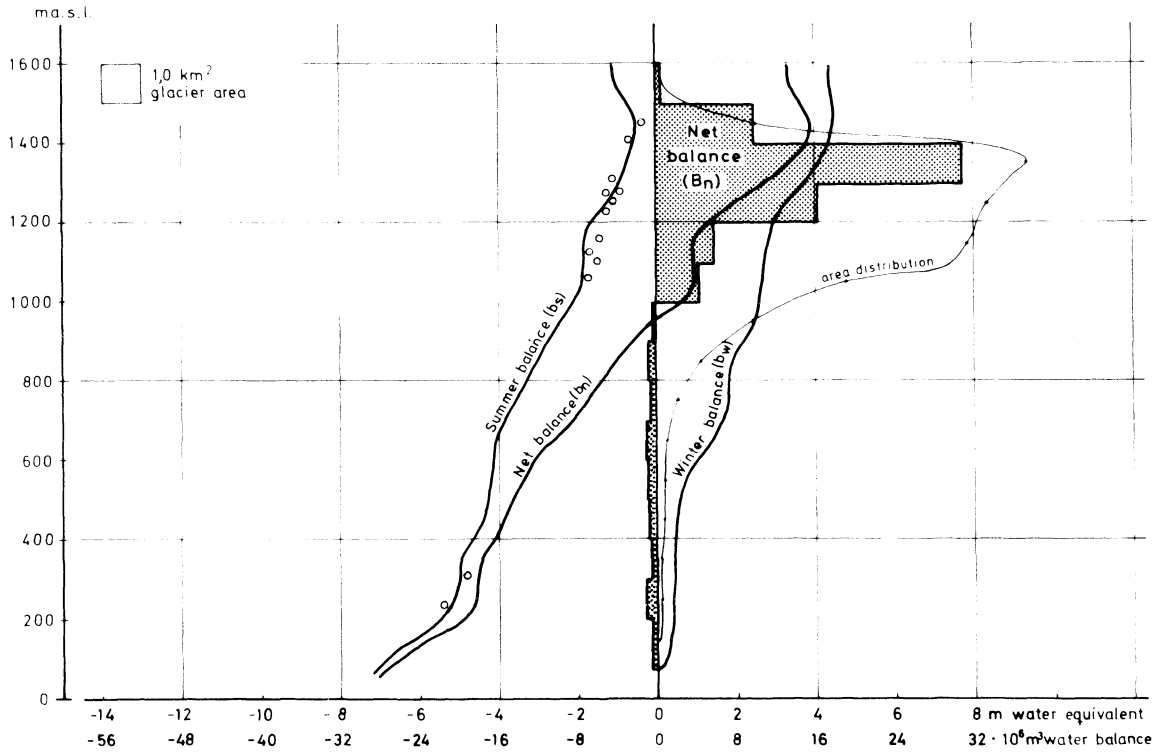


Fig. 34 Variasjonene av vinter-, sommer- og netto-balansen med høyden over havet, breens arealfordeling og arealverdier av netto-balansen i hvert 50 m høydeintervall.

Winter, summer and net balance in relation to the elevation, the area distribution and areal balance in every 50 m height interval.

E N G A B R E E N 1 9 7 5

Høyde intervall m o.h.	Areal S km²	Vinterbalanse			Sommerbalanse			Nettobalanse		
		B_w 10^6 m³	b_w m	b_w l/s km²	B_s 10^6 m³	b_s m	b_s l/s km²	B_n 10^6 m³	b_n m	b_n l/s km²
1500-1594	0,12	0,528	4,40	140	0,123	1,03	33	0,405	3,37	107
1400-1500	2,51	11,209	4,47	142	1,340	0,53	17	9,869	3,94	125
1300-1400	9,35	38,318	4,10	130	7,317	0,78	25	31,001	3,32	105
1200-1300	8,55	27,471	3,21	102	10,976	1,28	41	16,495	1,93	61
1100-1200	7,60	21,141	2,78	88	15,270	2,01	64	5,871	0,77	24
1000-1100	4,66	12,432	2,67	86	7,948	1,71	54	4,484	0,96	32
900-1000	2,46	5,989	2,43	77	6,237	2,54	81	-0,248	-0,11	- 4
800- 900	0,94	1,753	1,86	59	2,734	2,91	92	-0,981	-1,05	- 33
700- 800	0,50	0,915	1,83	58	1,768	3,54	112	-0,853	-1,71	- 54
600- 700	0,37	0,479	1,29	41	1,511	4,08	129	-1,032	-2,79	- 88
500- 600	0,27	0,200	0,74	23	1,126	4,17	132	-0,926	-3,43	-109
400- 500	0,21	0,105	0,50	16	0,920	4,38	139	-0,815	-3,88	-123
300- 400	0,17	0,083	0,49	16	0,840	4,94	157	-0,757	-4,45	-141
200- 300	0,22	0,088	0,40	13	1,092	4,96	157	-1,004	-4,56	-144
80- 200	0,09	0,032	0,36	11	0,569	6,32	200	-0,537	-5,96	-189
80-1594	38,02	120,743	3,18	101	59,771	1,57	50	60,972	1,61	51

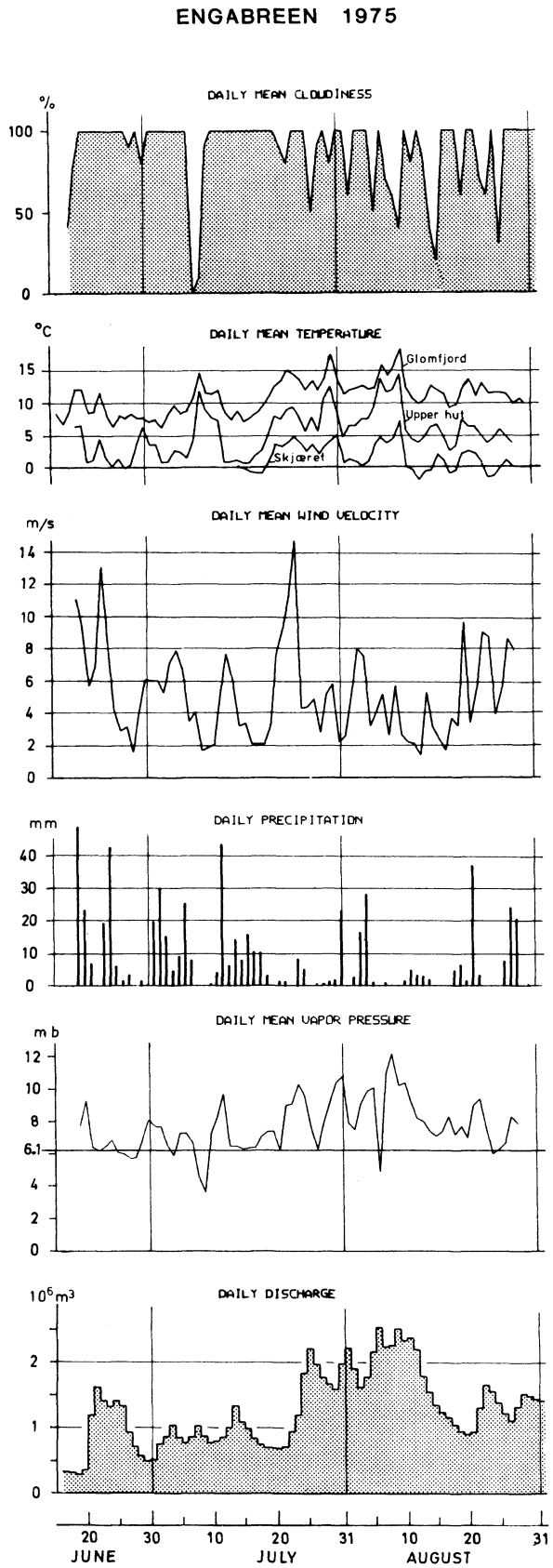


Fig. 35 Resultatene av de daglige meteorologiske observasjonene på Engabreen (900 m o.h.) samt beregnet døgnavløp ved utløpet av Engavatn.

The daily meteorological observations at Engabreen (900 m o.h.) and computed daily discharge at Engavatn.

Midlere døgnlig vindstyrke for 71 observasjonsdøgn (19.juni-28.august) var 5,2 m/s, med et maksimum på 14,7 m/s den 24.juli. Laveste døgnmiddel ble målt den 13.august med 1,4 m/s.

Middeltemperaturen for perioden 19.juni-28.august var 5,3°C. Månedsmidlene var 5,2°C for juli og 6,5°C for august. Døgnlig maksimumsmiddel ble målt til 14,4°C den 10.august, mens minimumsmiddel -0,1°C ble målt den 27.juni. Temperaturgradienten mellom brehytta og Glomfjord er beregnet til 0,64°C/100 m, med et standardavvik på 26,8% for 71 observasjonsdøgn.

Standardnedbørmåleren ved brehytta (880 m o.h.) oppfanget ialt 590 mm nedbør i perioden 18.juni-28.august. Dette fordeler seg med 270 mm i juli, 168 mm i august, og resten i siste del av juni. Mest nedbør kom det 19.juni med 48,9 mm på et døgn. Bare 13 av 72 døgn var helt uten nedbør.

Midlere vanndamptrykk var 7,5 mb i juli, 8,3 mb i august og 7,7 mb for hele observasjonsperioden. Tre døgn i juni, tre i juli og tre i august hadde et midlere

Fig. 36 Smelteboring på Engabreen. Avsmeltingen på bretunga (150-400 m o.h.) er så stor at det må smeltes wirer 12-15 m ned i isen for at de skal overleve sommersesongen.

Hot point drilling (steam drilling) at Engabreen. The ablation on the glacier tongue (150-400 m a.s.l.) is so great that wires must be melted down 12-15 m if they shall survive the summer season.

vanndamptrykk på mindre enn 6,1 mb, og kan således ha hatt mulighet for sublimasjon fra breoverflaten.

Avrenning

Ved vannmerke 1774 i Engavatn ble avrenningen målt hele sommeren. Totalavløp for tidsrommet mai-september var 149,52 · $10^6 m^3$, som gir midlere vannføring pr.døgn på 11,31 m^3/s. Største døgnavløp fant sted 5.august med total avrenning på 2,58 · $10^6 m^3$ vann (591 1/s km^2), mens den største flommen fant sted 3.september med en vassføring på 31,5 m^3/s (625 1/s km^2). Avrenningen var stor i august med total 50,51 · $10^6 m^3$ vann, tilsvarende en midlere vassføring på 18,86 m^3/s. Tilsvarende tall for juli var 35,81 · $10^6 m^3$ og 13,37 m^3/s, og for juni 17,31 · $10^6 m^3$ og 6,68 m^3/s.

Trollbergdalsbreen

Materialhusholdning

Massebalanseundersøkelsene på Trollbergdalsbreen ble avsluttet høsten 1974. Stakenettet og en del utstyr ble imidlertid værende igjen på breen. Opprydning ble foretatt i september 1975 og alle staker ble målt før de ble fjernet. På grunnlag av de tall som da framkom er nettobalansen for 1975 beregnet. Den viste et underskudd på 0,514· $10^6 m^3$ vann, som tilsvarer et vannlag på 0.28 m over hele breen. Siden målingene begynte i 1970 har bare 1973 gitt positiv balanse, og det totale

T R O L L B E R G D A L S B R E E N 1 9 7 5

Høyde interval m o.h.	Areal S km^2	Nettobalanse B_n $10^6 m^3$	b_n m	b_n 1/s km^2
1250-1300	0,005	0,009	1,00	32
1200-1250	0,080	0,069	0,86	27
1150-1200	0,173	0,127	0,73	23
1100-1150	0,128	0,069	0,53	17
1050-1100	0,556	-0,142	-0,26	- 8
1000-1050	0,615	-0,412	-0,67	-21
950-1000	0,199	-0,177	-0,89	-28
900- 950	0,063	-0,057	-0,90	-29
900-1300	1,819	-0,514	-0,28	- 9

underskudd i denne tiden beløper seg til 3,94 m vann. Vassdraget nedenfor fikk i løpet av 1975 tilført en ekstra vannmengde på 9 l/s km^2. Likevektslinjen ble liggende på 1070 m o.h.

TROLLBERGDALSBREEN 1975

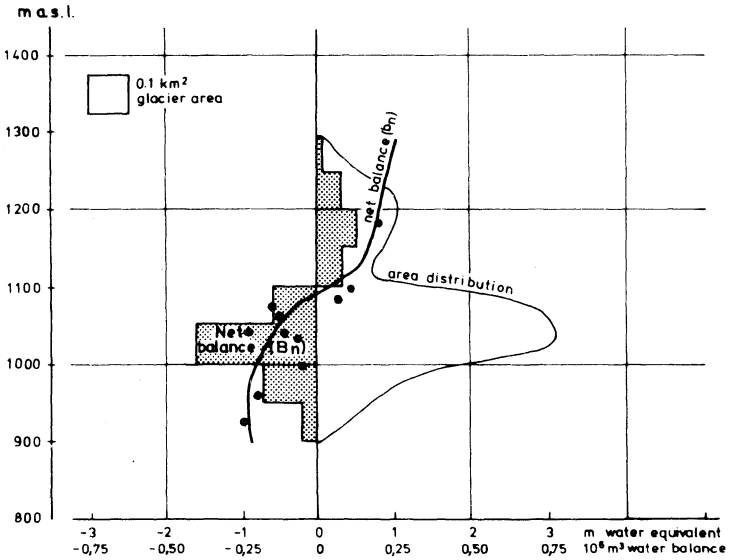


Fig. 37

Variasjonene av nettobalansen med høyden over havet, breens arealfordeling og arealverdier av nettobalansen i hvert 50m høydeintervall.

Net balance in relation to the elevation, the area distribution and areal net balance in every 50 m height interval.

En sammenlikning av materialhusholdningen på de enkelte breer

I 1975 ble materialhusholdningen målt på 12 breer. Av disse er 9 godt spredt i et vest-øst profil i Sør-Norge, hvor alle større breområder er dekket. I Nord-Norge måles det bare på breer i Svartisen-området, slik at vi vet lite om hvordan forholdene er ellers i landsdelen.

Det som preget forholdene i Sør-Norge var de store nedbørmengder som kom på Vestlandet og i de vestlige fjelltrakter. På samtlige målte breer var vinterbalansen

1 9 7 5

	Areal	Vinterbalanse			Sommerbalanse			Nettobalanse			Likevekts-linje
	S km^2	B_w 10^6m^3	b_w m	b_w l/s km^2	B_s 10^6m^3	b_s m	b_s l/s km^2	B_n 10^6m^3	b_n m	b_n l/s km^2	m o.h.
Ålfotbreen	4,79	22,20	4,64	147	16,41	3,43	109	5,76	1,21	38	1050
Blomsterskardbreen	45,72	-	-	-	-	-	-	77,72	1,70	54	1170
Gråbreen, Folgefonni	9,55	25,06	2,62	83	21,51	2,25	71	3,55	0,37	12	1375
Supphellebreen	11,80	-	-	-	-	-	-	11,80	1,00	32	-
Nigardsbreen	48,20	120,57	2,50	79	107,32	2,23	71	13,25	0,27	8	1450
Hardangerjøkulen	17,79	40,03	2,25	71	37,36	2,10	66	2,67	0,15	5	-
Storbreen	5,40	8,37	1,55	49	9,18	1,70	54	-0,81	-0,15	- 5	-
Hellstugubreen	3,29	4,43	1,35	43	5,63	1,71	54	-1,20	-0,36	-12	1950
Gråsubreen	2,52	2,30	0,91	29	4,68	1,86	59	-2,38	-0,95	-30	(2300)
Høgtuvbreen	2,60	7,80	3,00	95	5,91	2,27	72	1,89	0,73	23	760
Engabreen	38,02	120,74	3,18	101	59,77	1,57	50	60,97	1,61	51	960
Trollbergdalsbreen	1,82	-	-	-	-	-	-	-0,54	-0,26	- 9	1070

10-30% større enn normalt. Vinterbalansen er preget av at de vestligste og sørvestligste breer som Ålfotbreen, Blomsterskardbreen og Supphellebreen har markert større nedbørmengder enn nærliggende breer som Gråbreen, Nigardsbreen og Hardangerjøkulen. Sommeren 1975 ble imidlertid svært varm, og ablasjonen ble også atskillig større enn normalt. Den store masseomsetningen førte til at de vestligste breer øket betydelig, mens breene i Jotunheimen hadde negativ balanse også i år.

Beliggenheten av årets likevektslinje i et profil vest-øst viser en atskillig brattere stigning enn normalt (fig.40).

Også i Svartisen-området var vinteren preget av store nedbørmengder, men i motsetning til Sør-Norge var sommeren svært kjølig og fuktig. Dette resulterte i stor vinterbalanse og liten sommerbalanse, både for Engabreen og Høgtuvbreen. Netto-

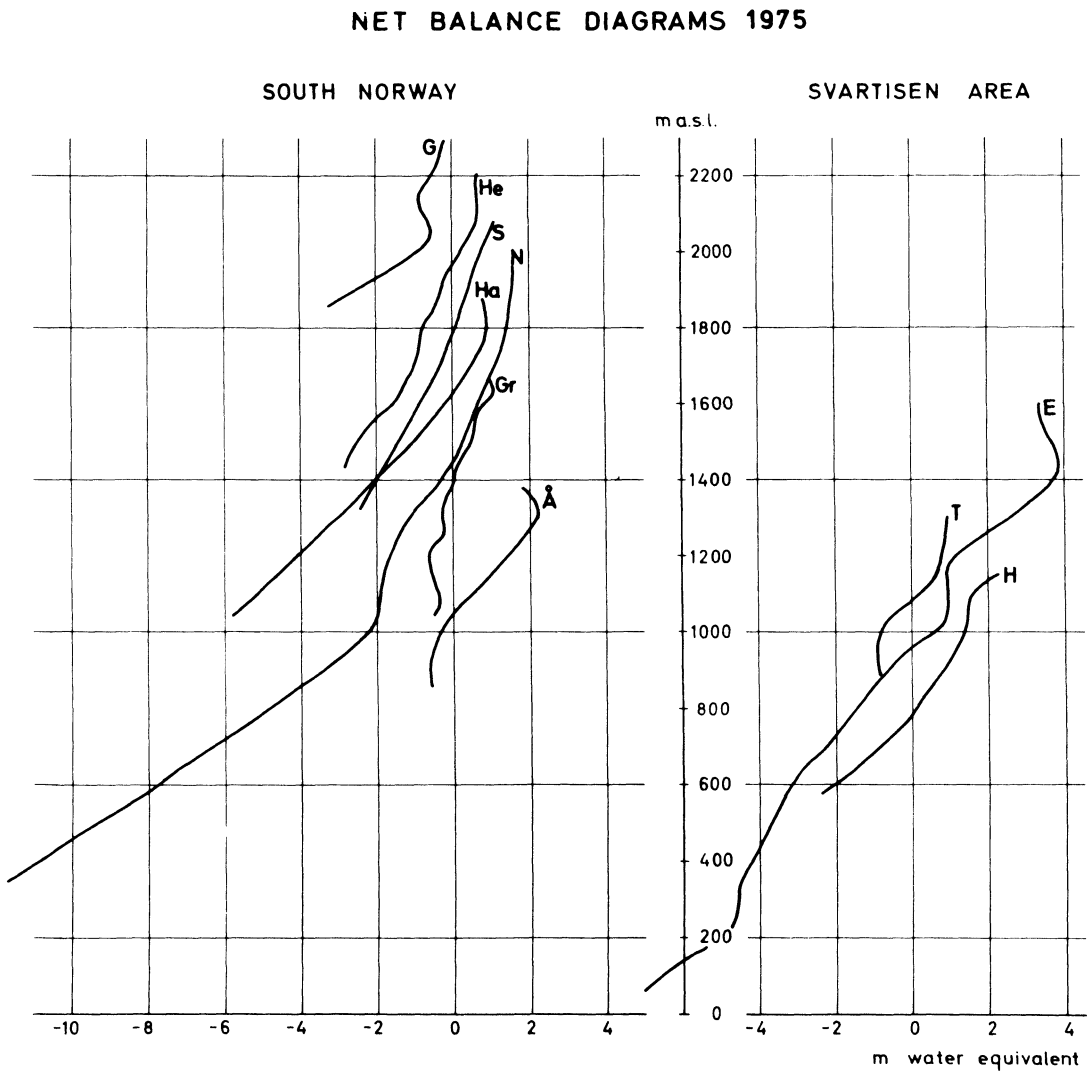


Fig. 38 Nettobalansekurvene for 1975 Å - Ålfotbreen, N - Nigardsbreen, Ha - Hardangerjøkulen, S - Storbreen, He - Hellstugubreen, G - Gråsubreen, Gr - Gråbreen, E - Engabreen, H - Høgtuvbreen og T - Trollbergdalsbreen.

Net balance curves for 1975. For code explanation, see above.

balansen viser en raskt avtagende tendens østover, slik at den allerede på Høgtuvbreen er halvert (0,73 m) i forhold til Engabreen (1,61 m). Videre til Trollbergdalsbreen er forskjellen ennå mer markert, og den kom ut med en negativ nettobalanse på 0.28 m. Denne gradienten avspeiler antagelig det samme forhold som i Sør-Norge, nemlig at vinterbalansen avtok svært raskt østover fra kysten, mens sommerbalansen økte.

Det generelle bilde for både Sør-Norge og Svartisen-området synes nå å være en økning av de vestligste breer og en minking av de østligste breer, i alle fall var dette forhold meget framtredende i 1975. Årets målinger viser også tydelig hvor viktig det er med målinger på flere breer for å få et riktig regionalt bilde av brevariasjonene. F.eks. er Engabreen tydeligvis lite representativ for det som skjer på østligere deler av Svartisen, selv om avstandene er relativt små.

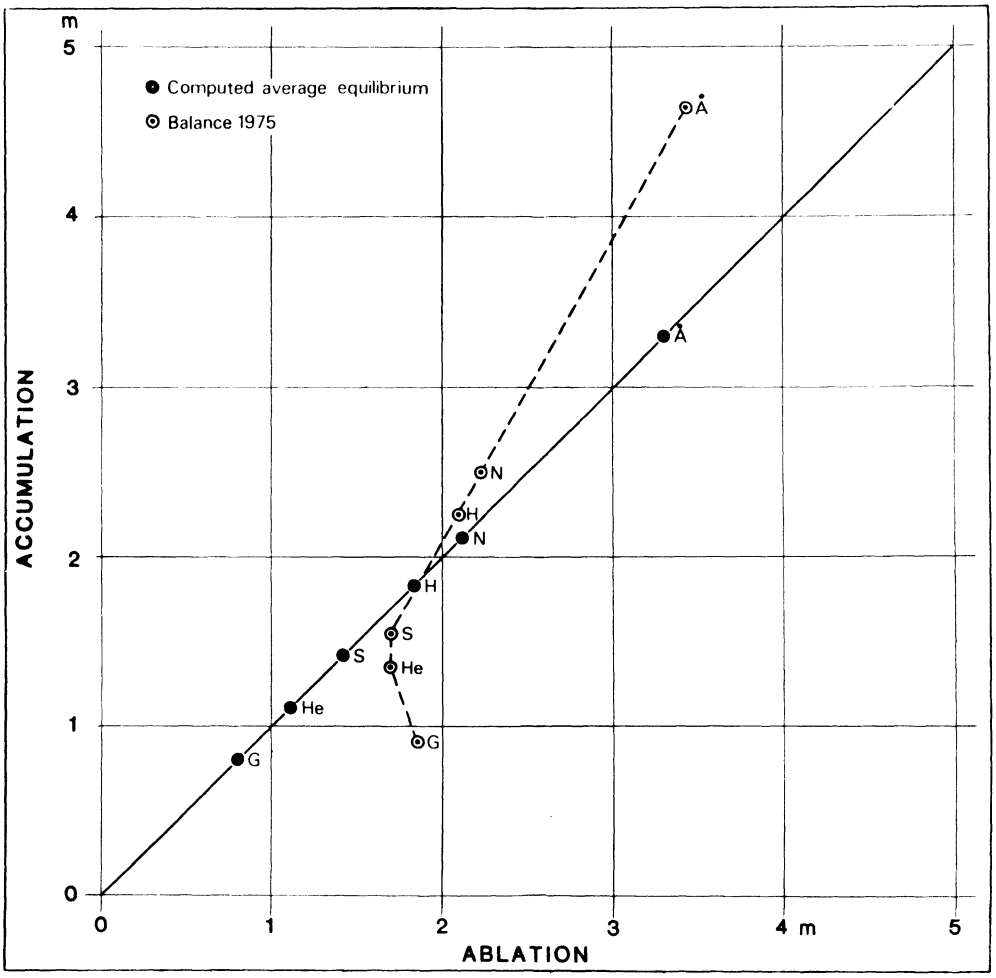


Fig. 39 Diagrammet viser forholdet mellom vinter- og sommerbalansen i 1975. Sammenliknet med middelverdiene av de siste 3 års målinger og et år med beregnet "normal" materialomsetning.

Å=Ålfotbreen, N=Nigardsbreen, H=Hardangerjøkulen, S=Storbreen, He=Hellstugubreen og G=Gråsubreen.

Relation between winter and summer balance in 1975 compared to the mean of the previous twelve years and also to that of a year with a computed "normal" mass exchange. For code explanation, see above.

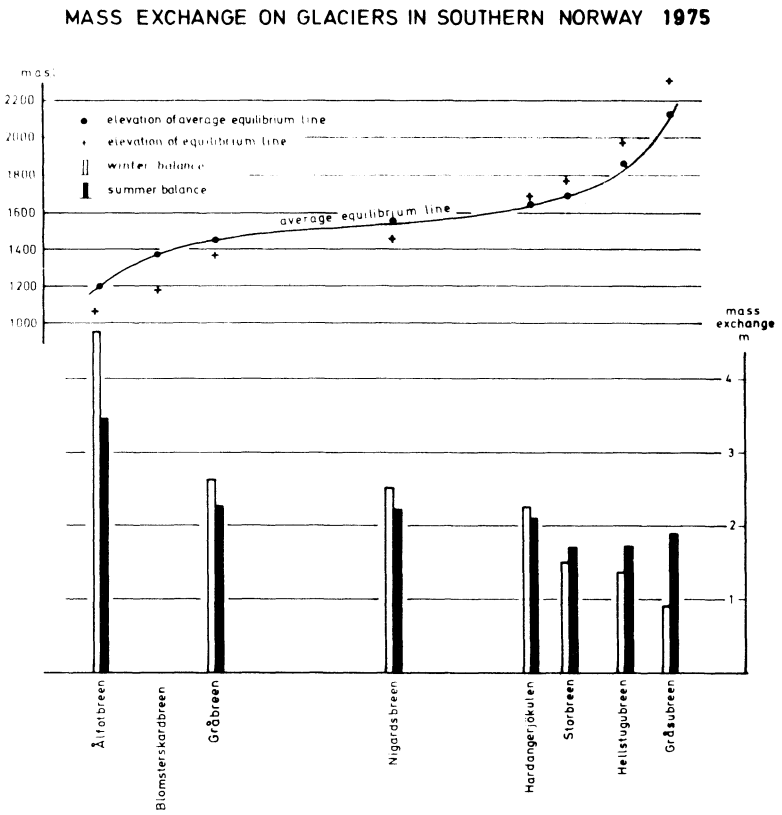


Fig. 40

Materialomsetningen på de undersøkte breene i Sør-Norge. Et profil er lagt fra Ålfotbreen til Gråsubreen, og de øvrige breer er plassert i forhold til likevektslinjens høyde et år breene er i likevekt.

The mass exchange on glaciers in Southern Norway. The glaciers are placed on a profile from Ålfotbreen to Gråsubreen according to the height of the equilibrium line calculated for steady state conditions on the glaciers.

ENERGIBALANSEN PÅ UTVALGTE BREER

Innledning

Energibalanse-undersøkelser ble utført på 9 breer i Norge. På kartet (fig. 41) er breene markert. Nærmere presentasjon av tidligere undersøkelser er gitt i tabell III og i tidligere års rapporter (Tvede 1971, 1973, 1974a og 1975).

I regi av Brekontoret startet energibalanse-undersøkelser på Austre Memurubre og Ålfotbreen i 1970. I de tre siste sesongene har undersøkelsene pågått på Engabreen og Nigardsbreen.

Både på Engabreen og Nigardsbreen ble det i 1975 foretatt observasjoner i tiden fra 22.juni til 30.august. Undersøkelsene er nær identiske med dem som ble utført tidligere år. Både på Engabreen og Nigardsbreen har man etablert et arbeidsprogram der måling av stråling og ablasjon lett lar seg kombinere. Innholdet i dette kapitel er et supplement til hva som er skrevet om massebalansen ved respektive breer. Energibalanse-undersøkelsene er lagt opp slik at de også føyer seg inn i rekken av bestrebelser som gjøres på breer i andre deler av verden for å få oversikt over hvordan de meteorologiske faktorer virker inn på bre-avsmeltingen. Det langsiktige mål er å få en mer kvantitativ bestemmelse av sambandet mellom klimafluktuasjoner og bre-variasjoner.

Metoder og instrumenter

Undersøkelsene i 1975 er nær identiske med dem som tidligere er utført på Engabreen og Nigardsbreen og det henvises derfor til rapporten for 1973-sesongen (Tvede 1975), der fremgangsmåten ved energibalanse-undersøkelsene er utførlig presentert.

På Engabreen, såvel som på Nigardsbreen, forekom det i 1975 enkelte døgn med ufullstendige observasjoner. Imidlertid synes tidligere oppnådde korrelasjons-kurver mellom beslektede parametre i ablasjonsprosessen å være brukbare. Disse kurver har man brukt sammen med observasjonsutskrifter fra nærliggende meteorologiske stasjoner for å fylle hull i observasjonsrekkene.

Robitzsch-aktinografene har vært pålitelige og driftssikre strålingsregistratorer i 1975, slik som i tidligere sesonger. Det er hovedsakelig ut fra strålings-kurvene man kan beregne seg fram til de andre viktige faktorer i ablasjonen.

Det ble i 1975 ikke anledning til å foreta albedo-målinger i den grad man kunne ønske. Energibalanse-målinger synes nå å måtte kreve et enkelt hånd-albedometer (solarimeter) til jevnlig (ukentlig) kontroll av albedo.

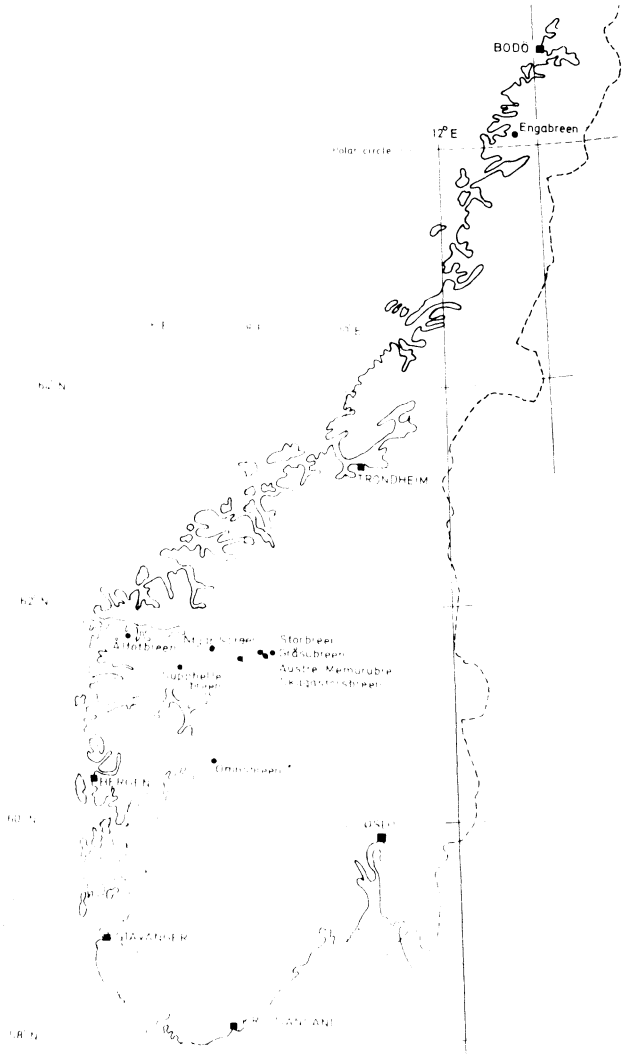


Fig. 41

Kart som viser beliggenheten av de breer hvor energibalanseundersøkelser er foretatt. Nigardsbreen og Engabreen er undersøkt i 1975.

Map of Southern Norway, containing the location of glaciers where heat balance investigations have been performed. Nigardsbreen and Engabreen are the two glaciers examined in 1975.

Til å bearbeide data fra målingene på breene er det nå utviklet et EDB-program i programmeringsspråket BASIC. Alle viktige resultater gjengitt i fig. 43 og i tabellene I og II er beregnet på datamaskin. Kontroll av programmet er foretatt ved å jamføre tidligere års manuelt utregnede resultater med tilsvarende resultater beregnet på datamaskin. Avvik mellom manuelle og maskinutregnede resultater har for enkelte døgn kommet opp i 10%, men verdiene for ukeperioder og for sommersesongen sett under ett har vært meget like. Ved å bruke EDB er arbeidstiden for bearbeidelsen av materialet godt og vel halvert.

Resultater

En visuell oversikt over stråling og ablasjon er vist for begge de undersøkte breene i fig. 43, der de døgnlige verdier er tegnet inn.

De raskt skiftende værforhold på breene illustreres godt i fig. 43 ved de markerte variasjoner i globalstråling og ablasjon. Netto tilført stråling holder seg imidlertid relativt jevn gjennom sommeren. Grunnen til dette er at globalstrålingen får begrenset virkning på ablasjonen ved den relativt høye albedoen (i gjennomsnitt 63% på Engabreen og 67% på Nigardsbreen), samtidig som den langbølgede strålingen svinger i tilnærmet motsatt fase av globalstrålingen.

De kjølige forhold på breene illustreres også tydelig i fig. 43, idet hele 17 døgn på Engabreen og 13 døgn på Nigardsbreen er beregnet å ha "vinterklima". Dette betyr at i disse døgn har netto tilført strålingsenergi vært større enn ablasjonsenergien. Med andre ord kan man si at de non-radiative faktorene har avkjølt bremassen slik at noe (i enkelte døgn all) strålingsenergi er brukt til å varme snø og is opp til smeltepunktet.

Hele 17 døgn - eller nær 1/4 av de observerte døgn - med "vinterklima" på Engabreen er et uvanligt høyt tall. En andel på ca. 1/10 er nok mere normalt, skal man dømme etter tidligere års observasjoner. Når det gjelder Nigardsbreen er 13 døgn (ca. 1/5) med "vinterklima" lavere enn normalt (ca. 1/4).

Korrelasjonen mellom netto stråling og ablasjon er dårlig. Dette støtter tidligere års konklusjoner om at det er de non-radiative faktorer (hovedsakelig konveksjon og kondensasjon) som dirigerer ablasjonssvingningene fra døgn til døgn. Åpenbart tilfører strålingen en jevn "grunnsum" ablasjonsenergi gjennom sommeren.

For Nigardsbreen er de mest interessante energibalanse-faktorene ført opp i tabell I. Illustrasjon av tabellen er vist i fig. 42. Ukentlige verdier er valgt.

I observasjonsperioden sett under ett bidro strålingen med ca. 95 g/cm^2, altså nesten 54% av den registrerte ablasjon på ca. 177 g/cm^2. Konveksjon og kondensasjon forårsaket om lag 46%, mens nedbør og sublimasjon knapt kan ha betydd så mye

som 1%. Man må kunne si at Nigardsbreen har opplevet et relativt maritimt klima i 75-sesongen.

For Engabreen er de ukentlige energibalanse-resultater presentert i tabell II og illustrert i fig. 42. I observasjonsperioden forårsaket strålingen ca. 123 g/cm^2, eller vel 48% av den målte ablasjon på ca. 255 g/cm^2. Konveksjon og kondensasjon

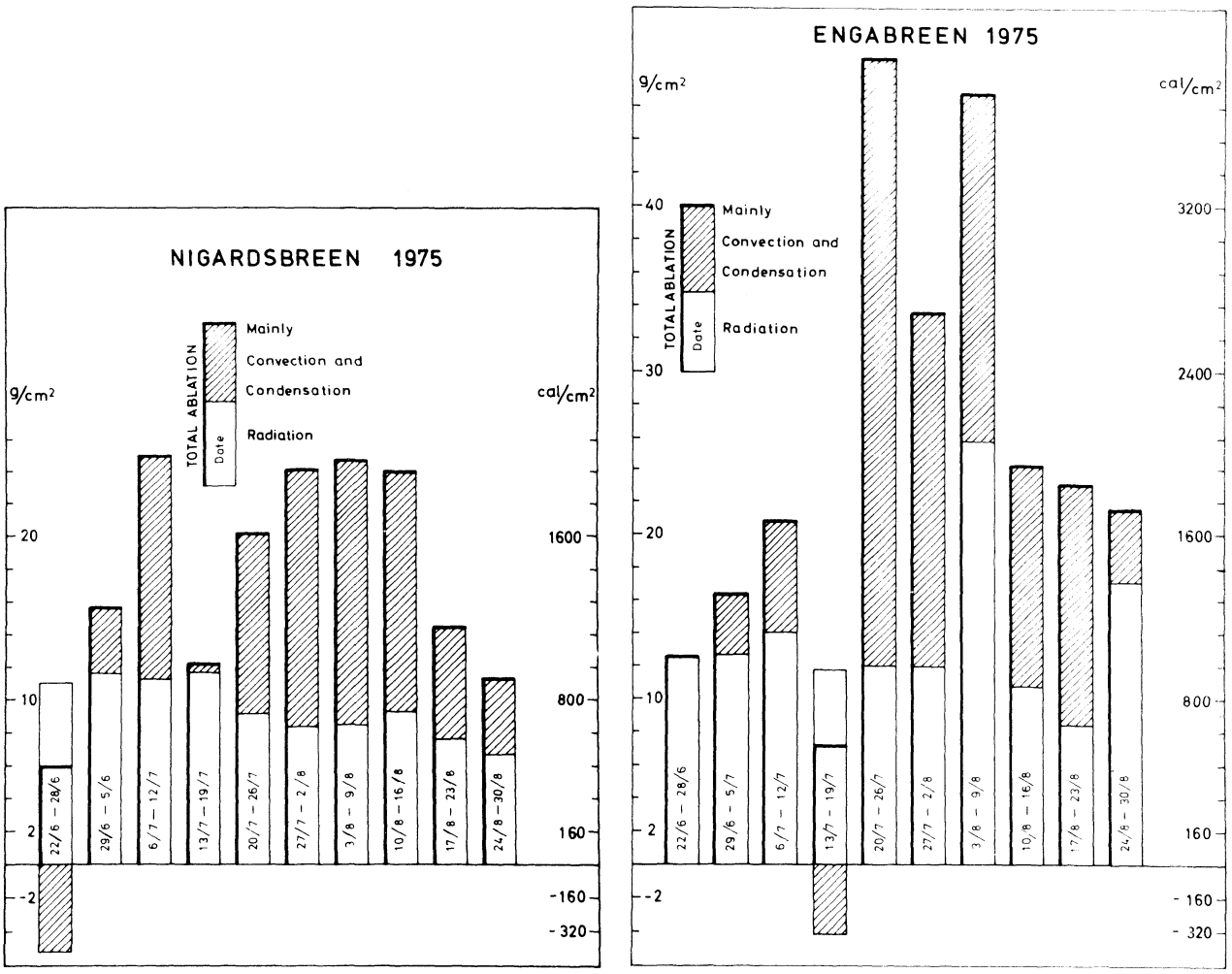


Fig. 42 Uke-verdier av ablasjonen med markering av bidrag fra stråling og fra de non-radiative faktorer på Nigardsbreen og Engabreen fra 22.juni til 30. august 1975. På Nigardsbreen har perioden 22.-28.juni hatt dominans av "vinterklima". På Engabreen har perioden 13.-19.juli hatt dominans av vinterklima.

Ablation and the contribution of radiation and the non-radiative factors. Weekly accounts during the summer season on Nigardsbreen and Engabreen from June 22 to August 30 in 1975. Note the periods, from June 22 to June 28 on Nigardsbreen and from July 13 to July 19, when "winter climate" was predominant.

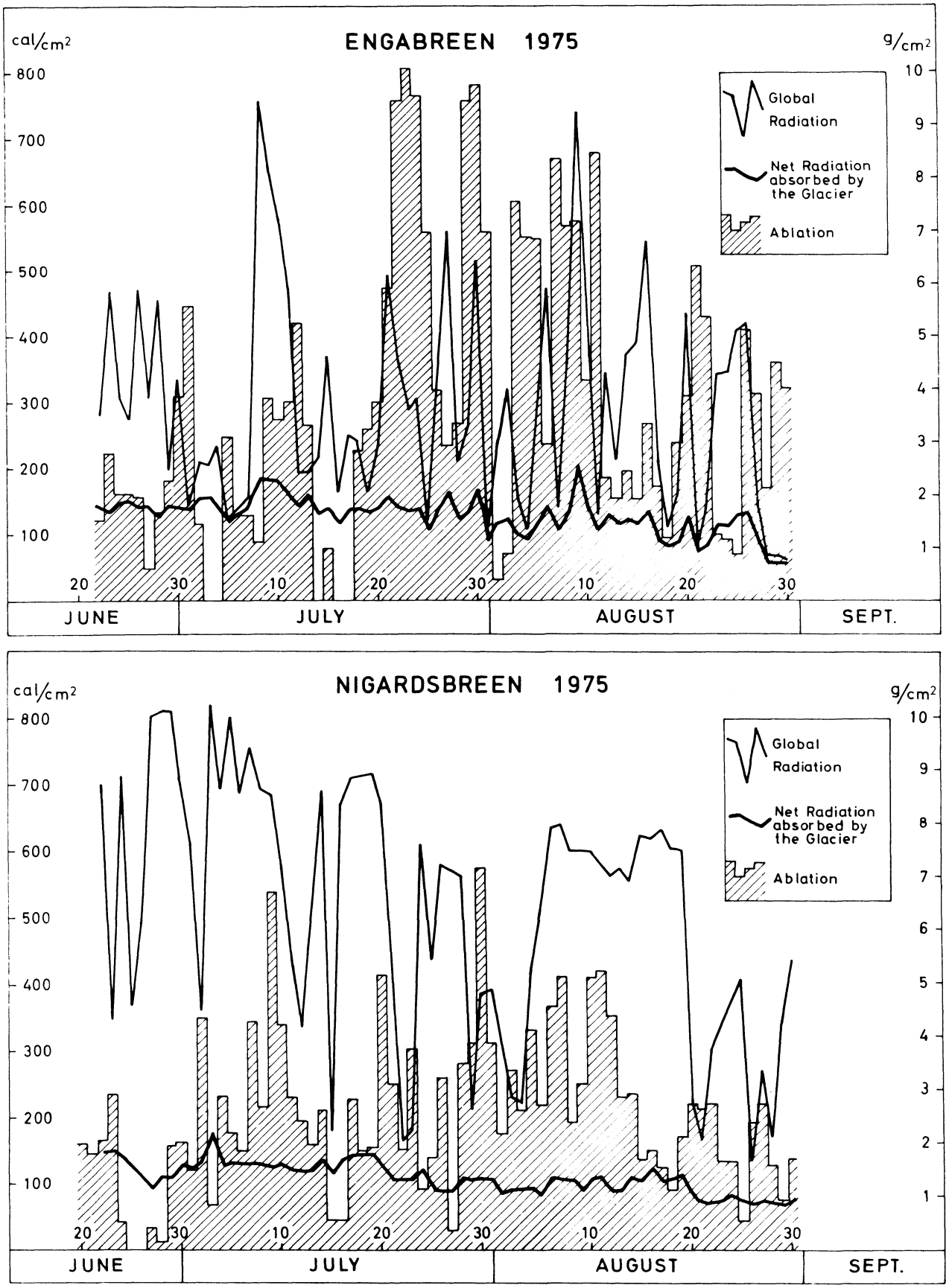


Fig. 43 Døgnlige ablasjons- og strålingsforhold på Engabreen (øverst) og på Nigardsbreen sommeren 1975.

Daily ablation and radiation conditions on Engabreen (upper) and Nigardsbreen during the summer season 1975.

bidro med nær 51%, mens energitilførsel via regn kom opp i knappe 1%. Sublimasjonen har neppe betydd mer enn halvparten av regnets andel av ablasjonen. Disse tall harmonerer godt med antall "vinterdøgn", og understreker den relativt lite sommerlige karakter klimaet rundt Engabreen hadde i sommersesongen 1975. Spesielt kan nevnes uken 13.-19.juli (se fig. 42) da "vinterklimaet" hadde overtaket hvis man ser perioden under ett.

TABLE I

ABLATION CONDITIONS NIGARDSBREEN 1975

Period	Mean Albedo	Global Radiation	Net.Rad. absorbed by glacier	Ablation caused by Radiation	Ablation caused by Rain	Registered total Ablation	Relative heat supply by		
							Radiation	Convection + Condensation	Precipitation
day/month	%	cal/cm^2		g/cm^2			%		
22/6 - 28/6	71	4265	892	11,1	0	6,1	182,0	-82,0	0
29/6 - 5/7	69	4696	953	11,6	0	15,7	73,9	26,1	0
6/7 - 12/7	67	4164	882	11,2	0	25,0	44,8	55,2	0
13/7 - 19/7	66	4181	933	11,7	0,2	12,2	95,9	2,5	1,6
20/7 - 26/7	66	3046	735	9,1	0,3	20,1	45,3	53,2	1,5
27/7 - 2/8	66	2654	663	8,3	0,1	24,0	34,6	65,0	0,4
3/8 - 9/8	65	3617	669	8,4	0	24,6	34,1	65,9	0
10/8 - 16/8	65	4126	738	9,2	0,1	23,9	38,5	61,1	0,4
17/8 - 23/8	64	2834	618	7,6	0,1	14,4	52,8	46,5	0,7
24/8 - 30/8	66	2132	535	6,7	0	11,4	58,8	41,2	0
22/6 - 30/8	67	35715	7618	94,9	0,8	177,4	53,5	46,0	0,5

* Sublimation is considered as a negative part of condensation; it plays approx. the same role as Rain.

TABLE II

ABLATION CONDITIONS ENGABREEN 1975

Period	Mean Albedo	Global Radiation	Net.Rad. absorbed by glacier	Ablation caused by Radiation	Ablation caused by Rain	Registered total Ablation	Relative heat supply by		
							Radiation	Convection + Condensation	Precipitation
day/month	%	cal/cm^2		g/cm^2			%		
22/6 - 28/6	70	2567	979	12,4	0,1	12,5	99,2	0	0,8
29/6 - 5/7	68	1450	1016	12,6	0,1	16,3	77,3	22,1	0,6
6/7 - 12/7	61	2963	1130	14,0	0,3	20,8	67,3	31,3	1,4
13/7 - 19/7	60	1606	954	11,8	0	7,2	163,9	-63,9	0
20/7 - 26/7	55	2173	977	12,0	0,1	49,0	24,5	75,3	0,2
27/7 - 2/8	54	2183	955	12,0	0,3	33,6	35,7	63,4	0,9
3/8 - 9/8	53	2242	986	12,1	0,4	46,9	25,8	73,3	0,9
10/8 - 16/8	53	2434	869	10,8	0,1	24,3	44,4	55,2	0,4
17/8 - 23/8	52	1485	683	8,4	0,3	23,1	36,4	62,3	1,3
24/8 - 30/8	52	1543	701	17,1	0,3	21,5	79,5	19,1	1,4
22/6 - 30/8	63	20646	9250	123,2	2,0	255,2	48,3	50,9	0,8

* Sublimation is insignificant, even compared with Rain

Diskusjon

Ved samme usikkerhetsvurdering som i tidligere undersøkelser, er feilgrensen for døgnlig ablasjon satt til 0,5 g/cm^2 og for døgnlige verdier av nettostrålingen til 15 cal/cm^2. I verdiene for de relative bidrag fra ablasjonsfaktorene, sesongen sett under ett, er feilgrensen vurdert til å være 4%. Siden instrumenter og målemetodikk var nær ensartet på Engabreen og Nigardsbreen, er usikkerhetsverdien satt like stor for de to breene.

I tabell III er gitt en oversikt over energibalanse-undersøkelser som til nå er utført i Norge. Resultatene fra Nigardsbreen, Engabreen og Ålfotbreen gir grunn til å understreke variasjonen i bidragene fra stråling og non-radiative faktorer fra en sommersesong til en annen. Mest typiske eksempel kan hentes fra Nigardsbreen, der strålingens relative bidrag i 1973 var ca. 53%, mens bidraget i 1974 var hele 77%, for så i 1975 å falle ned til ca. 54%. På denne bakgrunn må de korte observasjonsperioder i 1 eller 2 år på et begrenset antall breer mane til forsiktige generelle tolkninger av resultatene.

TABLE III
ABLATION CONDITIONS ON GLACIERS IN NORWAY

Year of investigation	Period day/month	Glacier (See map)	Position °N °E m.a.s.l.	Ablation components %				Author (year)
				Radiation	Convection	Condensation	Rain and sublimation	
1963	12/6 - 18/6	Gråsubreen	61° 39'	98	2			T.Klemsdal (1968)
	27/7 - 9/8		08° 36' 1975	59	27	14		
1970	26/6 - 30/8	Austre Memurubre	61° 33' 08° 30'	67	33		< 1	S.Messel (1971b)
1971	15/6 - 6/9		ca.1900	77	23		< 1	(1973)
1955	6/7 - 8/9	Storbreen	61° 35' 08° 20' 1600	54	32	14	< 1	O.Liestøl (1967)
1954	May - Sept.	Skagastølsbreen	61° 30' 07° 50'	79	21			B.E.Eriksson (1959)
1955	May - Sept.		ca.1600	66	34			
1968	3/6 - 8/9	Omnsbreen	60° 39' 07° 30'	50	34	16	< 1	S.Messel (1971a)
1969	3/6 - 8/9		1540	55	31	14	< 1	
1972	15/6 - 6/9	Nigardsbreen	61° 43' 07° 08'	64	36		< 1	S.Messel (1974)
1973	22/6 - 6/9			53	47		< 1	(1975a)
1974	22/6 - 6/9		1620	77	23		< 1	(1975b)
1975	22/6 - 30/8			54	46		< 1	(1976)
1967	1/7 - 12/7	Supphellebreen	61° 30' 06° 48'	32	68			O.Orheim (1970)
	1/8 - 18/8			26	74			
	4/9 - 8/9		ca.70	14	86			
1970	1/6 - 14/9	Ålfotbreen	61° 45' 05° 40'	44	56		< 1	S.Messel (1971b)
1971	1/6 - 6/9			43	56		1	(1973)
1972	1/6 - 2/8		ca.1250	53	46		1	(1974)
1973	22/6 - 30/8	Engabreen	66° 40' 13° 50'	32	67		1	S.Messel (1975a)
1974	22/6 - 6/9			33	66		1	(1975b)
1975	22/6 - 30/8		850	48	52		< 1	(1976)

FRONTMÅLINGER

Engabreen

De første årene i dette århundre hadde Engabreen fremgang og fylte da hele Engabrevannet. I årene frem til 1930 avtok bretungen betydelig i tykkelse, mens brefronten stod omtrent på samme sted. Fra 1930 til 1944 gikk brefronten kraftig tilbake, og i 1944 forlot breen vannet. Idag står brefronten ca. 300 m fra vannet (Haakensen 1975, s. 51).

I 1965 etablerte Norsk Polarinstitutt et punkt hvorfra avstanden til breen ble målt hvert år frem til 1974. Disse frontmålingene er gjengitt i flg. tabell:

år	1966	1967	1968	1969	1970	1971	1972	1973	1974
m	+5	+10	+10	+8	+34	+28	-31	-42	-4

Som en ser av denne tabell hadde tilbaketrekningen stagnert rundt midten av 1960-årene, og ble fulgt av flere år med fremrykning.

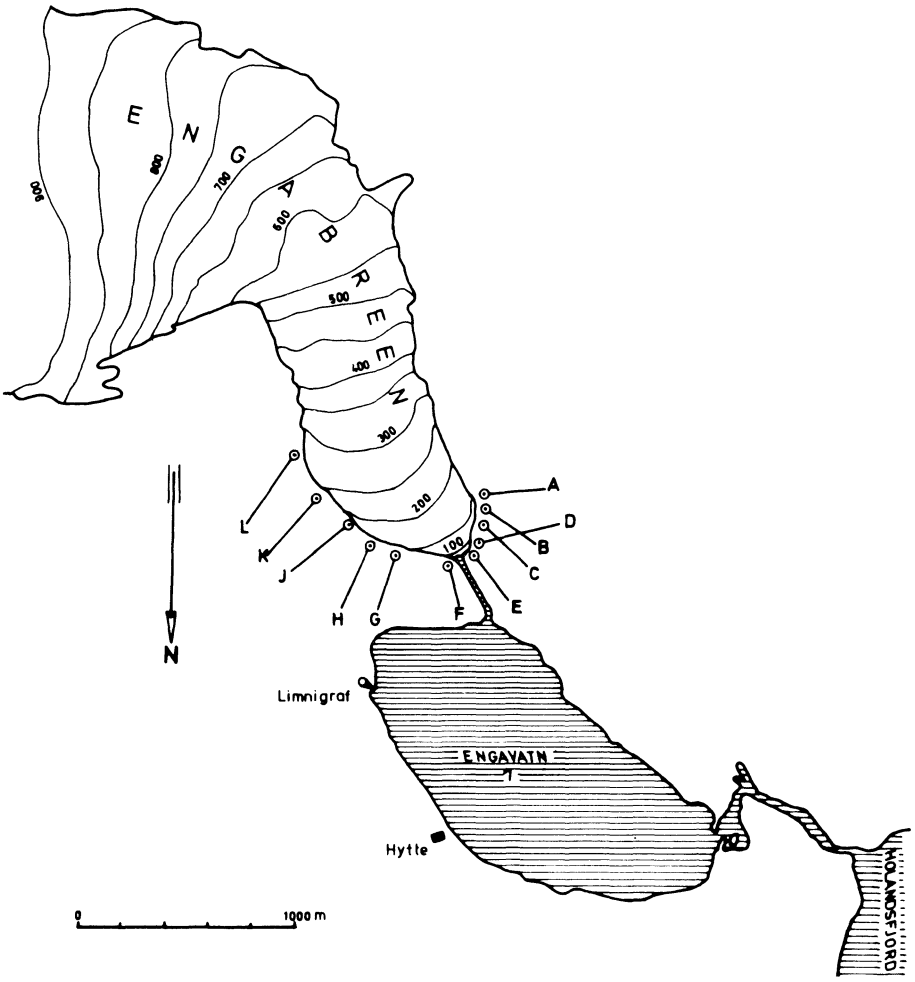


Fig. 44 Kartskisse som viser beliggenheten av punktene ved Engabreens tunge hvorfra NVE utfører frontmålinger. Strekene A-L angir måleretningene.

Front measurements are made from the points shown on this map of Engabreen.

I 1972 etablerte NVE 11 målepunkter ved Engabreens tunge, hvorfra avstanden til breen ble målt i en bestemt retning. Punktene ligger på begge sider av bretungen, fra ca. 60 m o.h. og opp til ca. 275 m o.h. (fig. 44).

Nedenforstående tabell viser middelverdier av målingene fra disse punkter:

år	1973	1974	1975
m	-19,2	-2,6	0

I 1973 ble det målt tilbaketrekning fra alle målepunkter og denne varierte fra 4 m til 35 m. Størst var tilbakegangen ved de laveste punktene (E, F, G og H). Den midlere tilbaketrekning for perioden 1972-73 var på 19,2 m, og det er dette tall som er satt i tabellen.

I 1974 var brefrontens variasjon mye jevnere enn det foregående år og varierte fra -6 m til +2 m. Middelverdien gir en tilbaketrekning på 2,6 m.

Frontmålingene i 1975 antyder at den midlertidige tilbakegangen av brefronten, som har vart siden 1972, er slutt. Ved 6 punkter ble det målt fremrykning, og den største fremrykningen (18 m) ble målt ved K, mens det ved 5 punkter ble målt tilbakegang og denne var størst ved F (25 m).

NVE's frontmålinger ved Engabreen viser at breens tilbakegang stanset først ved de øverste målepunktene (K og L) og at man der har begynt å få en fremgang. Brefronten er også blitt brattere og vanskeligere tilgjengelig. Dette sammen med at breen siden 1972 har hatt en positiv massebalanse på over 5 m vannekvivalent skulle tilsi at vi må forvente en fremrykning av breen i de nærmeste år.

Ålfotbreen

Ved Ålfotbreen etablerte NVE et målepunkt i 1974 hvorfra avstanden til breen ble målt. I perioden 1974-75 ble det målt en tilbakegang på 1 m.

Nigardsbreen

Siden Nigardsbreens fremstøt omkring 1750 har brefronten trukket seg tilbake ca. 4500 m. Det siste fremstøtet skjedde i 1930 som følge av en kuldeperiode i 1920-årene. Siden 1930 har Nigardsbreen kontinuerlig trukket seg tilbake, og frontmålinger viser at siden 1930 har brefronten trukket seg tilbake 1850 m.

Fra 1907 er det utført årlige frontmålinger ved Nigardsbreen med unntak av årene 1965-72, som senere er beregnet fotogrammetrisk. Disse målingene ble startet av J.Rekstad og er siden fortsatt av Norsk Polarinstitutt.

Tabellen på neste side viser resultatene av de siste års frontmålinger:

år	Totalt 1964-72	Årlig 1964-72	1973	1974	1975
m	-515	-64	-65	-46	-16

Det ser ut til at tilbaketrekningen er i ferd med å kulminere. Perioden 1962-75 viser flere år med positiv massebalanse, og i denne perioden har overskuddet vært over 6 m vannekvivalent fordelt over hele breens areal (Østrem, Liestøl & Wold 1976, s. 198). Det er derfor naturlig å forvente et brefremstøt som følge av den store økningen i breens volum som har foregått siden 1962, men det er rimelig at tidspunktet for fremgangen ennå ligger noen år i fremtiden.

SUMMARY

Mass balance studies, meteorological and hydrological investigations at selected glaciers

Introduction

The Norwegian Water Resources and Electricity Board (abbreviated: Vassdragsvesenet, NVE) performs glacier studies within selected watersheds to obtain data for hydrological calculations in connection with evaluation of possible future hydro-electric power plants. The studies in 1975 were concentrated to 6 glaciers in Southern Norway and 3 glaciers in Northern Norway. These glaciers are situated in the following areas: Ålfotbreen, situated in a maritime area in Western Norway, Folgefonni, Jostedalsbreen, Jotunheimen (in Southern Norway), and Svartisen (in Northern Norway). In addition, some four glaciers in Southern Norway are observed by the Norwegian Polar Institute (Norsk Polarinstitutt).

The location of the various glaciers where mass balance studies were performed in 1975 can be seen on the map, page 4. The longest observation series are made on Storbreen in Jotunheimen (by Norsk Polarinstitutt) and Nigardsbreen (by NVE). Results from earlier years' observations have been published in annual reports issued by NVE and Norsk Polarinstitutt.

The methods used in the field work and in the calculations have been, in principle, unchanged since NVE started investigations at Nigardsbreen in 1962. The methods are described in Østrem & Stanley (1969). The terminology is consistent with the proposals published by UNESCO (1970). Most of the terms are also explained on the illustration, Fig. 2.

To increase the practical use of the mass balance data obtained by these studies

some meteorological and hydrological observations were also made. The meteorological data are collected to form a base for short-term meltwater discharge forecasts. The actual discharge from the glaciers is also observed, in most cases by automatic recording devices. All the collected data are shown in diagrams in this report, one for each of the glaciers under study, e.g. Figs. 15 and 35.

Ålfotbreen

The accumulation started relatively early on Ålfotbreen - already at the first visit on 20 September 1974 the glacier had received 20-30 cm snow. The snow cover had increased to more than 200 cm at the next visit two months later. Further visits were made on 10 January and 25 February, and then the snow depths exceeded 8 m on most of the glacier. Due to this heavy snowfall only 4 stakes survived the winter so that no less than 9 corings must be made to determine the final winter balance at the end of April. At the same time 50 snow depth determinations were made by conventional sounding. The snow density was determined in a pit as usual. The locations of all measurements are shown on Fig. 3 and the resulting winter balance map on Fig. 4.

In total, $22.2 \cdot 10^6 m^3$ water accumulated on the glacier - corresponding to 4.64 m of water equivalent. This is almost a record for Ålfotbreen - a higher winter balance has been observed only once, in 1973. The result for 1975 is 30% higher than the average for the period 1963-74.

Summer conditions were observed at several occasions. Visits were made to the glacier on 8 June, 8 July, 7 August, 3 September and 9 October. At the end of the summer no less than 19 stakes had become visible so the ablation observations are regarded reliable. Due to the heavy snowpack and, consequently, a relatively high albedo throughout the summer, the melt was retarded significantly so that the summer balance became relatively small, compared to glaciers farther east where less snow fell during the winter. In September only small areas of exposed ice were visible below 1100 m a.s.l. on Ålfotbreen.

The summer balance amounted to $16.4 \cdot 10^6 m^3$ water - corresponding to 3.43 m of water equivalent. This is almost equal to the average for the period 1963-74. The net balance for 1975 amounted to $+5.8 \cdot 10^6 m^3$ water or +1.21 m of water equivalent. The equilibrium line was situated at 1050 m a.s.l. The results are shown in Fig. 5 and in the table on page 10. The meteorological observations are plotted in Fig. 6.

Blomsterskardbreen

This outlet glacier from the Folgefonni ice-cap has been expanding during the last few years and it is therefore an interesting glacier for mass balance studies.

Only a few stakes are placed near the equilibrium line and the net balance is calculated from the assumption that the form of the net balance curve does not change from year to year, it is only shifting to the left or right in the diagram. This calculation method has been described previously (Tvede 1974). The studies of this glacier is financed by Norsk Polarinstitutt.

The measurements were made on 10 October and a positive balance was then determined from observations on 3 stakes. The net balance amounted to +1.7 m of water equivalent. The equilibrium line is assumed to be at an elevation of 1170 m a.s.l.

This glacier has now had positive balances during 5 consecutive years and the increase in glacier thickness is calculated to more than 5 m of water equivalent.

Gråbreen

This glacier was visited three times throughout the winter and the stakes were extended so that 8 of them survived the entire winter. Snow depth observations were made in 144 points along profiles shown in Fig. 8. The snow density was observed in a pit and by coring. The resulting winter balance map is shown on Fig. 9. In total the glacier received $25.1 \cdot 10^6 m^3$ water - corresponding to 2.62 m of water equivalent.

Visits to the glacier were made at the beginning of June, July, August and September. The last-mentioned date can be set as the end of the summer season because a thin snow cover had then arrived on the upper parts of the glacier. The summer balance amounted to $21.5 \cdot 10^6 m^3$ water - corresponding to 2.25 m of water equivalent. This resulted in a positive mass balance corresponding to 0.37 m of water equivalent. The equilibrium line was situated at 1375 m a.s.l. The results are visualized on Fig. 10 and are also plotted in the table on page 15.

Supphellebreen

An "abbreviated" program of mass balance studies were made on this outlet glacier from Jostedalsbreen, according to a similar method as mentioned above for Blomsterskardbreen. Mr. Olav Orheim made more complete studies during the years 1963-68 and he resumed mass balance studies in 1973. His calculations indicate a positive mass balance amounting to 1.5 m of water equivalent for 1973 and a positive balance in 1974 amounting to 0.8 m of water equivalent. For 1975 the calculations also resulted in a positive balance, this time 1.0 m of water equivalent.

Nigardsbreen

Several winter visits were necessary to maintain the stake net but the heavy snow accumulation, amounting to 6-7 m in the higher parts of the firn basin, made it

impossible to keep all the stakes surviving throughout the entire winter. At the main snow survey made in the middle of May only 8 of the original stakes could be found. However, due to a very good summer surface developed in 1974 all the 270 snow depth soundings were regarded reliable (for the locations of the sounding profiles see Fig. 12). The snow density was determined in three pits, each representing a certain height interval.

The winter balance amounted to 120.6 · $10^6 m^3$ water or 2.5 m of water equivalent. This is 10% more than the average for the period 1962-74. A higher winter balance was measured only in 1962 and 1967.

The observation hut at Steinmannen was manned in the period from 18 June to 1 September by two summer assistants who visited the stakes in the firn basin every week and measured vertically inserted cables on the tongue every 10 days. Some stakes near the hut were observed daily. Also meteorological observations were performed at the hut and at a point in the firn basin.

The total ablation amounted to 107.3 · $10^6 m^3$ or 2.23 m of water equivalent which is 22% more than the average for the period 1962-74. This is almost a record - a higher summer balance was found only in 1970. The ice melt on the tongue amounted to approx. 14 m during the summer whereas approx. 3 m of snow melted in the higher parts of the firn basin.

The mass balance turned out to be positive also in 1975, this is the third consecutive year and the ninth year since 1962. It amounted to +13.3 · $10^6 m^3$ or +0.27 m of water equivalent. The equilibrium line was situated at 1450 m a.s.l. This is slightly below the average for the period 1965-75 which was 1490 m a.s.l. This again is 65 m lower than the theoretical altitude for the equilibrium line if the glacier is in balance ("steady state conditions"). Compare Fig. 16.

The increase in volume which has taken place since 1962 - more than 6 m of water equivalent - has not yet caused any advance observable at the tongue. It is expected, however, that the glacier front will start its advance in the next few years. A survey of glaciological investigations made at Nigardsbreen was recently published in Norsk Geografisk Tidsskrift (Østrem, Liestøl & Wold, 1976). A new glacier map of Nigardsbreen is included in that report.

The meteorological observations made at the hut Steinmannen (1630 m a.s.l.) are visualized in the diagram on page 21, where also daily mean temperatures from the permanent met.station at Bjørkehaug and from the firn basin (1840 m a.s.l.) are shown. The mean air temperature at Steinmannen for the summer 1975 was 5.2°C, i.e. 1.4°C higher than the average for the period 1965-74. The warmest day, 5 August,

gave a mean temperature of 14.1°C whereas the coldest day, 27 June, gave -3.8°C. In general, August was particularly warm whereas June was comparatively cold. The monthly means were 2.0°C , 5.3°C and 6.5°C for the months June, July and August, respectively.

The daily mean water vapour pressure was, on an average, 7.2 mb. During two days in June, 7 days in July, and 6 days in August the water vapour pressure was less than 6.1 and at the same time the daily mean temperature was above zero. This indicates that evaporation may have taken place during these 15 days (and possibly at single occasions) during the summer. A significant water vapour condensation must have taken place on the glacier surface during the rest of the summer (compare Fig. 42a).
The discharge from the glacier amounted to 134 · $10^6 m^3$ water with a maximum daily discharge, 3.13 mill m^3, occurring on 11 August.

Hardangerjøkulen

The studies are concentrated to a west-facing outlet glacier, Rembesdalskåki, and are made by Norsk Polarinstitutt. Due to the unusually heavy winter accumulation most of the stakes disappeared and only three stakes were visible at the end of the accumulation season. The sounding operations were also difficult due to a weakly developed summer surface from the previous melt season.

The winter balance has been calculated to 2.25 m of water equivalent. The following warm summer resulted in a summer balance amounting to as much as 2.10 m of water equivalent, so that the resulting net balance turned out to be +0.15 m of water equivalent. However, due to difficulties in the field work and, consequently, many sources of error, it is anticipated that the accuracy is lower than normal. It is estimated to ±0.20 m of water equivalent. It may be more realistic to say that the Hardangerjøkulen ice-cap was nearly in balance in 1975. The height of the equilibrium line was approx. 1630 m a.s.l.

Storbreen

This glacier is also observed by Norsk Polarinstitutt. It has one of the longest series of mass balance observations in the world, as Mr. Olav Liestøl started these investigations already in 1948 (Liestøl 1967).

The snow accumulation was larger than normal, 1.55 m of water equivalent compared to 1.36 m in an average year. The hot summer caused an ablation of 1.70 m of water equivalent so that the glacier Storbreen - in spite of the large accumulation - suffered a slightly negative net balance, amounting to -0.15 m of water equivalent in 1975.

Hellstugubreen

This valley glacier in the Jotunheimen area has been studied for several years mainly for scientific reasons. During the last few years, however, the data have been used also for hydrological purposes, due to the fact that part of Jotunheimen was considered for future water power development and the glacier's influence on the stream discharge variations was previously almost unknown.

During a winter visit on 7 February a total of 15 stakes were extended whereas 10 stakes had disappeared in a 1-3 m deep snow cover. The final snow survey was made 24-26 May when all the 15 stakes were resurveyed and snow depths between them were determined by approx. 110 depth soundings. The sounding profiles are shown on Fig. 20. Up to 5 m of snow was found in the upper firn basins. The snow density was determined in two pits, at 1650 and 1960 m a.s.l.

The winter balance amounted to $4.4 \cdot 10^6 m^3$ water which is 125% of the average winter balance during the period 1963-74, a higher winter balance was found only in 1967 and 1968.

Summer visits were made in June, July, August and October. A good record was therefore kept of the summer balance which amounted to $5.6 \cdot 10^6 m^3$ water and this equals 1.71 m of water equivalent. The summer balance is also higher than the average (126% of the average for the period 1963-74) so that the glacier in 1975 reduced its mass by $1.2 \cdot 10^6 m^3$ water. This corresponds to a net balance of -0.36 m of water equivalent. The equilibrium line reached a height of 1950 m a.s.l.

Gråsubreen

Similar to Hellstugubreen this small glacier in the eastern part of the Jotunheimen area has been observed annually concerning its mass balance for a fairly long period (from 1963). The mass balance measurements are normally based on observations performed during visits throughout the year. In 1975 a winter visit was made in February (to extend stakes) whereas the final snow survey was made on 25-26 May when 11 stakes were visible. In addition approx. 115 snow depth soundings were made along profiles shown in Fig. 24. The snow density was determined in a pit at approx. 1960 m a.s.l. Data from this pit is regarded representative for the entire glacier, due to its relatively small size. The maximum snow depth amounted to 370 cm. The summer surface was well developed all over the glacier.

The winter balance amounted to $2.3 \cdot 10^6 m^3$ water which corresponds to 0.91 m of water equivalent. Also on this glacier we found a 25% higher winter balance than the average for the period 1963-74.

Summer visits were made in July, August and October. In total 19 ablation stakes

are distributed on this glacier, see Fig. 24. The summer balance, calculated from readings on these stakes, amounted to 4.7 · $10^6 m^3$ water. This corresponds to 1.86 m of water equivalent which is almost a record for this glacier - it is 196% of the average summer balance for the period 1963-74 - a higher summer melt was found only during the summer of 1969.

The unusually high summer balance caused a significant deficit in the mass balance, in that the glacier lost no less than 2.4 · $10^6 m^3$ water. A larger deficit was found only in 1969. The net balance amounted to -0.95 m of water equivalent. The glacier lost mass all over its surface so that the equilibrium line reached an altitude of approx. 2300 m a.s.l., i.e. higher than the glacier's highest point (the altitude was determined from the graph, Fig. 26, and is thus only a theoretical figure).

Høgtuvbreen

The winter season started very early on Høgtuvbreen - already on 10 October a snow layer of 3-4 m covered the glacier. Stakes were extended in January and February and the final snow survey was made on 17-18 April. Then the snow depth had increased to 5-7 m. Most of the soundings are reliable but in the upper part of the glacier they had to be supported by corings in 9 various points. In total 207 snow depth soundings were made along no less than 19 km of sounding profiles, compare Fig. 27. Some additional accumulation arrived after that the main snow survey was made, but this addition was measured on 1 June so that the map of the winter balance (Fig. 28) includes the entire snow accumulation.

The winter balance amounted to 7.8 · $10^6 m^3$ water or 3.0 m of water equivalent.

During the summer all stakes were surveyed in June, July and at the beginning of September. The summer balance amounted to 5.9 · $10^6 m^3$ water which corresponds to 2.27 m of water equivalent. Consequently, the glacier experienced a positive mass balance amounting to 1.9 · $10^6 m^3$ water corresponding to a net mass balance of +0.73 m of water equivalent. This is the second time since 1971 that Høgtuvbreen has shown a positive balance, the first time was in 1973. The reason for the positive balance in 1975 is mainly a cool summer, when the ablation amounted to only approx. 65% of the average for the years 1971-74.

Engabreen

It is assumed that the accumulation season started at the end of September 1974 because 80 cm of fresh snow had accumulated at a visit on 5 October. The next visit to the glacier was made at the end of December, when the snow depth had increased to 2-3 m. The final snow survey was started on 21 April. However, the sounding of

the snow depth proved to be more difficult than normal and the identification of the summer surface had to be checked by several corings. Weather conditions were also bad and an almost continuous snow storm during the visit forced the field crew to discontinue their work on 26 April. At the next attempt, 22-30 May, a total of 280 snow depth soundings and 5 corings were made. The snow density was observed in pits and by coring at locations about 1000 and 1300 m a.s.l.

Due to the practical difficulties during the field observations it is assumed that the results from the winter balance measurements 1975 are less reliable than during previous years. The large areas (almost 40 km^2) and the very heavy snow cover make always snow inventories difficult on this glacier. Finally, certain areas of the glacier surface are heavily crevassed and cannot be visited, neither for snow studies nor for ablation measurements. It is attempted, however, to distribute the observations as evenly as possible on the entire glacier surface, compare Fig. 32.

The winter balance amounted to $120.7 \cdot 10^6 m^3$ water which corresponds to 3.18 m of water equivalent.

The weather during the summer was also fairly bad, with frequent snow falls and heavy winds. Consequently, the summer assistants experienced many difficulties in the completion of their tasks. However, the results from the summer balance measurements are regarded fairly reliable. In total $59.7 \cdot 10^6 m^3$ water was removed from the glacier, this corresponds to 1.57 m of water equivalent. The net balance for 1975 turned out to be positive, amounting to $61 \cdot 10^6 m^3$ water, corresponding to +1.61 m of water equivalent. The equilibrium line reached an altitude of 960 m a.s.l. The year 1975 is the third consecutive year of positive mass balance for Engabreen.

Meteorological observations were carried out as usual but observations in the firn basin were difficult due to extremely bad weather conditions. Precipitation studies in the firn area were almost impossible because most of the precipitation arrived in the form of snow which is not properly recorded in the gauges. The bad weather conditions may be best characterized by the mean cloud cover which amounted to 8.7 for the entire summer. July had 9.0 with no less than 23 days of complete cloud cover or fog. In August 18 days had similar conditions. Only 9 days throughout the entire summer had less than 5/10 cloud cover. The mean wind speed amounted to 5.2 m/s with a maximum - 14.7 m/s - on 24 July. The mean temperatures were 5.2°C and 6.5°C for the months of July and August, respectively. The rain gauge at the observation hut (880 m a.s.l.) recorded in total 590 mm of precipitation in the period from 18 June to 28 August. Maximum daily precipitation occurred on 19 June when 49 mm were observed. Only 13 days throughout the entire summer had no precipitation.

The mean water vapour pressure was 7.7 mb for the entire summer. Only 9 days throughout the summer had a water vapour pressure less than 6.1 mb. It is therefore quite obvious that water vapour condensation must have taken place at the glacier surface during most of the summer season 1975.

The total water discharge from the glacier for the period May to September amounted to 149.5 $\cdot$ $10^6 m^3$ water with a maximum on 5 August when 2.58 $\cdot$ $10^6 m^3$ water discharged. On 3 September the highest peak flood occurred, 31.5 m^3/s.

Trollbergdalsbreen

The mass balance investigations on the small valley glacier Trollbergdalsbreen (north of the eastern part of the Svartisen ice-cap) were intended to last only five years, 1970-74. However, some of the equipment was still left at the glacier in 1974 and during the tiding-up operation in September 1975 it was decided to read all stakes and make some additional observations to make possible a calculation of the net balance for the year 1975. The calculations indicate a mass deficit of 0.51 $\cdot$ $10^6 m^3$ water which corresponds to a net balance of -0.28 m of water equivalent. The position of the equilibrium line was approx. 1070 m a.s.l. (compare Fig. 37).

Of the previous five years of observations a positive net balance was found only in 1973, and the total mass loss during the six years 1970-75 amounted to -3.94 m of water equivalent.

A comparison of the mass balance on individual glaciers

The mass balance was investigated on 12 glaciers in 1975. Nine of these are situated along an east-west profile in Southern Norway and these glaciers are regarded representative for fairly large glacierized areas. In Northern Norway only glaciers in the Svartisen area are investigated, so little knowledge is obtained for the rest of the glaciers in that part of the country. The nearest location for detailed mass balance investigations is Storglaciären in Northern Sweden where continuous observations have been made since 1946.

A typical condition at glaciers in Southern Norway was a very heavy winter accumulation, particularly on the western side of the water divide. For all glaciers in Southern Norway the winter balance turned out to be between 10 and 30% larger than average. However, the summer 1975 was much warmer than normal and caused a much greater ablation than the average. The heavy snow cover on the westernmost glaciers resulted in a positive balance there, whereas glaciers east of the water divide (generally in Jotunheimen) had a more or less negative mass balance in 1975.

Heavy snow accumulation was also experienced in Northern Norway and the glaciers under study received more snow than normal, particularly in the western part of the investigated area. A cool and moist summer caused less ablation than normal so the two glaciers Engabreen and Høgtuvbreen got a positive mass balance in 1975. The steep gradient in winter accumulation resulted in a markedly smaller winter balance on Trollbergdalsbreen (0.73 m of water equivalent) compared to Engabreen (1.61 m). This caused a slightly negative balance (-0.28 m) for Trollbergdalsbreen.

In general, the mass balance results show a marked gradient from west to east both in Southern Norway and Northern Norway. Observations made on a single glacier can therefore not be taken as representative for larger areas in an east-west direction, even when the distance is relatively small.

Energy balance investigations on selected glaciers

Efforts have been made to investigate the energy balance at various glaciers in Norway throughout the last few years. The location of these glaciers is marked on a map, Fig. 41, and results from earlier investigations are shown in Table III on page 51.

Field work was made in 1975 on Engabreen and Nigardsbreen from 22 June to 30 August, according to methods described previously (Tvede 1975). Incoming radiation was recorded by Robitzsch actinographs whereas albedo measurements were not made this summer.

The main results are shown in Fig. 43 and in Tables I and II on page 50. The correlation between net radiation and ablation is very poor. This supports the assumption that the non-radiative factors (mainly convection and condensation) are dominant in the ablation process on the glaciers Nigardsbreen and Engabreen. The radiation seems to account for an almost constant "background-energy supply" to the glacier throughout the summer. Precipitation and sublimation are neglectable factors in this respect. The accuracy in these calculations are regarded as follows:

daily ablation ± 0.5 cm water equivalent
daily net radiation ± 15 cal/cm^2
all ablation factors, throughout the season $\pm$ 4%

The accuracy is regarded similar for the two glaciers Engabreen and Nigardsbreen.

Glacier frontal variations

The best investigated glaciers concerning front variations are Engabreen and Nigardsbreen. At the beginning of this century the Engabreeen outlet glacier covered the present lake Engavatn completely but started its retreat about 1930 and left

the lake in 1944. The distance from the lake to the glacier front is presently about 300 m. Norsk Polarinstitutt started distance measurements from one survey point to the glacier front in 1965. The annual retreat is shown in the table on page 52. NVE started similar measurements in 1972, but used 11 survey points, distributed along the frontal part of the glacier tongue, ranging from 60 m a.s.l. to 275 m a.s.l. (see Fig. 44). The mean retreat decreased from 19.2 m in 1973 to 2.6 m in 1974 and equalled zero in 1975 when some parts of the tongue in fact started to advance, the largest advance (18 m) was found at survey point K. After several years of positive mass balance it must be expected that the glacier tongue soon will start to advance significantly.

Similar measurements have been made at Nigardsbreen and the results are shown in the table on page 54. Several years of positive mass balance have been observed also at this glacier (more than 6 m of water equivalent in the period 1962-75) and it is therefore expected that an advance may start within the coming few years.

LITTERATUR

Haakensen, N.
1975: Materialtransportundersøkelser i norske bre-elver. Hydrologisk avdeling, Norges vassdrags- og elektrisitetsvesen. Rapport nr. 4/75, 107 p. (English summary).

Klemsdal, T.
1968: A glacial-meteorological study of Gråsubreen, Jotunheimen. Norsk Polarinst. Årbok 1968, p. 58-74.

Liestøl, O.
1967: Storbreen Glacier in Jotunheimen, Norway. - Norsk Polarinst. Skrifter 141, 63 p.

Messel, S.
1971a: Mass and heat balance studies on Omnsbreen, a climatically dead glacier in Southern Norway. - Norsk Polarinst. Skrifter 156, 43 p.

1971b: Glasial-meteorologiske undersøkelser i Sør-Norge. - I: Tvede, A., 1971, p. 69-80.

1973: Glasial-meteorologiske undersøkelser i 1971. - I: Tvede, A., 1973, p.72-83.

1974: Glasial-meteorologiske undersøkelser i 1972. - I: Tvede, A., 1974a, p. 75-87.

1975: Glasial-meteorologiske undersøkelser i 1973. - I: Tvede, A., 1975, p.49-58.

Orheim, O.
1970: Glaciological investigations of Store Supphellebre, West-Norway. Norsk Polarinst. Skrifter 151, 48 p.

Pytte, R.
1970: Glasiologiske undersøkelser i Norge 1969. - Hydrologisk avdeling, Norges vassdrags- og elektrisitetsvesen. Rapport nr. 5/70, 94 p. (English summary).

Tvede, A.
1971: Glasiologiske undersøkelser i Norge 1970. - Hydrologisk avdeling, Norges vassdrags- og elektrisitetsvesen. Rapport nr. 2/71, 111 p. (English summary).

1973: Glasiologiske undersøkelser i Norge 1971. - Hydrologisk avdeling, Norges vassdrags- og elektrisitetsvesen. Rapport nr. 2/73, 110 p. (English summary).

1974a: Glasiologiske undersøkelser i Norge 1972. - Hydrologisk avdeling, Norges vassdrags- og elektrisitetsvesen. Rapport nr. 1/74, 99 p. (English summary).

1974b: Volumendringer på breer i Sør-Norge, 1962-73. - Vannet i Norden. IHD-nytt nr. 4/74, p. 35-43.

1975: Glasiologiske undersøkelser i Norge 1973. - Hydrologisk avdeling, Norges vassdrags- og elektrisitetsvesen. Rapport nr. 1/75, 72 p. (English summary).

Tvede, A., Wold, B. & Østrem, G.
1975: Glasiologiske undersøkelser i Norge 1974. - Hydrologisk avdeling, Norges vassdrags- og elektrisitetsvesen. Rapport nr. 5/75, 68 p. (English summary).

UNESCO
1970: Combined heat, ice and water balances at selected glacier basins. Technical papers in hydrology, no. 5, 20 p.

Østrem, G., Liestøl, O. & Wold, B.
1976: Glaciological investigations at Nigardsbreen, Norway. - Norsk Geogr. Tidsskr. 30, p. 187-209.

Østrem, G. & Stanley, A.
1969: Glacier mass balance measurements. - A guide prepared jointly by the Canadian Dept. of Energy, Mines and Resources and the Norwegian Water Resources and Electricity Board, 128 p.