NORGES VASSDRAGS-OG ELEKTRISITETSVESEN

# GLASIOLOGISKE UNDERSÖKELSER I NORGE 1977

RAPPORT NR. 3-78

VASSDRAGSDIREKTORATET

HYDROLOGISK AVDELING

OSLO AUGUST 1978

NORGES VASSDRAGS-OG ELEKTRISITETSVESEN

# GLASIOLOGISKE UNDERSÖKELSER I NORGE 1977

Redigert av Björn Wold og Nils Haakensen

Bidragsytere: Svein Gulbrandsen, Sigmund Messel
Arve M. Tvede, Björn Wold
og Gunnar Östrem

RAPPORT NR. 3-78

VASSDRAGSDIREKTORATET

HYDROLOGISK AVDELING

OSLO AUGUST 1978

ISBN 82-554-0184-9

FORORD

Brekontoret, som er en del av Hydrologisk avdeling, startet massebalanseundersøkelser i 1962 da Nigardsbreen ble utvalgt som en representant for Jostedalsbreen. Senere er undersøkelsene av massebalansen blitt utvidet til å omfatte en rekke andre utvalgte breer, både i Sør-Norge og i Nord-Norge. Utvalget ble gjort vesentlig med hensyn til aktuelle utbyggingsplaner i ulike deler av landet fordi breene så sterkt påvirker hydrologien i de nedenforliggende vassdrag. Det er jo velkjent at i tørre, varme somre vil alle bre-elver svulme opp, mens elver fra brefrie områder gir mindre vann enn vanlig. Hvis man skal foreta hydrologiske beregninger med henblikk på kraftproduksjon, må derfor eksisterende statistisk materiale korrigeres for den påvirkning som skyldes breene. Dette kan ikke gjøres på annen måte enn ved direkte målinger på breen.

For en del av de utvalgte breene ble undersøkelsene drevet i 5-6 år og deretter avsluttet fordi de innsamlede data viste seg å være tilstrekkelige for hydrologiske beregninger. For tiden undersøker Brekontoret massebalansen ved Engabreen, som er en god representant for Svartisen-området, og Nigardsbreen som er representativ for Jostedalsbreen. I begge tilfeller har vi i flere år også drevet undersøkelser på nærliggende breer og derved fått utarbeidet korrelasjoner, slik at målingene på de to nevnte breer vil være tilstrekkelige for å ekstrapolere data til andre deler av de store brekompleksene det her er tale om.

I de senere år har det vist seg at en del breer begynner å gå fram mens andre fremdeles går tilbake. Dette er et resultat av langsomme svingninger i klimaet og bør derfor følges nøye.

Årets rapport inneholder resultater fra de to nevnte store breene og fra målinger på en del mindre breer i Sør-Norge. Rapporten er et resultat av et team-work med mange bidragsytere, men cand.real. Bjørn Wold har vært ansvarlig for rapporten.

Oslo i juli 1978

Gunnar Østrem

INNHOLD


| | Side |
|---|---|
| Materialhusholdningen,meteorologiske og hydrologiske undersøkelser ved utvalgte breer (Bjørn Wold) | 3 |
| Innledning | 3 |
| Metodikk | 5 |
| Ålfotbreen | 7 |
| Blomsterskardbreen (Arve M.Tvede) | 11 |
| Bondhusbreen | 12 |
| Nigardsbreen | 14 |
| Hardangerjøkulen | 18 |
| Storbreen | 18 |
| Hellstugubreen | 18 |
| Gråsubreen | 21 |
| Høgtuvbreen | 23 |
| Engabreen | 26 |
| En sammenlikning av materialhusholdningen på enkelte breer | 33 |
| Energibalansen på utvalgte breer (Sigmund Messel) | 35 |
| Innledning | 35 |
| Resultater | 36 |
| Diskusjon | 38 |
| Subglasiale undersøkelser på Bondhusbreen (Bjørn Wold) | 40 |
| Bevegelsesmålinger på Erdalsbreen (Svein Gulbrandsen og Bjørn Wold) | 41 |
| English Summary (Gunnar Østrem) | 43 |
| Mass balance,meteorological and hydrological investigations at selected glaciers | 43 |
| The energy balance on selected glaciers | 50 |
| Subglacial investigation at Bondhusbreen | 50 |
| Ice velocity measurements on Erdalsbreen | 51 |
| Litteratur | 53 |

# MATERIALHUSHOLDNINGEN, METEOROLOGISKE OG HYDROLOGISKE UNDERSØKELSER VED UTVALGTE BREER

## Innledning

Norges vassdrags- og elektrisitetsvesen har i 1977 foretatt glasiologiske undersøkelser på 5 breer i Sør-Norge og 2 breer i Nord-Norge. I tillegg har Norsk Polarinstitutt foretatt massebalansemålinger på 3 breer i Sør-Norge. Undersøkelsene er foretatt i følgende områder :

1) Ålfotbreen, 2) Folgefonni, 3) Hardangerjøkulen, 4) Jostedalsbreen, 5) Jotunheimen og 6) Svartisen.

På Ålfotbreen i Nordfjord foretas undersøkelsene på en nordvendt brearm som nå drenerer til Store Åskåravatn. Dette vassdrag er utbygd av Sogn og Fjordane fylke, og undersøkelsene er pålagt utbyggeren i konsesjonsbetingelsene. Utgiftene til undersøkelsene deles likt mellom Elektrisitetsforsyningen i Sogn og Fjordane og Hydrologisk avdeling i NVE. Målingene har pågått siden høsten 1962. I 1977 ble det foruten materialbalansemålinger også foretatt en del meteorologiske registreringer.

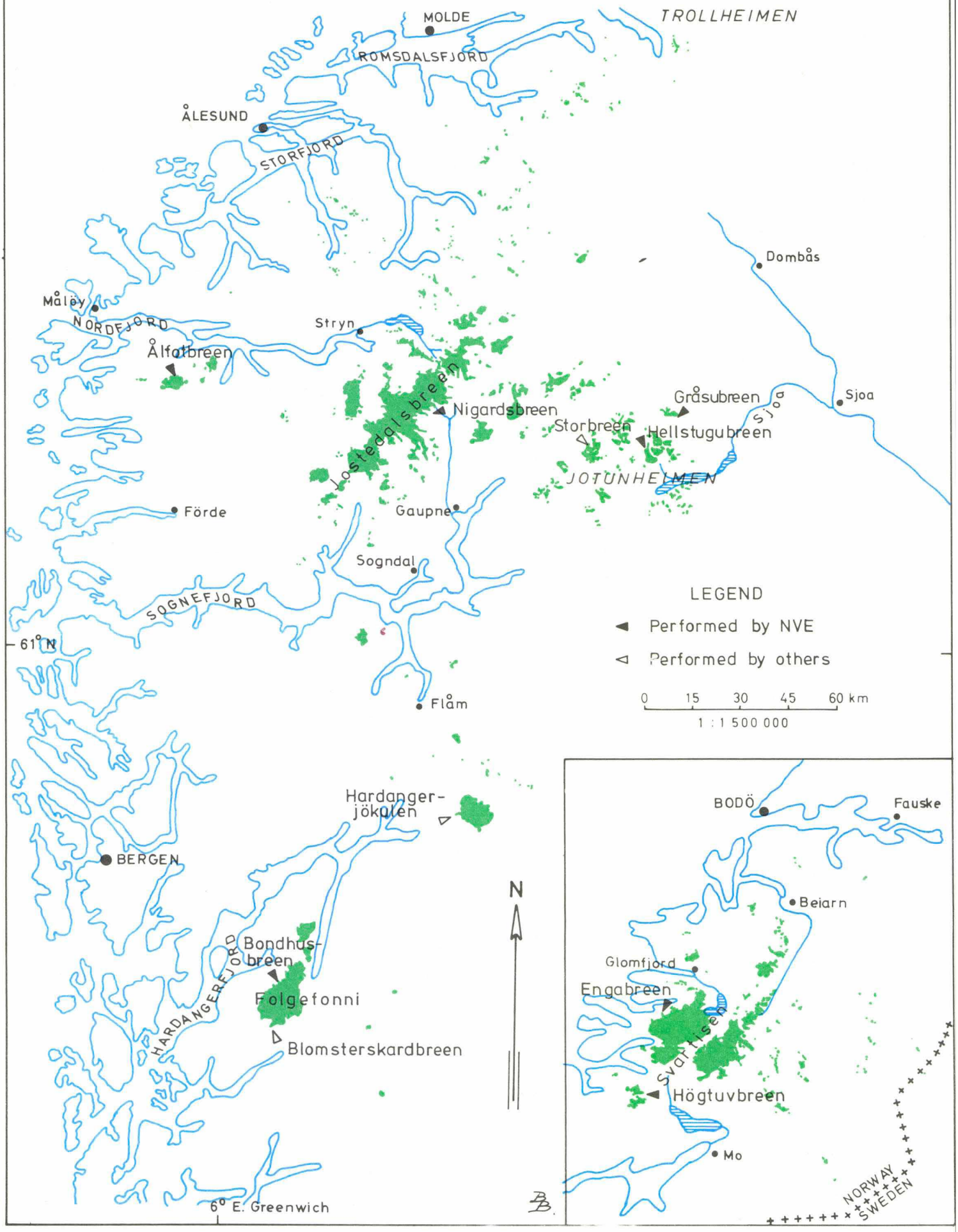
På Folgefonni ble nettobalansen målt på Blomsterskardbreen som ligger på den sørvestlige siden av Folgefonni. Målingene her ble foretatt av Norsk Polarinstitutt. Som et ledd i arbeidet med å bedre vår forståelse av Bondhusbreens dynamikk og hvordan dette påvirker mulighetene til å fange opp vann subglasialt, ble det høsten 1976 satt igang målinger av materialbalansen og endel meteorologiske parametre. Undersøkelsene bekostes av Statskraftverkene.

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

På Jostedalsbreen har NVE fortsatt undersøkelsene på Nigardsbreen. Dette var den første bre der Brekontoret utførte målinger av materialhusholdningen, og arbeidene har pågått kontinuerlig siden 1962. Nigardsbreen er spesielt interessant som hydrologisk objekt da planene for Breheimverkene forutsetter et subglasialt elveinntak under bretunga. I 1977 ble måleprogrammet endel forenklet, og stasjonen på Steinmannen er ikke lenger fast bemannet i sommersesongen. Dette har medført at de meteorologiske målingene ikke lenger er av samme kvalitet som tidligere. I bre-elven fra Nigardsbreen utføres det materialtransportundersøkelser som omtales i en særskilt rapport. Undersøkelsene på Nigardsbreen betales av Statskraftverkene.

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

Fig. 1 MASS BALANCE STUDIES OF NORWEGIAN GLACIERS 1977



verden. På Hellstugubreen og Gråsubreen har målingene pågått siden 1963. Utgiftene dekkes for tiden av Hydrologisk avdeling.

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

Målingene er en del av Svartisundersøkelsene som finansieres av Statskraftverkene i forbindelse med kraftutbyggingsplanene i denne del av Nordland. Målingene på Trollbergdalsbreen ble avsluttet i 1975. På Engabreen ble det i tillegg til bremålingene også foretatt meteorologiske observasjoner (samt slamundersøkelser i bre-elven, som omtales i en særskilt rapport). På Høgtuvbreen ble det utført en forenklet måling av materialbalansen, og måleserien her vil bli avsluttet med denne sesongen.

## Metodikk

### Materialhusholdningen

Metodikken som brukes ved massebalansemålinger på norske breer er utførlig beskrevet i tidligere rapporter 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 ble i 1977 fortsatt etter tidligere års prinsipper fordi en har funnet at disse er hensiktsmessige for praktisk bruk. Terminologien bygger på retningslinjer 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 lokalisere 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. Hvis dette må gjøres i mange punkter blir akkumulasjonsmålingene en meget arbeidskrevende prosess.

Snøens tetthet måles bare i noen få punkter på breen og fortrinnsvis i forskjellige

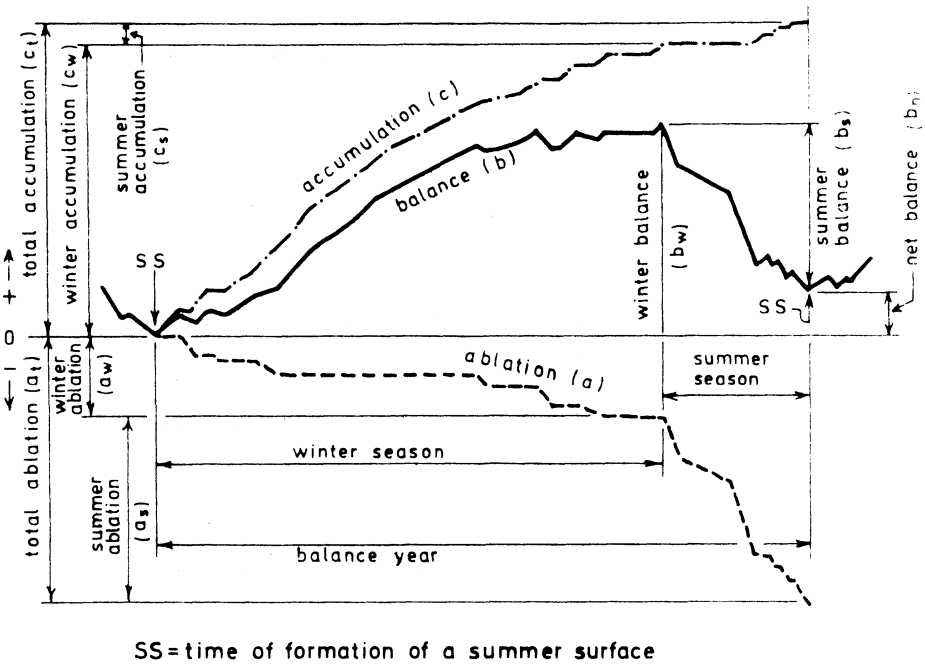



Fig. 2 Balansen i et punkt er vist som funksjon av tiden, og den terminologi som benyttes i det stratigrafiske system er angitt.

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.

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 man er nødt til å ta opp snøprøver med et kjernebor for å kunne foreta tetthetsbestemmelser.

Snøens vannverdi kan deretter bestemmes i en rekke punkter utover breflaten. Alle punktene plottes på et kart og deretter trekkes isolinjer gjennom punkter med lik vinterbalanse. Breens totale vinterbalanse ($B_w$) målt i $m^3$ vann og den spesifikke vannverdien ($b_w$) målt i m kan nå regnes ut ved å planimetrere dette kartet.

Som oftest vil det akkumulere endel snø på breen også etterat hovedmålingene er foretatt. Denne tilleggsakkumulasjonen kan enkelte ganger måles direkte ved målestedene, men vanligvis må den beregnes ut fra nedbør- og temperaturobservasjoner på meteorologiske stasjoner nær breen. I årets resultater er vinterbalansen angitt som balansen slik den ble målt ved hovedmålingene dersom ikke annet er nevnt i teksten. Sommerbalansen måles i utvalgte punkter på breen ved at de vertikale 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 fordi 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 tilstrekkelig nøyaktig bestemmelse 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 der 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 i 1977 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 presentatsjon av materialet er utført av cand.real. S.Messel.

Ellers er registrering av skydekke, vindretning og styrke, lufttemperatur, fuktighet og nedbør foretatt etter omtrent det samme mønster som tidligere år (se Pytte 1970).

Avløpet fra de breer der en har faste observatører, blir registrert med limnigrafer eller ved regelmessige vannstandsobservasjoner. Døgnavløpet er beregnet og satt inn i observasjonsdiagrammene sammen med de tilhørende meteorologiske observasjoner.

## Ålfotbreen

### Materialhusholdning

Ved besøk på breen 14.oktober 1976 hadde akkumulasjonen ennå ikke begynt. Det ble foretatt en grundig opprydning i stakenettet som ble redusert til 19 staker jevnt fordelt over breen. Neste besøk fant sted 15.desember. Det var da kommet vel 200 cm snø, og 16 staker ble funnet. De 3 forsvunne stakene var antagelig brutt ned av rimdannelse og vind. Ved neste besøk, den 9.februar, ble bare 6 staker funnet, delvis p.g.a. dårlig vær. Ved akkumulasjonsmålingene 20.-22.april ble 5 staker funnet og 3 nye staker ble utsatt. Snødypene ble målt med sondestang i 80 punkter langs profiler vist på fig. 3 og kontrollert mot de eksisterende staker og ved noen få kjerneboringer. Måling av snøens tetthet ble foretatt i snøsjakt ved stake 7.

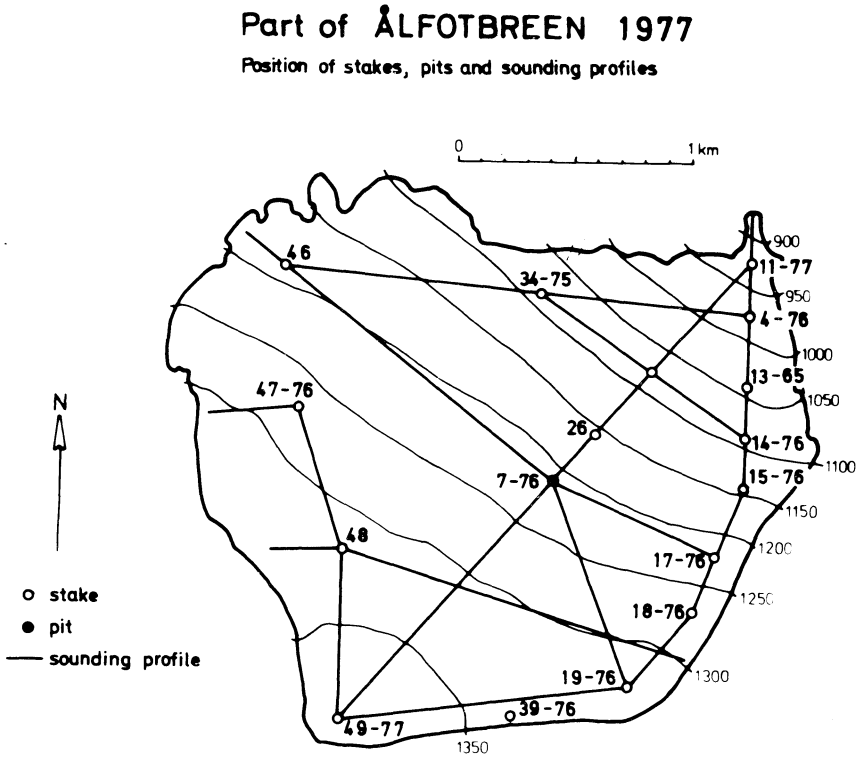



Fig. 3 Beliggenheten av staker, sjakt og sonderingsprofiler i 1977.
The location of stakes, pit and sounding profiles in 1977.

På dette grunnlaget ble det utarbeidet et vinterbalansekart som vist på fig. 4. Snødypet varierte fra ca. 420 cm til ca. 650 cm, og vinterbalansen ble beregnet til 11,2 · $10^6 m^3$ vann, noe som tilsvarer en vannmengde på 2,33 m jevnt fordelt over hele breflaten eller en avrenning på 74 l/s $km^2$ gjennom hele året. Dette er bare 66% av midlere vinterbalanse for de 15 år målingene på Ålfotbreen har foregått, og også den desidert laveste vinterbalanse som er målt på denne breen. Vi må helt tilbake til årene 1969 og 1970 for å finne tilnærmelsesvis like lave tall.

Sommersesongens målinger ble foretatt 10.juni, 12.juli, 30.juli, 27.august, 28. september og 30.oktober. Ved besøket i september var det kommet ca. 50 cm nysnø som imidlertid forsvant igjen, slik at målingen 30.oktober kunne regnes som avslutningsdato for årets ablasjonssesong. Sommeren som helhet var forholdsvis kjølig, og årets sommerbalanse var bare 87 % av middelet for 15 års målinger. Total sommerbalanse var 13,8 · $10^6 m^3$ vann som jevnt fordelt på breen gir et vannlag på 2,89 m eller en avrenning på 92 l/s $km^2$ for et helt år.

På tross av denne lave sommerbalansen var nesten hele breen snøfri, noe som selvsagt skyldtes den lave akkumulasjonen. Likevektslinjen lå litt over 1300 m o.h., og nettobalansen var negativ for første gang siden 1970. I alt tapte breen en masse som tilsvarer 2,6 · $10^6 m^3$ vann, eller en teoretisk nettosenkning av breover-

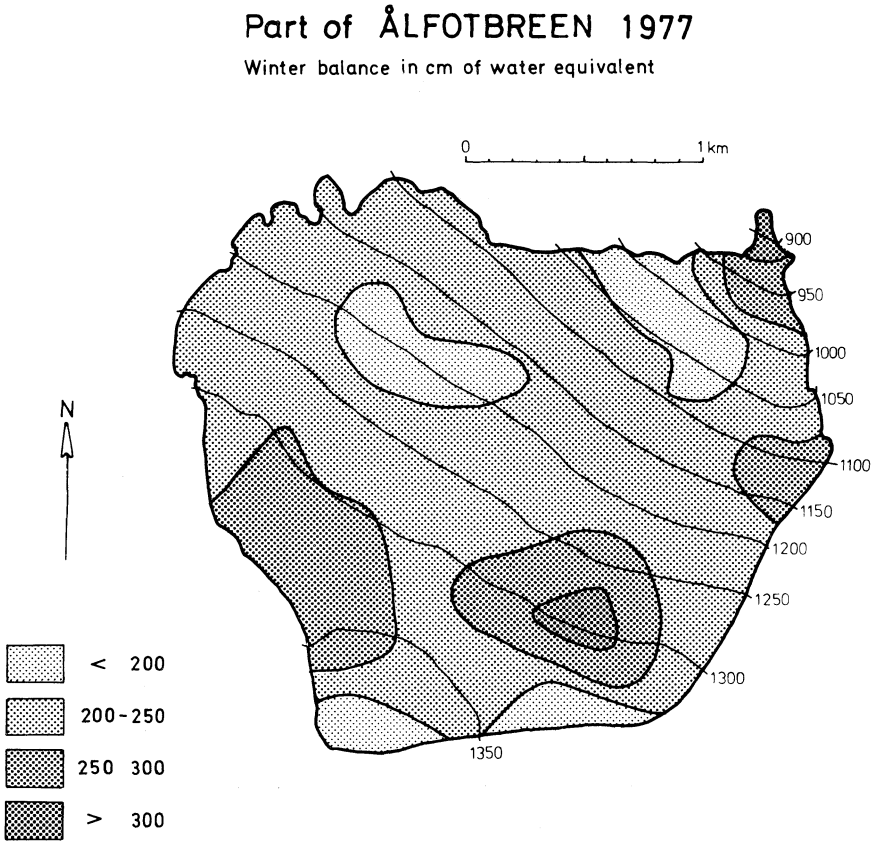



Fig. 4 Kart over vinterbalansen i 1977.

Map showing the winter balance in 1977.

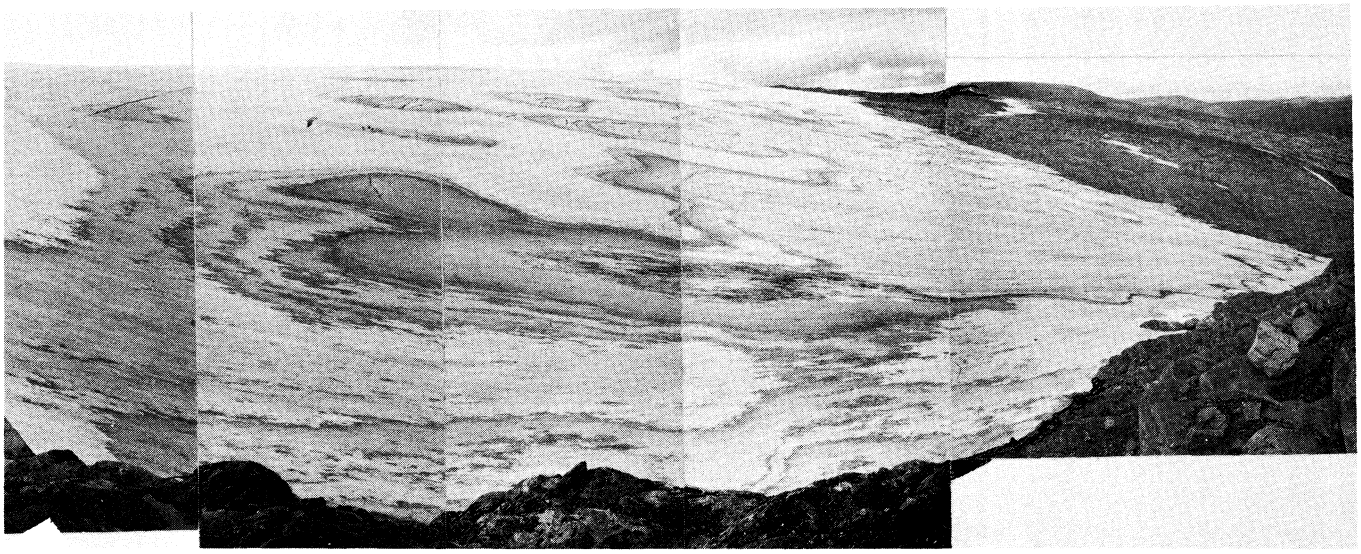


Fig. 5 Sommeren 1977 var det stor avsmeltning på Ålfotbreen. Ved slutten av ablasjonssesongen lå den temporære snøgrensen høyere enn den har ligget på mange år. Bildet er tatt 27.august.

During the summer 1977 the ablation was great, and at the end of the ablation season the transient snowline was higher than for many years. The photo was taken on August 27.

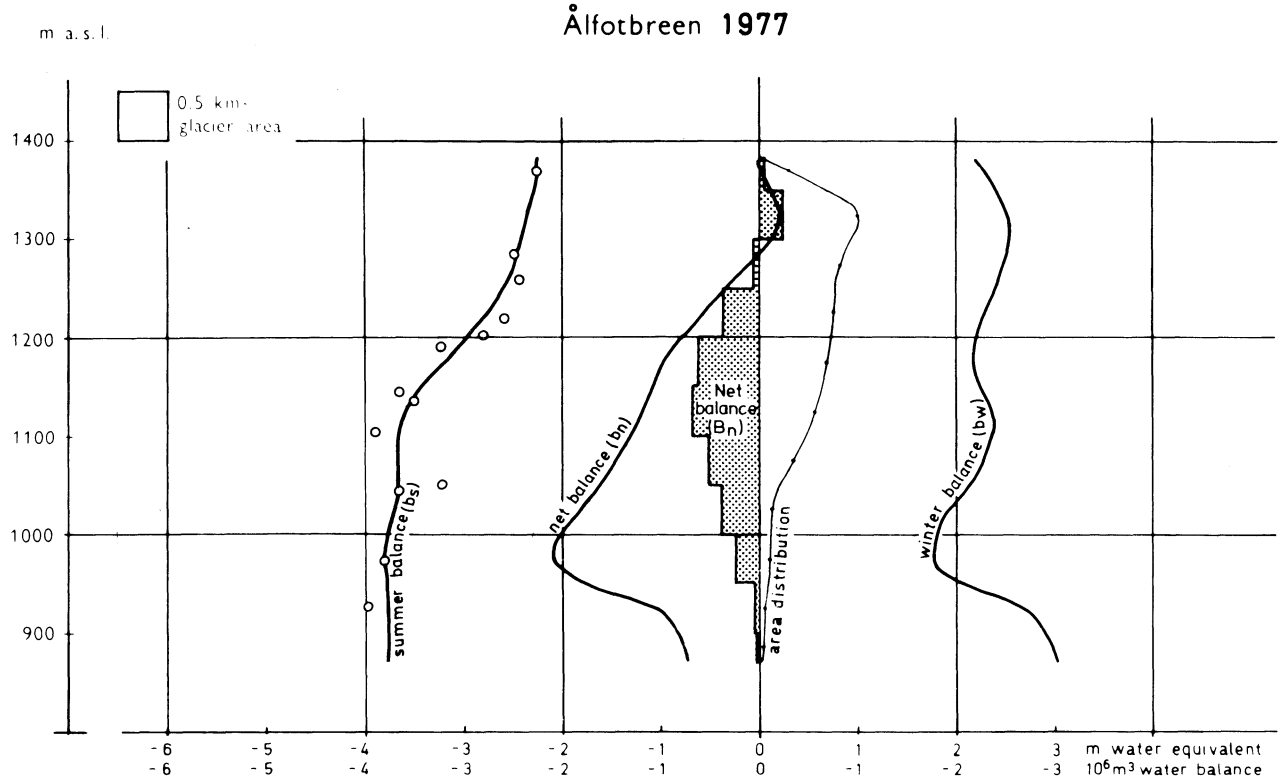



Fig. 6 Variasjonene av vinter-, sommer- og nettobalansen med høyden over havet, breens arealfordeling og arealverdier av nettobalansen i hvert 50 m høydeintervall.

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

ÅLFOTBREEN 1977

| Høyde intervall m o.h. | Areal S km² | Vinterbalanse $B_w$ $10^6 m^3$ | Vinterbalanse $b_w$ m | Vinterbalanse $b_w$ l/s km² | Sommerbalanse $B_s$ $10^6 m^3$ | Sommerbalanse $b_s$ m | Sommerbalanse $b_s$ l/s km² | Nettobalanse $B_n$ $10^6 m^3$ | Nettobalanse $b_n$ m | Nettobalanse $b_n$ l/s km² |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 1350-1378 | 0,245 | 0,562 | 2,29 | 73 | 0,551 | 2,25 | 71 | 0,011 | 0,04 | 1 |
| 1300-1350 | 1,029 | 2,628 | 2,55 | 81 | 2,418 | 2,35 | 75 | 0,210 | 0,20 | 6 |
| 1250-1300 | 0,801 | 1,957 | 2,44 | 77 | 1,985 | 2,48 | 79 | -0,028 | -0,04 | - 1 |
| 1200-1250 | 0,761 | 1,710 | 2,25 | 71 | 2,093 | 2,75 | 87 | -0,383 | -0,50 | -16 |
| 1150-1200 | 0,649 | 1,420 | 2,19 | 69 | 2,036 | 3,14 | 99 | -0,616 | -0,95 | -30 |
| 1100-1150 | 0,553 | 1,319 | 2,39 | 76 | 1,973 | 3,57 | 113 | -0,654 | -1,18 | -38 |
| 1050-1100 | 0,356 | 0,793 | 2,23 | 71 | 1,299 | 3,65 | 116 | -0,506 | -1,42 | -45 |
| 1000-1050 | 0,216 | 0,414 | 1,92 | 61 | 0,799 | 3,70 | 117 | -0,385 | -1,78 | -57 |
| 950-1000 | 0,125 | 0,218 | 1,74 | 55 | 0,475 | 3,80 | 120 | -0,257 | -2,06 | -65 |
| 900- 950 | 0,047 | 0,130 | 2,77 | 88 | 0,176 | 3,74 | 119 | -0,046 | -0,97 | -31 |
| 850- 900 | 0,004 | 0,012 | 3,00 | 95 | 0,015 | 3,75 | 119 | -0,003 | -0,75 | -24 |
| 850-1378 | 4,786 | 11,163 | 2,33 | 74 | 13,820 | 2,89 | 92 | -2,657 | -0,56 | -18 |

flaten med 0,56 m eller et tilskudd til det nedenforliggende vassdrag på 18 l/s $km^2$ utover årets nedbør.

Meteorologiske observasjoner

Det ble også i 1977 foretatt registrering av meteorologiske parametere ved hjelp av termograf, hygrograf og pluviograf. Instrumentene gikk stort sett en måned mellom hver kontroll, og ikke alle periodene ga like gode registreringer. Det har ikke vært mulig å få bearbeidet alle resultatene, og en presentasjon av disse må derfor foreløpig utstå.

## Blomsterskardbreen

### Materialhusholdningen

Blomsterskardbreens materialhusholdning er blitt målt med noe varierende metodikk siden vinteren 1969-70. En nærmere beskrivelse av breen og dens materialhusholdning for perioden 1970-76 er gitt av Tvede og Liestøl (1977). De glasiologiske årsrapportene gir også informasjon om utført arbeid og resultater for hvert enkelt år.

I 1977 ble breen besøkt 21.november. Det var da kommet 1,5 - 2,0 m nysnø i høydenivået 1300 - 1400 m o.h. To staker ble funnet. Dette var staker som ikke var synlige i 1976, men som må ha smeltet fram igjen i løpet av sommeren 1977. Nettobalansen for perioden 10.oktober 1975 - 21.november 1977 kunne derfor beregnes for disse to stakene. Ved å bruke disse verdiene og tilpasse en antatt nettobalansekurve for hele breen kunne så summen av den midlere spesifikke nettobalanse ($b_n$) for de to årene beregnes. Denne ble 0,00 m.

For balanseåret 1975-76 er $b_n$ tidligere beregnet til +1,40 m på grunnlag av snøgrensens beliggenhet 21.september 1976. Om vi holder fast ved denne verdien, må $b_n$ for balanseåret 1976-77 ha vært -1,40 m. Som beskrevet annetsteds i denne rapporten, er $b_n$ på Bondhusbreen, like nord for Blomsterskardbreen, beregnet til -1,00 m for 1976-77. Det synes derfor som om $b_n$-verdien for Blomsterskardbreen kan være noe for negativ. Forskjellen er likevel ikke større enn hva en tidligere har kunnet registrere ved målinger på andre par av nabobreer.

I alle fall er balanseåret 1976-77 det første året med et markert underskudd i materialhusholdningen siden målingene startet på Blomsterskardbreen. Dette skyldes en meget beskjeden vinternedbør, iflg. snøakkumuleringskartet fra Meteorologisk Institutt var den bare ca. 50% av det normale fram til 1.mai. Sommertemperaturen var nær eller litt under det normale.

Kumulativ spesifikk nettobalanse fra høsten 1969 til høsten 1977 er +4,9 m vann

eller gjennomsnittlig +0,61 m pr.år.

Bondhusbreen

I forbindelse med forsøkene på å nyttiggjøre subglasiale vannveier i kraftproduksjonen er det gjort en rekke forskjellige undersøkelser på Bondhusbreen. I denne forbindelse er det også satt igang forholdsvis enkle målinger av materialbalansen, som omtalt nedenfor. Øvrige undersøkelser er omtalt av Hagen (1977) og på s. 42 i foreliggende rapport.

Materialhusholdning

Sommeren 1976 ble det satt igang massebalansemålinger med hovedvekten på ablasjonsmålingene, og det ble satt ut 10 målestaker i området fra 1100 m o.h. til 1600 m o.h. Kartet i målestokk 1:20 000 er laget etter luftfoto fra 1950, og det er lite egnet som grunnlag for undersøkelsene særskilt fordi avgrensningen av dreneringsområdet er svært vanskelig. Med den avgrensning som nå er valgt, blir breens totale areal 10,16 $km^2$, men da er den del av breen som drenerer mot Holmavatn ikke medregnet. Breområdene nedenfor 1100 m o.h. er svært oppsprukket og bratte, så her er direkte målinger praktisk talt umulig.

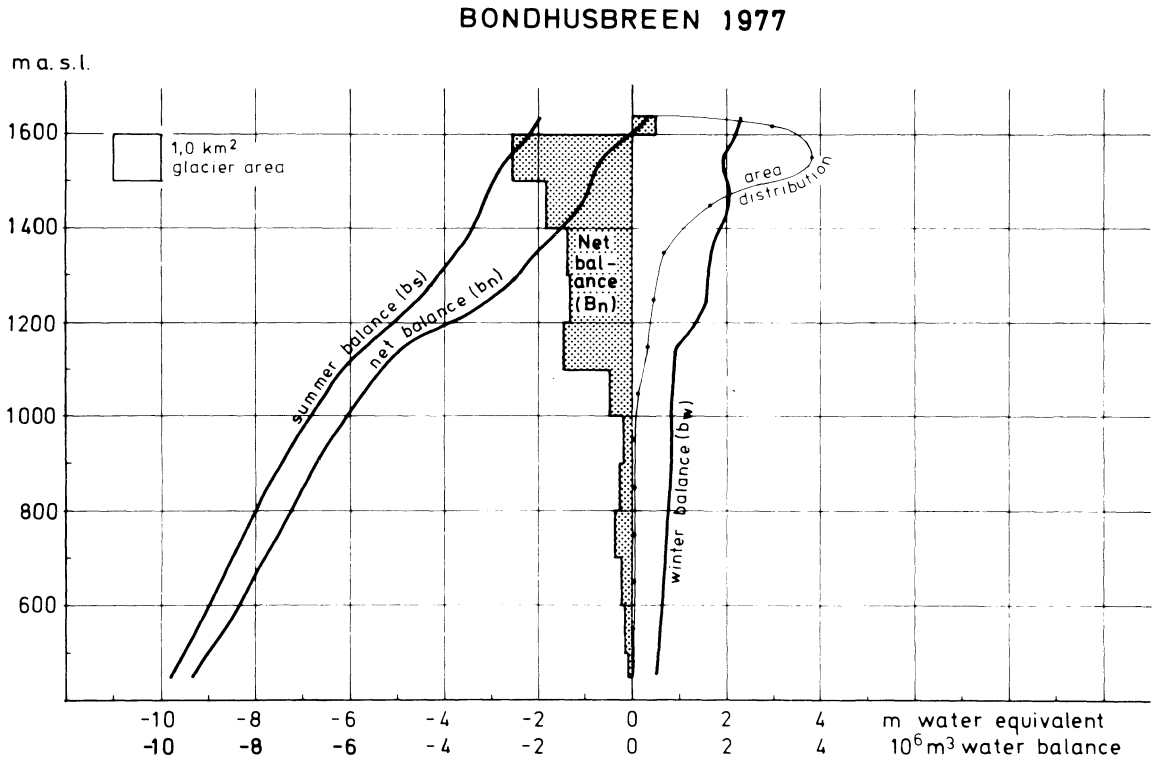



Fig. 7 Variasjonene av vinter-, sommer- og nettobalansen med høyden over havet, breens arealfordeling og arealverdier av nettobalansen i hvert 100 m høydeintervall.

Winter, summer and net balance in relation to elevation, glacier area distribution and net balance for every 100 m height interval.

Vinterbalansen ble målt den 11.mai med sondering av snødypet i 120 punkter over hele breen ovenfor 1200 m o.h. og med tetthetsprøver fra 1500 m o.h. Nedenfor 1200 m o.h. er snømengdene anslått etter noen få observasjoner og beste skjønn. Total vinterbalanse er beregnet til 19,9 · $10^6 m^3$ vann, tilsvarende et vannlag på 1,96 m over hele breflaten eller 62 l/s $km^2$ for hele året.

Ablasjonen er målt på stakene ved en rekke besøk i løpet av sommeren. Nedenfor 1100 m o.h. er ablasjonen anslått etter erfaring fra målinger i tilsvarende nivåer bl.a. på Nigardsbreen. Arealet i disse lavereliggende høydenivåer utgjør bare ca. 2,5% av totalarealet, slik at en eventuell feilbedømmelse vil ha liten innvirkning på det endelige resultat. Sommerbalansen ble beregnet til 30,1 · $10^6 m^3$ vann, tilsvarende et vannlag på 2,96 m over hele breen eller 94 l/s $km^2$ for hele året.

Nettobalansen for 1977 viser dermed et underskudd på hele 10,1 · $10^6 m^3$ vann. Dette er vann som er tatt fra breens mangeårige magasin og tilsvarer teoretisk en senkning av hele breflaten på vel 1 meter. Det betyr også at vassdraget nedenfor i løpet av året fikk 32 l/s $km^2$ større spesifikk avrenning enn det skulle hatt uten breen i nedslagsfeltet.

B O N D H U S B R E E N  1 9 7 7

| 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 $km^2$ |
| 1600-1635 | 2.96 | 6.630 | 2.24 | 71 | 6.165 | 2.08 | 66 | 0.465 | 0.16 | 5 |
| 1500-1600 | 3.81 | 7.544 | 1.98 | 63 | 10.135 | 2.66 | 84 | -2.591 | -0.68 | - 22 |
| 1400-1500 | 1.68 | 3.461 | 2.06 | 65 | 5.309 | 3.16 | 100 | -1.848 | -1.10 | - 35 |
| 1300-1400 | 0.69 | 1.139 | 1.65 | 52 | 2.567 | 3.72 | 118 | -1.428 | -2.07 | - 66 |
| 1200-1300 | 0.45 | 0.689 | 1.53 | 49 | 2.066 | 4,59 | 146 | -1.377 | -3.06 | - 97 |
| 1100-1200 | 0.30 | 0.270 | 0.90 | 29 | 1.722 | 5.74 | 182 | -1.452 | -4.84 | -153 |
| 1000-1100 | 0.09 | 0.072 | 0.80 | 25 | 0.585 | 6.50 | 206 | -0.513 | -5.70 | -181 |
| 900-1000 | 0.03 | 0.023 | 0.77 | 24 | 0.225 | 7.50 | 238 | -0.202 | -6.73 | -214 |
| 800- 900 | 0.04 | 0.030 | 0.75 | 24 | 0.320 | 8.00 | 254 | -0.290 | -7.25 | -230 |
| 700- 800 | 0.05 | 0.035 | 0.70 | 22 | 0.425 | 8.50 | 269 | -0.390 | -7.80 | -247 |
| 600- 700 | 0.03 | 0.020 | 0.65 | 21 | 0.270 | 9.00 | 285 | -0.250 | -8.35 | -264 |
| 500- 600 | 0.02 | 0.012 | 0.60 | 19 | 0.190 | 9.50 | 301 | -0.178 | -8.90 | -282 |
| 450- 500 | 0.01 | 0.005 | 0.50 | 16 | 0.100 | 10.00 | 317 | -0.095 | -9.50 | -301 |
| 450-1635 | 10.16 | 19.930 | 1.96 | 62 | 30.079 | 2.96 | 94 | -10.149 | -1.00 | - 32 |

## Nigardsbreen

### Materialhusholdning

Som ellers i Vest-Norge var vinteren svært nedbørfattig. Det var således bare nødvendig med to besøk på breen, henholdsvis 15.november og 26.januar, før akkumulasjonsmålingene 24.-25.april. Bare et fåtall av stakene var blitt borte i løpet av vinteren, og det var lett å måle snødypene ved sondering. Sonderingene ble utført for hver 200 m langs profilene som vist på fig. 8. Snødypene varierte stort sett fra ca. 300 cm til ca. 450 cm. Tetthetsprøver av snøen ble tatt ved stakene 56 og 51, samt helt nede på bretungen. Etter planimetrering av vinterbalansekartet ble den totale vinterbalansen beregnet til 73,2 · $10^6 m^3$ vann eller 1,52 m jevnt fordelt over breflaten. Dette er bare 66% av middelet i perioden 1962-76, og er dessuten den desidert laveste vinterbalanse som er målt på Nigardsbreen.

For første gang var feltstasjonen på Steinmannen ikke fast bemannet i sommerse-

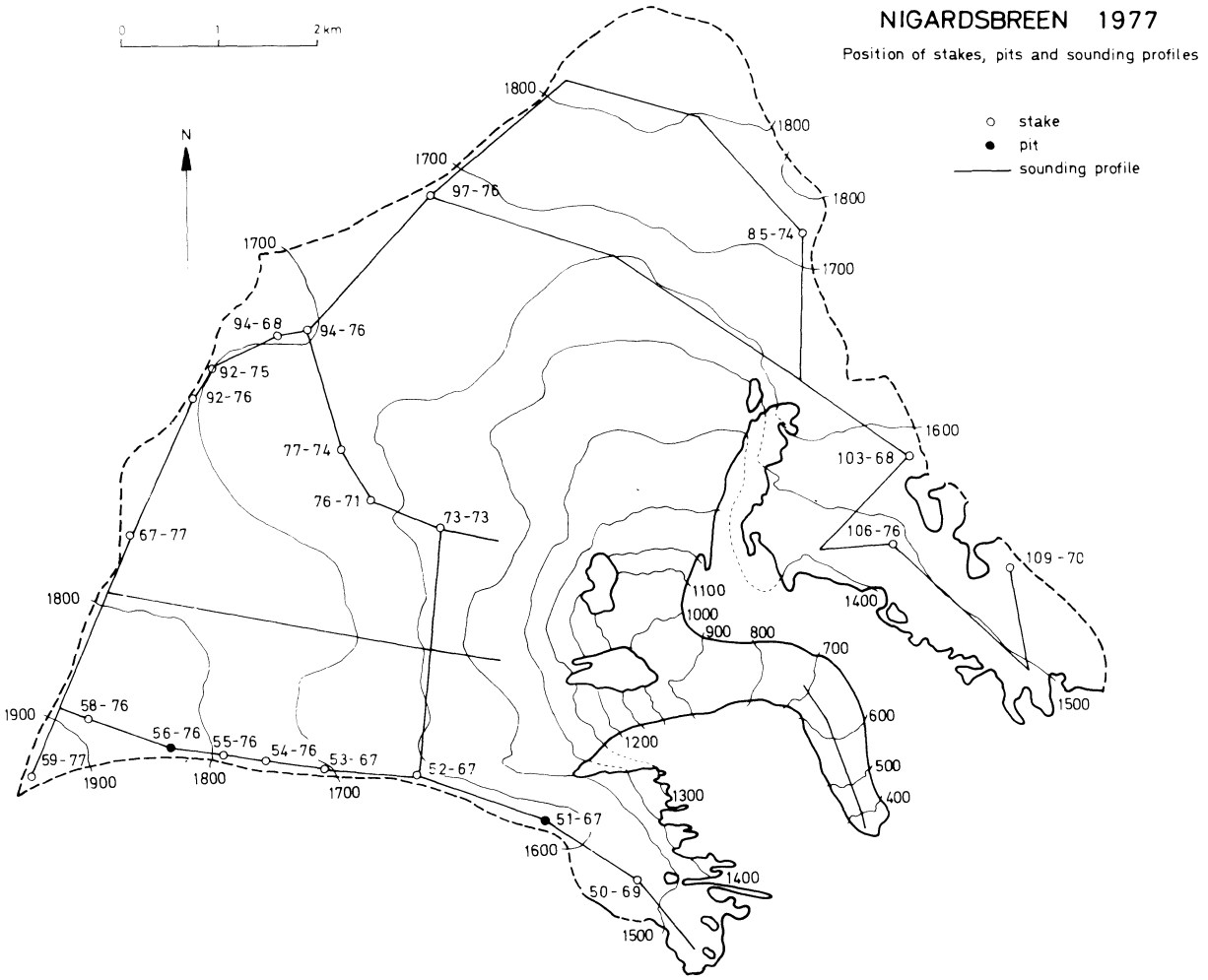



Fig. 8 Beliggenheten av staker, sjakter og sonderingsprofiler i 1977.
The location of stakes, pits and sounding profiles in 1977.

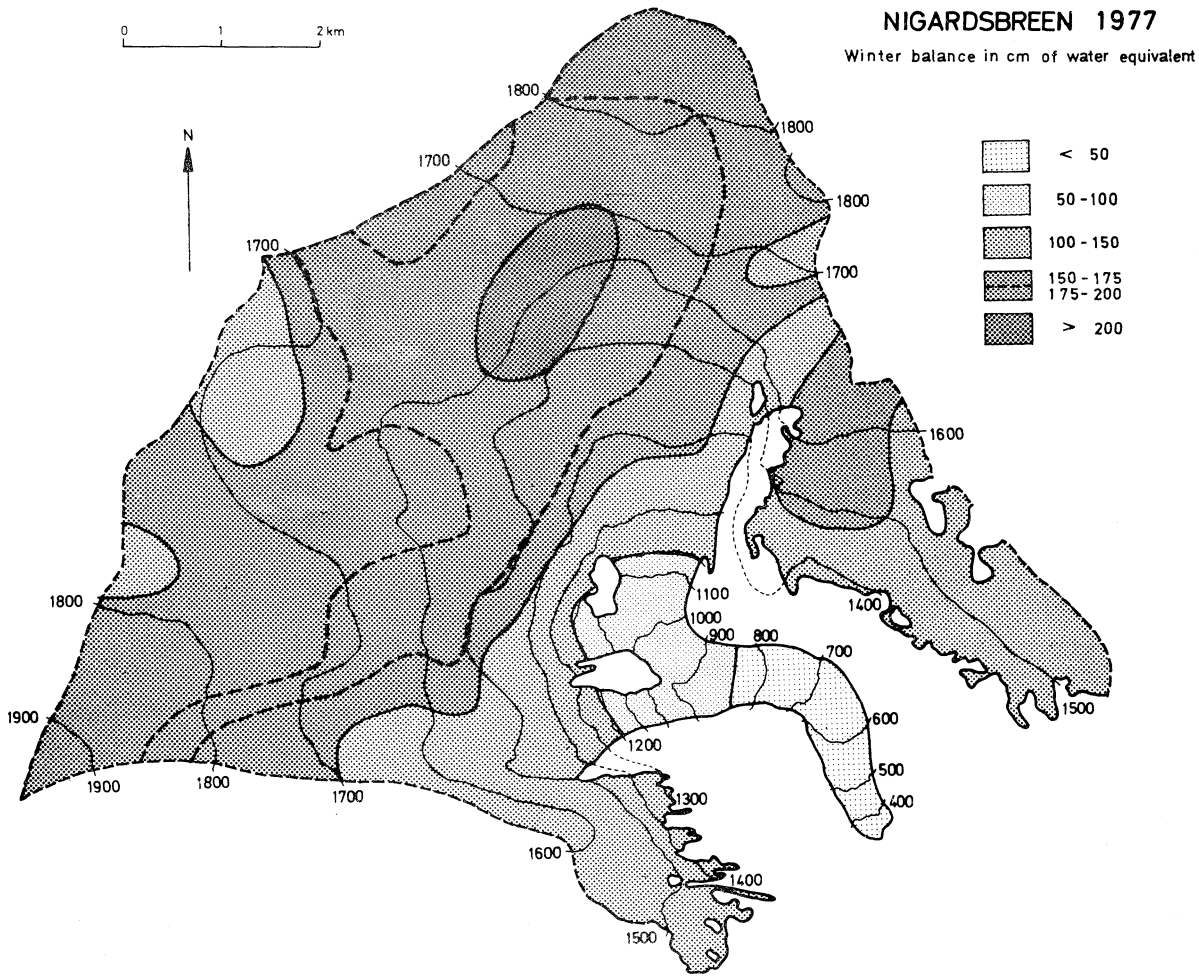



Fig. 9 Kart over vinterbalansen i 1977.
Map showing the winter balance in 1977.

songen. Stakene ble målt ved besøk 15.juni, 16.juli og 31.august. Minimumsmåling ble foretatt den 5.november, etter at ny akkumulasjonssesong for lengst hadde startet. Ablasjonen hadde vært noe større enn normalt, og en total sommerbalanse på 110,6 · $10^6 m^3$ vann tilsvarer omtrent 122% av middelet for perioden 1962-76. Dette utgjør en spesifikk vannverdi på 2,29 m eller en årlig avrenning på 73 l/s $km^2$.

Med så liten akkumulasjon ble selvsagt nettoresultatet en negativ balanse på 37,3 · $10^6 m^3$ vann. Dette utgjør et vannlag på 77 cm over hele breen eller et ekstra tilskudd til vassdraget på 25 l/s $km^2$ på årsbasis. Likevektslinjen ble liggende på 1650 m o.h., og 1977 var første negative år siden 1972 på Nigardsbreen. Dette reduserte den masseøkning som er målt siden 1962 til 5,6 m vann jevnt fordelt over hele breflaten.

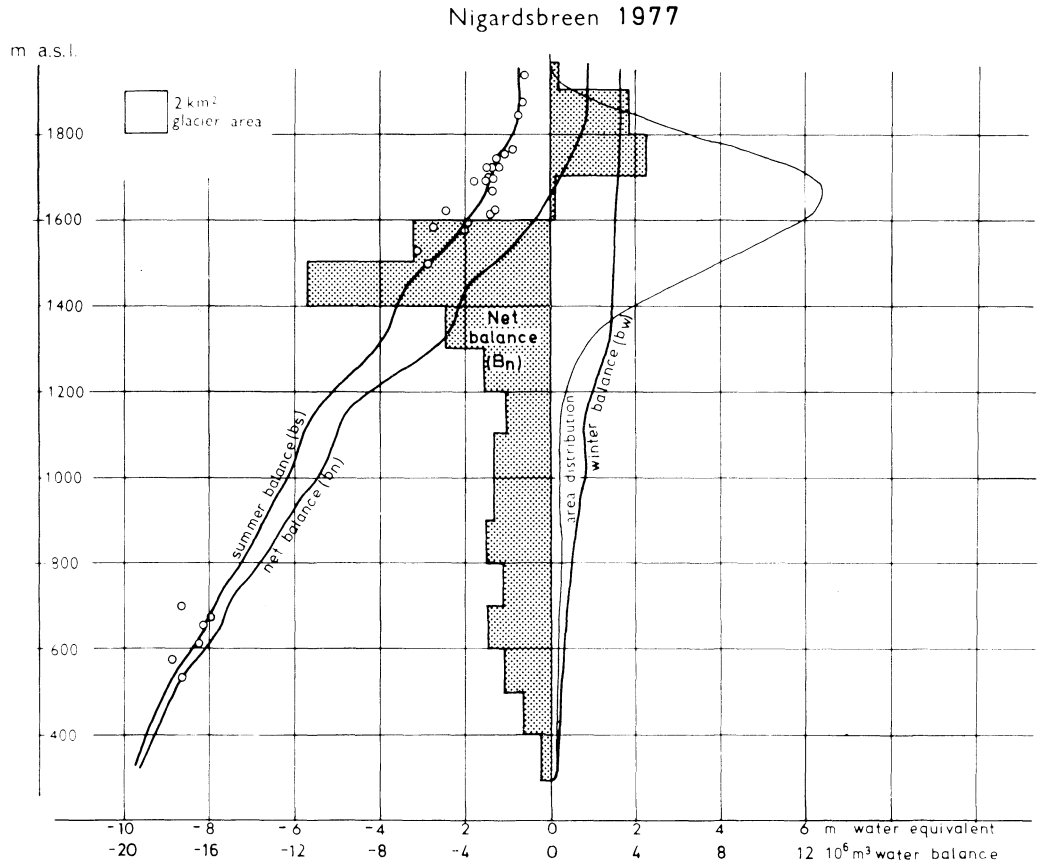



Fig. 10 Variasjonene av vinter-, sommer- og nettobalansen med høyden over havet, samt breens arealfordeling og arealverdier av nettobalansen i hvert 100 m høydeintervall.

Winter, summer and net balance in relation to elevation, glacier area distribution and net balance for every 100 m height interval.

Meteorologiske observasjoner

Siden feltstasjonen på Steinmannen ikke var bemannet, ble det meteorologiske måleprogrammet sterkt redusert. Temperatur, fuktighet, nedbør og stråling ble registrert på instrumenter som ble kontrollert en gang pr.uke. Dette medførte en rekke brudd i måleseriene, og særlig nedbørmålinene er så dårlige at det ikke har noen hensikt å presentere dem her. For perioden 16. juni til 31. august ble det registrert temperatur i 68 døgn og luftfuktighet i 58 døgn.

Middeltemperaturen for sesongen (68 døgn) var 3,7°C, det er 0,2° lavere enn

Fig. 11 Resultater fra de daglige temperatur- og luftfuktighetsmålingene på Nigardsbreen (1633 m o.h.) og temperaturmålingene fra Bjørkehaug i Jostedalen, samt daglig avløp ved limnigrafen i Nigardsvatn.

Diagram showing the daily observations of temperature and humidity on Nigardsbreen (1633 m a.s.l.), temperature at Bjørkehaug, Jostedalen, and the daily discharge at the water gauge in the lake Nigardsvatn.

NIGARDSBREEN 1977

| Høyde intervall m o.h. | Areal S $km^2$ | Vinterbalanse $B_w$ $10^6 m^3$ | $b_w$ m | $b_w$ l/s $km^2$ | Sommerbalanse $B_s$ $10^6 m^3$ | $b_s$ m | $b_s$ l/s $km^2$ | Nettobalanse $B_n$ $10^6 m^3$ | $b_n$ m | $b_n$ l/s $km^2$ |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 1900-1953 | 0,31 | 0,518 | 1,67 | 53 | 0,233 | 0,75 | 24 | 0,285 | 0,92 | 29 |
| 1800-1900 | 3,93 | 16,526 | 1,66 | 53 | 2,896 | 0,74 | 23 | 3,630 | 0,92 | 28 |
| 1700-1800 | 9,35 | 15,454 | 1,65 | 52 | 10,906 | 1,17 | 37 | 4,548 | 0,48 | 15 |
| 1600-1700 | 12,76 | 20,144 | 1,58 | 50 | 20,040 | 1,57 | 50 | 0,104 | 0,01 | 0 |
| 1500-1600 | 9,62 | 15,412 | 1,60 | 51 | 21,985 | 2,29 | 72 | - 6,573 | -0,69 | - 21 |
| 1400-1500 | 6,12 | 9,313 | 1,52 | 48 | 20,910 | 3,42 | 108 | -11,597 | -1,90 | - 60 |
| 1300-1400 | 2,18 | 3,113 | 1,43 | 45 | 8,020 | 3,68 | 117 | - 4,907 | -2,25 | - 72 |
| 1200-1300 | 0,88 | 1,013 | 1,15 | 37 | 4,065 | 4,62 | 146 | - 3,052 | -3,47 | -109 |
| 1100-1200 | 0,44 | 0,357 | 0,81 | 26 | 2,475 | 5,63 | 178 | - 2,118 | -4,82 | -152 |
| 1000-1100 | 0,54 | 0,459 | 0,85 | 27 | 3,215 | 5,95 | 189 | - 2,756 | -5,10 | -162 |
| 900-1000 | 0,45 | 0,293 | 0,65 | 21 | 2,925 | 6,50 | 206 | - 2,632 | -5,85 | -185 |
| 800- 900 | 0,47 | 0,258 | 0,55 | 17 | 3,265 | 6,95 | 220 | - 3,007 | -6,40 | -203 |
| 700- 800 | 0,31 | 0,140 | 0,45 | 14 | 2,390 | 7,71 | 244 | - 2,250 | -7,26 | -230 |
| 600- 700 | 0,38 | 0,141 | 0,37 | 12 | 3,075 | 8,09 | 257 | - 2,934 | -7,72 | -245 |
| 500- 600 | 0,26 | 0,070 | 0,27 | 9 | 2,295 | 8,83 | 280 | - 2,225 | -8,56 | -271 |
| 400- 500 | 0,14 | 0,024 | 0,17 | 5 | 1,295 | 9,25 | 293 | - 1,271 | -9,08 | -288 |
| 300- 400 | 0,06 | 0,009 | 0,15 | 5 | 0,579 | 9,65 | 306 | - 0,570 | -9,50 | -301 |
| 300-1953 | 48,20 | 73,244 | 1,52 | 48 | 110,569 | 2,29 | 73 | -37,325 | -0,77 | - 25 |

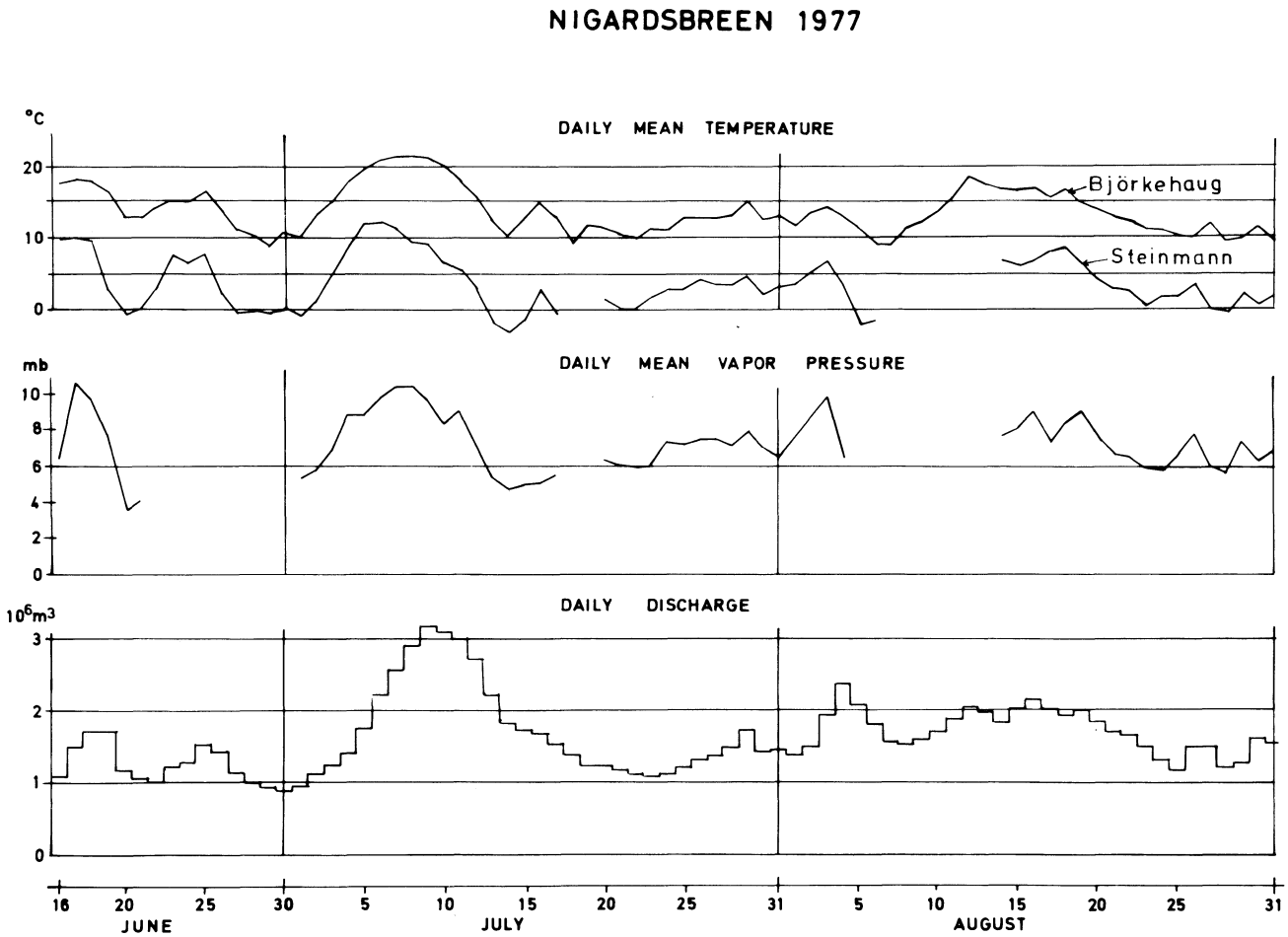



Fig. 11.

gjennomsnittet for perioden 1965-76. Midlere vanndamptrykk for 58 døgn var 7,2 mb. Målingene av lufttemperatur og fuktighet er presentert sammen med avrenningstall fra Nigardsvatn i fig. 11.

Avrenning

Fra 1.juni til 1.september passerte ialt 132 · $10^6 m^3$ vann forbi limnigrafen ved utløpet av Nigardsvatn. Dette fordelte seg med 25 · $10^6 m^3$ i juni, 53 · $10^6 m^3$ i juli og 54 · $10^6 m^3$ i august. Største døgnavløp ble målt den 9.juli med 3,14 · $10^6 m^3$ vann, mens midlere avløp var 1,4 · $10^6 m^3$ vann pr.døgn.

Hardangerjøkulen

Materialhusholdning

Målingene foretas av Norsk Polarinstitutt på Rembesdalsskåkji, som er en vestlig utløper av Hardangerjøkulen. I likhet med resten av de vestlige fjelltrakter hadde også denne breen unormalt liten akkumulasjon med en spesifikk vinterbalanse på bare 1,20 m. Sommerbalansen ble beregnet til 1,92 m, og nettoresultatet ble altså negativt, nemlig -0,72 m vann jevnt fordelt over breflaten. For ytterligere opplysninger se Liestøl (1978).

Storbreen

Materialhusholdning

Storbreen i Jotunheimen har vært målt av Norsk Polarinstitutt siden 1948, og er den bre i Norge som har den lengste serie av massebalansemålinger (og den nest lengste i verden). Også her var akkumulasjonen liten, vinterbalansen tilsvarte kun 0,94 m vann. Sommerbalansen var 1,48 m, og resultatet ble en negativ nettobalanse på 0,54 m vann. Undersøkelsene på Storbreen er nærmere beskrevet av Liestøl (1978).

Hellstugubreen

Materialhusholdning

I løpet av vintersesongen ble breen bare besøkt den 22.februar. Stakene sto bra, og det var bare nødvendig å skjøte et fåtall av dem. Ved akkumulasjonsmålingene den 3.mai ble hele 27 staker funnet. Dessuten ble det foretatt sonderinger av snødypet for hver 100 m langs profiler vist på fig. 12, og snøens tetthet ble målt ved 1630 m o.h. og ved 1960 m o.h. Akkumulasjonen var uvanlig liten, og vinterbalansen ble den laveste som er målt siden undersøkelsene begynte i 1963. Totalt beløp den seg til 2,3 · $10^6 m^3$, som tilsvarer et vannlag over hele breen på 0,68 m. Dette er 64% av middelet for 15 års undersøkelser.

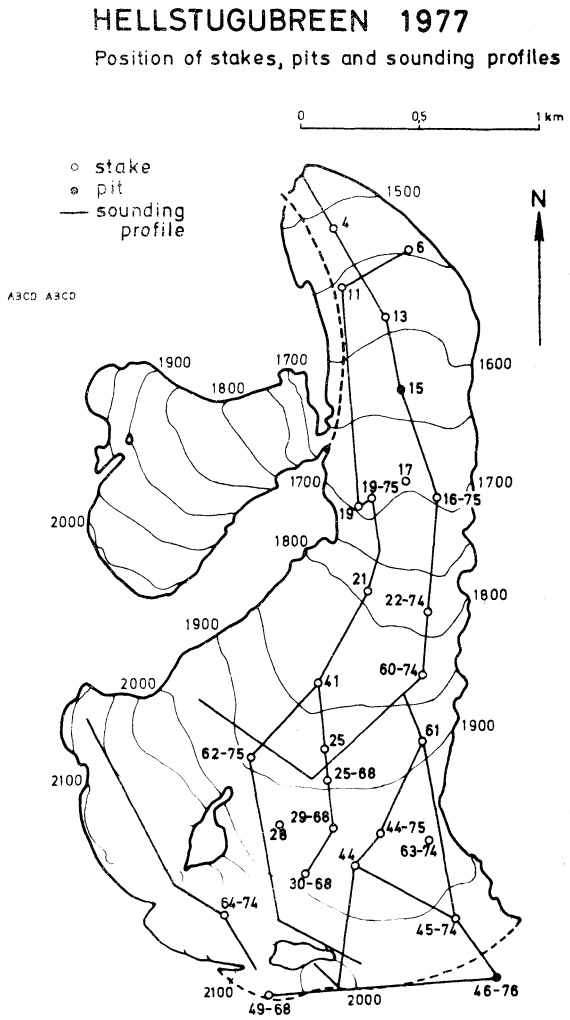



Fig. 12 Beliggenheten av staker, sjakter og sonderingsprofiler i 1977.

The location of stakes, pits and sounding profiles in 1977.

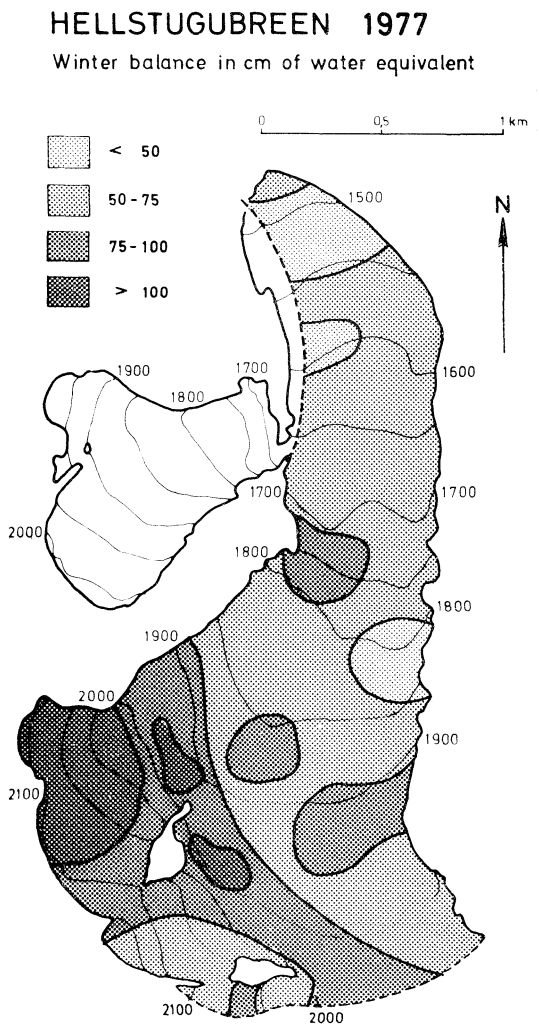



Fig. 13 Kart over vinterbalansen i 1977.

Map showing the winter balance in 1977.

Ablasjonen ble målt og stakenettet revidert ved besøk den 14.juli og den 25.september. Etter en normal sommer med ablasjon nær middelet for undersøkelsesperioden ble likevel likevektslinjen liggende på over 2050 m o.h., p.g.a. den lave vinterbalansen. Årets sommerbalanse ble beregnet til 4,6 · $10^6 m^3$ vann, tilsvarende et 1,4 m tykt vannlag over hele breen eller en årlig avrenning på 45 l/s $km^2$.

Nettobalansen ble -2,4 · $10^6 m^3$ vann, eller 0,72 m jevnt fordelt over hele breen. Dette er samme massetap som breen hadde i 1976, og 1977 blir herved det 12.året med negativ balanse i perioden 1963-1977. Totalt tilsvarer massetapet siden 1963 et 5,8 meter tykt vannlag over hele breen. Det vil også si at vassdraget har fått en midlere ekstra vanntilførsel på 1,27 · $10^6 m^3$ vann pr.år regnet i forhold til vassføringen fra et brefritt område.

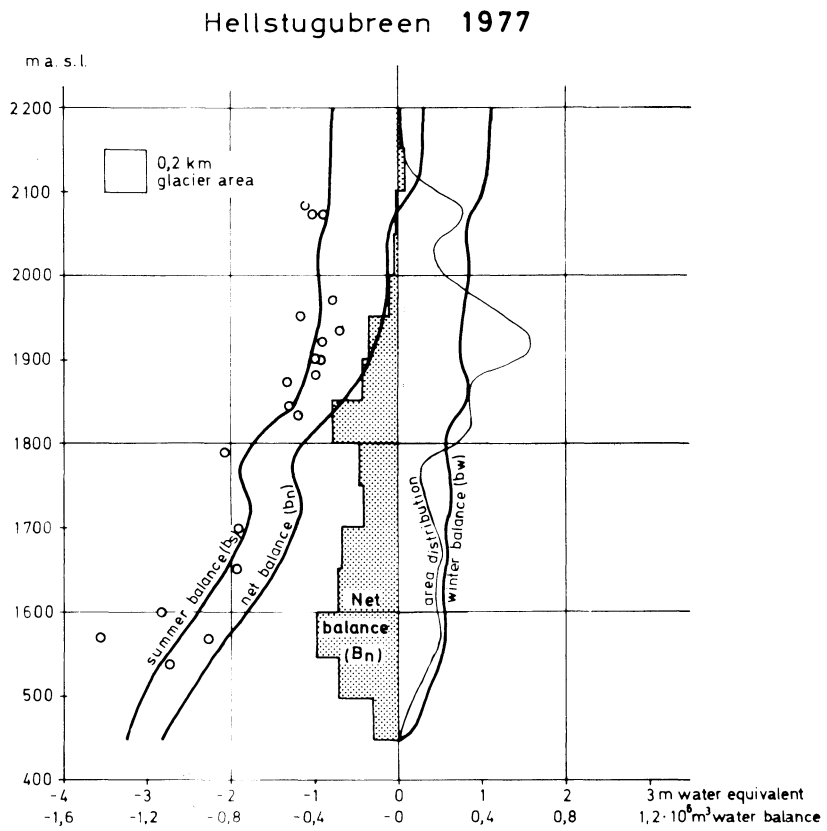



Fig. 14 Variasjonene med høyden over havet av vinter-, sommer- og nettobalansen, breens arealfordeling og arealverdier av nettobalansen i hvert 50 m høydeintervall.

Winter, summer and net balance in relation to elevation. Glacier area distribution and net balance for every 50 m height interval are also shown.

HELLSTUGUBREEN 1977

| Høyde intervall m o.h. | Areal S $km^2$ | Vinterbalanse $B_w$ $10^6 m^3$ | $b_w$ m | $b_w$ l/s $km^2$ | Sommerbalanse $B_s$ $10^6 m^3$ | $b_s$ m | $b_s$ l/s $km^2$ | Nettobalanse $B_n$ $10^6 m^3$ | $b_n$ m | $b_n$ l/s $km^2$ |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 2150-2200 | 0,021 | 0,023 | 1,10 | 35 | 0,017 | 0,80 | 26 | 0,006 | 0,29 | 9 |
| 2100-2150 | 0,088 | 0,096 | 1,09 | 35 | 0,070 | 0,80 | 25 | 0,026 | 0,30 | 9 |
| 2050-2100 | 0,301 | 0,254 | 0,84 | 27 | 0,258 | 0,86 | 27 | -0,004 | -0,01 | 0 |
| 2000-2050 | 0,159 | 0,133 | 0,84 | 27 | 0,151 | 0,95 | 30 | -0,018 | -0,11 | - 4 |
| 1950-2000 | 0,362 | 0,291 | 0,80 | 25 | 0,332 | 0,92 | 29 | -0,041 | -0,11 | - 4 |
| 1900-1950 | 0,605 | 0,444 | 0,73 | 23 | 0,587 | 0,97 | 31 | -0,143 | -0,24 | - 8 |
| 1850-1900 | 0,368 | 0,232 | 0,88 | 20 | 0,401 | 1,09 | 35 | -0,169 | -0,46 | -15 |
| 1800-1850 | 0,348 | 0,204 | 0,59 | 19 | 0,516 | 1,48 | 47 | -0,312 | -0,90 | -28 |
| 1750-1800 | 0,149 | 0,094 | 0,63 | 20 | 0,280 | 1,88 | 60 | -0,186 | -1,25 | -40 |
| 1700-1750 | 0,146 | 0,088 | 0,60 | 19 | 0,255 | 1,75 | 55 | -0,167 | -1,14 | -36 |
| 1650-1700 | 0,213 | 0,127 | 0,60 | 19 | 0,405 | 1,90 | 60 | -0,278 | -1,31 | -41 |
| 1600-1650 | 0,182 | 0,099 | 0,54 | 17 | 0,392 | 2,15 | 68 | -0,293 | -1,61 | -51 |
| 1550-1600 | 0,196 | 0,105 | 0,54 | 17 | 0,495 | 2,53 | 80 | -0,390 | -1,99 | -63 |
| 1500-1550 | 0,110 | 0,040 | 0,36 | 12 | 0,322 | 2,93 | 93 | -0,282 | -2,56 | -81 |
| 1450-1500 | 0,045 | 0,021 | 0,47 | 15 | 0,140 | 3,11 | 99 | -0,119 | -2,64 | -84 |
| 1450-2200 | 3,293 | 2,250 | 0,68 | 21 | 4,621 | 1,40 | 45 | -2,371 | -0,72 | -23 |

## Gråsubreen

### Materialhusholdning

I vintersesongen ble Gråsubreen bare besøkt 24.februar før akkumulasjonsmålingen fant sted 5.mai. Også her var det mindre snø enn vanlig, og sondering av snødypene gikk uten vanskeligheter. Hele stakenettet var dessuten intakt. Vinterbalansen ble 1,3 · $10^6 m^3$ vann som tilsvarer et vannlag på 0,51 m over hele breflaten eller en årlig avrenning på 16 l/s $km^2$. Dette er 73% av gjennomsnittlig vinterbalanse for perioden 1963-76.

Ablasjonen ble målt 16.juli og 24.september. Ved disse besøkene viste det seg at flere staker var brukket eller fjernet slik at det ble vanskelig å beregne en korrekt sommerbalanse. Ødeleggelsen av stakene er antagelig gjort av mennesker eller reinsdyr. Også tidligere har vi vært plaget av uforklarlige uregelmessigheter på Gråsubreen, og det er antagelig nødvendig med hyppigere besøk i fremtiden for å få tilfredsstillende målinger.

Beregningen av sommerbalansen viste at denne var ca. 2,3 · $10^6 m^3$ vann tilsvarende en årlig avrenning på 28 l/s $km^2$ eller et jevnt vannlag på 0,91 m. Dette var 85% av gjennomsnittlig sommerbalanse for perioden 1963-76. Nettobalansen ble dermed -1,0 · $10^6 m^3$ (eller tilsvarende et vannlag på 0,40 m), og vassdraget fikk på årsbasis en ekstra vanntilførsel på 12 l/s $km^2$.

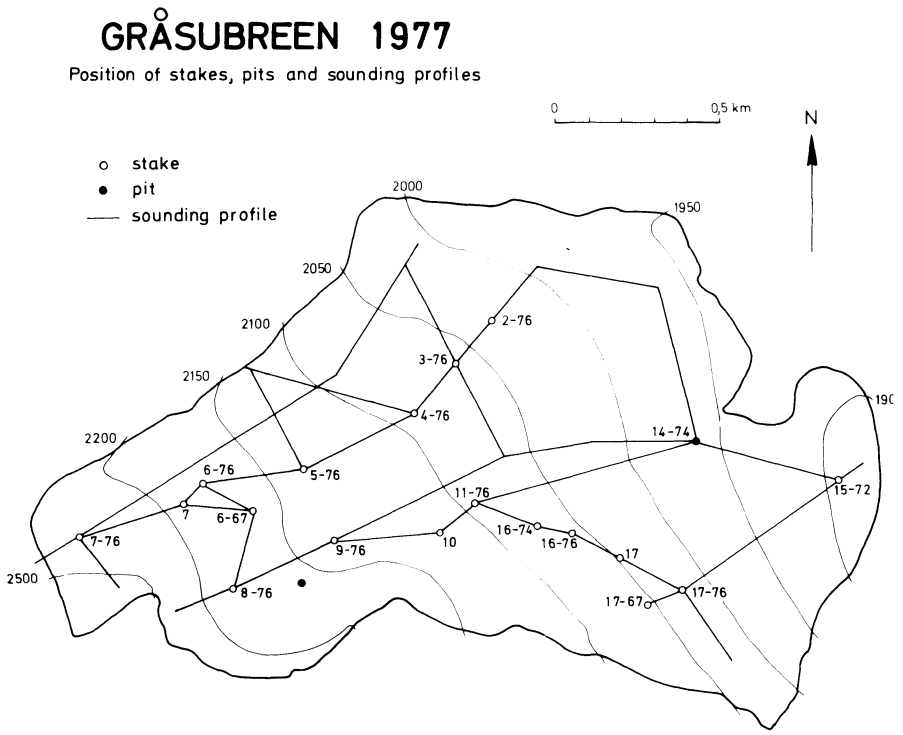



Fig. 15 Beliggenheten av staker, sjakter og sonderingsprofiler i 1977.
The location of stakes, pits and sounding profiles in 1977.

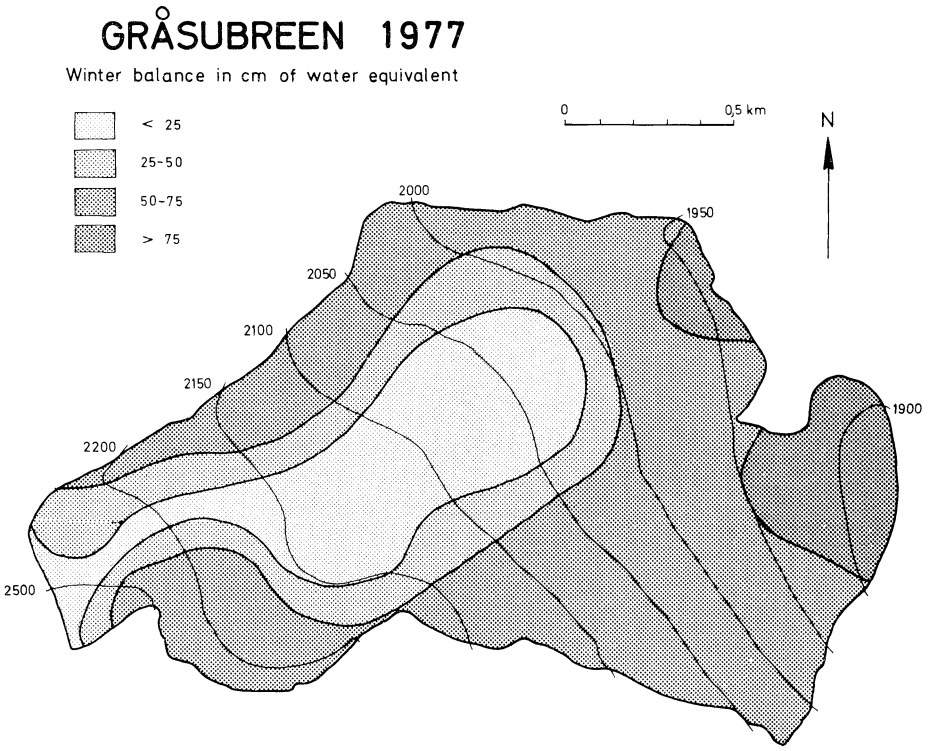



Fig. 16 Kart over vinterbalansen i 1977.
Map showing the winter balance in 1977.

På samme måte som for Hellstugubreen er dette 12.året siden 1963 breen har hatt en negativ massebalanse. Det totale massetap på Gråsubreen i denne tiden tilsvarer et 6,3 m tykt vannlag over hele breen.

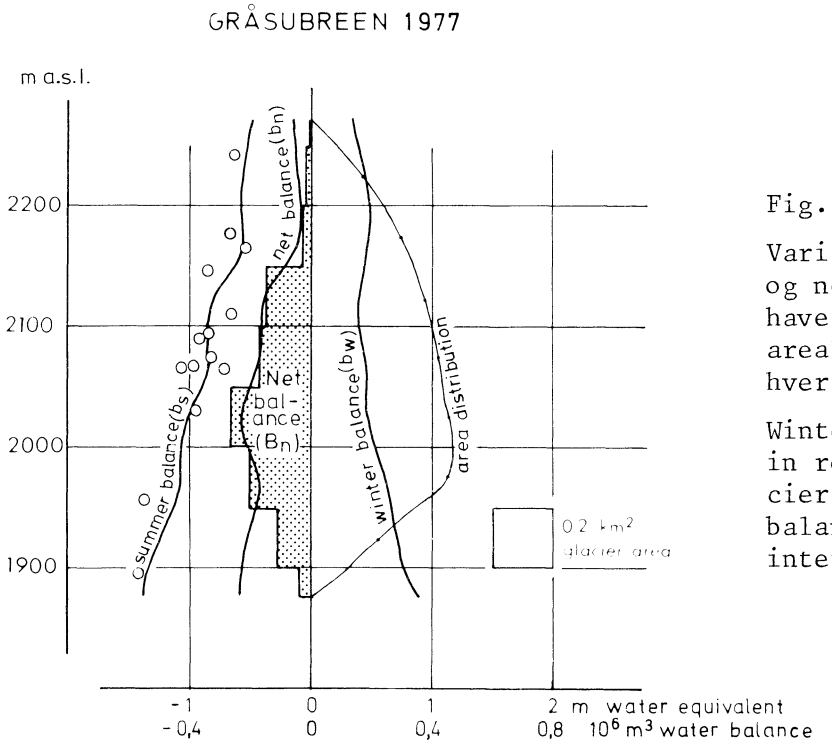



Fig. 17

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 elevation, glacier area distribution and net balance for every 50 m height interval.

GRÅSUBREEN 1977

| Høyde intervall 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 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 2250-2300 | 0,034 | 0,013 | 0,38 | 12 | 0,017 | 0,50 | 16 | -0,004 | -0,12 | - 4 |
| 2200-2250 | 0,179 | 0,082 | 0,46 | 15 | 0,100 | 0,56 | 18 | -0,018 | -0,10 | - 3 |
| 2150-2200 | 0,305 | 0,144 | 0,47 | 15 | 0,170 | 0,56 | 18 | -0,026 | -0,09 | - 3 |
| 2100-2150 | 0,384 | 0,152 | 0,40 | 13 | 0,304 | 0,79 | 25 | -0,152 | -0,39 | -12 |
| 2050-2100 | 0,416 | 0,183 | 0,44 | 14 | 0,352 | 0,85 | 27 | -0,169 | -0,41 | -13 |
| 2000-2050 | 0,464 | 0,215 | 0,46 | 15 | 0,474 | 1,02 | 33 | -0,259 | -0,56 | -18 |
| 1950-2000 | 0,457 | 0,288 | 0,63 | 14 | 0,488 | 1,07 | 34 | -0,200 | -0,44 | -20 |
| 1900-1950 | 0,214 | 0,157 | 0,73 | 23 | 0,267 | 1,25 | 40 | -0,110 | -0,52 | -17 |
| 1850-1900 | 0,065 | 0,052 | 0,80 | 25 | 0,090 | 1,38 | 44 | -0,038 | -0,58 | -19 |
| 1850-2300 | 2,518 | 1,286 | 0,51 | 16 | 2,262 | 0,90 | 28 | -0,976 | -0,39 | -12 |

## Høgtuvbreen

### Materialhusholdning

Akkumulasjonssesongen begynte i månedsskiftet august/september med ca. 100 cm nysnø. Fortsettelsen av sesongen ble imidlertid rolig, og ved besøkene 6/12 og 9/2 ble alle stakene funnet, målt og skjøtt. Ved besøkene ble det også tatt tett-

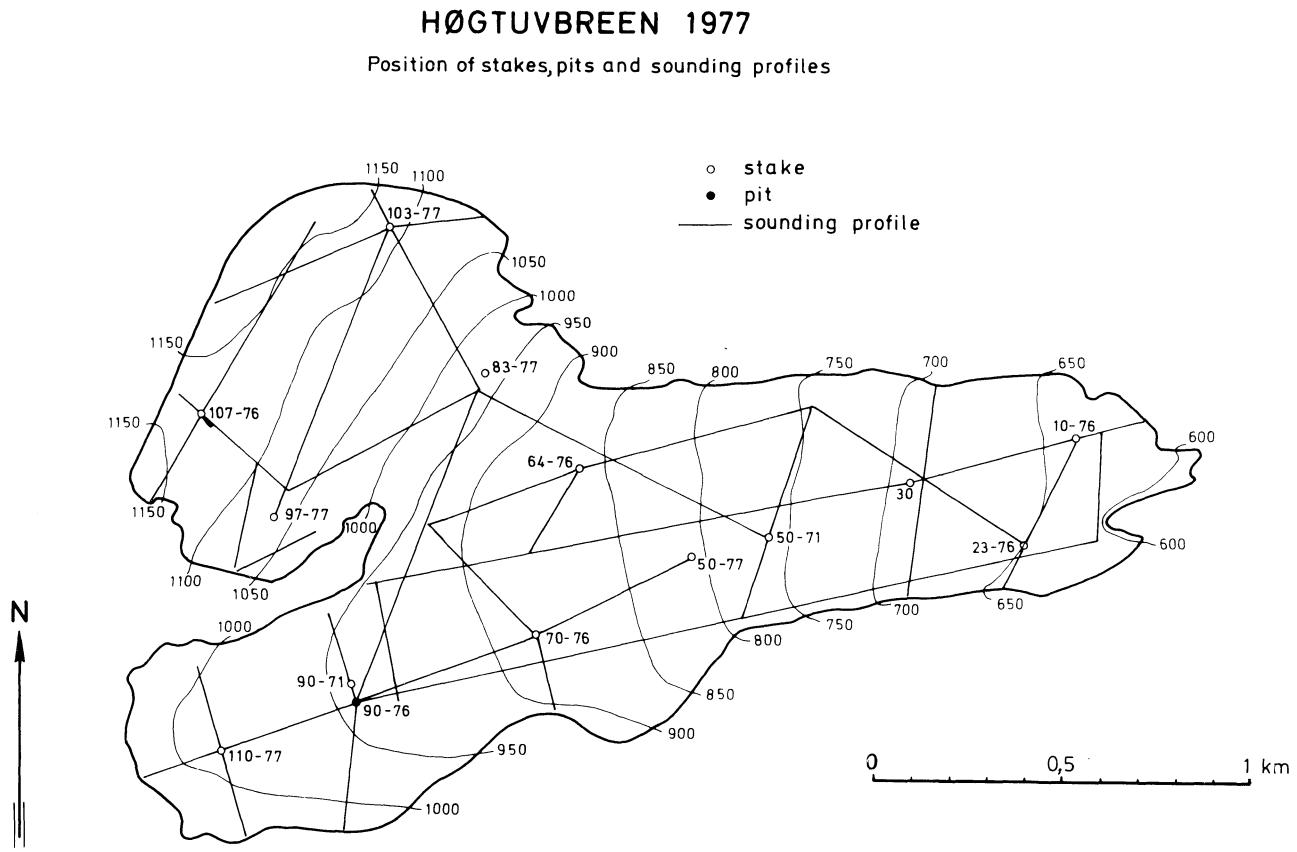



Fig. 18 Beliggenheten av staker, sjakt og sonderingsprofiler i 1977.
The location of stakes, pit and sounding profiles in 1977.

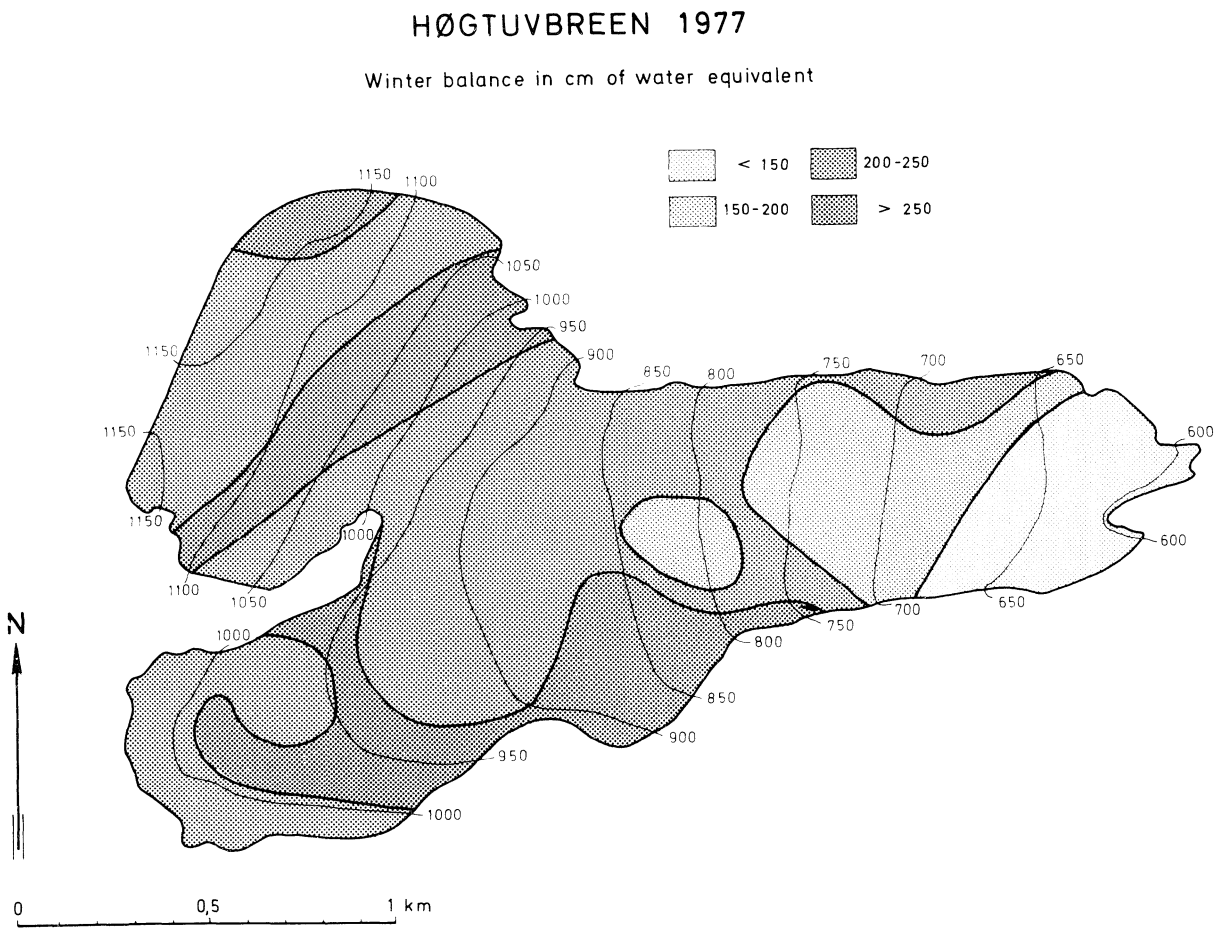



Fig. 19 Kart over vinterbalansen i 1977.
Map showing the winter balance in 1977.

hetsprøve av snøen, og overflaten ble markert med fargepulver. Disse horisonter ble gjenfunnet ved neste besøk, slik at alle snøprøver kunne bli utført i sjakt av rimelig dybde. Akkumulasjonsmålingene ble foretatt i tiden 29/4 - 1/5 under gode værforhold. Det ble tatt 170 målinger av snødypet ved sondering etter profiler vist i fig. 18. Det var lett å sondere over hele breen, og resultatene kunne kontrolleres mot 14 faste staker på breen. Ved bearbeidelsen av målingene viste det seg at vinterbalansen (fig. 19) tilsvarte 5,7 · $10^6 m^3$ vann eller 2,2 m vann pr. flateenhet. Dette er en større vinterbalanse enn på Engabreen, men likevel den minste som er målt på Høgtuvbreen siden 1971. Resultatet var ca. 65% av middelet for perioden 1971-76.

Årets sommerbalanse ble målt ved besøk 29.juni og 20.september. Ved siste besøk var riktignok den nye akkumulasjonssesongen allerede igang, men sommeroverflaten ble funnet ved sondering ved samtlige staker. Sommerbalansen ble beregnet å tilsvare vel 7 · $10^6 m^3$ vann eller 2,72 m vann pr.flateenhet. Dette tall er av noenlunde samme størrelsesorden som balansen har vært de siste tre somrene, men det er allikevel bare 83% av middelet for perioden 1971-76.

Nettobalansen for 1977 ble altså negativ idet sommerens avsmelting frigjorde hele 1,4 · $10^6 m^3$ mer vann fra breen enn det som ble tilført som snø i løpet av vinteren. Dersom dette tapet hadde fordelt seg likt over hele breflaten, ville overflatesenkingen tilsvare et vannlag på 52 cm. Vassdraget nedenfor fikk dermed et ekstra vanntilskudd på 17 l/s $km^2$.

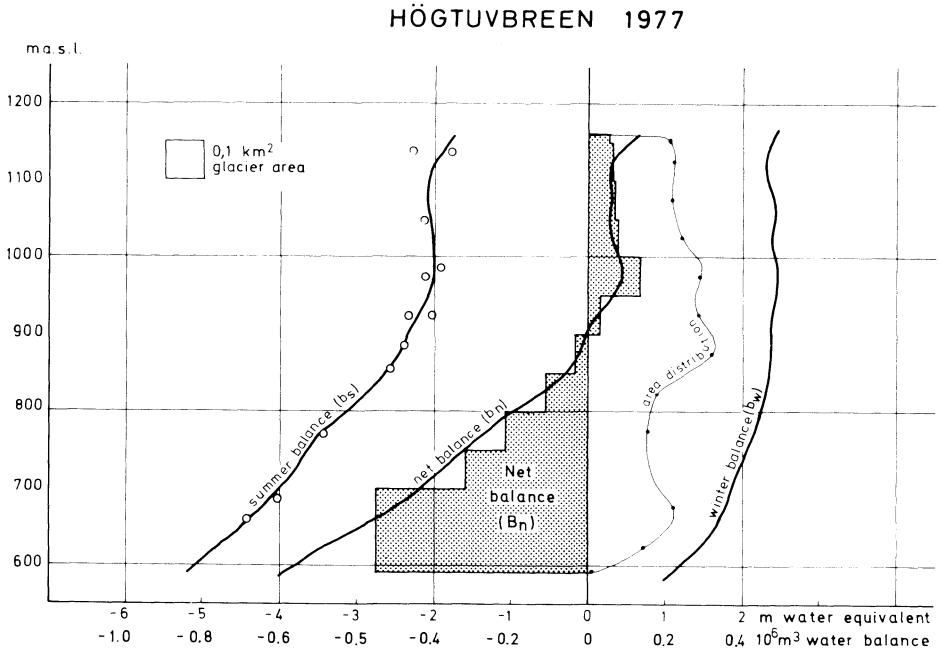



Fig. 20 Variasjonene med høyden over havet for vinter-, sommer- og nettobalansen, samt breens arealfordeling og arealverdier av nettobalansen i hvert 50 m høydeintervall.

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

HØGTUVBREEN 1977

| Høyde intervall m o.h. | Areal S $km^2$ | Vinterbalanse $B_w$ $10^6 m^3$ | $b_w$ m | $b_w$ l/s $km^2$ | Sommerbalanse $B_s$ $10^6 m^3$ | $b_s$ m | $b_s$ l/s $km^2$ | Nettobalanse $B_n$ $10^6 m^3$ | $b_n$ m | $b_n$ l/s $km^2$ |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 1150-1160 | 0,080 | 0,192 | 2,40 | 76 | 0,144 | 1,80 | 57 | 0,048 | 0,60 | 19 |
| 1100-1150 | 0,214 | 0,490 | 2,29 | 73 | 0,426 | 1,99 | 63 | 0,064 | 0,30 | 9 |
| 1050-1100 | 0,220 | 0,528 | 2,40 | 76 | 0,462 | 2,10 | 67 | 0,066 | 0,30 | 10 |
| 1000-1050 | 0,252 | 0,590 | 2,34 | 74 | 0,514 | 2,04 | 65 | 0,076 | 0,30 | 10 |
| 950-1000 | 0,318 | 0,773 | 2,43 | 77 | 0,639 | 2,01 | 64 | 0,134 | 0,43 | 13 |
| 900- 950 | 0,321 | 0,754 | 2,35 | 74 | 0,722 | 2,25 | 71 | 0,032 | 0,10 | 3 |
| 850- 900 | 0,316 | 0,743 | 2,35 | 75 | 0,781 | 2,47 | 78 | -0,038 | -0,12 | - 4 |
| 800- 850 | 0,177 | 0,400 | 2,26 | 72 | 0,513 | 2,90 | 92 | -0,113 | -0,64 | - 20 |
| 750- 800 | 0,161 | 0,343 | 2,13 | 68 | 0,555 | 3,45 | 109 | -0,212 | -1,32 | - 42 |
| 700- 750 | 0,162 | 0,305 | 1,88 | 60 | 0,622 | 3,84 | 122 | -0,317 | -1,96 | - 62 |
| 650- 700 | 0,217 | 0,371 | 1,74 | 54 | 0,922 | 4,25 | 135 | -0,551 | -2,51 | - 81 |
| 588- 650 | 0,160 | 9,213 | 1,33 | 42 | 0,765 | 4,78 | 152 | -0,552 | -3,45 | -109 |
| 588-1160 | 2,598 | 5,702 | 2,20 | 70 | 7,065 | 2,72 | 86 | -1,363 | -0,52 | - 17 |

Årets likevektslinje ble ikke observert direkte, men er beregnet til å ligge på ca. 900 m o.h.

Balanseresultatene er også presentert i fig. 20 og i tabell på s. 25.

Avrenning

På grunn av feil med måleutstyret har dette bare fungert i korte perioder, og det har ikke vært mulig å beregne årets avløp fra de foreliggende data.

## Engabreen

### Materialhusholdning

Akkumulasjonssesongen 1976/77 ble en av de roligste og nedbørfattigste som har vært på Engabreen siden målingene ble startet. Bare 1969/70-sesongen har hatt mindre akkumulasjon. De mellomliggende år har gitt tildels store nedbørmengder. Det har vært svært vanskelig å opprettholde stakenettet gjennom vinteren slik at vi kunne få tilstrekkelig med kontrollpunkter for sonderingene av akkumulasjonsmålingene. Det har vist seg vanskelig å bruke målestaker som er mer enn 4 meter høye, da disse lett blir brutt ned i uvær. Langvarige uvær har flere ganger hindret adkomsten til breen så lenge at stakene er snødd ned. For å forsøke å

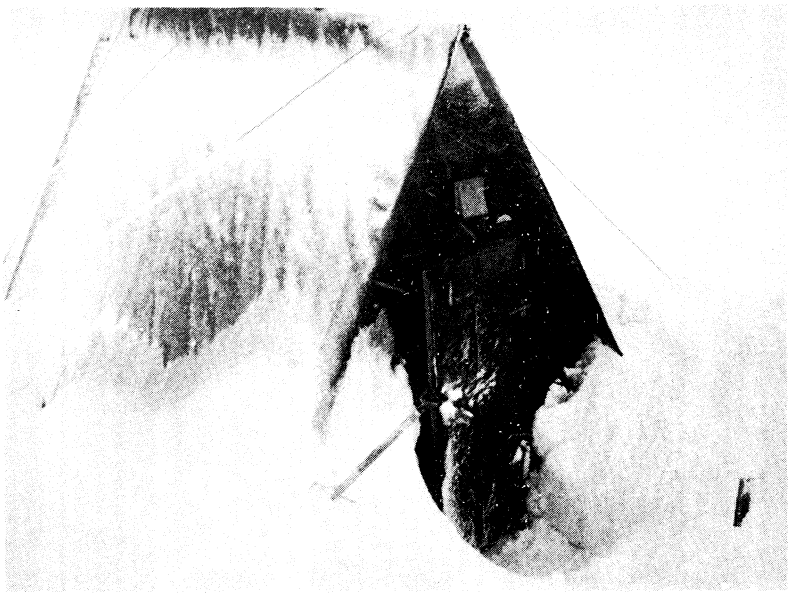


Fig. 21 Den siste halvdelen av juni 1977 var usedvanlig kjølig i Nord-Norge. På Engabreen (1100 m o.h.) var middeltemperaturen i denne perioden 0,8°C, og det kom mye snø. Bildet viser forholdene ved hyttene på Engabreen den 22.juni.

The second half of June 1977 was extremely cold in Northern Norway. At Engabreen (1100 m a.s.l.) the mean temperature for this period was 0.8°C. This photo was taken on June 22.

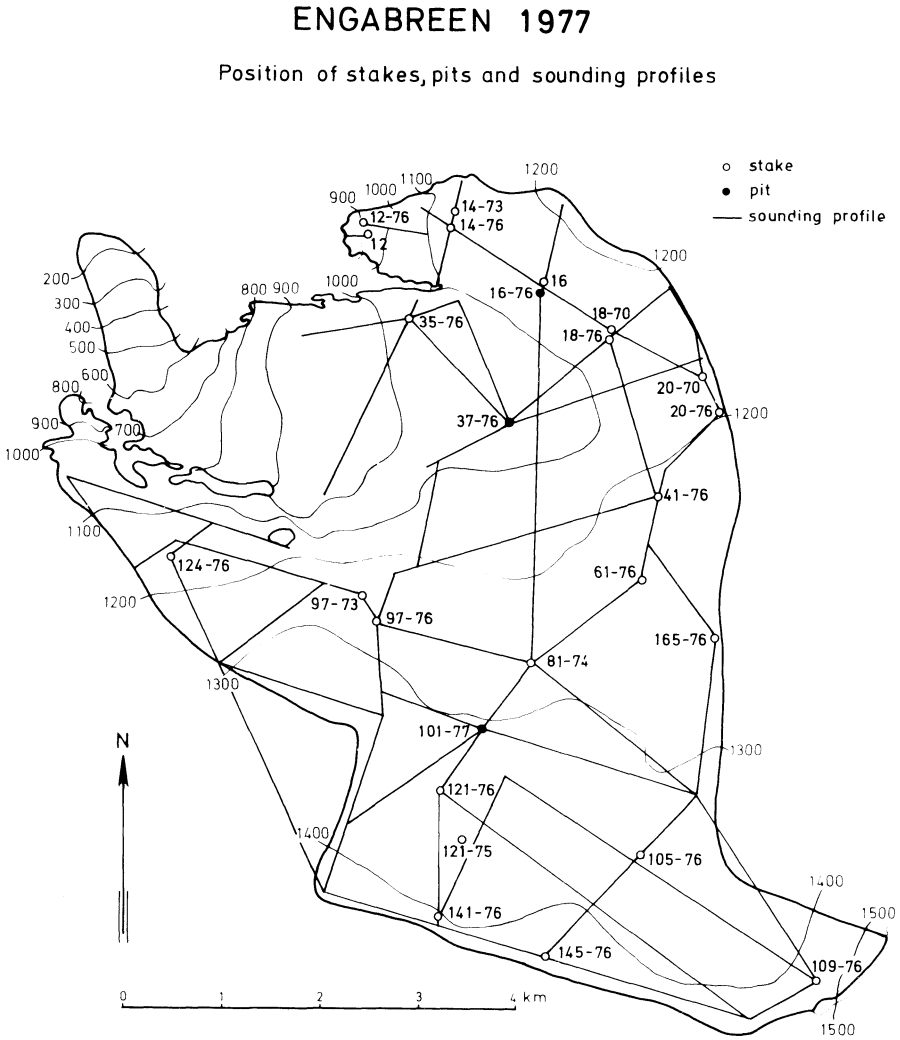



Fig. 22 Beliggenheten av staker, sjakter og sonderingsprofiler i 1977.
The location of stakes, pits and sounding profiles in 1977.

rette på dette forholdet ble det ved akkumulasjonssesongens begynnelse plassert et 9 m langt aluminiumstårn ved stake 16. Dette er ment som et forsøk, og hvis erfaringene blir positive, vil tilsvarende tårn bli plassert på andre strategiske steder i akkumulasjonsområdet. Tårnet er satt sammen av 3 meter lange seksjoner som hver veier vel 30 kg og er av samme type som Televerket bruker til sine antennemaster. Det ble plassert på en trelem i en 2,5 m dyp sjakt som deretter ble fylt med snø. Dette var tilstrekkelig til at konstruksjonen sto stabilt uten barduner selv om den raget 6,5 m over snøoverflaten (fig. 24).

Akkumulasjonen begynte i siste uke av august med vel en halv meter nysnø. Fram til første vinterbesøk som fant sted 3.desember, var nedbørmengdene moderate og snødypene varierte fra 2 m til 3,5 m. Dette medførte at bare to staker var forsvunnet, mens resten ble målt og skjøtt. Ved neste besøk 13.-15.februar var snødypene øket med 60 cm til 140 cm, noe som er uvanlig lite for denne perioden.

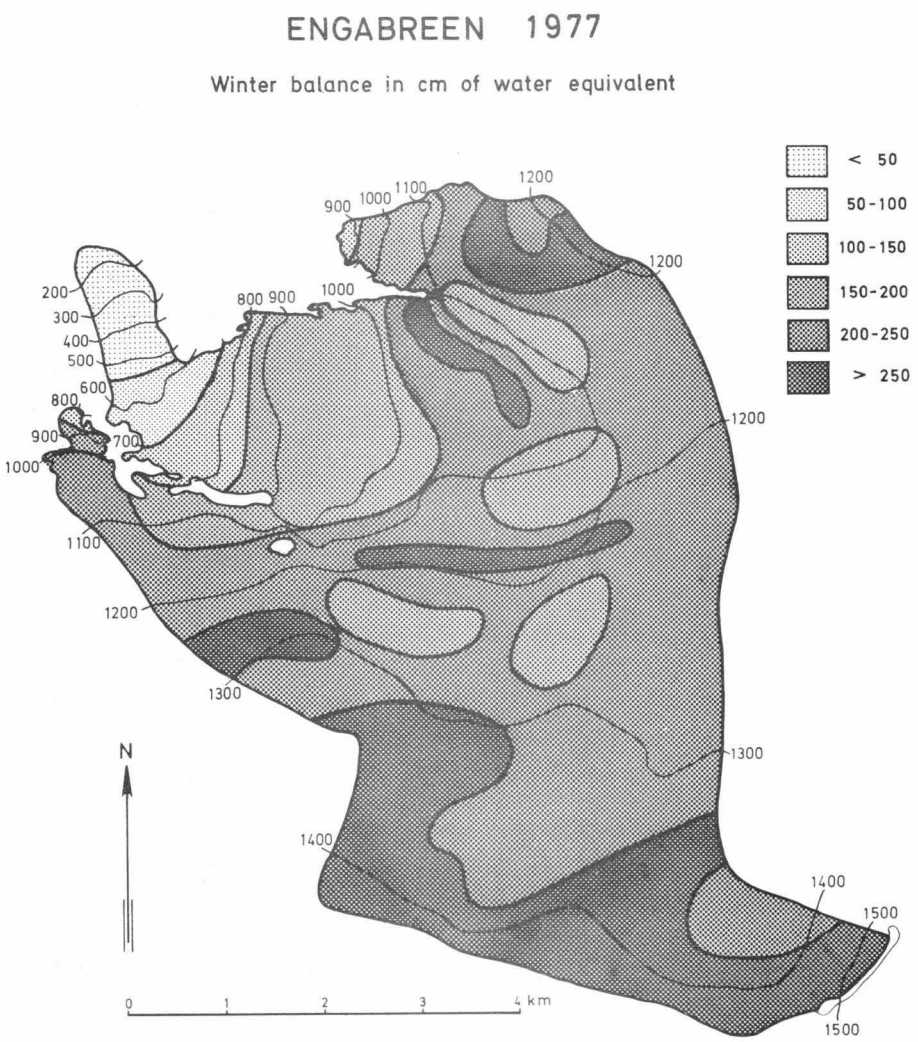



Fig. 23 Kart over vinterbalansen i 1977.
Map showing the winter balance in 1977.

Fram til akkumulasjonsmålingene i begynnelsen av mai kom det ytterligere endel snø slik at totale snødyp da varierte fra 5 m til 8 m.

Værforholdene ved akkumulasjonsmålingene var bra med svake vinder og pent vær. Likeledes var sonderingsforholdene stort sett meget gode, bortsett fra noen brysomme islag på breens lavere deler. Det ble ialt gjort 424 snødypmålinger ved sondering langs 93 km profiler som vist på fig. 22. Disse kunne kontrolleres mot 27 staker og 1 kjerneboring. Snøprøver ble tatt i tre forskjellige nivåer. Ved stake 16 var det tatt snøprøver ved sjaktgraving ved begge vinterens besøk, og fargelag ble utlagt for å markere den daværende overflate. Ved akkumulasjonsmålingen var det derfor kun nødvendig å grave ned til første fargelag. Ved stake 37 og 101 ble snøprøven for de øvre 3 m tatt i sjakt, mens resten ble tatt med kjernebor. På grunnlag av disse snøprøvene ble vannverdien i hvert enkelt sonderingspunkt beregnet, og deretter kunne kartet over vinterbalansens fordeling (fig. 23) tegnes.

Planimetrering av dette kartet viste at årets totale vinterbalanse tilsvarte 79 · $10^6 m^3$ vann eller et vannlag på 2,08 m pr.arealenhet. Dette er den nest laveste vinterbalanse som er målt siden starten i 1969/70, og det tilsvarer 63% av middelet for 7 års målinger.

Feltstasjonen ved Helgelandsbukken var fast bemannet med to assistenter fra 15. juni til 1.september, og meteorologiske målinger og ablasjonsmålinger nær stasjonen ble utført hver dag. Stakenettet utover breen ble forsøkt målt ca. hver 5.dag, og wirene på bretunga noe sjeldnere. Sommeren var stort sett kjølig, og i siste del av juni kom det en god del nysnø. Ablasjonen kom sent igang og holdt seg lav hele sommeren. Sommerbalansen beløp seg til 45,5 . $10^6 m^3$ vann. Fordelt over hele breen tilsvarer dette et vannlag på 1,2 m. Dette er den minste sommerbalanse som er målt på Engabreen, og den er bare 53% av middelet for 7 år med målinger. Dette gjenspeiles også i en rekordlav avrenning, og den kalde sommeren førte til at breen hadde sitt femte positive år på rad. På tross av svært liten

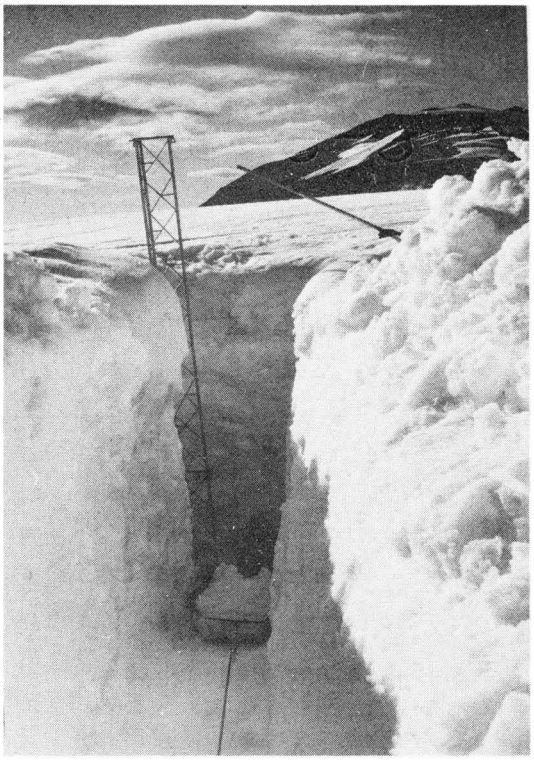


Fig. 24 For å bevare staker ved de to stedene det graves sjakt for tetthetsprøve på Engabreen brukes antennetårn som staker. Disse tårnene graves opp på ettersommeren og settes da ca. 2 m under overflaten. Ved hjelp av snøscooter og pulk fraktes her snøen ut fra sjakten. Foto 9.august 1977.

To maintain the "stakes" at the two places where pits for snow density determination are normally dug on Engabreen, antenna towers are replacing the conventional stakes. In August pits were dug so that the towers could be placed about 2 m under the surface. The picture was taken on August 9, 1977.

ENGABREEN 1977

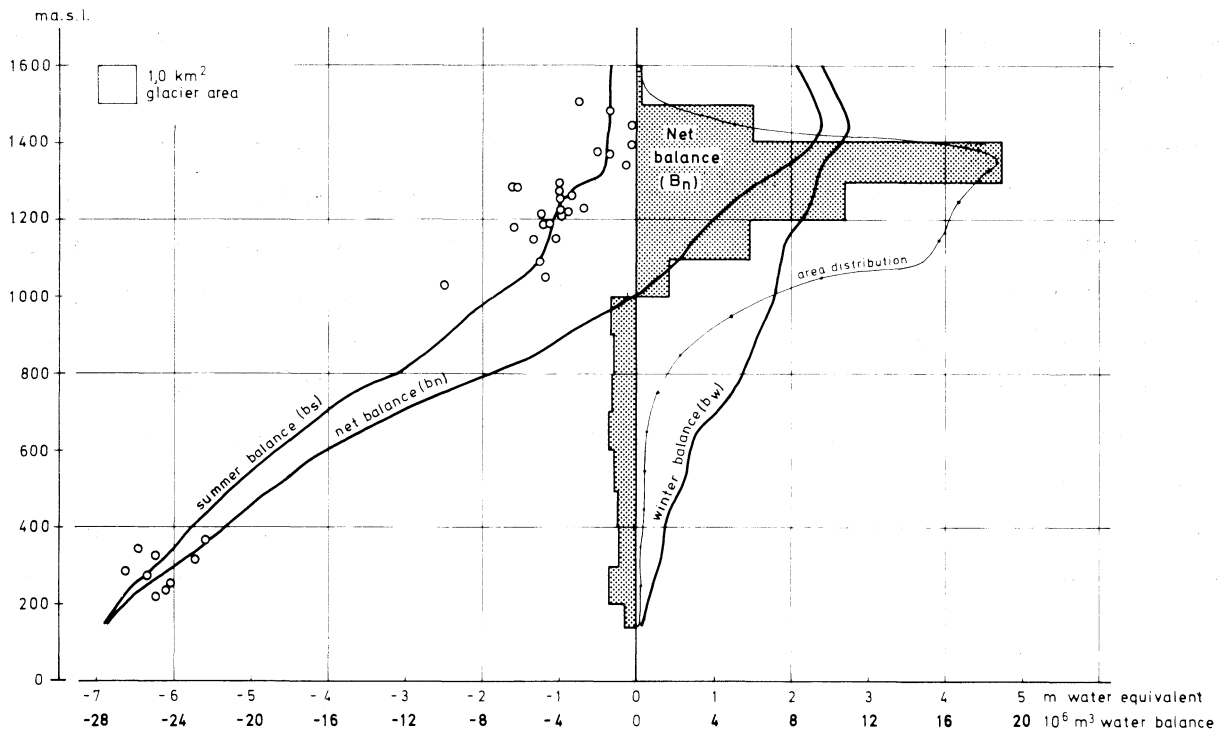



Fig. 25 Variasjonene av vinter-, sommer- og nettobalansen med høyden over havet, breens arealfordeling og arealverdier av nettobalansen i hvert 100 m høydeintervall.

Winter, summer and net balance in relation to elevation, glacier area distribution and net balance for every 100 m height interval.

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

| Høyde intervall 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 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 1500-1594 | 0,12 | 0,303 | 2,53 | 80 | 0,040 | 0,33 | 11 | 0,263 | 2,20 | 69 |
| 1400-1500 | 2,51 | 6,900 | 2,75 | 87 | 0,879 | 0,35 | 11 | 6,021 | 2,40 | 76 |
| 1300-1400 | 9,35 | 22,430 | 2,40 | 76 | 3,423 | 0,37 | 12 | 19,007 | 2,03 | 64 |
| 1200-1300 | 8,55 | 19,173 | 2,24 | 71 | 8,280 | 0,97 | 31 | 10,893 | 1,27 | 40 |
| 1100-1200 | 7,60 | 14,742 | 1,94 | 62 | 8,846 | 1,16 | 37 | 5,896 | 0,78 | 25 |
| 1000-1100 | 4,66 | 8,682 | 1,86 | 59 | 6,979 | 1,50 | 47 | 1,703 | 0,36 | 12 |
| 900-1000 | 2,46 | 4,129 | 1,68 | 53 | 5,463 | 2,22 | 70 | -1,334 | -0,54 | -17 |
| 800- 900 | 0,94 | 1,376 | 1,46 | 46 | 2,552 | 2,71 | 86 | -1,176 | -1,25 | -40 |
| 700- 800 | 0,50 | 0,625 | 1,25 | 40 | 1,863 | 3,73 | 118 | -1,238 | -2,48 | -78 |
| 600- 700 | 0,37 | 0,278 | 0,75 | 24 | 1,610 | 4,35 | 138 | -1,332 | -3,60 | -114 |
| 500- 600 | 0,27 | 0,173 | 0,64 | 20 | 1,350 | 5,00 | 159 | -1,177 | -4,36 | -138 |
| 400- 500 | 0,21 | 0,086 | 0,41 | 13 | 1,155 | 5,50 | 174 | -1,069 | -5,09 | -161 |
| 300- 400 | 0,17 | 0,060 | 0,35 | 11 | 1,020 | 6,00 | 190 | -0,960 | -5,65 | -179 |
| 200- 300 | 0,22 | 0,044 | 0,20 | 6 | 1,452 | 6,60 | 209 | -1,408 | -6,40 | -203 |
| 80- 200 | 0,09 | 0,005 | 0,06 | 2 | 0,621 | 6,90 | 219 | -0,616 | -6,84 | -217 |
| 80-1594 | 38,02 | 79,006 | 2,08 | 66 | 45,533 | 1,20 | 38 | 33,473 | 0,88 | 28 |

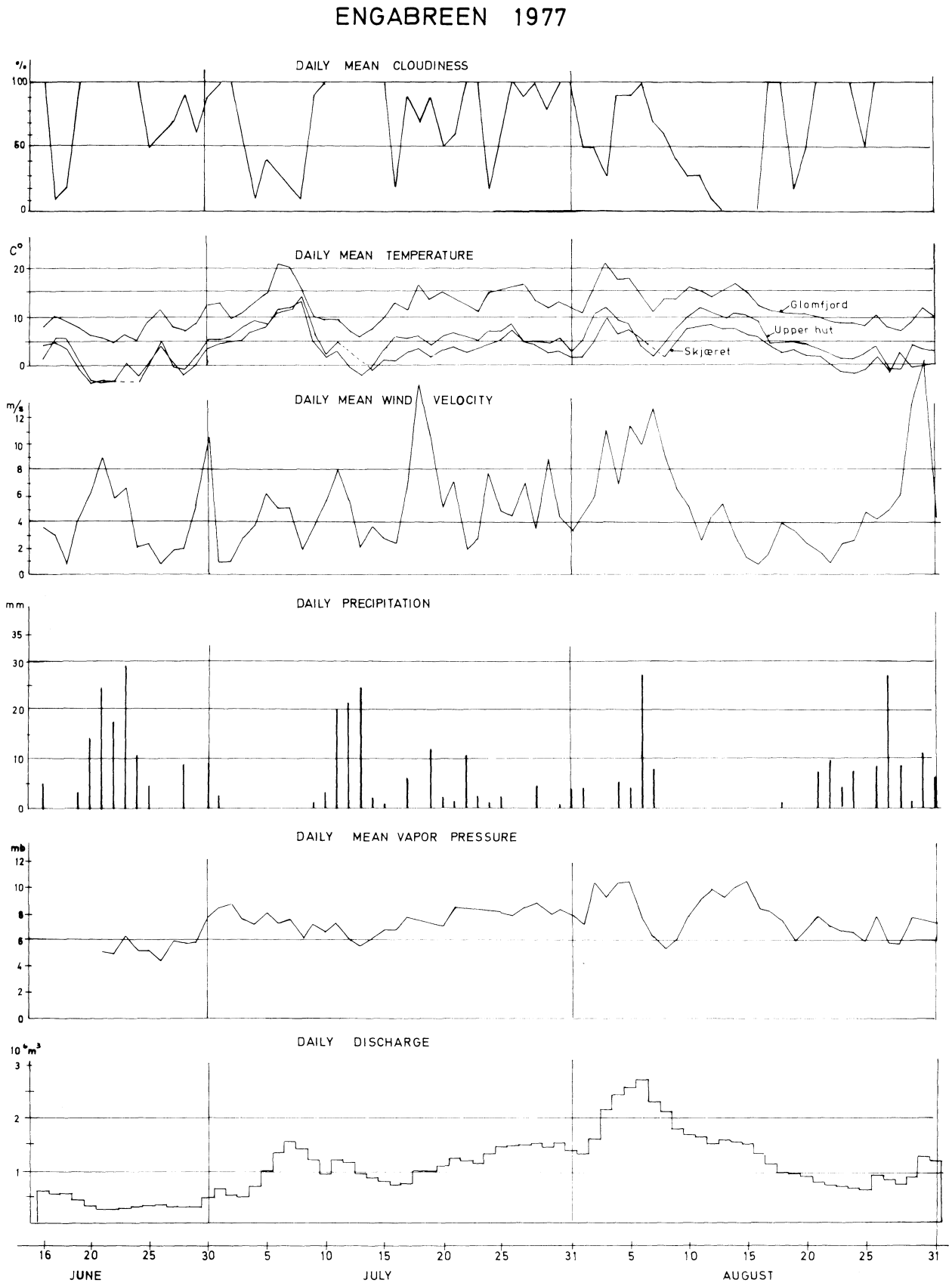



Fig. 26 Resultatene av de daglige meteorologiske observasjonene på Engabreen (1100 m o.h.) og beregnet døgnlig avløp ved utløpet av Engavatn.

The daily meteorological observations at Engabreen (1100 m a.s.l.) and daily discharge at the water gauge in the lake Engavatn.

vinterbalanse ble nettoøkningen i bremassen på hele 33,5 · $10^6 m^3$ vannekvivalenter. Dersom økningen hadde vært jevnt fordelt over hele breen, ville den tilsvart et vannlag på 0,88 m tykkelse. Totalt har økningen siden 1970 vært på 8,37 m vann pr. arealenhet. Dette vil si at ialt er 318 · $10^6 m^3$ vann blitt holdt tilbake i breen i denne perioden. Likevektslinjen ble i 1977 liggende på ca. 1000 m o.h. Massebalansens variasjon med høyden er vist i tabellen på s. 30.

Meteorologiske observasjoner

Det meteorologiske måleprogrammet ble i 1977 noe forandret og utvidet i forhold til tidligere år. Feltstasjonen er flyttet til ny tomt ca. 1100 m o.h., også nå på nordsiden av breen. Hovedobservasjonene ble tatt på dette sted. Stasjonen var bemannet i perioden 15.juni - 1.september, og følgende parametre ble målt kl. 07 og kl. 19: Lufttemperatur, nedbør, vindstyrke og retning, sikt samt skymengde og skyhøyde. I tillegg ble temperatur, fuktighet, vind og kortbølget stråling registrert kontinuerlig. På den gamle observasjonsplassen (880 m o.h.) ble det foretatt automatisk registrering av lufttemperatur, fuktighet, vind og nedbør, mens det på Skjæret (1360 m o.h.) ble registrert temperatur og nedbør. Et utvalg av observasjonsresultatene er vist på fig. 26. Energibalansen er behandlet i et eget kapitel.

Skydekket ble målt i 10-deler med 10 som helt overskyet. Middelet for hele perioden var 6,9. Av periodens 77 dager var 34 dager (45%) helt overskyet eller tåket, mens 27 dager (35%) var halvskyet eller lettere. Bare 7 dager var helt skyfrie.

Midlere døgnlig vindstyrke (1100 m o.h.) var 5,1 m/s. Høyeste døgnlige middelverdi ble målt 30.august med 16,2 m/s som er stiv kuling. Laveste døgnmiddel ble målt 16.august med 0,7 m/s.

Middeltemperaturen (1100 m o.h.) for måleperioden var 4,4°C, med høyeste døgnmiddel på 12,1°C den 8.juli og laveste døgnmiddel på -3,0°C den 22.juni. På Skjæret (1360 m o.h.) var middeltemperaturen 3,1°C, med maksimum 12,7°C den 8.juli og minimum -3,3°C den 24.juni.

En normalnedbørmåler (1100 m o.h.) oppfanget i alt 373 mm nedbør. I samme periode ble det målt 256 mm nedbør i Glomfjord og 316 mm nede ved Engavatn.

Avrenning

Totalavløpet målt i Engavatn var 89,1 · $10^6 m^3$ for perioden 1.juni - 1.september. Det gir et døgnlig middelavløp på 0,97 · $10^6 m^3$. Høyeste døgnavløp ble målt den 6. august med 2,92 · $10^6 m^3$. Månedsavløpene fordelte seg på 10,8 · $10^6 m^3$ i juni, 34.4 · $10^6 m^3$ i juli, 43,9 · $10^6 m^3$ i august, 28,2 · $10^6 m^3$ i september og 19,0 · $10^6 m^3$ i oktober.

## En sammenlikning av materialhusholdningen på de enkelte breer

I 1977 ble massebalansen målt på 10 breer, hvorav 8 i Sør-Norge og 2 i Nord-Norge. I Sør-Norge er breene godt fordelt geografisk, mens Nord-Norge bare er representert med målinger fra Svartisen-området. Hvordan forholdene er lenger nord vet man lite om, men Norsk Polarinstitutt vil nå forsøke å sette igang massebalansemålinger ved Øksfjordjøkulen.

Samtlige breer i Sør-Norge kom ut med en stor negativ nettobalanse. Dette skyldtes først og fremst at vinternedbøren var svært lav med bare 65-75% av gjennomsnittet for de siste 15 år. Selv med en ablasjon som var nær eller litt under normalt, førte dette til de første negative balansetall på 6-8 år for våre mest maritime breer.

I Svartisen-området var også vinteren usedvanlig nedbørfattig, og breene fikk bare 65-70% av det snødekke som har vært normalt i perioden etter 1970. Sommeren var re-

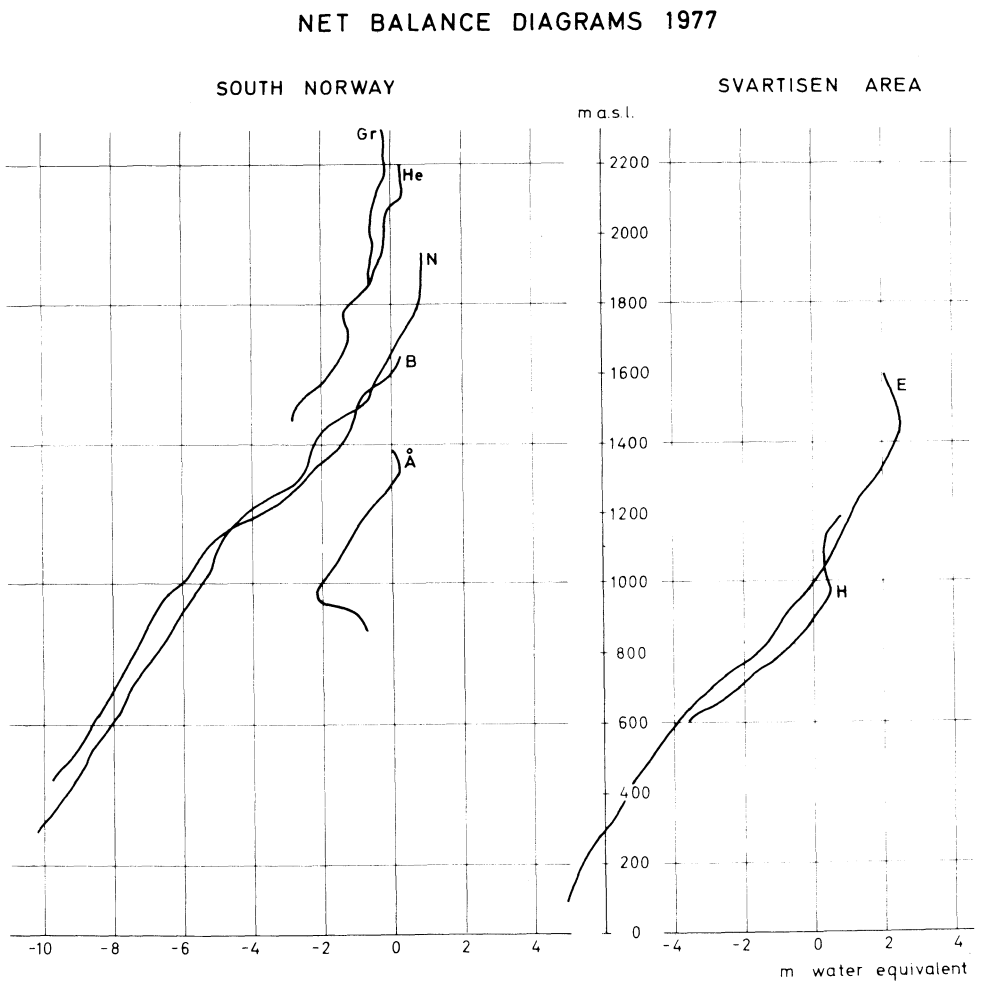



Fig. 27 Nettobalansekurver for 1977.

Net balance curves for 1977.

Gr = Gråsubreen, He = Hellsugubreen, N = Nigardsbreen,
B = Bondhusbreen, Å = Ålfotbreen, E = Engabreen, H = Høgtuvbreen.

MASSEBALANSERESULTATER 1977

| Bre | 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 | Likevekts-linje m o. h. |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Ålfotbreen | 4.8 | 11.2 | 2.33 | 74 | 13.8 | 2.89 | 92 | - 2.7 | - 0.56 | - 18 | 1280 |
| Blomsterskardbreen | 45.7 | | | | | | | - 64.0 | - 1.40 | - 44 | |
| Bondhusbreen | 10.2 | 19.9 | 1.96 | 62 | 30.0 | 2.96 | 94 | - 10.1 | - 1.00 | - 32 | 1620 |
| Nigardsbreen | 48.2 | 73.2 | 1.52 | 48 | 110.6 | 2.29 | 73 | - 37.3 | - 0.77 | - 25 | 1650 |
| Hardangerjøkulen | 17.8 | 21.4 | 1.20 | 38 | 34.2 | 1.92 | 61 | - 12.8 | - 0.72 | - 23 | > 1860 |
| Storbreen | 5.4 | 5.1 | o.94 | 30 | 8.0 | 1.48 | 47 | - 2.9 | - 0.54 | - 17 | 1840 |
| Hellstugubreen | 3.3 | 2.3 | 0.68 | 21 | 4.6 | 1.40 | 45 | - 2.4 | - 0.72 | - 23 | 2075 |
| Gråsubreen | 2.5 | 1.3 | 0.51 | 16 | 2.3 | 0.90 | 28 | - 1.0 | - 0.39 | - 12 | 2300 |
| Høgtuvbreen | 2.6 | 5.7 | 2.20 | 70 | 7.1 | 2.72 | 86 | - 1.4 | - 0.52 | - 17 | 900 |
| Engabreen | 38.0 | 79.0 | 2.08 | 66 | 45.5 | 1.20 | 38 | 33.5 | 0.88 | 28 | 1000 |

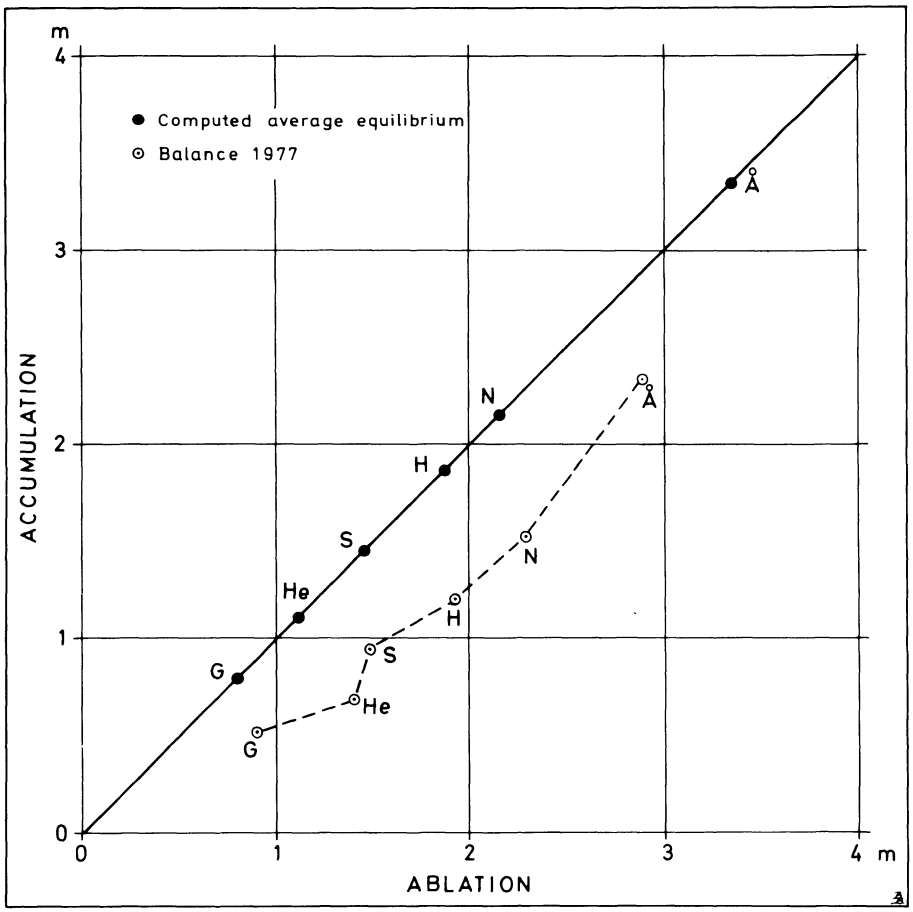



Fig. 28 Diagrammet viser forholdet mellom vinter- og sommerbalansen i 1977 sammenlignet med et år med beregnet "normal" materialomsetning.

Relation between winter and summer balance in 1977 compared to a year with a computed "normal" mass exchange.

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

lativt kjølig, og sommerbalansene ble også godt under middels. For Høgtuvbreen ble det likevel negativ nettobalanse, mens Engabreen hadde en betydelig positiv nettobalanse også iår. Det ser ut til at det er forskjeller i sommerklimaet som er årsaken til forskjellene i nettobalansen på Høgtuvbreen og Engabreen.

Resultatene er samlet i tabellen på s. 34, og i fig.27 og 28.

## ENERGIBALANSEN PÅ UTVALGTE BREER

### Innledning

Energibalanseundersøkelser er utført på 9 breer i Norge, hvorav 8 i Sør-Norge. På kartet (fig. 29) er breene markert. Undersøkelsene er publisert i tidligere brerapporter og i artikler av de forfatterne som er oppført i tabellen på side 39.

Brekontoret startet energibalanseundersøkelser på Austre Memurubre og Ålfotbreen

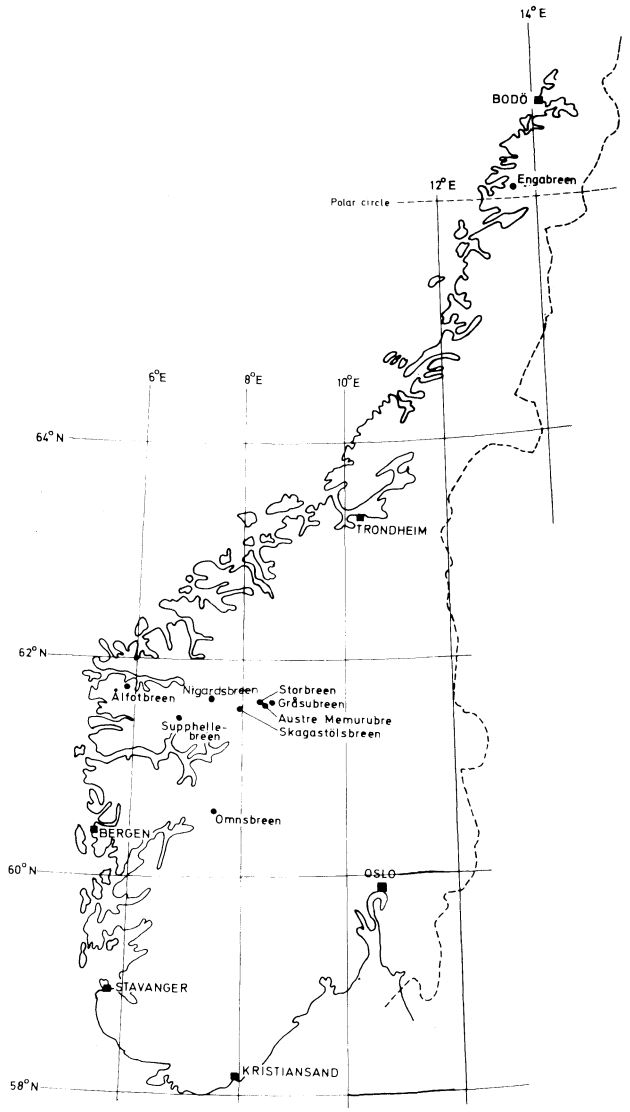



Fig. 29

Kart som viser beliggenheten av de breer hvor energibalanseundersøkelser er foretatt. I 1977 ble det gjort undersøkelser på Engabreen og Nigardsbreen.

Map of Norway, containing the location of glaciers where heat balance investigations have been performed. In 1977 investigations are performed at Engabreen and Nigardsbreen.

sommeren 1970. I de 5 siste sommersesongene har undersøkelsene pågått på Nigardsbreen og Engabreen.

Observasjonstida i 77-sesongen var fra 15.juni til 30.august både på Nigardsbreen og Engabreen.

Idet 77-undersøkelsene er nær identiske med dem fra tidligere år, henvises f.eks. til Tvede (1975) for detaljerte opplysninger om metoder og instrumenter.

## Resultater

### Nigardsbreen

Stasjonen på Steinmannen var ikke fast bemannet sommeren 1977, og detaljerte døgnlige og ukentlige beregninger kan derfor ikke gis. Bare globalstrålingen ble registrert kontinuerlig; Robitzsch-aktinografen har i alle år vist seg driftssikker og pålitelig. For øvrig ble stasjonen besøkt 10 ganger, med målinger av de nødvendige

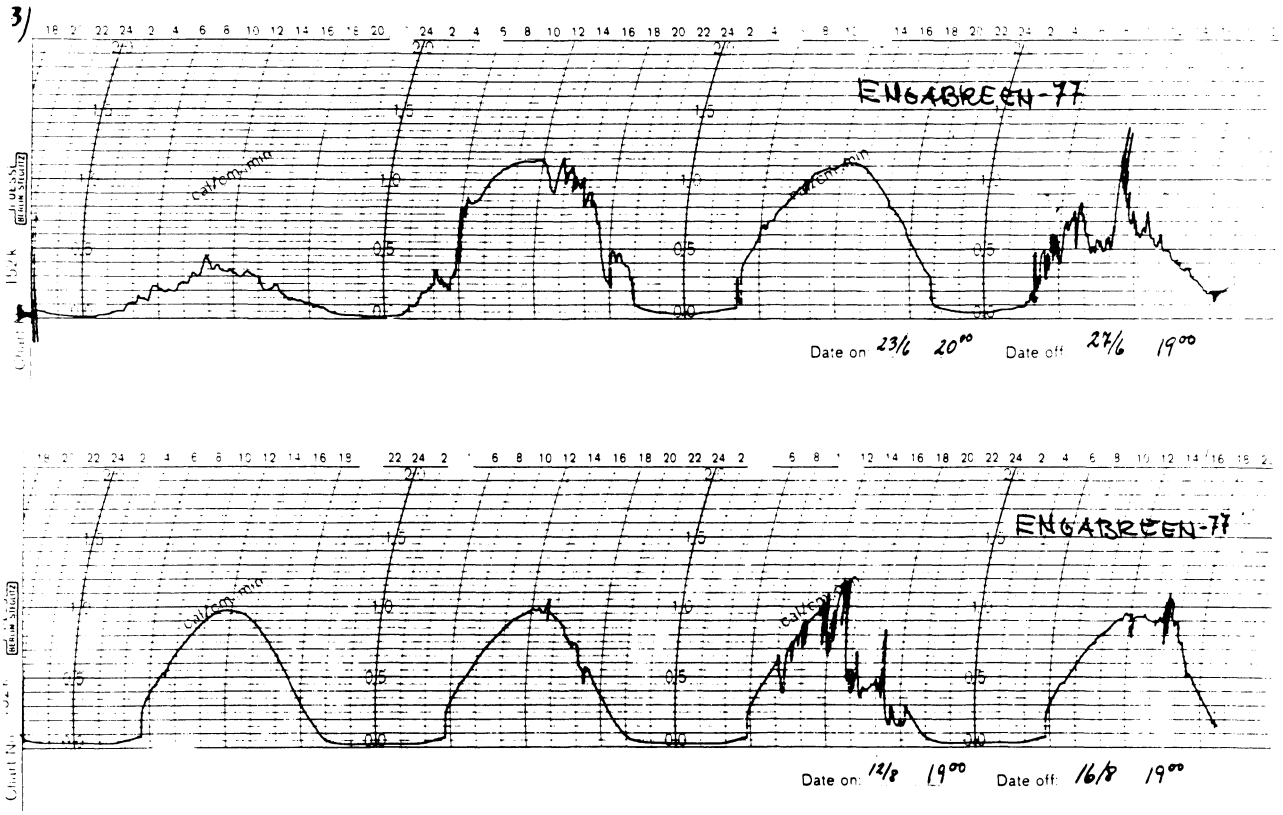



Fig. 30 Robitzsch-aktinogram fra Engabreen fra 4 døgn sist i juni (øverst) og 4 døgn midt i august (nederst). Merk forskjellen i strålingsintensiteten på klare dager for de to periodene, og de markerte strålingstoppene på dager med delvis skydekke.

Curves for global radiation (as recorded on a Robitzsch actinograph) during 4 days in late June (upper) and in the middle of August (lower). Note the drop in solar intensity from the one period to the other, and also the radiation "peaks" in days with partly cloudy weather.

TABLE I

ABLATION CONDITIONS NIGARDSBREEN 1977

| 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$^2$ | | | % | | |
| 15/6 - 30/8 | 63 | 41998 | 9403 | 117,5 | 1,1 | 181,2 | 64,8 | 34,6 | 0,6 |

parametre. I tabellen over er sluttresultatet ført opp. For observasjonsperioden sett under ett bidro strålingen med 65% til ablasjonen. Konveksjon og kondensasjon forårsaken 35%, mens nedbør betød mindre enn 1%.

Engabreen

Stasjonen, som ligger ca. 1100 m o.h., var bemannet hele perioden 15.juni - 30. august. Robitzsch-aktinografen med 4 døgns omløp ga som vanlig gode registreringer for globalstrålingen (fig.30).

Ukentlige verdier for de viktigste faktorene i energibalanseundersøkelsene er gitt i tabellen på side 37, og de er illustrert i fig.31.

I observasjonsperioden utgjorde strålingen 48%, konveksjon pluss kondensasjon 52%, mens nedbør bidro med under 1% til ablasjonen. Som i tidligere år varierer tallene mye fra uke til uke. Overgangen fra de to "vinter-ukene" i tiden 15.juni - 28.juni til uken 29.juni - 5.juli er mest markert i så måte. Antall "vinter-døgn" ved observasjonsstedet er beregnet til 16. I disse døgn har de ikke strålingsbetingede faktorer avkjølt bremassen slik at noe (i enkelte døgn all) strålingsenergi er brukt til å varme opp snøen og isen.

TABLE II

ABLATION CONDITIONS ENGABREEN 1977

| 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$^2$ | | | % | | |
| 15/6 - 21/6 | 65 | 4771 | 1032 | 12,9 | 0 | 6,4 | 201,6 | 101,5 | -0,1 |
| 22/6 - 28/6 | 66 | 3389 | 998 | 12,5 | 0 | 5,3 | 235,8 | -135,6 | -0,2 |
| 29/6 - 5/7 | 63 | 3298 | 947 | 11,8 | 0,1 | 32,1 | 36,8 | 62,9 | 0,3 |
| 6/7 - 12/7 | 61 | 3531 | 1039 | 13,0 | 0,2 | 35,7 | 36,4 | 63,0 | 0,6 |
| 13/7 - 19/7 | 63 | 3524 | 1008 | 12,6 | 0,1 | 18,1 | 69,6 | 30,2 | 0,2 |
| 20/7 - 26/7 | 60 | 3112 | 1024 | 12,8 | 0,1 | 34,6 | 37,0 | 62,7 | 0,3 |
| 27/7 - 2/8 | 60 | 2290 | 858 | 10,7 | 0,1 | 36,9 | 29,0 | 70,7 | 0,3 |
| 3/8 - 9/8 | 59 | 2823 | 865 | 10,8 | 0,3 | 38,7 | 27,9 | 71,3 | 0,8 |
| 10/8 - 16/8 | 57 | 3673 | 901 | 11,3 | 0 | 30,4 | 37,2 | 62,8 | 0 |
| 17/8 - 23/8 | 56 | 2357 | 697 | 8,7 | 0,2 | 10,8 | 80,6 | 17,4 | 2,0 |
| 24/8 - 30/8 | 63 | 1498 | 553 | 6,9 | 0,1 | 8,8 | 78,4 | 20,9 | 0,7 |
| 15/6 - 30/8 | 61 | 33967 | 9922 | 124,0 | 1,3 | 257,8 | 48,1 | 51,5 | 0,4 |

Rain (+) and Snow (-).

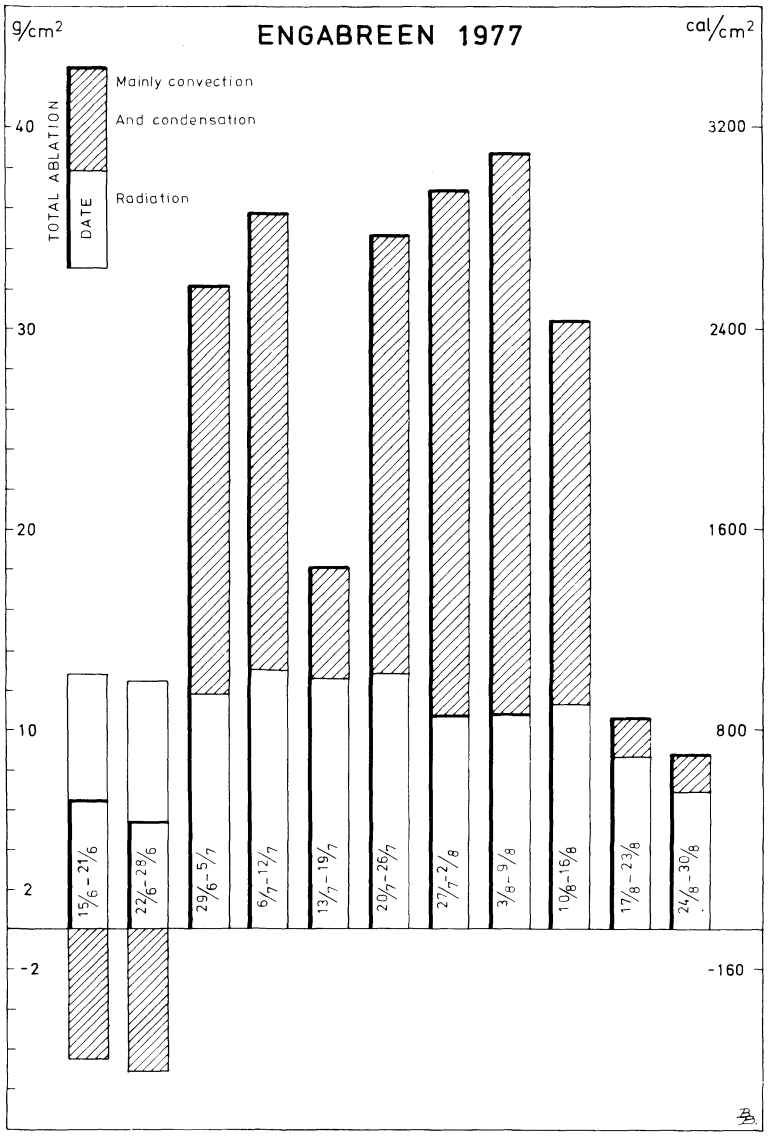



Fig. 31 Ukentlige verdier av ablasjonen på Engabreen fra 15.juni til 30.august 1977 med markering av bidraget fra stråling og ikke-strålingsbetingede faktorer. Periodens to første uker har vært dominert av "vinterklima" med negativ verdi for de ikke strålingsbetingede faktorer. Strålingens bidrag har vært forholdsvis jevn gjennom hele sesongen med en avtagende tendens i august.

Weekly ablation at Engabreen during the summer season from June 15 to August 30 in 1977 and the contribution of radiation and the non-radiative factores. Note the two weeks in June when "winter climate" was predominant. The radiation contribution was relatively equal during the season with a decreasing tendency in August.

## Diskusjon

Siden energibalanseundersøkelser ikke vil foregå på breer i Sør-Norge kommende år, blir fig. 32 sammen med tabellen på s. 39 en kortfattet oppsummering av de viktigste resultater fra Brekontorets årvisse undersøkelser gjennom de siste 8 år - suplert med tidligere noe mer spredte undersøkelser som begynte da Eriksson og Liestøl foretok sine målinger midt i 50-årene (Eriksson 1959 og Liestøl 1967).

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 % Radiation | Convection | Condensation | Rain and sublimation | Author (year) |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 1963 | 12/6 - 18/6 | Gråsu-breen | 61° 39' 08° 36' | 98 | 2 | | | T.Klemsdal (1968) |
| | 27/7 - 9/8 | | 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 | Stor-breen | 61° 35' 08° 20' 1600 | 54 | 32 | 14 | < 1 | O.Liestøl (1967) |
| 1954 | May - Sept. | Skagastøls-breen | 61° 30' 07° 50' | 79 | 21 | | | B.E.Eriksson (1959) |
| 1955 | May - Sept. | | ca.1600 | 66 | 34 | | | |
| 1968 | 3/6 - 8/9 | Omns-breen | 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 | Nigards-breen | 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 | (1977a) |
| 1976 | 15/6 - 30/8 | | | 64 | 36 | | 1 | (1977b) |
| 1977 | 15/6 - 30/8 | | | 65 | 35 | | 1 | (1978) |
| 1967 | 1/7 - 12/7 | Supphelle-breen | 61° 30' | 32 | 68 | | | O.Orheim (1970) |
| | 1/8 - 18/8 | | 06° 48' | 26 | 74 | | | |
| | 4/9 - 8/9 | | ca.70 | 14 | 86 | | | |
| 1970 | 1/6 - 14/9 | Ålfot-breen | 61° 45' | 44 | 56 | | < 1 | S.Messel (1971b) |
| 1971 | 1/6 - 6/9 | | 05° 40' | 43 | 56 | | 1 | (1973) |
| 1972 | 1/6 - 2/8 | | ca.1250 | 53 | 46 | | 1 | (1974) |
| 1973 | 22/6 - 30/8 | Enga-breen | 66° 40' | 32 * | 67 | | 1 | S.Messel (1975a) |
| 1974 | 22/6 - 6/9 | | 13° 50' | 33 * | 66 | | 1 | (1975b) |
| 1975 | 22/6 - 30/8 | | 850 | 48 | 52 | | < 1 | (1977a) |
| 1976 | 15/6 - 30/8 | | | 45 | 54 | | 1 | (1977b) |
| 1977 | 15/6 - 30/8 | | 1100 | 48 | 52 | | 1 | (1978) |

* Area not representative for Engabreen (very strong catabatic winds).

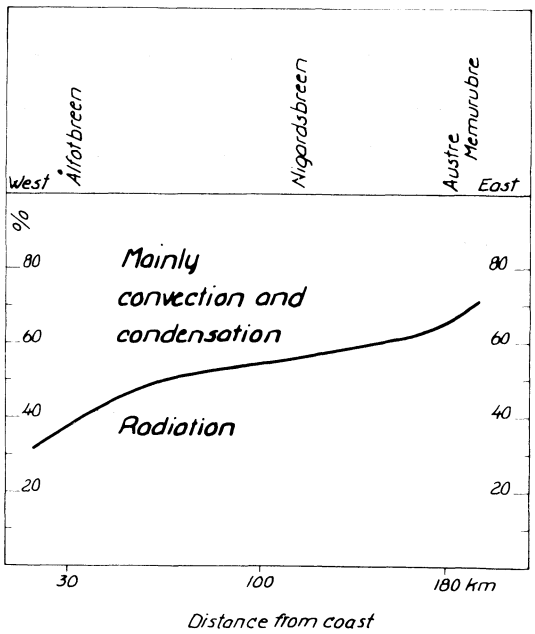



Fig. 32

Stråling og de ikke strålingsbetingede faktorers relative bidrag til ablasjonen i et normalt balanseår for breene i Sør-Norge.

The mean relative influence of radiation and non-radiative factors for the ablation. This profile covers the main glacier regions in Southern Norway.

Noen av undersøkelsene har kort observasjonstid og er ikke blitt lagt stor vekt på ved utarbeidelsen av fig. 32. Hvert år siden 1970 er ganske store variasjoner i ablasjonsfaktorenes bidrag påvist, både fra dag til dag og fra uke til uke. Tallene for dette finnes i tidligere års rapporter.

Tabellen på side 39 viser at ablasjonsforholdene på en og samme bre kan variere en del fra år til år. F.eks. ser en dette i tallene fra Nigardsbreen der strålingsbidraget i 1973 var 53%, mens bidraget var hele 77% i den kjølige 74-sommeren. Noe av årsaken til årlige variasjoner skal tilskrives måleusikkerhet (feilgrense på 4% i de relative bidrag fra stråling og konveksjon + kondensasjon er beregnet).

For Engabreen er flytting av målestedet viktig å bemerke. Målestedet i 1973 og 1974 er ikke representativt for breen idet kraftige katabatiske vinder preget lufta nær breflaten der. Stedet der målingene utføres i dag (1100 m o.h.), skulle være mer representativt for klimaet på Engabreen.

## SUBGLASIALE UNDERSØKELSER PÅ BONDHUSBREEN

I forbindelse med Folgefonnanlegget ble det planlagt et subglasialt vanninntak under Bondhusbreen. Brekontoret ble engasjert våren 1972 med anmodning om å foreta undersøkelser av glasiologi og materialtransport ved Bondhusbreen. Resultater fra disse undersøkelsene er presentert av Ziegler (1974), Haakensen (1975), Kjeldsen (1975), Hagen (1977) og Wold & Østrem (1978).

Etter en bedrøvelig sesong 1976 med svært liten vanntilgang i de da utsprengte vanninntakene ble det besluttet å utføre ytterligere sonderboringer vinteren 1977. Disse dekket de mest interessante delene av tverrprofilet og bidro i første omgang til at vi fikk et bedre kjennskap til den subglasiale topografien i området. Sommeren 1977 ble vanntilsiget til alle borhull og inntak registrert regelmessig. Det viste seg da at noen av borhullene ga vann under stort trykk hele sesongen, men de fleste hullene var tørre. Hullene nærmest nordøst-siden av breen ga vann ved enkelte anledninger, og det var også kraftig luftsug i noen av hullene. Dette tydet på at de munnet ut nær en vannstrøm, og at luften ble suget med av vannet som i en ejektorpumpe.

I løpet av høsten 1977 ble det utført sporundersøkelser med salt som sporstoff. Utslipp i bekken fra Holmavatn ble funnet igjen i de nordøstligste borhull under breen og bekreftet vår antagelse av at vannet fra Holmavatn drenerte i dette området.

Saltbølgen ble registrert i tunnellen 12 min. etter utslipp fra Holmavatn. Dette gir en midlere vannhastighet på snaue 70 cm/s dersom vi regner at horisontalavstand er ca. 430 m og høydeforskjellen 220 m. Midlere helningsvinkel blir ca. $27^{o}$. Ved en tidligere måling ble saltbølgen bare registrert ved brefronten ca. 45 min. etter utslipp. Dette gir en hastighet på ca. 75 cm/s, med en horisontal avstand på 1900 m og en høydeforskjell på 780 m. Midlere helningsvinkel blir ca. $22^{o}$. Breoverflaten i inntaksnivået (1050-1100 m o.h.) har en midlere helningsvinkel på ca. $15^{o}$.

Avløpsmålingene i elven fra Bondhusbreen er antagelig upålitelige, men ved å bruke tallene fra massebalansemålingene og regne med en avrenning over 5 måneder blir midlere avrenning for Bondhusbreen ca. 2,5 $m^3/s$. I tillegg kommer vannet fra Holmavatn som utgjør ca. 1 $m^3/s$. Innfanget vann tilsvarer imidlertid bare ca. 10% av mulig vann i inntaksnivået.

Det er utført fullstendige massebalansemålinger på breen. Disse er omtalt foran i rapporten. I løpet av sommeren 1977 ble det også foretatt trianguleringer for å få et mer fullstendig bilde av ishastigheten i området over inntakene. Disse vil bli beskrevet nærmere senere.

## BEVEGELSESMÅLINGER PÅ ERDALSBREEN

Sommeren 1973 ble det satt igang målinger av brebevegelsen på Erdalsbreen. Denne brearmen strekker seg nordvestover fra den nordre del av Jostedalsbreen ned mot Erdalen i Oppstryn. I perioden 1967-73 ble det foretatt målinger av materialtransporten i elvene fra Erdalsbreen og nabobreen Vesledalsbreen. Det viste seg å være stor forskjell i produksjonen av løsmateriale ved de to breene idet materialtransporten fra Erdalsbreen var hele 10 ganger større pr. arealenhet enn fra Vesledalsbreen (Haakensen 1975, s.28). Det ble antatt at dette delvis kunne skyldes forskjeller i brebevegelsen på de to breer. På Vesledalsbreen ble brebevegelsen målt i perioden 1968-72, og den viste en midlere bevegelse på 2,5 - 10 m pr. år (Tvede 1974, s.87).

På Erdalsbreen ble oppbyggingen av triangelnettet rundt breen og tilknytningen til N.G.O.-nettet ferdig sommeren 1973. Kart over triangelnettet og koordinatliste er publisert i Tvede & al. (1975). Seks målestaker ble boret ned forskjellige steder på breen (fig. 33), og disse ble triangulert to ganger i 1973 under meget gode forhold. Trianguleringen ble gjentatt to ganger i 1974 og en gang i 1975, men disse målingene ble noe mangelfulle dels p.g.a. dårlige værforhold og dels

BREBEVEGELSE PÅ ERDALSBREEN 1973 - 75

| Stake | Bevegelse i cm/døgn | | | | | Midlere | Årlig hastighet |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Tidsrom | 14/7-73-26/8-73 | 26/8-73-16/8-74 | 26/8-73-18/9-74 | 18/9-74-18/7-75 | 26/8-73-18/7-75 | retn. g | m/år |
| 1 | 0,98 | | 1,48 | | 1,68 | 336 | 4 - 6 |
| 2 | 5,33 | | 4,32 | 4,53 | 4,41 | 349 | 16 - 19 |
| 3 | 12,16 | | | | 9,95 | 342 | 36 - 44 |
| 4 | 16,05 | 16,74 | 18,74 | | 17,32 | 336 | 58 - 68 |
| 5 | 2,00 | 2,30 | 2,36 | | | 284 | 7 - 8 |
| 6 | 1,49 | | | | | 383 | 5 |

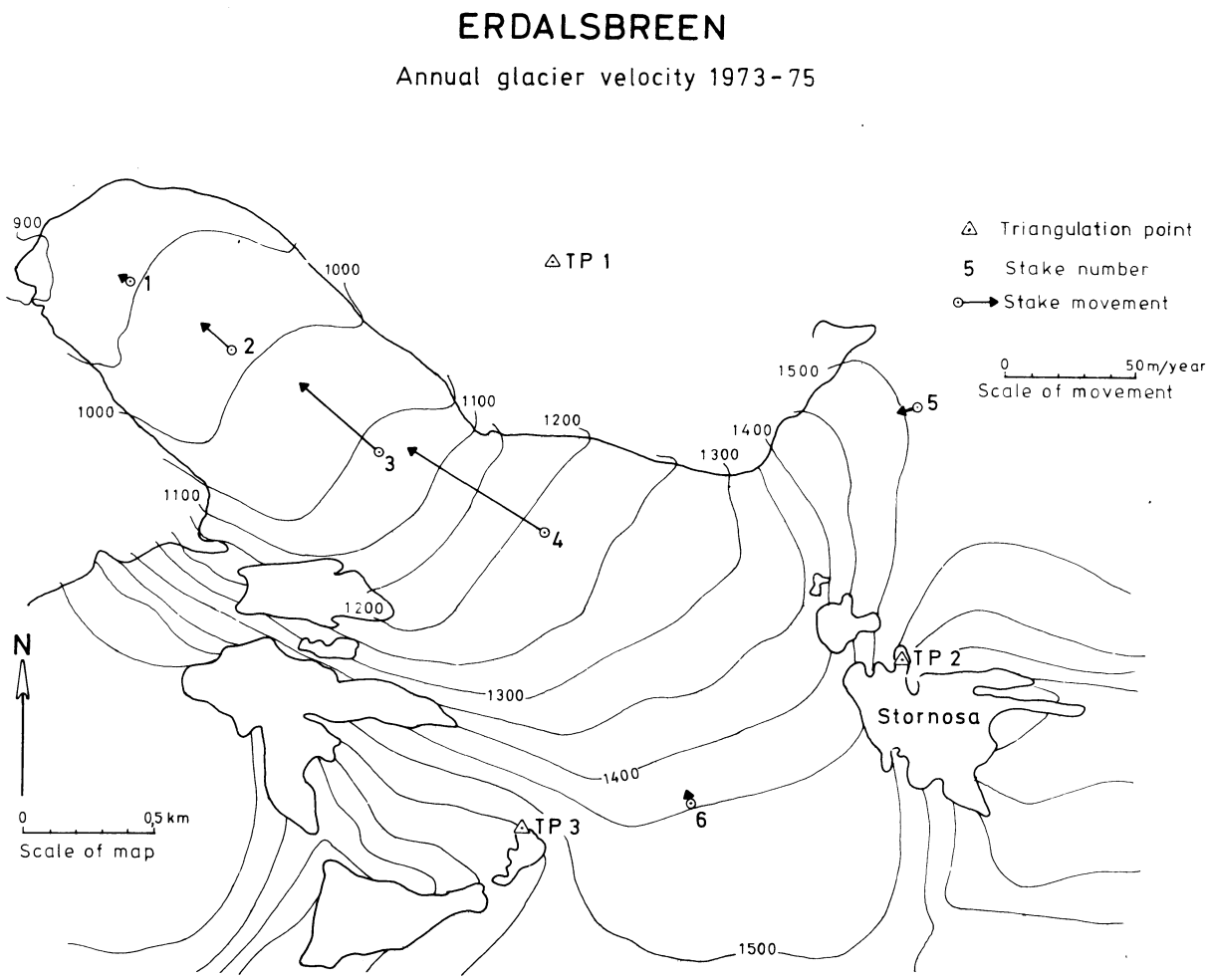



Fig. 33 Kart som viser årlig brebevegelse på Erdalsbreen i perioden 1973-75.
Map showing annual glacier movement at Erdalsbreen 1973-75.

fordi staker var forsvunnet. Beregning av hastighet og bevegelsesretning er utført på det omtalte grunnlag, og resultatene er presentert i tabellen på side 41 og på fig. 33.

Fordi målingene er av svært variabel kvalitet, samtidig med at stakene ikke er flyttet tilbake til samme posisjon hvert år, bør man være forsiktig med å sammenlikne de ulike perioder. Hovedtrekkene skulle imidlertid være klare nok og viser alle steder hastigheter som er større enn på Vesledalsbreen. På de sentrale deler er hastigheten på Erdalsbreen opptil 5-6 ganger høyere enn på tilsvarende område på Vesledalsbreen.

## ENGLISH SUMMARY

### Mass balance, meteorological and hydrological investigations at selected glaciers

#### Introduction

The Norwegian Water Resources and Electricity Board (NVE) is a government organization. One of the sections within the Hydrology Division, Glaciology Section, has undertaken glaciological investigations at five glaciers in Southern Norway and two glaciers in Northern Norway. In addition the Norwegian Polar Institute (Norsk Polarinstitutt) has investigated three additional glaciers in Southern Norway. The location of all these glaciological investigations is marked on the map, Fig. 1.

The longest observation series are available from the glacier Storbreen in Jotunheimen (observed by Norsk Polarinstitutt) and Nigardsbreen, an outlet glacier from the Jostedalsbreen ice-cap. At Storbreen Olav Liestøl started complete mass balance studies (including winter balance and summer balance) already in 1948. On Nigardsbreen mass balance investigations have been carried on since 1962 by NVE.

Mass balance studies started in Northern Norway in 1970 when three glaciers were selected in the Svartisen area. Since NVE started complete glaciological mass balance investigations at selected glaciers, the number of selected glaciers has changed slightly because the investigations are made in connection with hydrological studies of basins where future hydro-electric power developments are considered. In some cases the engineers found that they had obtained sufficient hydrological data after an observation series of 5-6 years. Later, other groups of glaciers were selected for similar studies - some of them are still being studied, whereas the studies have terminated on others. This report contains results from all glaciers where mass balance investigations were carried out in 1977.

Methods

NVE's glaciological program is pricipally based on the guide-lines published by UNESCO (1970). Various terms and symbols are shown on Fig. 2. The practical details in field work, data processing, etc. are described in Østrem and Stanley (1969).

The winter balance is normally observed during April/May when a large number of snow depth measurements are made and the snow density is determined in pits. These pits may be 4-6 m deep; for deeper snow packs a method of snow sampling by a coring auger has been developed. Additional accumulation that may occur after the main snow survey is normally measured in June, and this additional accumulation is added when the winter balance is calculated.

The summer balance is similarly measured in a number of points on the glacier, but the number of such points is much smaller. Ablation stakes, made of a strong aluminum alloy, are drilled into the glacier ice in each measuring point. In the firn basin similar stakes are inserted in the firn but are supported at the bottom to prevent sinking of the stakes into the firn. A map of the summer accumulation is constructed for each glacier and this map together with the winter balance map will form the base for further calculations. Both maps are planimetred and tables are plotted for winter balance and summer balance in selected height intervals for all glaciers under study. These tables are shown for each glacier in this report (see for example p. 10, 13, 17, 20, 30).The net balance is calculated as the algebraic sum of winter balance and summer balance; a positive result indicates that the glacier has been growing; a negative result indicates that the glacier has been decreasing during the year of observation. A diagram showing variations in summer balance and winter balance with elevation is also made for each glacier. In this diagram an additional curve is constructed for variations in net balance with height. From the diagram it is also possible to see the area distribution of the glacier and the height of the equilibrium line (compare, for example, Fig. 10).

The meteorological and hydrological observations were performed in 1977 in the same manner as during previous years. Data collected on the heat balance on Nigardsbreen and Engabreen are intended to give information on the relation between meteorological factors and glacier melt, both for the entire summer and for shorter periods during the melt season. The calculations and the presentation of this material are made by Mr. S. Messel.

Air temperature, precipitation, air moisture, as well as wind and cloud cover have been observed similar to previous years (see, for example, Pytte 1970). Discharge from some of the investigated glaciers has been recorded on automatic water level recorders or by staff gauge reading on a routine basis. The daily water discharge

has been calculated and plotted into diagrams together with other meteorological observations.

Ålfotbreen

The first visit to this glacier was made on 14 October 1976 but accumulation had not yet started. The stake net was rearranged and 19 vertical aluminum poles were evenly distributed on the glacier surface. In the middle of December only 200 cm of snow had fallen and 3 stakes had disappeared, probably due to rime and wind. The glacier was later visited both in February and in April and then a total snow survey was performed. A winter balance map is shown on Fig. 4. The total snow depth ranged from 420cm to 650cm, which is much less than normal on this glacier, that is situated in an extremely maritime climate. The total accumulation was measured to +2,33 m which is only 66% of the average for the last 15 years.

Summer visits were made in June, July, August, September, and October. At the visit in September some snow had fallen , but it disappeared again so when measurements were made on 30 October it was decided that this day should be set as the end of the 1977 ablation season. The summer was generally relatively cool and the summer balance amounted to only 87 % of the average for the last 15 years. It amounted to -2.89 m and the mass balance turned out to be negative (-0.56 m) and the equilibrium line was at about 1300 m a.s.l.

The meteorological observations were made by recording instruments of which some were working well but some of them gave no results during certain parts of the summer. This material has not been processed yet.

Blomsterskardbreen

This glacier is a part of the Folgefonni ice-cap and it has been earlier described by Tvede and Liestøl (1977). Unfortunately it was not possible to study both the winter balance and the summer balance but by observing stakes which have survived several years a calculation of the net balance for the period October 1975 - November 1977 could be done and, based upon a theoretical net balance curve (balance vs. height), it was possible to determine the net balance which was $\pm 0$. For the balance year 1975-76 the net balance has been previously calculated to +1.4 m and the balance for the year 1976-77 must then have been -1.4 m which is slightly more than was measured on Bondhusbreen (see below) where it amounted to -1.0 m for the same period.

1977 is the first year when this glacier has shown a definite mass loss since the investigations started. This was due to a very small winter accumulation, probably only 50% of the normal. The mass balance turned out to be negative in spite of a relatively cool summer. The cumulative net balance from 1969-77 is +4.9 m or +0.6 m/year.

Bondhusbreen

This glacier is also an outlet glacier from Folgefonni and the investigations made here were requested because the water power station in the area collects subglacial meltwater from an altitude of about 900 m. Relatively simple measurements were started to get information on the mass balance and data are available from the summer 1976 when 10 stakes were placed between 1100 and 1600 m a.s.l. A map of the glacier at a scale of 1:20 000 is not sufficiently good as a base for these investigations, mainly because it is extremely difficult to define the total drainage basin. However, an area of about 10 sq.km has been selected and all measurements are made within that part of the glacier. Only the very steepest and most crevassed part of the tongue is impossible for field observations.

The winter balance, measured on May 11 with snow depth soundings in 120 points above 1200 m a.s.l. gave a specific accumulation of +1.96 m. The ablation was observed by several visits during the summer and it was found to be -2.96 m, including the lower part of the tongue where the ablation was estimated based upon knowledge from similar glaciers, mainly Nigardsbreen.

The net balance turned out to be negative, about 1.0 m of water equivalent was removed from the entire glacier surface.

Nigardsbreen

The snow conditions during the winter were unusual, and very little snow fell in Western Norway. Only two visits were necessary to the glacier, in November and January, mainly to look after the stakes, whereas the accumulation measurements were made at the end of April. Snow depth measurements were made every 200 m along sounding profiles shown in Fig. 8. The snow depth ranged from 300 to 450 cm. Two pits were dug in the upper part of the glacier and one on the tongue to determine the snow density. The specific winter balance amounted to +1.52 m which is only 66% of the mean for the period 1962-76 and it is the lowest accumulation ever measured on Nigardsbreen.

The field station at Steinmannen was not manned in 1977 (for the first time since 1962) so that ablation was observed by frequent visits during the summer, in general once a month. The final survey was made on 5 November when new snow had started to accumulate. The ablation had been larger than normal, the specific figure reached -2.29 m which is 122% of the average for the period 1962-76.

The unusually small winter accumulation and the slightly higher ablation than normal resulted, of course, in a negative mass balance. It amounted to -0.77 m and the equilibrium line was situated at 1650 m a.s.l. This year was the first year of negative mass balance since 1972, but on average the glacier has increased its mass by 5.6 m of water equivalent since 1962.

The meteorological observations had to be reduced because the station was not manned during the summer. Some of the instruments stopped several times although they were frequently checked. Particularly the precipitation observations proved to be useless. The other results are presented in the diagram, Fig. 11.

The discharge from the glacier amounted to 132 · $10^6 m^3$ water at the outlet of the lake Nigardsvatn. The largest daily discharge was observed on July 9 when 3.14 · $10^6 m^3$ water passed the automatic gauging station.

Hardangerjøkulen

The measurements are undertaken by Norsk Polarinstitutt on Rembesdalsskåki, a west-facing outlet glacier from Hardangerjøkulen. The winter balance amounted to +1.20 m whereas the summer balance was -1.92 m so that the result turned out to be a net mass loss of -0.72 m water equivalent.

Storbreen

Norsk Polarinstitutt has conducted a complete mass balance study (both winter balance and summer balance measurements) on this glacier since 1948, and this is the next longest observation series of this kind in the world. The accumulation was much smaller than normal, the winter balance amounted to only +o.94 m whereas the summer balance was -1.48 m and a total net mass balance of -0.54 m of water equivalent was the result.

Hellstugubreen

This glacier is situated in the relatively continental mountaineous area in Southern Norway (Jotunheimen), thus it received normally much less snow than glaciers farther west. Only one winter visit was made in February when only a few of the stakes had to be extended. When the snow survey was made in May 27 stakes were found, snow depth soundings were made every 100 m along the profiles shown on Fig. 12, and the snow density was determined in two pits in various elevations. The winter balance was calculated to +0.68 m which is only 64% of the average for the last 15 years.

The ablation was observed on two visits during the summer. The temperatures were relatively normal and the summer balance turned out to be -1.4 m of water equivalent, which is the same deficit as in 1976. The glacier has now experienced a negative mass balance during twelve consecutive years, and the mass loss during this period amounts to 5.8 m of water equivalent.

Gråsubreen

This is the highest and easternmost situated glacier in Southern Norway and it receives normally the smallest amount of winter accumulation. When the snow survey

was made at the beginning of May only 0.51 m of water equivalent had accumulated and all stakes had survived the winter. This accumulation is 73% of the average for the period 1963-76. The ablation was measured twice during the summer but it was then found that several stakes had been destroyed either by tourists or by reindeer. However, it was still possible to determine the summer balance which turned out to be -0.91 m. This is 85% of the average for the years 1963-76.

The net balance was -0.40 m. Similar to Hellstugubreen this glacier experienced its twelfth consecutive year of negative mass balance. The total mass loss in this period amounts to 6.3 m of water equivalent.

Høgtuvbreen

The accumulation season started at the end of August when about 100 cm of snow arrived. However, the rest of the season gave only relatively small amounts. The glacier was visited in December and February and the final snow survey was made in the beginning of May in good weather conditions. The snow depth was then measured in 170 points, cf. Fig. 18. The winter balance amounted to +2.2 m which is more than was simultaneously observed at Engabreen, but still the smallest ever observed on Høgtuvbreen since 1971. The winter balance is only 65% of the average for the period 1971-76.

The summer balance was observed by two visits during the summer and it amounted to -2.72 m which is almost equal to the result found for the two last summers but it is only 83% of the average for the period 1971/76.

The net balance for 1977 turned out to be negative, amounting to 0.52 m. The equilibrium line could not be observed directly but is calculated to be at an elevation of approx. 900 m. Results are shown in Fig. 20 and in the table on p. 25.

Engabreen

The accumulation season 1976/77 was one of the driest since the glaciological investigations started, only the winter 1969/70 gave less accumulation. During all other years a much higher winter precipitation occurred so that it has always been a great problem to keep the stakes visible in the accumulating snow. Further, due to frequent rime formation and very heavy winds it has proved almost impossible to leave stakes more than 4 m above the surface. Long periods of bad weather and heavy snowfalls make it often impossible to reach the glacier to extend the stakes and they will then disappear during the winter. For this reason an experiment was made in 1977 to erect a high aluminum tower near stake 16. This tower is composed of 3-meter long sections, each weighing 30 kg. The tower was buried in a 2.5 m deep pit which gave sufficient support to keep it standing vertically 6.5 m above the snow surface, cf. Fig. 24.

The accumulation started already at the end of August and the glacier was visited in December and February, whereas the final snow survey was made at the beginning of May. The total snow accumulation amounted then to 5-8 m. In total 424 snow depth measurements were made along 93 km of profiles, shown on Fig. 22. The measurements were checked against readings on 27 stakes and by drilling a hole through the snowpack with a coring auger. The snow density was determined in three pits at various elevations. In some cases dye layers were placed at the snow surface, so that pits later in the season could be dug only down to these layers, because the water equivalent of the previously fallen snow under these layers was already known. The accumulation map is shown in Fig. 23. The winter balance amounted to 2.08 m of water equivalent which is only 63% of the average for the last 7 years.

The field station near Helgelandsbukken (at 1100 m a.s.l.) was manned from June 15 - September 1, so that meteorological measurements and ablation studies could be carried out almost continuously during the melt season. The summer was unusually cool and a large amount of fresh snow arrived in June.

The summer balance amounted to -1.2 m which is the smallest summer balance ever measured at Engabreen - it is only 53% of the average for the last 7 years. In spite of the small winter accumulation, this cool summer gave a positive net mass balance amounting to +0.88 m. The equilibrium line was in 1977 at only 1000 m a.s.l., cf. the table on p. 30. Since 1970 the glacier has increased its mass, on an average, by 8.4 m of water equivalent.

The meteorological program was slightly increased compared to previous years. The field station was moved to its present elevation but some observations were simultaneously carried out at the old location (880 m a.s.l.). Further, a meteorological screen is placed at 1360 m a.s.l. where temperature and precipitation were recorded. A selection of the results is shown on Fig. 31. The total discharge from the lake Engavatn amounted to $89 \cdot 10^6 m^3$ for the period June - August which gives a daily mean of only $0.97 \cdot 10^6 m^3$, which is an unusually low figure.

A comparison between mass balance on various glaciers

In 1977 the mass balance was observed on 10 glaciers, eight in Southern Norway and two in Northern Norway. There is a good geographical distribution of the selected glaciers in Southern Norway whereas Northern Norway is represented only by the two glaciers in the Svartisen area. Nothing is known about mass balance conditions for the many other glaciers in Northern Norway, but Norsk Polarinstitutt intends to start such measurements at Øksfjordjøkulen.

All the glaciers in Southern Norway experienced a year of negative balance, mainly due to an unusually low winter accumulation, whereas the ablation was almost

normal or even a little less. This caused the first negative balance year during the last 6-8 years for our most maritime glaciers.
In the Svartisen area the winter accumulation was also less than normal, the summer was relatively cool so the summer balance was less than average. The difference between Høgtuvbreen, experiencing a negative net balance and Engabreen, experiencing a positive balance, seems to be caused by differences in summer climate, but this is not studied in detail.

## The energy balance on selected glaciers

Measurements to determine the energy balance have been made, during the last few years, on 9 glaciers in Norway, 8 of them in Southern Norway, cf. Fig. 29. The results have been published earlier, cf. the table on p. 39. In 1977 the data collecting period lasted from the middle of June to the end of August for two glaciers only, Nigardsbreen and Engabreen. Concerning methods and instruments, see Tvede (1975).

The data collection at Nigardsbreen was made by various recording instruments, for example a Robitzsch actinograph. The station was also visited several times during the summer. The table on p. 27 shows the results - the incoming radiation accounted for 65% of the ablation, whereas convection and condensation accounted for 35%.

The station at Engabreen was operating from the middle of June to the end of August and the data is shown in the table on page 27 and on Fig. 31. Here the radiation accounted for almost 48%, the convection and condensation for almost 52% of the ablation. Only 1% was caused by precipitation. However, great variations can be seen from week to week, particularly in June/July when the last winter's snow disappears from the area.

The table on p. 39 gives a brief summary of all the most important results from the investigations during the last 8 years supplemented with some earlier investigations. Some of the measurements were made only during short time periods and are thus less reliable. The ablation conditions on the same glacier may show great variations from year to year, cf. for example the data from Nigardsbreen where the radiation accounted for only 53% of the ablation in 1973 but as much as 77% during the cool summer in 1974. The errors in measurements may in this case not exceed 4%.

## Subglacial investigations at Bondhusbreen

This outlet glacier was considered as a part of the large hydro-electric power project west of the icecap Folgefonni. The diverting galleries are at altitudes of 850-900 m a.s.l., whereas the glacier penetrates down to about 500 m a.s.l., so a subglacial water intake must be constructed to catch the melt water.

Many problems were encountered in this connection, one being the exact positioning of intake shafts, constructed vertically from the diverting bedrock tunnel up to the ice/bedrock interface (Wold & Østrem 1978). Several such shafts were constructed during the last few years, but only small amounts of water came into them.

Therefore a great number of holes were drilled vertically up from the almost horizontal diverting tunnel to obtain a more detailed picture of the subglacial topography. During the summer 1977 an intensified study was made, the variations in water flow from these holes were carefully observed and a tracer study was performed in the fall. Salt injected in the outlet from the lake Holmavatn was traced at certain points in the tunnel after 12 minutes, giving a subglacial water speed of 0.7 m/s for a horizontal distance of 430 m and a drop of 220 m (i.e. about $27^{o}$). For the distance from Holmavatn to the end of the glacier (1.9 km) the slope is about $22^{o}$ and the water speed was once measured to be 0.75 m/s. The slope of the glacier surface above the intakes (1050-1100 m a.s.l.) is about $15^{o}$.

The total meltwater draining from the glacier is about 2.5 $m^3/s$ in average for 5 months, plus about 1.0 $m^3/s$ from Holmavatn. Only 1/10 of this amount was actually collected through the existing shafts in 1977, so more engineering work is planned for 1978. Mass balance data from the glacier are presented elsewhere in this report.

## Ice velocity measurements on Erdalsbreen

In the summer 1973 some ice surface movement studies were started at Erdalsbreen, which is a west-facing outlet glacier from the northern part of Jostedalsbreen. The sediment transport from this glacier was studied during the years 1967-73 and showed much higher values than the figures obtained at the outlet glacier Vesledalsbreen which is situated only a few kilometres to the north. In general, Erdalsbreen produces almost 10 times as much solid material (as measured in the meltwater stream) per unit area than Vesledalsbreen (Haakensen 1975, p. 28). It is assumed that this great difference is based upon the fact that the two glaciers are moving differently. Measurements on Vesledalsbreen indicated that during the period 1968-72 the surface ice speed was in the order of 2.5 - 10 m per year (Tvede 1974, p.87).

A triangulation net was constructed at Erdalsbreen in 1973, a map of this triangulation net and a list of coordinates were published in Tvede (1975). Six stakes were placed at various locations on the glacier, and they were surveyed twice in 1973 under good conditions, twice in 1974 and once in 1975 but some of the last-mentioned measurements were less reliable due to bad weather, and some of the stakes had disappeared.

Data on the ice movement, distance and direction, are shown in the table on page

42 and on Fig. 33. Note, however, that the different calculation periods should not be compared directly, due to different stake positions and quality of the measurements. However, it is quite clear that the ice velocity is much higher at Erdalsbreen than at Vesledalsbreen. In the middle part the glacier moves up to 5-6 times faster than similar parts of Vesledalsbreen.

LITTERATUR

Eriksson, B.E.
1959: An experimental study of heat transmission in the surface layer of the Skagastøl Glacier. - Medd. från Uppsala Univ. Geogr. Inst., Ser.A (141 p.).

Hagen, J.O.
1977: Glasiologiske undersøkelser i Norge 1976. - Hydrologisk avdeling, Norges vassdrags- og elektrisitetsvesen. Rapport nr. 7/77, 94 p. (English summary).

Haakensen, N.
1975: Materialtransportundersøkelser i norske bre-elver 1973. - Hydrologisk avdeling, Norges vassdrags- og elektrisitetsvesen. Rapport nr. 4/75, 107 p. (English summary).

Kjeldsen, O.
1975: Materialtransportundersøkelser i norske bre-elver 1974. - Hydrologisk avdeling, Norges vassdrags- og elektrisitetsvesen. Rapport nr. 3/75, 92 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.

1978: Glaciological work in 1977. - Norsk Polarinst. Årbok 1977. (In print).

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.M., 1971, p. 69-80.

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

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

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

1975b: Energibalansen på utvalgte breer 1974. - I: Tvede, A.M., Wold, B. & Østrem, G., 1975, p. 53-60.

1977a: Energibalansen på utvalgte breer 1975. - I: Wold, B. & Hagen, J.O., 1977, p. 45-51.

1977b: Energibalansen på utvalgte breer 1976. - I: Hagen, J.O., 1977, p. 40-45.

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

Pytte, R.
1969: Glasiologiske undersøkelser i Norge 1968. - Hydrologisk avdeling, Norges vassdrags- og elektrisitetsvesen. Rapport nr. 5/69, 150 p. (English summary).

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

Tvede, A.M.
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).

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

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

Tvede, A.M. & Liestøl, O.
1977: Blomsterskardbreen, Folgefonni, mass balance and recent fluctuations. - Norsk Polarinst. Årbok 1976, p. 225-234.

Tvede, A.M., 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.

Wold,B. & Hagen, J.O.
1977: Glasiologiske undersøkelser i Norge 1975. - Hydrologisk avdeling, Norges vassdrags- og elektrisitetsvesen. Rapport nr. 2/77, 66 p.(English summary).

Wold, B. & Østrem, G.
1978: Subglacial constructions and investigations at Bondhusbreen, Norway. - In press. Paper presented at the Symposium on Glacier Beds: The ice-rock interface. Ottawa, Canada 15 - 19 August 1978.

Ziegler, T.
1974: Materialtransportundersøkelser i norske bre-elver 1972. - Hydrologisk avdeling, Norges vassdrags- og elektrisitetsvesen. Rapport nr. 2/74, 95 p. (English summary).

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.