NORGES VASSDRAGS-OG ELEKTRISITETSVESEN

GLASIOLOGISKE UNDERSÖKELSER I NORGE 1980

Redigert av Nils Haakensen

Bidragsytere: Nils Haakensen, Olav Liestöl, Sigmund Messel, Arve Tvede og Gunnar Östrem

RAPPORT NR. 1-82

VASSDRAGSDIREKTORATET

HYDROLOGISK AVDELING

OSLO JULI 1982

ISBN 82-554-0328-0

FORORD

Hydrologisk avdelings brekontor startet massebalansemålinger i 1962. Da ble Nigardsbreen utvalgt som en representant for Jostedalsbreen. Senere er massebalansemålingene utvidet, og tilsammen har brekontoret utført målinger på 17 breer i Syd- og Nord-Norge. I 1980 ble målinger utført på 6 breer.

Valget av målested er i mange tilfelle gjort for å skaffe hydrologiske data til veie der det foreligger kraft-utbyggingsplaner. Breens massebalanse påvirker hydrologien i det nedenforliggende vassdrag. Beregning av normal avrenning må derfor korrigeres med hensyn på breenes massebalanse. I andre tilfelle utføres målinger som konsesjonspålegg i utbygget vassdrag eller målingene har rent hydrologisk interesse.

Ved noen av breene har målingene pågått bare 5-6 år, dels fordi dette har vært tilstrekkelig for hydrologiske beregninger for å starte kraftverksutbygging, og dels fordi resultatene viser god korrelasjon med en nærliggende bre med lenger måleserie.

I tillegg utføres det meteorologiske observasjoner på en del av de undersøkte breene for å prøve å utrykke massebalansen som en funksjon av meteorologiske parametere.

Resultatene fra bremålingene i 1980 er samlet i foreliggende rapport, og det er også gitt en oversikt over resultatene fra en del målesteder tilbake til 1962.

Feltarbeid og beregninger er resultatet av et team-work mellom ansatte på brekontoret. Hovedansvaret for rapporten har ligget hos Nils Haakensen som også har utført noen av tegningene. De fleste av tegningene er utført av Bård Braskerud. Evy Vollmo har renskrevet teksten.

Oslo i juli 1982

Bjørn Wold

INNHOLD

	Side
Materialhusholdning, meteorologiske og hydrologiske undersøkelser ved utvalgte breer (Nils Haakensen)	3
Innledning	3
Metodikk	4
Vær og snøforhold i balanseåret	10
Ålfotbreen	11
Bondhusbreen	17
Nigardsbreen	21
Hardangerjøkulen (Olav Liestøl)	29
Storbreen (Olav Liestøl)	29
Hellstugubreen	30
Gråsubreen	33
Engabreen	36
En sammenligning av materialhusholdningen på de enkelte breer	44
En oversikt over massebalanseundersøkelser utført på noen norske breer i perioden 1962-80	47
Energibalansen på Engabreen (Sigmund Messel)	54
Innledning	54
Resultater	55
Spesielle undersøkelser ved Bondhusbreen (Nils Haakensen)	59
Nytt brekart over Hellstugubreen (Nils Haakensen)	62
En metode til å beregne hvordan en avløpsserie er blitt påvirket av magasineffekten i brefelter (Arve Tvede)	64
English Summary (Gunnar Østrem)	71
Mass balance, meteorological and hydrological investigations at selected glaciers	71
The energy balance on Engabreen	81
Special investigations at Bondhusbreen	82
A new glacier map of Hellstugubreen	82
A method for calculating the reservoir effect of glaciers on runoff series	83
Litteratur	85

MATERIALHUSHOLDNINGEN, METEOROLOGISKE OG HYDROLOGISKE UNDERSØKELSER VED UTVALGTE BREER

Innledning

Norges Vassdrags- og Elektrisitetsvesen har i 1980 utført glasiologiske undersøkelser på 6 breer i Norge, 5 i Syd-Norge og 1 i Nord-Norge. Dertil har Norsk Polarinstitutt utført massebalansemålinger på 2 breer i Syd-Norge. Beliggenheten av disse breene er vist i fig. 1.

På Ålfotbreen i Nordfjord utføres undersøkelsene på en nordvendt brearm. Elven fra breen er overført til Store Åskåravann, som er det største magasinet i vassdraget, og utbygget av Sogn og Fjordane fylke som i konsesjonsbetingelsene er pålagt undersøkelsene.Utgiftene til undersøkelsene deles likt mellom Hydrologisk avdeling i NVE og Sogn og Fjordane Kraftverk (SFK). Målingene på Ålfoten har pågått siden høsten 1962 og har omfattet massebalanseundersøkelser og meteorologiske registreringer om sommeren og avløpsmålinger. I 1980 ble det utført massebalanseundersøkelser, en del meteorologiske registreringer med selvregistrerende instrumenter og avløpsmålinger med limnigraf.

På Folgefonni ble det målt massebalanse på Bondhusbreen, som en del av de undersøkelsene som utføres i det subglasiale vanninntaket under Bondhusbreen. Dette arbeidet utføres for å bedre forståelsen av Bondhusbreens dynamikk og for å skaffe erfaringer om sammenhengen mellom breens dynamikk og mulighetene for å fange opp vann subglasialt, erfaringer som vil komme til stor nytte ved fremtidige subglasiale vanninntak. Helt siden 1962 er det med små avbrudd utført massebalansemålinger på forskjellige utløpere av Folgefonni. De pågående målingene på Bondhusbreen ble satt i gang høsten 1976, og undersøkelsene bekostes av Statskraftverkene. I 1980 ble det i tillegg til massebalansemålinger utført meteorologiske observasjoner. I inntaket ble det utført hydrologiske målinger og undersøkelser av vanntilgang fra inntakene og materialtransportundersøkelser.

På Jostedalsbreen satte NVE i gang målinger av massebalanse på Nigardsbreen i 1962, på Tunsbergdalsbreen i 1966 og på Vetledalsbreen i Stryn i 1967. På de to siste ble målingene avsluttet i 1972, men på Nigardsbreen, som var den første bre hvor Brekontoret utførte målinger av materialhusholdningen, har målingene pågått kontinuerlig siden 1962. I planene for Breheimutbyggingen forutsettes det et subglasialt breinntak under tungen til Nigardsbreen, og disse planene gjør undersøkelsene der spesielt interessante. Siden 1977 ble måleprogrammet en del redusert. Stasjonen på Steinmannen er ikke lenger fast bemannet i sommersesongen, og de meteorologiske observasjoner er siden da blitt utført med selvregistrerende instrumenter med den kvalitetsforringelse som det medfører. Undersøkelsene på Nigardsbreen er

siden 1979 betalt av Leirdøla Kraftverk ved konsesjonspålegg. Kraftverket benytter bare vann fra Tunsbergdalsbreen, men ble konsesjonspålagt målinger på Nigardsbreen fordi man der har en lang måleserie, og målinger i årene 1966-72 viser meget god korrelasjon mellom de to breene (Haakensen 1978).

I 1980 ble det på Nigardsbreen utført massebalansemålinger, enkle meteorologiske observasjoner med selvregistrerende instrumenter og kontinuerlige avløpsmålinger i breelven. Som følge av konsesjonspålegget til Leirdøla Kraftverk ble det i 1980 bygget en helt ny stasjon på Steinmannen med to nye og større hytter.

På Hardangerjøkulen er materialbalansen målt på Rembesdalskåkji, som drenerer til Simadalen, og som nå inngår i Sima Kraftverk i Eidfjord. Undersøkelsene ble satt i gang i 1963 og finansieres av Norsk Polarinstitutt.

I Jotunheimen har Brekontoret i 1980 målt materialhusholdningen på Hellstugubreen og Gråsubreen. På disse breene har målingene pågått kontinuerlig siden 1962, og utgiftene dekkes for tiden av Hydrologisk avdeling. Gråsubreen, i tillegg til Nigardsbreen og Ålfotbreen, tenkes å inngå i et mer permanent program for overvåking av langsiktige volumendringer på norske breer. Norsk Polarinstitutt fortsatte målingene av massebalansen på Storbreen i Vest-Jotunheimen. Her har målingene pågått siden 1948, og de utgjør den nest lengste måleserie i verden. I tillegg til de pågående undersøkelsene i Jotunheimen utførte NVE målinger av massebalansen på Østre Memurubre i årene 1967-72 og på Vestre Memurubre 1968-72.

I Nord-Norge satte NVE i 1963 i gang målinger av massebalanse på Storsteinsfjellbreen, Blåisen og Cainhavarre i Skjomenområdet i forbindelse med kraftutbygging i der. Disse målingene pågikk til 1968.

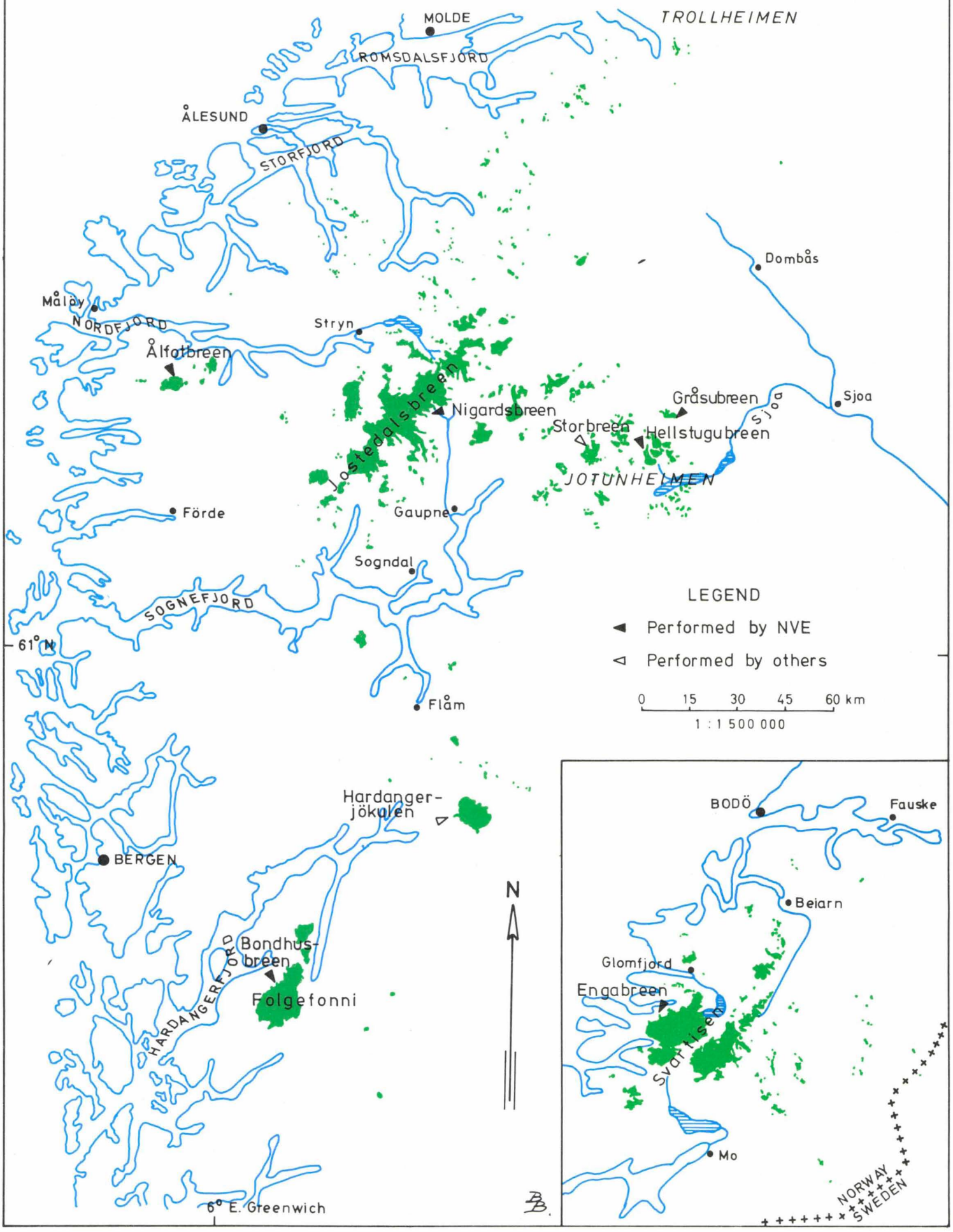
I 1970 ble det satt i gang målinger på Engabreen og Trollbergdalsbreen i Svartisenområdet, og i 1971 ble disse målingene supplert med undersøkelser av en østlig utløper av Høgtuvbreen. Målingene inngår som en del av Svartisenundersøkelsene og finansieres av Statskraftverkene i forbindelse med kraftutbyggingsplanene i Svartisen-/Saltfjell-området. Målingene, som omfattet massebalanseundersøkelser, meteorologiske observasjoner og avløpsmålinger ble avsluttet på Trollbergdalsbreen i 1975 og på Høgtuvbreen i 1977. På Engabreen fortsetter imidlertid målingene i samme omfang, og i 1980 ble det utført massebalansemålinger, meteorologiske observasjoner, målinger av strålingsbalansen (se s. 54) og avløpsmålinger.

Metodikk

Materialhusholdningen

Metodikken som anvendes ved massebalansemålinger som utføres på norske breer, er utførlig beskrevet i tidligere rapporter fra Hydrologisk avdeling, se f.eks. Østrem &

Fig. 1 MASS BALANCE STUDIES OF NORWEGIAN GLACIERS **1980**



Pytte 1968, Pytte 1969, Pytte 1970, og Tvede 1971. Måleteknikk og prosedyrer som anvendes er i alt vesentlig de samme som beskrives i en arbeidsmanual utarbeidet av G. Østrem og A. Stanley (Østrem & Stanley 1969).

Målingene i 1980 fortsatte etter tidligere års prinsipper fordi disse er funnet hensiktsmessige for praktisk bruk, og fordi resultatene fra tidligere års målinger da lettere kan sammenlignes. Terminologien bygger på retningslinjer utarbeidet av "International Commission on Snow and Ice of the International Association of Scientific Hydrology", IASH (ICSI), og utgitt av UNESCO (UNESCO 1970). Betydningen av de forskjellige termer og symboler som er brukt, er vist i fig. 2.

Resultatene av målingene utgis i rapportserien "Glasiologiske undersøkelser i Norge" som har utkommet årlig siden 1963.

Vinterbalansen (b_w) er den totale akkumulasjon av snø i løpet av vinteren. Den måles før smeltingen starter om våren. På norske breer er det normalt i april eller mai. Målingene må gjøres før smeltingen begynner, da smelting danner islinser ned gjennom snødekket, og det vanskeliggjør målingene. Vinterbalansen måles ved sonderinger av snødypet i en rekke punkter fordelt over hele breflaten. Sonderingene refererer seg alltid til forrige års sommeroverflate som kan bestå av breis eller firn, avhengig av hvor på breen en befinner seg og hvor stor forrige års sommerbalanse var. Der sommeroverflaten består av is, er det vanligvis ingen vanskelighet å lokalisere den med sonden. På breens øvre deler kan forrige års snøoverflate være dårlig utviklet, spesielt om det har falt nysnø i løpet av sommeren, og det kan da være umulig å lokalisere den med sonden. I slike tilfelle er en avhengig av målinger på staker nedboret i breen.

Ved å ta opp snøprøver med et kjernebor er det i mange tilfelle mulig å lokalisere siste sommers snøoverflate. Den kan fremstå som en tydelig horisont, enten ved en markert forandring i snøkrystallenes kornstørrelse eller et smusslag fra vindblåst organisk materiale som under smeltingen vil anrikes på overflaten og gjøre breen skitten. Dersom kjerneboring må gjøres i mange punkter på breen, blir akkumulasjonsmålingene en meget arbeidskrevende prosess.

Et eller flere islag over sommeroverflaten som kan skyldes mildvær etterat akkumulasjonssesongen har begynt, kan også gjøre det vanskelig å lokalisere denne flaten. Det kan da være nødvendig å utføre kjerneboring eller grave en sjakt for å analysere snølaget og finne sommeroverflatens beliggenhet i forhold til en med sonden lett påviselig horisont.

Snøens tetthet måles bare i noen få punkter på breen (vanligvis 2-3) i forskjellige høydenivåer. Den vanligste metoden er å grave seg ned til sommeroverflaten og måle vekt av snødekket med en stålsylinder med kjent volum og tverrsnitt som slås vertikalt ned i snøen. Er snødypet over 5-6 m, blir denne arbeidsmåten meget tidkrevende,

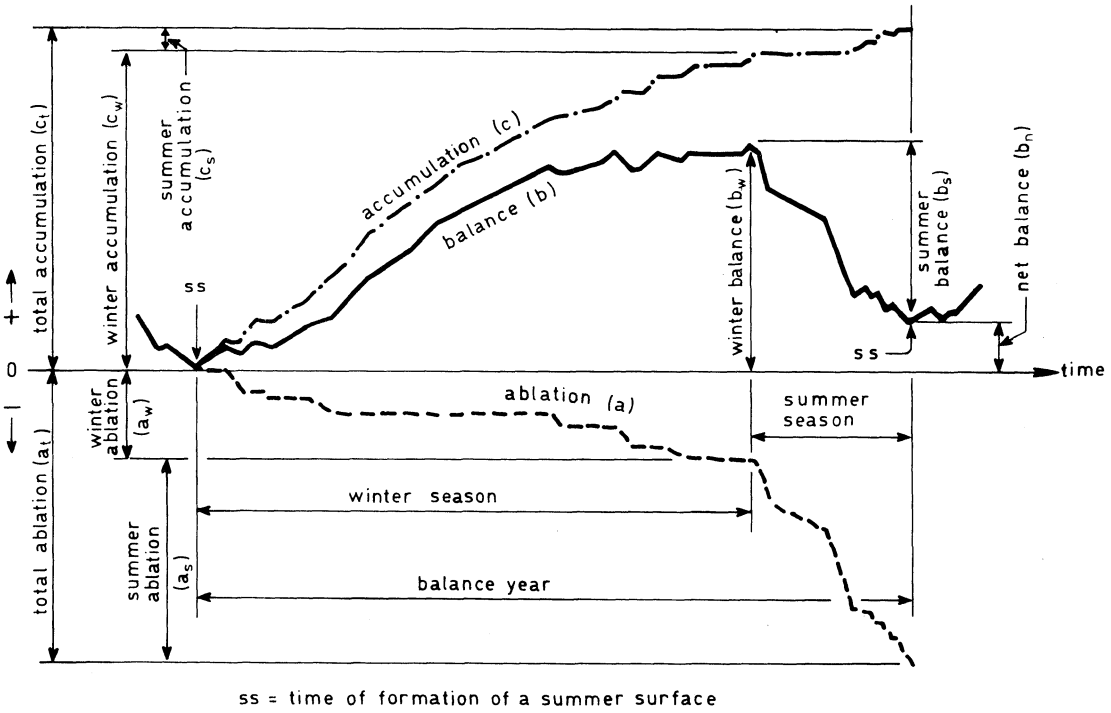


Fig. 2 Balansen i et punkt er vist som funksjon av tiden, og den terminologi som benyttes i det stratigrafiske system er angitt.

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.

og man tar da gjerne opp snøprøver med et kjernebor for å kunne foreta tetthetsbestemmelse av den nederste delen av snøen. På breer med stor materialomsetning kan det graves sjakt og tas tetthetsprøve flere ganger i løpet av vinteren. Overflaten markeres da med et farvelag, og ved neste besøk tas tetthetsprøven ned til det utlagte farvelaget.

Ut fra tetthetsprøvene beregnes snøens vannekvivalent, og de forskjellige tetthetsprøvene gjøres representative for ulike deler av breen. Snøens vannverdi kan deretter bestemmes i punktene på breflaten der snødypet er sondert. Deretter plottes punktene på et kart, og isolinjer trekkes gjennom punkter med samme vannverdi. Breens totale vinterbalanse (B_w) målt i m^3 vann og den spesifikke vannverdi (b_w) målt i m regnes ut i forskjellige høydenivåer ved å planimetrere dette kartet. Beregningene gjøres vanligvis i 100 m intervall på de store breene og 50 m intervall på de små.

Som oftest vil det komme noe snø på breen etter at akkumulasjonsmålingene er foretatt. Denne tilleggsakkumulasjonen kan noen ganger måles direkte ved målestedene, andre ganger må den beregnes ut fra nedbør og temperaturobservasjoner på meteorologiske stasjoner nær breen. Men ofte er tilleggsakkumulasjonen så liten at man

ikke behøver å ta hensyn til den. I årets resultater er vinterbalansen angitt som balansen slik den ble målt ved hovedmålingen dersom ikke noe annet er nevnt i teksten.

Sommerbalansen (B_s) er den totale avsmelting på breen i løpet av sommeren (ablasjonssesongen) og måles i utvalgte punkter på breen ved at de vertikale forandringer på de i breen nedborede staker registreres gjennom sommeren. Dette gjøres ved å ta parallelle målinger av stakenes lengde over breoverflaten, samt tetthetsbestemmelse av den igjenværende firn. I firnområdet kan ikke sommerbalansen måles direkte, men blir forskjellen mellom vinterbalansen og den igjenværende snø. Nedenfor firnområdet blir sommerbalansen summen av vinterbalansen og ablasjon av firn og is. Siste måling av sommerbalansen gjøres normalt etter at neste balanseårs akkumulasjon har startet, så man er sikker på at ablasjonen er slutt.

Sommerbalansen som er målt ved de enkelte staker, overføres til et kart over breen, og isolinjer trekkes gjennom punkter med samme vannverdi. Deretter planimetreres kartet og den totale sommerbalanse (B_s) og den spesifikke vannverdien (b_s) beregnes i de forskjellige høydenivåer. Sommerbalansen fordeler seg normalt mer regelmessig over breoverflaten enn vinterbalansen og vil nesten alltid avta med stigende høyde. Særlig utpreget er dette på de maritime breene hvor konveksjonen fra varm luft er ansvarlig for en vesentlig del av smeltingen. På kontinentale breer, der stråling står for en relativt større del av smeltingen, blir bildet mer nyansert. Har man i tillegg påfrossen is som på polare breer, blir forholdene enda mer kompliserte. Men en tilstrekkelig nøyaktig bestemmelse av sommerbalansen kan basere seg på langt færre målepunkter enn for bestemmelse av vinterbalansen.

Nettobalansen er til enhver tid masseforandringen i forhold til siste års sommeroverflate, og den kan være positiv eller negativ (fig. 2). Balanseåret er tidsperioden mellom dannelsen av to på hverandre følgende sommeroverflater. Balanseåret deles i en akkumulasjonssesong (vintersesong) og en ablasjonssesong (sommersesong). Akkumulasjonssesongen begynner når smeltingen er slutt. Da dannes sommeroverflaten umiddelbart før den nye akkumulasjonen begynner. Ablasjonssesongen begynner når akkumulasjonen er slutt og smeltingen starter. Nettobalansen (b_n) beregnes som den algebraiske sum av vinterbalansen og sommerbalansen

$$b_n = b_w + b_s$$

der sommerbalansen er negativ.

Dermed blir nettobalansen positiv i de tilfeller da breen har øket sin masse i løpet av balanseåret, og negativ dersom breens masse har minket.

Gjennom de punkter på breen der nettobalansen er null, trekkes den såkalte likevektslinje. Jo mer positiv breens nettobalanse er, jo lavere ligger likevektslinjen.

Den temporære snøgrensen refererer seg alltid til et bestemt tidspunkt og er en linje gjennom de punkter på breen der årets akkumulasjon akkurat har smeltet vekk. Den temporære snøgrensens høyde øker utover sommeren og kan ha ulik høyde på ulike steder på breen i motsetning til likevektslinjen (se nedenfor) som er en teoretisk linje.

For å kunne sammenligne forholdene fra år til år og fra bre til bre beregnes arealverdier og midlere verdier av vinter-, sommer- og nettobalanse i hvert 50 m eller 100 m høydeintervall. Resultatene er gjengitt i tabellform hvor det fremgår hvilke høydeintervall som er brukt. I tabellene er det vist total balanse i m^3 vann, spesifikk balanse i m og dessuten balansens tilsvarende spesifikke avløp i $l/s \cdot km^2$.

I diagramform er det for hver bre vist variasjonene med høyden over havet av vinter-, sommer- og nettobalansen, og sommerbalansen som er målt ved hver stake er plottet inn i diagrammet. Videre er breens arealfordeling og arealverdier av nettobalansen i de angitte høydeintervall gjengitt i diagrammet. Nettobalansen er tegnet som et histogram. Ut fra dette diagrammet kan man direkte lese ut likevektslinjens høyde, som er der nettobalansekurven skjærer y-aksen.

Meteorologiske og hydrologiske observasjoner og beregninger

Disse målingene er i 1980 foretatt etter samme mønster som tidligere år. Det er foretatt meteorologiske observasjoner på Ålfotbreen, Bondhusbreen, Nigardsbreen og Engabreen. Observasjonene er av noe ulik kvalitet. De er best på Engabreen som har vært bemannet hele sommeren, og på Bondhusbreen der den meteorologiske stasjonen ble besøkt hver dag. Resultatene er presentert i et observasjonsdiagram for hver bre der døgnlige middelverdier er angitt.

Skydekket er observert i 10-deler. Vindstyrken er midlere vindstyrke målt med anemometer. Lufttemperaturen registreres av termografer som står i ventilerte instrumenthytter 2 m over bakken. Døgnlig nedbør måles i standardnedbørmåler og/eller "Pluvius" på bemannede stasjoner (Engabreen og Bondhusbreen) og pluviograf andre steder. Luftfuktigheten er målt med hygrograf som måler relativ fuktighet. Den relative fuktigheten blir omregnet til absolutt fuktighet ved hjelp av tabeller som viser relasjonen mellom relativ og absolutt fuktighet ved ulike temperaturer. Ved Engabreen er det utført strålingsmålinger med to aktinografer.

En mer utførlig beskrivelse av metodikken for utførelse, beregning og presentasjon av meteorologiske observasjoner er gitt i tidligere rapporter (Østrem & Pytte 1968 s. 8, Pytte 1969 s. 11).

Avløpet fra de breer der det var faste observatører (Bondhusbreen, Nigardsbreen og Engabreen), ble registrert med limnigraf og regelmessige vannstandsobservasjoner, ved Ålfoten med limnigraf som ble besøkt og kontrollert en gang pr måned. Døgnav-

løpet er beregnet og satt inn i diagrammene sammen med de tilhørende meteorologiske observasjoner. Sammenhengen mellom de meteorologiske observasjoner og avløpet er ikke like tydelig overalt, og ulike meteorologiske parametre har forskjellig betydning for avløpet i forskjellige felt.

Ved trinnvis multippel regresjonsanalyse kan man tilpasse en funksjon av

$$Q = k' + k_1X_1 + k_2X_2 + \ldots + k_nX_n + E$$

der Q er vannføringen (avhengig variabel) og X_1, X_2, ..., X_n er de meteorologiske data som brukes (uavhengige variable), k_1, k_2, ..., k_n er konstanter og E er tilfeldige feil. Metoden er beskrevet av Roald, 1971. Brekontoret har benyttet metoden ved studier av breavløp, og det er blitt funnet ligninger for de enkelte breer (Østrem 1968, 1969, 1970). Sammenligning mellom middeltallene for det observerte og det beregnede avløpet viser oftest avvikelser på under 5 % (Roald 1971, s. 98).

Vær- og snøforhold i balanseåret

Høsten og vinteren 1979/80 var preget av kaldt vær og stort sett lite nedbør (Det Norske Meteorologiske Institutt 1979, 1980). Samtlige måneder fra og med september til og med mars var kjøligere enn normalt i breområdene, både syd og nord i landet, gjennonsnittlig vel 1°C under normalt i syd og litt under 1°C i nord. Nedbøren var langt under normalt i Syd-Norge og nær eller litt under det normale i Nord-Norge.

Allerede i første halvdel av september begynte akkumulasjonen på breene både i Syd- og Nord-Norge. September hadde kaldt og urolig vær. Middeltemperaturen var 1 - 2°C under normalt, og nedbøren var opp til 200 % av det normale i breområdene. Oktober hadde rolig og kjølig vær og bare halvparten av normal nedbørmengde. November og desember var kjølige over hele landet. Lavtrykkene og nedbørområdene kom inn over Syd-Norge eller passerte syd for landet, og nedbøren var nær det normale. Bare den aller sydligste delen av landet hadde et bra nedbøroverskudd.

Månedene januar til og med mars var stort sett preget av høytrykksituasjonen med kaldt vær og lite nedbør over hele landet. Høytrykket holdt seg over Syd-Norge i april og ga normal temperatur og bare 30-50% av normal nedbør mens lavtrykk og nedbørområder kom inn over Nord-Norge og gav mye nedbør (150%) og temperatur ca 2°C høyere enn normalt.

Vinterbalansen for breene i Syd-Norge var 65-79% av gjennomsnittet for de siste 18-19 årene. Helt i syd, på Bondhusbreen, var nedbøren noe større, da denne breen fikk føling med lavtrykkene som passerte over sydspissen av Norge. Her var vinterbalansen nær ved det normale. Stasjonene rundt Svartisen hadde en vinternedbør på

ca 90 % av normalt, og Engabreen hadde en vinterbalanse på 86 % av gjennomsnittet for de siste 11 år.

Sommermånedene ble stort sett preget av høytrykk, bare avbrutt av kortere perioder da lavtrykkene kom inn over Skandinavien. Samtlige måneder fra og med mai til og med september hadde temperatur over det normale i det aller meste av landet. Ablasjonssesongen varte det meste av september. Både på Vestlandet og rundt Svartisen lå gjennomsnittstemperaturen i denne perioden 1.0°C - 1.5°C høyere enn normalt. Særlig var temperaturoverskuddet stort i juni, da det var 2-3°C varmere enn normalt i syd og 3-4°C varmere enn normalt i nord. Nedbøren var noe under normalen i syd og bare 35-40% av normalen i nord. Sommerbalansen var over middelverdien for de årene målingene har pågått, i hele landet, og var relativt størst på Nigardsbreen med 150% av middelverdien for de siste 19 år, mens sommerbalansen på Ålfoten og Bondhusbreen bare var litt over middelverdien for de årene målingene har pågått (hhv.19 og 4 år).

Selv med nedbør under det normale førte den store smeltingen til et avløp fra Nigardsbreen som var nesten 25% høyere enn middelverdien for de siste 12 årene, og for Engabreen snaut 20% høyere enn middelverdien for de siste 11 årene (Kjeldsen 1981, s. 8). På Ålfoten var avrenningen 113% av middelverdien for 11 år med målinger etter 1965.

Ålfotbreen

Materialhusholdning

Vintersesongens første besøk på Ålfotbreen var den 22. oktober, og det var da kommet 40-110 cm snø, mest på toppen. Neste besøk var den 12. desember, og det var da kommet 200-250 cm snø på 7 uker, da mest på breens nedre del fordi vinden blåser snøen nedover breen. På de neste 7 ukene fram til 6. februar var stakene blitt ytterligere ca 1.5 m kortere. Fram til akkumulasjonsmålingen, som ble utført 15. - 17. april, kom det ytterligere rundt 150 cm snø. Av de 21 stakene på breen, overlevet 18 av dem vinteren.

Under akkumulasjonsmålingen ble snødypet målt i 142 punkter langs profiler som er vist i fig. 3. Snødypet varierte stort sett mellom 4.8 m og 6.2 m, bortsett fra nederst på tungen hvor det ble målt mer enn 8 m.

Ved stake 37 (ca 1 240 m o.h.) ble det ved hvert besøk gjennom vinteren lagt ut et farvelag og tatt tetthetsprøve ned til forrige besøks farvelag. Disse tetthetsprøvene ble summert og justert til snødypet ved akkumulasjonsmålingen, og midlere tetthet var 0.45 g/cm^3. På grunnlag av denne tetthetsprøven ble det utarbeidet et kart over vinterbalansen (fig. 4). Vinterbalansen ble beregnet til 12.1 · 10^{6}m^3 vann, eller 2.53 m vann jevnt fordelt over hele breens overflate. Dette er bare

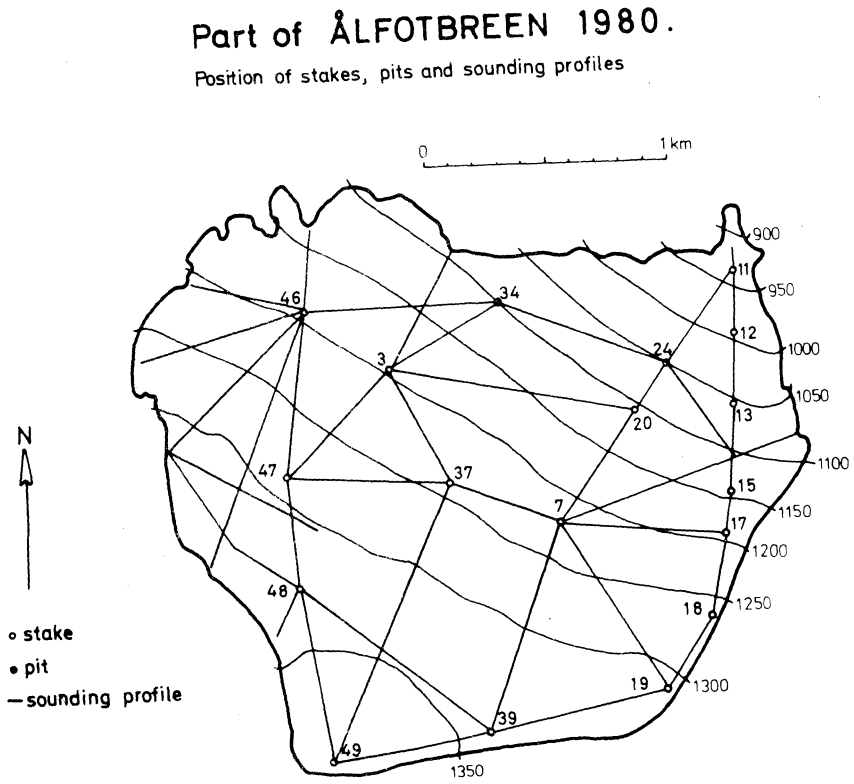


Fig. 3 Beliggenheten av staker, sjakt og sonderingsprofiler i 1980.

The location of stakes, pit and sounding profiles in 1980.

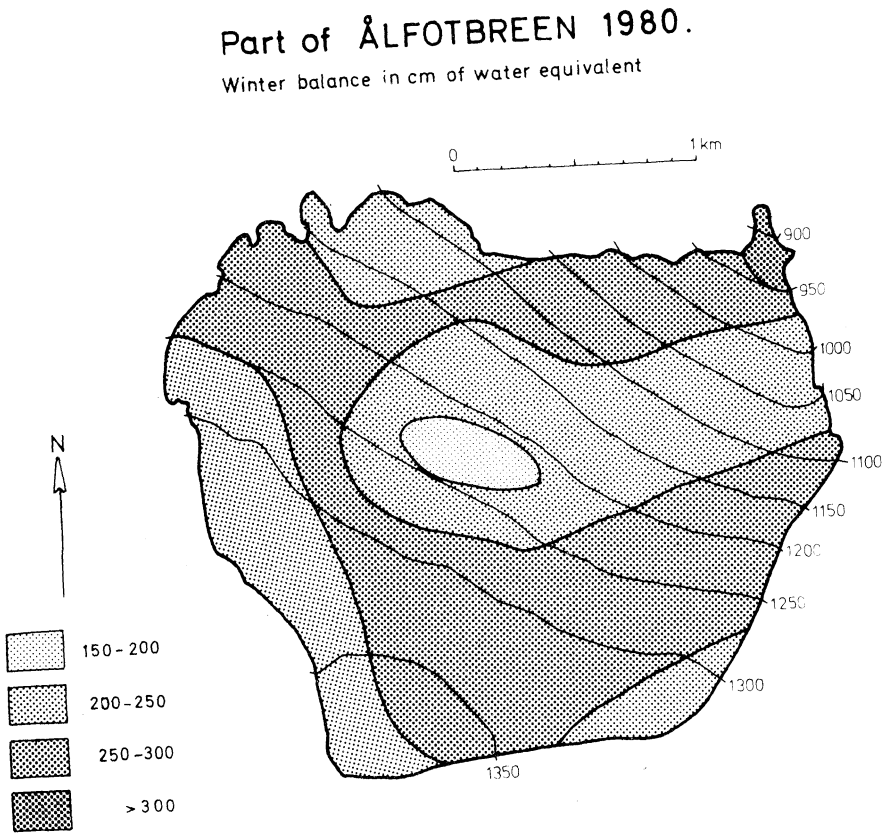


Fig. 4 Kart over vinterbalansen i 1980.

Map showing the winter balance in 1980.

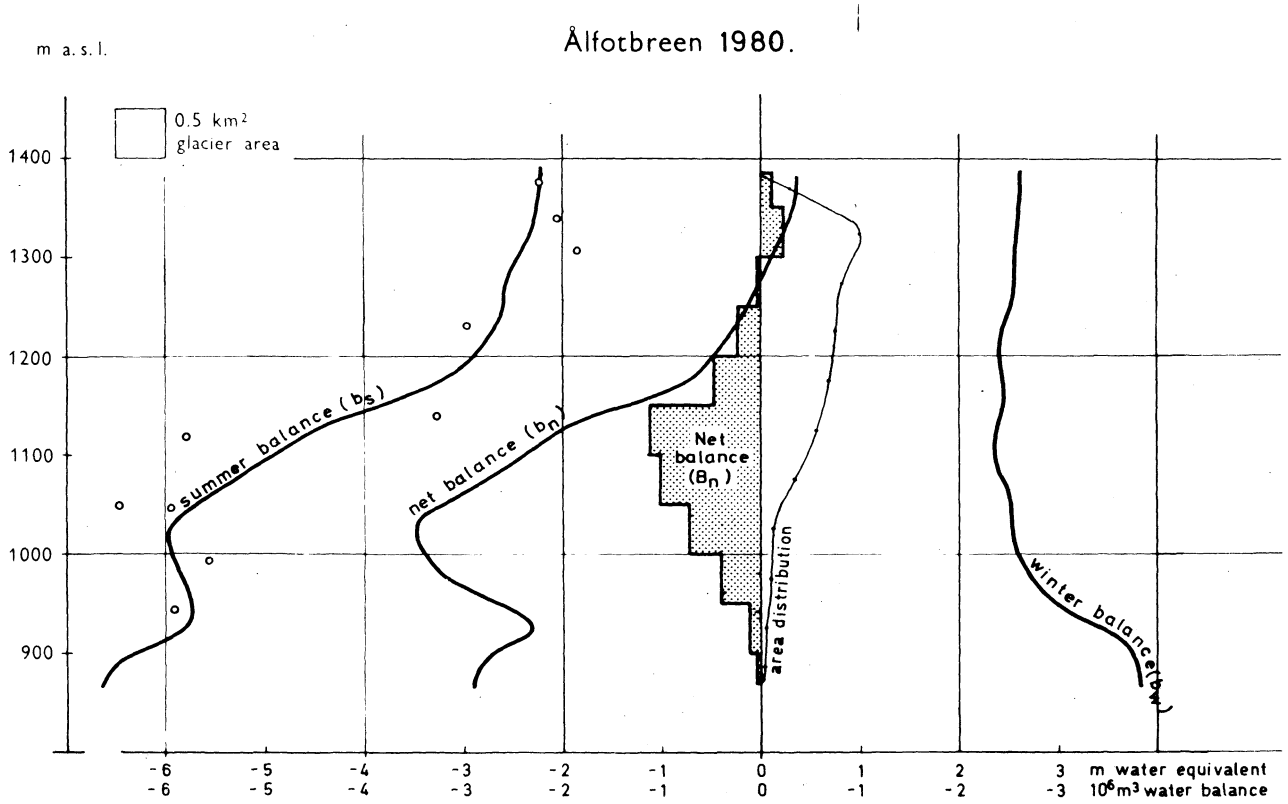


Fig. 5 Variasjonene av vinter-, sommer- og nettobalansen med høyden over havet, breens arealfordeling og arealverdier av nettobalansen i hvert 50 m høydeintervall.

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

74% av midlere vinterbalanse for årene 1963-80, og 77% av fjorårets vinterbalanse.

Ablasjonen ble målt 27. juni, 5. august og 2. september, og minimumsmålingene ble utført i 19 målepunkter på breen. Sommerbalansen ble beregnet til 16.1 · $10^6 m^3$, hvilket motsvarer en spesifikk avrenning på 106 l/s km^2 eller 3.35 m vann jevnt fordelt over hele breens overflate. Dette er omtrent det samme som foregående år og 101% av middelverdien for årene 1963-80.

Den lave vinterbalansen førte til at det ble relativ stor negativ nettobalanse, og breen minsket sitt volum med ca 4 · $10^6 m^3$ eller 82 cm vann jevnt fordelt over hele breen eller et ekstra tilskudd til vassdraget nedenfor breen på 26 l/s km^2. Det er det største underskudd siden 1970. Årets likevektslinje ble liggende på 1 280 m og det er ca 70 m høyere enn i et år med balanse i materialhusholdningen (se fig. 5). På grunn av den lave vinterbalansen ble det på store deler av breen blottlagt firn og blåis tidlig på sommeren. Dermed ble albedoen lav, og ablasjonen ble dermed større enn sommerens værforhold skulle tilsi. 1980 var det fjerde året på rad med negativ massebalanse på Ålfotbreen.

ÅLFOTBREEN 1980

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
1350-1380	0.27	0.71	2.59	82	0.61	2.25	72	0.10	0.34	10
1300-1350	1.01	2.60	2.56	81	2.39	2.34	74	0.21	0.22	7
1250-1300	0.81	2.06	2.55	81	2.10	2.59	82	-0.04	-0.04	-1
1200-1250	0.76	1.85	2.41	77	2.09	2.71	86	-0.24	-0.30	-11
1150-1200	0.65	1.60	2.47	78	2.08	3.20	101	-0.48	-0.73	-23
1100-1150	0.55	1.32	2.38	76	2.44	4.44	141	-1.12	-2.06	-65
1050-1100	0.36	0.87	2.44	77	1.90	5.28	167	-1.03	-2.84	-90
1000-1050	0.22	0.58	2.50	79	1.32	6.00	190	-0.74	-3.50	-111
950-1000	0.13	0.34	2.69	85	0.76	5.85	185	-0.42	-3.16	-100
900- 950	0.05	0.16	3.50	111	0.29	5.80	184	-0.13	-2.30	-73
870- 900	0.01	0.02	3.75	119	0.07	6.50	222	-0.05	-2.75	-103
870-1380	4.82	12.11	2.53	80	16.05	3.35	106	-3.94	-0.82	-26

Meteorologiske observasjoner

Det meteorologiske måleprogrammet på Ålfoten i 1980 var det samme som de foregående år. Termograf, pluviograf og hygrograf, alle med omløpstid på én måned, ble installert 28. mai. Instrumentene ble kontrollert én gang pr måned og ble rigget ned den 2. oktober. Resultatene fra den 127 døgn lange observasjonsperioden er vist i fig. 6. Termografen gikk uten avbrudd hele tiden, og registreringene er av bra kvalitet. Pluviografen hadde avbrudd i perioden 23. august - 2. september og et par enkeltdager i september. Hygrografen skrev uregelmessig i mesteparten av juni og hadde avbrudd i tiden 13. august - 2. september.

I tabellen på s. 16 er månedsverdiene for de meteorologiske observasjonene samt avrenningen i breelven for 1980 sammenlignet med midlere månedsverdier for perioden 1965-80. I denne perioden er det registrert månedsmiddeltemperatur og månedsnedbør 14-15 år for månedene juni, juli og august og 7-8 år for september. Midlere luftfuktighet er observert 8 år i juni, 9 år i juli og 6 år i august og september.

Fig. 6 Resultater fra de daglige meteorologiske observasjoner på Ålfotbreen (900 m o.h.), samt daglig avløp i breelven i 1980.

The daily meteorological observations at Ålfotbreen (900 m a.s.l.), and the daily discharge at the water gauge in thr glacier river in 1980.

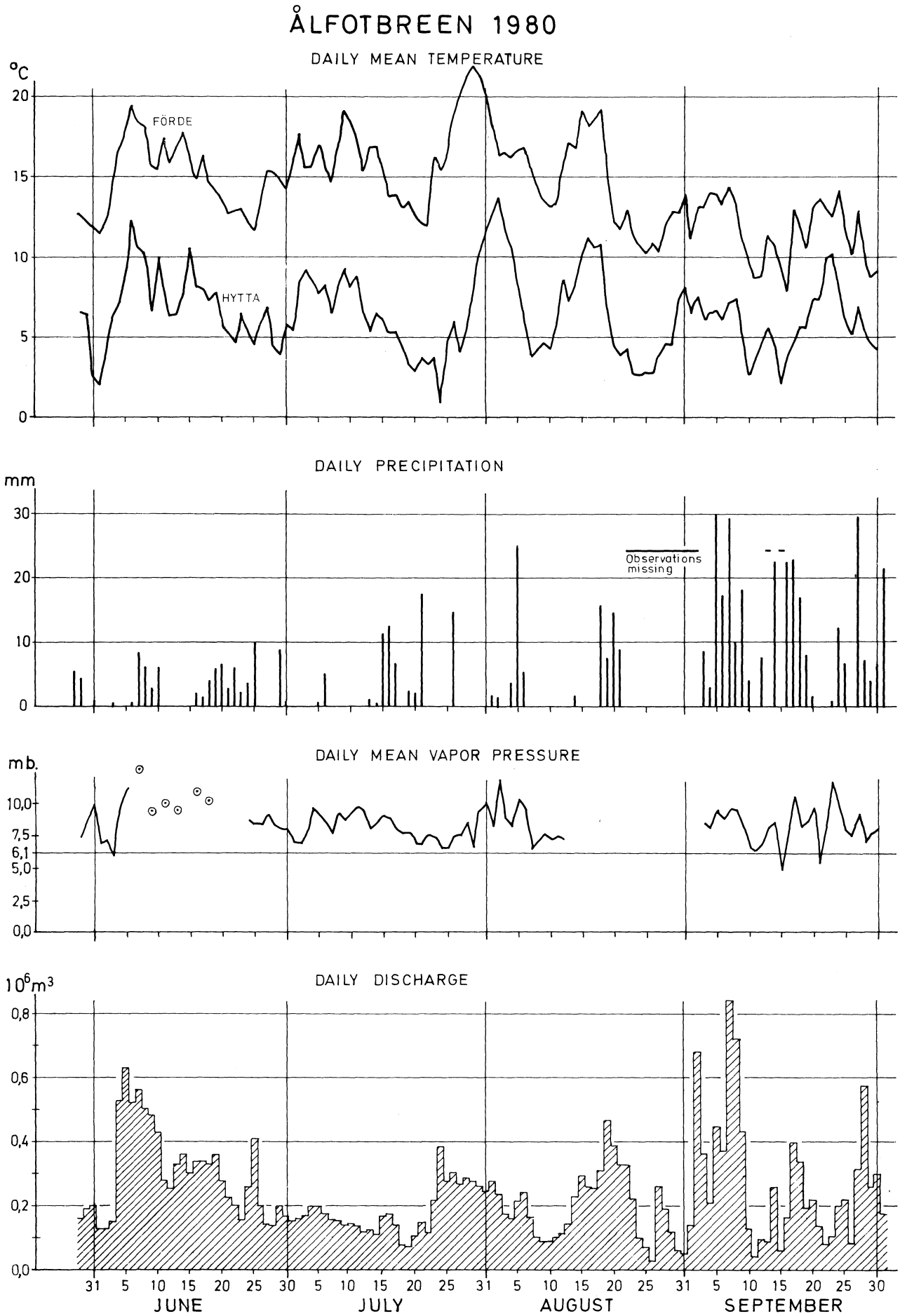

ÅLFOTBREEN 1980
DAILY MEAN TEMPERATURE
°C
20
15
10
5
0
FÖRDE
HYTTA
DAILY PRECIPITATION
mm
30
20
10
0
Observations missing
DAILY MEAN VAPOR PRESSURE
mb.
10,0
7,5
6,1
5,0
2,5
0,0
DAILY DISCHARGE
10⁶m³
0,8
0,6
0,4
0,2
0,0
31 5 10 15 20 25 30 5 10 15 20 25 31 5 10 15 20 25 31 5 10 15 20 25 30
JUNE
JULY
AUGUST
SEPTEMBER

Fig. 6

	T(°C)	$\bar{T}$(°C)	P(mm)	$\bar{P}$(mm)	F(mb)	$\bar{F}$(mb)	Q($10^6 m^3$)	$\bar{Q}$($10^6 m^3$)
Juni	6.9	6.3	118	165	9.0	7.9	9.3	7.0
Juli	6.2	6.8	74	152	8.1	8.4	5.6	6.8
August	6.7	7.5	126	202	8.3	8.0	6.0	6.0
September	6.0	4.5	332	396	8.2	7.3	8.4	6.2
Sommer	6.5	6.3	650	915	8.4	7.9	29.3	26.0

T = middeltemperatur for 1980
$\bar{T}$ = middeltemperatur for årene 1965-80
P = månedsnedbør i 1980
$\bar{P}$ = midlere månedsnedbør for årene 1965-80
F = midlere luftfuktighet i 1980
$\bar{F}$ = midlere luftfuktighet for årene 1965-80
Q = månedlig avrenning i Breelven i 1980
$\bar{Q}$ = midlere månedlig avrenning for årene 1965-80

Sommeren ble litt varmere enn middelverdien for perioden 1965-80. Juni var forholdsvis varm, juli og august var kjølig, mens september var hele 1.5°C varmere enn middelverdien for perioden 1965-80. I observasjonsperioden hadde 15 døgn middeltemperatur over 10°C, av dem var 8 i august. Sommerens høyeste døgnmiddeltemperatur var den 2. august med 13.7°C, og laveste døgnmiddeltemperatur i observasjonsperioden var 0.9°C som ble målt den 24. juli.

Temperaturgradienten mellom Førde i Sunnfjord og Ålfotbreen var 0.91°C/100 m i juni, 1.14°C/100 m i juli, 0.87°C/100 m i august og 0.62°C/100 m i september. Dette er litt høyere tall for temperaturgradienten enn middelverdien for årene 1965-80, men samme tendens som tidligere år med høyeste temperaturgradient for juni og juli og avtagende i august og spesielt i september.

Nedbøren i perioden juni-september ble målt til 650 mm, og det er bare 71% av middelverdien for perioden 1965-80. Alle månedene, og spesielt juli, hadde mindre nedbør enn middelverdien for den samme perioden. (For 12 av de 127 døgn i observasjonsperioden er det stipulert verdier ved å sammenligne med nærliggende stasjoner). Høyeste nedbør på et døgn ble registrert 26. juni med 39.8 mm, og ialt 45 døgn i observasjonsperioden fikk ikke registrert nedbør.

Hygrografen viste et midlere vanndamptrykk på 8.4 mb for hele sommeren, mens middelverdien for perioden 1965-80 er 7.9 mb. Kun to døgn hadde et midlere vanndamptrykk under 6.1 mb, som er betingelsen for direkte sublimasjon fra breoverflaten.

Avløp

Avrenningen fra breen ble målt ved limnigrafen i Breelven og var 29.3 · $10^6 m^3$. Det er 13% mer enn middelverdien for perioden 1965-80. Juni og september hadde stor avrenning (ca 135% av middel), juli hadde bare 72% av midlere avrenning, mens august hadde et månedsavløp nær middelverdien. Midlere døgnlig avløp for månedene juni-september var 0.24 · $10^6 m^3$, og største døgnlige avløp var 0.84 · $10^6 m^3$ den 7. september.

Før årets avløpsberegninger ble utført, ble det påvist en feil på vannføringskurven, og tidligere års avløpstall er også omregnet. Middelverdien i tabellen på s. 16 er regnet om, og avløpstallene i tabellen er derfor ikke direkte sammenlignbare med tilsvarende tabell i forrige års rapport.

Bondhusbreen

Materialhusholdningen

Breen ble besøkt første gang 1. oktober, og det var da kommet 15-280 cm snø. Neste besøk var 20. november, og det var da kommet ytterligere 100-150 cm snø. Mellom 3. januar og 25. mars ble stakene ca 1 m kortere, og fram til akkumulasjonsmålingene kom det ytterligere 40-50 cm snø.

Akkumulasjonsmålingene ble utført den 24. april. 10 staker hadde overlevet vinteren og var synlige over snøoverflaten. Snødypet ble målt ved sondering i 110 punkter over kote 1300 med tilsammen 22 km sonderingsprofiler, hvilket er en midlere måletetthet på 12 punkter pr km^2. Selv om snødypet varierte mellom 170 cm 1 300 m o.h. og 750 cm på toppen (1 635 m o.h.), lå 75% av tallene mellom 400 og 700 cm. I områdene under 1 300 m o.h., som utgjør 10% av breens areal, er den meget oppsprukket. Her finnes det ingen målinger, og snødypet er derfor estimert.

Snøens tetthet ble målt ved stake 100 (1 600 m o.h.). Ved hvert besøk gjennom vinteren ble det her tatt tetthetsprøve ned til forrige besøks overflate, hvilken var blitt markert med farvepulver hver gang. Disse tetthetsprøvene ble summert og justert til snødypet ved akkumulasjonsmålingen, og midlere tetthet var 0.46 g/cm^3. På grunnlag av denne tetthetsprøven ble vinterbalansen utarbeidet.

Vinterbalansen ble beregnet til 25.2 · $10^6 m^3$ vann eller 2.33 m jevnt fordelt over hele breens overflate. Dette er 98% av midlere vinterbalanse for perioden 1977-80 og 17% mindre enn foregående år.

Ablasjonsmålinger ble gjort hver uke på bretungen fra begynnelsen av juni til slutten av august, og minimumsmåling ble gjort 24. november. Sommerbalansen ble beregnet til 30.1 · $10^6 m^3$ vann, dvs. 2.78 m jevnt fordelt over hele breflaten, og det er nøyaktig lik middelverdien for de siste 4 år.

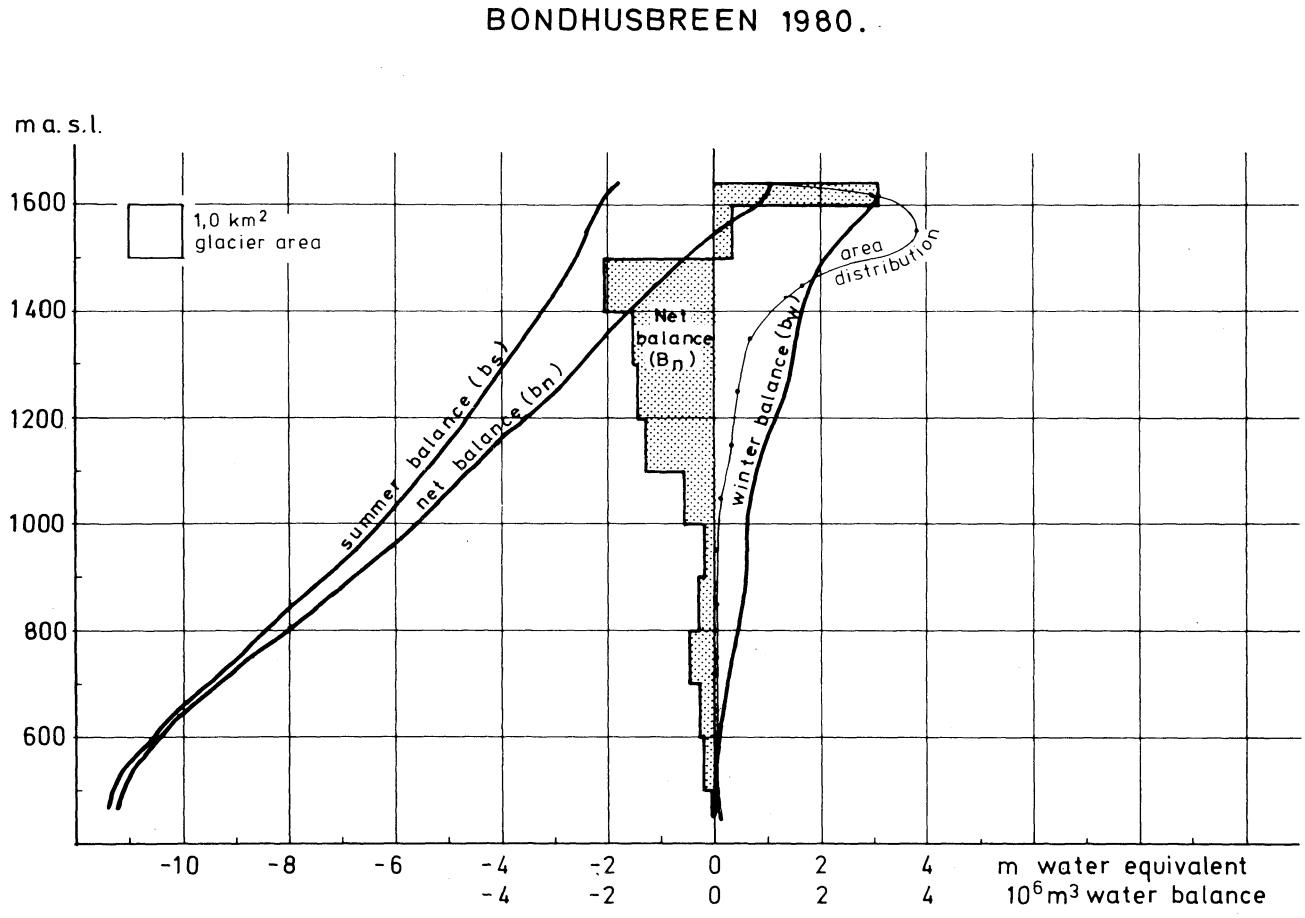


Fig. 7 Variasjonene av vinter-, sommer- og nettobalansen med høyden over havet, breens arealfordeling og arealverdier av nettobalansen i hvert 100 m høydeintervall.

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

Nettobalansen ble -45 cm vann over hele breflaten, hvilket vil si at breen minket sitt volum med $4.9 \cdot 10^6 m^3$ vann, og det betyr at vassdraget nedenfor breen fikk et ekstra tilskudd på 14 l/s km^2.

Årets likevektslinje er ikke observert direkte, men er beregnet til å ligge på ca 1 500 m o.h. (fig. 7).

Meteorologiske observasjoner

Holmavann (1 130 m o.h.) ligger på nordsiden av Bondhusbreen, og har sitt utløp ut i breen. Ved utløpet av vannet ble det registrert temperatur, relativ fuktighet, nedbør og vindstyrke/retning ved hjelp av en Aanderaa datalogger i perioden 14. juni - 24. september, tilsammen 103 dager. Bortsett fra nedbørmåleren som sviktet de siste åtte dagene, ga loggeren data for hele perioden. Temperaturregistreringer er utført 3 m over bakken med to følere, og forskjellen mellom dem var

B O N D H U S B R E E N 1980

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
1600-1635	2.89	8.73	3.01	95	5.68	2.00	62	3.05	1.01	33
1500-1600	4.34	11.00	2.53	80	10.67	2.40	78	0.33	0.13	2
1400-1500	1.78	3.20	1.79	57	5.25	2.90	93	-2.05	-1.11	- 36
1300-1400	0.72	1.14	1.58	50	2.65	3.60	116	-1.51	-2.02	- 66
1200-1300	0.49	0.67	1.37	43	2.11	4.30	136	-1.44	-2.93	- 93
1100-1200	0.32	0.30	0.92	29	1.59	5.00	138	-1.29	-4.08	-109
1000-1100	0.10	0.07	0.70	23	0.62	5.80	196	-0.55	-5.10	-173
900-1000	0.03	0.02	0.60	19	0.20	6.70	211	-0.18	-6.10	-192
800- 900	0.04	0.02	0.50	16	0.32	7.90	246	-0.30	-7.40	-230
700- 800	0.06	0.02	0.30	9	0.49	8.90	258	-0.47	-8.60	-249
600- 700	0.03	0.02	0.10	2	0.30	10.06	317	-0.28	-9.96	-315
500- 600	0.02	< 0.01	0.10	3	0.22	10.90	348	-0.22	-10.80	-345
450- 500	0.002	< 0.01	0.10	3	0.02	11.30	364	-0.02	-11.20	-361
450-1635	10.82	25.19	2.33	74	30.12	2.78	88	-4.93	-0.45	- 14

aldri over 0.2°C. Resultatene er vist i fig. 8.

Middeltemperaturen for hele observasjonsperioden var 7.0°C, og det er 1.8°C høyere enn året før. For alle månedene ble det målt høyere middeltemperatur enn i 1979. Middeltemperaturen for juni (14.-30.) var 6.1°C, for juli 8.8°C, for august 6.7°C og for september 5.7°C, og det er hhv. 1.1°C, 3.3°C, 0.7°C og 2.0°C høyere enn de tilsvarende måneder i 1979. Høyeste døgnmiddeltemperatur var 13.7°C den 27. juli, og tilsammen 16 døgn hadde middeltemperatur over 10°C, og av dem var 11 i juli. Temperaturgradienten mellom Omastrand og Holmavann var 0.73°C/100 m i juni, juli og august og 0.59 °C/100 m i september.

Midlere døgnlig vindstyrke ved Holmavann var 7.2 m/s med maksimum 15.2 m/s den 7. september og minimum 1.6 m/s den 25. august. 23 døgn hadde midlere vindstyrke over 10 m/s.

Nedbøren ble målt til 127 mm i juni (15.-30.), 69 mm i juli, 296 mm i august og 359 i dagene 1.-16. september, tilsammen 851 mm for perioden 15. juni - 16. september. Dette gir en middelverdi på 9.1 mm pr døgn, mens det i 1979 var 8.8 mm pr døgn. Av 94 observasjonsdøgn var 25 uten nedbør. Mest nedbør ble målt den 12. september med 85 mm, og største ukesnedbør var 219 mm for uken 10. - 16. september.

Fuktighetsmålingene viser et midlere vanndamptrykk på 8.5 mb for hele observasjonsperioden. Kun ett eneste døgn hadde et midlere vanndamptrykk på under 6.1 mb, hvilket er betingelsen for sublimasjon direkte fra breoverflaten, og det viser at sublimasjon bare utgjør en helt ubetydelig del av ablasjonen på Bondhusbreen.

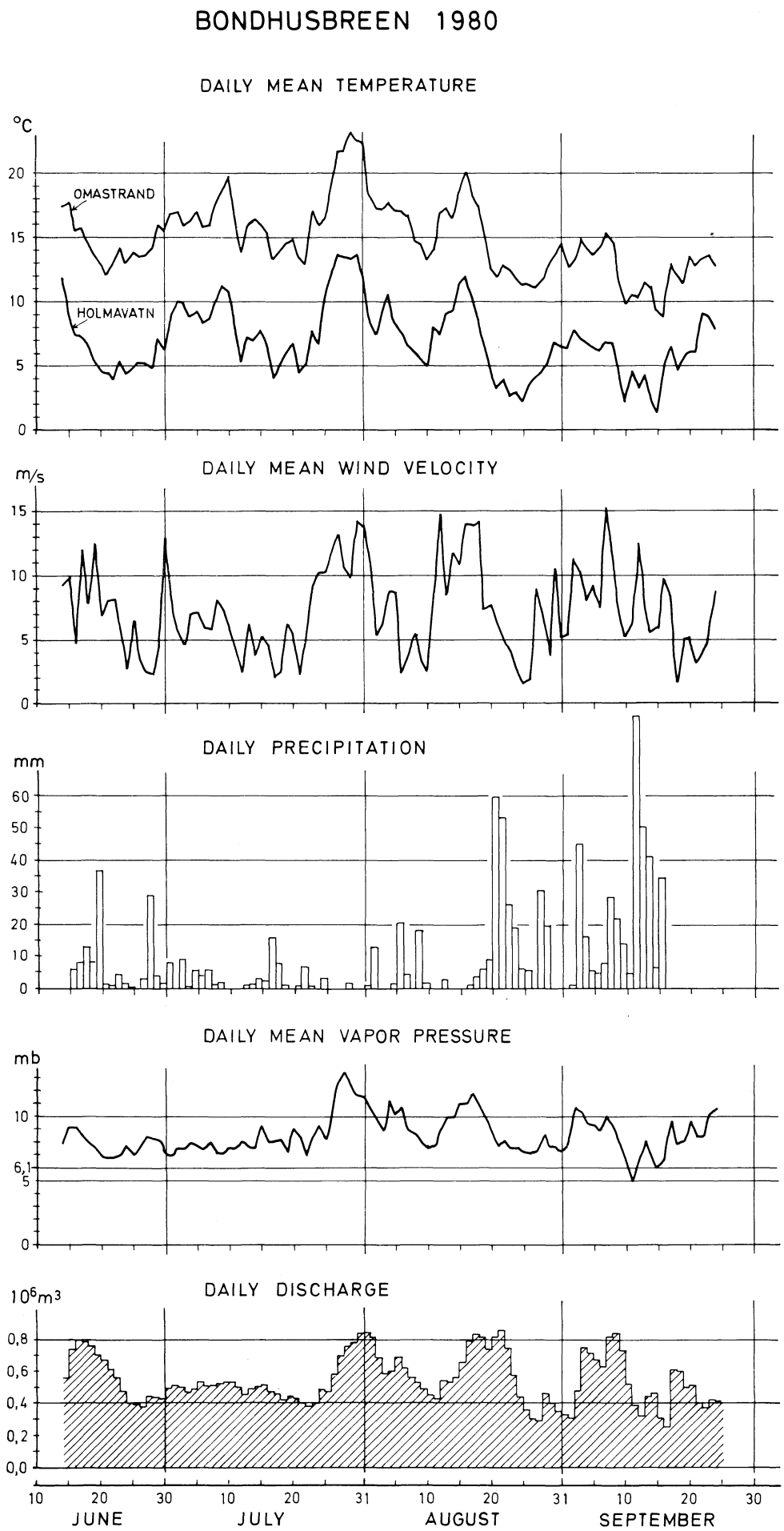

BONDHUSBREEN 1980
DAILY MEAN TEMPERATURE
°C
20
15
10
5
0
OMASTRAND
HOLMAVATN
DAILY MEAN WIND VELOCITY
m/s
15
10
5
0
DAILY PRECIPITATION
mm
60
50
40
30
20
10
0
DAILY MEAN VAPOR PRESSURE
mb
10
6,1
5
0
DAILY DISCHARGE
10⁶m³
0,8
0,6
0,4
0,2
0,0
10
20
30
10
20
31
10
20
31
10
20
30
JUNE
JULY
AUGUST
SEPTEMBER

Fig. 8.

Avløpsmålinger

I breelven foran Bondhusbreen er det ikke utført avløpsmålinger, men det er installert en limnigraf som måler vannføringen i det subglasiale vanninntaket. Dette inntaket ligger ca 940 m o.h., og det er bare 0.2 km^2 eller 2% av breens totalareal som ligger under dette nivå.

For perioden 1. mai - 30. september var avløpet i inntaket 65 · $10^6 m^3$. I resten av året er det beregnet et avløp på 5 · $10^6 m^3$, slik at det i sesongen 1980 ble oppfanget 70 · $10^6 m^3$ vann i det subglasiale inntaket. De tilsvarende tall for årene 1978 og 79 er hhv. 65 · $10^6 m^3$ og 59 · $10^6 m^3$.

Den subglasiale hydrologi på Bondhusbreen er behandlet mer utførlig i et eget kapittel på s. 59.

Nigardsbreen

Materialhusholdning

Breen ble besøkt 3 ganger i løpet av vinteren for måling og skjøting av staker: Første besøk var 6. oktober, og det var da kommet 90-140 cm snø. Neste besøk var 11. desember, og det var da kommet 120-285 cm snø. På åtte uker fram til 5.februar var stakene bare blitt 10-70 cm kortere. Fram til akkumulasjonsmålingen, som ble utført 21.-24. april, kom det ytterligere kun 50-150 cm snø på stakene. Samtlige av de 25 stakene på breen hadde overlevet vinteren og var synlige over snøoverflaten.

Under akkumulasjonsmålingen ble snødypet målt i 362 punkter langs tilsammen 80 km profiler over kote 1450 som er vist i fig. 9. 40 km^2 eller 83% av breens overflate ligger over denne høyde hvilket gir en måletetthet på 9.1 sonderinger pr km^2. Snødypet varierte mellom 280 og 580 cm. Dessuten ble det målt 100 cm snø på bretungen, og under 1 450 m o.h. ble snødypet interpolert.

Tetthetsprøve ble tatt i sjakt ved stake 51 (1 630 m o.h.) og stake 56 (1 840 m o.h.), og midlere tetthet var hhv. 0.42 g/cm^3 og 0.44 g/cm^3. På grunnlag av disse to tetthetsprøvene, som ble ansett representative for områdene under og over kote 1700 respektive, ble det utarbeidet kart over vinterbalansen (fig.10).

Fig. 8 Resultater fra de daglige meteorologiske observasjonene på Holmavatn (1 130 m o.h.), samt døgnlige avløp i sedimentkammeret i det subglasiale vanninntaket under Bondhusbreen.

The daily meteorological observation at Holmavatn (1 130 m a.s.l.), and the daily discharge at the water gauge in the sediment chamber under Bondhusbreen.

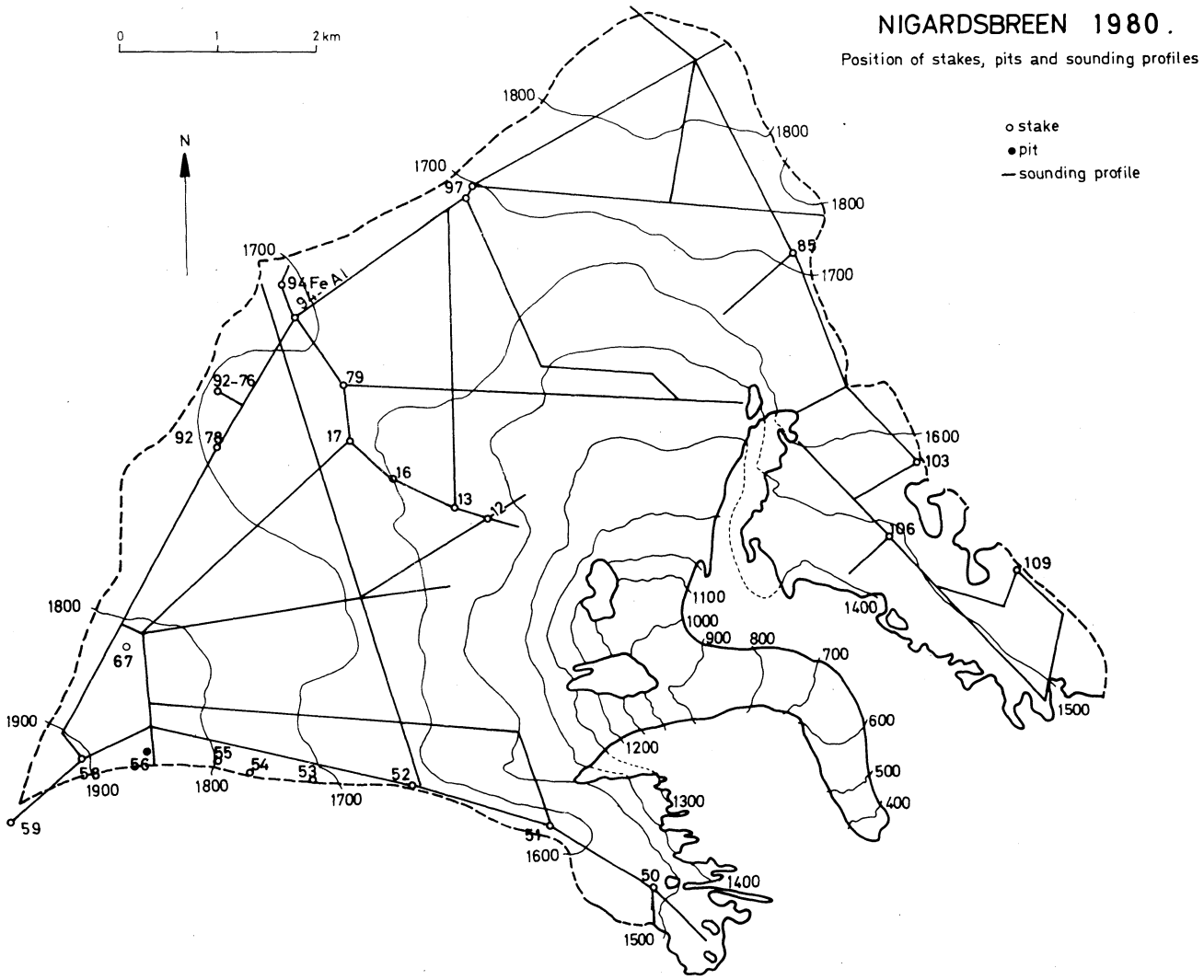


Fig. 9 Beliggenheten av staker, sjakter og sonderingsprofiler i 1980.

The location of stakes, pits and sounding profiles in 1980.

Vinterbalansen ble beregnet til 85.5 · $10^6 m^3$ vann eller 1.77 m jevnt fordelt på hele breens overflate. Bare tre ganger tidligere siden 1962 er det målt mindre vinterbalanse på Nigardsbreen, og tallet er 79% av midlere vinterbalanse for årene 1962-80 og 98 cm mindre enn fjorårets.

Ablasjonen ble målt 5. juli, 22. juli og 4. september på samtlige 25 staker, og den siste målingen var også minimumsmåling. På bretungen ble ablasjonen målt på wirer plassert mellom 400 m o.h. og 700 m o.h. Her ble minimumsmålingene utført 16. oktober. Sommerbalansen ble målt til 144.3 · $10^6 m^3$ vann eller 2.99 m jevnt fordelt over hele breflaten. Dette gir en avrenning på 95 l/s km^2. Dette er den nest største sommerbalanse som er målt på Nigardsbreen siden 1962 og 50% mer enn middelverdien for perioden 1962-80.

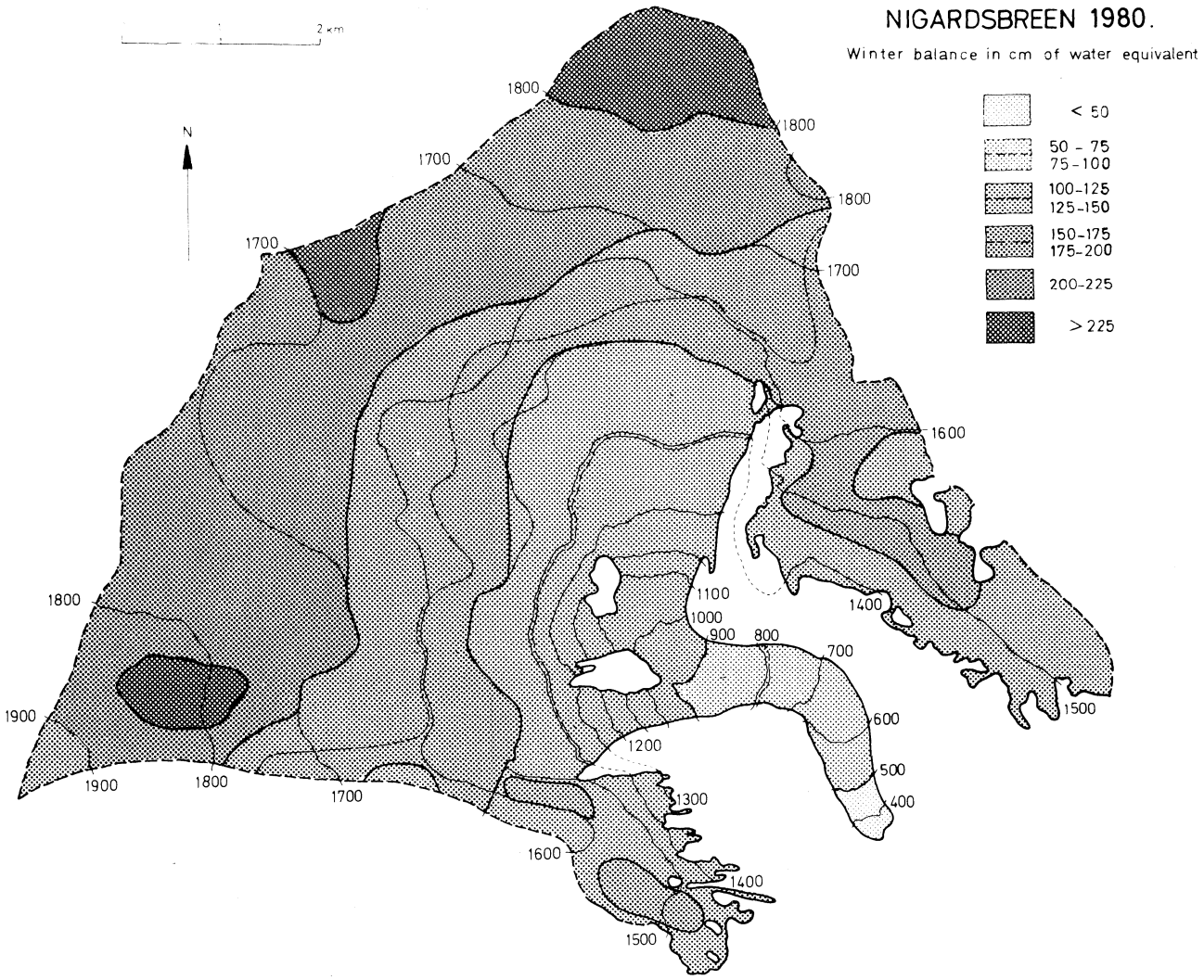


Fig.10 Kart over vinterbalansen i 1980.

Map showing the winter balance in 1980.

Lav vinterbalanse og høy sommerbalanse førte til en stor negativ nettobalanse. Breen minsket sitt volum med 58.8 · $10^6 m^3$, og det utgjør et vannlag på 1.22 m over hele breen. Dette gir et ekstra tilskudd til vassdraget nedenfor på 39 l/s km^2 gjennom hele året. Bare én gang tidligere er det blitt målt mindre nettobalanse på Nigardsbreen, og det var i 1969 da den var -1.31 m. Middelverdien for perioden 1962-80 er 0.26 m. Av avrenningen fra Nigardsbreen i 1980 utgjør hele 41% minsking av brevolum. Den store avsmeltingen fra breen førte til at det dukket opp et skjær på breen like nord for stake 85, dette skjæret har ikke vært synlig siden 1969.

Likevektslinjen på breen er beregnet til å ligge på 1 730 m o.h., og det er ca 160 m høyere enn i et år med balanse i materialhusholdningen(se fig. 11).

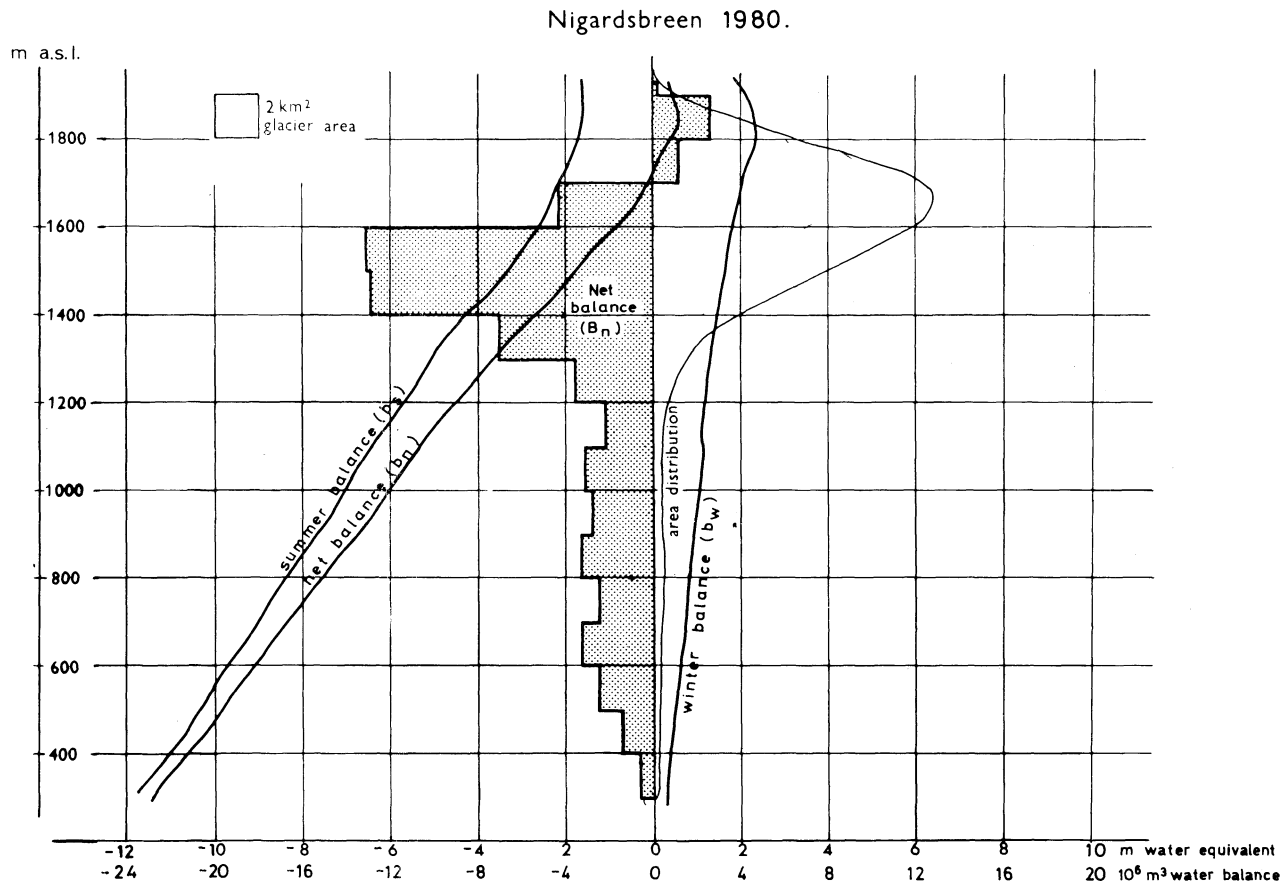


Fig.11 Variasjonene av vinter-, sommer og nettobalansen med høyden over havet, samt breens arealfordeling og arealverdier av nettobalansen i hvert 100 m høydeintervall.

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

Meteorologiske observasjoner

Det meteorologiske måleprogram på Nigardsbreen i 1980 var det samme som de tre foregående år. På Steinmannen (1 633 m o.h.) var det installert termograf, pluviograf og hygrograf, alle med månedsomløp.

Instrumentene ble igangsatt 1. juni, og de gikk til 16. september. Temperaturregistreringene er bra bortsett fra brudd den siste uken i juni. Pluviografen fungerte ikke i juni, men har bra registreringer for resten av sommeren. Hygrografen fungerte ikke etter 15. august. På grunn av byggevirksomhet på Steinmannen fikk instrumentene jevnlig tilsyn i perioden 1. juli til 15. august, og i denne perioden er registreringene bra.

Det ble også installert en automatisk Aanderaa værstasjon som tok observasjoner av temperatur, vindretning og -hastighet, nedbør og fuktighet hver time. Etter en del begynnelsesvanskeligheter fungerte stasjonen bra på slutten av sesongen.

NIGARDSBREEN 1980

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_w m	b_w l/s km^2	B_n $10^6 m^3$	b_n m	b_n l/s km^2
1900-1960	0,31	0,59	1,90	60	0,50	1,61	51	0,09	0,29	9
1800-1900	3,93	8,81	2,24	71	6,38	1,62	52	2,43	0,62	19
1700-1800	9,35	19,62	2,10	67	18,50	1,98	63	1,12	0,12	4
1600-1700	12,76	25,00	1,96	62	29,31	2,30	73	-4,31	-0,34	-11
1500-1600	9,76	15,59	1,62	51	28,62	2,98	94	-13,03	-1,36	-43
1400-1500	6,12	9,22	1,51	48	22,06	3,61	114	-12,84	-2,10	-66
1300-1400	2,18	2,97	1,36	43	10,05	4,61	146	-7.08	-3,25	-103
1200-1300	0,88	1,07	1,22	39	4,62	5,25	167	-3,55	-4,03	-128
1100-1200	0,44	0,47	1,07	34	2,64	6,00	190	-2,17	-4,93	-156
1000-1100	0,54	0,60	1,11	35	3,65	6,76	214	-3,05	-5,65	-179
900-1000	0,45	0,44	0,98	31	3,26	7,24	230	-2,82	-6,26	-199
800 - 900	0,47	0,41	0,87	28	3,76	8,00	254	-3,35	-7,13	-226
700 - 800	0,31	0,24	0,77	25	2,67	8,61	273	-2,43	-7,84	-248
600 - 700	0,38	0,25	0,66	21	3,53	9,29	295	-3,28	-8,63	-274
500 - 600	0,26	0,14	0,54	17	2,60	10,00	317	-2,46	-9,46	-300
400 - 500	0,14	0,06	0,43	14	1,47	10,50	333	-1,41	-10,07	-319
300 - 400	0,06	0,02	0,33	11	0,68	11,33	359	-0,66	-11,00	-348
300-1960	48,20	85,50	1,77	56	144,30	2,99	95	-58,80	-1,22	-39

Alle resultatene av sommerens observasjoner som er vist i fig. 14, er imidlertid fra de registrerende instrumentene med månedsomløp.

I tabellen på neste side er månedsverdiene 1980 sammenlignet med midlere månedsverdi for perioden 1965-80. For denne perioden er det utført temperaturmålinger i 13 år i juni og 16 år i juli og august. Nedbørmiddelet er middelverdien i 12 år for juni og 15 år for juli og august, mens fuktighetsmålinger foreligger i 9 år for juni og 10 år for juli og august. Målingene har startet på noe varierende tidspunkt, vanligvis ca 15. juni, så månedsmiddelverdiene for juni er ikke helt sammenlignbare.

Middeltemperaturen i de tre sommermånedene i 1980 var 1.0°C høyere enn middelverdien for årene 1965-80. Særlig juli var varm med middeltemperatur 1.9°C høyere enn normalt. Høyeste døgnmiddel ble målt 29. juli med 12.6°C, og 5 døgn hadde middeltemperatur over 10°C. Temperaturgradienten mellom Bjørkehaug og Jostedalen var 0.72° i juni og 0.76° i juli og 0.70° i august, og det er for alle måneder nær den midlere temperaturgradient som er målt for de årene det har pågått målinger.

Sommerens nedbør viste ikke store avvik fra middelverdien for årene 1965-80. Da det var brudd i nedbørmålingene i juni, er det beregnet at nedbøren på Steinmannen var 120% av nedbøren på Bjørkehaug i Jostedalen. I de årene nedbørmålingene

Fig. 12 Sommeren 1980 ble det bygget to nye hytter på Stenmannen ved Nigardsbreen, en beboelseshytte og en garasje/verksted. Bedre og større hytter vil gjøre vedlikehold av utstyr bedre og lettere.

In 1980 two new huts were built at Nigardsbreen, one for accomodation and the other for workshop and garage. Larger and better huts will make it easier to maintain the equipment in good shape.

	$T(^oC)$	$\bar{T}(^oC)$	P(mm)	$\bar{P}$(mm)	F(mb)	$\bar{F}$(mb)	$Q(10^6m^3)$	$\bar{Q}(10^6m^3)$
Juni	4.7	3.6	113 x)	93	7.2	6.5	50.0	40.5
Juli	5.7	3.8	59	84	6.5	7.0	66.8	53.0
August	3.7	4.2	100	105	6.1	7.1	64.8	55.2
Sommer	4.7	3.9	272	282	6.6	6.9	181.6	148.7

x) beregnet etter nedbør på Bjørkehaug

T = middeltemperatur for 1980

$\bar{T}$ = middeltemperatur for årene 1965-80

P = månedsnedbør i 1980

$\bar{P}$ = midlere månedsnedbør for årene 1965-80

F = midlere luftfuktighet i 1980

$\bar{F}$ = midlere luftfuktighet for årene 1965-80

Q = månedlig avrenning fra Nigardsvann i 1980

$\bar{Q}$ = midlere månedlig avrenning for årene 1965-80

har pågått på Steinmannen, har det der gjennomsnittlig kommet 120% av nedbøren som er registrert på Bjørkehaug. Med dette er sommerens nedbør 272 mm.

Hygrografen hadde et brudd på vel en uke i slutten av juni og har ikke gitt registreringer etter 15. august. Midlere fuktighet for sommeren var 6.6 mb, mens middelverdien for 1965-80 er 6.9 mb. Juni var relativt fuktig mens juli og spesielt august var relativt tørr. I noen dager midt i august var fuktigheten under 6.1 mb, og da oppfylles betingelsen for sublimasjon direkte fra breoverflaten, men sublimasjon utgjør likevel en ubetydelig del av ablasjonen på Nigardsbreen.

Avløp

Avløpet for Nigardsvatn i de tre sommermånedene var 181.6 · $10^6 m^3$, og det er 122% av middelverdien for perioden 1965-80, og alle tre månedene hadde relativt stor avrenning. September hadde også stor avrenning, og største døgnlige avrenning ble målt 8. september med 3.04 · $10^6 m^3$. Midlere døgnlig avløp for sommeren var 1.97 · $10^6 m^3$.

Fig. 13 En snepute er montert på målestasjonen på Nigardsbreen. Sneputen (utenfor bildet) er fylt med en frostfri væske. Trykket av sneen på puten overføres til stigerøret på en limnigraf, og registreringen av væskestanden i stigerøret er et direkte mål for vannverdien av den sneen som er kommet på puten.

A snow pillow is installed at Nigardsbreen. It is filled with a frost-proof liquid. The pressure from the snow on the pillow (outside the picture) is transmitted to a water gauge recorder, and the recorded liquid level is a measure for the water equivalent of the snow pack.

NIGARDSBREEN 1980

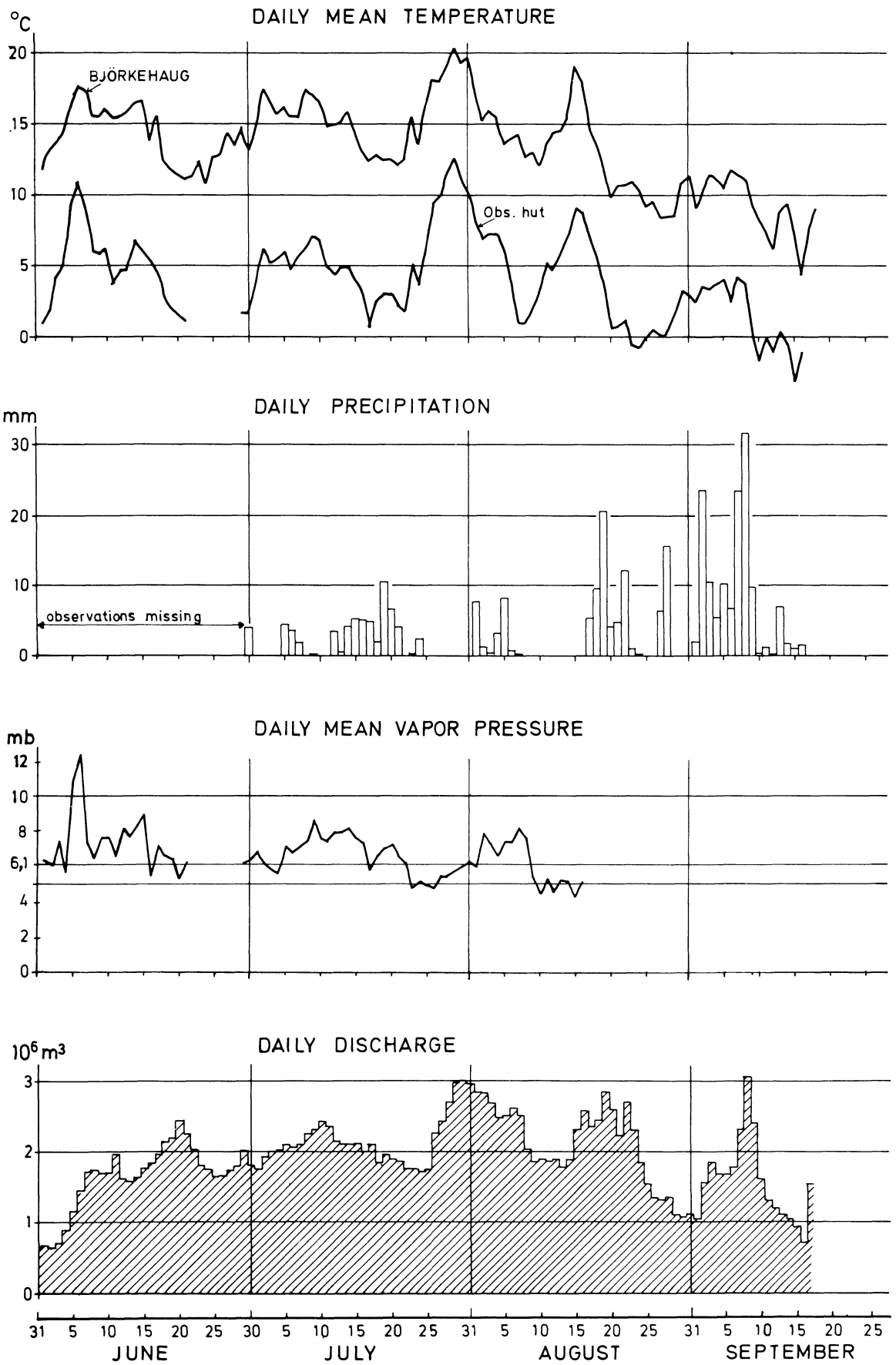


Fig.14

Hardangerjøkulen

Massebalansemålinger er utført på Rembesdalskåkji, en vestlig utløper av Hardangerjøkulen, siden 1963. Siste år ble det utført reduserte målinger fordi mange av stakene forsvant i løpet av vinteren. Bare to staker overlevet og kunne nyttes for akkumulasjonsmålinger. Målingen av ablasjonen var også vanskelig.

Vinterbalansen ble anslått til 1.45 m vann jevnt fordelt over hele breen, og det er 77% av middelverdien for perioden 1963-80. Sommerbalansen var 2.85 m, som er 145% av midlere sommerbalanse og den nest høyeste sommerbalanse som er målt på Hardangerjøkulen. Bare i 1969 var den større. Nettobalansen ble -1.40 m, mens midlere nettobalanse i måleperioden er 0.09 m. Bare i 1969 har det vært målt mindre nettobalanse. Den var da -1.90 m.

Storbreen

Akkumulasjonsmålingene på Storbreen ble utført i begynnelsen av mai. Vinterbalansen ble målt til 0.99 m jevnt fordelt på hele breens overflate. Det er 72% av midlere vinterbalanse i perioden 1949-80 og bare 5 cm mer enn den minste vinterbalanse som er målt. Sommerbalansen ble 2.30 m. Det er 138% av midlere sommerbalanse siden 1949, og bare i 1959 og 1969 har den vært større. Med liten vinterbalanse og stor sommerbalanse fikk breen et stort masseunderskudd. Nettobalansen ble -1.31 m. Bortsett fra 1969 da nettobalansen var -1.42 m, er årets nettobalanse den minste som er målt på Storbreen på 32 år. Midlere nettobalanse er -0.30 m.

Det er god korrelasjon mellom sommertemperaturen i Bergen (1. mai-30.september) og ablasjonen på Storbreen (Liestøl 1967, s. 37). Årets sommertemperatur i Bergen er den høyeste som er registrert de siste 30 år, og sommerbalansen på breen var ekstra stor.

Variasjonene av nettobalansen med høyden over havet er vist i fig. 15 på neste side. Figuren viser at årets likevektslinje lå på 1 975 m o.h.

Fig. 14 Resultater fra de daglige meteorologiske observasjoner på Nigardsbreen (1 633 m o.h.) og temperaturmålingene fra Bjørkehaug i Jostedalen, samt døgnlig avløp ved limnigrafen i Nigardsvatn.

Diagram showing the daily meteorological observations on Nigardsbreen (1 633 m a.s.l.), temperature at Bjørkehaug, Jostedalen, and the daily discharge at the water gauge in Lake Nigardsvatn.

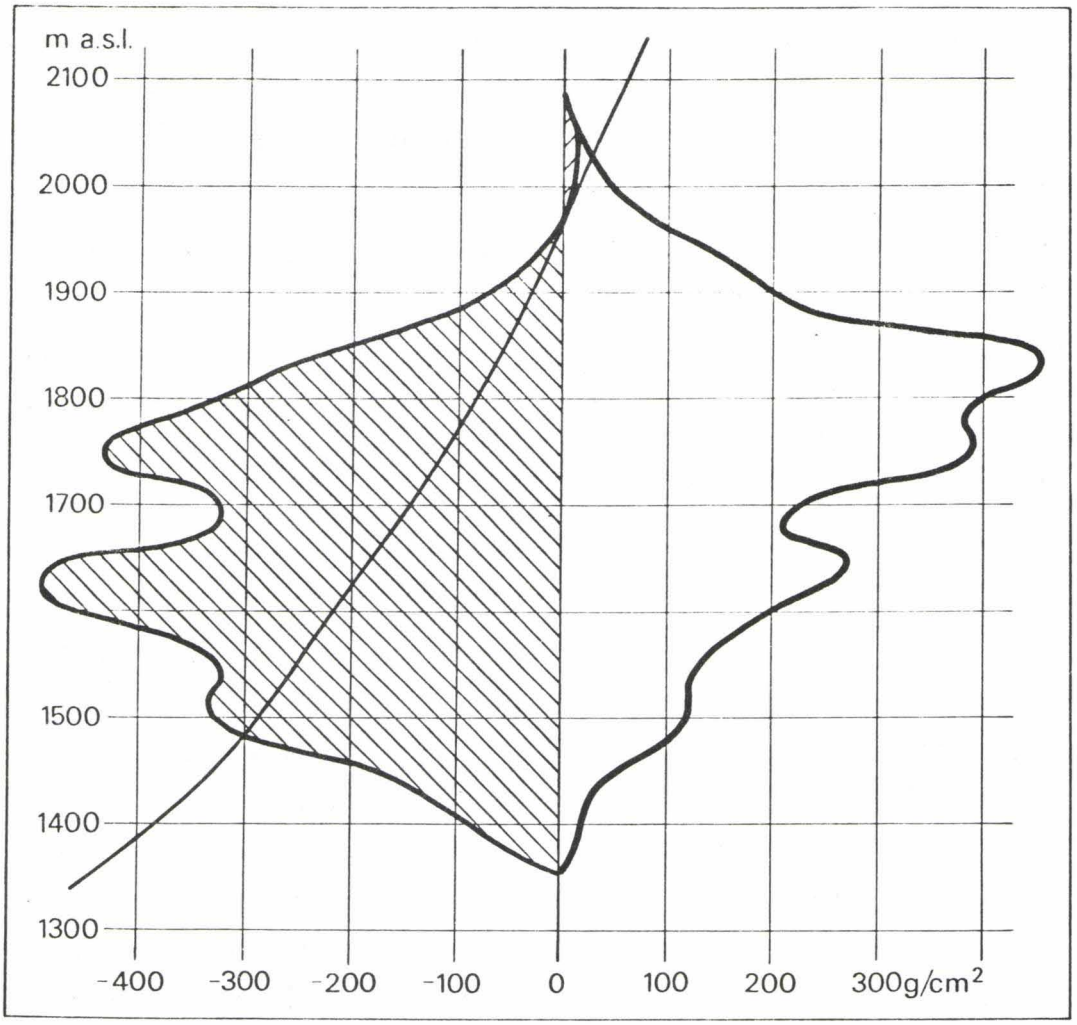


Fig.15 Variasjonen av nettobalansen med høyden over havet, breens arealfordeling og arealverdiene av nettobalansen i 1980.

Net balance in relation to the elevation above sea level, the area distribution, and net balance in 1980.

Hellstugubreen

Breen ble besøkt én gang i løpet av akkumulasjonssesongen og da ble 9 av stakene funnet og skjøtt. Alle disse lå over 1 850 m o.h. Det var da ikke kommet mer enn 2 m snø på noen av stakene.

Akkumulasjonsmålingene ble utført 25. - 26. april. Da ble 20 staker funnet. Snødypet ble målt ved 176 sonderinger langs ca 20 km sonderingsprofiler som er vist på fig. 16. Dette gir en midlere måletetthet på ca 53 punkter pr km^2. Snødypene varierte fra 0.4 m til 3.4 m, men over 60% av sonderingene lå mellom 1 m og 2 m. Tetthetsprøve ble tatt i sjakt i 1 960 m høyde og midlere snøtetthet var 0.42 g/cm^3.

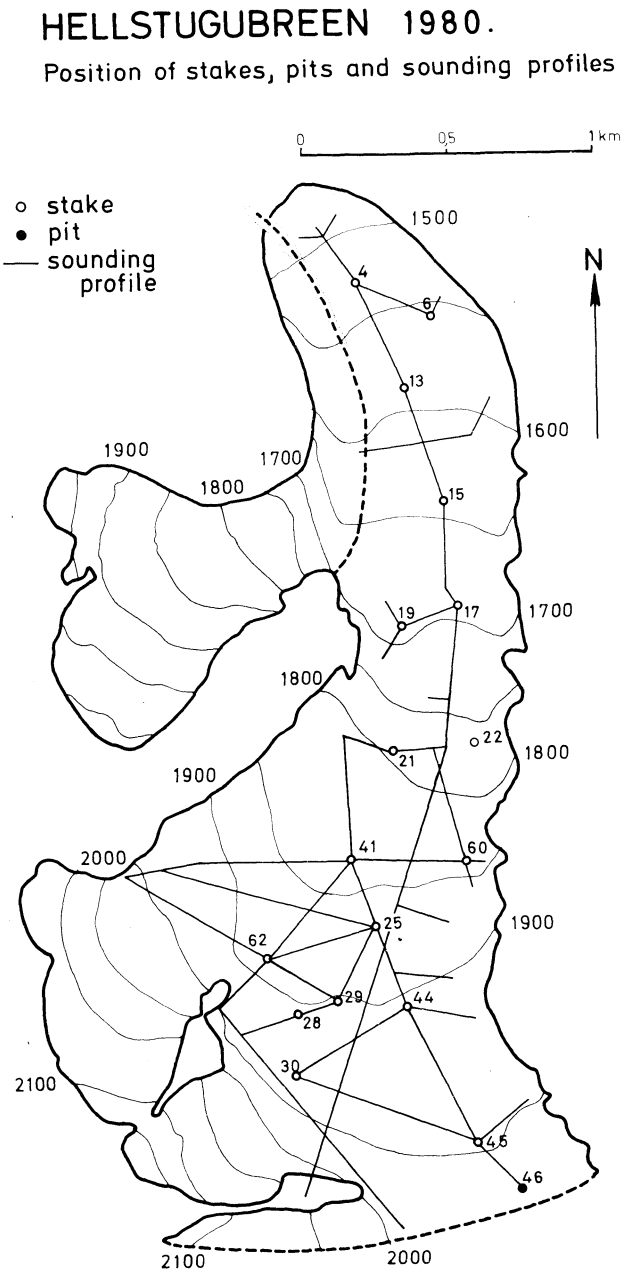


Fig.16 Beliggenheten av staker, sjakt og sonderingsprofiler i 1980.

The location of stakes, pit and sounding profiles in 1980.

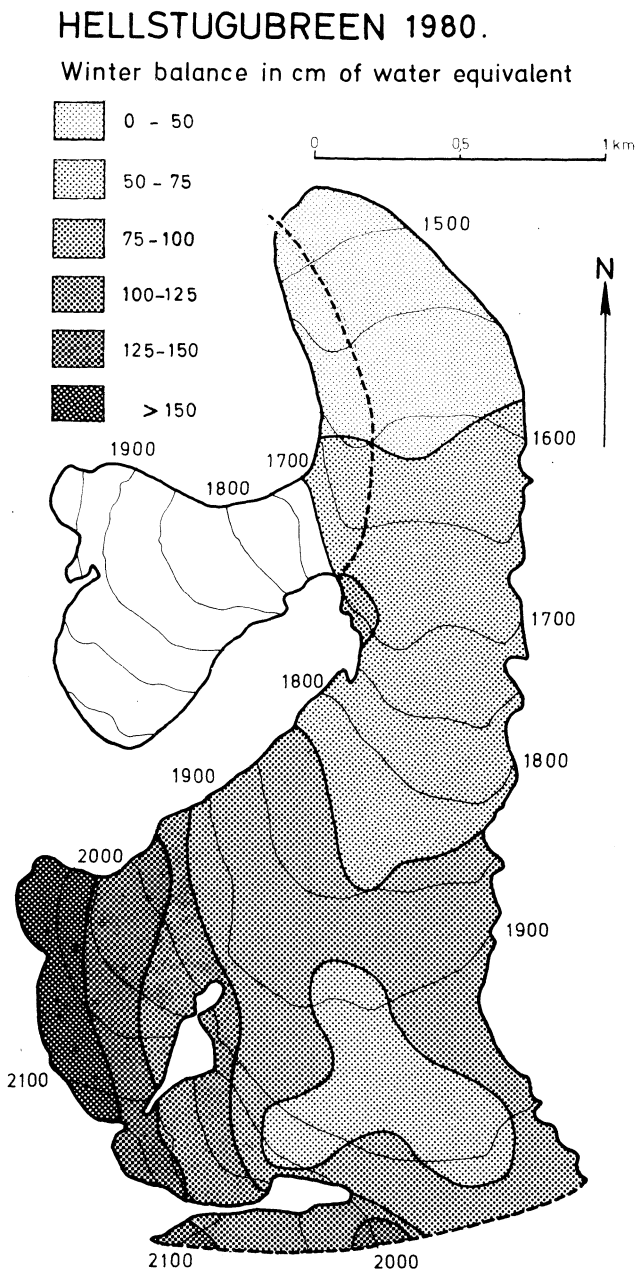


Fig.17 Kart over vinterbalansen i 1980.

Map showing the winter balance in 1980.

Vinterbalansen ble dermed 2.65 · $10^6 m^3$ vann eller 0.81 m vann jevnt fordelt over hele breens overflate. Dette er 76 % av midlere vinterbalanse for årene 1962-80, og 0.25 m mindre enn fjorårets. Bare tre ganger tidligere er det målt mindre vinterbalanse på Hellstugubreen. Vinterbalansens fordeling på breen er vist i fig. 17.

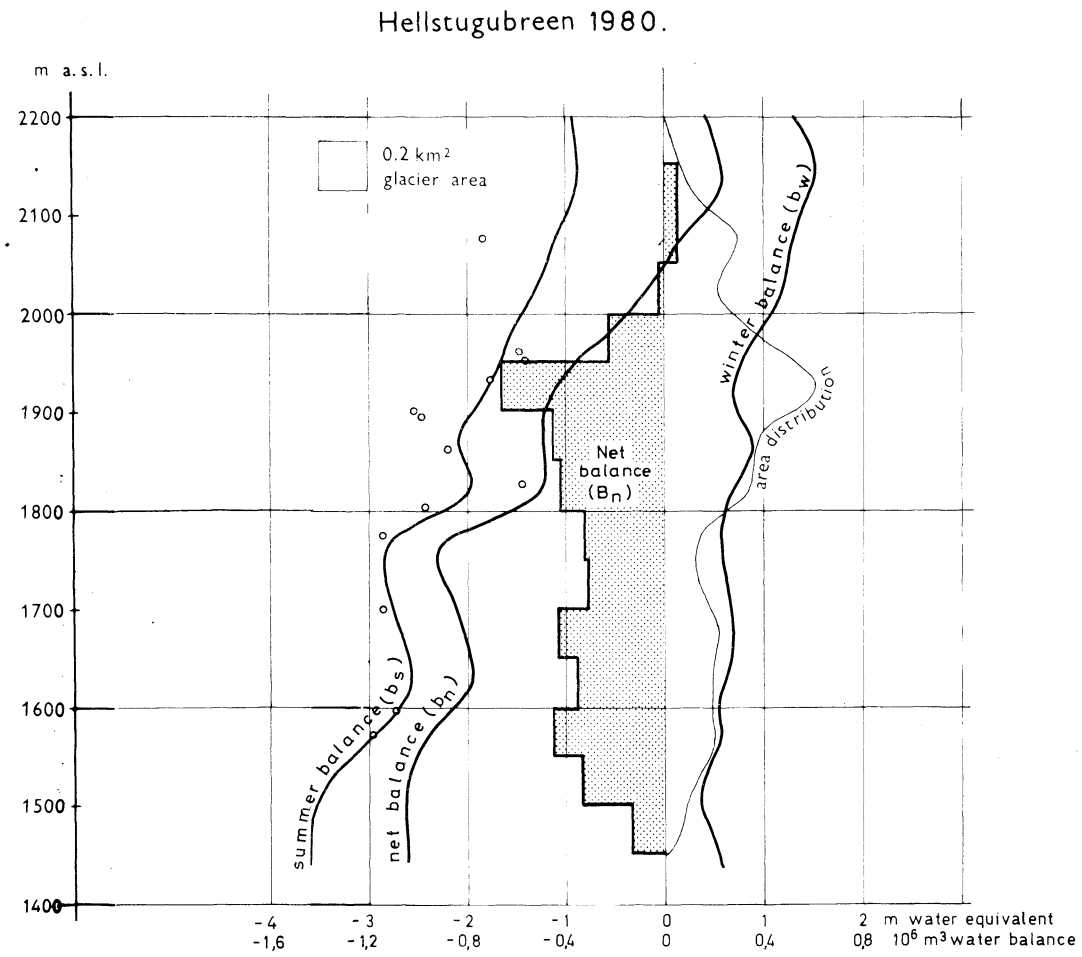


Fig.18 Variasjonene med høyden over havet av vinter-, sommer og nettobalansen, breens arealfordeling og arealverdier av nettobalansen i hvert 50 m høydeintervall.

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

Ablasjonen ble målt 2. juli, 8. august og 21. september. Størst var ablasjonen i august. Ved minimumsmålingene den 21. september var det kommet litt nysnø øverst på breen, og smelting etter denne dato er blitt ansett som ubetydelig. Sommerbalansen er beregnet til 6.74 · $10^6 m^3$ vann eller 2.05 m vann jevnt fordelt over hele breen. Dette motsvarer en avrenning på 65 l/s km^2. Bare én gang tidligere (i 1969) er det målt større sommerbalanse på Hellstugubreen siden målingene begynte i 1962, og det er 145% av midlere sommerbalanse for perioden 1962-80.

Som følge av liten vinterbalanse og stor sommerbalanse ble det en stor negativ nettobalanse på Hellstugubreen. Den utgjorde -4.09 · $10^6 m^3$ vann eller et vannlag på 1.24 m over hele breen, og det gir et ekstra tilskudd på 39 l/s km^2 til breelven. Siden målingene begynte i 1962, er det bare i 1969 at det har vært målt mindre nettobalanse, da den var -1.28 m. Midlere nettobalanse for perioden 1962-80 er -0.34 m.

Av sommerbalansen i 1980 utgjør over 60% minking i brevolum. Den store avsmeltingen førte til at nunatakken Tordenfjell helt øverst på breen ikke lenger er noen nunatakk.

Likevektslinjen på breen er beregnet til å ligge på 2 050 m, og det er ca 230 m høyere enn et år med balanse i materialhusholdningen (se fig. 18).

H E L L S T U G U B R E E N 1980

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	0.03	1.43	45	0.02	0.95	30	0.01	0.48	15
2100-2150	0.088	0.13	1.48	47	0.08	0.91	29	0.05	0.57	18
2050-2100	0.301	0.39	1.30	41	0.34	1.13	36	0.05	0.17	5
2000-2050	0.159	0.19	1.20	38	0.21	1.32	42	-0.02	-0.12	- 4
1950-2000	0.362	0.34	0.94	30	0.57	1.57	50	-0.23	-0.63	-20
1900-1950	0.605	0.41	0.68	21	1.08	1.79	57	-0.67	-1.11	-36
1850-1900	0.368	0.32	0.87	28	0.78	2.12	67	-0.46	-1.25	-39
1800-1850	0.348	0.25	0.72	23	0.68	1.95	62	-0.43	-1.23	-39
1750-1800	0.149	0.08	0.54	17	0.41	2.75	87	-0.33	-2.21	-70
1700-1750	0.146	0.09	0.62	20	0.41	2.81	89	-0.32	-2.19	-69
1650-1700	0.213	0.14	0.66	21	0.58	2.72	86	-0.44	-2.06	-65
1600-1650	0.182	0.11	0.60	19	0.47	2.58	82	-0.36	-1.98	-63
1550-1600	0.196	0.11	0.56	18	0.57	2.91	92	-0.46	-2.35	-74
1500-1550	0.110	0.04	0.36	12	0.38	3.45	110	-0.34	-3.09	-98
1450-1500	0.045	0.02	0.44	14	0.16	3.56	113	-0.14	-3.12	-99
1450-2200	3.293	2.65	0.81	26	6.74	2.05	65	-4.09	-1.24	-39

Gråsubreen

Breen ble ikke besøkt i akkumulasjonssesongen mellom minimumsmålingen 5. september og akkumulasjonsmålingen 6. mai.

Av de 29 stakene på breen, hadde 25 overlevet vinteren. Under akkumulasjonsmålingen ble snødypet målt i 140 punkter langs ca 14 km sonderingsprofiler som er vist i fig. 19 - en tetthet på 56 målepunkter pr km^2. De største snødypene ble målt helt nederst og helt øverst på breen med 2.9 m mens et stort område midt på breen var helt snøbart. Nesten halvparten av målingene var under 1 m og bare 13% var over 2 m.

Snøens midlere tetthet ble bestemt til 0.44 g/cm^3 i sjakt som ble gravet ned til 1.10 m i 2 200 m høyde, og ut fra dette ble vinterbalansen bestemt til $1.15 \cdot 10^6 m^3$, som motsvarer en vannekvivalent på 0.46 m. Det er den minste vinterbalanse på Gråsubreen siden 1964, og bare 65% av midlere vinterbalanse for perioden 1962-80.

Ablasjonsmålinger ble utført 1. juli og 10. august, og minimumsmålingene ble utført

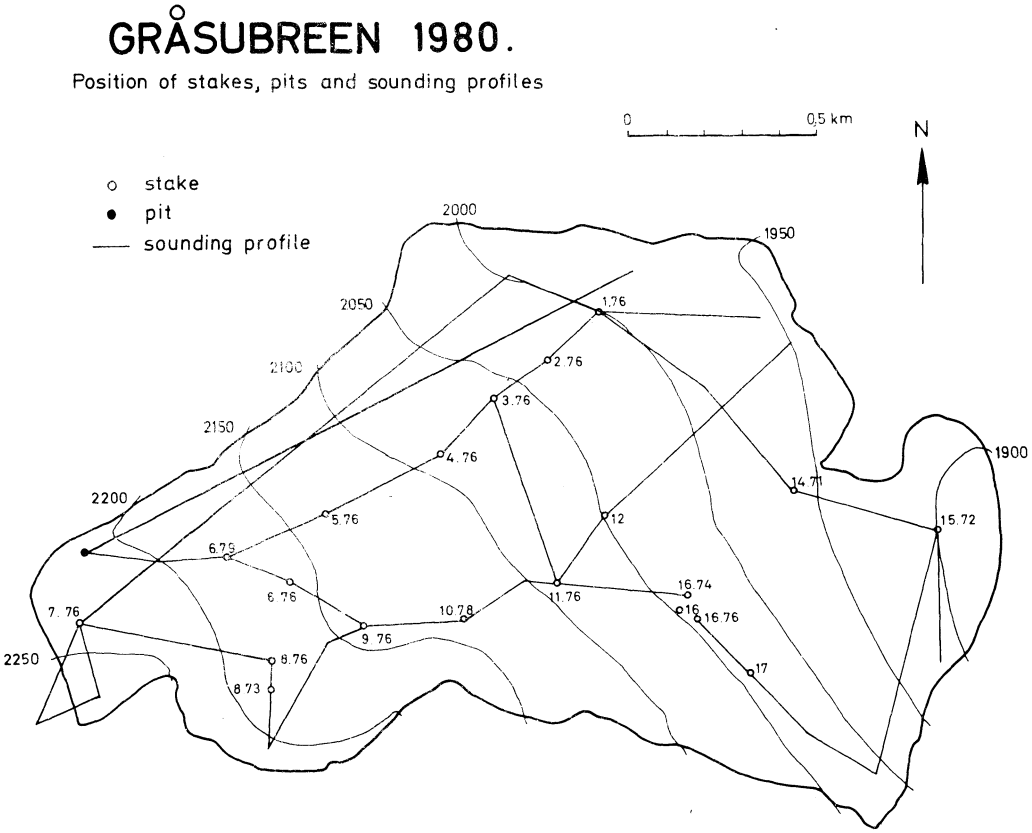


Fig.19 Beliggenheten av staker, sjakt og sonderingsprofiler i 1980.

The location of stakes, pit and sounding profiles in 1980.

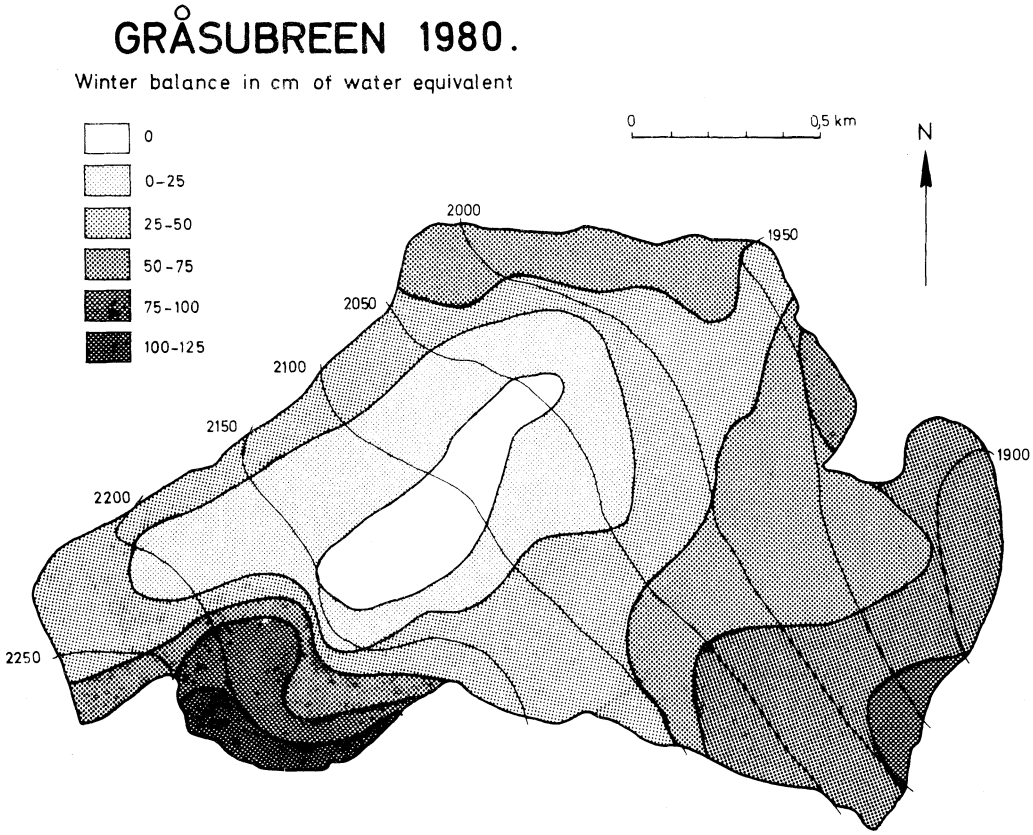


Fig.20 Kart over vinterbalansen i 1980.

Map showing the winter balance in 1980.

den 20. september. Det var da kommet nysnø på det meste av breen, og ablasjonssesongen ble regnet som avsluttet.

Ifølge undersøkelser over energibalansen (Klemsdal 1968) forårsaker stråling en mye større del av ablasjonen på Gråsubreen enn på andre breer i Norge (se tabell s.57). På grunn av de svært små snømengdene som ble målt på store områder på den midtre og øvre del av breen (fig. 20), ble det her blottlagt firn og is tidlig på sommeren, og det ble derfor mindre albedo enn på breens nedre deler. Dermed blir forskjellen i ablasjon på breens øvre og nedre deler mindre enn for tilsvarende høydeforskjeller på andre breer, og derfor blir sommerbalansekurven svært bratt (fig.21).

På Gråsubreen, som er en kald bre, dannes det en del påfrossen is ved at is smelter på et sted på breen og fryser på et annet sted lenger nede. Dette bidrar også til at sommerbalansekurven blir brattere.

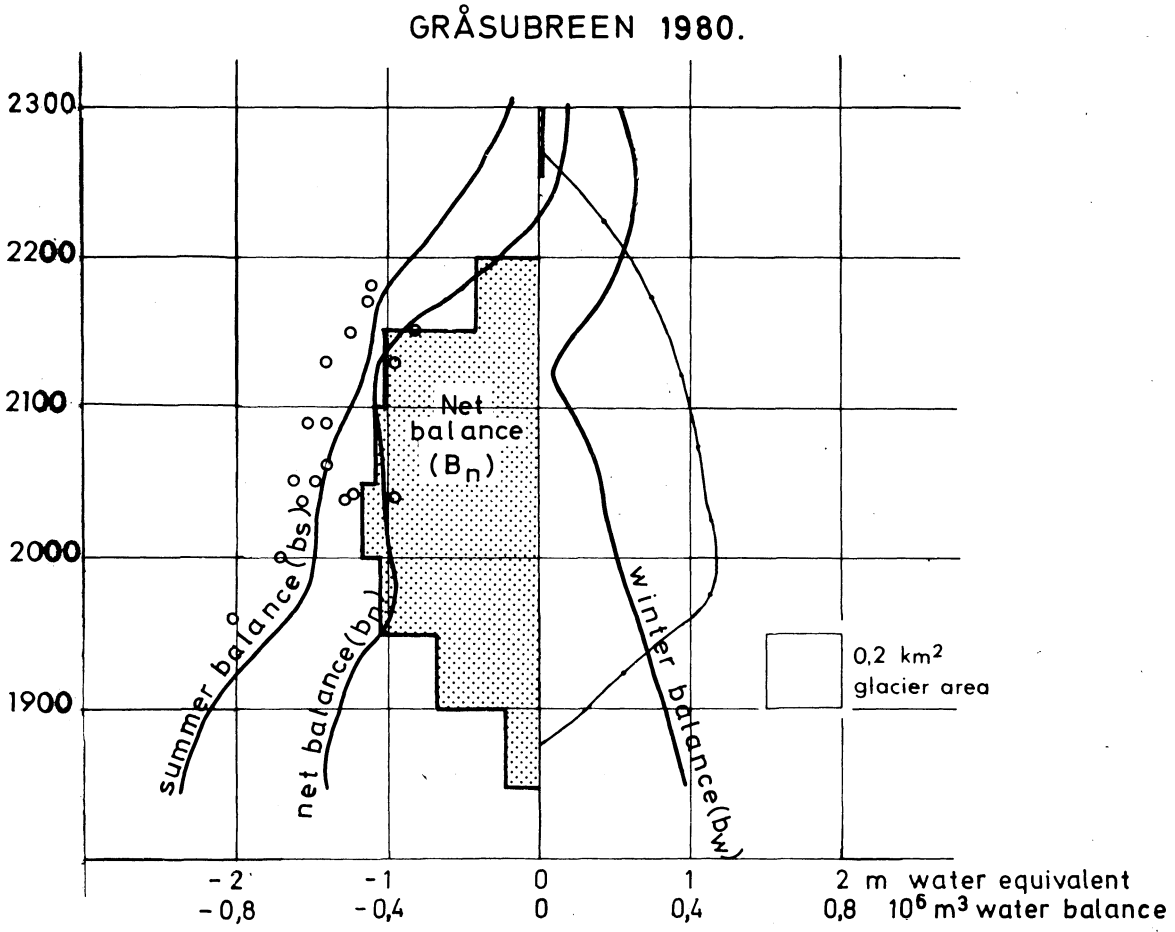


Fig.21 Variasjonene av vinter-, sommer- og nettobalansen med høyden over havet, breens arealfordeling og arealverdier av nettobalansen i hvert 50 m høydeintervall.

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

G R Å S U B R E E N 1980

Høyde intervall m o.h.	Areal S km^2	Vinterbalanse B_w $10^6 m^3$	Vinterbalanse b_w m	Vinterbalanse b_w l/s km^2	Sommerbalanse B_s $10^6 m^3$	Sommerbalanse b_s m	Sommerbalanse b_s l/s km^2	Nettobalanse B_n $10^6 m^3$	Nettobalanse b_n m	Nettobalanse b_n l/s km^2
2250-2300	0.034	0.02	0.58	18	0.01	0.29	9	0.01	0.29	6
2200-2250	0.179	0.11	0.62	20	0.11	0.62	20	0.00	0.00	0
2150-2200	0.305	0.14	0.46	15	0.31	1.02	32	-0.17	-0.56	-17
2100-2150	0.384	0.03	0.08	2	0.44	1.15	36	-0.41	-1.07	-34
2050-2100	0.416	0.14	0.34	11	0.57	1.37	43	-0.43	-1.03	-32
2000-2050	0.464	0.21	0.45	14	0.68	1.47	46	-0.47	-1.02	-32
1950-2000	0.457	0.28	0.61	19	0.70	1.53	49	-0.42	-0.92	-30
1900-1950	0.214	0.16	0.75	24	0.43	2.01	64	-0.27	-1.26	-40
1850-1900	0.065	0.06	0.92	29	0.15	2.31	73	-0.09	-1.39	-44
1850-2300	2.518	1.15	0.46	14	3.40	1.35	43	-2.25	-0.89	-29

Årets sommerbalanse er beregnet til 3.40 · $10^6 m^3$ vann eller 1.35 m vann jevnt fordelt på hele breen, og det er 109% av midlere sommerbalanse for årene 1962-80. Det motsvarer en avrenning på 43 l/s km^2.

Årets nettobalanse ble dermed negativ, totalt -2.25 · $10^6 m^3$ vann. Dette utgjør en vannverdi på 0.89 m eller en avrenning på 29 l/s km^2. Midlere nettobalanse for perioden 1962-80 er -0.34 m, og bare tre ganger tidligere er det målt en mindre nettobalanse enn i år.

Likevektslinjen er beregnet til å ligge på 2 225 m, og det er ca 110 m høyere enn i et år med likevekt (se fig.21).

Engabreen

Materialhusholdning

Breen ble besøkt for måling og skjøting av staker 2 ganger i løpet av vinteren. Det falt relativt lite snø. Ved første besøk 11. november var det kommet 2-3 m snø. Ved neste besøk den 22. januar var snødypet øket til 3.5-5.5 m. Frem til akkumulasjonsmålingen, ble stakene ytterligere 2-3 m kortere. Stakene overlevet vinteren på 17 av de 20 stakeposisjonene.

Akkumulasjonsmålingen ble utført i perioden 8. - 12. mai under relativt bra værforhold og gode sonderingsforhold. Snødypet ble målt i 236 punkter langs ca 52 km sonderingsprofiler som er vist i fig.22. Dette gir en måletetthet på 6.2 pr km^2. Snødypet varierte mellom 4.8 m og 8.7 m, men 80% av målingene lå mellom 6 m og 8 m. Snøprøver ble tatt ved stakene 16 (1 180 m o.h.) og 105 (1 350 m o.h.) under vinterbesøkene og under akkumulasjonsmålingen ned til forrige besøks overflate, som var markert med et farvelag. På begge steder var midlere tetthet 0.44 g/cm^3, og

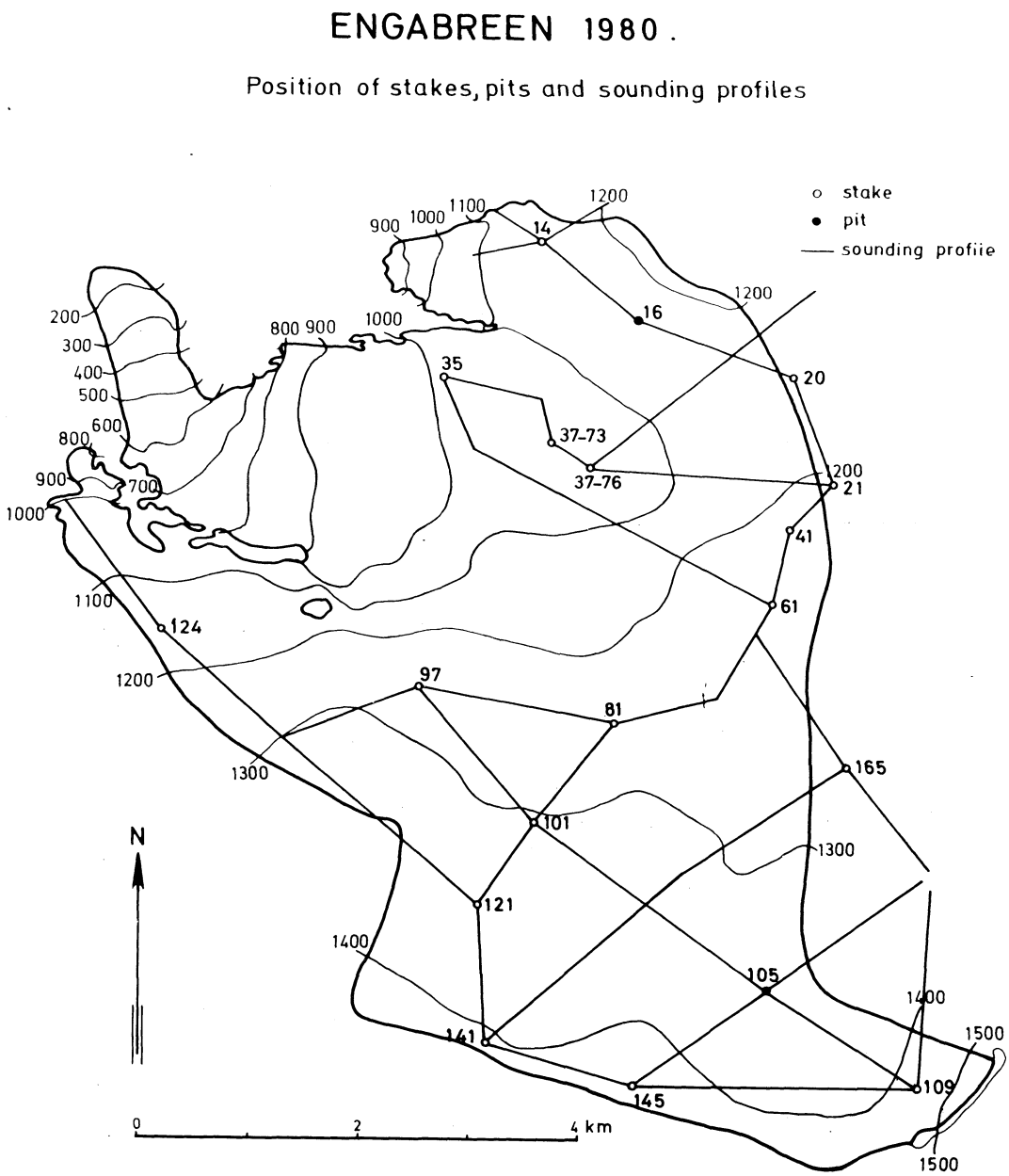


Fig.22 Beliggenheten av staker, sjakter og sonderingsprofiler i 1980.

The location of stakes, pits and sounding profiles in 1980.

resultatene fra disse prøvene er brukt for beregning av vannverdi for samtlige sonderinger.

Vinterbalansen, som er vist i fig. 23, er beregnet til 101.8 · $10^6 m^3$ vann. Jevnt fordelt over hele breen er det et vannlag på 2.68 m, og det er 86 % av middelverdien for årene 1970-80.

Stasjonen på Engabreen var bemannet fra 15. juni til 2. september. I denne tiden ble det foretatt daglige ablasjonsmålinger på breen nær hytten, mens de resterende staker ble målt ca hver 5. dag. Sommeren var jevnt over varm og smeltingen var

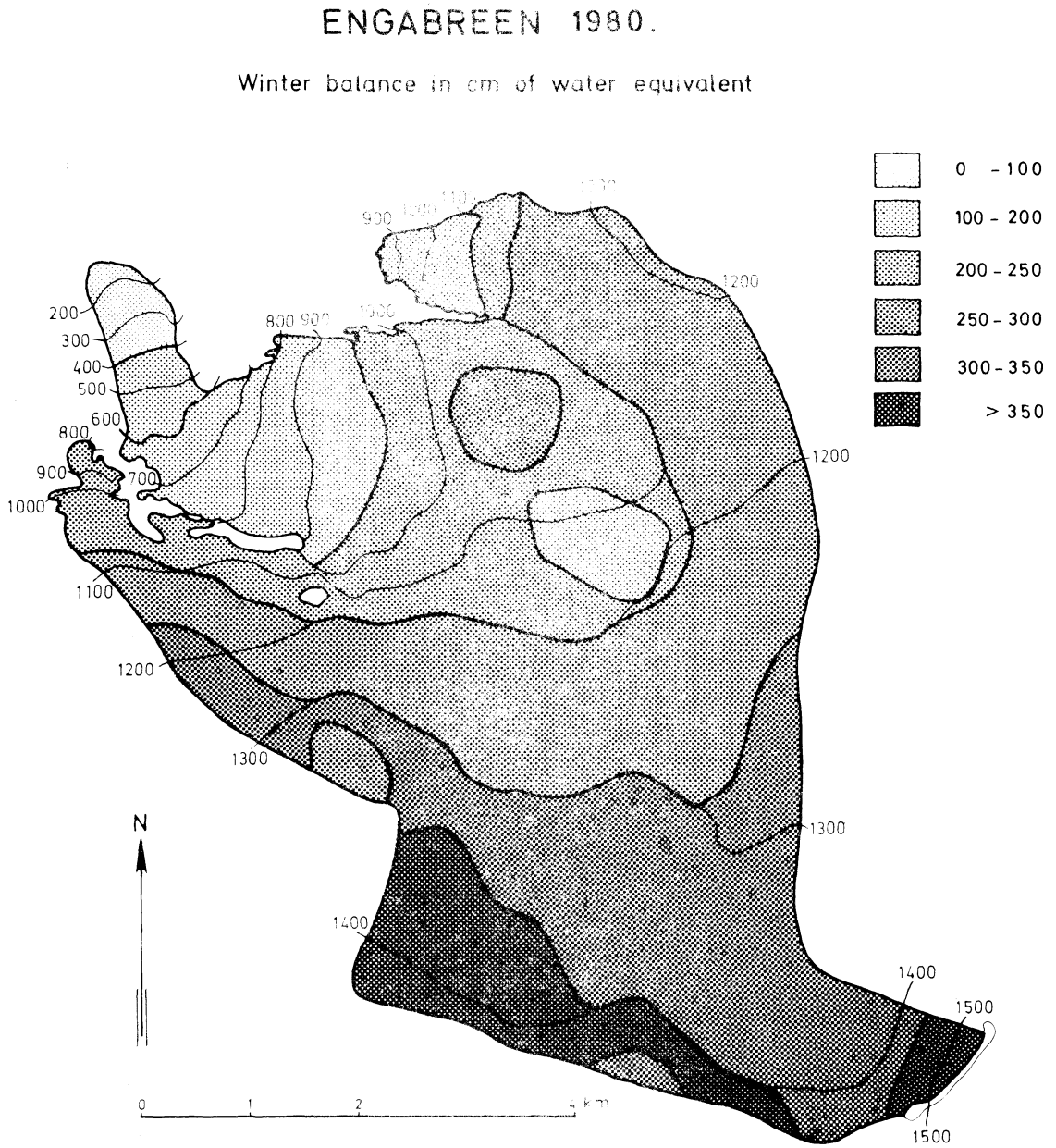


Fig.23 Kart over vinterbalansen i 1980.

Map showing the winter balance in 1980.

stor. De varmeste periodene var i begynnelsen av juli, i månedsskiftet juli/august og midt i august. Sommerbalansen var 121.1 · $10^6 m^3$, motsvarende et vannlag på 3.18 cm jevnt fordelt over hele breen eller en avrenning på 101 l/s km^2. Dette er omtrent samme sommerbalanse som i 1979 og 133% av årsmiddelet for perioden 1970-80.

Relativt liten vinterbalanse og stor sommerbalanse medførte et stort masseunderskudd på breen. Nettobalansen var -19.3 · $10^6 m^3$, og det utgjør et vannlag på 50 cm jevnt fordelt over hele breen eller en avrenning på 16 l/s · km^2. Sammenlignet med middelverdien for perioden 1970 - 80 er årets nettobalanse 46.7 · $10^6 m^3$ eller 1.21 m vannverdi mindre enn denne.

ENGABREEN 1980

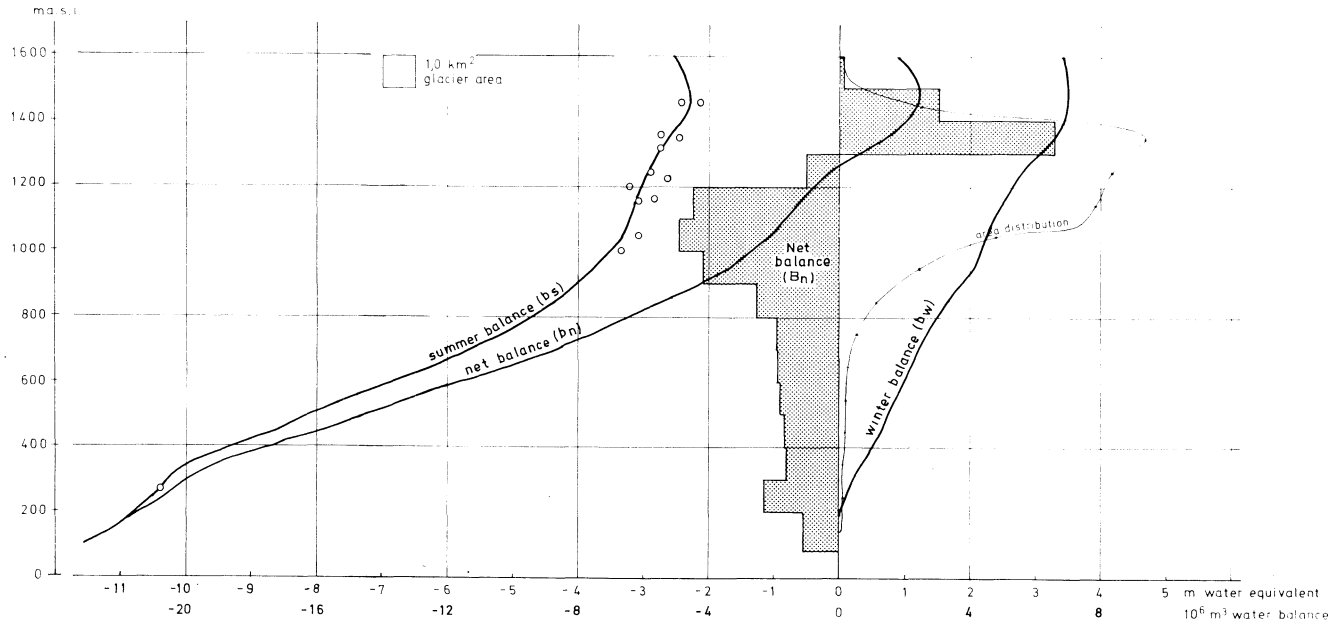


Fig.24 Variasjonene av vinter-, sommer og nettobalansen med høyden over havet, breens arealfordeling og arealverdier av nettobalansen i hvert 100 m høydeintervall.

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 1980

Høyde intervall m o.h.	Areal S km^2	Vinterbalanse B_w $10^6 m^3$	b_w m	b_w 1/s km^2	Sommerbalanse B_s $10^6 m^3$	b_s m	b_s 1/s km^2	Nettobalanse B_n $10^6 m^3$	b_n m	b_n 1/s km^2
1500-1594	0.12	0.42	3.50	111	0.29	2.42	77	0.13	1.08	34
1400-1500	2.51	8.82	3.51	111	5.75	2.29	73	3.07	1.22	38
1300-1400	9.35	30.92	3.31	105	24.30	2.60	82	6.62	0.71	23
1200-1300	8.55	23.77	2.78	88	24.75	2.89	92	- 0.98	- 0.11	- 4
1100-1200	7.60	19.10	2.51	80	23.56	3.10	98	- 4.46	- 0.59	- 18
1000-1100	4.66	10.54	2.26	72	15.42	3.31	105	- 4.88	- 1.05	- 33
900-1000	2.46	5.07	2.06	65	9.21	3.74	119	- 4.14	- 1.68	- 54
800- 900	0.94	1.55	1.65	52	4.06	4.32	137	- 2.51	- 2.67	- 85
700- 800	0.50	0.69	1.38	44	2.57	5.14	163	- 1.88	- 3.76	-119
600- 700	0.37	0.42	1.14	36	2.30	6.22	197	- 1.88	- 5.08	-161
500- 600	0.27	0.24	0.89	28	2.03	7.52	238	- 1.79	- 6.63	-210
400- 500	0.21	0.14	0.67	21	1.80	8.57	272	- 1.66	- 7.90	-251
300- 400	0.17	0.06	0.37	12	1.68	9.88	313	- 1.62	- 9.51	-301
200- 300	0.22	0.03	0.13	4	2.30	10.45	332	- 2.27	-10.32	-328
80- 200	0.09	0.00	0	0	1.04	11.56	366	- 1.04	-11.56	-366
80-1594	38.02	101.77	2.68	85	121.06	3.18	101	-19.29	- 0.50	- 16

Likevektslinjen ble ikke observert direkte, men er beregnet til å ligge på 1 270 m o.h. ifølge fig. 24. Dette er ca 70 m høyere enn i et år med balanse i materialhusholdningen.

Meteorologiske observasjoner

Det meteorologiske måleprogrammet på Engabreen var det samme sommeren 1980 som de foregående tre år, og det ble utført meteorologiske målinger på tre steder: 1) den gamle hyttetomten (880 m o.h.) som var observasjonssted i årene 1970-76, og 2) feltstasjonen (1 100 m o.h.) dit hyttene ble flyttet i 1976, og 3) Skjæret (1 360 m o.h.) som er en nunatak inne på breplatået. På alle tre stasjonene ble observasjoner utført i perioden 15. juni - 31. august.

På 880 m o.h. ble det målt temperatur og fuktighet med hhv. termograf og hygrograf med ukesomløp. Dessuten var anemometer og en nedbørmåler av typen "Pluvius" installert. Instrumentene gikk uten noen brudd hele perioden og har gitt bra resultater. Stasjonen ble besøkt og kontrollert tre ganger pr uke, og ved hvert besøk ble anemometeret avlest og nedbør i pluviusen målt. Registreringen på den gamle hyttetomten er opprettholdt siden flyttingen av hytten i 1976 for å få en bedre kontinuitet mellom målingene på 880 m o.h. i tiden før 1976 og på 1 100 m o.h. i fremtiden.

På feltstasjonen på 1 100 m o.h., som var bemannet hele observasjonsperioden, ble det utført observasjoner av temperatur, vind, nedbør ("Pluvius" og standardnedbørmåler) og skydekke og skyhøyde to ganger om dagen (0600 og 1800 GMT). Temperatur og fuktighet ble dessuten registrert kontinuerlig med hhv. termograf og hygrograf med en ukes omløp. Det er heller ikke her noen brudd i observasjoner og registreringer, som må karakteriseres som gode.

På Skjæret (1 360 m o.h.) ble det registrert temperatur og nedbør med hhv. termograf og pluviograf med ukesomløp. Instrumentene ble besøkt og kontrollert 2-3 ganger pr uke. Termografen gikk uten brudd hele sommeren og har gitt gode registreringer. Med pluviografen derimot var det en del problemer i juli, mens registreringene i juni og august er av rimelig bra kvalitet.

Ved feltstasjonen (1 100 m o.h.) og ved brefronten (50 m o.h.) var det dessuten installert aktinografer som utførte kontinuerlige målinger av kortbølget stråling. Disse måleresultatene og den kortbølgede strålingens andel av ablasjonen er behandlet separat i et eget kapittel, s.54. De meteorologiske observasjonene på feltstasjonen, samt døgnmiddeltemperatur på Skjæret og i Glomfjord og avrenning fra breen vist i fig. 25. I tabellen på neste side er månedsverdiene i 1980 sammenlignet med midlere månedsverdi for perioden 1977 - 80, som er den tiden målinger har vært utført på stasjonen 1 100 m o.h.

	T(°C)	$\bar{T}$(°C)	P(mm)	$\bar{P}$(mm)	F(mb)	$\bar{F}$(mb)	Q($10^6 m^3$)	$\bar{Q}$($10^6 m^3$)
Juni	8.3	4.4	40[x]	120	8.3	7.3	42.4	29.4
Juli	8.4	7.0	24	78	8.0	8.1	54.3	49.6
August	6.7	5.7	54	149	8.4	8.0	60.3	50.7
Sommer	7.7	6.0	118	347	8.2	7.9	157.0	129.7

[x]nedbøren for første halvpart av juni er beregnet etter nedbøren i Glomfjord

T = middeltemperatur for 1980
$\bar{T}$ = middeltemperatur for årene 1977-80
P = månedsnedbør i 1980
$\bar{P}$ = midlere månedsnedbør for årene 1977-80
F = midlere luftfuktighet i 1980
$\bar{F}$ = midlere luftfuktighet for årene 1977-80
Q = månedlig avrenning for 1980
$\bar{Q}$ = midlere månedlig avrenning for årene 1977-80

Skydekket ble målt i tiendedeler, 10 er helt overskyet og 0 helt klart. Middelet for hele perioden (78 dager) var 5.5, og det er den laveste verdi siden målingene begynte i 1970. Middelverdien for perioden 1970-80 er 7.2. Bare 16 dager (21%) var helt overskyet, og 40 dager (51%) hadde halvskyet eller lettere. Av helt skyfrie dager ble det registrert 10, og av dem var 8 i juli.

Middeltemperaturen for stasjonen på 1 100 m o.h. var 7.7°C for observasjonsperioden, og det er 1.6° høyere enn i 1979 og 1978, og 3.3° høyere enn i 1977. Tar man hensyn til at stasjonen ble flyttet i 1976, var sommeren 1980 den varmeste sommeren siden målingene begynte i 1970. Middeltemperaturen for juni var 8.3°C, for juli 8.4°C og for august 6.7°C, og det er hhv. 3.9°C, 1.4°C og 1.0°C høyere enn middelverdien for årene etter 1976 da stasjonen ble flyttet til 1 100 m o.h. Høyeste døgnmiddeltemperatur var 14.6°C den 30. juli, og laveste var 0.8°C den 31. august og 1.6°C den 14. juli, og 21 døgn hadde en middeltemperatur over 10°C.

På den gamle stasjonen var middeltemperaturen 8.9°C, og det er 1.9°C høyere enn middelverdien for perioden 1970-80 og 1.7° høyere enn i 1979. For juni var middeltemperaturen 8.7°C, for juli 9.6°C og for august 8.2°C, og det er hhv. 2.0°C, 2.2°C og 1.4°C høyere enn middelverdien for perioden 1970-80. For juli og august var middeltemperaturen den høyeste som er målt siden 1970. Her var høyeste døgnmiddeltemperatur 16.8°C den 30. juli.

På Skjæret (1 360 m o.h.) var middeltemperaturen 6.2°C, og det er 1.5°C høyere enn i 1979 og 2.2°C høyere enn middelverdien for perioden 1976-80 som det er gjort

temperaturmålinger der. Høyeste døgnmiddeltemperatur på Skjæret var 13.0°C den 2. august, og i månedsskiftet juli-august hadde 7 på hverandre følgende døgn en middeltemperatur over 11°C.

Temperaturforskjellen mellom de to stasjonene på 880 m o.h. og 1 100 m o.h. er ujevn og var 0.4°C i juni, 1.2°C i juli og 1.6°C i august og varierte mellom -2.1°C og 5.0°C. Middeldifferansen var for hele sommeren 1.2°C, og det er det samme som foregående år. Ser en derimot på temperaturgradienten mellom feltstasjonen 1 100 m o.h. og Engavannet (10 m o.h.) og Glomfjord (39 m o.h.) var den hhv. 0.61°C/100 m og 0.73°C/100 m, og har et mye mindre standardavvik enn temperaturgradienten mellom stasjonen på 880 m o.h. og Engavann og Glomfjord. Forskjellen mellom temperaturen fra radiosondemålinger fra Bodø ved 850 mb og Engabreen viser også mindre variasjon til stasjonen på 1 100 m o.h. enn til den gamle stasjonen på 880 m o.h.

Midlere døgnlig vindstyrke på 1 100 m o.h. var 4.6 m/s med maksimum 14.5 m/s den 24. juni og minimum 0.2 m/s den 13. juli. Midlere vindstyrke for stasjonen for perioden 1977-80 er 4.8 m/s.

I standardnedbørmåleren på feltstasjonen ble det registrert 12 mm i juni, 24 mm i juli og 54 mm i august, tilsammen 90 mm i løpet av observasjonsperioden, og det er bare 30% av middelverdien for årene 1977-80. Største nedbør på et døgn ble målt den 2. august med 13.0 mm, og tilsammen 53 døgn var helt uten nedbør. I pluviografen på Skjæret ble det registrert 6 mm i juni, og 51 mm i august, mens juli hadde lange perioder som pluviografen ikke fungerte. På nedre hyttetomt (880 m o.h.) ble det målt 62 mm i juni, 49 mm i juli og 30 mm i august. Som en ser, er det ganske bra overensstemmelse mellom Skjæret og stasjonen på 1 100 m o.h., mens nedbørtallene fra 880 m o.h. overhodet ikke stemmer overens med de andre stasjonene. Den samme tendensen har man hatt tidligere år, om enn ikke så utpreget.

I Glomfjord falt det i feltperioden (15. juni - 31. august) 64 mm og ved Engavann 61 mm. Brestasjonen fikk dermed 140% av nedbøren i Glomfjord og 147% av nedbøren ved Engavann, men prosentandelen for de enkelte måneder varierer mye. De tilsvarende tall for 1979 var hhv. 175% og 126%.

Luftfuktigheten viser et midlere vanndamptrykk på 8.3 mb i juni, 8.0 mb i juli og 8.4 mb i august. Høyeste midlere vanndamptrykk ble målt 16. august med 11.5 mb,

Fig.25 Resultatene av de daglige meteorologiske observasjonene på Engabreen (1 100 m o.h.) samt beregnet døgnavløp ved utløpet av Engavatn.

The daily meteorological observations at Engabreen (1 100 m a.s.l.) and computed daily discharge at Lake Engavatn.

ENGABREEN 1980

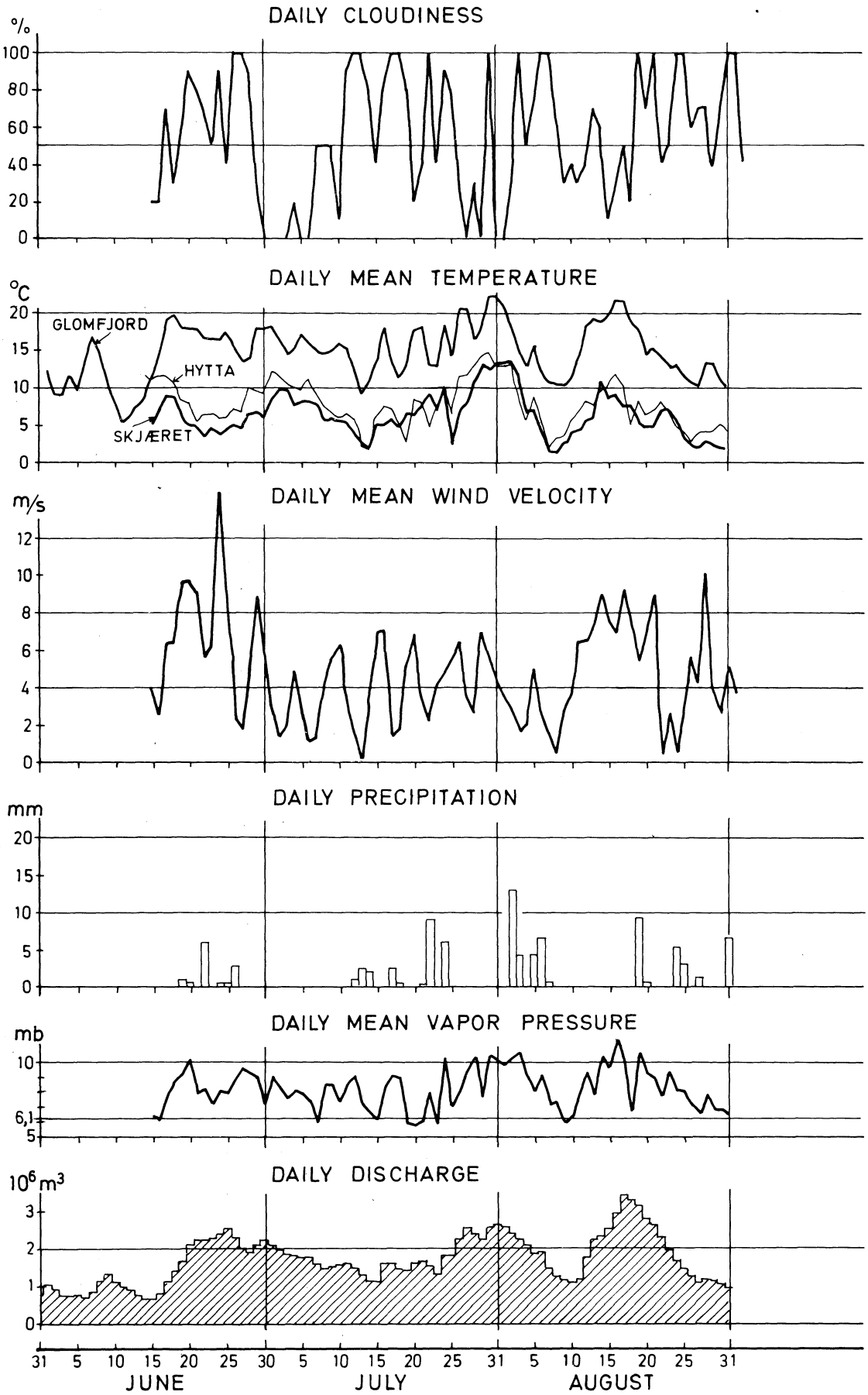


Fig. 25

og bare tre døgn hadde et vanndamptrykk under 6.1 mb, hvilket er betingelsen for direkte sublimasjon fra breoverflaten. Dette tilsier at ablasjon i form av sublimasjon fra breoverflaten har vært ubetydelig.

Avløp

Avløpsmålinger viser et avløp på 145.3 · $10^6 m^3$ i perioden 15. juni - 31. august, målt i utløpet av Engavann, som har en breprosent på 76. Dette gir et døgnlig middelavløp på 1.86 · $10^6 m^3$, og det er 116% av middelverdien for perioden 1970-80. Avrenningen for de enkelte månedene var 30.1 · $10^6 m^3$ i juni (15.-30.), 54.3 · $10^6 m^3$ i juli og 60.3 · $10^6 m^3$ i august, og det er hhv. 159%, 100% og 113% av middelverdien for de samme år. Største døgnavløp ble målt den 17. august med 3.45 · $10^6 m^3$. Ikke siden 1972 har det fra Engabreen vært registrert et større døgnavløp (se Kjeldsen 1981, s.18).

For periodene 1. mai - 31. oktober var avløpet fra Engavann 210 · $10^6 m^3$ og det er 118% av middelverdien for perioden 1970-80. Breens ablasjon utgjør 121.1 · $10^6 m^3$. Utenom denne perioden anses det ikke å ha vært smelting av betydning fra breen.

En sammenligning av materialhusholdningen på de enkelte breer

I 1980 ble det utført massebalansemålinger på 8 norske breer, 7 i Syd-Norge og 1 i Nord-Norge. NVE utførte målingene på 6 av breene og Norsk Polarinstitutt på de 2 andre. De undersøkte breene er vist på kartet i fig. 1. I Syd-Norge er de ganske godt fordelt geografisk fra Ålfoten i vest som den mest maritime til Gråsubreen i Øst-Jotunheimen som den mest kontinentale. I Nord-Norge er det bare utført undersøkelser på Engabreen på vestsiden av Svartisen, og en vet derfor lite om forholdene lenger nordover eller om breer som ligger lenger fra kysten og er mer kontinentale. Men på Storglaciären i Kebnekaise-området i Sverige (ca 68°N, 18°30'E) har det vært utført massebalansemålinger helt siden 1945.

Samtlige breer i landet hadde i 1980 liten vinterakkumulasjon. I Syd-Norge ble det målt en vinterakkumulasjon på 65-79% av midlere akkumulasjon for de årene det er utført målinger. Et unntak er Bondhusbreen med 98%, men her er måleserien bare 4 år, og 3 av de siste 4 årene har hatt forholdsvis lav vinterbalanse. Dog ser det ut til at vinterbalansen på Bondhusbreen var relativ større enn på de andre undersøkte breene som alle ligger lenger nord.

Bortsett fra Ålfotbreen (101%) var sommerbalansen langt over det normale (gjennomsnittet for de årene målingene har pågått) på de andre breene, og varierte fra 129% på Gråsubreen til 150% på Nigardsbreen. Bondhusbreen med sin korte måleserie på 4 år viser 100%, men for de andre breene i Syd-Norge har sommerbalansen stort sett vært over det normale de siste 4 år, slik at prosentverdien for Bondhusbreen

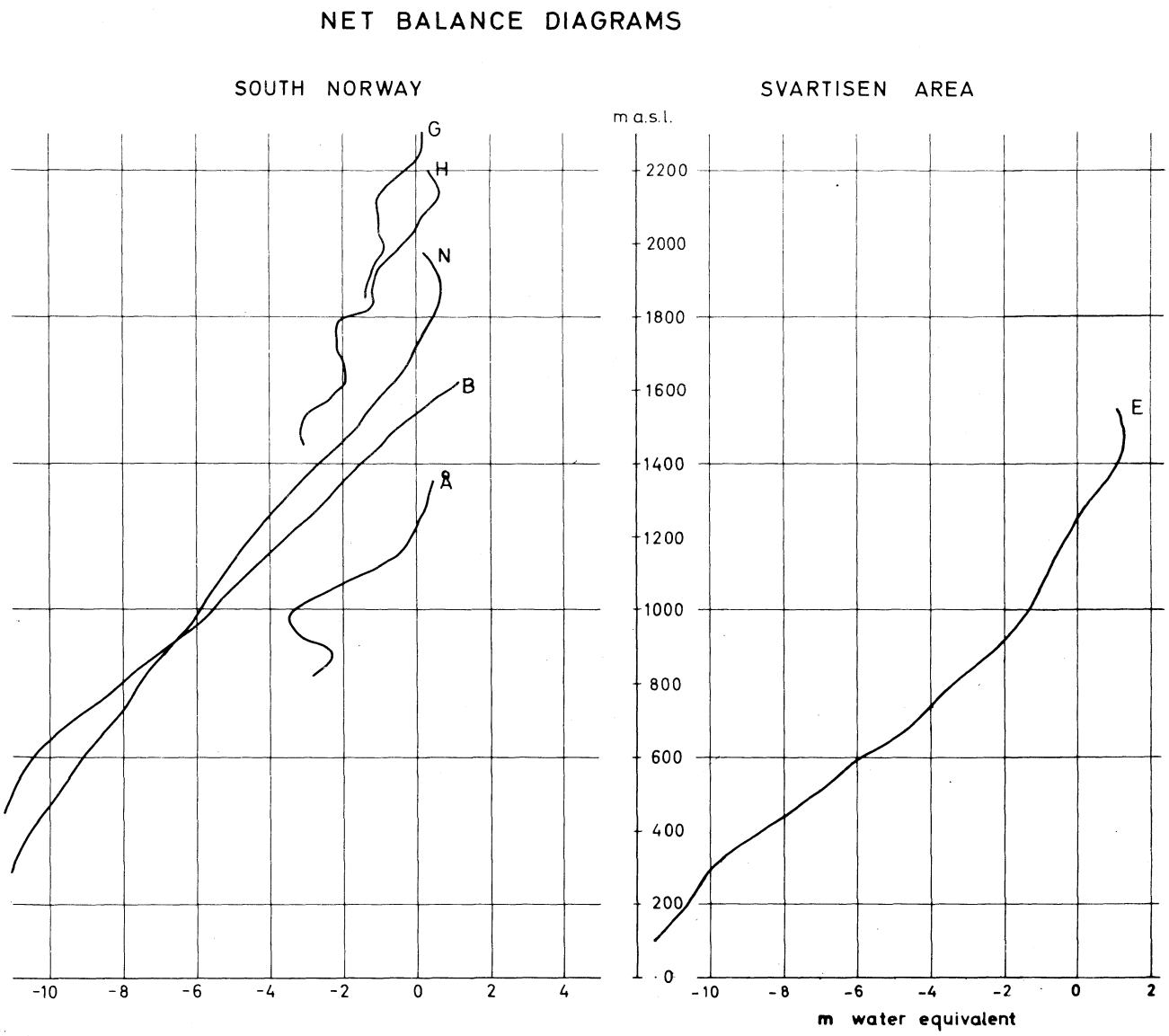


Fig.26 Nettobalansekurver for 1980.

Net balance curves for 1980.

ikke er sammenlignbar med de andre breene. Alle de undersøkte breene hadde en relativ stor negativ massebalanse. Størst var nettobalansen på Bondhusbreen med -0.45 m, og minst var den på Hardangerjøkulen med -1.40 m.

Resultatene av årets massebalanseundersøkelser er sammenstillet i tabellen i fig.27 og i fig.26 og 28. I tabellen på s.51 er årets massebalanseundersøkelser jevnført med middelverdien av tidligere års undersøkelser. Bondhusbreen har både vinterbalanse og sommerbalanse lik gjennomsnittet for de siste 4 år, skjønt nettobalansen er -0.45 m. Dette viser at middelverdien for Bondhusbreen ikke er sammenlignbar med middelverdien for de andre breene i Syd-Norge som har måleserier på 18 år eller lenger.

MASSEBALANSERESULTATER 1980

	Areal	Vinterbalanse			Sommerbalanse			Nettobalanse			Likevekts-linje
	S	B_w		b_w	B_s		b_s	B_n		b_n	
	km^2	$10^6 m^3$	m	$l/s\ km^2$	$10^6 m^3$	m	$l/s\ km^2$	$10^6 m^3$	m	$l/s\ km^2$	m o.h.
Ålfotbreen	4.82	12.11	2.53	80	16.05	3.35	106	- 3.94	-0.82	-26	1280
Bondhusbreen	10.82	25.19	2.33	74	30.12	2.78	88	- 4.93	-0.45	-14	1500
Nigardsbreen	48.20	85.50	1.77	56	144.30	2.99	95	-58.80	-1.22	-39	1730
Hardangerjøkulen	17.80	25.81	1.45	46	50.73	2.85	90	-24.92	-1.40	-44	-
Storbreen	5.30	5.25	0.99	31	12.19	2.30	73	- 6.94	-1.31	-42	1975
Hellstugubreen	3.29	2.65	0.81	26	6.74	2.05	65	- 4.09	-1.24	-39	2050
Gråsubreen	2.52	1.15	0.46	14	3.40	1.35	43	- 2.25	-0.89	-29	2225
Engabreen	38.02	101.77	2.68	85	121.06	3.18	101	-19.29	-0.50	-16	1270

Fig. 27 Resultater av årets massebalansemålinger, breenes areal og likevekts-linjens høyde.

Mass balance results for 1980, the areas of the investigated glaciers, and the height of the equilibrium line.

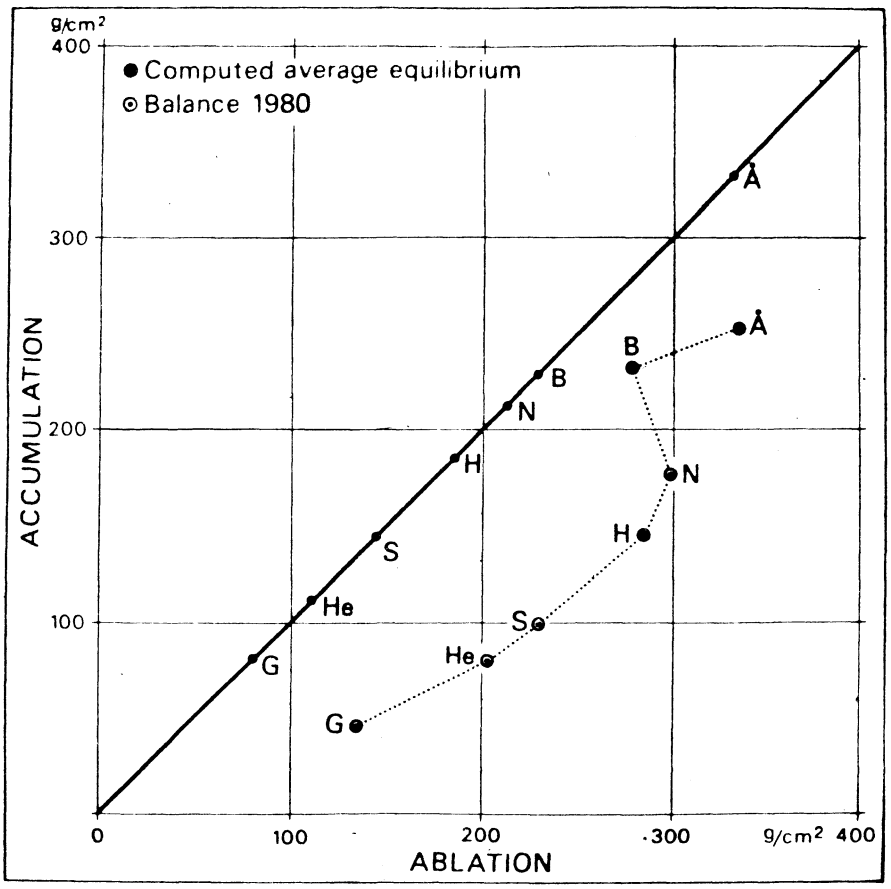


Fig.28 Forholdet mellom vinter- og sommerbalansen i 1980 sammenlignet med et år med beregnet "normal" materialomsetning.

Relation between winter and summer balance in 1980 compared to a year with a computed "normal" mass exchange.

En oversikt over massebalanseundersøkelser utført på noen norske breer i perioden 1962 - 80.

I figur 29 er vist en oversikt over massebalanseundersøkelser på noen norske breer i perioden 1962-80. I tabellen er alle tallene for balanse angitt i m vannekvivalent jevnt fordelt over hele breens overflate for de breene som har de lengste måleserier.

Ålfotbreen er den mest maritime av de undersøkte breene, og har også den største materialomsetningen. Massebalanseundersøkelsene der har pågått siden 1963. Vinterbalansen har variert mellom 2.33 m og 4.67 m, og sommerbalansen har variert mellom 2.41 m og 4.83 m. Middelverdien er hhv. 3.42 m og 3.32 m. Minste målte nettobalanse var -2.17 m i 1969, og den høyeste var +2.18 m i 1973, mens midlere nettobalanse for hele perioden er 0.10 m. Før 1970 hadde Ålfotbreen gjennomgående mindre vinterbalanse og større sommerbalanse (middelverdi hhv. 3.19 m og 3.58 m) enn i perioden 1971-76, da middelverdien var 4.23 m og 3.06 m respektive. Etter 1976 ser det ut til at tendensen har snudd igjen, og for perioden 1977-80 var midlere vinterbalanse 2.68 m og midlere sommerbalanse 3.18 m, og alle fire årene hadde negativ nettobalanse. Om vi bare ser på nettobalansen, skiller de tre periodene seg tydelig fra hverandre. For perioden 1963-70 var nettobalansen -3.12 m, mens den i perioden 1971-76 var +7.00 m og i perioden 1977-80 var den -2.02 m.

På Nigardsbreen har massebalanseundersøkelser pågått siden 1962. Her er midlere materialomsetning bare 60-65% av den på Ålfotbreen. Midlere vinterbalanse på 19 år er 2.25 m og midlere sommerbalanse er 1.99 m. Nettobalansen har variert mellom -1.31 m i 1969 og +2.24 m i 1962, og på 19 år har breen hatt en samlet positiv nettobalanse på 4.99 m.

På Nigardsbreen viser ikke tallene noen tendens til forandring i massebalansen rundt 1970, på samme måte som for Ålfotbreen, med mindre vinterbalanse og større sommerbalanse. For perioden 1962-76 var midlere vinter-, sommer og nettobalanse hhv. 2.30 m, 1.88 m og +0.42 m, mens de tilsvarende tall for perioden 1977-80 er 2.04 m, 2.39 m og -0.35 m. Kumulativ nettobalanse for perioden 1962-76 viser et overskudd på 6.40 m, mens perioden 1977-80 har et underskudd på 1.41 m. Selv om Nigardsbreen har hatt en positiv massebalanse siden 1962, har brefronten på samme tid trukket seg tilbake med ca 820 m.

På Vetledalsbreen på vestsiden av Jostedalsbreen utførte NVE massebalansemålinger i årene 1967-72. Vinterbalansen var omtrent som for Nigardsbreen, mens sommerbalansen var noe større. I måleperioden hadde Vetledalsbreen en kumulativ nettobalanse på -2.27 m, mens det tilsvarende tall for Nigardsbreen var +1.19 m.

På Tunsbergdalsbreen på østsiden av Jostedalsbreen ble massebalansemålinger utført av NVE i årene 1966-72. Målingene viste meget god korrelasjon med Nigardsbreen (Haakensen 1979, s. 50). Tunsbergdalsbreen viste en tendens til litt mindre vinterbalanse og litt større sommerbalanse og hadde en nettobalanse som var 17-38 cm mindre enn Nigardsbreen målt i vannverdi. I måleperioden (1966-72) hadde Tunsbergdalsbreen en samlet massebalanse på -2.02 m mens Nigardsbreen hadde + 0.27 m.

På Bondhusbreen er det utført massebalansemålinger siden 1977, og resultatene viser gjennomgående litt høyere materialomsetning enn på Nigardsbreen. I perioden 1977-80 er middelverdien for vinterbalansen 2.56 m og for sommerbalansen 2.62 m. Undersøkelser som er utført på andre breer på vestsiden av Folgefonn i perioden 1963-68 og 1974-75, viser også at materialomsetningen der er lik eller litt større enn på Nigardsbreen.

På Hardangerjøkulen er det utført undersøkelser av massebalansen på Rembesdalskåkje siden 1963. Materialomsetningen er litt mindre enn på Nigardsbreen. I forhold til Nigardsbreen er midlere vinterbalanse på Hardangerjøkulen 85% og sommerbalanse 95%. Midlere vinterbalanse på 18 år er 1.89 m og midlere sommerbalanse er 1.98 m, og breen har hatt et kumulativt underskudd på 1.69 m siden 1963. Nettobalansen har variert mellom -1.90 m i 1969 og 1.19 m i 1967. Som Ålfoten viser også Hardangerjøkulen et netto underskudd i perioden 1963-70 (-1.77 m) et netto overskudd i perioden 1971-76 (+2.20 m) og et underskudd igjen i perioden 1977-80 (-2.12 m).

På Storbreen startet Norsk Polarinstitutt massebalanseundersøkelser i 1949. Før 1962 viste breen et samlet underskudd på 5.52 m, og bare tre år i den perioden hadde overskudd. Fra 1962 har breen hatt en kumulativ nettobalanse på -4.13 m. Storbreen er mer kontinental enn breene lenger vest og har mindre materialomsetning. Etter 1962 er midlere vinterbalanse 60% av Nigardsbreens, og sommerbalansen er 80%. Den samme tendens, som resultatene fra Ålfotbreen og Hardangerjøkulen viser, med mindre nettobalanse før 1970 enn fra 1971 til 76 og så mindre nettobalanse etter

Fig.29 Tabellen viser resultater fra massebalanseundersøkelser for noen norske breer utført i årene 1962-80. B_w, B_s og B_n er vinterbalanse, sommerbalanse og nettobalanse respektive, oppgitt i m vannverdi jevnt fordelt på hele breens areal. Dessuten er det oppgitt avrenningen fra breen i millioner kubikkmeter i sommermånedene juni-august og brefrontens frem- eller tilbakerykning i meter der disse måles.

The table is showing results of mass balance measurements performed at some Norwegian glaciers during the period 1962-80. B_w, B_s, and B_n are the winter, summer, and net balance, respectively. For some of the glaciers values for discharge during the summer and advance or retreat of the glacier front are shown where such figures are available.

		1962	1963	1964	1965	1966	1967	1968	1969	1970	1971	1972	1973	1974	1975	1976	1977	1978	1979	1980
Ålfotbreen	Bw m		2.48	2.69	3.64	2.47	4.46	4.55	2.66	2.60	4.29	3.81	4.67	3.57	4.64	4.40	2.33	2.56	3.28	2.53
	Bs m		3.58	2.41	3.16	4.08	3.18	3.60	4.83	3.83	3.35	3.70	2.49	2.54	3.43	2.87	2.89	3.07	3.41	3.35
	Bn m		-1.10	+0.28	+0.48	-1.61	+1.28	+0.95	-2.17	-1.23	+0.94	+0.11	+2.18	+1.03	+1.21	+1.53	-0.56	-0.51	-0.13	-0.82
	Q juni-aug. $10^6 m^3$			28.2	29.4	25.4	30.4	22.3	25.6	26.5 ⊕	32.3	33.2		25.8			24.9	26.5	26.6	29.3
	Front m																			
Nigardsbreen	Bw m	2.88	1.87	2.13	2.29	1.76	3.40	2.72	1.95	1.73	2.11	1.88	2.40	2.06	2.50	2.88	1.52	2.12	2.75	1.77
	Bs m	0.63	2.09	1.18	1.38	2.68	1.24	2.50	3.26	2.29	1.29	2.02	1.30	1.58	2.23	2.48	2.29	2.25	2.04	2.99
	Bn m	+2.25	-0.22	+0.95	+0.91	-0.92	+2.16	+0.22	-1.31	-0.56	+0.82	-0.14	+1.10	+0.48	+0.27	+0.40	-0.77	-0.13	+0.71	-1.22
	Q juni-aug. $10^6 m^3$			117.1	92.3	144.4	111.2	121.8	130.0	167.8	120.2	139.1	140.6	111.1	134.8	139.4	132.1	152.2	146.7	181.6
	Front m	-30	-65	-65	←				-515			→	-65	-46	-16	-1	-7	-14	+3	+1
Hardangerjøkulen	Bw m		1.15	1.85	2.05	1.60	2.44	2.68	1.07	1.29	2.02	1.78	2.62	1.91	2.25	2.45	1.20	1.80	2.40	1.45
	Bs m		2.55	1.31	1.54	2.24	1.25	2.15	2.97	1.89	1.28	1.86	1.79	1.50	2.10	2.30	1.92	2.10	2.10	2.85
	Bn m		-1.40	+0.54	+0.51	-0.64	+1.19	+0.53	-1.90	-0.60	+0.74	-0.08	+0.83	+0.41	+0.15	+0.15	-0.72	-0.30	+0.30	-1.40
	Q juni-aug. $10^6 m^3$																			
	Front m																			
Storbreen	Bw m	1.54	0.96	1.16	1.54	1.25	1.89	1.64	1.22	0.97	1.46	1.39	1.48	1.26	1.55	1.81	0.94	1.26	1.55	0.99
	Bs m	0.82	2.14	0.95	1.20	1.86	1.17	1.59	2.64	1.69	1.28	1.70	1.40	1.02	1.70	1.90	1.48	1.70	1.45	2.30
	Bn m	+0.72	-1.18	+0.21	+0.34	-0.61	+0.72	+0.05	-1.42	-0.72	+0.18	-0.31	+0.08	+0.24	-0.15	-0.09	-0.54	-0.44	+0.10	-1.31
	Q juni-aug. $10^6 m^3$																			
	Front m	-5	-20	-11	-8	-6	-5	-8	-14	-18	-14	-10	-5	-5	-8	-10	-8		-6	
Hellstugubreen	Bw m	1.18	0.94	0.71	1.29	0.95	1.48	1.38	0.95	0.70	1.12	0.94	1.20	1.00	1.35	1.16	0.68	1.05	1.43	0.81
	Bs m	0.40	1.92	0.83	0.77	1.62	0.93	1.49	2.23	1.70	1.25	1.43	1.41	0.76	1.71	1.89	1.40	1.59	1.45	2.05
	Bn m	+0.78	-0.98	-0.12	+0.52	-0.67	+0.55	-0.11	-1.28	-1.00	-0.13	-0.49	-0.21	+0.24	-0.36	-0.73	-0.72	-0.54	-0.02	-1.24
	Q juni-aug. $10^6 m^3$																			
	Front m	-10	-12	-6								←		-65		→ -10				
Gråsubreen	Bw m	0.81	0.40	0.39	0.77	0.72	1.45	1.03	0.74	0.57	0.49	0.66	0.72	0.58	0.91	0.62	0.51	0.67	0.91	0.46
	Bs m	0.09	1.11	0.71	0.36	1.01	0.74	1.11	2.04	1.23	0.96	1.30	1.61	0.24	1.86	1.62	0.90	0.89	0.87	1.35
	Bn m	+0.77	-0.71	-0.32	+0.41	-0.29	+0.71	-0.08	-1.30	-0.66	-0.47	-0.64	-0.89	+0.34	-0.95	-1.00	-0.39	-0.22	+0.04	-0.89
	Q juni-aug. $10^6 m^3$																			
	Front m																			
Engabreen	Bw m									2.05	3.20	3.22	4.37	3.39	3.18	3.86	2.08	2.48	3.64	2.68
	Bs m									3.04	2.19	3.29	1.65	2.59	1.57	1.45	1.20	2.99	3.22	3.18
	Bn m									-0.99	+1.01	-0.07	+2.72	+0.80	+1.61	+2.41	+0.88	-0.51	+0.42	-0.50
	Q juni-aug. $10^6 m^3$									139.7	180.1	147.1	138.3	117.2	103.6	110.7	89.1	133.1	141.6	157.0
	Front m					+5	+10	+22	+8	+34	+28	-31	-12	-4	0	+7	+31	+25	+20	-5

⊕ Mangler 11 døgn.

Fig. 29

1976, finner vi også på Storbreen, her ved at underskuddet i perioden 1971-76 er mindre enn i periodene 1963-70 og etter 1976. Årsaken til variasjonene skyldes først og fremst variasjoner i sommerbalansen i ulike perioder. Nettobalansen i de tre periodene er -2.61 m, -0.05 m og -2.19 m respektive. Største nettobalanse ble målt i 1962 og 1967 med +0.72 m, og den minste ble målt i 1969 med -1.42 m. Den nest minste nettobalansen var i 1980 med -1.31 m. Vinterbalansen på Storbreen har vært forholdsvis jevn hele undersøkelsesperioden og har en middelverdi på 1.37 m. Den varierer fra 0.94 m i 1977 til 1.89 i 1967 og 2.28 m i 1949. Men etter 1976 har den vist en synkende tendens og middelverdien for de siste 4 årene har vært 1.19 m. Sommerbalansen har derimot vist en større variasjon og sank fra 1.74 m i perioden før 1963 til 1.66 m for 1963-70 og til 1.50 m for 1971-76. Etter 1976 har midlere sommerbalanse øket og for årene 1977-80 er den 1.73 m. Siden 1949 har fronten på Storbreen trukket seg 400 m tilbake, derav 165 m etter 1962. De aller siste årene har breen gått tilbake 5-10 m i året.

På Hellstugubreen har massebalanseundersøkelsene pågått siden 1962. Hellstugubreen har enda mindre materialomsetning enn Storbreen, og i undersøkelsesperioden er vinterbalansen 48% og sommerbalansen 71% av Nigardsbreens. Vinterbalansen på Hellstugubreen varierer mellom 0.68 m og 1.48 m med en middelverdi på 1.07 m. Sommerbalansen ligger mellom 0.40 m og 2.23 m og har middelverdien 1.41 m. Årets sommerbalanse på 2.05 m er den nest største som har vært målt. Nettobalansen varierer fra -1.28 m i 1969 og -1.24 m i 1980 til +0.78 m i 1962. På 19 år har breen hatt et netto underskudd på 6.51 m, og kun 4 av årene har hatt positiv nettobalanse. Det kan ikke på Hellstugubreen påvises noen tydelig forskjell på resultatene før og etter 1970 som for de mer maritime breene, men det er en liten tendens til mindre vinterbalanse og større sommerbalanse etter 1976.

På Gråsubreen som er den mest kontinentale av de undersøkte breene i Norge, går også massebalansemålingene tilbake til 1962. I undersøkelsesperioden er vinterbalansen bare 20% av Ålfotbreens eller 32% av Nigardsbreens og ligger mellom 0.39 m og 1.45 m. Sommerbalansen avviker ikke like mye fra Ålfotbreens og Nigardsbreens og er hhv. 33% og 53% av disse, og varierer mellom 0.09 m og 2.04 m. Nettobalansen har vært mellom -1.30 m og +0.77 m. Bare 4 av de 19 årene undersøkelsene har pågått, har hatt positiv massebalanse. Kumulativt underskudd på breen for perioden 1962-80 er 6.54 m. På Gråsubreen har det vært en tendens til minkende akkumulasjon og økende ablasjon i årene etter 1970 sammenlignet med tiden før. I perioden 1962-70 var midlere vinterbalanse 0.77 m og midlere sommerbalanse 0.93 m, mens de tilsvarende tall for perioden 1971-80 er 0.65 m og 1.16 m, slik at midlere nettobalanse avtok fra -0.16 m i 1960-årene til -0.51 m i 1970-årene. Gråsubreen og Hellstugubreen er mer kontinentale enn de andre undersøkte breene, og variasjonene i

sommerbalansen er mye større enn i vinterbalansen. Spesielt gjelder dette Gråsubreen. (Se fig.29.)

M A S S E B A L A N S E 1980

Bre	Antall års målinger	Vinterbalanse		Sommerbalanse		Nettobalanse	
		b_w(m)	% av $\bar{b}_w$	b_s(m)	% av $\bar{b}_s$	b_n(m)	$\bar{b}_n$(m)
Ålfotbreen	18	2.53	74	3.35	101	-0.82	0.10
Bondhusbreen	4	2.33	98	2.78	100	-0.45	-0.41
Nigardsbreen	19	1.77	79	2.99	150	-1.22	0.26
Hardangerjøkulen	18	1.45	77	2.85	144	-1.40	-0.09
Storbreen	32	0.99	72	2.30	138	-1.31	-0.30
Hellstugubreen	19	0.81	76	2.05	145	-1.24	-0.34
Gråsubreen	19	0.46	65	1.35	129	-0.89	-0.34
Engabreen	11	2.68	86	3.18	133	-0.50	0.71

Fig.30 Resultater av massebalanse-undersøkelsene i 1980 prosentvis sammenlignet med middelverdien av vinter-, sommer- og nettobalansen for de årene undersøkelsene har pågått.

The table shows the winter, summer and net balance results for Norwegian glaciers in 1980, and the figures expressed as percentages of the average of the investigated years. The second column shows the total number of years when investigations were made.

I årene 1968-72 ble det også utført massebalansemålinger på Østre og Vestre Memurubre i Jotunheimen. Målingene ble utført av NVE. Resultatene fra disse målingene viser svært god korrelasjon med resultatene fra Hellstugubreen, og det er jo naturlig da alle disse tre breene ligger svært nær hverandre. Vinterbalanse på de to Memurubreene var svært lik i de enkelte år og 15-20% større enn på Hellstugubreen og ca 10% mindre enn på Storbreen. Sommerbalansen var derimot mindre på Vestre Memurubre enn på Hellstugubreen, mens Østre Memurubre i 5 års-perioden hadde en sommerbalanse som var ca 10% høyere enn Hellstugubreens og omtrent det samme som Storbreens. Årlig nettobalanse for Østre Memurubre var 20-35 cm større enn for Hellstugubreen, mens Vestre Memurubre hadde omtrent samme nettobalanse som Hellstugubreen.

En oversikt over massebalansemålinger i Jotunheimen i årene 1968-72 er sammenlignet i tabellen på neste side.

Engabreen har den lengste måleserie av breene i Nord-Norge, og her har målingene pågått siden 1970. Materialomsetningen er stor, nesten like stor som på Ålfotbreen og ca 150% av Nigardsbreens. Midlere vinterbalanse for 11 år er 3.10 m og midlere sommerbalanse 2.40 m. Tilsammen har Engabreen hatt et netto masseoverskudd på 7.78 m i løpet av 1970 årene. Variasjonene de enkelte år er store. Vinterbalansen har

Total Massebalanse 1968-72

	b_w(m)	b_s(m)	b_n(m)
Gråsubreen	3.49	6.64	-3.15
Østre Memurubre	5.92	8.85	-2.93
Hellstugubreen	5.09	8.10	-3.01
Vestre Memurubre	6.08	7.86	-1.78
Storbreen	6.68	8.90	-2.22

vært målt fra 2.08 m til 4.37 m, og sommerbalansen har ligget mellom 1.20 m og 3.29 m. På samme måte som for Ålfotbreen og Nigardsbreen har også Engabreen hatt mindre nettobalanse etter 1976. Mens nettobalansen på de andre to breene har vært negativ i perioden 1977-80, har den på Engabreen vært mindre positiv, tilsammen +0.29 m eller +0.07 m pr år, mens den for årene 1970-76 var 1.07 m pr år. Årsaken ligger både i at midlere vinterbalanse har avtatt fra 3.32 m til 2.72 m, og at midlere sommerbalanse har øket fra 2.25 m til 2.65 m fra perioden 1970-76 til perioden 1977-80. Den store masseøkningen på Engabreen de siste 10 årene har også ført til at brefronten har rykket frem. Frontmålingene, som har vært gjort årlig på Engabreen siden 1966, viser en netto fremrykning på 145 m.

I Svartisenområdet ble det også utført massebalansemålinger på Trollbergdalsbreen i Beiarn i årene 1970-75 og i årene 1972-77 på Høgtuvbreen, en maritim bre litt syd for den vestlige del av Svartisen. Disse to breene og Engabreen viser ganske konstant variasjon i forhold til hverandre i de enkelte år, både for vinter-, sommer- og nettobalanse.

I forhold til Engabreen viste Trollbergdalsbreen i måleperioden en vinterbalanse på rundt 75% og en sommerbalanse på rundt 125%. Mens kumulativ nettobalanse for Engabreen i årene 1970-75 var +5.08 m, var den for Trollbergdalsbreen i samme periode -3.96 m. Trollbergdalsbreen har likevel en større materialomsetning enn Nigardsbreen, og i måleperioden var vinterbalansen 120% og sommerbalansen over 180% av Nigardsbreens. Derfor må Trollbergdalsbreen karakteriseres som en maritim bre.

Høgtuvbreen hadde i måleperioden 1971-77 en vinterbalanse svært lik Engabreens og varierte mellom 95% og 105%. Sommerbalansen på Høgtuvbreen var imidlertid betydelig større enn på Engabreen, mellom 0.90 m og 1.70 m større, og i middel 160% av Engabreens. Dette resulterte i et samlet masseoverskudd på 0.30 m for Høgtuvbreen på 7 år (1971-77), mens Engabreen i samme periode hadde et overskudd på 9.36 m.

I 1960-årene utførte NVE massebalansemålinger på tre breer i Skjomen-området: Blåisen (1973-78), Storstensfjellbreen (1974-78) og Cainhavarre (1975-78). Resultatene fra de tre breene viser god innbyrdes overensstemmelse. Blåisen er den mest

maritime, og hadde en litt større materialomsetning og noe mindre nettobalanse enn de to andre, som viste svært liten forskjell både i vinter- og sommerbalanse. Både Storstensfjellbreen og Cainhavarre viste svært liten forskjell fra Storglaciären i Sverige, både mht. vinter- og sommerbalanse.

Sammenligner en resultatene fra de forskjellige breene år for år, finner en ofte svært god overensstemmelse. Årene 1963, 1966, 1969, 1970, 1977, 1978 og 1980 viste underskudd for samtlige undersøkte breer i Syd-Norge og Svartisenområdet. De undersøkte breene i Skjomen-området hadde derimot overskudd i 1963 og 1965, og Engabreen hadde overskudd i 1977. Største målte masseunderskudd ble målt i 1969 på alle breene, men for en del breer var underskuddet nesten like stort i 1980. Samtlige breer hadde også sin største målte sommerbalanse i 1969, og for de fleste kommer 1980 på annenplass. I 1977 hadde samtlige breer svært liten vinterbalanse, for de fleste den minste som er målt. Selv om sommerbalansen var nær middelverdien, ble nettobalansen negativ for alle breer i Syd-Norge. På Engabreen var imidlertid sommerbalansen meget liten, så her ble det overskudd.

På den annen side viste de tre årene 1965, 1967 og 1974 masseoverskudd for samtlige breer. De fleste av breene hadde sin minste målte sommerbalanse i 1964 og 1967. I tillegg var også vinterbalansen den størst målte for de fleste av breene i 1967. Årene 1973, 1975 og 1976 viste rekordartede overskudd for de to mest maritime breene Ålfotbreen og Engabreen. Disse årene avtok overskuddet med økende kontinentalitet, og breene i Jotunheimen viste underskudd, og særlig Gråsubreen hadde et stort underskudd. Disse årene var vinterakkumulasjonen forholdsvis stor for alle breene, men i absoluttverdier ble det mest på de maritime breene. Samtidig hadde samtlige breer i Syd-Norge i 1975 og 1976 en sommerbalanse større enn middelverdien. Når de maritime breene tross dette viste til dels stort masseoverskudd, mens de kontinentale breene hadde underskudd, viser dette at vinterakkumulasjonen har størst betydning for nettobalansen for de maritime breene, mens sommertemperaturen betyr mest for de kontinentale.

Ved å sammenligne resultatet fra Engabreen og de andre målte breene i Svartisenområdet med resultatene fra breene i Syd-Norge, viser vinterbalansen god korrelasjon, mens det for sommerbalansen ikke synes å være korrelasjon. Men da vinterbalansen er av overveiende betydning for nettoresultatet hos maritime breer, er det likevel relativt god korrelasjon mellom nettobalansen til breene i Svartisenområdet og de maritime breene i Syd-Norge.

Resultatene fra de mer kontinentale breene i Skjomen-området, i årene 1963-68 viser ingen korrelasjon med resultatene fra breene i Syd-Norge. I 1966 hadde både breene i Skjomen og alle i Syd-Norge relativt stort masseunderskudd. I 1967 derimot var det stort masseunderskudd i Skjomen både pga. liten akkumulasjon og stor

ablasjon, mens det for samtlige målte breer i Syd-Norge var meget stort masseoverskudd, både pga. rekordstor vinterbalanse for de aller fleste breer og samtidig en kald sommer som ga meget liten sommerbalanse. Dessverre finnes det ingen år med massebalansemålinger både i Svartisenområdet og Skjomen-området samtidig. Storglaciären i Kebnekaise-området i Sverige, som har verdens lengste serie av massebalansemålinger og som går tilbake til 1945, viser imidlertid god korrelasjon med breene i Skjomen-området i de årene målingene pågikk der.

Om vi ser på den kumulative massebalansen på de ulike breene, ser vi at nettobalansen avtar med økende kontinentalitet.

Total Massebalanse 1963-80

	b_w(m)	b_s(m)	b_n(m)
Ålfotbreen	61.63	59.77	1.86
Nigardsbreen	39.83	37.09	2.74
Hardangerjøkulen	34.01	35.70	-1.69
Storbreen	24.32	29.83	-5.51
Hellstugubreen	19.14	26.43	-7.29
Gråsubreen	12.60	19.91	-7.31

I tabellen over er det vist kumulativ balanse for perioden 1963-80 for de 6 breene som har så lang måleserie. Ålfotbreen og Nigardsbreen har et samlet overskudd, mens breene i Jotunheimen har et stort samlet underskudd. På Ålfotbreen og Nigardsbreen har hhv. 3.0% og 6.9% av den totale akkumulasjonen på 18 år blitt holdt tilbake på breen, mens Hellstugubreen og Gråsubreen, som har hatt et samlet underskudd på over 7 m, har hatt et massetap på hhv. 38% og 58% av den totale akkumulasjon i 18-års perioden.

ENERGIBALANSEN PÅ ENGABREEN

Innledning

På samme måte som i de to foregående år ble energibalanseundersøkelser i 1980 utført for Engabreens snø-område (1100 m o.h.) og for bretunga (50 m o.h.).

I snø-området varte observasjonsperioden fra 15. juni til 30. august. På bretunga ble observert i perioden 1. juni til 13. september.

Metodikk for disse undersøkelsene er tidligere beskrevet (Messel 1975a).

Bortsett fra to døgns observasjonsavbrekk av globalstrålingen i snø-området og få

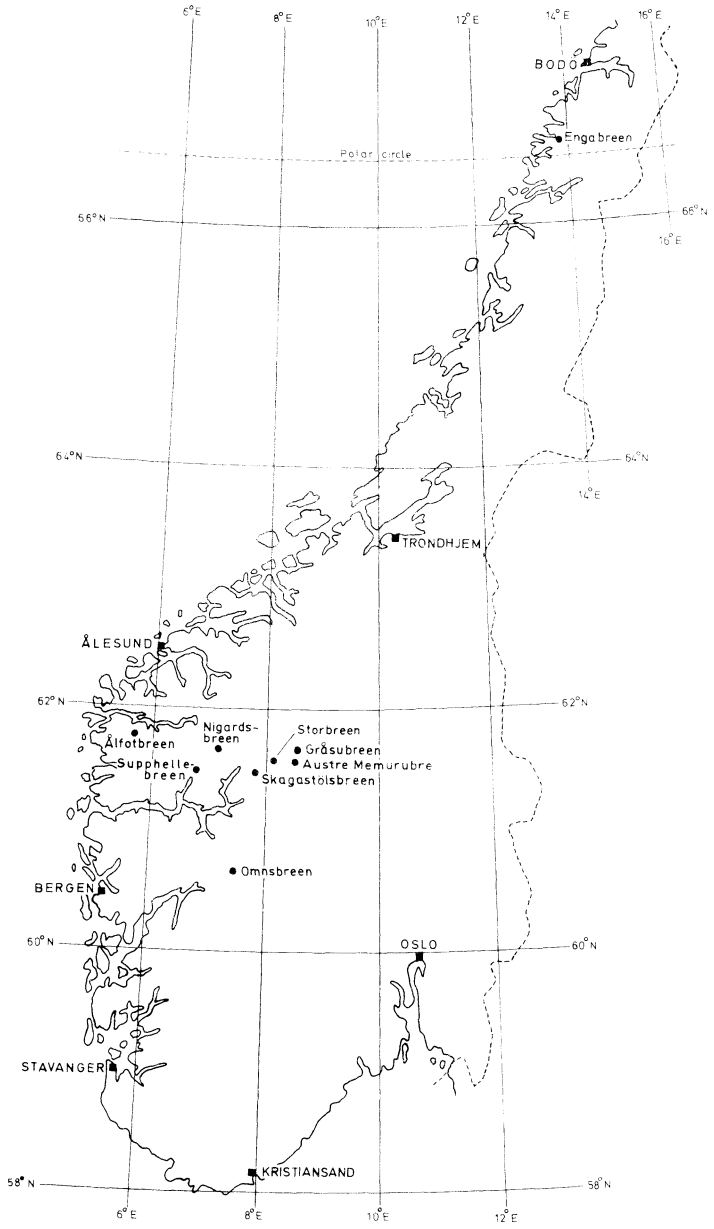


Fig.31

Kart som viser beliggenheten av de breer hvor energibalanseundersøkelser er foretatt. Engabreen er undersøkt i 1980.

Map showing the location of Norwegian glaciers where heat balance investigations have been performed. Engabreen was studied in 1980.

timers svikt av aktinografen nær bretunga gikk feltarbeidet etter planen. Ut fra de to tidligere års erfaringer kunne man estimere ganske sikre verdier for strålingen i den tid aktinografene sviktet. Aktinografer er vist i fig.33.

Resultater

Tabellene I og II gir resultatene fra målingene i 1980. Både ukentlige verdier for de viktigste faktorer i energibalansen og resultatene for sommersesongen sett under ett er ført opp.

I snø-området (1100 m o.h.) bidro strålingen med 49% til avsmeltingen. Konveksjon pluss kondensasjon forårsaket nær 51%, mens nedbør betydde mindre enn 1%. Tallene gir uttrykk for en relativ strålingsrik sommer, og i det hele litt mer kontinentalt

TABLE I

ABLATION CONDITIONS ENGABREEN 1980 SNOW AREA 1 100 M A.S.L.

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	63	4108	1181	14.8	0	24.8	59.7	40.3	0
22/6-28/6	63	3402	1098	13.7	0.1	26.9	50.9	48.7	0.4
29/6- 5/7	62	4638	1258	15.7	0	25.7	61.1	38.9	0
6/7-12/7	61	4279	1316	16.4	0	23.5	69.8	30.2	0
13/7-19/7	61	3287	1156	14.5	0.1	20.7	70.0	29.5	0.5
20/7-26/7	61	3764	1111	13.9	0.1	25.7	54.1	45.5	0.4
27/7- 2/8	60	4300	1135	14.2	0	32.8	43.3	56.7	0
3/8- 9/8	60	2545	843	10.5	0.3	20.2	52.0	46.5	1.5
10/8-16/8	58	3258	898	11.2	0	32.5	34.5	65.5	0
17/8-23/8	58	2429	620	7.8	0.1	36.4	21.4	78.3	0.3
24/8-30/8	58	2594	709	8.9	0.1	18.1	52.0	47.4	0.6
15/6-30/8	60	38604	11325	141.6	0.8	287.3	49.1	50.6	0.3

klima enn hva noen av de tidligere 7 somre har hatt ifølge Brekontorets målinger.

På bretunga (50 m o.h.) utgjorde strålingen 31%, konveksjon pluss kondensasjon i overkant av 68%. Den relativt sparsomme nedbøren bidro også på bretunga med under 1%. Tallene i tabell II sammen med data fra meteorologiske observasjoner for øvrig viser at katabatiske luftstrømmer nedover bretunga gjorde seg relativt sterkt gjeldende i 1980.

Årets målinger bekrefter antagelser bygget på målingene i 1978 og 1979:

1) Ablasjonsfaktorenes relative bidrag til nedsmelting av bremassen utover sommeren varierer til dels kraftig fra uke til uke (og da naturligvis fra dag til

TABLE II

ABLATION CONDITIONS ENGABREEN 1980 GLACIER TONGUE 50 M A.S.L.

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			%		
1/6- 7/6	35	2451	1733	21.7	0.1	33.4	65.0	34.7	0.3
8/6-14/6	35	1879	1431	17.9	0.2	31.9	56.1	43.3	0.6
15/6-21/6	35	3516	2181	27.2	0	74.1	36.7	63.3	0
22/6-28/6	35	2834	1712	21.4	0	76.9	27.8	72.2	0
29/6- 5/7	35	3901	1998	25.0	0	78.4	31.9	68.1	0
6/7-12/7	35	3417	1921	24.0	0.1	65.1	36.7	63.1	0.2
13/7-19/7	35	2461	1573	19.7	0.1	59.8	32.9	66.9	0.2
20/7-26/7	35	2982	1658	20.7	0.3	70.5	29.4	70.2	0.4
27/7- 2/8	35	3721	1839	23.0	0	80.5	28.6	71.4	0
3/8- 9/8	35	1620	1064	15.3	0.3	63.2	24.2	75.3	0.5
10/8-16/8	35	2586	1391	17.4	0	78.4	22.2	77.8	0
17/8-23/8	35	1930	1125	14.1	0.1	58.6	24.1	75.7	0.2
24/8-30/8	35	1390	964	12.0	0.1	49.0	24.5	75.3	0.2
31/8- 6/9	35	911	802	10.0	0.3	36.7	27.2	72.0	0.8
7/9-13/9	35	754	704	8.8	0.9	34.8	25.3	72.1	2.6
1/6-13/9	35	36353	22096	278.2	2.5	891.3	31.2	68.5	0.3

TABLE III

ABLATION CONDITIONS ON GLACIERS IN NORWAY

Year of investigation	Period day/month	Glacier (See map)	Position m a.s.l.	Ablation components % Radiation	Convection	Condensation	Rain and sublimation	Author (year)
1963	12/6-18/6 27/7- 9/8	Gråsu- breen	61°39'N 08°36'E 1975	98 59	2 27	14		T.Klemsdal (1968)
1970 1971	26/6-30/8 15/6- 6/9	Austre Memurubre	61°33'N 08°30'E ca 1900	67 77	33 23		1 1	S. Messel (1971b) (1973)
1955	6/7- 8/9	Stor- breen	61°35'N 08°20'E 1600	54	32	14	1	O. Liestøl (1967)
1954 1955	May-Sept. May-Sept.	Skagastøls- breen	61°30'N 07°50'E ca 1600	79 66	21 34			B.E.Eriksson (1959)
1968 1969	3/6- 8/9 3/6- 8/9	Omns- breen	60°39'N 07°30'E 1540	50 55	34 31	16 14	1 1	S. Messel (1971a)
1972 1973 1974 1975 1976 1977	15/6- 6/9 22/6- 6/9 22/6- 6/9 22/6-30/8 15/6-30/8 15/6-30/8	Nigards- breen	61°43'N 07°08'E 1620	64 53 77 54 64 65	36 47 23 46 36 35		1 1 1 1 1 1	S. Messel (1974) (1975a) (1975b) (1977a) (1977b) (1978)
1967	1/7-12/7 1/8-18/8 4/9- 8/9	Supphelle- breen	61°30'N 06°48'E ca 70	32 26 14	68 74 86			O. Orheim (1970)
1970 1971 1972	1/6-14/9 1/6- 6/9 1/6- 2/8	Ålfot- breen	61°45'N 05°40' ca 1250	44 43 53	56 56 46		1 1 1	S. Messel (1971b) (1973) (1974)
1973 1974 1975 1976 1977 1978	22/6-30/8 22/6- 6/9 22/6-30/8 15/6-30/8 15/6-30/8 15/6-30/8	Enga- breen	66°40'N 13°50'E 850 1100 1100	32x 33x 48 45 48 43	67x 66x 52 54 52 57		1 1 1 1 1 1	S. Messel (1975a) (1975b) (1977a) (1977b) (1978) (1979)
1979	6/7- 6/9 15/6-30/8 1/6-13/9		50 1100 50	34 39 35	65 61 64		1 1 1	(1981a)
1980	15/6-30/8 1/6-13/9		1100 50	49 31	51 69		1 1	(1981b)

x Location with very strong catabatic winds

Fig.32 Tabellen viser ablasjonsmålinger som er utført på ulike breer i Norge.

The table shows ablation measurement carried out on different glaciers in Norway.

dag). Strålingen bidrar med en noenlunde jevn energitilførsel, svakt minkende utover sommeren. Derfor må de nevnte variasjoner tilskrives de raske skiftninger i konveksjon og kondensasjon i takt med endringene i vind, temperatur og luftfuktighet.

2) Globalstrålingen på bretunga er i overkant av 75% sammenlignet med globalstrålingen på breplatået. Både værlag og topografi bidrar til denne forskjellen.

Imidlertid er verdiene for netto tilført stråling på breplatået bare knapt 75% av tilsvarende verdier på bretunga. Både ulike albedo (60% på breplatå, 35% på bretunga) og en for bretunga mer positiv langbølget energibalanse gir forklaring på dette. Det viser seg at breplatået (snø-området) mottar tilnærmet 180 cal/cm^2 for døgn i siste del av juni, minkende til ca 100 cal/cm^2 pr døgn sist i august. På bretunga (is-området) er tilsvarende tall ca 240 cal/cm^2 og 130 cal/cm^2 pr døgn.

I tabell III er gitt en oversikt over energibalanse-undersøkelser som til nå er foretatt på breer i Norge. Fig.31 viser beliggenheten av breene.

Fig.33 Robitzsch aktinografer har vist seg som pålitelige globalstrålingsregistratorer. Her blir to av dem (bak til høyre) kalibrert før bruk på breen sammen med strålingstermometer, pyranometer og solarimeter (benyttet til albedo-målinger).

Robitzsch actinographs have over the 15 seasons with heat balance investigations in Norway produced reliable diagrams of global radiation. Here two of them are calibrated before installation on the glacier. In the front row are shown other instruments employed; from right a Robitzsch radiation thermometer, a Moll-Gorczynski pyranometer and a Star solarimeter (for albedo measurements).

SPESIELLE UNDERSØKELSER VED BONDHUSBREEN

Subglasial hydrologi

Gjennom det subglasiale inntaket under Bondhusbreen avtok vannføringen gjennom vinteren til ca 0.2 m^3/s i begynnelsen av mai. En uke ut i mai begynte vannføringen å øke, og 20. mai passerte den 1 m^3/s, og mellom 5. juni og 29. september var den hele tiden større enn 3 m^3/s. Maksimal middelvannføring var 9.85 m^3/s som ble målt 21. august, og det tilsvarer 0.85 · $10^6 m^3$ pr døgn. Tilsammen 12 døgn hadde middelvannføring over 9 m^3/s. Tallene for de enkelte månedene er sammenstillet i tabellen nedenfor. For perioden 1. mai til 31. oktober var avløpet i inntaket 68 · $10^6 m^3$. I resten av året er det beregnet et avløp på ca 2 · $10^6 m^3$, slik at det i sesongen 1980 ble oppfanget ca 70 · $10^6 m^3$ vann i det subglasiale inntaket. De tilsvarende tall for årene 1978 og 1979 er hhv. ca 65 · $10^6 m^3$ og ca 59 · $10^6 m^3$.

Tabellen under viser en oversikt over midlere og maksimal vannføring samt totalt avløp i kammeret i de enkelte måneder i perioden mai-oktober 1980.

Avløp i inntaket under Bondhusbreen

	Mai	Juni	Juli	Aug.	Sept.	Okt.
Midlere vf (m/s)	0.77	5.72	6.11	6.64	6.42	1.00
Maks vf (m/s)	2.07	9.26	9.70	9.85	9.70	2.34
Dato for maks	31	16	30,31	21	8	1
Totalt avløp($10^6 m^3$)	2.1	14.9	16.3	17.4	14.4	2.7

Undersøkelser ved Holmavann

Fra 26. juni til 14. september ble også vannføringen ut fra Holmavann registrert, og avløpet var 4.8 · $10^6 m^3$ i løpet av den tiden. Det er 11% av avløpet i inntaket i den samme perioden. Største avløp fra Holmavann var den 21. august med en middelvannføring på 1.27 m^3/s, motsvarende 0.12 · $10^6 m^3$ pr døgn, mens avløpet i kammeret var 0.85 · $10^6 m^3$ det samme døgnet.

På dataloggeren ved utløpet av Holmavann ble også temperaturen av det rennende vannet i utløpsosen registrert. Registreringene pågikk fra 14. juni og til temperaturføleren ble satt ut av drift den 2. august.

Vanntemperaturen viser hele perioden meget jevn variasjon gjennom døgnet. Forskjellen mellom minimum, som måles litt etter midnatt, og maksimum, som måles rundt kl 1200, er 1.0 - 1.6°C.

Vanntemperaturen viste jevn stigning i måleperioden. Ved starten 14. juni lå vannets middeltemperatur på 2.0°C. Temperaturen økte til ca 3.0°C i månedsskiftet

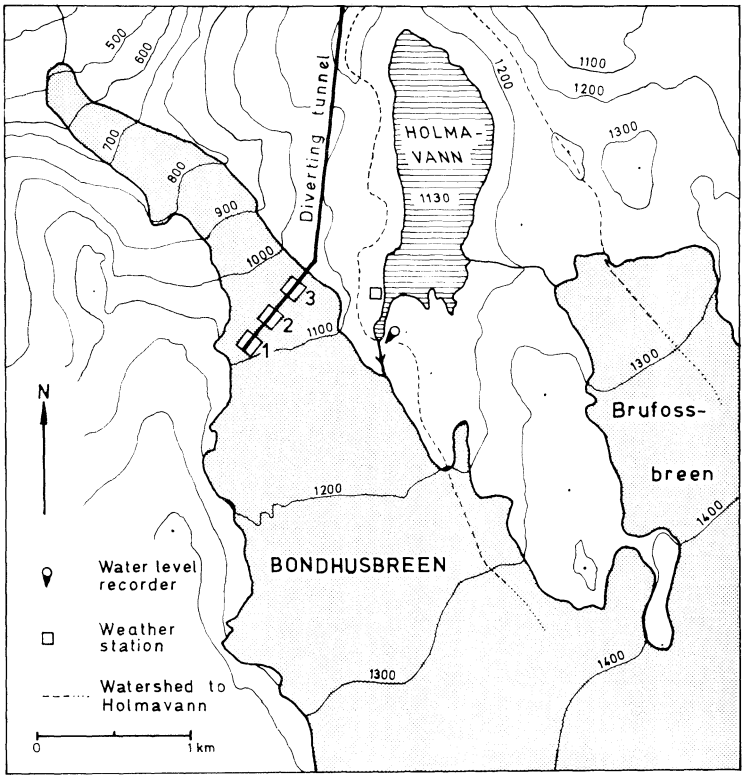


Fig.34 Kartskisse som viser nedre del av Bondhusbreen med de subglasiale vanninntakene 1, 2 og 3 inntegnet. Vannet overføres til magasinet Mysevann. Den meteorologiske stasjonen er ved utløpet av Holmavann. Her er også installert en limnigraf.

Map showing the lower part of Bondhusbreen glacier and the subglacial water intakes 1, 2, and 3 sketched. The water is diverted to the reservoir Mysevann. The meteorological station is situated at the outlet of the Lake Holmavann, where also an automatic water gauge is installed.

juni/juli, og 15. juli var den ca 5.0°C og den siste uken i juli og frem til registreringen opphørte den 2. august, varierte vannets døgnmiddeltemperatur mellom 5.0 og 6.0°C. Vanntemperaturen avhenger i høy grad av hvor mye snø det er igjen i nedslagsfeltet til Holmavann, og det er ikke mulig å se noen korrelasjon mellom lufttemperatur og vanntemperatur.

Sammenligning mellom breablasjon, avrenning og nedbør

Ifølge ablasjonsmålingene på breen var sommerbalansen 30 · $10^6 m^3$. Om vi anslår snøsmelting fra den brefrie delen av feltet, smelting av den delen av Brufossbreen som drenerer til Holmavann og smelting langs bunnen av breen til maksimalt 6 · $10^6 m^3$, må 29 · $10^6 m^3$ skyldes nedbør som regn i perioden 1. mai - 30. september. Bondhusbreens nedslagsfelt er vanskelig å definere ut fra kartet, men dersom vi bruker et dreneringsareal på 15 km^2 til inntaket, tilsvarer det 1 930 mm nedbør i hele feltet i løpet av denne perioden, mens det er målt 850 mm ved Holmavann (1 130 m o.h.) i perioden 15. juni - 16. september.

I tabellen under er det vist nedbøren for de tre til Holmavann nærmestliggende nedbørstasjoner, Omastrand, Mauranger og Matre, for månedene mai til og med september. Omastrand og Matre har prosentvis den beste korrelasjon til nedbøren på Holmavann, og det er tallene for disse to stasjoner sammenlignet med nedbøren ved Holmavann i perioden 15. juni - 16. september som er brukt for å beregne nedbøren for Holmavann i perioden 1. mai - 14. juni og 17. - 30. september. Resultatet står i høyre kolonne i tabellen.

Nedbørfordeling Omastrand - Mauranger - Matre - Holmavatn

	Omastrand		Mauranger		Matre		Holmavatn
	mm	%	mm	%	mm	%	mm
Mai	62.9		58.9		54.5		102-137 x)
1-14 Juni	19.0		22.9		33.9		
15-30 Juni	50.2	40	83.1	66	110.1	87	126.8
Juli	46.1	67	57.7	84	73.9	108	68.6
August	184.1	62	247.4	84	254.0	86	296.0
1-16 Sept.	232.4	65	228.6	64	302.4	84	359.2
17-30 Sept.	117.4		70.6		146.7		169-196 x)
15 Juni-16 Sept.	512.8	60	616.8	73	740.4	87	850.6
1 Mai -31 Sept.	712.1		769.2		975.5		1122-1184 x)

% betyr prosent av nedbøren ved Holmavatn

x) = beregnede tall

Om vi så setter nedbøren på Holmavann til ca 1 160 mm i perioden 1. mai - 30. september og tar i betraktning at nedbøren er større på breens høyeste deler, slik at middelnedbøren for nedslagsfeltet til inntaket kan bli 1400-1500 mm, virker dette tallet for lavt i forhold til det fra avløpsmålingene beregnede nedbørtall på 1 930 mm. Årsaken til denne diskrepansen kan delvis ligge i feilaktig avgrensing i Bondhusbreens nedslagsfelt, men kan også delvis skyldes unøyaktighet i ablasjonsmålingene. En målenøyaktighet på 5% tilsvarer $1.5 \cdot 10^6 m^3$ vann, og med et areal på 15 km^2 er det 100 mm nedbør.

Subglasiale undersøkelser

Sommeren 1980 startet et fellesprosjekt mellom NVE-Brekontoret, Norsk Polarinstitutt og Geografisk Institutt ved Universitetet i Oslo. Formålet var å utnytte de enestående mulighetene som finnes under Bondhusbreen til å studere de fysiske prosesser i bunnen av en isbre. Man ønsket å bedre kjennskapet til de forhold som bestemmer vannets veier i og under breen og til breens og vannets erosjons- og transportevne. Slik kunnskap vil bl.a. gi et sikrere grunnlag til planlegging og gjennomføring av fremtidige subglasiale kraftanlegg. Prosjektet går over to år og

finansieres hovedsakelig av Konsesjonsavgiftsfondet, Statskraftverkene og NTNF.

Høsten 1980 ble de første undersøkelser og installasjoner utført under breen. Det ble bl.a. montert et kunstig svaberg med trykk- og temperaturfølere på tre punkter. Registreringene overføres i kabel gjennom fjell til en underliggende tunnel. Resultatene fra prosjektet vil bli publisert i egne rapporter.

NYTT BREKART OVER HELLSTUGUBREEN

Hellstugubreen ble kartlagt første gang i 1941 med terrestrisk fotogrammetri av Koller, Solheim & Werenskiold. I 1962 kartla R. Pytte breen på nytt ved hjelp av tachymetri, og dette kartet ble brukt som grunnlag for massebalanseundersøkelsene på breen i årene 1962-67. På dette kartet ble breens areal beregnet til 3.38 km^2. Norsk Polarinstitutt konstruerte et nytt fotogrammetrisk kart i 1968, den gang etter flybilder som ble tatt samme år. Dette kartet har vært brukt ved beregning av massebalansen inntil nå.

Siden 1968 har breen hatt relativt stort masseunderskudd, og brefronten har trukket seg tilbake. For å kunne beregne massebalansen mer nøyaktig var det igjen blitt behov for et nytt kart. Etter en vinter med lite akkumulasjon og en varm sommer med stor ablasjon ga 1980 et stort underskudd på Hellstugubreen, og likevektslinjen ble liggende over 2 000 m o.h. Det meste av årets snø smeltet derfor vekk, og be-

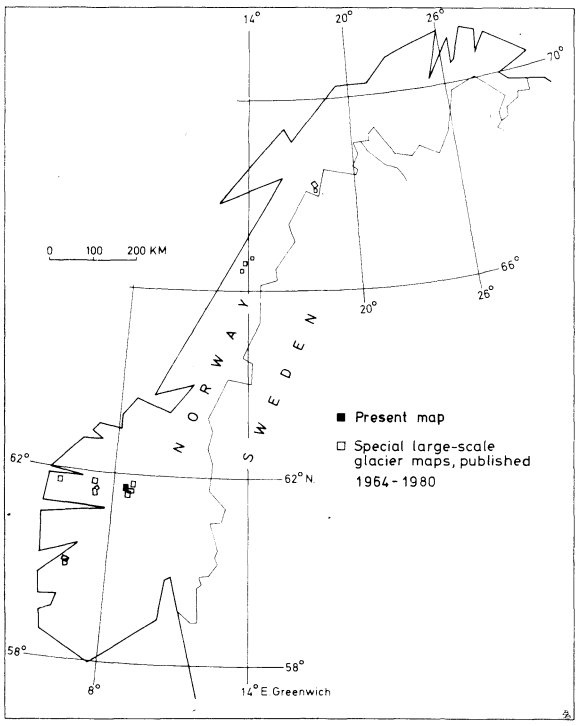


Fig.35

Oversiktskart over brekart som er utgitt av NVE. Kartet over Hellstugubreen er angitt med sort rute.

Index map showing the location of glacier maps issued by the Norwegian Water Resources and Electricity Board. The new map of Hellstugubreen is indicated by a black square.

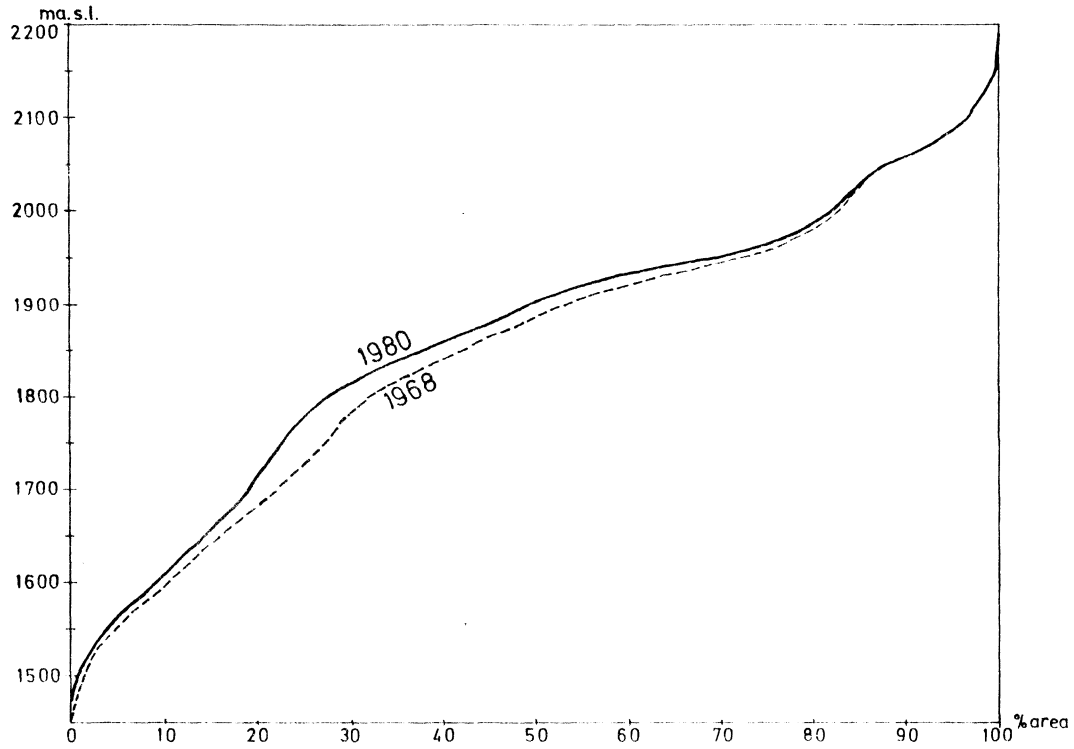


Fig.36 Hypsografisk kurve over Hellstugubreen tegnet etter kartene fra 1968 og 1980. Kurven viser at breens middelhøyde har øket.

Hypsographic curve of Hellstugubreen glacier drown from the 1968-map and the 1980-map. The mean elevation of glacier has increased during that period.

tingelsene var gunstige for flyfotografering og konstruksjon av nytt kart.

Den 26. september 1980 ble breen fotografert av Fjellanger-Widerøe A/S (oppgave nr 6555). Fotograferingen ble foretatt fra en høyde på vel 6 000 m o.h., og billedmålestokken er 1: 30 000. Kartet ble konstruert av Olav Liestøl på Norsk Polarinstitutt i en Wild A-7 konstruksjonsmaskin.

Kartet har en målestokk på 1: 10 000. Ekvidistansen er 10 m på breen og de nærmestliggende områder og 50 m ellers. Tre andre små breer, som drenerer til Hellstugubreen, er også med på kartet. Sprekker, dreneringskanaler og brønner er markert. Videre er morenerygger tegnet inn. Kartet har UTM-koordinater og er således i overensstemmelse med de i 1965 internasjonalt anbefalte normer for brekart. Dessuten er gradnett og det lokale norske koordinatsystem markert i margen.

Kartet er trykt i fire farver. Breflaten er hvit med grønne høydekurver. Sprekker og overflatedrenering er i blått, likeledes elver utenfor breen. Høydekurver utenom breen er brune. Morenemateriale er trykt med svart raster. Dessuten er morenerygger og anvendte triangelpunkter med høydeangivelse, navn og gradnett trykt i sort.

På baksiden av kartet finnes en del informasjoner om breen. Disse inbefatter en kort kommentar til kartet og konstruksjonen og om tidligere arbeider på breen. Tre figurer viser forandringen av breens lengdeprofil siden 1750, forskjellen på breens areal i 1941 og 1980 og et stolpediagram over breens nettobalanse 1962-80. Resultatene fra de årlige massebalansemålingene viser at Hellstugubreen holdt seg omtrent i likevekt i perioden 1962-68, men er gått mye tilbake senere. Dette ser en også av lengdeprofilet. Siden 1968, da det forrige kartet ble konstruert, har breen hatt en negativ massebalanse på 6.48 m jevnt fordelt på hele breens overflate. Dette tilsvarer et massetap på ca 22 millioner m^3 vann. Breens underskudd i disse årene har også medført at breen har trukket seg tilbake, og breens areal er blitt redusert. Fire fotografier fra hhv. 1929, 1942 og to fra 1955 viser også breens tilbakegang.

All tekst på kartet er på engelsk.

Planimetrering av det nye kartet viser at breen har et areal på 2.97 km^2, mens arealet på kartet fra 1968 var 3.29 km^2. På samme tid har brefronten trukket seg ca 200 m tilbake. Den største delen av volumminskingen siden 1968 har vært på breens nederste halvdel, mens massetapet på den øvre del har vært relativt lite. I 1 900 m nivå er breoverflaten sunket med 2-3 m, i 1 800 m med ca 5 m, i 1 700 m ca 10 m, og i 1 500 m nivå ligger breoverflaten omtrent 25 m lavere enn i 1968. En hypsografisk kurve over Hellstugubreen i 1968 og 1980 er vist i fig.36.

Det nye kartet vil være grunnlaget for massebalansemålingene på Hellstugubreen i fremtiden.

EN METODE TIL Å BEREGNE HVORDAN EN AVLØPSSERIE ER BLITT PÅVIRKET AV MAGASINEFFEKTEN I BREFELTER

Innledning

Det er en kjent sak at breer virker som "vannbanker" i et avløpsfelt. Noen år vil breene holde tilbake en del av årsnedbøren i form av is og snø, i andre år vil breene avgi mer vann enn det som tilsvarer årsnedbøren. Dette er hva vi vil kalle magasineffekten i brefeltene. Denne effekten har bl.a. den hydrologiske virkningen at variasjonskoeffisienten er lavere i avløpsfelt som inneholder noen breer, sammenliknet med avløpsfelter som er brefrie. Tvede (1982) har påvist dette for endel felter i fjordsonen på Vestlandet. Den optimale andelen med bredekning synes å være ca 20% i dette området.

For noen hydrologiske analyser, bl.a. ved utarbeiding av isohydatkarter, er det

nødvendig å vite hvor stor denne magasineffekten er for hvert år. Ved å ta bort breens magasinvolum fra det målte avløpsvolumet, får vi fram et korrigert årsavløp, dvs. det avløpet vi ville fått dersom breen ikke hadde endret sitt volum i løpet av det aktuelle året. Dette kalles å brekorrigere avløpet.

Brekorrigeringen er enklest å gjøre dersom brefeltenes volumendring er direkte målt i hvert enkelt år. I Norge ble slike volumendringsmålinger (massebalansemålinger) igangsatt på flere breer tidlig i 1960-årene. Slike massebalanseundersøkelser er imidlertid både arbeids- og kostnadskrevende og for de fleste brefeltene kan de bare opprettholdes i et begrenset antall år. Det er derfor ønskelig å kunne bruke dataene fra massebalansemålingene til å brekorrigere avløpstallene også utover den perioden bremålingene ble foretatt. Pettersson (1981) har gjort dette som middelverdier for normalperioden 1931-60 for endel avløpsfelter rundt Svartisen i Nordland. I det følgende vil vi se på hvordan avløpstallene kan brekorrigeres også for hvert enkelt år i en lengre måleserie.

Beskrivelse av metoden

Metoden, eller modellen om en ønsker den betegnelsen, utføres etter følgende arbeidsgang:

a) Sambandet mellom meteorologiske data og breens massebalansedata etableres ved trinnvise regresjonsanalyser.

b) I den utvalgte likningen fra a) settes så inn meteorologiske data fra hvert år i den perioden en ønsker å utføre brekorrigeringen for. Resultatet regnes om til vannvolumer.

c) Resultatene fra b) må korrigeres dersom brefeltenes areal har endret seg i løpet av beregningsperioden.

d) Resultatet fra c) kan så brukes til å brekorrigere det målte avløpet for hvert enkelt år.

Metoden har endel forutsetninger som kan summeres opp slik:

- Det må finnes massebalansemålinger på en bre i, eller i nærheten av avløpsfeltet, med varighet ca 10 år.
- Det må finnes homogene temperatur- og nedbørdata fra en representativ klimastasjon for hele den perioden en ønsker å brekorrigere avløpet.
- Vi må vite hvordan breens arealendringer har vært i den perioden en ønsker å brekorrigere.

Mht. punkt a) så er slike regresjonsanalyser allerede utført for flere breer i Sør-Norge, se Tvede (1979). Resultatet av denne undersøkelsen viser at for alle

disse breene kunne vi bestemme en statistisk tilfredsstillende likning av formen:

$$\bar{b}_n = c_1 + c_2 \cdot P + c_3 \cdot T \quad (1)$$

$\bar{b}_n$ = spesifikk nettobalanse for hele breen.

P = nedbørsum for akkumuleringsperioden (1. oktober - 31. mai), målt i Bergen.

T = middeltemperaturen i Bergen i perioden 1. juni - 31. august.

c = konstanter.

Tilsvarende likninger er også bestemt for breer i andre klimaområder, se f.eks. Young (1981).

Korreksjoner for evt. arealendringer i pkt b) må gjøres fordi regresjonsanalysen er gjort under forutsetning av at breen hadde en konstant arealfordeling i de årene som inngår i bestemmelsen av likningen for $\bar{b}_n$. Verdiene for $\bar{b}_n$ er et middel over hele brearealet.

Dersom brearealet f.eks. har vært større i den perioden vi er interessert i å brekorrigere, så må vi beregne hvor mye ekstra smelting som foregikk fra dette tapte brearealet. Dette arealet vil stort sett ha ligget på den lavestliggende delen av breen og følgelig vil det ha hatt en netto avsmelting hvert år. Dersom vi ikke korrigerer for en slik arealreduksjon, så vil $\bar{b}_n$-verdiene fra likningen vår gradvis bli mer og mer positive. Det beregnete magasinvolumet fra breene blir følgelig for lite når årsverdiene akkumuleres uten korreksjoner.

Bruk av metoden på Vm 962 Øyreselv

Metoden vil nå bli illustrert ved å benytte den til å brekorrigere avløpet fra Vm 962 Øyreselv. Vannmerket ligger like vest for den nordre delen av Folgefonni. Totalt dreneringsareal er 80.8 km^2, av dette var 19.5 km^2 bredekket i 1959, se fig. 37. Breprosenten er altså 24.1.

Avløpsmålinger i Øyreselv ble startet i 1923 og gikk uforstyrret fram tom. 1972. Fom. 1973 er avløpet sterkt påvirket av reguleringer og overføringer. Bare perioden 1923-1972 blir derfor behandlet.

Massebalansemålinger ble utført på breer i, eller like utenfor, feltet i årene 1964-68, 1970-71 og 1974-75, ialt 9 år. Den beste likningen som ble bestemt mellom værdata fra Bergen og nettobalansen i disse 9 årene var:

$$\bar{b}_n = 444 + 2.16\ P - 54\ T \quad (2)$$

$\bar{b}_n$ og P: cm vann

T: ^oC

Arealreduksjonen av brefeltene er tatt direkte fra topografiske kart oppmålt i 1935 og i 1959. Reduksjonen var 0.56 km^2 på disse 24 årene. For tiden før 1935

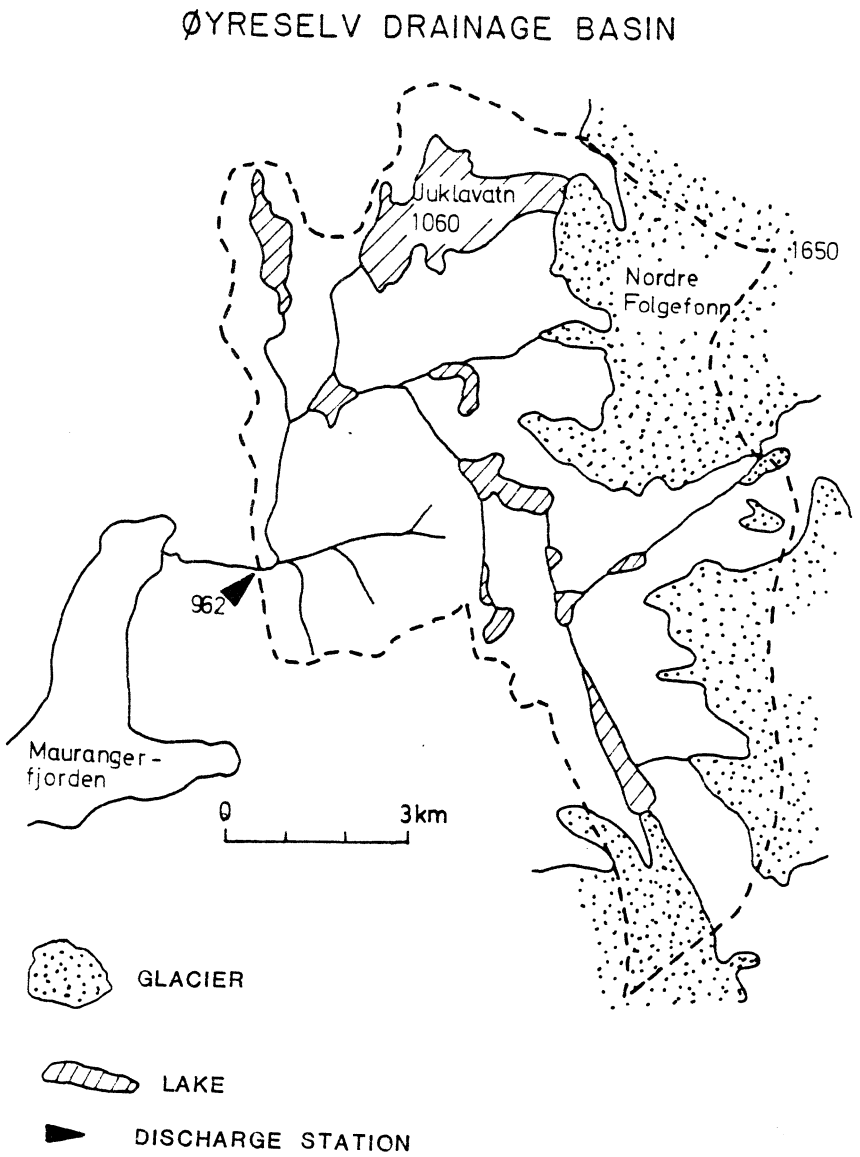


Fig. 37 Dreneringsområdet til Vm 962 Øyreselv.
The drainage area to water gage No. 962 Øyreselv.

er arealendringene bestemt ut fra kjennskap til endringene på Buarbreen, ca 15 km lenger sør. Det er ut fra dette beregnet at arealreduksjonen fra 1923 til 1972 var 1.05 km^2, av dette forsvant det aller meste, 0.75 km^2, mellom 1930 og 1960.

I tabellen i fig. 38 er presentert de verdier for nedbør og temperatur som er satt inn i likning (2). Verdiene for $\bar{b}_n$ beregnes da først uten å korrigere for breens arealendringer.

Korreksjonen av $\bar{b}_n$-verdiene for arealendringer er gjort ved å anta at det brearealet som er forsvunnet hadde en gjennomsnittlig hoh. på 900 m. Basert på direkte bremålinger antar vi at nettobalansen (b_n^{900}) i dette høydenivået kan beregnes som

$$b_n^{900} = -450 - 1.13\ (T - 12.1) \qquad (3) \qquad b_n^{900} : \text{cm vann}, \quad T: {}^{o}C$$

Ved å beregne likning (3) for hvert år og multiplisere b_n^{900} med det tapte brearealet, så får vi fram det vannvolumet som det tapte brearealet representerte.

I tabellen er bare gitt de korrigerte $\bar{b}_n$-verdiene for hvert år i perioden 1895-1981. Netto har denne delen av Folgefonni altså tapt et volum tilsvarende 1 147 cm

Year	P	T	$\bar{b}_n$	$\Sigma\bar{b}_n$	Year	P	T	$\bar{b}_n$	$\Sigma\bar{b}_n$
1896	146	13.6	- 6	- 6	1939	156	14.5	- 13	- 513
1897	105	14.1	-117	-123	1940	84	13.1	- 87	- 600
1898	152	12.3	82	- 41	1941	72	14.7	-199	- 799
1899	158	13.6	22	- 19	1942	93	12.9	- 55	- 854
1900	126	13.7	- 48	- 67	1943	201	13.9	120	- 734
1901	131	14.6	- 87	-154	1944	136	14.1	- 27	- 761
1902	138	12.2	64	- 90	1945	131	15.1	- 91	- 852
1903	142	12.5	56	- 34	1946	124	14.2	- 56	- 908
1904	110	12.8	- 26	- 60	1947	93	15.9	-213	-1121
1905	142	13.9	- 20	- 80	1948	110	14.1	- 78	-1199
1906	122	13.2	- 23	-103	1949	212	13.5	174	-1021
1907	138	11.7	93	- 10	1950	157	14.7	- 7	-1028
1908	121	13.4	- 38	- 48	1951	104	13.2	- 39	-1067
1909	116	12.0	30	- 18	1952	137	12.3	81	- 986
1910	162	14.6	- 22	- 34	1953	119	15.3	-117	-1103
1911	119	13.9	- 72	-106	1954	152	13.8	34	-1069
1912	105	14.2	-117	-223	1955	133	14.9	- 66	-1135
1913	157	13.3	41	-182	1956	119	13.3	- 10	-1145
1914	182	15.1	- 7	-189	1957	152	13.1	72	-1073
1915	111	12.4	- 2	-191	1958	152	14.3	8	-1065
1916	101	12.9	- 50	-241	1959	129	14.4	- 47	-1112
1917	118	14.8	-120	-361	1960	87	14.4	-138	-1250
1918	171	12.7	108	-253	1961	96	13.2	- 54	-1304
1919	120	12.5	14	-239	1962	140	12.5	78	-1226
1920	171	13.3	76	-163	1963	106	14.5	-102	-1328
1921	173	11.5	181	18	1964	109	12.1	33	-1295
1922	145	12.3	79	97	1965	123	13.1	10	-1285
1923	124	11.8	61	158	1966	99	13.9	- 85	-1370
1924	142	13.3	13	171	1967	181	13.0	140	-1230
1925	151	15.3	- 82	89	1968	193	14.2	102	-1128
1926	108	15.1	-161	- 72	1969	107	15.2	-137	-1265
1927	150	13.8	- 4	- 76	1970	118	14.4	- 71	-1336
1928	97	11.3	28	- 48	1971	149	13.5	45	-1291
1929	118	12.0	30	- 18	1972	142	13.3	40	-1251
1930	168	15.3	- 58	- 76	1973	197	13.5	148	-1103
1931	135	12.7	25	- 51	1974	141	13.3	38	-1065
1932	143	13.8	- 18	- 69	1975	137	14.2	- 19	-1084
1933	128	15.8	-159	-228	1976	162	14.6	6	-1078
1934	139	14.5	- 61	-289	1977	85	13.1	- 73	-1151
1935	166	13.8	37	-252	1978	120	13.9	- 48	-1199
1936	90	15.0	-186	-438	1979	154	12.6	97	-1102
1937	132	14.8	- 84	-522	1980	101	15.2	-159	-1254
1938	147	13.5	22	-500	1981	164	12.8	107	-1147

P = Winter precipitation in Bergen (1. October - 31. May)
T = Mean summer temperature in Bergen (1. June - 31. August)
$\bar{b}_n$ = Calculated specific net balance in cm water
$\Sigma\bar{b}_n$ = Cumulated specific net balance in cm water

Fig. 38 Beregninger av årlig nettobalanse for den nordre delen av Folgefonni.

Calculations of annual specific net balance for the northern part of the Folgefonni glacier. Input values and results.

vann i denne perioden. I perioden 1923-72 tapte breen 1 348 cm.

Dersom vi ikke hadde korrigert for breens arealendringer ville bruk av likning (1) gitt en volumøkning på 56 cm fra 1895 til 1981 og en reduksjon på bare 794 cm mellom 1923 og 1972.

Verdiene for $\bar{b}_n$ i tabellen i fig. 38 er multiplisert med det aktuelle brearealet for hvert enkelt år. Dette gir så det volumet vann som det målte avløpet skal korrigeres med.

I fig. 39 er disse volumene vist kumulativt for perioden 1923 - 1972. Ellers er noen resultater samlet i tabellen nedenfor.

	Målt årsavløp ($10^6 m^3$)	Brekorrigert årsavløp ($10^6 m^3$)
Middelverdi 1923-72	322	317
Middelverdi 1931-60	322	314
Største breunderskudd (1947)	279	237
Største breoverskudd (1949)	479	507

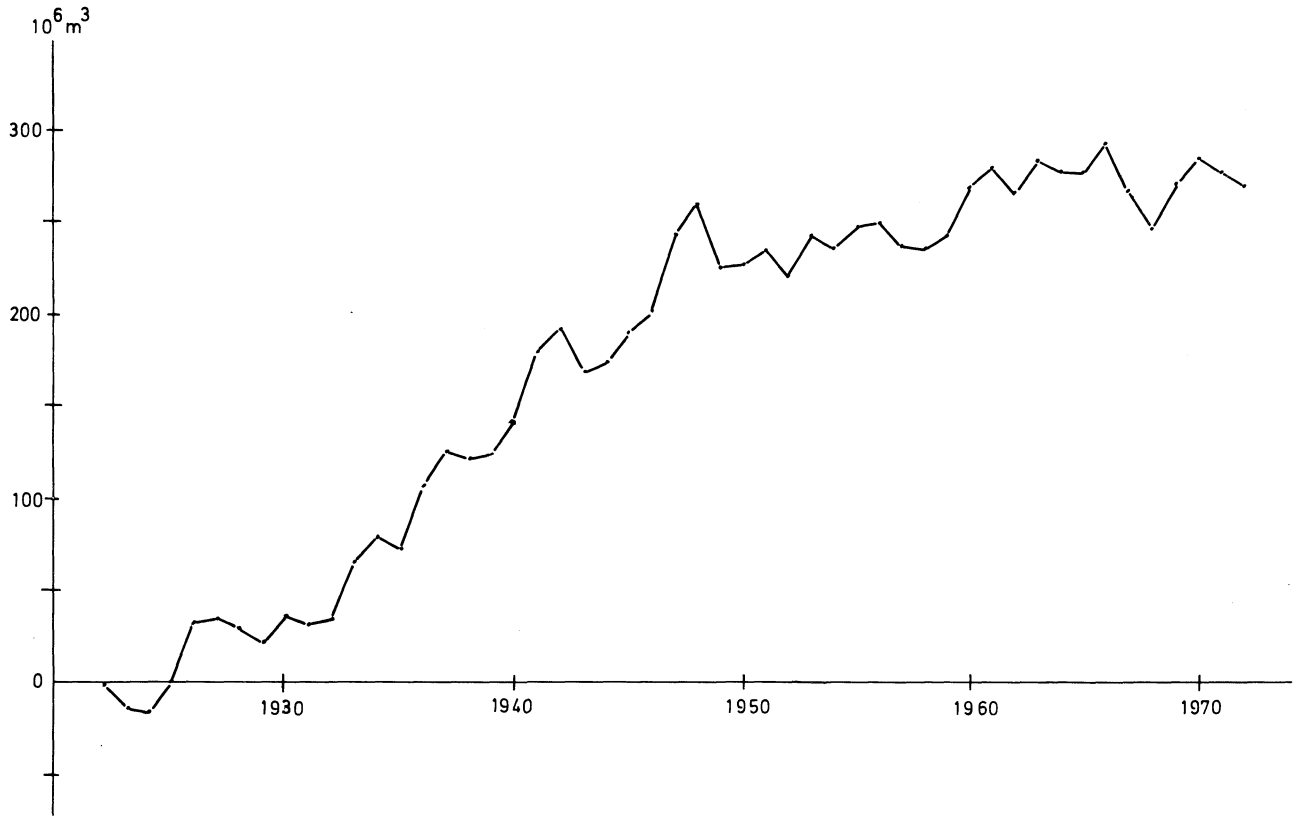


Fig. 39 Akkumulert ekstra tilsig til Vm 962 Øyreselv fra Folgefonni i perioden 1923 - 1972.

Cumulated extra runoff to the water gage no. 982 Øyreselv from the glacier Folgefonni during the period 1923 - 1972.

I alt har breene i Øyreselvs nedslagsfelt avgitt 269 · $10^6 m^3$ ekstra vann i denne perioden. Dette utgjør bare 1.7% av det målte totalavløpet. Breens magasineffekt har altså vært liten om en ser 50-årsperioden under ett.

For enkeltårene kan imidlertid bretilskuddet bli betydelig, f.eks. 15% av det målte avløpet i 1947. I fig. 40 er det målte og det brekorrigerte avløpet vist grafisk for hvert enkelt år. I alt har breen gitt ekstra tilskudd i 30 år, mens den har holdt tilbake vann i 20 år.

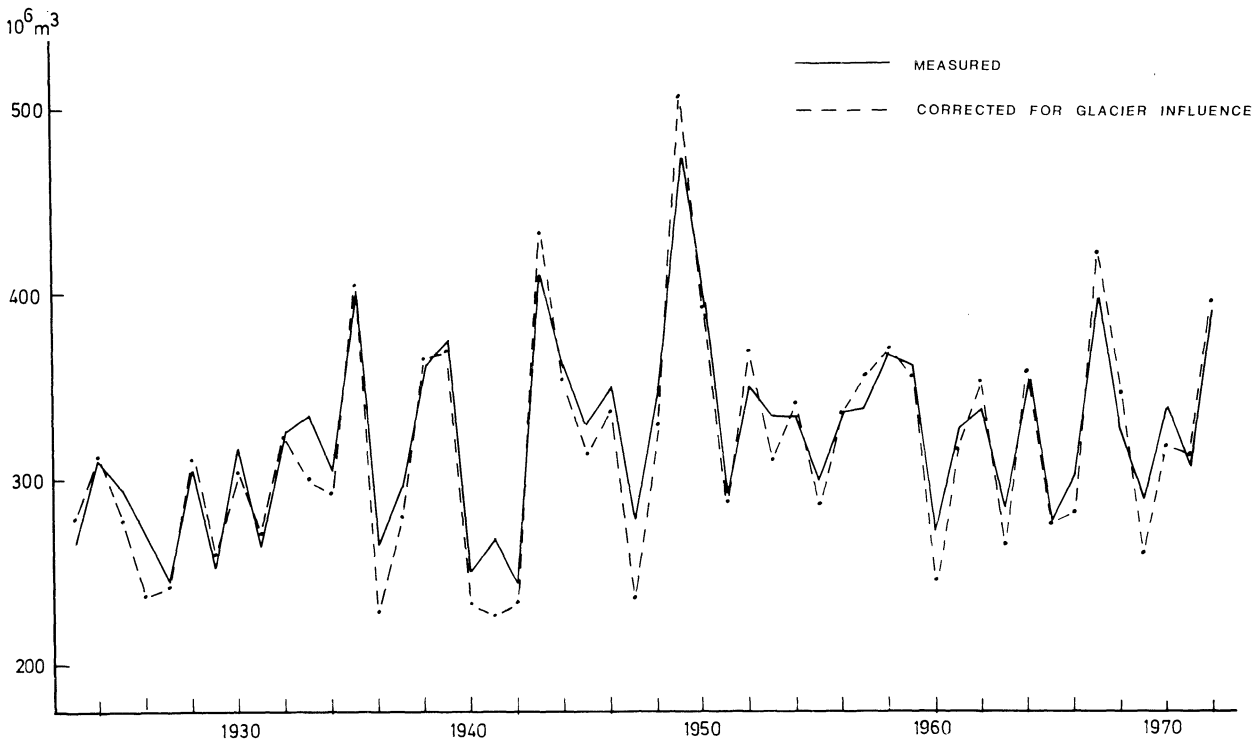


Fig. 40 Målt og brekorrigert årstilsig til Vm 962 Øyreselv i perioden 1923 - 1972.
Observed and glacier corrected annual runoff to the water gage No. 982 Øyreselv during the period 1923 - 1972.

Variasjonskoeffisienten for det målte årsavløpet er 0.15 mens den er 0.19 for det brekorrigerte årsavløpet. Forskjellen mellom verdiene må tilsvare brefeltenes virkning på variasjonskoeffisienten. Dette harmonerer igjen godt med konklusjonene i analysen av breenes innflytelse på variasjonskoeffisienten presentert av Tvede (1982).

Konklusjoner

Den beskrevne metoden kan brukes til å brekorrigere målte avløpstall når endel spesifiserte forutsetninger er oppfylte. Forutsetningene burde kunne oppfylles for de fleste områder med breer i Norge. Anvendelse av metoden på en avløpsserie

ved Folgefonni viser at breenes magasineffekt over en lang periode, f.eks. 30 år, er av liten betydning. For enkeltår var imidlertid magasineffekten betydelig. For denne avløpsserien økte variasjonskoeffisienten i årsavløpet fra 0.15 for den målte serien til 0.19 for den brekorrigerte serien.

ENGLISH SUMMARY

Mass balance, meteorological and hydrological investigations

Introduction

The Norwegian Water Resources and Electricity Board (NVE) made in 1980 glaciological investigations on six glaciers in Norway, five of them in South Norway and one in North Norway. The Norwegian Polar Research Institute carried out similar investigations at two glaciers in Southern Norway. The location of all Norwegian glaciers under study are shown on the map, Fig. 1.

Investigations made by NVE are mainly made for the purpose to collect data for hydrologic calculations for planning new hydro-electric power installations. In some cases the power system has been developed and, thus, the glaciological data are used for the management of these power stations. In other cases (i.e. Engabreen in Northern Norway) large power developments are planned and the study is an integrated part of the calculations in the planning procedure.

The longest series of mass balance investigations in Norway is connected to Storbreen in Jotunheimen where Olav Liestøl started such studies already 1949, and this series is one of the longest in the world of this kind. One of the second largest series in Norway is connected to Nigardsbreen, an outlet glacier from the icecap Jostedalsbreen - the largest continuous ice mass in Northern Europe.

Methods

A standardized method is applied for all the mass balance studies in Norway (see Østrem & Stanley 1969). Certain meteorological and hydrological measurements are also made at selected glaciers in order to obtain data for prediction of daily melt-water runoff. Such intensivated studies are now carried out at Nigardsbreen where a relatively sophisticated observatory has been erected at Steinmannen. New houses were built during the summer 1980 and an automatic weather station has been running continuously during the summer seasons since then.

Results from the glaciological investigations are normally given in annual reports from the Glaciology Section within Hydrology Division of NVE. These reports are

distributed to a great number of individuals and libraries abroad.

The terminology used in the reports is based upon the principles set up by IASH and published by UNESCO (1970). A graphic representation of various expressions is also shown in Fig. 2.

The winter balance is measured by snow depth soundings made in a great number of points distributed over the glacier surface and snow samples taken at some selected locations - ideally both at the lower, middle, and upper part of the glacier. In these locations a pit is dug down to the previous summer's surface and a continuous snow sample is taken vertically down to the bottom of the pit. In certain areas - particularly after a cold and snowy summer - it may be impossible to determine the position of the summer surface by sounding. In such cases it will be necessary to determine the last winter's snow pack by coring. A SIPRE-type coring auger is used for this work. Some support is also obtained by reading stakes inserted in the glacier and kept visible throughout the winter by 2 m-extensions. If the snow pack is thicker than 5-6 m it may be difficult to dig a pit so snow samples from the lower part of the snow cover are then taken by the coring auger. These samples are then used to determine the snow density.

Data from the pits are used to convert sounding depths to water equivalent figures. A snow accumulation map is then constructed by drawing iso-lines for 50, 100, 150, etc. cm of water equivalent.

Similarly, observations of the ablation during the summer are made throughout the melting season - on the lower part of the glacier by simply reading ablation stakes, on the upper part of the glacier by measuring the remaining part of last winter's snow at the end of the ablation season. An ablation map is constructed from all such point measurements; but this map is not reproduced in the reports.

Both the map of winter balance (B_w) and the summer balance (B_s) are used to find the total amount of water equivalent accumulated during the winter and ablated during the summer, respectively. For these determinations normal planimeter is used and results are presented for selected hight intervals in tables. The net balance (b_n) is defined as the specific water equivalent and is given in cm (or in g/cm^2). It is calculated from the formula: $b_n = b_w + b_s$. This algebraic sum (where the summer balance is counted negatively) will show a positive figure when the glacier has increased its mass and negative when the glacier has lost some of its mass. The equilibrium line is drawn through points where the net balance is zero. During cold summers (or after very heavy winter accumulation) this line tends to be situated at a lower altitude than after years of very heavy ablation.

The temporary snowline must always be referred to a certain time of the year and

it is defined as a line through points on the glacier where last winter's snow has just disappeared. The transient (or temporary) snowline is clearly visible on the glacier and can be determined by simple photography or direct observations whereas the equlibrium line is invisible and more or less a theoretical concept - although of great importance.

Meteorological observations were performed during the summer 1980 at the glaciers Ålfotbreen, Bondhusbreen, Nigardsbreen, and Engabreen. The data are reliable but at Engabreen where the crew was based all summer and from Bondhusbreen where instruments were visited every day, the accuracy is slightly better than from the other stations where observations were made by automatic devices without possibilities for daily inspections or corrections. The results are presented in diagrams for each glacier and daily averages are given.

A detailed description of methods for meteorological observations at the glacier stations is given in earlier reports, see for example Østrem & Pytte (1968, p. 8), Pytte (1969, p. 11).

The water discharge from the glaciers where observers were based during the summer (Bondhusbreen, Nigardsbreen and Engabreen) was recorded automatically and some staff gauge readings were also made. At Ålfotbreen an automatic gauge was visited every month. Other glaciers were visited at various intervals.

The correlation between meteorological observations and melt-water discharge was not always a simple function so a stepwice multiple regression analysis was used to find a model of the form:

$$Q = k' + k_1X_1 + k_2X_2 + \ldots\ldots + k_nX_n + E$$

where Q is the dependant variable i.e. the water discharge and X_1, X_2, and X_n are meteorological parameters given as daily means; and k_1, k_2, etc. are constants. E is a term indicating random errors.

Models have previous been found for various glaciers, see for example Østrem (1968, 1969, 1970). Deviations from the model are normally within 5 % (Roald 1971, p. 98).

Weather and snow conditions during the balance year

The weather conditions during the fall 1979 and the winter 1979/80 were characterized by cool weather and less precipitation than normal. The accumulation started virtually during the first part of September on all glaciers in Norway. Then a relatively heavy accumulation occurred. Later during the winter only small amounts of accumulation were added to this initial amount of solid precipitation. A long series of high pressure ridges passing across Scandinavia caused cold tem-

peratures and relatively little snow fall.

The winter balance for the glaciers in Southern Norway were therefore less than normal, in average the glaciers in Southern Norway received only 65-79% of the average accumulation which has been measured during the last 18-19 years. Similarly, the glaciers in Northern Norway, represented by Engabreen, showed a winter balance of only about 85% of the average for the last 11 years.

The summer was warmer than normal, both in Southwestern Norway and in Northern Norway. The temperature was 1-1½ degrees higher than normal - particularly during June a period of unusually high temperatures caused considerably melt on the glaciers.

The summer precipitation was much less than normal but the summer warmth resulted in a high summer balance. On Nigardsbreen it amounted to 150% of the average for the last 19 years and the melt-water discharge was about 25% higher than the mean for the last 12 years. For Engabreen the corresponding figure was in the order of 20% and for Ålfotbreen 13% higher than the average summer discharge for the last 11 years. This is a typical example of the influence of glacier behaviour on river run-off. In spite of little summer precipitation in 1980 the water discharge turned out to be much higher than normal from glacierized basins.

Ålfotbreen

The first accumulation had already occurred when the glacier was visited on 22 October. During the winter 4.5 - 6 m of snow accumulated on most parts of the glacier, but on the tongue the snow pack exceeded 8 m. As much as 18 of the 21 ablation stakes survived the winter. The snow density at the time of the snow survey (15 - 17 April) averaged 0.45 g/cm^3. A winter balance map was constructed - see Fig. 4 - and the total winter balance calculated, its specific value turned out to be 2.53 m of water equivalent. This is only 74% of the mean winter balance for the years 1963-80 and less than last year's figure.

The ablation was measured by three visits during the summer. The total summer balance amouted to 16.1 · 10^{6}m^3 which corresponds to 3.35 water equivalent. This is almost precisely equal to the average for the years 1963-80.

The low winter balance caused a relatively large negative net balance for Ålfotbreen 1980 - the glacier lost 4 · 10^{6}m^3 water, corresponding to a specific value of -0.82 m water equivalent, which gave an extra amount of water to the stream (draining into the power station) amounting to 26 l/s km^2. This is the largest negative balance since 1970, causing an equilibrium line altitude of 1 280 m a.s.l. so large areas of the glacier was uncovered early in the summer. Ålfotbreen has

now experienced four consequtive years of negative mass balance.

As in previous years, some meteorological observations were carried out by automatic recording devices: thermograph, pluviograph and hydrograph, which were running from 14 May to 2 October. The results are shown in Fig. 6 and in the table on page 16.There also some correlations are made to previous years' figures.

The melt-water discharge was observed at the recording station and it amounted to 29.3 · $10^6 m^3$ water which is 13% more than the average for the years 1965-80. The maximum daily discharge, 0.84 · $10^6 m^3$, occurred on 7 September.

It should be noted that the rating curve previously used for this discharge station (No.1775) has been slightly erroneous. The errors has been corrected and all previous measurements are now related to the corrected rating curve. The figures in the table on page 16 are therefore not directly comparable to figures given in previous reports.

Bondhusbreen

The exact date for the start of the winter season has not been observed but on 1 October it had already accumulated more than 2 m of snow on the upper part of the glacier. The snow survey was made on 24 April when ten stakes had survived. Snow depth soundings were made in 110 points in areas above 1 300 m a.s.l. and these points were distributed along 22 km of sounding profiles. This gives a mean measuring density of 12 points per km^2. No observations could be made below 1 300 m a.s.l. due to a highly crevassed ice surface - this area comprises, however, only 10% of the total glacier area. Accumulation figures for this area have been estimated. The mean density of the snow pack was 0.46 g/cm^3.

The winter balance amounted to 25.2 · $10^6 m^3$ water, corresponding to 2.33 m water equivalent, which is close to the mean winter balance for the period 1977-80 but 17% less than the previous year. Ablation measurements were made almost continuously during the summer by weekly visits. The summer balance amounted to 30.1 · $10^6 m^3$, i.e. 2.78 m water equivalent which is equal to the average for the last four years.

The net balance amounted to -0.45 m water equivalent, thus decreasing the glacier mass by 4.9 · $10^6 m^3$ water.

Meteorological observations were made at the outlet of Holmavann (1 130 m a.s.l.) where temperature, relative humidity, precipitation, wind speed, and wind direction were recorded automatically from 14 June to 24 September. The results are shown in Fig. 8. The summer temperature was, in general, higher than last year, the maximum daily temperature, 13.7°C, was measured on 27 July. The lapse rate between

Holmavann and the meteorological station Omastrand was 0.73°C/100 m in June, July, and August, but only 0.59°C/100 m in September.

The total summer precipitation amounted to 851 mm which gives a mean precipitation of 9.1 mm per day but 25 days had no precipitation. The daily maximum was measured on 12 September when 85 mm fell in the precipitation gauge.

The relative air humidity was always (except for one day) over 6.1 mb - it averaged 8.5 mb - indicating that sublimation from the glacier surface is neglible on Bondhusbreen.

Melt-water discharge is not observed for the entire glacier but an automatic recorder is installed in the sedimentation chamber in the bedrock under the glacier. Thus all water collected at about 940 m a.s.l. is measured where as melt-water and liquid precipitation on the lowest part of the glacier will not be included in the figures. However, the part of the glacier lower than 940 m a.s.l. comprises only 2 % of the total glacier surface. For the entire summmer season 1980 $70 \cdot 10^6 m^3$ were diverted through the subglacial water intake. This is slightly more than in previous years. Concerning the subglacial hydrology - see another chapter in this report.

Nigardsbreen

The glacier was visited three times during the winter for stake extensions etc. The final snow survey was made 21-24 April when 25 stakes had survived.

Snow pack thickness was measured in 362 single points above 1 450 m a.s.l. - see Figure 9. This gives a density of 9.1 measurements per km^2. Observations were also made on the lowest part of the tongue so that accumulation in the ice falls in between could be interpolated.

The snow density was measured in two points, 1 630 m and 1 840 m a.s.l., giving an average density of 0.42 and 0.44 g/cm^3, respectively. A snow accumulation map was constructed (Fig.10) and total winter balance determined. It amounted to $85.5 \cdot 10^6 m^3$ water or 1.77 m water equivalent. This is almost a record - only three times since 1962 a lower winter balance has been measured. It is only 79% of the mean winter balance for the years 1962-80.

The ablation was measured by three visits during the summer and the final determination of the summer balance was based upon measurements made on 4 September for the higher parts of the glacier. On the lower part of the tongue another survey was made on 16 October. The total summer balance was $144.3 \cdot 10^6 m^3$ water or 2.99 m water equivalent. This is the second largest ablation measured at Nigardsbreen since 1962 and 50% more than the average for the years 1962-80.

Low winter accumulation and high summer melt resulted, naturally, in a large negative net balance. The glacier reduced its mass by about $59 \cdot 10^6 m^3$ water which corresponds to 1.22 m water equivalent. A greater loss has been observed only once, in 1969, when it was 1.31 m whereas the mean net balance for the period 1962-80 is +0.26 m.

Of the total water discharge from the glacier in 1980 no less than 41% orginated from glacier shrinkage. A new nunatak was discovered in the firn area north of stake 85, this little bedrock has not been visible since 1969. The equilibrium line was situated at 1 730 m a.s.l.

Meteorological observations were carried out as in the three previous years. At the observatory Steinmannen automatic recorders for temperature, precipitation and air humidity were running continuously during the summer but was visited every month. In addition, an automatic Aanderaa weather station was installed and operated during the last part of the summer. Results from these observations are shown in Fig.14.

The water discharge from Lake Nigardsvatn was $181 \cdot 10^6 m^3$ water which is 22% more than the average for the period 1965-80. The highest daily discharge was observed on 8 September when $3 \cdot 10^6 m^3$ water passed the gauging station.

Hardangerjøkulen

Mass balance measurements are made on Rembesdalskåkji, an west-facing outlet glacier from the dome-shaped ice mass called Hardangerjøkulen; these measurements have been carried out since 1963. Unfortunately, many of the stakes disappeared during the winter 1979/80 and this made accumulation measurements particularly difficult, also the summer ablation measurements were hampered by technical difficulties. However, it was possible to estimate with a relatively high degree of accuracy, the winter balance to 1.45 m water equivalent which is only 77% of the period 1963-80. The summer balance, 2.85 m water equivalent, was 45% larger than the average and the next highest ever measured - only in 1969 it was larger. The net balance turned out to be -1.40 m water equivalent.

Storbreen

The winter balance was measured during the first part of May 1980 when 0.99 m water equivalent had accumulated. This is only 72% of the average for the period 1949-80 (the record was 0.05 m less). The summer balance was 2.30 m water equivalent which is 38% larger than the average 1949-80. Greater melt occurred only in 1959 and 1969. Similar to the other glaciers in this part of the country, Storbreen experienced a large negative net balance, amounting to -1.31 m. This is the second largest glacier loss experienced by Storbreen - only in 1969 it was larger,

-1.42 m. The average net balance for the last 32 years is -0.30 m.

It is a good correlation between the summer temperature (May - September)as measured in Bergen and the ablation on Storbreen (Liestøl 1977, p.37) The summer temperature in Bergen 1980 was the highest recorded during the last 30 years.

Hellstugubreen

Accumulation measurements were made 25 - 26 April when 20 stakes were found and 176 snow depth soundings were made along 20 km sounding profiles, compare Fig.16. This makes a density of 53 points per km^2. The mean snow density measured in a pit at 1 960 m a.s.l. turned out to be 0.42 g/cm^3.

The winter balance was $2.65 \cdot 10^6 m^3$ water or 0.81 m water equivalent which is only 76% of the average for the years 1962-80.

The summer melt was monitored by three visits in July, August and September. The largest melt occurred in August. The end of the summer season is defined to be 21 September when the total summer balance was determined to be $6.74 \cdot 10^6 m^3$ water or 2.05 m water equivalent. A higher summer melt was measured only in 1969. This year's result is 45% higher than the average summer balance during the period 1962-80.

The net balance was $-4.09 \cdot 10^6 m^3$ water or -1.24 m water equivalent. This is very close to the record from 1969 when it was -1.28 m.

Gråsubreen

The winter accumulation measurements, i.e. the snow survey, was made on 6 May. Of 29 stakes at the glacier 25 had survived the winter. Snow depth soundings were made in 140 points, compare Fig.19, the deepest snow was found on the lowest and highest part of the glacier where it was in the order of almost 3 m, whereas an area in the middle of the glacier was completely snow-free. The mean snow density was 0.44 g/cm^3 and the total winter balance $1.15 \cdot 10^6 m^3$ corresponding to 0.46 m water equivalent. This is only 65% of the average winter balance for the period 1962-80. The summer season ended in the middle of September and the summer balance was determined to be $3.40 \cdot 10^6 m^3$ water or 1.35 m water equivalent.

The net balance turned out to be -0.89 m water equivalent, and the equilibrium line situated at 2 225 m a.s.l.

Due to a greater influence from the radiation on Gråsubreen than on most other glaciers in Norway there is a smaller difference between the summer balance on the lower and on the higher part of this glacier. This results in a steeper summer balance curve (compare Fig.21) than on most other glaciers - compare for example the similar diagram for Nigardsbreen on Fig.11.

Engabreen

Also in Northern Norway a smaller winter accumulation than normal was experienced. The snow survey on Engabreen was made 8-12 May when snow depth measurements were made in 236 points along 52 km of sounding profiles, see Fig.22. On an average there were made 6.2 soundings per km^2. The maximum snow depth this year was 8.7 m. The snow density was measured in two pits at 1 180 m and 1 350 m a.s.l. In both cases the mean density was 0.44 g/cm^3 and the winter balance was 101.8 $\cdot 10^6 m^3$ water corresponding to 2.68 m water equivalent which is 86% of the average for the years 1970-80. See Fig.23.

The observatory at Engabreen was manned from 15 June to 2 September. Every day during this period daily ablation measurments were made near the hut and rest of the stakes were measured every five days. The highest melt occurred in July and in the middle of August. The summer balance turned out to be 121 $\cdot 10^6 m^3$ water, corresponding to 3.18 m water equivalent which is 33% larger than the average for the period 1970-80.

Also here the glacier experienced a negative net balance. The glacier lost 19.3 $\cdot 10^6 m^3$ water corresponding to 0.50 m water equivalent.

Meteorological observations were carried out according to the same program as in previous years: observations were made in three points, at 1 100 m and at 1 360 m a.s.l. The measurring period was from 15 June to 31 August. The results from the main observatory at 1 100 m a.s.l. are shown on Fig.25. In addition a program of measuring the radiation was also carried out. A special section describes the relation between radiation and ablation.

The temperature measurements made at the three different stations compared with various standard meteorological stations and baloon observations from Bodø at 850 mb indicates that the observatory at 1 100 m a.s.l. give data with less deviations than the other stations. Similarly, there seems to be a good correlation between precipitation measurements made at 1 100 m a.s.l. and the actual precipitation falling on the glacier (as measured at the nunatak 1 360 m a.s.l.). The daily air humidity was always above 6.1 mb, except for three days. This indicates that ablation caused by sublimation from the glacier surface must have been neglectable.

The melt-water from the glacier runs through Lake Engavann where measurements are made at the outlet. The discharge for the summer amounted to 145 $\cdot 10^6 m^3$ for the period 15 June - 31 August. This is 16% more than the average for the period 1970-80. The maximum daily discharge, 3.45 $\cdot 10^6 m^3$, occurred on 17 August, this is the highest ever observed since 1972 (Kjeldsen 1981,p.18).

Comparisons between mass balance at the glaciers under study

During the summer 1980 detailed mass balance investigations were made on 8 Norwegian glaciers, 7 of them in Southern Norway and one in Northern Norway. Fig. 1 shows the location of all these glaciers under study.

All the investigated glaciers experienced a winter balance lower than normal, i.e. lower than the average of the previous years during which investigations have been made. The summer balance was near normal at Ålfotbreen. All the other investigated glaciers experienced a summer balance 30-50% higher than the average of the previous investigated years. This resulted in a considerable negative net balance (between -0.45 m and -1.40 m) for all the investigated glaciers. For some of them the net balance was almost as small as during the record year 1969.

The results of last year's mass balance studies are presented in the table in Fig.27 as well as in Fig.26 and Fig.28.

A review of mass balance investigations made at selected glaciers in Norway 1962-80.

A review of results from glaciological mass balance investigations at 7 glaciers in Norway since 1962 is shown in Fig.29 on page 49. All figures in the table give the water equivalent in metres, i.e. the total water volume divided by the glacier area, so that they are directly comparable.

The results from the investigations in Southern Norway indicate that the most maritime glaciers Ålfotbreen and Nigardsbreen have had a cumulative mass surplus since 1962, amounting to approx. 2 m and 5 m, respectively. On the contrary, more continental glaciers have experienced a loss. For example, the glaciers in Jotunheimen have had a deficit of 5-7 m during the same period. Engabreen in Northern Norway, which is a maritime glacier, has had a cumulative surplus of 8 m in the period 1970-80.

All the investigated glaciers show a greater positive net balance in the period 1971-76 than in the periods 1962-70 and 1977-80. All investigated glaciers in Southern Norway had a negative net balance in the period 1977-80. In the period 1971-76 the maritime glaciers show a great surplus whereas the continental glaciers had a less deficit than in the periods before and after. Engabreen in Northern Norway has had positive mass balance all the time, but the surplus have been less after 1976.

Comparing the different glaciers during selected single years, there seems to be general trends in mass balance for all the investigated glaciers. The years 1963, 1966, 1969, 1970, 1977, 1978 and 1980 gave negative mass balance for all investigated glaciers in Southern Norway, and, apart from 1977, also in the Svartisen

Area. The greatest glacier loss for all glaciers occurred in 1969, and for many glaciers the loss in 1980 was of the same magnitude, On the other side, the years 1964, 1965, 1967, and 1974 resulted in a surplus for all investigated glaciers. The years 1973, 1975 and 1976 were different - during these years the most maritime glaciers, Ålfotbreen and Engabreen showed a large positive mass balance, however with a decreasing magnitude towards higher continentality, so that the glaciers in Jotunheimen, particularly Gråsubreen, had large negative mass balance. Due to very heavy winter accumulation in the western parts of Norway and unusually little snow in the eastern parts, this great regional difference also governed the difference in final mass balance for the glaciers mentioned.

Annual investigations performed for shorter time periods at other glaciers indicate that there seems to be a constant relation concerning mass balance results for glaciers in the same region. Investigations performed at Østre and Vestre Memurubre in Jotunheimen during the years 1968-72 show a very good conformity with the results from Gråsubreen, Hellstugubreen and Storbreen. Also mass balance results from Tunsbergdalsbreen 1966-72 show good correlation with those from Nigardsbreen (Haakensen 1979, s. 50). Similar investigations made at Høgtuvbreen, Northern Norway, during the period 1971-77 show winter balances very similar to corresponding figures from Engabreen, but a considerable greater summer balance was normally found at Høgtuvbreen.

The energy balance on Engabreen

Investigations of the energy balance have been made in 1980 similar to previous investigations of this kind - for the methods see Messel (1975 a). The results from observations in 1980 are given in Table I and Table II on page 56, whereas Table III contains results from similar investigations on other glaciers in Norway for the last several years.

The main results from Engabreen indicate that the relation between various factors causing ablation show variations almost from week to week during the summer season. The radiation seems to be giving a relatively stable source of energy, slowly decreasing throughout the summer. The greatest variations are apparently caused by quick changes in convection and condensation according to local variations in wind, temperature and air humidity.

Secondly, the global radiation is less on the glacier tongue, only about 3/4 of the upper parts of the glacier. However, due to higher albedo on the upper parts, a smaller amount of incoming radiation will take part in the ablation there. Furthermore, the tongue receives much more long-wave radiation than the firn area. The received amount of energy was in the order of 180 cal/cm^2, decreasing during

the summer to 100 cal/cm^2 per day in firn basin, whereas corresponding figures on the tongue are 240 and 130 cal/cm^2, respectively.

Special investigations at Bondhusbreen

A subglacial water intake for hydro-elektric power has previously been installed at Bondhusbreen, see Fig.34. Before water enters the diverting tunnel it passes a sedimentation chamber where an automatic water gauge is installed. The winter water discharge decreased throughout the winter season and was in order of 0.2 m^3/s at the beginning of May. Then the discharge increased and was higher than 1 m^3/s at the end of the month. During the summer it exceeded 3 m^3/s. The maximum daily discharge was almost 10 m^3/s and the total discharge during the melt season was 70 · 10^{6}m^3 water which was diverted to the power station. This is somewhat more than during the two previous years.

The water discharge from the Lake Holmavann was also recorded and it amounted to 11% of the diverted total amount of water. The water temperature increased from 2.0^{o}C to 6.0^{o}C during the summer. The water temperature is more governed by the amount of remaining snow than of air temperature during the day.

The total amount of diverted water has, in principle, three main sources: Glacier melt (summer balance), liquid precipitation, and snow melt from the hill slopes which are part of the drainage basin for the water intake. Calculations indicate that it must have fallen 1 930 mm precipitation during the summer season whereas the precipitation gauge at Holmavann recorded only 850 mm. This precipitation gauge may, however, not be representative for the entire drainage basin because it is located at 1 130 m a.s.l. - the rest of the basin is much higher. Another reason for the discrepency may be difficulties in delineating the upper part of the drainage basin (Bondhusbreen is part of an almost dome-shaped icecap) or in accuracy in the measurement of the summer balance. A 5% error here corresponds to some 100 mm of precipitation. Subglacial investigations started during the summer 1980 by installing an artificial roche moutonné on the bedrock under the glacier. Observations of temperatures and pressures are made continuously and recorded via cables to a recording device placed in one of the bedrock tunnels. The results from these investigations will be published separately.

A new glacier map of Hellstugubreen

The valley glacier Hellstugubreen in Jotunheimen was first mapped by Koller, Solheim & Werenskiold in 1941 by terrestrial photogrammetry whereas R.Pytte re-mapped it in 1962 by plan-table technique, and this last map was used for mass balance investigations during the period 1962-67. Then a new photogrammetric map

was constructed in 1968 by the Norwegian Polar Research Institute based upon air photographs taken that year. A new air photography was made on 26 September 1980 and a new glacier map was constructed by Olav Liestøl in a Wild A -7 stereo plotter.

The map was printed at a scale of 1: 10 000 with glacier contours for each 10 m and mainly 50 m in the surrounding terrain. The map has UTM coordinates as well as geographical coordinates and was made according to recommendations from the Internatioal Symposium on Glacier Mapping in Ottawa 1965. The map is printed in four colours and is enclosed with this report. A comparison between the 1968 and the 1980 map indicates a definite change in area distribution, see Fig.36. However, the total glacier area has been reduced and the front has receeded about 200 m during 12 years.

A method for calculating the reservoir effect of glaciers on runoff series.

Glacier behaviour influences significantly on the water runoff in glacier-fed rivers. A negative mass balance produces more water than normal, whereas a year of positive balance results in less melt-water in the streams. For long-term hydrologic calculations, for example for hydro power generation, the annual discharge figures are to be corrected according to the mass balance observations. Such corrections are made in all streams where direct mass balance investigations are performed within the basin. Such measurements have been made for selected glaciers since 1962 but they are relatively expensive and the field work requires considerably labour. It is, therefore, desired to find a method for discharge corrections by other methods. Pettersson (1981) has made some studies on this problem and presented calculations for the Svartisen region.

The basic idea is to find the correlation between meteorological data and observed mass balance for several years. This is made by stepwise regression analysis. Some more corrections must later be made for annual variations in glacier area. The method requires many consequtive years of mass balance (preferably more than 10), good temperature and precipitation data from a representative meteorological station and knowledge about glacier area variations. Tvede (1979) found that the specific net balance $\bar{b}_n$ for glaciers in Western Norway can be found according to the formula:

$$\bar{b}_n = c_1 + c_2 \cdot P + c_3 \cdot T$$

where P = the cumulative precipitation October-May in Bergen

T = the mean temperature in Bergen June-August

c = constants, individual for each glacier

Similar equations are found for other areas, see for example, Young (1981).

The method described in this paper is applied on a 50 years runoff series for Øyreselv drainage basin in the Folgefonni glacier area in Western Norway (Fig.37). The results are shown in the Table in Fig.38.

The extra amount of water given by glaciers may be considerable, for example 15% extra water was given to the stream Øyreselv in 1947, compare Fig.40. The results show that the reservoir effect has been small on the series as a hole, only 2% of the total runoff volume, but has the greatest advantage when the discharge for single years should be corrected. The coefficient of variation increases from 0.15 for the measured annual values to 0.19 for the glacier-corrected values.

LITTERATUR

D N M I
1979: Klimatisk månedsoversikt 1979.

1980: Klimatisk månedsoversikt 1980.

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.

Haakensen, N.
1979: Brimkjelen. - I: Wold, B. og Repp, K., 1979, p. 47-50.

Haakensen, N. og Wold, B.
1981: Glasiologiske undersøkelser i Norge 1979. - Hydrologisk avdeling, Norges vassdrags- og elektrisitetsvesen. Rapport nr 3/81, 80 p. (English summary).

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

Kjeldsen, O.
1981: Materialtransportundersøkelser i norske breelver 1979. - Hydrologisk avdeling, Norges vassdrags- og elektrisitetsvesen. Rapport nr 4/81 (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.

Liestøl, O.
1982: Glaciological work in 1980. - Norsk Polarinst. Årbok 1980, p. 45-52

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. og Østrem, G., 1975, p. 53-60.

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

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

1978: Energibalansen på utvalgte breer 1977. - I: Wold, B. og Haakensen, N., 1978, p. 35-39.

1979: Energibalansen på Engabreen. - I: Wold, B. og Repp, K., 1979, p. 37-39.

1981: Energibalansen på Engabreen. - I: Haakensen, N. og Wold, B., 1981, p. 42-46.

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

Pettersson, L.E.
1981: Beregning av normalavløpet i Svartisområdet. - I: Haakensen, N. og Wold, B., 1981, p. 46-56.

Pytte, R.
1969: Glasiologiske undersøkelser i Norge 1968. - Hydrologisk avdeling, Norges vassdrags- og elektrisitetsvesen. Rapport nr 5/69, 149 p. (English summary).

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

Roald, L.
1971: Breavløpet som funksjon av meteorologiske parametre. - I: Tvede, A.M., 1971, p. 80-99.

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).

1979: Likninger til beregning av nettobalanse fra værdata. - I: Wold, B. og Repp, K., 1979, p. 40-46.

1982: Influence of glaciers on the variability of long runoff series. Proceedings, Fourth Northern Research Basin Symposium Workshop, Ullensvang, Norway, March 22-25, 1982.

Tvede, A.M., Wold, B. og 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 balance at selected glacier basins. Technical papers in hydrology, no 5, 20 p.

Wold, B. og 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. og Haakensen, N.
1978: Glasiologiske undersøkelser i Norge 1977. - Hydrologisk avdeling, Norges vassdrags- og elektrisitetsvesen. Rapport nr 3/78, 54 p. (English summary).

Wold, B. og Repp, K.
1979: Glasiologiske undersøkelser i Norge 1978. - Hydrologisk avdeling, Norges vassdrags- og elektrisitetsvesen. Rapport nr 4/79, 71 p. (English summary).

Young, G.J.
1981: The mass balance of Peyto Glacier, Alberta, Canada, 1965 to 1978. Arctic and Alpine Research, Vol. 13, no 3, 1981, p. 307-318.

Østrem, G.
1968: Korrelasjonsberegninger - et middel til avløpsprognosering. - I: Østrem, G. og Pytte, R., 1968, p. 104-116.

1969: Korrelasjonsberegning og regressjonsanalyse av døgnlig avløp som funksjon av meteorologiske parametre. - I: Pytte, R., 1969, p. 83-97.

1970: Breavløp som funksjon av meteorologiske parametre. - I: Pytte, R., 1970, p. 73-84.

Østrem, G. og Pytte, R.
1968: Glasiologiske undersøkelser i Norge 1967. - Hydrologisk avdeling, Norges vassdrags- og elektrisitetsvesen. Rapport nr 4/68, 131 p. (English summary).

Østrem, G. og 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.