

NORGES VASSDRAGS-OG ELEKTRISITETSVESEN



GLASIOLOGISKE UNDERSÖKELSER
I NORGE 1971

RAPPORT NR. 2-73

VASSDRAGSDIREKTORATET
HYDROLOGISK AVDELING

OSLO JAN. 1973



GLASIOLOGISKE UNDERSÖKELSER I NORGE 1971

Redigert av Arve M. Tvede

Bidragstere: Lars Kr. Dyrkorn, Olav Liestöl, Sigmund Messel,
Lars Roald og Arve M. Tvede

RAPPORT NR. 2-73

VASSDRAGSDIREKTORATET

HYDROLOGISK AVDELING

OSLO JAN. 1973

FORORD

Foreliggende rapport er i likhet med rapporten for 1970 redigert av cand. real. Arve M. Tvede ved Brekontoret, Hydrologisk avdeling.

Årets rapport skiller seg i hovedtrekkene ikke særlig ut fra tidligere glasiologiske årsrapporter, men det kan spores en mer markert todeling av innholdet. Første delen omfatter resultatene av alle massebalansemålinger foretatt i Norge under det glasiologiske året 1970-1971. Totalt gis en beskrivelse av utført arbeid og resultater fra ialt 15 breenheter - det største antall som hittil er målt samtidig. For 8 av breene utføres arbeidet ved Brekontoret, mens 3 inngår i Svartisprosjektets arbeidsoppgaver, 2 breer måles av Norsk Polarinstitut mens de 2 siste er utført som en del av Arve M. Tvedes egen hovedfagsoppgave.

Rapportens annen del inneholder 4 enkeltartikler som, i motsetning til den første delen, ikke utelukkende baseres på data innsamlet i 1971. Målinger av energibalansen ble igangsatt på 2 breer i 1970 og er fortsatt også i 1971. Resultatene er nå sammenstillet med tilsvarende målinger utført tidligere og på andre breer. Videre er snødekkets fordelingsmønster på en utvalgt bre sammenliknet gjennom 2 vintre ved å forsøke nye metoder i analysen. De to siste artiklene må begge sees som innledende forsøk på å etablere forenklede målerutiner på breene. En av artiklene behandler korrelasjoner mellom meteorologiske målinger på de enkelte brestasjoner og observasjoner ved utvalgte offisielle værstasjoner, mens den siste artikkelen tar for seg korrelasjoner mellom nettobalansen målt på enkelte staker på en bre og resultatet for hele breen, utregnet på konvensjonell måte.

Innholdsfortegnelsen informerer om hvem som har skrevet de enkelte artikler og av innledningen framgår det hvem som finansierer de enkelte undersøkelser. Som vanlig har Bård Braskerud tegnet de fleste illustrasjoner og Agneta Hertzberg har renskrevet manuskriptet. Rapporten er trykt i Statskraftverkernes hustrykkeri. Tilkomsten av rapporten er også i høy grad et resultat av det grundige feltarbeid som ble utført av hydrologer, teknikere og en rekke sommerassistenter.

Oslo i februar 1973

Gunnar Östrem

INNHold

Side

Materialhusholdningen, meteorologiske og hydrologiske undersøkelser ved utvalgte breer (Arve M. Tvede).	4
Innledning	4
Metodikk	6
Numerisk beregning av massebalansen (Lars Roald)	9
Ålfotbreen	11
Folgefonna	18
Vesledalsbreen	20
Tunsbergdalsbreen	26
Nigardsbreen	30
Hardangerjøkulen (Olav Liestøl)	36
Hellstugubreen	39
Vestre Memurubre	42
Austre Memurubre	43
Gråsubreen	49
Høgtuvbreen (Lars Kr. Dyrkorn)	51
Engabreen "	52
Trollbergdalsbreen "	58
En sammenlikning av materialhusholdningen på de enkelte breer	62
Snøens fordelingsmønster på Midtre Folgefonna vinterene 1969/70 og 1970/71. (Arve M. Tvede)	68
Glacial-meteorologiske undersøkelser i 1971. (Sigmund Messel)	72
Innledning	72
Metoder og instrumenter	73
Resultater	75
Diskusjon	81
En undersøkelse over sambandet mellom nettobalansen målt på enkelte staker og den totale nettobalanse. (Lars Roald)	83
Innledning	83
Metodikk	85
Resultater	85
Diskusjon	86
Konklusjon	89

	Side
Litt om sambandet mellom værparametre målt ved breene og på faste værstasjoner i nærheten. (Lars Roald)	90
Innledning	90
Metodikk	90
Resultater	93
Diskusjon	97
Konklusjon	99
Summary	
Mass balance studies, meteorological and hydrological investigations at selected glaciers	100
Snow pattern variations on Folgefonni	105
Special radiation studies	106
Net balances calculated from single stake values	106
Correlations between meteorological data measured near the glaciers and at standard weather stations	107
Litteratur	109

MATERIALHUSHOLDNINGEN, METEOROLOGISKE OG HYDROLOGISKE UNDERSØKELSER VED UTVALGTE BREER

Innledning

I 1971 er det av Norges vassdrags- og elektrisitetsvesen foretatt glasiologiske undersøkelser på 8 breer i Sør-Norge (fig. 1). Disse breene faller naturlig i 4 grupper, 1) Ålfotbreen, 2) utløpere fra Jostedalsbreen og 3) breer i Jotunheimen.

På Ålfotbreen foretas undersøkelsene på en nordvendt brearm. Denne drenerer til store Åskåra som nå er ferdig utbygd av Sogn og Fjordane fylke. Undersøkelsene her er pålagt utbyggeren ved konsesjon, og utgiftene deles like mellom Elektrisitetsforsyningen i Sogn og Fjordane fylke og Hydrologisk avdeling. Målingene har pågått siden høsten 1962. Foruten materialbalansemålinger er det foretatt endel spesielle meteorologiske målinger.

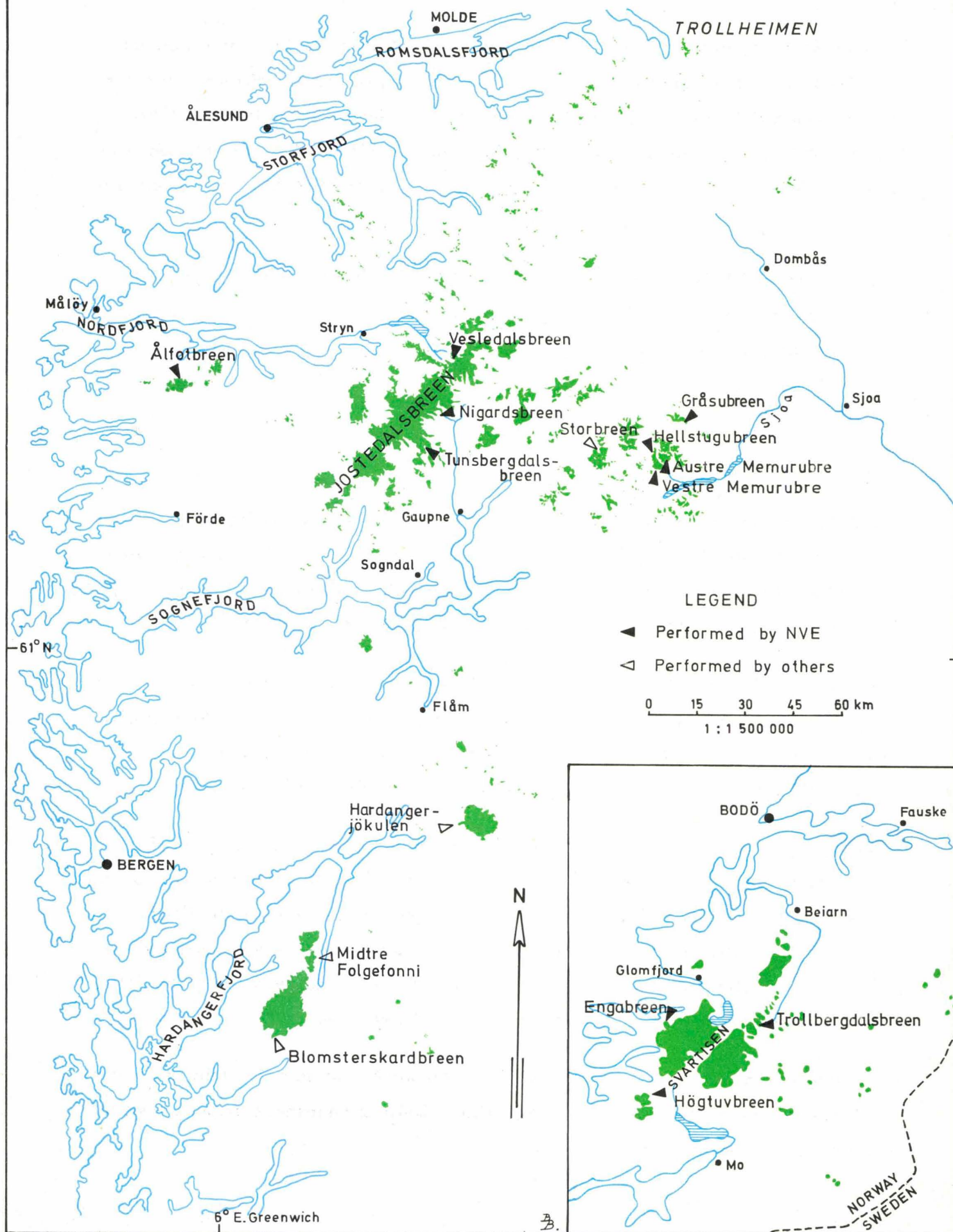
På Jostedalsbreen er det i 1971 foretatt materialbalansemålinger på 3 forskjellige brearmer, Vesledalsbreen, Tunsbergdalsbreen og Nigardsbreen. På Nigardsbreen og Vesledalsbreen er det dessuten foretatt meteorologiske observasjoner, og avløpet i breelvene er registrert. Arbeidet begynte på Nigardsbreen i 1962. I 1966 ble målinger igangsatt på Tunsbergdalsbreen, og i 1967 på Vesledalsbreen. Undersøkelsene bekostes av Statskraftverkene.

På Hardangerjøkulen er materialbalansen målt på Rembesdalsskåki som drenerer til Simadalen og inngår i Eidfjord-anleggenes interesseområde. Undersøkelsene, som ble igangsatt i 1963, er fra og med 1971 finansiert av Norsk Polarinstitutt.

I Jotunheimen er materialbalansen målt på Hellstugubreen, Vestre og Austre Memurubre og Gråsubreen. På Austre Memurubre er det også foretatt meteorologiske observasjoner og avløpet fra breen er registrert. Målingene på Hellstugubreen og Gråsubreen har pågått siden 1962, på Austre Memurubre siden 1967 og på Vestre Memurubre siden 1968. Arbeidet bekostes delvis av Statskraftverkene og delvis av Hydrologisk avdeling. Arbeidene på Jostedalsbreen og i Jotunheimen inngår i forundersøkelsene for generalplanen for utbygging av "Jotunheimen Vest", som nå er under utarbeidelse av Statskraftverkene.

I 1970 ble det satt igang målinger av Engabreen og Trollbergdalsbreen i Svartisområdet, Nordland fylke. Disse ble supplert med en utløper av Høgtuvbreen 1971. Undersøkelsene er en del

Fig.1 MASS BALANCE STUDIES OF NORWEGIAN GLACIERS 1971



av Svartisundersøkelsene som ledes av statshydrolog Lars Kr.Dyrkorn og bekostes av Statskraftverkene.

For sammenlikningens skyld er det i denne rapport også tatt med resultater av massebalansemålinger på Storbreen i Jotunheimen, Midtre Folgefonna og Blomsterskardbreen. Storbreen måles av Norsk Polarinstitut og måleserien går her helt tilbake til 1948 (Liestøl, 1967). Midtre Folgefonna og Blomsterskardbreen (sørlige Folgefonna) undersøkes av cand.mag.Arve M. Tvede og målingene er et ledd i en hovedfagsoppgave ved Geografisk Institutt, Universitetet i Oslo.

Tilsammen er det i 1971 foretatt massebalansemålinger på 15 breer i Norge. Dette er det høyeste antall som til nå er målt og samtidig det høyeste antall massebalansemålinger foretatt samtidig innen et nasjonalt område.

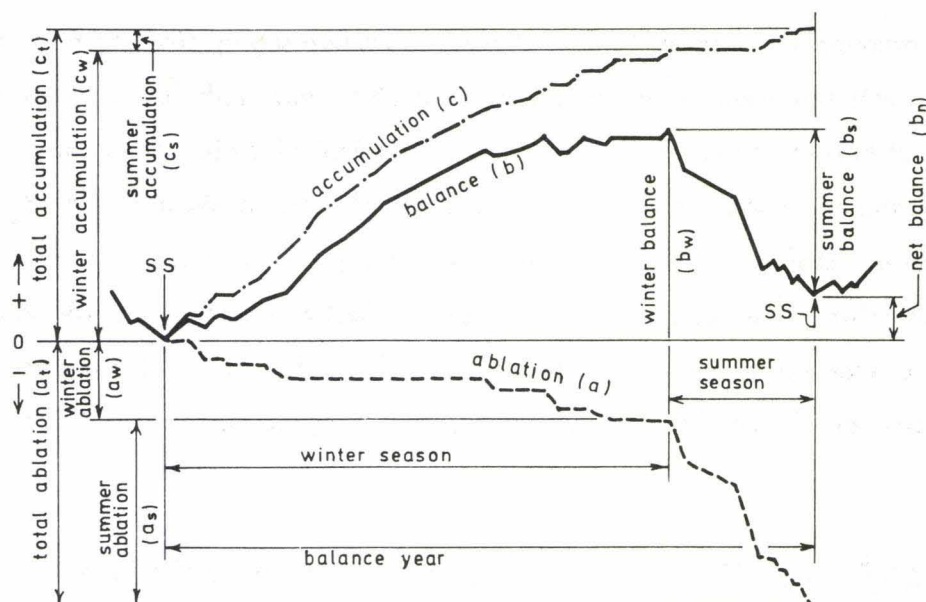
Metodikk

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

Målingene er i 1971 fortsatt etter tidligere års prinsipper som en har funnet hensiktsmessig ved praktisk bruk. Terminologien bygger på de retningslinjer som er utarbeidet av "Commission on Snow and Ice of the International Association of Scientific Hydrology" og offentliggjort av Unesco i 1969. Betydningen av de forskjellige termer og symboler er illustrert på fig. 2.

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

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



SS=time of formation of a summer surface

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.

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

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

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

Sommerbalansen måles i utvalgte punkter på breen ved at de horisontale forandringer ved stakene registreres gjennom sommeren. Dette gjøres ved å ta parallelle målinger av stakenes

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

Nettobalansen beregnes som den algebraiske sum av vinterbalansen og sommerbalansen

($b_n = b_w + b_s$) og er positiv i det tilfellet at breen har øket sin masse i løpet av balanseåret, negativ dersom breens masse er blitt mindre. Gjennom de punkter på breen hvor nettobalansen er null kan trekkes en såkalt likevektslinje.

Bearbeiding av målingene. Meget av utregningsarbeidet er tidkrevende når det skal gjøres for hånd. En prøver derfor å la den maskinelle bearbeiding overta planimetreringsarbeidet i størst mulig grad. Et dataprogram utarbeidet av sivilingeniør P. Solberg er tilpasset NVE's dataanlegg. Dette programmet vil planimetrere kartene over vinter- og sommerbalansen etterat disse er ferdig tegnet og beregne de tilhørende verdier. Programmet og dets anvendelse presenteres nærmere på s. 9. Ellers kan nevnes at Hellstugubreen i år er beregnet og presentert på et nytt kart, utarbeidet etter flyfotografier fra 1968.

Meteorologiske og hydrologiske observasjoner og beregninger

Disse er stort sett foretatt etter samme mønster som forrige år ved at målinger av strålingsbalansen på den maritime Ålfotbreen og den mer kontinentale Austre Memurubre i Jotunheimen er fortsatt. Målingene er ment å skulle danne basis for en beregning av de forskjellige meteorologiske faktorerers innflytelse på smelteprosessen, både som et gjennomsnitt for hele sommeren og i kortere perioder med forskjellige værforhold. Beregninger og presentasjon av materialet er utført av cand.real. S. Messel og finnes på s. 72 i denne rapport.

Ellers er registreringer av skydekket, vindretning og styrke, lufttemperaturen og nedbør foretatt etter omtrent det samme mønster som tidligere år (se Pytte, 1970). Erfaringene fra den dårlige sommeren 1970 viste at selvregistrerende instrumenter lett kan komme til å fungere dårlig når de ikke ettersees daglig. Sommeren 1971 valgte en derfor å utvide bemanningen slik at alle meteorologiske stasjoner var under kontinuerlig ettersyn.

Nytt av året er målinger av snøens frie vanninnhold. Dette ble utført på Austre Memurubre og Vesledalsbreen deler av sommeren ved den såkalte kaliometrimetoden. Årets målinger må ansees mer som et forsøk på å finne fram til en brukbar arbeidsmetodikk som gir pålitelige data. Resultatene vil ikke bli presentert i årets rapport. Målingene har interesse ved beregninger av varmebalansen og ved en nøyaktigere registrering av snøens tetthet. Også for avrenningsstudiene kan mengden av fritt vann i snødekket vise seg å være en fruktbar parameter.

Avløpet fra endel av de undersøkte breene registreres ved limnigrafer. Døgnavløpet er beregnet og satt inn i observasjonsdiagrammene sammen med de tilhørende meteorologiske observasjoner. Korrelasjonsberegninger mellom de meteorologiske faktorer og avrenningen fra breen er ikke utført i år da resultatene i fjorårets rapport foreløpig må ansees som endelige. Analysene vil bli tatt opp igjen når nye resultater foreligger.

Alle observasjonsdiagrammer er også i år tegnet maskinelt med kurveplotteren på NVE's dataanlegg. Programmet som utfører plottingen er utarbeidet av statshydrolog J. Andersen og metoden er arbeidssparende selv om endel ettertegning alltid vil være nødvendig for publikasjonsøyemed.

Numerisk beregning av massebalansen

Da arbeidet med å planimetrere kartene for vinter- og sommerbalansen kan være relativt omfattende, har man forsøkt å få utført dette automatisk. I 1968 ble massebalansen beregnet av A/S BYGGEDATA, jfr. Pytte (1970). Programsystemet som ble anvendt, var meget komplisert. Kjøretiden og omkostningene var av en slik størrelsesorden at disse beregningene ble oppgitt.

Ønsket om å få et enklere program, som kan kjøres på NVE's CDC-3200 maskin, har derfor ført til utprøving av to nye datarutiner i Brekontorets regi. Begge programmene baseres på at et aksekors legges inn på arbeidskartet over breen. Koordinatene til punkter langs brekonturen avleses og punches på datakort. Begge programmene beregner massebalansen for et høydeintervall om gangen og summerer opp resultatene til slutt.

Det ene programmet, SNVL, er skrevet av M.H.Diskin. Programmet utfører beregning av massebalansen på grunnlag av punktverdier av vannverdien. Om hvert punkt legges så inn et Thiessen-polygon. Arealet til de delene av polygonene som ligger innenfor det betraktete

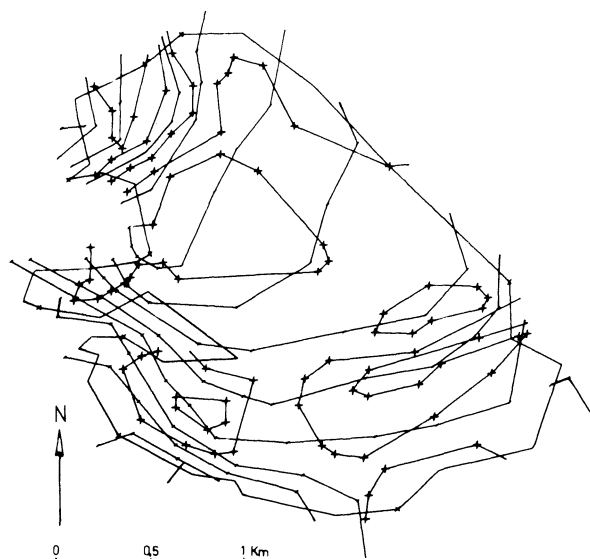


Fig. 3 Plottekart over fordelingen av vinterbalansen på Vesledalsbreen 1971. Plottingen er utført av en datamaskin. Sammenlikn med fig. 12

Map showing distribution of winter balance on Vesledalsbreen 1971, drawn by a computer. Compare the draftsman's map in Fig. 12.

høydeintervallet, blir bestemt. Delvolumene framkommer ved multiplikasjon av delarealene med punktenes vannverdier. En nærmere beskrivelse er gitt i Diskin (1970).

Det andre programmet, BALANSE, er skrevet av siv.ing. P.C.Solberg, EDB-Konsulent A/S. Programmet forutsetter at nunatakkens omriss, kotene og isolinjene også er digitalisert. Arealet til hvert delområde som avgrenses av isolinjene innenfor hvert høydeintervall blir bestemt ved numerisk integrasjon. Balansetallene framkommer ved at delarealet multipliseres med midlere vannverdi til de to avgrensende isolinjene.

De to programmene arbeider prinsipielt på to forskjellige måter. Sammenlikner man de to algoritmene for arealberegningen vil man finne at SNVL's algoritme er beheftet med en viss regneunøyaktighet som ikke finnes i BALANSE. Denne unøyaktigheten kan reduseres vesentlig, men da økningen i kjøretiden er proporsjonal med kvadratet av forbedringsgraden, vil man i praksis måtte operere med en viss feilmargin. Av større betydning for sluttresultatet i begge programmene er digitaliseringsmåten. Er punkttettheten liten langs sterkt krumme konturer, vil man få en under-eller overestimering av arealet avhengig av om krumningen er konveks eller konkav.

Betrakter man beregningsresultatene for enkelte høydeintervaller vil man finne feil av størrelsesorden 6% for BALANSE og 10% for SNVL. Da feil som skyldes digitaliseringen av kotene, systematisk vil oppheve hverandre på breen, blir avviket mellom planimetrert og beregnet nettobalanse vesentlig mindre, for BALANSE 1% og for SNVL 5%. Disse resultatene må begge sies å være meget tilfredsstillende sett i forhold til de usikkerhetsgrenser Pytte (1970) angir.

SNVL er et lite program som lett får plass i core i NVE's datamaskin. Den vesentlige ulempen ved dette programmet er kjøretiden. For en fullstendig beregning av vinterbalansen på Ålfotbreen var kjøretiden ca. 30 min. BALANSE derimot er meget hurtig. På 15 minutters kjøretid vil man kunne få behandlet alle breene i Sør-Norge. Programmet er imidlertid meget plasskrevende, i dets nåværende form har man måttet utelate to sekundære subrutiner. Det er videre lett å foreta digitaliseringer av isolinjene som strider mot programmets forutsetninger.

For å unngå slike digitaliseringsfeil har L.Roald ved Brekontoret utarbeidet en plotterrutine, BALPLOT, som plotter breenes omriss, koter, nunatakker og evt. isolinjer, slik at feilene kan påvises visuelt. Fig. 3 viser en plotting av vinterbalansen på Vesledalsbreen 1971.

I det fortsatte arbeidet vil man anvende program BALANSE og BALPLOT som nå er innlagt i VH's programbibliotek under navnene VHBB3 og VHBB2.

Ålfotbreen

Materialhusholdningen

Vinterbalanse. Breen ble besøkt 15.desember, 18.februar og 17.-18.mars. Snømengden økte forholdsvis jevnt utover vinteren, i desember var det kommet mellom 2,5 og 3 meter og i februar lå snødypet ved stakene på fra 5,5 til 7 meter. Selv om 15 staker ble funnet og skjøtt i desember, var alle forsvunnet i februar. Hovedmålingene ble utført så tidlig som 17.-18.mars fordi en fryktet at store snømengder ville vanskeliggjøre arbeidet seinere på våren. 195 sonderinger ble tatt jevnt fordelt over hele breflaten, fig. 4, og snødypet lå mellom 5 og 8 meter. Den markerte sommeroverflaten fra 1970 gjorde at sonderingsarbeidet ble lettere å utføre enn ventet. Ut fra temperaturobservasjoner i Førde er det beregnet at nedbøren akkumulerte som snø på deler av breen fram til 21.mai, med avbrudd for perioden 4. til 12.mai. Ved å bruke det tidligere beregnete forholdstall mellom nedbøren målt i Svelgen og nedbøren i brefeltet (Tvede, 1971) kan en beregne tilleggsakkumulasjonen på breen. Dette er gjort fra 19.mars til 21.mai for 3 forskjellige høydenivåer. Verdiene varierer fra ca. 80 cm nederst til 95 cm på toppen av breen.

Totalt er da vinterbalansen beregnet til $20,5 \cdot 10^6 \text{ m}^3$ eller 4,29 meter spesifikt fordelt (135 l/s km^2).

Part of ÅLFOTBREEN 1971
Position of stakes, pits and sounding profiles

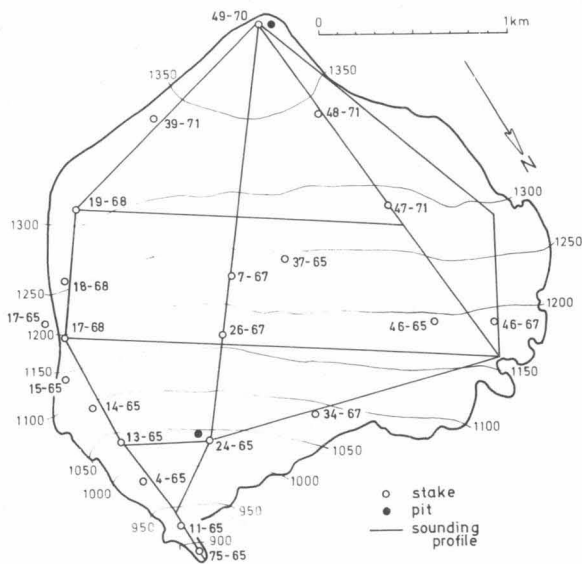


Fig. 4 Beliggenheten av staker, sjakter og sonderinger på Ålfotbreen 1971.

The location of stakes, pits and soundings on Ålfotbreen 1971.

Part of ÅLFOTBREEN 1971
Winter balance in cm of water equivalent

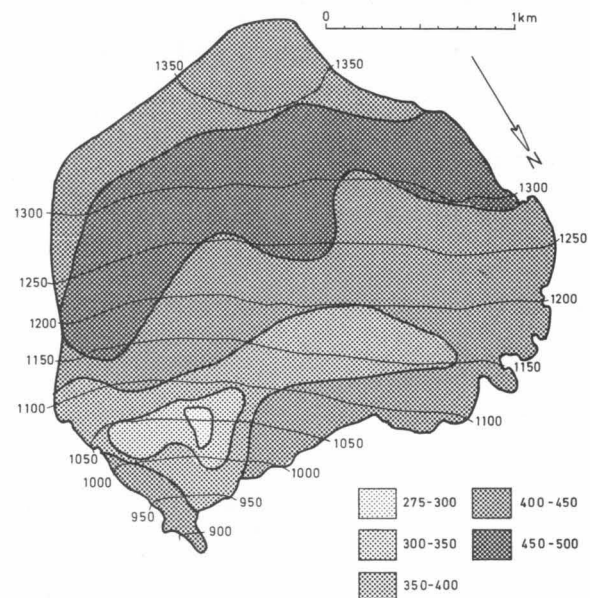


Fig. 5 Kart over vinterbalansen 1971.

Map showing the winter balance 1971.

Sommerbalansen. Da stakene ble avlest 2. juni, var smeltingen kommet godt igang. En fant fra 0 til 65 cm snø akkumulert over plater utlagt ved stakene i mars. Utover sommeren ble stakene kontrollert forholdsvis hyppig og siste gang 5. september. Alle fjorårets staker dukket etterhvert fram med unntak av de høyestliggende, nr. 39, 47, 48 og 49. Sommeren var relativt kjølig med hyppige snøfall. Viktig for ablasjonshastigheten er det også at disse snøfallene kom med jevne mellomrom gjennom hele sommeren. Albedoen holdt seg av den grunn forholdsvis høy, hvilket medførte stor strålingsrefleksjon og følgelig mindre ablasjon. Se forøvrig kapitlet om varmebalansen for en mer inngående beskrivelse av ablasjonsforholdene på Ålfotbreen sommeren 1971.

Snøfallene ble målt såpass nøyaktig at et kart over den totale sommerakkumulasjonen kan utarbeides, se fig. 6 og middeltallet for hele breen beregnes. Fordelingen er meget jevn og i alt vesentlig avhengig av høyden. Sommersnøfallene fordeler seg altså mer regelmessig enn vintersnøen fordi vinddriften hindres om sommeren. Totalt beløp sommerakkumulasjonen seg til $0,95 \cdot 10^6 \text{ m}^3$ eller 19,6 cm vann jevnt fordelt.

Endel ablasjon forekom også etter 5. september slik at totalablasjonen er beregnet ut fra må-

Part of ÅLFOTBREEN 1971

Distribution of summer accumulation in cm of water equivalent

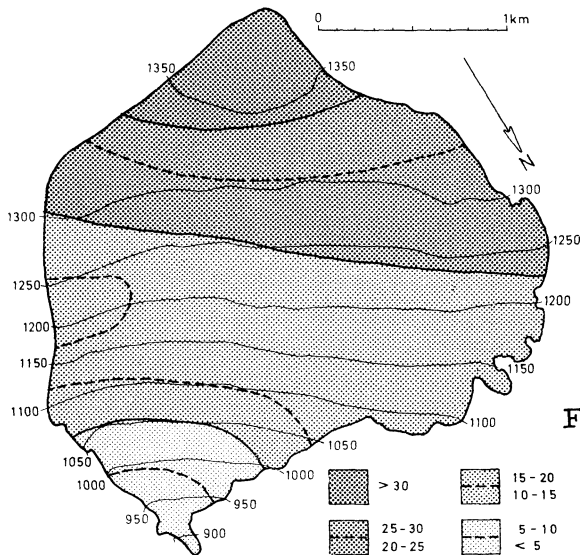


Fig. 6 Fordelingen av summert sommerakkumulasjon på Ålfotbreen i løpet av sommeren 1971. Fordelingsmønsteret baseres på målinger ved stakene.

Distribution of total summer accumulation on Ålfotbreen, summer 1971.

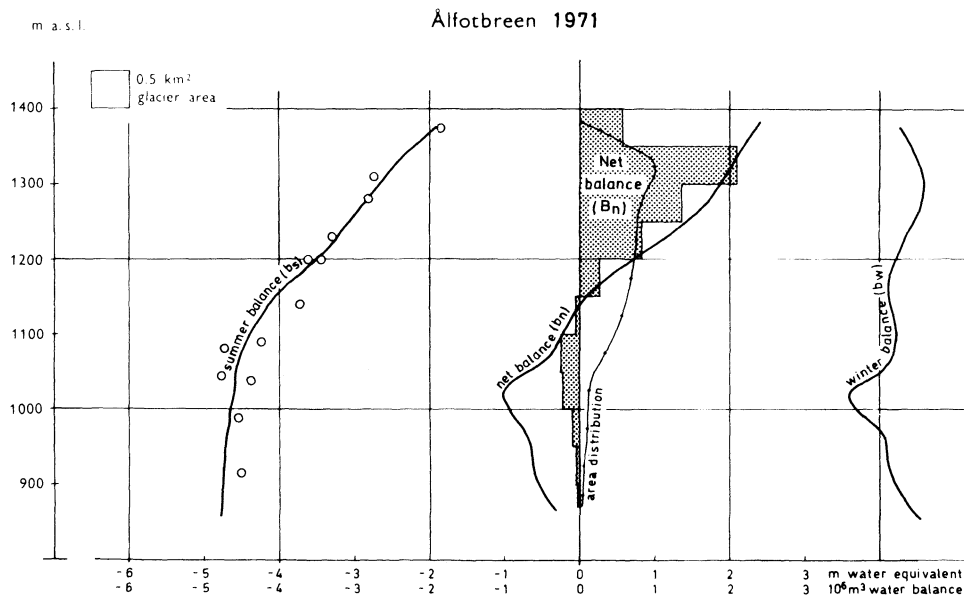


Fig. 7 Variasjonene med høyden over havet av vinter-, sommer- og netto-balanse, samt breens arealfordeling og arealverdier av netto-balansen i hvert 50 m høydeintervall.

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

linger 24. november. Sommerbalansen beløp seg til $16,0 \cdot 10^6 \text{ m}^3$, jevnt fordelt 3,35 m eller 106 l/s km^2 .

Nettobalanse. Ålfotbreen hadde i 1971 positiv nettobalanse og $4,5 \cdot 10^6 \text{ m}^3$ vann ble holdt tilbake på breen tilsvarende $0,94 \text{ m}$ vann (30 l/s km^2). Likevektslinjen lå 1140 m o.h. Breis var ved sommersesongens slutt synlig bare i et området rundt og nedenfor st. 24.

Meteorologiske og hydrologiske observasjoner

Alle meteorologiske observasjoner fra 1971 er framstilt visuelt på fig. 8 . Her skal som supplement gis endel resultater av mer kvantitativ art.

Sky- og vindforhold. Observasjonene kom igang 2.juni og ble avsluttet 4.september, totalt antall observasjonsdøgn er 95. Helt klart var det bare 5 dager, halvskyet eller klarere 20 dager mens det var helt overskyet 31 dager. Midlere skydekke i juni var 6,9, i juli 7,6 og i august 7,2. Middeltallet for hele perioden ble 7,3.

Vindstyrken var i middel $6,9 \text{ m/s}$ - det samme som for sommeren 1970. Juni hadde $3,5 \text{ m/s}$, juli $7,6 \text{ m/s}$ og august $7,5 \text{ m/s}$. Største vindhastighet $15,6 \text{ m/s}$ ble målt 24.august mens laveste verdi $1,1 \text{ m/s}$ forekom både 3. og 29.juni. 8 dager ble det målt vind av kuling styrke, større enn $10,8 \text{ m/s}$.

Temperaturforhold. Middeltemperaturen for hele observasjonsperioden ble $5,8^\circ\text{C}$. August ble den varmeste måned med middelverdien $6,6^\circ\text{C}$, juli hadde $5,2^\circ\text{C}$ og juni $4,5^\circ\text{C}$. Ingen dager hadde negative døgnmidler, laveste verdi $0,7^\circ\text{C}$ forekom 15.juni mens høyeste døgnmiddeltemperatur, $13,0^\circ\text{C}$, ble målt 30.juli. Utpreget kalde perioder hadde en fra 13.-21. juni og fra 12.-22.juli. Det var særlig disse dagene nedbøren kom som snø i området. Sommeren 1971 var generelt sett karakterisert ved en regelmessig vekslning mellom kalde og varme perioder, hvilket tydelig kan leses ut av fig. 8 . Fenomenet var enda tydeligere på Nigardsbreen, fig. 23, og Memurubreen, fig.36, hvor brevind ikke påvirker termografen nevneverdig, slik tilfellet er på Ålfotbreen.

Temperaturgradienten mellom observasjonsstedet (905 m o.h.) og Førde er som vanlig beregnet og verdiene for h.h.v. juni, juli og august ble $0,94$, $0,77$ og $0,81^\circ\text{C}/100 \text{ m}$. Middelveien fra 2.juni til 4.september var $0,83^\circ\text{C}/100 \text{ m}$.

Nedbørsforhold. Som foregående sommer ble nedbøren også i 1971 bare målt i 9 punkter på eller like ved breen. I pkt. 1 (observasjonshytta) og pkt. 8 var det montert pluviografer som kontinuerlig registrerte nedbørsintensiteten. Ved observasjonshytta ble nedbøren målt både i en normalmåler, en pluviograf og en pluviusmåler. Som vanlig er verdiene fra normalmåleren

ÅLFOTBREEN 1971

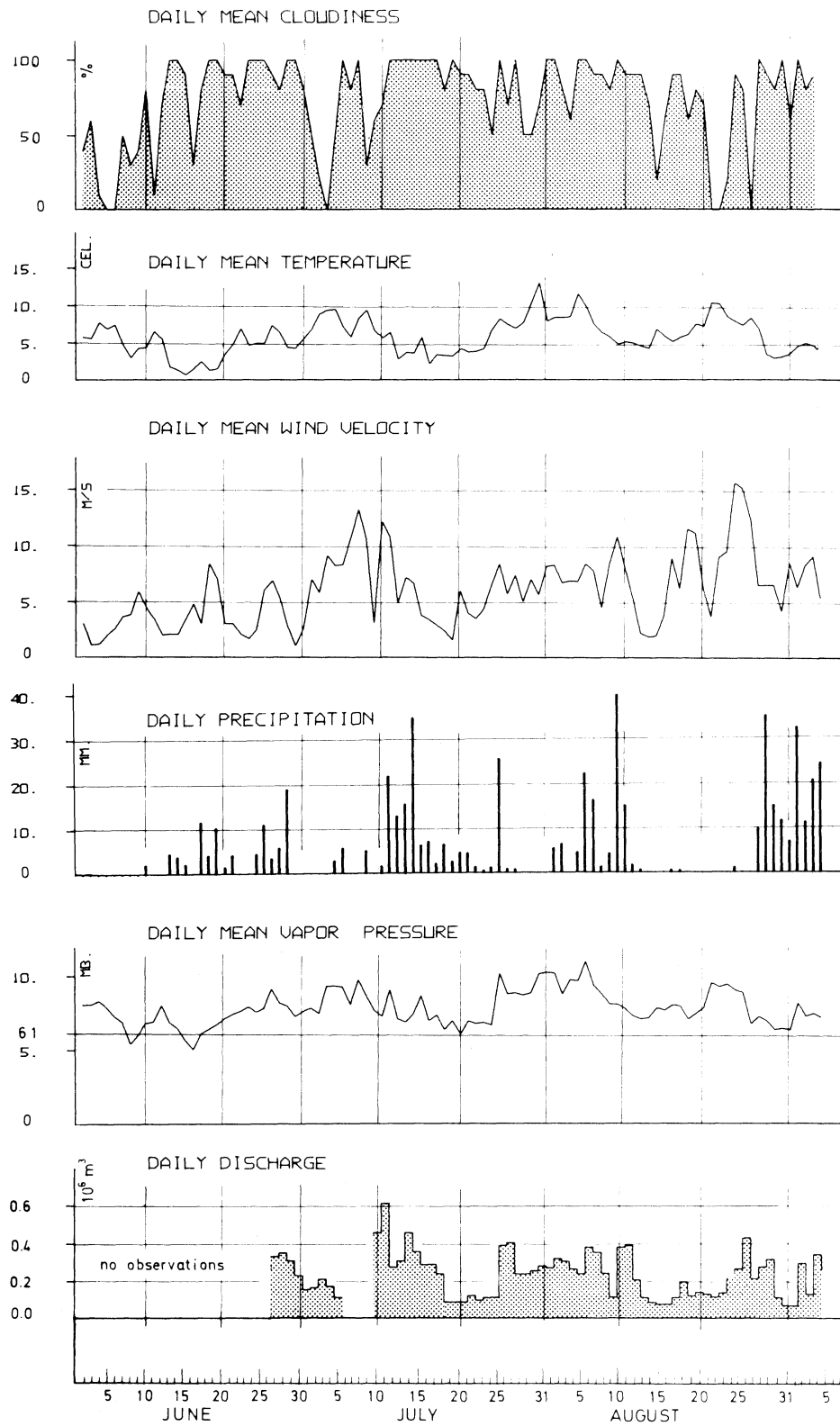
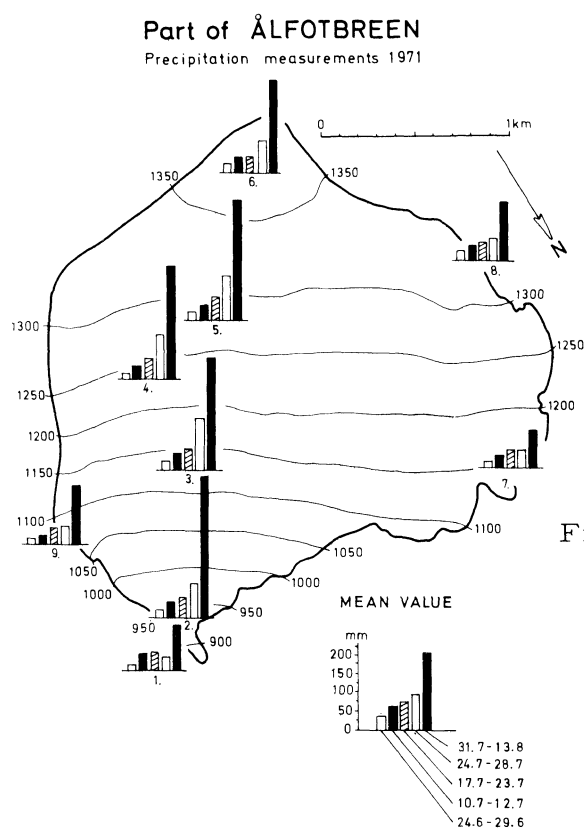


Fig. 8 Resultatene av de daglige meteorologiske observasjonene ved observasjonshytta.

The results of the daily meteorological and hydrological observations at Ålfotbreen.



Beliggenheten av nedbørmålere og de målte nedbørhøyder i 5 perioder i løpet av sommeren.

The location of precipitation gauges and the observed precipitation in 5 periods during the summer.

ÅLFOTBREEN 1971

Høyde intervall m o. h.	Areal S km ²	Vinterbalanse			Sommerbalanse			Nettobalanse		
		$B^w_{10^6 m^3}$	m	$b^w_{l/s km^2}$	$B^s_{10^6 m^3}$	m	$b^s_{l/s km^2}$	$B^n_{10^6 m^3}$	m	$b^n_{l/s km^2}$
1350-1380	0.245	1.043	4.26	134	0.469	1.91	60	0.574	2.35	74
1300-1350	1.029	4.658	4.53	143	2.564	2.49	79	2.094	2.04	64
1250-1300	0.797	3.638	4.56	144	2.280	2.86	90	1.358	1.70	54
1200-1250	0.763	3.309	4.34	137	2.480	3.25	103	0.829	1.09	34
1150-1200	0.651	2.698	4.14	131	2.472	3.80	120	0.226	0.34	11
1100-1150	0.552	2.303	4.17	132	2.345	4.25	134	-0.042	-0.08	-3
1050-1100	0.358	1.379	4.17	132	1.614	4.51	142	-0.235	-0.34	-11
1000-1050	0.216	0.775	3.59	113	0.992	4.59	145	-0.217	-1.00	-32
950-1000	0.124	0.496	4.00	126	0.588	4.73	149	-0.092	-0.73	-23
900-950	0.047	0.193	4.11	130	0.223	4.75	150	-0.03	-0.64	-20
870-900	0.004	0.018	4.38	107	0.019	4.75	150	-0.001	-0.37	-43
870-1380	4.786	20.510	4.29	135	16.046	3.35	106	4.464	0.94	30

presentert i observasjonsdiagrammet. De tre målerne viser, også som vanlig, store interne forskjeller fordi pluviusen oppfanger mer nedbør enn pluviografen som igjen fanger litt mer enn normalmåleren. En forklaring på dette forholdet kan en sannsynligvis oppnå ved å analysere målerne eksposisjon mot vindretning og hastighet. En slik analyse vil bli forsøkt gjennomført i neste års rapport.

Totalt falt det i juni 87 mm, i juli 163 mm, i august 199 mm og fra 2. juni til og med 4. september 538 mm nedbør. Under de kjølige periodene i juni og juli falt det endel snø og sludd også ved observasjonshytta. I pluviografen ved pkt. 8 (1325 m o.h.) falt store deler av nedbøren i fast form og målingene herfra ble derfor mindre pålitelige denne sommeren.

Nedbørsmålerne på breen ble tømt forholdsvis regelmessig, men de mange dager med snøfall gjør at pålitelige nedbørsobservasjoner bare forekommer i 5 perioder. Av disse kan igjen 3 ansees som snøfrie. Nedbørsfordelingen i de 5 periodene er framstilt visuelt på fig. 9 mens de 3 gode periodene er behandlet mer kvantitativt slik at gjennomsnittlig nedbør i hele dreneringsområdet kan beregnes. For å finne nedbørsmengden pr. flateenhet i det snøfrie området, er samme framgangsmåte som beskrevet i forrige års rapport brukt.

I tabellform er satt opp en sammenlikning med nedbørsverdier målt på stasjonene Svelgen (P_S), Davik (P_D), Ålfoten (P_A) og middelnedbøren ved disse 3 stasjonene (P'). De 3 aktuelle periodene for 1971 er behandlet separat ved siden av en tabell som viser koeffisientene for alle analyserte nedbørsperioder fra 1965 til 1971. Det kan bemerkes at koeffisientvariasjonene fra periode til periode og fra år til år muligens kan forklares bedre dersom en foretar en oppdeling på grunnlag av forskjellige vær-situasjoner.

Periode	P mm	P_S mm	$\frac{P}{P_S}$	P_D mm	$\frac{P}{P_D}$	P_A mm	$\frac{P}{P_A}$	P' mm	$\frac{P}{P'}$
(1) 24.6 - 29.6	41.4	28.8	1.4	31.8	1.3	18.3	2.3	26.3	1.6
(2) 24.7 - 28.7	31.3	21.4	1.5	20.7	1.5	11.8	2.7	18.0	1.7
(3) 31.7 - 13.8	220.7	86.3	2.6	86.5	2.6	54.8	4.0	75.9	2.9
Sum	293.4	136.5	2.1	139.0	2.1	84.9	3.5	120.2	2.4

Nedbørskoeffisienter 1965-71

Periode	$\frac{P}{P_S}$	$\frac{P}{P_D}$	$\frac{P}{P_A}$	$\frac{P}{P'}$
1965	2.5	2.9	4.0	3.2
1966	2.5	2.8	3.0	2.8
1967	1.4	2.4	2.9	2.0
1968	1.9	2.4	3.3	2.4
1969	1.9	2.4	3.9	2.5
1970	1.6	2.6	2.4	2.1
1971	2.1	2.1	3.5	2.4
1965-71	2.0	2.5	3.3	2.5

Luftfuktighet. Sommeren 1971 var det bare 5 døgn hvor vanndamptrykket var lavere enn 6,1 mb. 4 av disse forekom i den kalde perioden fra 8. til 20. juni. De resterende 90 dager var luften derimot så mettet med vanndamp at noen sublimasjon fra en smeltende snøflate ikke kunne foregå. Tilsvarende var det samtidig store muligheter for kondensasjon på breen. Se forøvrig S. Messels artikkel, s. 72, som mer inngående behandler disse og beslektede problemstillinger. Midlere vanndamptrykk for juni, juli og august ble 7,2 mb, 8,0 mb, 8,1 mb og for hele måleperioden 7,8 mb.

Avrenning. Limnigrafen i Breelva (VM 1775) fungerte bra fra 26. juni ut observasjonssesongen med unntak for et avbrudd 4 dager i juli. Daglig avløp er plottet inn i observasjonsdiagrammet fig. 8. Total avrenning for 67 observasjonsdøgn ble $22,2 \cdot 10^6 \text{ m}^3$ hvilket gjennomsnittlig gav $0,234 \cdot 10^6 \text{ m}^3$ pr. døgn.

Folgefonna

Innledning

Massebalansemålinger på Folgefonna ble utført av Brekontoret 6 år i perioden 1963-1968. Det undersøkte området som måler $19,8 \text{ km}^2$, omfattet Søndre Folgefonnis nordre del, se f.eks. Pytte 1969, s. 18. Området dekket både øst- og vestvendte breområder.

Som et ledd i en generell undersøkelse av hele Folgefonnis glasio-klimatiske forhold, utførte Arve Tvede i balanseårene 1969/70 og 1970/71 massebalansemålinger av Midtre Folgefonna og Blomsterskardbreen, se fig. 1. Undersøkelsene dannet noe av grunnlaget for en hovedfagsoppgave i geografi ved Universitetet i Oslo (Tvede 1972).

Midtre Folgefonna er en liten, selvstendig platåbre som totalt omfatter $12,6 \text{ km}^2$. I massebalansemålingene er det kuttet ut noen områder i nord- og sørenden av breen som ikke er deler av selve platåformen. Det undersøkte området blir da $8,8 \text{ km}^2$ stort og er sammensatt av en nordvestlig, en nordøstlig, en østlig og en sørlig utløper, se fig. 54. Midtre Folgefonna spenner over et høydeintervall fra 1580 ned til 1100 m o.h.

Blomsterskardbreen omfatter et $45,7 \text{ km}^2$ stort dreneringsområde på sørsiden av Søndre Folgefonna. Breutløperen er sammensatt av to bretunger hvor hovedtunga går ned i Blådalen og drenerer til Elådalsvassdraget. Den andre bretunga ender i Blomsterskardvatn (1030 m o.h.)



Fig. 10

Blomsterskardbreen fotografert 10. september 1971. Fotoretningen er mot nord.

Blomsterskardbreen and Southern part of the Folgefonni ice-cap, September 10, 1971. The glacier surface is smooth and suitable for field work.

og drenerer naturlig til Sandviksvassdraget, men fra desember 1970 er avløpet kunstig overført til Blådalsvassdraget. Blomsterskardbreen som er Folgefonnis største breutløper, har et toppunkt på 1640 m o.h. og strekker seg ned til 820 meter.

Breflaten er overalt meget jevn, se fig. 10, og heller gjennomsnittlig 7° mot sør.

Resultater.

I balanseåret 1970/71 ble vinterbalansemålingene foretatt i første halvdel av april. På Blomsterskardbreen ble det tatt 160 sonderinger. Fordelingsmønsteret viser et jevnt stigende snødyb opp til 1550 m o.h., men med en ubetydelig senkning herfra mot toppunktet. Snømengder rundt 7 meter var vanlig på de høyeste partiene. Ablasjonen ble målt på 10 staker som alle ble avlest og kontrollert 5 ganger iløpet av sommeren og siste gang 18. september.

Spesifike verdier for vinterbalansen på Blomsterskardbreen ble 2,85 meter, for sommerbalansen 1,87 og følgelig viste nettobalansen et overskudd på 0,98 meter (31 l/s km^2). Likevektslinjen lå 1240 m o.h.

På Midtre Folgefonni ble det tatt 460 sonderinger av snødypet. Fordelingsmønsteret er på denne breen meget uregelmessig (fig. 55) og sterkt betinget av eksposisjonen mot vindretningen. Sommerbalansen ble målt på 14 staker, jevnt fordelt over breflaten.

Vinterbalansen på Midtre Folgefonni er spesifikt beregnet til 2,33 m. Sommerbalansen ble

1,96 m og følgelig kom breen ut med et overskudd på 0,37 meter som igjen tilsvarer 12 l/s km^2 . Alle delsektorene på Midtre Folgefonna hadde overskudd i balanseregnskapet, størst var dette på nordøstsiden med 0,65 m og minst på sørsiden med 0,14 meter. Likevektslinjen lå gjennomsnittlig 1285 m o.h., men varierte fra 1180 meter på nordøstsiden til 1385 meter på sørsiden.

Diskusjon

Massebalansemålingene på Folgefonna ble utført for å kunne kvantifisere hvilke klimafaktorer som forårsaker regionale variasjoner i likevektslinjens høyde langs dette breområdet. Ved å overføre den temporære snøgrensen på en gitt dato (10. august 1959) fra flybilder til et kart over breen, viser det seg nemlig at høyden av denne temporære snøgrensen steg fra ca. 1350 m o.h. i området ved Blomsterskardbreen til over 1500 meter på Midtre Folgefonna og områdene rundt denne breen. Hevingen av snøgrensen fra sør mot nord kunne tenkes å ha årsak i en av følgende faktorer: a) økende vinternedbør i sørlige deler, b) minkende sommerbalanse mot sør eller c) en kombinasjon av a og b.

Massebalanserresultatene viste for året 1971 at ved å sammenlikne like høydeintervaller (1100 – 1600 m o.h.) kunne en skille ut alternativ c som den forklarende årsak. Sommerbalansen var i dette høydeintervallet 8% lavere på Blomsterskardbreen enn på Midtre Folgefonna, mens vinterbalansen var hele 26% større på Blomsterskardbreen. Økende nedbør på sørsiden av Folgefonna betyr altså 3 ganger så mye som minkende ablasjon. At ablasjonen avtar mot sør er også, ihvertfall delvis, en funksjon av den økende nedbøren. Mengden av nedbør som faller som sommersnø, vil tilta med økende totalnedbør. Dette vises tydeligst ved at forskjellen i ablasjonsverdier er størst i de høyeste nivåene hvor en har hyppige snøfall om sommeren. I intervallet 1500–1550 m o.h. er f.eks. forskjellen hele 22% mellom Blomsterskardbreen og Midtre Folgefonna. Hvilken bremsende innvirkning sommerakkumulasjon har på ablasjonshastigheten kan forøvrig leses ut av fig. 14

Resultater av massebalansemålingene på Folgefonna sammenliknes med tilsvarende verdier for andre breer på s. 63 og fig. 50

Vesledalsbreen

Materialhusholdningen

Vinterbalanse. På Vesledalsbreen ble stakene skjøtt 6. januar. 9 staker ble da funnet og snødyppet ved disse lå mellom 1,5 og 3 meter. Hovedmålingene foregikk 29.–30. april og 5 av

VESLEDALSBREEN 1971

Position of stakes, pits and sounding profiles

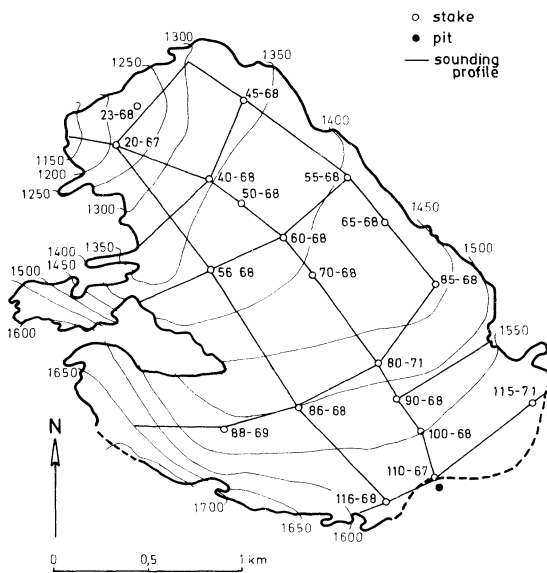


Fig. 11 Beliggenheten av staker, sjakter og sonderingsprofiler.

The location of stakes, pits and sounding profiles.

VESLEDALSBREEN 1971

Winter balance in cm of water equivalent

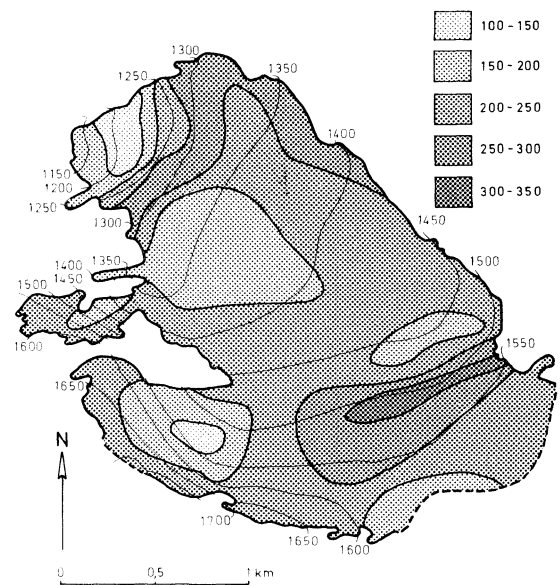


Fig. 12 Kart som viser vinterbalansen 1971.

Map showing the winter balance 1971.

originalstakene var fremdeles synlige. 147 sonderinger ble tatt langs et representativt mønster, fig. 11 og arbeidsforholdene viste seg å være meget gode over hele breflaten. Snødyppet varierte mellom 2,5 og 6 meter. Fordelingsmønsteret, fig. 12, avvek heller ikke fra tidligere års resultater. En kan muligens stusse over det markerte avblåste partiet like under Strynekåpa. Dette illustrerer et tilfelle hvor en rent intuitivt kunne vente motsatte forhold - nemlig en lokal snøoppsamling i le av fjellryggen. Helt lokale vindforhold vil muligens kunne forklare dette fenomenet.

Vinterbalansen er på grunnlag av målingene i slutten av april beregnet til $9,3 \cdot 10^6 \text{ m}^3$ vann hvilket tilsvarer et lag 2,21 m tykt (70 l/s km^2).

Sommerbalanse. Første stakeavlesing i sommersesongen ble tatt 10. juni. Utover sommeren ble stakene forholdsvis hyppig avlest og kontrollert. Alle fjorårets staker med unntak av nr. 80, smeltet etterhvert fram. Fra 24. juni til 1. september var en observatør også stasjonert på øvre hytte. En av observatørens arbeidsoppgaver var å utføre en daglig avlesning av stake nr. 116, 110 og 115. Kumulativ endring ved nr. 110 er vist grafisk i fig. 14 og kurven illustrerer godt ablasjonsforholdene sommeren 1971, ikke bare på Vesledalsbreen, men også til en viss grad på alle Sør-Norges breområder. Utpreget kalde perioder ga sommerakkumulasjon og sinket dermed

VESLEDALSGBREEN 1971

Høyde intervall m o. h.	Areal S km ²	Vinterbalanse				Sommerbalanse				Nettobalanse			
		B^w 10 ⁶ m ³	m	b^w l/s km ²		B^s 10 ⁶ m ³	m	b^s l/s km ²		B^n 10 ⁶ m ³	m	b^n l/s km ²	
1700-1730	0.018	0.041	2.28	72		0.020	1.13	36		0.021	1.15	36	
1650-1700	0.133	0.296	2.23	70		0.159	1.19	37		0.137	1.04	33	
1600-1650	0.159	0.337	2.12	67		0.201	1.26	40		0.136	0.86	27	
1550-1600	0.605	1.271	2.10	66		0.832	1.38	44		0.439	0.72	23	
1500-1550	0.585	1.439	2.46	78		0.761	1.30	41		0.678	1.16	37	
1450-1500	0.485	1.118	2.31	73		0.745	1.54	49		0.373	0.77	24	
1400-1450	0.743	1.642	2.21	70		1.393	1.87	59		0.249	0.66	21	
1350-1400	0.703	1.481	2.11	67		1.482	2.11	67		-0.001	0.00	0	
1300-1350	0.406	0.939	2.31	73		0.964	2.37	75		-0.025	-0.06	-2	
1250-1300	0.123	0.311	2.53	80		0.322	2.63	83		-0.011	-0.10	-3	
1200-1250	0.150	0.270	1.80	57		0.413	2.75	87		-0.143	-0.95	-30	
1150-1200	0.054	0.085	1.57	49		0.162	3.00	95		-0.077	-1.43	-45	
1125-1150	0.016	0.028	1.75	55		0.050	3.13	99		-0.022	-1.38	-44	
1125-1730	4.180	9.258	2.21	70		7.504	1.80	57		1.754	0.41	13	

VESLEDALSGBREEN 1971

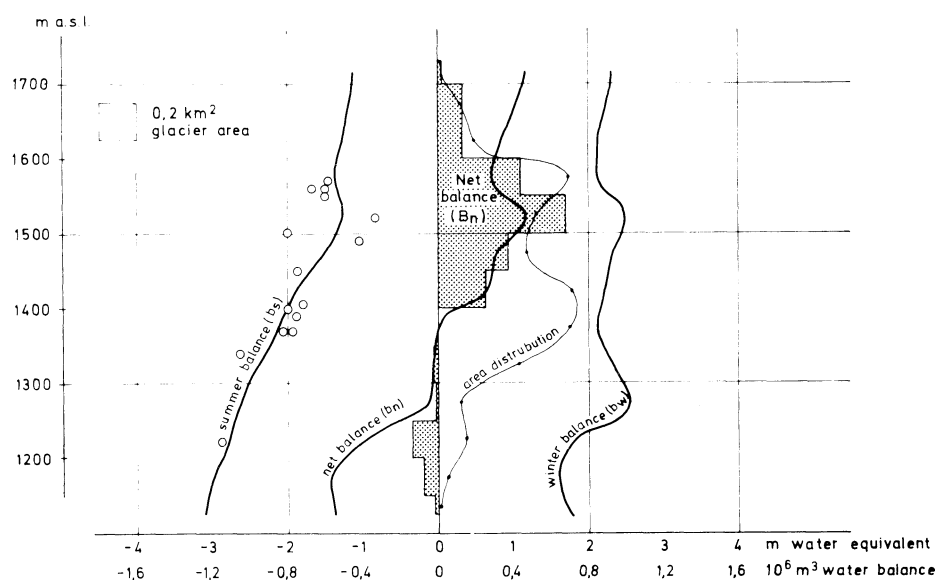


Fig. 13 Variasjonene med høyden over havet av vinter-, sommer- og netto-balansen, samt breens arealfordeling og arealverdier av netto-balansen i hvert 50 m høydeintervall.

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

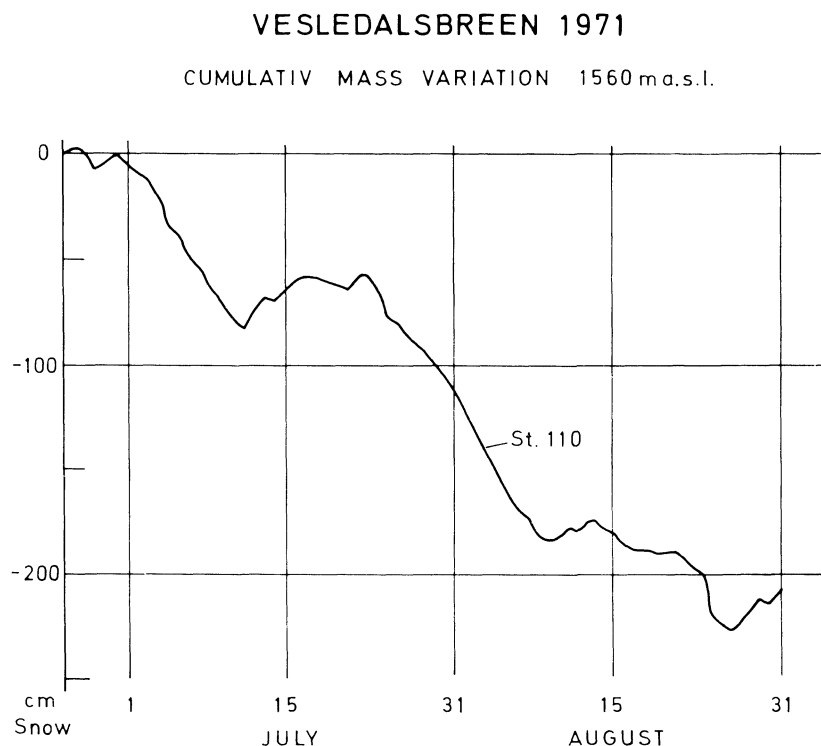


Fig. 14 Kumulativ masseforandring ved st. 110, sommeren 1971. Verdiene regnes i cm. snøhøyde.

Balance rate on Vesledalsbreen,
summer 1971.

ablasjonshastigheten betydelig. F.eks. var det ingen nettoablasjon i tidsrommet fra 11. til 27. juli. Også før 24. juni var det en periode med snøfall som ikke oppfanges av fig. 14. Det er for Vesledalsbreen ikke mulig å konstruere et kart over total sommerakkumulasjon lik for Ålfotbreen, men ved de daglige stakene ca. 1550 m o.h. kom det fra 10. juni til 31. august til sammen 150 cm snø, tilsvarende ca. 50 cm nedbør.

Sommerbalansen beløp seg totalt til $7,5 \cdot 10^6 \text{ m}^3$ eller 1,80 cm (57 l/s km^2) spesifikt fordelt.

Nettobalanse. Denne ble i 1971 positiv slik at breen øket sin masse med $1,8 \cdot 10^6 \text{ m}^3$. Jevnt fordelt blir dette et vannlag på 0,41 m, slik at vassdraget nedenfor er blitt unndratt 13 l/s km^2 fra hele breområdet. Likevektslinjen lå 1375 m o.h. Ellers vil balanseresultatene kunne leses ut fra tabellene s. 22 og fig. 13

Meteorologiske og hydrologiske observasjoner

På nedre hytte kom observasjonene igang 3. juni og strakk seg til 1. september – ialt 90 observasjonsdøgn. Den 23. juni ble som nevnt, en observatør stasjonert på øvre hytte. Hans ve-

sentligste oppgave var å avlese og etterse de meteorologiske instrumentene her. Erfaringene fra 1970 viste som nevnt i fjorårets rapport, at målingene kan bli av tvilsom kvalitet når ikke instrumentene får stadig tilsyn. Et utvalg av de meteorologiske observasjonene er framstilt i fig. 15.

Sky- og vindforhold. Midlere skydekke på nedre hytte ble 6,8 (90 observasjonsdøgn) og 7,4 på øvre hytte (70 observasjonsdøgn). På nedre hytte hadde juni midlere skydekke lik 6,2, juli 7,5 og august 6,6. Helt klart var det 5 dager, halvskyet eller bedre 29 dager mens 28 dager ble notert som helt overskyet. På øvre hytte lå skyprosenten hele tiden noe høyere, men her vil hyppig tåkedannelse innvirke på tallene.

Vindstyrken ble bare registrert på øvre hytte og observasjonene strakk seg derfor fra 23. juni til 1. september. Middelvindstyrken for denne perioden ble 6,1 m/s med døgnmaksimum, 16,9 m/s, 26. august. Laveste verdi, 1,2 m/s, ble målt 23. juni. Juli hadde i middel 5,6 m/s og august 6,8 m/s. 1. september ble det notert 31 m/s kl. 07, en verdi som ligger nær grensen mellom sterk storm og orkan.

På øvre hytte hadde en også montert et såkalt kontaktanemometer av Fuess fabrikat. Instrumentet er selvregistrerende og vil for hver 1000 m vindveg avtegne en strek på en roterende skrivetrommel. En kan på denne måten få en kontinuerlig registrering av vindstyrken.

Temperaturforhold. Temperaturobservasjonene fra Oppstryn, nedre hytte og øvre hytte på Vesledalsbreen er plottet sammen i fig. 15. På nedre hytte ble middeltemperaturen for juni, juli, august og hele perioden h.h.v. 3,0°C, 5,5°C, 6,2°C og 5,1°C. Laveste døgnmiddel, -0,3°C ble målt 14. juni, dette er også eneste døgn med negative verdier. Høyeste temperatur 10,1°C, forekom 26. august. På øvre hytte ble middeltemperaturen for juli og august 2,9°C og 2,8°C og for hele perioden fra 23. juni til 1. september 2,8°C. Her var laveste døgnmiddel -1,9°C (16. juli) og høyeste 10,3°C (4. juli). Hele 18 dager ble det målt negativ middeltemperatur på øvre hytte sommeren 1971.

Som tidligere år er det nedenfor satt opp en tabell over temperaturgradientene mellom stasjonen Oppstryn og målerne ved Vesledalsbreen.

Temperaturgradienter (°C/100 m)

	3. - 30. juni	Juli	August	Hele måleperioden (se teksten)
Oppstryn/nedre hytte	0.89	0.90	0.82	0.87
Oppstryn/øvre hytte		0.79	0.79	0.79
Øvre/nedre hytte		0.72	0.72	0.64

VESLEDALSBREEN 1971

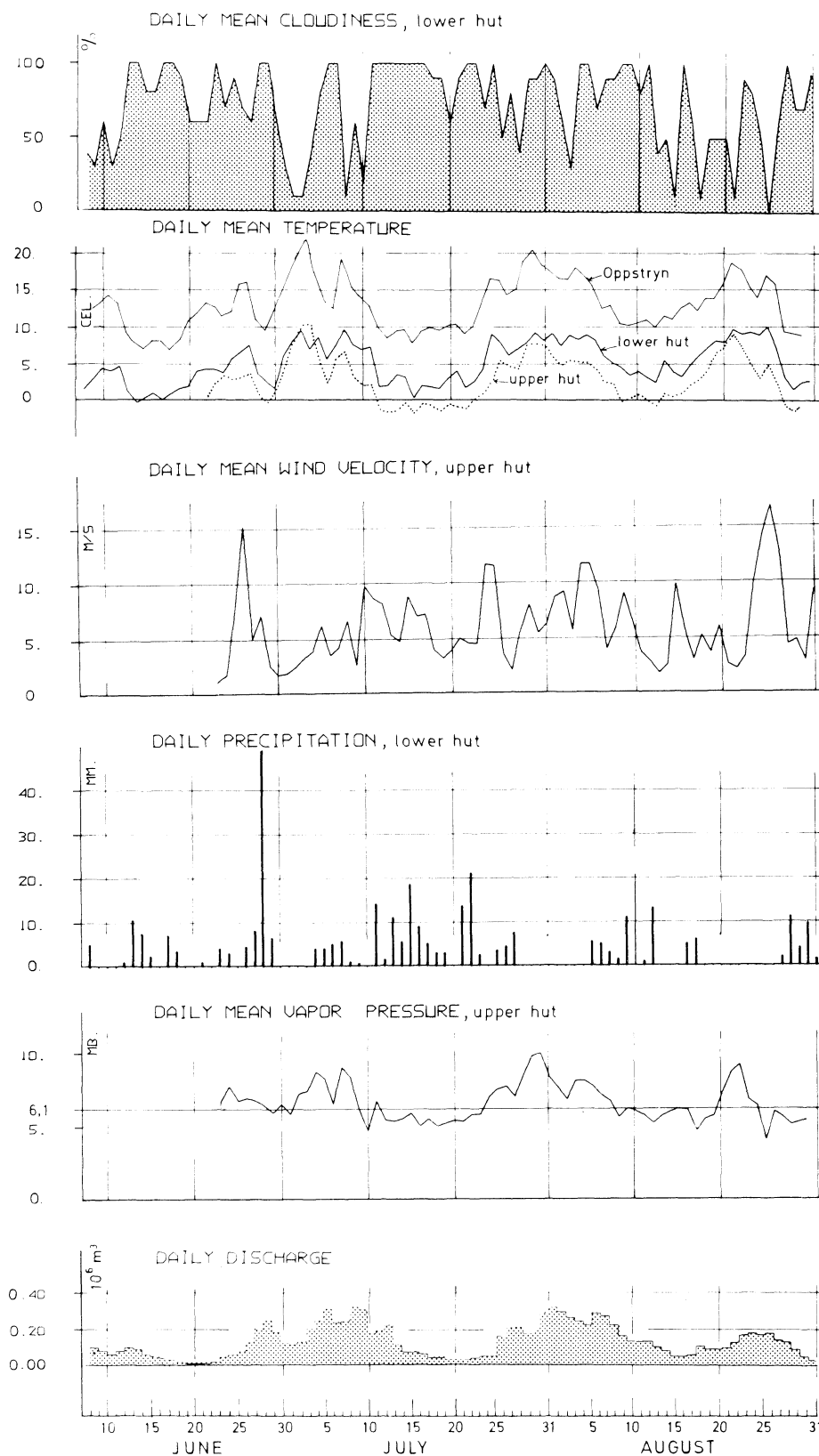


Fig. 15 Resultatene av de daglige meteorologiske observasjoner fra øvre og nedre hytte, samt beregnet døgnavløp ved limnigrafen ved utløpet av Vesledalsvatn.

The daily meteorological observations at the upper and lower hut, and computed daily discharge at the outlet of Vesledalsvatn.

Nedbør. Nedbøren ble målt både på nedre og øvre hytte, men i observasjonsdiagrammet er bare verdiene fra nedre hytte vist. Totalt falt det i hele observasjonsperioden 366 mm på nedre hytte. Av dette kom 112 mm i juni, 143 mm i juli og 101 mm i august. Størst døgnverdi, 49 mm, kom 28. juni i forbindelse med et kaldluftframstøt. På øvre hytte falt deler av denne nedbøren som snø. Sammenliknes nedbøren på de tre stasjonene i området i perioden fra 23. juni til 1. september, finner en at det ble målt 326 mm på øvre hytte, 319 mm på nedre hytte og 186 mm i Oppstryn. Det er altså bare en ubetydelig forskjell mellom stasjonene ved breen mens nedbøren målt i dalbunnen viser vesentlig lavere verdier. Forholdet nedre hytte/Oppstryn blir 1,72 og øvre hytte/Oppstryn 1,75. Faktorene ligger rimelig nær verdiene som er funnet tidligere sommere.

Luftfuktighet. Hygrometret var som tidligere år montert på øvre hytte, og fungerte tilfredsstillende. Av diagrammet, fig. 15 vil en se at vanndamptrykket i lange perioder var lavere enn 6,1 mb hvilket skulle tyde på at sublimasjon fra breflaten kunne ha forekommet. En sammenlikning med temperaturkurvene vil derimot vise at disse periodene sammenfaller med perioder hvor også lufttemperaturen var negativ. Metningstrykket blir da lavere enn 6,1 mb. Ved $-1,5^{\circ}\text{C}$ vil f.eks. sublimasjon ikke kunne foregå hvis vanndamptrykket er større enn 5,4 mb. Av ialt 33 dager med vanndamptrykk på 6,1 mb eller lavere var det bare 14 dager som hadde positiv døgnmiddeltemperatur. Sammenliknet med Ålfotbreen er det likevel grunn til å hevde at luftfuktigheten synker noe fra denne breen til Vesledalsbreen.

Midlere vanndamptrykk for juli, august og hele perioden ble h.h.v. 6,7 mb, 6,4 mb og 6,6 mb.

Avrenning. Observasjonsdiagrammet viser avløpet fra VM 1656, Vesledalsvatn. Den sykliske temperaturgangen en opplevet sommeren 1971, gjenspeiler seg også tydelig i vannføringen som i de kaldeste periodene ble meget lav. Totalt avløp fra 3. juni til 1. september var $11,8 \cdot 10^6 \text{ m}^3$ eller gjennomsnittlig $0,131 \cdot 10^6 \text{ m}^3$ pr. døgn.

Tunsbergdalsbreen

Materialhusholdningen

Vinterbalanse. Breen ble ikke besøkt iløpet av vinteren 1970/71. Fra 23. til 26. april ble 8 staker smelteboret ca. 15 meter ned i isen på bretunga. Arbeidet ble utført i vintersesongen for å lette transporten med det tunge boreutstyret rundt i området. Samtidig ble vinterbalansen

TUNSBERGDALSBREEN 1971

Position of stakes, pits and sounding profiles

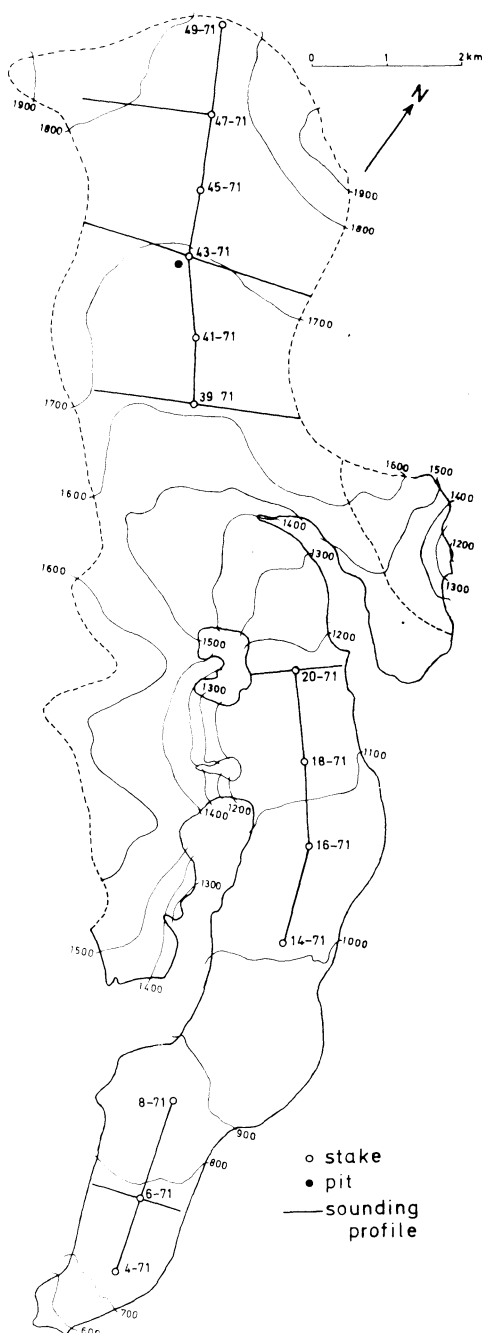


Fig. 16 Beliggenheten av staker, sjakter og sonderingsprofiler.

The location of stakes, pits and sounding profiles.

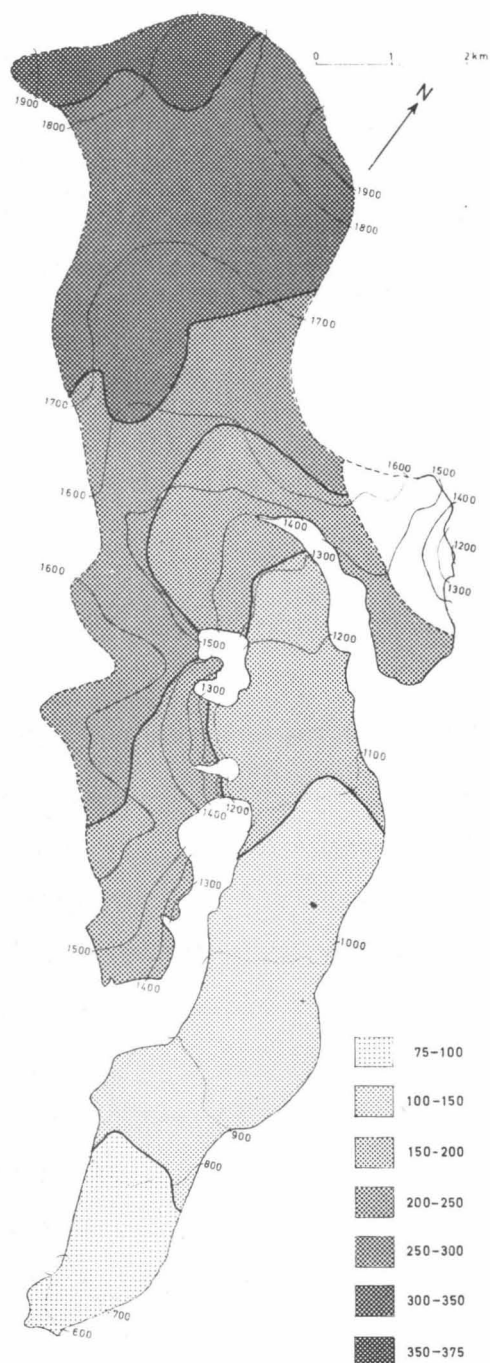
målt på de lavere deler av breen, under 1200 m o.h. Snødypet varierte her fra 2 meter nederst til litt over 4 meter øverst på tunga. På breplatået ble målingene utført 14.mai. Sonderingsforholdene viste seg å være vanskelige på de aller øverste deler av platået og da snødypet var 7 meter kunne ikke noe pålitelig fordelingskart tegnes direkte ut fra sonderingene. En valgte derfor å konstruere et kart over den relative fordeling av vinterbalansen for alle årene fra målingene startet i 1966 til og med 1970, se fig. 18. Et slikt kart er utarbeidet for Nigardsbreen tidligere og ble presentert i fjorårets rapport (Tvede 1971, s. 34). Metodikken ved utarbeidelsen er beskrevet samme sted og denne prosedyre ble fulgt også for Tunsbergdalsbreens vedkommende. Arbeidet var lettere å utføre på Tunsbergdalsbreen fordi snøen her fordeler seg jevnere enn på

Nigardsbreen og ialt vesentlig bare endres med høyden. Området på Austerdalsfjellet er ikke tatt med da målingene her først kom igang i 1969.

Ved å kombinere pålitelige sonderinger med kartet over gjennomsnittlig vinterbalanse 1966-70, er vinterbalansekartet for 1971 konstruert, fig. 17. Vinterbalansen er beregnet til $116,6 \cdot 10^6 \text{ m}^3$, spesifikt fordelt 2,36 meter (75 l/s km^2).

TUNSBERGDALSBREEN 1971

Winter balance in cm of water equivalent



TUNSBERGDALSBREEN 1966-70

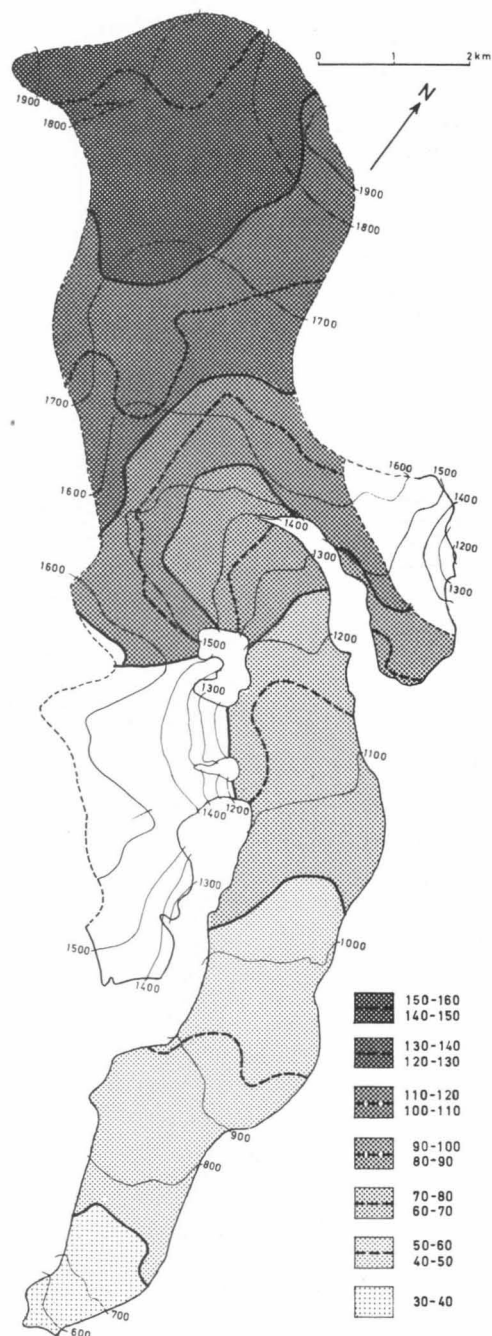
Mean winter balance distribution expressed in percent of average winter balance (b_w) for the whole glacier

Fig. 17 Kart over vinterbalansen på Tunsbergdalsbreen 1971.
Map showing the winter balance on Tunsbergdalsbreen 1971.

Fig. 18 Den gjennomsnittlige fordeling av vinterbalansen fra 1966 til 1970 uttrykt i prosent av den midlere spesifikke vinterbalanse (b_w) for hele breen.

Mean winter balance distribution 1966-1970, expressed in percent of average specific winter balance (b_w) for the whole glacier.

TUNSBERGDALSBREEN 1971

Høyde intervall m o. h.	Areal S km ²	Vinterbalanse			Sommerbalanse			Nettobalanse		
		B_w 10 ⁶ m ³	m	b_w l/s km ²	B_s 10 ⁶ m ³	m	b_s l/s km ²	B_n 10 ⁶ m ³	m	b_n l/s km ²
1900-1930	0.41	1.33	3.24	102	0.05	0.12	4	1.28	3.12	99
1800-1900	2.72	9.28	3.41	108	0.92	0.34	11	8.36	3.07	97
1700-1800	8.86	29.34	3.31	104	4.69	0.53	17	24.65	2.78	88
1600-1700	8.01	23.00	2.87	91	6.06	0.76	24	16.94	2.11	67
1500-1600	7.23	18.16	2.51	79	7.79	1.08	34	10.37	1.43	45
1400-1500	3.69	9.63	2.60	82	6.33	1.72	54	3.30	0.89	28
1300-1400	1.54	3.46	2.25	71	2.70	1.75	55	0.76	0.49	15
1200-1300	1.23	2.35	1.91	60	2.77	2.25	71	-0.42	-0.34	-11
1100-1200	3.44	5.66	1.65	52	8.77	2.55	81	-3.11	-0.90	-28
1000-1100	3.80	5.38	1.42	45	11.53	3.03	96	-6.15	-1.62	-51
900-1000	3.32	3.98	1.20	38	11.76	3.54	112	-7.78	-2.34	-74
800- 900	2.29	2.50	1.09	34	10.19	4.45	140	-7.69	-3.36	-106
700- 800	2.16	1.92	0.89	28	10.93	5.06	160	-9.01	-4.17	-132
600- 700	0.44	0.43	0.98	31	2.62	5.95	188	-2.19	-4.98	-157
540- 600	0.21	0.18	0.86	27	1.39	6.61	209	-1.21	-5.76	-182
540-1930	49.35	116.60	2.36	74.5	88.50	1.79	57	28.10	0.57	18

TUNSBERGDALSBREEN 1971

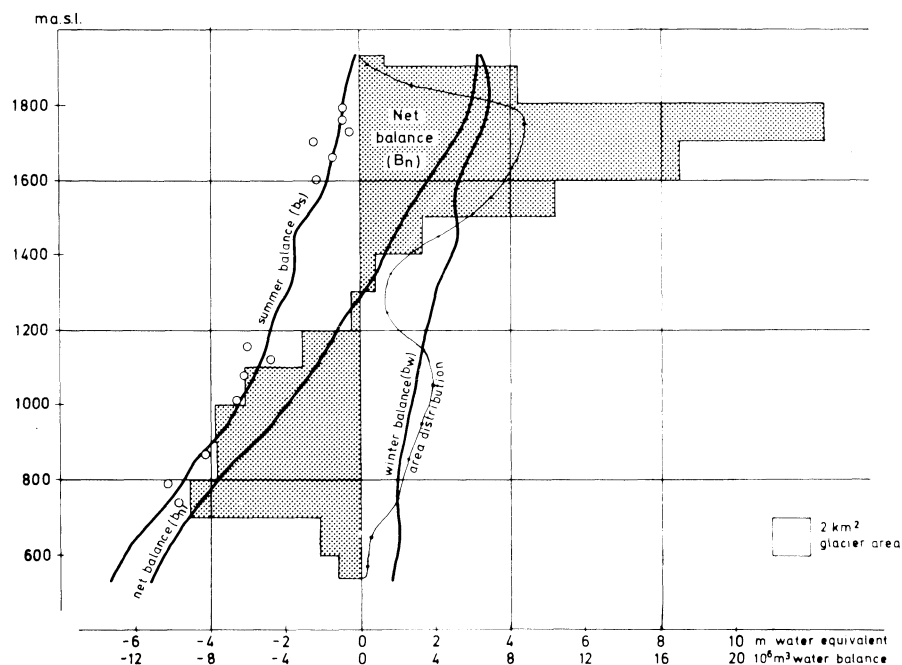


Fig. 19 Variasjonene av vinter-, sommer- og netto-balanse med høyden over havet, breens arealfordeling og arealverdier av netto-balanse i hvert 50 m høydeintervall.

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

Sommerbalanse. Ablasjonsforholdene sommeren 1971 er beskrevet under kapitlet for Nigardsbreen og liknende tilstander har også bestemt smelteforløpet på Tunsbergdalsbreen. Stakene på breplatået ble siste gang avlest 29. august og på bretunga 3. september. Evt. smelting etter disse tidspunktene må ha vært helt ubetydelig. Som på Nigardsbreen, var det på de høyeste partiene svært liten ablasjon sommeren 1971, se fig. 19

Totalt er sommerbalansen beregnet til $88,5 \cdot 10^6 \text{ m}^3$ vann, hvilket jevnt fordelt blir 1,79 m eller 57 l/s km^2 .

Nettobalanse. Tunsbergdalsbreen øket i balanseåret 1970/71 sin masse med $28,1 \cdot 10^6 \text{ m}^3$, spesifikt fordelt 0,57 m og holdt dermed tilbake 10 l/s pr. km^2 breareal fra vassdraget. Likevektslinjen dette året ble liggende 1290 m o.h.

Nigardsbreen

Materialhusholdningen

Vinterbalanse. Det var p.g.a. dårlige værforhold ikke mulig å få inspisert stakene på Nigardsbreen før 6. januar. Bare 4 staker ble da gjenfunnet og kunne skjøtes. Snødypet ved disse lå i overkant av 3 meter. Vinterbalansemålingene ble utført fra 3. til 10. april. Sonderingsforholdene var relativt gode untatt på de aller høyeste partiene hvor sommeroverflaten fra 1970 ble dårlig utviklet. Sonderingsprofilene ble lagt etter et mønster bestemt ut fra kartet over gjennomsnittlig vinterbalanse 1965-70, publisert i fjorårets rapport (Tvede 1971, s. 34). En tok etter dette opplegget sikte på å få en grovmasket dekning av hele breplatået og heller fylle inn de udekte områdene på grunnlag av det nevnte kartet. En beregning av den feilen en begår ved utelukkende å basere seg på dette kartet, er gjort på følgende måte: Langs 100% isolinjen på kartet er det tatt ut 15 sonderinger utført i april 1971. Middelerdien av disse 15 målingene gir en verdi på $100\% = b_w = 217 \text{ cm vann}$. Ved å konstruere det fullstendige vinterbalansekartet, fig. 21, og planimeterbehandle dette på tradisjonell måte får en at $b_w = 211 \text{ cm}$. En beregning basert på 15 utvalgte sonderinger gir altså bare 6 cm eller ca. 3% avvik fra den langt mer arbeidskrevende, normale beregningsmetodikk. Resultatet tilsier derfor at en i framtiden kan oppnå pålitelige resultater for vinterbalansen selv om sonderingsforholdene på breplatået skulle være vanskelige.

Vinterbalansen er på grunnlag av fig. 21 beregnet til $98,1 \cdot 10^6 \text{ m}^3$. Dette blir som nevnt, spesifikt fordelt 2,11 m eller 67 l/s km^2 .

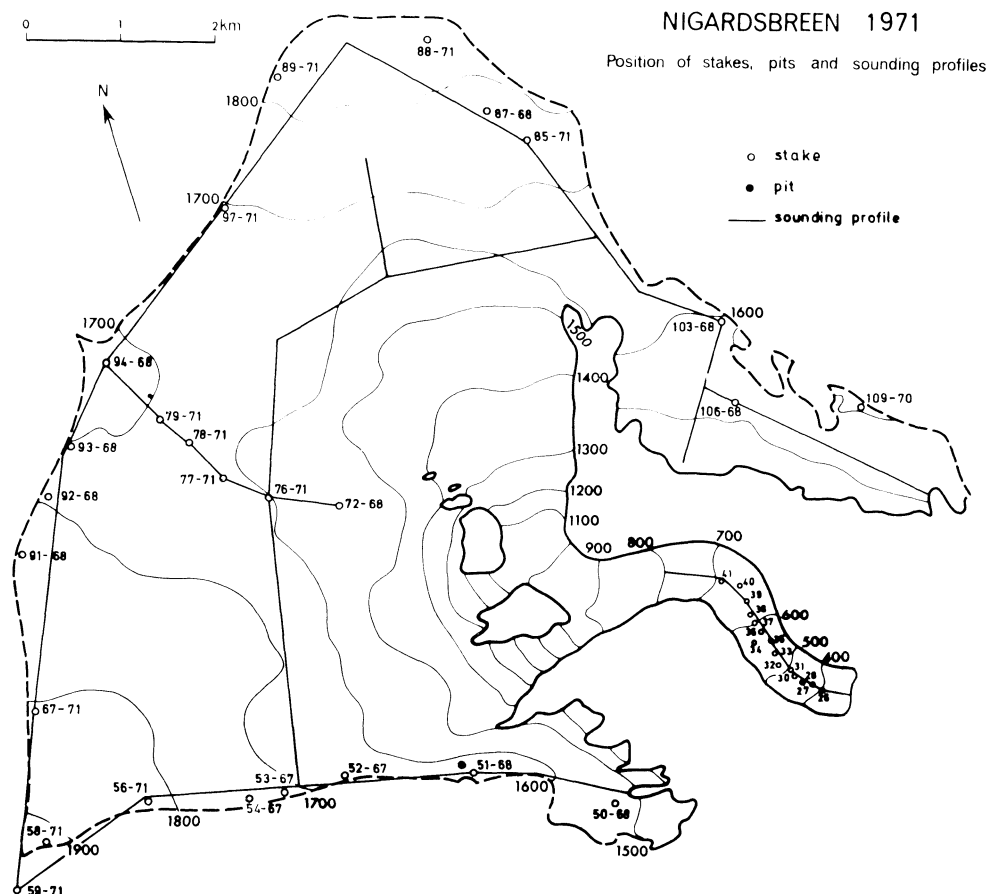


Fig. 20 Beliggenheten av staker, sjakter og sonderinger på Nigardsbreen 1971.
The location of stakes, pits and soundings on Nigardsbreen 1971.

Sommerbalanse. Som nevnt i fjorårets rapport ble endel av stakene på nedre deler av breplatået etterhvert stående i sprekkeområder. En foretok derfor våren 1971 en omlegging av det gamle stakemønsteret for at det ikke skulle bli nødvendig å bevege seg ut i farlige områder. Stakene er konsentrert langs breområdet yttergrenser i et sammenhengende profil fra Hauganosi til Liaksla. Dessuten er det satt ut et nytt profil fra Kjendalskruna i sør-østlig retning ned til ca. 1550 m o.h., fig. 20

Ablasjonsforholdene på Nigardsbreen var sommeren 1971 meget like hva som er beskrevet for Vesledalsbreen, s.23. Fig. 14 kan derfor like godt illustrere ablasjonsgangen i nivået ved hytta på Hauganosi, ca. 1600 m o.h. På de aller høyeste partiene av breen, over ca. 1800 meter, var ablasjonen så liten at mindre enn en meter snø smeltet bort. Endel av fjorårets staker dukket etterhvert fram, særlig på de lavere deler av platået. Observatørene forlot breen 12.september, samtidig med at vintersesongen satte inn. Over ca. 1750 meter var da breen fremdeles dekket av sommersnø, etter et snøfall i overgangen august/september. Sommeroverflaten fra 1971 fikk her en annen konsistens enn på de lavere deler av breplatået.

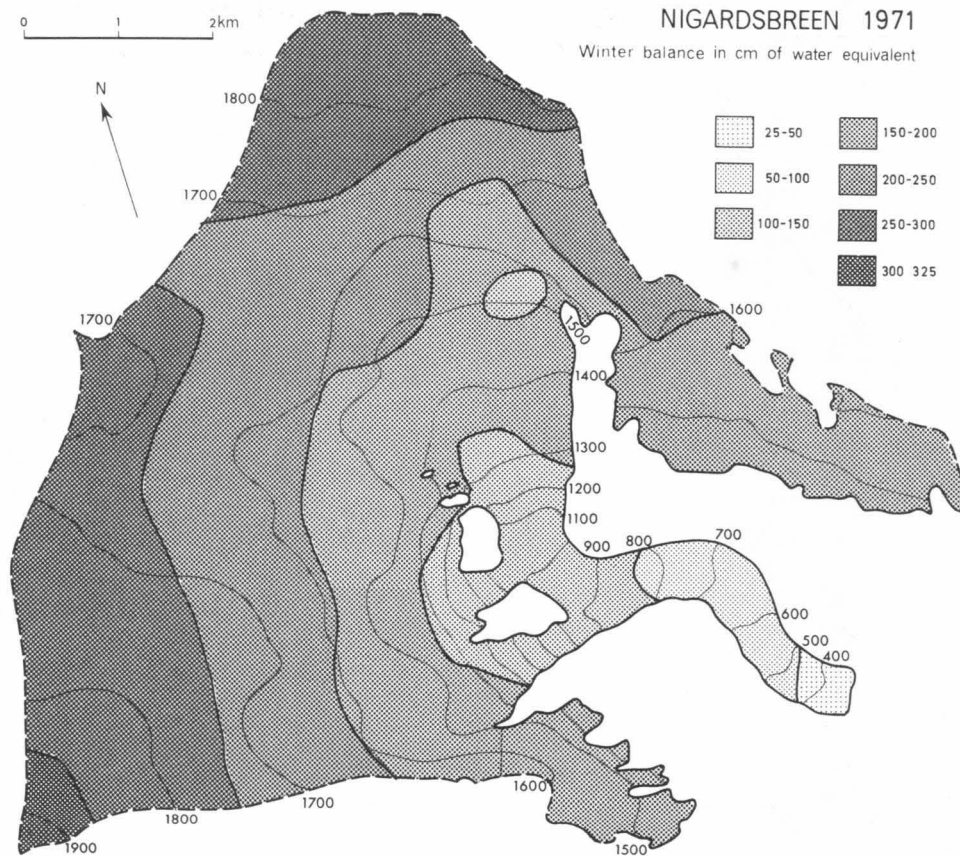


Fig. 21 Kart som viser vinterbalansen på Nigardsbreen 1971.
Map showing the winter balance 1971.

NIGARDSBREEN 1971

Höyde intervall m o. h.	Areal S km ²	Vinterbalanse				Sommerbalanse				Nettobalanse			
		B^w 10 ⁶ m ³	m	b^w l/s km ²	B^s 10 ⁶ m ³	m	b^s l/s km ²	B^n 10 ⁶ m ³	m	b^n l/s km ²			
1900-1950	0.12	0.37	3.08	97	0.04	0.33	10	0.33	2.75	87			
1800-1900	3.78	10.67	2.82	89	1.87	0.48	15	8.80	2.34	74			
1700-1800	9.31	24.30	2.61	82	5.82	0.63	20	18.48	1.98	62			
1600-1700	12.48	28.78	2.31	73	9.61	0.77	24	19.17	1.54	49			
1500-1600	9.34	17.37	1.86	59	10.51	1.13	36	6.86	0.73	23			
1400-1500	5.42	9.29	1.71	54	7.79	1.44	46	1.50	0.27	8			
1300-1400	2.06	3.38	1.64	52	3.86	1.87	59	-0.48	-0.23	-7			
1200-1300	0.72	0.93	1.29	41	1.73	2.40	76	-0.80	-1.11	-35			
1100-1200	0.32	0.40	1.25	39	1.16	3.63	115	-0.76	-2.38	-76			
1000-1100	0.54	0.67	1.24	39	1.91	3.54	112	-1.24	-2.30	-73			
900-1000	0.42	0.53	1.24	39	1.80	4.29	135	-1.27	-3.05	-96			
800-900	0.46	0.52	1.24	39	2.27	4.93	156	-1.75	-3.69	-117			
700-800	0.33	0.25	0.76	24	1.96	5.94	188	-1.71	-5.18	-164			
600-700	0.42	0.31	0.74	23	2.93	6.98	220	-2.62	-6.24	-197			
500-600	0.30	0.22	0.73	23	2.43	8.10	256	-2.21	-7.37	-233			
400-500	0.20	0.07	0.35	11	2.02	10.10	319	-1.95	-9.75	-308			
300-400	0.18	0.07	0.35	11	2.06	11.44	330	-1.99	-11.09	-319			
300-1950	46.40	98.13	2.11	67	59.77	1.29	41	38.36	+0.82	26			

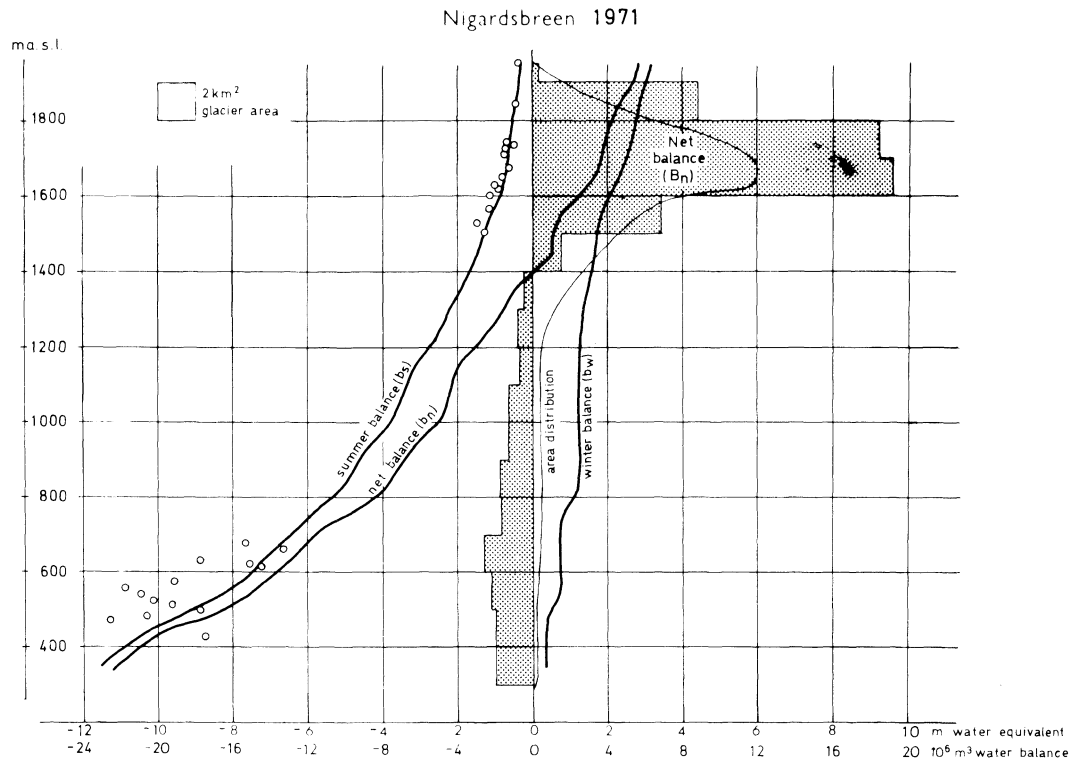


Fig. 22 Variasjonene med høyden over havet av vinter-, sommer- og netto-balansen, samt breens arealfordeling og arealverdier av netto-balansen i hvert 50 m høydeintervall.

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

På bretunga ble wirene avlest 10 ganger iløpet av sommeren og siste gang 26. september, dessuten ble alle wirene smelteboret på ny i begynnelsen av august.

Sommerbalansen beløp seg totalt til $59,8 \cdot 10^6 \text{ m}^3$ som utgjør 1,29 m jevnt fordelt, eller 41 l/s km^2 .

Nettobalanse. Nigardsbreen øket i 1971 sin masse med $38,4 \cdot 10^6 \text{ m}^3$ vann, hvilket representerer 0,82 m (26 l/s km^2). Likevektslinjen ble dette året liggende 1400 m o.h. Alle resultater av massebalansemålingene kan ellers leses ut fra tabellen s.32 og fig. 22.

Meteorologiske og hydrologiske observasjoner

Observasjonene på Hauganosi kom igang 21. juni og ble avsluttet 12. september, hvilket til sammen utgjør 84 observasjonsdøgn. Antallet og utvalget av parametre er det samme som beskrevet for 1970 og resultatene er oppstilt grafisk i fig. 23.

NIGARDSBREEN 1971

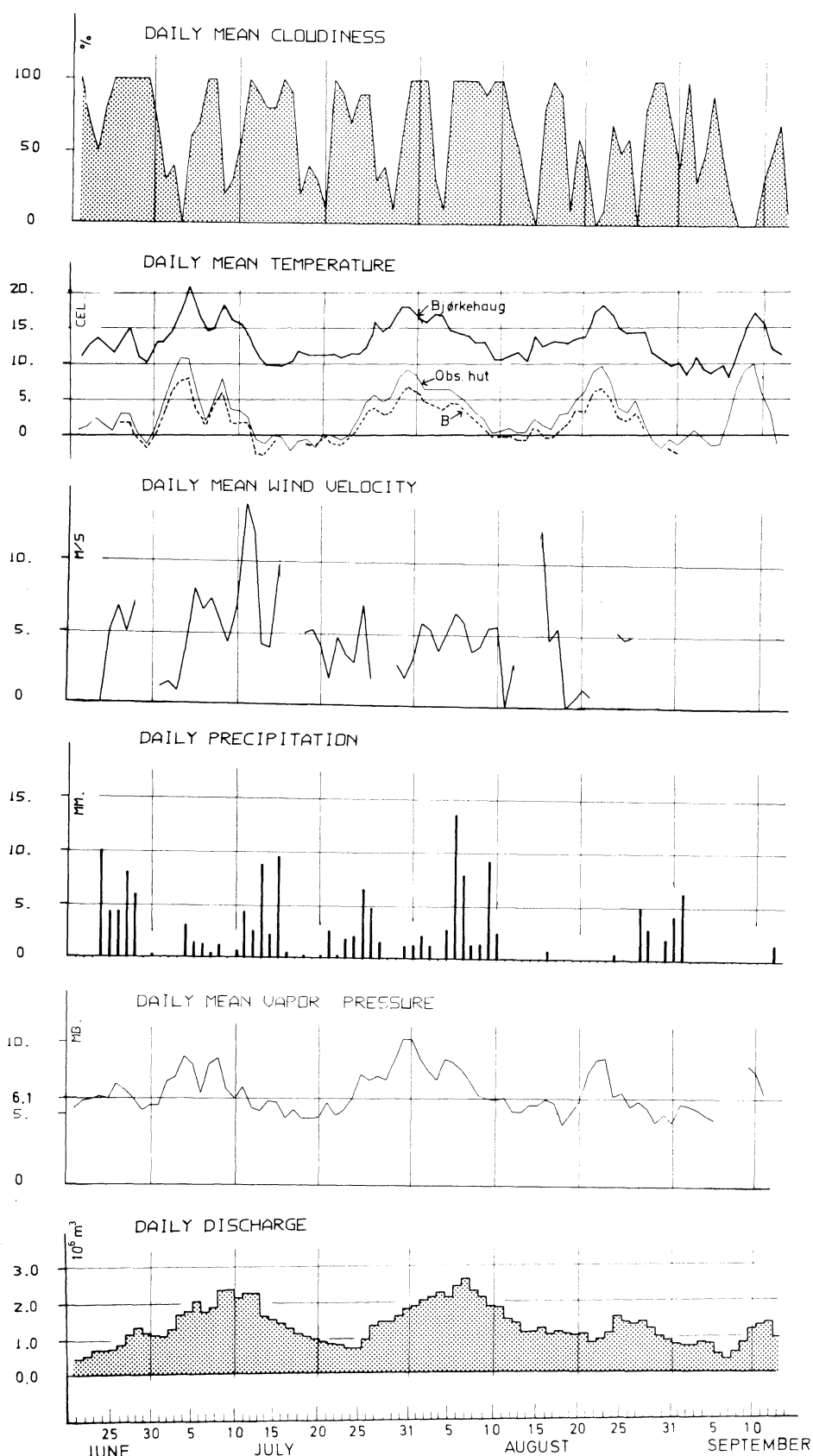


Fig. 23 Resultatene av de daglige meteorologiske observasjonene på Nigardsbreen og beregnet døgnavløp ved limnigrafen i Nigardsvatnet.

The diagram illustrates the daily meteorological observations on Nigardsbreen and computed daily discharge at the stream gauge in Nigardsvatnet.

Sky- og vindforhold. Av ialt 84 døgn var 7 helt skyfrie, 34 var halvklare eller bedre mens 24 dager hadde helt skyet eller tett tåke. Midlere skydekke for juli, august og hele perioden fikk alle verdiene 6, 2. I perioder hvor vindstyrken mangler, skyldes dette enten at anemometeret ikke fungerte tilfredstillende eller at observatørene arbeidet på Tunsbergdalsbreen og derfor ikke kunne utføre de nødvendige avlesninger. Gjennomsnittlig vindstyrke i 51 observasjonsdøgn ble 5,0 m/s. Høyeste målte verdi 14,1 m/s forekom 11. juli, mens laveste, 0,6 m/s, var 19. august.

Temperaturforhold. Foruten de faste temperaturobservasjonene som nå er utført gjennom en årrekke, ble det sommeren 1971 også oppsatt en termograf like ved brefronten. Resultatene herfra er ikke presentert i denne rapporten, men som en kunne vente blir temperaturgangen foran breen sterkt påvirket av brevind. Termografen på breplatået (Bur B) var igang fra 26. juni til 1. september, men sviktet p.g.a. snødrev 6 dager.

Ved observasjonshytta på Hauganosi ble middeltemperaturen for juli, august og hele observasjonsperioden h.h.v. $3,3^{\circ}\text{C}$, $3,2^{\circ}\text{C}$ og $2,9^{\circ}\text{C}$. Høyeste middeltemperatur ble målt til $10,8^{\circ}\text{C}$ (3. juli) og laveste, $-2,3^{\circ}\text{C}$ (16. juli). Temperaturgangen utmerket seg også på Nigardsbreen ved en slående periodisitet - 4 relativt varme perioder vekslet regelmessig med et tilsvarende antall kjølige, se fig. 23. Av 61 observasjonsdøgn ved bur B (1780 m o.h.) var høyeste temperatur $7,7^{\circ}\text{C}$ (3. juli) og laveste, $-3,0^{\circ}\text{C}$ (13. juli). Middelerdien for alle observasjonsdøgn ble $1,9^{\circ}\text{C}$. På Hauganosi var døgnmiddeltemperaturen negativ ialt 21 dager. Fra 26. juni til 1. september ble det ved bur B målt 20 dager med minusgrader. Dessuten var det helt sikkert negative grader også de 6 dagene hvor termografen ikke fungerte. Sommeren 1971 var det altså kuldegrader 40% av tiden i 1780 meters nivået.

Det er nedenfor satt opp en oversikt over de temperaturgradienter som også tidligere år er presentert.

Temperaturgradienter ($^{\circ}\text{C}/100\text{ m}$)

	Juli	August	21/6-12/9	26/6-1/9
Bjørkhaug/Hauganosi	0.73	0.71	0.72	
Bjørkhaug/Bur B	0.73	0.72		0.71
Hauganosi/Bur B	1.13	1.19		1.10

Nedbørsforhold. I tillegg til standardmålerne på Hauganosi var det også plassert 13 pluviuser ut over breplatået. Disse ble tømt relativt hyppig, men da det aller meste av nedbøren kom som snø på breplatået, var det sommeren 1971 bare i et par perioder mulig å få pålitelige ned-

børstall fra alle målerne. Nedbørsmengdene i disse periodene var også så små at en ikke har funnet det forsvarlig å presentere dem her.

Ved stasjonen på Hauganosi ble det registrert relativt lite nedbør, totalt for hele perioden 158 mm. Av dette kom 52 mm i juli og 46 mm i august. På stasjonen Bjørkhaug ble det både i juli og august målt 58 mm nedbør, altså litt mer enn oppe på breen. Dette er uvanlig i forhold til hva en har kunnet registrere tidligere år, men noe av forklaringen kan ligge i nedbørmålernes dårlige evne til å oppfange snø i kombinasjon med vind. Av ialt 43 døgn med nedbør ble det på Hauganosi notert at nedbøren kom som sludd eller snø 23 dager.

Luftfuktigheten. Midlere vanndamptrykk for hele perioden ble 6,5 mb, for juli og august h.h.v. 6,8 og 6,5 mb. Forholdene var ellers meget like det som er beskrevet for Vesledalsbreen. Av ialt 40 dager med vanndamptrykk lavere enn 6,1 mb hadde bare 17 positiv døgnmiddeltemperatur.

Avrenning. Totalt avløp fra Nigardsvatn, VM 1408 ble $111,4 \cdot 10^6 \text{ m}^3$ for perioden 21. juni - 12. september, gjennomsnittlig $0,879 \cdot 10^6 \text{ m}^3$ pr.dag. Endel avrenning var det både før og etter observasjonsperioden slik at totalt årsavløp er beregnet til $175,6 \cdot 10^6 \text{ m}^3$ (0,481 $\cdot 10^6 \text{ m}^3$).

Hardangerjøkulen

Vinterbalansen ble våren 1971 målt til å være 110% av verdien i et normalår. Dette er samme prosenttall som Meteorologisk Institutts snøakkumuleringskart viste for 1200 meters nivået. Spesifik sommerbalanse ble 128 cm vann som er nøyaktig den samme verdi som ble målt på Storbreen (Jotunheimen), men da vinterbalansen alltid er høyere på Hardangerjøkulen ble også nettobalansen noe større. Resultatene av målingene i 1971 er vist i tabellen s. 38 og fig. 25. Likevektslinjen lå 1600 m o.h.

En spesiell undersøkelse over forvandlingsprosessen av snø til is er utført av Tron Laumann gjennom 2 feltsesonger. Et interessant resultat av dette arbeidet viser at det aller høyestliggende partiet av bremassen har negative temperaturer hele året gjennom. I år hvor nettobalansen er sterkt negativ, består overflaten i dette brepartiet av homogen is selv om området er en del av breens akkumulasjonsområde. Noe lavere i firnområdet hvor akkumulasjonen er større, er temperaturen derimot kontinuerlig på smeltepunktet under 10 meters dyp. I dette partiet foregår forvandlingen fra snø til is på normal måte. Derimot vil en i det negative området på

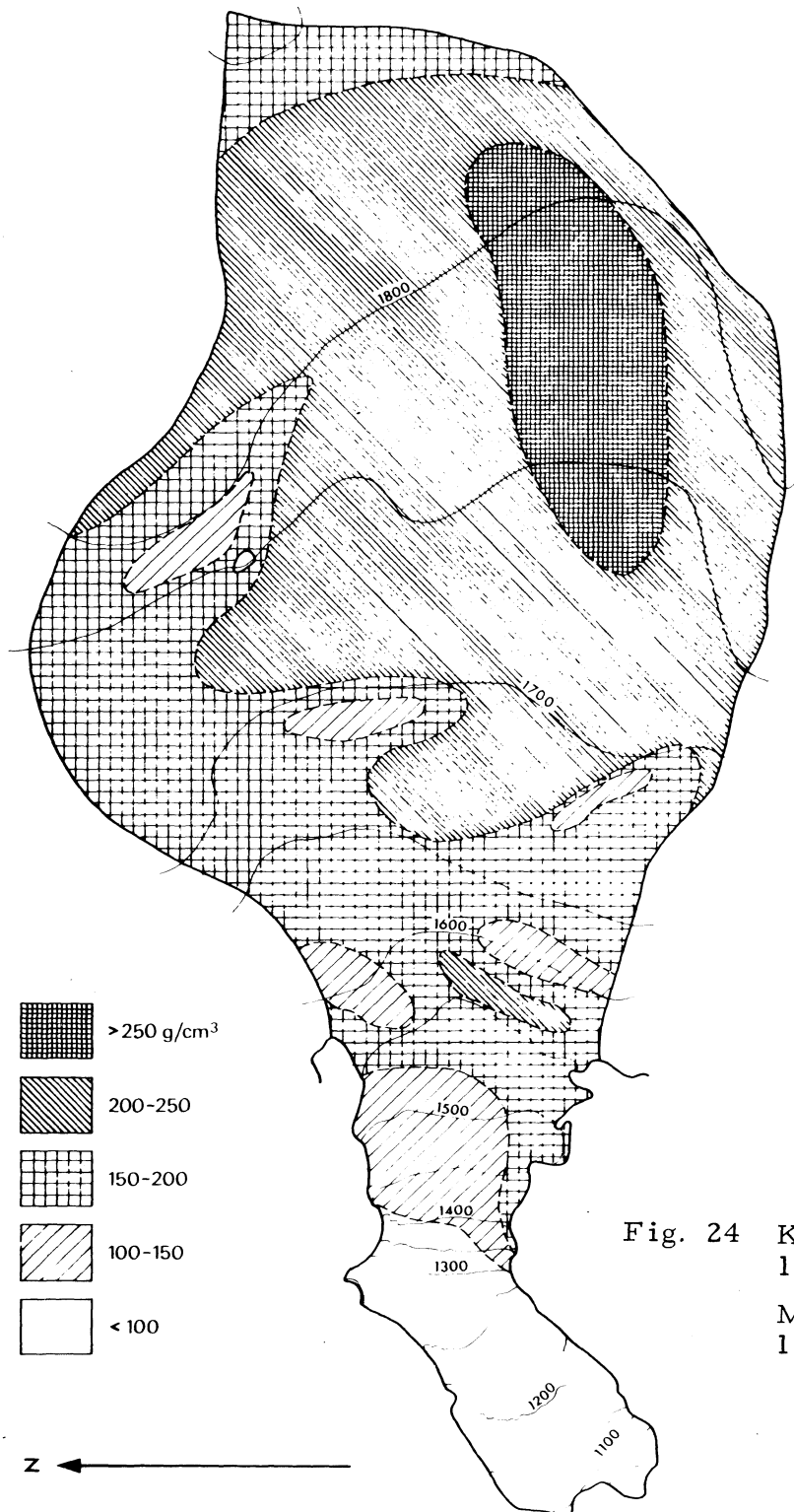


Fig. 24 Kartet viser vinterbalansen 1971.

Map showing winter balance 1971.

toppen hvor overflaten blir impermiabel, få dannes store mengder påfrosset is. Dette skjer ikke bare om våren, men også om høsten når slaps og vann fryser under den første kuldeperioden.

HARDANGERJØKULEN 1971

Høyde intervall m o. h.	Areal S km ²	Vinterbalanse			Sommerbalanse			Nettobalanse		
		B_w $10^6 m^3$	b_w m	$l/s km^2$	B_s $10^6 m^3$	b_s m	$l/s km^2$	B_n $10^6 m^3$	b_n m	$l/s km^2$
1850-1900	0.074	1.295	1.75	55	0.629	0.85	27	0.666	0.90	28
1800-1850	3.488	7.555	2.16	68	2.616	0.75	24	4.939	1.41	44
1750-1800	3.876	8.823	2.27	72	2.907	0.75	24	5.916	1.52	48
1700-1750	4.230	9.072	2.14	67	3.595	0.85	27	5.477	1.29	41
1650-1700	2.219	4.129	1.86	59	2.441	1.10	35	1.688	0.76	24
1600-1650	0.988	1.623	1.64	52	1.383	1.40	44	0.240	0.24	8
1550-1600	0.624	1.092	1.73	55	1.092	1.75	55	0	-0.02	1
1500-1550	0.548	0.837	1.53	48	1.178	2.15	68	-0.341	-0.62	-20
1450-1500	0.330	0.436	1.32	42	0.841	2.55	80	-0.405	-1.23	-39
1400-1450	0.176	0.240	1.36	43	0.519	2.95	93	-0.279	-1.59	-50
1350-1400	0.109	0.096	0.92	29	0.359	3.30	104	-0.263	-2.38	-75
1300-1350	0.078	0.059	0.97	30	0.288	3.70	117	-0.229	-2.73	-86
1250-1300	0.265	0.195	0.73	23	1.086	4.10	129	-0.891	-3.37	-106
1200-1250	0.308	0.231	0.75	24	1.386	4.50	142	-1.155	-3.75	-118
1150-1200	0.310	0.232	0.74	24	1.550	5.00	158	-1.318	-4.26	-134
1100-1150	0.109	0.081	0.74	24	0.594	5.45	172	-0.513	-4.71	-149
1050-1100	0.059	0.044	0.74	24	0.348	5.90	186	-0.304	-5.16	-163
1050-1900	17.79	36.04	2.02	64	22.81	1.28	40	13.23	0.74	23

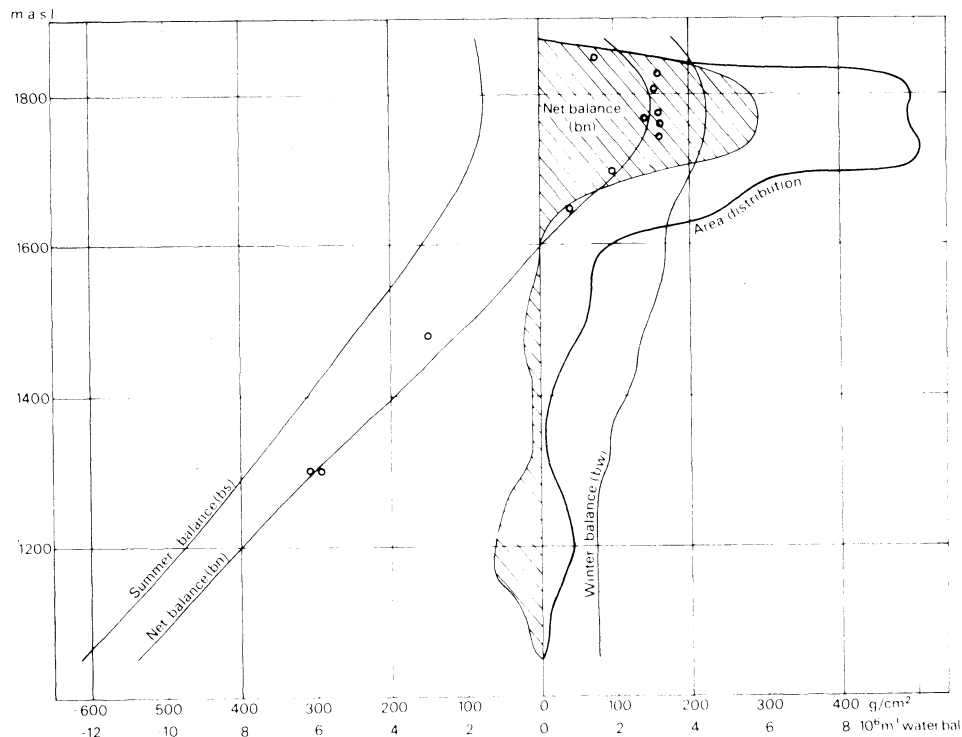


Fig. 25 Diagrammet viser variasjonene av akkumulasjonen, ablasjonen og netto-balansen med høyden over havet.

The diagram illustrates the variation of accumulation, ablation and net balance with height above sea level.

Hellstugubreen

Massebalansemålingene er i 1971 beregnet og presentert på et nytt kartgrunnlag. Kartet er konstruert på grunnlag av flybilder opptatt 27. august 1968. Konstruksjonen er utført av Norsk Polarinstitutt. Breens totalareal på det nye kartet er $3,27 \text{ km}^2$ mens arealet på R. Pyttes kart fra 1962 var $3,33 \text{ km}^2$. En mer inngående behandling av areal- og volumforskjeller mellom de to kartene vil bli presentert i neste glasiologiske rapport.

Materialhusholdningen

Vinterbalanse. Etter besøket 28. oktober ble stakene avlest og om nødvendig forlenget 4. mars. Snødyppet lå da mellom 1,5 og 2,5 meter ved staker over 1800 m o.h. Hovedmålingene

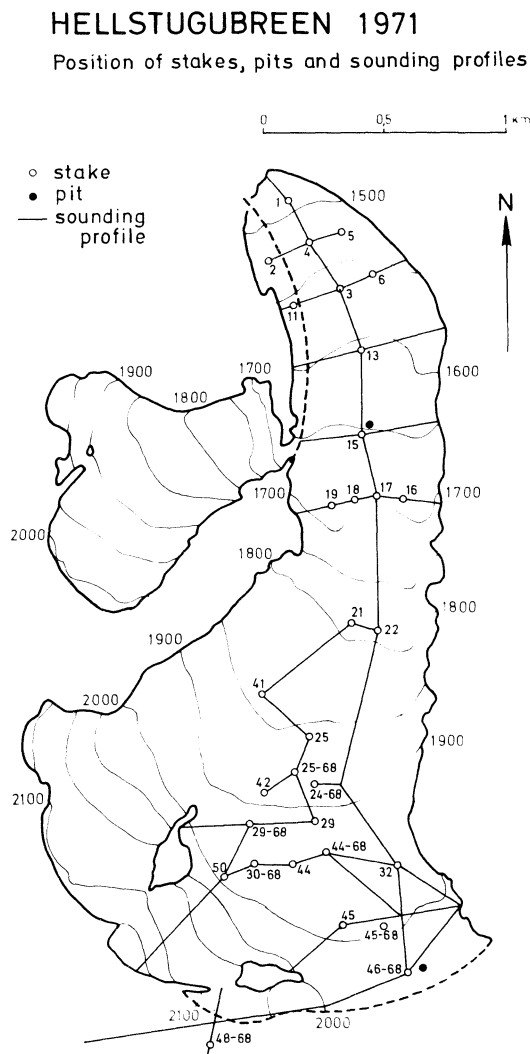


Fig. 26 Beliggenheten av staker, sjakter og sonderingsprofiler.
The location of stakes, pits and sounding profiles.

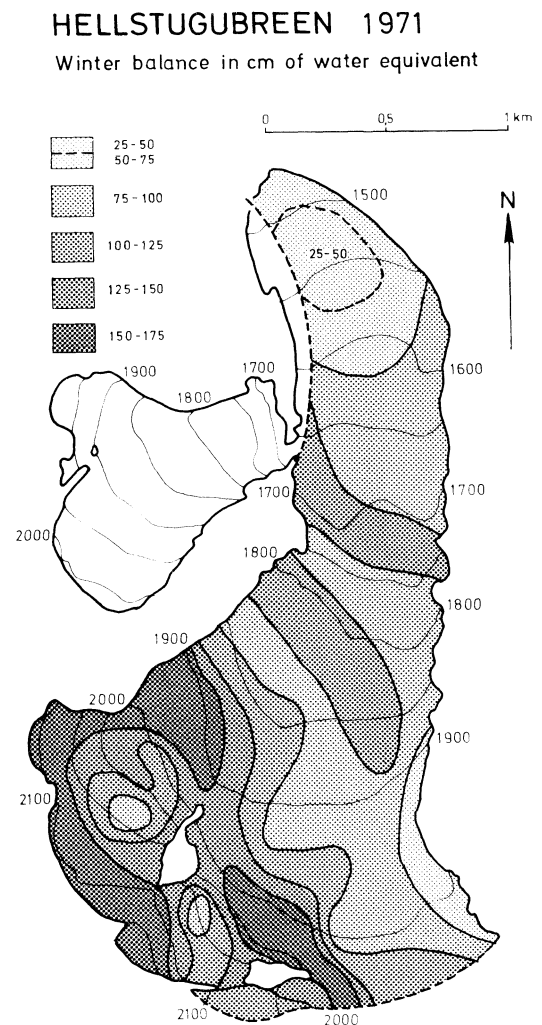


Fig. 27 Kart som viser vinterbalansen 1971.
Map of the winter balance 1971.

ble utført 3.mai og 145 sonderinger ble tatt. Snømengdene varierte fra under 1 meter nederst på bretunga til over 3 meter i gunstige eksposisjoner. Fordelingsmønsteret er velkjent fra tidligere år, fig. 27

Vinterbalansen er beregnet til $3,7 \cdot 10^6 \text{ m}^3$, spesifikt fordelt 1, 12 m (35 l/s km^2).

Sommerbalanse. Stakene ble kontrollert og avlest ialt 7 ganger iløpet av sommeren. Ablasjonsforholdene på Hellstugubreen var ellers de samme som er beskrevet for Austre Memurubre, se side 43. Ved siste besøk på breen, 21.oktober, var det kommet opptil 1 meter nysnø.

Totalt utgjør sommerbalansen $4,1 \cdot 10^6 \text{ m}^3$ som igjen tilsvarer et lag 1,25 m tykt eller en årsavrenning lik 39 l/s km^2 .

Nettobalanse. Breen tapte $0,4 \cdot 10^6 \text{ m}^3$ vann, eller et 0,13 m tykt lag. Vassdraget fikk dermed et lite ekstratilsig. Medregnet måleusikkerheten, kan en likevel hevde at Hellstugubreen i balanseåret 1970/71 var nær en likevektstilstand. Likevektlinjens høyde som skulle tilsvare verdien i et normalt år, ble 1860 meter. I 1964 og 1968 var også Hellstugubreens nettobalanse omtrent nøytral og likevektslinjen disse årene lå h.h.v. 1900 og 1870 m o.h. (Pytte 1969 og 1965).

De eksakte resultatene kan leses ut av fig. 28 og tabellen nedenunder.

HELLSTUGUBREEN 1971

Høyde intervall m o. h.	Areal S km^2	Vinterbalanse			Sommerbalanse			Nettobalanse		
		B_w 10^6 m^3	b_w m	b_w l/s km^2	B_s 10^6 m^3	b_s m	b_s l/s km^2	B_n 10^6 m^3	b_n m	b_n l/s km^2
2150-2200	0.021	0.034	1.61	51	0.006	0.38	12	+0.028	+1.23	39
2100-2150	0.051	0.099	1.61	50	0.016	0.38	12	+0.083	+1.23	38
2050-2100	0.283	0.407	1.44	45	0.160	0.63	20	+0.247	+0.81	25
2000-2050	0.187	0.270	1.45	46	0.132	0.63	20	+0.138	+0.82	26
1950-2000	0.373	0.491	1.32	42	0.262	0.67	21	+0.229	+0.65	21
1900-1950	0.609	0.789	1.29	41	0.546	0.89	28	+0.243	+0.40	13
1850-1900	0.362	0.396	1.09	34	0.366	0.98	31	+0.030	+0.09	3
1800-1850	0.354	0.362	1.02	32	0.432	1.24	39	-0.070	-0.22	-7
1750-1800	0.138	0.125	0.91	29	0.205	1.49	47	-0.080	-0.58	-18
1700-1750	0.151	0.161	1.06	34	0.229	1.63	51	-0.078	-0.57	-18
1650-1700	0.212	0.200	0.94	30	0.395	1.90	60	-0.195	-0.96	-30
1600-1650	0.188	0.153	0.82	26	0.447	2.23	70	-0.294	-1.40	-44
1550-1600	0.196	0.109	0.56	18	0.513	2.51	79	-0.404	-1.95	-61
1500-1550	0.118	0.062	0.52	16	0.366	2.77	87	-0.304	-2.25	-71
1450-1500	0.031	0.015	0.48	15	0.144	2.88	91	-0.129	-2.40	-76
1450-2200	3.274	3.673	1.12	35	4.094	1.25	39	-0.421	-0.13	-4

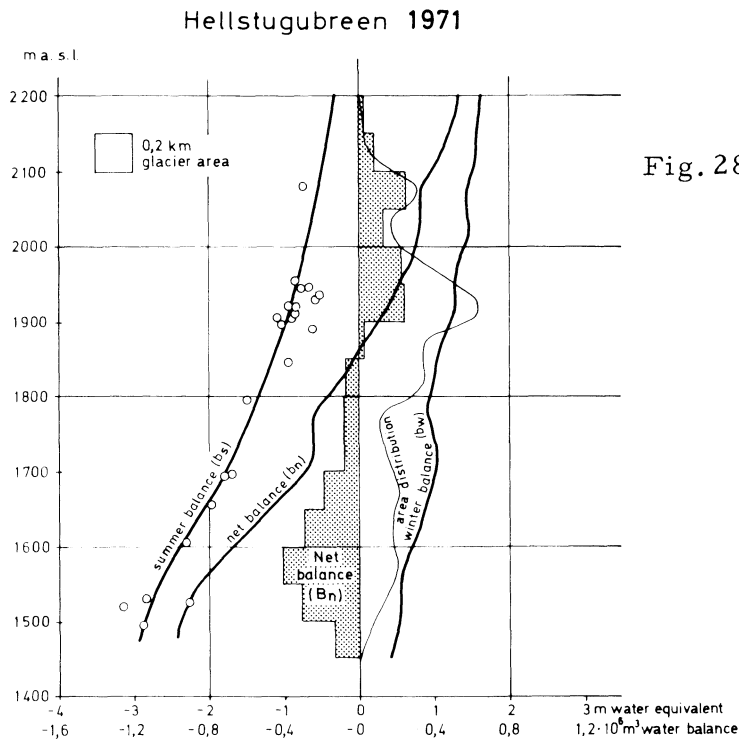


Fig. 28 Variasjonene av vinter-, sommer- og netto-balansen med høyden over havet, breens arealfordeling og arealverdier av netto-balansen i hvert 50 m høydeintervall.

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

Vestre Memurubre

Materialhusholdningen

Vinterbalanse. Stakene ble ettersatt 4.mars. Ved hovedmålingene 5.mai varierte snødyppet fra 2 til 3,5 meter, men lå hovedsakelig nær 3 meter. Arbeidsforholdene var meget gode over hele breflaten og 175 sonderinger ble tatt. En ny stake, nr. 50-72 ble utsatt, se fig. 29

Vinterbalansens fordeling er vist på fig. 30 og volumet er beregnet til $11,7 \cdot 10^6 \text{ m}^3$ som gir spesifikke verdier, 1,30 m og 41 l/s km^2 .

Sommerbalanse. Forholdene på Vestre Memurubre sommeren 1971 kan ikke ha avveket nevneverdig fra hva som er beskrevet for Austre Memurubre, se s.43. Stakene ble avlest 8 ganger og siste gang 21.oktober. På dette tidspunkt var det kommet ca. 1 meter nysnø.

Sommerbalansen er beregnet til $10,8 \cdot 10^6 \text{ m}^3$ eller 1,19 m jevnt fordelt (38 l/s km^2).

Nettobalanse. Nettobalansen ble svakt positiv på Vestre Memurubre og $0,9 \cdot 10^6 \text{ m}^3$ ble holdt tilbake. Dette tilsvarer et vannlag på 0,11 m eller 3 l/s km^2 . Likevektslinjens høyde som altså må være svært nær verdien i et nøytralt balanseår, ble liggende 1850 m o.h., se fig. 31 og tabell s.43.

VESTRE MEMURUBRE 1971

Position of stakes, pits and sounding profiles

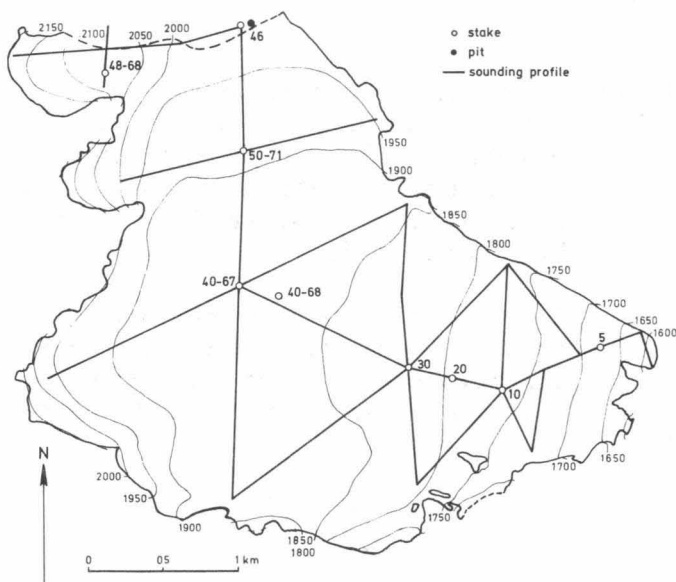


Fig. 29 Beliggenheten av staker, sjakter og sonderingsprofiler på Vestre Memurubre.

The location of stakes, pits and sounding profiles on Vestre Memurubre.

VESTRE MEMURUBRE 1971

Winter balance in cm of water equivalent

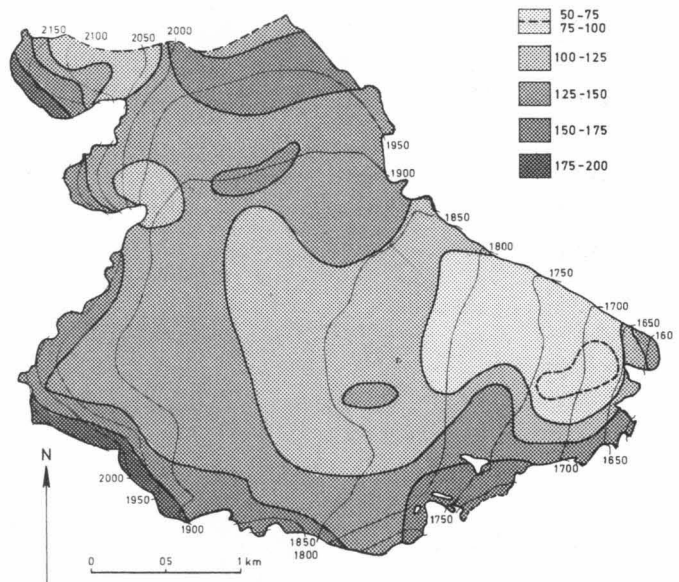


Fig. 30 Kart over vinterbalansen 1971.

Map of the winter balance 1971.

VESTRE MEMURUBRE 1971

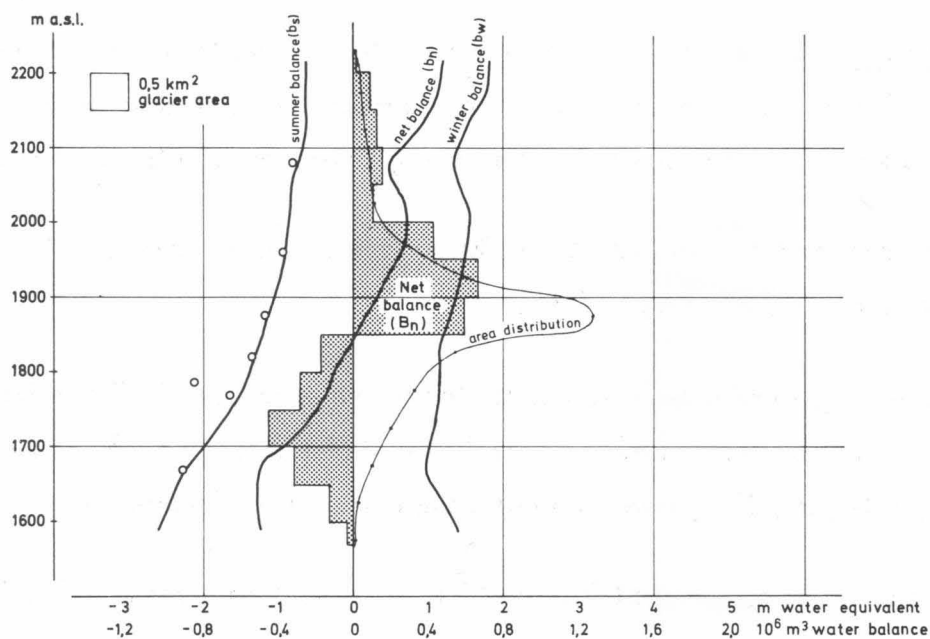


Fig. 31 Variasjonene av vinter-, sommer- og netto-balansen med høyden over havet, breens arealfordeling og arealverdier av netto-balansen i hvert 50 m høydeintervall.

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

VESTRE MEMURUBRE 1971

Høyde intervall m o. h.	Areal S km ²	Vinterbalanse			Sommerbalanse			Nettobalanse		
		B^w 10 ⁶ m ³	m	b^w l/s km ²	B^s 10 ⁶ m ³	m	b^s l/s km ²	B^n 10 ⁶ m ³	m	b^n l/s km ²
2.200-2.230	0.011	0.020	1.82	57	0.007	0.64	20	0.013	1.18	37
2.150-2.200	0.081	0.143	1.77	56	0.051	0.63	20	0.092	1.14	36
2.100-2.150	0.137	0.207	1.51	48	0.086	0.63	20	0.121	0.88	28
2.050-2.100	0.211	0.281	1.33	42	0.177	0.84	27	0.104	0.49	15
2.000-2.050	0.247	0.373	1.51	48	0.197	0.80	25	0.176	0.71	23
1.950-2.000	0.654	1.006	1.54	49	0.572	0.87	27	0.434	0.67	22
1.900-1.950	1.471	2.117	1.44	45	1.451	0.99	31	0.666	0.45	14
1.850-1.900	3.240	4.241	1.31	41	3.645	1.13	36	0.596	0.18	5
1.800-1.850	1.356	1.562	1.15	36	1.732	1.28	40	-0.170	-0.13	-4
1.750-1.800	0.790	0.890	1.13	36	1.172	1.48	47	-0.282	-0.35	-11
1.700-1.750	0.492	0.529	1.08	34	0.078	1.78	56	-0.349	-0.70	-22
1.650-1.700	0.254	0.247	0.97	31	0.561	2.21	70	-0.314	-1.24	-39
1.600-1.650	0.087	0.107	1.23	39	0.212	2.44	77	-0.125	-1.21	-38
1.570-1.600	0.019	0.026	1.37	43	0.049	2.58	123	-0.023	-1.21	-80
1.570-2.230	9.051	11.749	1.30	41	10.790	1.19	38	0.959	0.11	3

Austre MemurubreMaterialhusholdningen

Vinterbalanse. 29. oktober 1970 var det kommet mellom $\frac{1}{2}$ og 1 meter nysnø. 6. januar ble endel av stakene igjen kontrollert og et profil ble sondert fra st. 73 til st. 20. Snødypet var da øket til 1,5-2 meter. Enda et besøk ble foretatt 5. mars før hovedmålingene ble utført 4. og 5. mai. Snødypet varierte fra under 1 meter på kulene til over 4 meter inn under botnveg-gene, på de flatere partiene var det stort sett mellom 2 og 3 meter. 280 sonderinger ble tatt etter et mønster vist i fig. 32. Ut fra meteorologiske observasjoner på Fanaråken er det beregnet at vintersesongen sluttet 28. mai over hele breen. Nedbøren mellom 5. og 28. mai var så liten at noen tilleggsakkumulasjon av betydning neppe har forekommet.

Vinterbalansen er beregnet til $11,6 \cdot 10^6 \text{ m}^3$, spesifikt fordelt 1,33 m (42 l/s km^2).

Sommerbalanse. Fram til ca. 10. juni var det forholdsvis varmt og endel smelting foregikk over hele breen. Derimot var breen dekket av nysnø igjen 16. juni. Utover sommeren vekslet forholdene mellom varme perioder med ablasjon og kaldere perioder med snøfall slik dette allerede er omtalt for Vesledalsbreen og Nigardsbreen. Breis var synlig bare lavere enn 1800

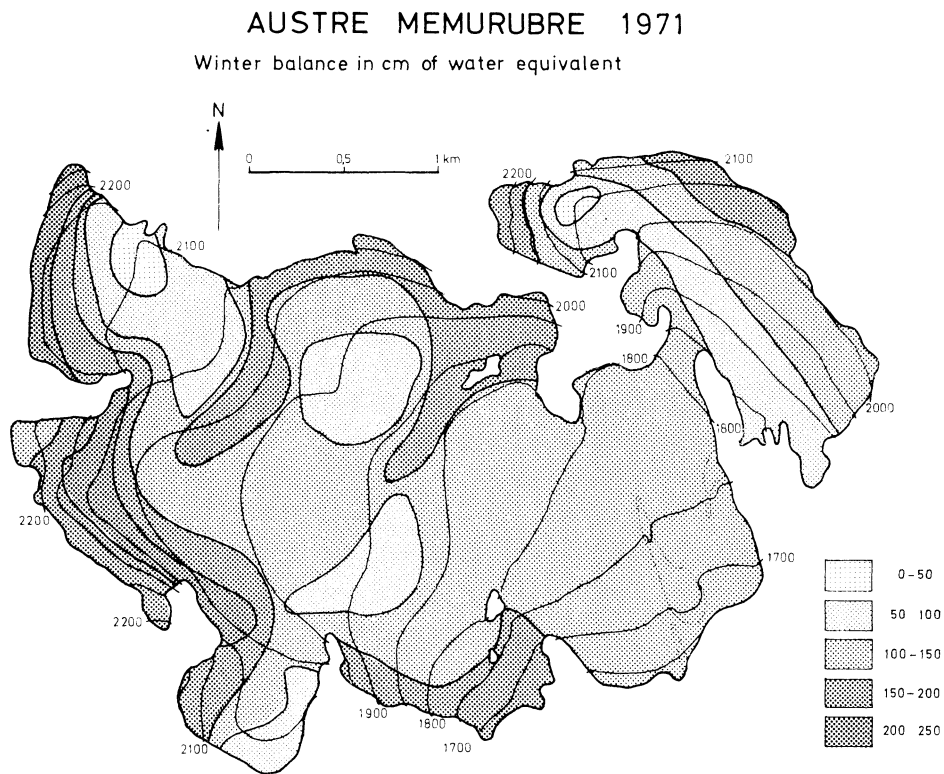


Fig. 32 Kart som viser fordelingen av vinterbalansen på Austre Memurubre 1971.

Distribution of the winter balance on Austre Memurubre 1971.



Fig. 33 Austre (til høyre) og Vestre Memurubre fotografert fra Surtningsui 2. september 1971.

Austre (to the right) and Vestre Memurubre, September 2, 1971.

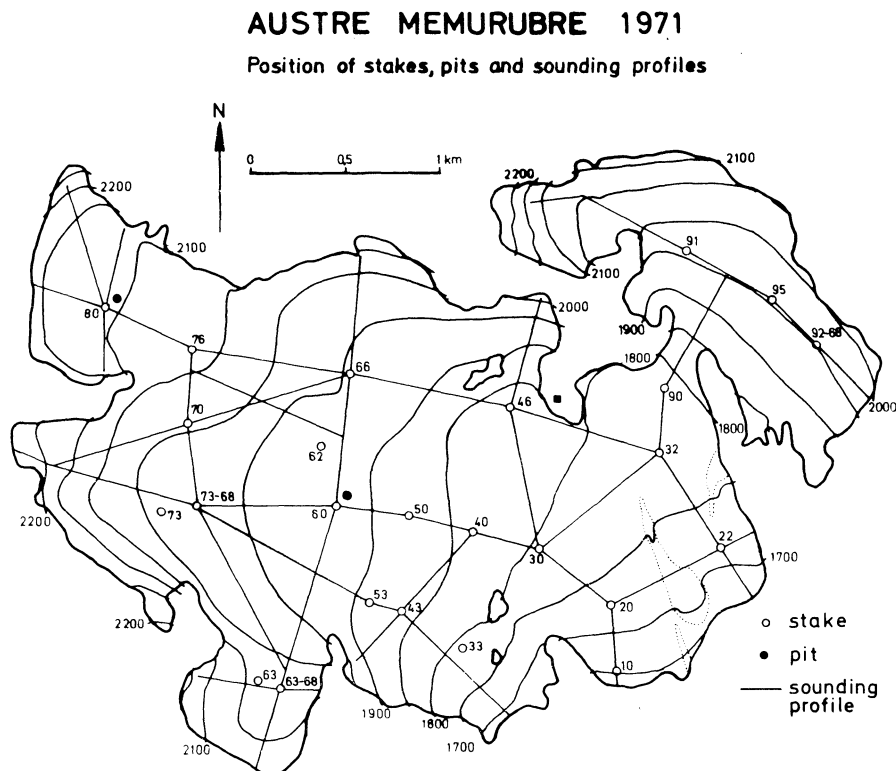


Fig. 34 Beliggenheten av staker, sjakter og sonderingsprofiler på Austre Memurubre 1971.

Location of stakes, pits and sounding profiles on Austre Memurubre 1971.

meter i månedsskiftet juli/august, men en måned senere var mindre enn halve breen snødekket. Endel ablasjon forekom også første halvdel av september, slik at sommerbalansen er basert på målinger 22.oktober. På dette tidspunkt var breen dekket av 1 meter nysnø.

Total sommerbalanse ble $13,2 \cdot 10^6 \text{ m}^3$ eller 1,51 m jevnt fordelt 48 l/s km^2).

Nettobalanse. Nettobalansen ble svakt negativ på Austre Memurubre i motsetning til breene lengst vest som alle hadde tildels betydelige overskudd. Totalt mistet breen $1,6 \cdot 10^6 \text{ m}^3$ vann (0,18 m eller 6 l/s km^2). Likevektslinjen ble liggende 1960 m o.h. Alle resultater av massebalansemålinger er framstilt grafisk på fig. 35 og i tabellform, side 46.

Meteorologiske og hydrologiske observasjoner

Observasjonene kom igang på nedre hytte 16.juni og gikk kontinuerlig til 10.september. På øvre hytte var det fast bemanning fra 28.juni til 1.september, men termografen, hygrometret og pluviografen var i drift noen dager før og etter denne perioden. Observatørene på øvre hytte hadde ellers som oppgave å foreta daglige stakeobservasjoner, skyobservasjoner og målinger

AUSTRE MEMURUBRE 1971

Høyde intervall m o. h.	Areal S km^2	Vinterbalanse				Sommerbalanse				Nettobalanse		
		B_w 10^6 m^3	b_w m	b_w $1/\text{s km}^2$	B_s 10^6 m^3	b_s m	b_s $1/\text{s km}^2$	B_n 10^6 m^3	b_n m	b_n $1/\text{s km}^2$		
2200-2250	0.031	0.065	2.10	66	0.019	0.63	20	0.0460	1.47	46		
2150-2200	0.208	0.398	1.91	60	0.133	0.64	20	0.265	1.27	40		
2100-2150	0.545	0.858	1.57	50	0.452	0.83	26	0.406	0.74	23		
2050-2100	0.866	1.032	1.19	38	0.821	0.95	30	0.211	0.24	8		
2000-2050	1.150	1.664	1.45	46	1.368	1.19	38	0.296	0.26	8		
1950-2000	1.250	1.777	1.42	45	1.620	1.30	41	0.157	0.12	4		
1900-1950	1.300	1.498	1.15	36	1.955	1.50	47	-0.457	-0.35	-11		
1850-1900	0.850	1.062	1.24	39	1.433	1.69	53	-0.371	-0.45	-14		
1800-1850	0.764	0.967	1.27	40	1.388	1.82	57	-0.421	-0.55	-17		
1750-1800	0.904	1.156	1.28	40	1.921	2.13	67	-0.765	-0.85	-27		
1700-1750	0.557	0.765	1.37	43	1.335	2.40	76	-0.570	-1.03	-33		
1650-1700	0.248	0.318	1.28	40	0.688	2.77	87	-0.370	-1.49	-47		
1600-1650	0.026	0.033	1.27	40	0.081	3.13	99	-0.048	-1.86	-59		
1600-2250	8.718	11.593	1.33	42	13.214	1.51	48	-1.621	-0.18	-6		

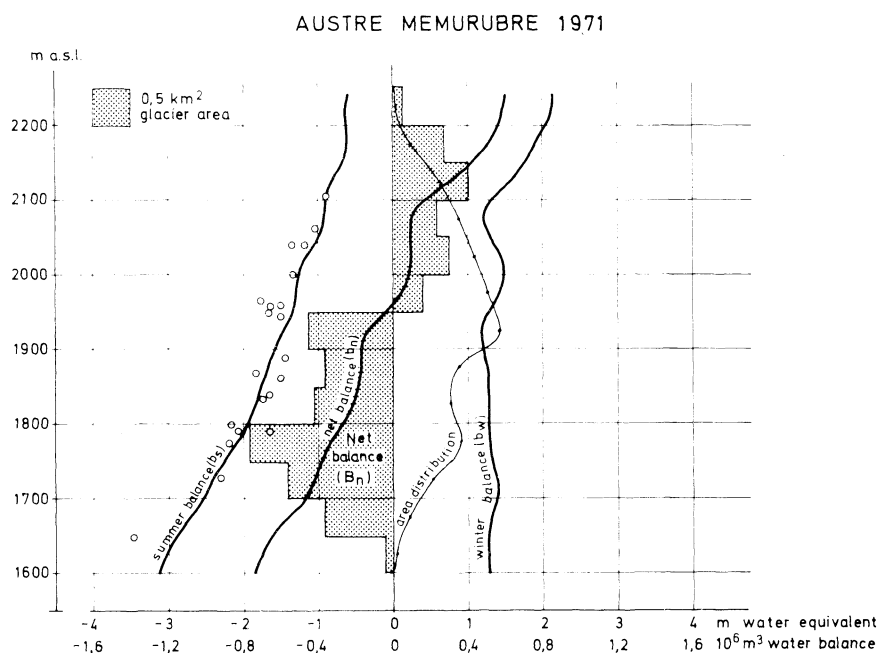


Fig. 35 Variasjonene av vinter-, sommer og netto-balansen med høyden over havet, breens arealfordeling og arealverdier av netto-balansen i hvert 50 m høydeintervall.

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

av fritt vanninnhold til støtte for varmemålingene. Om resultatene av disse, se S. Mes-sels artikkel, s. 72.

Sky- og vindforhold. I observasjonsdiagrammet, fig. 36 er bare skyforholdene over nedre hytte framstilt. Midlere skydekke for 86 døgn ble 6,3 hvorav juni (16.-30.) hadde 8,9, juli 6,1 og august 5,8. Helt klart var det bare 4 dager, helt overskyet 21, mens det var halvskyet eller bedre hele 37 dager. På øvre hytte var midlere skydekke i juli 6,7, i august 7,0 og 6,8 i middel for 64 døgn. Hyppig tåkedannelse på øvre hytte forklarer hvorfor skydekket tilsynelatende er tettere her enn på nedre hytte.

Vindstyrken ble målt på begge hyttene og er sammenstilt i fig. 36. I perioden fra 28.juni til 1.september var middelvindstyrken på øvre hytte 3,7 m/s og 2,4 m/s på nedre hytte. På nedre hytte var vindstyrken aldri over 6,0 m/s som ble målt 16.juli, mens høyeste registrerte verdi på øvre hytte var 11,1 m/s (16.august). Noen vesentlig varians mellom månedsmiddelverdiene var det verken på øvre eller nedre hytte.

Temperaturforhold. På nedre hytte var ekstremale døgnmiddelverdier 12,3°C (4.juli) og -1,4°C (19.juni). Middelet for h.h.v. juni (16.-30.), juli, august og hele observasjonsperioden ble 2,5°C, 6,1°C, 6,1°C og 5,3°C. Tilsvarende verdier for øvre hytte i samme rekkefølge ble 11,5°C (3.juli), -2,8°C (18.juni), 0,2°C, 3,6°C, 3,7°C og 2,8°C. Bare 3 dager i juni hadde negative temperaturer på nedre hytte, mens det på øvre hytte var hele 22 dager med minusgrader i løpet av sommeren.

Temperaturgradienten mellom stasjonene Varden og hyttene på Memurubreen er beregnet for juli, august og for hele observasjonsperioden. Temperaturfallet pr. 100 meter mellom Varden og nedre hytte ble 0,71°C i juli, 0,61 i august og 0,69 for hele perioden (16.juni-10.september). Verdiene for relasjonen mellom Varden og øvre hytte ble tilsvarende beregnet til 0,69 i juli, 0,63 i august og 0,68 (16.juni-7.september). Årets verdier ligger mellom tilsvarende tall fra 1969 og 1970.

Nedbørsforhold. I tillegg til normalmålerne på nedre og øvre hytte var det også plassert en pluviograf på øvre hytte. Sommeren ble relativt nedbørsfattig. På nedre hytte ble det målt 140 mm hvorav 48 mm kom i juni, 57 mm i juli og 33 mm i august. På øvre hytte var totalsummen 183 mm med månedsverdiene for juni (16.-30.), juli og august h.h.v. 61 mm, 85 mm og 37 mm. Nedbørsverdiene på øvre hytte lå gjennomsnittlig 33% høyere enn verdiene på nedre hytte.

Ved den meteorologiske stasjonen Varden (på Filefjell) var nedbørsmengdene sommeren 1971 noe høyere enn det som ble målt ved Memurubreen. Dette er motsatt av hva en har kunnet

AUSTRE MEMURUBRE 1971

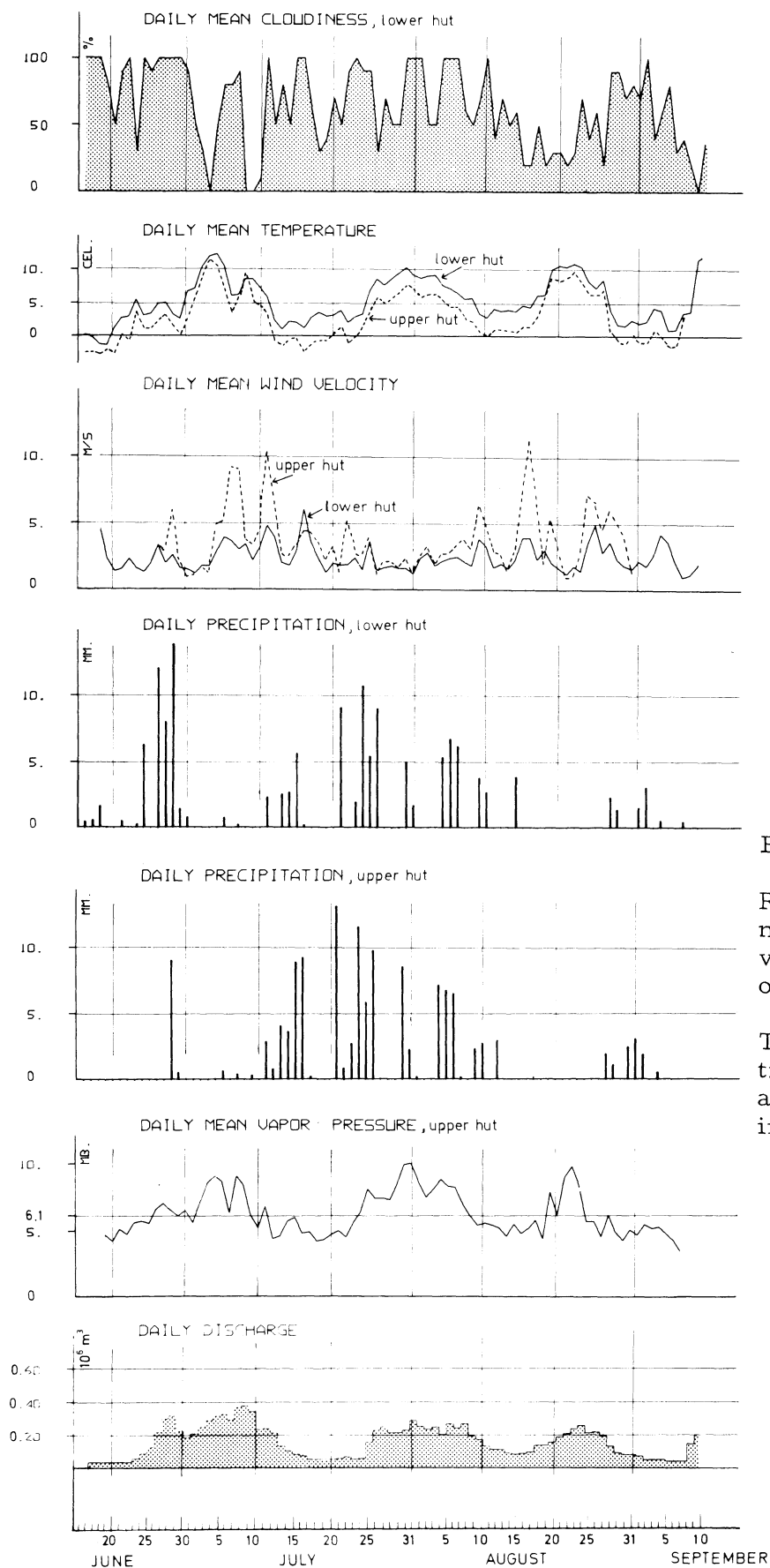


Fig. 36

Resultatene av de daglige meteorologiske observasjonene ved de to observasjonshyttene og beregnet døgnavløp i Breelva.

The meteorological observations at Austre Memurubre and computed daily discharge in the glacier river.

registrere de foregående 2 sommere hvor Varden har hatt merkbart mindre nedbør enn bestasjonene. Fra 16.juni til 10.september kom det på Varden 207 mm nedbør. Noe av forklaringen ligger i den uvanlig sterke nedbøren som Varden fikk 28.juni da det ble målt 42,1 mm. Samme dag registrerte nedre hytte på Memurubreen bare 13,9 mm.

Luftfuktigheten. Hygrografen var også sommeren 1971 plassert på øvre hytte og fungerte tilfredsstillende fra 19.juni til 7.september - ialt 80 døgn. Middelvannndamptrykket ble så lavt som 6,2 mb. 12 dager i juni hadde 5,7 mb, juli 6,6 mb og august 6,4 mb. Over halvparten av tida - 45 døgn, var vandamptrykket lavere enn 6,1 mb. Tar en bort dager med negative temperaturer står en igjen med 23 dager hvor sublimasjon fra breflaten kan ha forekommet. Sammenliknet med de andre stasjonene hvor fuktigheten registreres, har A.Memurubre klart de laveste verdiene. På Ålfotbreen var det bare 5 døgn hvor positiv døgnmiddeltemperatur kombineres med vandamptrykk lavere enn 6,1 mb, på Vesledalsbreen tilsvarende 14 døgn, på Nigardsbreen 17 og på Memurubreen altså 23.

Avrenning. Totalavløpet i måleperioden ble $13,8 \cdot 10^6 \text{ m}^3$, i middel $0,161 \cdot 10^6 \text{ m}^3$ pr.døgn. Under de kaldeste periodene i juni og juli falt vannstanden til meget lave verdier, noe som igjen virket sterkt inn på materialtransporten i elva sommeren 1971. Se herom i Ziegler 1973 som inngående behandler disse aspektene.

Gråsubreen

Materialhusholdningen

Vinterbalanse. 6.mai ble vinterbalansen målt ved at 138 sonderinger ble tatt jevnt fordelt over breflaten (fig.37). Snømengden var beskjeden, på enkelte områder var det helt snøbart. Fordelingen synes ellers å være helt uavhengig av høyden mens selv små endringer i overflatens eksposisjon kan gi store variasjoner i snødyp. Av de undersøkte breene er derfor Gråsubreen den eneste hvor vinterbalansen normalt synker med høyden, se fig. 39. Dette skyldes ikke at nedbøren er avtagende med høyden, men at mulighetene for snøoppsamling er større nederst på breen. Største snødyp, ca. 2,5 meter, fant en i år på Gråsubreens laveste punkt.

Vinterbalansen ble $1,2 \cdot 10^6 \text{ m}^3$ som tilsvarer et vannlag på 0,49 m (16 l/s km^2). Fordelingsmønsteret er vist på fig. 38

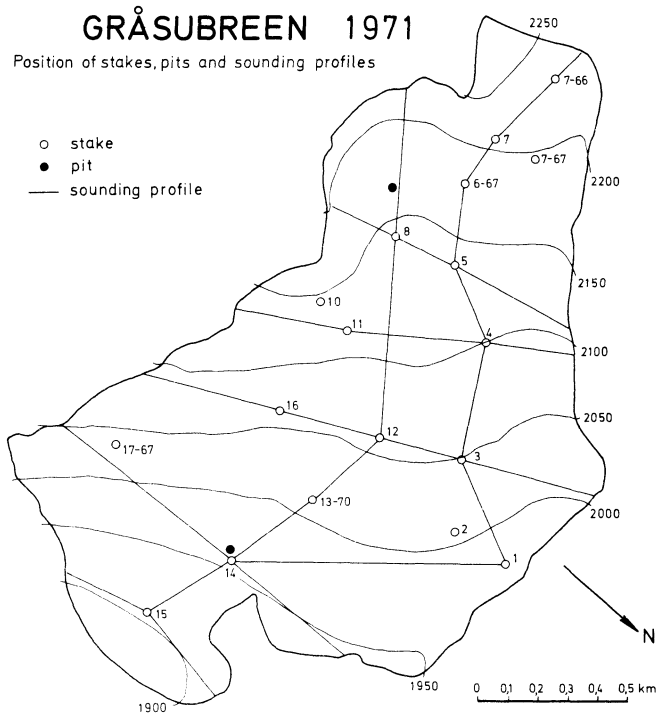


Fig. 37 Beliggenheten av staker, sjakter og sonderingsprofiler.
The location of stakes, pits and sounding profiles.

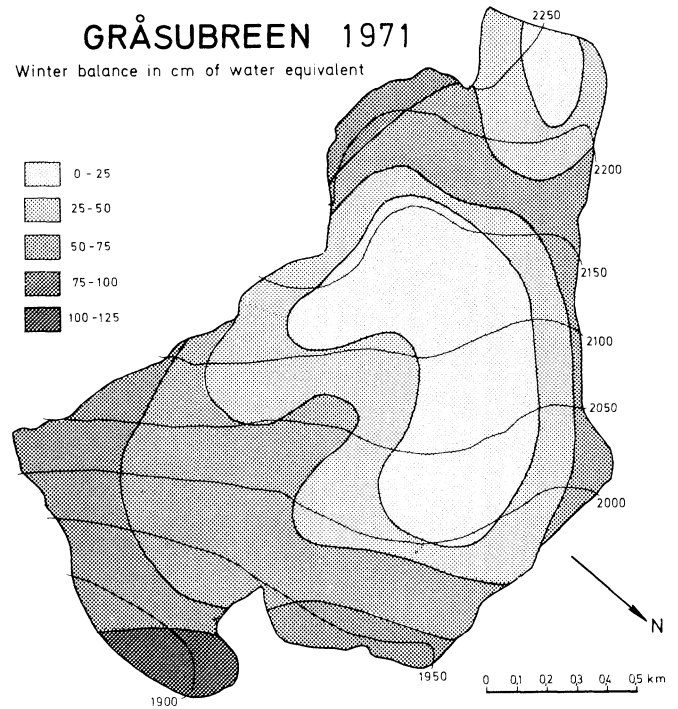


Fig. 38 Kart som viser vinterbalansen 1971.
Map of the winter balance 1971.

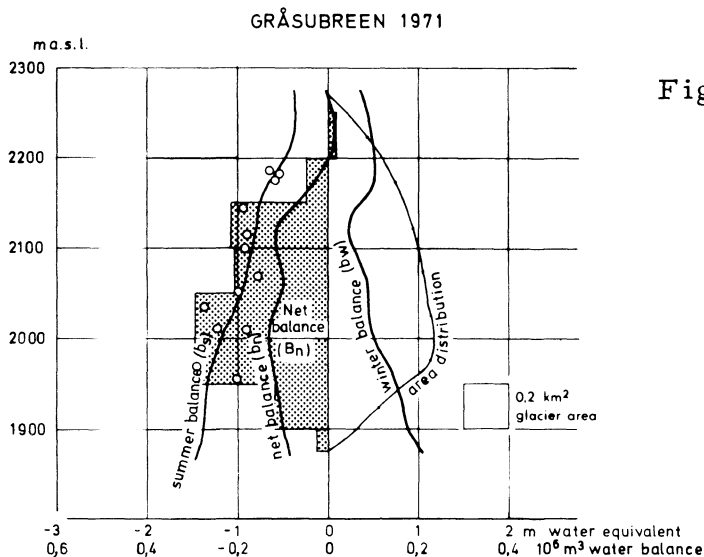


Fig. 39 Variasjonene av vinter-, sommer- og netto-balansen med høyden over havet, breens arealfordeling og arealverdier av netto-balansen i hvert 50 m høydeintervall.

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

Sommerbalanse. Gråsubreen ble besøkt 22.juli og 18.september. Det var nysnø over hele breen begge dagene og ikke mulig å observere snøgrensen direkte. Ut fra stakemålingene kan en likevel se at vintersnøen smeltet bort nær sagt over hele breflaten, bare i botnen innenfor stake 8 ble det liggende noe snø tilbake.

Sommerbalansen er beregnet til $2,4 \cdot 10^6 \text{ m}^3$, spesifikt fordelt $0,96 \text{ m}$ (30 l/s km^2).

GRASUBREEN 1971

Høyde intervall m o. h.	Areal S km ²	Vinterbalanse			Sommerbalanse			Nettobalanse		
		B^w 10 ⁶ m ³	m	b^w l/s km ²	B^s 10 ⁶ m ³	m	b^s l/s km ²	B^n 10 ⁶ m ³	m	b^n l/s km ²
2250-2300	0.031	0.011	0.35	11	0.012	0.38	12	-0.001	-0.03	-1
2200-2250	0.181	0.083	0.46	15	0.068	0.38	12	+0.015	+0.08	+3
2150-2200	0.307	0.150	0.49	16	0.196	0.64	20	-0.046	-0.15	-4
2100-2150	0.383	0.090	0.23	7	0.305	0.80	25	-0.215	-0.57	-18
2050-2100	0.410	0.159	0.39	12	0.364	0.89	28	-0.205	-0.50	-16
2000-2050	0.471	0.212	0.45	14	0.508	1.08	34	-0.296	-0.63	-20
1950-2000	0.464	0.305	0.66	21	0.600	1.29	41	-0.295	-0.63	-20
1900-1950	0.216	0.174	0.81	26	0.292	1.35	43	-0.118	-0.54	-17
1850-1900	0.062	0.064	1.03	33	0.091	1.47	46	-0.027	-0.44	-13
1850-2300	2.525	1.248	0.49	16	2.436	0.96	30	-1.188	-0.47	-14

Nettobalanse. For 4. året på rad ble det underskudd i Gråsubreens nettobalanse. Tapet i 1971 ble $1,2 \cdot 10^6 \text{ m}^3$ eller jevnt fordelt 0,47 m. Ekstratilsiget beløp seg følgelig til 14 l/s km^2 . Likevektslinjen kom til å ligge 2200 m o.h.

Høgtuvbreen

Undersøkelsene i Svartisområdet foregikk i balanseåret 1970/71 etter samme retningslinjer som er beskrevet i forrige års rapport. I tillegg til massebalansemålingene på Engabreen og Trollbergdalsbreen ble det startet tilsvarende målinger i Høgtuvbreområdet. Gradteigkartets sammenhengende Høgtuvbre består idag av 3 adskilte breområder som kan skilles i en sørlig, en midtre og nordlig del. Tilsammen har Høgtuvbreene et areal på $16,9 \text{ km}^2$ hvorav den midtre delen er størst med $7,1 \text{ km}^2$.

Det aktuelle undersøkelsesområdet omfatter en østvendt utløper fra Nordre Høgtuvbre. Dreneringsarealet som går til Langvassåga er $2,9 \text{ km}^2$ og lengden ca. 3 km. Breen må karakteriseres som en dalbre med to adskilte akkumulasjonsområder. Et flyfoto av breen tatt sommeren 1972, er vist i fig. 40. Da det ennå ikke har vært mulig å konstruere et tilfredsstillende brekart, har en valgt ikke å presentere resultater fra målingene i 1971 i denne rapporten, men en kan nevne at foruten en fullstendig registrering av vinter- og sommerbalansen er rutinemessige meteorologiske observasjoner utført ved en observasjonshytte like foran brefronten. I tillegg foretok observatørene kontinuerlige slamtransportmålinger i breelva, se herom rapporten "Slamtransportundersøkelser i Norske Breelver 1971".

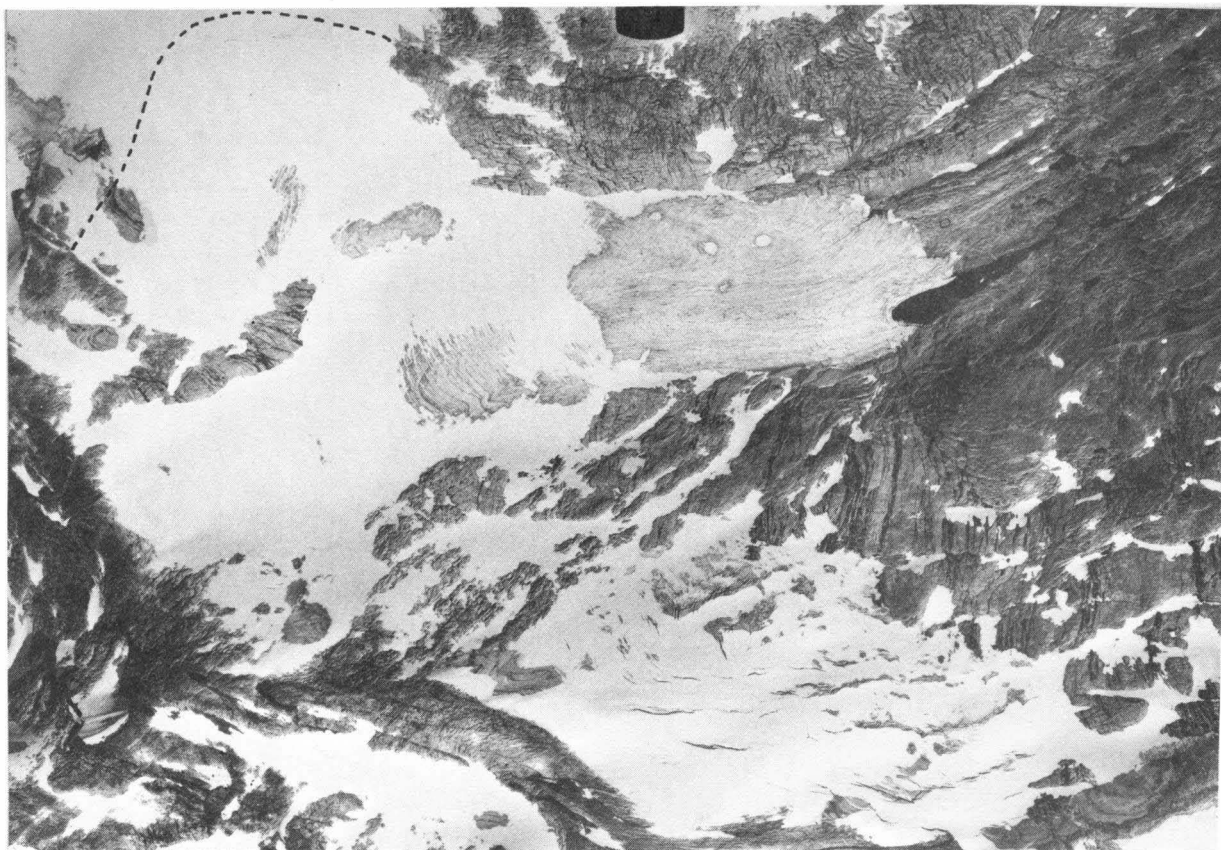


Fig. 40 Flyfoto av den undersøkte delen av Høgtuvbreen, opptatt 29. juli 1972. (Oppgave nr. 4079). Breen er orientert øst-vest og vannskillet mot nabobreen i nord er forsøkt angitt. (Fjellanger-Widerøe A/S).

Aerial photo showing the investigated part of Høgtuvbreen on July 29, 1972. The glacier is flowing from the West towards the East.

Engabreen

Materialhusholdningen

Vinterbalanse. Det var ikke mulig å få inspisert stakene før disse forsvant utpå vinteren. Nye staker ble utsatt 27.februar - 5.mars. Vinteren var nedbørsrik og da vinterbalansemålingene skulle utføres, fant en snødyp på opptil 9 meter. I de nordvendte delene av firnområdet var dessuten sommeroverflaten fra 1970 dårlig utviklet og sonderingsarbeidet ble både tungt og tidkrevende å utføre. Målingene ble foretatt i tiden 22.mai-3.juni og 350 sonderinger langs 67 km profillengde ble utført. Bretunga lavere enn 300 meter var da snøbar.

Fordelingsmønsteret er vist i fig. 43. Totalt er vinterbalansen beregnet til $122,0 \cdot 10^6 \text{ m}^3$ som spesifikt fordelt utgjør 3,20 m vann (101 l/s km^2). Årets verdier representerer en markert økning fra 1970 da vinterbalansen ble 2,05 m.

ENGABREEN 1971

Position of stakes, pits and sounding profiles

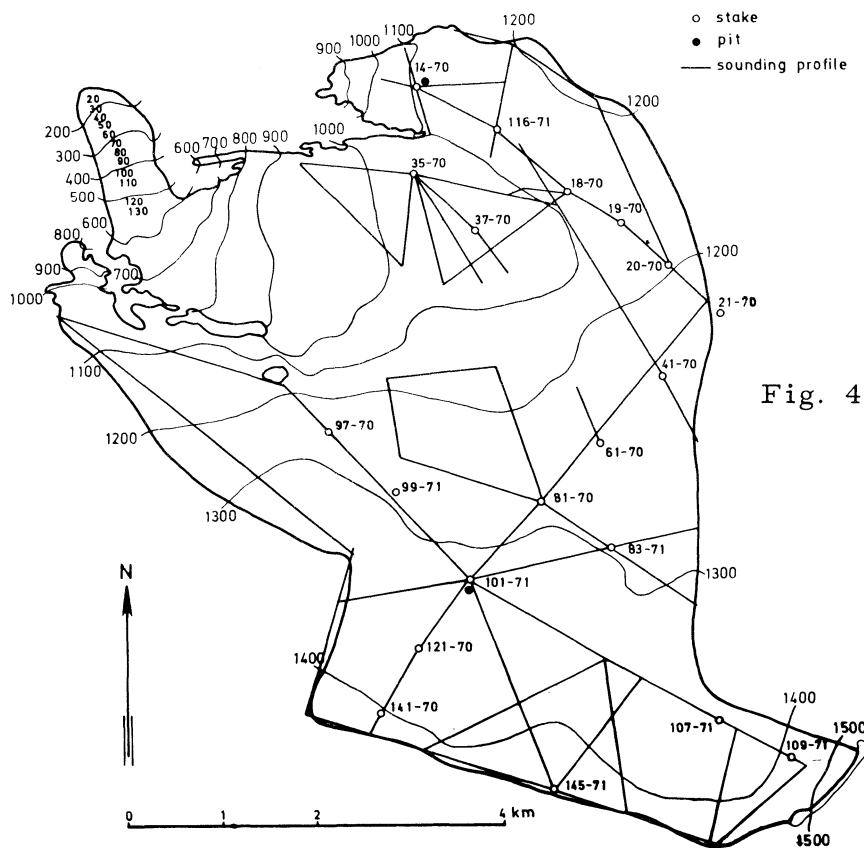


Fig. 41 Beliggenhet av staker, sjakter og sonderingsprofiler.
The location of stakes, pits and sounding profiles.



Fig. 42 Engabreen fotografert 30. juli 1952. (Fjellanger-Widerøe A/S). Bretungas posisjon har totalt ikke endret seg nevneverdig de siste 20 år, Snøtind stikker opp av snødekket i bakgrunnen.

Engabreen, July 30, 1952. The glacier front retreated somewhat since, but has again started to advance. Its position is now approx. the same as shown on this picture. Snøtind, 1594 m a. s. l., in the background.

ENGABREEN 1971

Winter balance in cm of water equivalent

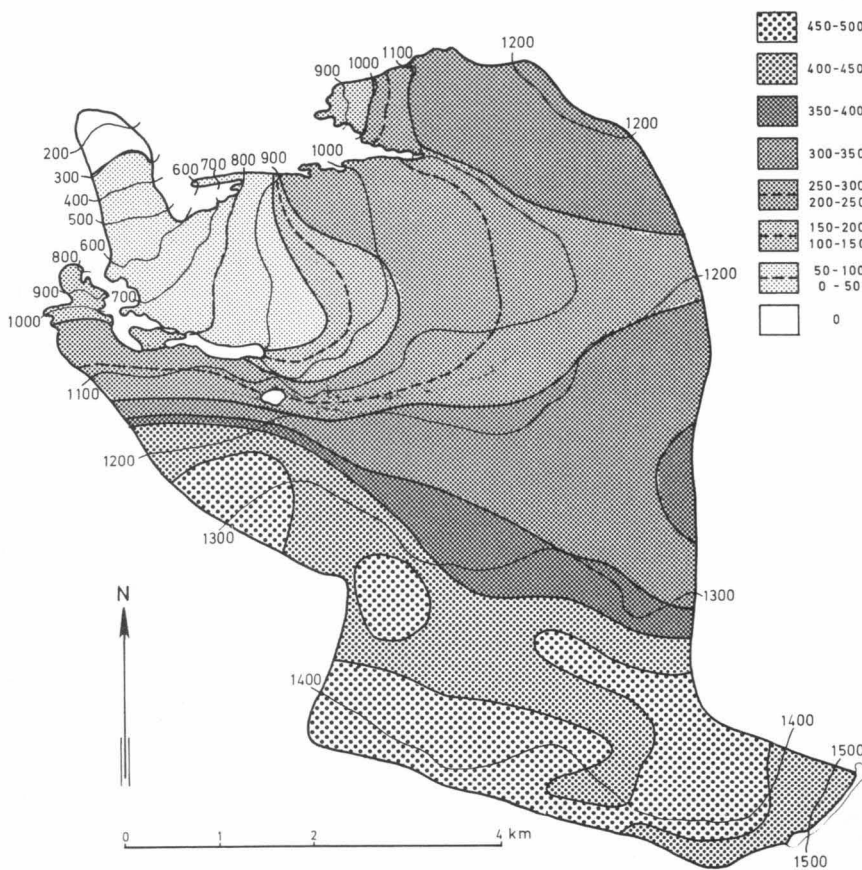


Fig. 43 Kart som viser vinterbalansen 1971.

Map of the winter balance 1971.

ENGABREEN 1971

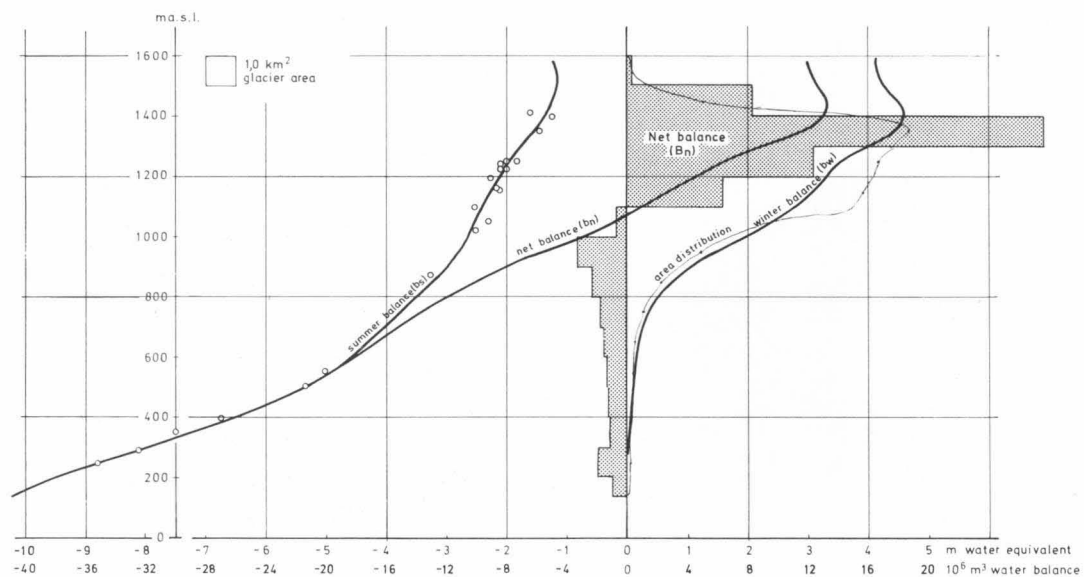


Fig. 44 Variasjonene av vinter-, sommer- og netto-balansen med høyden over havet, breens arealfordeling og arealverdier av netto-balansen i hvert 50 m høydeintervall.

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

ENGABREEN 1971

Høyde intervall m o. h.	Areal S km ²	Vinterbalanse			Sommerbalanse			Nettobalanse		
		B ^w 10 ⁶ m ³	m	b ^w l/s km ²	B ^s 10 ⁶ m ³	m	b ^s l/s km ²	10 ⁶ m ³	m	b ⁿ l/s km ²
1500-1594	0.124	0.512	4.13	130	0.200	1.61	51	0.312	2.52	79
1400-1500	2.508	11.311	4.50	143	3.083	1.23	39	8.228	3.27	104
1300-1400	9.348	41.532	4.45	140	13.885	1.48	47	27.647	2.97	93
1200-1300	8.548	29.491	3.45	109	17.140	2.00	63	12.351	1.45	46
1100-1200	7.600	23.510	3.10	98	17.180	2.26	72	6.330	0.84	26
1000-1100	4.662	11.108	2.39	76	11.905	2.58	81	-0.797	-0.19	-5
900-1000	2.460	3.628	1.47	47	6.905	2.80	89	-3.277	-1.33	-42
800-900	0.940	0.705	0.75	24	3.060	3.25	103	-2.355	-2.50	-79
700-800	0.500	0.125	0.25	8	1.900	3.80	120	-1.775	-3.55	-112
600-700	0.370	0.093	0.25	8	1.600	4.32	137	-1.520	-4.10	-130
500-600	0.270	0.030	0.11	3	1.310	4.85	154	-1.280	-4.74	-151
400-500	0.210	0.015	0.07	2	1.238	5.90	187	-1.223	-5.83	-185
300-400	0.165	0.006	0.04	1	1.164	7.06	224	-1.158	-7.02	-223
200-300	0.220	0	0	0	1.950	8.78	281	-1.950	-8.78	-281
80-200	0.095	0	0	0	0.900	9.50	300	-0.900	-9.50	-300
80-1594	38.020	122.053	3.20	101	83.420	2.19	70	+38.633	+1.01	32

Sommerbalanse. Observatørene kom på plass 14 dager etterat vinterbalansemålingene var utført og fortsatte til 26. august. Siste stakeavlesing ble tatt 9. september. Kaldt vær og kraftige snøfall på breplatået forekom i siste halvdel av juli og midten av august, ellers var temperaturen relativt høy i lengre perioder. Målestakene fra 1970 smeltet fram i nivået lavere enn 1250 m o. h. men ikke på de høyeste platåene. På bretunga ble ablasjonen målt i 13 punkter.

Totalt beløp sommerbalansen seg til $83,4 \cdot 10^6 \text{ m}^3$ eller jevnt fordelt 2,19 meter (70 l/s km^2).

Nettobalanse. Engabreen øket i 1971 sin masse med $38,6 \cdot 10^6 \text{ m}^3$, spesifikt fordelt 1,01 meter. Vassdraget fra breen ble derved berøvet 32 l/s km^2 av vinterens nedbør. Likevektslinjen lå 1070 m o. h. Nettobalansekurvens gradient er i år vesentlig større enn fjorårets, se fig. 44. Dette har sin årsak i vinterbalansekurvens forløp som viser en uvanlig rask stigning i nivået mellom 800 og 1400 m o. h. Sommerbalansekurven skiller seg derimot lite fra fjorårets, men på bretunga er ablasjonen framstilt vesentlig større i år enn i 1970. Dette skyldes neppe at ablasjonen har vært høyere i 1971, men at målingene i 1970 var mangelfulle i dette området. Da arealene nederst på bretunga er svært små, vil denne feilen ha minimal innflytelse på breens totalresultat.

Alle resultater er presentert i tabellform ovenfor.

Meteorologiske og hydrologiske observasjoner

Døgnlige observasjoner av temperatur, fuktighet, nedbør, vindstyrke, vindretning og skydekke ble tatt i tidsrommet 15. juni–27. august ved observasjonshytta, 880 m o.h. En termograf var også plassert ved garasjen 1100 m o.h. Døgnlig avrenning ble registrert ved VM 1774 i Engavatn. Alle relevante data fra Engabreen sommeren 1971 er framstilt i fig. 45

Sky- og vindforhold. Av ialt 70 observasjonsdøgn var bare 2 helt skyfrie, 14 hadde halvskyet eller klarere mens 31 dager er notert med tett skydekke eller tåke. Midlere skydekke for juni (17.–30.) ble 7,4, for juli 7,3 og for august (1.–26.) 8,3. Middel for hele perioden ble 7,7.

Døgnlig vindstyrke varierte mellom 14,8 m/s (28. juni) og 0,7 m/s (25. juni og 14. august). Middeltallet for juni (18.–30.), juli og august (1.–26.) ble h.h.v. 6,5 m/s, 4,5 m/s og 5,6 m/s og for hele perioden 5,3 m/s. Vindretningen svinger ofte fra østlig i godværsperioder til vestlig i de fleste nedbørsituasjoner.

Temperaturforhold. Ved observasjonshytta var det ingen dager med negative døgnmiddeltemperaturer. Laveste verdi var 0,3°C som ble målt 19. juli, mens høyeste verdi, 14,3°C, forekom 30. juli. Temperaturgangen viser en forbausende stor likhet med temperaturkurven fra Ålfotbreen, se fig. 8. Generelt sett har de glasio-klimatiske miljøer i disse to utpreget maritime breområdene, flere like trekk. Middeltemperaturen for juni (15.–30.), juli og august (1.–26.) ble 6,5°C, 5,7°C og 6,3°C og middeltemperaturen for 72 observasjonsdøgn var 6,1°C. Dette er 1,8°C lavere enn middeltemperaturen sommeren 1970 som dessuten hadde en noe kortere observasjonsrekke (60 døgn).

Nedbørsforhold. Nedbøren ble målt i en pluvius ved observasjonshytta. Dessuten ble det forsøkt å måle nedbøren i endel punkter på breen, men dette har vist seg å være vanskelig å kunne gjennomføre tilfredstillende. Nedbør som snø ble registrert ved hytta bare et par dager i juli. Totalt falt det i juni (17.–30.) 21 mm, i juli 328 mm og fra 1.–26. august hele 468 mm. Av observasjonsdiagrammet ser en at to dager, 19. og 25. august, begge hadde godt over 100 mm nedbør. Høyeste verdi var 125 mm den 19., men totalsummen den 25. er noe usikker da måleren antagelig rødt full i en periode under natten. Totalt ble det registrert 817 mm nedbør fra 17. juni til 26. august.

Luftfuktigheten. Hygrografen fungerte bra hele sommeren. Bare 21. juni var vanndamptrykket under 6,1 mb mens ingen av de resterende dagene hadde muligheter for sublimasjon fra breflaten. Midlere vanndamptrykk i de tre månedene ble 8,2 mb, 7,8 mb og 8,6 mb mens hele

ENGABREEN 1971

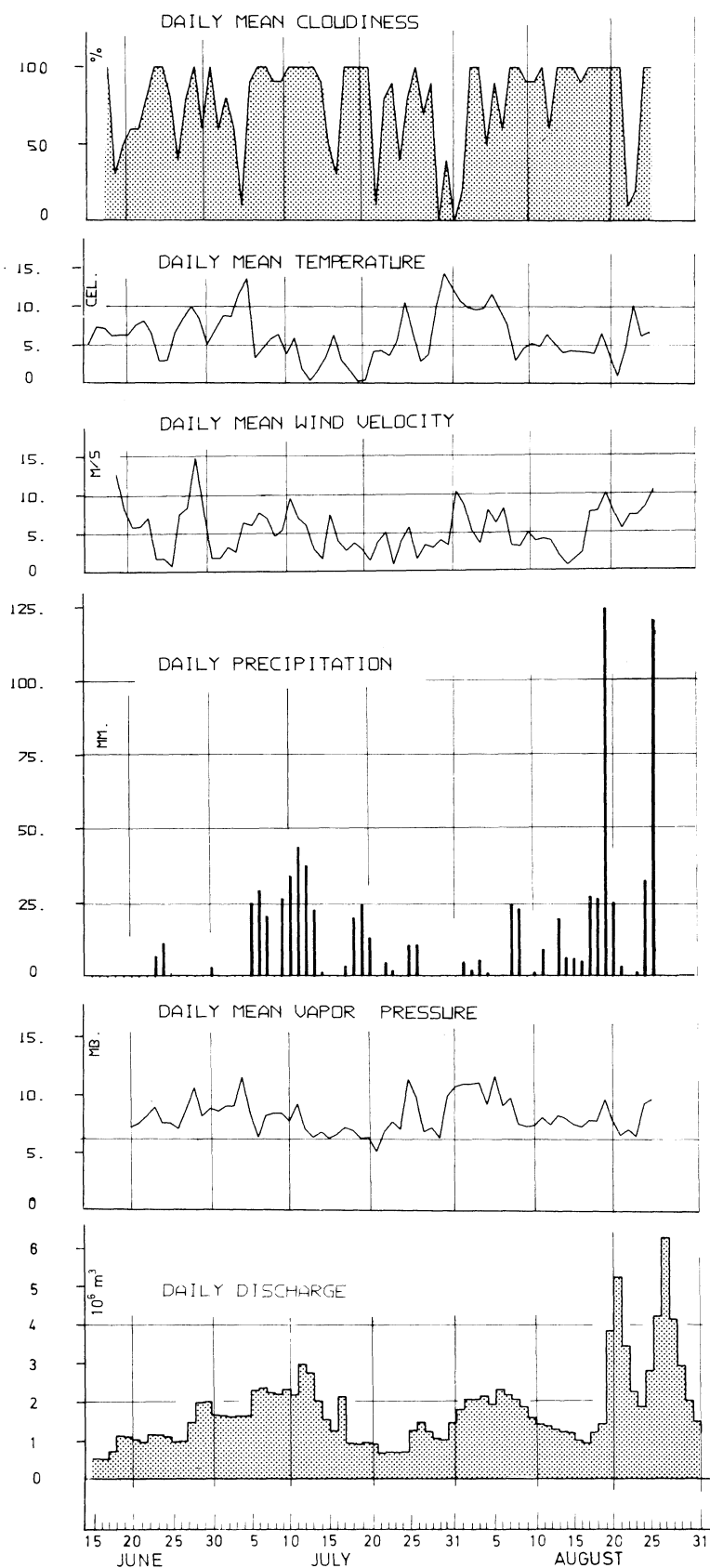


Fig. 45

Resultatene av de daglige meteorologiske observasjonene samt beregnet døgnavløp ved utløpet av Engavatn.

The daily meteorological observations and computed daily discharge at Engabreen.

observasjonsperioden hadde middelveien 8,2 mb.

Avrenning. Limnigrafen i Engavatn har et dreneringsareal på 49 km^2 hvorav 38 km^2 eller 78% er bredekket. Døgnet avløp fra 15. juni til 1. september er vist i fig. 45. Totalavløpet i denne perioden ble $139 \cdot 10^6 \text{ m}^3$. Som en følge av de enorme nedbørsmengdene 19. og 25. august, fikk en meget store døgnavløp under og like etter regnværet. Den 26. august ble det således registrert et avløp på $6,3 \cdot 10^6 \text{ m}^3$.

Trollbergdalsbreen

Materialhusholdningen

Vinterbalanse. Breen ble besøkt 13. mars, synlige staker ble da skjøtt og 6 nye staker utsatt. Hovedmålingene ble utført i dagene fra 9. til 11. mai. I motsetning til Engabreen, var sommeroverflaten fra 1970 meget tydelig over hele breen. Arbeidet var relativt lett å utføre og 230 sonderinger ble tatt langs 11,2 km profillengde, se fig. 46. Største snødyp, litt over 6 meter, fant en i et belte rundt 1100–1200 m o.h. Fordelingsmønsteret er framstilt i fig. 47

Vinterbalansen er beregnet til $4,3 \cdot 10^6 \text{ m}^3$ som igjen tilsvarer et 2,14 m vannlag eller 68 l/s km^2 . Økningen fra forrige vinters verdier er betydelig, men ikke så stor som på Engabreen.

Sommerbalanse. Observatørene kom igang 22. juni og forlot breen 1. september. Stakene ble ettersett og målt med 4–5 dagers mellomrom. Alle originalstakene kom etterhvert fram og ved sommersesongens slutt var det bare stake nr. 76 og 96 som viste positiv balanse. Ablasjonshastigheten var relativt jevn med unntak for tidsrommet 8.–25. juli da det falt endel snø på breen. Breen ble besøkt siste gang 9. november, etterat vintersesongen hadde startet.

Sommerbalansen ble $5,0 \cdot 10^6 \text{ m}^3$ eller 2,47 m (78 l/s km^2) jevnt fordelt over hele breen.

Nettobalanse. Trollbergdalsbreen tapte masse tilsvarende $0,7 \cdot 10^6 \text{ m}^3$ eller 0,33 m jevnt fordelt. Ekstraavrenningen ble følgelig 10 l/s km^2 . Et område mellom 1100 og 1220 m o.h. hadde positiv balanse, mens de høyestliggende områdene tapte masse, se fig. 48.

Sammenliknet med Engabreen gav altså Trollbergdalsbreen et annet inntrykk av de glasio-hydrologiske forholdene i Svartisområdet for balanseåret 1970/71. Mens Engabreen hadde et nettooverskudd på 1,01 m, framviste Trollbergdalsbreen, 30 km lenger øst, et underskudd på 0,33 m. En nærmere analyse av disse interessante forholdene finnes på s. 65.

TROLLBERGDALSBREEN 1971

Position of stakes, pits and sounding profiles

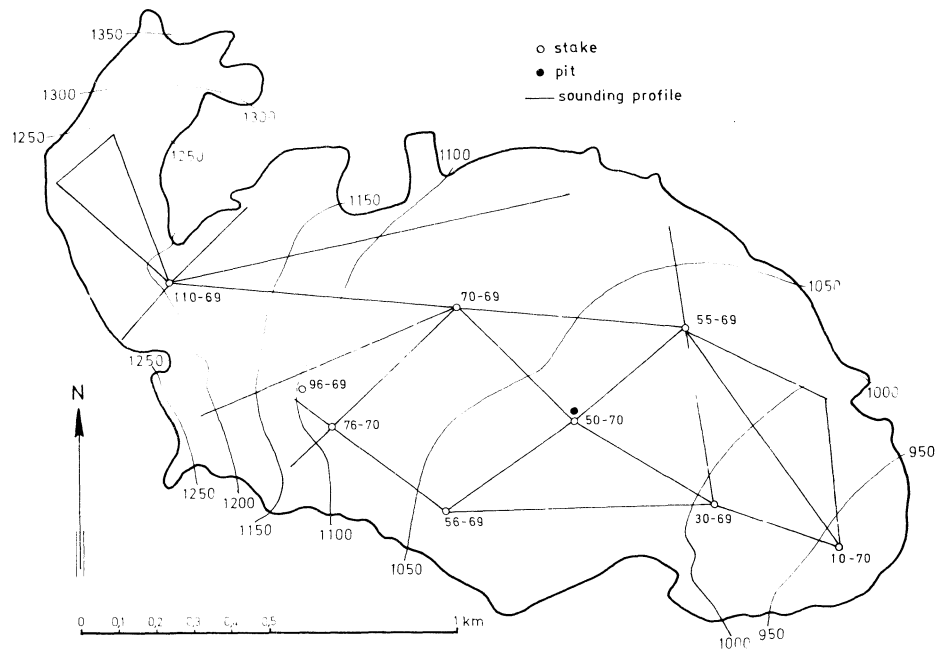


Fig. 46 Beliggenhet av staker, sjakter og sonderingsprofiler.
The location of stakes, pits and sounding profiles.

TROLLBERGDALSBREEN 1971

Winter balance in cm of water equivalent

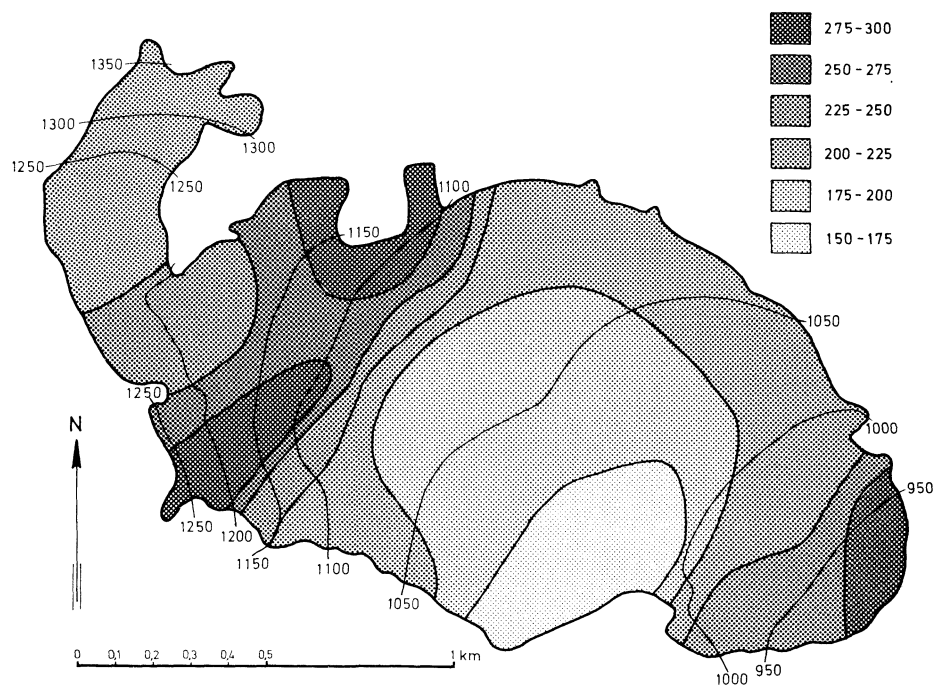


Fig. 47 Kart som viser vinterbalansen 1971.
Map showing the winter balance 1971.

TROLLBERGDALSBREEN 1971

Høyde intervall m o. h.	Areal S km ²	Vinterbalanse			Sommerbalanse			Nettobalanse		
		B_w $10^6 m^3$	m	b_w l/s km ²	B_s $10^6 m^3$	m	b_s l/s km ²	B_n $10^6 m^3$	m	b_n l/s km ²
1350-1370	0.003	0.006	2.00	63	0.006	2.00	63	0	0	0
1300-1350	0.050	0.106	2.12	67	0.106	2.12	67	0	0	0
1250-1300	0.045	0.102	2.27	72	0.107	2.37	75	-0.005	-0.10	-3
1200-1250	0.190	0.435	2.29	73	0.451	2.37	75	-0.016	-0.08	-2
1150-1200	0.152	0.393	2.58	82	0.361	2.37	75	0.032	0.21	7
1100-1150	0.137	0.366	2.67	85	0.325	2.37	75	0.041	0.30	10
1050-1100	0.556	1.173	2.11	67	1.321	2.37	75	-0.148	-0.27	-8
1000-1050	0.607	1.089	1.79	57	1.552	2.56	81	-0.463	-0.77	-24
950-1000	0.202	0.449	2.22	70	0.530	2.62	83	-0.081	-0.40	-13
900-950	0.074	0.186	2.51	80	0.213	2.88	91	-0.027	-0.37	-11
900-1370	2.016	4.305	2.14	68	4.972	2.47	78	-0.667	-0.33	-10

TROLLBERGDALSBREEN 1971

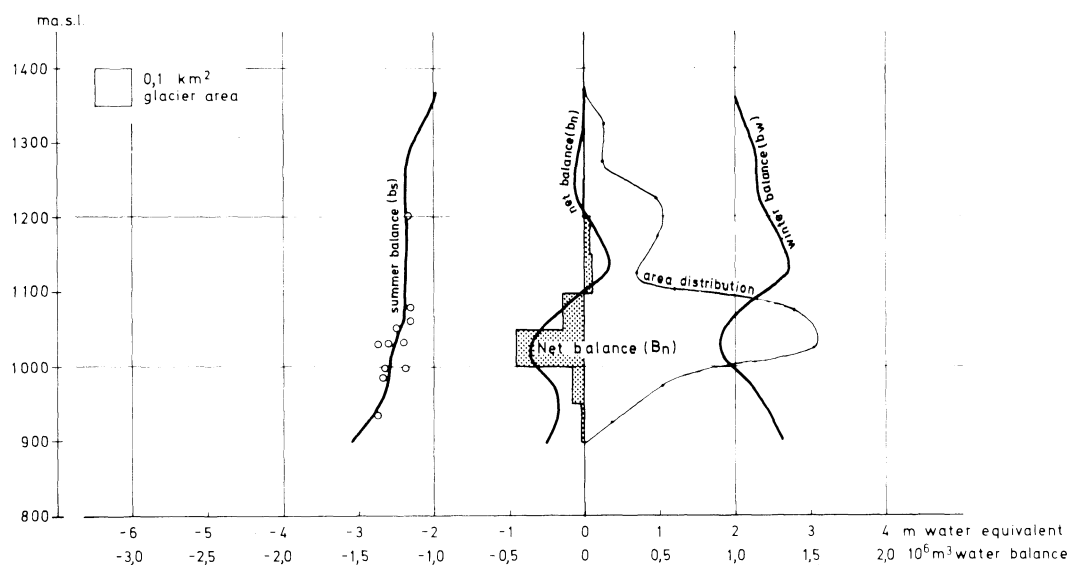


Fig. 48 Variasjonene av vinter-, sommer- og netto-balansen med høyden over havet, breens arealfordeling og arealverdier av netto-balansen i hvert 50 m høydeintervall.

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

Meteorologiske og hydrologiske observasjoner

Observasjonene ble tatt ved hytta nær brefronten (950 m o.h.) fra 22. juni til 1. september. Foruten temperatur og nedbør er det også registrert døgnlige vind- og skyobservasjoner. Alle resultater er presentert i fig. 49

TROLLBERGDALBREEN 1971

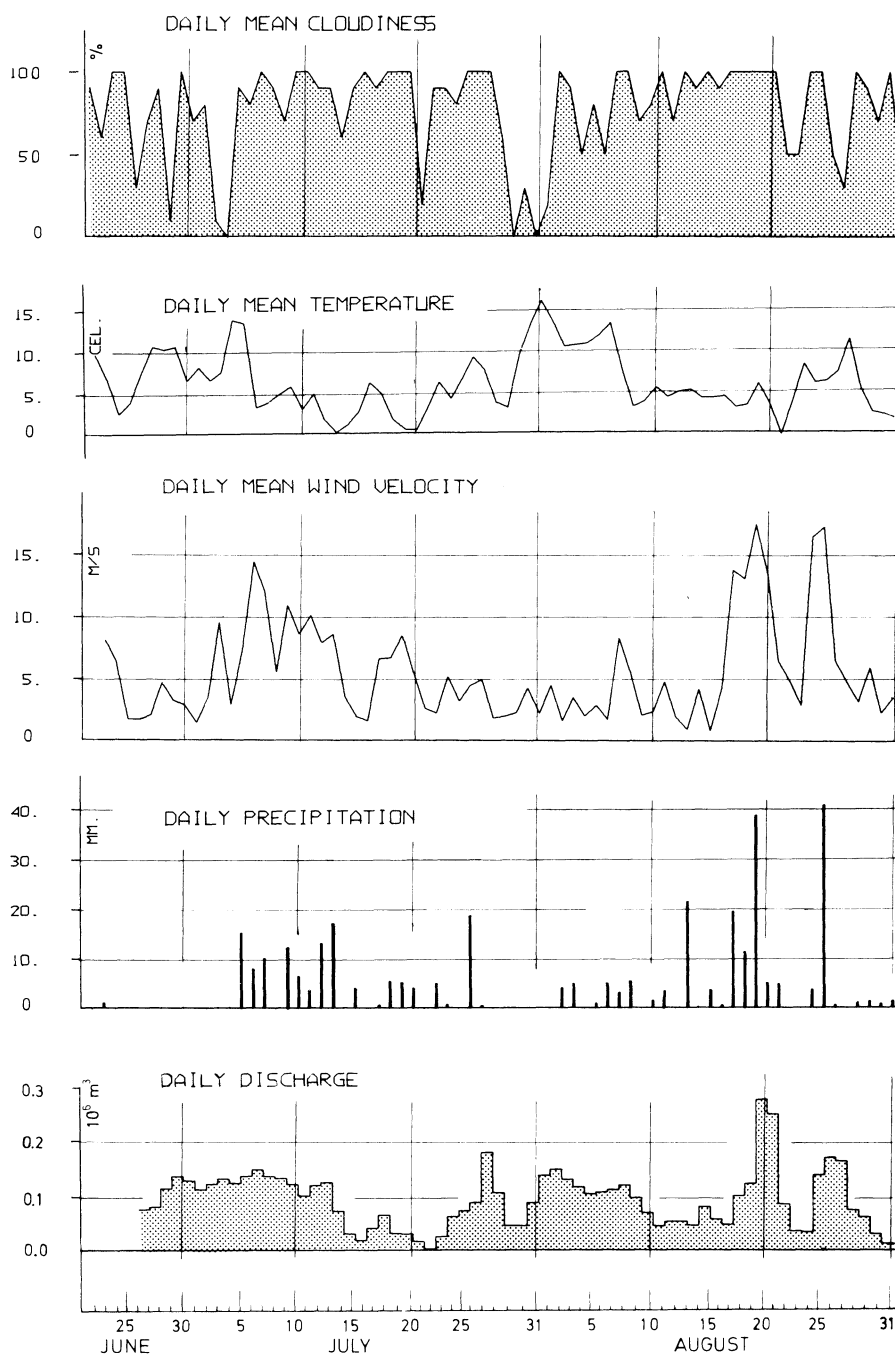


Fig. 49 Resultatene av de daglige meteorologiske observasjonene samt beregnet døgnavløp i breelva.

The daily meteorological observations and computed daily discharge in the glacier river.

Sky- og vindforhold. Midlere skydekke for 9 dager i juni ble 7,2, for juli 7,2 og for august 8,2. For hele perioden ble middelerdien 7,6,3 dager var helt klare, 15 halvsyket eller bedre mens

23 dager er notert med tett skydekke eller tåke.

Største vindstyrke, 17,5 m/s, ble målt 19. august og laveste 0,8 m/s den 15. august. Middelverdien for h.h.v. 8 dager i juni, hele juli og august ble 3,8 m/s, 5,6 m/s og 5,9 m/s mens totalperioden hadde gjennomsnittlig 5,5 m/s. 9 dager ble registrert med kuling styrke.

Temperaturforhold. Laveste døgnmiddeltemperatur, $-0,2^{\circ}\text{C}$, forekom 21. august, mens høyeste verdi, $16,0^{\circ}\text{C}$, ble målt 31. juli. Middeltemperaturen i juli og august ble h.h.v. $5,7^{\circ}\text{C}$ og $6,3^{\circ}\text{C}$ og middelverdien for hele perioden (22. juni - 1. september) var $6,1^{\circ}\text{C}$. Nøyaktig samme verdier ble notert ved hytta på Engabreen (880 m o.h.). Dette indikerer at temperaturforholdene i like nivåer på Engabreen og Trollbergdalsbreen er meget ensartete.

Nedbørsforhold. I tillegg til døgnlige målinger ved observasjonshytta var det også plassert nedbørsmålere ved stake nr. 30, 70 og 110. Målerne på breen veltet enkelte dager, ellers er nedbør som snø den største feilkilden ved slike målinger. Resultatene fra 1971 gir ikke grunnlag for utarbeidelse av kart over nedbørsfordelingen, men en tydelig nedbørsøkning oppover breen kan spores. Sammenliknet med verdiene fra Engabreen illustrerer fig. 49 en vesentlig nedgang i nedbørsmengdene fra denne breen til Trollbergdalsbreen. De to dagene i august da Engabreen hadde rundt 125 mm nedbør (Høgtuvbreen hadde 138 mm!), registrerte måleren ved Trollbergdalsbreen bare ca. 40 mm. Totalt falt det 312 mm fra 22. juni til 1. september hvorav 129 mm kom i juli og 182 mm i august.

Avrenning. Limnigrafen fungerte bra fra 26. juni ut observasjonsperioden, men bestemmende profil er ustabil og absoluttverdiene innebærer en viss usikkerhet. De relative variasjonene fra dag til dag synes likevel tillitsvekkende. Totalavløpet ble $6,53 \cdot 10^6 \text{ m}^3$.

En sammenlikning av materialhusholdningen på de enkelte breer

I balanseåret 1970/71 er det utført målinger av massebalansen på ialt 15 norske breer. Alle de store brefeltene (Folgefonna, Jotunheimen, Jostedalsbreen og Svartisen) er representert. Skulle en oppnå et fullstendig stasjonsnett som dekket alle norske breområder, kunne en også tenkt seg undersøkelser av breer i Møre/Romsdal og Troms evt. Finmark i tillegg til de målepunkter en har idag.

Av disse 15 breene bestemmes massebalansen på 11 av dem ved Hydrologisk avdeling, NVE, 2 måles av Norsk Polarinstitutt (Storbreen og Hardangerjøkulen) mens de to siste (Folgefonna)

er utført som grunnlag for en hovedfagsoppgave ved Universitetet i Oslo. Resultatet av massebalansemålingene er presentert samlet i tabellen nedenfor.

	Areal km ²	Vinterbalanse			Sommerbalanse			Nettobalanse			Likevekts linje m o. h.
		B_w 10 ⁶ m ³	b_w m	l/s km ²	B_s 10 ⁶ m ³	b_s m	l/s km ²	B_n 10 ⁶ m ³	b_n m	l/s km ²	
Ålfotbreen	4.79	20.51	4.29	135	16.05	3.35	106	4.46	0.94	30	1140
Blomsterskardbreen	45.72	130.42	2.85	90	85.54	1.87	59	44.88	0.98	31	1240
Midtre Folgefonna	8.63	20.11	2.33	74	16.91	1.96	62	3.20	0.37	12	1270
Vesledalsbreen	4.18	9.26	2.21	70	7.51	1.80	57	1.75	0.41	13	1375
Tunsbergdalsbreen	49.35	116.60	2.36	75	88.50	1.79	57	28.10	0.57	18	1240
Nigardsbreen	46.40	98.13	2.11	67	59.77	1.29	41	38.36	0.82	26	1400
Hardangerjøkulen	17.79	36.04	2.02	64	22.81	1.28	40	13.23	0.74	23	1600
Storbreen	5.40	7.88	1.46	46	6.91	1.28	40	-0.97	0.18	6	1690
Hellstugubreen	3.27	3.67	1.12	35	4.09	1.25	39	-0.42	-0.13	-4	1860
Vestre Memurubre	9.05	11.75	1.30	41	10.79	1.19	38	0.96	0.11	3	1845
Austre Memurubre	8.72	11.59	1.33	42	13.21	1.51	48	-1.62	-0.18	-6	1960
Gråsubreen	2.53	1.25	0.49	16	2.44	0.96	30	-1.19	-0.47	-14	2200
Engabreen	38.02	122.05	3.20	101	83.42	2.19	70	38.63	1.01	32	1070
Trollbergdalsbreen	2.02	4.31	2.14	68	4.97	2.47	78	-0.67	-0.33	-10	1100

Som et supplement til tabellen, er resultatet også framstilt grafisk i fig.50 og fig. 52 mens fig. 53 viser gjennomsnittsverdier fra 1963 sammenliknet med årets resultater.

Vintersesongen 1970/71 var i Sør-Norge karakterisert ved nedbørsverdier noe over det normale mesteparten av tiden. Sterkest nedbør var det i desember og februar. Nedbøren kom vesentlig med vest eller nordvestlige vinder slik at de kystnære breområdene fikk relativt mest nedbør. Av Meteorologisk Institutt's snøakkumuleringskart for 30.april, se fig. 51, framgår det at 1200 meters nivået i Sør-Norge fikk fra 110 til 120% av normalnedbøren i de vestlige breområdene. Lenger øst hadde Vest-Jotunheimen omtrent normalnedbør mens de østligste breområdene (Gråsubreen) hadde ca.90% av normalen. Snøakkumuleringskartets verdier stemmer i år meget godt overens med det bildet en dannet seg under vinterbalansemålingene i april/mai.

Overgangen fra vinter- til sommersesong foregikk ca. 25.mai for høydenivået rundt 1600 m o.h. Sommeren var karakterisert ved en regelmessig veksling mellom kalde og relativt varme perioder, se f.eks. fig.15. I de kalde periodene falt det endel nysnø, særlig i de vestligste breområdene. Dette senket ablasjonshastigheten betydelig og førte til en meget lav totalablasjon på de aller høyeste partiene av Jostedalsbreen. Middelttemperaturen for månedene juni, juli, august og september var summert på Fanaråken, 0,1°C kaldere enn normalverdien mens stasjonene Oppstryn og Førde hadde tilsvarende ca. 1°C under normalen. Juli måned var relativt kaldest på alle stasjonene.

MASS EXCHANGE ON GLACIERS IN SOUTHERN NORWAY 1971

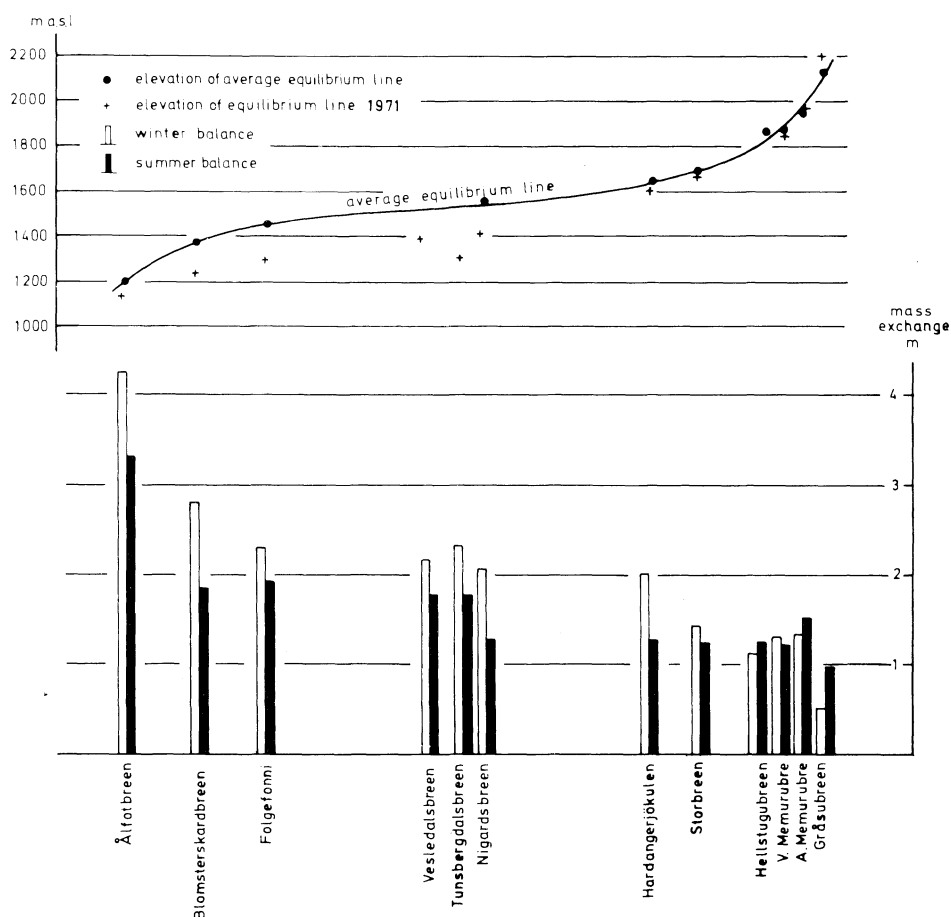


Fig. 50 Materialomsetningen på de undersøkte breene i Sør-Norge. Et profil er lagt fra Ålfotbreen til Gråsubreen, og de øvrige breer er plassert i forhold til likevektslinjens høyde et år breene er i likevekt.

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

Den nedbørsrike vinteren og relativt kjølige sommeren medførte at alle de vestlige breene i Sør-Norge viste overskudd i balanseregnskapet. Størst var overskuddet på de nedbørsrikaste breene (Ålfotbreen og Blomsterskardbreen). Storbreen i Vest-Jotunheimen hadde også et lite overskudd mens Memurubreene og Hellstugubreen var i balanselikevekt, sett under ett. Bare Gråsubreen viste et tydelig nettunderskudd, årsaken er vesentlig å finne i den unormalt lave vinterbalansen.

Sammenlikner en resultatene fra 1971 med forholdene tidligere år, kan en finne parallelle situasjoner både i 1964 og særlig i 1968. Det omvendte forholdet, at breene i Jotunheimen viser overskudd samtidig som breene lenger vest har underskudd, er ikke observert noe år, men i

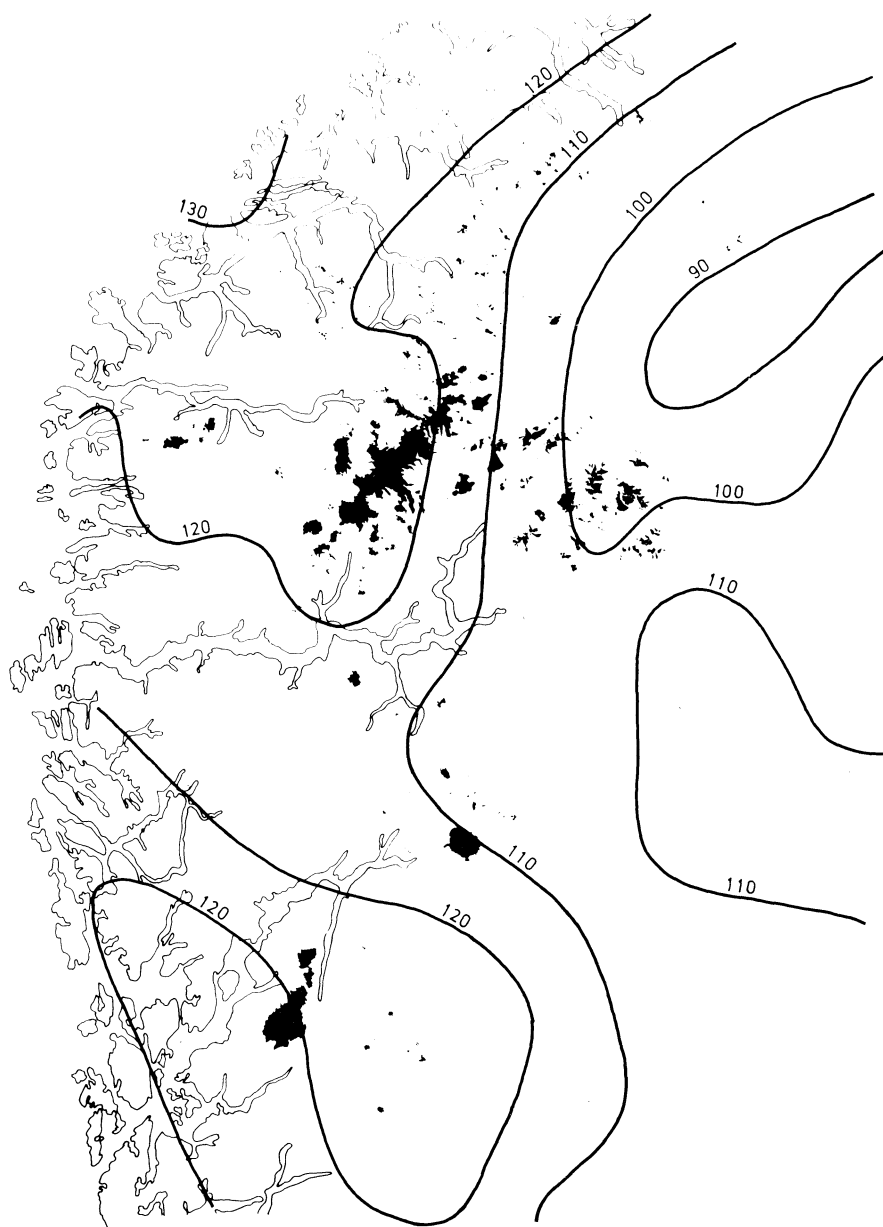


Fig. 51 Et utsnitt av "Kart over nedbør i snøakkumulerings-
sesongen utgitt av Meteorologisk Institutt. Kartet
viser akkumulert nedbør i 1200 meters nivået fra
18. oktober 1970 til 30. april 1971 i prosent av nor-
malnedbøren i samme periode.

A part of a "snow accumulation map" calculated for
1200 meter elevation, giving the computed snow
accumulation 1970-71 in per cent of "normal" pre-
cipitation.

1966 hadde Øst-Jotunheimen markert mindre underskudd enn breene vestover.

I Svartisområdet var forholdene omtrent parallelle med det som er beskrevet for Sør-Norge.
Vinteren hadde noe mer nedbør enn normalt og størst overskudd i desember og januar. På sta-
sjonen Glomfjord falt det 107% av normalverdien fra september til juni. Snøakkumulerings-

NET BALANCE DIAGRAMS 1971

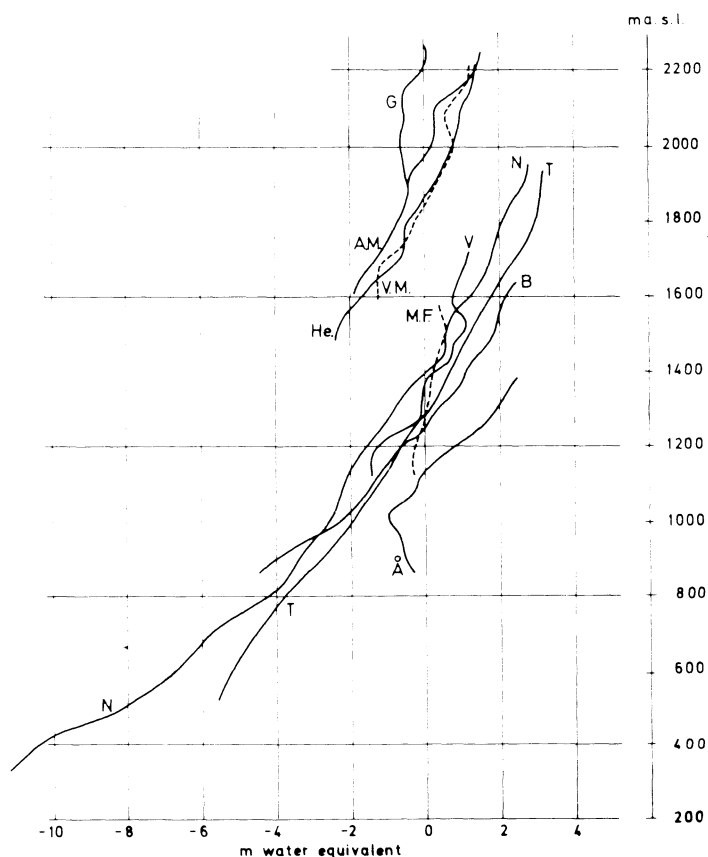


Fig. 52 Nettobalansekurvene for 1971. Å = Ålfotbreen, T = Tunsbergdalsbreen, V = Vesledalsbreen, F = Folgefonna, N = Nigardsbreen, Ha = Hardangerjøkulen, S = Storbreen, He = Hellstugubreen, V M = Vestre Memurubre, A M = Austre Memurubre, G = Gråsubreen.

Net balance curves for 1971. For code explanation see above.

kartet 30.april viser da også ca. 105% nedbørsverdi for Engabreen, men litt under 100% på Trollbergdalsbreen. Sannsynligvis har forskjellen mellom de to breene vært enda større, noe vinterbalansemålingene synes å indikere. Sommersesongen var omtrent 1°C kaldere enn normalt i Glomfjord og tilsvarende forhold har sannsynligvis også hersket i breområdene. Juni var $1,2^{\circ}\text{C}$ varmere, men juli hele $2,4^{\circ}\text{C}$ kaldere enn 30-års normalen. Sommerbalansen i 1971 sank drastisk fra fjorårets verdier og da vinterbalansen var vesentlig høyere enn i 1970, kom Engabreen ut med et nettooverskudd som ble like stort som underskuddet i 1970. Trollbergdalsbreen hadde et lite underskudd i 1971, men bedret sin balanse like meget i forhold til fjorårets verdi som Engabreen gjorde. Resultatene både fra 1970 og 1971 indikerer at klimaforholdene disse årene har vært adskillig gunstigere for Engabreens massebalanse enn breene lenger øst i Svartisområdet. En indikasjon på at dette også gjelder endel foregående år, har en i Engabreens front. Denne har rykket ganske markert fram de siste 5 år mens Trollbergdalsbreen og nabobreene

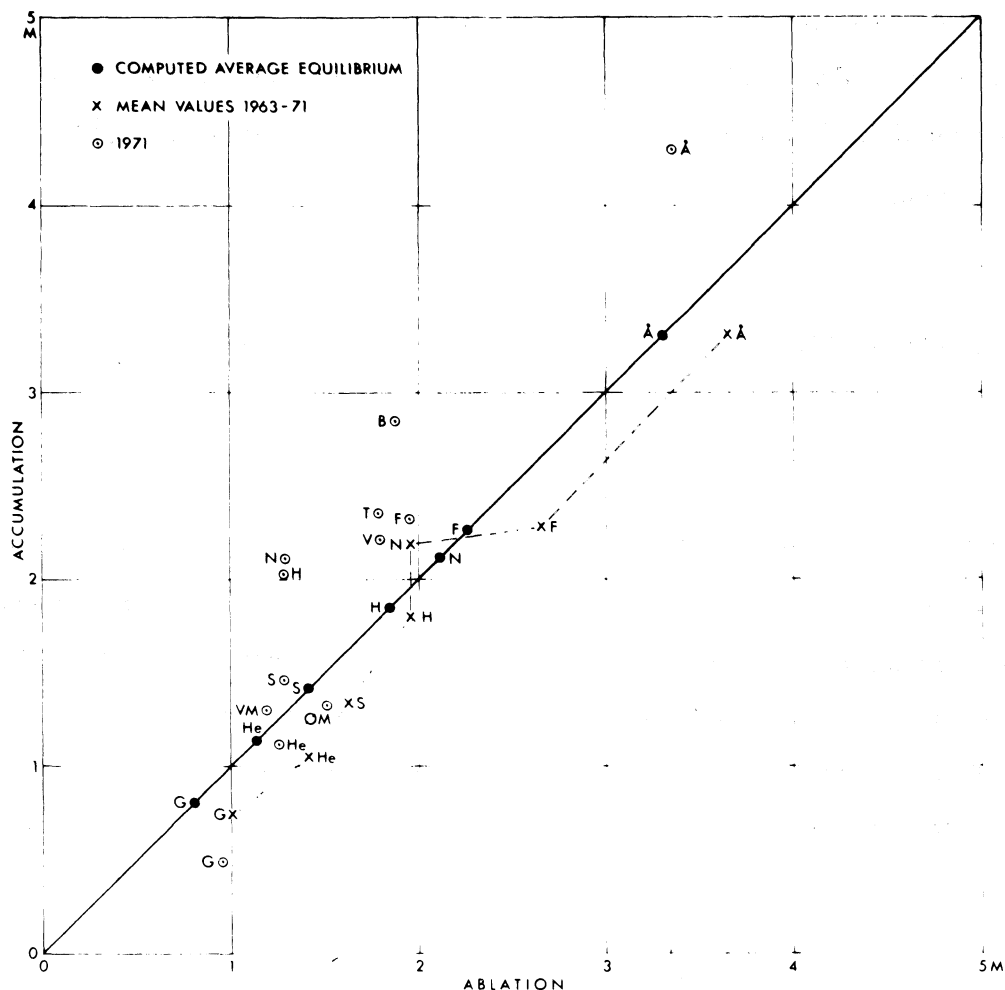


Fig. 53 Diagrammet viser forholdet mellom vinter- og sommerbalanse sett i relasjon til forholdene når breene er i likevekt og har "normal" materialomsetning.

Å = Ålfotbreen, F = Folgefonni, V = Vesledalsbreen, T = Tunsbergdalsbreen, N = Nigardsbreen, Ha = Hardangerjøkulen, O = Omnsbreen, S = Storbreen, He = Hellstugubreen, V M = Vestre Memurubre, A M = Austre Memurubre, G = Gråsubreen.

The relation between winter and summer balance compared with "normal" winter and summer balances, i. e. as calculated for steady state conditions on the glacier. For code explanation see above.

rundt denne ikke viser noen tegn til framgang. Slike glasio-klimatiske variasjoner vil bli interessante å få belyst med flere års massebalansemålinger både på de omtalte breene og på Høg-tuvbreen. Det kan også vise seg fruktbart å trekke inn resultater fra Storglaciären i Kebnekaise-området som en sammenlikning. I balanseåret 1970/71 hadde Storglaciären et underskudd i nettobalansen på -0,18 m, altså av samme størrelsesorden som Trollbergdalsbreen.

1971 ble et interessant glasiologisk år både som enkeltår og som ledd i den lengre glasio-hydrologiske måleserie. Breene i vestlige fjellstrøk har i år oppført seg noe forskjellig fra de østligste,

både i Sør- og Nord-Norge. Forskjellene kan forklares tilfredstillende ved å analysere vær-situasjonene i balanseåret. De forhold en opplevet i 1971 illustrerer med all tydelighet hvor viktig det er å opprettholde et fornuftig glasiologisk målenett som kan oppfange regionale variasjoner, også i kommende år.

SNØENS FORDELINGSMØNSTER PÅ MIDTRE FOLGEFONNI VINTERENE 1969/70 OG 1970/71

Innledning

Ved utarbeidelsen av vinterbalansekart er et av grunnprinsippene ideen om at snøens fordelingsmønster er det samme fra år til år. Dette prinsippet anvender en så til å tegne snøfordelingskart over breområder selv om antallet av direkte målinger mangler helt eller delvis. Forutsetningen er da at en har forutgående år med et større antall målepunkter som har dekket området. En kan også trekke supplerende informasjon ut fra vertikalbilder eller kart over hvor den temporære snøgrensen er inntegnet utover sommeren. Disse ideene har til nå vært grunnleggen-

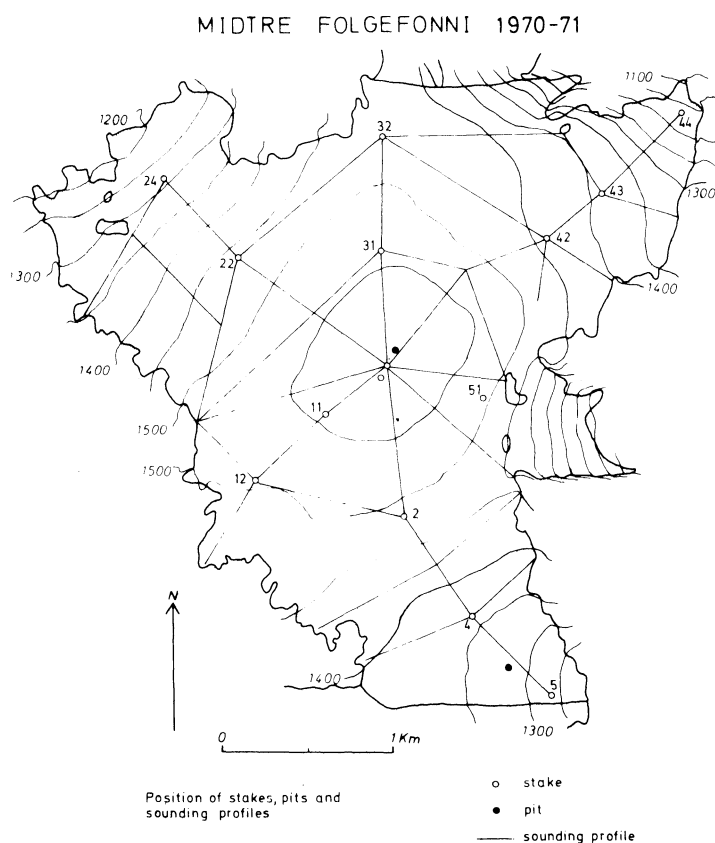


Fig. 54 Beliggenheten av staker, sjakter og utførte sonderingsprofiler på Midtre Folgefonna i balanseårene 1969/70 og 1970/71.

See text on the map.

MIDTRE FOLGEFONNI 1970

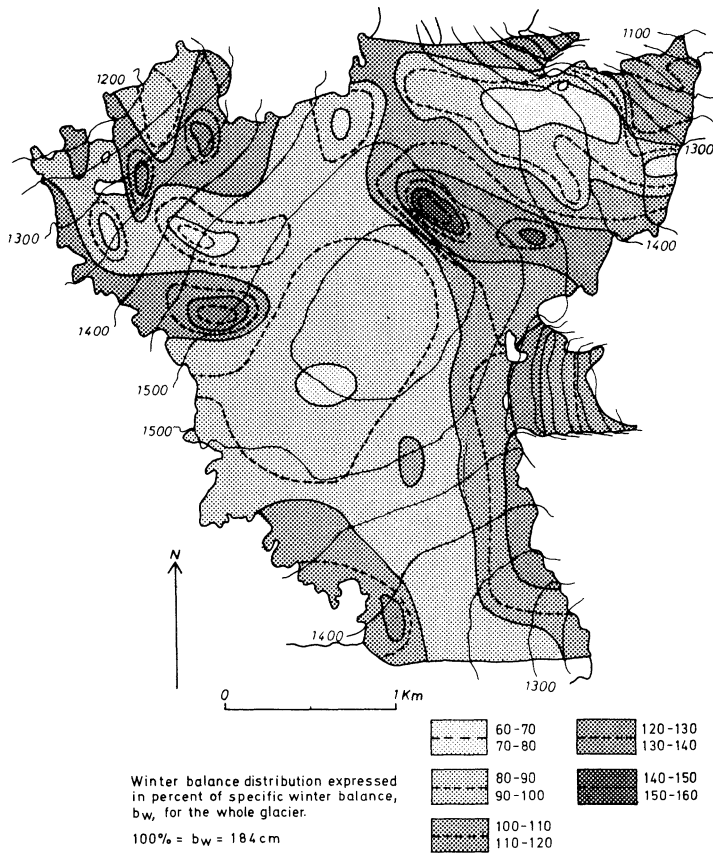


Fig. 55

Vinterbalansen for 1970 er framstilt med relative verdier ved at spesifikk vinterbalanse (b_w) er satt lik 100%. Snøfordelingen er deretter omgjort til prosenttall i forhold til b_w som i 1970 var 184 cm. Se ellers fig. 58.

See text on the map.

MIDTRE FOLGEFONNI 1971

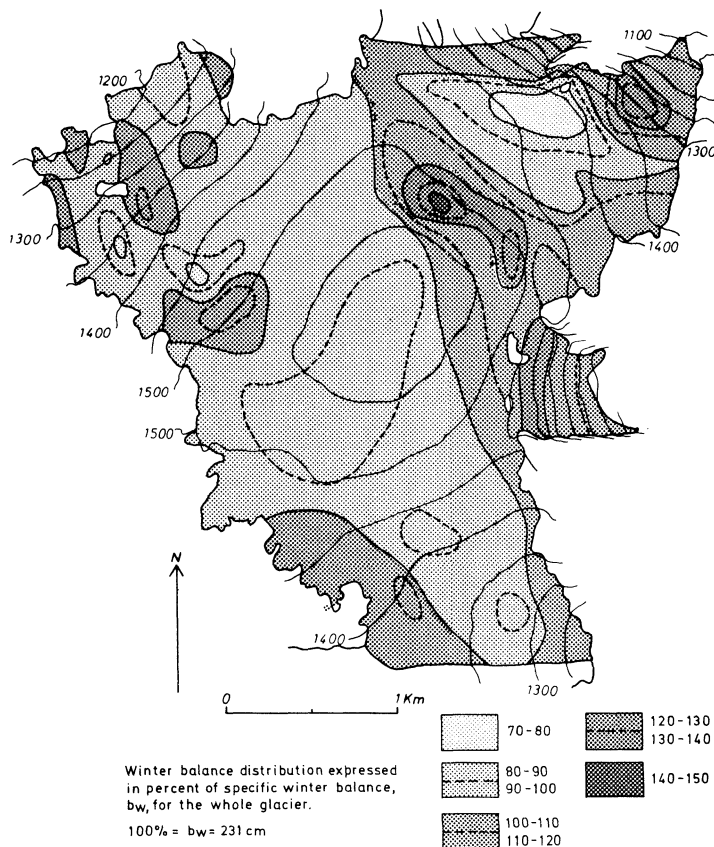


Fig. 56

Vinterbalansen for 1971 er framstilt etter samme prinsipp som fig. 55 og snøfordelingsmønsteret kan direkte sammenliknes med mønsteret for 1970. b_w er 231 cm.

See text on the map. Figs. 55 and 56 illustrate variations in snow distributions for the winter seasons 1970 and 1971.

de ved Brekontorets arbeidsprosedyre og vel også for de aller fleste glasiologer som arbeider med massebalansemålinger. På Storbreen hvor måleserien går helt tilbake til 1948, tegnes fordelingskartet idag ut fra en slik kombinasjon av tidligere års erfaring og årlige målinger på et begrenset område av breen, se f.eks. Liestøl 1970. På Storglaciären i Nord-Sverige hvor måleserien er enda lenger enn for Storbreen, måles derimot vinterbalansen fremdeles ved at en sonderer over hele breen etter fastlagte profiler og med et høyt antall målepunkter (opptil 100 pr. km²). Schytt (1968) fant at fordelingsmønsteret på Storglaciären ikke var helt likt vinterene 1966 og 1967, snøen lå noe mer ujevnt i 1967 enn vinteren før. Hensikten med denne artikkelen som bygger på feltarbeid vinterene 1969/70 og 1970/71, er da å belyse ideen om det gjentatte fordelingsmønsteret ved sammenliknbare målinger.

Metodikk

Målingene ble utført på Midtre Folgefonna, en platåbre med forholdsvis regelmessig form, se fig. 54. Breen er også nærmere omtalt på s. 18. Arealet er 8.8 km². Omkring 10. april ble det i to påfølgende vintere utført sonderinger av snødypet i nøyaktig samme mønster, og med omtrent samme antall målepunkter (495 i 1970 og 460 i 1969). Det var meget gode sonderingsmuligheter begge årene da breoverflaten de foregående sommerene bestod av is eller firn nærmest over hele breen. En skulle således ha grunnlag for å tegne detaljerte fordelingskart nesten utelukkende basert på sonderinger. Bare på noen mindre, oppsprukne partier var det nødvendig å støtte seg til flybilder.

Nedbørsforholdene var noe forskjellige de to vintrene ved at en våren 1970 hadde ca. 20% under det normale, men 20% over normalverdiene i 1971, iflg. snøakkumuleringskartene. Vinterbalansen var spesifikt fordelt over hele breen, 184 cm 10. april 1970 og 231 cm et år seinere. Skal en derfor kunne sammenlikne fordelingskartene direkte, må sonderingene først overføres til en felles referanseverdi og deretter kan et nytt fordelingskart tegnes. Dette kan gjøres ved at en velger å bruke relative isolinjesprang istedet for absolutte verdier. Setter en at 100% isolinjen skal gå gjennom punkter som har balanseverdi lik spesifik balanseverdi for hele breen (b_w), så har en etablert en slik referanseverdi. En kan da enkelt regne ut hva 80%, 90%, 110% osv. tilsvarer i vannverdi eller snødyp. En velger deretter hvilke isolinjesprang (i prosentverdier) som skal brukes og tegner opp et relativt fordelingskart på grunnlag av sonderingene. 100% isolinjen tilsvarer da 184 cm vann i 1970 og 231 cm i 1971, mens 110% tilsvarer h.h.v. 202 cm og 254 cm, o.s.v.

Kartet er presentert i fig. 55 og fig. 56. Det er brukt 10% isolinjesprang. Skulle fordelingsmønsteret vært fullstendig likt, så måtte også isolinjene sammenfalle på de to kartene. Har f.eks. et punkt en snømengde lik halvparten av breens middeltall så måtte dette punktet ligge på 50% isolinjen begge årene, selv om den absolutte snømengde i punktet var høyst forskjellig de to vinterene.

Diskusjon

Kartene viser at det ikke var fullstendig like snøfordelingsmønstre på Midtre Folgefonna de to vinterene. I 1970 lå snøen tydeligvis mer ujevnt enn neste vinter, isolinjeverdier spenner da fra 60% til 160% mens det i 1971 ikke var nødvendig å anvende verdier utenom spranget fra 70% til 150%. Det er likevel tydelig at det store bildet, selve hovedmønsteret, er meget likt - områder med snøoppsamling eller avblåsing var de samme begge vinterne. 100% isolinjens forløp er også meget lik på begge kartene.

Kan en så finne noen forklaring på denne ulikheten i relativ fordeling? Ser vi på de meteorologiske forholdene de to vinterne, er det to faktorer som tydelig peker seg ut. For det første var fordelingen av nedbøren gjennom vinterene meget ulik. I 1969/70 kom nesten all vinternedbøren før årskiftet, på Ålfotbreen var f.eks. 80% av total vinterbalanse kommet før 21. januar (Tvede 1971, s. 9). I 1970/71 kom nedbøren meget jevnere utover vinteren, ingen måneder hadde særlige avvik fra normalverdiene. Dette betyr at vinteren 1969/70 fikk store snømengder tidlig i sesongen. Denne snøen kunne så vinden transportere rundt omkring på breen resten av vinteren utenat det kom særlig mye tilførsler av snø. Dette kunne ikke foregå i samme grad vinteren 1970/71. Ved siden av nedbørsfordelingen var også temperaturgangen ulik. Ved å anvende døgnmiddeltemperaturen i Bergen og bruke en temperaturgradient på $0,7^{\circ}\text{C}$ pr. 100 m kan en beregne hvor mange dager iløpet av vinteren det har vært mildvær i forskjellige høydenivåer. I begynnelsen og slutten av vintersesongen vil en alltid ha perioder med smelting, men kuttes disse periodene ut, vil en finne at vinteren 1969/70 ikke hadde mildvær i 1500 meters høydenivået noen dager. Derimot var det kraftig mildvær på hele Midtre Folgefonna i dagene 11. og 12. januar 1971. Ved et besøk 16. januar 1971 kunne en også observere et meget hardt skarelag som dekket hele breen. Et slikt skarelag vil konservere tilstanden i det tidspunkt skaren dannes og effektivt hindre videre vindtransport av snølaget under skaren. Begge disse faktorene skulle da virke til at snøen ble mer effektivt fordelt vinteren 1969/70 enn 1970/71 slik en kan lese dette ut fra fig. 55 og fig. 56.

Konklusjon

Fordelingsmønsteret var i hovedtrekkene ensartet de to vinterene, men graden av sortering var noe forskjellig da snømengdene varierte mer vinteren 1969/70 enn 1970/71. Det kan altså i første omgang se ut som om vintere med stor nedbør gir et jevnere snødekke enn vintere med mindre nedbør. Dette trenger likevel ikke være en generell regel. De meteorologiske forholdene favoriserte tydelig større vinddrift av snøen den første vinteren. Nå vet en fra tidligere års erfaring at vintere med stor nedbør oftere kombineres med hyppige mildvær på breene enn vintere med liten nedbør og stabilt, kaldt vær. Konklusjonen må likevel bli at en trenger flere tilsvarende undersøkelser før en kan si om tilfellet fra Midtre Folgefonna er spesielt i forhold til andre år og andre breer. Datamaterialet til en slik undersøkelse er allerede disponibelt, men det vil kreve en forholdsvis stor arbeidsinnsats å få dette analysert.

GLASIAL-METEOROLOGISKE UNDERSØKELSER I 1971

Innledning

Undersøkelser tilsvarende dem som ble satt i gang sommeren 1970 for å få bedre kjennskap til de klimatologiske faktorerers innflytelse på ablasjonen ble foretatt på Ålfotbreen og Austre Memurubre også sommeren 1971. Detaljerte registreringer av stråling og ablasjon ble utført i forbindelse med og i samme tidsrom som Hydrologiske avdelings årvisse målinger av massebalanse, vassføring i bre-elvene og de vanlige meteorologiske faktorer. På Ålfotbreen var observasjonsperioden 1. juni - 3. september. På Austre Memurubre arbeidet observatørene fra 17. juni til 6. september.

Teori, feltarbeid og beregninger for sesongen 1971 er stort sett i samsvar med hva som ble presentert i rapporten for sesongen 1970 (NVE, rapport Nr. 2/71, s. 69-80). Litteraturhenvisninger o.l. er derfor ikke tatt med i denne artikkelen.

Fig. 57 viser beliggenheten av de to utvalgte breene, samt av de breene hvorfra glasial-meteorologiske undersøkelser er beskrevet tidligere.

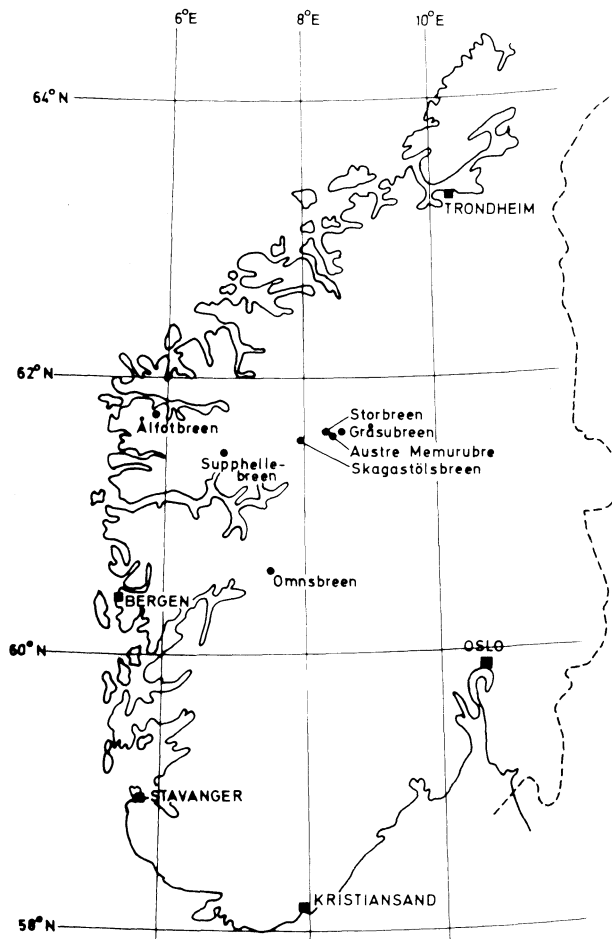


Fig. 57 Kart som viser beliggenheten av de breer i Norge hvor energibalanseundersøkelser er foretatt. Ålfotbreen og Austre Memurubre er undersøkt i 1971.

Map showing the location of glaciers in Norway where heat balance investigations have been performed. The two glaciers examined in 1971 are Ålfotbreen and Austre Memurubre.

Metoder og instrumenter

Ved hjelp av 3 stålstenger nedboret i et sentralt felt av breen ble breoverflatens synking, h , målt hver dag gjennom hele observasjonsperioden. Korrelasjonsberegning med målinger ved de ordinære massebalanse-stengene rundt om på breen er foretatt hver uke - dette for å kunne presentere tall representative for hele breen. Ablasjonen er så beregnet etter at tettheten av våtsnøen, ρ_w , og det frie vanninnhold i snøen er fastsatt. Tettheten av den snøen som virkelig smelter (tørresnøen) er nemlig uttrykt ved

$$\rho_d = \frac{\rho_w - p}{1 - p}$$

der p er den vekt-del fritt vann som snømassen inneholder. Ablasjonen gis så som $a = h \cdot \rho_d$.

Den totale strålingsenergien som utveksles mellom atmosfære og breflate har vi for tiden intet instrument til å registrere. Slike instrument - de såkalte balansemålere - er foreløpig relativt kompliserte og dyre. Beregning av den totale strålingsenergien breen tilføres foregår derfor ved at den kortbølgete strålingen registreres av aktinografer og at den langbølgete strålingen kalkuleres etter en forsøkstestet matematisk formel.

Både på Ålfotbreen og Austre Memurubre ble Robitzsch-aktinografen benyttet til å registrere den kortbølgete strålingen - eller global-strålingen, som den gjerne kalles. Globalstrålingen er summen av den direkte solstrålingen (I_s), den diffuse himmelstrålingen (I_h) og den reflekterte strålingen fra bratte fjellsider rundt breen (I_r). Dersom breflatens albedo (refleksjons-
evne for kortbølget stråling) betegnes a , kan kortbølget strålingsenergi tilført bremassen gjennom en horisontalt beliggende breoverflate uttrykkes som

$$I = (1 - a) \cdot (I_s + I_h + I_r)$$

Nå heller overflaten av Austre Memurubre gjennomsnittlig 7° mot SE, og overflaten av Ålfotbreen gjennomsnittlig 10° mot NNE. Strålingen direkte fra sola får dermed større intensitet på Ålfotbreen. Til formelen for I må følgelig føyes et korreksjonsledd, som foruten breflatens

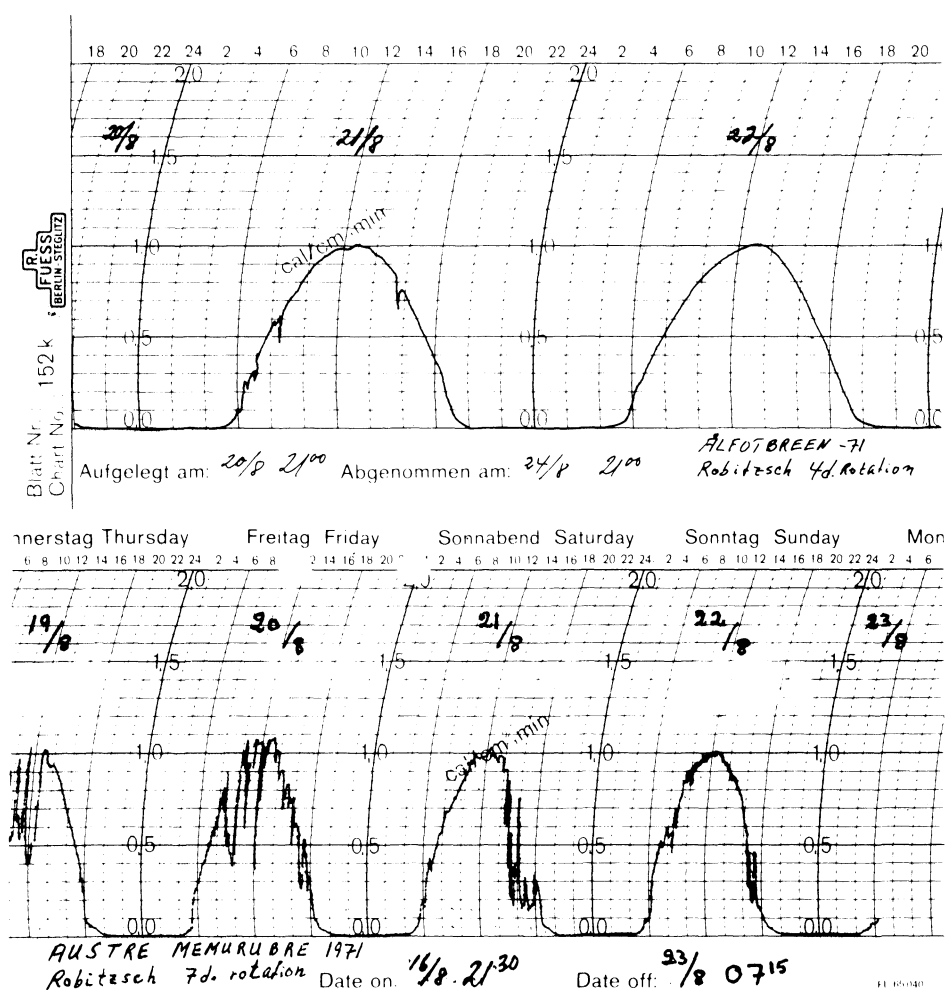


Fig. 58 Utsnitt av diagrammene for globalstråling på Ålfotbreen (øverst) og Austre Memurubre (nederst).

Parts of diagrams for global radiation on Ålfotbreen (upper) and Austre Memurubre (lower).

helning er avhengig av i hvor stor grad globalstrålingen er dominert av den direkte solstrålingen. Uten å komme nærmere inn på teorien, gis uttrykket for den kortbølgete strålingsenergien breflaten mottar som

$$I = (1 - a) \cdot (I_s + I_h + I_r) \cdot (1 - st)$$

der s symboliserer solstrålingens andel i globalstrålingen og t står for den relative endring i solstrålingsintensiteten på grunn av breoverflatens helning.

Til de verdier for globalstrålingen som aktinografen registrerer på Austre Memurubre gis et tillegg på 0,5% ved overskyet vær økende til 3,5% ved klarvær. På Ålfotbreen får aktinografverdiene et fradrag på 1% ved overskyet vær, og fradraget blir ved klart vær opp til 5%. Verdiene gitt her er beregnet ut fra detaljerte målinger med et Star-solarimeter på begge breene til ulike tidspunkt sommeren 1970.

Den langbølgete strålingsenergien, som i det vesentlige er avhengig av sky-tettheten, beregnes etter formelen

$$R_c = R_o (1 - k(\frac{c}{10})^2)$$

R er strålingsbalansen ved klart himmel, og er ifølge direkte målinger fastsatt til $-0,085 \text{ cal/cm}^2/\text{min}$. Minustegnet angir at strålingsenergi emittert fra breflaten dominerer; breen tappes altså for energi. Sky-faktoren, k , er i beregningene for Ålfotbreen og Austre Memurubre gitt verdier fra 1,1 til 1,7 - alt etter hvor tynt skydekket er og hvor høyt over breen skybasis befinner seg. Dette betyr da (når man bruker formelen for R_c) at breflaten mottar mer langbølget strålingsenergi enn den emitterer dersom skydekket er tynt og dekker mer enn 9,5 tideler av himmelen. Ved tunge og lave skyer vil breflaten ha langbølget strålingsgevinst dersom skytettheten er over 7,6 i ti-del skalaen.

Når det gjelder den mer praktiske del av strålingsregistreringene, kan nevnes at aktinografen på Austre Memurubre hadde montert skrivetrommel med 7 døgns omløpstid, mens trommelen i aktinografen plassert på Ålfotbreen brukte 4 døgn pr. omløp. I fig. 58 er vist eksempler på de to aktinografenes registreringsdiagram, som altså helst bør skiftes hver 4. (Ålfotbreen) og hver 7. kveld. Kurvene for hver dag er planimeterbehandlet, slik at den daglige globalstrålingen finnes. Skrivetrommel med 4 døgns omløpstid er å foretrekke, av hensyn til resultatenes nøyaktighet - noe fig. 58 skulle bekrefte. Kurvene for globalstrålingen gir også - på bakgrunn av korrelasjonsberegninger utført tidligere - en god kontroll på observatørenes nødvendigvis noe subjektive skydekkeobservasjoner. Disse observasjoner danner, som nevnt, grunnlag for beregning av

den langbølgete strålingsenergien som utveksles mellom breflaten og atmosfæren.

Det årvisse program for feltarbeidet på breene inkluderer bl.a. registrering av nedbør og temperatur. Data herfra er benyttet til å beregne nedbørens rolle i ablasjonen. Dersom det har falt r mm nedbør og temperaturen er t_r , vil energien forbundet med nedbøren kunne uttrykkes som

$$Q_r = \frac{r}{10} \cdot t_r \text{ cal/cm}^2$$

Temperaturen i den høyde som representerer den enkelte bres arealmessige tyngdepunkt er bestemt ut fra temperaturgradienten basert på direkte observasjoner ved 2 målestasjoner i ulike høyder både på Ålfotbreen og på Austre Memurubre. Temperaturverdier funnet på denne måten er satt lik t_r , idet man går ut fra at lufttemperaturen og temperaturen i nedbøren er tilnærmet den samme. Nedbøren er målt både i standard-målere og i Pluvius-målere, og midlere verdier er beregnet.

Resultater

De døgnlige verdier for ablasjon og netto tilført stråling er fremstilt i fig. 59 for Ålfoten og i fig. 60 for Austre Memurubre. Variasjonen av globalstrålingen fra dag til dag er i tillegg tegnet inn i de respektive figurer.

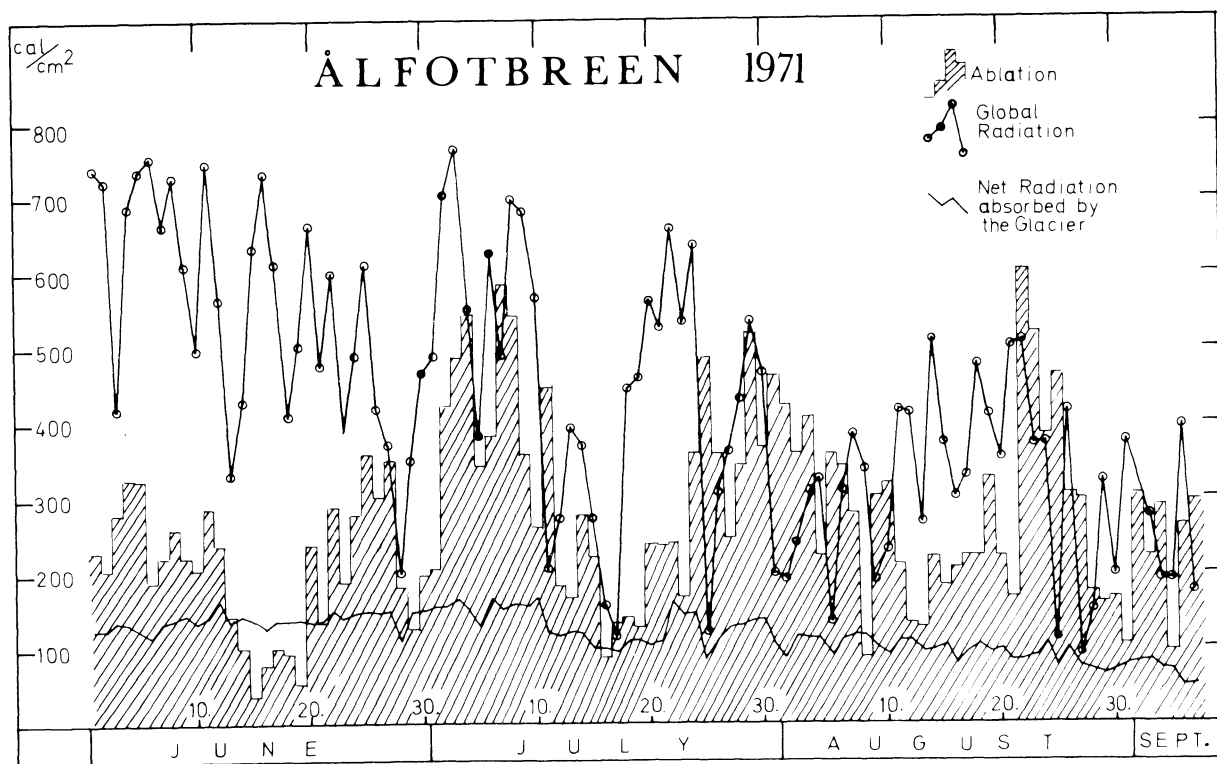


Fig. 59 Globalstråling, netto tilført stråling og ablasjon på Ålfotbreen 1971.
Global radiation, net radiation and ablation on Ålfotbreen 1971.

Begge disse figurene skulle gi inntrykk av til dels kraftige variasjoner i ablasjonen fra døgn til døgn. Globalstrålingen svinger også markert fra dag til dag, uten at det ser ut til å være noen særlig harmoni mellom den og ablasjonen – hverken på Ålfotbreen eller Austre Memurubre. Både kurvene for ablasjon og globalstråling illustrerer de raskt skiftende værforhold på Ålfotbreen såvel som på Austre Memurubre sommeren 1971.

Det er grunn til å peke på at netto tilført strålingsenergi varierer på langt nær i samme forhold som globalstrålingen. Forklaringen er dels at den langbølgete strålingen varierer i tilnærmet motsatt fase av globalstrålingen og dels at albedoen sommeren 1971 var relativt høg, slik at virkningen av den kortbølgete stråling ble tilsvarende lav. Nettostrålingen viser stort sett det forventede forløp fram gjennom sommeren – altså sammenheng med solas posisjonsforskyvning på himmelen. Forskjellen i netto tilført stråling fra sommersolverv til sommersesongens slutt er likevel noe mindre enn solas posisjonsforskyvning skulle tilsi, grunnet synkende albedo gjennom den alt vesentlige del av sesongen.

Det ser ikke ut til at nettostrålingen er særlig godt korrelert med ablasjonen hverken på Ålfotbreen eller Austre Memurubre – skjønt på sistnevnte bre kan man antyde en viss harmoni i enkelte perioder. Noen kvantitative beregninger er foreløpig ikke foretatt på dette felt. Det

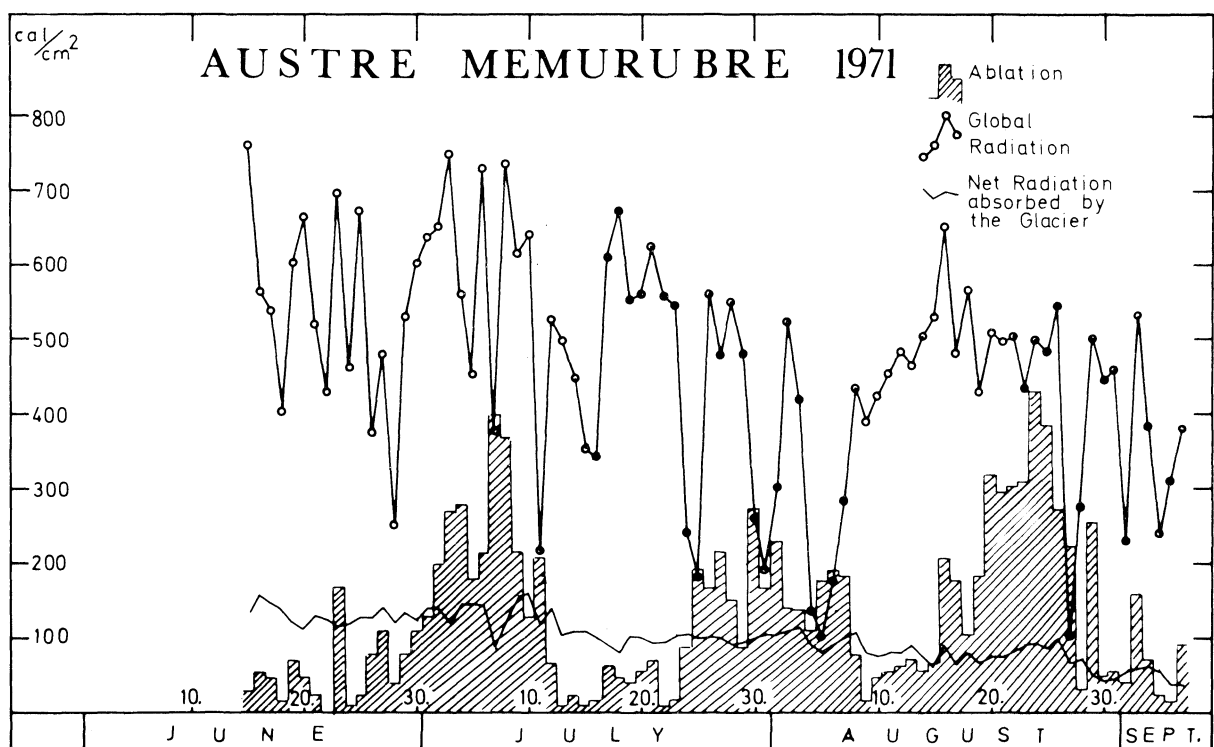


Fig. 60 Globalstråling, netto tilført stråling og ablasjon på A. Memurubre 1971.
Global radiation, net radiation and ablation on Austre Memurubre 1971.

må også understrekes at ubetydelig registrering av denne art er utført tidligere. Noen vidtrek-
kende slutninger om strålingens harmoni med ablasjonen bør neppe trekkes ennå. Man kan for-
siktigvis antyde at strålingen tilfører breene i Sør-Norge en noenlunde jevn "grunnsum", og at
det er variasjonen i energitilførselen fra konveksjon, kondensasjon og beslektede faktorer ("the
eddy heat flux") som i det vesentlige bestemmer ablasjons-svingningene fra døgn til døgn, selv
på breer i Jotunheimen.

I tabell 1 er ført opp ukentlige verdier for de mest interessante parametre i forbindelse med
ablasjonen på Ålfotbreen. I fig. 61 er ablasjonen og energitilførselen fra de dominerende ab-
lasjonsfaktorene tegnet som søylediagram.

For hele observasjonsperioden viser tabell 1 at ca. 144 g/cm^2 av den målte ablasjon på 334 g/cm^2
skyldes stråling. Strålingen bidro altså med om lag 43% til ablasjonen på Ålfotbreen, mens
konveksjon og kondensasjon ydet ca. 56%. Nedbøren forårsaket knapt 1% av den totale abla-
sjon. Sublimasjon kan regnes for ubetydelig, sommersesongen sett under ett.

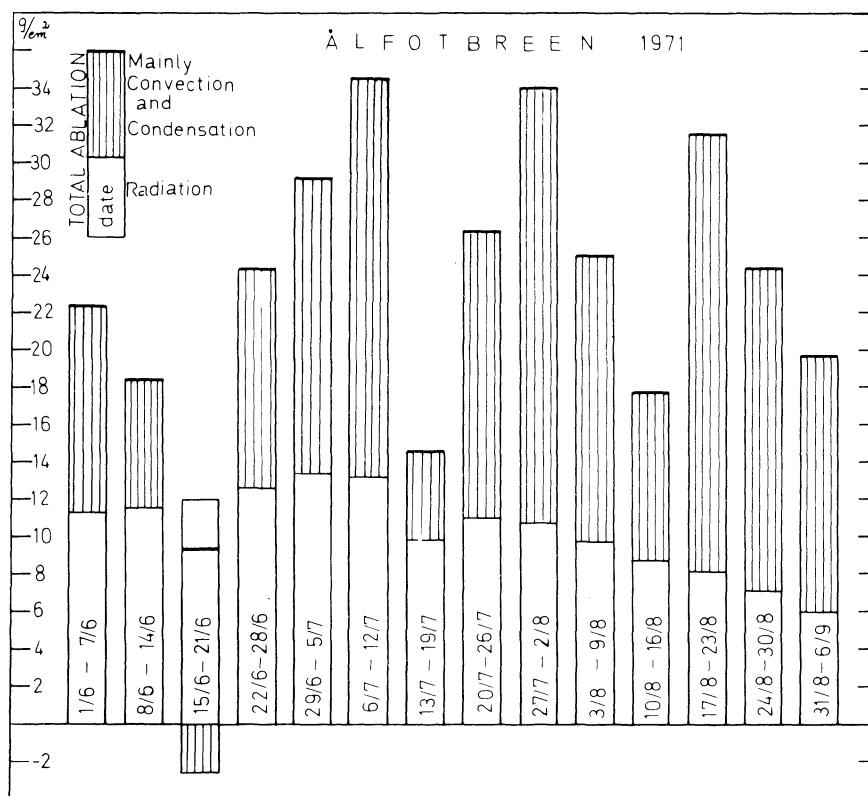


Fig. 61 Ukentlige verdier av ablasjonen med markering av strålingsbidrag og bidrag fra non-radiative faktorer på Ålfotbreen i 1971.

Ablation and the contribution of radiation and non-radiative factors.
Weekly accounts during the summer season on Ålfotbreen in 1971.

TABLE I

ABLATION CONDITIONS ÅLFOTBREEN 1971

Period	Mean Albedo	Global Radiation	Net Rad. absorbed by glacier	Ablation caused by Radiation	Registered total Ablation	Relative heat supply by +		
						Radiation	Convection & Condensation	Precipitation = Rain(+) and Snow(-)
day/month	%	cal/cm ²		g/cm ²			%	
1/6 - 7/6	67	4791	905	11.3	22.4	50.4	49.5	0.1
8/6 - 14/6	66	3894	1017	12.7	18.4	69.0	31.0	≈ 0
15/6 - 21/6	67	4030	961	12.0	9.4	127.7	-27.5	-0.2
22/6 - 28/6	65	3076	1008	12.6	24.5	51.5	47.8	0.7
29/6 - 5/7	63	3718	1074	13.4	29.2	45.9	52.9	1.2
6/7 - 12/7	61	3546	1054	13.2	34.6	38.2	61.6	0.2
13/7 - 19/7	63	2228	780	9.8	14.6	67.1	30.8	2.1
20/7 - 26/7	62	3357	876	11.0	26.2	42.0	57.2	0.8
27/7 - 2/8	59	2644	853	10.7	34.1	31.4	68.3	0.3
3/8 - 9/8	61	1998	773	9.7	25.1	38.6	58.6	2.8
10/8 - 16/8	60	2517	699	8.7	17.7	49.2	50.1	0.7
17/8 - 23/8	58	2952	647	8.1	31.6	25.6	74.4	≈ 0
24/8 - 30/8	60	1461	568	7.1	24.4	29.1	69.2	1.7
31/8 - 6/9	59	1774	483	6.0	19.7	30.5	67.9	1.6
1/6 - 6/9	62	41986	11698	144.3	333.9	43.2	56.0	0.8

+ The ablation factor sublimation is insignificant, even compared with Precipitation

Hvis man betrakter verdiene for strålingens energitilførsel i forhold til energien forbrukt til ablasjon fra uke til uke, oppdager man raskt at de varierer ganske kraftig - om enn naturligvis ikke i samme grad som svingningene fra dag til dag. Mest markert er spranget fra 127,7% til 51,5% i siste del av juni. Her viser det seg også at selv på den maritime Ålfotbreen forekommer i sommersesongen så lange perioder som en uke (15.-21. juni) med hva man kan betegne som vinterklima, dvs. at "the eddy heat flux" er negativ - altså at de non-radiative faktorer bevirker avkjøling av bre Massen.

De ukentlige ablasjonsforhold på Austre Memurubre er presentert kvantitativt i tabell II, og illustrert i fig. 62

TABLE II

ABLATION CONDITIONS AUSTRE MEMURUBRE 1971

Period	Mean Albedo	Global Radiation	Net Rad. absorbed by glacier	Ablation caused by Radiation	Registered total Ablation	Relative heat supply by +		
						Radiation	Convection & Condensation	Precipitation = Rain(+) and Snow(-)
day/month	%	cal/cm ²		g/cm ²			%	
15/6 - 21/6	69	4052	944	11.8	3.9	302.3	-202.0	-0.3
22/6 - 28/6	70	3333	882	11.0	4.8	229.2	-129.4	0.2
29/6 - 5/7	68	4185	955	11.9	15.7	75.8	23.9	0.3
6/7 - 12/7	65	3836	940	11.8	20.0	59.0	40.9	0.1
13/7 - 19/7	74	3525	693	8.7	3.6	241.6	-141.1	-0.5
20/7 - 26/7	72	3279	703	8.8	7.5	117.3	-17.6	0.3
27/7 - 2/8	67	2797	711	8.9	16.5	53.9	45.7	0.4
3/8 - 9/8	65	1941	676	8.5	12.2	69.7	29.5	0.8
10/8 - 16/8	69	3515	546	6.8	7.6	89.5	10.5	≈ 0
17/8 - 23/8	65	3422	521	6.5	20.2	32.2	67.8	≈ 0
24/8 - 30/8	65	2852	503	6.3	20.6	30.6	69.4	≈ 0
31/8 - 6/9	72	2546	347	4.3	6.7	64.2	35.8	≈ 0
15/6 - 6/9	68	39283	8421	105.3	137.3	76.7	23.1	0.2

+ Sublimation contribute to the Ablation with an amount comparable with that of Precipitation

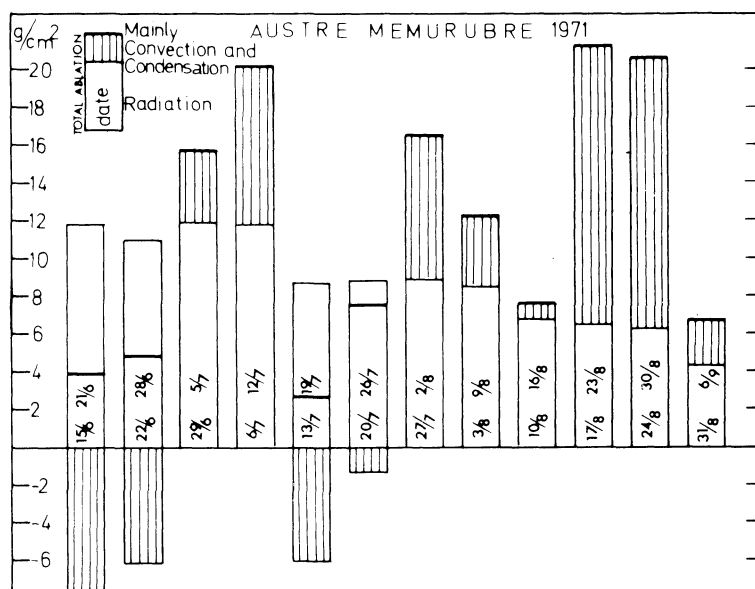


Fig. 62 Ukentlige verdier av ablasjonen med markering av strålingsbidrag og bidrag fra non-radiative faktorer på Austre Memurubre i 1971.

Ablation and the contribution of radiation and non-radiative factors.
Weekly accounts during the summer season on Austre Memurubre in 1971.

I observasjonsperioden sett under ett bidro strålingen med ca. 105 g/cm^2 , eller ca. 77% av den registrerte ablasjonen på ca. 137 g/cm^2 . Konveksjon og kondensasjon forårsaket om lag 23%, og nedbøren var nærmest for ubetydelig å regne (0,2%). Sublimasjon er ikke beregnet separat (betraktes som et ledd av kondensasjonen), men kan anslås å ha ydet et bidrag noe nær det for nedbøren.

På Austre Memurubre sommeren 1971 har åpenbart det såkalte vinterklima hersket i langt større grad enn hva tilfellet var gjennom den kraftige ablasjonssommeren 1970, og også i langt større grad enn på Ålfotbreen. I 4 av sommerens første 6 uker er energitilførselen fra strålingen beregnet til å være større enn den energi som svarer til den registrerte ablasjon. For øvrig er sprangene i strålingens relative bidrag til ablasjonen fra uke til uke mer fremtredende på Austre Memurubre enn på Ålfotbreen. Som nevnt foran må disse sprangene bare i begrenset omfang tilskrives variasjon i netto strålingsenergitilførselen. De relativt kraftige skiftninger av temperatur, vind og luftfuktighet i breområdene er hovedårsak til de ulike ablasjonsforhold fra en uke til den neste.

Av måleresultatene ellers kan det være av noen interesse å merke seg at globalstrålingen var om lag 18% sterkere på Austre Memurubre enn på Ålfotbreen (ca. 6000 cal/cm^2 forskjell i perioden 15/6-6/9 - jfr. tabell I og tabell II). At netto tilført strålingsenergi likevel ble størst på Ålfotbreen skyldes både at albedoen her var 6% lavere enn på Austre Memurubre og

at den langbølgete strålingen tappet adskillig mer energi fra Austre Memurubre enn fra Ålfotbreen.

Diskusjon

Til en undersøkelse av foreliggende art bør det gis en usikkerhetsvurdering. Videre er det rimelig å trekke visse sammenligninger med målinger og beregninger foretatt for samme tidsrom i 1970. Derneft skal resultatene oppnådd i 1971 presenteres i en tabell sammen med resultater oppnådd tidligere på breer i Norge; dette ikke minst av hensyn til den oversikt man internasjonalt prøver å få innen breforskningen.

Av praktiske og økonomiske grunner ble enkelte målinger ikke utført i den grad man kunne ønske. Som indikert foran, er flere beregninger bygget på "beslektede" observasjoner og tidligere erfaringer. Dette gjelder langbølget stråling, albedo og fritt vanninnhold i snø og firn; også den døgnlige ablasjonen er for noen få døgnns vedkommende beregnet ut fra målinger av temperatur, vind og vandamptrykk. Å angi usikkerhetsverdier på de fremkomne resultater er derfor vanskelig, og for det meste basert på skjønn.

En feilgrense på $0,5 \text{ g/cm}^2$ når det gjelder ablasjonen skulle være forsvarlig å sette. Et standardavvik på 5% for langbølget stråling bør man regne med. Globalstrålingen er den mest pålitelige målte parameter. På Ålfoten overstiger standardavviket neppe 2%; på Austre Memurubre må avviket settes til 3%. Nå vil feilene beheftet de døgnlige målinger slå ut til begge sider, og man kan derfor regne med en viss utjevning av disse ved angivelse av f.eks. ukeverdier. I denne undersøkelsen er valgt en blanding av statistisk baserte formler og erfaring fra målinger utført ved liknende undersøkelser tidligere når usikkerhetsverdiene for verdiene gitt i tabell I og tabell II er fastsatt. For Ålfotbreens vedkommende fås da en relativ feil på 8% i de ukentlige registrerte ablasjonsverdiene. For strålingens bidrag til ablasjonen skulle en feilgrense på 5% være forsvarlig å sette. For Austre Memurubres vedkommende blir feilgrensene 9% (ablasjonen) og 7% (strålingen).

Ved å trekke inn resultatene fra sesongen 1970, har man i fig. 63 konstruert et bilde av strålingens (og dermed også indirekte de non-radiative faktorenes) innflytelse på ablasjonen. Ukeperiodene er i 1971 av samme dato som dem i 1970.

Vi ser at 2 års middelerdier ikke medfører utvisking av de tidligere omtalte svingninger fra uke til uke. En viss harmoni i de to kurvene kan antydes; de klimatiske forhold fra periode til

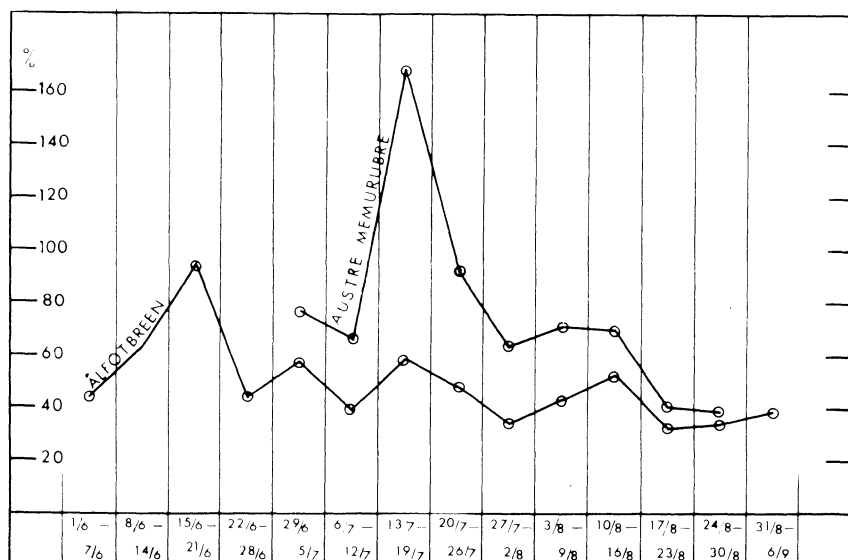


Fig. 63 Det relative bidrag av stråling til ablasjonen registrert på Ålfotbreen og Austre Memurubre. Middelverdier fra 1970 og 1971.

Heat supply by radiation in per cent of the heat correspondent to the ablation registered on Ålfotbreen and Austre Memurubre. Mean values from 1970 and 1971.

periode synes altså ikke å endre seg i utakt på Ålfotbreen og Austre Memurubre. Når man tenker på hvordan de dominerende vest-sørvestlige syklonene dominerer vær-situasjonen i Sør-Norges breområder er dette resultatet naturligvis ikke overraskende. Også fig. 61 og fig. 62 viste et visst samsvar mellom de to breene både når det gjalt ablasjons- og globalstrålingssvingningene fra dag til dag – muligens forbausende godt samsvar. Noen kvantitativ analyse er dog ikke foretatt.

TABLE III

ABLATION CONDITIONS ON GLACIERS IN NORWAY

Glacier (see map)	Position °N °E m. a. s. l.	Year of investigation	Period day/month	Relative Contribution by the ablation factors (%)				Author (Year)
				Radiation	Convection	Condensation	Rain and Sublimation	
Gråsubreen	61°39 08°36	1963	12/6-18/6	98		2	-	T. Klemsdal (1964)
	1975		27/7- 9/8	59	27	14		
Austre Memurubre	61°33 08°30	1970	26/6-30/8	67		33	1	S. Messel (1971) (1972)
	ca. 1900	1971	15/6- 6/9	77		23	1	
Storbreen	61°35 08°20 ca. 1600	1955	6/7- 8/9	54	32	14	1	O. Liestøl (1967)
Skagastølsbreen	61°30 07°50 ca. 1600	1954	May-Sept.	79		21	+	B. E. Eriks- son (1959)
		1955	May-Sept.	66		34		
Omnsbreen	60°39 07°30 1540	1968	3/6- 8/9	50	34	16	1	S. Messel (1971)
		1969	3/6- 8/9	55	31	14	1	
Supphellebreen	61°30 06°48 ca. 70	1967	1/7-12/7	32		68	-	O. Orheim (1968)
				26		74		
Ålfotbreen	61°45 05°40 ca. 1250	1970	1/6-14/9	44		56	+	S. Messel (1971) (1972)
		1971	1/6- 6/9	43		56	1	

+ Rain/sublimation are included in convection/condensation

I tabell III er de relative bidrag fra ulike klimatologiske faktorer på Ålfotbreen og Austre Memurubre ført opp sammen med resultater fra tidligere undersøkelser i Norge.

På bakgrunn av det som er sagt om variasjoner av ablasjonsfaktorenes relative bidrag fra uke til uke, bør den korte observasjonstid for enkelte av undersøkelsene presentert i tabell III understrekes. Et klart uttrykk for strålingens dominans på de østlige kontinentale breer og de non-radiative faktorerers nær tilsvarende dominans på de vestlige maritime breer får man likevel. Noen generell oversikt over ablasjonsforholdene på breene i Sør-Norge synes likevel ikke forsvarlig å presentere – særlig når man tar i betraktning den forskjell det er i resultatene for 1970 og 1971 fra Austre Memurubre.

Det må understrekes at foreliggende undersøkelser ikke er ment å skulle være noen komplette energibalanseundersøkelser. Slike undersøkelser ville kreve langt flere og mer detaljerte målinger av albedo, fritt vanninnhold i snø og firn, tetthet av bremassen og profiler av temperatur, vind og fuktighet i lufta like over breoverflaten. Kostnadene ville bli vesentlig større, og siktemålet ville forskyves adskillig mot det teoretisk vitenskapelige. Med det relativt enkle arbeidsprogram man nå har på Ålfotbreen og Austre Memurubre får man resultater som i første omgang må sees i sammenheng med undersøkelsen av massebalansen og med de andre undersøkelsene presentert i foreliggende rapport. De glasio-meteorologiske undersøkelsene er likevel lagt opp slik at de føyer seg inn i rekken av de bestrebelser som gjøres på breer over hele verden for å få oversikt over de ulike klimatologiske faktorerers innflytelse på breavsmeltingen. Det langsiktige mål er at undersøkelser av denne art forhåpentlig vil bidra til å avsløre hvilken sammenheng det er mellom klimafluktuasjoner og brevariasjoner.

EN UNDERSØKELSE OVER SAMBANDET MELLOM NETTOBALANSEN MÅLT PÅ ENKELTE STAKER OG BREENS TOTALE NETTOBALANSE

Innledning

Da den fullstendige glasiologiske metoden til måling av nettobalansen på breer er meget arbeidskrevende, har mange forenklete metoder til måling av massebalansen blitt prøvet. Enkelte forfattere har plottet nettobalansen målt på hele breen som funksjon av nettobalansen målt på utvalgte staker. Slike diagrammer antyder ofte et visst samband, som ikke nødvendigvis er lineært, og som er karakterisert ved en relativt stor spredning omkring den antydte kurven. Liestøl (1967) har sammenliknet nettobalansen for Storbreen med nettobalansen til en del

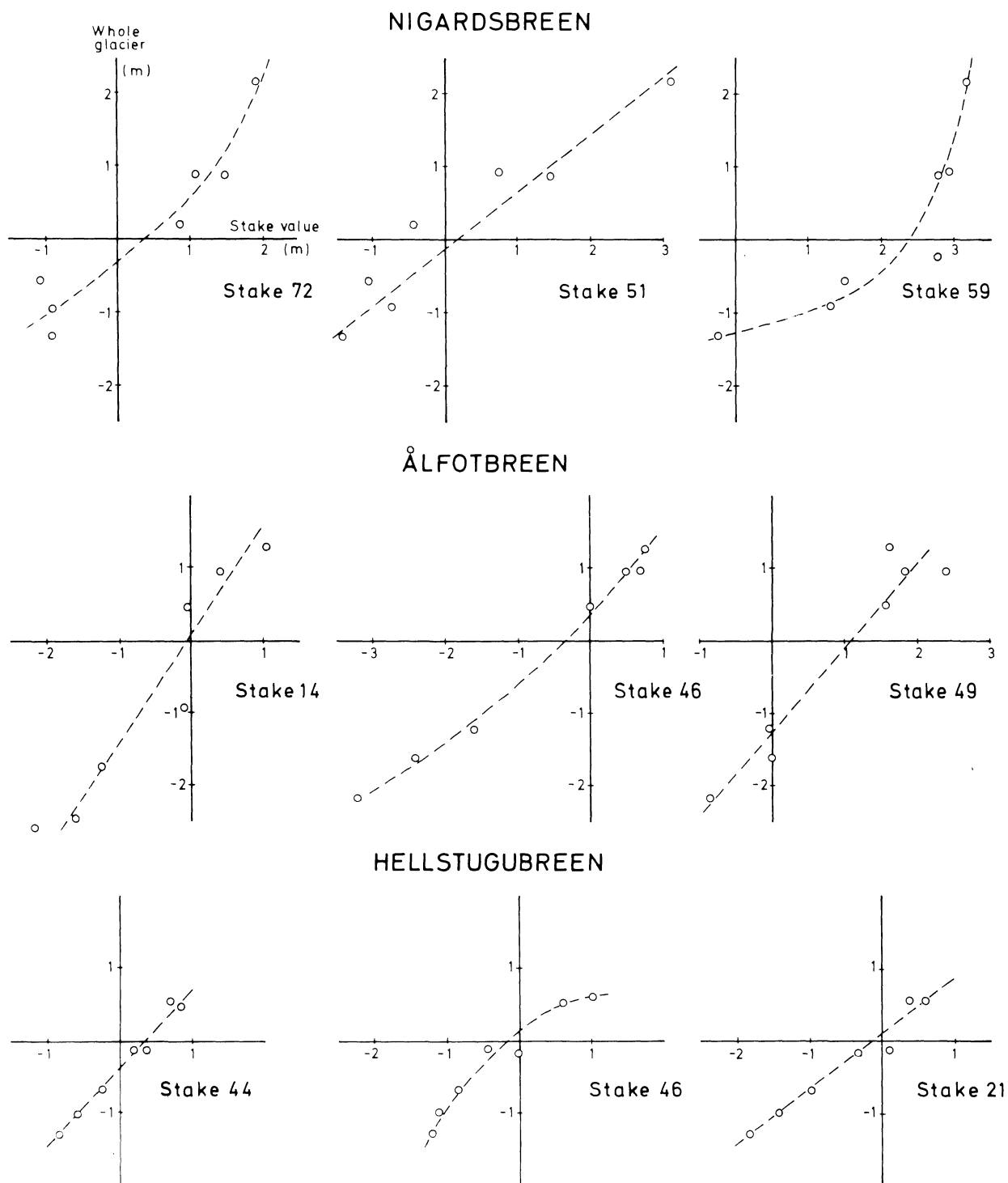


Fig. 64 For tre staker på hver av breene Nigardsbreen, Ålfotbreen og Hellstugubreen er det forsøkt utarbeidet grafiske sammenhenger mellom nettobalansen for hele breen og nettobalansen målt på stakene. Sirkelene representerer enkeltår og den stiplete linjen antyder den sannsynligste kurve.

Correlation curves between net balance for the whole glacier and net balance values for single points (stakes) on the glacier. Each circle represents values from one balance year.

av denne og benyttet målingene på dette relativt begrensede området til estimering av nettobalansen til hele breen.

Ved Brekontoret har man til nå utført målinger av massebalansen ved den fullstendige glasio-logiske metoden for flere breer i 7 til 10 år. Denne undersøkelsen tar sikte på å klarlegge om nettobalansen kan estimeres enklere på grunnlag av målinger på 2-3 staker i kombinasjon.

Metodikk

Vi antar at breens nettobalanse, b_n , kan uttrykkes som en lineær funksjon av nettobalansen målt på enkelte staker, $b_1, b_2, \dots, b_m$:

$$b_n = a_0 + a_1 b_1 + \dots + a_m b_m \text{ der } a_0, a_1, \dots, a_m \text{ er konstanter.}$$

Slike likninger er bestemt ved multippel regressjonsanalyse. Analysen er utført av program BMD 02 R - STEPREG. Programmet er beskrevet i Roald (1971).

Resultater

I fig. 64 er nettobalansen målt på breen plottet som funksjon av nettobalansen målt på enkelte staker for Nigardsbreen, Ålfotbreen og Hellstugubreen. Av figuren framgår tydelig at sambandet ofte har en ikke-lineær karakter.

I tabell 1 er den lineære korrelasjonskoeffisienten mellom b_n og nettobalansen på de utvalgte

TABELL 1

Korrelasjoner mellom nettobalansen målt på breen og på enkelte staker

Brenavn	Stake nr. Korrelasjonskoeffisient							
Ålfotbreen	A 11 0.904	A 46 0.972	A 13 0.982	A 14 0.983	A 24 0.930	A 49 0.961		
Tunsbergdalsbreen	T 14 0.827	T 18 0.344	T 20 0.804	T 43 0.839	T 47 0.832			
Nigardsbreen	N 51 0.957	N 53 0.926	N 59 0.883	N 94 0.899	N 88 0.747	N 85 0.775	N 103 0.857	N 72 0.962
Hellstugubreen	H 3 0.962	H 16 0.907	H 44 0.993	H 41 0.969	H 45 0.990	H 21 0.984		
Gråsubreen	G 11 0.910	G 3 0.724	G 5 0.743	G 8 0.778	G 1 0.837			

stakene gitt for hver av de fem breene som er blitt analysert.

I tabell 2 er regressjonslikningene stilt opp for hver bre når en og to staker blir tatt med i likningen. For Nigardsbreen er også en alternativ likning angitt. Det var ikke mulig å få tatt med noen tredje stake i likningene på 10% signifikansnivå.

Tabell 2

Tabell over regressjonslikningene

Brenavn	Likning	Antall frihetsgr.	Mult. korr.
Ålfotbreen	$b_n = 0.56 + 0.97 \cdot A14$	5	0.983
	$b_n = -0.16 + 0.61 \cdot A14 + 0.48 \cdot A49$	4	0.9995
Nigardsbreen	$b_n = -0.10 + 1.02 \cdot N72$	5	0.962
	$b_n = -0.06 + 0.57 \cdot N72 + 0.36 \cdot N51$	4	0.989
	$b_n = -0.66 + 0.51 \cdot N51 + 0.36 \cdot N59$	4	0.986
Tunsbergdalsbreen	$b_n = -1.03 + 0.70 \cdot T43$	5	0.839
	$b_n = -0.06 + 0.48 \cdot T43 + 0.41 \cdot T14$	4	0.970
Hellstugubreen	$b_n = -0.35 + 1.10 \cdot H44$	5	0.993
	$b_n = -0.25 + 0.77 \cdot H44 + 0.27 \cdot H41$	4	0.9997
Gråsubreen	$b_n = 0.17 + 0.88 \cdot G11$	5	0.910
	$b_n = 0.00 + 2.38 \cdot G11 - 1.70 \cdot G8$	4	0.996

I fig. 65 er den observerte og den beregnete nettobalansen fremstilt for hvert av årene analysen omfatter på tre av breene.

Fig. 66 viser differansen mellom observert og beregnet nettobalanse for hvert av observasjonsårene når nettobalansen er beregnet ut fra observasjoner på en, to og tre staker. Av figuren framgår at en tredje stake ikke fører til noen vesentlig reduksjon av avvikene. Samvariasjonen er meget god. Benyttes to staker, ligger feilen i estimatet av nettobalansen under 0,20 m praktisk talt for alle årene. Pytte 1969 angir usikkerheten i selve måle- og beregningsmetodikken til å kunne være av samme størrelsesorden.

Diskusjon

Antall observasjonsår er svært lite, likningene må derfor bare oppfattes som en indikasjon på hva som kan forventes. Av tabell 1 framgår det at de uavhengige variable på Tunsbergdalsbreen og annen uavhengige variable på Nigardsbreen blir tatt med på et 10% signifikansnivå.

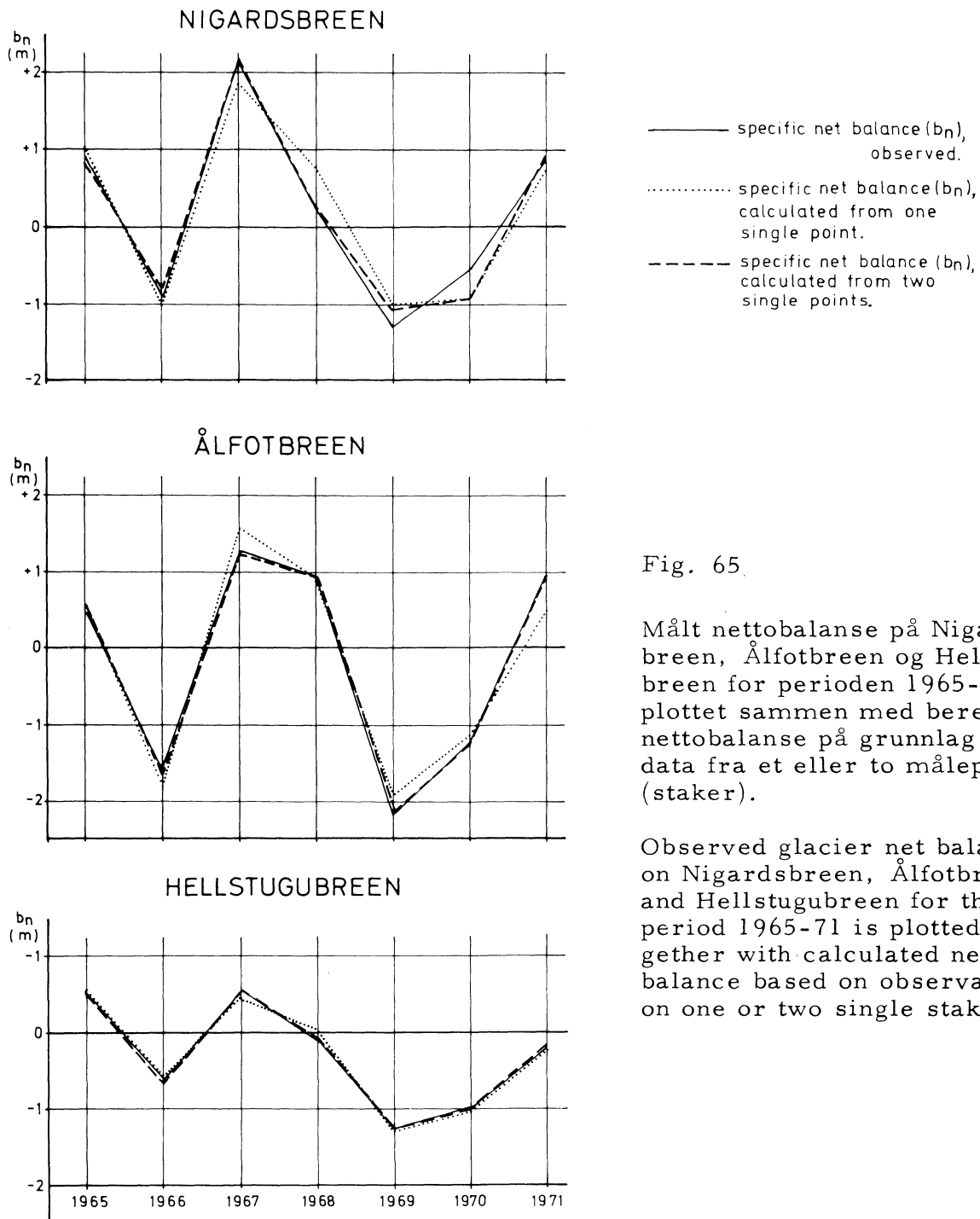


Fig. 65.

Målt nettobalanse på Nigardsbreen, Ålfotbreen og Hellstugubreen for perioden 1965-71 er plottet sammen med beregnet nettobalanse på grunnlag av data fra et eller to målepunkter (staker).

Observed glacier net balance on Nigardsbreen, Ålfotbreen and Hellstugubreen for the period 1965-71 is plotted together with calculated net balance based on observations on one or two single stakes.

Det er altså en ikke uvesentlig sjanse for at variable som ikke skulle blitt tatt med i likningen, er kommet med.

Datasettet omfatter år med sterkt positiv såvel som år med sterkt negativ nettobalanse, likningene skulle derfor være representative for begge typer balanseregimer. Fig. 65 viser da også at likningene som inkluderer to staker, meget nær beskriver nettobalansen. Stakeposisjonene er kartframstilt under kapitlet om de enkelte breer.

På Nigardsbreen er stake 51 og 72 blitt valgt ut som beste kombinasjon av to staker. Disse står i 1500 - 1600 m høyde eller m.a.o. nær likevektslinjen. For Tunsbergdalsbreen er stake 14 og 43 blitt valgt ut. Stake 14 står i breens nedre del mens stake 43 står oppe i firnområdet.

For Ålfotbreen er stake 14 og 49 blitt tatt med i likningen. Stake 14 står nær breens østkant i 1100 m høyde mens stake 49 står på breens høyeste punkt. Den neste stake som ville blitt tatt med, er stake 46 som står ca. 100 m høyere enn stake 14 og helt over mot breens vestsida. Utvalget vil altså representere forskjellige deler av breen.

For Gråsubreen er to nabostaker blitt valgt ut. Disse står i breens midtre parti i nærheten av det vindavblåste midtpartiet på breen. Hellstugubreen er den breen som best får beskrevet nettobalansen av regressjonslikningene, såvel med en som med to staker utvalgt. Disse er begge i den lavere delen av breens firnområde.

Utvalget av staker ser ikke ut til å være foretatt tilfeldig. Dersom en stake høyt oppe på breen blir tatt med, vil også en langt nede bli tatt med i likningen. Alternativt vil bare staker som

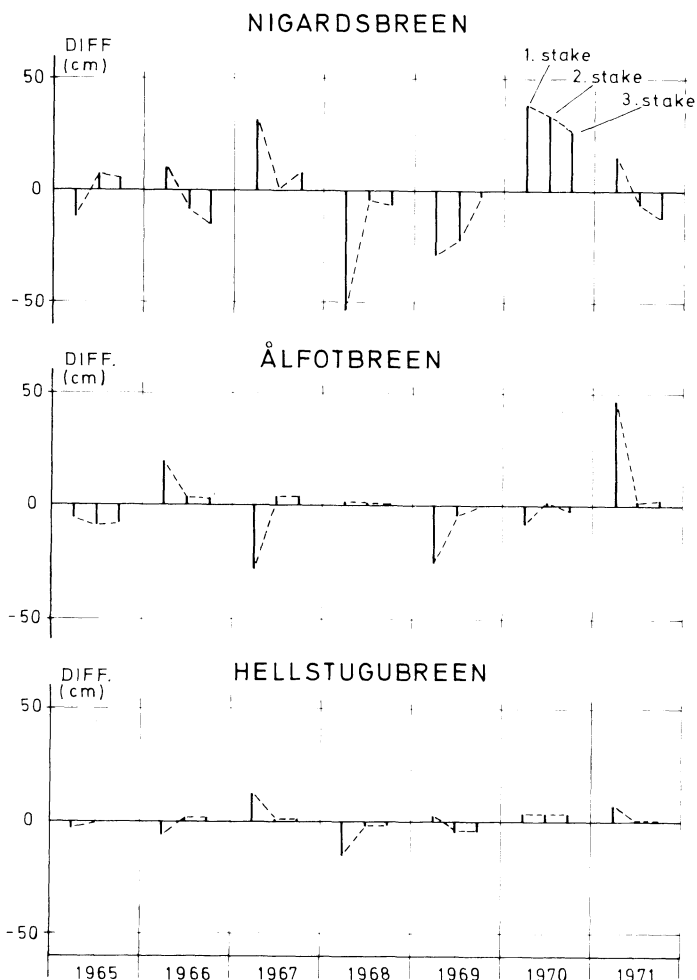


Fig. 66

Figuren illustrerer hvilket avvik fra beregnet nettobalanse på hele breområdet en får ved å anvende en, to eller tre staker i likningen.

The diagram shows the deviations between observed and calculated glacier net balance, using observations at one, two or three single stakes as a base for the calculations.

står nær likevektslinjen bli tatt med. Valget av staker på Gråsubreen kan skyldes at målingene er best utført på disse stakene. Det forholdet at begge stakene står nær den avblåste sonen, kan likevel tenkes å henge sammen med den sterke innflytelse vindvirkningen har på denne breen.

Nettobalansen finnes som differansen mellom vinterbalansen og sommerbalansen. Sommerbalansen viser stort sett samme mønster fra år til år mens vinterbalansens mønster kan variere noe mer. Det kan være av interesse også å foreta sammenlikning mellom vinter- og sommerbalansen hver for seg på enkeltstaker og hele breen, dette vil bli gjort i en senere artikkel.

Metoden fordrer at balansen måles i samme punkt hvert år. Dette medfører at stakene med jevne mellomrom må flyttes oppover mot strømrretningen. Det må også legges arbeid i å få så nøyaktige avlesninger som mulig, en feilavlesning på en stake under dette forenklete opplegget vil kunne føre til betydelige feil i nettobalansen.

Konklusjon

Ved å sammenlikne nettobalansen målt på enkelte staker og på hele breen er det mulig å finne likninger som uttrykker breens nettobalanse som en lineær funksjon av nettobalansen målt på en, to eller tre staker. Slike likninger muliggjør beregning av nettobalansen med en høy grad av nøyaktighet når gode målinger foreligger av de stakene formelene bygger på.

Følgende forutsetninger må være oppfylt for at en slik metode skal kunne benyttes :

1. Det må foreligge flere års målinger av nettobalansen etter den glasiologiske metoden, eller andre relativt nøyaktige metoder. Nettobalansen må videre være målt på staker, som er opprettholdt i omtrent samme posisjon fra år til år.
2. Det må foreligge hastighetsmålinger ved de utvalgte stakene, slik at disse kan flyttes oppover like meget som brebevegelsen fører dem nedover.
3. Stakene bør holdes synlige gjennom hele balanseåret. Alternativt kan andre likninger bestemmes som benytter andre stakepar enn de som inngår i de best korrelerte likningene.
4. Avlesningene på de utvalgte stakene må foretas etter en prosedyre som følges nøye fra år til år.

Det må understrekes at de resultater som er presentert i denne rapporten er foreløpige da de bygger på en meget kort observasjonsrekke. Ved å foreta fulle balansemaalinger på ihvertfall en av de breene undersøkelsen omfatter over en rekke år til, bør man kunne få oversikt over den reelle usikkerheten i metoden. Den gode overensstemmelsen en likevel har oppnådd virker lovende for en framtidig enklere arbeidsrutine ved nettobalansemaalinger. Da disse måling-

ene er de viktigste både m.h.t. bestemmelse av breens tilstand og for å kunne brekorrigere avløpstallene, kan en slik forenklet målemetode vise seg meget praktisk. Både den fysiske og økonomiske innsatsen vil kunne reduseres vesentlig.

LITT OM SAMBANDET MELLOM VÆRPARAMETRE MÅLT VED BRENE OG PÅ FASTE VÆRSTASJONER I NÆRHETEN

Innledning

Som et ledd i de generelle undersøkelsene har Brekontoret i løpet av de siste 8 årene latt utføre daglige meteorologiske observasjoner i ablasjonssesongen på stasjoner ved endel breer i Sør- og Nord-Norge. De innsamlete dataene har dels vært benyttet til beregning av de enkelte meteorologiske prosessenes relative bidrag til ablasjonen, se Messel (1971) og artikkelen på s. 72, og dels til utvikling av regressjonsformeler som uttrykker breavløpet som funksjon av de meteorologiske parametrene, se Roald (1971).

Driften av slike stasjoner er arbeidskrevende og kostbar. Det er derfor neppe praktisk mulig å opprettholde slike stasjoner i særlig utstrekning, når et eventuelt operativt system skal settes igang. Denne undersøkelsen tar sikte på å klarlegge i hvilken grad data fra mer fjerntliggende faste værstasjoner kan brukes til å beskrive forholdene på breen.

Mangelen på meteorologiske data fra breområdene har ført til at data fra nærliggende værstasjoner ofte har blitt anvendt som erstatning. I Rogstad (1941) ble data fra Oppstryn (MI nr. 5870) anvendt til kontroll på en beregning over Jostedalsbreens tilbakegang. Liestøl (1967) foretok på grunnlag av temperatur- og nedbørsobservasjoner fra flere stasjoner en beregning av Storbrens massebalanse bakover i tiden. Rutinemessig benyttes data fra visse værstasjoner til estimering av tilleggsakkumulasjonen for perioder uten direkte målinger, se f.eks. kapitlet om Ålfotbreen på s. 11

Denne artikkelen er ment som en introduksjon til en større artikkel som kommer i neste glasiologiske rapport.

Metodikk

De døgnlige observasjonene foreligger på hullkort for alle stasjonene undersøkelsen omfatter. For å oppnå en rasjonell bearbeidelse av datamassen, er dette blitt utført på NVE's CDC 3200 regneanlegg.

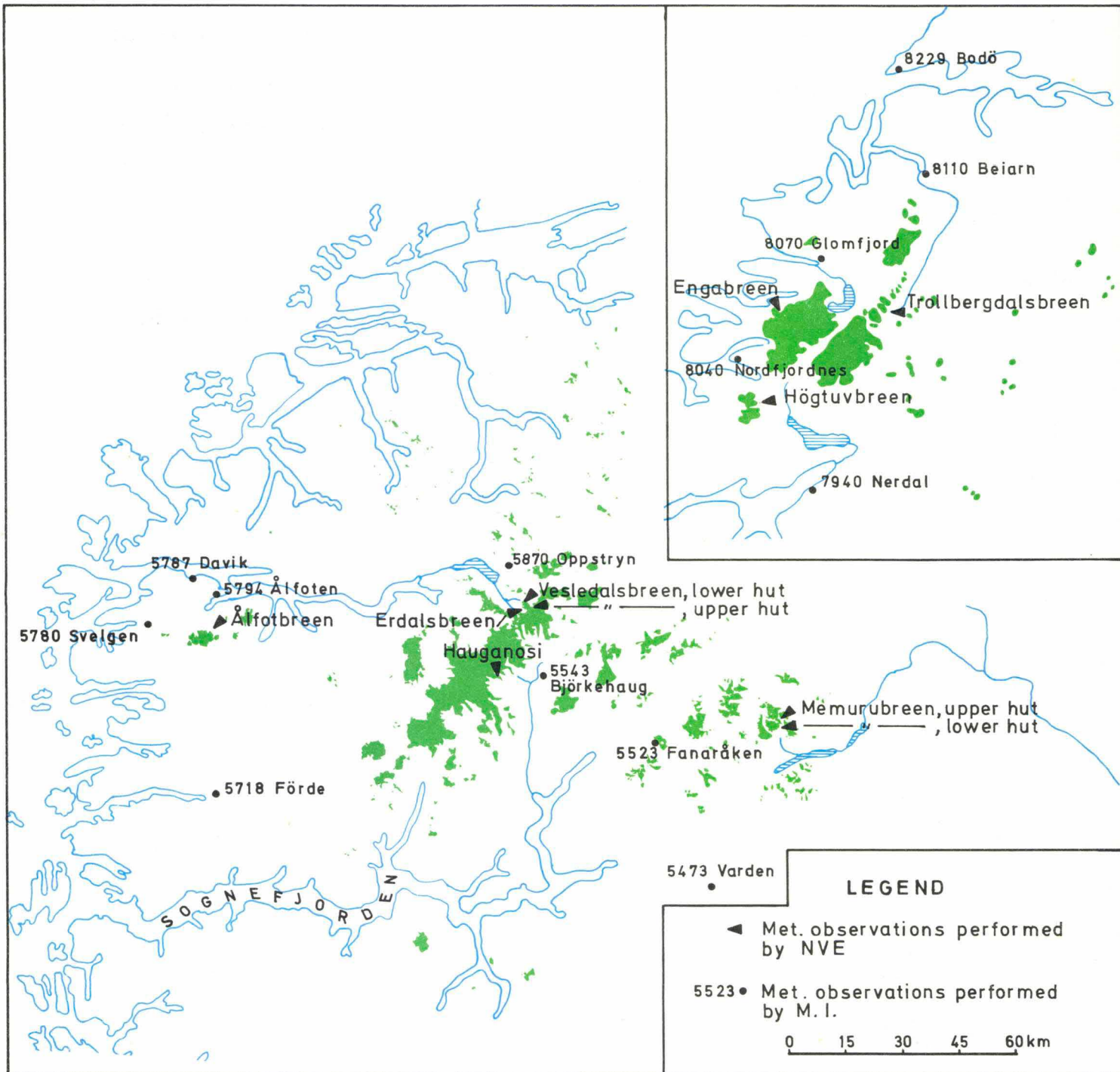


Fig. 67 Geografisk lokalisering av de meteorologiske stasjoner som omtales i teksten.

Location map of meteorological stations mentioned in the text.

Til behandling er det anvendt et spesielt analyseprogram, VHBB1. Dette bestemmer ekstremal- og middelveier for hver måned så vel som for hele sesongen. For hele sesongen bestemmes også varians og variasjonskoeffisienten. Datapar plottes sammen i form av korrelasjonsdiagrammer eller kumulativt i form av "double-mass"-kurver. Regressjonslinjen kan beregnes og plottes inn

i diagrammet, korrelasjonskoeffisienten blir da beregnet. Spesielle ikke-lineære samband kan også undersøkes ved først å transgenerere dataene til en lineært avhengig form. Programmet kan sortere bort data for dager når visse objektive krav ikke er oppfylt før analysen utføres. Analysen kan f.eks. begrenses til å omfatte dager med vind fra bestemte sektorer, dager når brevinden dominerer eller dager med nedbør over en viss mengde. For en sommers data tar 5 analyser 50 sek. kjøretid på CDC-3200 anlegget.

For å klarlegge om de etablerte regressjonslikningene er egnet til å estimere meteorologiske data fra år til år, testes det på om regressjonskoeffisientene til enkeltårslikningene avviker signifikant fra koeffisienten i likningen basert på hele datasettet. Testen foretas på 5% nivå.

Til å undersøke om informasjonsgraden øker signifikant ved å benytte data fra flere stasjoner i området, er program BMD 02R - STEPREG blir benyttet, jfr. kapitlet om stakekorrelasjoner.

Tabell 1

Oversikt over de enkelte stasjonene og symbolliste for parametre analysen omfatter

Navn	Bre/ MI nr.	H. o. h. m	Symbolliste for obs. parametre				
			Temp.	Nedb.	Damptr.	Vind- hast.	Sky- dekke
Hauganose (Steinmannen)	Nigardsbreen	1620	TST	PST	FST	VST	CST
Bur B (På breplatået)	Nigardsbreen	1773	TBP				
Bjørkehaug	5543	280	TBJ	PBJ			
Nedre hytte (Ved bretungen)	Vesledalsbreen	1130	TVN	PVN			CVN
Øvre hytte (Ved firnområdet)	Vesledalsbreen	1590	TVO	PVO	FVO	VVO	CVO
Erdalsbretungen	Erdalsbreen	900	TE	PE			
Oppstryn	5870	205	T	P			
Nedre hytte (1200 m fra bretungen)	A. Memurubre	1520	TMN	PMN	FMN	VMN	CMN
Øvre hytte	A. Memurubre	1860	TMØ	PMØ	FMØ	VMØ	CMØ
Varden Filefjell	5475	1010	TVA	PVA			
Fanaråken	5523	2060	TFA	PFA	FFA	VFA	
Hytta (Ved bretungen)	Ålfotbreen	905	TÅH	PÅH	FÅH	VÅH	CÅH
Førde	5718	3	TFØ				
Ø. hytte	Engabreen	880	TEH	PEH	FEH	VEH	CEH
Engabrevatn	Engabreen	20	TEV	PEV		VEV	CEV
Nordfjordnes	8040	14		PNN			
Glomfjord	8070	39	TGL	PGL			
Hytta	Trollbergdalsb.	960	TTR	PTR		VTR	CTR
Beiarn	8110	5		PBE			
Bodø radiosonde 850 mb.	8229		TRS	PRS	FRS	VRS	

Resultater

På kartet, fig. 67, finner man posisjonen til de brestasjonene og værstasjonene analysen omfatter. En oversikt over de enkelte stasjonene er gitt i tabell 1.

Analysene er foreløpig utført enkeltvis og under ett for sommerene 1968-71 for dataene fra Sør-Norge. Sommerene 1965-71 er også analysert hver for seg for Nigardsbreen. For breene rundt Svartisen er observasjonsseriene ennå korte, begge observasjonsårene, 1970 og 1971, er derfor analysert sammen.

I fig. 68 og 69 er det gjengitt korrelasjonsdiagrammer som viser sambandet mellom temperaturen målt på forskjellige stasjoner på og rundt Jostedalsbreen. I diagrammene er også regresjonslinjene plottet inn. Noen av relasjonene er også presentert i tabell 2. Felles for temperaturrelasjonene er at de er meget høyt korrelerte selv over relativt store avstander, med en korrelasjonskoeffisient på 0,86-0,98. Signifikanstestene viser at regressjonskoeffisientene for de enkelte sommerene stort sett ikke avviker signifikant fra koeffisientene for hele perioden. I tabell 3 er et eksempel på relasjoner bestemt for enkeltår og for perioden 1968-71.

I fig. 70 er sambandet mellom nedbøren målt i Oppstryn og nedbøren målt ved nedre hytte på Vesledalsbreen plottet i form av et korrelasjonsdiagram. I fig. 70 er det samme sambandet plottet kumulativt i form av en "double-mass"-kurve. Nedbøren på nærliggende stasjoner har en korrelasjonskoeffisient på 0,30-0,35 for Jostedalsbrekomplekset, for Ålfotbreområdet på 0,6-0,7 og for Svartisens vestsida 0,90-0,95. Sammenliknes regressjonskoeffisientene for de enkelte sommerene med hele periodens koeffisient finner man ofte signifikante avvik.

For vanndamptrykket finnes et samband som varierer lite fra år til år og med en korrelasjon på 0,90-0,95 for Jostedalsbreområdet. Vindhastigheten er relativt lavt korrelert med en korrelasjon på 0,5-0,6, se også tabell 4.

Tabell 2

Noen samband mellom temperaturene målt på ulike stasjoner

Stasjoner	Likning	Ant. frih. grader	Korre-lasjon	Varians i avh. var.	Ufor-klart	Anmerkninger
Førde - hytta v. Ålfotbreen	$T\ddot{A}H = 0.80 \cdot TF\ddot{O} - 4.11$	345	0.88	9.5	2.1	Brevindpåvirket
Oppstryn - hytta v. Erdalsbreen	$TE = 0.76 \cdot T - 2.77$	177	0.92	9.0	1.3	Brevindpåvirket
Hytta v. Erd.breen - ø.hytte v. Vesled.b.	$TE = 0.96 \cdot TVO + 1.52$	67	0.92	8.2	1.2	
Hytta v. Erd.breen - n.hytte v. Vesled.b.	$TE = 0.84 \cdot TVN - 0.67$	157	0.92	8.5	1.2	Brevindpåvirket
Fanaråken - ø.hytte v. Vesled.b.	$TVO = 0.95 \cdot TFA + 0.83$	274	0.94	11.0	1.4	
Varden Filefjell - n.hytte v. A.Mem.bre	$TVA = 0.91 \cdot TMN + 4.01$	308	0.95	10.6	1.0	Stralingspåvirket
N.hytte - ø.hytte v. A.Mem.bre	$TMN = 0.91 \cdot TMO + 2.83$	210	0.98	11.4	0.5	
Glomfj. - ø.hytte v. Engabreen	$TGL = 0.91 \cdot TEH + 7.22$	130	0.92	11.6	1.7	
Bodø 850 mb - ø.hytte v. Engabreen	$TRS = 0.99 \cdot TEH - 2.95$	130	0.86	14.2	4.1	
Bodø 850 mb - hytta v. Trollbergdalsbreen	$TRS = 0.95 \cdot TTR - 2.75$	135	0.91	14.4	2.8	

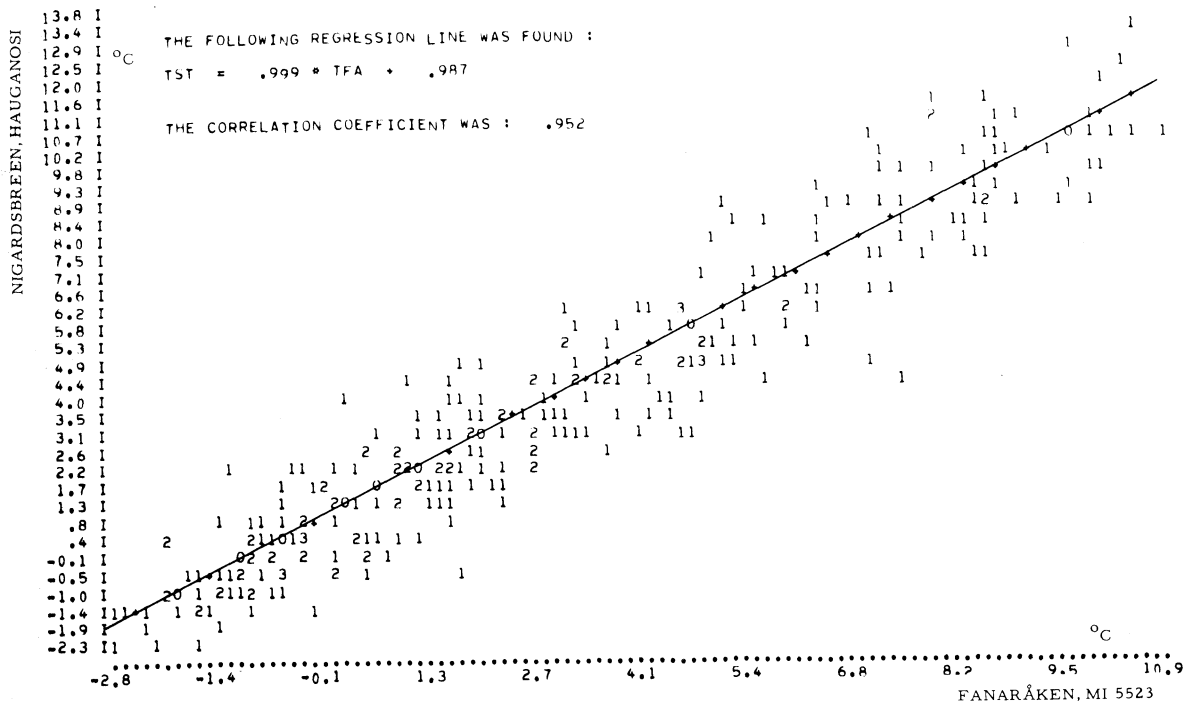
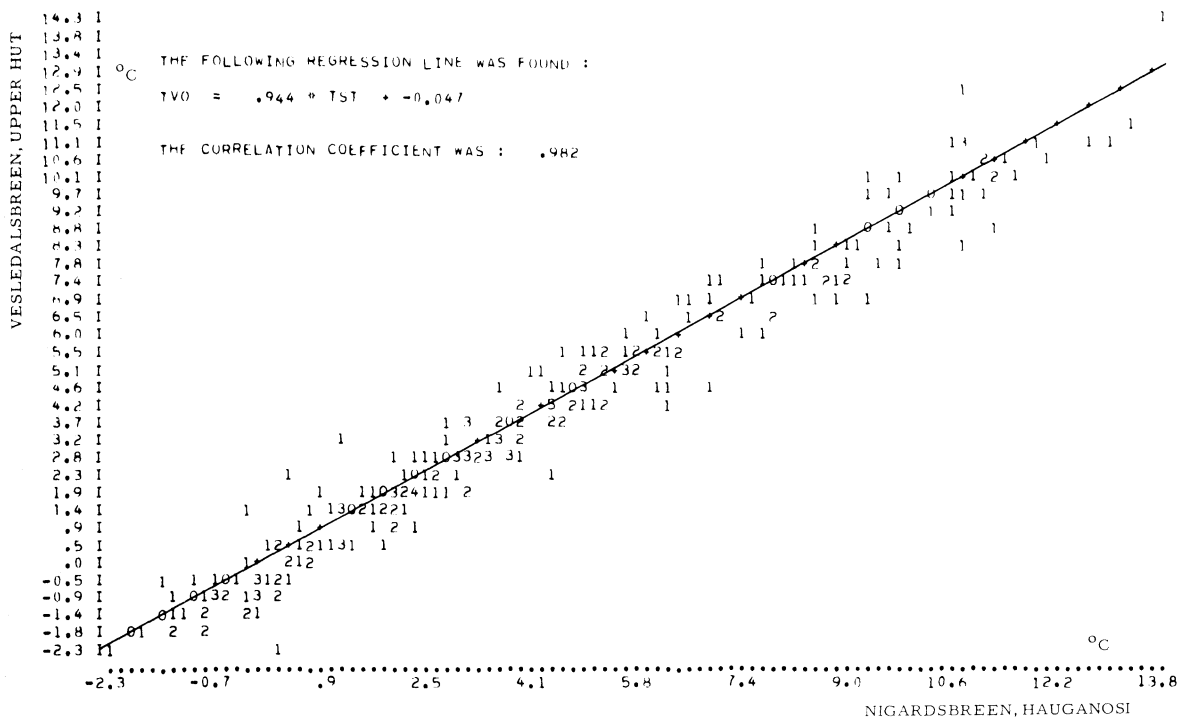


Fig. 68a Døgnmiddeltemperaturen på Vesledalsbreen, øvre hytte og Hauganosi er plottet for 282 sammenfallende døgn. Regresjonslinjen er beregnet og korrelasjonskoeffisienten er angitt. Symbolet O markerer et punkt som akkurat faller på regresjonslinjen, 1 angir en døgnmiddeltemperatur, 2 angir at to døgnmiddeltemperaturer sammenfaller i dette punkt o. s. v. X angir når antallet sammenfallende punkter overskrider 10.

Daily mean temperature on Vesledalsbreen (upper hut) and Hauganosi is marked for 282 days. The regression line is calculated and the correlation coefficient is given. The symbol O marks a value lying on the regression line, 1 means one daily mean temperature, 2 means that values from two days are coinciding in this point, a. s. o. . X is used when the number of coinciding days exceeds 10.

Fig. 68b Samme analyse som beskrevet ovenfor er utført for stasjonene Hauganosi, Fanaråken. Antall observasjonsdøgn er 296.

Daily mean temperature analysed for Hauganosi and Fanaråken meteorological station using 296 days. The symbols are explained above.

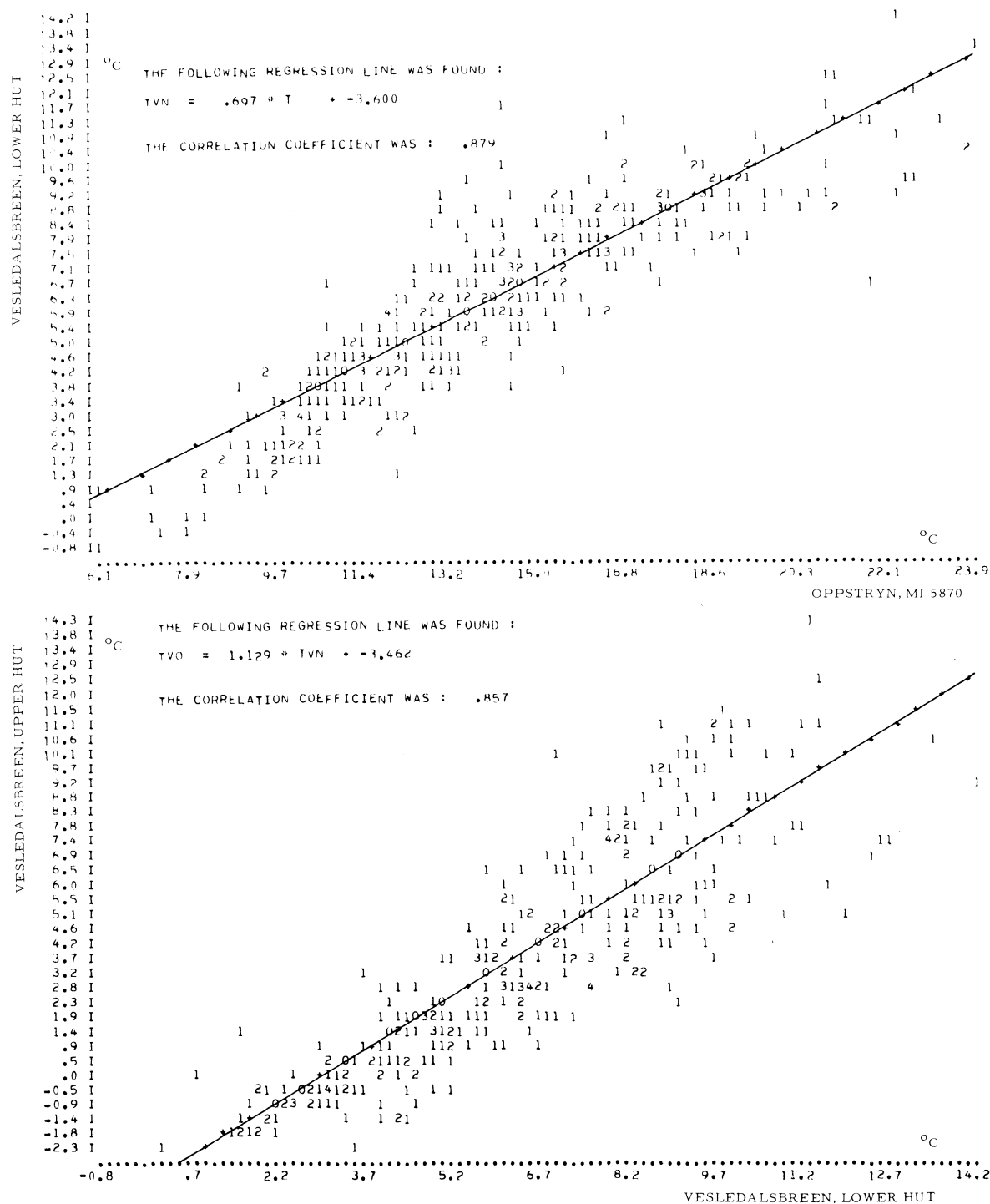


Fig. 69a Døgnmiddeltemperaturen på Vesledalsbreen, nedre hytte og Oppstryn er analysert og presentert på samme måte som forklart i fig. 68.

Daily mean temperatures on Vesledalsbreen (lower hut) and Oppstryn meteorological station are analysed for 274 days. The symbols are explained in Fig. 68.

Fig. 69b Som ovenfor, men med Vesledalsbreen, øvre hytte, kontra nedre hytte på samme bre. 344 observasjonsdøgn er brukt.

As above. The stations are the two huts on Vesledalsbreen. 344 observation days have been used.

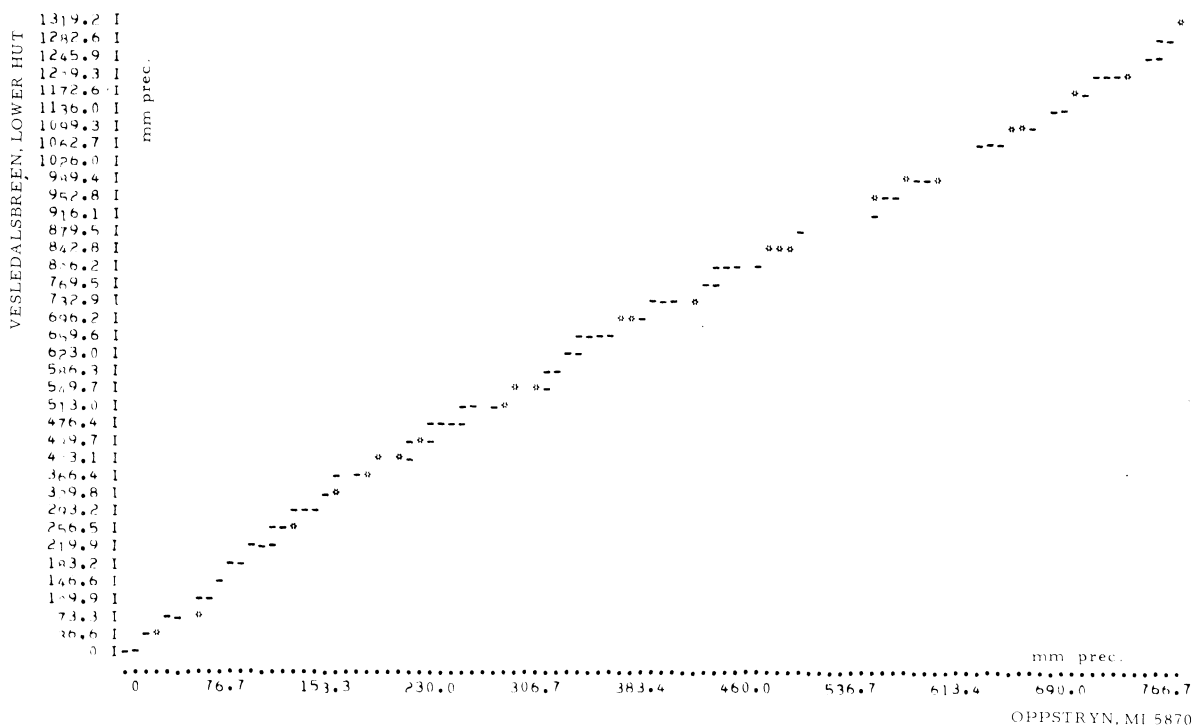
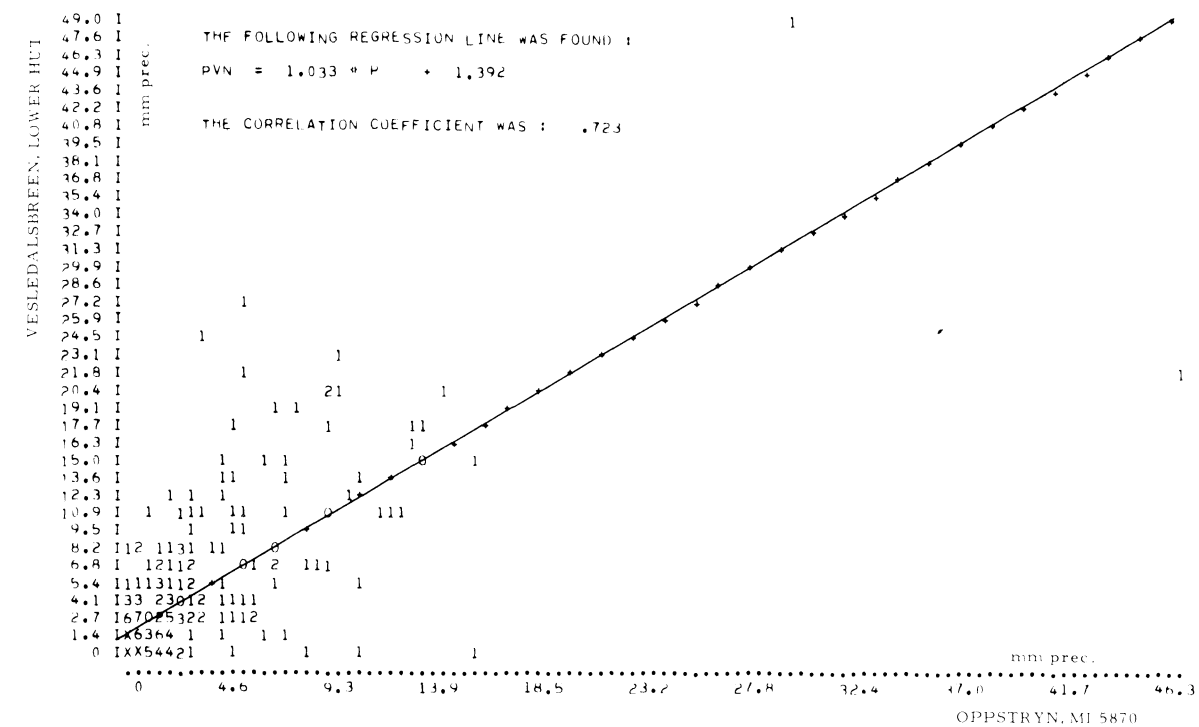


Fig. 70a Korrelasjonsanalysen er her utført for døgnlig nedbørsmengder på Vesledalsbreen, nedre hytte og Oppstryn. Ellers er symbolikken den samme som beskrevet i fig. 68.

Correlation analysis on daily presipitation values measured at Vesledalsbreen, lower hut, and Oppstryn meteorological station.

Fig. 70b "Double-mass" kurve for kumulert døgnlig nedbør i observasjonsperiodene fra 1967 til 1971, målt på Vesledalsbreen, nedre hytte og Oppstryn. En strek symboliserer verdier fra mer enn et døgn mens en stjerne representerer bare en døgnverdi.

"Double-mass" curve showing cumulative precipitation values for the period 1967-71 on Vesledalsbreen (lower hut) and Oppstryn. The lines symbolize points representing more than one day while the stars represent values from single days.

Forsøk på å kombinere data fra flere stasjoner har ikke hittil ført til noen signifikant økning i informasjonsgraden man oppnår ved å benytte bare en stasjonsobservasjoner.

Diskusjon

Sammenlikner man måleprosedyrene på værstasjonene og brestasjonene, vil man finne visse forskjeller som henger sammen med målingenes formål. Meteorologisk institutt er primært interessert i synoptiske data dvs. observasjoner tatt samtidig et visst antall ganger i døgnet, mens man ved Brekontoret er interessert i et best mulig estimat av middelverdiene.

På brestasjonen måles temperaturen, fuktigheten, globalstrålingen og til dels nedbøren på selvregistrerende instrumenter, mens vindhastigheten avleses på et integrerende anemometer. Døgnmiddelverdiene begrenses på grunnlag av registreringene hver hele time etter at disse er blitt korrigert for instrumentfeil.

På værstasjonene måles temperatur, fuktighet og vind 2 til 6 ganger i døgnet mens nedbøren måles om morgenen og kvelden. Middelverdiene beregnes altså på grunnlag av færre observasjoner enn for brestasjonene. For å få et estimat av denne feilen er middeltemperaturen beregnet på grunnlag av MI's standardobservasjoner og på grunnlag av samtidige termografobservasjoner for Oppstryn. Foreløpige resultater antyder et avvik av størrelsesorden 0,5 °C som under ekstreme forhold kan løpe opp i 2°C.

Som mål for fuktigheten brukes vanndampens partialtrykk, e , som er en funksjon av den relative fuktigheten, u , og temperaturen, t . Usikkerheten i estimatet av e er derfor noe større enn usikkerheten i estimatet av t .

Midlere vindhastighet måles på brestasjonen fra kl. 07 til kl. 07 neste dag. Som et estimat på

Tabell 3

Korrelasjonene mellom temperaturen og mellom nedbøren målt på Bjerkhaug og Hauganosi for hver sesong og for hele referanseperioden 1968 - 71.

År	Temperatur					Nedbor				
	Likning	Ant. frihetsg.	Korr.	Varians i TST Opprin- nelig	Ufor- klart	Likning	Ant. frihetsg.	Korr.	Varians i PST Opp- Ufor- rinne- klart lig	
1965	TST = 1.12 · TBJ - 11.72	74	0.89	10.1	2.3	PST = 1.12 · PBJ + 0.59	74	0.88	18.5	4.6
1966	TST = 1.16 · TBJ - 11.85	64	0.83	7.7	2.7	PST = 1.13 · PBJ + 0.48	64	0.79	35.6	14.7
1967	TST = 1.09 · TBJ - 9.79	60	0.78	7.2	3.0	PST = 0.74 · PBJ + 1.24	60	0.83	31.2	10.3
1968	TST = 1.17 · TBJ - 12.24	71	0.88	12.3	3.0	PST = 1.11 · PBJ + 0.03	71	0.94	15.4	2.1
1969	TST = 1.11 · TBJ - 11.06	71	0.91	16.2	3.1	PST = 1.03 · PBJ + 0.39	71	0.88	17.1	4.0
1970	TST = 1.01 · TBJ - 10.24	74	0.89	9.5	2.1	PST = 1.17 · PBJ + 0.68	74	0.89	50.3	11.2
1971	TST = 1.14 · TBJ - 11.96	82	0.87	10.3	2.9	PST = 0.84 · PBJ + 0.60	74	0.79	8.2	3.3
1965 - 71	TST = 1.12 · TBJ - 11.62	304	0.90	13.0	2.8	PST = 1.11 · PBJ + 0.33	296	0.89	24.4	5.4

midlere vindhastighet har vinden kl. 07, kl. 19 og kl. 07 neste dag blitt midlet. Dette estimatet er beheftet med stor usikkerhet. Antagelig ville det være bedre å sammenlikne direkte vindobservasjoner tatt samtidig ved breen og på nærliggende værstasjoner over en såpass lang tid at de turbulente fluktuasjonene blir dempet. Det foreligger noen slike observasjoner fra brestasjonene, disse er ennå ikke bearbeidet.

Å utføre pålitelige nedbørsmålinger på brestasjonen er meget vanskelig i praksis. For perioder med nedbør i form av snø vil nedbøren bli underestimert med de nåværende måleprosedyrene. Likeså i perioder med kraftig vind. Instrumenter av typen Pluvius er utsatt for at regn spruter fra fjellet eller isen og opp i måleren slik at denne registrerer for mye nedbør. De målingene som er benyttet i analysen, er vesentlig foretatt med normalmåler, for noen stasjoner med Pluvius.

For Ålfotbreen og Memurubreen, er temperaturen målt på de mer fjerntliggende værstasjonene Førde og Varden på Filefjell, like godt eller bedre korrelert med avløpet enn temperaturene observert på stasjonene ved breen, se Roald (1971). Nedre hytte på Memurubreen står 1200 m fra bretingen på et sted som ligger godt beskyttet mot brevind. På klare dager vil morenene omkring hytta bli kraftig oppvarmet, man vil få et temperaturregime som avviker fra det man finner på breen.

På Ålfotbreen er brevinden dominerende ved hytta og bidrar til å senke temperaturen der. Et eksempel på brevindens betydning ser man også av fig. 69 som viser sambandet mellom temperaturene målt i Oppstryn og på nedre hytte på Vesledalsbreen og mellom temperaturene målt på øvre og nedre hytte ved samme bre. Avvikene fra regressjonslinjen er der betydelig større enn i fig. 68, de største avvikene finner man på dager med sterk vind ut dalen.

Tabell 4

Noen korrelasjoner mellom nedbør, damptrykk og vindhastigheter målt på enkelte stasjoner

Jevnførte observasjoner	Korrelasjonskoeffisient	Jevnførte observasjoner	Korrelasjonskoeffisient	Jevnførte observasjoner	Korrelasjonskoeffisient
PE - P	0.49	PMN - PVA	0.63	FEH - FGL	0.84
PE - PVN	0.75	PEH - PGL	0.94	FEH - FRS	0.81
PVN - P	0.72	PEH - PNN	0.91	VE - VVO	0.75
PVO - P	0.84	PTR - PBE	0.78	VST - VVO	0.48
PVO - PST	0.30	FVO - FST	0.93	VVO - VFA	0.52
PST - PFA	0.52	FVO - FFA	0.91	VST - VFA	0.54
PVO - PFA	0.61	FST - FFA	0.91	VEH - VRS	0.38
PMN - PFA	0.52	FMO - FFA	0.90	VTR - VRS	0.73

De relativt store variasjonene som regressjonslinjen til nedbørssambandet viser fra år til år, skyldes tildels de forskjellige nedbørsmønstre hvert år. Da dataene ikke er normalfordelt, som regressjonsanalysen forutsetter, vil de få dagene med sterk nedbør også være av en avgjørende betydning for linjens helning.

Variasjonen i nedbørsfordelingen henger til en viss grad sammen med den framherskende vindretningen hver sesong. I de videre analysene vil dette forholdet bli undersøkt nærmere.

Vinden er i sterkere grad enn noen annen parameter avhengig av den lokale topografien. Dette gjør at man ikke kan vente å finne klare samband mellom vindhastigheten selv på brestasjoner innenfor samme brekompleks.

Av tabell 4 framgår at korrelasjonene mellom vindhastigheten målt på Hauganose, Fanaråken og øvre hytte på Vesledalsbreen er forbausende like. Vindhastigheten på Fanaråken er beregnet på grunnlag av observasjoner kl. 07 og 19 som beskrevet tidligere, man skulle derfor vente at denne var lavere korrelert med brestasjonene enn disse er innbyrdes. At et slikt grovt estimat av middelvindstyrken kan brukes i visse tilfeller, framgår forøvrig av Roald (1971) der vindobservasjoner fra 850 mb over Bodø er benyttet til avløpsberegning for Svartisen med brukbart resultat.

Forsøk viser at betydelig høyere korrelasjoner kan oppnås ved sammenlikning av vinden på Hauganosi og øvre hytte på Vesledalsbreen, når bare data fra dager med vind fra visse sektorer blir analysert. Dette vil bli analysert videre.

Konklusjon

Foreløpige resultater viser at temperaturen kan estimeres med relativt stor sikkerhet på stasjoner ved breene når disse ikke i særlig grad er eksponert for brevind.

Et estimat av nedbøren på en stasjon vil derimot være beheftet med langt større usikkerheter for de døgnlige verdiene. Et estimat av nedbøren for en lengre periode kan derimot gjøres langt sikrere.

Vanndamptrykket kan estimeres på brestasjonen, usikkerheten i estimatet er noe større enn usikkerheten i estimatet av temperaturen.

Den midlere vindhastigheten lar seg vanskelig estimere, dels p.g.a. lokale topografiske effekter og dels p.g.a. forskjellige måleprosedyrer på stasjonene. Likevel ser det ut til at bra korrelerte samband kan etableres for bestemte værtyper.

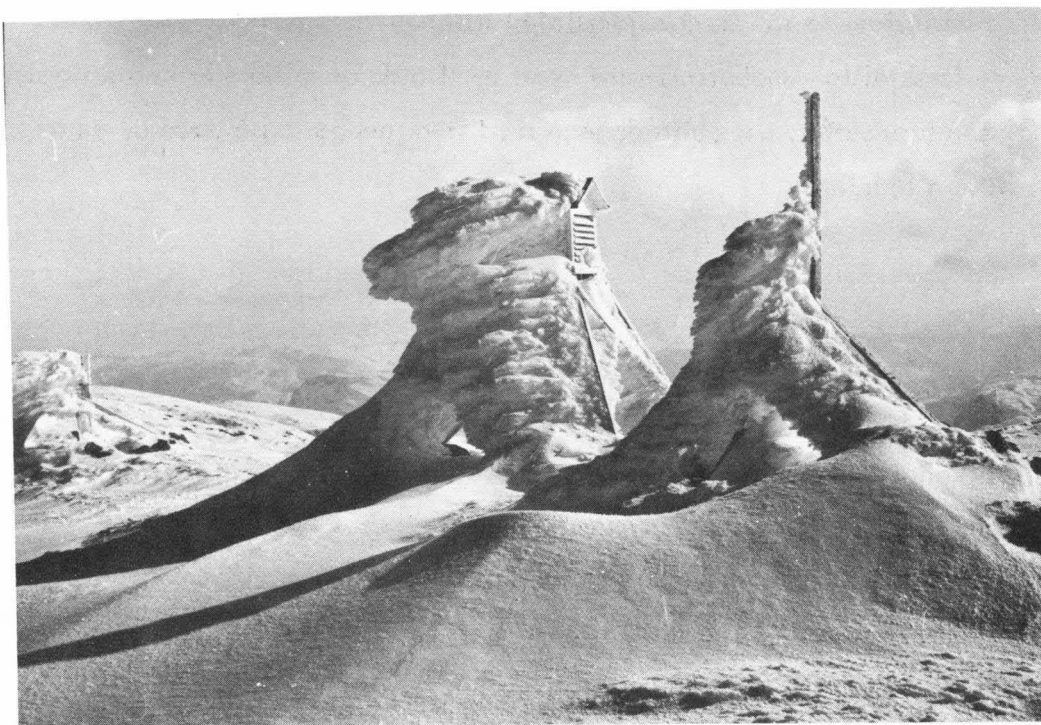


Fig. 71 Nedriming av selvregistrerende instrumenter om sommeren og målestaker om vinteren er årsaken til de største problemer ved Brekontorets arbeid. Fra Folgefonni.

Hoar frost on stakes and meteorological instruments can be a serious problem. From Folgefonni.

SUMMARY

Mass balance studies, meteorological and hydrological investigations at selected glaciers

The Norwegian Water Resources and Electricity Board (NVE) maintain glaciological studies at a number of selected glaciers for two main reasons. When water power utilization is considered in a particular area, reliable information on river run-off must be available. River gauging has therefore been carried out during many years, in several cases for more than 50 or 100 years. Mean annual river discharge can be calculated from such data. However, most of the gauging stations are situated in valleys far from the glaciers so that their influence on the

river hydrology is subdued. The modern technology for power plans in mountainous areas is based upon high altitude reservoirs, which in turn means that the water intake will be situated close to the glaciers in glacierized areas. This gives rise to various problems such as silting-up of reservoirs, a substantial flow of water in a short summer season, almost no run-off in winter, and considerable annual variations in run-off due to variations in glacier melt. The first mentioned problem is dealt with in special reports based on sediment transport studies, whereas the two latter must be solved by direct observations of glacier mass balance and melt water discharge. Results from these studies are reported in this publication.

Mass balance studies, methods

The mass balance studies were carried out by standard methods previously described by Østrem and Karlén (1962), Østrem and Stanley (1969) and others. The mass changes in the glacier during a glaciological year were calculated for 12 glaciers in South Norway and 3 glaciers in North Norway (see Fig. 1). The results from Høgtuvbreen (Svartisen) cannot be published in this report due to lack of suitable maps. Of these 15 glaciers, NVE carried out measurements on 11 and the Norwegian Polar Institute on 2 (Storbreen and Hardangerjøkulen). The last two (parts of Folgefonni) were observed by students from the University of Oslo. Concerning the terminology, it has been attempted to follow proposals given by UNESCO 1969. The measurements were made according to the stratigraphical system based upon the existence of an observable summer surface which is assumed to be formed at the time of minimum mass at the site.

The mass balance at a selected point during a balance year, i.e. within the period between the formation of two consecutive summer surfaces, is shown in Fig. 2.

The diagram illustrates all the point terms used. All point terms are symbolized by small letters (b_n , b_s , b_w) and the values are reported as equivalent volumes of water per unit area (m).

The areal mass balance quantities are found by integrating the point values over the area. The balance year is normally of different lengths in various parts of the glacier, and the integration therefore cannot be clearly defined with regard to time. The terms are symbolized by capital letters (B_w , B_s , B_n) and the quantities are given in volumes of water equivalent. In most places the winter, summer and net balances are reported, and the summer accumulation (C_s) is estimated, if this has been observed. Normally the winter ablation is negligible on Norwegian glaciers.

The field measurements were made as in previous years. The winter balance was found by making numerous snow-depth measurements, normally by sounding, and the snow density was measured in pits at only a few points. As it is rarely possible to carry out the field work exactly at the time of the change from the winter to the summer season, the deviations from the final values were found by making additional measurements or calculations from available meteorological observations. For each glacier a map showing the positions of stakes, pits and sounding profiles, and another showing the distribution of the winter balance are presented in the report.

The balance at selected dates, and especially the summer balance, is found by field measurements of the snow and firn density, in addition to stake observations.

A table as well as a diagram showing the mean winter, summer and net balances in each 50-m or 100-m height interval are presented for each glacier. The area distribution and the areal net balance are also illustrated.

On several of the glaciers there is a fairly large number of stakes. As the stakes have a tendency to disappear during the winter season, replacement stakes must be established in the spring. Much work is, therefore, involved in calculating and checking the balance at each stake.

Another time-consuming part of the calculation work is connected to the planimeter measurements on maps of the winter and summer balance. Much effort has been made to transfer this work to a computer. Two different solutions are now tested and all calculations of summer and winter balances presented in this report are results of a computerized procedure carried out on NVE's CD-3200.

One computer program is based upon the idea of using "Thiessen polyons" for glacier surfaces, using values at selected points. Experience showed, however, that this program consumed relatively high computer time. Another program, named "BALANCE", is based upon the digitalizing of glacier outline, contour lines and isolines. Various areas are determined by numerical integrations and the corresponding water volumes found by multiplication with selected water equivalent. "BALANCE" works fairly fast; results from one glacier are delivered within 15 minutes if all pertinent data is available on punch cards. The expected deviation from "hand made" calculations is less than 1%. A sub-program is made to plot maps and to check all digitalized and punched data before the final calculations are made (see Fig. 3).

The accuracy of mass-balance measurements depends on the number of measuring points and the accuracy of each observation. Local conditions during the field work

may influence the accuracy, together with the experience of the field personnel. Snow distribution is in general fairly similar from year to year, so the reliability will normally increase with time. Consequently, the evaluation of the accuracy of the results must be a subjective evaluation of the various factors involved.

In our measurements the accuracy of the winter and summer balances is always considered better than 10%, and, unless special difficulties have been encountered, the absolute accuracy is better than 25 cm in the net balance figures.

Field results from the balance year 1970-71

In contrast with the previous two winters, precipitation during the winter season 1970-71 was above normal in the western parts of South Norway. In Jotunheimen it was very near normal, except the eastern areas (Gråsubreen) where it was 10% under normal (see Fig. 51).

On Svartisen, conditions were similar to the situation in South Norway. The western parts received more precipitation than normal, but the eastern parts somewhat less. The normal difference in snow depth between the humid western glaciers and the more continental eastern glaciers was therefore more accentuated this winter, both in South and North Norway.

Summer temperatures were very near or slightly under normal in all glacier areas. However, most of the precipitation arrived as snow on the highest parts of the glaciers. The periods with snowfall were fairly evenly distributed throughout the summer season. The ablation was, therefore, often interrupted by summer accumulation (Fig. 14) and the surface albedo consequently maintained fairly high throughout the summer. Ablation values were much lower than normal in the highest parts of Ålfotbreen, Jostedalsbreen and Folgefonni, where the amount of summer accumulation was the heaviest.

The westernmost glaciers showed positive net balance values, whereas glaciers in Jotunheimen were close to a steady state or showed a slight negative net balance. The exact values are shown in a table for all investigated glaciers on p. and they are plotted in Figs. 50-52. The glaciological situation in 1970-71 was very much like the situations recorded in 1964 and 1968. During those years all western glaciers had also positive net balances and the continental ones slightly negative. (See Pytte and Østrem 1965 and Pytte 1969). This indicates an interesting climatic trend towards more favourable conditions for the first mentioned glaciers compared with the drier areas in Jotunheimen. On the Svartisen ice cap, the outlet glacier Engabreen had a strong positive balance whilst Trollbergdals-

green, a valley glacier 30 km to the east, turned out with a slight negative balance. The results coincide with the fact that Engabreen has been advancing for the last 5 years whilst the glaciers on the eastern side of Svartisen still continue to retreat.

Meteorological and hydrological investigations

In contrast to mass balance measurements that can be carried out without maintaining permanent crews on the glaciers during the melt season, meteorological and hydrological observations generally need more maintenance, mainly consisting of frequent servicing of the various instruments, particularly the rain gauges. Consequently, meteorological observations have been carried out at a selected number of glaciers only. Cloud cover, air temperature, relative humidity, wind conditions, precipitation and discharge in the melt water river were carried out at the following glaciers : Ålfotbreen, Vesledalsbreen, Nigardsbreen, Austre Memurubre and at the investigated glaciers in the Svartisen area. For two of the glaciers, Ålfotbreen and Memurubreen, observations of incoming radiation were started in 1970 by a Robitsch Actinograph.

All instruments were running throughout the whole ablation period except for certain short mechanical breakdowns. All data was plotted in diagrams and they are shown in illustrations, one for each glacier (see Figs. 8, 15, 23, 36, 45, 49). The plotting procedure was made by a computer-operated plotting device, so that drafting work was reduced considerably.

As previously mentioned the summer was slightly cooler than normal and it was characterised by pronounced variations between cold and warmer periods (see for instance Fig. 23). The amount of precipitation measured at Nigardsbreen and Memurubreen was lower than usual and, unlike previous summers, lower than the values recorded on surrounding meteorological stations. One of the reasons might be the high number of days recorded with snowfall associated with strong wind. On Nigardsbreen 23 days out of a total of 43 are reported having snow precipitation or sleet. The precipitation gauges are normally considered useless under snow conditions, because snow is moved in and out of the can by the wind. In the Svartisen area precipitation was heavy in July and August. On two days in August, the 19th and 25th, Engabreen received no less than 125 mm in 24 hours. Heavy precipitation combined with high temperatures and strong winds resulted in unusually high discharges (see Fig. 45).

The mapping of local rain distribution, using a number of rain gauges evenly dis-

tributed on the glacier, was only successfully carried out at Ålfotbreen this summer. On Vesledalsbreen and Nigardsbreen the frequent snowfalls made calculations of precipitation pattern highly unreliable.

Results concerning the temperature lapse rate, wind velocity and air moisture showed no marked deviations from earlier summers.

Snow pattern variations on Folgefonni

One of the basic principles when drawing winter balance maps, is the fact that the snow distribution pattern on a glacier is fairly similar every winter, although the absolute values may be different. A special analysis using data from the glacier Midtre Folgefonni in the winters 1969/70 and 1970/71 was performed to study this principle more thoroughly.

Midtre Folgefonni is a typical icecap (see Fig. 54) covering 8.8 km^2 . The number of snowdepth soundings was ca. 480 each winter and two maps showing winter balance were constructed. Specific winter balance, b_w , was 1.84 m in 1970 and 2.31 m in 1971. In order to compare these two maps it was therefore necessary to transform the actually observed water equivalent values to more comparative terms. This can be done by using percent values representing snow depth. An isoline representing 100% is drawn through points having snow depth equal to the mean value for the entire glacier. Isolines for 110% 120%, etc. of the mean specific winter balance can then be drawn. Maps showing winter balance distribution in such relative values are shown in Figs. 55 and 56.

The main distribution pattern was in general the same both winters. The variations in snow depth from place to place was, however, more pronounced in 1970 than in 1971. By analysing meteorological data, some interesting conclusions can be drawn.

In the winter season 1969/70 approx. 80% of the total precipitation arrived before the turn of the year and temperatures on the glacier were below 0°C from October until May. Consequently wind drift of snow was never obstructed by hard crusts or ice layers. Because nearly all the snow arrived early in the winter, there were long intervals when the wind was able to move this snow. On the other hand, during the winter season 1970/71, the snow fell almost evenly throughout the entire winter season and two mild periods with rain on the glacier were experienced in January. A hard crust was then formed on the snow surface. This crust protected underlying snow against wind drift and the snow distribution may have been more even than the previous winter for this reason.

Special radiation studies

To increase the knowledge of the influence of various meteorological parameters on glacier melt, special studies of radiation conditions were started at Ålfotbreen and Austre Memurubre in 1970. Two Robitsch Actinographs were installed at these glaciers and observations of cloudiness, daily ablation and surface albedo were made in addition to the usual meteorological observations. Compared with conditions last summer, glacier surfaces had higher albedo in 1971 and longer periods with freezing temperatures.

The main results are presented in Figs. 61 and 62. The weekly ablation values are divided in ablation caused by radiation and by non-radiative factors (convection and condensation). The variations are considerable from week to week. On Memurubreen 4 weeks had "winter climate", i.e. convection and condensation cooled the glacier surface so that some radiation energy was used to warm up frozen snow and ice. On Ålfotbreen winter climate persisted only one week in June (compare the tables on p. 79)

For the whole summer season radiation accounted for 43% of the glacier melt on Ålfotbreen and 77% on the more continental Austre Memurubre. Compared with similar values from 1970, Ålfotbreen showed very small differences whilst on Austre Memurubre the radiation had a 10% higher share of the total ablation in 1971. The results are compared with similar measurements on other glaciers in Norway. Some of these (see p. 82) comprise very limited time intervals.

Net balances calculated from single stake values

This section intends to establish simple equations to calculate net balance values for three glaciers (Ålfotbreen, Nigardsbreen and Hellstugubreen). The equations are based on net balance measurements made at certain numbers of stakes. The calculations were carried out on a computer which selected the best combination of stakes and constructed equations by multiple regression analysis. Similar methods were used to establish correlation equations between meteorological factors and water discharges as shown by L. Roald in the report from 1970.

The established equations (see p. 86) gave very satisfactory results when observations from 2 stakes were used. Observed and calculated net balance values

during the years 1965-71 are presented in Fig. 65. The difference between these values seldom exceeded 0.2 m, a value which corresponds with the calculated uncertainty in the measured net balance. Fig. 66 illustrates how the difference between observed and calculated net balance decreases when the number of simple observation points used in the equations increase. This decrease is marked between the first and second stake used in the equations, whereas a third stake seldom gives any important improvement. There are some limitations to be aware of when similar analysis is made and equations are established to calculate glacier net balances. Firstly, it is necessary to have a number of years with complete mass balance observations. During the same years, net balances must have been measured at the actual stakes. The velocity of the stake also has to be observed so that the positions can be corrected each year.

Correlations between meteorological data measured near the glaciers and at standard weather stations

This section is an attempt to establish correlations between meteorological data collected by NVE on, or near, the investigated glaciers, and the meteorological data collected at standard meteorological stations (M. I. stations) in the vicinity. If such correlations prove to be satisfactory, it may be possible in the future to quantify the weather situation on the glaciers by using standard weather observations in the valleys, etc.

The analysis was performed on a computer and a special program was constructed for this purpose. Daily values covering all the summers' observations were treated simultaneously and data pairs were plotted together in "double mass curves". The regression line was established and the correlation coefficient calculated.

Fig. 67 shows a map giving the location of the meteorological stations used in the analysis. Figs. 68 and 69 present plots for 4 temperature correlations and Fig. 70 presents one precipitation correlation. The temperature is evidently the meteorological parameter which is best correlated and the correlation coefficient is as high as 0.86-0.98. An interesting point is the fact that stations influenced by glacier wind is less correlated than more undisturbed glacier stations. The precipitation is less correlated than the temperature but the correlation coefficients are different for various glacier areas. Engabreen showed the highest values (0.90-0.95) and Jostedalsbreen the lowest (0.30-0.35) calculated on daily means. The correlation coefficients increase somewhat with increasing length of the periods. Water vapour pressure is correlated satisfactorily, whereas the

wind velocity has lower values (0.5-0.6). Some of the differences in wind velocity may be due to different measuring procedures on the glacier stations and the M.I. stations.

By further analysis it is supposed that the correlation coefficient could be improved concerning precipitation and wind velocity. The procedure will then be to split up the material in subgroups, e. g. by taking out certain weather situations. The preliminary results, however, are interesting and indicate that good correlation can be obtained for the most important weather parameters.

LITTERATUR

- Diskin, MH
1970 : On the computer evaluation of Thiessen weight. Journal of Hydr. 11, s. 69-78.
- Liestøl, O.
1967 : Storbreen Glacier in Jotunheimen, Norway. N. Polarinst. Skrifter 141, (63 p.), Oslo.
1970 : Glaciological work in 1969. N. Polarinst. årbok 1969, p. 116-127, Oslo.
- Messel, S.
1971 : Glasiologiske undersøkelser i Sør-Norge. I : Glasiologiske undersøkelser i Norge 1970. Rapport nr. 2/71 fra Hydrologisk avdeling, Norges vassdrags- og elektrisitetsvesen. Offset (111 p.). (With an English summary.).
- Pytte, R.
1963 : Materialhusholdningen for en del av Folgefonni 1963. Stensilert rapport fra Hydrologisk avdeling (24 p.).
1964 : Hellstugubreen. En glasiologisk undersøkelse. Hovedfagsoppgave ved Universitetet i Oslo. Upubl. (82 p.).
1967 : Glasio-hydrologiske undersøkelser i Norge 1966. Rapport nr. 2/67 fra Hydrologisk avdeling, Norges vassdrags- og elektrisitetsvesen. Offset (83 p.). (With an English summary).
1969 : Glasiologiske undersøkelser i Norge 1968. Rapport nr. 5/69 fra Hydrologisk avdeling. Norges vassdrags- og elektrisitetsvesen. Offset (149 p.). (With an English summary).
1970 : Glasiologiske undersøkelser i Norge 1969. Rapport nr. 5/70 fra Hydrologisk avdeling. Norges vassdrags- og elektrisitetsvesen. Offset (94 p.) (With an English summary).
- Pytte, R. & Liestøl, O.
1966 : Glasio-hydrologiske undersøkelser i Norge 1965. Årsrapport fra Brekontoret, Hydrologisk avdeling, Norges vassdrags- og elektrisitetsvesen. (92 p. + kartbilag). (With an English summary).
- Pytte, R. & Østrem, G.
1965 : Glasio-hydrologiske undersøkelser i Norge 1964. Meddelelse nr. 14 fra Hydrologisk avdeling, Norges vassdrags- og elektrisitetsvesen. (92 p. + kartbilag). (With an English summary).
- Roald, L.
1971 : Breavløpet som funksjon av de meteorologiske parametrene. I : Glasiologiske undersøkelser i Norge 1970. Rapport nr. 2/71 fra Hydrologisk avdeling, Norges vassdrags- og elektrisitetsvesen. Offset (111 p.). (With an English summary).
- Rogstad, O
1941 : Jostedalsbrens tilbakegang. Norsk Geogr. Tidsskr. Bd. 8 s. 273-293.

- Schytt, V.
1968 : Notes of glaciological activities in Kebnekaise, Sweden during 1966 and 1967. Geogr. Ann. 50. p.111-120. Stockholm
- Tvede, A. M.
1971 : Glasiologiske undersøkelser i Norge 1970. Rapport nr. 2/71 fra Hydrologisk avdeling, Norges vassdrags- og elektrisitetsvesen. Offset (111 p.). (With an English summary).
- Tvede, A. M.
1972 : En glasio-klimatisk undersøkelse av Folgefonni. Hovedfagsoppgave ved Universitetet i Oslo. Upubl. (109 p.).
- Østrem, G. & Karlén, V.
1962 : Nigardsbreens hydrologi. Norsk Geogr. Tidsskr. 18 (1961-62), p. 156-202. (With an English summary).
- Østrem, G. & Liestøl, O.
1964 : Glasiologiske undersøkelser i Norge 1963. Norsk Geogr. Tidsskr. 18 (1961-62), p. 281-340. (With an English summary).
- Østrem, G. & Pytte, R.
1968 : Glasiologiske undersøkelser i Norge 1967. Rapport nr. 4/68 fra Hydrologisk avdeling, Norges vassdrags- og elektrisitetsvesen. Offset (131 p.). (With an English summary).

