

NORGES VASSDRAGS-OG ELEKTRISITETSVESEN



GLASIOLOGISKE UNDERSÖKELSER
I NORGE 1969

RAPPORT NR. 5 / 70

VASSDRAGSDIREKTORATET
HYDROLOGISK AVDELING

OSLO MAI 1970



GLASIOLOGISKE UNDERSÖKELSER
I NORGE 1969

Redigert av Randi Pytte

Bidragstere: Olav Liestøl, Christian Nielsen, Randi Pytte
og Gunnar Østrem

RAPPORT NR. 5 / 70

VASSDRAGSDIREKTORATET

HYDROLOGISK AVDELING

OSLO MAI 1970

FORORD

Foreliggende rapport fra Vassdragsvesenets breundersøkelser i 1969 er noe mindre voluminøs enn foregående års rapporter. Grunnen til dette er at resultatene av slamundersøkelser i breelvene er utskilt fra de rene bremålingene for å bli presentert i en egen rapport.

Resultatet av breundersøkelsene er som tidligere framkommet ved samarbeide mellom flere personer. Randi Pytte har hatt hovedansvaret for massebalansemålingene mens alle trigonometriske målinger og beregninger, inkludert undersøkelser av breenes bevegelse, har vært foretatt av Christian Nielsen. Konstruksjonen av de vedlagte to brekartene har delvis vært utført som konsulentarbeid utenfor NVE.

De brehydrologiske undersøkelserne bekostes dels av Hydrologisk avdeling som et ledd i de generelle undersøkelser av våre breers hydrologi, dels av Statskraftverkene som har spesiell interesse av å få belyst hydrologien i utvalgte brefelt for vurdering av framtidige utbyggingsplaner. I ett tilfelle er undersøkelserne pålagt en konsesjonær i henhold til de alminnelige konsesjonsbetingelser.

I foreliggende rapport finnes massebalanseresultater fra i alt 9 breer, for én av dem, Hardangerjøkulen, er både feltarbeidet og beregningene utført av Norsk Polarinstitut, mens for de øvrige er hele arbeidet utført ved Brekontoret, NVE. De årlige målingene av massebalansen ved Storbreen i Jotunheimen er fortsatt i 1969 (av O. Liestøl) og noen nye målinger er foretatt ved Omnsbreen nord for Finse (av cand.mag. Sigmund Messel). Da resultatene fra disse undersøkelserne vil bli publisert på annen måte, er det i denne rapporten bare tatt med noen enkelte tall fra de to breene for å sammenlikne dem med tilsvarende tall for de øvrige undersøkte områder.

Det framgår av innholdsfortegnelsen hvem som har skrevet de forskjellige avsnittene. Dertil kan nevnes at B. Braskerud har rentegnet illustrasjonene og at frk. L. Lundeberg har renskrevet materialet for offset-reproduksjon. Sist, men ikke minst, vil jeg nevne at hovedmassen av de data som rapporten bygger på ble innsamlet av en rekke arbeidsvillige studenter som assisterte ved feltarbeidet sommeren 1969.

Oslo i juni 1970

Gunnar Østrem

INNHOLD

Side

Materialhusholdningen og meteorologiske og hydrologiske undersøkelser ved utvalgte breer (Randi Pytte)	4
Innledning	4
Metodikk	5
Ålfotbreen	12
Vesledalsbreen	20
Tunsbergdalsbreen	27
Nigardsbreen	31
Hardangerjøkulen (Olav Liestøl)	37
Hellstugubreen	40
Vestre Memurubre	43
Austre Memurubre	45
Gråsubreen	53
En sammenlikning av materialhusholdningen på de enkelte breene	55
Trianguleringer og brebevegelsesberegninger i 1969 (Christian Nielsen)	60
Innledning	60
Ålfotbreen	61
Vesledalsbreen	62
Nigardsbreen	64
Austre Memurubre	68
Utførte trianguleringsobservasjoner og beregninger ved Brekontoret fram til høsten 1969	69
To nye brekart (Gunnar Østrem)	71
Breavløp som funksjon av meteorologiske parametre (Gunnar Østrem)	73
Innledning	73
Metodikk	74
Resultater	75
Summary	85
Mass-balance studies and hydrological and meteorological observations	85
Surveying and movement studies	89
Two new glacier maps	90
Glacier discharge as a function of meteorological parameters	91

Litteratur

95

Bilag

Nigardsbretungen, triangelnett og punkt-koordinater

Hellstugubreen, triangelnett og punkt-koordinater

Austre Memurubre, triangelnett og punkt-koordinater (revidert)

Kart over Ålfotbreen, 1 : 10 000

Kart over Gråsubreen, 1 : 10 000

MATERIALHUSHOLDNINGEN OG METEOROLOGISKE OG HYDROLOGISKE UNDERSØKELSER VED UTVALGTE BREER

Innledning

I 1969 er det av Norges vassdrags- og elektrisitetsvesen foretatt glasiologiske undersøkelser på 9 breer, alle i Sør Norge (fig. 1). Disse breene faller naturlig i 4 grupper, 1) Ålfotbreen, 2) Hardangerjøkulen, 3) Jostedalsbreen og 4) breene i Jotunheimen.

På Ålfotbreen foretas undersøkelsene på en nordvendt brearm. Denne drenerer til store Åskåra som nå er under utbygging av Sogn og Fjordane fylke. Undersøkelsene her er pålagt utbyggeren ved konsesjon, og utgiftene deles likt mellom

GLACIER INVESTIGATIONS IN NORWAY 1969

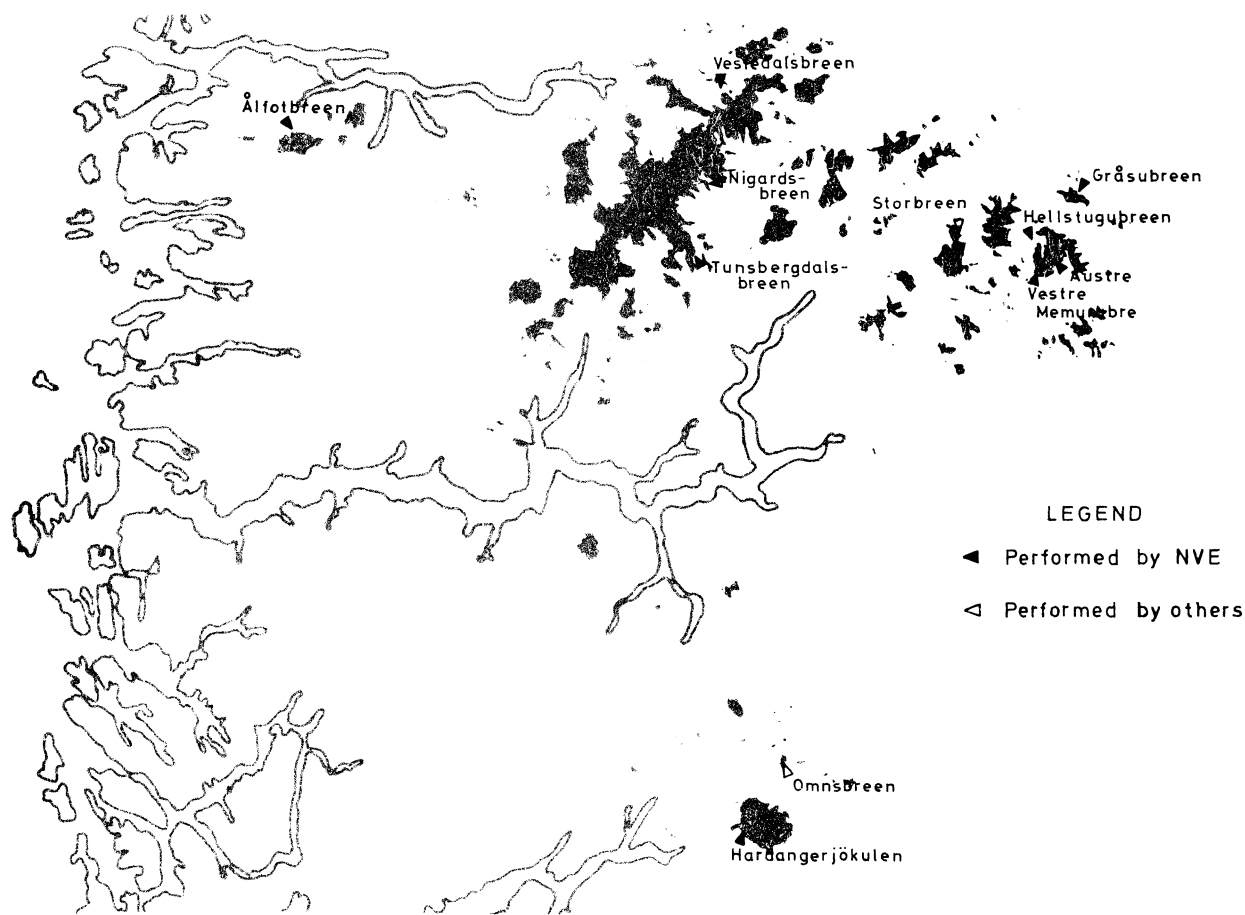


Fig. 1 Kart som viser beliggenheten av breer i Sør-Norge hvor det er foretatt materialbalanseundersøkelser i 1969.

Map showing the location of glaciers where mass balance measurements were performed during 1969.

Elektrisitetsforsyningen i Sogn og Fjordane fylke og Konesjongsavgiftsfondet. Målingene har pågått siden høsten 1962. Foruten materialbalansemålinger er det foretatt spesielle meteorologiske målinger, og avløpet i breelva er registrert.

På Hardangerjøkulen er materialbalansen målt på Rembesdalsskåki som drenerer til Simadalen og inngår i Eidfjord-anleggenes interesseområde. Undersøkelsene, som ble igangsatt i 1963, bekostes av Statskraftverkene.

På Jostedalsbreen er det i 1969 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 på Tunsbergdalsbreen, og i 1967 målinger på Vesledalsbreen inkludert i de glasihydrologiske undersøkelsene i Jostedalsbreenområdet. Arbeidet bekostes av Statskraftverkene.

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 utbyggingen av "Jotunheimen Vest", som nå er under utarbeidelse av Statskraftverkene.

Målingene på Hardangerjøkulen er som tidligere utført av Norsk Polarinstitutt, de øvrige av Hydrologisk avdelings brekontor.

De glasihydrologiske undersøkelsene er utført og bearbeidet etter samme mønster som tidligere år. Årets rapport er derfor bygd opp på samme måte som de foregående, og enkelte mere generelle avsnitt er til dels direkte gjengivelse av fjorårets rapport. Dette gjelder spesielt avsnittet om metodikken som det for fullstendighetens skyld anses hensiktsmessig også å ha med i årets rapport (Pytte 1968, s. 4-10).

Metodikk

Undersøkelser av materialhusholdningen.

Undersøkelsene av materialhusholdningen går i prinsipp ut på å bestemme

masseforandringene av breen i løpet av året. Akkumulasjon omfatter alle prosesser hvorved en snø- eller ismasse øker, ablasjon omfatter alle prosesser hvorved massen minker.

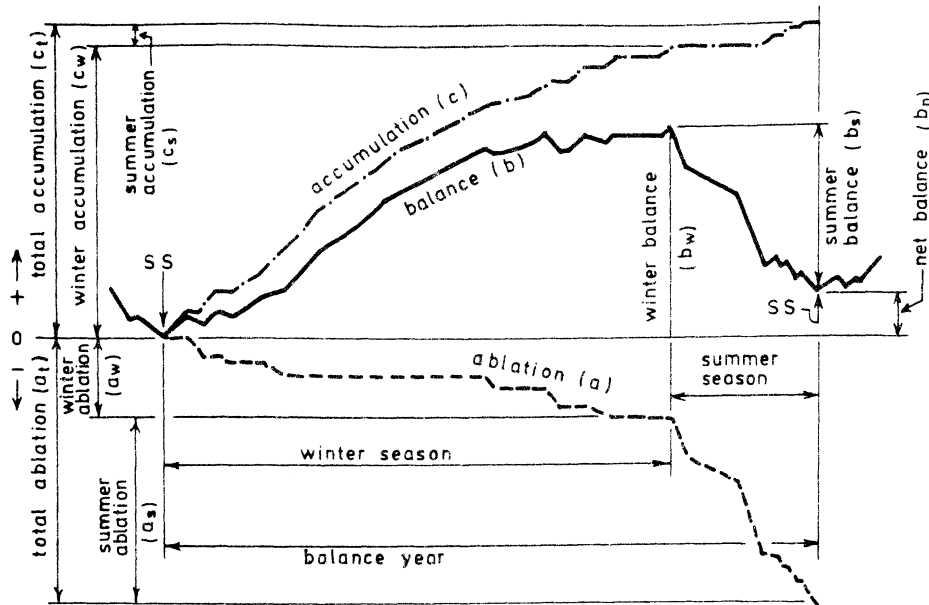
Den alt vesentlige del av masseforandringen foregår i et relativt tynt overflate-lag av breen. Ved materialbalanseundersøkelser betraktes imidlertid hele breens masse, og i prinsipp skal det tas hensyn til både sub- og englasial akkumulasjon og ablasjon. Disse størrelser er imidlertid vanskelig å bestemme og de blir sjelden målt direkte. Da de kvantitativt sett er ubetydelige på tempererte breer, som våre breer tilhører, blir de som regel ikke tatt med i betraktningen. Ved våre undersøkelser er det tatt hensyn til den englasiale massevandring som foregår når bremassen om våren oppvarmes til smeltepunktet. Noen andre sub- eller englasiale prosesser er det ikke tatt hensyn til.

Terminologi. I forbindelse med den Internasjonale hydrologiske dekadé er det av "Commission on Snow and Ice of the International Association of Scientific Hydrology" utarbeidet en terminologi man håper vil bli benyttet ved alle senere massebalanseundersøkelser. En redegjørelse for denne terminologi er offentliggjort av I.A.S.H. i samarbeid med Unesco (UNESCO, 1969) og er dessuten gjengitt i Journal of Glaciology (Meier, 1968 p. 3-7). Denne terminologi ble benyttet ved våre massebalanseundersøkelser i 1967 og 1968. (Østrem og Pytte 1968, s. 4-6, Pytte 1968, s. 4-7). Da denne terminologien fortsatt ikke er særlig godt innarbeidet, er de termene som benyttes også beskrevet i årets rapport.

Ved undersøkelser av materialhusholdningen kan to tidssystem benyttes:

1) et stratigrafisk system hvor masseverdiene refereres til gjenkjennbare sjikt i bremassen, og 2) et system hvor masseforandringen refereres til massen på bestemte tidspunkt. Det stratigrafiske systemet har alltid vært brukt ved våre undersøkelser, og bare dette omtales her. Alle målingene refereres da til foregående års sommeroverflate som representerer siste sommersesongs masseminimum på det aktuelle stedet. Sommeroverflaten danner skillet mellom forskjellige årslag på breen, og vil på tempererte breer i de fleste tilfeller ovenfor likevektslinjen være et sjikt med en anrikning av smuss. Dessuten er det normalt større tetthet og hardhet nedenfor enn ovenfor sommeroverflaten. Hvor godt utviklet en sommeroverflate blir, avhenger av værforholdene. På breens lavereliggende deler danner breisen sommeroverflaten.

Masseforandringen i et punkt og de forskjellige punkt-termene i henhold til det



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.

stratigrafiske tidssystemet er gjengitt grafisk i fig. 2. Alle punktverdier symboliseres med små bokstaver. Balansen (b) er masseforandringen til enhver tid i forhold til siste års sommeroverflate, den kan være positiv eller negativ. Balanseåret er tidsperioden mellom dannelsen av to på hverandre følgende sommeroverflater. I første del av balanseåret har balansekurven en stigende tendens, i siste del synkende. Den maksimale verdi av balansen i løpet av balanseåret kalles vinterbalanse (b_w). Tidspunktet da vinterbalansen inntreffer deler balanseåret i en vinter- og en sommersesong.

Total akkumulasjon (c_t) er kumulativ akkumulasjon gjennom hele balanseåret. Den er i de aller fleste tilfeller større enn vinterbalansen fordi det kan forekomme perioder med ablasjon i vintersesongen og perioder med akkumulasjon i sommersesongen.

Forandringen i masse i løpet av sommersesongen kalles sommerbalanse (b_s). Total ablasjon (a_t) er på tilsvarende måte oftest noe større enn sommerbalansen. Sommerbalanse og ablasjon er definert som negative verdier.

Nettobalansen (b_n) er forandringen i balanse i løpet av balanseåret, og kan uttrykkes som den algebraiske sum av vinter- og sommerbalanse, eller som summen av total akkumulasjon og total ablasjon:

$$b_n = b_w + b_s = c_t + a_t$$

Punktverdiene angis i m vannhøyde.

De tilsvarende arealverdier finnes ved at punktverdiene integreres over arealet. Dette medfører at balanseårets lengde ofte varierer fra sted til sted på samme bre. Termene er analoge med de som gjelder for punktverdier og symboliseres med tilsvarende store bokstaver (B_w , B_s , B_n). Verdiene angis i 10^6 m^3 vann. Det er ofte hensiktsmessig å arbeide med middelverdier for utvalgte areal, middelverdiene (\bar{b}_w , \bar{b}_s , \bar{b}_n) angis som punktverdiene i m vannhøyde og dessuten som tilsvarende avrenning eller tilsig per areal- og tidsenhet ($l/s \text{ km}^2$). Dersom ikke noe annet er sagt, er disse beregnet som middelverdier for et hydrologisk år.

Den temporære snøgrensen refererer alltid til en bestemt tid og forbinder de punkt der årets akkumulasjon akkurat har smeltet vekk. Den temporære snøgrensen ligger noe høyere enn den temporære likevektslinjen, som forbinder de punkt der balansen er null. Likevektslinjen er en linje gjennom punkt der nettobalansen er null.

Innsamling av data. Feltarbeidet er gjennomført på samme måte som tidligere år. Vinterbalansen bestemmes ved at snødypet måles i en rekke punkt, om mulig ved sondering langs utvalgte sonderingsprofiler, og snøens vanninnhold bestemmes i relativt få punkt. Sondering forutsetter at sommeroverflaten kan føles med sonden. I kalde sommere med hyppige snøfall vil sommeroverflaten bli dårlig utviklet, og det er da spesielt viktig at målestakene på breen opprettholdes den påfølgende vinteren. 1967 er eksempel på en slik sommer, og spesielt på Vestlandets breer ble sommeroverflaten dårlig utviklet. De store snømengdene i 1968 førte til at få eller ingen staker overlevet vinteren på noen av breene. Dette gjorde både feltarbeidet og bearbeidingen av observasjonene vanskelig og tidkrevende. Synlige målestaker letter også orienteringen på breen.

Da det sjelden er praktisk gjennomførbart å måle vinterbalansen direkte ved overgangen fra vinter- til sommersesong, blir en hovedmåling av balansen på breen foretatt i siste del av vintersesongen. Det er meget viktig at dette gjøres før ablasjonen har begynt. Eventuell økning i balanse etter denne hovedmålingen måles i utvalgte punkt, vanligvis ved målestakene, og så nær overgangen til sommersesongen som mulig. Denne økningen har av og til helt eller delvis måttet beregnes på grunnlag av data fra nærliggende meteorologiske stasjoner.

Kart over beliggenheten av staker, sjakter og sonderingsprofiler er gjengitt for hver bre. Når staker har blitt borte, har erstatningsstaker blitt satt ut. Bare de staker som har vært til nytte ved beregning av vinter- og eller sommer-

balansen er inntegnet på kartet.

Sommerbalansen måles ved at man følger balanseforandringen ved stakene gjennom sommersesongen. Dette gjøres ved målinger på stakene og tetthetsmålinger av snø og firn. Siste måling taes helst etter overgangen til neste års vintersesong.

Bearbeiding av målingene og presentasjon av resultatene. På grunnlag av kjennskap til breoverflatens høydevariasjoner og tettheten i de øvre lag av breen beregnes materialbalansen i utvalgte punkt.

Vinterbalansen finnes normalt i en rekke punkt mens balansen i sommersesongen bare beregnes ved målestakene.

I det bremassen oppvarmes til smeltepunktet foregår det gjenfrysing av smeltevann i årets snølag og i firnen under siste års sommeroverflate. Gjenfrysing under fjorårets sommeroverflate er en akkumulasjonsform og må derfor legges til den balansen som finnes direkte ved beregning av massen over sommeroverflaten. Denne gjenfrysingen avhenger av temperaturen av bremassen under sommeroverflaten når smeltevann kommer til, og er på grunnlag av teoretiske beregninger antatt å variere mellom 5 cm og 10 cm i vannverdi på de aktuelle breer. Når sommeroverflaten danner overgangen til breis representeres gjenfrysingen som pålagret is, og trenger altså ikke ned under siste års sommeroverflate.

I løpet av sommeren vil ofte en del eldre staker som ikke har vært synlige hele vintersesongen komme frem. Ved hjelp av disse vil beregninger utført på grunnlag av målinger på erstatningsstaker og tidligere antatt beliggenhet av sommeroverflaten kunne kontrolleres.

For de større breene hvor det er mange staker, en rekke omboringer, og hvor dessuten erstatningsstaker har vært benyttet, er det et meget tidkrevende arbeid manuelt å beregne balansen som funksjon av tiden i hvert målepunkt. Slike beregninger er nødvendige for å sikre påliteligheten av resultatet. Det ble i 1968 utarbeidet et regnemaskinprogram for slike beregninger (utarbeidet av statshydrolog H. Arnesen). Programmet ble laget i ALGOL og kunne kjøres på NVE's tidligere regnemaskin. Ved hjelp av den tilhørende kurvetegner kunne resultatene også presenteres grafisk. Da denne maskinen nå er byttet ut, må programmet omarbeides for eventuelt senere bruk. Punktverdier av vinter- og sommerbalansen avsettes på kart hvor fordelingen av vinter- og sommerbalanse inntegnes, og kart over fordelingen av vinterbalansen er gjengitt for

hver bre. Arealverdier av vinter- og sommerbalansen finnes som nevnt ved integrering av punktverdiene i de aktuelle areal. Både planimetreringen av de utarbeidete fordelingskart og de etterfølgende beregninger er i år igjen gjort manuelt. Når det gjelder så mange breer som det her er tale om, med til dels kompliserte fordelingsmønstre, er både planimetreringen og de påfølgende beregninger meget arbeidskrevende. I 1968 forsøkte man å overlate dette arbeidet til et konsulentfirma for maskinell behandling, men dette viste seg å bli urimelig dyrt med de eksisterende programrutiner.

Resultatene er gjengitt i tabeller der både arealverdier og midlere verdier av vinter-, sommer-, og nettobalansen i hvert 50 m- eller 100 m høydeintervall er angitt. Resultatene er også vist grafisk. Likevektslinjens gjennomsnittlige høyde er den høyde hvor nettobalansekurven krysser y-aksen, og høyden leses direkte av diagrammet.

Nøyaktigheten av resultatene. Nøyaktigheten av målinger av denne type kan ikke uten videre beregnes numerisk etter alminnelige metoder for usikkerhetsregning. Under gunstige målebetingelser vil man imidlertid ved bruk av ordinære regler for usikkerhetsregning få et inntrykk av usikkerheten. Slike beregninger er gjort tidligere (Pytte 1963, 1964) og man kom da fram til usikkerheter på mellom 4 % og 8 % for vinter- og sommerbalanse når verdiene var av størrelsesorden 2 m vann. Dette innebærer i disse tilfeller en absolutt usikkerhet på 10-20 cm vann på sommer- og vinterbalanse og 15-25 cm vann på nettobalansen.

Etter hvert som en blir kjent med forholdene i hvert måleområde vil en lett kunne oppnå disse nøyaktigheter, forutsatt at det ikke oppstår ekstraordinære vanskeligheter under arbeidet, selv om verdiene av de beregnede balanser blir noe større enn 2 m. Når de målte balanser blir 4 m eller større, dvs. snødyp på mere enn ca. 8 m, må man regne med noe større absolutte usikkerheter.

Usikkerheten i resultatene er i meget stor grad avhengig av værforholdene under målingene og selvfølgelig av erfaringen til de som utfører feltarbeidet. Vanskelige måleforhold vil ofte helt eller delvis kunne kompenseres dersom folkene har tilstrekkelig erfaring og er i stand til å utføre nødvendige kontrollmålinger i den aktuelle situasjon. En vil også kunne styrke påliteligheten av resultatet ved at mulige kontroller utføres under beregningsarbeidet, og at bearbeidingene ellers gjøres med omhu.

Ved alle våre målinger er usikkerheten i vinter- og sommerbalanseberegningene mindre enn 10 %. For nettobalansen bør det ikke angis relativ usikkerhet. Dersom det ikke har vært spesielle vanskeligheter regner en med at den abso-

lutte usikkerheten ikke er større enn 25 cm selv om omsetningen er stor, i så fall er dette angitt i det aktuelle tilfellet.

Meteorologiske og hydrologiske observasjoner og beregninger.

Meteorologiske observasjoner er foretatt etter liknende mønster som tidligere år. Døgnlige middelerverdier av skydekke, lufttemperatur, vindstyrke og nedbør ved observasjonshyttene er funnet for alle stasjonene, og enkelte steder er lufttemperaturen målt flere steder i feltet. På to steder er luftfuktigheten registrert. Resultatene er presentert i et observasjonsdiagram. I de tilfeller det foreligger avløpsmålinger er døgnlig avløp beregnet og gjengitt i observasjonsdiagrammet.

Skydekket er observert i 10-deler og dagens midlere skydekke anslått. Vindretningen ble observert ved observasjonstidene, og den midlere vindstyrke mellom observasjonstidene er funnet ved kontinuerlige anemometermålinger dersom noe annet ikke er anført.

Lufttemperaturen er registrert av termografer som sto i ventilerte instrumenthytter (2 m over bakken). I de tilfeller lufttemperaturen er registrert flere steder i feltet er den lokale temperaturgradienten beregnet, og i enkelte tilfeller er temperaturgradienten beregnet i forhold til lavereliggende faste meteorologiske stasjoner.

Luftfuktigheten ble 3 steder registrert av hygrografer plassert i instrumenthyttene. Ved hjelp av hygrograf- og termografregistreringene er timeverdier for damptrykket (p_d) uttrykt i mb beregnet etter formelen:

$$p_d = 6,11 \cdot e^x \quad \text{der} \quad x = 5444 \left(\frac{1}{273} - \frac{1}{T} \right)$$

Til slutt er så døgnmiddelerverdiene beregnet. Beregningene er utført på NVE's elektroniske regnemaskin.

Døgnlig nedbør er ved de fleste observasjonshyttene målt i samme type nedbørmålere som benyttes av Meteorologisk institutt, i noen tilfeller er det brukt enklere nedbørmålere av type Pluvius (Pytte og Østrem 1965, s. 50).

Nedbørfordelingen i noen av feltene ble undersøkt ved at en rekke målere ble benyttet. Det ble vesentlig brukt målere av type "Pluvius", men på grunn av disse måleres begrensede kapasitet (40-60 mm), ble det på Ålfotbreen også i år brukt noen utvidete pluviusmålere med betydelig større kapasitet på de mest nedbørrike stedene (Pytte 1969, s. 10). For å hindre fordampning fra disse ble passende plasttrakter satt ned i målerne.

Nedbøren de forskjellige steder i feltene skulle måles med passende mellomrom, og om mulig slik at nedbøren i avgrensede nedbørperioder kunne bestemmes. Da de anvendte målere er lite egnet for måling av nedbør i form av snø er det sett bort fra perioder hvor ikke den alt vesentlige del av nedbøren falt som regn. I avgrensede nedbørperioder med tilfredsstillende observasjoner er nedbørfordelingen i feltet vurdert, feltets middelnedbør er beregnet ved planimetrering av utarbeidete nedbørkart, og denne er sammenliknet med nedbørhøyden i tilsvarende periode på nærliggende nedbørstasjoner.

I de feltene hvor avløpet registreres er døgnavløpet utregnet. Av observasjonsdiagrammene ser man at det er en nær sammenheng mellom de observerte meteorologiske faktorer og avløpet. Sammenhengen er ikke like tydelig overalt, og hver av de meteorologiske faktorer har forskjellig betydning for avløpet i forskjellige felter. Denne korrelasjonen ble i 1966 og 1967 undersøkt ved maskinell databehandling, dette arbeidet er fortsatt i år og er i den foreliggende rapport behandlet i et eget avsnitt.

Observasjonsdiagrammene er i år tegnet maskinelt ved bruk av kurvetegneren til den gamle regnmaskinen. Dette viste seg å være en meget fordelaktig metode når den ble innarbeidet.

Ålfotbreen

Materialhusholdningen.

Vinterbalanse. 1. oktober 1968 var det 22 staker på breen. Betydelig nedbør falt da som snø og denne dato regnes som vintersesongens begynnelse over størstedelen av breen. Bare i de aller laveste nivåer av breen var det netto ablasjon etter denne tid. Breen ble ikke besøkt igjen før 26. mars og balansen ble da målt. Bare stake 4-65 ble da funnet og 12 erstatningsstaker ble satt ut. Sommeroverflaten var de fleste steder lett å identifisere ved sondering, og det ble tatt i alt 266 sonderinger langs 17 km sonderingsprofiler (fig. 3). Snøen var tørr overalt og snøtettheten ble bestemt på toppen av breen ved den nyutsatte staken 49-69.

Det var akkumulasjon på breen også etter denne tid. På grunnlag av meteorologiske observasjoner i omegnen er vintersesongens slutt satt til 25. mai, men avrenningen hadde ennå ikke begynt på breens høyeste partier ved igangsettingen av sommerobservasjonene 31. mai. Balanseøkningen etter hovedmålingen er på grunnlag av direkte målinger på breen og meteorologiske observasjoner bestemt

Part of ÄLFOTBREEN 1969

Position of stakes, pits and sounding profiles

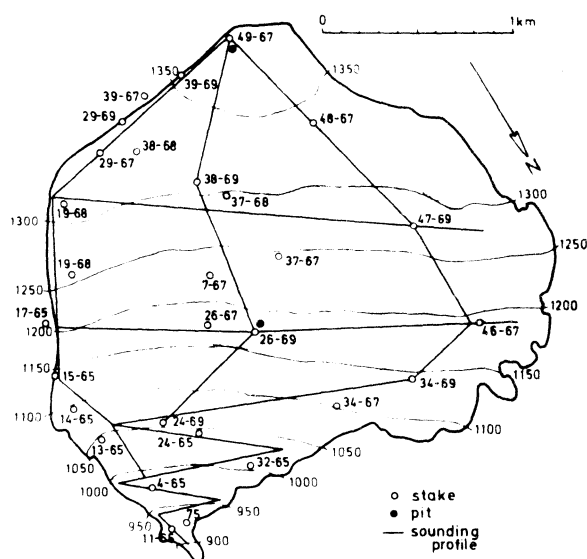


Fig. 3 Beliggenheten av staker, sjakter og sonderinger på Älfotbreen 1969.

The location of stakes, pits and soundings on Älfotbreen 1969.

Part of ÄLFOTBREEN 1969

Winter balance in cm of water equivalent

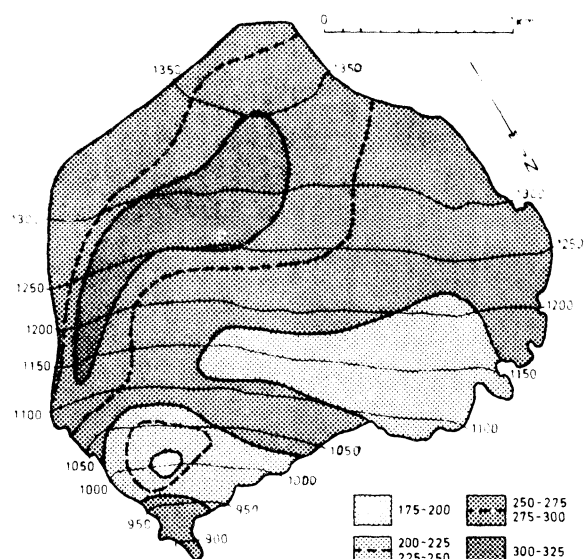


Fig. 4 Kart over vinterbalansen 1969.

Map showing the winter balance 1969.

til 65 cm vann over hele breen.

Fordelingen av vinterbalansen er gjengitt i fig. 4, og den er i alt beregnet til $12,8 \cdot 10^6 \text{ m}^3$ vann som i middel utgjør 2,66 m vann og tilsvarer et årlig midlere tilsig på 84 l/s km^2 . Dette er knapt 60 % av det som ble målt i 1968.

Akkumulasjonen er meget jevnt fordelt og øker bare ubetydelig med stigende høyde over havet (fig. 5).

Sommerbalanse. Stakene ble i sommersesongen målt ca. hver 4. dag i juni, juli og august, og dessuten 16. september og 2. oktober. 2. oktober hadde det falt ca. 1 m nysnø over hele breen. Målinger på breen 16. november viste imidlertid at denne snøen helt hadde smeltet vekk og det hadde dessuten vært ytterligere ablasjon. 16. november lå det omkring 2 m snø over hele breen og neste års vintersesong hadde altså begynt. På grunnlag av meteorologiske observasjoner er overgangen til neste balanseår satt til 25. oktober. Bortsett fra snøfallet i begynnelsen av oktober var det ingen sommerakkumulasjon av betydning dette året. Det falt noe nedbør i form av snø 2.-3. juni, men dette var ikke målbart.

Sommerbalansen var forholdsvis stor og varierte mellom 3,75 m og 6,25 m

ÅLFOTBREEN 1969

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	
1350-1378	0.274	0.782	2.83	89		1.055	3.85	121		-0.273	-1.02	- 32	
1300-1350	1.014	2.842	2.80	88		4.113	4.08	129		-1.271	-1.28	- 41	
1250-1300	0.808	2.288	2.85	90		3.434	4.25	134		-1.146	-1.40	- 44	
1200-1250	0.754	2.021	2.67	84		3.582	4.75	150		-1.561	-2.08	- 66	
1150-1200	0.672	1.708	2.54	80		3.528	5.25	166		-1.820	-2.71	- 86	
1100-1150	0.544	1.356	2.51	79		3.040	5.60	177		-1.684	-3.09	- 98	
1050-1100	0.356	0.889	2.51	79		2.081	5.85	185		-1.192	-3.34	-105	
1000-1050	0.224	0.515	2.32	73		1.372	6.12	193		-0.857	-3.80	-120	
950-1000	0.128	0.300	2.34	74		0.784	6.12	193		-0.484	-3.78	-119	
900- 950	0.046	0.119	2.59	82		0.282	6.13	193		-0.163	-3.54	-112	
870- 900	0.004	0.016	2.63	83		0.025	6.13	193		-0.009	-3.50	-111	
870-1378	4.824	12.836	2.66	84		23.296	4.83	153		-10.460	-2.17	- 69	

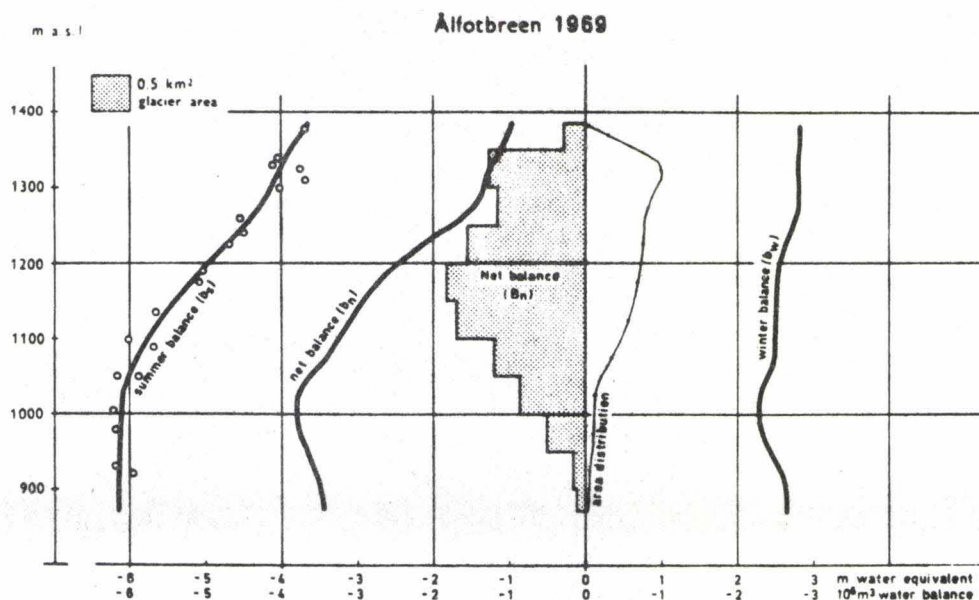


Fig. 5 Variasjonene med høyden over havet av vinter-, sommer- og nettobalanse, samt breens arealfordeling og arealverdier av netto-balansen i hvert 50 m høydeintervall.

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

vann, den er i middel for hele breen beregnet til 4,83 m vann, (153 l/s km^2). Dette er 1,23 m mere enn i 1968 til tross for at middeltemperaturen i sommer-sesongen var den samme de to årene. Dette viser tydelig at også andre faktorer enn temperaturen er viktige for ablasjonen på Ålfotbreen, noe som også årets korrelasjonsberegninger viser. I alt gav breen et tilsig på $23,3 \cdot 10^6 \text{ m}^3$ vann til det nedenforliggende vassdrag.

Nettobalanse. Hele årets akkumulasjon smeltet vekk praktisk talt over hele breen, og dette skyldes i første rekke at vinterbalansen var uvanlig liten. Dette resulterte i at breen ble langt mere oppsprukket enn tidligere år (fig. 6). Den temporære snøgrensen lå allerede i juli høyere enn likevektslinjen i fjor. Likevektslinjen lå høyere enn breen (fig. 5) og blåisen kom frem helt opp til omkring 1300 m o. h.

Som det fremgår var nettobalansen negativ, og i alt minket breen med $10,5 \cdot 10^6 \text{ m}^3$ vann som tilsvarende et vannlag på 2,17 m og et midlere tilsig på 69 l/s km^2 i tillegg til tilsig som følge av årets nedbør. De kvantitative resultater fremgår av tabellen på s. 14 som er illustrert av diagrammet, fig. 5.



Fig. 6 Eksempel på en av de lange rette tverrsprekker som kom frem på Ålfotbreen 1969.

Glacier crevasse on
Ålfotbreen 1969.

Meteorologiske og hydrologiske observasjoner og beregninger.

Sky- og vindforhold. Sommeren 1969 var det forholdsvis pent vær i området. I observasjonsperioden (1. juni- 30. september) var det halvskyet eller klarere 39 dager, hvorav 12 dager var helt skyfrie. 54 dager, d. v. s. nesten hver annen dag var det helt overskyet. Midlere skydekke er beregnet til 6,2 i juni, 8,9 i juli, 4,3 i august, 8,1 i september og 6,9 for hele observasjonsperioden. Som det også fremgår av observasjonsdiagrammet (fig. 7) var august måneden med mest pent vær.

Vindstyrken varierte størstedelen av tiden mellom 5 m/s og 10 m/s. Største døgnlige middelvindstyrke ble målt 4. juli og det var da 13,2 m/s. Midlere vindstyrke i observasjonsperioden er beregnet til 6,6 m/s. Også i 1969 dominerte brevinden vindforholdene ved observasjonshytta, og vinden blåste i det alt vesentlige nedover breen.

ÅLFOTBREEN 1969

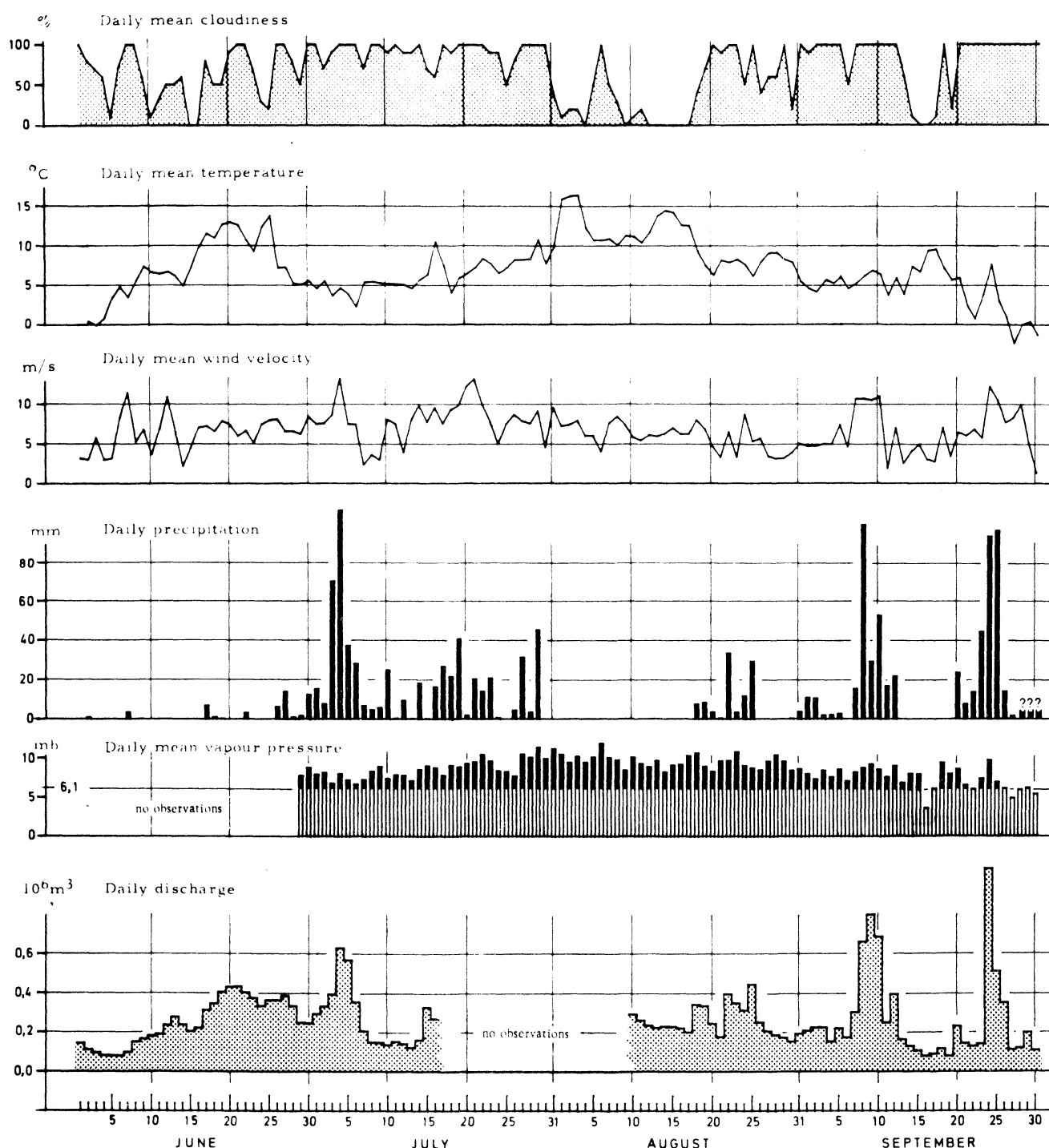


Fig. 7 Resultatene av de daglige meteorologiske observasjonene ved observasjonshytta. Døgnavløpet i Breelva mangler i perioden 15.juli-10.august på grunn av forandring av limnigrafsted.

The results of the daily meteorological and hydrological observations at Ålfotbreen. The discharge is missing from July 15. to August 10. due to change of limnigraph in the river.

Temperaturforhold. Lufttemperaturen ble også i 1969 registrert ved observasjonshytta. Bortsett fra de siste dager av september var døgnmiddeltemperaturen i observasjonsperioden lavere enn 0°C bare 3. juni. Laveste døgnmiddeltemperatur, $-2,4^{\circ}\text{C}$, ble målt 27. september, 3. august var den varmeste dagen med en døgnmiddeltemperatur på $16,3^{\circ}\text{C}$. I de 4 observasjonsmånedene var månedsmiddeltemperaturene henholdsvis $7,1^{\circ}\text{C}$, $6,3^{\circ}\text{C}$, $10,4^{\circ}\text{C}$ og $4,5^{\circ}\text{C}$. I hele perioden var middeltemperaturen $7,1^{\circ}\text{C}$, som er den samme som i 1968. I Førde var middeltemperaturene i juni, juli, august og september henholdsvis $13,9^{\circ}\text{C}$, $13,8^{\circ}\text{C}$, $17,3^{\circ}\text{C}$ og $10,2^{\circ}\text{C}$, og for hele perioden $13,8^{\circ}\text{C}$. Dette er $0,8^{\circ}\text{C}$ høyere enn normalt (1931-60).

Ved beregningen av temperaturgradienten ble det i 1968 feilaktig benyttet høyden 980 m for observasjonshytta. I tidligere rapporter har det stått at observasjonshytta ligger 980 m o.h., ved alle beregninger, bortsett fra i 1968 er imidlertid høyden 910 m benyttet. Etter den nye kartleggingen er høyden av hytta bestemt til 905 m o.h.

En sammenstilling av de funne temperaturgradienter mellom Førde og observasjonshytta er gjengitt nedenfor. For alle år er da den korrigerte høyde, 905 m o.h., benyttet for observasjonshytta.

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

	Juni	Juli	August	Sept.	Juni-Aug.	Juni-Sept.
1965		0,76	0,65			
1966	0,66	0,72	0,67		0,68	
1967	0,79	0,79	0,74		0,77	
1968	0,74	0,78	0,69	0,65	0,74	0,72
1969	0,75	0,82	0,76	0,63	0,75	0,74

Alle årene er temperaturgradienten høyest i juli og middelverdien for sommersesongen ligger de tre siste årene omkring $0,75^{\circ}\text{C}/100\text{ m}$.

Nedbørforhold. Ved observasjonshytta ble døgnlignedbør målt i en av Meteorologisk Institutt's standardmålere, en Pluvius og en pluviograf. Standardmåleren ved observasjonshytta viste seg å være lekk, og døgnlignedbør målt i pluviografen er gjengitt i diagrammet. I tiden 1. juni-27. september ble det målt en nedbørmengde på 1 292 mm ved hytta.

På breen var det plassert 14 nedbørmålere. I den brefrie delen av feltet sto det nedbørmålere 11 steder i tillegg til den ved observasjonshytta. Alle disse, unntatt den ved målested 11, hvor det var standardmåler og pluviograf, var av typen Pluvius. Ved målestedene 21 og 12 var det standardmålere.

Tiden fra 1. juni til utgangen av august kan deles i 7 adskilte nedbørperioder, 1) 7.-8.juni, 2) 17.-18.juni, 3) 22.juni-9.juli, 4) 11.-15.juli, 5) 17.-24.juli, 6) 27.-30.juli og 7) 18.-26.august. De målte nedbørhøydene i hver periode på de enkelte målestedene er vist i fig. 8.

I alle periodene er nedbørfordelingen den samme og tilsvarer den som er funnet tidligere år (Pytte 1968, s. 16). Det er et markert nedbørmaksimum omtrent midt på breen, herfra avtar nedbøren noe videre oppover breen og den synker raskt nedover breen og videre nedover i den brefrie delen av feltet.

På grunnlag av utarbeidete nedbørkart er middelnedbøren i de 6 siste periodene beregnet. På samme måte som tidligere år er middelnedbøren i feltet (P)

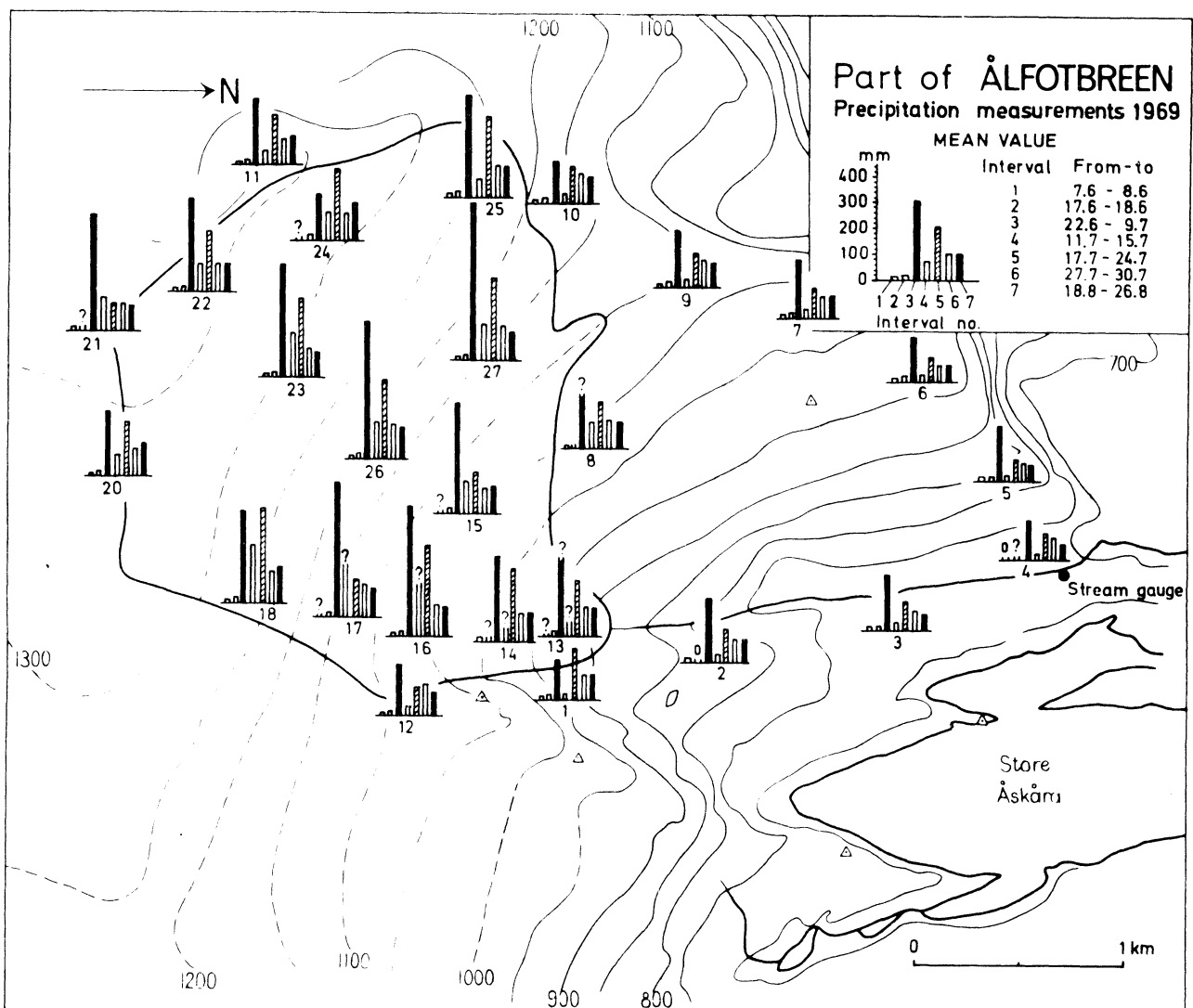


Fig. 8 Beliggenheten av nedbørmålere og de målte nedbørhøyder i 7 perioder i løpet av sommeren.

The location of precipitation gauges and the observed precipitation in 7 periods during the summer.

sammenliknet med nedbøren målt i Svelgen (P_S), Davik ($P_{\dot{A}}$) og Ålfoten ($P_{\ddot{A}}$) og middelverdien for disse 3 stasjonene ($P' = \frac{1}{3} (P_S + P_D + P_{\dot{A}})$). Resultatene er gjengitt i tabellen nedenfor.

Periode	P mm	P_S mm	$\frac{P}{P_S}$	P_D mm	$\frac{P}{P_P}$	$P_{\dot{A}}$ mm	$\frac{P}{P_{\dot{A}}}$	P' mm	$\frac{P}{P'}$
(2) 17.6-18.6	5.8	5.0	1.18	2.6	2.27	1.7	3.47	3.1	1.87
(3) 22.6- 9.7	315.2	190.4	1.66	157.8	2.00	106.0	2.97	151.4	2.08
(4) 11.7-15.7	78.6	20.1	3.91	18.6	4.23	13.3	5.91	17.3	4.54
(5) 17.7-24.7	210.3	80.6	2.56	78.8	2.62	36.2	5.70	65.2	3.23
(6) 27.7-30.7	107.8	62.5	1.73	36.3	2.97	40.2	2.68	46.3	2.33
(7) 18.8-26.8	101.7	62.3	1.63	42.3	2.40	15.1	6.74	39.9	2.55
1969	819.4	420.9	1.9	336.4	2.4	212.5	3.9	323.2	2.5
1968			1.9		2.4		3.3		2.4
1967			1.4		2.4		2.9		2.0
1966			2.5		2.8		3.0		2.8
1965			2.5		2.9		4.0		3.2

Som tidligere varierer forholdet mellom nedbøren i feltet og på de faste stasjonene betydelig i enkeltperiodene, men dette gjelder først og fremst i perioder med forholdsvis lite nedbør (2 og 7). I de øvrige periodene er korrelasjonen god særlig med nedbøren i Davik, men også med nedbøren i Svelgen.

Resultatene for hele sommeren sett under ett, i år og tidligere år det er foretatt målinger av denne art, vises også i tabellen. Det fremgår her at nedbøren i brefeltet er mellom 2,4 og 2,9 ganger større enn i Davik, som ser ut til å være den stasjon som gir best korrelasjon.

Luftfuktighet. I tiden 29. juni- 30. september ble luftfuktigheten registrert av en hygrograf. Denne var plassert i instrumenthytta sammen med termografen. Timeverdier og deretter døgnverdier av vanndamptrykket er beregnet og resultatene er gjengitt i observasjonsdiagrammet. Fram til 26. september, da det begynte å snø på breen, var det bare 2 dager, 16. og 17. september, at døgnmiddelverdien av vanndamptrykket var lavere enn 6,1 mb, som er metningstrykket for vanndamp ved 0° C. 9 andre døgn forekom timeverdier av vanndamptrykket lavere enn 6,1 mb. Dette medfører at det praktisk talt hele sommeren kondenseres vanndamp fra luften mot breoverflaten. Vannmengden som på denne måten utfelles fra luften er ubetydelig, men den frigjorte kondensasjonsvarmen medfører øket ablasjon. Midlere vanndamptrykk for juni, juli og august var henholdsvis 8,6 mb, 9,5 mb og 7,4 mb, og for hele observasjonsperioden 8,5 mb.

Ved korrelasjonsberegningene for avrenning fra breen som funksjon av de meteorologiske faktorer er vanndamptrykket i år tatt med som en variabel i de tilfeller luftfuktigheten er målt, og det viser seg at avrenningen her er godt korrelert med vindhastighet og vanndamptrykk.

Avrenning. Avrenningen ved limnigrafen i Breelva (Vm. 1441) ble registrert på ordinær måte frem til 16. juli. På grunn av utbyggingen av Åskåra vassdraget var det fra omkring 7. juli skyting nær elveprofilet, og registreringene er derfor heretter noe usikre. 16. juli ble limnigrafen fjernet uten at noen ny ble installert. Dette skjedde først 10. august. Vannføringskurven for den nye limnigrafen må betraktes som midlertidig.

Døgnlige vannføring i den tiden det foreligger målinger fremgår av observasjonsdiagrammet.

Vesledalsbreen

Materialhusholdningen

Vinterbalanse. Målinger på breen 7. oktober 1968 viste at vintersesongen da så vidt hadde begynt, det hadde kommet mellom 10 cm og 40 cm nysnø. Stakene ble ettersett og skjøtt 13. februar 1969, og det hadde da kommet mellom 2 m og 3 m snø over størstedelen av breen.

Hovedmålingen av vinterbalansen ble foretatt 10. april, og alle staker unntatt 45-68 var da synlige. Det var gode betingelser for sondering, og det ble tatt 157 sonderinger langs 14 km sonderingsprofiler (37 sond./km²). Helt nederst på bretungen var snøen våt, men ellers var det tørr snø overalt. Snøprøve ble tatt på toppen av breen (fig. 9).

Vintersesongens slutt er på grunnlag av meteorologiske observasjoner satt til 20. mai, og da sommerobservasjonene begynte 9. juni hadde ablasjonen begynt over hele breen. Balanseøkningen i perioden 10. april til 20. mai er ved hjelp av målinger på stedet og meteorologiske observasjoner i omegnen beregnet til 20 cm vann over hele breen. Fordelingen av vinterbalansen vises på fig. 10.

Vinterbalansen er i alt beregnet til $5,3 \cdot 10^6$ m³ vann eller 1,26 m (40 l/s km²). Dette er mindre enn halvparten av fjorårets vinterbalanse og viser meget tydelig hvor mye nedbøren kan variere fra år til år.

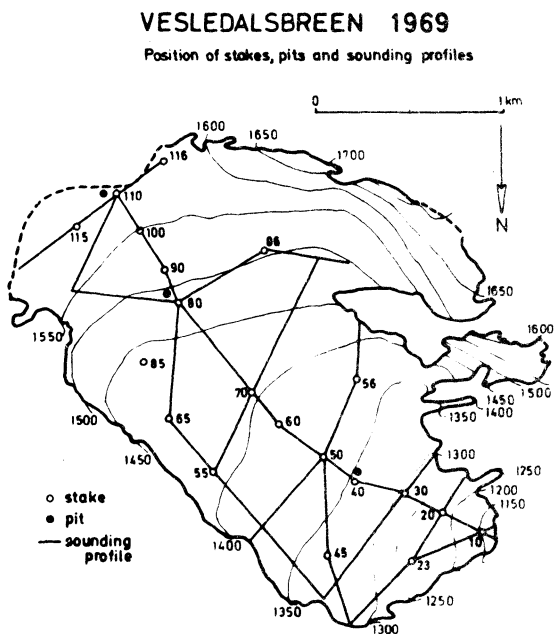


Fig. 9 Beliggenheten av staker, sjakter og sonderingsprofiler.

The location of stakes, pits and sounding profiles.

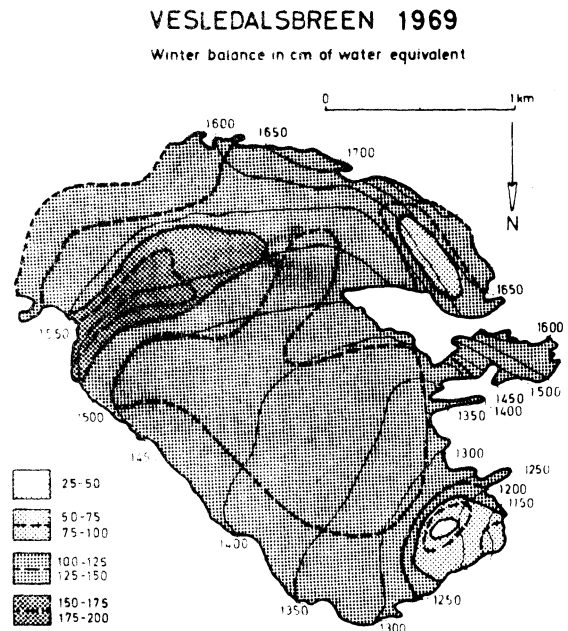


Fig. 10 Kart som viser vinterbalansen 1969.

Map showing the winter balance 1969.

Sommerbalanse. Alle stakene ble målt ca. hver 4. dag og 6 staker (10, 20, 70, 110, 115 og 116) ble dessuten målt hver dag.

Den alt vesentlige del av sommerakkumulasjonen falt i tiden 28. juni- 7. juli, og det kom da opp til 25 cm. Ubetydelige snøfall var det også omkring 11. juli og 18. juli. Det var ikke målbare mengder under 1300 m. Sommerakkumulasjonen er i alt beregnet til $0,35 \cdot 10^6 \text{ m}^3$ vann.

I tiden fra omkring 25. juni til 20. juli var ablasjonshastigheten noe mindre enn i periodene før og etter. De ordinære sommermålingene ble avsluttet 30. august, men sommersesongen varte noe lenger. Siste stakemåling ble foretatt 30. oktober, og det hadde da allerede kommet 1,5-2 m snø de fleste steder.

Sommerbalansen ved de enkelte stakene fremgår av fig. 11. De steder på breens øvre del der breisen kom tidlig frem var ablasjonen betydelig større enn ellers i samme høydenivå, spesielt gjelder dette ved 3 staker, 88, 110 og 116. Dette skyldes at is har en lavere albedo enn firn. De tidligere år, når det har vært snø eller firn ved alle målepunkter på breens øvre del i hele sommersesongen, har det her ikke vært særlig variasjoner i sommerbalansen.

Sommerbalansen er i alt beregnet til $14,5 \cdot 10^6 \text{ m}^3$ vann som tilsvarer 3,44 m (109 l/s km^2) jevnt fordelt over hele breen.

VESLEDALSBREEN 1969

Høyde intervall m o.h.	Areal S km ²	Vinterbalanse			Sommerbalanse			Nettobalanse		
		B _w 10 ⁶ m ³	b _w m	1/s km ²	B _s 10 ⁶ m ³	b _s m	1/s km ²	B _n 10 ⁶ m ³	b _n m	1/s km ²
1700-1730	0.014	0.019	1.35	42	0.032	2.25	71	-0.013	-0.90	- 28
1650-1700	0.115	0.151	1.31	41	0.259	2.25	71	-0.108	-0.94	- 30
1600-1650	0.186	0.223	1.20	38	0.418	2.25	71	-0.195	-1.05	- 33
1550-1600	0.704	0.850	1.21	38	1.936	2.75	87	-1.086	-1.54	- 49
1500-1550	0.521	0.780	1.50	47	1.432	2.75	87	-0.652	-1.25	- 40
1450-1500	0.486	0.670	1.38	44	1.546	3.18	100	-0.876	-1.80	- 57
1400-1450	0.724	0.887	1.22	39	2.573	3.55	112	-1.686	-2.33	- 74
1350-1400	0.719	0.857	1.19	38	2.750	3.82	121	-1.893	-2.63	- 83
1300-1350	0.420	0.524	1.25	39	1.785	4.25	134	-1.261	-3.00	- 95
1250-1300	0.120	0.163	1.36	43	0.570	4.75	150	-0.407	-3.39	-107
1200-1250	0.147	0.145	0.99	31	0.787	5.35	169	-0.642	-4.36	-138
1150-1200	0.050	0.042	0.84	27	0.325	6.50	205	-0.283	-5.66	-179
1125-1150	0.015	0.009	0.57	18	0.098	6.50	205	-0.089	-5.93	-187
1125-1730	4.221	5.320	1.26	40	14.511	3.44	109	-9.191	-2.18	- 69

VESLEDALSBREEN 1969

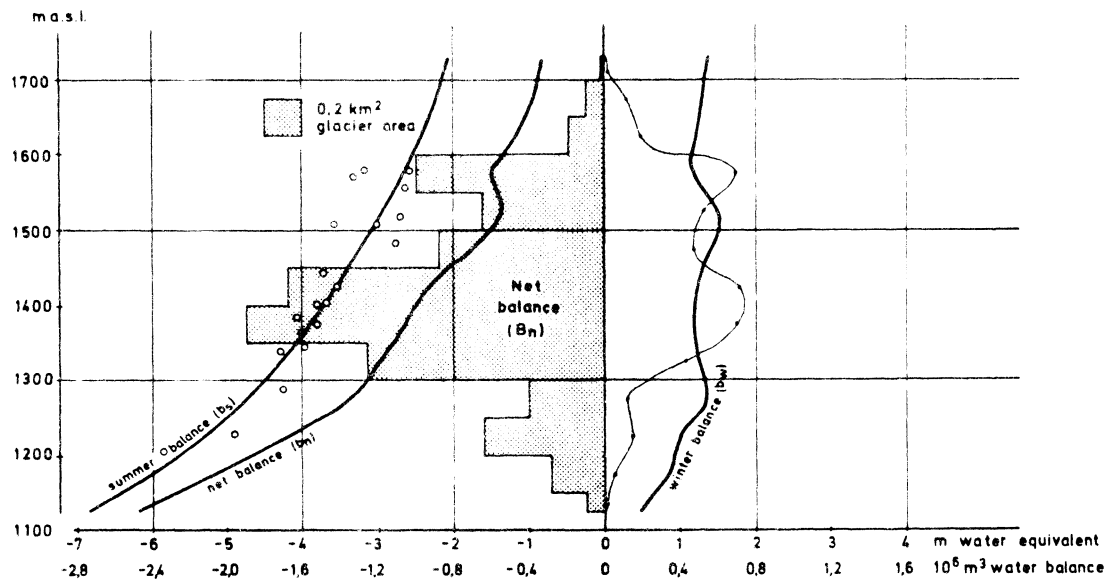


Fig. 11 Variasjonene med høyden over havet av vinter-, sommer- og netto-balansen, samt breens arealfordeling og arealverdier av netto-balansen i hvert 50 m høydeintervall.

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.

Nettobalanse. Som følge av den unormalt lille vinterbalansen var breisen fremme over store deler av breen allerede i første del av juli og i midten av august var det praktisk talt ikke noe igjen av årets akkumulasjon (fig. 12).



Fig. 12

Vesledalsbreens nedre del 15. august 1969. Nesten overalt er breisen eksponert og breen er uvanlig sterkt oppsprukket.

The lower part of Vesledalsbreen August 15., 1969. Glacier ice is exposed on most of the glacier which also was badly crevassed this year.

Dette medførte da en betydelig minking av breens masse. Nettobalansen var negativ over hele breen og avtok ganske jevnt fra omkring 6,5 m nederst på breen til 1 m øverst på breen (fig. 11). Likevektslinjen lå således betydelig høyere enn breen, og høyden er ved ekstrapolasjon av nettobalansekurven anslått til å være omkring 1850 m o.h. dette året.

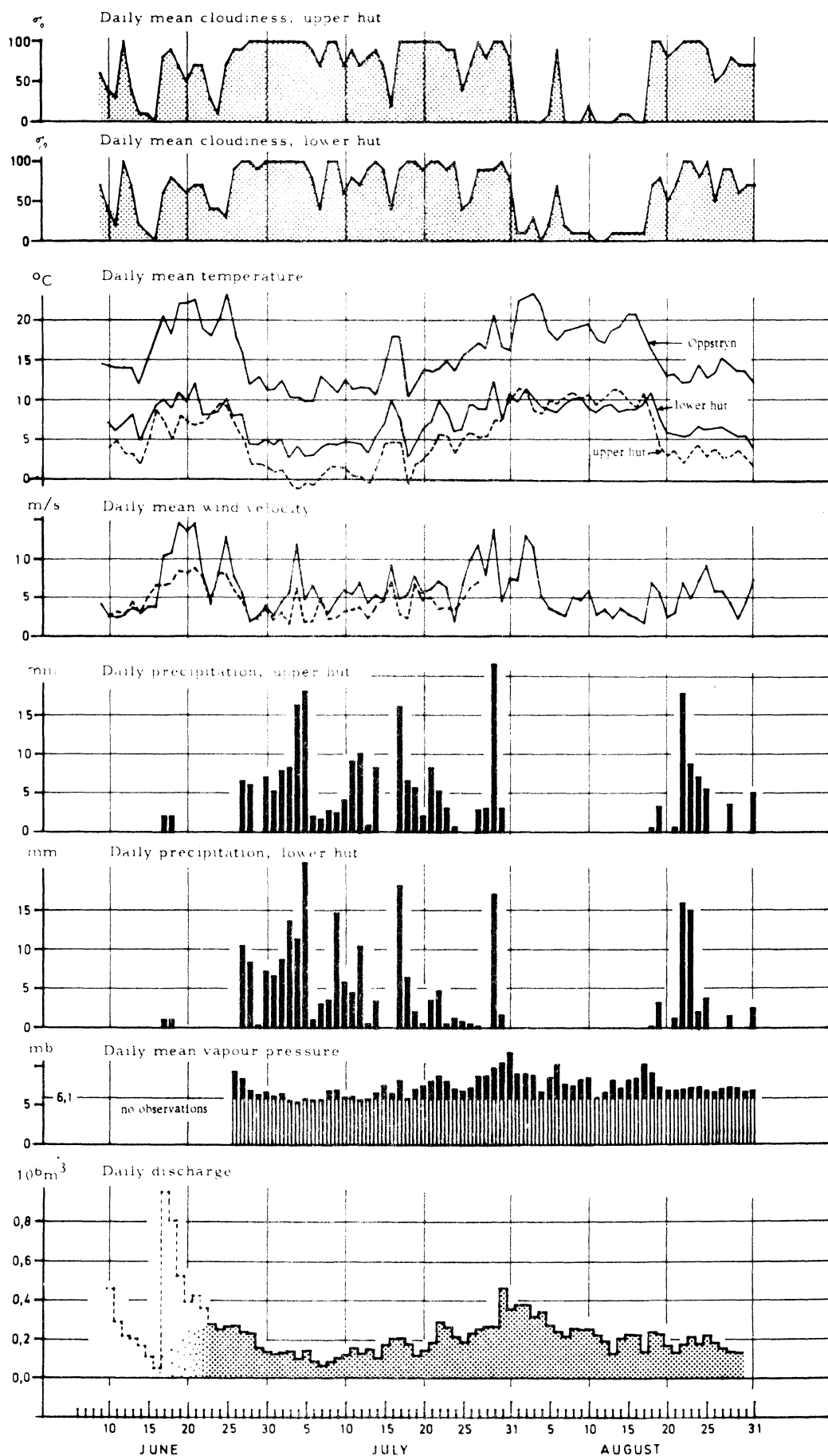
I alt minket breen med $9,2 \cdot 10^6 \text{ m}^3$ vann som tilsvarer 2,18 m jevnt fordelt over hele breen (69 l/s km^2).

Meteorologiske og hydrologiske observasjoner og beregninger

Sky- og vindforhold. Ved øvre hytte var det i tiden 9. juni- 31. august (84 dager) 27 dager med halvskyet eller klarere vær, av disse var det helt klart 13 dager og det var helt overskyet eller tett tåke 25 dager. På nedre hytte var det halvskyet eller klarere 30 dager, hvorav helt klart 4 dager, og det var her helt overskyet eller tett tåke 21 dager. Forskjellen i antall dager med helt klart vær og helt overskyet eller tett tåke skyldes utbredelsen av tåke. Tåken ligger i dårligværsperioder hyppigere i høyere nivåer, i godværsperioder ligger det derimot ofte tåke i dalene. Midlere skydekke i perioden er beregnet til 6,3 både ved øvre og nedre hytte.

Vindstyrken ble målt og døgnlig middelvindstyrke beregnet for øvre hytte i hele observasjonsperioden. Største døgnmiddelvindstyrke var 14,5 m/s som ble målt 19. og 21. juni. Minste vindstyrke, 1,7 m/s, ble målt 17. august. Midlere vindstyrke i observasjonsperioden var 6,0 m/s.

VESLEDALSBREEN 1969



Anemometeret på nedre hytte ble ødelagt i løpet av sommeren, de resultater som foreligger er gjengitt i diagrammet (fig. 13).

Temperaturforhold. Døgnmiddeltemperaturene observert ved øvre og nedre hytte og ved klimastasjonen Oppstryn er gjengitt i observasjonsdiagrammet. Ved øvre hytte var det negative temperaturer i tiden 3. - 6. juli, 13. juli og 18. juli, ellers var døgnmiddeltemperaturene positive. Ved øvre hytte varierte temperaturen mellom $-1,0^{\circ}\text{C}$ (4. juli) og $11,7^{\circ}\text{C}$ (1. august), og ved nedre hytte mellom $2,8^{\circ}\text{C}$ (3. juli) og $12,7^{\circ}\text{C}$ (29. juli).

Temperaturgangen på de tre stasjonene er temmelig ensartet, men som tidligere år er temperaturen i godværsperioder på grunn av brevinden høyere på øvre enn på nedre hytte. Den midlere temperaturgradient for 10. - 30. juni, juli og august er gjengitt nedenfor. Temperaturdepresjonen som på grunn av brevind oppstår på breens nedre del gjør at temperaturgradienten mellom Oppstryn og øvre hytte er best representativ for området.

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

	juni	juli	1969 august	10.6-31.8	1968 12.6-31.8
Oppstryn/nedre hytte	0,96	0,78	0,96	0,90	0,84
Oppstryn/øvre hytte	0,85	0,79	0,73	0,78	0,75
Øvre/nedre hytte	0,56	0,80	0,21	0,52	0,57

Nedbørforhold. Døgnlign nedbør ble målt ved de to observasjonshyttene. I tiden 9. juni- 31. august falt det i alt 249 mm ved øvre hytte og 238 mm ved nedre hytte. I første del av juli falt en stor del av nedbøren ved øvre hytte som snø.

Nedbørfordelingen i feltet ble undersøkt på tilsvarende måte som i 1969 og observert nedbør 25 steder i feltet i 5 nedbørperioder, 1) 17. -19. juni, 2) 27. juni-15. juli, 3) 17. -25. juli, 4) 27. -30. juli og 5) 18. -27. aug. illustreres av fig. 14. I første periode var nedbøren meget liten og av bygekarakter. I brefeltet varierte den mellom 2 mm og 7 mm mens det i Oppstryn ble målt 0,1 mm. I de øvrige periodene var middelnedbøren i brefeltet, funnet ved planimetrering

Fig. 13 Resultatene av de daglige meteorologiske observasjoner fra øvre og nedre hytte, samt beregnet døgnavløp ved vannmerket nedenfor brefronten.

The daily meteorological observations at the upper and lower hut, and computed daily discharge below the glacier tongue.

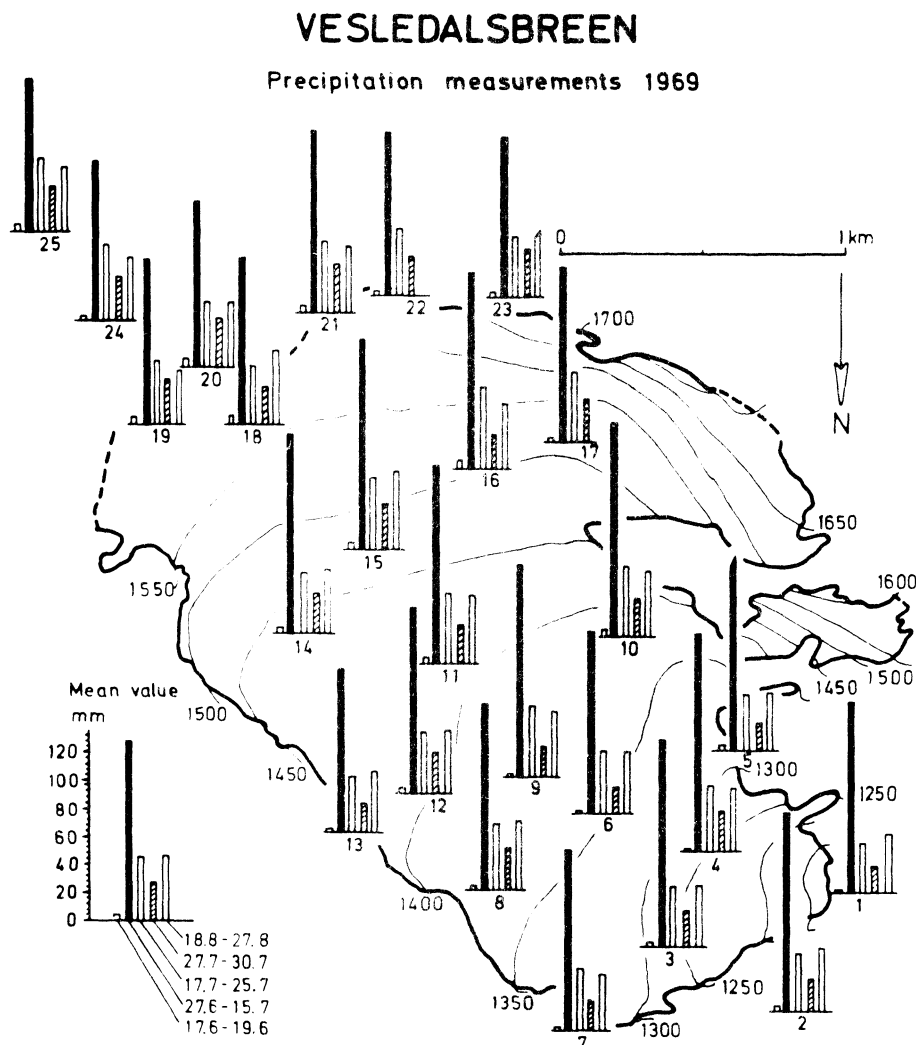


Fig. 14 Beliggenheten av nedbørmålere på Vesledalsbreen og de målte nedbørhøyder i 5 perioder i løpet av sommeren.

The location of precipitation gauges on Vesledalsbreen, and the observed precipitation during 5 periods.

av nedbørkart, mellom 1, 3 og 2, 1 ganger større enn i Oppstryn. For alle perioder under ett falt det 1, 6 ganger mere nedbør i brefeltet enn i Oppstryn. I 2. og 5. periode var det noe skiftende vindforhold og nedbøren falt til dels med nordlige vinder. I disse periodene var forskjellen mellom middelnedbøren i brefeltet og i Oppstryn mindre enn når all nedbøren falt med sørlige vinder, men bare mellom 4. og 5. periode er forskjellen signifikant. Nedbøren i brefeltet var da henholdsvis 2, 1 og 1, 3 ganger større enn i Oppstryn. Dette er samme tendens som ble funnet i 1968.

Når vindretningen var nordlig med jevn nedbør, ikke utpregete byger, var forholdet mellom middelnedbøren i brefeltet og i Oppstryn i 1968 også nær 1, 3. Når nedbøren falt med sørlige vinder var forskjellen større i år enn i fjor, men det var da bare en slik periode med nedbør av betydning. For alle peri-

odene under ett falt det i 1968 1,8 ganger mere nedbør i brefeltet enn i Oppstryn. Dette er i overensstemmelse med årets resultater som gav forholdstallet 1,6. Noen av målingene, særlig de i 1968 er forstyrret av at det falt nedbør også i form av sludd og snø. Det ser likevel ut til at når det er jevn nedbør, d.v.s. nedbør ikke av bygekarakter, er det ganske god korrelasjon mellom nedbøren i brefeltet og i Oppstryn når det taes hensyn til vindretningen nedbøren faller med.

Luftfuktighet. I tiden 26. juni- 31. august ble luftfuktigheten registrert av en hygrograf, og vanndamptrykket er beregnet. Døgnmiddelverdier av vanndamptrykket varierte mellom 5,4 mb og 11,8 mb, det var størstedelen av tiden mellom 6 og 10 mb. Bare 11 dager var døgnmiddelverdien lavere enn 6,1 mb som er metningstrykket ved 0° C, 14 andre dager forekom det timeverdier av vanndamptrykket lavere enn 6,1 mb. Midlere vanndamptrykk i juni, juli og august henholdsvis 7,5 mb, 7,2 mb og 7,7 mb. En stor del av sommeren er det betingelser til stede for kondensasjon, men luften er likevel tørrere enn på Ålfotbreen der det bare var 2 dager med midlere vanndamptrykk mindre enn metningstrykket.

Ved kondensasjon frigjøres det energi som nyttes til smelting av breen. Under så maritime forhold som det her har vist seg å være, vil dette kunne være en betydelig faktor i breens energibalanse, noe som er bekreftet ved årets korrelasjonsberegninger (se disse). For sammenlikningens skyld ville det være ønskelig å måle luftfuktigheten også på en av de mere kontinentale breer.

Avrenning. Avløpet rett nedenfor brefronten er beregnet på grunnlag av målinger ved et midlertidig vannmerke, og døgnlig avløp her er gjengitt i observasjonsdiagrammet (fig. 13).

I første del av observasjonsperioden var det betydelig isoppstuvning i elveløpet, og de tilsynelatende store vannføringer i denne tiden er ikke reelle da vannføringene i diagrammet ikke er isreduerte.

Tunsbergdalsbreen

Materialhusholdningen

Breområdet øst for Austerdalsfjell og som drenerer til Tunsbergdalen ble i år tatt med i balanseberegningene, og dette er grunnen til at arealene er noe forskjellige fra fjorårets.

TUNSBERGDALSBREEN 1969

Position of stakes, pits and sounding profiles

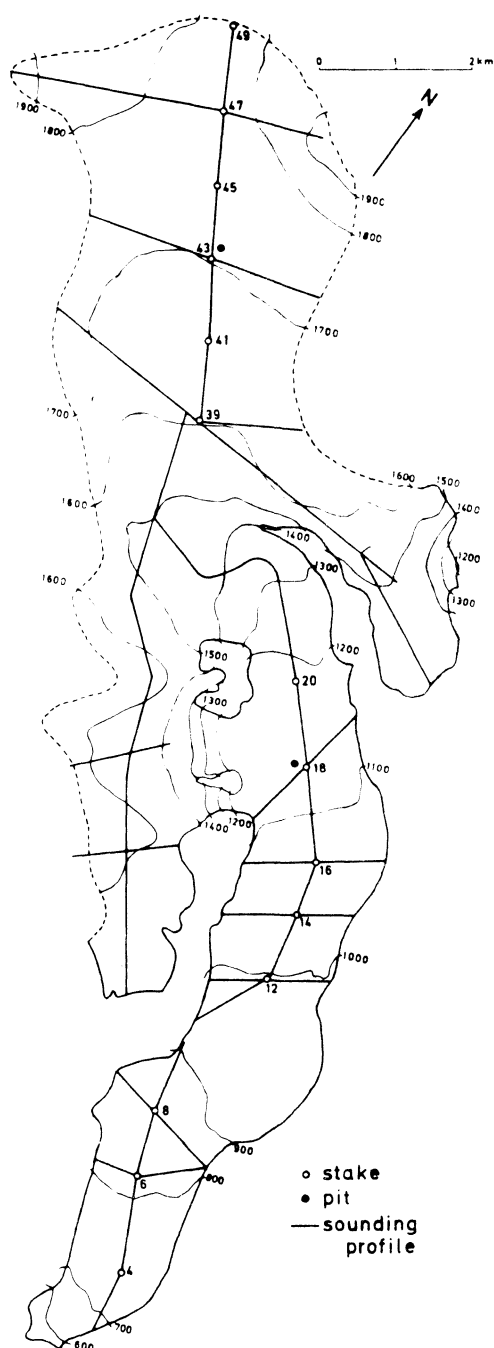


Fig. 15 Beliggenheten av staker, sjakter og sonderingsprofiler.

The location of stakes, pits and sounding profiles.

TUNSBERGDALSBREEN 1969

Winter balance in cm of water equivalent

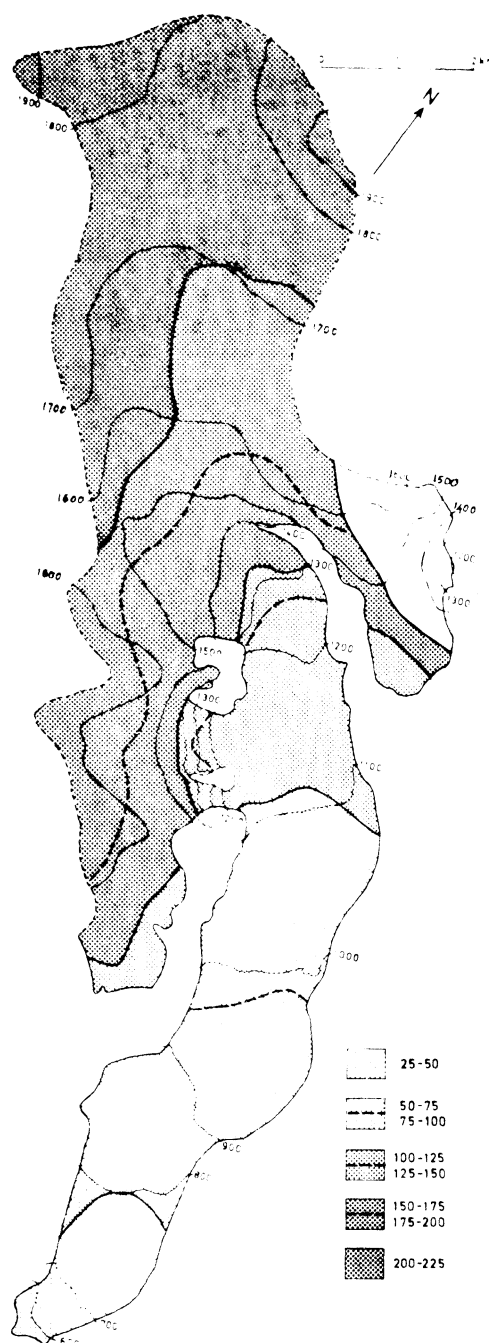


Fig. 16 Kart over vinterbalansen på Tunsbergdalsbreen.

Map showing the winter balance on Tunsbergdalsbreen.

Vinterbalanse. I begynnelsen av november 1968 hadde det kommet vel 2 m snø på plataet, og alle staker unntatt nr. 50 var da intakt. Ved ettersyn av stakene på plataet 13. februar hadde snødyppet økt med nærmere 2 m.

TUNSBERGDALSBEEN 1969

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	m	b _n l/s km ²
1900-1930	0.38	0.82	2.13	67	0.69	1.80	57	+ 0.13	+0.33	+ 10
1800-1900	2.81	5.97	2.13	67	5.05	1.80	57	+ 0.92	+0.33	+ 10
1700-1800	8.79	18.59	2.12	67	17.14	1.95	62	+ 1.45	+0.17	+ 5
1600-1700	8.44	16.41	1.94	61	17.94	2.13	67	- 1.53	-0.19	- 6
1500-1600	6.95	12.38	1.78	56	17.17	2.47	78	- 4.79	-0.69	- 22
1400-1500	4.28	6.80	1.59	50	11.78	2.75	87	- 4.98	-1.16	- 37
1300-1400	1.62	2.44	1.51	48	5.26	3.25	103	- 2.82	-1.74	- 55
1200-1300	1.24	1.51	1.22	39	4.51	3.64	115	- 3.00	-2.42	- 76
1100-1200	3.34	3.68	1.10	35	14.21	4.25	134	-10.53	-3.15	- 99
1000-1100	3.82	3.40	0.89	28	18.35	4.80	152	-14.95	-3.91	- 123
900-1000	3.34	2.25	0.67	21	17.51	5.25	166	-15.26	-4.58	- 145
800- 900	2.45	1.53	0.63	20	14.09	5.75	182	-12.56	-5.12	- 162
700- 800	2.04	0.87	0.43	14	13.26	6.50	205	-12.39	-6.07	- 191
600- 700	0.42	0.16	0.38	12	3.12	7.50	237	- 2.96	-7.12	- 225
540- 600	0.18	0.07	0.38	12	1.56	8.50	268	- 1.49	-8.12	- 256
540-1930	50.11	76.86	1.53	48	161.65	3.22	102	-84.79	-1.69	- 54

TUNSBERGDALSBEEN 1969

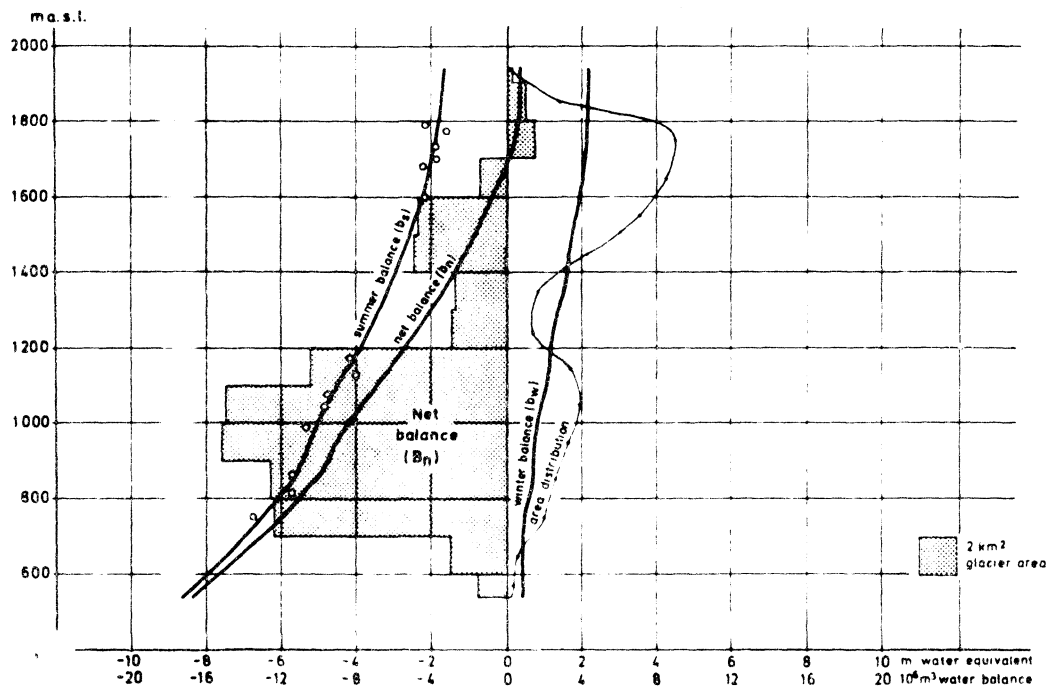


Fig. 17 Variasjonene av vinter-, sommer- og netto-balanse med høyden over havet, breens arealfordeling og arealverdier av netto-balansen i hvert 50 m høydeintervall.

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.

Hovedmålingen av vinterbalansen ble foretatt i tiden 20.-23. april under gode værforhold. Sommeroverflaten var lett gjenkjennbar ved sondering, og det ble tatt i alt 548 sonderinger langs 56 km sonderingsprofiler (12,5 sond./km²). Det var tørr snø overalt bortsett fra på de lavestliggende deler av tungen. Snøtetheten ble bestemt ved stake 43 på platået og stake 18 på tungen (fig. 15).

Overgangen til sommersesongen foregikk omkring 10. juni, og balanseøkningen etter hovedmålingen er ved direkte målinger og beregninger bestemt til 25 cm vann på platået og 10 cm vann på tungen. Ved første besøk på breen i sommersesongen, 17. juni, hadde avrenningen bare såvidt begynt på platået.

Vinterbalansen er i alt beregnet til $76,9 \cdot 10^6$ m³ vann som tilsvarer 1,53 m vann jevnt fordelt over hele brearealet (48 l/s km²) som bare er vel 60 % av fjorårets. Fordelingen av vinterbalansen er gjengitt i fig. 16. På tilsvarende måte som tidligere år øker vinterbalansen ganske jevnt med stigende høyde over havet (fig. 17).

Sommerbalanse. Foruten i begynnelsen av sommersesongen ble de fleste stakene målt i begynnelsen og i slutten av august. I første del av september var det ablasjon over hele breen, i siste del av denne måneden falt det en del snø som neppe smeltet bort på platået i varmeperioden i begynnelsen av oktober. På tungen derimot begynte ikke neste års vintersesong før omkring 25. oktober. Stakene på tungen ble målt 18. desember, men de på platået ble ikke funnet da. På platået var det bare liten ablasjon i september, og balanseforandringene her er funnet ved sammenlikning med forholdene på Nigardsbreen.

Sommerbalansen er i alt beregnet til $161,7 \cdot 10^6$ m³ vann som i middel utgjør 3,22 m vann (102 l/s km²).

Nettobalanse. Også på Tunsbergdalsbreen var nettobalansen sterkt negativ, men det var netto akkumulasjon på breens øvre deler. Tungen ble sterkt oppsprukket og stakene her var vanskelig tilgjengelig siste del av sommeren.

I alt var det en minking av bremassen på $84,8 \cdot 10^6$ m³ vann eller 1,69 m vann jevnt fordelt over brearealet. Dette tilsvarer et midlere årlig ekstra tilsig til de nedenforliggende vassdrag på 54 l/s km². Likevektslinjen lå 1700 m o. h.

Nigardsbreen

Materialhusholdningen

Vinterbalanse. Vintersesongen begynte på platået omkring 30. september og målinger 7. november viste at det her da hadde kommet omkring 2 m snø. På tungen begynte vintersesongen noe senere, men 9. november lå det snø overalt. 13. februar ble stakene kontrollert og hovedmålingen av vinterbalansen ble utført 14.-18. april. Alle stakene unntatt 81-68 ble da funnet, men enkelte av stakene var meget skjeve. Værforholdene var gode under målingen, og sommeroverflaten var de fleste steder meget lett å finne. Noen steder var det et nærmest ugjennomtrengelig islag 70-100 cm over sommeroverflaten, men dette har ikke innvirket på resultatene. Det ble tatt i alt 730 sonderinger langs 65 km sonderingsprofiler (18 sond./km²). Snøens tetthet ble målt ved stake 52 på platået og stake 33 på tungen (fig. 18). Ablasjonen hadde ennå ikke begynt på platåets øvre partier da sommermålingene begynte 16. juni. Balanseøkningen etter hovedmålingen er på platået bestemt til 25 cm vann, på tungen var den ubetydelig.

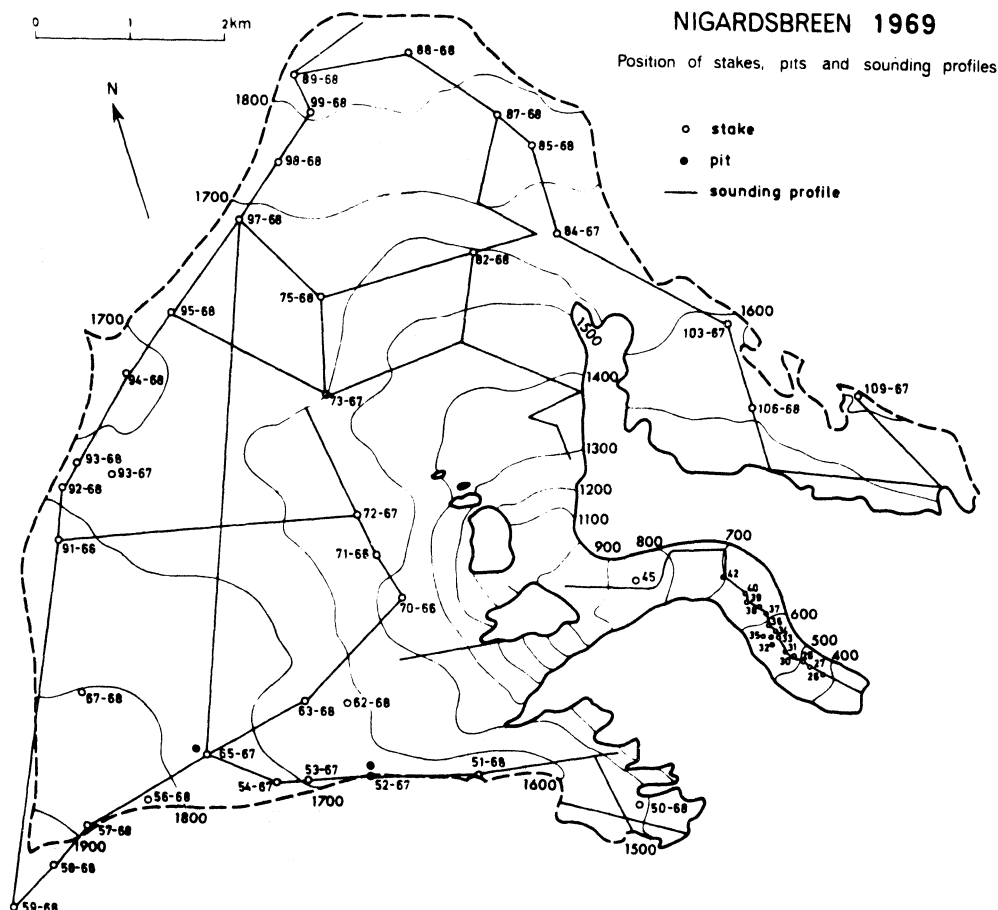


Fig. 18 Beliggenheten av staker, sjakter og sonderinger på Nigardsbreen 1969.

The location of stakes, pits and soundings on Nigardsbreen 1969.

Vinterbalansen er i alt beregnet til $91,7 \cdot 10^6 \text{ m}^3$ vann eller i middel 1,95 m vann (62 l/s km^2). Fordelingen av vinterbalansen er gjengitt i fig. 19.

Sommerbalanse. Stakene på platået ble målt 10-11 ganger i tiden 16. juni-30. august.

Fram til omkring midten av juli var det mye dårlig vær og liten ablasjon, det var negative temperaturer og snøfall over 1400 m. Sommerakkumulasjonen i denne tiden er beregnet til $3,7 \cdot 10^6 \text{ m}^3$ vann som jevnt fordelt tilsvarer 9 cm vann i dette området. Senere på sommeren ble det ikke observert snøfall av betydning. Resten av sommeren var det mye pent vær og forholdsvis stor avsmeltning, og breoverflaten ble etter hvert meget oppsprukket, noe som hindret regelmessig måling av enkelte staker (fig. 20).

På tungen var isablasjonen i full gang ved igangsettingen av sommermålingene, og aluminiumsstakene som benyttes ved vintermålingene hadde allerede falt. Her var det imidlertid også nedborete wirere som var intakt, og man fikk likevel kontinuitet i målingene. 2 ganger i løpet av sommeren ble wirerene om-

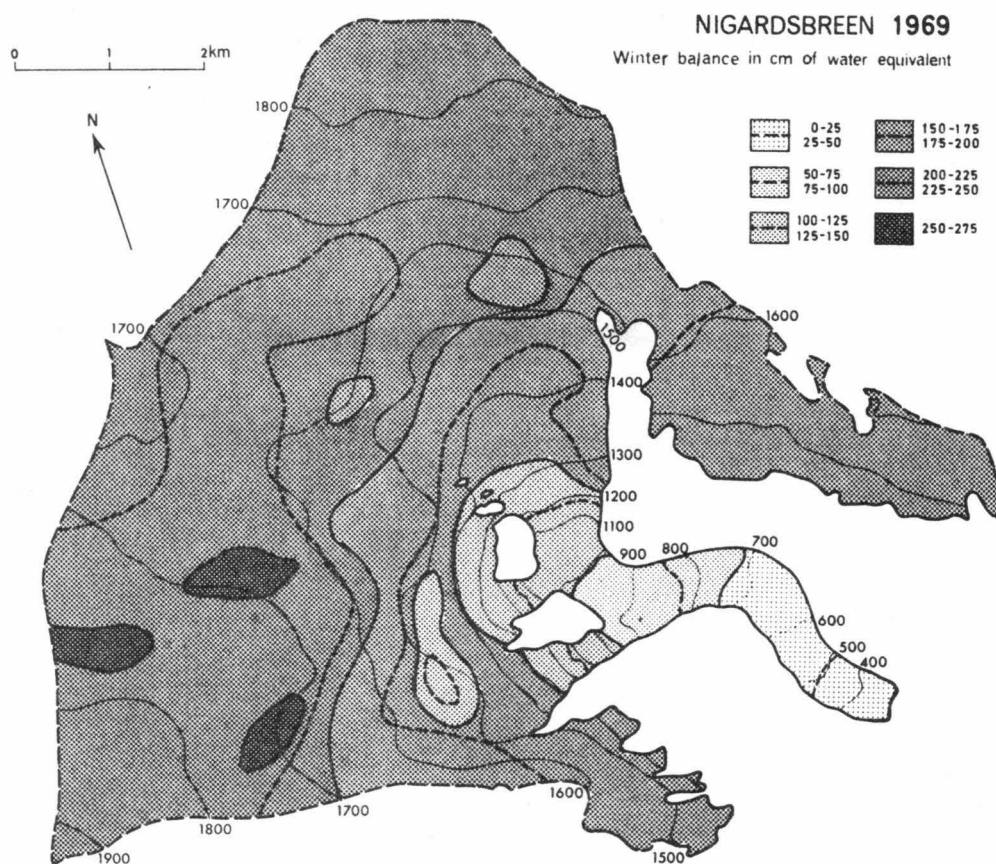


Fig. 19 Kart som viser vinterbalansen på Nigardsbreen 1969.

Map showing the winter balance 1969.

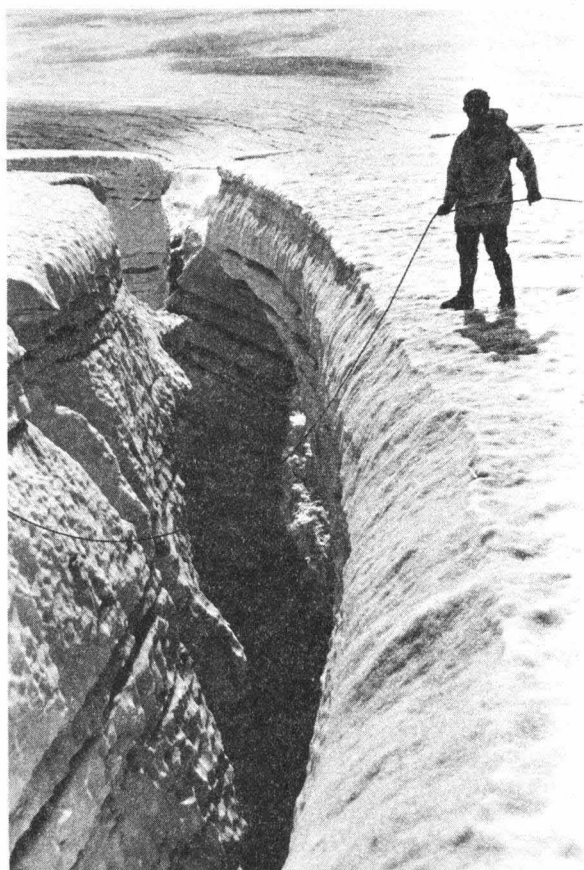


Fig. 20 Sprekk i firnområdet på Nigardsbreen 1969. Også her var det uvanlig mye sprekker dette året.

Crevasse in the firn area of Nigardsbreen 1969.

boret, og de ble målt ca. 1 gang i uken størstedelen av sommeren. Den ujevne breoverflaten på tungen og den meget store avsmeltingen medvirker til at sommerbalansen varierer en del for forskjellige målepunkter på tungen (fig. 21). Beliggenheten av sommeroverflaten 1969 ble målt ved besøk på breen 22. oktober. Det hadde da kommet opp til 1 m snø på platået og sommersesongens slutt er etter dette satt til ca. 20. september. På tungen ble stakene målt siste gang 10. oktober. Det smeltet da fortsatt, og det kan ha vært ytterligere ablasjon de påfølgende 10 dager.

Sommerbalansen er i alt beregnet til $153,5 \cdot 10^6 \text{ m}^3$ vann eller 3,26 m (103 l/s km^2) i gjennomsnitt for hele breoverflaten.

Nettobalanse. Allerede i midten av juni lå den temporære snøgrensen omkring 1400 m o.h., og begynnelsen av august i gjennomsnitt omkring 1600 m o.h. I løpet av august hadde praktisk talt all årets snø smeltet bort, og årets likevektslinje lå 1850 m o.h.

Nettobalansen ble derfor sterkt negativ, og i alt minket breen med $61,7 \cdot 10^6 \text{ m}^3$ vann som i middel tilsvarende 1,31 m eller en ekstra avrenning på 41 l/s km^2 jevnt fordelt over hele året. De kvantitative resultater fremgår av tabellen s. 34

NIGARDSBREEN 1969

Høyde intervall m o.h.	Areal S km ²	Vinterbalanse				Sommerbalanse				Nettobalanse			
		B _w 10 ⁶ m ³	b _w m	1/s km ²		B _s 10 ⁶ m ³	b _s m	1/s km ²		B _n 10 ⁶ m ³	b _n m	1/s km ²	
1900-1950	0.16	0.38	2.38	75		0.34	2.12	67		0.04	0.26	8	
1800-1900	3.76	8.44	2.24	71		8.64	2.30	73		- 0.20	- 0.06	- 2	
1700-1800	9.76	22.21	2.28	72		24.72	2.53	80		- 2.51	- 0.25	- 8	
1600-1700	12.76	28.13	2.20	69		34.77	2.72	86		- 6.64	- 0.52	- 17	
1500-1600	9.28	16.84	1.81	57		28.38	3.06	97		- 11.54	- 1.25	- 40	
1400-1500	5.26	9.05	1.72	54		18.93	3.60	114		- 9.88	- 1.88	- 60	
1300-1400	2.06	3.31	1.61	51		8.52	4.14	131		- 5.21	- 2.53	- 80	
1200-1300	0.72	1.03	1.43	45		3.30	4.58	144		- 2.27	- 3.15	- 99	
1100-1200	0.32	0.40	1.25	39		1.76	5.50	174		- 1.36	- 4.25	- 135	
1000-1100	0.54	0.61	1.13	36		3.20	5.93	187		- 2.59	- 4.80	- 151	
900-1000	0.42	0.37	0.88	28		2.73	6.50	205		- 2.36	- 5.62	- 177	
800- 900	0.48	0.39	0.81	26		3.60	7.50	237		- 3.21	- 6.69	- 211	
700- 800	0.40	0.23	0.58	18		3.30	8.25	260		- 3.07	- 7.67	- 242	
600- 700	0.44	0.17	0.38	12		3.96	9.00	284		- 3.79	- 8.62	- 272	
500- 600	0.28	0.11	0.38	12		2.82	10.07	318		- 2.71	- 9.69	- 306	
400- 500	0.20	0.04	0.20	6		2.28	11.40	360		- 2.24	- 11.20	- 354	
300- 400	0.19	0.02	0.13	4		2.20	12.94	408		- 2.18	- 12.85	- 404	
300-1950	47.03	91.73	1.95	62		153.45	3.26	103		- 61.72	- 1.31	- 41	

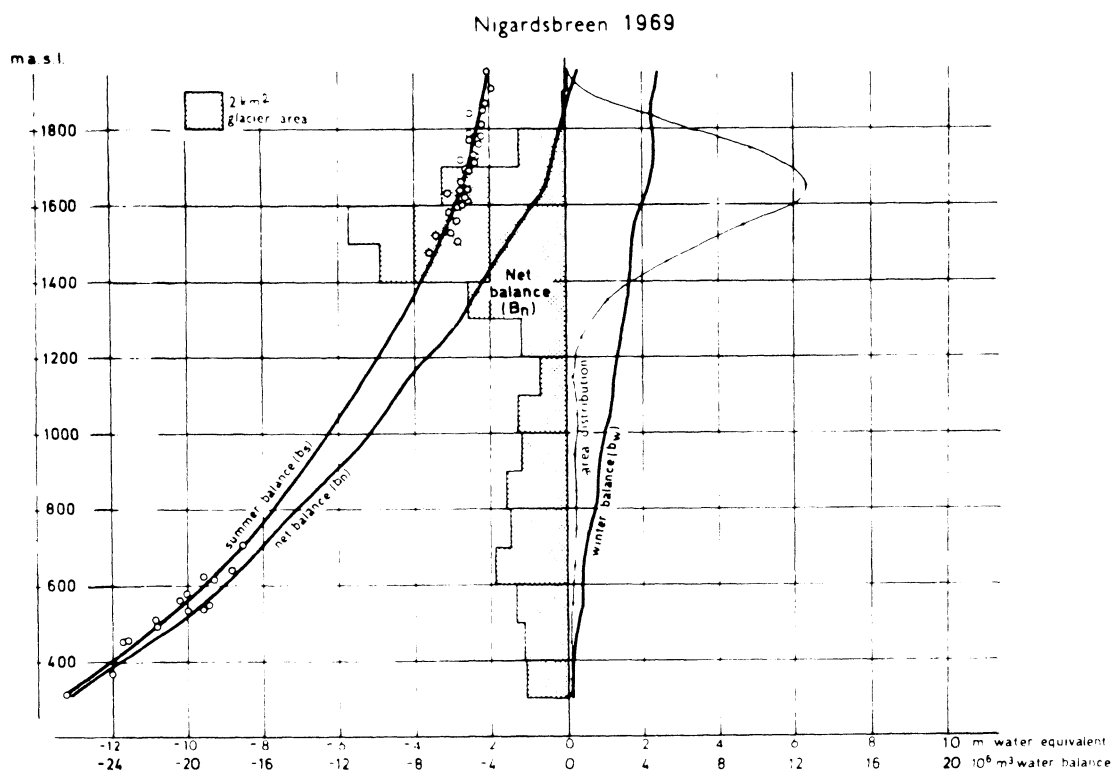


Fig. 21 Variasjonene med høyden over havet av vinter-, sommer- og netto-balanse, samt breens arealfordeling og arealverdier av netto-balansen i hvert 50 m høydeintervall.

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.

Meteorologiske og hydrologiske observasjoner og beregninger

Sky- og vindforhold. I tiden 15.juni-31.august (78 dager) var det 23 dager med halvskyet eller klarere vær, hvorav det var 12 dager med helt klart vær. Det var helt overskyet eller tett tåke 27 dager. Som det fremgår av observasjons-

NIGARDSBREEN 1969

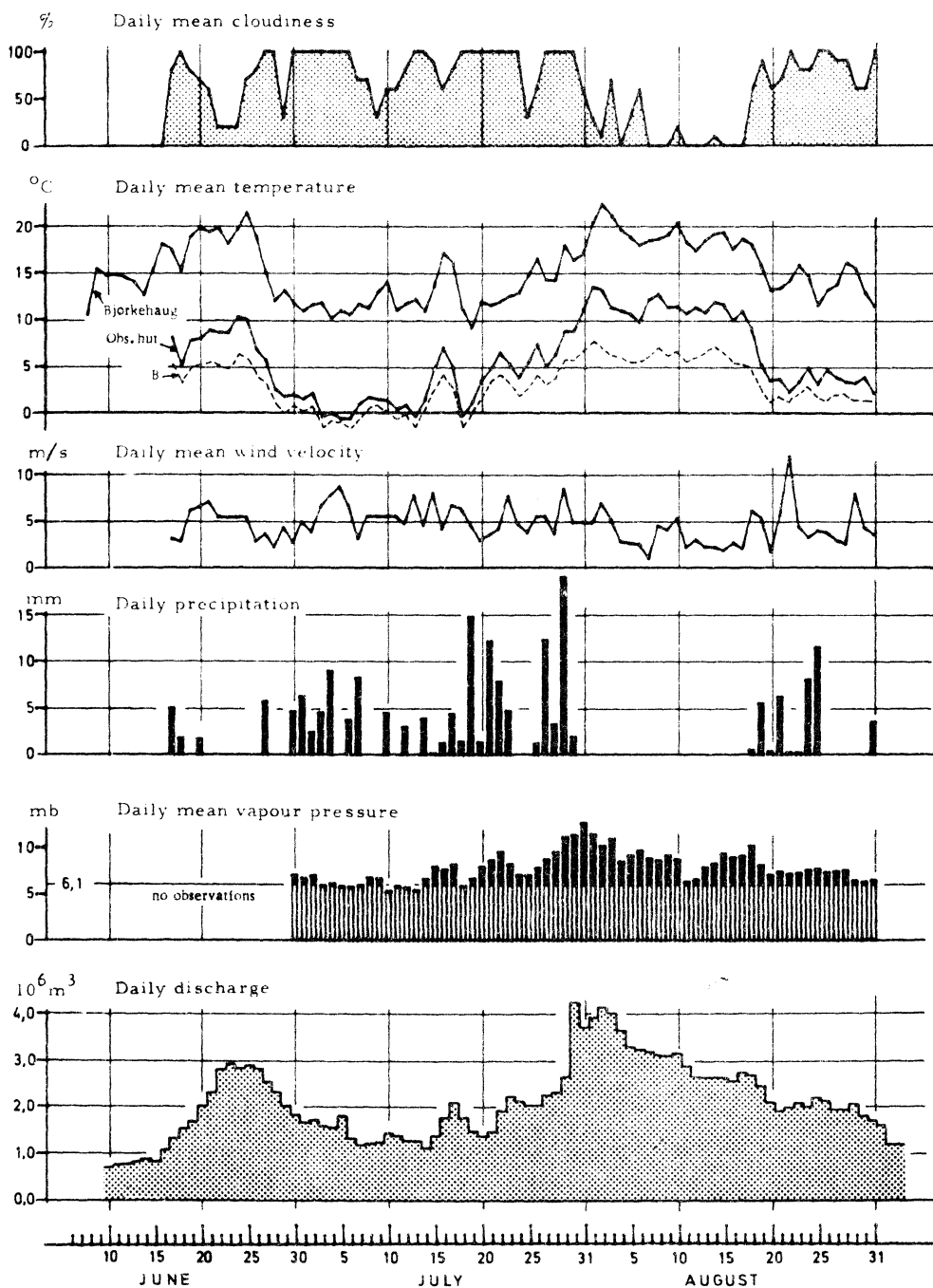


Fig. 22 Resultatene av de daglige meteorologiske observasjonene på Nigardsbreen og beregnet døgnavløp ved limnigrafen i Nigardsvatnet.

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

diagrammet (fig. 22) var det mest pent vær i første del av august. Midlere skydekke i juni (15.-30.), juli og august er beregnet til henholdsvis 5,8, 8,5 og 4,4 og for hele observasjonsperioden til 6,3.

Døgnlig middelvindstyrke varierte mellom 1,0 m/s (7.august) og 11,9 m/s (22.august). Middelvindstyrken i observasjonsperioden er beregnet til 4,7 m/s. Størstedelen av tiden kom vinden fra sør- og sørvestlig kant.

Temperaturforhold. Lufttemperaturen ble registrert ved observasjonshytta og ved stake 65, på Bjørkehaug måles temperaturen av Meteorologisk Institutt, og temperaturkurvene for de tre stasjonene er gjengitt i observasjonsdiagrammet. Det fremgår her at temperaturgangen på de tre stasjonene stemmer godt overens.

På platået (kurve B) var det negative temperaturer eller meget nær 0°C med snøfall i tiden ca. 1.-14.juli og 18.-19.juli. Ved observasjonshytta på Hauganosi var temperaturen høyere, og det var her bare 5 dager med negative temperaturer. Her varierte døgnmiddeltemperaturen mellom $-0,6^{\circ}\text{C}$ (5. og 6.juli) og $13,1^{\circ}\text{C}$ (2.august) som er blant de høyeste temperaturer som er målt på dette stedet. På platået varierte temperaturen mellom $-1,6^{\circ}\text{C}$ (3.juli og 6.juli) og $7,7^{\circ}\text{C}$ (1.august).

Temperaturgradientene mellom Bjørkehaug og Hauganosi, Bjørkehaug og breplatået (B) og Hauganosi og breplatået (B) er beregnet for månedene juni (17.-30.), juli og august, og for hele sommeren. Resultatene er vist nedenfor. Man ser at den midlere temperaturgradient for juni og juli 1969 er temmelig nær den som ble beregnet for tilsvarende periode i 1968.

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

	1969					1968
	juni	juli	august	17.6-31.8	1.7-31.8	1.7-31.8
Bjørkehaug/Hauganosi	0,77	0,71	0,65	0,71	0,68	0,67
Bjørkehaug/Bur B	0,89	0,76	0,84	0,84	0,80	0,78
Hauganosi/Bur B	2,07	1,29	2,71	2,00	2,00	2,14

Antar man at temperaturgradienten skal være den samme over breen som over land, men med et temperatursprang ved overgang fra bart land til bre, er dette i middel for observasjonsperioden beregnet til ca. 2°C . Det er beregnet månedlige middelverdier, med laveste verdi i juli med ca. 1°C og høyeste i august med nesten 3°C . Som det fremgår av de meteorologiske observasjonene var det i juli dårlige værforhold, med mye skyer, gjennomgående lave temperaturer og en del nedbør. I august derimot var det stort sett gode værforhold.

Disse forhold viser at det kan være av betydning hvor lufttemperaturen måles når man vil foreta korrelasjonsberegninger av forskjellig art. Temperaturvariasjonene er ikke alltid de samme selv på nærliggende stasjoner. Tilsynelatende variasjoner i temperaturens virkning på ablasjonen kan derfor også skyldes at temperaturvariasjonene er forskjellige på breen og på målestedet.

Nedbørforhold. Døgnlige nedbør ved observasjonshytta ble målt i Pluvius og standard-måler. I standardmåleren ble det oppsamlet i alt 189 mm nedbør i observasjonsperioden, og av dette falt 135 mm i juli. I Pluviusen ble det oppfanget noe mere nedbør, i alt 195 mm, d. v. s. ca. 5 % mere.

Det lyktes ikke dette året å få tilstrekkelige nedbørmålinger på breplatået til at nedbørfordelingen kunne undersøkes nærmere. På Bjørkehaug falt det i observasjonsperioden 151 mm, altså en nedbør av samme størrelsesorden som på Hauganosi.

Luftfuktighet. I tiden 30. juni- 31. august ble luftfuktigheten registrert, og døgnmiddelverdier av vanndamptrykket er beregnet. Bare 9 dager var vanndamptrykket lavere enn 6,1 mb slik at muligheter for fordunstning fra breoverflaten var til stede. Bare 9 andre dager forekom timeverdier av vanndamptrykket lavere enn 6,1 mb. Midlere vanndamptrykk i juli og august er beregnet til 7,5 mb og 8,2 mb, i middel 7,9 mb.

Hydrologiske målinger. Døgnlige avløp ved utløpet av Nigardsvatnet (Vm. 1408) er som tidligere år gjengitt i observasjonsdiagrammet. I år er dessuten avrenningen i breelven målt.

Hardangerjøkulen

Akkumulasjonen på Hardangerjøkulen ble målt ved et besøk på breen de første dager av mai. Nedbøren hadde i løpet av vinteren vært under det normale. De nærmeste meteorologiske stasjoner på Vestlandet viste en nedbørsprosent i akkumulasjonstiden på ca. 80 %. Målingen av akkumulasjonen ble derfor relativt enkel, og påliteligheten også ganske stor da man i tillegg fant samtlige stenger intakte. Sommersesongen startet nederst på breen omkring 20. mai, men hyppige snøfall på breen over ca. 1500 m forlenget vintersesongen her frem til ca. 5. juni. Resultatet av akkumulasjonsmålingene viser at det i alt ble akkumulert ca. 18,7 mill. m³ vann, eller ca. 1,07 m jevnt fordelt over breen. Dette er den minste verdi som er målt på Hardangerjøkulen siden balanse-

målingene begynte i 1963. I 1967 og 1968 var akkumulasjonen ca. $2\frac{1}{2}$ gang så stor. Som figur 23 viser, var det spesielt i de lave områder at akkumulasjonen var liten. Således var det synlig blåis hele vinteren på den nedre del av Rembesdalsskåki. Middelttemperaturen på Reimegrend, en av de nærmeste meteorologiske stasjoner, var for juni $2,2^{\circ}$ og for august hele $3,5^{\circ}$ over normalen. For juli lå den imidlertid $1\frac{1}{2}^{\circ}$ under normalen. For de fem sommermånedene

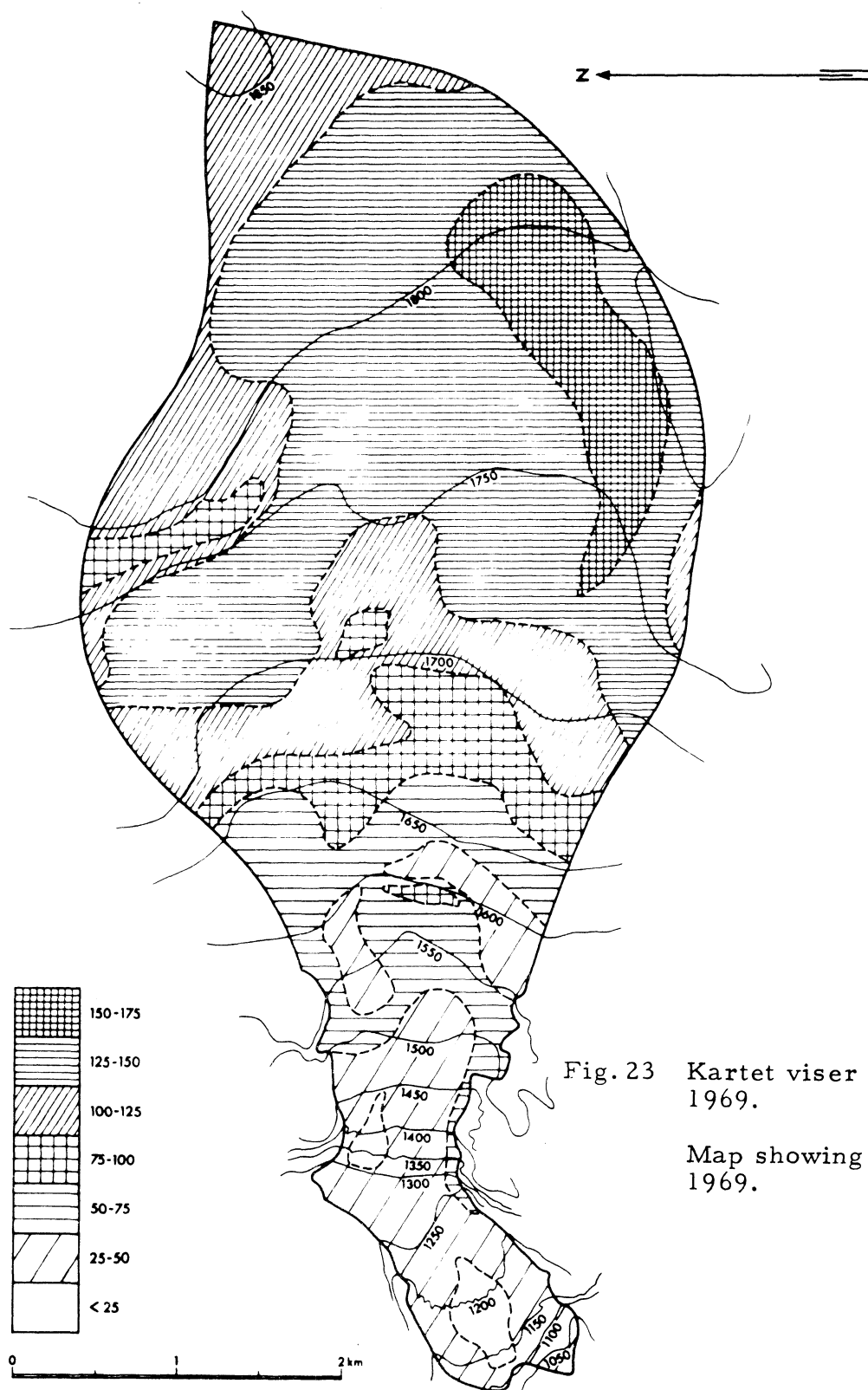


Fig. 23 Kartet viser vinterbalansen 1969.

Map showing winterbalance 1969.

HARDANGERJØKULEN 1969

Høyde intervall m o.h.	Areal S km ²	Vinterbalanse			Sommerbalanse			Nettobalanse		
		B _w 10 ⁶ m ³	b _w g/cm ² l/s km ²		B _s 10 ⁶ m ³	b _s g/cm ² l/s km ²		B _n 10 ⁶ m ³	b _n g/cm ² l/s km ²	
1850-1900	0.070	0.075	107	34	0.154	221	70	-0.079	-114	- 36
1800-1850	3.375	4.781	128	41	8.441	226	72	-3.660	- 98	- 31
1750-1800	3.866	5.258	136	43	9.549	247	78	-4.291	-111	- 35
1700-1750	3.910	4.770	122	39	10.401	266	84	-5.631	-144	- 46
1650-1700	2.084	2.000	96	30	6.002	288	91	-4.002	-192	- 61
1600-1650	0.936	0.571	61	19	2.930	313	99	-2.359	-252	- 80
1550-1600	0.640	0.333	52	16	2.189	342	108	-1.856	-290	- 92
1500-1550	0.542	0.287	53	17	2.060	380	120	-1.772	-327	-103
1450-1500	0.319	0.140	44	14	1.360	426	134	-1.218	-382	-121
1400-1450	0.196	0.073	37	12	0.921	470	148	-0.849	-433	-137
1350-1400	0.112	0.034	31	10	0.577	515	163	-0.542	-484	-153
1300-1350	0.084	0.032	38	12	0.473	563	177	-0.441	-525	-166
1250-1300	0.270	0.108	40	13	1.647	610	192	-1.539	-570	-181
1200-1250	0.315	0.107	34	11	2.076	659	208	-1.969	-625	-198
1150-1200	0.321	0.093	29	9	2.285	712	226	-2.192	-683	-216
1100-1150	0.115	0.038	33	10	0.879	765	242	-0.842	-732	-233
1050-1100	0.022	0.007	34	11	0.180	820	260	-0.173	-786	-251
1050-1900	17.53	13.71	107	34	52.12	297	94	-33.41	-190	- 60

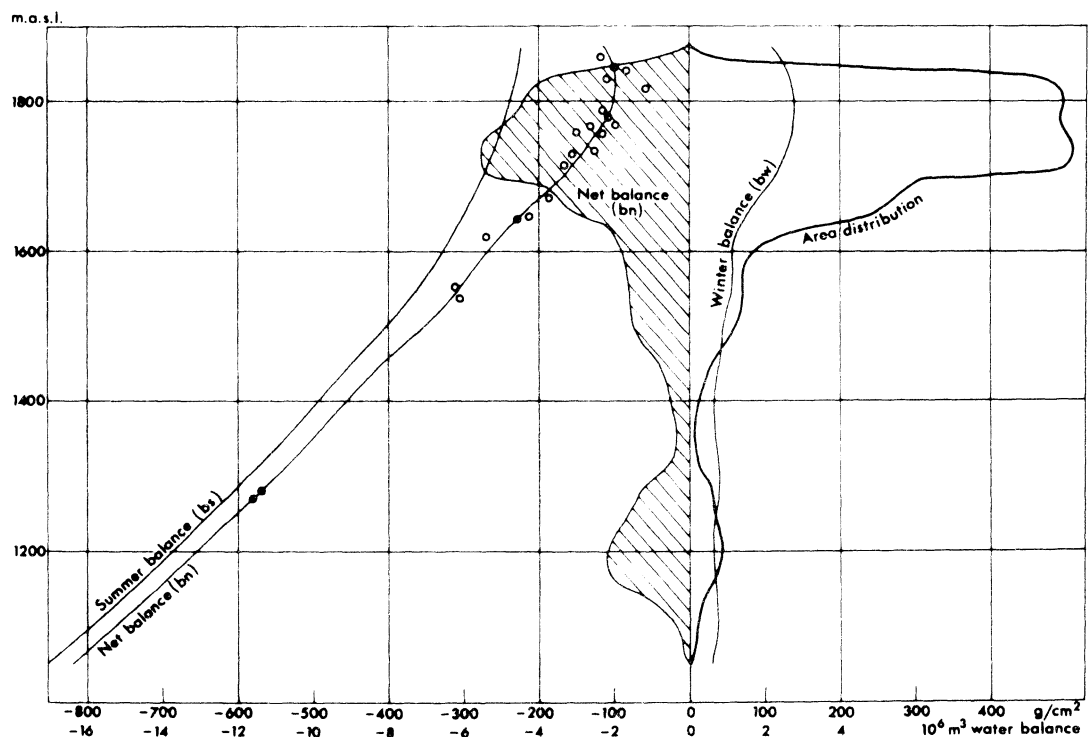


Fig. 24 Diagrammet viser variasjonene av akkumulasjonen, ablasjonen og netto-balansen med høyden over havet.

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

ble gjennomsnittstemperaturen ca. 1° over det normale. I tillegg til dette forsvant årets snø relativt tidlig på sommeren, med den følge at albedo ble svært lav slik at strålingen fikk stor effekt på smeltingen. Ablasjonsstengene ble ettersett og målt 21. juni, 25.-26. juli, 24.-25. august og 7.-12. september. Ved alle de tre sistnevnte besøk måtte man bore om flere staker på grunn av den kraftige nedsmelting. De første snøfall satte inn 22. september. Det kom da ca. 50 cm snø i Finseområdet og enda mer på toppen av Hardangerjøkulen. Midtre del av oktober var imidlertid usedvanlig mild. Under ca. 1600 m forsvant all snøen igjen, mens den ble liggende igjen på de øvre deler av Hardangerjøkulen. Denne snømengde som kom og smeltet bort igjen kort etter, burde ha vært med i tabellen for vinterbalansen og sommerbalansen. Dette er imidlertid ikke gjort, da man ikke hadde noen direkte målinger av snømengden. Som tabellen viser, ble sommerbalansen ca. 3 m d. v. s. at nær 52 mill. m³ vann rant vekk fra denne del av Hardangerjøkulen.

Som følge av den beskjedne akkumulasjon og den usedvanlig store ablasjonen fikk balansen en meget stor negativ verdi, hele 190 g/cm². Selv på de høyeste områder nær toppen av Hardangerjøkulen minket breen i tykkelse med ca. 2 m i forhold til forrige år. Dette svarer til ca. 100 g/cm². Nederst på bretungen ble minkingen hele 8 m (fig. 24). Foran breen i Rembesdalen ble det sommeren 1969 bygget to sett med ca. 1 m høye, hvitmalte varder. Avstanden fra vardene til brefrontene ble målt slik at man i senere år kan få målt brefrontens variasjoner.

Hellstugubreen

Materialhusholdningen

Vinterbalanse. Vintersesongen begynte over hele breen 17. september 1968. Hovedmålingen av vinterbalansen ble foretatt 6.-7. mai under forholdsvis gode forhold. Sommeroverflaten var meget tydelig, men det var lite snø, og en del ønskelige sonderingsprofiler i sprekkefarlige områder ble derfor utelatt. Det ble tatt i alt 265 sonderinger (80 sond./km²) langs 13 km sonderingsprofiler (fig. 25). Snøtettheten ble målt ved stake 46 og stake 17. Bortsett fra de øverste 10-15 cm, som var kram nysnø, var snøen tørr over hele breen.

Nye målinger ble foretatt 5. juni, og dette tidspunkt betraktes som vintersesongens slutt. Forandringen i balanse i tiden 7. mai til 6. juni er bestemt til 10 cm vann over hele breen. Fordelingen av årets vinterbalanse fremgår av fig. 26.

HELLSTUGUBREEN 1969

Position of stakes, pits and sounding profiles

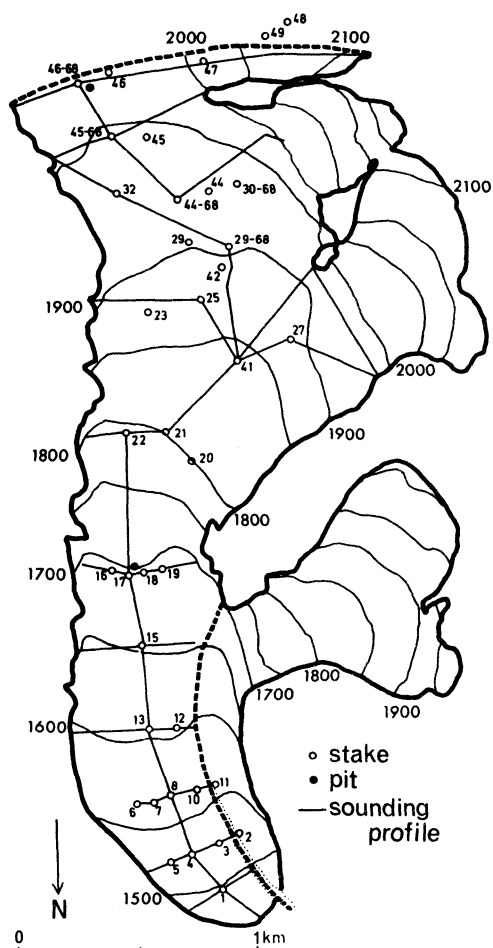


Fig. 25 Beliggenheten av staker, sjakter og sonderingsprofiler.

The location of stakes, pits and sounding profiles.

HELLSTUGUBREEN 1969

Winter balance in cm of water equivalent

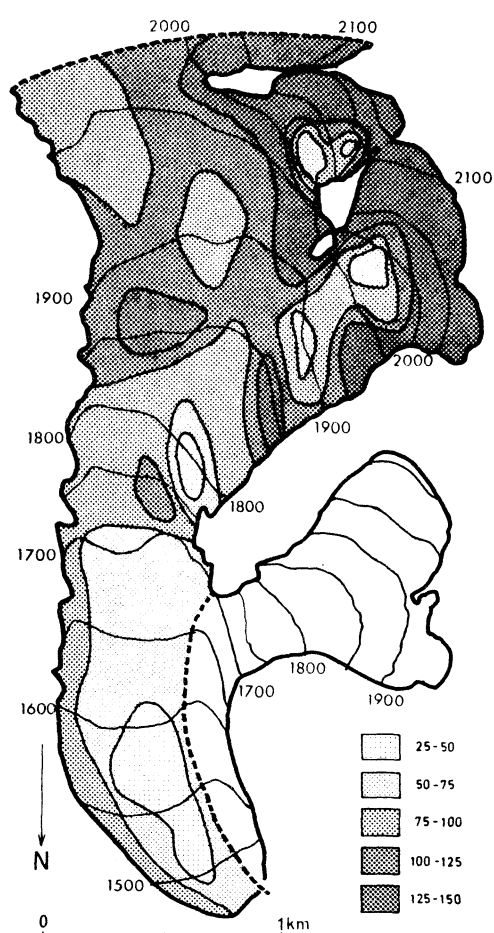


Fig. 26 Kart som viser vinterbalansen 1969.

Map of the winter balance 1969.

Vinterbalansen er i alt beregnet til $3,2 \cdot 10^6 \text{ m}^3$ vann som i middel utgjør 0,95 m (30 l/s km^2).

Sommerbalanse. I sommersesongen ble stakene målt 6 ganger, og dessuten 30. september som var nær overgangen til neste års vintersesong. Det hadde da over hele breen kommet snø som neppe smeltet vekk under mildværet i første del av oktober. Slutten av årets sommersesong er derfor satt til ca. 20. september.

Det falt ikke sommerakkumulasjon av betydning dette året. Sommerbalansen er i alt beregnet til $7,4 \cdot 10^6 \text{ m}^3$ vann som i middel tilsvarer 2,23 m (70 l/s km^2). Omkring 1800 m o.h. er sommerbalansen som tidligere år merkbart større enn de øvrige ablasjonsresultater skulle tilsi. Dette skyldes først og fremst at det

HELLSTUGUBREEN 1969

Høyde intervall m o.h.	Areal S km ²	Vinterbalanse			Sommerbalanse			Nettobalanse		
		B _w 10 ⁶ m ³	b _w m	1/s km ²	B _s 10 ⁶ m ³	b _s m	1/s km ²	B _n 10 ⁶ m ³	b _n m	1/s km ²
2100-2200	0.078	0.105	1.35	43	0.107	1.37	43	-0.002	-0.02	0
2050-2100	0.261	0.345	1.32	42	0.361	1.39	44	-0.016	-0.07	- 2
2000-2050	0.202	0.250	1.24	39	0.328	1.62	51	-0.078	-0.38	- 11
1950-2000	0.386	0.394	1.02	32	0.627	1.62	51	-0.233	-0.60	- 19
1900-1950	0.610	0.604	0.99	31	1.050	1.72	54	-0.446	-0.73	- 23
1850-1900	0.377	0.404	1.07	34	0.747	1.98	63	-0.343	-0.91	- 29
1800-1850	0.350	0.331	0.95	30	0.873	2.49	79	-0.542	-1.54	- 49
1750-1800	0.141	0.112	0.79	25	0.370	2.62	83	-0.258	-1.83	- 58
1700-1750	0.142	0.122	0.86	27	0.408	2.87	91	-0.286	-2.01	- 64
1650-1700	0.207	0.136	0.66	21	0.603	2.91	92	-0.467	-2.25	- 71
1600-1650	0.192	0.128	0.67	21	0.600	3.12	99	-0.427	-2.45	- 78
1550-1600	0.195	0.110	0.56	18	0.658	3.37	106	-0.548	-2.81	- 88
1500-1550	0.124	0.072	0.58	18	0.450	3.62	114	-0.378	-3.04	- 96
1450-1500	0.060	0.040	0.67	21	0.232	3.87	122	-0.192	-3.20	- 101
1450-2200	3.325	3.153	0.95	30	7.414	2.23	70	-4.261	-1.28	- 40

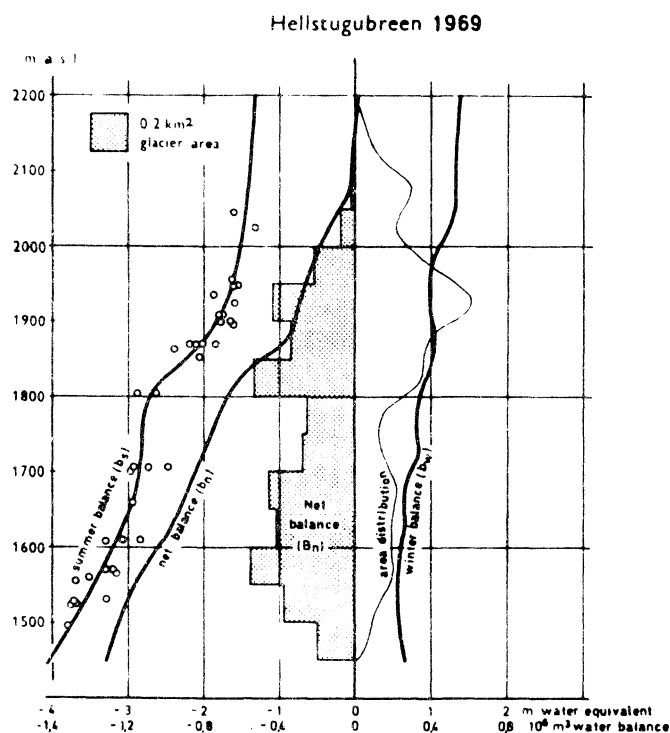


Fig. 27 Variasjonene av vinter-, sommer- og nettobalansen med høyden over havet, breens arealfordeling og arealverdier av nettobalansen i hvert 50 m høydeintervall.

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

her gjennomgående relativt sett er lite snø slik at blåisen blir tidlig eksponert. Målestakene i dette området er derfor meget viktige.

Nettobalanse. 22. juni var det snøbart nedenfor ca. 1630 m o.h. og omkring brefallet 1800 m o.h. En måned senere lå den temporære snøgrensen omkring 1850 m o.h. og i tillegg var årets akkumulasjon smeltet vekk over store områder i de to øvre østvendte botnene.

I slutten av sommersesongen var det bare små flekker igjen av årets akkumulasjon, og likevektslinjen kom til å ligge 2130 m o.h. (fig. 27). Nettobalansen var således negativ praktisk talt over hele breen og i alt minket breen med $4,3 \cdot 10^6$ m³ vann som i middel tilsvarende 1,28 m (40 l/s km²). De kvantitative resultater fremgår av tabellen side 42 som illustreres av fig. 27.

Vestre Memurubre

Materialhusholdningen

Vinterbalanse. Vintersesongen begynte 17. september, og hovedmålingen av vinterbalansen ble foretatt 7. mai. Alle stakene var intakt, og det var meget gode sonderingsforhold. Akkumulasjonen er her meget jevn, og snødypet var omkring 2,5 m de fleste steder. Det ble tatt i alt 195 sonderinger langs 18 km sonderingsprofiler (22 sond./km²). Snøtettheten ble bestemt i sjakt ved st. 20 og st. 46 (fig. 28). Balanseøkningen i resten av vintersesongen er bestemt til 10 cm vann. Fordelingen av årets vinterbalanse fremgår av fig. 29.

Vinterbalansen er i alt beregnet til $9,5 \cdot 10^6$ m³ vann som tilsvarende 1,05 m (33 l/s km²) jevnt fordelt over hele breen.

Sommerbalanse. I sommersesongen ble stakene kontrollert 5 ganger, første gang 22. juni og siste gang 30. august. 22. juni hadde ablasjonen begynt over hele breen, og overgangen fra vinter- til sommersesongen er satt til 5. juni. Det var noe ablasjon også etter 30. august og stakene ble målt igjen 1. oktober. Det hadde da kommet nysnø over hele breen, men denne smeltet ikke helt vekk i mildværsperioden i oktober. Slutten av årets sommersesong er satt til ca. 20. september.

Sommerbalansen er i alt beregnet til $19,1 \cdot 10^6$ m³ vann som i middel tilsvarende 2,11 m (67 l/s km²).

VESTRE MEMURUBRE 1969

Position of stakes, pits and sounding profiles

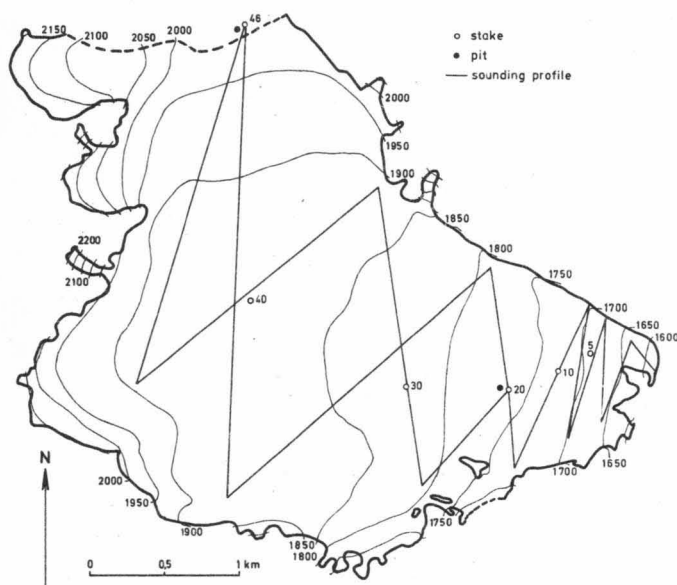


Fig. 28 Beliggenheten av staker, sjakter og sonderingsprofiler på Vestre Memurubre.

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

VESTRE MEMURUBRE 1969

Winter balance in cm of water equivalent

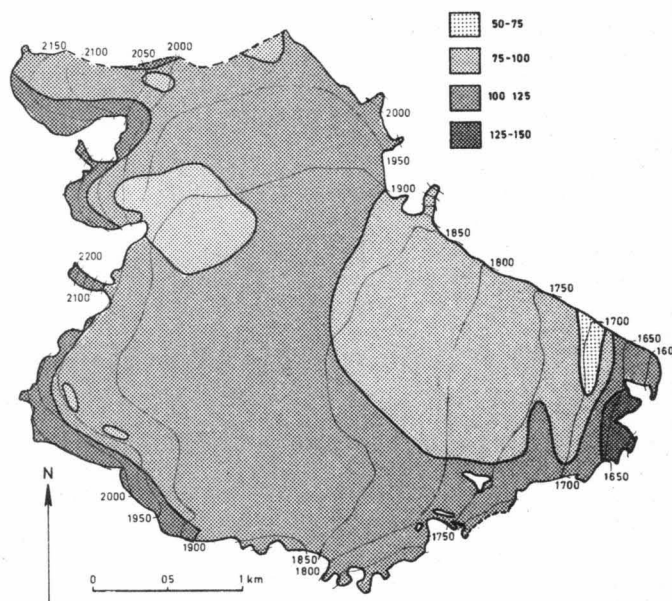


Fig. 29 Kart over vinterbalansen 1969.

Map of the winter balance 1969.

VESTRE MEMURUBRE 1969

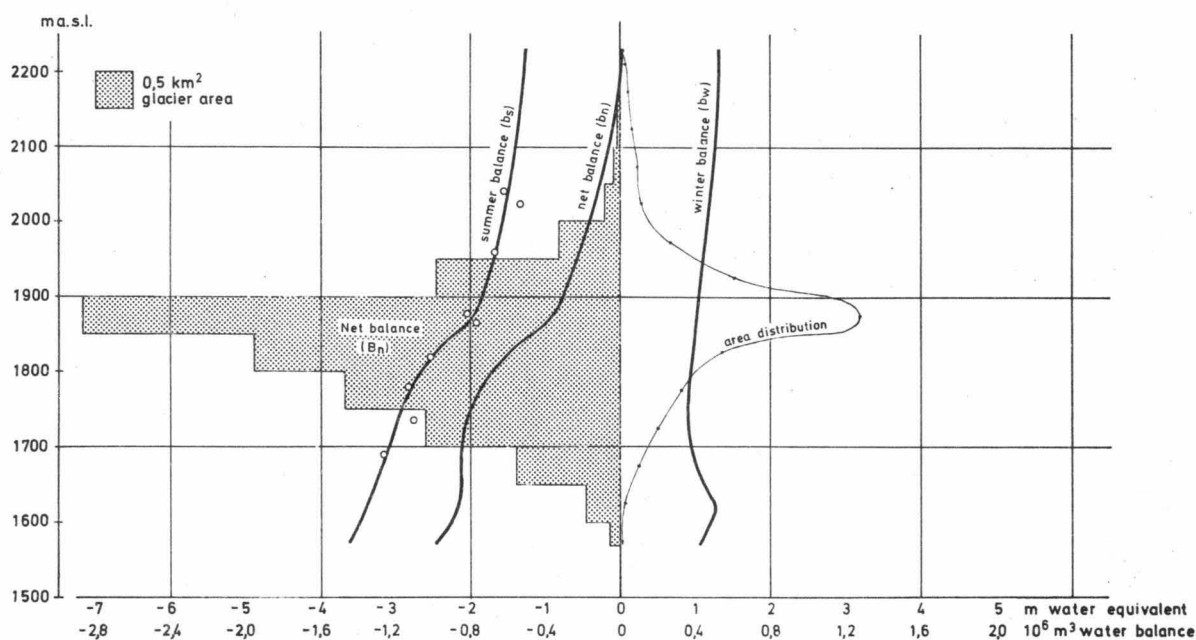


Fig. 30 Variasjonene av vinter-, sommer- og nettobalansen med høyden over havet, breens arealfordeling og arealverdier av nettobalansen i hvert 50 m høydeintervall.

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

Nettobalanse. Årets akkumulasjon hadde stort sett smeltet vekk nedenfor 1700 m o.h. allerede ved første besøk på breen denne sommersesongen, 22. juni. I slutten av juli var blåis eksponert opp til ca. 1850 m o.h. foruten i mindre flekker i botnene. Utenfor blåisen var eldre års firn fremme. I slutten av august var det bare små flekker igjen av årets akkumulasjon, og likevektslinjen kom til å ligge noe høyere enn breens høyeste deler. Likevektslinjens høyde er grafisk bestemt til ca. 2170 m.

Nettobalansen var da negativ, og i alt minket breens masse med $9,6 \cdot 10^6 \text{ m}^3$ vann som i middel tilsvarer 1,06 m. Jevnt fordelt over hele året utgjør dette en avrenning fra breen på 34 l/s km^2 . De kvantitative resultater fremgår av tabellen nedenfor som illustreres av et diagram (fig. 30).

VESTRE MEMURUBRE 1969

Høyde intervall m o.h.	Areal S km^2	Vinterbalanse			Sommerbalanse			Nettobalanse		
		B_w 10^6 m^3	b_w m	$1/s \text{ km}^2$	B_s 10^6 m^3	b_s m	$1/s \text{ km}^2$	B_n 10^6 m^3	b_n m	$1/s \text{ km}^2$
2200-2230	0.017	0.022	1.30	41	0.023	1.37	43	-0.001	-0.07	- 2
2150-2200	0.089	0.116	1.30	41	0.122	1.38	44	-0.006	-0.08	- 3
2100-2150	0.148	0.189	1.28	40	0.204	1.38	44	-0.015	-0.10	- 3
2050-2100	0.218	0.271	1.24	39	0.309	1.42	45	-0.038	-0.18	- 6
2000-2050	0.260	0.317	1.22	39	0.403	1.55	49	-0.086	-0.33	-10
1950-2000	0.664	0.751	1.13	36	1.079	1.63	51	-0.328	-0.50	-16
1900-1950	1.469	1.535	1.08	34	2.567	1.75	55	-0.982	-0.67	-21
1850-1900	3.135	3.318	1.04	33	6.192	1.94	61	-2.874	-0.90	-28
1800-1850	1.324	1.304	0.98	31	3.258	2.46	78	-1.954	-1.48	-47
1750-1800	0.796	0.733	0.92	29	2.202	2.77	87	-1.469	-1.85	-58
1700-1750	0.510	0.474	0.93	29	1.517	2.98	94	-1.043	-2.05	-65
1650-1700	0.262	0.266	1.01	32	0.819	3.12	99	-0.553	-2.11	-67
1600-1650	0.086	0.110	1.28	40	0.291	3.38	107	-0.181	-2.10	-66
1570-1600	0.022	0.025	1.14	36	0.077	3.50	111	-0.052	-2.36	-75
1570-2250	9.050	9.481	1.05	33	19.063	2.11	67	-9.582	-1.06	-34

Austre Memurubre

Materialhusholdningen

Vinterbalanse. Vintersesongen begynte 17. september 1968, og hovedmålingen av vinterbalansen ble foretatt i tiden 9. -11. mai. Det var forholdsvis lite snø, over meget store deler av breen bare omkring 2 m. 24 staker var intakt.

Sonderingsforholdene var gode, og det ble foretatt 540 sonderinger (63 sond./ km^2) langs 29 km sonderingsprofiler. Snøen var meget løs og porøs. Bortsett fra et

AUSTRE MEMURUBRE 1969

Position of stakes, pits and sounding profiles

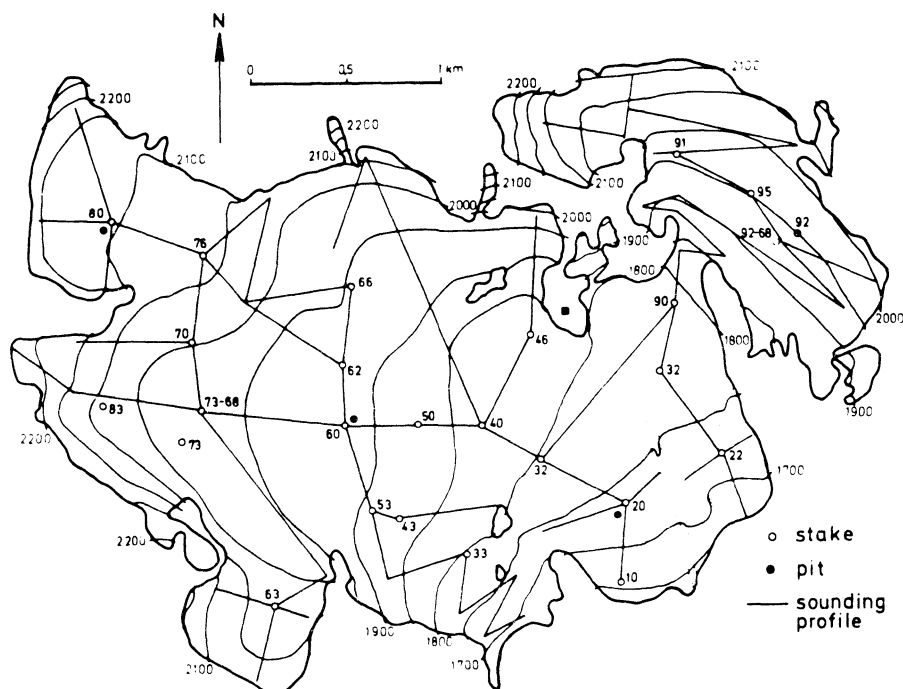


Fig. 31 Beliggenheten av staker, sjakter og sonderingsprofiler på Austre Memurubre 1969.

Location of stakes, pits and sounding profiles on Austre Memurubre 1969.

lag kram nysnø øverst var snøen tørr overalt på breen. Snøens vannverdi ble målt 3 steder (fig. 31). Det falt bare små snømengder etter hovedmålingen, og på grunnlag av målinger 5. juni og meteorologiske observasjoner er tillegget satt til 10 cm vann over hele breen. Fordelingsmønstret av vinterbalansen har store likheter med fjorårets, men snømengdene er bare omkring halvparten. Fordelingen av vinterbalansen fremgår av fig. 32.

Vinterbalansen er i alt beregnet til $8,8 \cdot 10^6 \text{ m}^3$ vann som tilsvare 0,99 m (31 l/s km^2) jevnt fordelt over hele breen. I 1968 ble middelveiden av vinterbalansen beregnet til 1,77 m.

Sommerbalanse. I juni var det varmt, pent vær og lite nedbør, mens det i første del av juli var kaldere, og det falt nedbør i form av snø på breen. I siste del av juli og fram til slutten av august var det usedvanlig pent varmt vær og kraftig ablasjon på breen. 24. august falt det igjen noe nedbør i form av snø, sommerakkumulasjonen fram til utgangen av august er beregnet til $0,1 \cdot 10^6 \text{ m}^3$ vann eller 13 cm jevnt fordelt over hele breen. Nedenfor 1700 m o.h. var sommerakkumulasjonen ubetydelig.

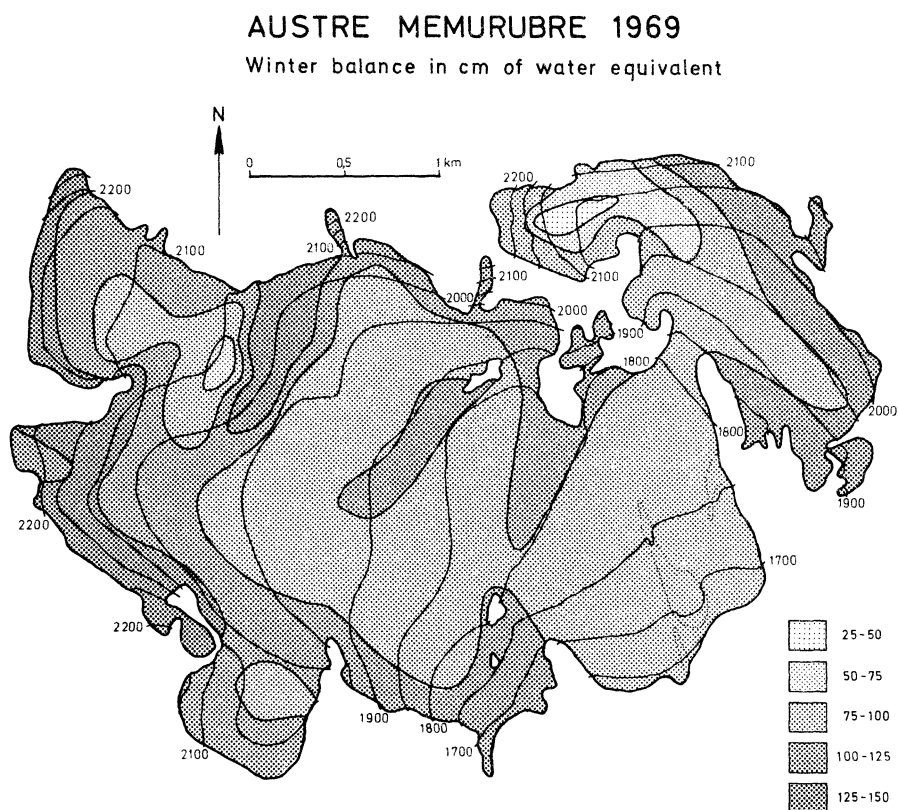


Fig.32 Kart som viser fordelingen av vinterbalansen på Austre Memurubre.

Distribution of the winter balance on Austre Memurubre.

Stakene ble målt ca. hver 5.dag den tiden det var sommerassistenter på breen. Breen ble besøkt siste gang 2.oktober. Siden utgangen av august hadde det da smeltet omkring 1 m is nederst på breen, mens det på de høyestliggende deler av breen bare hadde vært ubetydelig ablasjon. I siste del av september hadde det falt omkring 75 cm snø over størstedelen av breen, men bare en del av denne snøen smeltet vekk i varmeperioden i første del av oktober.

Sommerbalansen er i alt beregnet til $21,7 \cdot 10^6 \text{ m}^3$ vann som i middel tilsvarer 2,45 m (77 l/s km^2), mot 1,76 m (56 l/s km^2) i 1968.

Nettobalanse. De små snømengdene dette året førte til at blåis tidlig kom fram. Allerede da sommermålingene kom i gang omkring 20.juni var breen snøbar på de steder med særlig liten akkumulasjon, og i månedskiftet juni-juli lå den temporære snøgrensen mellom 1850 og 1950 m o.h. Tidligere års firn ble etter hvert synlig, og den temporære snøgrensen lå da på grensen mellom firn og årets snø. Fig. 33 viser breen 4.august. Både breis og flere års firn var da eksponert, og overgangen mellom de forskjellige årslag gjenspeiler det til dels kompliserte akkumulasjonsmønster som er på denne breen. I slutten av august var det bare ubetydelige mengder av årets snø tilbake. I alt minket breens



Fig. 33 Austre Memurubre 4. august 1969.

View of Austre Memurubre
August 4., 1969.

masse med $12,9 \cdot 10^6 \text{ m}^3$ vann som jevnt fordelt tilsvarer 1,46 m vann eller en ekstra avrenning på 46 l/s km^2 .

Likevektslinjen lå 2130 m o.h. De kvantitative resultater fremgår av tabellen s. 49 som illustreres av fig. 34.

Meteorologiske og hydrologiske observasjoner og beregninger

Sky- og vindforhold. Skyforholdene på de to observasjonsstedene er temmelig ensartet, midlere skydekke i observasjonsperioden var henholdsvis 6,4 og 6,3 på øvre og nedre hytte. Det var en dag med helt klart vær på øvre hytte mens det på nedre hytte er registrert 5 helt klare dager, alle i august. På øvre og nedre hytte var det henholdsvis 16 og 19 dager med helt overskyet vær eller tett tåke, og det var halvskyet eller klarere henholdsvis 30 og 27 dager. Bortsett fra tåkesituasjonen som kan være forskjellig de to stedene, må variasjonene tillegges den subjektive vurderingen av skydekket.

Det var hele tiden moderate vindforhold, midlere vindstyrke i observasjonsperioden er beregnet til 3,5 m/s på øvre hytte og 2,6 m/s på nedre hytte. På øvre hytte varierte vindstyrken mellom 0,8 m/s (7. august) og 10,3 m/s (31. august) og på nedre hytte mellom 0,9 m/s (19. juli) og 6,5 m/s (22. august).

På øvre hytte varierte vindretningen i det alt vesentlige mellom sør og vest. På nedre hytte var det mest sør- og sørøstlige vinder. I godværsperioden i august kom vinden ofte fra nordlig kant, noe som tyder på at det da ble dannet en så sterk brevind at den ble registrert på nedre hytte.

Temperaturforhold. Lufttemperaturen ble målt på øvre og nedre hytte og temperaturgangen på de to stedene er usedvanlig ensartet (fig. 35).

AUSTRE MEMURUBRE 1969

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
2200-2250	0.034	0.039	1.15	35	0.030	0.88	28	+0.009	+0.27	+ 7
2150-2200	0.224	0.277	1.24	38	0.221	0.99	31	+0.056	+0.25	+ 7
2100-2150	0.605	0.676	1.12	35	0.714	1.18	37	-0.038	-0.06	- 2
2050-2100	0.864	0.904	1.05	32	1.325	1.53	48	-0.421	-0.48	- 16
2000-2050	1.068	1.111	1.04	32	1.908	1.79	56	-0.797	-0.75	- 24
1950-2000	1.289	1.357	1.05	32	2.677	2.08	66	-1.320	-1.03	- 34
1900-1950	1.410	1.281	0.91	28	3.552	2.52	80	-2.271	-1.61	- 52
1850-1900	0.859	0.847	0.99	31	2.362	2.75	87	-1.515	-1.76	- 56
1800-1850	0.789	0.751	0.95	32	2.422	3.07	97	-1.671	-2.12	- 65
1750-1800	0.921	0.840	0.91	28	3.166	3.44	109	-2.326	-2.53	- 81
1700-1750	0.522	0.482	0.92	28	2.040	3.91	123	-1.558	-2.99	- 95
1650-1700	0.241	0.218	0.90	28	1.142	4.74	150	-0.924	-3.84	- 122
1630-1650	0.032	0.028	0.87	28	0.176	5.50	174	-0.148	-4.63	- 146
1630-2250	8.858	8.811	0.99	31	21.735	2.45	77	-12.924	-1.46	- 46

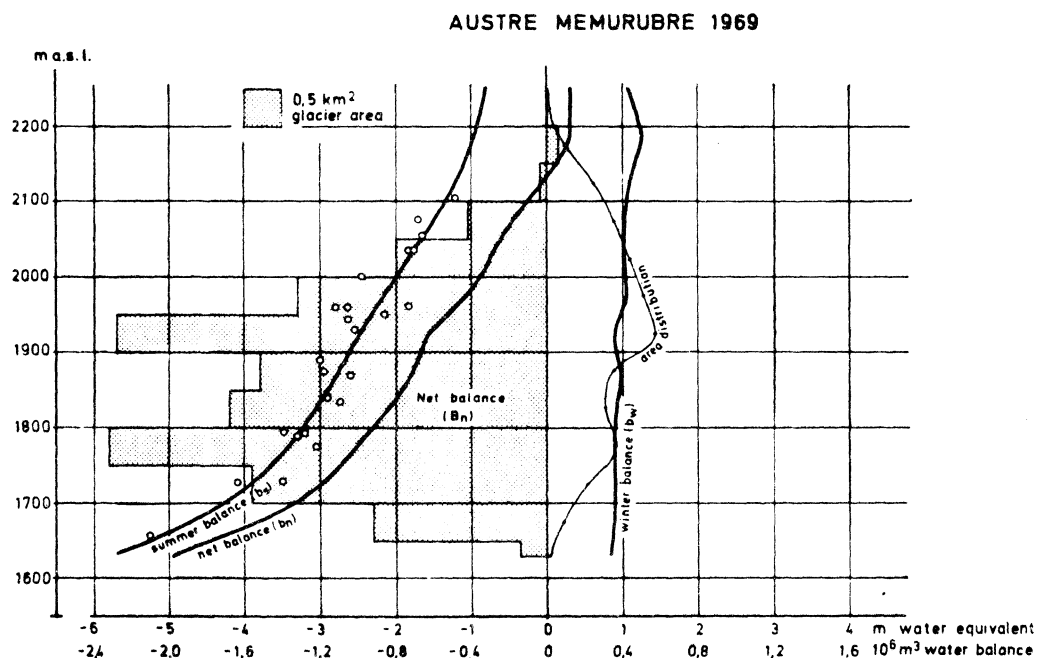


Fig. 34 Variasjonene av vinter-, sommer- og nettobalansen med høyden over havet, breens arealfordeling og arealverdier av nettobalansen i hvert 50 m høydeintervall.

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

Høyeste døgnmiddeltemperatur ble registrert 1. august med 12,1° C på øvre hytte og 14,0° C på nedre hytte. Laveste døgnmiddeltemperatur var det på øvre hytte 5. og 18. juli med -0,8° C og på nedre hytte 3., 4. og 5. juli med 2,2° C. Middelttemperaturene for de to observasjonsstedene er beregnet til

AUSTRE MEMURUBRE 1969

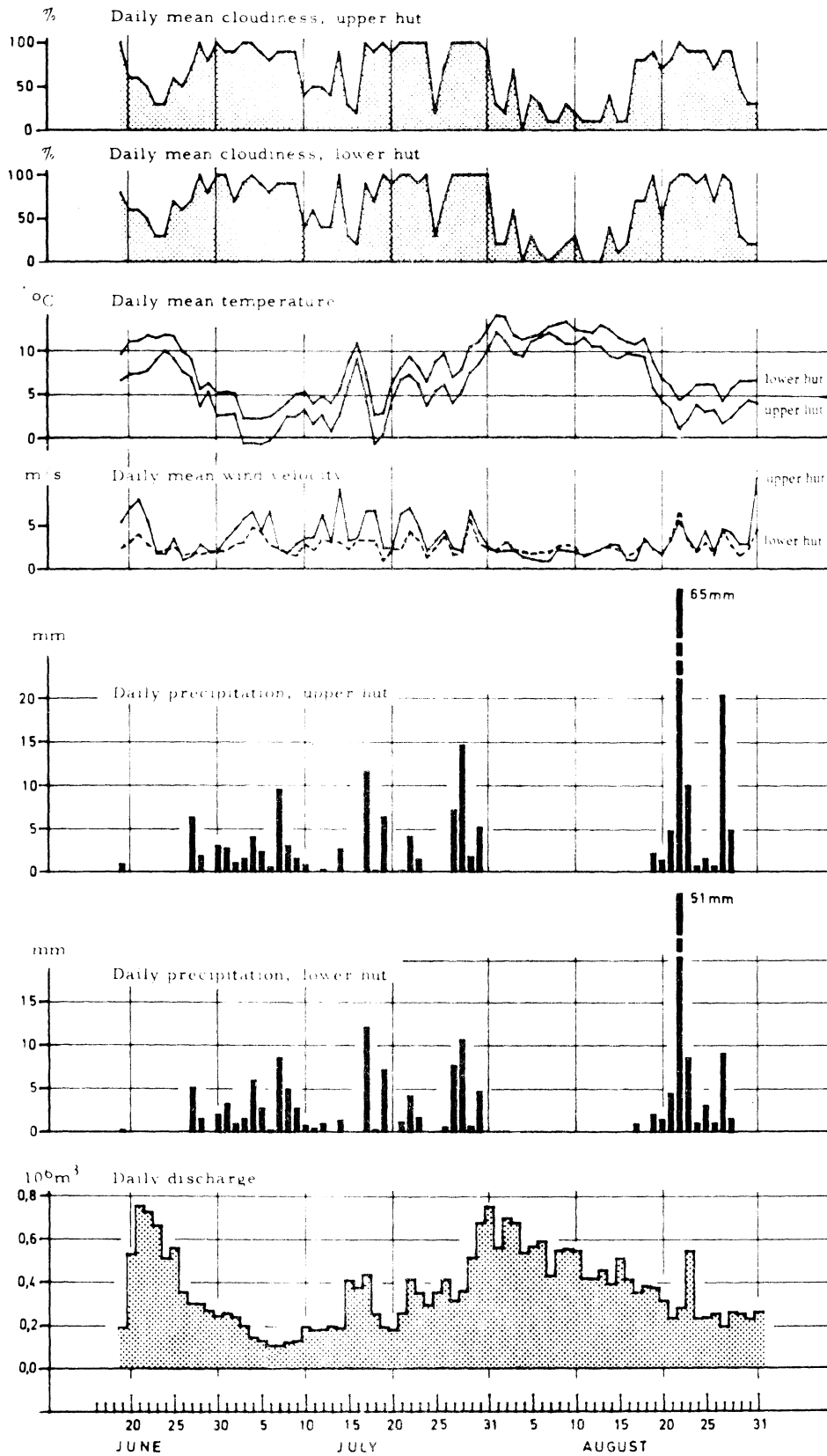


Fig. 35 Resultatene av de daglige meteorologiske observasjonene ved de to observasjonshyttene og beregnet døgnavløp i Breelva.

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

6,9° C og 9,6° C for juni (12.-30.), til 3,6° C og 6,2° C for juli, til 7,4° C og 9,6° C for august og henholdsvis 5,7° C og 8,2° C for hele observasjonsperioden.

Temperaturgradienten mellom de to hyttene og mellom hyttene og Varden (Met. inst. stasjon på Filefjell) i de senere tidsperiodene er beregnet og resultatene gjengitt nedenfor.

Temperaturgradienter (°C/100 m)

	juni	juli	august	12.6-31.8
Varden/nedre hytte	0,55	0,65	0,57	0,60
Varden/øvre hytte	0,62	0,67	0,58	0,62
Nedre/øvre hytte	0,75	0,72	0,61	0,69

I 1968 ble gradienten beregnet bare for august, og den var da også 0,61° C/100 m. Det fremgår av dette at gradienten er noe større mellom de to observasjonshyttene enn mellom disse og Varden meteorologiske stasjon.

Nedbørforhold. Døgnlige nedbør ble målt ved de to observasjonshyttene og det ble i tiden 19.juni-31.august målt 205 mm ved øvre hytte og 176 mm ved nedre hytte.

Videre ble nedbørfordelingen i feltet undersøkt ved at 27 målere (av typen Pluvius) ble satt ut. Observasjonsperioden kan deles i 6 klart adskilte nedbørperioder: 1) 27.juni kl. 14 - 1.juli kl. 07, 2) 1.juli kl. 23 - 13.juli kl. 07, 3) 14.juli kl. 14 - 18.juli kl. 07, 4) 19.juli kl. 10 - 30.juli kl. 19, 5) 19.august kl. 17 - 24.august kl. 18, 6) 26.august kl. 16 - 29.august kl. 07. I de mellomliggende perioder og i tiden 19.-27.juni falt det ikke nedbør. I noen av periodene mangler enkelte observasjoner fordi målere har frosset i stykker, veltet, rent over eller blitt skadet på annen måte. De observerte nedbørmengder i de enkelte perioder fremgår av fig. 36. Nedbøren varierer lite fra måler til måler. I siste periode var nedbøren så liten i noen av målerne at det kan tyde på at disse målerne har vært lekk. Variasjonene kan også skyldes at det var sterk vind og bygevær i perioden.

Middelverdien for hver periode (P_m) er beregnet aritmetrisk og resultatet gjengitt i figuren og i tabellform. Observasjonene ved målerne 19, 20, 21 og 23 gav så ufullstendig resultat at de er utelatt ved middelverdiberegningen. Andre manglende verdier er funnet ved interpolasjon. Nedbøren ved målested 1 (P_1), ved målested 27 (P_{27}) på Varden (P_v) er angitt i samme tabell der forholdet mellom nedbøren på de forskjellige stedene også er beregnet.

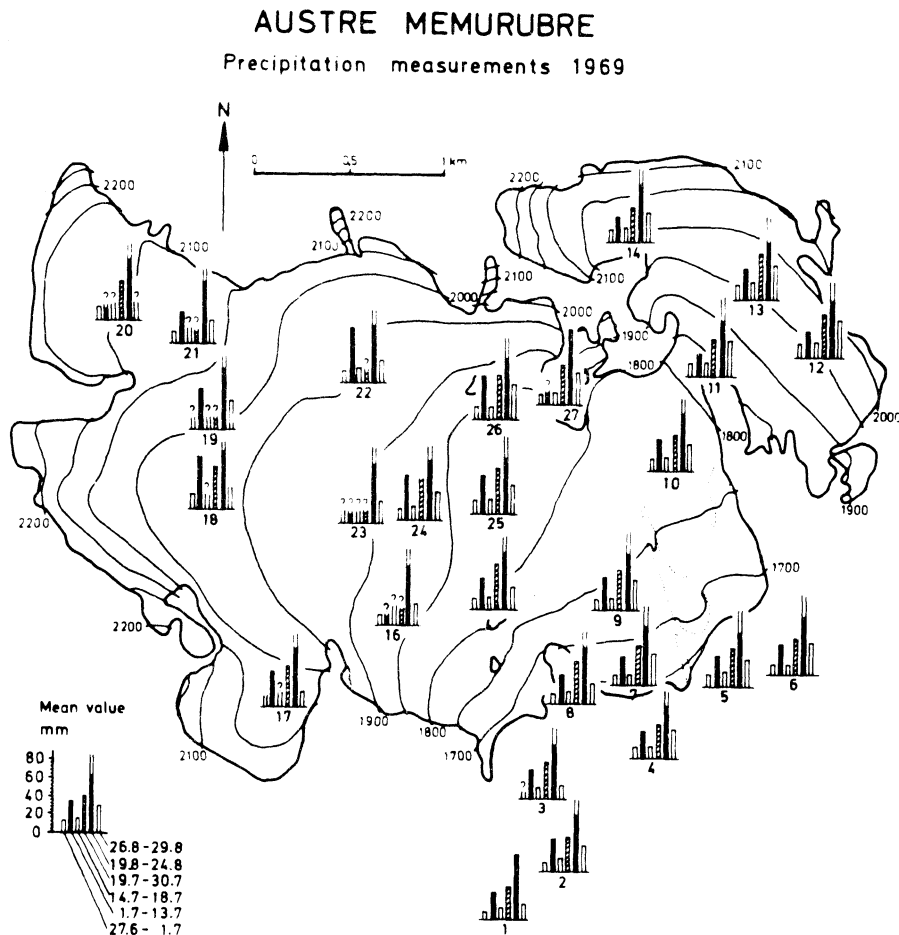


Fig. 36 Beliggenheten av nedbørmålere på Austre Memurubre, og observerte nedbørhøyder i 6 perioder.

The location of precipitation gauges on Austre Memurubre, and observed precipitation during 6 periods.

Periode	P_1 mm	P_{27} mm	P_m mm	P_v mm	P_m P_1	P_m P_{27}	P_1 P_v	P_{27} P_v	P_m P_v
27.6- 1.7	9,0	11,5	12,4	5,2	1,38	1,08	1,73	2,21	2,38
1.7-13.7	30,0	27,8	34,4	32,2	1,11	1,24	0,92	0,86	1,03
14.7-18.7	13,0	14,0	14,4	5,4	1,07	1,03	2,40	2,59	2,65
19.7-30.7	37,6	43,0	43,0	27,1	1,14	1,00	1,39	1,59	1,58
19.8-24.8	69,2	84,0	84,0	21,8	1,21	1,00	3,17	3,85	3,85
26.8-29.8	15,5	31,0	29,0	5,6	1,87	0,94	2,77	5,54	5,18
	174,3	211,3	217,2	97,3	1,25	1,03	1,79	2,17	2,23

Det fremgår av dette at det faller noe mere nedbør på øvre enn på nedre hytte, og nedbøren på øvre hytte representerer godt middelnedbøren i feltet med de sikkerheter som en kan vente å oppnå ved denne type målinger. I dette feltet bør en derfor overveie å erstatte undersøkelsene av nedbørfordelingen med andre spesialundersøkelser.

Hydrologiske målinger. Vannstanden i Breelva ble registrert av limnigraf og døgnlig avløp er beregnet. Elveleiet består av store steiner, og observasjoner på stedet ga grunn til å tro at det ca. 30. juli var profilforandring ved limnigrafen. Ny kurve ble derfor målt opp. De to vannføringskurvene viste seg å være forskjellige, og profilforandring er derfor antatt å ha funnet sted. Den nye kurven er benyttet etter 30. juli. Beregnet døgnlig avløp er gjengitt i observasjonsdiagrammet.

Den store avrenningen i begynnelsen av observasjonsperioden skyldes i stor grad sterk snøsmelting i den brefrie delen av feltet, ellers er sammenhengen mellom lufttemperaturen og avrenningen tydelig. Dette er spesielt behandlet under korrelasjonsanalysene. I den nedbørfrie godværsperioden i første del av august er det forholdsvis store variasjoner i vannføringen til tross for jevne værforhold. Den eksepsjonelt store nedbøren som falt 22. juli medførte øket avrenning dagen etter.

Gråsubreen

Materialhusholdningen

Vinterbalanse. Vintersesongen begynte 17. september, umiddelbart etter siste måling i foregående balanseår. Vinterbalansen ble målt 5. juni og dette tidspunkt er betraktet som vintersesongens slutt. 11 staker var da intakt, det var gode betingelser for sondering, og det ble tatt 142 sonderinger langs 9 km sonderingsprofiler (fig. 37). Over størstedelen av breen varierte snødypet mellom 1 m og 2 m. Snøtettheten ble målt ved stake 7.

Vinterbalansen er i alt beregnet til $1,9 \cdot 10^6 \text{ m}^3$ vann (0,74 m eller 23 l/s km²) og fordelingen er vist på fig. 38.

Sommerbalanse. Stakene ble i sommersesongen målt 2. august, og sommerbalansen er bestemt på grunnlag av målinger 6. oktober. Neste års vintersesong hadde da begynt. 2. august hadde årets akkumulasjon stort sett smeltet vekk opp til ca. 2150 m o. h. Den markert mindre ablasjon på breens høyestliggende deler skyldes først og fremst at breoverflaten her bestod av snø og firn hele sommersesongen, slik at denne delen av breen hadde en høyere albedo enn de lavereliggende deler.

Sommerbalansen er i alt beregnet til $5,2 \cdot 10^6 \text{ m}^3$ vann som i middel tilsvarer 2,04 m (65 l/s km²).

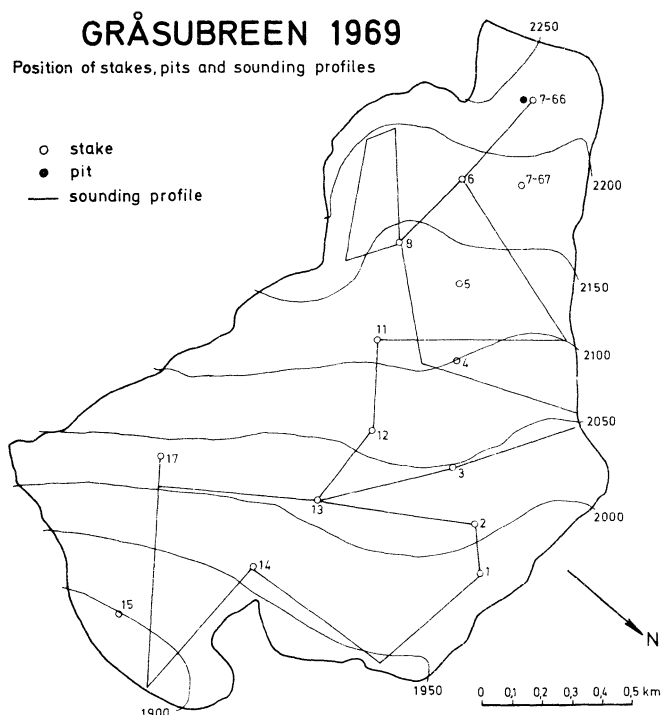


Fig. 37 Beliggenheten av staker, sjakter og sonderingsprofiler.

The location of stakes, pits and sounding profiles.

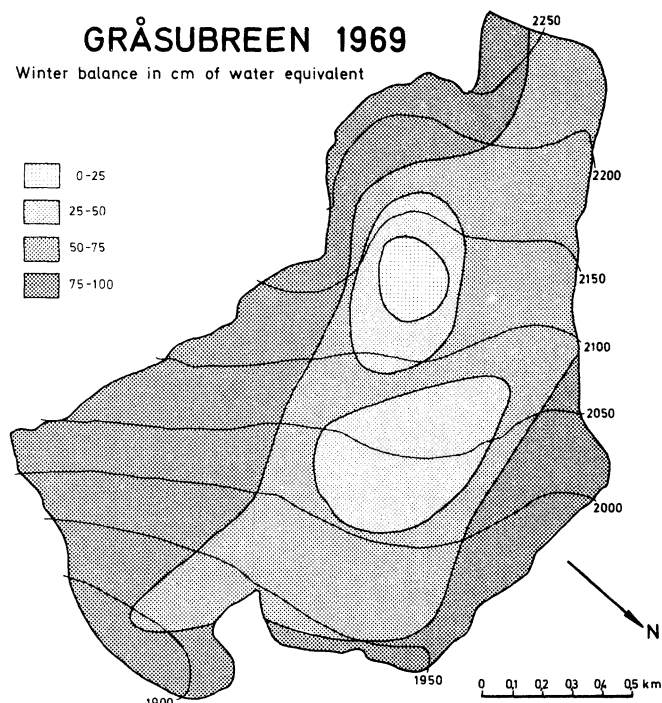


Fig. 38 Kart som viser vinterbalansen 1968.

Map of the winter balance 1968.

Nettobalanse. Nettobalansen var negativ over hele Gråsubreen i 1969, og i alt minket breens masse med $3,5 \cdot 10^6 \text{ m}^3$ vann som utgjør en midlere senkning av breoverflaten tilsvarende 1,37 m vann. Dette utgjør en ekstra avrenning på 43 l/s km² fra breen.

Likevektslinjen lå høyere enn breen, og er ved ekstrapolasjon av nettobalansekurven anslått til å ligge ca. 2350 m o.h. De kvantitative resultater fremgår av tabellen nedenfor som illustreres av fig. 39.

GRÅSUBREEN 1969

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	
2250-2260	0.031	0.026	0.84	26		0.039	1.25	40		-0.013	-0.41	- 14	
2200-2250	0.178	0.134	0.75	24		0.222	1.25	40		-0.088	-0.49	- 16	
2150-2200	0.309	0.221	0.72	23		0.449	1.45	46		-0.228	-0.74	- 23	
2100-2150	0.386	0.216	0.56	17		0.760	1.97	62		-0.544	-1.41	- 45	
2050-2100	0.417	0.268	0.64	20		0.876	2.10	66		-0.608	-1.46	- 46	
2000-2050	0.461	0.318	0.69	22		0.979	2.12	67		-0.661	-1.43	- 45	
1950-2000	0.459	0.344	0.75	24		1.051	2.29	72		-0.707	-1.54	- 48	
1900-1950	0.218	0.171	0.78	25		0.602	2.76	87		-0.431	-1.98	- 62	
1870-1900	0.068	0.059	0.87	27		0.213	3.13	99		-0.154	-2.26	- 72	
1870-2260	2.528	1.852	0.74	23		5.191	2.04	65		-3.459	-1.37	- 43	

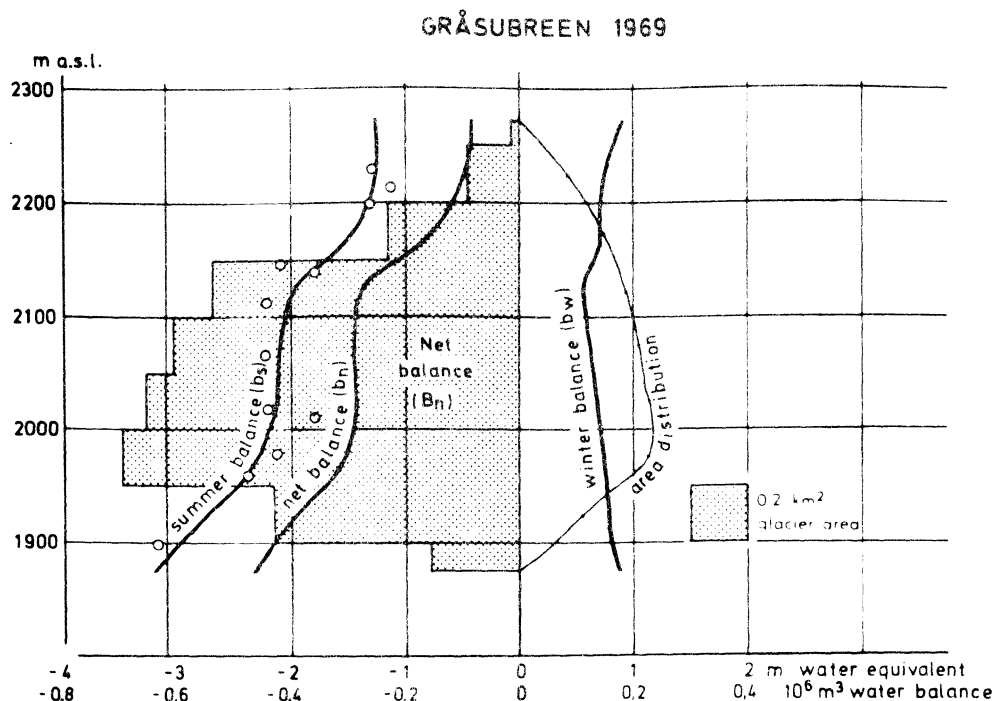


Fig. 39 Variasjonene av vinter-, sommer- og nettobalansen med høyden over havet, breens arealfordeling og arealverdier av nettobalansen i hvert 50 m høydeintervall.

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

En sammenlikning av materialhusholdningen på de enkelte breene

Materialhusholdningen er i 1969 av Norges vassdrags- og elektrisitetsvesen målt på 9 breer i Sør-Norge (Ålfotbreen, Vesledalsbreen, Tunsbergdalsbreen, Nigardsbreen, Hardangerjøkulen, Hellstugubreen, Vestre og Østre Memurubreen og Gråsubreen). Alle disse undersøkelsene, bortsett fra de på Hardangerjøkulen, som er overlatt til Norsk Polarinstitut, er utført av Hydrologisk avdelings brekontor. En oversikt over resultatene er vist 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	4.82	12.84	2.66	84	23.30	4.83	153	-10.46	-2.17	-69	(1550)	
Vesledalsbreen	4.22	5.32	1.26	40	14.51	3.44	109	- 9.19	-2.18	-69	(1850)	
Tunsbergdalsbreen	50.11	76.86	1.53	48	161.65	3.22	102	-84.79	-1.69	-54	1700	
Nigardsbreen	47.03	91.73	1.95	62	153.45	3.26	103	-61.72	-1.31	-41	1850	
Hardangerjøkulen	17.53	18.71	1.07	34	52.12	2.97	94	-33.41	-1.90	-60	(1950)	
Omnsbreen	1.50	1.64	1.09	35	5.52	3.68	117	- 3.88	-2.59	-82		
Storbreen	5.36	6.54	1.22	39	14.15	2.64	84	- 7.61	-1.42	-45	(2020)	
Hellstugubreen	3.33	3.15	0.95	30	7.41	2.23	70	- 4.26	-1.28	-40	2130	
Vestre Memurubre	9.05	9.48	1.05	33	19.06	2.11	67	- 9.58	-1.06	-34	2170	
Austre Memurubre	8.86	8.81	0.99	31	21.74	2.45	77	-12.92	-1.46	-46	2130	
Gråsubreen	2.53	1.85	0.74	23	5.19	2.04	65	- 3.46	-1.37	-43	(2350)	

MASS EXCHANGE ON GLACIERS IN SOUTHERN NORWAY 1969

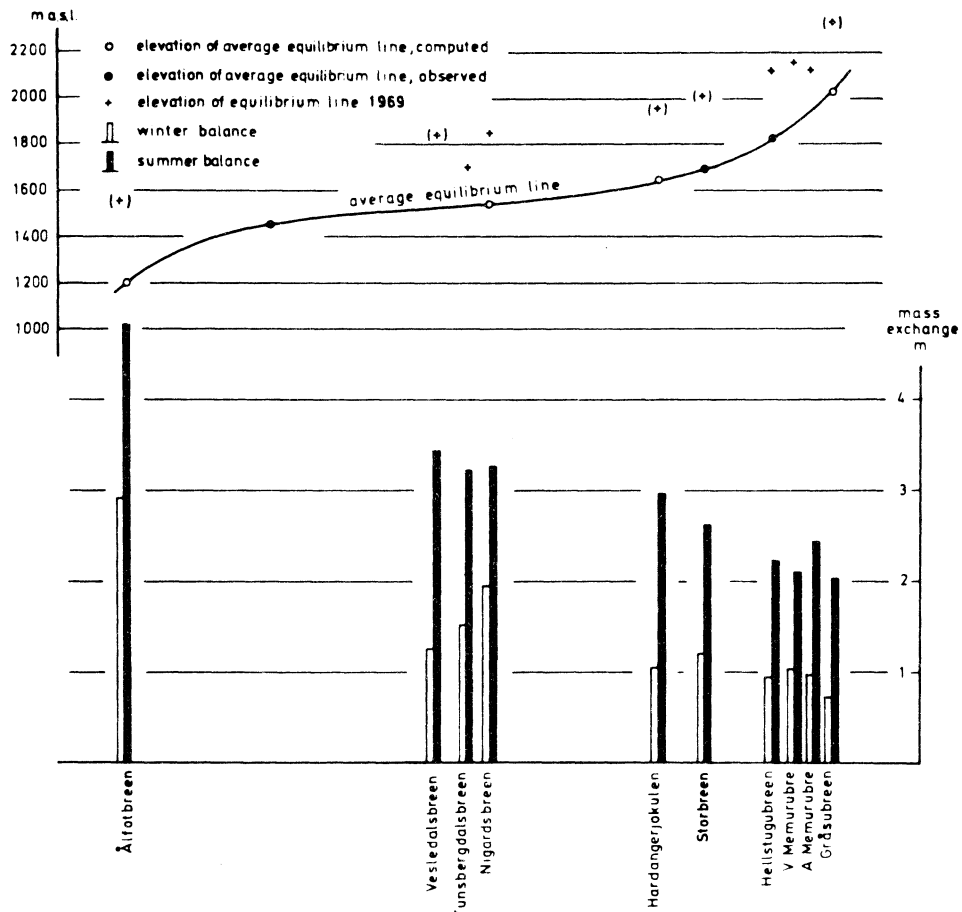


Fig. 40 Materialomsetningen på de undersøkte breene i Sør-Norge. Et profil er lagt fra Ålfotbreen til Gråsubreen, og de øvrige breer er plassert i forhold til likevektslinjens høyde et år breene er i likevekt.

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

Materialomsetningen er sammenliknet innbyrdes og sett i relasjon til den høyde likevektslinjen ville ha et år breene er i likevekt (average equilibrium line).

Se fig. 40.

Materialomsetningen følger et velkjent mønster fra tidligere år slik at den i hovedtrekkene synker fra de maritime områder i vest mot de mere kontinentale områder i øst. Forskjellen mellom vinterbalansen på breene i vest og i øst er noe mindre enn det som er beregnet som en normalverdi, og som i størrelsesorden tilsvarende middelerdien for årene 1963-67 (fig. 41). Vinterbalansen har alltid vært størst på Ålfotbreen og minst på Gråsubreen. I årene 1963-67 var vinterbalansen i middel 4,2 ganger større på Ålfotbreen enn på Gråsubreen, i 1968 var forholdet 4,5 og i 1969 bare 3,6. Denne variasjonen skyldes først og

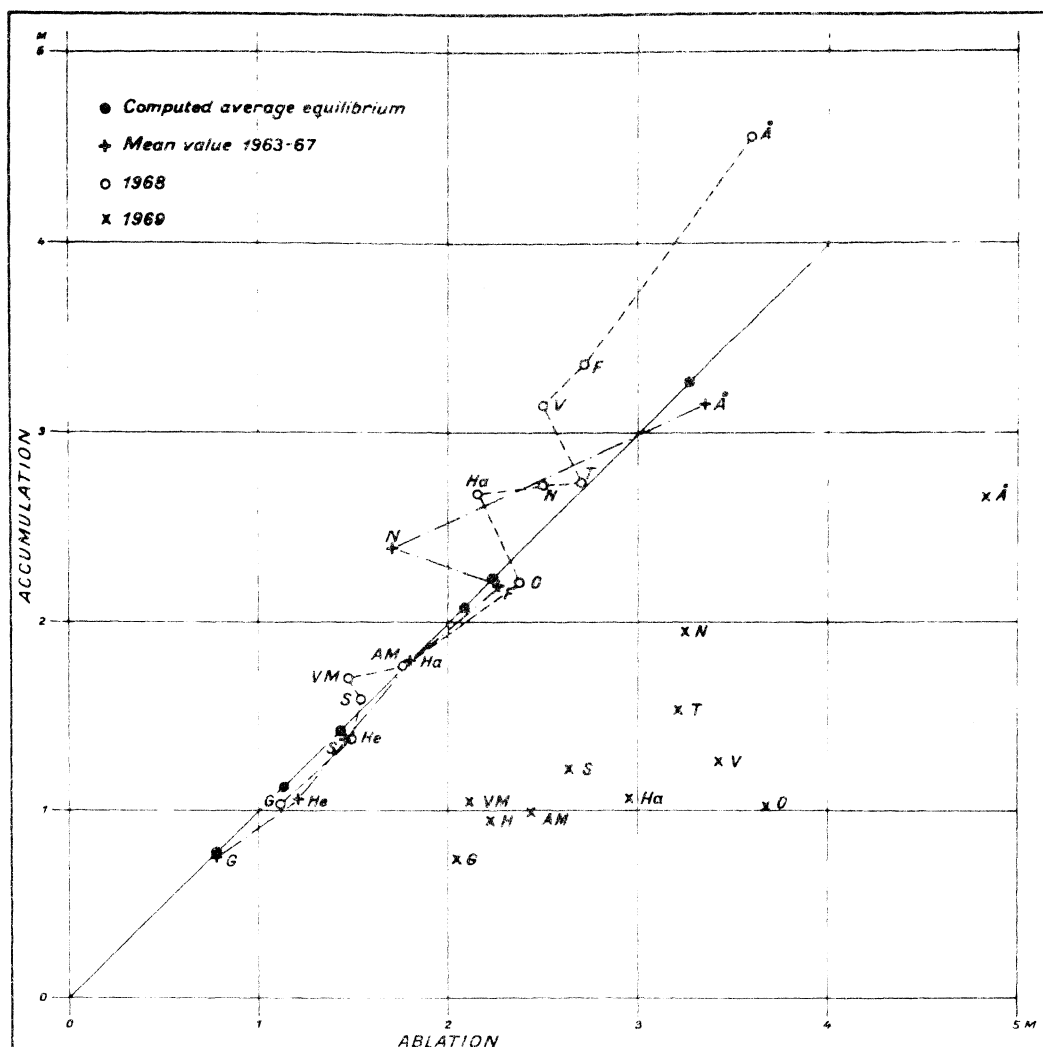


Fig. 41 Diagrammet viser forholdet mellom vinter- og sommerbalanse sett i relasjon til forholdene når breene er i likevekt og har "normal" materialomsetning.
 Å = Ålfotbreen, F = Folgefonna, V = Vesledalsbreen, T = Tunsbergdalsbreen, N = Nigardsbreen, Ha = Hardangerjøkulen, O = Omnsbreen, S = Storbreen, He = Hellstugubreen, VM = Vestre Memurubre, AM = 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.

fremst forskjellig begynnelsestidspunkt for vintersesongen 1969 i forhold til det normale. Videre var det langt større lokale variasjoner i nedbørmengdene enn det pleier å være, uten at dette har ført til at akkumulasjonsmønstrene på de enkelte breene avviker fra det "normale". Av fig. 41 fremgår også at vinterbalansen er spesielt liten på Vesledalsbreen og Hardangerjøkulen i 1969. I de vestlige fjelltrakter var det over korte avstander meget store variasjoner i snødekket (se forøvrig snøakk. kartene fra Met.Inst.).

Sommerbalansen var alle steder betydelig større enn noen gang tidligere siden

de systematiske målingene av materialhusholdningen ble igangsatt i 1962. Sommerbalansen 1969 er beregnet til 4,83 m på Ålfotbreen og 2,04 m på Gråsubreen, mens gjennomsnittet i perioden 1963-67 var henholdsvis 3,36 m og 0,88 m som er meget nær de beregnete normalverdier (fig. 41). Det smeltet overalt is tilsvarende fra 1,0 til 1,5 m vann mere enn det som er beregnet som normalt. Dette skyldes i første rekke den gjennomgående varme sommeren 1969. Lufttemperaturen var i tiden 1. juni-30. september $1,9^{\circ}\text{C}$ høyere enn normalt (1931-60) på Fanaråken, og henholdsvis $1,3^{\circ}\text{C}$ og $0,7^{\circ}\text{C}$ høyere enn normalt i Luster og Oppstryn. Særlig i juni og august var det unormalt høye middeltemperaturer i Sør-Norge.

Vinterbalansen var liten slik at firn og breis ble tidlig eksponert, videre var det de fleste steder ubetydelig nedbør i form av snø denne sommeren. Disse forhold medførte at den midlere albedoverdi for sommeren 1969 var lavere enn f. eks. i 1968, og en større del av den innkommende stråling ble følgelig absorbert av breoverflaten i år enn i fjor. Sommerbalansen var betydelig større i 1969 enn i 1968 til tross for små forskjeller i middeltemperaturen. Dette skyldes bl.a. de forskjellige albedoforhold de to årene.

Det var netto ablasjon alle steder i 1969. Mest minket breene på Nordvestlandet. På Ålfotbreen og Vesledalsbreen var det en midlere minking på nærmere 2,2 m vann, som tilsvarende en ekstra avrenning på 69 l/s km^2 . Nettoablasjonen var mindre i de østlige områder, men også i Jotunheimen minket breene gjennomsnittlig mere enn tilsvarende 1 m vann (31 l/s km^2).

På nesten alle de undersøkte breene var det netto ablasjon over hele breen slik at likevektslinjen lå høyere enn breens høyeste områder. Høyden av en tenkt likevektslinje i området er da funnet ved ekstrapolasjon av nettobalansekurven. I disse tilfeller er høyden av likevektslinjen satt i parenteser i tabellen. Gjennomgående lå likevektslinjen omkring 300 m høyere i 1969 enn når breene er i likevekt (fig. 40).

På de forskjellige undersøkte deler av Jostedalsbreen var det også i 1969 store innbyrdes variasjoner i materialhusholdningen, og dette skyldes vesentlig den forskjellige vinterbalansen de enkelte steder. Vinterbalansen var som nevnt foran spesielt liten på Vesledalsbreen, den var noe større på Tunsbergdalsbreen og størst på Nigardsbreen. Se forøvrig tabellen og figurene 40 og 41.

Den midlere sommerbalanse er omtrent den samme de tre steder, men også i år er spesifikk sommerbalanse i samme høydeintervall større på Nigardsbreen enn på Tunsbergdalsbreen. Dette er hovedårsaken til at nettobalanse-

NET BALANCE DIAGRAMS 1969

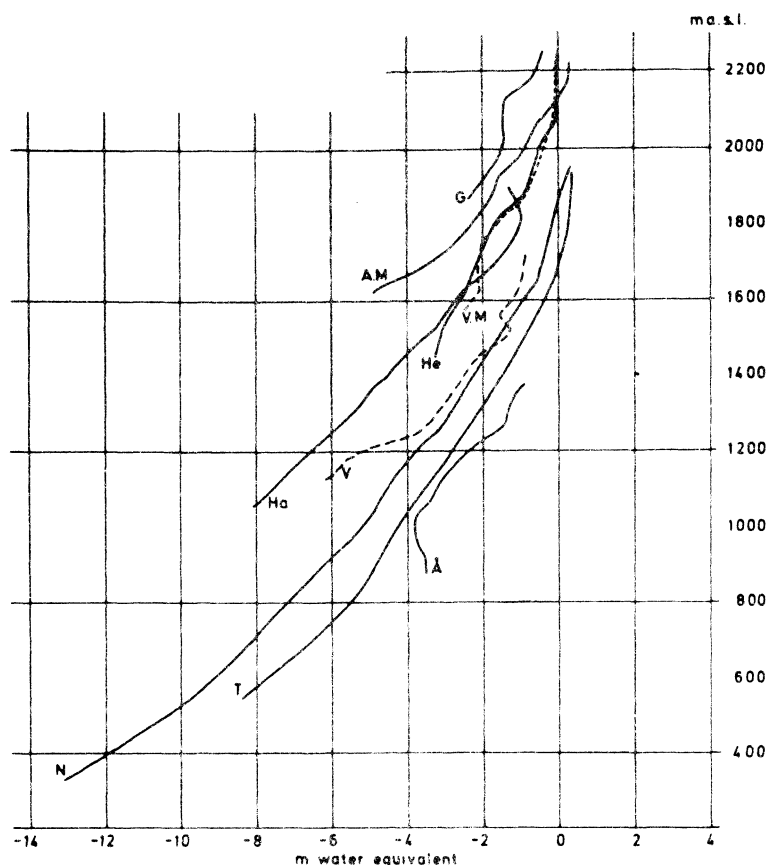


Fig. 42 Nettobalansekurvene for 1969. Å = Ålfotbreen, T = Tunsbergdalsbreen, V = Vesledalsbreen, F = Folgefonna, N = Nigardsbreen, Ha = Hardangerjøkulen, S = Storbreen, He = Hellstugubreen, VM = Vestre Memurubre, AM = Austre Memurubre, G = Gråsbreen.

Net balance curves for 1969. For code explanation see above.

kurven for Tunsbergdalsbreen i diagrammet ligger til høyre for Nigardsbreen's kurve (fig. 42) og derved gir en mindre negativ nettobalanse ved sammenlikning i samme absolute høydeintervall. Den forskjellige høydefordeling for de to breer kompenserer imidlertid dette og fører til at middelveiden av sommerbalansen er omtrent den samme for de to breene. Likevektslinjen ligger også i år betydelig lavere på Tunsbergdalsbreen enn på Nigardsbreen. Disse forhold indikerer at Tunsbergdalsbreen er markert mere maritim enn Nigardsbreen. På Vesledalsbreen avtar sommerbalansen mere med stigende høyde over havet enn på de to sørøstvendte undersøkte utløperne av Jostedalsbreen. Likevektslinjen lå her høyere enn breen og kan således ikke observeres. På grunnlag av ekstrapolasjon antas likevektslinjen i Vesledalsbreområdet å ligge i omtrent i samme høyde som på Nigardsbreen.

Den meget negative nettobalansen på Hardangerjøkulen i 1969 skyldes den

uvanlig snøfattige vinteren i dette området.

I Jotunheimen var vinterbalansen størst på Storbreen med en middelværdi på 1,2 m vann, nær 1,0 m vann på Hellstugubreen og Memurubreene, og omkring 0,7 m vann på Gråsubreen. Sommerbalansen minker også fra vest mot øst med unntagelse av Austre Memurubre. Her er sommerbalansen signifikant større enn på Vestre Memurubre og Hellstugubreen som begge ligger bare ubetydelig lenger vest. Det er sannsynlig at breenes noe forskjellige eksposisjon er medvirkende til dette.

Når sommerbalansen i samme høydenivå sammenliknes er denne omtrent den samme på Hellstugubreen og Vestre Memurubre til tross for at den første er nordvendt og den andre sørvendt. På Austre Memurubre er ablasjonen større enn i samme høyde på breene vestenfor, mens den er mindre enn på Gråsubreen som ligger lengst mot øst. De jevne akkumulasjonsforholdene i området gjør at de lokale variasjonene i sommerbalansen gjenspeiles i kurvene for nettobalansen (fig. 42).

TRIANGULERINGER OG BREBEVEGELSESBEREGNINGER I 1969

Innledning

Etter en supplerende triangulering på Hellstugubreen fikk vi sikker koordinatbestemmelse på våre lokale trigonometriske punkter der. Trianguleringsriss og punktkoordinater er gjengitt på bilag i denne rapport.

Dermed har vi fullført arbeidet med å få koordinatbestemte trigonometriske punkter rundt de breområder der vi foretar fullstendige massebalansemålinger.

På grunnlag av koordinatbestemte punkt omkring breene, og ut fra årets og tidligere års staketrianguleringer, er stakenes bevegelser beregnet. Mange steder har man på grunn av vanskeligheter med å opprettholde stakene mistet en del målepunkter for brebevegelse. I breenes nedre områder, der ablasjonen er stor, må mange staker ombøres, og forflytninger har ikke alltid blitt like nøyaktig innmålt. Staker som står i de øvre breområder snør ofte ned om vinteren. Disse har ikke alltid kommet frem igjen om sommeren, og brebevegelsen har ikke kunnet beregnes. Spesielt på Vestlandets breer har mange staker forsvunnet på denne måten.

Der hvor man har fått 3 eller flere sikt til staker, og altså muligheter for koordinatbestemmelse ut fra flere kombinasjoner har nøyaktigheten som regel ligget innenfor 20-30 cm. En henviser forøvrig til kapitlet om målenøyaktighet i fjorårets rapport.

I 1969 var det alle steder stor negativ materialbalanse, og derved et særdeles gunstig år for brebevegelsestudiene. Vinteren ga lite nedbør, og den varme sommeren resulterte i meget stor avtining. Dette førte til at mange staker som hadde vært nedsnødd siden 1966 nå smeltet fram igjen.

Ålfotbreen

Ålfotbreen er sammen med Nigardsbreen en av de vanskeligste av de undersøkte breer å foreta bevegelsesstudier på. Tidligere år har det bare lyktes å få kontinuitet i en stakerekke fra 11 til 15 nær østsiden av breen, og man trakk derav den noe forhastede slutning at brebevegelsen i maksimalområdet lå på ca. 3-4 m årlig.

I 1969 fikk vi imidlertid ikke bare et større antall staker til å "overleve" vinteren, men det dukket også opp staker som hadde vært nedsnødd siden de ble triangulert i 1966. Vi fikk derved tilstrekkelig med data til å utarbeide et be-

ÅLFOTBREEN

Beregnet brebevegelse 1965 - 1969

Stake nr.	Brebevegelseslengde i m				Brebevegelsesretning i nygrader			
	23/7 1965	30/7 1966	27/8 1968	25/7 1969	23/7 1965	30/7 1966	27/8 1968	25/7 1969
4		4,5		5,3				4
7				14,0				46
11			9,1				395	
13		2,8		2,0				10
14		8,7				391		
15			4,8				35	
17		3,1			30			
18			0,4					30
24		18,0			29			
26		18,0			30			
26-67			15,5					30
32		8,0			32			
34		3,4			39			
37			43			33		
46		2,1	2,2		52		30	
47		4,1	8,2		70		70	

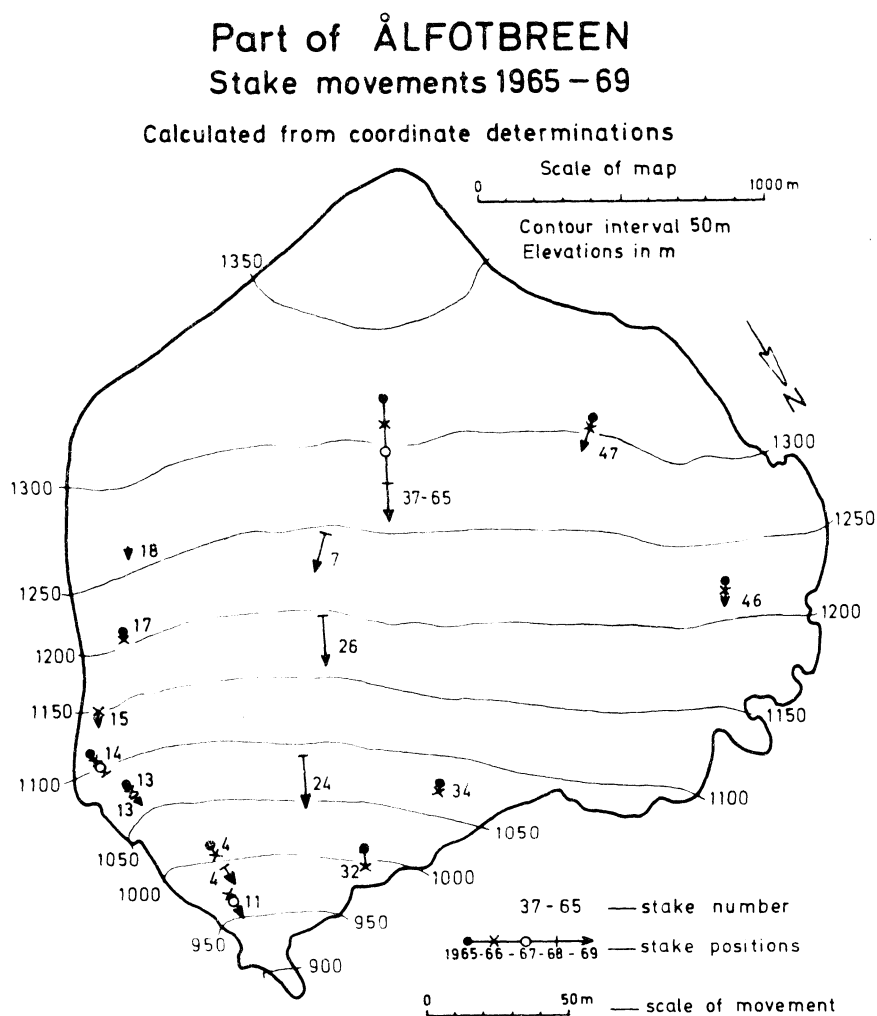


Fig. 43 Brebevegelse på Ålfotbreen i tiden 1965-69.

Glacier movement on Ålfotbreen 1965-69.

vegelseskart også over Ålfotbreen (fig. 43). Det framgår da at brebevegelsen i de sentrale deler av breen er langt større enn langs kantene. På midten av breen var det i perioden 1965-66 bevegelser på omkring 18 m, mens det nær kanten bare var mellom 2 m og 4 m forflytning.

Årsaken til disse store variasjoner kan være at breen er ganske grunn nær land, og har et adskillig større dyp midt uti bassenget, hvilket topografien også tyder på.

Alle de foreliggende resultater fra 1965 til 1969 framgår av tabellen side 61.

Vesledalsbreen

Radioekkoustyret for måling av bremykkelser, som ble prøvet på Vesledalsbreplataet i 1968, gav resultater som det var grunn til å tvile på. Mens bre-

VESLEDALSBREEN

Stake movements 1968-1969
Calculated from coordinate determinations

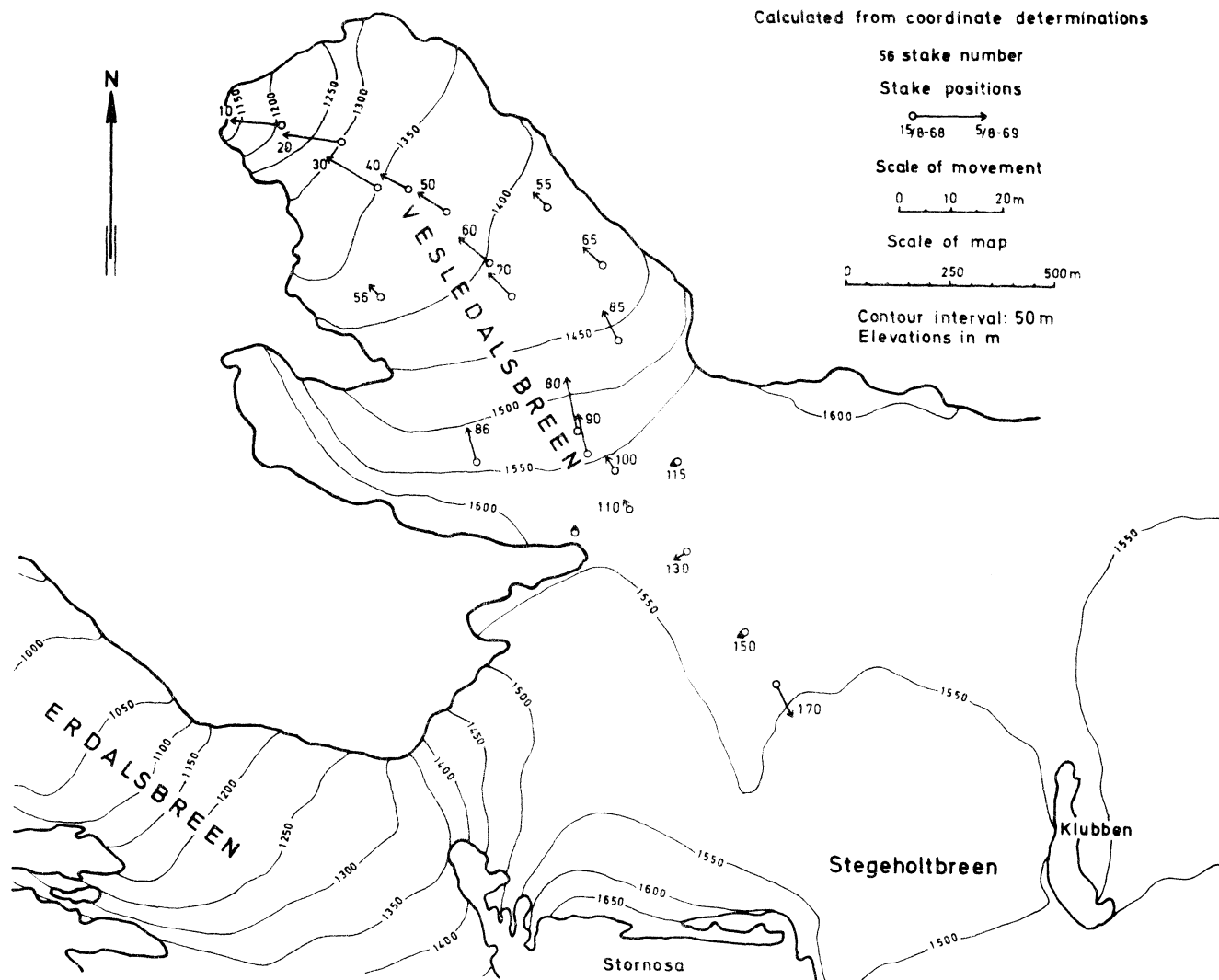


Fig. 44 Brebevegelse på Vesledalsbreen 1968-69.

Glacier movement on Vesledalsbreen 1968-69.

overflatens vannskille går mellom Strynekåpa og Svartefjellet, antydnet radio-ekkomålingene et terrengvannskille som lå vesentlig nærmere Klubben-Stornose. For å klarlegge hvordan breoverflaten beveget seg, ble stakene på platået triangulert så nøyaktig som mulig i 1968 og 1969.

Da man antok at det her var tale om svært små hastigheter, ble trianguleringen foretatt med oppstilling både i de trigonometriske punktene og ved de respektive staker. Stakenes posisjoner kunne dermed beregnes med feilutjamning, og feilellipsenes radier var i alle tilfeller mindre enn 5 cm. Samtlige staker overlevet vinteren, og da ingen av stakene på platået ble omboret mellom trianguleringene, har man garanti for at målingene er absolutt pålitelige. Stakebevegelsene har alle steder fulgt breens fallretning, og det er derfor intet som tyder

på at Vesledalsbreen drenerer annerledes enn breoverflatens topografi tilsier (fig. 44).

De øvrige stakene på Vesledalsbreen ble triangulert ved oppstilling i trig.-punktene, og da disse stakene også ble triangulert i 1968 kunne brebevegelsen for siste år beregnes. Den største bevegelsen fant man her aller nederst på bretungen som også er den bratteste del av breen (fig. 44).

De beregnede bevegelseslengder og -retninger for stakene på Vesledalsbreen og platået mellom Klubben, Stornosi og Svartefjell er gjengitt i tabellform.

VESLEDALSBREEN

Beregnet brebevegelse 15/8-68 - 5/8-69

Stake nr.	Bevegelses- lengde m	Bevegelses- retning nygrader
10	10,0	306
20	10,5	307
30	12,0	335
40	7,4	334
50	7,0	336
55	3,5	350
56	2,7	348
60	6,5	354
65	4,7	345
70	6,5	344
80	10,2	383
85	5,8	379
86	7,1	368
90	8,4	389
100	3,3	360
110	0,9	365
115	0,8	265
116	0,3	222
130	2,5	258
150	1,8	263
170	6,0	168

Nigardsbreen

Det ble sommeren 1969 utsatt 2 nye trigonometriske punkter på Nigardsbretungen, Nigardsbretungen 3 og 4. De ble inntriangulert i forhold til NVE's 2 tidligere trigonometriske punkter ved bretungen. Den lokale overensstemmelse mellom disse 4 punkter er meget god, men da de 2 første punktene, Nigardsbretungen øvre og Nigardsbretungen nedre, ble bestemt ut fra svært spissvink-

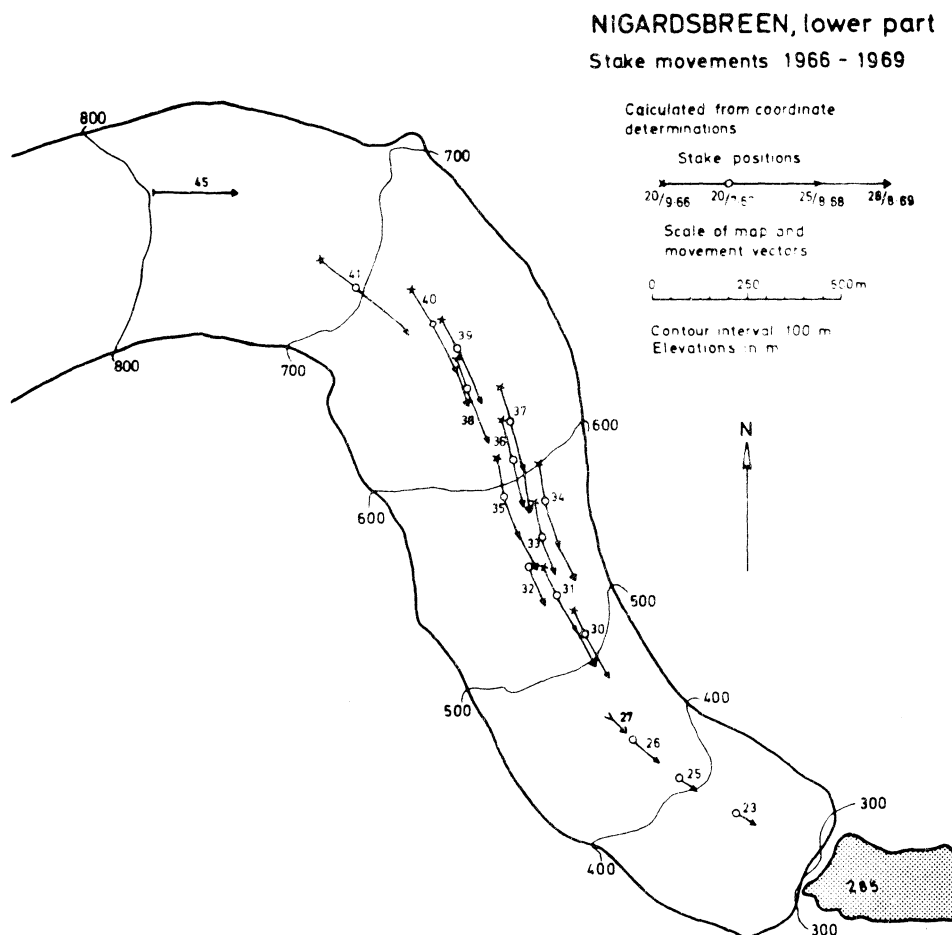


Fig. 45 Brebevegelse på Nigardsbretungen i tiden 1966-69.

Glacier movement on the lower part of Nigardsbreen 1966-69.

lede trekkanter, må disse punktene brukes med et visst forbehold ovenfor NGO-nettet. Trianguleringsriss og koordinatliste foreligger som bilag i denne rapport. De nyutsatte punktene gir oss muligheter for posisjonsbestemmelse av målepunkter på bretungen ved tilbakeskjæring, og altså uten å sikte fra de trigonometriske punktene. Nå kan man derfor også triangulere stakene på bretungen om vinteren selv om trig.punktene da er utilgjengelige. En kan derved undersøke brebevegelsens variasjoner med årstiden.

På grunnlag av de utførte målinger er midlere døgnlig bevegelse i utvalgte perioder beregnet og gjengitt i en tabell. Det fremgår her at sommerbevegelsen er større enn vinterbevegelsen. Spesielt nederst på bretungen er årstidsvariasjonene markante.

Fig. 45 viser hvordan endel utvalgte målepunkter på bretungen har beveget seg i tidsrommet 1966-1969. Fig. 46 viser samtlige målepunkters bevegelse det siste år.

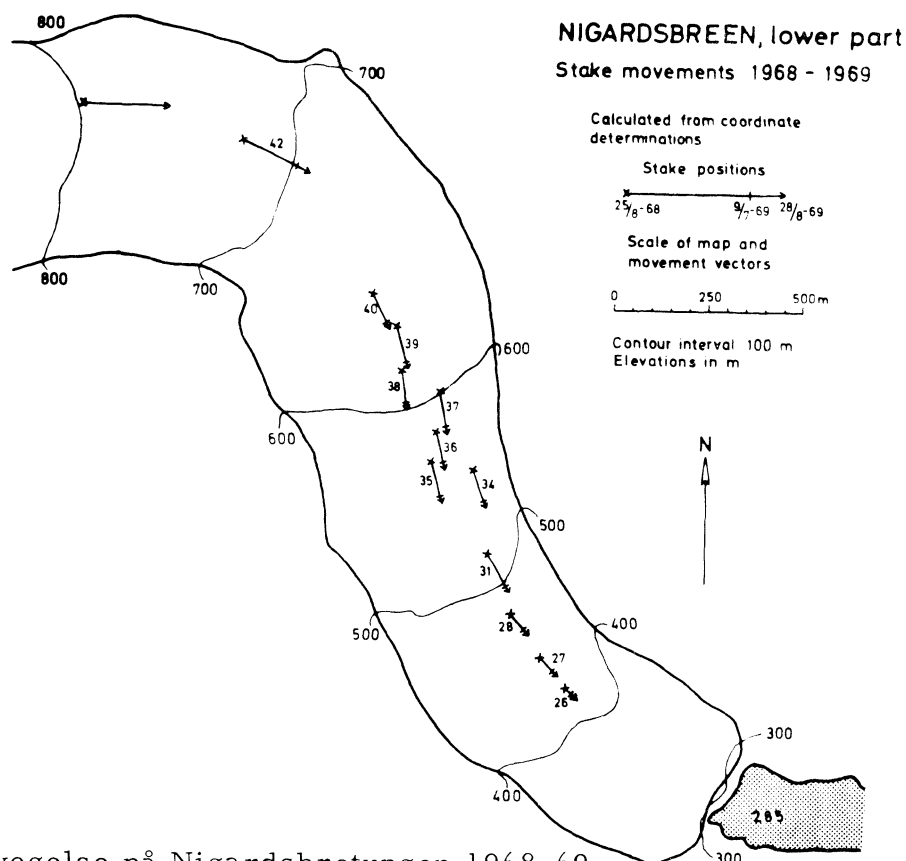


Fig. 46 Brebevegelse på Nigardsbretungen 1968-69.

Glacier movement on the lower part of Nigardsbreen 1968-69.

NIGARDSBRETUNGEN

Beregnet brebevegelse i tiden 20/9-66 - 28/8-69

I 20/9-66 - 20/7-67

III 15/7-68 - 9/7-69

IV a 9/7-69 - 13/8-69

III a 15/7-68 - 25/8-68

II 20/7-67 - 15/7-68

III b 25/8-68 - 9/7-69

IV b 13/8-69 - 28/8-69

Wire nr.	Bevegelseslengde (m)							Døgnl. midlere bevegelse (m/døgn)							Retning		
	I	II	III	III a	III b	IV a	IV b	I	II	III	III a	III b	IV a	IV b	I	II	III a
45																	
42			157		121	33	6			0,44		0,38		0,40			
41	114	152		19				0,38	0,42		0,48				140	148	162
40	102	130	118		102	14	4	0,34	0,36	0,33		0,32		0,27	162	175	
39	96	123	113	16	83	12	5	0,32	0,34	0,31	0,40	0,26		0,33	174	177	161
38	90	118	111	14	96	15	4	0,30	0,33	0,31	0,35	0,30	0,44	0,27	183	180	176
37	80	114	103	14	90	13	5	0,27	0,32	0,29	0,35	0,28	0,38	0,33	188	184	181
36	79	108	106		85	16	5	0,26	0,30			0,27		0,33	190	190	
35	79	111	101	14	99	12	4	0,26	0,31	0,28	0,35	0,31	0,36	0,27	191	178	178
34	74	118	88	14	86	12	4	0,25	0,33	0,24	0,35	0,27	0,36	0,27	190	181	181
33	73	103		15				0,25	0,29		0,36				188	179	171
32		103		14					0,29		0,35					175	166
31	61	100	89		100	11	4	0,20	0,28	0,24		0,32	0,32	0,27	179	167	
30	41	115	77	15				0,13	0,32	0,21	0,36				166	168	158
28					51	9	1					0,16	0,24	0,06			
27			61		45	8	2			0,16		0,14		0,13			
26		69	29	15		7			0,19	0,08	0,36				147	144	
25		46	15	14					0,13	0,04	0,35				141	139	
23		43		16					0,12		0,40				140	137	

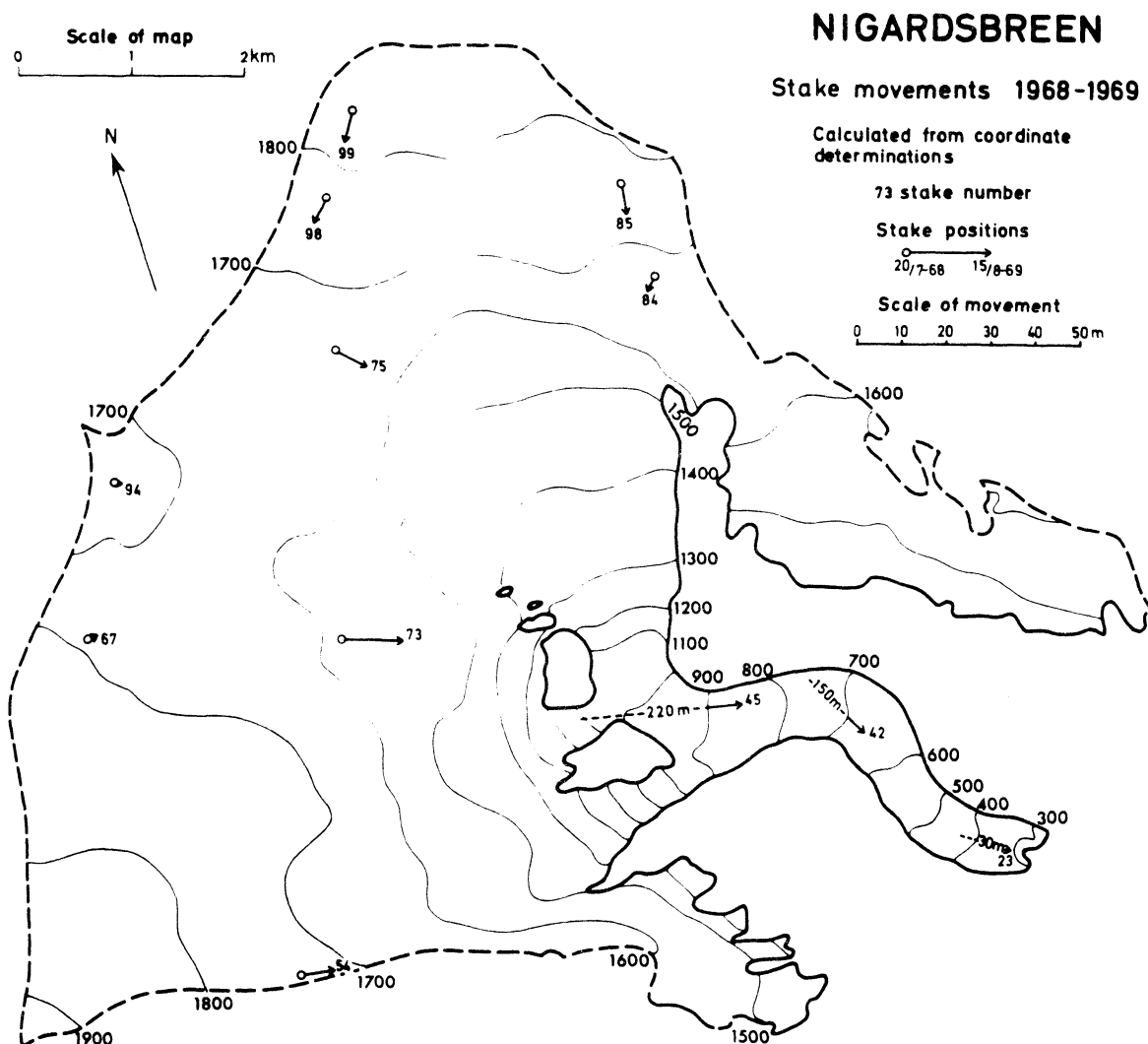


Fig. 47 Brebevegelse på Nigardsbreen 1968-69.

Glacier movement on Nigardsbreen 1968-69.

NIGARDSBREEN - PLATAËT

Beregnet brebevegelse 20/7-68 - 15/8-69

Stake nr.	Bevegelses- lengde m	Bevegelses- retning nygrader
54	8,0	310
67	2,0	290
73	14,3	120
75	8,0	152
84	3,6	252
85	7,4	215
94	0,5	130
98	6,4	250
99	7,0	237
45	220,0	113
42	150,0	171
23	30,0	140

For første gang har vi i år også fått beregnet brebevegelsen i noen punkter på Nigardsbreplataet. Resultatene av dette vises i fig. 47 og i tabellen side 67. Det framgår her at brebevegelsen på plataet er forholdsvis liten. For sammenlikningens skyld er utvalgte målepunkter på tungen tatt med i denne oversikten.

Austre Memurubre

Under trykkingen av kordinatene for de lokale trigonometriske punkter i fjor-årets rapport (bilag) snek det seg inn en trykkfeil i X-koordinaten for tp. 2. Vi håper at ingen andre har benyttet dette punkt ennå, og tillater oss herved å gjengi rettet koordinatliste på bilag i årets rapport.

Triangulering av målestakene på Austre Memurubre 1968 og 1969 ga gode resultater fordi det her er få omboringer og få nedsnødde staker. Stakebevegelsen nedover brebassenget er svært jamn, med unntagelse av stakene på

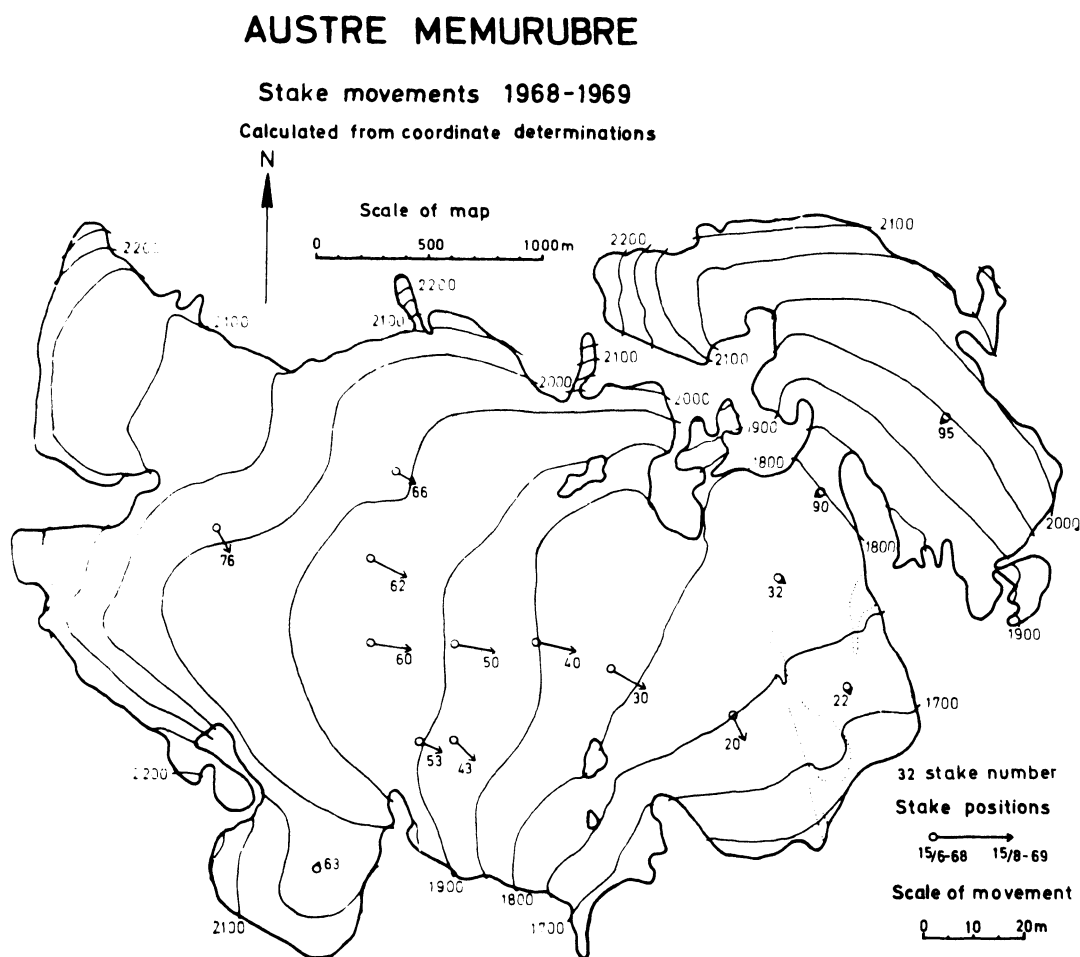


Fig. 48 Brebevegelse på Austre Memurubre 1968-69.

Glacier movement on Austre Memurubre 1968-69.

östsiden av midtmorenen som beveger seg mye langsommere enn de øvrige (fig. 48).

De kvantitative resultater framgår av tabellen nedenfor.

AUSTRE MEMURUBRE

Beregnet brebevegelse 15/6-68 - 15/8-69

Stake nr.	Bevegelses- lengde m	Bevegelses- retning nygrader
20	5,5	167
22	0,6	160
30	1,9	138
32	1,5	55
40	7,5	114
43	5,3	149
50	7,9	113
53	5,6	131
60	7,3	112
62	7,8	132
63	0,7	47
66	4,3	137
76	5,1	168
90	0,1	260
95	0,8	235

Utførte trianguleringsobservasjoner og beregninger ved Brekontoret fram til høsten 1969

Ålfotbreen

Triangulert og beregnet triangelnett rundt breen.

Beregnet brebevegelse 1965-1966-1968-1969.

Folgefonni

Triangulert og beregnet triangelnett rundt breens vestside. Forsøk på samme på østsiden, men foreløpig for dårlig grunnlag.

Beregnet brebevegelse i årene 1963-1965-1966-1968.

Beregnet høydeforandringer av breoverflaten i tiden 1963-1965-1966-1968.

Målingene avsluttet 1968.

Vesledalsbreen

Triangulert og beregnet triangelnett rundt breen.

Beregnet brebevegelse 1968-1969.

Erdalsbreen

Rekognosert og utsatt 2 punkter på Erdalsbreen, men tilknytning til NGO-nettet er ikke foretatt.

Triangulering av staker på Erdalsbreen i 1969, men beregninger ikke foretatt.

Nigardsbreplatået

Triangulert og beregnet triangelnett rundt breen.

Forsøk på brebevegelsesregning 1965-1966-1967-1968, men først 1968-1969 tilfredsstillende resultater.

Nigardsbretungen

Triangulert og beregnet triangelnett rundt breen.

Bevegelsesregning for 1966-1967-1968-1969.

Helstugubreen

Triangulert og beregnet triangelnett rundt breen.

Staketrianguleringer utført av R. Pytte og C. Nielsen 1964-1969, men trigonometrisk beregning av disse data er ennå ikke utført.

Austre Memurubre

Triangulert og beregnet triangelnett rundt breen.

Beregnet brebevegelse 1968-1969.

Gråsubreen

Triangulert og beregnet triangelnett rundt breen.

Beregnet brebevegelse 1966-1968.

Storsteinsfjellbreen

Triangulert og beregnet triangelnett rundt breen.

Beregnet brebevegelse 1964-1967.

Målingene avsluttet 1968.

TO NYE BREKART

Som bilag til nærværende rapport følger to brekart i målestokk 1 : 10 000, "Ålfotbreen" og "Gråsubreen". Derved er den vestligste og østligste bre som for tiden studeres av Vassdragsvesenet blitt kartlagt, og samtlige av de undersøkte breer i Sør-Norge er nå dekket av tidsmessige kart.

Detaljerte undersøkelser ble satt igang på begge de nevnte breer på et tidlig tidspunkt, i Vassdragsvesenets regi f.o.m. balanseåret 1962-63 (Østrem og Liestøl 1964). Gråsubreen var da allerede et år tidligere blitt undersøkt av Tormod Klemsdal som ledd i en hovedfagsoppgave i geografi (Klemsdal 1964, 1968).

Det ble konstruert detaljerte kart over hele Ålfotbreen og omkringliggende landskap tidlig i 1960-årene i samband med aktuelle kraftutbyggingsplaner. Disse kartene, i alt 14 blad i målestokk 1 : 10 000 og med 10 m ekvidistanse, ble konstruert av Knophs Oppmåling på grunnlag av AMS-bilder fra 1955. Passpunkter ble triangulert av samme firma med støtte i de da eksisterende NGO-punkter. (Detaljer med hensyn til de forskjellige triangelnett og passpunkter i området er utredet av Chr. Nielsen i fjorårets rapport fra Brekontoret, (Pytte 1969, s. 72-79). De nevnte detaljkartene ble senere sammensatt til 2 større kart i målestokken 1 : 25 000 av Bremanger Smelteverk i Svelgen. Disse kart var imidlertid dårlig egnet som arbeidskart for bremålinger da breoverflaten p.g.a. dårlig kontrast i flybildene bare var antydnet ved usikre høydekurver. Videre var brebegrensningen fra 1955 svært forskjellig fra den aktuelle kontur i 1963 og følgende år.

For Gråsubreen var situasjonen ikke stort bedre da det eksisterende topografiske kart i målestokken 1 : 100 000 ikke hadde tilstrekkelig nøyaktighet eller detaljer til å danne grunnlaget for bremålingene. I samband med forarbeidene til sin hovedfagsoppgave konstruerte derfor Klemsdal et kart over

LOCATION MAP

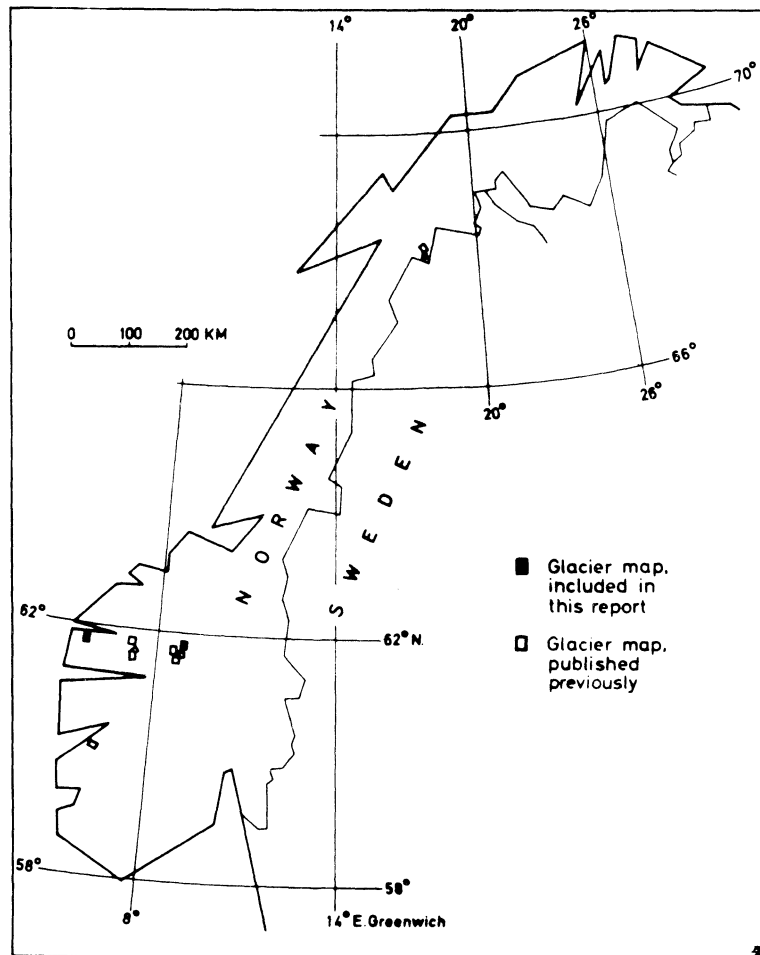


Fig. 49 Oversiktskart over brekart utgitt av NVE.

Index map showing location of glacier maps published by NVE.

breen i målestokk 1 : 5 000 og dette kart tjenestegjorde som grunnlag for bre-målingene i en rekke år.

I 1968 ble begge områdene fotografert av Widerøes Flyveselskap A/S. For Ålfotens vedkommende var dette et ledd i NGO's kartleggingsarbeider (oppgave 3210), for Gråsubreens vedkommende skjedde fotograferingen i samband med en spesialfotografering for Norsk Polarinstitut av en del andre breer i Jotunheimen (oppgave 3207). På grunnlag av vellykkede bilder og en detaljert passpunktsbestemmelse i marken (utført av Chr. Nielsen), ble de to nye brekartene konstruert i en Wild B-8 Aviograf av Peter Vold. Ved reproduksjonen av kartene er det for Ålfotbreen benyttet samme kartografiske teknikk som ved tidligere brekart utgitt av NVE. For nærmere beskrivelse av tekniske detaljer, se Østrem og Pytte 1968, p. 97-98. For Gråsubreen valgte man å legge en grønn tone på breen for å skille denne fra områder som ikke var kartlagt.

Nøyaktigheten er anslått til å være bedre enn 2 m i relativ høydebestemmelse, og bedre enn 5 m i absolutt høydebestemmelse. Største feil i horisontalbestemmelse er under 5 m. For Gråsubrekartet er feilene antakelig noe mindre.

På begge kartene er det tegnet UTM-koordinater for hver 1000 m, mens geografiske koordinater er markert for én lengde og én bredde innen hvert kartblad. På baksiden er det trykt visse opplysninger som kan være til nytte for den som bruker kartet. På baksiden av kartet over Gråsubreen er også gjen-gitt et flybilde for å vise detaljer i den usedvanlig store isfylte endemorenen, detaljer som ikke tydelig vises på selve kartet. Hvilke områder som dekkes av de to nye kartene samt beliggenheten av tidligere utgitte brekart framgår av fig. 49.

BREAVLØP SOM FUNKSJON AV METEOROLOGISKE PARAMETRE

Innledning

Av et diagram som viser variasjoner i temperatur, nedbør og avløp fra en bre kan man trekke visse slutninger angående sammenhengen mellom avløpet og de nevnte meteorologiske parametre. En varm periode gir selvsagt mer smeltevann enn en kjøligere, og det er også klart at kraftige regnvær gir øket vannføring, men det kan være vanskelig å avgjøre hvilke av de to nevnte faktorer som er best korrelert med vannføringen.

En del meteorologiske faktorer som man normalt ikke tenker på i denne forbindelse kan komme til å spille stor rolle for vannføringen fordi en bre reagerer særskilt kraftig på slike faktorer. Som eksempel kan nevnes luftfuktigheten. Fuktig luft vil normalt ikke være årsak til vesentlig større avløp enn tørr luft i en elv som drenerer et brefritt område. Den kalde breoverflaten oppfører seg derimot annerledes enn brefritt område, fordi luftens fuktighet lettere kondenseres på en kaldere flate, og relativt store energimengder (kondensasjonsvarme) frigjøres. Denne energi vil smelte litt av breen, og vi får en øket vannføring i breelven. For hvert gram vanndamp som kondenseres fremkommer ca. 7 g vann. Dette er grunnen til at mange fjellfolk mener at fuktig vind gir mer vann i breelven enn varmt, pent vær. Forutsetningen er da at den absolutte

fuktighet i luften er så stor at metningsgrensen ved 0° overskrides. Videre vil sterk vind føre større luftmasser i kontakt med breoverflaten enn svak vind. Hvis luften er varm eller fuktig vil derfor øket vind bety øket smelting.

En visuell betraktning av et diagram der alle de nevnte meteorologiske faktorer er tegnet opp sammen med variasjonene i vassføringen, vil bare til en viss grad kunne gi svar på spørsmålet om hvilken eller hvilke faktorer som er de vesentlige i avsmeltningsprosessen. En måte å løse problemet på er å foreta detaljerte undersøkelser av energitilførsel i forskjellige former og samtidig måle ablasjonen i relativt korte tidsintervall (et par timer) med stor nøyaktighet. Slike målinger er imidlertid vanskelig å gjennomføre og krever komplisert utstyr. En annen måte å løse problemet på er å undersøke variasjonene i smeltetvannet fra breen, og sammenholde disse med observasjoner av meteorologiske parametre. Som tidsintervall har det vist seg praktisk å velge et døgn, bl.a. fordi de fleste meteorologiske observasjoner foreligger som døgnmidler. Det er denne metode som er brukt ved foreliggende undersøkelse av fem utvalgte breer i Sør-Norge.

Metodikk

Det ville være lett å uttrykke sambandet mellom vassføring i breelven og forskjellige meteorologiske parametre hvis man hadde rendyrkede forsøksbetingelser, slik at man kunne studere innvirkningene fra en variabel ad gangen. Dette lar seg naturligvis ikke gjøre i naturen der alle, eller nesten alle, faktorer påvirker smeltingen samtidig. Derfor har man valgt å benytte en matematisk analysemetode, noe som ble gjort første gang i 1966 da resultatene fra bremålinger i Canada ble analysert (Peterson, 1966, Östrem, 1966). Senere er den trinnvise regressjonsanalysen blitt brukt for studier av avløpet fra norske breer i 1967 og 1968. (Se rapporter fra Vassdragsvesenets glasiologiske undersøkelser for nevnte år).

Ved den matematiske analysen antar man at det eksisterer et lineært samband mellom vassføringen og de meteorologiske parametrene. De sistnevnte betraktes som uavhengig variable og for samtlige tall gjelder det at man benytter døgnlige middelverdier. Tallbehandlingen bygger på en multipel regressjonsanalyse der man finner frem til en funksjon av formen:

$$Q = k_1 X_1 + k_2 X_2 \dots k_n X_n + k'$$

I denne likning er:

Q	dögnlig avløp
k_1 k_2 k_3 osv	konstanter
X_1 X_2 X_3 osv	uavhengig variable, dvs. valgte meteorologiske parametre.

Analysen består normalt i å finne koeffisientene k_1 , k_2 , k_3 , osv. Som regel er det ikke nødvendig å ta med alle de uavhengig variable for å beskrive vassføringen. Det viser seg at vassføringen meget godt kan uttrykkes ved en formel der bare noen få av de meteorologiske parametre inngår, og at innføringen av ytterligere variable ikke øker sikkerheten i resultatet. Ved den foreliggende analyse er det derfor kun tatt med formler der en, to eller tre variable er inkludert.

For en fullstendig beskrivelse av det regnemaskinprogram som er brukt i analysen, henvises til Wöien (1966). Programmet er et standardprogram som bl.a. benyttes ved Norsk Regnesentral (program NRSR - Stepwise Multiple Regression Analysis) der tidligere års resultater er behandlet. For 1969 ble den elektroniske databehandlingen utført ved N.V.E.'s egen Datasentral og kjørt i en maskin av typen CDC 3200. En fullstendig analyse av en sommers resultater fra en bre tar ca. 3 min.

Resultater

For følgende breer er døgnlige avløp i breelven blitt korrelert med meteorologiske observasjoner, både fra Meteorologisk institutts faste stasjoner og fra våre egne brestasjoner:

1. Ålfotbreen
2. Erdalsbreen
3. Vesledalsbreen
4. Nigardsbreen
5. Memurubreen

For hver bre er det utarbeidet 3 tabeller:

- Tabell A: oversikt over foreliggende observasjoner
- Tabell B: et utvalg av interessante korrelasjonskoeffisienter
- Tabell C: regressjonslikninger for avløp

Som regel ble samtlige tilgjengelige observasjonsdata tatt med ved første gangs regressjonsanalyse. Det viste seg snart at enkelte meteorologiske stasjoner ga bedre korrelasjoner med avløpet enn andre, og ved den endelige regressjonsanalyse er det bare tatt med de uavhengig variable som syntes å gi den beste korrelasjon. Videre er det denne gang også innført avledete (transgenererte) variable, som f.eks. produktet av daglig temperatur og vindhastighet, eller produktet av vindhastighet og luftfuktighet. Det viste seg i mange tilfeller at en slik variable kunne beskrive avløpet langt bedre enn noen av de enkle variable.

Da breavløpet en bestemt dag ofte er et resultat av det som skjedde en eller to dager tidligere, ble det foruten de tidligere nevnte variable også tatt med observasjoner fra dagen før, to dager før og tre dager før. For breer med lang dreneringsvei, f.eks. Nigardsbreen, viser det seg at temperaturen målt dagen før er best korrelert med avløpet.

En nærmere presentasjon av beregningene for sommeren 1969 følger nedenfor.

Ålfotbreen

Som ventet i denne nedbørrike delen av Vestlandet spiller nedbøren størst rolle for avløpet i breelven. Hvis bare en av de meteorologiske parametrene skulle tas med i en formel for prognosering av avløpet, ville dette blitt nedbøren slik den er målt samme dag ved observasjonshytta. Hvis tall derfra ikke skulle være tilgjengelige, ser det ut som at nedbørhøyder fra Svelgen er best korrelert med observasjonene ved hytta.

Etter nedbøren er det vinden og luftfuktigheten som er de best bestemmende faktorer for avløpet. Produktet av vinden og luftfuktigheten har høy korrelasjonskoeffisient (0,71) med avløpet. Det er ytterst interessant at en tilsynelatende så viktig faktor som lufttemperaturen spiller en helt underordnet rolle

Tabell I A

ÅLFOTBREEN 1969

Oversikt over observasjoner i perioden 30/6-16/7 og 12/8-30/9 (17 + 50 = 67 døgn)

Observasjonssteder	H. o. h. m	Anvendte symboler					Døgnmiddel					Temp. gradient °C/100 m
		temp.	nedb.	vindhast.	skydekke	luftfukt	°C	mm	m/s	%	mb	
Førde (Sunnfj.)	3	t	P				12.3					0.696
Svelgen	16		PS					11.5				
Davik	32		PD					9.4				
Ålfoten II	24		PA					8.2				
Obs. hytta (ca. 100 m øst for bretungen)	905	t'	P'	V'	C'	f'	6.1	16.1	6.3	74	8.1	

Døgnl. avløp er målt i bre-elva, VM 1441 (til 16/7) og VM 1775 (fra 12/8). Døgnmiddel $26.86 \cdot 10^4 \text{ m}^3$. Bredekn. = 59%.

Tabell I B

ÅLFOTBREEN 1969

Korrelasjonskoeffisienter for daglige observasjoner

Jevnførte observasjoner (utvalg)	Korrelasjons- koeffisient
Avløp $Q_n - P'$	0.77
" " - $(V' \cdot f')_n$	0.71
" " - V'_n	0.64
" " - P'_{n-1}	0.61
" " - V'_{n-1}	0.47
" " - f'_n	0.29
" " - t_n	0.17
$t - t'$	0.90
PS - P'	0.79

n = samme dag, n-1 = dagen før

Tabell I C

ÅLFOTBREEN 1969

Regressjonslikninger for avløp

Antall variable	Likning for vassføring $Q = (10^4 \text{ m}^3 \text{ pr. døgn})$	Multipel korr. koeff.	Residual std. error
1	$0.52 P'_n + 18.37$	0.77	11.5
2	$0.37 P'_n + 0.30 (V' \cdot f')_n + 5.75$	0.83	10.1
3	$0.26 P'_n + 0.31 (V' \cdot f')_n + 0.22 P'_{n-1} + 3.51$	0.87	8.9

for avløpet fra Ålfotbreen. Dette gjelder også for sommeren 1969, da det var usedvanlig mange perioder med høy temperatur og lite nedbør.

At lufttemperaturen spiller så underordnet rolle vil sikkert virke overraskende på den som vanligvis arbeider med breer i kontinentale strøk. Ålfotbreen er derfor et meget interessant studieobjekt da liknende undersøkelser neppe forekommer på breer i et så maritimt miljø.

Erdalsbreen

Denne bre inntar tydeligvis en mellomstilling mellom en maritim og kontinental type. Av det relativt store antall meteorologiske observasjoner som er tilgjengelige viser det seg at ingen enkel parameter får særlig høy korrelasjon med avløpet. Erdalsbreen danner i denne forbindelse en absolutt unntagelse.

Tabell 2 A

ERDALSBREEN 1969

Oversikt over observasjoner i tiden 29/6-29/8 (62 døgn)

Observasjons- steder	H o. h. m	Anvendte symboler					Døgnmiddel				
		temp.	nedb.	luftfukt.	vindhast.	skydekke	°C	mm	mb	m/s	%
Oppstryn (met. st. 5870)	205	t	P				15.6	2.5			
Hytte ved Er- dalsbretungen	900		P'					4.1			
Nedre hytte Vesledalsbre	1130	t''	P''				7.3	3.5			
Ovre hytte Vesledalsbre (ved firnområdet for begge breer)	1590	t'''	P'''	f'''	V'''	C'''	5.2	3.7	7.5	5.6	6.6

Avløp Q_n er målt ved bretungen, VM 1771 (døgnmiddel $55.60 \cdot 10^4 \text{ m}^3$), bredekning = 82%

Tabell 2 B

ERDALSBREEN 1969

Korrelasjonskoeffisienter for daglige observasjoner

Jevnførte observasjoner (utvalg)	Korrelasjons- koeffisient
Avløp $Q - (V''' \cdot f''')_n$	0.49
" - V'''_n	0.48
" - $(V''' \cdot f''')_{n-1}$	0.37
" - P'''_n	0.37
" - P'_n	0.32
P - P'	0.81
P - P'''	0.84
t - t''	0.88
t - t'''	0.90

n = samme dag, n-1 = dagen før

Tabell 2 C

ERDALSBREEN 1969

Regressjonslikninger for avløp

Antall variable	Likning for vassføring $Q = (10^4 \text{ m}^3 \text{ pr. døgn})$	Multipel korr. koeff.	Residual std. error
1	$0.42 (V''' \cdot f''')_n + 37.59$	0.49	19.39
2	$0.76 (V''' \cdot f''')_n - 0.37 (V''' \cdot t''')_n + 33.81$	0.57	18.31

OBS Ingen andre variable var signifikante på 5%-nivået for å bli inkludert i likningen.

Vind og fuktighet betyr riktignok mest for avløpet, og temperaturen har relativt liten betydning på samme måte som ved Ålfotbreen, men korrelasjonskoeffisientene er gjennomgående meget små, og det er vanskelig å finne en god formel for prognosering av avløpet. Ved å bruke den beste faktor, produktet av vind og luftfuktighet målt samme dag i firnområdet, får man ikke større korrelasjonskoeffisient enn 0,49, og standardavviket i beregnet avløp blir hele 35 %. Det er vanskelig å forklare hvorfor det blir så dårlig resultat for Erdalsbreen når avløpet fra den nærliggende Vesledalsbreen synes å være langt lettere å uttrykke i en formel. Forholdene ved Erdalsbreen bør derfor undersøkes nærmere.

Det skal til slutt nevnes at ingen andre variable enn produktene av vind og fuktighet, samt av vind og temperatur var tilstrekkelig korrelert med avløpet til at de kunne tas med i regressjonslikningen (for et signifikansnivå på 5 %).

Vesledalsbreen

Ved Vesledalsbreen finnes det et godt nett av observasjonsstasjoner, idet man har både den meteorologiske stasjon Oppstryn og to observasjonshytter ved breen. Ved den øverste av disse foretas de fleste observasjonene og verdiene derfra har vist seg å være best korrelert med avløpet. Konstellasjonen temperatur og vind, matematisk uttrykt som et produkt, viste seg å være den parameter som best beskrev vassføringen i breelven. Ved å bruke bare denne ene faktor (observert dagen før), vil regressjonsformelen gi en standardfeil i beregnet avløp på 24 %. Ved å øke antall variable til tre, avtar standardavviket til 19 %. Ved korttids-prognosering synes det her å være mulig å beregne ventet avløp med et ganske godt resultat forutsatt at man kjenner temperatur og vindhastighet.

Luftfuktigheten spiller her noe mindre rolle enn ved Erdalsbreen og langt

Tabell 3 A

VESLEDALSBREEN 1969

Oversikt over observasjoner i perioden 29/6-29/8 (62 døgn)

Observasjonssteder	H o. h. m	Anvendte symboler					Døgnmiddel					Temp. gradient °C/100 m
		temp.	nedb.	vind	sky-dekke	luft-fukt.	°C	mm	m/s	%	mb	
Oppstryn (met. st. 5870)	205	t	P				15.6	2.4				1.14
Nedre hytte (ved brefronten)	1130	t'	P'				7.3	3.5				0.46
Øvre hytte (ved breens høyeste del)	1590	t''	P''	V''	C''	f''	5.2	3.7	5.6	65	7.5	

Daglig avløp (Q) er målt ved brefronten, VM 1769 (døgnmiddel $20.20 \cdot 10^4 \text{ m}^3$). Bredekning = 60%.

Tabell 3 B

VESLEDALSBREEN 1969

Korrelasjonskoeffisienter for daglige observasjoner

Jevnførte observasjoner (utvalg)	Korrelasjonskoeffisient
Avløp $Q_n - (t'' \cdot V'')_{n-1}$	0.81
" " $- (t'' \cdot V'')_n$	0.79
" " $- f''_{n-1}$	0.79
" " $- t'_{n-1}$	0.79
" " $- t'_n$	0.73
" " $- f''_n$	0.73
" " $- t_n$	0.71
" " $- (f'' \cdot V'')_{n-1}$	0.69
" " $- V''_{n-1}$	0.47
P - P'	0.89
P - P''	0.84
t - t'	0.88
t - t''	0.90
t' - t''	0.89
t'' - C''	-0.76

n = samme dag, n-1 = dagen før

Tabell 3 C

VESLEDALSBREEN 1969

Regressjonslikninger for avløp

Antall variable	Likning for vassføring, $Q = (10^4 \text{ m}^3 \text{ pr. døgn})$	Multipel korr. koeff.	Residual std. error
1	$0.22 (t'' \cdot V'')_{n-1} + 13.73$	0.81	4.9
2	$0.16 (t'' \cdot V'')_{n-1} + 2.34 f''_n - 1.88$	0.87	4.1
3	$0.12 (t'' \cdot V'')_{n-1} + 1.61 f''_n + 0.08 (t'' \cdot V'')_n + 2.29$	0.89	3.8

mindre rolle enn ved Ålfotbreen. Vesledalsbreen virker derfor å være en mer kontinental type enn Ålfotbreen og Erdalsbreen, hvis vi i denne forbindelse forutsetter at maritime luftmasser normalt forårsaker sterk kondensasjon.

Av korrelasjonsberegningene fremgår det også at temperaturen ved øvre hytte på breen er meget godt korrelert med temperaturen i Oppstryn. Videre er den

omvendt korrelert med skydekket, noe som viser at temperaturen er meget avhengig av innstrålingen. Istedenfor å bruke lufttemperaturen som variabel ville det vært mer interessant om vi hadde hatt tilsvarende tall fra direkte strålingsmålinger på breen. På den annen side er temperaturobservasjoner langt lettere å foreta, og middeltemperaturer er lettere tilgjengelige. For avløpsprognoser vil det være mest realistisk å bygge på de vanlige meteorologiske standardobservasjonene.

Nigardsbreen

Etter at bremålinger ble igangsatt på Nigardsbreen opprettet Meteorologisk institutt klimastasjonen Bjørkehaug. Observasjoner derfra er brukt i beregningene sammen med de noe fyldigere observasjonene fra hytta på Steinmannen. På breplatået, 1773 m o. h., ble lufttemperatur observert hele sommeren, og denne viser en høy korrelasjon med avløpet neste dag. Lufttemperaturen og luftfuktigheten dominerer blant de faktorer som påvirker avløpet fra Nigardsbreen.

Ved å bruke den formel som regressjonsberegningen ga med en uavhengig variabel, får man en relativt god overensstemmelse mellom beregnet og målt avløp. Standardavviket blir bare 17 % når man bruker temperatur målt ved Steinmannen dagen før. Tar man også med luftfuktigheten målt samme sted to dager før, blir resultatet ennå bedre. Standardavviket synker til bare 13 %. Dette må sies å være et meget godt resultat. At fuktigheten kommer med i regressjonslikningen viser at det må forekomme en betydelig kondensasjon også på Nigardsbreen, i motsetning til forholdene ved breer lengre inn i landet der kondensasjonen gjennomgående er av mindre betydning. Det bør observeres at for Nigardsbreen er vindhastigheten slett ikke korrelert med vassføringen. Dette kan bety at observasjonsstedet ikke er representativt for de virkelige vindforhold ute på breen, og dette bør derfor bli nærmere undersøkt.

Tabel 4 A

NIGARDSBREEN 1969

Oversikt over observasjoner i perioden 1/7-31/8 (62 dogn)

Observasjonssteder	H o. h. m	Anvendte symboler					Døgnmiddel					Temp. gradient °C/100 m
		temp.	nedb.	luftfukt.	vindhast.	skydekke	°C	mm	mb	m/s	%	
Bjørkehaug (met. st. 5543)	280	t	P				14.9	2.2				0.69
Observasjonshytta ved "Steinmannen" på Hauganosi	1620	t'	P'	f'	V'	C'	5.7	2.4	7.8	4.7	6.5	
"Breplatået", termografhus ved stake 65	1773	t"					2.9					2.00

Døgnlige avløp er målt ved utløpet av Nigardsvatn, VM 1408 (døgnmiddel $225.61 \cdot 10^4 \text{ m}^3$). Bredekning = 73%.

Tabell 4 B

NIGARDSBREEN 1969

Korrelasjonskoeffisienter for daglige observasjoner

Jevnførte observasjoner (utvalg)	Korrelasjonskoeffisient
Avløp $Q_n - t''_{n-1}$	0.88
" " $- t'_{n-1}$	0.87
" " $- f'_{n-1}$	0.87
" " $- f'_{n-2}$	0.86
" " $- t'_n$	0.86
" " $- t''_n$	0.84
" " $- t_n$	0.84
" " $- C'_n$	-0.52
$t - t'$	0.92
$t - t''$	0.89

n = samme dag, n-1 = dagen før, n-2 = to dager før

Tabell 4 C

NIGARDSBREEN 1969

Regressjonslikninger for avløp

Antall variable	Likning for vassføring $Q = (10^4 \text{ m}^3 \text{ pr. døgn})$	Multipel korr. koeff.	Residual std. error
1	$25.82 t'_{n-1} + 149.69$	0.88	38.3
2	$15.88 t'_{n-1} + 22.10 f'_{n-2} + 5.77$	0.93	29.7
3	$17.16 t'_{n-1} + 21.31 f'_{n-2} + 3.37 P_n + 0.74$	0.94	27.1

Memurubreen

Fra sommeren 1969 foreligger det relativt fullstendige observasjoner ved en hytte i breens firnområde, 1860 m o.h. Der observeres vindhastighet og skydekke i tillegg til de vanlige temperatur- og nedbørmålinger. Dessverre foreligger det ingen observasjoner av luftfuktigheten.

Likesom i 1968 viser det seg nå at lufttemperaturen er den absolutt overveiende faktor i avsmeltingsforløpet. De "beste" temperaturtall synes å være lufttemperaturen målt ved Varden på Filefjell; denne temperatur målt samme dag viser en så høy korrelasjonskoeffisient som 0,84 med avløpet. Temperatur

Tabell 5 A

MEMURUBREEN 1969

Oversikt over observasjoner i tiden 21/6-31/8 (72 døgn)

Observasjons- steder	H o. h. m	Anvendte symboler				Døgnmiddel				Temp.gradient °C/100 m
		temp.	nedb.	vindhast.	skydekke	°C	mm	m s	%	
Nedre hytte i dalen mellom O. og V. Memurubre	1520	t	P	V	C	8.1	2.4	2.6	6.3	<div style="display: flex; justify-content: space-around; align-items: center;"> <div style="text-align: center;"> \uparrow 0.63 \downarrow 0.66 \downarrow </div> <div style="text-align: center;"> \uparrow 0.69 \downarrow 0.65 \downarrow </div> </div>
Varden, Filefjell (met. st. 5475)	1010	t'	P'			11.3	1.4			
Fanaráki (met. st. 5523)	2060	t''	P''			4.4	2.8			
Ovre hytte i firn- området O. Memurubre	1860	t'''	P'''	V'''	C'''	5.7	2.8	3.4	6.4	

Døgnlig avløp er målt ved VM 1698 (1495 m o. h.) nedenfor nedre hytte. Døgnmiddel = $34.97 \cdot 10^4 \text{ m}^3$.
Bredekning = 55%.

Tabell 5 B

MEMURUBREEN 1969

Korrelasjonskoeffisienter for daglige observasjoner

Jevnførte observasjoner (utvalg)	Korrelasjons- koeffisient
Avløp Q - $(t'_n)^{1.6}$	0.84
" - t'_n	0.84
" - t_n	0.81
" - t_{n-1}	0.76
" - t'_{n-1}	0.75
" - t'''_n	0.74
" - t''_n	0.74
" - $(t''', V''')_n$	0.62
t - t'	0.97
t''' - t'	0.95
t - t''	0.96
t''' - t''	0.97
P''' - P'	0.81
P''' - P''	0.25
C - C'''	0.97

n = samme dag, n-1 = dagen før

Tabell 5 C

MEMURUBREEN 1969

Regressjonslikninger for avløp

Antall variable	Likning for vassføring $Q = (10^4 \text{ m}^3 \text{ pr. døgn})$	Multipel korr. koeff.	Residual std. error
1	$0.60 (t'_n)^{1.6} + 5.31$	0.84	8.65
2	$0.66 (t'_n)^{1.6} + 2.60 V'''_n - 6.77$	0.89	7.21
3	$0.68 (t'_n)^{1.6} + 2.43 V'''_n + 0.41 P_{n-1} - 8.28$	0.91	6.77

målt ved øvre og nedre hytte gir en noe lavere koeffisient, mens de derimot hver for seg er godt korrelert med observasjoner både fra Varden og Fanaråki. For nedbørsobservasjoner gjelder det at tall fra Fanaråki neppe er representative for Memurubreen, mens tall fra Varden viser relativt god korrelasjon med tilsvarende tall fra øvre hytte.

Tidligere preliminnære undersøkelser har vist at hvis man opphøyer døgnmiddeltemperaturen i en passende potens, og f.eks. danner en ny variabel $t^{1,5}$, viser det seg at denne nye variable beskriver avløpet bedre enn temperaturen alene. I 1969 var eksponenten 1.6 best, og formelen med $t^{1,6}$ beskrev vassføringen så godt at standardavviket ble bare 25 %. Hvis også vindhastigheten tas med i regressjonslikningen, synker feilen til 20 %, og dette må betraktes som et godt resultat.

At størrelsen $t^{1,6}$ er bedre som variabel i regressjonsanalysen enn t alene, kan henge sammen med breens arealfordeling. For en lav temperatur er bare en begrenset, nedre del av breen utsatt for smelting, og etter som temperaturen stiger, kommer stadig større breområder med i den "aktive" delen. Hvis derfor breens firnområde har en form som gjør at flateinnholdet øker sterkt med høyden, vil noen graders økning i lufttemperaturen kunne forvandle relativt store breflater fra å være "uaktive" til å bli "aktive" som smeltvannprodusenter. Vassføringen stiger da betydelig mer for en liten temperaturøkning enn for en tilsvarende økning ved lavere temperaturer.

For tiden pågår undersøkelser for å bringe på det rene hvorvidt breens arealfordeling kan trekkes inn i regressjonsanalysen og derved evt. øke sikkerheten i fremtidige metoder for prognosering av breavløp.

SUMMARY

Mass-balance studies and hydrological and meteorological observations

The current program of glacio-hydrological measurements on Norwegian glaciers was continued in 1969 on nine glaciers in southern Norway (Ålfotbreen, Vesledalsbreen, Tunsbergdalsbreen, Nigardsbreen, Hardangerjøkulen, Hellstugubreen, Vestre and Austre Memurubre and Gråsubreen). On four glaciers meteorological observations were made during the main part of the summer season.

Because the planning of the hydro-electric power stations in Mauranger and Skjomen had been completed, the special glacio-hydrological investigations in these areas (covered by the glaciers Folgefonni, Blåisen, Storsteinsfjellbreen and Cainhavarre) were terminated in 1969.

Mass-balance studies

The mass-balance studies were carried out by the standard methods previously described by Østrem and Karlén (1962), Pytte and Østrem (1965), Pytte (1967, 1969) and others. The mass changes in the glacier during a glaciological year were calculated.

Accumulation includes all the processes by which the mass of snow and ice increases; ablation includes all the processes by which the mass decreases.

The main part of the change in mass is assumed to take place in a relatively thin surface layer of the glacier. In mass-balance measurements, however, the mass exchange from the base to the surface of the glacier is considered, so that sub- and englacial accumulation and ablation should be included.

In our measurements the surface accumulation and ablation are included, and the refreezing of meltwater is taken into account.

The mass-balance terminology recently published by Unesco (1969) and reprinted in the Journal of Glaciology (Meier 1968) is used, as in 1967 and 1968. The measurements were made according to the stratigraphical system based on 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. in 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 a large number of snow-depth measurements, normally by sounding, and the snow density was measured at only a few points. As one is seldom able to do 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 covering the distribution of the winter balance are presented in the report.

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

A diagram showing the mean winter, summer and net balances in each 50-m or 100-m height interval is presented for each glacier. The area distribution and the areal net balance are also illustrated. A table showing the results from each glacier is included in the main text.

On several of the glaciers there are fairly large numbers of stakes. As 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. In 1968 a computer program for such calculations and the construction of stake diagrams was worked out.

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, and the general glaciological situation is also of great importance.

By using ordinary rules for calculating the accuracy of the results, an accuracy of 4-8 % is found when the winter and summer balances are of the order of magnitude of 2 m of water equivalent (Pytte 1963, 1964). Thus the absolute accuracy is better than 20 cm of water equivalent. With increasing balance values the absolute accuracy decreases somewhat.

The experience and thoroughness of the personnel are also very important for the quality of the results. The final judgement of the accuracy then has to be a subjective evaluation of the various factors.

In our measurements the accuracy of the winter and summer balances is always better than 10 %; if there have been no special difficulties, the absolute accuracy is better than 25 cm on the net balance.

The mass-balance values in 1969 also generally decreased from the maritime western areas to the continental eastern areas (Fig. 40). The difference in the winter balance on the western and eastern glaciers in 1969 was less than the calculated mean value, which corresponds fairly well to the mean of the years 1963-67 (Fig. 41).

The beginning of the winter season of 1969 varied at different elevations and in different areas, and unusually large local variations in snow accumulation were observed. In spite of this, the distribution patterns of winter balance on the glaciers were similar to those in previous years.

On all the glaciers observed the summer balances had the highest values since these measurements were started by NVE in 1962. The mean values of the summer balances varied between 4.83 m of water equivalent on Ålfotbreen and 2.04 m on Gråsubreen, whereas the mean values for the period 1963-67 were 3.36 m and 0.88 m respectively. This is very close to the computed "normal" values (Fig. 41). On all glaciers the summer balances were between 1.0 m and 1.5 m of water equivalent larger than the 1963-67 means.

This was partly due to unusually high summer temperatures; the mean air temperatures from June 1 to Sept. 30 were 1-2° C higher than the normal at selected meteorological stations in the area.

The sparse winter balance resulted in the early uncovering of firn and glacier

ice, which increases the average albedo of the glacier surface. Thus a larger part of the incoming radiation energy was absorbed by the glacier.

The summer balance in 1969 was definitely higher than that of 1968, even though the mean summer temperatures in the two years were approximately the same. This must partly have been due to the exceptional albedo conditions in 1969.

On all glaciers there were fairly large negative net balances, and the glaciers in the northwestern areas showed the largest decreases in mass. On Ålfotbreen and Vesledalsbreen the net balances were close to 2.2 m of water equivalent, which corresponds to an extra discharge of 69 l/s km². In the eastern areas the net balances were approximately 1 m of water equivalent (31 l/s km²).

On most of the glaciers there were net balances in all areas of the glacier and thus the equilibrium line could not be observed on the glacier itself. In these cases an equilibrium line in the area was estimated by extrapolating the balance curves in the balance diagram (Figs. 5 and 11). In 1969 the equilibrium line was generally about 300 m higher than when the glaciers are in equilibrium.

Meteorological and hydrological investigations

Meteorological observations of cloud cover, air temperature, wind conditions, precipitation and discharge in the glacier river were made on Ålfotbreen, Nigardsbreen, Austre Memurubre and Vesledalsbreen. Except for Austre Memurubre, the air humidity was observed for part of the summer. The results are given in a diagram for each glacier.

The temperature gradient between the glacier area and the meteorological stations in the vicinity has been computed, and also the gradient within the glacier area, in those cases in which measurements were available from more than one place. By postulating the same temperature gradient above a glacier-free and a glacier-covered surface, the observations on Nigardsbreen gave a decrease in temperature on the glacier, and a mean value of 2° C was found. This is in accordance with previous measurements. Due to glacier wind at the lower station on Vesledalsbreen, the higher station seems to be the more representative of this area.

Daily precipitation was measured at the observation huts. The precipitation was very small in southern Norway in June and August 1969. In July and September, however, the precipitation was far larger than the normal value.

The distribution of summer precipitation was studied (Figs. 8, 14 and 36) and the mean precipitation compared with that at nearby meteorological stations. The results correspond well with what has been found in previous years. The mean precipitation for the whole summer in the Ålfotbreen basin was almost three times larger than that in the valley. On Vesledalsbreen the precipitation for the whole summer was almost twice that of the best correlated valley station, but here the correlation factor seemed to be influenced by the wind direction, which caused the precipitation to decline.

On Nigardsbreen the observations this year were not sufficient to describe the precipitation pattern. In Jotunheimen the precipitation was very small and evenly distributed in the area of investigation, and the precipitation on the upper hut represents the mean value in the basin with satisfying accuracy.

The relative air humidity was generally high on all the glaciers where hygrometers were installed. The daily mean vapour pressure was lower than 6.1 mb, which corresponds to the saturation pressure at 0° C, on only 2 days on Ålfotbreen, on 11 days on Vesledalsbreen and on 9 days on Nigardsbreen during the observation period. This means that condensation of vapour was possible for the greater part of the summer season, and the energy released by condensation has to be taken into account by considering the energy balance on the glacier surface.

Surveying and movement studies

The local triangulation network at Hellstugubreen was completed this summer and connected with the Norwegian official triangulation network. Map and point co-ordinates are given in this report. As an error was found in one of the co-ordination points for Austre Memurubre in last year's report, a new map and a corrected table are included in this report.

Due to the large net ablation, several old stakes became visible during the summer, and a more complete movement study was possible in certain areas. Triangulation for computing the glacier movement was carried out on Ålfotbreen, Vesledalsbreen, Nigardsbreen and Austre Memurubre. The results are shown in maps and tables.

On Ålfotbreen the glacier movement ranges from 18 m in the central parts to about 2 m near the edge of the glacier (on the basis of the 1965-66 triangulations).

On Vesledalsbreen the largest movement was found at the lower part of the glacier, which is also the steepest part. Special measurements on the plateau between Stornose, Klubben and Svartefjell showed glacier movement in accordance with the glacier slope.

On the tongue of Nigardsbreen two new points were established, so that the movement can be determined by resection. The results of the stake triangulation on the tongue show that the summer movement is far larger than the winter movement.

This year the movement on the plateau could be calculated for the first time, and the movement here appeared to be fairly small.

The glacier movement on Austre Memurubre was fairly even throughout the basin, except in the area east of the middle moraine, where the ice seems to be quite stagnant.

Two new glacier maps

Enclosed with this report are two glacier maps on a scale of 1 : 10 000. These two maps (Ålfotbreen and Gråsubreen) complete the series of glacier maps that has been produced to cover all the areas where detailed mass-balance measurements are at present being made by the Norwegian Water Resources and Electricity Board.

Detailed studies were, however, started on these two glaciers at an early stage (at the beginning of the balance year 1962-63) but lack of adequate air-photograph coverage prevented the production of the maps. For Gråsubreen, the existing topographical map on a scale of 1 : 100 000 was not sufficiently accurate for the plotting of mass-balance results and in the Ålfotbreen area no modern topographic map was available.

Both areas were covered by vertical air photography in 1968. After some checking work on the ground, the maps were plotted in a Wild B-8 Aviograph. In the cartographic representation the same method was used as for the maps previously published in this series. For Gråsubreen a green screen was placed on the glacier surface to separate it from the areas that were not to be mapped.

The accuracy is assumed to be better than 2 m in relative height determination and better than 5 m in absolute height determination. The error in

horizontal determination is less than 5 m.

UTM co-ordinates are shown for each 1000 m, whereas geographical co-ordinates are marked for one latitude and one longitude within each map sheet. Various items of information about the maps are printed on the backs of the maps. In the case of Gråsubreen a vertical air photograph is also reproduced to show details of the very large ice-cored end moraine in front of that glacier. The locations of the two new maps and the previously published glacier maps are shown on the sketch (Fig. 49).

Glacier discharge as a function of meteorological parameters

Introduction

From a diagram showing variations in daily temperature, precipitation and discharge from a glacier, certain conclusions can be drawn simply by visual inspection. However, it may not be possible to decide which of the various parameters is the predominant factor causing water-discharge variations in the glacier stream. In addition to air temperature and precipitation, the air moisture and the wind velocity have proved to be important factors for certain glaciers.

In order to study the relative effects of various meteorological parameters on the water discharge in glacier streams, a stepwise regression analysis was applied to five selected glaciers in southern Norway.

Methods

In general, all parameters are expressed as daily means. The meteorological parameters are regarded as independent variables, whereas the daily discharge is the dependent variable. It is supposed that a linear correlation exists between the water discharge and the meteorological parameters. The latter are supposed to be independent variables, and the analysis consists of a multiple regression analysis to obtain a function of the following type:

$$Q = k_1 X_1 + k_2 X_2 + \dots + k_n X_n + k',$$

where Q is the daily discharge, $k_1 \dots k_n$ and k' are constants, and $X_1 \dots X_n$ are independent variables, i.e. meteorological parameters.

A complete regression model is generally not required to describe daily discharge with a reasonable residual standard deviation. Therefore only one, two

or three variables were included in the final regression equations. A complete description of the computer programme is given in Wøien (1966). The programme was written in FORTRAN and was run on the CDC 3200 computer belonging to the Norwegian Water Resources and Electricity Board.

Results

Correlation studies were made for Ålfotbreen, Erdalsbreen, Vesledalsbreen, Nigardsbreen and Memurubreen, and for all these glaciers three different tables were compiled. The tables marked "A" give information concerning existing observations and the observation sites. The tables marked "B" contain a selection of the most interesting correlation coefficients calculated by the computer. The tables marked "C" contain the final regression equations, based upon one, two or three independent variables.

In addition to the original meteorological data used in the analysis, a number of "new" variables were generated. They were derived from the standard data by multiplication or by potentiation. Due to delay in water discharge from the glacier, it was necessary to use meteorological data obtained 1, 2 og 3 days before the actual water-discharge observation.

Ålfotbreen. Precipitation has a great effect on the discharge in the humid western part of Norway. On account of the large areas of exposed bedrock, the increase in river discharge follows almost immediately after the rain starts to fall. Daily precipitation is therefore the single factor that would be included if a simple formula were to be devised to describe the river discharge from Ålfotbreen.

Wind and air moisture together are the second important factor influencing the discharge. The product of the daily mean wind speed and the air moisture has a high correlation coefficient (0.71). It is extremely interesting that the air temperature is almost insignificant for meltwater production at Ålfotbreen. This statement is valid even for the summer of 1969, when unusually long, dry periods with high air temperatures occurred. This unusual situation is in sharp contrast to the conditions found at glaciers in areas of continental climate. Compare the results shown in Tables 1 A, 1 B and 1 C with similar results from Memurubreen (see below).

Erdalsbreen seems to be a glacier situated in an area with no pronounced maritime or continental climatic conditions. None of the abundant meteorological data available has a high correlation coefficient with the discharge. Thus,

Erdalsbreen forms a definite exception among the glaciers investigated.

Wind and air moisture seem to be relatively important factors, and the air temperature is of small importance, as was the case for Ålfotbreen. However, the correlation coefficients are generally small, and it is difficult to find a good formula to describe variations in water discharge. Using the best-correlated factor, which in this case is the product of the daily mean wind velocity and the water-vapour content of the air (observed on the same day in the firn area), the correlation coefficient is only 0.49, and the residual standard error is as much as 35 %. It is difficult to explain why the result is so poor for Erdalsbreen, especially when the discharge from the adjacent Vesledalsbreen glacier seems to be described far better by a similar simple factor.

Vesledalsbreen is the adjacent outlet glacier from Jostedalsbreen, situated only 3 km NW. of Erdalsbreen. The glacier is smaller and the elevation range considerably less than for Erdalsbreen. Meteorological observations have been made at the glacier front and in the firn area. Standard meteorological data from Oppstryn were also included in the analysis.

A single generated variable, the product of the daily mean air temperature and the daily mean wind velocity (as measured in the firn area), showed a surprisingly high correlation coefficient with the discharge. The residual standard error was only 24 %, using this single, although complex variable. Using three variables, the residual standard error was reduced to 19 %. The water-vapour content of the air does not seem to be so important for Vesledalsbreen as for Ålfotbreen and Erdalsbreen.

The calculations show that the daily mean air temperature in the firn area is very well correlated with similar temperatures observed in Oppstryn. The air temperature is further more inversely correlated with the cloud cover, which indicates that high temperatures are mainly generated by radiation. For water-discharge prediction, it would therefore be better to use radiation data. However, air-temperature observations are much easier to make, and the data are generally more easily available. For future run-off predictions, it may be more realistic to use standard meteorological observation data.

Nigardsbreen is a large outlet glacier on the eastern side of the Jostedalsbreen ice cap. A standard meteorological station, Bjørkehaug, is situated only 4 km from the present ice front. During the melting season fairly comprehensive observations were also made in the firn area. Further more, air-temperature

recordings were made at high altitude on the ice cap in a meteorological screen placed on the glacier (for details concerning observation sites, see Table 4 A).

Daily mean air temperature and the water-vapour content of the air were the most important factors influencing water discharge from the glacier. Using only one single variable, the regression equation gave a very good correlation between the calculated discharge and the discharge actually observed. The residual standard deviation is in the order of 17 %, using the air temperature measured the day before in the firn area. If the water-vapour content is included in the formula, the residual standard deviation is reduced to only 13 %, and this must be regarded as a very good result. The fact that air moisture is such an important factor proves that considerable condensation must take place on Nigardsbreen. This is in contrast with conditions at glaciers further inland, where condensation is generally regarded as being of little importance.

Memurubreen. Standard meteorological observations are available from a high mountain observatory 30 km due west of the glacier, and from a medium-altitude mountain station 45 km to the south-west. In addition, observations were made during the ablation season at two huts, one below the glacier front and the other on a nunatak in the firn area.

As in 1968, the air temperature is by far the most predominant factor determining the water discharge from the glacier. The best-correlated daily temperature proved to be that from Varden, Filefjell, with a correlation coefficient as high as 0,84. Further investigation showed that a slightly higher correlation could be obtained when the temperature was potentiated. The expression $t^{1.6}$ proved to give the best correlation and, when this single factor was included in the regression equation, the residual standard deviation turned out to be 25 %. If wind velocity was also included in the formula, the residual standard deviation was reduced to 20 %, and this must be regarded as a fairly good result.

LITTERATUR

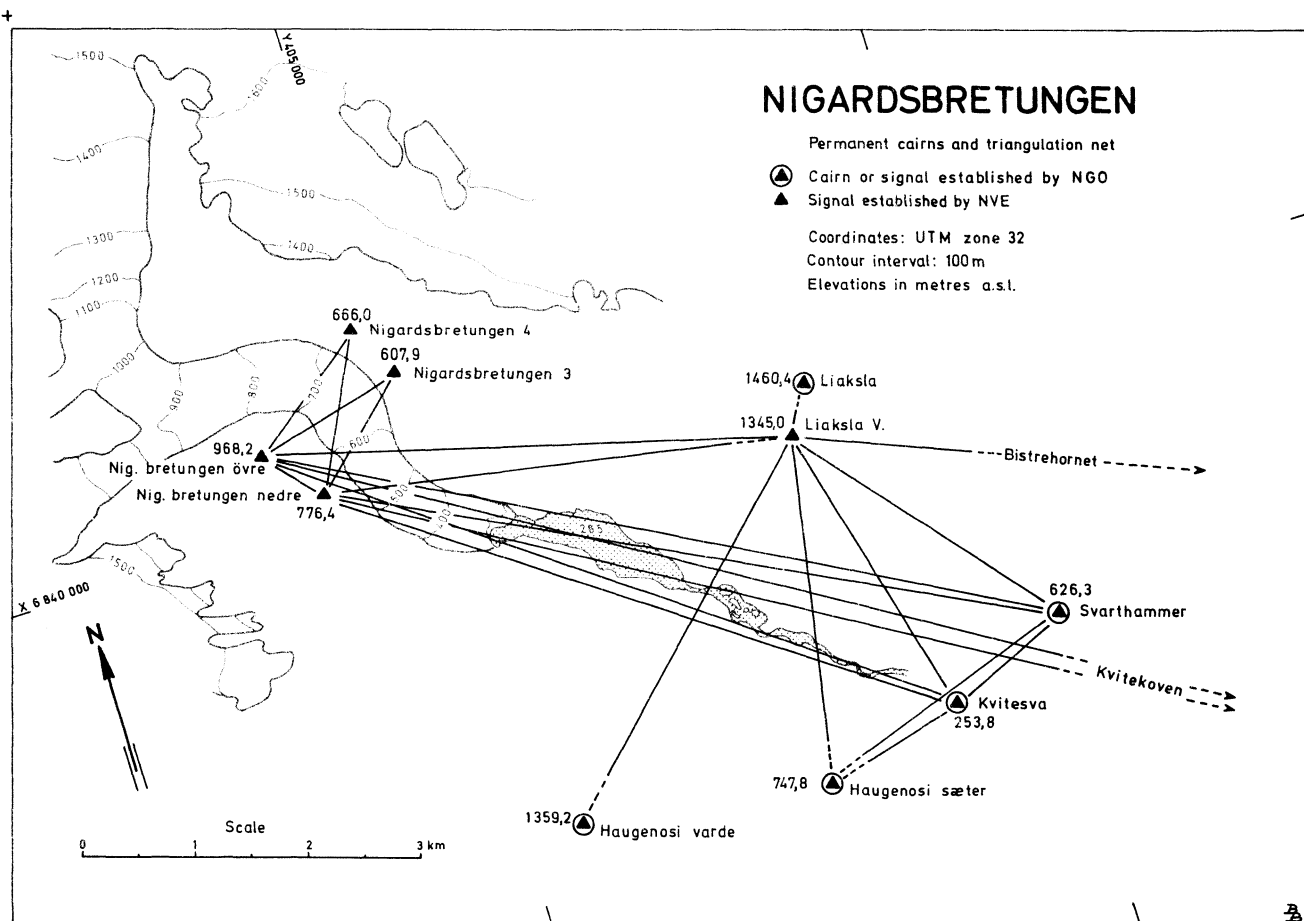
- Klemsdal, T. 1964: En glasiologisk undersøkelse i Øst-Jotunheimen. Hovedfagsoppgave ved Geografisk Inst., Oslo Universitet, 1964 II. Upubl.
- " 1968: A glacial-meteorological study of Gråsubreen, Jotunheimen. Norsk Polarinstitutt, Årbok 1968, p. 58-74.
- Meier, M.F. 1968: Journal of Glaciology. Vol. 8, No. 52, p. 3-7.
- Paterson, W.S.B. 1966: Mass balance studies in Western Canada, 1965, Comments. Geogr. Bulletin, Vol. 8, 383-385.
- Pytte, R. 1963: Materialhusholdningen for en del av Folgefonni 1963. Stensilert rapport fra Hydrologisk avdeling (24 s.).
- Pytte, R. 1964: Hellstugubreen. En glasiologisk undersøkelse. Hovedfagsoppgave ved Universitetet i Oslo. Upubl. (82 p.).
- Pytte, R. 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).
- Pytte, R. 1969: Glasiologiske undersøkelser i Norge 1968. Rapport nr. 5/69 fra Hydrologisk avdeling. Norges vassdrags- og elektrisitetsvesen. Offset (149 p.). (With an English summary).
- Pytte, R. og Liestøl, O. 1966: Glasio-hydrologiske undersøkelser i Norge 1965. Årsrapport fra Brekontoret, Hydrologisk avdeling, Norges vassdrags- og elektrisitetsvesen. Offset, 64 p.
- Pytte, R. og 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).
- UNESCO, 1969: Combined heat, ice and water balances at selected basins. Technical Paper in Hydrology, No. 5, (20 p.).
- Wøien, D. 1966: Program description of NRSR multiple regression analysis. Norw. Computing Center, 17 p. mimeo.
- Østrem, G. 1966: Reply to Dr. Paterson's comments. Geogr. Bull. 8, p. 386-389.
- Østrem, G. og Karlén, V. 1962: Nigardsbreens hydrologi. Norsk Geogr. Tidsskr. 18 (1961-62), p. 156-202. (With an English summary).

Østrem, G. og
Liestøl, O. 1964:

Glasiologiske undersøkelser i Norge 1963.
Norsk Geogr. Tidsskr. 18 (1961-62), 281-340.
(With an English summary).

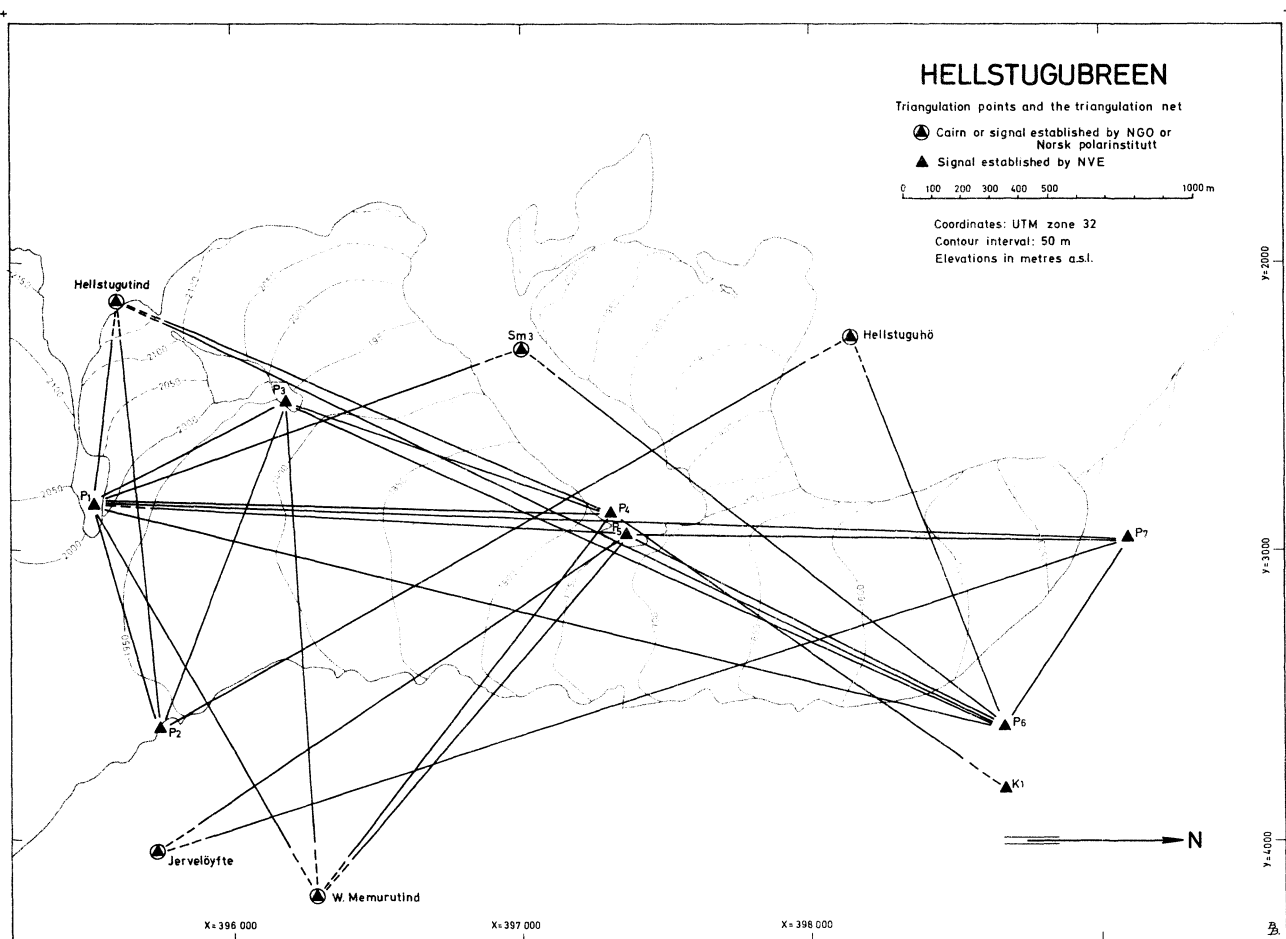
Østrem, G. og
Pytte, R. 1968:

Glasiologiske undersøkelser i Norge 1967. Rapport
nr. 4/68 fra Hydrologisk avdeling, Norges
vassdrags- og elektrisitetsvesen. Offset (131 p.).
(With an English summary).



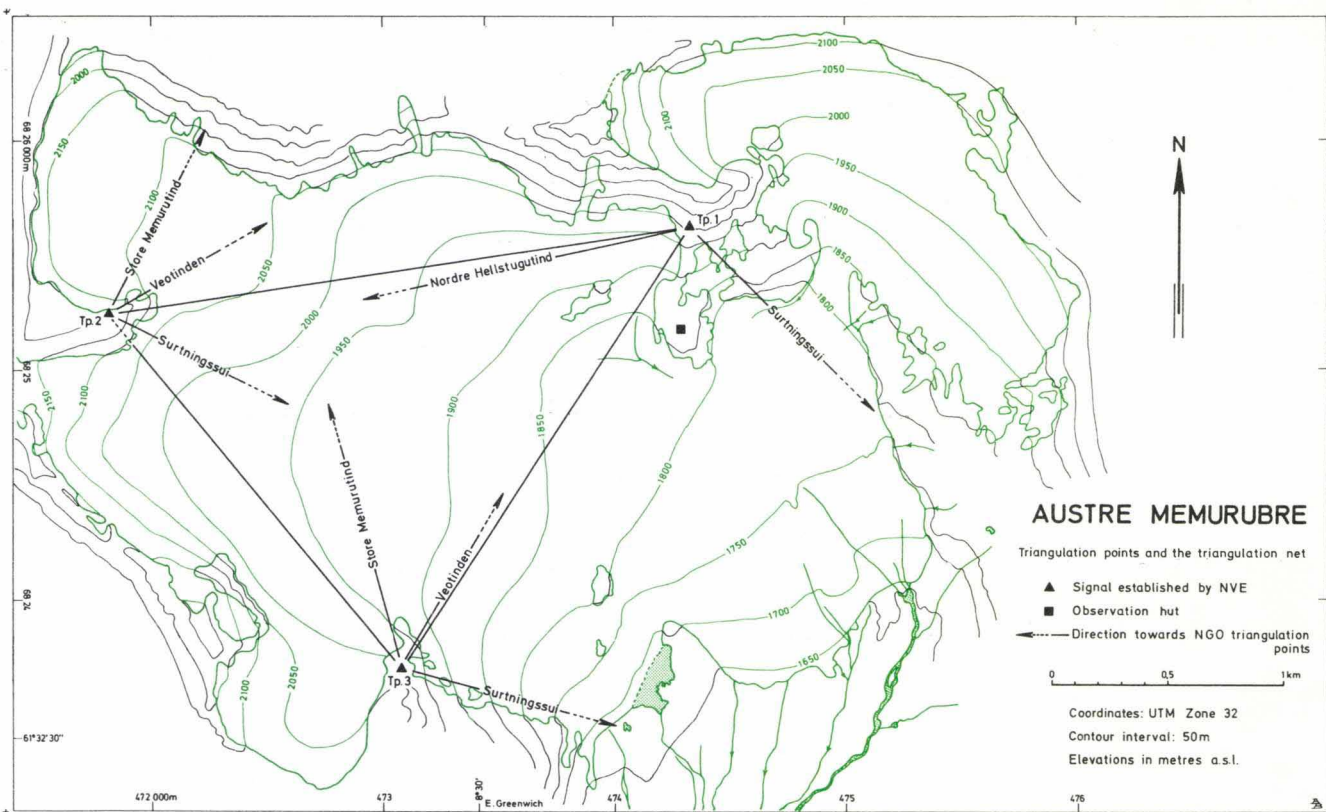
NIGARDSBRETUNGEN

Navn	U. T. M. Koordinater		Høyde Z m o. h.	Signal høyde m	X, Y og Z refererer seg til:	Regnet av:
	X	Y				
Liaksla	6 839 913.79	408 538.43	1460.28		Senter og topp bolt under kors i varde ytterst på Liaksla.	NGO
Haugenosi varde	6 836 788.48	405 506.95	1359.23		Senter og topp varde ytterst på Haugenosi.	"
Haugenosi Sr.	6 836 465.68	407 753.02	747.80	1.87	Senter og topp bolt under bardun-signal på haugen øst for setrene.	"
Tp. Liaksla V.	6 839 510.95	408 305.21	1345.00	1.80	Senter og fot bardunsignal i varde over rødmalt kors i fjell sydvest for N.G.O's Tp. Liaksla.	NVE
Tp. Nig. bretungen Ø.	6 840 755.90	403 728.86	968.23	2.00	Senter og fot aluminiumsstake m/ flagg i varde på ryggen 300 m nedenfor nederste haug.	"
"	6 840 755.43	403 729.55			Bolt i fjell ved signalet.	"
Tp. Nig. bretungen N.	6 840 231.27	404 168.35	766.47	2.00	Senter og fot aluminiumsstake i varde på nederste avsats mot breen.	"
"	6 840 229.51	404 170.12			Bolt i fjell ved signalet.	"
Kvitesva	6 836 749.77	408 997.50	253.83	1.86	Senter og topp bolt under bardun-signal på toppen av bergknaus 100 m øst for Nigardsbr. Gjestheim.	NGO
Svarthammer	6 837 230.50	410 129.26	626.34	1.89	Senter og topp bolt under bardun-signal på avsats i nordøstre kant av fjellet ca 150 m under skoggrensa.	"
Nigardsbretungen 3	6 840 193.66	405 135.01	608.00	1.00	Senter og topp bolt.	NVE
Nigardsbretungen 4	6 840 498.12	405 013.47	666.00	1.00	Senter og topp bolt.	"



HELLSTUGUBREEN

Navn	UTM Koordinater		Høyde Z m o. h.	Signal høyde m	X, Y og Z refererer seg til:	Regnet av:
	X	Y				
Hellstugutind	395 597.28	2141.40	2338.00	1.80	Senter og fot varde	NGO
Sm 3	397 005.91	2308.44	2167.92	---	Senter og fot liten varde	NPI
Hellstuguhø	398 140.67	2263.96	2070.50	--	Senter og fot liten varde	"
K 1	398 674.11	3819.36	1732.15	--	Kors i fjell	"
W Memurutind	396 306.71	4198.30	2283.00	1.80	Senter og fot varde	"
Jerveløyfte	395 748.57	4048.12	2238.00	--	Senter og fot varde	"
P1	395 522.54	2840.53	2107.86	1.30	Senter og stake i liten varde	NVE
P2	395 758.63	3623.94	1964.61	0.75	Senter og stake i liten varde	"
P3	396 182.19	2490.73	1952.16	1.36	Senter og stake i liten varde	"
P4	397 314.30	2880.02	1802.45	1.45	Senter og stake i liten varde	"
P5	397 362.33	2955.04	1759.15	1.30	Senter og stake i liten varde	"
P6	398 634.99	3602.74	1634.54	1.35	Senter og stake i liten varde	"
P7	399 047.73	2962.53	1511.02	1.50	Senter og stake i liten varde	"



Navn	UTM koordinater		Høyde Z	Signal høyde	X, Y og Z refererer seg til:	Regnet av
	X	Y				
Memurutind, store	6 826 285.62	472 355.74	2364.20	-	Senter og fot varde	NGO
Veotind	6 827 269.84	475 184.83	2241.09	-	Senter og topp liten varde	"
Surtningsui	6 822 557.45	477 356.20	2367.79	2.11	Senter og topp bolt under bardun- signal sørligst på toppen	"
Tp. 1	6 825 622.93	474 322.16	2011.41	-	Senter og fot bolt under bardun- signal på ryggen ovenfor hytta	NVE
Tp. 2	6 825 240.91	471 807.45	2221.45	1.20	Senter og fot bolt under bardun- signal på rygg mot V.Memurutind	"
Tp. 3	6 823 699.03	473 078.47	2028.41	1.30	Senter og fot bolt under bardun- signal på stor flate	"