

NORGES VASSDRAGS-OG ELEKTRISITETSVESEN



GLASIOLOGISKE UNDERSÖKELSER
I NORGE 1968

RAPPORT NR. 5/69

VASSDRAGSDIREKTORATET
HYDROLOGISK AVDELING

OSLO MARS 1969

NORGES VASSDRAGS-OG ELEKTRISITETSVESEN



GLASIOLOGISKE UNDERSÖKELSER

I NORGE 1968

Redigert av Randi Pytte

Medarbeidere: Gunnar Østrem, Olav Liestøl, Stig Rune Ekman,
Christian Nielsen og Svein Tornås.

RAPPORT NR. 5 / 69

VASSDRAGSDIREKTORATET

HYDROLOGISK AVDELING

OSLO MARS 1969

FORORD

Det er blitt en tradisjon at Brekontoret årlig bearbeider materialet fra de løpende undersøkelser og publiserer resultatene i en årsrapport. Når nå rapporten fra 1968 foreligger, må det med en gang sies at den er et resultat av et mere utstrakt team-work enn noengang tidligere.

I tillegg til Brekontorets opprinnelige oppgave da det startet for mere enn 7 år siden - massebalansemålinger for å justere beregningene av avløpene fra brerike felt - er virksomheten utvidet til å omfatte slamstudier, måling av brebevegelse, kartlegging av brefelt, osv. En ikke liten del av sommerens virksomhet dreier seg om å samle inn meteorologiske data fra breene og deres omgivelser. Disse data viser seg å ha stor betydning ved utarbeidelse av formler som kan brukes for prognosering av bretilsig. Slamstudiene tjener bl. a. til å gi grunnlag for å vurdere framtidige problemer ved kraftutbygging av brerike nedslagsfelt, mens brebevegelsesmålingene kan få praktisk betydning ved tunnelliniintak under brearmer - prosjekt som kan bli aktuelle ved "brekraftverk".

Den største arbeidsinnsats ligger fremdeles i målinger av breenes massebalanse. Dette er nødvendig for å korrigere avløpsmålingene i brerike områder, og en stor del av årets rapport handler om disse arbeider.

Brekontorets undersøkelser bekostes dels av Hydrologisk avdeling, som et ledd i de generelle undersøkelser av breenes hydrologi, dels av forskjellige oppdragsgivere som ønsker særskilte breer spesielt undersøkt. I ett tilfelle bekostes undersøkelsene av en konsesjonær som av det offentlige er pålagt dette som en plikt i henhold til de alminnelige konsesjonsbetingelser. En del av slamundersøkelsene utføres i samarbeide med Stockholms Universitet, som bærer en vesentlig del av utgiftene fordi resultatene har vitenskapelig interesse ved siden av å være av praktisk betydning.

Forfatterne til de enkelte avsnitt i rapporten er angitt i innholdsfortegnelsen; i tillegg til dette bør nevnes at B. Braskerud har rentegnet illustrasjonene, fru R. Hauge har renskrevet manuskriptene og frk. A. Gjøtterud har skrevet teksten for offset-reproduksjon. Sist, men ikke minst vil jeg nevne at største delen av de data som rapporten bygger på ble innsamlet av en rekke dyktige og ansvarsbevisste studenter som assisterte ved feltarbeidet våren og sommeren 1968.

Oslo i mars 1969

Gunnar Østrem

INNHOLD

	Side
Materialhusholdningen og meteorologiske og hydrologiske undersøkelser ved utvalgte breer (Randi Pytte)	4
Metodikk	4
Ålfotbreen	11
Folgefonna	17
Vesledalsbreen	25
Tunsbergdalsbreen	33
Nigardsbreen	36
Hardangerjøkulen (Olav Liestøl)	43
Hellstugubreen	45
Vestre Memurubre	48
Austre Memurubre	51
Gråsubreen	57
Blåisen	60
Storsteinsfjellbreen	62
Cainhavarre	64
En sammenlikning av materialhusholdningen på de enkelte breene	67
Trianguleringer og brebevegelsesberegninger i 1968 (Christian Nielsen)	72
Innledning	72
Beregninger og målenøyaktighet	73
Ålfotbreen	74
Gråsubreen	76
Nigardsbretungen	77
Folgefonna	79
Nye brekart (Gunnar Østrem)	81
Korrelasjonsberegninger og regresjonsanalyser av døgnlig avløp som funksjon av meteorologiske parametre (Gunnar Østrem)	83
Innledning	83
Metodikk	84
Resultater	85

	Side
Slamtransport i noen utvalgte bre-elver (Svein Tornås)	97
Innledning	97
Metodikk	100
Erdalsbreen	102
Austre Memurubre	105
Vestre Memurubre	109
Vesledalsbreen	111
Nigardsbreen	116
Konklusjon	120
Nigardsvatnet som sedimentasjonsbasseng (Stig Rune Ekman)	123
Inledning	123
Målsætning	125
Arbetets utførande	127
Beräkning av bottentransport	130
Kalkyler, baserade på 1968 års resultat	131
Sammanfattning	133
Summary	
Mass-balance studies and hydrological and meteorological observations	133
Surveying and movement studies	138
Glacier mapping	139
Correlation and regression analysis	139
Sediment transport in selected glacier streams	143
Nigardsvatnet, a natural sedimentation basin	146
Litteratur	148
Bilag	
Ålfotbreen, triangelnett og punkt-koordinater	
Vesledalsbreen, triangelnett og punkt-koordinater	
Gråsubreen, triangelnett og punkt-koordinater	
Austre Memurubre, triangelnett og punkt-koordinater	
Nigardsvatnet, triangelnett og punkt-koordinater	
Kart over Vestre Memurubre, 1 : 10 000	
Kart over Austre Memurubre, 1 : 10 000	

MATERIALHUSHOLDNINGEN OG METEOROLOGISKE OG HYDROLOGISKE UNDERSØKELSER VED UTVALGTE BREER

Metodikk

Undersøkelser av materialhusholdningen.

Undersøkelsene av materialhusholdningen er i hovedtrekkene foretatt etter samme metodikk som tidligere år (Østrem og Karlén 1962, s. 169-183, Pytte og Østrem 1965, s. 4-6 og Pytte 1967 s. 3-4), og 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.

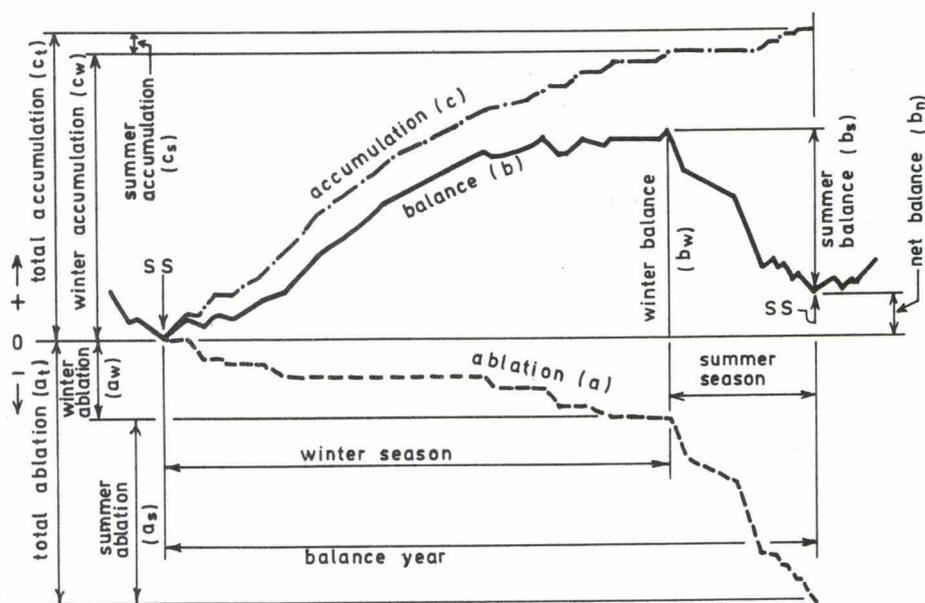
Den alt vesentlige del av masseforandringen foregår i et relativt tynt overflate-lag av breen. Ved materialbalanseundersøkelser betraktes imidlertid hele breens masse, og i prinsipp skal det taes hensyn til både sub- og englasial akkumulasjon og ablasjon. Disse størrelser er imidlertid vanskelige å bestemme 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 englasial 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 (Technical Papers in Hydrology in 1968) og er dessuten gjengitt i Journal of Glaciology (Vol. 8, No. 52, 1968, p. 3-7). Denne terminologi ble benyttet også ved våre massebalanseundersøkelser i 1967 (Østrem og Pytte 1968, p. 4-6). Da denne terminologien ennå 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 vil bli omtalt her. Alle målingene refereres da til en sommeroverflate som representerer årets 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 stratigrafiske tidssystemet er gjengitt grafisk i fig. 1. Alle punktverdier symboliseres med små bokstaver. Balansen (b) er til enhver tid masseforandringen 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 fore-



SS=time of formation of a summer surface

Fig. 1 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.

komme perioder med ablasjon i vintersesongen og perioder med akkumulasjon i sommersesongen.

Forandringen i masse i løpet av sommersesongen kalles sommerbalanse (b_s). Total ablasjon (b_t) er på tilsvarende måte oftest noe større en 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 sommerbalansen, 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 punkt og symboliseres med tilsvarende store bokstaver (B_w, B_s, B_n). Verdiene angis i 10^6 m^3 vann. Ofte er det hensiktsmessig å arbeide med middelveier for utvalgte areal, middelveier ($\bar{b}_w, \bar{b}_s, \bar{b}_n$) angis i m vannhøyde og dessuten som tilsvarende avrenning eller tilsig per areal- og tidsenhet ($1/\text{s km}^2$).

Dersom ikke noe annet er sagt spesielt, er dette beregnet som middelveier 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 snødyppet 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 vinteren igjennom. 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 på enkelte av breene. Dette gjorde både feltarbeidet og bearbeidingen av observasjonene både vanskelig og tidkrevende. Synlige målestaker letter også orienteringen på breen betydelig.

Man søker å måle balansen så nær det tidspunkt man venter vinterbalansen vil inntreffe som mulig, men 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 sommerbalansen 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 dessuten under fjorårets sommeroverflate. Gjenfrysingen under fjorårets sommeroverflate er en akkumulasjonsform og må derfor legges til den balansen som finnes direkte ved beregning av forholdene over sommeroverflaten. Denne gjenfrysingen avhenger av temperaturen av bremassen nedenfor sommeroverflaten når smeltevann kommer til. Den er på grunnlag av teoretiske beregninger antatt å variere mellom 5 cm og 10 cm vannverdi på de breer det her gjelder. Når sommeroverflaten danner overgangen til breis representeres gjenfrysingen som pålagret is, og trenger altså ikke under fjorårets sommeroverflate. I løpet av sommeren vil oftest en del eldre staker som ikke har vært synlige hele vintersesongen smelte 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 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 er i år utarbeidet et regnemaskinprogram for slike beregninger (utarbeidet av

statshydrolog H. Arnesen). Programmet kjøres på NVE's regnemaskin og er også tilpasset vår kurvetegner slik at resultatene fremkommer som diagram.

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. Dette har tidligere vært gjort ved manuell planimetrering av de utarbeidete fordelingskart og etterfølgende beregninger. Når det gjelder så mange breer som det nå er tale om, og med til dels kompliserte fordelingsmønster, blir både planimetreringen og de påfølgende beregninger meget arbeidskrevende. Ved Byggedata A/S eksisterte et regnemaskinprogram for volumberegninger, og dette programmet er nå modifisert til bruk for vårt formål.

Vinter- og sommerbalanse oppdelt i angitte høydeintervaller beregnes, og den endelige tabell over materialbalanse leveres direkte som den endelige maskinutskrift. Her er både arealverdier og midlere verdier av vinter-, sommer-, og nettobalansen i hvert 50 m- eller 100 m høydeintervall angitt.

Resultatene er også vist grafisk. Likevekslinjens 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% ved beregning av vinter- og sommerbalanse når disse var av størrelsesorden 2 m vann. Dette betyr en absolutt usikkerhet på 10-20 cm vann, og usikkerheten på nettobalansen blir da 15-25 cm vann.

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

Usikkerheten på resultatet 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 kontroll-

målinger og vurdere den aktuelle situasjon. En vil også kunne styrke påliteligheten av resultatet ved at mulige kontroller utføres under beregningsarbeidet, og at ellers bearbeidingene 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 absolute usikkerheten ikke er større enn 25 cm selv om omsetningen er stor. Dette er avmerket i de tilfeller det er aktuelt.

Meteorologiske og hydrologiske observasjoner og beregninger.

Meteorologiske observasjoner er foretatt på Ålfotbreen, Folgefonni, Nigardsbreen, Vesledalsbreen og Austre Memurubre 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. Resultatene er presentert i et observasjonsdiagram. I de tilfeller det foreligger avløpsmålinger er døgnlig avløp beregnet og vist 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 laveliggende faste meteorologiske stasjoner.

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 typen "Pluvius" (Pytte og Østrem 1965, s. 50). Nedbørfordelingen i feltene ble undersøkt ved at en rekke målere ble satt opp omkring i feltene. Det ble vesentlig brukt målere av typen "Pluvius", men på grunn av disse måleres begrensede kapasitet (40-60 mm), ble det på Ålfotbreen også i år brukt noen større plastmålere på de mest nedbørrike stedene (Pytte 1966, s. 12). For å hindre fordampning fra disse ble passende isoporplater tilskåret og lagt opp i målerne. Det så likevel ut til at pluviusmålerne ga mere pålitelig resultat så lenge de ikke rant over. Noen pluviusmålere ble derfor modifisert slik at de kunne ta betydelig større nedbørmengder (fig. 2), for å hindre fordampning ble passende plast-trakter satt i åpningen.

Dette viste seg å være en meget god løsning. I slutten av sommeren ble 2 pluviografer (fig. 2) montert på Ålfotbreen, man vil ved hjelp av disse kunne undersøke intensiteten av nedbøren i dette uvanlig nedbørrike området.

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.

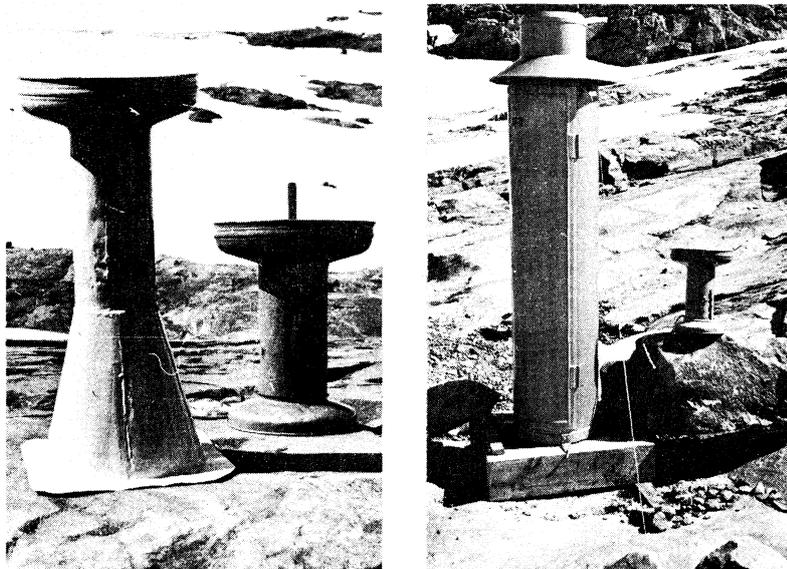


Fig. 2 En modifisert og en ordinær utgave av Pluvius-regnmålere sees til venstre, til høyre en av de nye pluviografene.

To the left a modified and a regular "Pluvius" precipitation gauge, to the right a pluviograph.

Alfotbreen

På Alfotbreen er materialhusholdningen målt, og i månedene juni, juli, august og september ble det (med et par unntak) tatt daglige observasjoner av lufttemperatur, nedbør, skydekke og vindforhold. Avløpet er registrert i Breelva (V. M. 1441) og nedbørfordelingen i feltet er undersøkt på tilsvarende måte som tidligere år.

Arbeidet ved Askåra kraftverk er nå kommet godt i gang og i den forbindelse er det bygd taubane, tillatt for gods og personbefordring, fra fjorden opp til Store Askåra. Nær damstedet ved utløpet av Store Askåra er det bygd ei brakke for anleggsfolk. Her er det også installert telefon. Disse forhold har lettet atkomsten til breen og kommunikasjonen med assistentene betydelig.

Materialhusholdningen.

Vinterbalanse. Ved besøk på breen 10. desember 1967 viste det seg at det allerede hadde kommet mellom 3 m og 4 m snø. 9 staker (4, 11, 13, 24, 39, 46, 49 og 75) var da intakt, men 10. februar var bare de 4 lavestliggende stakene synlige (4, 13, 24 og 75), og snødyppet hadde økt til mellom 5 m og 7 m. Både i desember og februar var det en del islag som gjorde sonderingsforholdene vanskelige.

Hovedmålingen av vinterbalansen ble foretatt 29. -30. april, og 4 staker var fortsatt synlige. På grunn av store snødyp og mange harde lag var det meget vanskelig å sondere. Nedenfor 1300 m o. h. kunne fjorårets sommeroverflate de fleste steder lokaliseres. På breens øverste partier derimot var bare sommeroverflaten fra 1966 følbar med sonden, men denne lå opp til 13 m under overflaten. Den ble likevel funnet i en del punkt, og da nettobalansen 1967 var kjent, kunne årets vinterbalanse beregnes. Snøens vannverdi ble målt ved stakene 49 og 75. 5 erstatningsstaker ble satt ut.

På breens nedre del (nedenfor 1300 m) ble det tatt i alt 95 sonderinger langs 11 km sonderingsprofiler og på breens øvre del 9 målinger av snødyppet (fig. 3). I alt utgjør dette 21 sond/km².

Målinger på breen 1. juni viste at balansen da hadde økt med 25 cm vann over hele breen siden 1. mai.

Fordelingen av vinterbalansen er gjengitt i fig. 4, og den er i alt beregnet til $21,6 \cdot 10^6$ m³ vann, som tilsvarer 4,55 m vann jevnt fordelt over hele breen og et tilsig på 143 l/s km² fordelt over hele året. Dette er av samme størrelsesorden som i 1967.

Sommerbalanse. Stakene ble målt ca. hver 4. dag i hele observasjonsperioden. Det falt noe nedbør i form av snø på breens øvre deler i siste del av juni og helt i slutten av sommersesongen, dvs. i slutten av september. Sommerakkumulasjonen var i alt meget liten og uten betydning for de kvantitative beregningene.

Sommersesongen var dette året godt avgrenset og varte fra ca. 1. juni til utgangen av september. De gode værforholdene tatt i betraktning var avsmeltingen overraskende liten. Sommerbalansen er i alt beregnet til $17,1 \cdot 10^6 \text{ m}^3$ vann som jevnt fordelt over hele breen utgjør 3,60 m vann og tilsvarer en årlig avrenning på 114 l/s km^2 .

Nettobalanse. Først i slutten av juli begynte breisen å komme frem, og i slutten av september var breis synlig opp til omtrent 1050 m o. h. På grunn av fjorårets meget lave snøgrense lå årets likevektslinje på overgangen mellom årets og fjorårets snø i en høyde av 1075 m. I alt ble $4,5 \cdot 10^6 \text{ m}^3$ vann (0,95 m) akkumulert på breen dette året, dvs. at et årlig avløp på 30 l/s km^2 er holdt tilbake fra det nedenforliggende vassdrag. Nettoakkumulasjon er omtrent den samme som i 1967, men likevektslinjen lå i år betydelig høyere enn i fjor. Dette forhold skyldes først og fremst at kurven for vinterbalansen i år har en vesentlig større gradient enn i fjor (fig. 5). Resultatene av årets målinger fremgår av tabellen nedenfor som er illustrert i fig. 5.

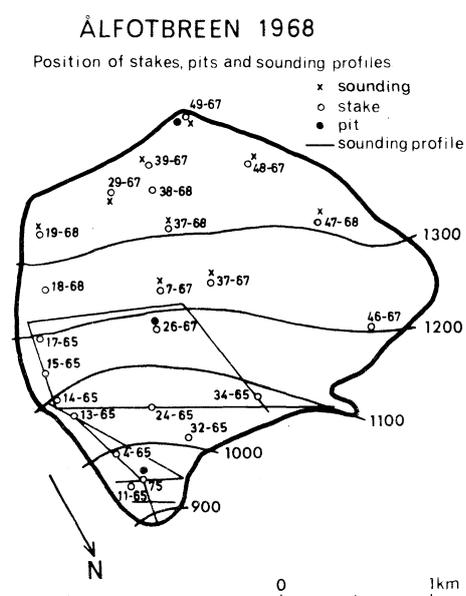


Fig. 3 Beliggenheten av staker, sjakter og sonderinger på Alfotbreen 1968.

The location of stakes, pits and soundings on Alfotbreen 1968.

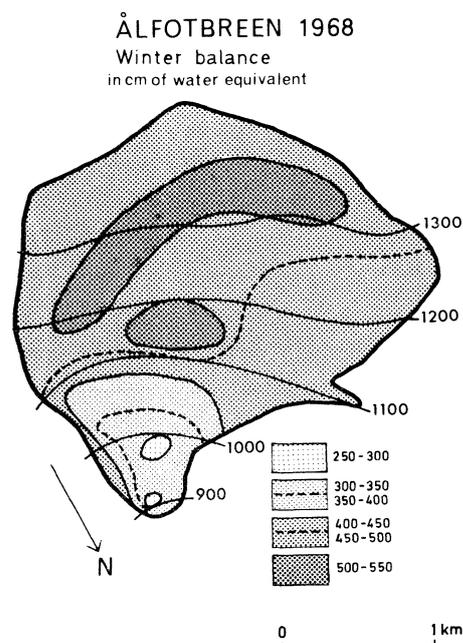


Fig. 4 Kart over vinterbalansen 1968.

Map showing the winter balance 1968.

ÅLFOTBREEN 1968

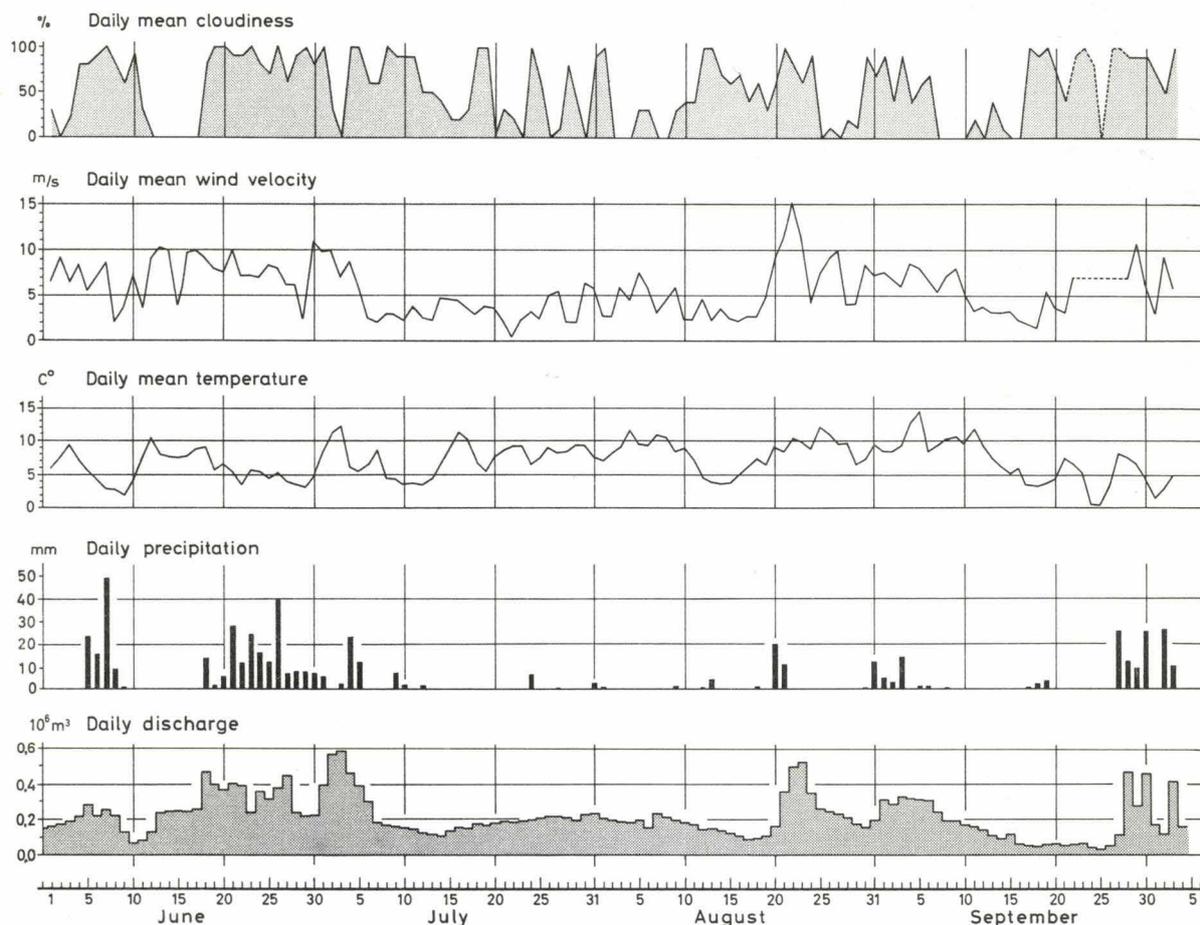


Fig. 6 Resultatene av de daglige meteorologiske observasjonene ved observasjonshytta og døgnavløpet ved limnigrafen i Breelva.

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

Midlere døgnlig vindstyrke varierte mellom 0,5 m/s (22/7) og 15,0 m/s (22/8). Størstedelen av tiden var midlere vindstyrke mindre enn 5 m/s og spesielt i midtre del av observasjonsperioden var det stille vær ved observasjonshytta. Midlere vindstyrke i perioden er beregnet til 5,3 m/s. Vindretningen er topografisk betinget i det vinden i det alt vesentlig blåser nedover breen. Observasjonshytta ligger innenfor området hvor brevinden gjør seg gjeldende, og det ser også ut til å være en tendens til sterkere vind i perioder med lite skyer.

Temperaturforhold. Lufttemperaturen ble som vanlig registrert ved observasjonshytta. Det ble ikke målt negative døgnmiddeltemperaturer i observasjonsperioden, laveste døgnmiddeltemperatur var det 25. september med $+0,3^{\circ}\text{C}$ mens høyeste døgnmiddeltemperatur ble målt 5. september med $+14,4^{\circ}\text{C}$. I månedene juni, juli, august og september var månedsmiddeltemperaturene

henholdsvis $5,8^{\circ}\text{C}$, $7,5^{\circ}\text{C}$, $8,1^{\circ}\text{C}$ og $7,0^{\circ}\text{C}$, middel for de 4 månedene var $7,1^{\circ}\text{C}$. Middelttemperaturen i Førde var i samme periode $13,6^{\circ}\text{C}$ som er $0,6^{\circ}\text{C}$ høyere enn normalt (1931-60). Temperaturgradienten mellom brestasjonen og Førde er beregnet til henholdsvis $0,68$, $0,71$, $0,63$ og $0,60^{\circ}\text{C}/100\text{ m}$ for juni, juli, august og september. I 1967 var gradienten noe høyere, men i 1966 var den omtrent som i 1968.

Nedbørforhold. Ved observasjonshytta ble døgnlige nedbør målt i en av Meteorologisk institutt's standardmålere og en pluvius. Pluviusen oppfanget noe mere nedbør enn standardmåleren, i tiden 1/6-30/9 ble det målt 510 mm i standardmåleren og 603 mm i pluviusen, og av dette falt mere enn halvparten i juni. I Svelgen, Davik og Ålfoten ble det målt henholdsvis 399 mm, 298 mm og 228 mm i samme periode, og dette er ca. 50% av normalt. August

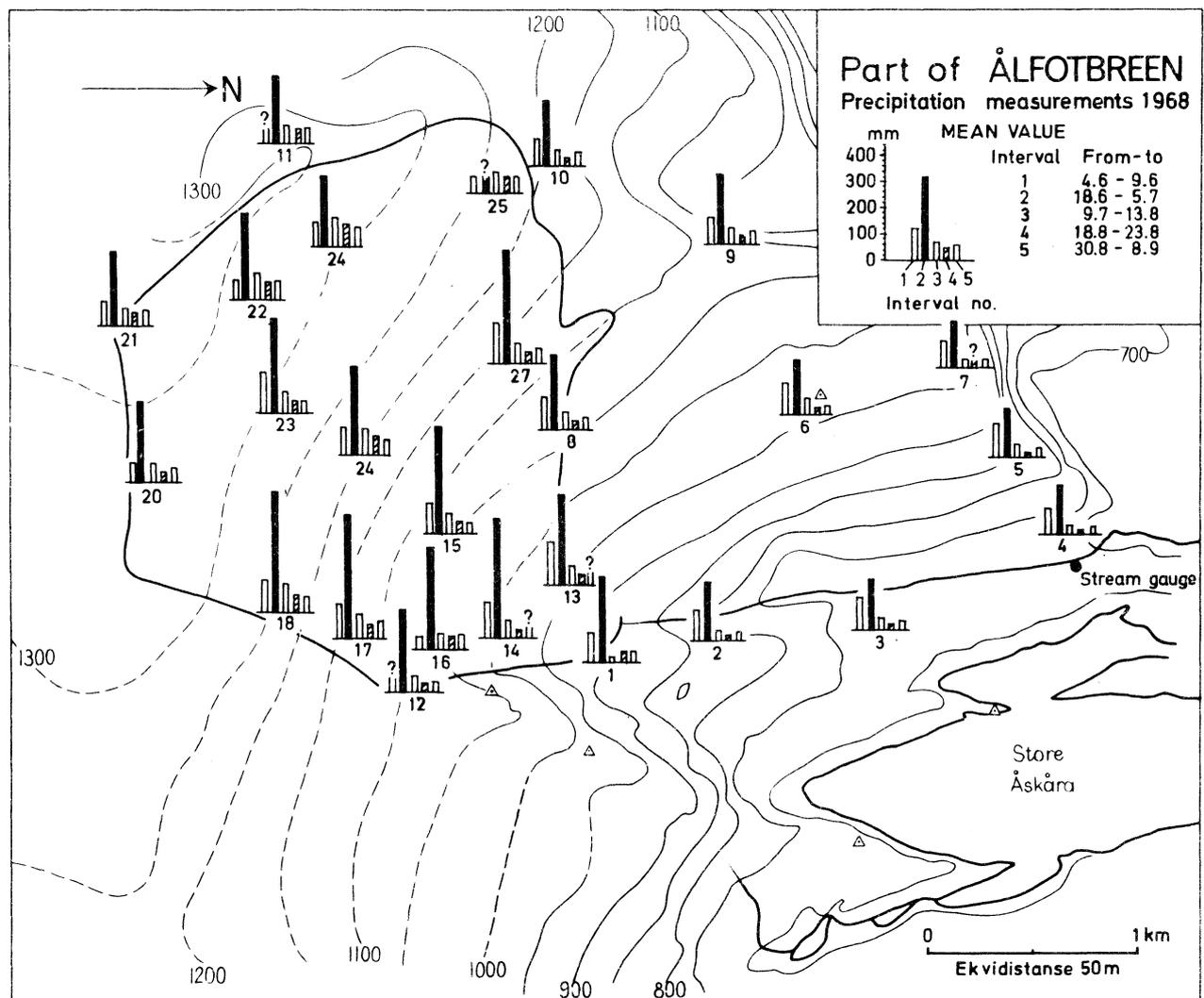


Fig. 7 Beliggenheten av nedbørmålere og de målte nedbørhøyder i 6 perioder i løpet av sommeren

The location of precipitation gauges and the observed precipitation in 6 periods during the summer.

var både absolutt og relativt den tørreste måned, og det falt da mellom 6% og 9% av normal nedbør på de angitte stasjoner.

Nedbørfordelingen i feltet ble undersøkt på samme måte som tidligere år, og 26 nedbørmålere var plassert i feltet. Tiden fra 1. juni til 10. september kan deles i 5 perioder med nedbør, 1) 4. -9. juni, 2) 18. juni-5. juli, 3) 9. juli-13. august, 4) 18. -23. august og 5) 30. august-8. september, i de mellomliggende tidsrom falt det ikke nedbør. 3. periode var svært lang, og som det fremgår av observasjonsdiagrammet (fig. 6) falt det bare litt nedbør av og til. Nedbøren på hvert målested i de 5 angitte periodene er vist på fig. 7.

På grunnlag av utarbeidete nedbørkart er middelnedbøren i hver periode beregnet. Nedbørfordelingen er temmelig ensartet i alle periodene, med maksimal nedbør i sentrale deler av brefeltet, noe mindre nedbør på toppen av breen, og til dels sterkt avtakende nedbør nedover i de lavere nivåer av den brefrie delen av feltet. Nedbørfordelingen for hele sommeren viser da også et liknende mønster, nedbørkartet for hele sommeren er gjengitt i fig. 8 sammen med tilsvarende kart fra 1966. I 1967 var målingene ikke fullstendige nok til at et slikt kart kunne utarbeides. Det fremgår at fordelingen viser god overensstemmelse fra år til år. Variasjonene i nedbør over korte avstander er også så stor at man for å få et pålitelig uttrykk for nedbøren i et felt må ha et større antall målere som grunnlag. En måler vil sjelden gi tilstrekkelig opplysninger om forholdene.

Middelnedbøren i hver periode (P) er på tilsvarende måte som tidligere år sammenliknet med nedbøren målt i Svelgen (P_S), Davik (P_D), Alfoten (P_A),

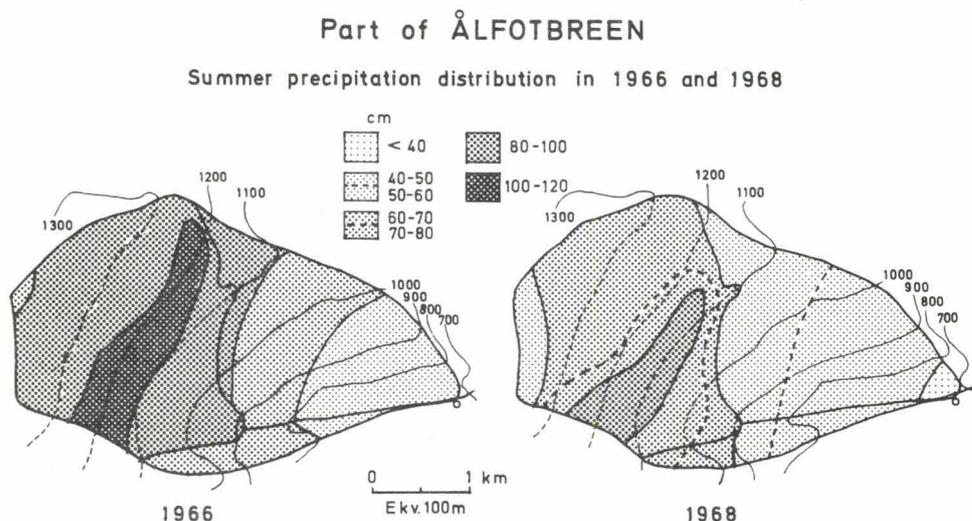


Fig. 8 Fordelingen av sommer-nedbøren på Ålfotbreen i 1966 og 1968.

The distribution of the summer precipitation on Ålfotbreen in 1966 and 1968.

og midlet av disse 3 stasjonene ($P' = \frac{1}{3} (P_S + P_D + P_A)$). Resultatene er gjengitt i tabellen nedenfor.

periode	P mm	P _S mm	$\frac{P}{P_S}$	P _D mm	$\frac{P}{P_D}$	P _A mm	$\frac{P}{P_A}$	P'	$\frac{P}{P'}$
4.6- 9.6	126.8	62.1	2.042	61.5	2.062	33.9	3.740	52.5	2.415
18.6- 5.7	310.5	168.0	1.848	140.1	2.216	95.1	3.265	134.4	2.310
9.7-13.8	72.8	11.7	6.222	15.4	4.727	19.1	3.812	15.4	4.727
18.8-23.8	45.2	15.9	2.843	2.6	17.385	7.7	5.670	8.7	5.120
30.8- 8.9	52.4	57.6	0.910	33.2	1.578	26.6	1.970	39.1	1.340
1968	607.7	315.3	1.927	252.8	2.404	182.4	3.332	250.2	2.429
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

I enkeltperioder variere forholdet mellom nedbørmengdene i brefeltet og på de faste stasjonene betydelig. Dette skyldes at nedbøren i stor utstrekning falt som lokale byger og at nedbørmengdene var meget små. Lokale byger har vanligvis ikke særlig betydning for nedbøren i litt lengre perioder i dette området.

Hele sommeren sett under ett er imidlertid forholdet omtrent det samme som det som er funnet tidligere år. De eksisterende målinger ser ut til å gi best resultat ved sammenlikning med Davik. Nedbøren i brefeltet er mellom 2,4 og 2,9 ganger større enn nedbøren på denne stasjonen.

Folgefonna

På Folgefonna er materialhusholdningen målt, og det er tatt meteorologiske observasjoner på Holmaskjeri i tiden 1. juni-15. september. Lufttemperaturen er registrert på vestsiden av breen og nedbørfordelingen i brefeltet er undersøkt.

Materialhusholdningen.

Vinterbalanse. 24. november 1967 hadde det allerede falt mellom 2 m og 3 m snø på plataet og noe mindre på bretungene. Mildvær og nedbør i form av regn med påfølgende kulde hadde ført til at det i breoverflaten var dannet et meget hardt 2-4 cm tykt islag. Det var de fleste steder ikke mulig å slå sonden gjennom dette islaget. 12. januar hadde snødyppet økt ca. 1,5 m de fleste steder,

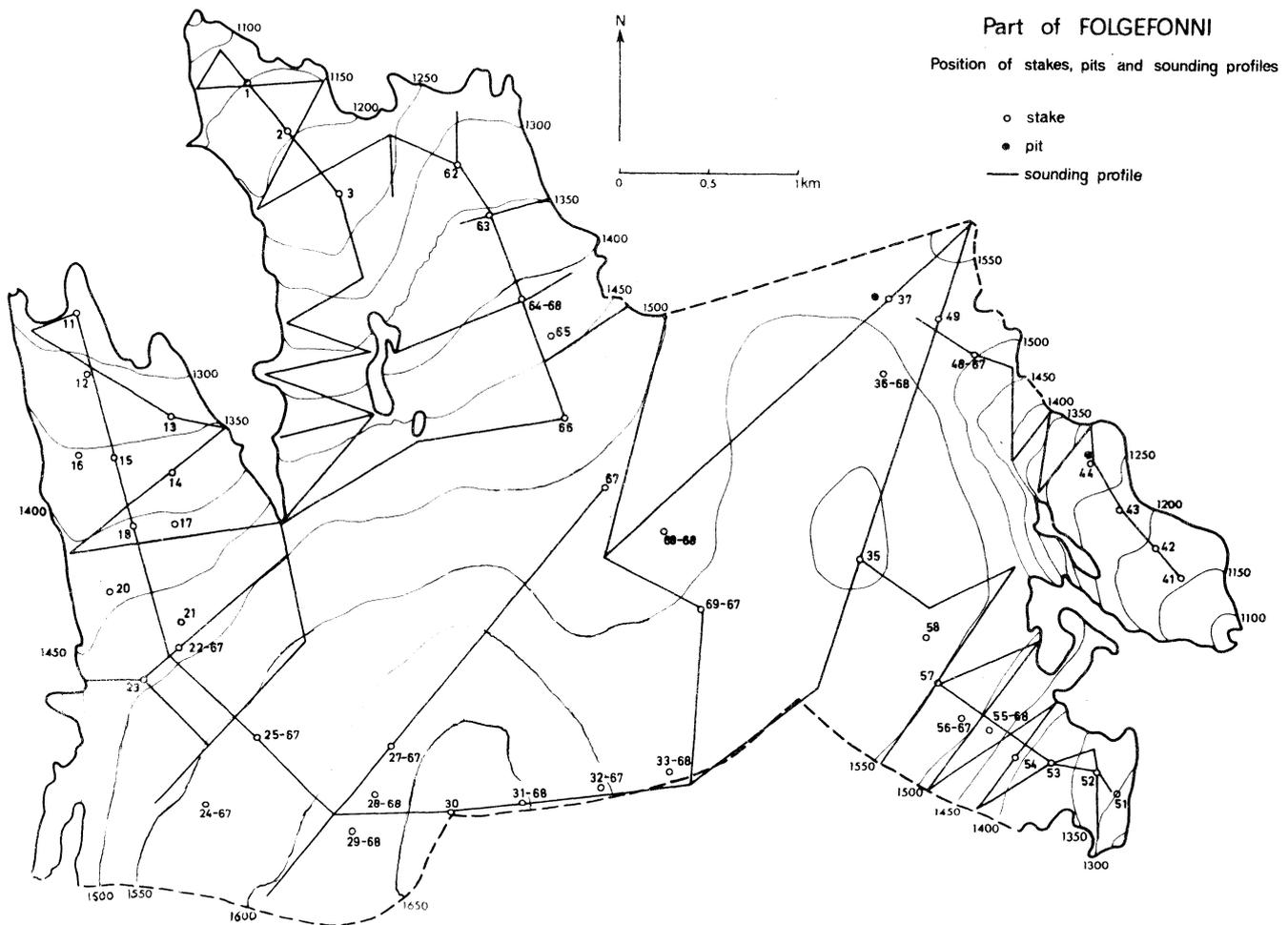


Fig. 9 Beliggenhet av staker, sjakter og sonderingsprofiler på Folgefonna.

The location of stakes, pits and sounding profiles on Folgefonna.

men det var ikke mulig å slå sonden gjennom "novemberislaget". 30 staker var fortsatt intakt. Hovedmålingen ble foretatt i midten av mars. Bortsett fra på Gråbretungen ble islaget fra november brukt som referenseflate, og det ble i alt tatt 600 sonderinger langs 62 km sonderingsprofiler (14 sond. km²) (fig. 9). Da de fleste staker fortsatt var intakt kunne sondert snødyb til islaget kontrolleres med målinger på stakene, og de aller fleste steder var det meget god overensstemmelse. Økningen i balanse etter 15. mars er bestemt ved stakemålinger og prøver av snøtettheten 2. juni. På platået var det fortsatt negative temperaturer i snølaget. Ingen avrenning hadde altså foregått her, men nederst på bretungen hadde avrenningen såvidt begynt. Overgangen fra vinter- til sommersesong er derfor satt til 1. juni.

I sonderingspunktene er balansen funnet i perioden 24/11-15/3, vinterbalansen er imidlertid funnet direkte bare ved stakene. Forholdet mellom balansen i perioden 24/11-15/3 og vinterbalansen varierer systematisk med beliggenheten på breen, og på dette grunnlaget er så kartet over vinterbalansen utarbeidet

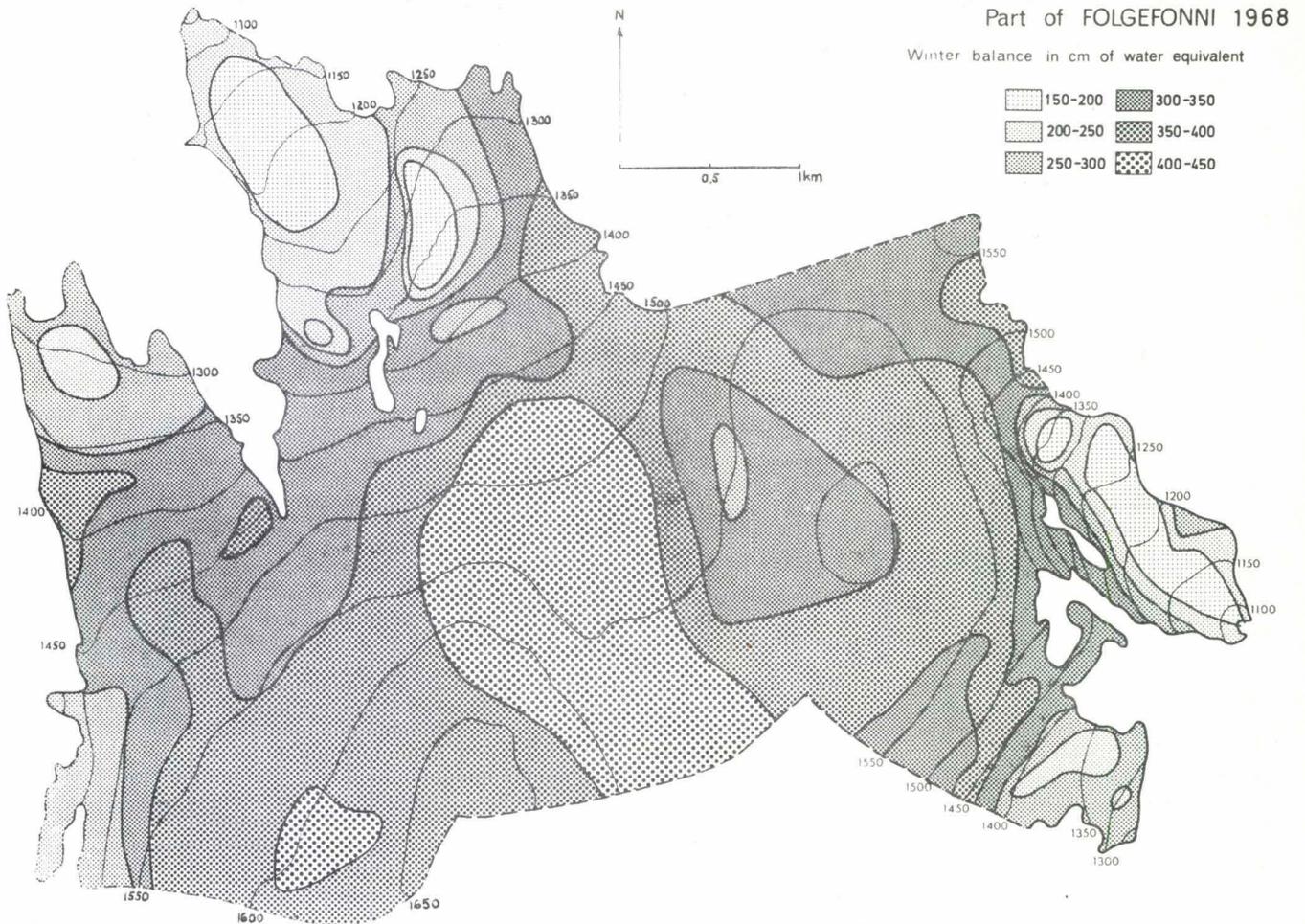


Fig. 10 Kart over vinterbalansen 1968.

Map showing the distribution of the winter balance 1968

(fig. 10). Dette gir en noe større usikkerhet enn den vanlige direkte metoden for beregning av balansen. I alle ledd i beregningen er det imidlertid god overensstemmelse, slik at det er rimelig å regne med at usikkerheten i sluttresultatet ikke overstiger 10%. Vinterbalansen er beregnet til $65,7 \cdot 10^6 \text{ m}^3$ vann (3,36 m eller 106 l/s km^2) hvorav $51,8 \cdot 10^6 \text{ m}^3$ (3,42 m eller 107 l/s km^2) på vestsiden og $13,8 \cdot 10^6 \text{ m}^3$ (3,18 m eller 101 l/s km^2) på østsiden.

Sommerbalanse. Fra sommersesongens begynnelse til midten av september ble de fleste stakene målt omtrent hver 5. dag, og enkelte staker ble en stor del av perioden målt hver dag. I juni falt det mere nedbør enn normalt, og på breen kom en stor del av denne i form av snø. Senere på sommeren falt det snø av betydning bare 9. -10. juli.

Sommerakkumulasjonen er funnet ved direkte målinger ved stakene. Den varierte fra 2 cm til 20 cm vann og er i alt beregnet til $2,0 \cdot 10^6 \text{ m}^3$ vann som i middel tilsvarer 13 cm vann.

Balansen minket jevnt i juli og første del av august, siste måneden av observasjonsperioden var ablasjonshastigheten noe større.

Stakene ble målt siste gang 6. november, og neste års vintersesong hadde da

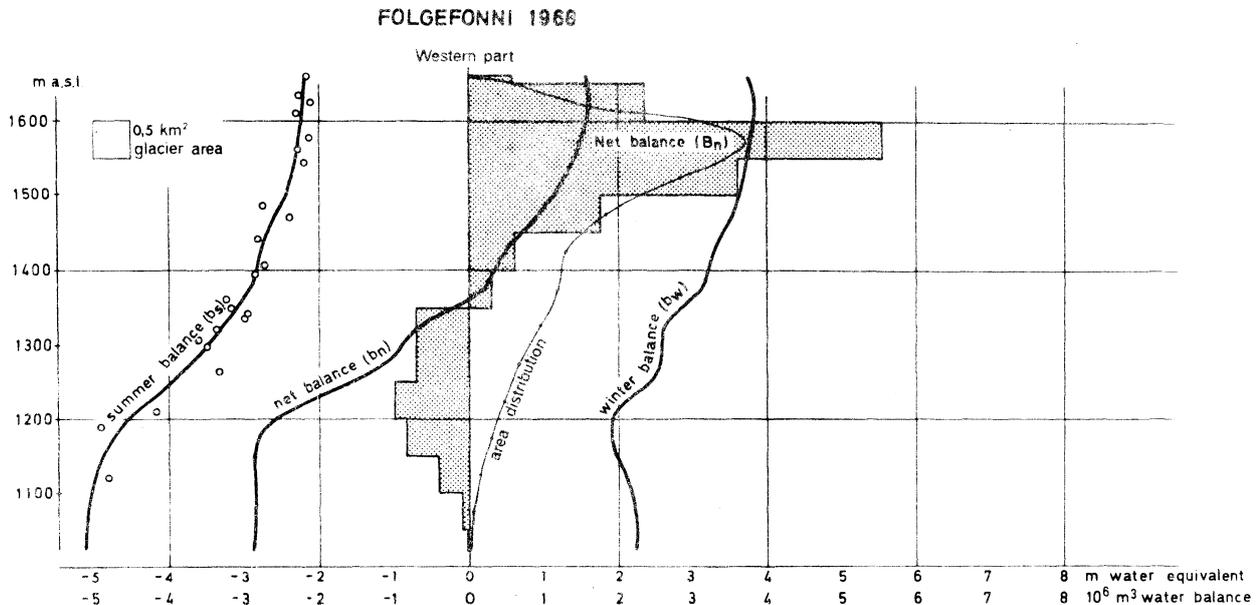


Fig. 11 Variasjonene med høyden over havet av vinter-, sommer-, og nettobalanse, samt breens arealfordeling og arealverdier av nettobalansen i hvert 50 m høydeintervall.

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.

FOLGEFONNI 1968

Vestsiden

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	118	B _s 10 ⁶ m ³	b _s m	l/s km ²	70	B _n 10 ⁶ m ³	b _n m
1650-1660	0.377	1.414	3.75	118	0.829	2.20	70	+ 0.584	+1.55	+49	
1600-1650	1.461	5.625	3.85	122	3.265	2.23	71	+ 2.361	+1.62	+51	
1550-1600	3.681	13.914	3.77	119	8.399	2.28	72	+ 5.515	+1.50	+47	
1500-1550	2.805	10.324	3.68	116	6.712	2.39	75	+ 3.612	+1.29	+41	
1450-1500	1.821	6.490	3.56	112	4.745	2.61	82	+ 1.745	+0.96	+30	
1400-1450	1.260	4.149	3.29	104	3.528	2.80	88	+ 0.620	+0.49	+15	
1350-1400	1.175	3.718	3.16	100	3.437	2.93	92	+ 0.281	+0.24	+ 8	
1300-1350	0.994	2.587	2.60	83	3.299	3.32	105	- 0.712	-0.72	-23	
1250-1300	0.642	1.661	2.59	82	2.375	3.70	117	- 0.713	-1.11	-35	
1200-1250	0.467	0.984	2.11	67	1.994	4.27	136	- 1.011	-2.17	-69	
1150-1200	0.293	0.561	1.91	61	1.405	4.79	152	- 0.844	-2.88	-91	
1100-1150	0.144	0.301	2.09	66	0.719	4.99	158	- 0.419	-2.91	-92	
1050-1100	0.039	0.088	2.25	71	0.201	5.12	163	- 0.113	-2.87	-91	
1030-1050	0.004	0.009	2.25	71	0.020	5.12	163	- 0.011	-2.87	-91	
1030-1660	15.163	51.825	3.42	107	40.928	2.69	85	+10.895	+0.72	+23	

akkurat begynt. Ablasjonen etter 15. september var liten. Sommerbalansen varierte mellom 5 m og 2 m vann. Det var i 1968 liten forskjell på øst- og vestsiden av breen i de høyere nivåer. Lengst nede på bretungene var det større smelting på vest- enn på østsiden. Sommerblansen er i alt beregnet til $40,9 \cdot 10^6 \text{ m}^3$ vann på vestsiden (2,69 m eller 85 l/s km^2) og til $12,2 \cdot 10^6 \text{ m}^3$ (2,80 m eller 89 l/s km^2) vann på østsiden.

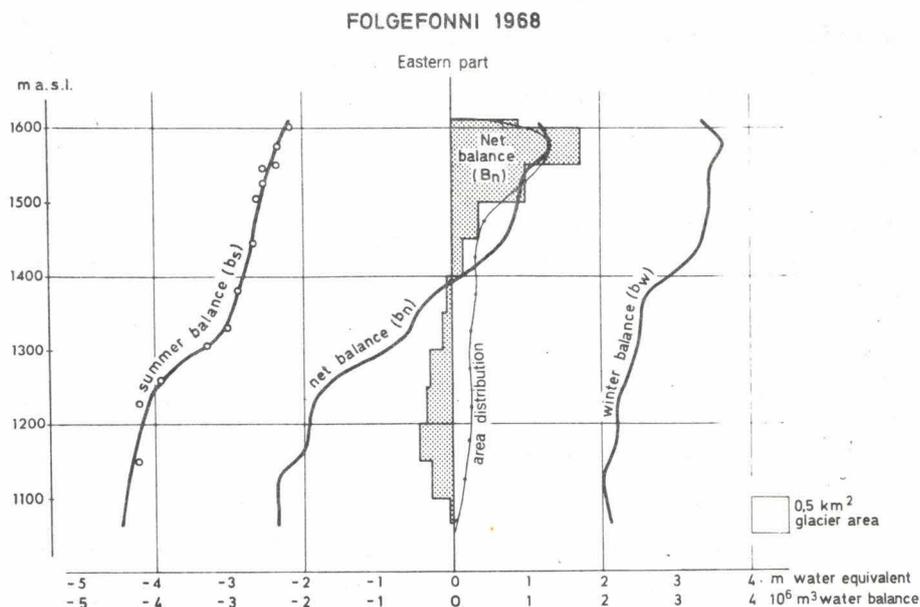


Fig. 12 Variasjonene med høyden over havet av vinter-, sommer- og nettobalanse, samt breens arealfordeling og arealverdier av nettobalansen i hvert 50 m høydeintervall.

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.

FOLGEFONNI 1968
Østsiden

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
1600-1610	0.074	0.252	3.39	108	0.164	2.20	70	+0.089	+1.19	+38
1550-1600	1.283	4.694	3.66	116	2.961	2.31	73	+1.733	+1.35	+43
1500-1550	1.002	3.470	3.46	110	2.489	2.48	79	+0.981	+0.98	+31
1450-1500	0.413	1.435	3.47	110	1.085	2.62	83	+0.350	+0.85	+27
1400-1450	0.300	0.970	3.24	103	0.829	2.77	88	+0.141	+0.47	+15
1350-1400	0.278	0.724	2.60	83	0.800	2.87	91	-0.076	-0.27	-9
1300-1350	0.215	0.542	2.52	80	0.670	3.11	99	-0.128	-0.60	-19
1250-1300	0.232	0.559	2.42	77	0.881	3.80	121	-0.321	-1.39	-44
1200-1250	0.185	0.407	2.20	70	0.762	4.12	131	-0.355	-1.92	-61
1150-1200	0.229	0.498	2.18	69	0.944	4.12	131	-0.446	-1.95	-62
1100-1150	0.118	0.236	2.00	63	0.515	4.37	139	-0.280	-2.37	-75
1065-1100	0.025	0.052	2.09	66	0.108	4.37	139	-0.056	-2.28	-72
1065-1610	4.354	13.840	3.18	101	12.209	2.80	89	+1.631	+0.37	+12

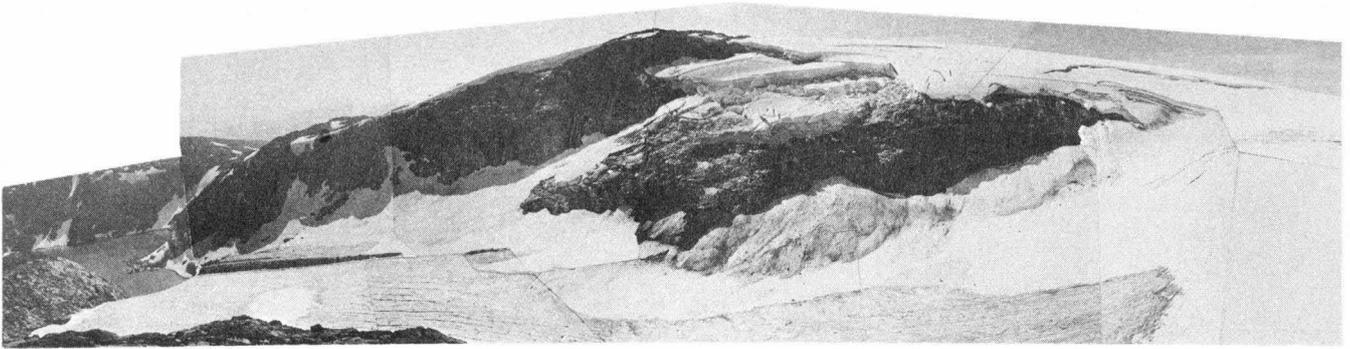


Fig. 13 Oversiktsbilde over Blåbreen. De siste års breøkning har ført til at ismasser nå raser ned på Blåbreen i langt større omfang enn tidligere år.

Blåbreen seen from south. Caused by the last years glacier mass increase ice is now falling from the plateau down on the glacier tongue.

Nettobalanse. Den relativt store vinterbalansen dette året ble ikke oppveiet av tilsvarende stor sommerbalanse, og det var netto akkumulasjon på breen i 1968. Blåis kom ikke til syne før i siste del av juli og likevekslinjen lå 1360 m o. h. på vestsiden og 1390 m o. h. på østsiden av brefeltet. Nettoakkumulasjonen er beregnet til henholdsvis $10,9 \cdot 10^6 \text{ m}^3$ vann (0,72 m eller 23 l/s km^2) på vestsiden og $1,6 \cdot 10^6 \text{ m}^3$ vann (0,37 m eller 12 l/s km^2) på østsiden av breen.

De kvantitative resultater fremgår av tabellene som er illustrert av figurene 11 og 12.

At breen de senere år har vist økende tendens kommer nå tydelig til syne på Blåbreen (fig. 13). Fra platået siger bremassen ut over fjellskrenten på brearmens sørside, og det har her i løpet av sommeren 1968 bygd seg opp en større skredkjegle.

Meteorologiske observasjoner og beregninger.

Sky- og vindforhold. Skydekket ble observert i tiden fra 1/6 til 12/9. I denne tiden (104 dager) var det 4 dager med helt klart vær, halvskyet eller klarere vær 48 dager og helt overskyet eller tett tåke på observasjonsstedet i 25 dager. Midlere skydekke i perioden er beregnet til 6,0.

Da bare en mindre robust type anemometer var disponibel for Folgefonna ble vindstyrken bare målt kl. 07 og 19, og midlet mellom disse to observasjonene er betraktet som døgnlig middelvindstyrke. Denne varierte mellom 1,1 m/s (målt 4. og 19. august) og 13,1 m/s (målt 3. juli). Størstedelen av juli og

FOLGEFONNI 1968

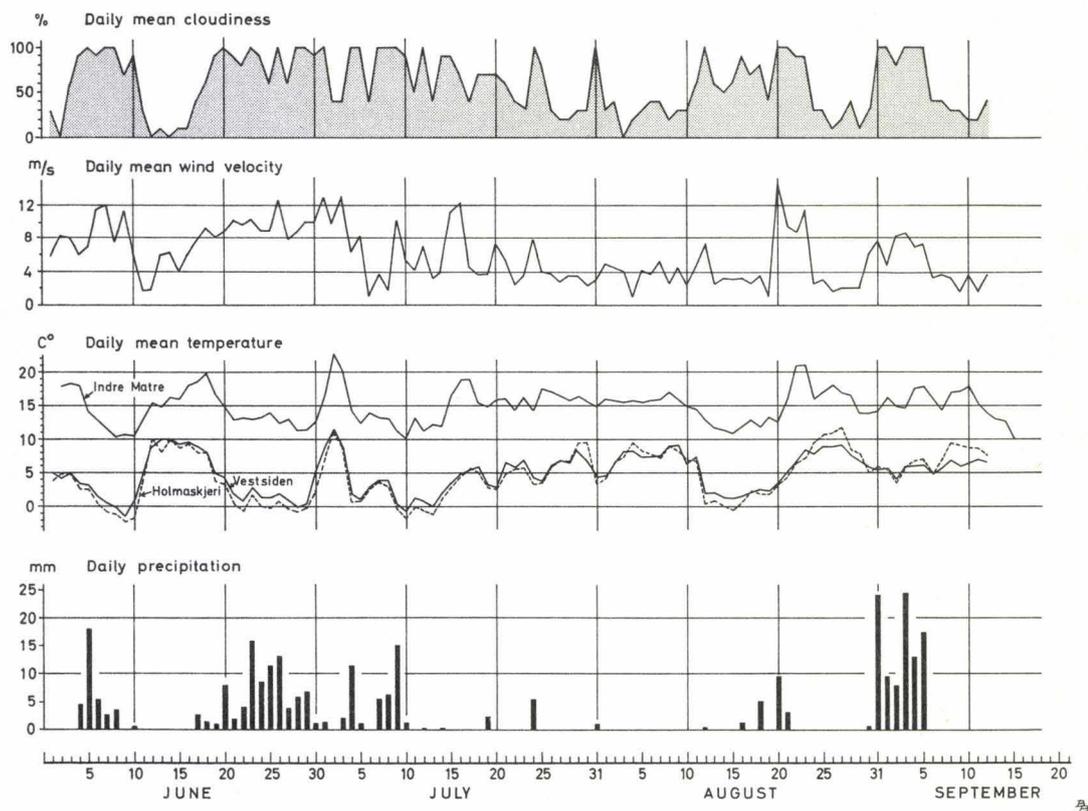


Fig. 14 Resultatene av de meteorologiske observasjonene på Folgefonni 1968.

The results of the meteorological observations on Folgefonni 1968.

august varierte vindstyrken omkring 4 m/s mens den var noe høyere i juni. Middelvindstyrken i observasjonsperioden er beregnet til 5,5 m/s. Vindretningen varierte en del, men den fremherskende vindretning var nordlig.

Temperaturforhold. Lufttemperaturen ble registrert på Holmaskjeri og Vestsiden som tidligere år. Døgnmiddeltemperaturene herfra og fra Indre Matre er gjengitt i observasjonsdiagrammet (fig. 14). I observasjonsperioden varierte lufttemperaturen mellom $-2,3^{\circ}\text{C}$ (9/6) og $+11,5^{\circ}\text{C}$ (27/8) på Holmaskjeri, og mellom $-1,4^{\circ}\text{C}$ (9/6) og $+11,3^{\circ}\text{C}$ (2/7) på Vestsiden. Månedsmiddeltemperaturene for juni, juli og august var henholdsvis 3,0, 3,9 og $5,9^{\circ}\text{C}$ på Holmaskjeri, og 3,3, 4,4 og $5,7^{\circ}\text{C}$ på Vestsiden.

Gjennomgående er temperaturen lavest på Holmaskjeri. I enkelte perioder, fortrinnsvis når det er lite skyer og høye lufttemperaturer, er imidlertid temperaturen høyere på Holmaskjeri enn på Vestsiden, eller temperaturforskjellen mellom de to stedene er meget liten. Dette skyldes at Vestsiden ligger innenfor det området hvor de lokalmeteorologiske forhold påvirkes av brevind.

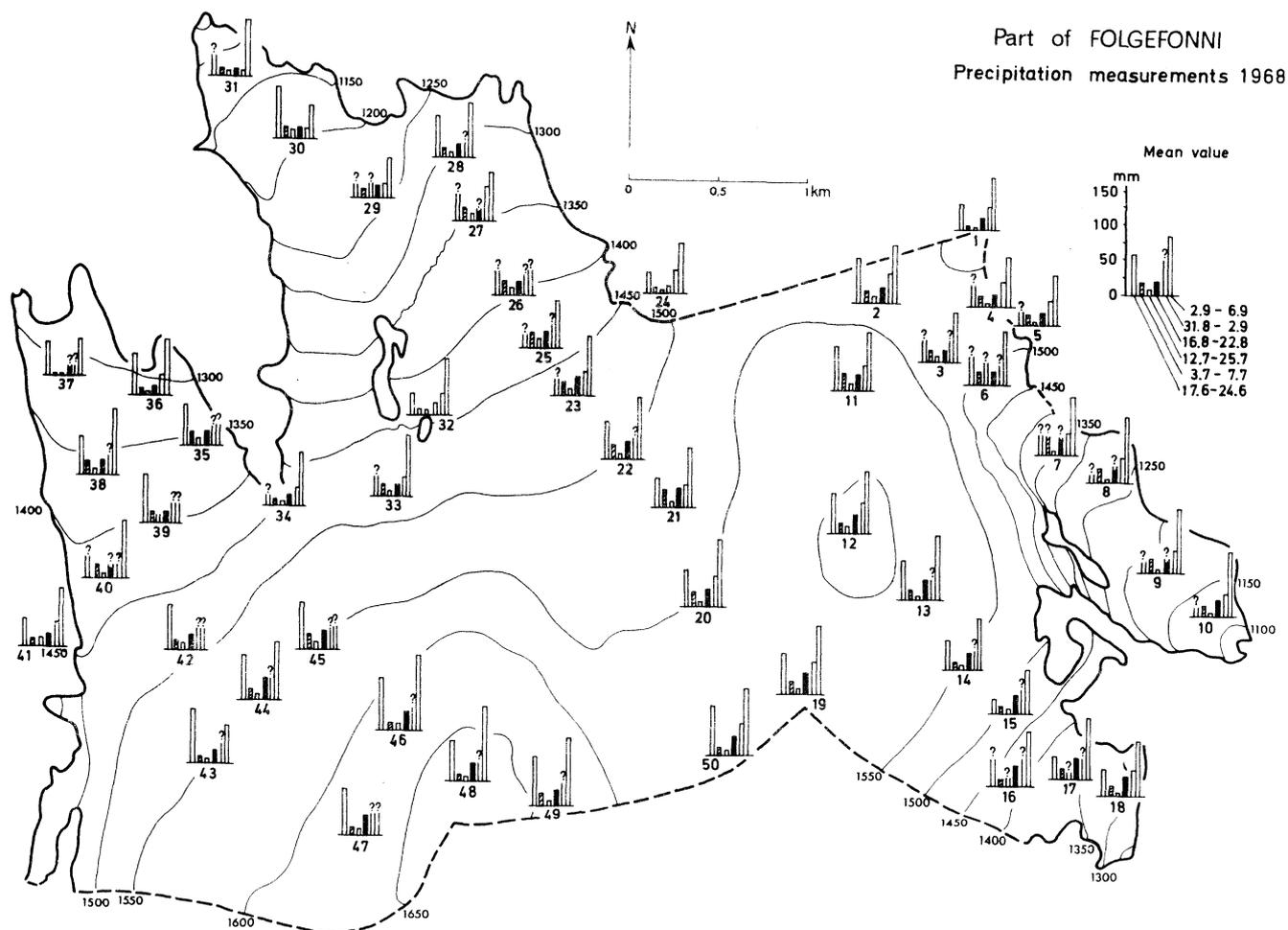


Fig. 15 Beliggenheten av nedbørmålere på Folgefonna 1968, og målte nedbørhøyder i 5 perioder. Den siste perioden er delt i to fordi målingene er meget ufullstendige i første del av perioden.

The location of precipitation gauges on Folgefonna 1968, and the observed precipitation in 5 periods during the summer. As very few gauges "survived" the first part of the last precipitation period this period is divided in two parts.

Temperaturgradienten mellom Indre Matre og Holmaskjeri er beregnet til $0,71^{\circ}\text{C}/100\text{ m}$ i juni, $0,72^{\circ}\text{C}/100\text{ m}$ i juli og $0,59^{\circ}\text{C}/100\text{ m}$ i august, mellom Indre Matre og Vestsiden $0,73^{\circ}\text{C}/100\text{ m}$ i juni og juli og $0,64^{\circ}\text{C}/100\text{ m}$ i august. Mellom Vestsiden og Holmaskjeri var gradienten $0,30^{\circ}\text{C}/100\text{ m}$ i juni og $0,42^{\circ}\text{C}/100\text{ m}$ i juli. I august var middeltemperaturen høyere på Holmaskjeri enn på Vestsiden slik at temperaturgradienten ble negativ. Dette skyldes som nevnt ovenfor at temperaturen på Vestsiden påvirkes av lokale forhold og blir lavere enn høyden ellers skulle tilsi.

Nedbørforhold. Døgnetlig nedbør ble målt på Holmaskjeri og i tiden 1/6-12/9 falt det her i alt 288 mm nedbør. På Bondhus falt det i samme tidsrom 217 mm og på Indre Matre 337 mm nedbør. Det alt vesentlige av dette falt i juni. Nedbøren var da noe større enn normalt, og på breen falt en stor del som snø. I

juli og august falt det bare lite nedbør i området. I Indre Matre var nedbørmengden 117% av normalen i juni og henholdsvis 24% og 12% i juli og august. Nedbørfordelingen ble undersøkt ved at 50 pluviusmålere ble fordelt i brefeltet, og nedbøren på hvert målested i 5 utvalgte perioder, 1) 17. -24. juni, 2) 3. -7. juli, 3) 12. -25. juli, 4) 16. -22. august og 5) 31. august-6. september, er gjengitt i fig. 15. Den siste perioden, 31/8-6/9 er oppdelt i to, bestemt av en måling 2/9, fordi bare få av målerne var intakt i hele perioden. Av observasjonsdiagrammet kan det se ut som det er en sammenhengende nedbørperiode fra 17/6-2/7, den er imidlertid oppdelt i flere av kortvarige opphold. Da størstedelen av nedbøren etter 24/6 falt som snø er bare delperioden 17/6-24/6 tatt med i denne sammenheng. I perioden 7/7 - 11/7 falt også mye nedbør som snø, og denne perioden er derfor heller ikke tatt med. Nedbøren falt i stor utstrekning i forbindelse med lokale byger og var hele tiden større på breplatået enn nede på tungene. Det var betydelig større forskjell i nedbørmengdene målt på breen og på de faste meteorologiske stasjonene enn tidligere år, men grunnlaget for å sammenlikne nedbøren i brefeltet med nedbøren på de faste meteorologiske stasjonene er også dårlig. Første periode er ikke godt nok avgrenset til at tilsvarende nedbørperiode kan taes ut i Indre Matre. I første del av siste periode mangler de fleste målingene i brefeltet, og de to delperioder er ikke godt nok avgrenset til at tilsvarende perioder kan taes ut i Indre Matre. I 2. og 4. periode var middelnedbøren i brefeltet henholdsvis 17 mm og 19 mm, og i begge periodene var forholdet mellom nedbøren her og i Indre Matre 1,4, som er noe høyere enn tilsvarende forholdstall fra tidligere år. I 3. periode var det stort sett pent vær med lite nedbør, middelnedbøren i brefeltet er beregnet til 8 mm mens det falt ubetydelig nedbør i Indre Matre.

Som nevnt ovenfor var nedbørmengdene uvanlig små både i juli og august. Resultater av sammenlikning av nedbørmengdene på breen og i Indre Matre i 1968 kan derfor ikke påregnes å være særlige pålitelige.

Vesledalsbreen

På Vesledalsbreen ble materialhusholdningen målt, og fra midten av juni til utgangen av august ble det foretatt daglige meteorologiske observasjoner ved øvre og nedre observasjonshytte.

Nedbørfordelingen i brefeltet er undersøkt. Vannstanden er observert minst

to ganger om dagen ved det midlertidige vannmerket rett nedenfor brefronten, og ved utløpet av vannet er vannstanden registrert ved limnigraf (V. M. 1656).

Slammålinger ble tatt ved brefronten i Breelven, og ved innløpet og utløpet av Vesledalsvann. Dette er behandlet i eget avsnitt.

I mai ble et instrument for radioekkomåling av bretykkelser av tempererte breer prøvet på breplatået. Et forbedret instrument vil bli konstruert og prøvet i 1969. I denne forbindelse ble bretykkelsen målt av Statskraftverkens plankontor ved smelteboring i utvalgte punkt sommeren 1968.

Materialhusholdningen.

Vinterbalanse. Allerede tidlig i vintersesongen falt det mye snø. 9. oktober hadde det kommet opp til 60 cm snø og 2 måneder senere hadde snødyppet økt til ca. 3 m over størstedelen av breen. Bare 6 staker (10, 20, 40, 56, 86, 110) var da intakt. 21. februar var bare 4 av disse stakene synlige (10, 20, 40, 110), og snødyppet hadde økt til ca. 5 m på toppen av breen.

Etter denne tid var det relativt liten øking av snødyppet, og ved hovedmålingen som ble utført 18. -19. april, var det mellom 5 m og 7 m snø de fleste steder. På grunn av flere harde lag var det tungt å sondere, men fjorårets sommeroverflate var de aller fleste steder tydelig gjenkjennbar. Det ble i alt tatt

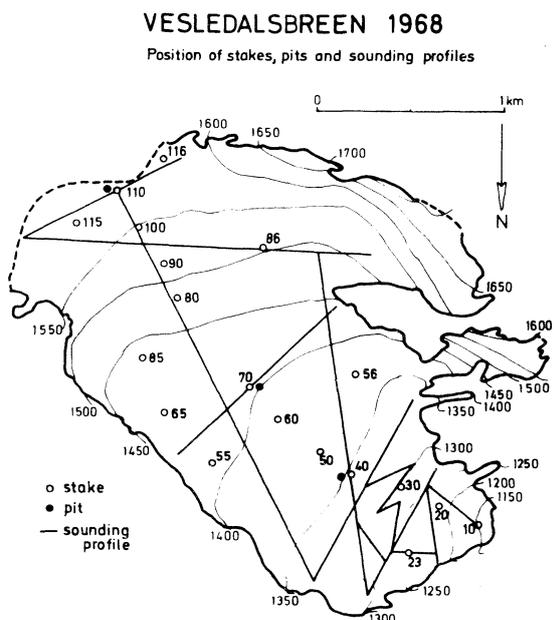


Fig. 16 Beliggenheten av staker, sjakter og sonderingsprofiler.

The location of stakes, pits and sounding profiles.

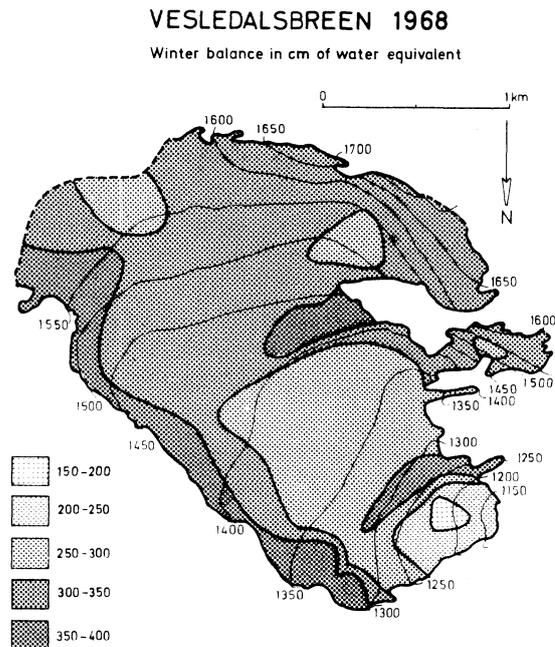


Fig. 17 Kart som viser vinterbalansen 1968.

Map showing the winter balance 1968.

115 sonderinger langs ca. 12 km sonderingsprofiler (27 sond/km²), og snøens vannverdi ble målt ved stake 70-68, som da ble satt ut (fig. 16).

Som det fremgår av fig. 16 er det ingen målinger på breens høyestliggende partier i bakken opp mot Strynekåpa. Fra tidligere års flybilder, da snøgrensen har ligget betydelig høyere enn i år, ser det imidlertid ikke ut til at

VESLEDALSBREEN 1968

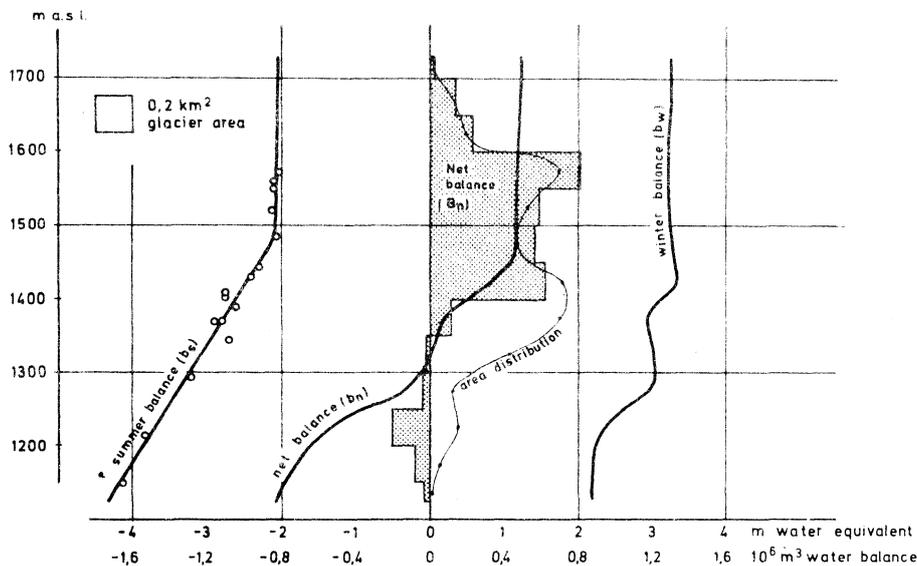


Fig. 18 Variasjonene med høyden over havet av vinter-, sommer- og netto-balansen, samt breens arealfordeling og arealverdier av netto-balansen i hvert 50 m høydeintervall.

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.

VESLEDALSBREEN 1968

Høyde intervall m o.h.	Areal S km ²	Vinterbalanse			Sommerbalanse			Nettobalanse		
		B_w 10 ⁶ m ³	b_w m	$1/s$ 1/s km ²	B_s 10 ⁶ m ³	b_s m	$1/s$ 1/s km ²	B_n 10 ⁶ m ³	b_n m	$1/s$ 1/s km ²
1700-1730	0.014	0.045	3.25	103	0.029	2.06	65	+0.016	+1.19	+38
1650-1700	0.115	0.374	3.25	103	0.237	2.06	65	+0.137	+1.19	+38
1600-1650	0.186	0.605	3.25	103	0.383	2.06	65	+0.222	+1.19	+38
1550-1600	0.704	2.268	3.22	102	1.450	2.06	65	+0.818	+1.16	+37
1500-1550	0.521	1.692	3.25	103	1.107	2.13	67	+0.585	+1.12	+36
1450-1500	0.486	1.597	3.29	104	1.033	2.13	67	+0.564	+1.16	+37
1400-1450	0.724	2.436	3.36	106	1.814	2.51	78	+0.622	+0.85	+28
1350-1400	0.719	2.118	2.95	94	2.003	2.79	88	+0.115	+0.16	+6
1300-1350	0.420	1.274	3.03	96	1.289	3.07	97	-0.025	-0.04	-1
1250-1300	0.120	0.353	2.94	93	0.396	3.30	104	-0.043	-0.36	-11
1200-1250	0.147	0.347	2.36	75	0.549	3.73	118	-0.202	-1.37	-43
1150-1200	0.050	0.111	2.22	70	0.200	4.00	126	-0.089	-1.78	-56
1125-1150	0.015	0.033	2.20	69	0.062	4.13	130	-0.029	-1.93	-61
1125-1730	4.221	13.253	3.14	99	10.552	2.50	79	+2.701	+0.64	+20

akkumulasjonen øker noe vesentlig i dette området. Kartet over vinterbalansen (fig. 17) er tegnet under denne forutsetning.

På grunnlag av målinger på breen 20. mai og 12. juni og meteorologiske observasjoner fra faste stasjoner er akkumulasjonen etter hovedmålingen beregnet til 15 cm vann over hele breen.

Vinterbalansen er i alt beregnet til $13,3 \cdot 10^6 \text{ m}^3$ vann som tilsvarer 3,14 m jevnt fordelt over hele breen og et tilsig på 99 l/s km^2 fordelt over hele året.

Sommerbalanse. Stakene ble målt ca. hver 4. dag fra midten av juni til utgangen av september. Sommersesongen hadde begynt over hele breen da sommerassistentene kom på stedet 12. juni. I periodene 20. -30. juni, 8. -15. juli, 19. juli og 12. -14. august falt en stor del av nedbøren som snø på breens øvre del, men det falt likevel relativt lite snø denne sommersesongen. Sommerakkumulasjonen var ubetydelig nedenfor 1300 m, men økte oppover breen til ca. 15 cm vannverdi ved de øverste stakene. Sommerakkumulasjonen er i alt beregnet til $0,34 \cdot 10^6 \text{ m}^3$ vann eller 8 cm vann jevnt fordelt over hele breen.

Siste stakemåling ble foretatt 7. oktober, og neste års akkumulasjon hadde da begynt overalt. Sommerbalansen er i alt beregnet til $10,6 \cdot 10^6 \text{ m}^3$ eller 2,50 m vann (79 l/s km^2) jevnt fordelt over hele breen. Den avtar fra vel 4 m vann nederst på breen til ca. 2 m omkring 1500 m o. h., videre opp til 1600 m-nivået varierer sommerbalansen meget lite, og dette er antatt å gjelde helt til toppen av breen (fig. 18). En feil her vil imidlertid gi lite utslag kvantitativt da disse høyestliggende partier av breen representerer meget små areal. Da sommerakkumulasjonen øker etter en tilnærmet rettlinjet funksjon med stigende høyde over havet, vil en ablasjonskurve få et noe mindre markert knekkpunkt enn kurven for sommerbalansen, men det vil på langt nær forsvinne.

Nettobalanse. De forandringene i gradienten av kurvene for vinter- og sommerbalanse gjenspeiles i kurven for nettobalansen (fig. 18). Nettobalansen avtar ganske jevnt opp til 1450 m o. h., og er tilnærmet konstant videre oppover breen. Sommerakkumulasjonen har ingen innflytelse på denne kurven.

Breisen kom i 1968 til syne i meget små felt helt nederst på breen og likevektslinjen lå i overgangen mellom årets og fjorårets snø, i middel 1320 m o. h. I alt ble en masse tilsvarende $2,7 \cdot 10^6 \text{ m}^3$ vann akkumulert på denne breen i 1968. Dette tilsvarer 0,64 m vann (20 l/s km^2) jevnt fordelt over hele breen.

VESLEDALSMBREEN 1968

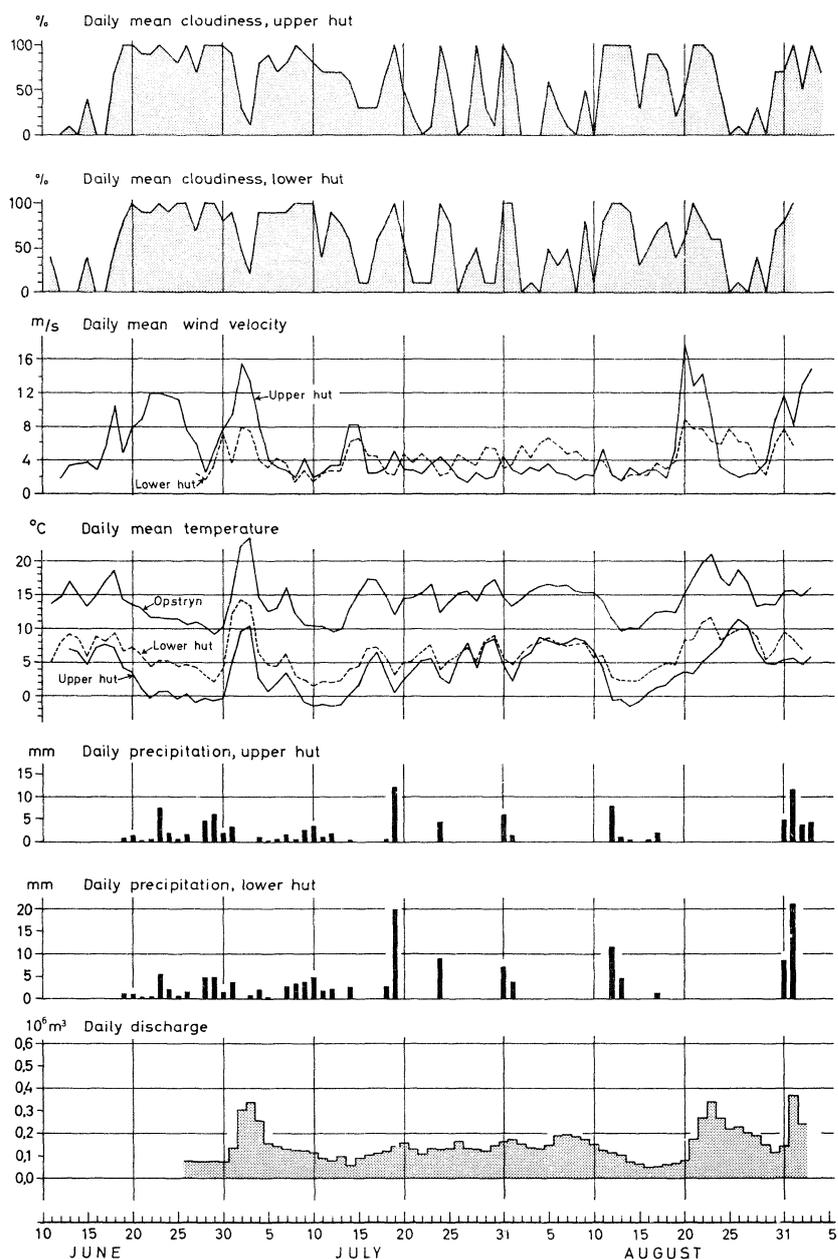


Fig. 19 Resultatene av de daglige meteorologiske observasjoner fra øvre og nedre hytte, samt beregnet døgnavløp ved vannmerket nedenfor brefronten.

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

Meteorologiske og hydrologiske observasjoner og beregninger.

Sky- og vindforhold. Ved øvre hytte var det i tiden 12/6-31/8 (71 dager) 14 dager med helt klart vær, 36 dager var det halvskyet eller klarere og 18 dager var det helt overskyet eller tett tåke på observasjonsstedet. Ved nedre hytte var det helt klart 11 dager, 35 dager var det halvskyet eller klarere vær og

16 dager helt overskyet eller tett tåke (fig. 19). Midlere skydekke i perioden er beregnet til 5,7 for både øvre og nedre hytte.

Fra begynnelsen av juli til omkring 20. august var det rolige vindforhold med vindstyrker gjennomgående mindre enn 4 m/s både på øvre og nedre hytte. Stort sett var vinden sterkere på nedre enn øvre hytte. I begynnelsen og slutten av observasjonsperioden var vinden sterkere, og da var det størst vindstyrke på øvre hytte. På begge observasjonsstedene ble største døgnlige vindstyrke målt 20. august med 17,8 m/s på øvre hytte og 9,1 m/s på nedre hytte. Minste vindstyrke var 1,4 m/s (27/7) på øvre hytte og 1,3 m/s (8/7) på nedre hytte. For juli og august er midlere vindstyrke beregnet til 4,5 m/s på øvre hytte og 4,4 m/s på nedre hytte.

På øvre hytte var det i første del av perioden fremherskende sørlige vinder. I siste del av sommeren var det mere skiftende vindforhold, men i stor utstrekning blåste vinden fra nordlig kant. Ved nedre hytte var det i det alt vesentlige østlige vinder, bare av og til kom vinden fra annen kant og da stort sett fra vest. Vindretningen var altså nesten alltid forskjellig på øvre og nedre hytte. Både vindretningen og vindstyrken viser at nedre hytte ligger i det område som påvirkes av brevinden, mens øvre hytte ser ut til å ligge ovenfor dette området.

Temperaturforhold. Døgnmiddeltemperaturen for øvre og nedre hytte ved breen og for Meteorologisk Institutt's stasjon Oppstryn er gjengitt i observasjonsdiagrammet. Også temperaturkurven viser at brevinden påvirker værforholdene ved nedre hytte, og i perioder med klart vær er derfor lufttemperaturen relativt lavere her enn ved øvre hytte. Ellers er det god korrelasjon mellom temperaturen på de tre stedene. Høyeste døgnmiddeltemperatur ble målt 2. juli i Oppstryn (29,5°C) og ved nedre hytte (14,2°C), og 26. august ved øvre hytte (11,5°C). Den laveste døgnmiddeltemperaturen ble observert i Oppstryn 29. juni (9,2°C), ved nedre hytte 10. juli (1,6°C) og ved øvre hytte 12. august (-1,5°C). Negative temperaturer ble bare observert ved øvre hytte i periodene 22. -30. juni, 9. -14. juli og 12. -16. august.

Den midlere temperaturgradienten for 12. -30. juni, juli og august mellom de tre observasjonsstedene er beregnet og gjengitt nedenfor.

	Gradient (°C/100 m)		
	juni	juli	aug.
Oppstryn/nedre hytte	0,75	0,91	0,84
Oppstryn/øvre hytte	0,74	0,80	0,71
Øvre/nedre hytte	0,73	0,56	0,42

Temperaturgradienten er praktisk talt den samme i de forskjellige høydeintervall i juni, mens gradienten i juli og august er betydelig lavere mellom nedre og øvre hytte på breen enn mellom Oppstryn og hver av observasjonshyttene. Dette viser også at stasjonen ved nedre hytte er påvirket av lokale faktorer, her brevind, som senker temperaturen. Dette fører til at gradienten blir høyere i området nedenfor og tilsvarende lavere ovenfor. Temperaturgradienten mellom Oppstryn og øvre hytte representerer best de generelle temperaturforhold i området. I 1967 var tendensen den samme, men forskjellen var da mindre. Årsaken til dette er at værforholdene sommeren 1967 ikke førte til så markerte lokale variasjoner over breen.

Nedbørforhold. Døgnlige nedbør ble målt ved øvre og nedre hytte, og i tiden 11/6-31/8 falt det i alt 118 mm nedbør ved nedre hytte og 83 mm ved øvre hytte. Ved øvre hytte falt nedbøren som snø i periodene 22. -30. juni, 10. -15. juli og 12. -15. august, mens praktisk talt all nedbøren ved nedre hytte falt som regn.

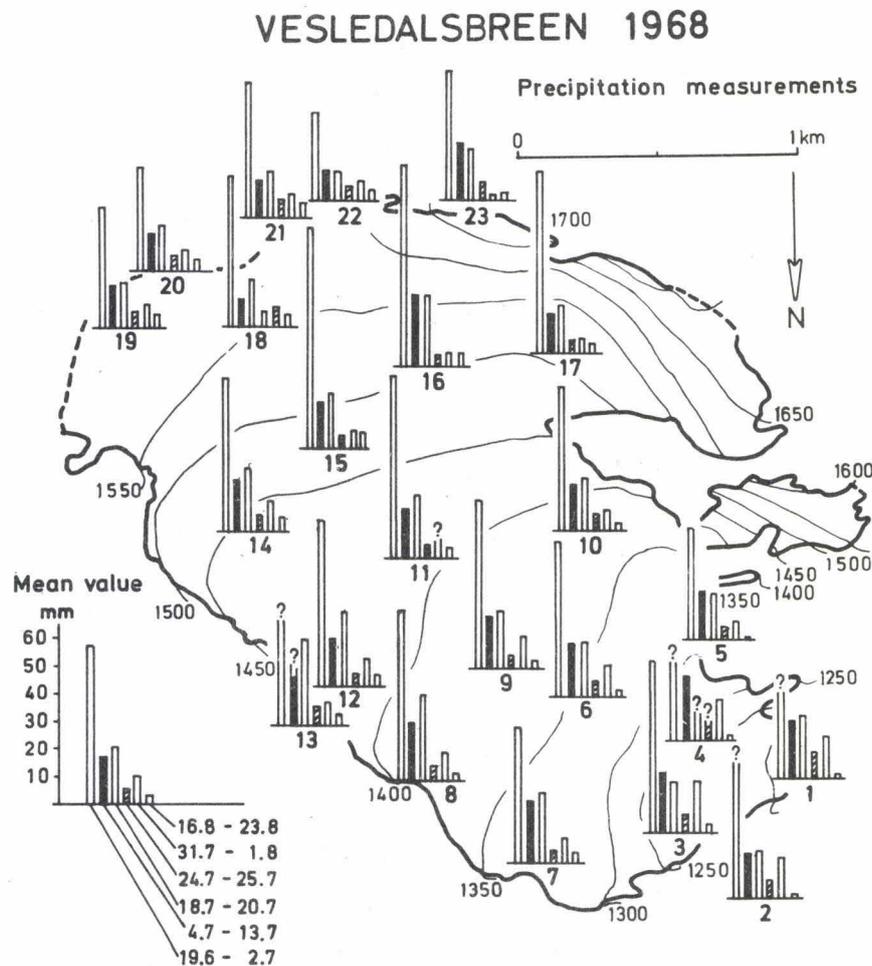


Fig. 20 Beliggenheten av nedbørmålere på Vesledalsbreen og de målte nedbørhøyder i 6 perioder i løpet av sommeren.

The location of precipitation gauges on Vesledalsbreen, and the observed precipitation during 6 periods.

Nedbørfordelingen i feltet ble undersøkt nærmere, og observert nedbør 23 steder i feltet i 6 utvalgte nedbørperioder 1) 19/6 - 2/7, 2) 4/7 - 13/7, 3) 18/7 - 20/7, 4) 24/7 - 25/7, 5) 31/7 - 1/8, 6) 16/8 - 23/8, fremgår av fig. 20. I de to første periodene falt nedbøren i det alt vesentlige som snø på breens øvre deler og observasjonene kan derfor være noe usikre i disse områdene. Det falt også snø i periodene 14.-15. juli og 11.-15. august, som ikke er tatt med i oversiktsfiguren. Ellers var det oppholdsvær fram til 31. august.

Det er tegnet kart over nedbørfordelingen i hver periode, og det viser seg da å være to hovedtyper av nedbørfordelinger. Når hovedvindretningen målt på øvre hytte er nordlig, er nedbøren størst i feltets lavestliggende og østre deler og avtar mot vest og med stigende høyde over havet (4/7 - 13/7, 18/7 - 20/7, 24/7 - 25/7, 31/7 - 1/8, 11/8 - 15/8). Når vinden kommer fra sørlig kant er det et nedbørmaksimum midt på breen og nedbøren avtar herfra både oppover og nedover i feltet (19/6 - 2/7, 14/7 - 15/7, 16/8 - 23/8).

Videre er middelnedbøren i hver periode sammenliknet med nedbøren målt på Meteorologisk Institutt's klimastasjon Oppstryn. Det faller alltid mere nedbør på breen enn i Oppstryn, men forholdstallet varierer ganske mye. I enkelte av periodene var imidlertid nedbørmengdene meget små, og dette øker usikkerheten i de beregnete forholdstall. For alle periodene med fremherskende nordlig vindretning sett under ett er nedbøren i brefeltet 1,8 ganger større enn i Oppstryn. Når hovedvindretningen er sørlig, er det tilsvarende forholdstall 3,2. For alle periodene sett under ett var nedbøren i brefeltet 2,3 ganger større enn i Oppstryn. Disse forhold indikerer at Oppstryn ligger i regnskygge når nedbøren kommer med sørlige vinder, og det er ønskelig å ta hensyn til vindforholdene når nedbøren på breen skal beregnes ut fra meteorologiske data fra Oppstryn.

Hydrologiske målinger. Rett nedenfor brefronten er avløpet beregnet ut fra målinger ved et midlertidig vannmerke, og døgnlig avløp her er gjengitt i observasjonsdiagrammet (fig. 19). Avløpet er dessuten korrelert med de meteorologiske faktorer og slam- og vannføring i breelva og Vesledalsvann er undersøkt nærmere. Dette er behandlet i egne avsnitt.

Tunsbergdalsbreen

Materialhusholdningen.

Vinterbalanse. Allerede i november var alle stakene på plataået nedsnødd, og heller ikke på tungen ble noen staker funnet. Hovedmålingen av vinterbalansen ble foretatt i tiden 11. - 16. april. Man hadde da ingen staker på plataået å støtte seg til, på tungen ble imidlertid stake 20-67 gjenfunnet. Sonderingsforholdene var meget gode opp til ca. 1300 m på tungen, og det ble her tatt 102 sonderinger langs ca. 20 km sonderingsprofiler. Snødyppet økte jevnt oppover bretungen og varierte stort sett mellom 3 m og 5 m. Det ble satt ut 6 staker.

På plataået kunne sommeroverflaten bare bestemmes ved kjerneboring. Snødyppet var også her forholdsvis jevnt og varierte mellom 5,5 m og 7,5 m. Det ble tatt 15 snødypmålinger og satt ut 5 staker (39, 41, 43, 39, 50). Snøtettheten ble bestemt ved stake 41 på plataået og stake 8 på tungen (fig. 21).

På grunnlag av målinger på Tunsbergdalsbreen og Nigardsbreen 20. mai og på Nigardsbreen 10. juni er balanseøkningen etter hovedmålingen bestemt til 25 cm vannverdi på plataået og 15 cm vannverdi på tungen.

Fordelingen av vinterbalansen er gjengitt i fig. 22 og den er i alt beregnet til $120,0 \cdot 10^6$ m³ vann som utgjør 2,74 m vann eller 86 l/s km² jevnt fordelt over hele breen og hele året.

Sommerbalanse. I løpet av sommersesongen ble stakene kontrollert 3-4 ganger, siste gang ca. 19. august. Det ble satt ut erstatningsstaker for de staker som fortsatt manglet. Ingen av fjorårets staker på plataået ble gjenfunnet denne sommeren. 7. november hadde det kommet opp til 2 m snø på plataået, men det hadde også smeltet ca. 120 cm snø siden 19. august. På tungen var det vesentlig mindre snø, breoverflaten var uvanlig sterkt oppsprukket, og bare 2 staker ble målt. Balanseforandringen etter 19. august er sammenliknet med den på Nigardsbreen, og forholdene i denne perioden viste seg å være temmelig like de to stedene. Balanseforandringen på de lavere deler av Tunsbergdalsbreen kunne da beregnes på dette grunnlag.

Sommerbalansen er i alt beregnet til $118,3 \cdot 10^6$ m³ vann. Dette tilsvarer 2,7 m vann eller 85 l/s km².

Kurven for sommerbalansens variasjon med høyden over havet (fig. 23) viser at gradienten er mindre over ca. 1300 m enn opp til denne høyden. Sommerakkumulasjonen er ikke tatt med her. Det foreligger ikke direkte målinger av sommerakkumulasjonen, men ved sammenlikning med forholdene på

TUNSBERGDALSMBREEN 1968

Position of stakes, pits and sounding profiles

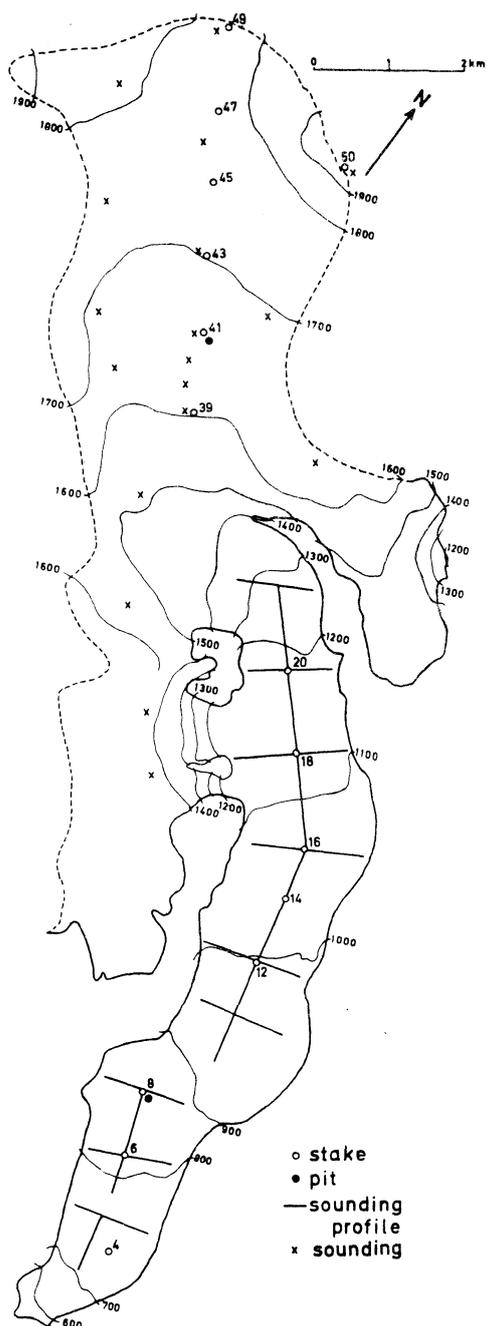


Fig. 21 Beliggenheten av staker, sjakter og sonderingsprofiler.

The location of stakes, pits and sounding profiles.

TUNSBERGDALSMBREEN 1968

Winter balance in cm of water equivalent

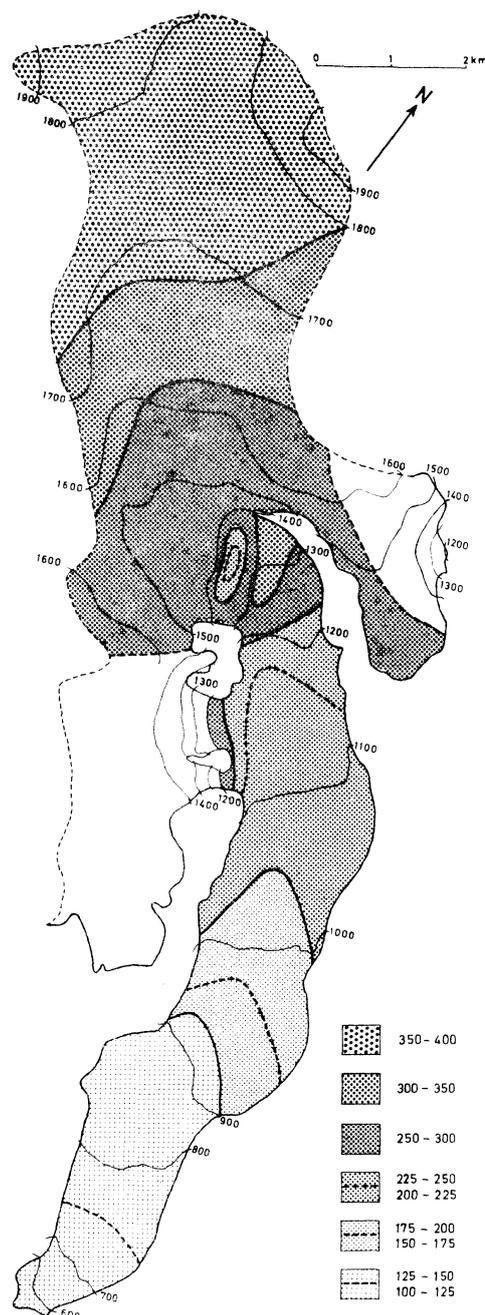


Fig. 22 Kart over vinterbalansen på Tunsbergdalsbreen.

Map showing the winter balance on Tunsbergdalsbreen.

Nigardsbreen er sommerakkumulasjonen beregnet til $3,5 \cdot 10^6 \text{ m}^3$ vann som utgjør 8 cm jevnt fordelt over hele breen. Sommerakkumulasjonen må ha vært ubetydelig nedenfor 1300 m, på breens øvre partier er den beregnet til 23 cm vann og 13 cm i gjennomsnitt for området ovenfor 1300 m.

TUNSBERGDALSBREEN 1968

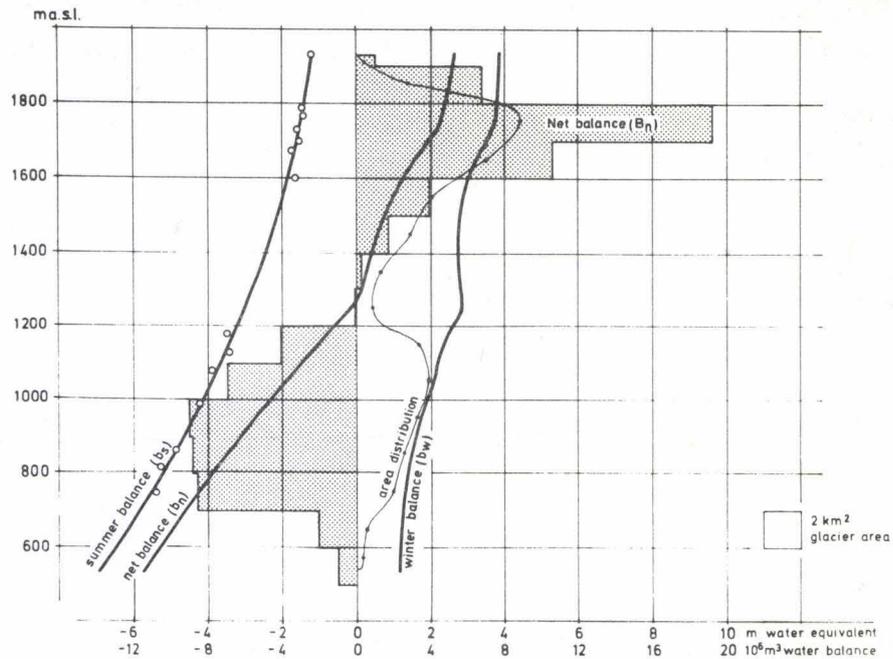


Fig. 23 Variasjonene av vinter-, sommer- og netto-balanse med høyden over havet, breens arealfordeling og arealverdier av netto-balansen i hvert 50 m høydeintervall.

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.

TUNSBERGDALSBREEN 1968

Høyde intervall m o.h.	Areal S km ²	Vinterbalanse			Sommerbalanse			Nettobalanse		
		B_w 10 ⁶ m ³	m	b_w l/s km ²	B_s 10 ⁶ m ³	m	b_s l/s km ²	B_n 10 ⁶ m ³	m	b_n l/s km ²
1900-1930	0.384	1.440	3.75	118	0.472	1.23	39	+ 0.968	+2.52	+ 79
1800-1900	2.808	10.530	3.75	118	3.861	1.38	44	+ 6.669	+2.37	+ 74
1700-1800	8.788	32.593	3.71	117	13.452	1.53	48	+19.141	+2.18	+ 69
1600-1700	7.008	22.274	3.18	100	11.698	1.67	53	+10.576	+1.51	+ 47
1500-1600	4.088	11.485	2.80	88	7.665	1.88	59	+ 3.820	+0.92	+ 29
1400-1500	2.908	7.997	2.75	87	6.326	2.18	69	+ 1.671	+0.57	+ 18
1300-1400	1.202	3.288	2.74	87	3.100	2.58	81	+ 0.188	+0.16	+ 6
1200-1300	0.992	2.772	2.79	88	2.920	2.94	94	- 0.148	-0.15	- 6
1100-1200	3.344	7.598	2.27	72	11.750	3.51	111	- 4.152	-1.24	- 39
1000-1100	3.824	7.850	2.05	65	14.980	3.92	124	- 7.130	-1.87	- 59
900-1000	3.336	5.538	1.66	52	14.845	4.45	140	- 9.307	-2.79	- 88
800- 900	2.451	3.370	1.37	43	12.209	4.98	157	- 8.839	-3.61	-114
700- 800	2.040	2.632	1.29	41	11.177	5.48	173	- 8.545	-4.19	-132
600- 700	0.416	0.468	1.13	36	2.558	6.15	194	- 2.090	-5.02	-158
540- 600	0.184	0.207	1.13	36	1.242	6.75	213	- 1.035	-5.62	-177
540-1930	43.773	120.042	2.74	86	118.255	2.70	85	+ 1.787	+0.04	+ 1

Nettobalanse. På Tunsbergdalsbreen var vinter- og sommerbalansen praktisk talt like store, og breen var altså i likevekt. Resultatene av årets målinger fremgår av tabellen på foregående side som illustreres av fig. 23.

Likevektslinjen i år, som altså representerer likevektslinjen et år breen er i likevekt, lå 1270 m o. h.

Nigardsbreen

På Nigardsbreen er materialhusholdningen målt, og det er foretatt meteorologiske observasjoner på breplatået fra midten av juni til utgangen av august. Brefronten har nå smeltet tilbake slik at den ikke lenger når fram til vannet.

På grunnlag av flyfoto tatt sommeren 1967 er det av Norges Geografiske Oppmåling konstruert et nytt kart som dekker hele breen. Forandringene fra forrige kartlegging (NVE 1964) er ubetydelig, bortsett fra på Bretungens aller

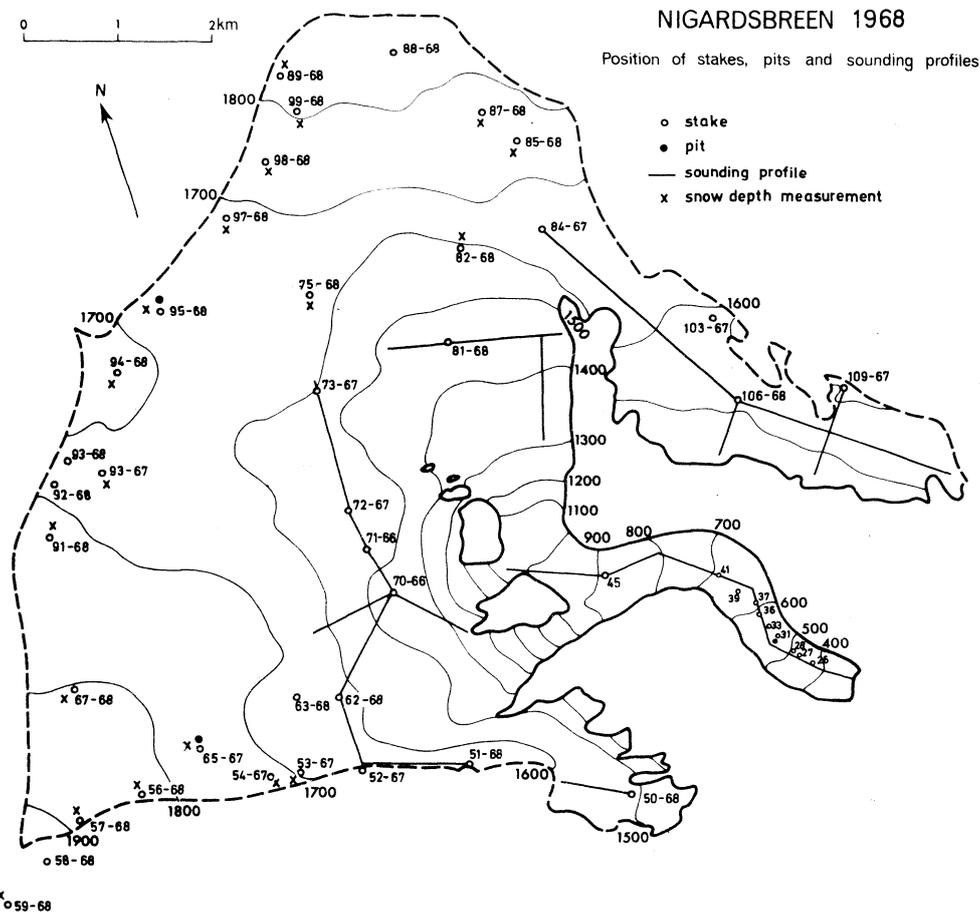


Fig. 24 Beliggenheten av staker, sjakter og sonderinger på Nigardsbreen 1968.

The location of stakes, pits and soundings on Nigardsbreen 1968.

nederste del. 400 m - koten er praktisk talt sammenfallende på de to kart, og bare arealet nedenfor denne er korrigert. Det er i år også foretatt målinger på breområdene på Liaksla og Hauganosi som drenerer til Nigardsvatnet, og disse områdene er nå tatt med i beregningene. Dette har ført til at breens arealfordeling er noe endret.

Slamføringen er målt ved innløpet og utløpet av Nigardsvatnet, og dessuten er sedimentasjonen i vatnet undersøkt nærmere. Videre er avløpet korrelert med de meteorologiske faktorer. Dette er behandlet i egne avsnitt.

Materialhusholdningen.

Vinterbalanse. I oktober var de fleste staker intakt, og det hadde falt mellom 0,5 m og 1,5 m snø på plataået. Utover høsten kom det mye snø og stakene ble kontrollert igjen allerede i desember. På grunn av meget dårlige værforhold ble bare 7 staker funnet (53, 65, 70, 71, 72, 73, 92), her varierte snødyppet mellom 2,0 og 3,5 m. I februar hadde dessuten stake 92 forsvunnet, ved de øvrige stakene var det da mellom 3 m og 5 m snø. En erstatningsstake, 95-68, ble satt ut. Hovedmålingen av årets vinterbalanse ble foretatt i tiden 17.-28. april. I tillegg til de stakene som var kontrollert ved forrige

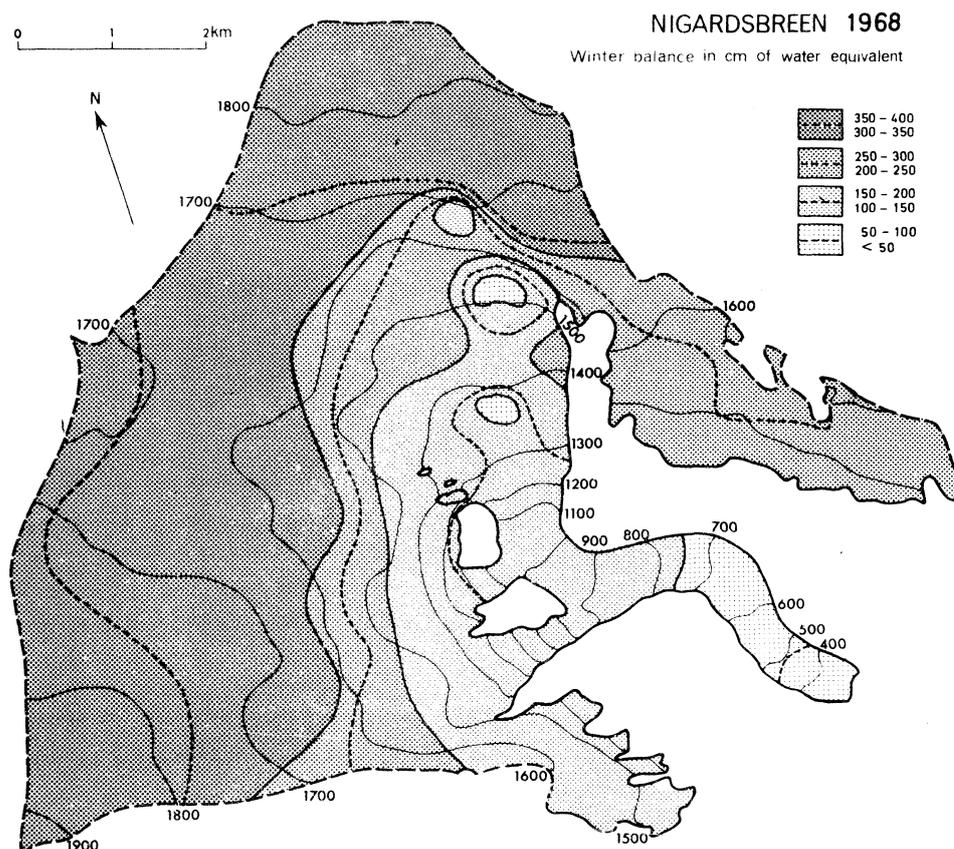


Fig. 25 Kart som viser vinterbalansen på Nigardsbreen 1968.

Map showing the winter balance 1968.

besøk ble også stake 109 på Liaksla funnet. Hyppige snøfall og meget liten ablasjon foregående sommer hadde gitt en meget utydelig sommeroverflate. Det viste seg at snødyppet kunne måles ved sondering bare på de lavestliggende deler av platået. I de øverste områdene ble snødyppet bestemt først og fremst ved hjelp av målinger på nyutsatte erstatningsstaker, og på eldre staker som kom fram i løpet av sommeren. I alt ble det tatt ca. 175 sonderinger til sommeroverflaten på platået, og snødyppet er bestemt på annen måte i 18 punkt. Snøens vannverdi ble målt ved stake 65 (fig. 24). Disse forhold medfører at den absolutte usikkerhet i resultatene blir større enn når snødyppet kan bestemmes direkte ved sondering i mange punkter. De store snømengdene i dette området gjør at den relative usikkerhet på sluttresultatet neppe overstiger 10%. På tungen ble det tatt 25 sonderinger og snøens vannverdi ble bestemt ett sted. På grunnlag av målinger 20. mai og 15. juni er akkumulasjonen etter hovedmålingen beregnet til 20 cm vann over hele på platået, på tungen var tilleggsakkumulasjonen ubetydelig. Fordelingen av vinterbalansen er gjengitt i fig. 25. Vinterbalansen er i alt beregnet til $128,1 \cdot 10^6 \text{ m}^3$ vann som tilsvarende 2,72 m (86 l/s km^2) jevnt fordelt over hele arealet.

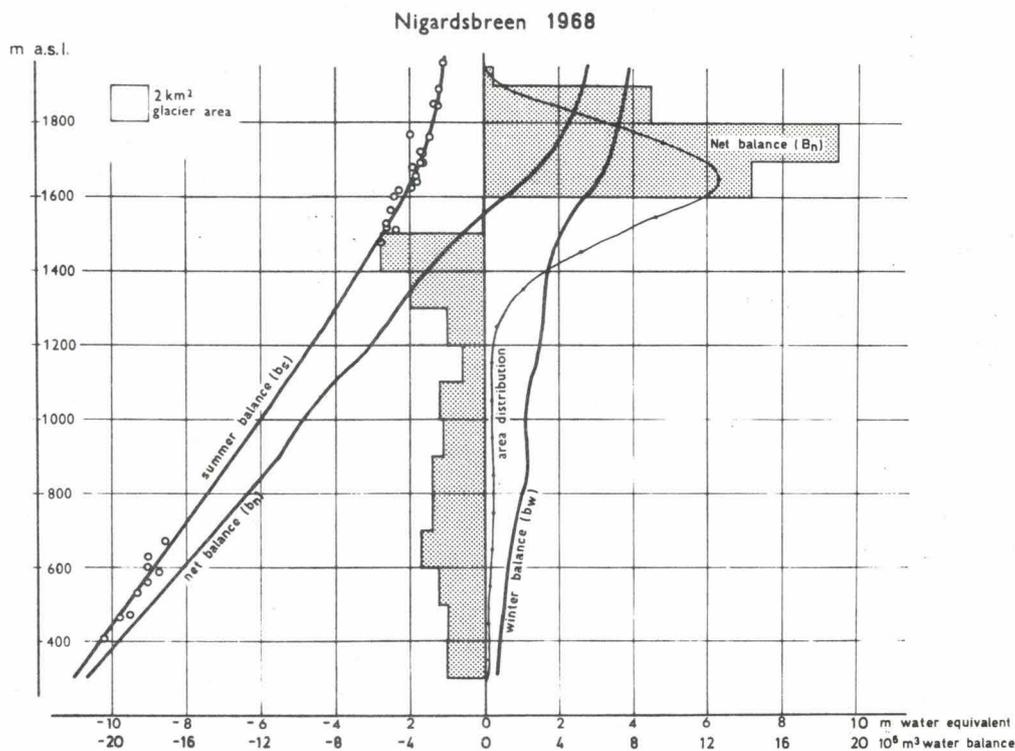


Fig. 26 Variasjonene med høyden over havet av vinter-, sommer- og netto-balansen, samt breens arealfordeling og arealverdier av netto-balansen i hvert 50 m høydeintervall.

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

Sommerbalanse. På platået foregikk overgangen fra vinter- til sommersesong omkring midten av juni. Så snart det lot seg gjøre ble det satt ut erstatningsstaker de steder staker manglet, og stakemålinger ble foretatt ca. hver 4. dag til utgangen av august.

Det var stort sett pent og relativt varmt vær med lite nedbør i sommersesongen, men i periodene 21.-30. juni, 12.-15. juli og enkelte dager i august falt det en del nedbør i form av snø på breplatået. Nedenfor 1300 m-nivået var sommerakkumulasjonen helt ubetydelig, på breens høyestliggende deler falt det snø opp til en vannverdi på 25 cm. I alt er sommerakkumulasjonen beregnet til $5,0 \cdot 10^6 \text{ m}^3$ vann som tilsvarer 11 cm vann jevnt fordelt over hele breen.

Ablasjonen var forholdsvis stor dette året, fram til utgangen av august hadde breoverflaten sunket ca. 3 m over store deler av platået. Likevel var det bare 5 av fjorårets staker som ble oppdager i løpet av sommeren. Også i september var det betydelig ablasjon, og snødypet minket med opp til 1 m på platået. Ved neste måling, 7. november, hadde det falt ca. 2 m nysnø. Overgangen fra sommer- til vinter-sesong foregikk omkring 30. september.

Sommerbalansen er i alt beregnet til $117,6 \cdot 10^6 \text{ m}^3$ vann som i middel tilsvarer 2,50 m eller 79 l/s km^2 . Dette er dobbelt så mye som sommerbalansen i 1967.

NIGARDSBREEN 1968

Høyde intervall m o.h.	Areal S km^2	Vinterbalanse			Sommerbalanse			Nettobalanse		
		B_w 10^6 m^3	b_w m	$l/s \text{ km}^2$	B_s 10^6 m^3	b_s m	$l/s \text{ km}^2$	B_n 10^6 m^3	b_n m	$l/s \text{ km}^2$
1900-1950	0.16	0.60	3.75	118	0.18	1.13	36	+ 0.42	+ 2.62	+ 82
1800-1900	3.76	14.10	3.75	118	5.08	1.35	43	+ 9.02	+ 2.40	+ 75
1700-1800	9.76	34.50	3.54	112	15.40	1.58	50	+19.10	+ 1.96	+ 62
1600-1700	12.76	39.34	3.08	97	24.90	1.95	61	+14.44	+ 1.13	+ 36
1500-1600	9.28	21.63	2.33	74	21.67	2.34	74	- 0.04	- 0.01	0
1400-1500	5.26	10.20	1.94	61	15.78	3.00	95	- 5.58	- 1.06	- 34
1300-1400	2.06	3.35	1.63	51	7.42	3.60	114	- 4.07	- 1.97	- 63
1200-1300	0.72	1.13	1.56	49	3.06	4.25	135	- 1.93	- 2.69	- 86
1100-1200	0.32	0.44	1.38	44	1.57	4.90	155	- 1.13	- 3.52	-111
1000-1100	0.54	0.61	1.13	36	3.05	5.65	178	- 2.44	- 4.52	-142
900-1000	0.42	0.47	1.13	36	2.67	6.35	200	- 2.20	- 5.22	-164
800- 900	0.48	0.54	1.13	36	3.36	7.00	221	- 2.82	- 5.87	-185
700- 800	0.40	0.39	0.97	31	3.12	7.80	246	- 2.73	- 6.83	-215
600- 700	0.44	0.33	0.75	24	3.74	8.50	268	- 3.41	- 7.75	-244
500- 600	0.28	0.21	0.75	24	2.58	9.20	284	- 2.37	- 8.45	-260
400- 500	0.20	0.11	0.53	17	2.00	10.00	316	- 1.89	- 9.47	-299
300- 400	0.19	0.12	0.45	14	2.03	10.70	322	- 1.91	-10.25	-308
300-1950	47.03	128.07	2.72	86	117.61	2.50	79	+10.46	+ 0.22	+ 6

Nettobalanse. Bretungen var snøbar opp til vel 800 m o. h. allerede 15. juni. En måned senere, 15. juli, lå den temporære snøgrensen omtrent på samme sted som likevektslinjen i 1967. I utgangen av august lå snøgrensen stort sett mellom 1450 m og 1600 m o. h., og det var dessuten enkelte mindre områder opp til 1700 m nivået der årets akkumulasjon helt hadde smeltet vekk.

Vinterbalansen var i år $10,5 \cdot 10^6 \text{ m}^3$ vann større enn sommerbalansen. I middel tilsvarer dette en økning på 0,22 m vann (6 l/s km^2). Resultatene av årets målinger er vist i tabellen på foregående side som illustreres av fig. 26. Det fremgår her at likevektslinjen lå 1550 m o. h.

Meteorologiske og hydrologiske observasjoner og beregninger.

Sky- og vindforhold. I observasjonstiden (14/6-31/8) var det i alt 14 dager med helt klart vær, og det var halvskyet eller klarere 43 dager. Helt overskyet var det 12 dager og tett tåke bare 2 dager. Midlere skydekke i perioden er beregnet til 5,3.

Det var sterkt skiftende vindforhold, men størstedelen av tiden kom vinden fra nordvest- eller sørvestlig kant. Ved nordvestlige vinder var det stort sett pent vær, mens nedbøren i hovedsaken kom med sørvestlige vinder.

Døgnmiddelvindstyrken varierte mellom 1,0 m/s og 8,9 m/s. Størstedelen av tiden var det rolige vindforhold, og midlere vindstyrke i observasjonstiden er beregnet til 3,9 m/s.

Temperaturforhold. Lufttemperaturen ble registrert ved observasjonshytta og ved stake 65. På Bjørkehaug er lufttemperaturen som tidligere år målt av Meteorologisk institutt. Temperaturgangen på de tre stedene stemmer meget godt overens (fig. 27). På breplatået var det denne sommersesongen bare 3 perioder med negative temperaturer (21. -30. juni, 9. -14. juli, og 11. -16. august). På Bjørkehaug varierte døgnmiddeltemperaturen mellom $8,2^{\circ}\text{C}$ (23/6) og $20,7^{\circ}\text{C}$ (3/7), på Hauganosi mellom $-1,8^{\circ}\text{C}$ (12/7) og $11,2^{\circ}\text{C}$ (25/8), og ved stake 65 ute på breplatået mellom $-3,1^{\circ}\text{C}$ (13/7) og $7,2^{\circ}\text{C}$ (25/8). For juli og august er den midlere temperaturgradient mellom Bjørkehaug og Hauganosi beregnet til henholdsvis $0,77$ og $0,67^{\circ}\text{C}/100 \text{ m}$, mellom Bjørkehaug og brestasjonen $0,82$ og $0,78^{\circ}\text{C}/100 \text{ m}$, og til $1,36$ og $2,14^{\circ}\text{C}/100 \text{ m}$ mellom Hauganosi og brestasjonen. Dette er samme tendens som tidligere år og indikerer et temperatursprang ved overgang fra bar mark til bre på mellom 1 og 2°C . Generelt sett er temperaturgradienten høyere i år enn i fjor, som også er å vente værforholdene tatt i betraktning.

NIGARDSBREEN 1968

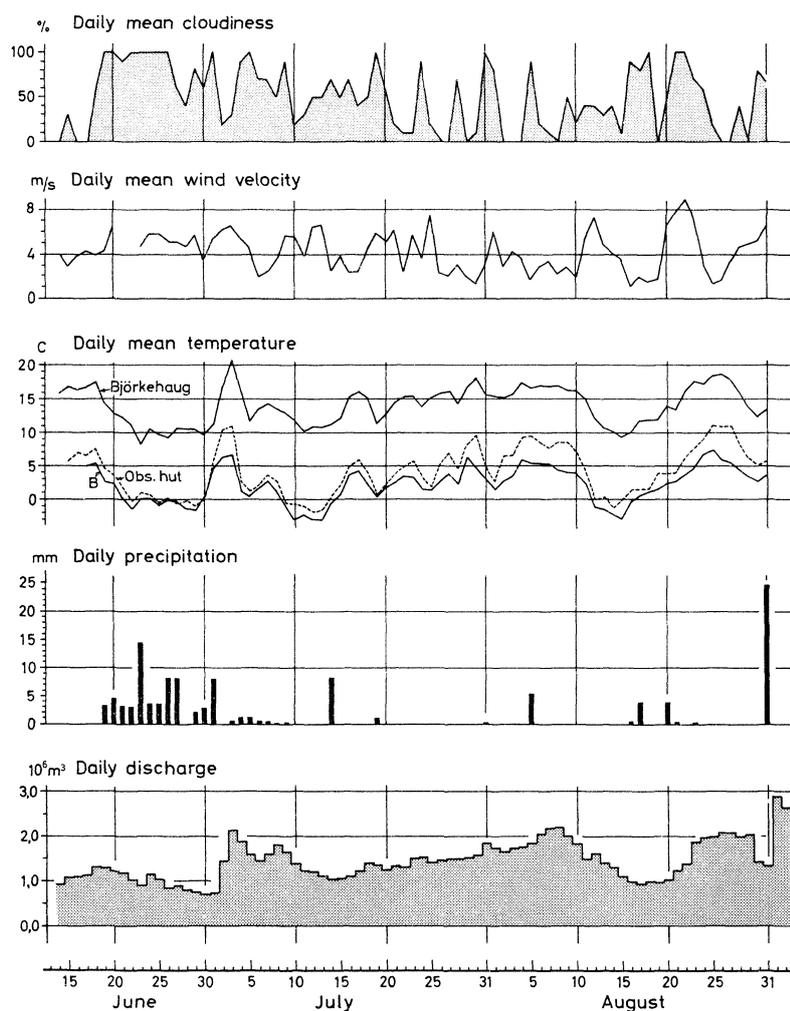


Fig. 27 Resultatene av de daglige meteorologiske observasjonene på Nigardsbreen og beregnet døgnavløp ved limnigrafen i Nigardsvatnet.

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

Nedbørforhold. Døgnlig nedbør ble målt ved observasjonshytta i pluvius og standardmåler. I siste del av juni falt det relativt mye nedbør, og som snø på breplatået. Resten av sommeren falt det lite nedbør, og det var 51 dager uten nedbør. I tiden 14/6-31/8 falt det i alt 121 mm nedbør på Hauganosi (standardmåler) og 102 mm på Bjørkehaug.

Nedbørfordelingen på breplatået er undersøkt på grunnlag av målinger i 28 punkt, og nedbøren på hvert målested i 6 forskjellige perioder fremgår av fig. 28. Middelnedbøren på den del av breplatået som ligger ovenfor 1400 m o. h. er funnet ved planimetrering av utarbeidete nedbørkart. I alle periodene var nedbøren liten, noe større på breplatået enn i dalen, men nedbørmengdene er

for små til å gi grunnlag for noen sammenlikning av forholdene på breplatået og i dalen slik som tidligere år.

Det faller nesten alltid mest nedbør langs breens høyderygg, og ved intenst regn er det relativt små variasjoner i nedbørmengden forskjellige steder på breplatået (1. og 6. periode). Under gode værforhold kom det i løpet av kvelden og natten av og til tåke innover breen med nordvestlige vinder, og det falt ofte noe nedbør i form av yr og lett regn. Denne tåken lå langs breens høyderygg og i blant et stykke nedover breplatåets sentrale partier, og nedbøren falt da bare her (periode 3). I år med mere normale nedbørmengder vil slike forhold neppe påvirke nedbørfordelingen i merkbar grad.

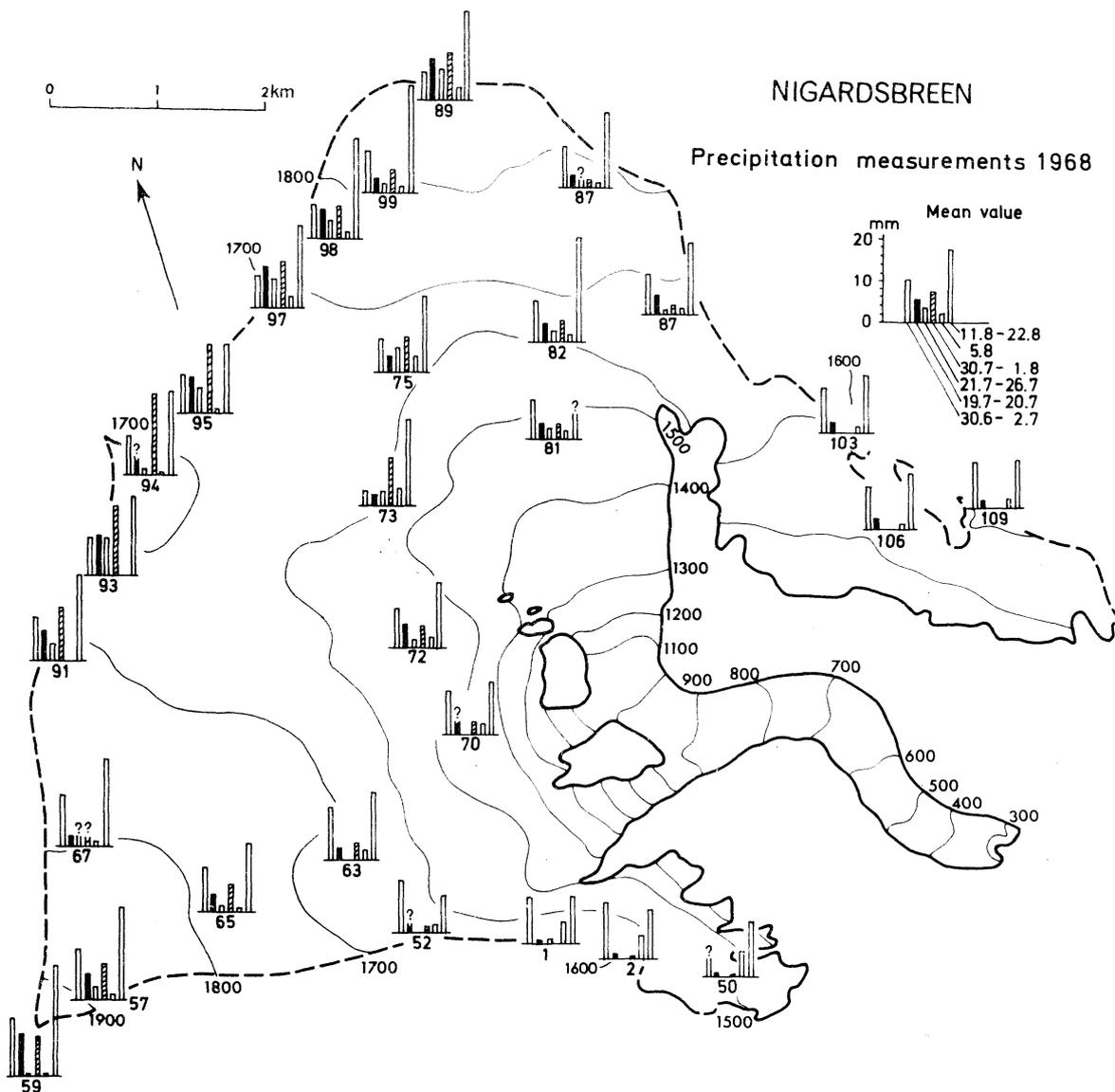


Fig. 28 Beliggenheten av nedbørmålere på Nigardsbreen 1968, samt de målte nedbørhøyder i 6 perioder.

The location of precipitation gauges on Nigardsbreen 1968, and the observed precipitation during 6 periods.

Hydrologiske målinger. Vannstanden ved utløpet av Nigardsvatnet er registret med limnigraf (V. M. 1408), og døgnlige avløp i observasjonstiden på breen er gjengitt i observasjonsdiagrammet. Avløpet er dessuten korrelert med de meteorologiske faktorer og dette er behandlet i eget avsnitt.

Hardangerjøkelen

Akkumulasjonen på Hardangerjøkelen ble usedvanlig stor vinteren 1967-68. Været gjorde det vanskelig å komme opp på breen og få skjøtt på målestengene før de fleste var nedsnødd. Et forsøk ble gjort 10/1, men ble mislykket på

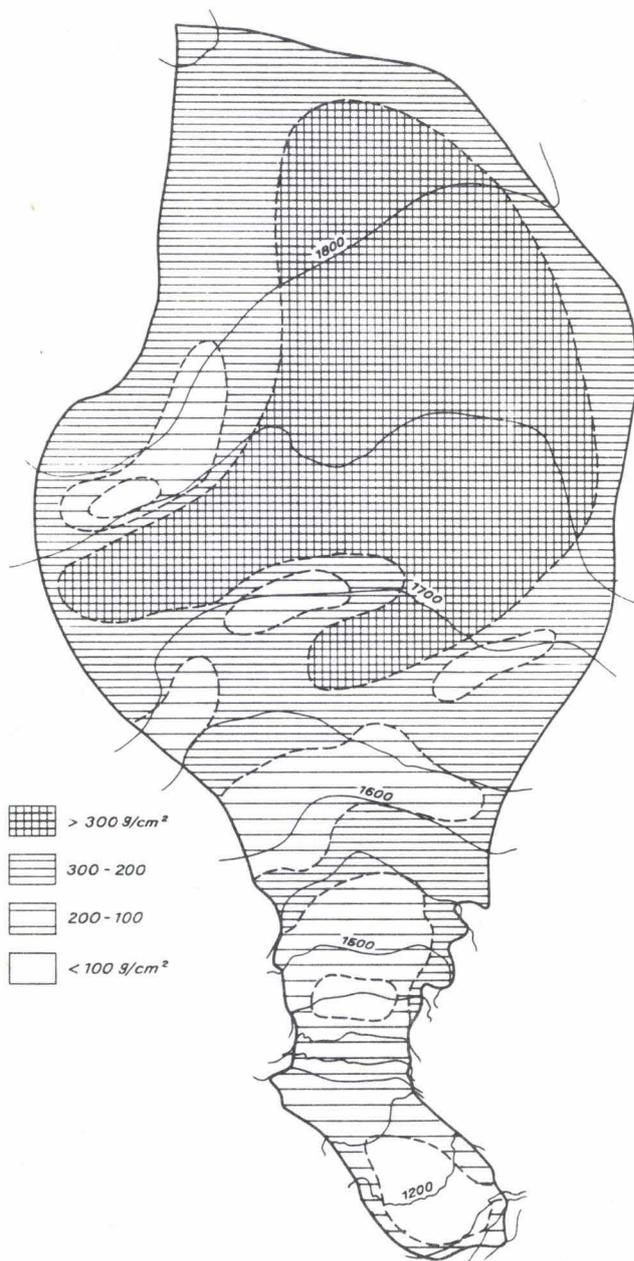


Fig. 29 Kartet viser total akkumulasjon 1968.

Map showing total accumulation 1968.

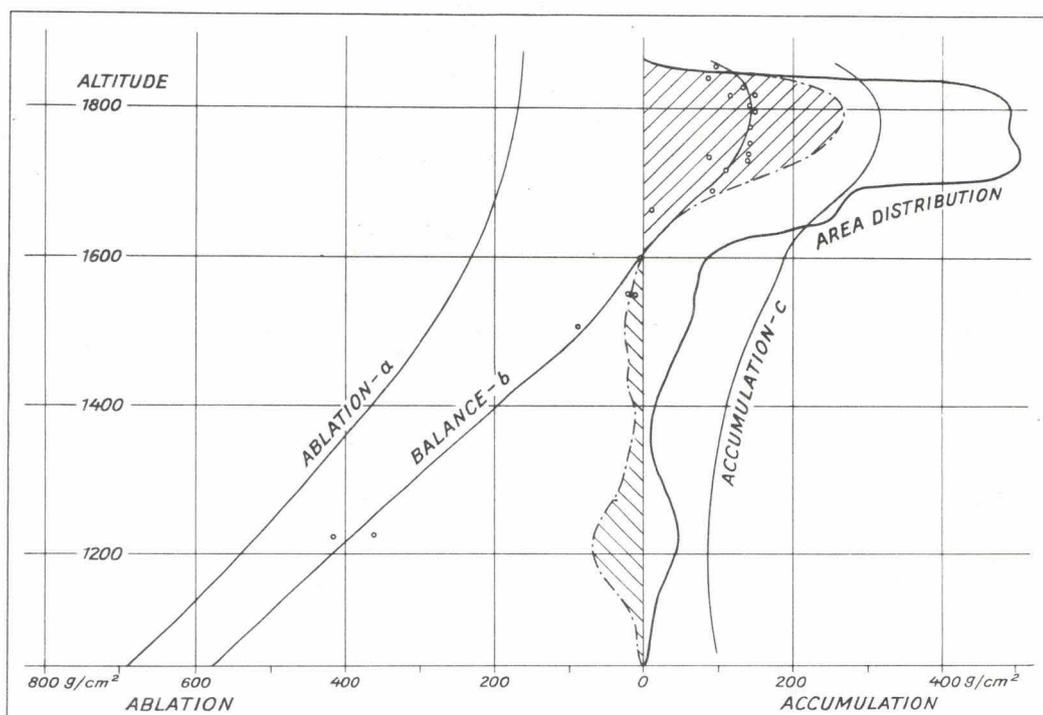


Fig. 30 Diagrammet viser variasjonene av akkumulasjonen, ablasjonen og balansen med høyden over havet.

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

grunn av værforholdene. Et nytt forsøk ble gjort 2/2. 5 stenger ble da funnet, og nye stenger ble forsøkt plassert i de nedsnødde stengers posisjon. Stengene ble kontrollert 19/2-24/2 og igjen 30/4-4/5. Ved den siste tur ble de vanlige akkumulasjonsmålinger foretatt. Vanlig sondering i de øvre områder var så å si umulig å få gjennomført på grunn av den store snødybde. Et islag ca. 150 cm over fjorårets overflate gav imidlertid god støtte til målingen. Etter hvert som de nedsnødde staker kom fram utover sommeren, ble også disse, ved interpolasjon, brukt til beregning av akkumulasjonen. Etter 5 års målinger er også snøens fordelingsmønster blitt ganske godt kartlagt. Det viser også som antatt å holde seg meget stabilt fra år til år. Stakeobservasjoner alene vil derfor etter hvert kunne brukes til å bestemme akkumulasjonen. Siste akkumulasjonsmåling ble foretatt 17/5. Akkumulasjonen etter denne dato er beregnet ut fra meteorologiske observasjoner på nærliggende stasjoner. Fig. 29 viser den totale akkumulasjonen på Rembesdalsskåki 1967-68. I forhold til tidligere år viser akkumulasjonskurven et meget steilere forløp med mindre snømengde nederst, større øverst. Snødybden i den sentrale del av breen i 1750 m høyden var over 6 m. Denne store forskjell skyldes at de store nedbørsmengder i oktober og november delvis falt som regn i de lavere områder. To studenter var engasjert i målingen av ablasjonen. De holdt til i Brehytta fra

HARDANGERJØKULEN 1968

Høydeintervall m o.h.	Areal S km ²	Akkumulasjon			Ablasjon			Nettobalanse		
		C 10 ⁶ m ³	c m	l/s km ²	A 10 ⁶ m ³	a m	l/s km ²	B 10 ⁶ m ³	b m	l/s km ²
1850-1900	0.080	0.208	2.60	82	0.132	1.65	52	+0.076	+0.95	+ 30
1800-1850	3.742	11.525	3.08	98	6.286	1.68	53	+5.239	+1.40	+ 44
1750-1800	3.870	12.074	3.12	99	6.850	1.77	56	+5.224	+1.35	+ 43
1700-1750	3.910	12.082	3.09	98	7.312	1.87	59	+4.770	+1.22	+ 39
1650-1700	2.082	5.372	2.58	82	4.185	2.01	64	+1.187	+0.57	+ 18
1600-1650	0.931	1.694	1.82	58	2.002	2.15	68	-0.308	-0.33	- 10
1550-1600	0.640	1.299	2.03	64	1.536	2.40	76	-0.237	-0.37	- 12
1500-1550	0.545	0.932	1.71	54	1.395	2.56	81	-0.464	-0.85	- 27
1450-1500	0.321	0.449	1.40	44	1.027	3.20	101	-0.578	-1.80	- 57
1400-1450	0.191	0.177	0.93	29	0.678	3.55	112	-0.501	-2.62	- 83
1350-1400	0.110	0.114	1.04	33	0.438	3.98	126	-0.324	-2.94	- 93
1300-1350	0.082	0.080	0.98	31	0.353	4.30	136	-0.273	-3.32	-105
1250-1300	0.270	0.310	1.15	36	1.269	4.70	148	-0.959	-3.55	-112
1200-1250	0.325	0.302	0.93	29	1.664	5.12	163	-1.362	-4.19	-133
1150-1200	0.324	0.275	0.85	27	1.798	5.55	176	-1.523	-4.70	-149
1100-1150	0.105	0.090	0.90	29	0.651	6.20	197	-0.561	-5.30	-169
1050-1100	0.025	0.024	0.95	30	0.167	6.68	215	-0.141	-5.73	-172
1050-1900	17.55	47.01	2.68	85	37.74	2.15	68	+9.27	+0.53	+ 17

begynnelsen av juli og til slutten av august. Ved siden av de rutinemessige målinger ble en stakerekke på 7 stenger fordelt i høydeintervallet fra 1675 til 1810 m o.h. målt daglig. En ablatograf var også i gang det meste av tiden. Det ble også målt forskjellige meteorologiske komponenter for bedømmelse av varmebalansen over snøflaten. Bl. a. ble det foretatt en kontinuerlig måling av strålingsbalansen. Resultatene herfra vil bli publisert på annen måte.

På grunn av en relativ varm sommer ble ablasjonen større enn normal, men ikke stor nok til å kompensere for akkumulasjonen. Resultatet ble som tabellen viser et overskudd på 0,53 m.

Hellstugubreen

Materialhusholdningen.

Vinterbalanse. I begynnelsen av oktober 1967 hadde vintersesongen begynt over hele breen, og det var kommet opp til 80 cm snø på breens øvre del. Hovedmålingen av vinterbalansen ble foretatt i midten av april 1968. Sonderingsforholdene var gode, men bare på breens nedre del var staker synlige. Erstatningsstaker måtte derfor utsettes på breens øvre del. Det ble tatt i alt

HELLSTUGUBREEN 1968

Position of stakes, pits and sounding profiles

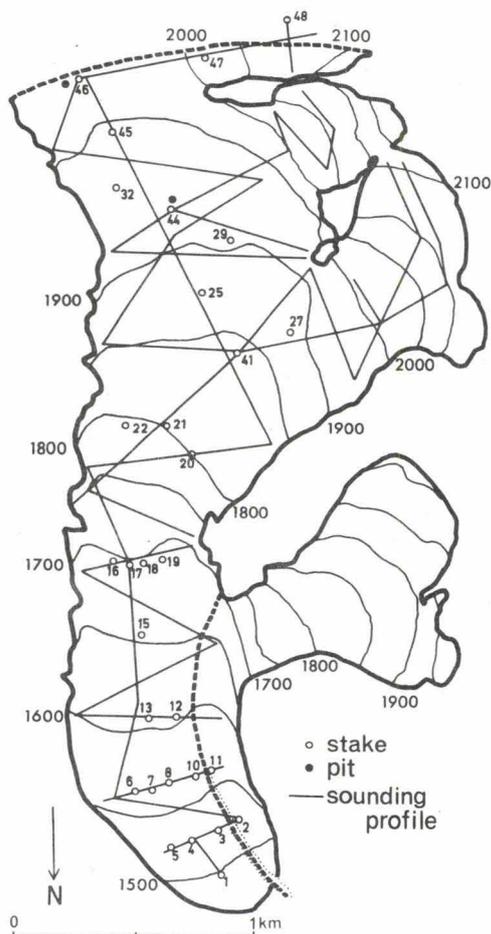


Fig. 31 Beliggenheten av staker, sjakter og sonderingsprofiler.

The location of stakes, pits and sounding profiles.

HELLSTUGUBREEN 1968

Winter balance in cm of water equivalent

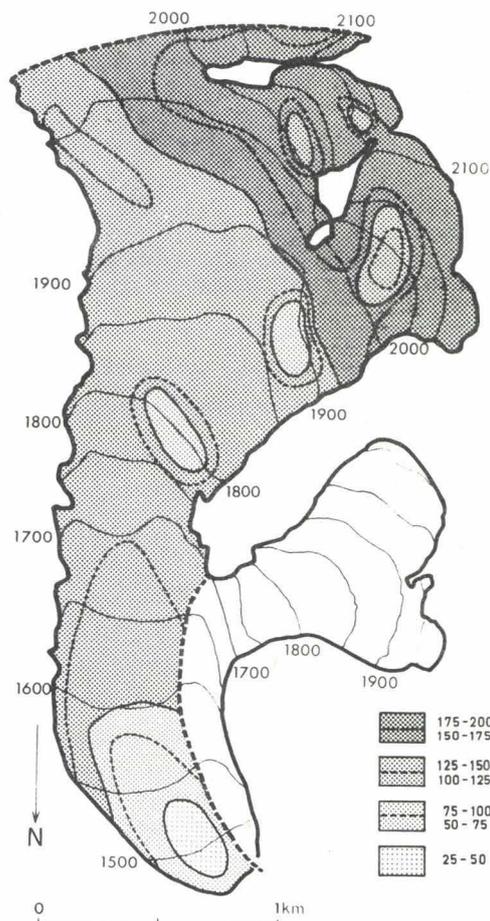


Fig. 32 Kart som viser vinterbalansen 1968.

Map of the winter balance 1968.

216 soneringer langs 17 km sonderingsprofiler (57 sond.km²). Snøen vannverdi ble målt 2 steder (fig. 31).

Målinger på breen 3. juni, som var meget nær overgangen til sommersesongen, viste at balanseøkningen siden hovedmålingen i gjennomsnitt tilsvarte 10 cm vann.

Fordelingen av vinterbalansen (fig. 32) har store likheter med de fordelinger som er funnet tidligere år, og den er i alt beregnet til $4,6 \cdot 10^6$ m³ vann som i middel tilsvare 1,38 m (44 l/s km²).

Sommerbalanse. Stakene ble kontrollert 11. juli, 28. juli, 6. august, 28. august og siste gang 17. september. I løpet av sommeren kom de fleste stakene som var synlige i 1967 frem, og målingene på erstattingsstakene kunne da kontrolleres.

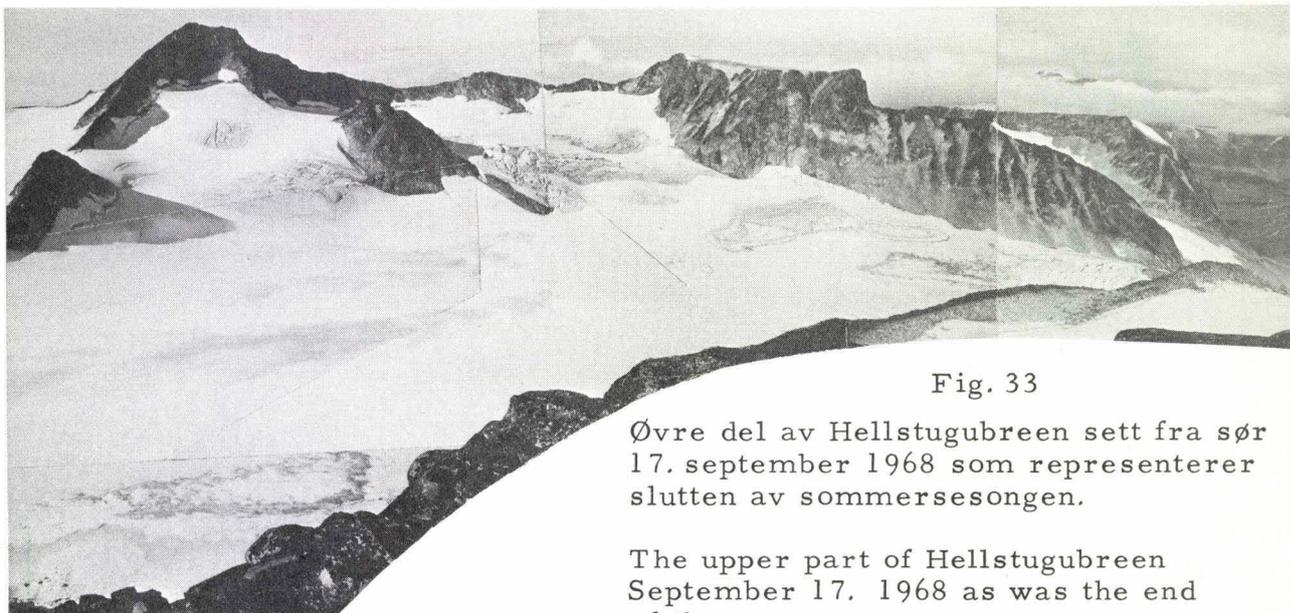


Fig. 33

Øvre del av Hellstugubreen sett fra sør 17. september 1968 som representerer slutten av sommersesongen.

The upper part of Hellstugubreen September 17. 1968 as was the end of the summerseason.

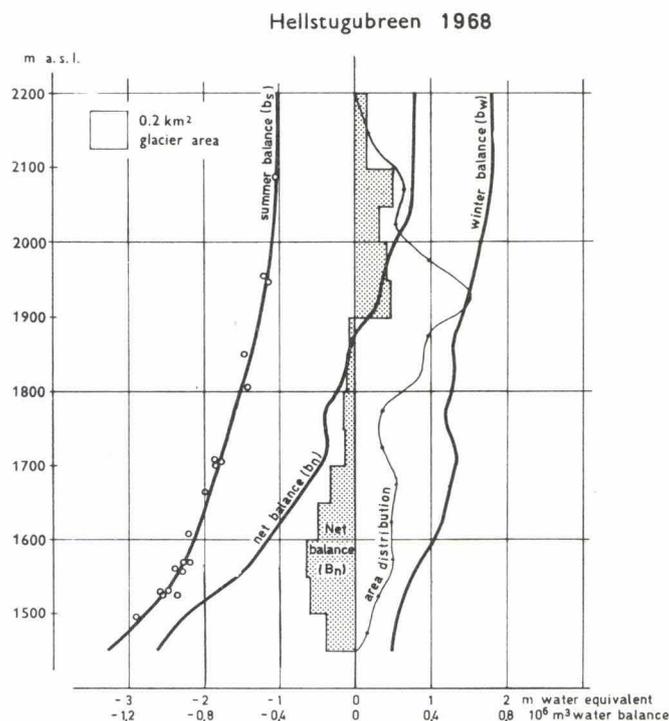


Fig. 34 Variasjonene av vinter-, sommer- og nettobalansen med høyden over havet, breens arealfordeling og arealverdier av nettobalansen i hvert 50 m høydeintervall.

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

Overgangen til vintersesongen skjedde umiddelbart etter siste stakemåling.

Sommerbalansen er i alt beregnet til $5,0 \cdot 10^6 \text{ m}^3$ eller $1,49 \text{ m}$ (47 l/s km^2) jevnt fordelt over hele breen.

Nettobalanse. I midten av juli var breen snøbar opp til ca. 1600 m, men i løpet av sommeren kom blåisen fram opp til brefallet i områder omkring

HELLSTUGUBREEN 1968

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
2100-2200	0.078	0.143	1.83	58	0.083	1.06	34	+0.060	+0.77	+24
2050-2100	0.261	0.479	1.83	58	0.277	1.06	34	+0.202	+0.77	+25
2000-2050	0.202	0.346	1.71	54	0.214	1.06	34	+0.132	+0.65	+21
1950-2000	0.386	0.622	1.61	51	0.457	1.18	38	+0.164	+0.43	+14
1900-1950	0.610	0.915	1.50	48	0.722	1.18	38	+0.193	+0.32	+10
1850-1900	0.377	0.494	1.31	42	0.519	1.37	44	-0.025	-0.07	- 2
1800-1850	0.350	0.464	1.33	42	0.505	1.44	46	-0.040	-0.12	- 4
1750-1800	0.141	0.172	1.22	39	0.229	1.62	52	-0.057	-0.41	-13
1700-1750	0.142	0.195	1.37	44	0.245	1.73	55	-0.050	-0.35	-11
1650-1700	0.207	0.263	1.27	40	0.388	1.87	59	-0.125	-0.60	-19
1600-1650	0.192	0.222	1.15	37	0.409	2.12	67	-0.187	-0.97	-31
1550-1600	0.195	0.176	0.90	29	0.429	2.20	70	-0.253	-1.30	-41
1500-1550	0.124	0.079	0.64	20	0.314	2.52	80	-0.235	-1.89	-60
1450-1500	0.060	0.033	0.55	17	0.181	3.01	95	-0.148	-2.46	-78
1450-1500	3.326	4.604	1.38	44	4.972	1.49	47	-0.368	-0.11	- 4

stakene 20, 21 og 41, og på steder i de øvre brefallene med liten akkumulasjon (fig. 33).

Likevektslinjen lå ennå høyere opp, i middel 1870 m o.h. og kom altså fram på breen som overgangen mellom årets snø og firn. Resultatene av årets målinger fremgår av tabellen som illustreres av fig. 34. Sommerbalansen var her noe større enn vinterbalansen, i alt minnet breens masse med $0,4 \cdot 10^6 \text{ m}^3$ vann som tilsvarer 0,11 m eller 4 l/s km².

Vestre Memurubre

Vestre Memurubre er en botnbre som begrenses av Hellstugutindene i vest og Memurutindene i nordøst, mot nord går breen direkte over i Hellstugubreen. Breen er østvendt og dreneres til Memurudalen. Breoverflaten er uvanlig jevn og har over store områder meget liten helning (fig. 35). Dette gjør at breen glasiologisk sett er meget godt egnet for undersøkelser, man kan forvente lite varierende akkumulasjons- og ablasjonsforhold, og undersøkelsene vil derved bli lite arbeidskrevende. I forbindelse med de andre undersøkelser som foregår i området ble det derfor igangsatt materialbalansemålinger her i 1968.

Dreneringsforholdene fra breen er imidlertid meget sammensatte, og måling av avløpet fra breen blir ikke foretatt.

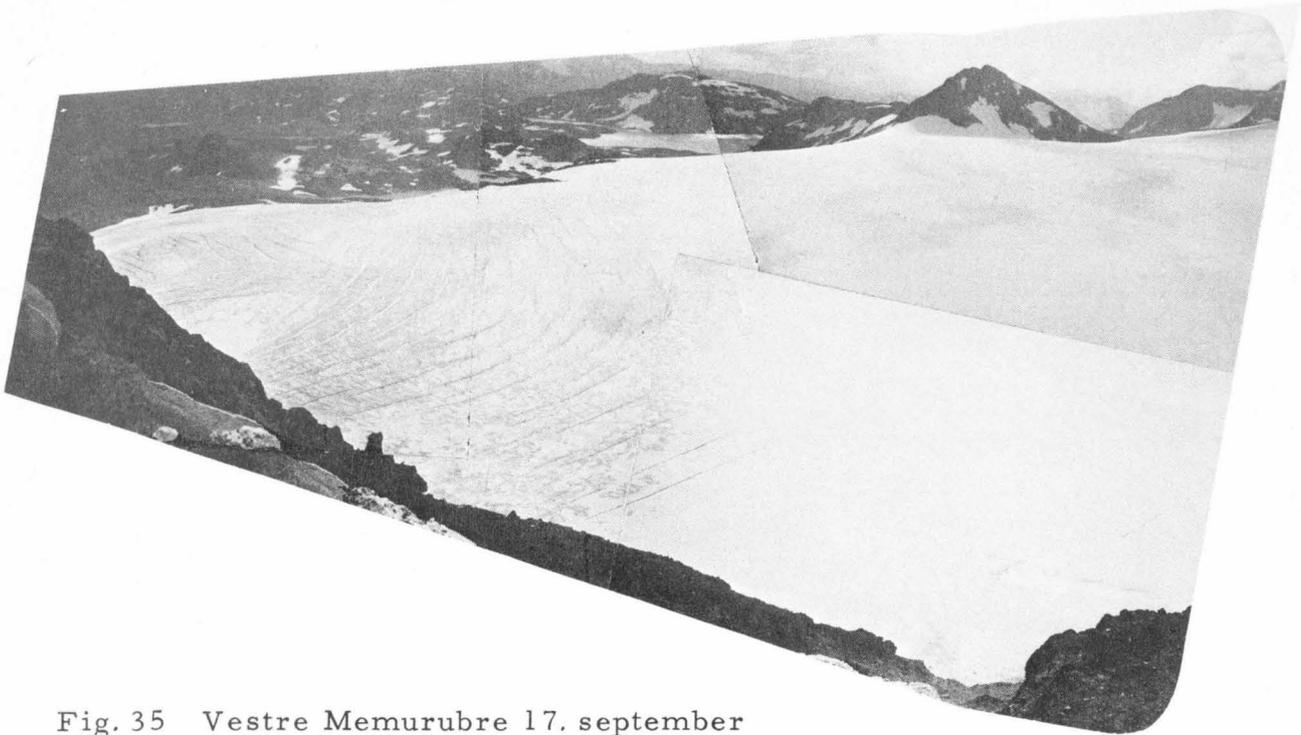


Fig. 35 Vestre Memurubre 17. september 1968 som representerer slutten av sommersesongen.

Vestre Memurubre September 17. 1968 as was the end of the summerseason.

VESTRE MEMURUBRE 1968

Position of stakes, pits and sounding profiles

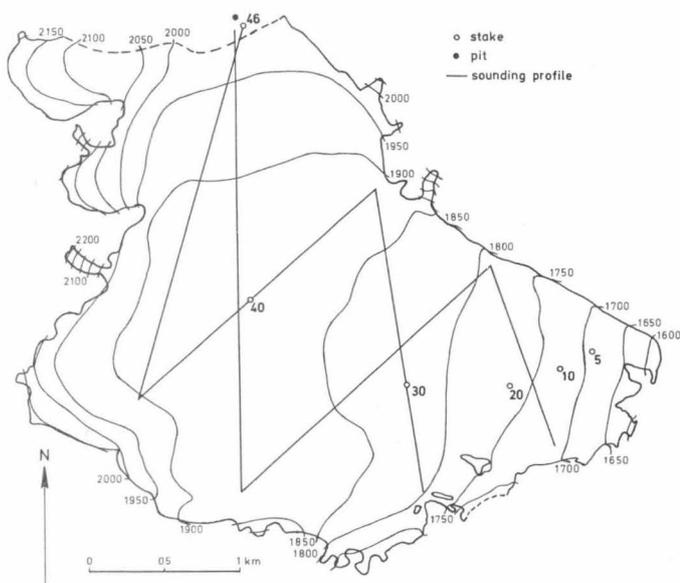


Fig. 36 Beliggenheten av staker, sjakter og sonderingsprofiler på Vestre Memurubre.

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

VESTRE MEMURUBRE 1968

Winter balance in cm of water equivalent

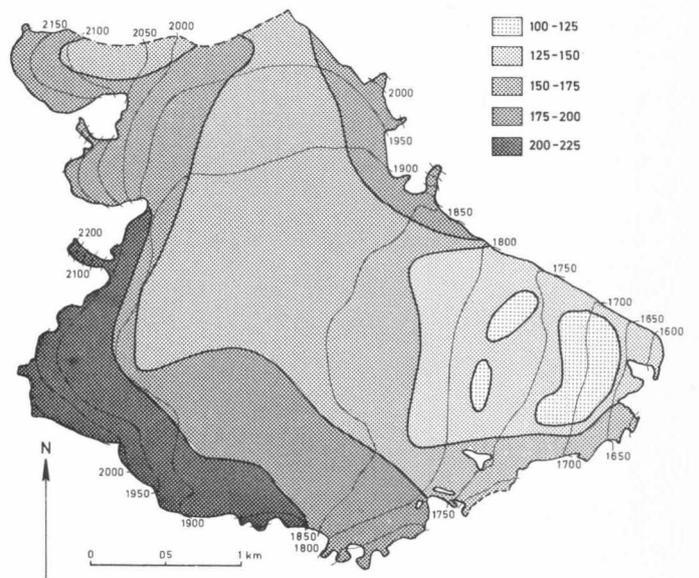


Fig. 37 Kart over vinterbalansen 1968.

Map of the winter balance 1968.

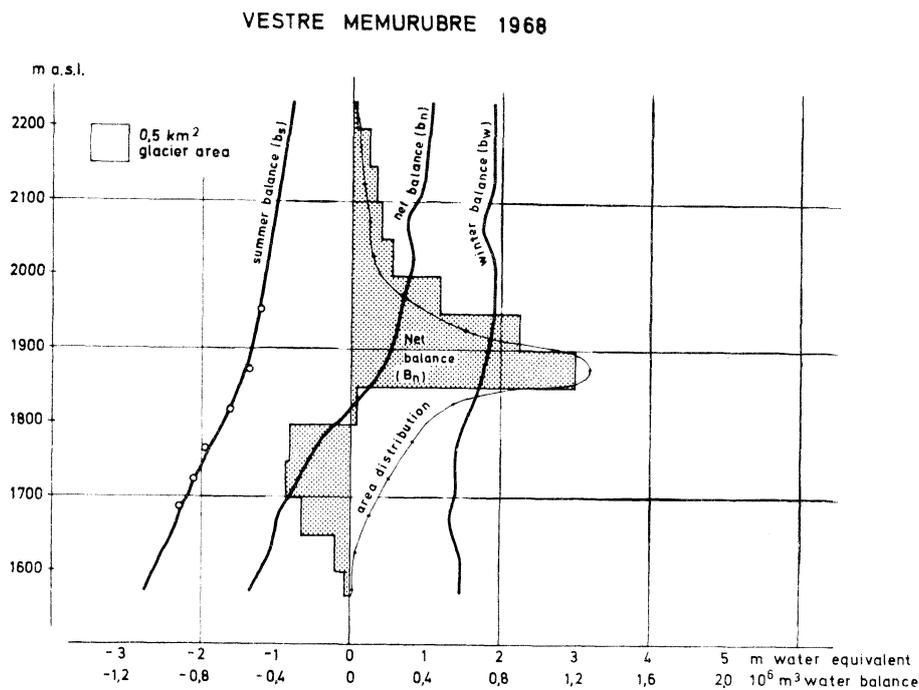


Fig. 38 Variasjonene av vinter-, sommer- og netto-balansen med høyden over havet, breens arealfordeling og arealverdier av netto-balansen i hvert 50 m høydeintervall.

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

Materialhusholdningen.

Vinterbalanse. Hovedmålingen av vinterbalansen ble foretatt i midten av april, og 4 staker ble satt ut. Dessuten ble stake 46-68 på Hellstugubreen benyttet som målepunkt. Som ventet varierte snødypet meget lite, og 82 sonderinger langs 14 km sonderingsprofiler (fig. 36) ga godt grunnlag for utarbeidelse av kartet over vinterbalansen (fig. 37). Ved hjelp av målinger 3. juni er balanseøkningen etter hovedmålingen beregnet til 10 cm vann over hele breen. Vinterbalansen er i alt beregnet til $15,4 \cdot 10^6$ m³ vann som tilsvarende 1,70 m (54 l/s km²) jevnt fordelt over hele breen.

Sommerbalanse. Stakene på Vestre Memurubre ble målt flere ganger i løpet av sommeren, siste gang 18. september, som representerer overgangen til neste års vinter sesong. Målingene ved de to nederste stakene er ikke fullstendige, så verdiene her er delvis funnet ved interpolasjoner. Sommerbalansen i tilsvarende høyde over havet er meget lik den på Hellstugubreen, mens det på Austre Memurubre er noe større ablasjon.

Sommerbalansen varierte mellom 2,5 m og ca. 0,8 m vann. Verdiene for de høyestliggende områder er funnet ved ekstrapolasjon av kurven, men siden

VESTRE MEMURUBRE 1968

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
2200-2230	0.017	0.032	1.88	59	0.014	0.82	26	+0.018	+1.06	+33
2150-2200	0.089	0.169	1.89	60	0.078	0.88	28	+0.091	+1.01	+32
2100-2150	0.148	0.279	1.89	60	0.142	0.95	30	+0.137	+0.94	+30
2050-2100	0.218	0.384	1.76	55	0.225	1.03	33	+0.159	+0.73	+22
2000-2050	0.260	0.503	1.93	61	0.286	1.10	35	+0.217	+0.83	+26
1950-2000	0.664	1.255	1.89	60	0.777	1.17	37	+0.478	+0.72	+23
1900-1950	1.469	2.763	1.88	59	1.851	1.26	40	+0.912	+0.62	+19
1850-1900	3.185	5.564	1.75	55	4.363	1.37	43	+1.201	+0.38	+12
1800-1850	1.324	2.117	1.60	50	2.092	1.58	50	+0.025	+0.02	0
1750-1800	0.796	1.132	1.42	45	1.465	1.84	58	-0.333	-0.42	-13
1700p1750	0.510	0.720	1.41	44	1.071	2.10	66	-0.351	-0.69	-22
1650-1700	0.262	0.345	1.33	42	0.608	2.32	73	-0.263	-0.99	-31
1600-1650	0.086	0.126	1.46	46	0.218	2.53	80	-0.092	-1.07	-34
1570-1600	0.022	0.032	1.45	46	0.060	2.73	86	-0.028	-1.28	-40
1570-2230	9.058	15.421	1.70	54	13.250	1.46	46	+2.171	+0.24	+ 8

brearealet er meget lite i disse høydeintervall har en mindre feil her ingen betydning for de kvantitative resultater.

Sommerbalansen er i alt beregnet til $13,3 \cdot 10^6 \text{ m}^3$ vann som tilsvarende 1,46 m (46 l/s km²).

Nettobalanse. Bare på breens nederste del var blåis synlig, likevekslinjens beliggenhet kan sees på fig. 35, og i middel lå den 1820 m o. h. I alt var nettoakkumulasjonen $2,17 \cdot 10^6 \text{ m}^3$ vann som tilsvarende 0,24 m (8 l/s km²).

Austre Memurubre

På Austre Memurubre ble det i 1968 for første gang tatt fullstendige målinger av materialomsetningen. I denne forbindelse ble en ny observasjonshytte satt opp på nordsiden av breen 1900 m o. h. Hytta ligger sentralt til, og man kan på relativt kort tid nå selv de høyestliggende deler av breen til fots. Sommerassistenter var stasjonert i området fra 12. juni til 6. september. I hele perioden ble det tatt meteorologiske observasjoner ved nedre hytte, fra 15. juli også ved øvre hytte.

Slamundersøkelsene ble fortsatt etter samme mønster som i 1967, og resultatene gjengitt i eget avsnitt.

AUSTRE MEMURUBRE 1968

Position of stakes, pits and sounding profiles

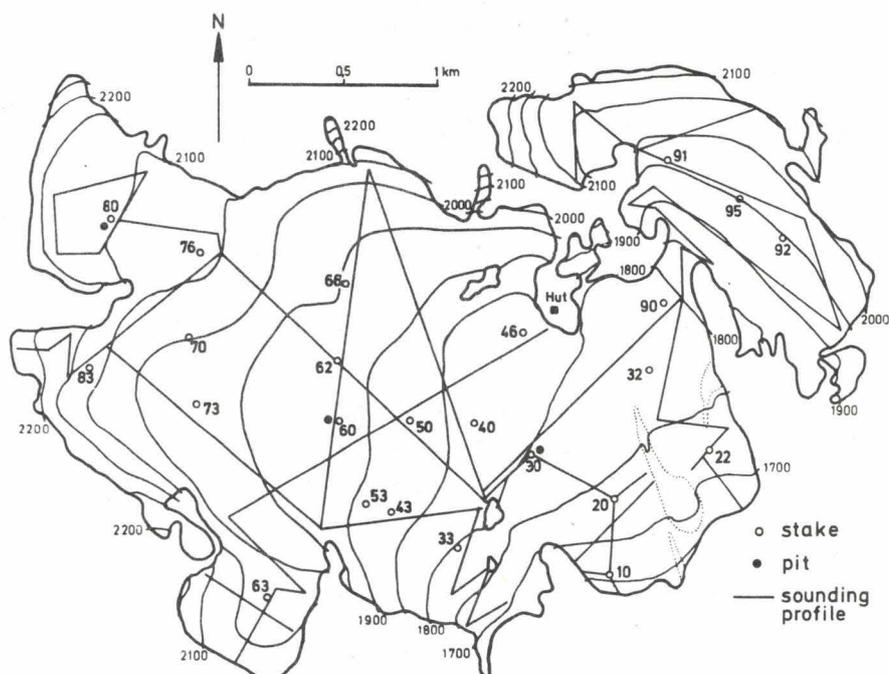


Fig. 39 Beliggenheten av staker, sjakter og sonderingsprofiler på Austre Memurubre 1968.

Location of stakes, pits and sounding profiles on Austre Memurubre 1968.

Materialhusholdningen.

Vinterbalanse. I begynnelsen av oktober 1967 hadde vintersesongen begynt over hele breen. Vinterbalansen ble målt i tiden 10. - 14. april under meget gode forhold. Bare 6 staker var synlige (10, 20, 30, 40, 91, 53), men sommeroverflaten var overalt lett gjenkjennbar ved sondering. Det ble tatt i alt 296 sonderinger langs 27 km sonderingsprofiler (33 sond.km²) Snøens vannverdi ble målt 2 steder (fig. 39).

Breen, som kan karakteriseres som en sammensatt botnbre, har en meget ujevn overflate. Dette fører til at akkumulasjonsmønstreet blir relativt komplisert, (fig. 40) og og det kreves langt flere målinger her enn på en bre med jevnere overflate (f. eks. Vestre Memurubre) for å oppnå samme grad av nøyaktighet i resultatet.

Inspeksjon på breen 3. juni viste at det gjennomgående hadde vært en økning i balansen på 10 cm vannverdi siden målingen i april. Overgangen fra vinter- til sommersesong foregikk omkring 1. juni.

Vinterbalansen er i alt beregnet til $15,7 \cdot 10^6$ m³ vann som tilsvarer 1,77 m (56 l/s km²) jevnt fordelt over hele breen.

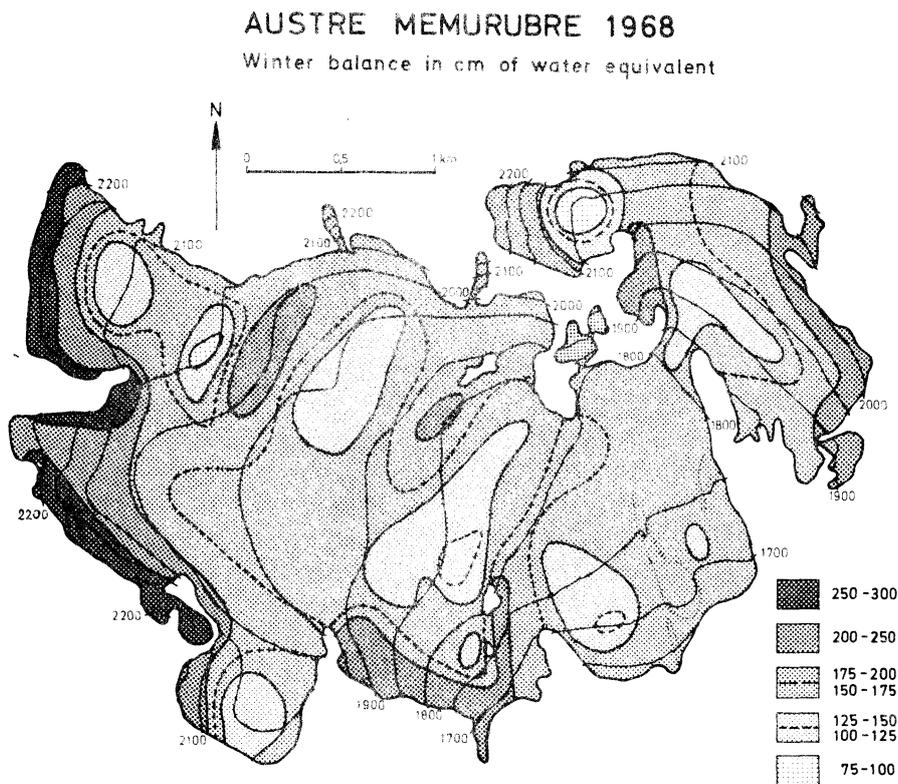


Fig. 40 Kart som viser fordelingen av vinterbalansen på Austre Memurubre.
Distribution of the winter balance on Austre Memurubre.

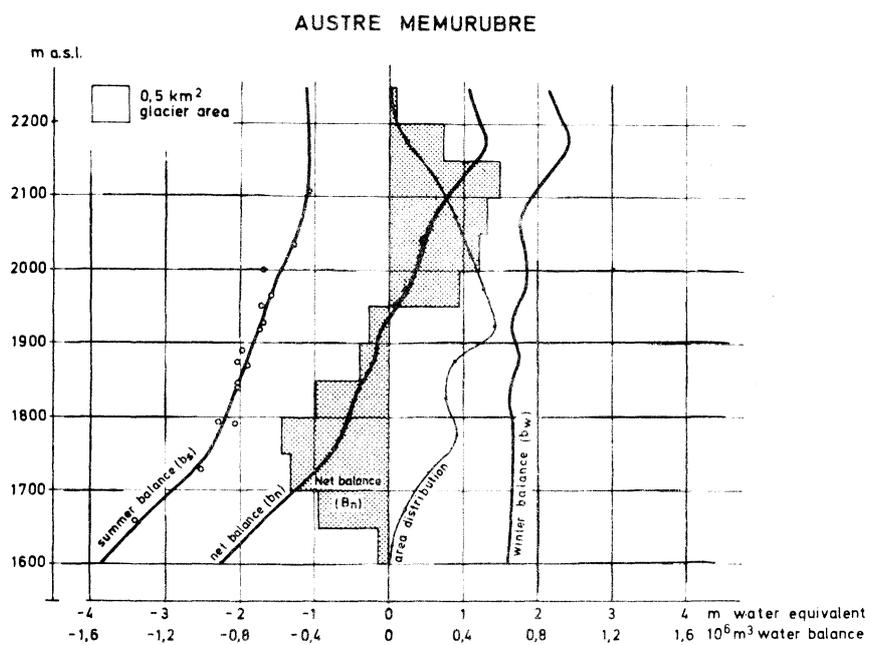


Fig. 41 Variasjonene av vinter-, sommer- og netto-balansen med høyden over havet, breens arealfordeling og arealverdier av netto-balansen i hvert 50 m høydeintervall.

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

AUSTRE MEMURUBRE 1968

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	0.075	2.22	70	0.038	1.12	36	+0.037	+1.10	+35
2150-2200	0.224	0.548	2.45	78	0.252	1.13	36	+0.296	+1.32	+42
2100-2150	0.605	1.276	2.11	67	0.681	1.13	36	+0.595	+0.98	+31
2050-2100	0.864	1.518	1.76	56	0.989	1.14	36	+0.529	+0.61	+19
2000-2050	1.068	1.967	1.84	58	1.485	1.39	44	+0.482	+0.45	+14
1950-2000	1.289	2.380	1.85	59	2.000	1.55	49	+0.380	+0.29	+9
1900-1950	1.417	2.309	1.64	52	2.421	1.72	54	-0.112	-0.08	-3
1850-1900	0.859	1.487	1.73	55	1.644	1.91	61	-0.157	-0.18	-6
1800-1850	0.789	1.269	1.61	51	1.665	2.11	67	-0.396	-0.50	-16
1750-1800	0.921	1.538	1.67	53	2.117	2.30	73	-0.580	-0.63	-20
1700-1750	0.522	0.860	1.65	52	1.389	2.66	84	-0.529	-1.01	-32
1650-1700	0.241	0.394	1.64	52	0.776	3.22	102	-0.383	-1.59	-50
1630-1650	0.032	0.052	1.62	52	0.115	3.62	115	-0.063	-2.00	-63
1630-2250	8.858	15.672	1.77	56	15.574	1.76	56	+0.098	+0.01	0



Fig. 42 Austre Memurubre sett fra sør i siste del av juli 1968. Bare over små områder var blåis synlig.

Austre Memurubre in late July 1968. Only small areas of glacier ice were visible at that time.

Sommerbalanse. Første del av juni var det varmt, pent vær og balansen minket over hele breen. Fra St. Hans til utgangen av juni kom det imidlertid en del nedbør i form av snø. Noe sommerakkumulasjon var det også omkring 10. juli og 20.-21. juli. Sommerakkumulasjonen varierte mellom 4 cm og 50 cm vannverdi og er i alt beregnet til $2,0 \cdot 10^6 \text{ m}^3$ vann som i middel tilsvarer 23 cm vann.

Stakene ble målt ca. hver 5. dag til utgangen av august og årets siste måling ble foretatt 17. september. Neste års akkumulasjon hadde da ikke begynt, men det falt snø som ble liggende et par dager senere.

AUSTRE MEMURUBRE 1968

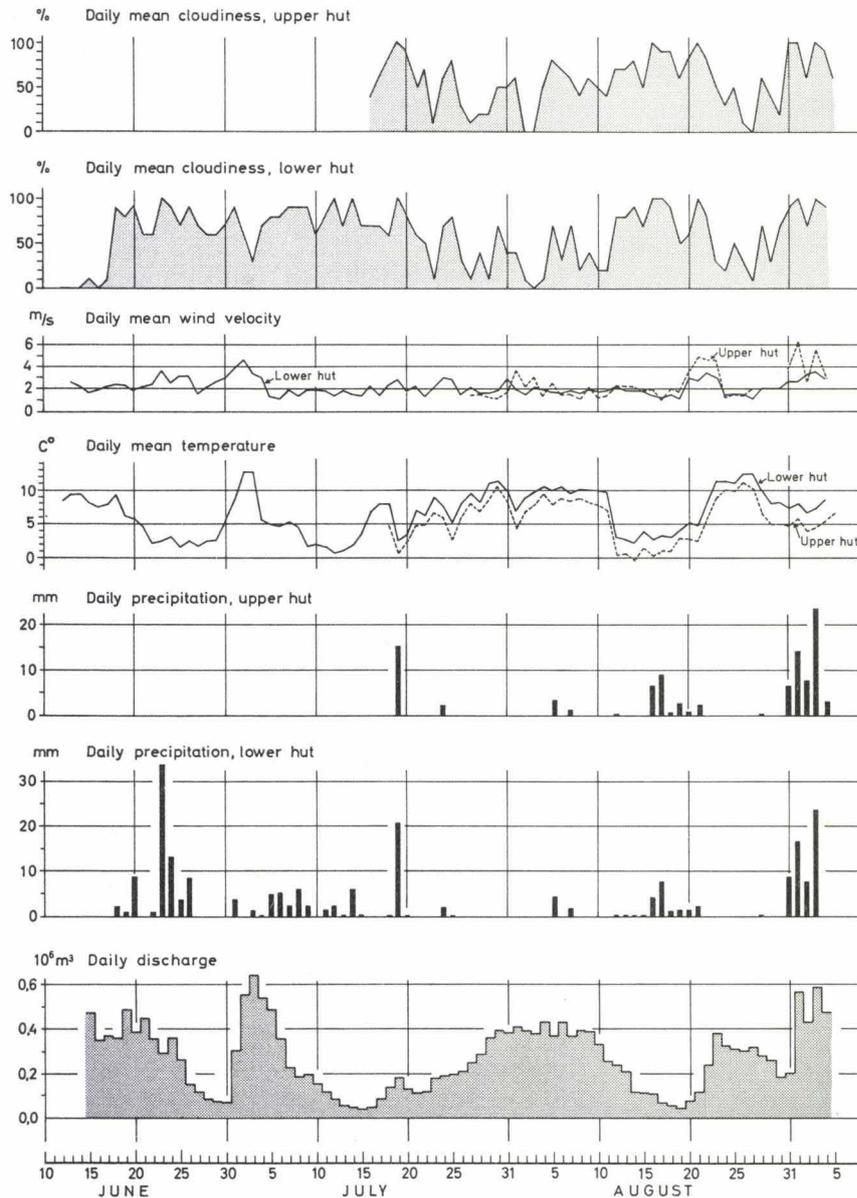


Fig. 43 Resultatene av de daglige meteorologiske observasjonene ved de to observasjonshyttene og beregnet døgnavløp i Breelva.

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

Sommerbalansen er i alt beregnet til $15,7 \cdot 10^6 \text{ m}^3$ vann som tilsvarer 1,76 m eller 56 l/s km^2 jevnt fordelt over hele breen.

Nettobalanse. Austre Memurubre var i likevekt dette året og likevektslinjen lå 1960 m o. h.

Meteorologiske og hydrologiske observasjoner og beregninger.

Sky- og vindforhold. Som rimelig kan være var skyforholdene temmelig ensartet på de to observasjonsstedene (fig. 43). Ved nedre hytte, hvor observasjonsperioden var lengst (12/6-6/9), var det 5 dager med helt klart vær, det var halvskyet eller klarere 30 dager, og bare 11 dager var det helt overskyet. Midlere skydekke for hele perioden er beregnet til 6,0.

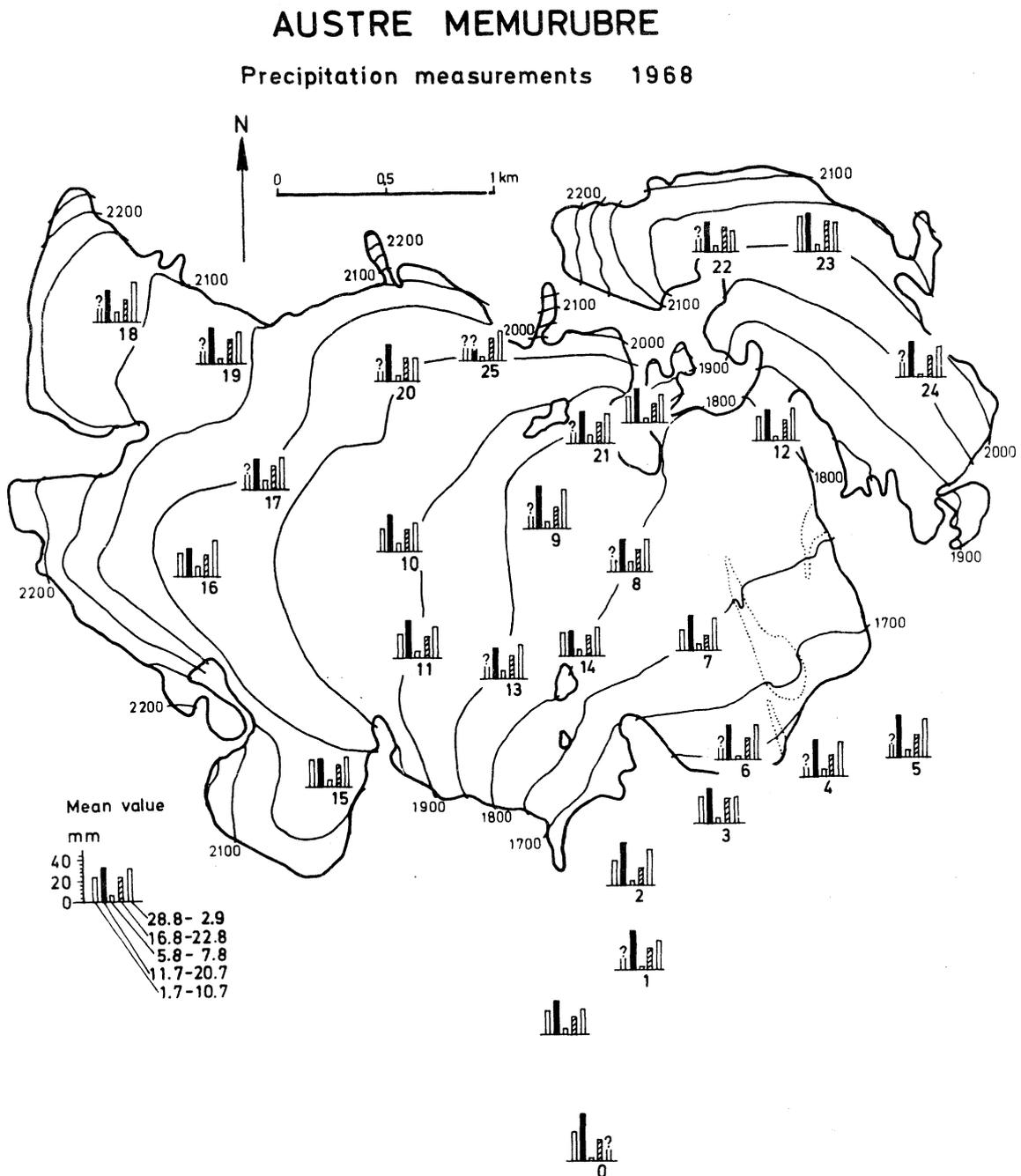


Fig. 44 Beliggenheten av nedbørmålere på Austre Memurubre, og observerte nedbørhøyder i 6 perioder.

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

Både ved øvre og nedre hytte var det rolige vindforhold, og vindstyrken var størstedelen av sommeren omkring 2 m/s. Ved nedre hytte var midlere vindstyrke i tiden 12/6-4/9 2,1 m/s. På øvre hytte varierte vindretningen stort sett mellom øst, sør, vest og nordvest. Nordlige vinder forekom praktisk talt ikke da fjellet bak stasjonen skjærmer for vind fra nord. På nedre hytte dominerte vindretninger fra nordøst til sørvest over sør.

Temperaturforhold. Også temperaturgangen var temmelig ensartet på de to observasjonsstedene. På nedre hytte var middeltemperaturen i juli og august henholdsvis $6,2^{\circ}\text{C}$ og $7,7^{\circ}\text{C}$, og midlet for observasjonsperioden var $5,5^{\circ}\text{C}$. Ved øvre hytte var middeltemperaturen i august $5,5^{\circ}\text{C}$. Temperaturgradienten for august blir etter dette $0,61^{\circ}\text{C}/100\text{ m}$, hvilket sammen med de gjennomgående lave vindstyrkene indikerer at brevind ikke påvirker forholdene på noen av observasjonsstedene i merkbar grad.

Nedbørforhold. Østre Memurubre ligger i Øst-Jotunheimen og således i et relativt nedbørfattig område. I observasjonstiden ble det ved nedre hytte målt i alt 215 mm nedbør fordelt på 42 nedbørdager. I slutten av juni, omkring 10. - 15. juli og 5. - 10. august falt nedbøren i form av snø over hele området.

Videre ble nedbørmengdene i utvalgte perioder målt forskjellige steder i feltet, i alt var 28 pluviusmålere utsatt. Av disse sto 20 på breen. Nedbøren varierte lite fra sted til sted i feltet. Nedbørmengdene i 6 adskilte nedbørperioder for hvert målested og middelnedbøren i hele feltet, beregnet som aritmetrisk middel av de eksisterende målinger, er gjengitt i fig. 44.

Hydrologiske målinger. Døgnlige avløp ved limnigrafen er registrert og gjengitt i observasjonsdiagrammet. Det fremgår her at det er relativt store variasjoner i vannføringen, og at lufttemperaturen er den dominerende faktor for avløpet. Dette er behandlet spesielt i eget avsnitt.

Gråsubreen

Gråsubreen ble flyfotografert i august 1968 (fig. 45), og et nytt fotogrammetrisk kart er utarbeidet over breen. Kartet vil bli vedlagt neste års rapport. Dette nye kartet er brukt som grunnlag for bearbeidelsen i år, og arealfordelingen er derfor noe endret sammenliknet med tidligere år.



Fig. 45 Flyfoto av Gråsubreen tatt 27. august 1968. Breis, pålagret is, firn og årets snø er synlig på bildet (Widerøes Flyveselskap, A/S)

Aerial photo of Gråsubreen taken August 27, 1968. Glacier ice, superimposed ice, firn and snow can be seen.

Materialhusholdningen.

Vinterbalanse. I begynnelsen av oktober var det kommet ca. 0,5 m snø på breen. Hovedmålingen av vinterbalansen ble foretatt 15. april. Sondering var mulig over hele breen, og det ble tatt i alt 108 sonderinger langs 7,5 km sonderingsprofiler (45 sond./km²). Snødyppet lå de fleste steder mellom 1,0 m og 2,5 m. 10 staker var synlige og snøens vannverdi ble målt ett sted (fig. 46). Målinger på breen nær overgangen til sommersesongen viste at balanseøkningen frem til denne tid var 10 cm vann.

Vinterbalansen er i alt beregnet til $2,6 \cdot 10^6$ m³ vann (1,03 m eller 33 l/s km²), og fordelingen er vist i fig. 47. Denne viser stor likhet med det som er funnet tidligere år.

Sommerbalanse. Stakene på Gråsubreen ble kontrollert 22. juli og 15. september, og i løpet av sommeren kom alle staker unntatt nr. 16 fram. Sommerbalansen avtar tilnærmet lineært med stigende høyde over havet, fra 1,5 m i 1900 m

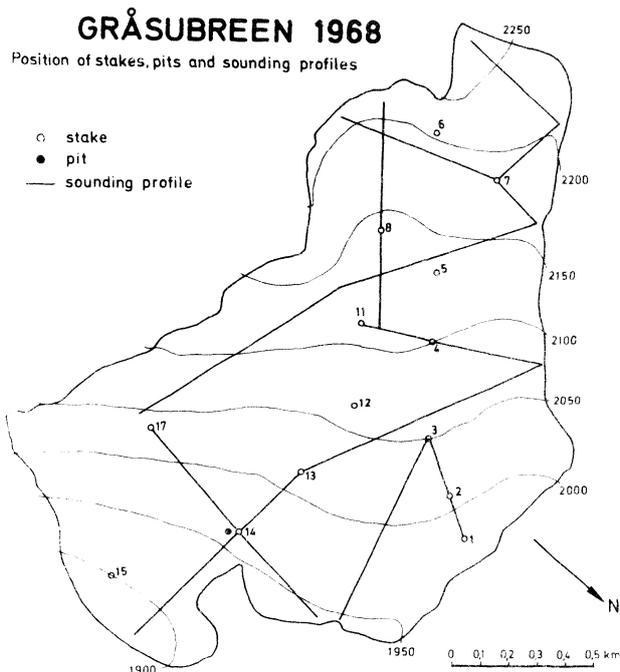


Fig. 46 Beliggenheten av staker, sjakter og sonderingsprofiler.

The location of stakes, pits and sounding profiles.

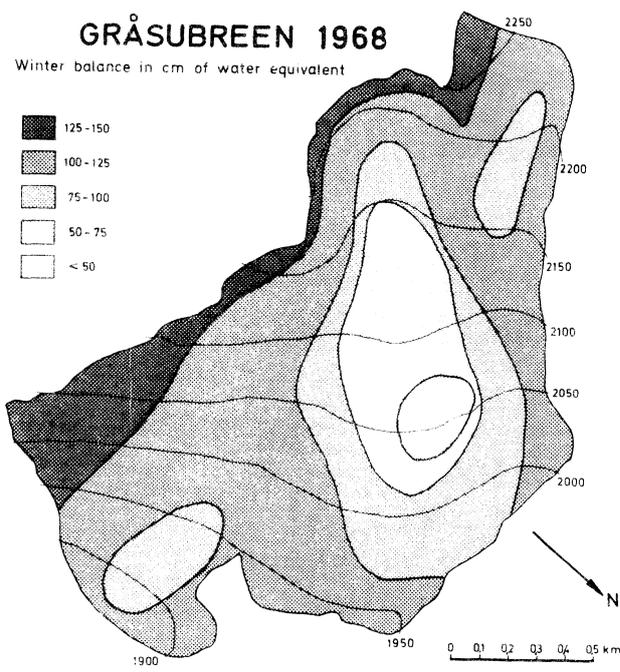


Fig. 47 Kart som viser vinterbalansen 1968

Map of the winter balance 1968.

høyde til 0,6 m vann 300 m høyere. Den er i alt beregnet til $2,8 \cdot 10^6 \text{ m}^3$ som tilsvarer 1,11 m eller 35 l/s km^2 .

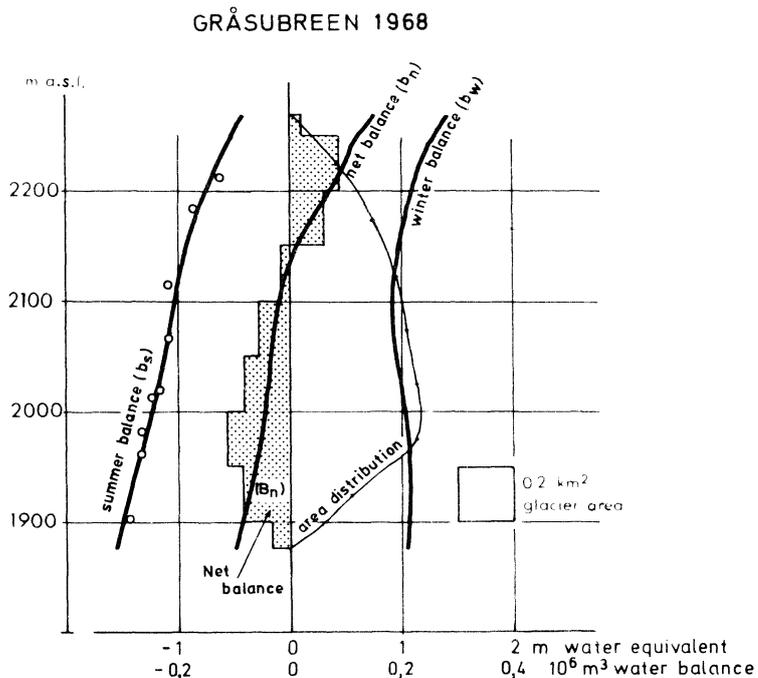


Fig. 48 Variasjonene av vinter-, sommer- og netto-balansen med høyden over havet, breens arealfordeling og arealverdier av netto-balansen i hvert 50 m høydeintervall.

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

GRÅSUBREEN 1968

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	
2250-2260	0.031	0.043	1.36	43	0.021	0.67	21	+0.021	+0.68	+22
2200-2250	0.178	0.210	1.18	37	0.120	0.67	21	+0.090	+0.50	+16
2150-2200	0.309	0.331	1.07	34	0.270	0.88	28	+0.060	+0.20	+ 6
2100-2150	0.386	0.366	0.95	30	0.381	0.99	31	-0.015	-0.04	- 1
2050-2100	0.417	0.388	0.93	29	0.442	1.06	34	-0.055	-0.13	- 4
2000-2050	0.461	0.466	1.01	32	0.546	1.18	38	-0.081	-0.17	- 6
1950-2000	0.459	0.490	1.07	34	0.601	1.31	42	-0.111	-0.24	- 8
1900-1950	0.218	0.229	1.05	33	0.313	1.43	46	-0.084	-0.39	-12
1870-1900	0.068	0.072	1.06	34	0.103	1.52	48	-0.032	-0.47	-15
1870-2260	2.528	2.593	1.03	33	2.799	1.11	35	-0.206	-0.08	- 3

Nettobalanse. På Gråsubreen var sommerbalansen praktisk talt lik vinterbalansen, usikkerheten tatt i betraktning kan breen betraktes som i likevekt dette året. På fig. 45 sees grensen mellom bar is og firn 27. august meget tydelig. Da isen praktisk talt ikke var synlig i 1967 ligger den temporære snøgrensen mellom årets snø og eldre firn, og er bare stedvis synlig på fotografiet. Likevektslinjen ligger gjennomsnittlig 2140 m o.h. De kvantitative resultater av årets målinger fremgår av tabellen nedenfor og fig. 48.

Blåisen

Materialhusholdningen.

Vinterbalanse. Ved målingene 24. oktober 1967 hadde vintersesongen begynt, og det lå mellom 50 cm og 75 cm snø på breen. Vinterbalansen ble målt 8. -9. mai 1968, og snødypet varierte da mellom 2,5 m og 4,5 m. 4 staker (2, 3, 31 og 5) var synlige. Det ble tatt ca. 120 sonderinger (60 sond/km²) langs 11 km sonderingsprofiler (fig. 49). Det ble ikke tatt noen snøprøve, men snøen var tørr overalt og samme snøtetthet som ble målt på Storsteinsfjell et par dager senere er benyttet.

På grunnlag av meteorologiske data fra Bjørnfjell er vintersesongens slutt satt til 31. mai. Det falt ubetydelig nedbør i perioden 10. -31. mai og balansen målt 9. mai er betraktet som årets vinterbalanse.

Vinterbalansen har tilsvarende fordeling som tidligere år (fig. 50), med et avblåst felt midt på nedre del av breen, ellers øker vinterbalansen med stigende høyde over havet.

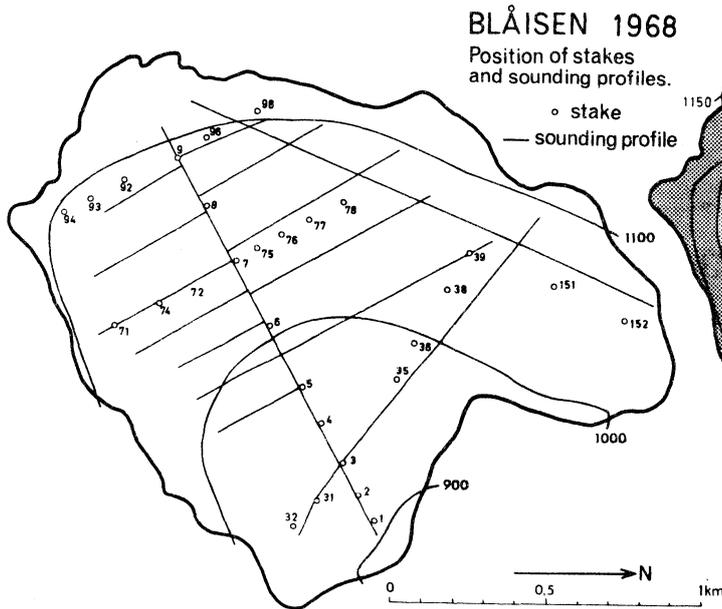


Fig. 49 Beliggenheten av staker, sjakter og sonderingsprofiler.

The location of stakes, pits and sounding profiles.

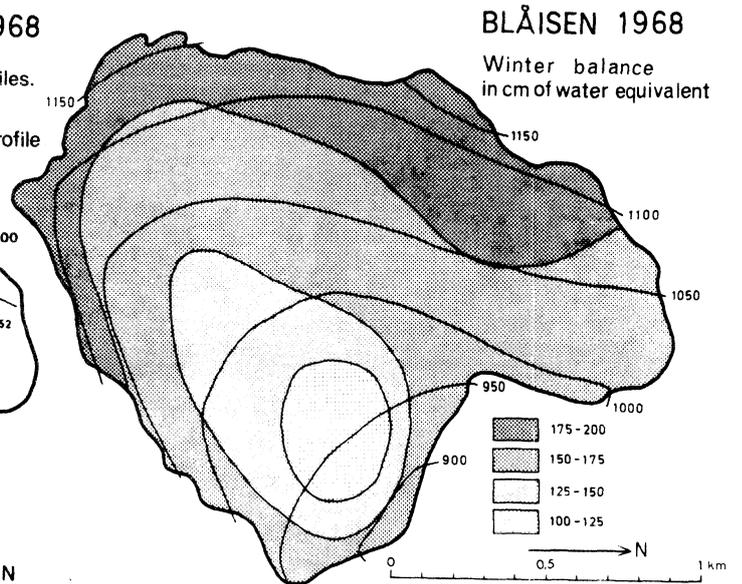


Fig. 50 Kart som viser vinterbalansen 1968

Map of the winter balance 1968.

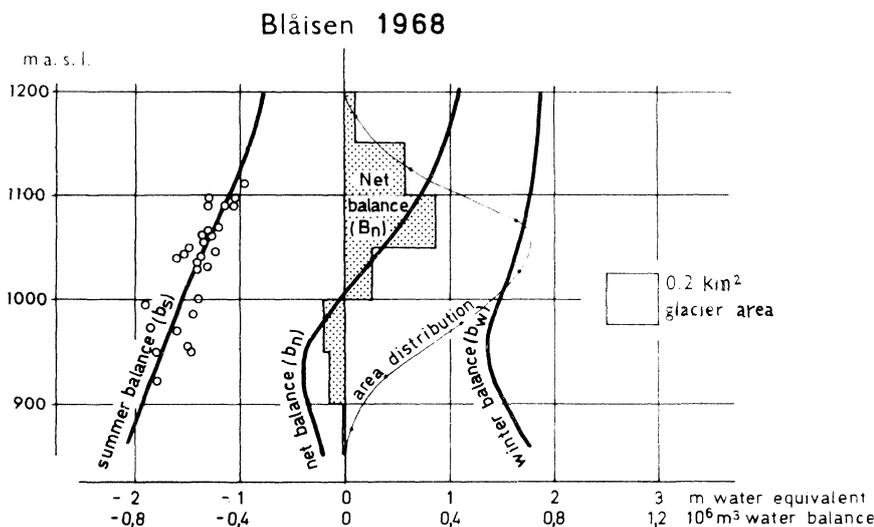


Fig. 51 Variasjonene av vinter-, sommer- og netto-balanse med høyden over havet, breens arealfordeling og arealverdier av netto-balansen i hvert 50 m høydeintervall.

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

Vinterbalansen er i alt beregnet til $3,6 \cdot 10^6 \text{ m}^3$ vann som tilsvarer $1,62 \text{ m}$ (51 l/s km^2) jevnt fordelt over hele breen.

Sommerbalanse. På Blåisen var ablasjonen usedvanlig liten dette året, og en betydelig del av sommernedbøren falt som snø. Det var imidlertid ingen faste observatører i området denne sommeren; sommerakkumulasjonen er derfor ikke målt og den er heller ikke beregnet.

BLÅISEN 1968

Høyde intervall m o.h.	Areal S km ²	Vinterbalanse			Sommerbalanse			Nettobalanse		
		B_w 10 ⁶ m ³	b_w m	d_w l/s km ²	B_s 10 ⁶ m ³	b_s m	d_s l/s km ²	B_n 10 ⁶ m ³	b_n m	d_n l/s km ²
1150-1200	0.040	0.075	1.88	59	0.035	0.88	28	+0.040	+1.00	+32
1100-1150	0.237	0.441	1.86	59	0.211	0.89	28	+0.230	+0.97	+31
1050-1100	0.661	1.153	1.74	55	0.809	1.22	39	+0.344	+0.52	+16
1000-1050	0.653	1.034	1.58	50	0.932	1.43	45	+0.102	+0.16	+ 5
950-1000	0.421	0.592	1.41	45	0.678	1.61	51	-0.086	-0.20	- 6
900- 950	0.152	0.214	1.41	45	0.275	1.81	57	-0.061	-0.40	-13
850- 900	0.020	0.033	1.65	52	0.038	1.90	60	-0.005	-0.25	- 8
850-1200	2.184	3.542	1.62	51	2.978	1.36	43	+0.564	+0.26	+ 8

Da stakene ble målt 5.juli, var hele breen fremdeles snødekket. 28.august ble stakene målt igjen, og området nedenfor ca. 1000 m o. h. var da snøfritt. Beregningene av årets sommerbalanse er basert på disse målingene da breen ikke er besøkt senere. I første del av september var det noen få dager med pent, varmt vær, men ablasjonen etter 29.august må likevel ha vært svært liten. Sommerbalansen er etter dette i alt beregnet til $3,0 \cdot 10^6$ m³ vann (1,36 m eller 43 l/s km²).

Nettobalanse. Som ventet var nettobalansen positiv på breene i Nord-Norge dette året, og på Blåisen lå det igjen $0,6 \cdot 10^6$ m³ vann eller 0,26 m vann jevnt fordelt over hele breen. Dette tilsvarer en årlig avrenning på 8 l/s km² som er blitt holdt tilbake fra det nedenforliggende vassdrag.

Likevektslinjen lå 1010 m o. h. Resultatene av årets målinger fremgår av tabellen som illustreres av fig. 51.

Storsteinsfjellbreen

Materialhusholdningen.

Vinterbalanse. Etter vintersesongens første måling, i slutten av oktober 1967, ble breen ikke besøkt før ved målingen av vinterbalansen i tiden 10. - 14. mai 1968. Sonderingsforholdene var gode og det ble tatt i alt 155 sonderinger (26 son./km²) langs 17 km sonderingsprofiler. Det var tørr snø overalt og snøens tetthet ble målt ved stake 18. Hele 29 staker var synlige (fig. 52). Vintersesongens slutt er satt til 1. juni, og det var ikke nedbør av betydning i siste del av mai. Situasjonen ved målingen 10. - 14. mai representerer derfor vinterbalansen direkte.

STORSTEINSFJELLBREEN 1968

Position of stakes, pits and sounding profiles

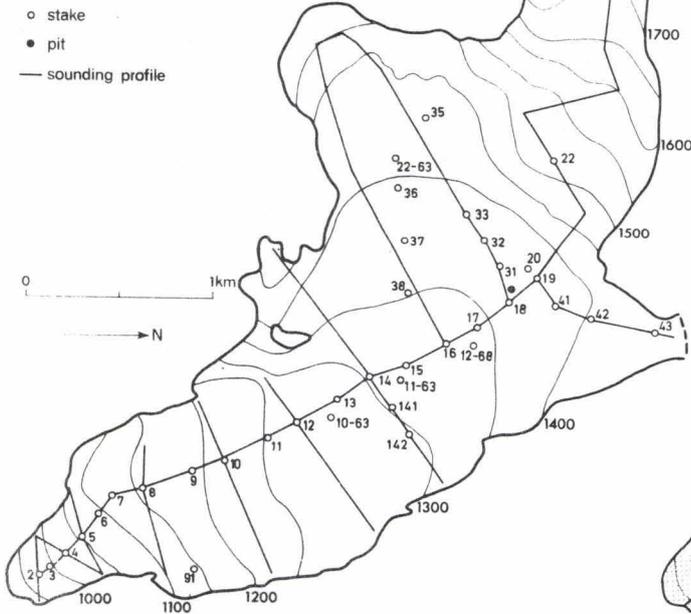


Fig. 52 Beliggenheten av staker, sjakter og sonderingsprofiler.

The location of stakes, pits and sounding profiles.

STORSTEINSFJELLBREEN 1968

Winter balance in cm of water equivalent

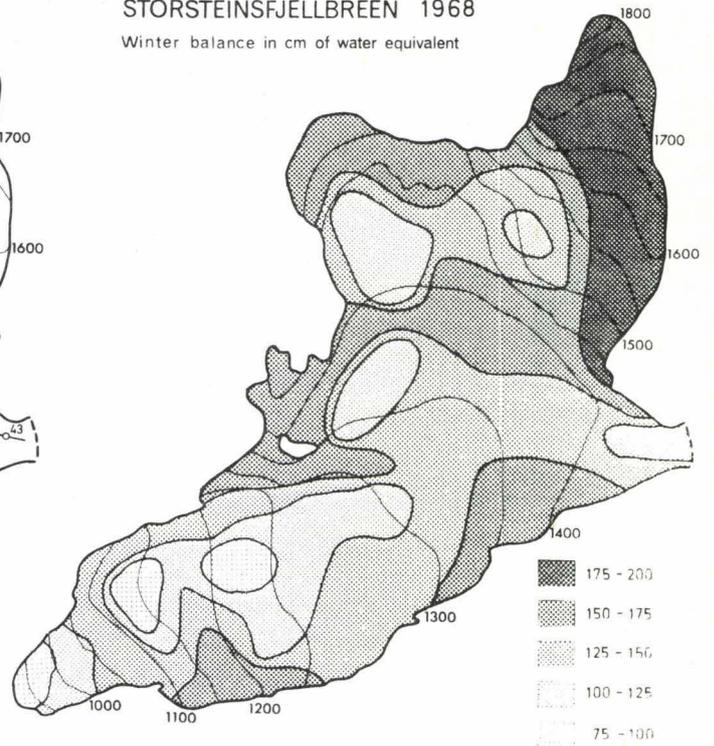


Fig. 53 Kart som viser vinterbalansen 1968.

Map of the winter-balance 1968.

Vinterbalansen er i alt beregnet til $8,8 \cdot 10^6 \text{ m}^3$ vann som tilsvarer 1,44 m vann jevnt fordelt over hele breen (45 l/s km^2). Fordelingen av vinterbalansen fremgår av fig. 53.

Sommerbalanse. Da stakene ble kontrollert 12. juli var fremdeles hele breen snødekket, og det hadde falt en del nysnø. Da det ikke var observatører på breen denne sommeren foreligger det ingen målinger av sommerakkumulasjonen, og denne er heller ikke forsøkt beregnet. Sommeren var imidlertid unormal kald, og en betydelig del av sommernedbøren falt som snø. 30. august ble stakene kontrollert igjen. Da det ikke er foretatt noen målinger senere betraktes 30. august som slutten av sommersesongen. Det kan bare ha vært liten ablasjon etter denne tid.

Sommerbalansen er i alt beregnet til $6,1 \cdot 10^6 \text{ m}^3$ vann som tilsvarer 0,99 m vann (31 l/s km^2) jevnt fordelt over hele breen.

Nettobalanse. Bare på breens nedre deler var blåis synlig dette året og likevekstlinjen lå 1275 m o. h. Både sommer- vinter- og nettobalanse varierer lite med høyden over havet (fig. 54). I alt var det en netto akkumulasjon på $2,8 \cdot 10^6 \text{ m}^3$ vann som tilsvarer 0,45 m (14 l/s km^2). Se tabellen s. 65.

Storsteinsfjellbreen 1968

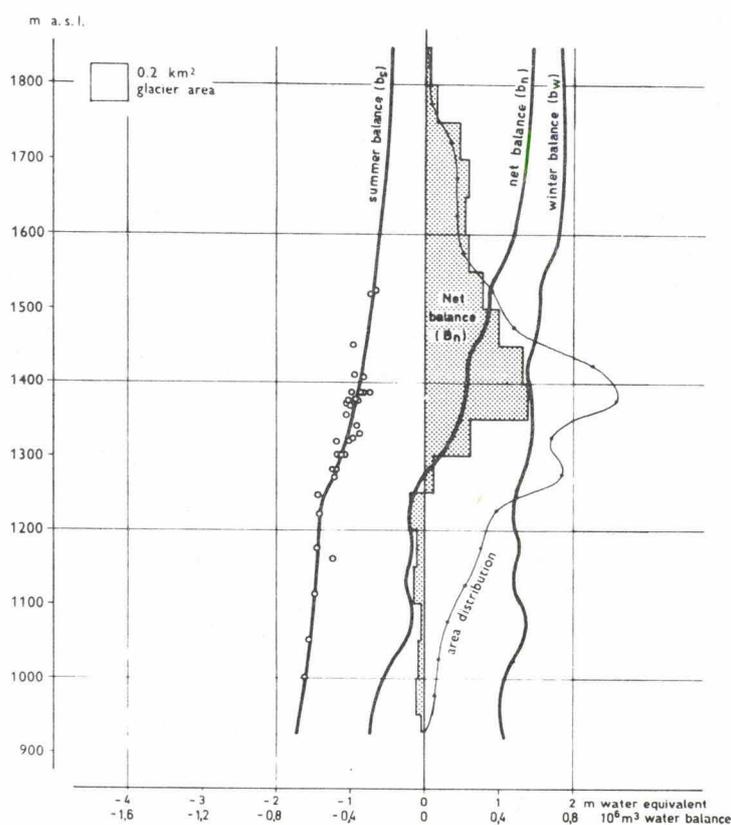


Fig. 54 Variasjonene med høyden over havet av vinter-, sommer- og netto-balanse, breens arealfordeling og netto-balansen i hvert 50 m høydeintervall.

The variations of summer, winter, and net balance, the area distribution and areal net balance in every 50 m height interval.

Cainhavarre

Materialhusholdningen.

Vinterbalanse. 30. oktober hadde det kommet ca $1/2$ m nysnø over hele breen og vintersesongen hadde altså begynt. Vinterbalansen ble målt 14. -15. mai 1968. Bortsett fra at det noen steder var ugjennomtrengelige islag var sonderingsforholdene gode. Bare 4 staker ble funnet (8, 10, 11, 12). Det var små variasjoner i snødyppet, som de fleste steder lå mellom 3 m og 4 m. Sondering ble foretatt i 38 punkt (55 sond/ km^2) langs 4 km sonderingsprofiler, og snøens vannverdi ble målt ved stake 8 (fig. 55). Balansen ved denne målingen betraktes som årets vinterbalanse da det ikke falt nedbør av betydning før etter overgangen til sommersesongen fant sted (ca. 1. juni).

Vinterbalansen (fig. 56) er i alt beregnet til $0,9 \cdot 10^6 \text{ m}^3$ vann eller $1,31$ m vann jevnt fordelt over breens areal (41 l/s km^2).

STORSTEINSFJELLBREEN 1968

Høyde intervall m o.h.	Areal S km ²	Vinterbalanse			Sommerbalanse			Nettobalanse		
		B_w 10 ⁶ m ³	b_w		B_s 10 ⁶ m ³	b_s		B_n 10 ⁶ m ³	b_n	
			m	l/s km ²		m	l/s km ²		m	l/s km ²
1800-1850	0.022	0.041	1.86	58	0.009	0.41	13	+0.032	+1.45	+45
1750-1800	0.041	0.077	1.88	59	0.018	0.44	14	+0.059	+1.44	+45
1700-1750	0.134	0.251	1.87	59	0.067	0.50	16	+0.184	+1.37	+43
1650-1700	0.173	0.321	1.86	58	0.090	0.52	16	+0.231	+1.34	+42
1600-1650	0.174	0.316	1.82	57	0.099	0.57	18	+0.217	+1.25	+39
1550-1600	0.208	0.362	1.74	55	0.129	0.62	19	+0.233	+1.12	+36
1500-1550	0.357	0.554	1.55	49	0.239	0.67	21	+0.315	+0.88	+28
1450-1500	0.484	0.750	1.55	49	0.353	0.73	23	+0.397	+0.82	+26
1400-1450	0.898	1.262	1.41	44	0.727	0.81	26	+0.535	+0.60	+18
1350-1400	1.032	1.508	1.46	46	0.949	0.92	29	+0.559	+0.54	+17
1300-1350	0.674	0.972	1.44	45	0.721	1.07	34	+0.251	+0.37	+11
1250-1300	0.743	0.968	1.30	41	0.921	1.24	39	+0.047	+0.06	+ 2
1200-1250	0.379	0.454	1.20	38	0.531	1.40	44	-0.077	-0.20	- 6
1150-1200	0.300	0.386	1.29	41	0.432	1.44	45	-0.046	-0.15	- 4
1100-1150	0.215	0.264	1.23	39	0.316	1.47	46	-0.052	-0.24	- 7
1050-1100	0.120	0.165	1.38	43	0.181	1.51	48	-0.016	-0.13	- 5
1000-1050	0.080	0.096	1.20	38	0.126	1.58	50	-0.030	-0.38	-12
950-1000	0.061	0.062	1.02	32	0.100	1.64	51	-0.038	-0.62	-19
920- 950	0.025	0.026	1.04	33	0.043	1.72	54	-0.017	-0.68	-21
920-1850	6.120	8.835	1.44	45	6.051	0.99	31	+2.784	+0.45	+14

CAINHAVARRE 1968
Position of stakes, pits and sounding profiles

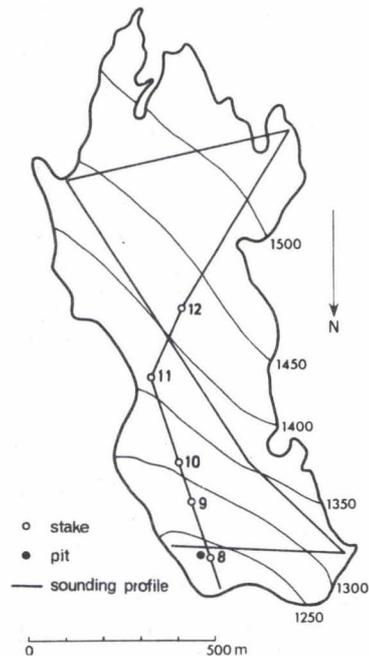


Fig. 55 Beliggenheten av staker, sjakter og sonderingsprofiler.

The location of stakes, pits and sounding profiles.

CAINHAVARRE
Winter balance 1968
in cm of water equivalent

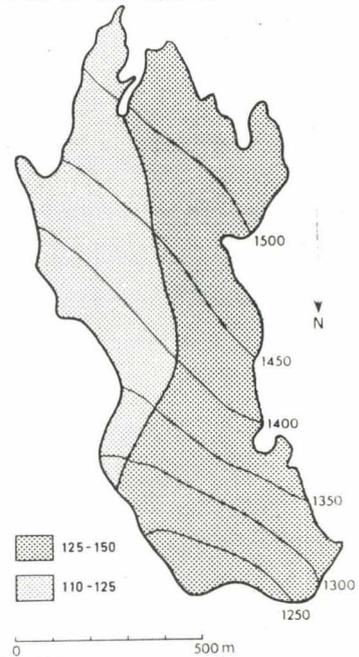


Fig. 56 Kart som viser vinterbalansen 1968

Map of the winter balance 1968.

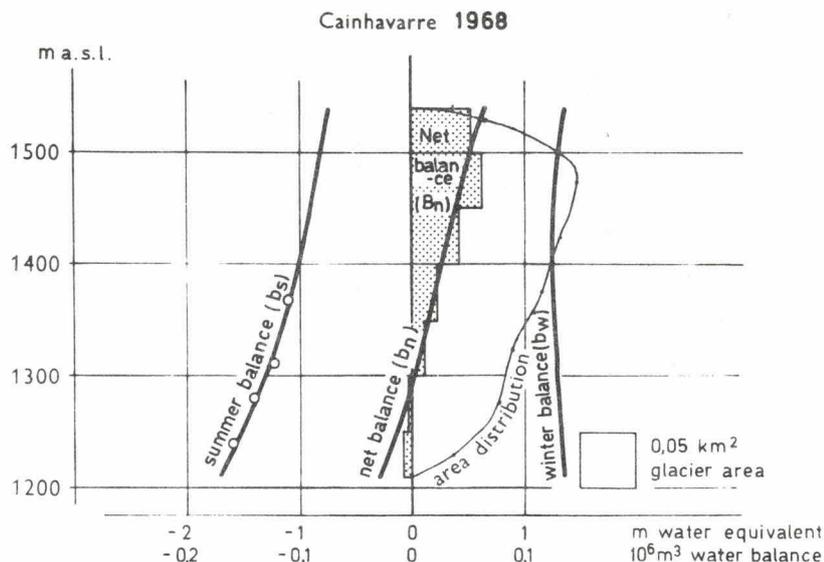


Fig. 57 Variasjonene av vinter-, sommer- og nettobalanse med høyden over havet, breens arealfordeling og arealverdier av nettobalansen i hvert 50 m høydeintervall.

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

CAINHAVARRE 1968

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	
1500-1540	0.087	0.118	1.35	43	0.065	0.75	24	+0.053	+0.60	+19
1450-1500	0.143	0.187	1.31	42	0.124	0.87	27	+0.063	+0.44	+15
1400-1450	0.135	0.169	1.25	39	0.128	0.95	30	+0.041	+0.30	+9
1350-1400	0.125	0.157	1.26	40	0.135	1.08	34	+0.022	+0.18	+6
1300-1350	0.088	0.118	1.34	42	0.110	1.25	39	+0.008	+0.09	+3
1250-1300	0.074	0.101	1.36	43	0.105	1.41	44	-0.004	-0.05	-1
1210-1250	0.031	0.043	1.39	44	0.050	1.61	51	-0.007	-0.22	-7
1210-1540	0.683	0.893	1.31	41	0.717	1.05	33	+0.176	+0.26	+8

Sommerbalanse. Som på Storsteinsfjellbreen og Blåisen falt det betydelig nedbør i form av snø i sommersesongen. Men da det altså ikke finnes noen direkte nedbørmålinger i området er sommerakkumulasjonen heller ikke her forsøkt beregnet. Breen ble ikke besøkt igjen før 8. september 1968, som her betraktes som sommersesongens slutt. På grunn av vanskelig forhold ble da bare 4 staker (8, 9, 10 og 11) målt, men med det tidligere kjennskap til de glasiologiske forhold i området gir dette likevel tilstrekkelig grunnlag for beregning av sommerbalansen. Denne er i alt beregnet til $0,7 \cdot 10^6 \text{ m}^3$ vann (1,05 m eller 33 l/s km²).

Nettobalanse. I slutten av sommersesongen var blåis synlig bare enkelte steder på breen. Nettobalansen var positiv og det var en netto akkumulasjon på $0,2 \cdot 10^6 \text{ m}^3$ vann (0,26 m eller 8 l/s km²).

Likevektslinjen lå her 1290 m o. h. og resultatene av årets målinger fremgår av tabellen som illustreres av fig. 57.

En sammenlikning av materialhusholdningen på de enkelte breene

Materialhusholdningen er i 1968 av Norges vassdrags- og elektrisitetsvesen målt på 10 breer i Sør-Norge (Ålfotbreen, Folgefonni, Vesledalsbreen, Tunsbergdalsbreen, Nigardsbreen, Hardangerjøkulen, Hellstugubreen, Vestre og Østre Memurubre og Gråsubreen) og 3 breer i Nord-Norge (Blåisen, Storsteinsfjellbreen og Cainhavarre). Alle disse undersøkelsene, bortsett fra de på Hardangerjøkulen, som er overlatt til Norsk Polarinstittutt, er utført av Hydrologisk avdelings brekontor. En oversikt over resultatene er vist i tabellen nedenfor.

Bre	Areal km ²	Vinterbalanse			Sommerbalanse			Nettobalanse			Likevekts- linje m o. h.
		B _w 10 ⁶ m ³	b _w m	b _w l/s km ²	B _s 10 ⁶ m ³	b _s m	b _s l/s km ²	B _n 10 ⁶ m ³	b _n m	b _n l/s km ²	
Ålfotbreen	4.76	21.64	4.55	144	17.11	3.60	114	+ 4.53	+0.95	+30	1075
Folgefonni	19.52	65.67	3.36	106	53.14	2.72	86	+12.53	+0.64	+20	1365
Vesledalsbreen	4.22	13.25	3.14	99	10.55	2.50	79	+ 2.70	+0.64	+20	1320
Nigardsbreen	47.03	128.07	2.72	86	117.61	2.50	79	+10.46	+0.22	+ 6	1550
Tunsbergdalsbreen	43.77	120.04	2.74	86	118.26	2.70	85	+ 1.79	+0.04	+ 1	1270
Hardangerjøkulen	17.55	47.01	2.68	85	37.74	2.15	68	+ 9.27	+0.53	+17	1600
Storbreen	5.45	8.67	1.59	50	8.39	1.54	49	+ 0.28	+0.05	+ 1	1700
Hellstugubreen	3.33	4.60	1.38	44	4.97	1.49	47	- 0.37	-0.11	- 4	1875
Vestre Memurubre	9.06	15.42	1.70	54	13.25	1.46	46	+ 2.17	+0.24	+ 8	1820
Austre Memurubre	8.86	15.67	1.77	56	15.74	1.76	56	+ 0.10	+0.01	0	1960
Gråsubreen	2.53	2.53	1.03	33	2.80	1.11	35	- 0.21	-0.08	- 3	2140
Blåisen	2.18	3.54	1.62	51	2.98	1.36	43	+ 0.56	+0.26	+ 8	1010
Storsteinsfjellbreen	6.12	8.84	1.44	45	6.05	0.99	31	+ 2.78	+0.45	+14	1275
Cainhavarre	0.68	0.89	1.31	41	0.72	1.05	33	+ 0.18	+0.26	+ 8	1290

På liknende måte som tidligere år er materialomsetningen på de enkelte breene sammenliknet innbyrdes, i Sør-Norge sett i relasjon til den høyde likevektslinjen ville ha et år breene er i likevekt (average equilibrium line) og i Nord-Norge sett i relasjon til glasiasjonsgrensens høyde.

Materialomsetningen synker fra de maritime områder i vest til de mere kontinentale områder i øst både i Sør- og Nord-Norge (fig. 58 og 60). I Sør-Norge var nettobalansen i 1968 positiv på Vestlandets breer mens det i Jotunheimen var meget nær likevekt. På Vestlandet var vinternedbøren betydelig større enn normalt, i 1200 m-nivået var det i følge Meteorologisk Institutt's snø-

MASS EXCHANGE ON GLACIERS IN SOUTHERN NORWAY 1968

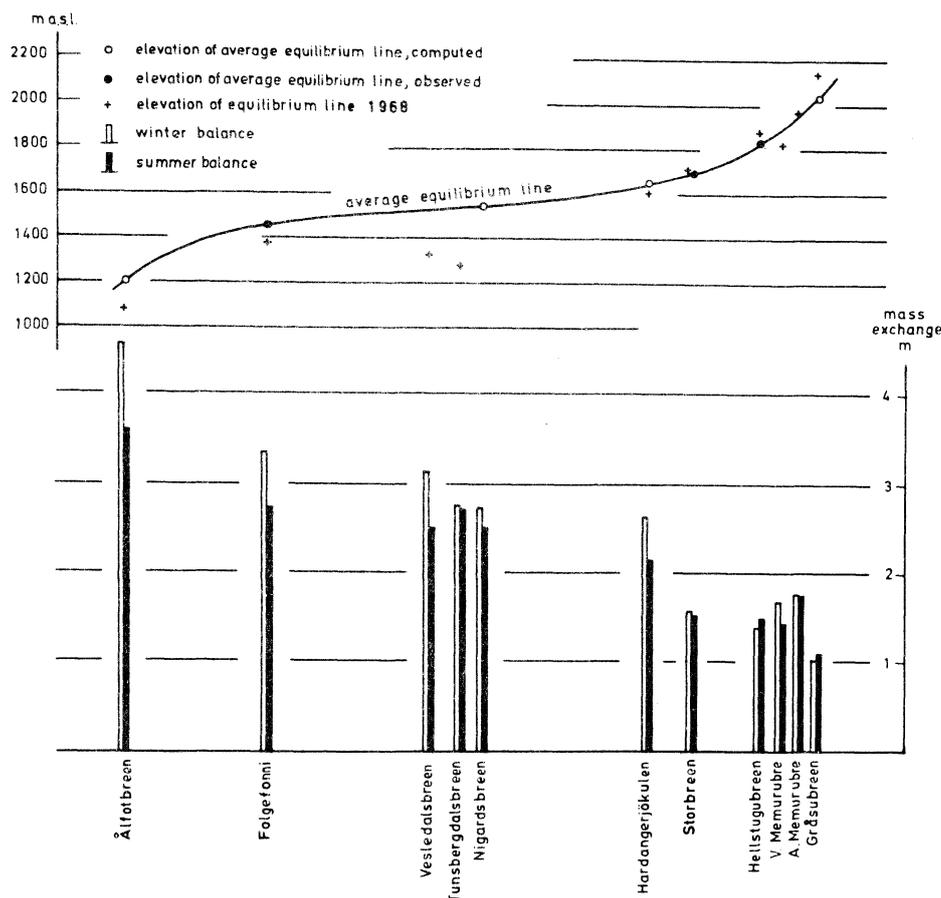


Fig. 58 Materialomsetningen på de undersøkte breene i Sør-Norge. Et profil er lagt fra Ålfotbreen til Gråsubreen, og de øvrige breer er plassert i forhold til likevektslinjens høyde et år breene er i likevekt.

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.

akkumuleringskart ca. 140% av normal nedbør i de breområdene som her er behandlet. I Jotunheimen var det i overkant av det normale etter disse kartene å dømme. Vinterbalansen var som vanlig størst på Ålfotbreen med et middel på 4,55 m vann, den avtok mot øst og minste verdi ble målt på Gråsubreen hvor middelveiden var 1,03 m vann.

Størstedelen av sommeren var det pent og varmt vær over hele Sør-Norge. Middelsestemperaturen for tiden 1. juni - 31. september var $0,5^{\circ}\text{C}$ høyere enn normalt på Nordvestlandet (beregnet for stasjonene Nordfjordeid og Førde), $1,0^{\circ}\text{C}$ høyere i de sørligere områder (beregnet for stasjonene Luster og Indre Matre). I de indre og høyereliggende strøk var det relativt sett ennå varmere, på Fanaråken var middelsestemperaturen i denne perioden $1,7^{\circ}\text{C}$ høyere enn normalt. Normalt er middelsestemperaturen her positiv bare i

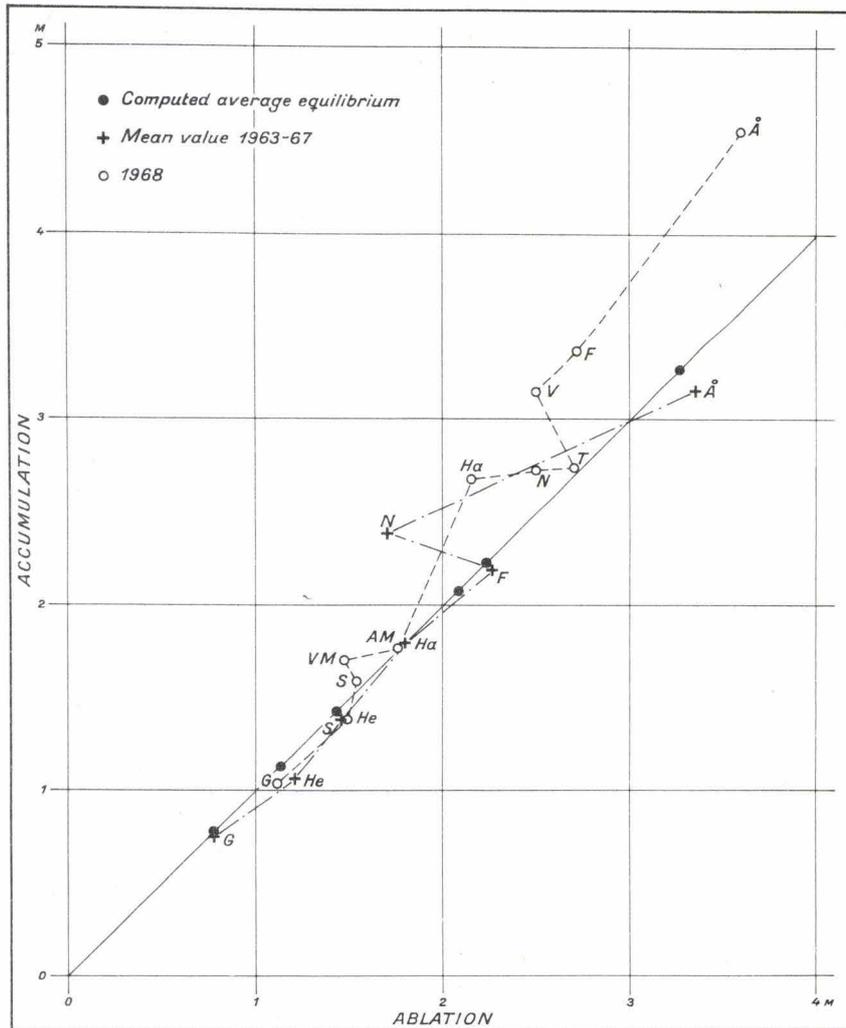


Fig. 59 Diagrammet viser forholdet mellom vinter- og sommerbalanse sett i relasjon til forholdene når breene er i likevekt og har "normal" materialomsetning. Å=Ålfotbreen, F=Folgefonna, V=Vesledalsbreen, T=Tunsbergdalsbreen, N=Nigardsbreen, Ha=Hardangerjøkulen, S=Storbreen, He=Hellstugubreen V.M.=Vestre Memurubre, A.M.=Austre Memurubre, G=Gråsubreen

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

juli og august, i 1968 var månedsmiddeltemperaturene for juni og september også positive.

Det var da også størst netto akkumulasjon på Ålfotbreen, i middel ble 0,95 m vann (30 l/s km^2) holdt tilbake på breen. Stor positiv nettobalanse var det også på Vesledalsbreen (en nordvestvendt utløper av Jostedalsbreen), Folgefonna og Hardangerjøkulen hvor netto akkumulasjonen var nær 0,6 m, som tilsvarer en avrenning på ca. 20 l/s km^2 jevnt fordelt over hele året. Likevektslinjen lå da også alle disse stedene lavere enn når breene er i likevekt.

De tre undersøkte delene av Jostedalsbreen viste også i år innbyrdes varia-

MASS EXCHANGE ON GLACIERS IN NORTHERN NORWAY 1968

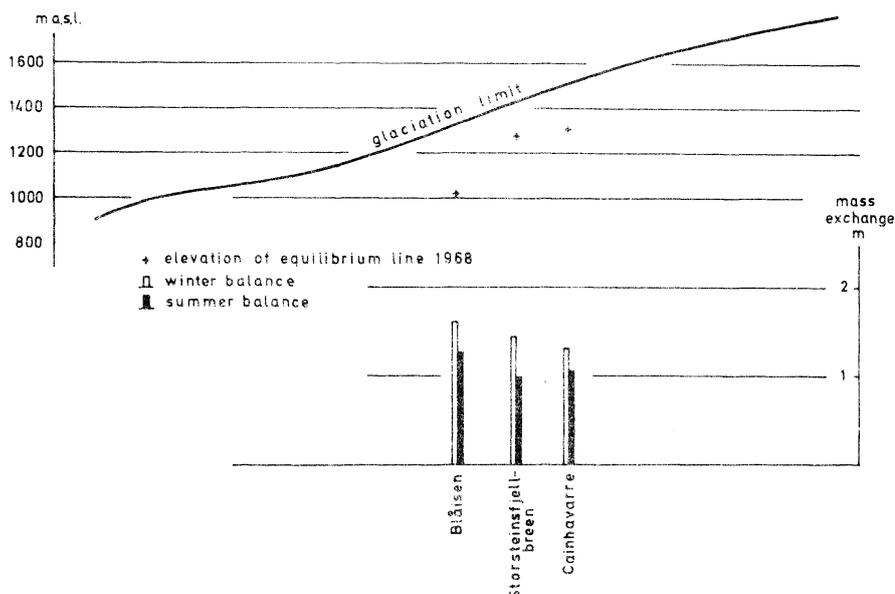


Fig. 60 Vinter- og sommerbalanse på de undersøkte breene i Nord-Norge. Et profil er lagt over Storsteinsfjellbreen normalt på isoglasihypsene, og de øvrige breene er plassert i forhold til glasiasjonsgrensens høyde over havet.

Winter and summer balances on glaciers in Northern Norway. The glaciers are placed on a profile crossing Storsteinsfjellbreen and perpendicular to the isoglaci-hypsens according to the height of the glaciation limit.

sjoner. Vinterbalansen var merkbart større på Vesledalsbreen hvor middelverdien var 3,14 m eller 99 l/s km², enn på Nigardsbreen og Tunsbergdalsbreen, der det i gjennomsnitt var nær 2,7 m (85 l/s km²). Dette forhold gjelder også når midlere vinterbalanse i hvert høydeintervall legges til grunn for sammenlikningen.

Sommerbalansen derimot var den samme på Vesledalsbreen og Nigardsbreen (2,50 m eller 79 l/s km²), men noe større (2,70 m eller 85 l/s km²) på Tunsbergdalsbreen. Ser man på sommerbalansen i hvert enkelt høydeintervall var denne ubetydelig lavere på Vesledalsbreen enn på Nigardsbreen, på Tunsbergdalsbreen derimot var sommerbalansen vesentlig mindre enn på Nigardsbreen i nivåene lavere enn ca. 1600 m o. h. Fjorårets målinger viste tilsvarende resultater, og årsaken til dette er nok blant annet Bretungenes forskjellige overflatebeskaffenhet. Nigardsbretungen er bratt og oppsprukket mens Tunsbergdalsbretungen er slakere, vanligvis mindre oppstrukket og betydelig bredere enn Nigardsbretungen. Det kan også være lokalklimatiske variasjoner i de to dalførere. At den midlere sommerbalanse likevel er størst for Tunsbergdalsbreen skyldes at denne breen har langt større arealer i lavere høydeintervall enn de to andre breene.

Net balance diagrams 1968

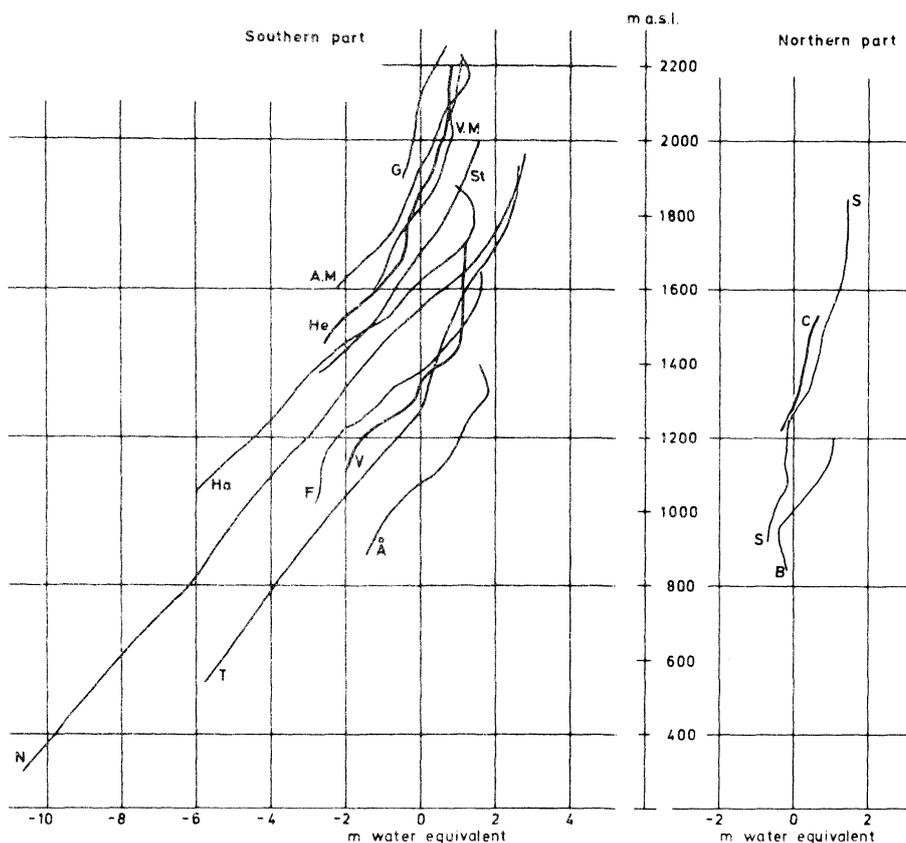


Fig. 61 Nettobalansekurvene for 1968. A=Ålfotbreen, T=Tunsbergdalsbreen, V=Vesledalsbreen, F=Folgefonna, N=Nigardsbreen, Ha=Hardangerjøkulen, St.=Storbreen, He=Hellstugubreen, V.M.=Vestre Memurubre, A.M.=Austre Memurubre, G=Gråsubreen, B=Blåisen, S=Storsteinsfjellbreen, C=Cainhavarre

Net balance curves for 1968. For code explanation see above.

Likevektslinjen lå lavest på Tunsbergdalsbreen (1270 m o. h.) til tross for at denne breen var i likevekt. På Nigardsbreen var det positiv balanse og likevektslinjen lå 1550 m o. h. som er omtrent den høyden som tidligere er beregnet for et år breen er i likevekt. Det ser derfor ut til at likevektslinjen kan ligge noe høyere for et balansert år. Breens arealfordeling medfører imidlertid at bare små variasjoner i nettobalansekurvens form her vil gi betydelig utslag.

Årets variasjoner i materialomsetningen på de tre undersøkte deler av Jostedalbreen viser at det innen små områder kan være betydelige variasjoner i de glasiologiske forhold. For å få et pålitelig bilde av forholdene er det derfor nødvendig med flere års målinger i mere enn ett område. Dette for at ikke lokale variasjoner eller tilfeldige årsvariasjoner skal influere på vurderingen av områdets generelle glasiologiske forhold.

I Jotunheimen var det omtrent balanse på alle de undersøkte breene. Gråsu-

breen har minst omsetning og likevektslinjen var høyest her. Hellstugubreen, Vestre og Austre Memurubre ligger meget nær hverandre, men har noe forskjellig eksposisjon, og dette kan forklare de lokale variasjoner som finnes i omsetningen. Materialomsetningen var i 1968 størst på Austre Memurubre hvor likevektslinjen dessuten lå høyest.

I fig. 59 er årets resultater sammenliknet med tidligere års, og med en beregnet "normal" omsetning. Alle steder er både vinter- og sommerbalansen større enn de tidligere beregnete "normale" verdier.

De steder målinger har pågått siden 1963 er middelveiden for perioden 1963-67 beregnet og satt inn i diagrammet.

I Nord-Norge er forholdene i overensstemmelse med de erfaringer en har fra tidligere år. Også her er det tydelig at materialomsetningen synker mot det mere kontinentale innland, men da de undersøkte breene her ligger meget nær hverandre er variasjonene små. Likevektslinjen stiger jevnt innover i landet. I 1968 var vinternedbøren nær den normale etter våre tidligere målinger å dømme, årets snøakkumulasjonskart viser imidlertid meget store variasjoner i området.

Sommeren var usedvanlig kald og nedbørrik slik at store nedbørmengder falt som snø også i sommersesongen. Middelttemperaturen var i tiden 1. juni - 31. august nær 2°C lavere enn normalt (beregnet ut fra observasjoner i Narvik). Disse forhold medførte at nettobalansen ble positiv i hele området. Alle nettobalansekurvene for 1968 er gjengitt i fig. 61.

TRIANGULERINGER OG BREBEVEGELSESBEREGNINGER I 1968

Innledning

Det er nå etablert lokale trigonometriske punkter ved alle de breer der NVE's brekontor utfører massebalansemålinger. Punktene rundt Ålfotbreen, Nigardsbreen, Storsteinsfjellbreen, og på vestsiden av Folgefonni ble i 1967 tilknyttet NGO's landsnett ved triangulering. Sommeren 1968 ble også punktene rundt Vesledalsbreen, Gråsubreen og Austre Memurubre triangulert. Kart over det siste årets trianguleringer, samt utregnede punktkoordinater finnes som bilag i denne rapport.

I 1967 viste det seg at firmaet Byggedata A/S, foruten å ha programmer for beregning av fullstendige trianguleringer, også hadde programmer som kunne brukes direkte for slike regneoperasjoner som trengs for å finne stakebevegelser. Endel av tidligere års trianguleringsdata ble derfor databehandlet, og vi fikk utregnet de enkelte stakers midlere bevegelseslengde og-retning i tidsrommene mellom trianguleringstidspunktene. Resultatene var tilfredsstillende, og vi bestemte oss for å følge opp dette arbeidet så godt som mulig. Forutsetningen for gode resultater er selvsagt at man har sikker posisjonsbestemmelse for de lokale trigonometriske punkter. Det er grunnen til at vi har ofret såvidt mye tid og arbeid på koordinatbestemmelsen av disse. Vi har nå muligheter til å foreta nøyaktige bevegelsesstudier ved alle de undersøkte breer. Værgudene og den disponible tid avgjør heretter hvor mye vi skal få utrettet.

Vinteren 1967/68 var ganske snørik på Vestlandet, og som vanlig forsvant en mengde målestaker i snøen, og dessverre tinte mange heller ikke frem igjen i løpet av sommeren. Der hvor stakene kom fram og det lot seg gjøre å innhente data, har vi regnet ut brebevegelsen, og resultatene presenteres på kart og i tabeller i denne rapport.

Beregninger og målenøyaktighet

Målingene ble også i 1968 utført med et Kern DKM-1 tachymeter. Alle triangelpunktene som ble koordinatberegnet i 1967 ble bestemt ved gjensidig sikt mellom våre punkter og NGO's grunnlagspunkter. Triangulering fra NGO-punktene, som oftest ligger langt unna og på høye topper, betyr som regel temmelig mye ekstra arbeid, men gir en nøyaktigere bestemmelse, både horisontalt og vertikalt, enn ensidige sikt. Grunnen til dette er bl. a. at en får muligheter til fullstendig feilutjamning for et helt trekantnett under ett, og dermed får vi feilellipser som angir feilrammen i X og Y-retningen for hvert enkelt punkt. Refraksjonen varierer med tidspunktet på døgnet, og virkningen av denne faller bort ved gjensidige sikt, dersom de foretas omtrent på samme tid av døgnet. Dette vil spesielt styrke høydemålingens nøyaktighet. Med hensyn til arbeidet med triangelpunktene i 1968 kan nevnes at punktene rundt Vetledalsbreen ble bestemt ved fullstendig triangulering. Feilellipsenes radier var mellom 0,02 m og 0,11 m. Trianguleringens midlere vinkelfeil var på 22^{cc} (0,0022 nygrader). Det har aldri lyktes oss å komme lengre ned i midlere vinkelfeil med dette instrumentet. Dets nøyaktighetsgrense ved horisontalmålinger ser altså ut til å ligge på ca. 20^{cc} .

Triangelpunktene rundt Gråsubreen og Austre Memurubre ble bare bestemt ved ensidig triangulering fra våre egne punkter, og følgelig uten fullstendig feilutjamning. Ut fra de koordinatsett som blir regnet for hvert punkt finner vi et største avvik fra midlet på mellom 0,1 og 0,5 m, og litt mere (ca. 0,5-1,0 m) for høydemålingenes vedkommende. Det er neppe nødvendig med større nøyaktighet i høydebestemmelsene for vårt formål, men når det gjelder den horisontale posisjon kan det i enkelte tilfelle være ønskelig med en sikrere bestemmelse. Blant annet er det viktig med nøyaktige koordinater dersom en vil bruke stakene på en platåbre til å bestemme dreneringsområdets grense, i områder der bevegelsen kan være bare noen få cm i året.

Det er meningen å foreta supplerende målinger fra NGO-punktene omkring Gråsubreen og Austre Memurubre. I mellomtiden må de oppgitte koordinater brukes med et forbehold på ca. $\pm 0,5$ m.

Ålfotbreen

Da våre lokale triangelpunkter NVE-1 og NVE-3 første gang skulle koordinatbestemmes, fikk vi av Knophs oppmåling oppgitt koordinatene for deres punkter A-8, A-18 og A-23, som vi så brukte til våre punktbestemmelser. En rekke uheldige omstendigheter gjorde imidlertid at denne beregning dessverre ga uriktige resultater. De oppgitte koordinater for punktet A-18 var feilaktige og datamaskinen fant straks ut at ett av de 3 grunnlagspunktene måtte ha feilaktige koordinater. Merkelig nok sjaltet den selv ut punktet A-23, og med ett riktig og ett feilaktig grunnlagspunkt ble trianguleringen deretter beregnet - og stemte! Dette viser bl. a. faren ved å stole på datamaskinens "dømmekraft", og risikoen ved å bygge på bare 2 grunnlagspunkt som vi her gjorde. Arbeidet er nå utført på nytt og en rettet koordinatliste samt omregnede koordinater til UTM-systemet foreligger som bilag til denne rapport.

De som eventuelt skal benytte seg av de forskjellige trigonometriske punkter rundt Ålfotbreen må være oppmerksomme på en rekke forhold som det her ved kort redegjøres for.

1. De første triangelpunkter som ble opprettet i området var etablert av NGO. Punktene var Gjegalunden, Kjeipen, Hjelmen, Storetroda og Dombesteinsfjell. Punktene ble markert med store varder. Disse punktene ble regnet i NGO Akse I og bygger på det gamle 1. ordens geodetiske grunnlag.
2. Senere bygget Knophs oppmåling ut triangelnettet betydelig i forbindelse med kartlegging i målestokk 1:25 000 for Bremanger kraftselskap. Disse

punktene er merket med store bokstaver og nummer på kartet. Punktene er markert med bolter og lette bardunsignaler. De utregnede koordinater bygger på NGO-punktene, dvs. Akse I, gammelt grunnlag.

3. NVE satte i 1964 ut 2 punkter, henholdsvis NVE -1 og NVE-2. Koordinater for disse bygger på Knophs triangelpunkter og foreligger derfor også i NGO's Akse I, gammelt grunnlag. Punktene er merket med bolt i fjell og korte aluminiumsrør.

4. Da ing. Kjørseth skulle foreta tunnelsprengning for Store Askåra kraftanlegg mente man at den nøyaktighetsgrad som koordinatene for Knophs punkter hadde, ikke var tilstrekkelig for deres formål. De beholdt koordinatene på ett av Knophs punkter, samt en azimut, og med en geodimetermålt sidelengde som basis bygget de så ut sitt eget nett på dette. Disse punktene identifiseres med tall og navn. Koordinatene foreligger også i NGO's Akse I gammelt grunnlag, men må brukes med stor kritikk i samband med andre triangelpunkter. Punktene er merket med bolt og lette bardunsignaler.

5. Tilslutt har NGO atter vært i området og triangulert for den økonomiske kartlegging. En rekke nye punkter er satt ut. Disse er merket med NGO-bolter og bardunsignaler. Endel av de gamle punkter er tatt med i den nye trianguleringen, men alle de foran nevnte punkter, som altså ikke er med i den økonomiske trianguleringen, er bare beregnet i NGO's Akse I, gammelt grunnlag. De nye punktene forekommer bare i NGO's Akse I, nytt grunnlag.

6. Da vi på vårt nye kart over Ålfotbreen ville benytte UTM-koordinater, fikk vi NGO til å foreta koordinattransformasjoner - men dette kunne bare gjøres fra NGO's Akse I, nytt grunnlag! Vi måtte derfor selv gjøre en tilnærmet omregning fra NGO's Akse I gammelt grunnlag til NGO's Akse I, nytt grunnlag, og deretter få foretatt transformasjonen til UTM-koordinater. Derfor har de av oss oppgitte UTM-koordinater ikke samme nøyaktighetsgrad som NGO's Akse I, gammelt grunnlag, og vi vil anbefale at sistnevnte koordinater blir brukt til beregningsarbeider der stor nøyaktighet kreves, mens UTM-koordinatene kan brukes til grafiske arbeider på kartet.

Ålfotbreen har den overlegent største materialomsetningen av de breer vi undersøker, og de store snømengdene som kommer om vinteren resulterer blant annet i at de fleste av våre målestaker ofte forsvinner. Den store avtiningen om sommeren gjør at staker til stadighet smelter fram og må ombores. Det er derfor svært få punkter vi har sikre bevegelsesmålinger for etter at vi begynte med staketrianguleringer her i 1966. Resultatene fra disse få punktene er gjengitt i tabellen på neste side.

ÅLFOTBREEN

Beregnet brebevegelse

28/7-66 - 27/8-69

Stake nr	Avstand m	Bevegelsesretn. nygrader
11	5.0	29
13	6.8	8
14	7.0	4

Det viser seg at Ålfotbreen, som har meget stor materialomsetning, har en minimal bevegeshastighet. Nær maksimalområdet er midlere hastighet beregnet til 3,5 m pr. år. Dette er det minste vi har målt på noen av våre undersøkte breer.

Gråsubreen

Gråsubreen er den av våre breer som har minst materialomsetning, og følgelig er det her relativt lett å få kontinuitet i stakemålingene.

Bevegelsene som er gjengitt i en tabell og på fig. 62 har foregått i tidsrommet 4/9-66 - 24/7-68.

Som man kan se beveger Gråsubreen seg svært langsomt, ca. 4 m i året i maksimalområdet i 2100-2150 m høyde, mens bevegelsen ved stake 1 i 1980 meters høyde bare er ca. 17 cm årlig.

Som en kuriositet kan nevnes at i forbindelse med trianguleringen av Gråsubreen, triangulerte vi også fra høyeste punkt av snøskavlen på Glittertind. Det viser seg at den stadig holder sin stilling som det høyeste punkt i Norge. idet høyden den 24/7-68 var 2471,4 m o. h. Da den ble triangulert den 15. -17/7-59 av direktør Kr. Gleditch i NGO, ble høyden regnet til 2469,7 m.

GRÅSUBREEN

Beregnet brebevegelse

4/9-66 - 20/7-68

Stake nr	Avstand m	Bevegelsesretn. nygrader
1	0.34	78
3	4.63	48
4	8.05	45
8	7.55	45
11	7.46	52
12	3.76	66
13	1.30	68

GRÅSUBREEN

Stake movements 1966-1968

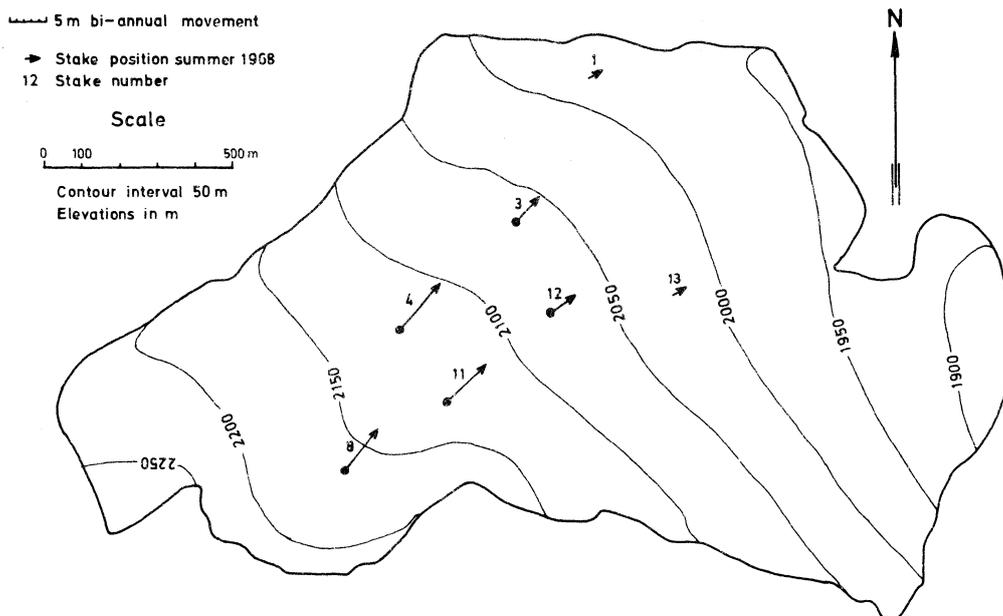


Fig. 62 Brebevegelse på Gråsubreen i tiden 1966-1968.

Glacier movement on Gråsubreen 1966-1968,

Nigardsbretungen

Beregnes midlere hastighet i periodene mellom trianguleringene fremgår det av tabellen nedenfor og fig. 63 at den midlere bevegelseshastighet øverst på

NIGARDSBRETUNGEN

Beregnet brebevegelse i 3 tidsperioder

I: 25/9-66 - 20/7-67 II: 20/7-67 - 15/7-68 III: 15/7-68 - 25/8-68

Wire nr	Periode	Midlere bevegelseslengde i m			Midlere bevegelsesretning i nygrader		
		I	II	III	I	II	III
41		114	152	19	140	148	162
40		102	130	-	162	175	-
39		96	123	16	174	177	161
38		90	118	15	183	180	176
37		80	114	14	188	184	181
36		79	108	-	190	190	-
35		79	111	14	191	178	178
34		74	118	14	190	181	181
33		73	103	15	188	179	171
32		-	103	14	-	175	166
31		61	100	-	179	167	-
30		41	115	14	166	168	158
26		-	69	15	-	147	144
25		-	46	14	-	141	139
23		-	43	16	-	140	137

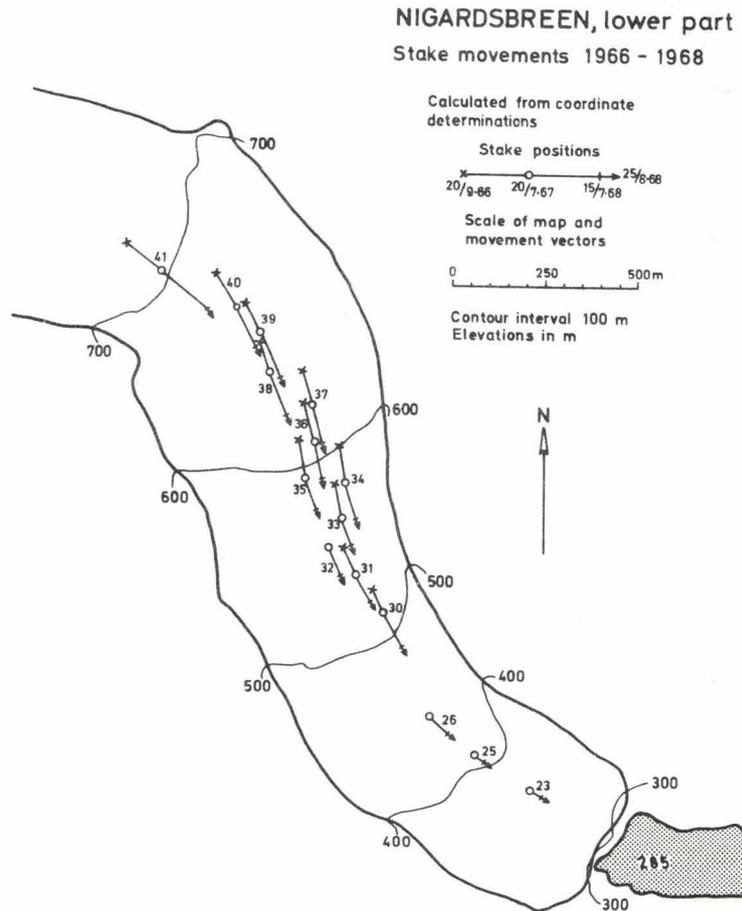


Fig. 63 Brebevegelse på Nigardsbretungen i tiden 1966-1968,

Glacier movement on the lower part of Nigardsbreen 1966-1968.

Nigardsbretungen tilnærmet er den samme i 1966-67 intervallet som i 1967-68 intervallet mens der er en markert hastighetsøkning ved de nederste målepunkter i tilsvarende tidsrom.

Det aller siste intervallet fra 15/7-68 til 25/8-68 viser at bevegelseshastigheten har vært omtrent den samme i hele området i dette tidsrom, hvilket betyr en ny betydelig hastighetsøkning i det nedre området der hastigheten i løpet av et år har vist seg å være bare $1/3 - 1/4$ av hastigheten i det øvre område. Nigardsbrens front har ikke vist noen tendens til å gå fram i 1968 til tross for hastighetsøkningen i de nedre bremasser. Vi vet ennå for lite til å kunne si noe om det var årets bevegelseshastighet som var større enn normalt, eller fjorårets som var mindre enn normalt, eller om hastigheten om sommeren vanligvis er like stor nedover hele bretungen og tilsvarende mye mindre om vinteren. Vi har ennå ikke tilstrekkelig data til å kunne si om dette viser en bølge på veg ned mot brefronten, og som kan føre til at fronten begynner å rykke fram.

Folgefonni

På Folgefonni har det vært foretatt trianguleringer til staker og wirene på breen helt fra 1963. Vi har også et godt kart over breen, konstruert etter fly-fotos fra 1959. På vestsiden av Folgefonni der vi har koordinatbestemte triangelpunkter, har vi regnet ut brebevegelsen og breens nivåforandringer i tidsrommet 1959 - 1968. Det har lyktes å få en sikker kontinuitet i målingene takket være wirene som er smeltet 20 m ned i isen. De undersøkte brearmer, Gråbreen og Breidablikkbreen, viser en midlere årlig bevegelsehastighet på 18 m ved likevektslinjen, og 1, 5 m nederst; bevegelsen er svært jevn i de

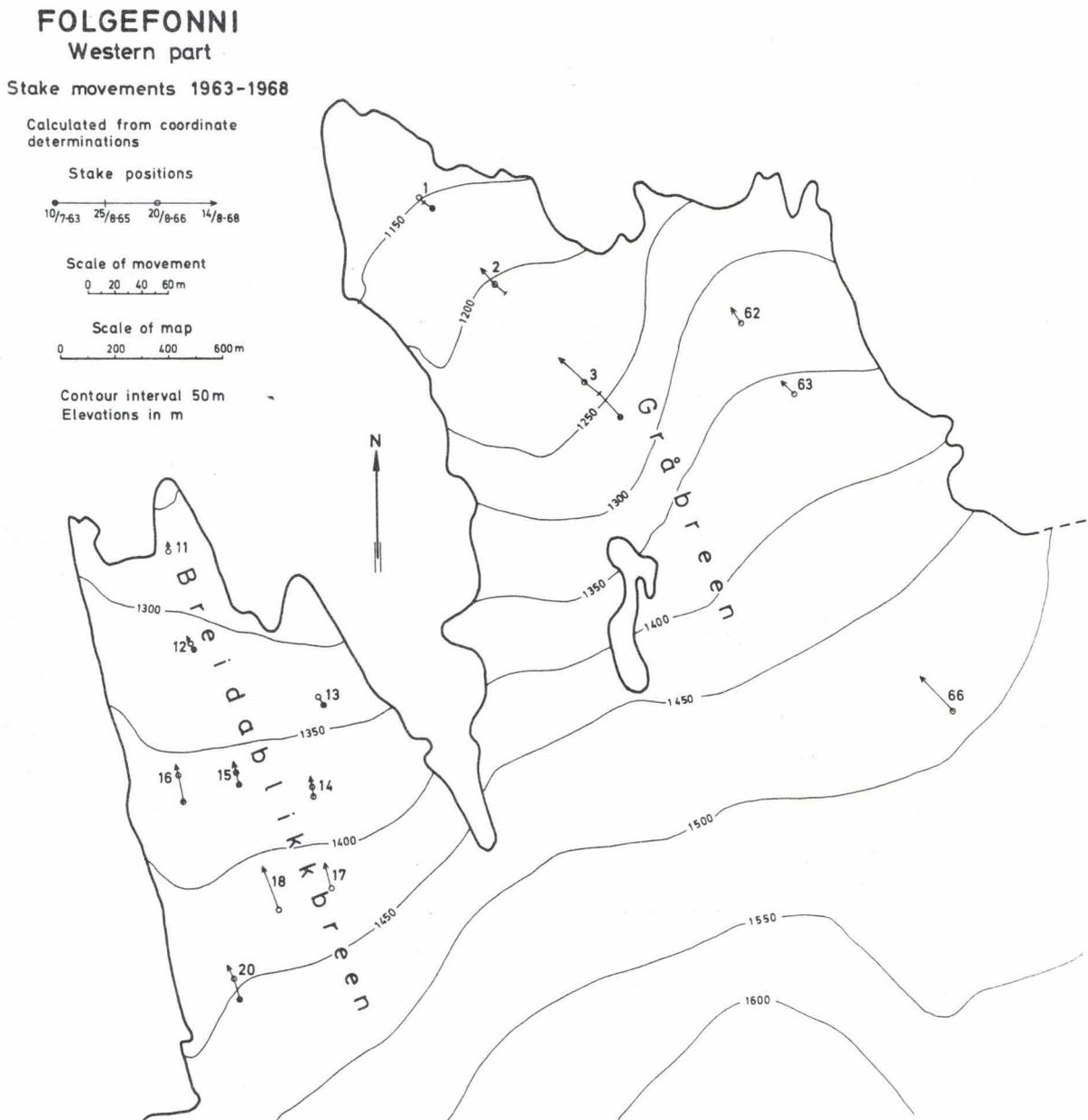


Fig. 64 Brebevegelse på Folgefonnis vestside i tiden 1963-1968.

Glacier movement on the western part of Folgefonni 1963-1968.

fleste undersøkte punkter. Den eneste som avviker radikalt fra sine naboer er målepunkt 3 på Gråbreen, som beveger seg dobbelt så hurtig som punktene 2 og 62. se tabellen og fig. 64. Grunnen er åpenbart at punkt 3 ligger såvidt nær oppunder det bratteste parti i Gråbreen.

Mens vi på andre breer har funnet svært liten nivåforandring i løpet av en 8-10 års periode, finner vi på Folgefonna store variasjoner i breoverflatens nivå fra 1959 til 1968. Breoverflaten har sunket betydelig (maksimalt 30 m.

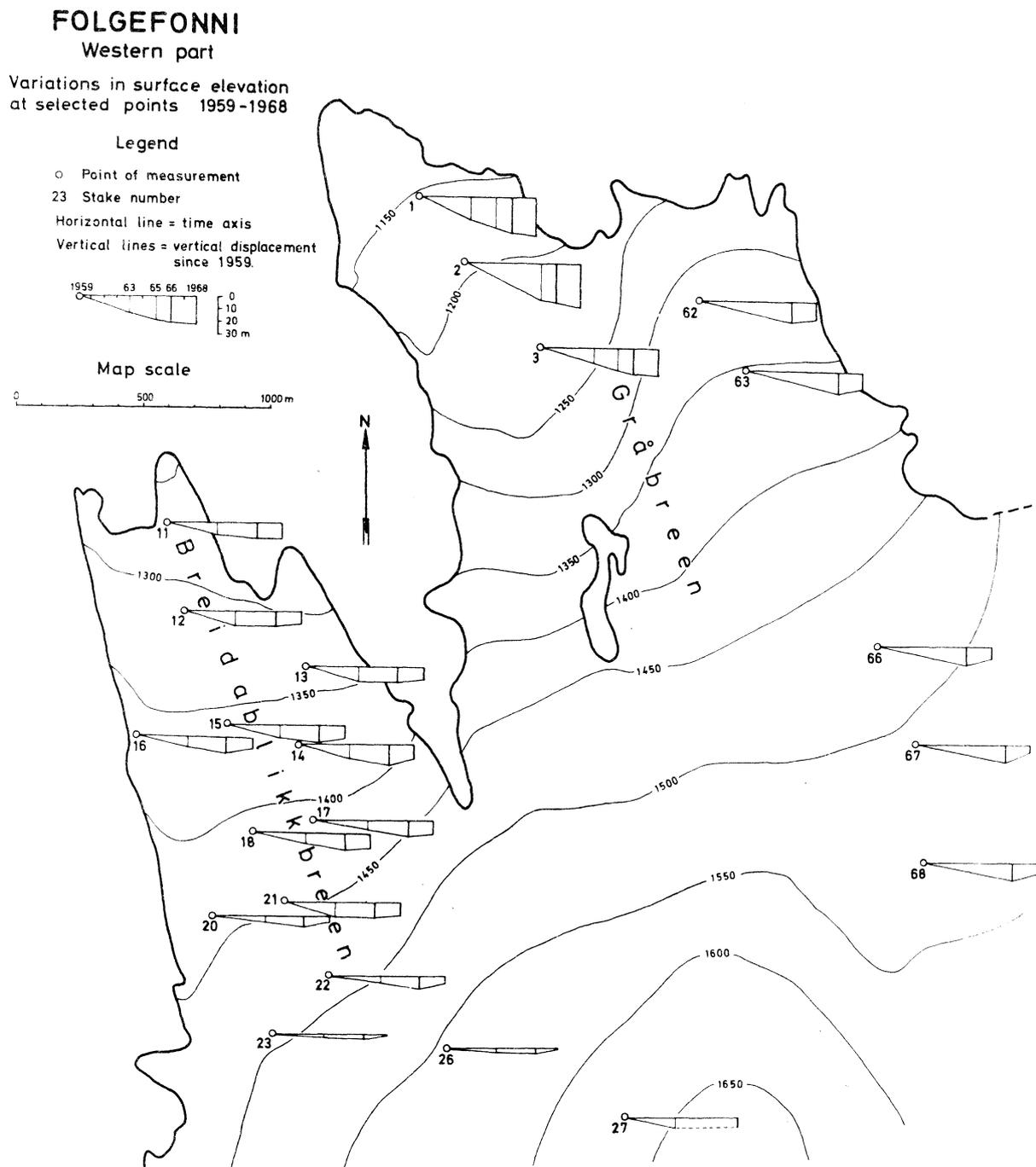


Fig. 65 Nivåforandringer på Folgefonnis vestside i tiden 1959-1968.

Variations in surface elevation on the western part of Folgefonna
1959-1968.

FOLGEFONNI

Beregnet brebevegelse 1963 - 1968

Måle- punkt \ dato	Midlere bevegelseslengde i m				Midlere bevegelsesretning i nygrader			
	10/7-63	25/8-65	20/8-66	14/8-68	10/7-63	25/8-65	20/8-66	14/8-68
1	6.2	4.6	-		342	368	-	
2	-	8.9	14.0		-	348	358	
3	28.2	13.0	25.4		355	339	349	
11	-	-	5.5		-	-	363	
12	5.0		2.6		360		385	
13	4.4		-		390		-	
14	7.5		2.7		392		392	
15	16.3		7.0		389		389	
16	16.5		6.5		391		391	
17	18.5				382			
18	34.0				279			
20	14.9		10.0		178		182	
62	-	-	13.0		-	-	365	
63	-	-	13.0		-	-	393	
66	-	-	35.1		-	-	348	

gjennomsnittlig ca. 15 m) fra 1959 til 1966, mens fra 1966 til 1968 har den vist en økende tendens ovenfor 1300 m nivået. Punkter under dette høydenivå har i de siste år vært stabile, eller vist en svak synkende tendens.

De omtalte observerte nivåforandringer av overflaten på Folgefonnis vestre del vises grafisk på et kart over denne del av breen (fig. 65).

NYE BREKART

Da alle målinger av breenes massebalanse er knyttet til breoverflaten er det nødvendig å kjenne breens flateinnhold, høydefordeling, osv. med stor nøyaktighet. Bare et godt brekart kan gi disse opplysninger med den nøyaktighet som kreves, og det har derfor i de senere år vært nedlagt en del arbeide i å skaffe gode kart over de breer som undersøkes.

Som standardmålestokk er valgt 1:10 000 der ikke breens størrelse hindrer dette. For store breer brukes 1:20 000 (Nigardsbreen, Tunsbergdalsbreen etc.).

Da breundersøkelsene i Midt-Jotunheimen ble startet i 1967 var det først meningen å arbeide på Vestre Memurubre, men det viste seg at smeltevannet drenerer etter et så komplisert mønster at man ikke kunne måle totalt avløp fra breen. Det ble derfor bestemt å flytte hovedundersøkelsene i Austre Memurubre og bare foreta begrensede målinger på Vestre Memurubre.

Til støtte for arbeidet ble det i 1968 konstruert kart over begge breene på grunnlag av flybilder tatt 19. og 21. juli 1966 (Widerøes Flyveselskap, oppgave 1834). Bildene ble tatt for å danne grunnlag for nye, topografiske kart i området, men konstruksjonen av brekartene ble utført helt uavhengig av dette.

Sprekkeområder, morenedekket is ("midtmorene"), store og dominerende steiner, samt våre hytter er avmerket på kartene. Dette er gjort bl. a. for å lette orientering og triangulering på breen. Alle isfrie områder er gjengitt i brun tone og såvidt mulig uten generalisering. Is- og snødekkede områder har hvit farge for at kartet skal kunne brukes for notater, inntegning av posisjoner etc. UTM-koordinater og noen geografiske koordinater er markert langs rammen.

Nøyaktigheten anslåes til bedre enn 2 m i relativ høydebestemmelse og bedre enn 5 m i absolutt høydebestemmelse. I horisontal retning er maksimal feil mindre enn 5 m.

GLACIERS AND GLACIER MAPS IN EAST CENTRAL JOTUNHEIMEN

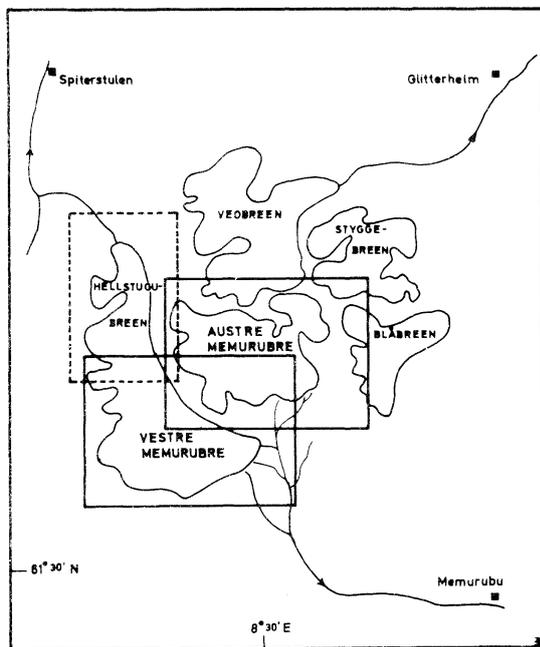


Fig. 66 Kartet viser områdene som omfattes av de to nye brekart utgitt i 1968 (tykk linje). Den strekede linjen viser området for det tidligere utgitte kart over Hellstugubreen.

Areas of two new glacier maps (heavy line) issued in 1968. A previously issued map of Hellstugubreen is indicated by broken line.

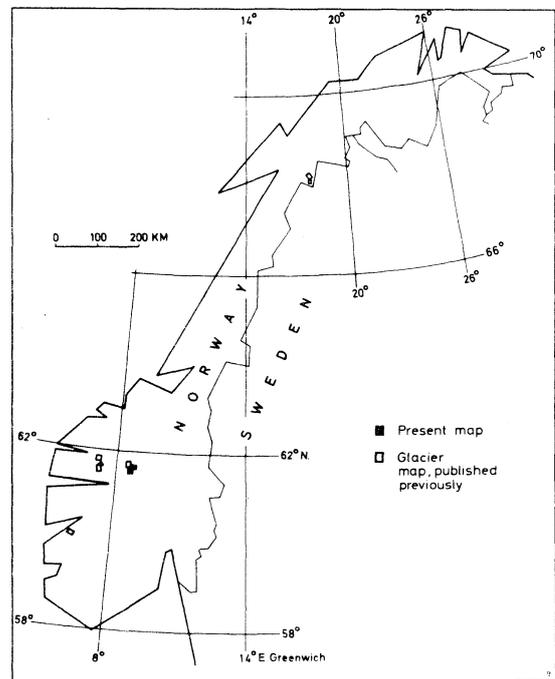


Fig. 67 Oversiktskart over de tidligere utgitte brekart (NVE) i Norge.

Index map showing areas of previously issued glacier maps, produced by NVE.

Et eksemplar av hvert av de to kartene følger denne rapport som bilag (i lomme på 3. omslagsside), og en oversikt over det område de dekker vises på fig. 66. En oversikt over tidligere utgitte brekart vises på fig. 67.

KORRELASJONSBEREGNINGER OG REGRESJONSANALYSER AV DØGNLIG AVLØP SOM FUNKSJON AV METEOROLOGISKE PARAMETRE

Innledning

De pågående glasiologiske undersøkelser i NVE's regi drives ut fra flere forskjellige forutsetninger. En viktig og aktuell praktisk arbeidsoppgave er å få fram materiale til korreksjon av avløpsdata fra delvis bredekte nedslagsfelt - de siste 40 år har breene stadig gitt ekstra vann til nedenforliggende vassdrag ved å tære på sin egen masse. Denne tendens ser nå ut til å forandre seg langsomt, noe som selvfølgelig er av den største teoretiske interesse, men som naturligvis også er av stor praktisk-økonomisk betydning når brefeltene trekkes inn i kraftutbyggingens interesseområde.

Landets generelle hydrologiske forhold omfatter også breenes spesielle hydrologi, som derfor studeres ut fra prinsippet om at man bør skaffe seg et allsidig bilde av vårt lands hydrologi. Dette er en meget vidtfattende forutsetning for Brekontorets virksomhet, og den inkluderer da naturligvis et stort spektrum av glasiologiske studier. En del av disse studier berører årsakene til breavsmeltningen, og det er dette problem som her angripes ad matematisk veg.

Gjennom de matematiske korrelasjonsberegningene har vi fått et middel til å utarbeide metoder for prognosering av avløp fra breene, en oppgave som har direkte praktisk betydning for rasjonell og økonomisk daglig drift av kraftverk med brerike nedslagsfelt. Vi har derfor målbevisst arbeidet med en framtidig avløpsprognosering for øye, og har for 1968 utarbeidet formler for døgnlig avløp basert på utvalgte meteorologiske parametre. Det har dog vist seg at metodikken kan forbedres og utvikles videre, og i konklusjonen pekes det på mulige veger å gå i dette arbeidet, som for øvrig allerede er påbegynt.

Denne artikkel skal gi et bilde av hvordan vi har behandlet observasjonsmaterialet fra 1968, og resultatene vises i tabeller.

Metodikk

Hvis man betrakter et diagram som viser vind, temperatur, nedbør og avløp i løpet av sommeren for en bre, kan man visuelt prøve å korrelere variasjoner i avløpet med samtidige variasjoner i nedbør og temperatur. På denne måten kan man få en viss oppfatning om hvilken faktor som ser ut å være den mest betydningsfulle for avløpet fra et brefelt.

Det er logisk at en varm periode vil gi større avløp enn en kald, og at et kraftig regnvær øker vassføringen fra brefeltet. Det er også forståelig at en varm, fuktig vind øker avløpstallene. Når luftens fuktighet kondenseres mot breflaten frigjøres 500 kalorier pr. gram kondensert vann. Denne energimengde vil smelte ca. 6 gram is, og resultatet blir at 7 gram vann drenerer fra breen.

Det er videre forståelig at breen sannsynligvis mottar mer energi når himmelen er skyfri enn når den er overskyet. På den annen side vil utstrålingen (og dermed avkjølingen) bli mindre i overskyet vær.

Disse enkle, logiske samband kunne relativt lett uttrykkes i tall eller matematiske formler hvis man hadde rendyrkede forsøksbetingelser, og kunne studere én uavhengig variabel ad gangen. Derved ville man antakelig kunne sette opp enkle relasjoner mellom avløpet og hver og en av de meteorologiske parametre. Dette lar seg derimot ikke gjøre i naturen der alle (eller nesten alle) de uavhengig variable samtidig påvirker smeltingen og dermed også vassføringen.

Nå er det heldigvis mulig å mestre dette problem på ren matematisk veg ved at man foretar en trinnvis regressjonsanalyse, der vassføringen betraktes som den avhengig variable og alle de meteorologiske parametrene som uavhengig variable. Derved kan man komme fram til formler som uttrykker avløpet som funksjon av de meteorologiske variable.

En slik beregning er meget omfattende og arbeidskrevende, og ville neppe være mulig uten hjelp av maskinell databehandling.

Første gang slike beregninger ble gjennomført var i 1966 da resultatene fra massebalansemålinger på utvalgte breer i Canada først ble "analysert" ved en enkel visuell betraktning, og deretter mer inngående behandlet ved matematiske metoder (Østrem, 1966). Senere har jeg analysert resultatene fra våre egne massebalanseundersøkelser og på grunnlag av observasjonsdata fra 1967 stillet opp formler der en, to eller tre uavhengig variable ble tatt med i regressjonslikningen for avløpet (Østrem og Pytte, 1968, p. 104-116). Årets

undersøkelser er utført etter samme prinsipp, men i tillegg til de rene døgnverdier som hittil har vært betraktet, er det foretatt analyser av 3-dagers glidende middeltall for samtlige data.

Man antar at det eksisterer et lineært samband mellom vassføringen og de frie variable (alle tall regnet som døgnlige middelveidier), og man prøver seg fram til den førstegradsligning som best beskriver vassføringen under denne forutsetning. Tallbehandlingen bygger på en multipel regressjonsanalyse, der man på grunnlag av tilgjengelige observasjonsdata finner fram til en funksjon av formen.

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

der Q betyr døgnlig avløp (avhengig variabel), k' er en konstant og X_1 , X_2 , X_3 , osv. er de uavhengig variable, dvs. de meteorologiske data man vil bruke.

Analysen består normalt i å finne koeffisientene k_1 , k_2 , k_3 , osv. og deres signifikans. 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 en del av de meteorologiske parametre inngår, og at innføringen av ytterligere en eller flere variable ikke øker sikkerheten i resultatet. Ved den foreliggende analyse er det derfor kun tatt med formler der én, to eller tre variable er inkludert.

For en fullstendig beskrivelse av det regnemaskinprogram som er brukt i analysen, henvises til Wøyen (1966). Programmet er et standardprogram ved Norsk Regnesentral (Program NRSR - Multiple Regression Analysis) og det kjøres på Regnesentralens store maskin UNIVAC - 1107. En analyse av en sommers data fra en bre tar ca. 2 minutter.

Resultater

For følgende breer ble avløpet korrelert med meteorologiske observasjoner - dels fra Meteorologisk institutts faste stasjoner, dels fra våre egne bestasjoner:

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

Da det for hver enkelt bre er brukt data fra forskjellige stasjoner, er det laget en tabellarisk oversikt over de observasjonssteder og symboler som er brukt for den enkelte bre. Denne tabell har fått betegnelsen A, slik at den f. eks. for Erdalsbreen heter Tabell 2 A. I samme tabell er det også oppført sommerens døgnmiddel, samt noen utvalgte temperaturgradienter beregnet fra samtlige temperaturobservasjoner.

Regnemaskinprogrammet ga automatisk alle korrelasjonskoeffisienter mellom samtlige variable som deltar i analysen. I tabellene som har betegnelsen B, er det satt opp et utvalg av disse korrelasjonskoeffisienter, både for dagverdiene og for de tall som er framkommet ved glidende 3-dagers middeltallberegning. De sistnevnte korrelasjonskoeffisienter er gjennomgående høyere enn de for enkeltdag-verdiene.

Tilslutt er det i tabell C angitt regressjonslikninger der avløpet (uttrykt i 10^4 m^3 pr. døgn) er oppgitt som en førstegradsfunksjon med én, to eller tre meteorologiske parametre som variable. Det er angitt to sett funksjoner, ett beregnet ut fra døgn-verdier, og ett beregnet på grunnlag av 3-dagers glidende middeltall.

Som variable er det brukt både observasjoner fra samme dag, fra dagen før og evt. to dager før. For breer med lang dreneringsveg, f. eks. Nigardsbreen, er den temperatur som ble avlest 2 dager tidligere bedre korrelert med vassføringen enn temperaturer fra samme dag.

En nærmere presentasjon av resultatene fra korrelasjonsberegningene og regressjonsanalysene for 1968 følger nedenfor.

Alfotbreen

Avløpet fra den observerte del av breen registreres med en limnigraf (VM 1441) i Breelva. Limnigrafen drenerer ialt $8,6 \text{ km}^2$, og av dette dekker ca $4,7 \text{ km}^2$ eller omtrent 55% bredekket. Limnigrafen var igang hele sommeren. Som undersøkelsesperiode for den matematiske analyse er valgt 2. juni-3. oktober, dvs. den tid da daglige observasjoner av vind, skydekke, temperatur og nedbør ble foretatt ved breen. De nærmeste klimastasjoner, der daglig nedbør måles rutinemessig for Meteorologisk institutt, er Svelgen, Davik og Alfoten II. Disse stasjoner ligger i liten høyde over havet og får mye mindre nedbør enn brestasjonen. således får Alfoten II langt under halvparten av hva som måles ved breen. Allikevel er korrelasjonen meget tilfredsstillende, i 1968 var Davik, som viste en korrelasjonskoeffisient på 0,81, best. Det er videre meget god korrelasjon mellom daglig lufttemperatur i Førde og ved brehytta, årets

koeffisient ble 0,85 for enkeltdag-verdier og hele 0,90 for 3-dagers glidende middeltall.

Avløpet i Breelva viste best korrelasjon med vindstyrken dagen før (koeffisient 0,68) mens temperaturen i Førde samme dag kom som nummer to. For 3-dagers glidende middeltall var korrelasjonen også best med vindstyrken dagen før, vindstyrken samme dag kom som en god nummer to, mens alle temperaturer viste lave korrelasjoner.

Ved konstruksjonen av regressjonslikninger ble vindstyrken dagen før, temperaturen i Førde dagen før og tilslutt nedbør ved brehytta dagen før som kommer med. For 3-dagers alternativet er det de samme variable som blir tatt med, men i en litt annen rekkefølge.

Sommeren 1968 var det usedvanlig mange og lange perioder med sol og pent vær, men det viste seg at avløpet ikke var særskilt følsomt overfor temperatur- og innstrålingsvariasjoner. Dette forhold står i skarp kontrast til hva som er vanlig i mer kontinentale områder, der temperaturen har meget sterk innflytelse på avløpet - på varme dager kan det på få timer øke til det mange-dobbelte! For Ålfotbreen synes det som om vinden er den helt dominerende faktor i bresmeltingen. For å få mere rede på luftfuktighetens betydning, bør observasjonene utvides til også å omfatte hygrometeravlesninger eller helst bør en hygrograf installeres. Derved kunne vi studere vindens innflytelse mer detaljert.

Tabell I A

Ålfotbreen 1968

Oversikt over observasjoner i perioden 2/6-3/10 (124 døgn)

Observasjonssteder	H o.h. m	Anvendte symboler				Døgnmiddel				Temp.gradient °C/100 m
		temp.	nedb.	vindhast.	skydekke	°C	mm	m/s	%	
Førde (Sunnfj.)	3	t	P			13.7				
Svelgen	16		PS				3.7			
Davik	32		PD				2.6			
Ålfoten II	24		PA				2.0			
Obs.hytta (ca.100 m øst for Bretungen)	960	t'	P' (standard måler) P'' (Pluvius)	V'	C'	7.0	4.4	5.7	54	0.698 (Førde/Hytta)

Døgnlig avløp (Q) er målt i bre-elva, VM 1441 (døgnmiddel $21.95 \cdot 10^4 \text{ m}^3$)

Tabell 1 B
 Ålfotbreen 1968

Korrelasjonskoeffisienter for daglige observasjoner

Jevnførte observasjoner (utvalg)	Koeffisient (enkeltdager)	Signifikans- nivå	Koeffisient (3-d.gl.gj.sn)	Signifikans- nivå
Avløp breelva - V'_{n-1}	<u>0.68</u>	0.000	<u>0.75</u>	0.000
" " - t_n	0.55	0.000	0.58	0.000
" " - V'_n	0.51	0.000	<u>0.65</u>	0.000
" " - t_{n-1}	0.50	0.000	0.58	0.000
" " - P'_{n-1}	0.42	0.000	0.48	0.000
" " - PA_{n-1}	0.41	0.000	0.50	0.000
$t - t'$	0.85	0.000	0.90	0.000
PS - P'	0.78	0.000	<u>0.88</u>	0.000
- P''	0.78	0.000	0.87	0.000
PD - P'	<u>0.81</u>	0.000	0.86	0.000
- P''	0.79	0.000	0.84	0.000
PA - P'	0.72	0.000	0.83	0.000
- P''	0.69	0.000	0.81	0.000
$P' - P''$	0.99	0.000	0.99	0.000

n = samme dag, n-1 = dagen før

Tabell 1 C

Ålfotbreen 1968

Regressjonslikninger for avløp

Antall variable	Likning for vassføring Q = (10 ⁴ m ³ pr. døgn) (Partiell korrelasjonskoeff. i parentes)	Multipel korr.koeff.
a) For enkeltdag-observasjoner		
1	2.81 V'_{n-1} + 5.95 (0.68)	0.68
2	2.43 V'_{n-1} + 1.21 t_{n-1} - 8.46 (0.65) (0.43)	0.75
3	1.61 t_{n-1} + 1.82 V'_{n-1} + 0.50 P'_{n-1} - 12.55 (0.57) (0.56) (0.50)	0.82
b) For 3-dagers glidende gjennomsnitt		
1	3.36 V'_{n-1} + 2.89 (0.75)	0.75
2	2.78 V'_{n-1} + 1.29 t_{n-1} - 11.47 (0.70) (0.47)	0.81
3	1.94 t_{n-1} + 0.69 P'_{n-1} + 1.74 V'_{n-1} - 17.50 (0.69) (0.63) (0.56)	0.89

Signifikansnivå for samtlige korrelasjonskoeff. var under 1%

Erdalsbreen

Ved Erdalsbreen foretas det vesentlig slamundersøkelser og de meteorologiske observasjoner er innskrenket til temperatur- og nedbørmålinger. Da det snart viste seg at temperaturene ved Erdalsbretungen ikke ga noen god korrelasjon med andre temperaturer i området, ble de daglige temperaturverdier fra

Tabell 2 A

Erdalsbreen 1968

Oversikt over observasjoner i perioden 29/6-1/9 (65 døgn)

Observasjons- steder	H o.h. m	Anvendte symboler				Døgnmiddel				Temp.gradient °C/100 m
		Temp.	nedb.	vind	skydekke	°C	mm	m/s	%	
Oppstryn	205	t				14.5				
Hytte ved tungen Erdalsbreen	900		P'				3.6			
Nedre hytte Vesledalsbreen	1130	t''	P''			6.2	1.9			0.89 (fra Oppstryn)
Øvre hytte Vesledalsbreen	1590	t'''	P'''	V'''	C'''	4.1	1.2	4.6	56	0.76 (fra Oppstryn) 0.46 (fra n. hytte)

Døgnlig avløp (Q) er målt ved brefronten (døgnmiddel $27.55 \cdot 10^4 \text{ m}^3$)

Tabell 2 B

Erdalsbreen 1968

Korrelasjonskoeffisienter for daglige observasjoner

Jevnførte observasjoner (utvalg)	Koeffisient (enkeltdager)	Signifikans- nivå	Koeffisient (3-d.gl.gj.sn)	Signifikans- nivå
Avløp fra breen - V''' _{n-1}	0.56	0.000	0.63	0.000
" " - t'' _n	0.56	0.000	0.59	0.000
" " - t'' _{n-1}	0.54	0.000	0.55	0.000
" " - V''' _n	0.54	0.000	0.58	0.000
" " - V''' _{n-2}	0.49	0.000	0.56	0.000
" " - t'' _n	0.48	0.000	0.48	0.000
" " - P''' _{n-2}	0.16	0.190	0.29	0.021
t - t''	0.90	0.000	0.92	0.000
t - t'''	0.83	0.000	0.83	0.000
t'' - t'''	0.86	0.000	0.87	0.000
P' - P''	0.79	0.000	0.84	0.000
P' - P'''	0.78	0.000	0.84	0.000
P'' - P'''	0.96	0.000	0.97	0.000

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

Tabell 2 C
Erdalsbreen 1968

Regressjonslikninger for avløp

Antall variable	Likning for vassføring, $Q = (10^4 \text{ m}^3 \text{ pr. døg})$ (Partiell korrelasjonskoeff. i parentes)	Multipel korr.koeff.
a) For enkeltdag-observasjoner		
1	$2.16 V'''_{n-1} + 17.75$ (0.56)	0.56
2	$1.46 V'''_{n-1} + 1.88 t''_n + 9.10$ (0.41) (0.40)	0.65
3	$1.96 t''_n + 1.47 V'''_{n-1} + 1.39 P'''_{n-2} + 7.24$ (0.43) (0.42) (0.28)*	0.69
b) For 3-dagers glidende gjennomsnitt		
1	$2.69 V'''_{n-1} + 15.33$ (0.63)	0.63
2	$2.70 V'''_{n-1} + 3.03 P'''_{n-2} + 12.37$ (0.66) (0.38)	0.70
3	$16.38 P'''_{n-2} + 2.09 V'''_{n-1} + 9.48 P''_{n-2} + 16.72$ (0.67) (0.64) (0.62)	0.83

* Signifikansnivå 2.6%, for alle øvrige koeffisienter under 0.1%

Erdalsbretungen tatt ut av analysen. Isteden ble en rekke observasjoner fra Vesledalsbre-plataet (som delvis er felles med Erdalsbrens firnområde), Oppstryn og Vesledalsbrens nedre hytte tatt med.

Også her spiller vinden størst rolle for avløpet, med en korrelasjonskoeffisient på 0,56. Ingen av korrelasjonskoeffisientene viser noe høyt tall, så for Erdalsbreen er det ingen av de uavhengig variable som i år peker seg ut som den viktigste. I fjor var det praktisk talt bare nedbøren som gjorde seg gjeldende.

Vesledalsbreen

Denne breen skiller seg fra Erdalsbreen både med hensyn til størrelse (4 km² mot 12 km²) og høydeintervall. Mens Erdalsbreen når fra 870 m til 1750 m o. h. dekker Vesledalsbreen bare intervallet 1125 - 1600 m o. h.

Resultatene fra den matematiske analyse, som baserte seg på daglige observasjoner i tiden fra 26/6 til 1/9, viser også en markant forskjell, idet ikke vinden, men lufttemperaturene spiller størst rolle for avløpet. Lufttemperaturen målt ved brefronten dagen før var her best korrelert med avløpet, og korrelasjonskoeffisienten var 0,83. Den tilsvarende koeffisient for vindhastigheten var 0,49 (se tabell 3 B). Den tilsvarende beregning av korrelasjonskoeffisienter fra

Tabell 3 A
Vesledalsbreen 1958

Oversikt over observasjoner i perioden 26/6-1/9 (68 døgn)

Observasjons- steder	H o.h. m	Anvendte symboler				Døgnmiddel				Temp.gradient °C/100 m
		temp.	nedb.	vind	skydekke	°C	mm	m/s	%	
Oppstryn (met.st.5870)	205	t	P			14.4	0.9			0.89
Nedre hytte (ved brefronten)	1130	t'	P'			6.2	1.9			
Øvre hytte (ved breens høyeste del)	1590	t''	P''	V''	C''	3.9	1.2	4.6	56	0.50

Døgnlign avløp (Q) er målt ved brefronten (døgnmiddel $14.56 \cdot 10^4 \text{ m}^3$)

Tabell 3 B
Vesledalsbreen 1968

Korrelasjonskoeffisienter for daglige observasjoner

Jevnførte observasjoner (utvalg)	Koeffisient (enkeltdager)	Signifikans- nivå	Koeffisient (3-d.gl.gj.sn)	Signifikans- nivå
Avløp fra breen - t'_{n-1}	0.83	0.000	0.90	0.000
" " - t_{n-1}	0.73	0.000	0.84	0.000
" " - t_n	0.72	0.000	0.81	0.000
" " - t'_n	0.71	0.000	0.82	0.000
" " - t''_n	0.62	0.000	0.71	0.000
" " - t''_{n-1}	0.61	0.000	0.70	0.000
" " - V''_{n-1}	0.49	0.000	0.57	0.000
" " - C''_n	-0.16	0.188	-0.30	0.016
t - t'	0.90	0.000	0.92	0.000
t - t''	0.84	0.000	0.85	0.000
t' - t''	0.86	0.000	0.87	0.000
P - P'	0.82	0.000	0.82	0.000
P - P''	0.83	0.000	0.82	0.000
P' - P''	0.96	0.000	0.95	0.000

n = samme dag, n-1 = dagen før

3-dagers glidende middeltall ga ennå større korrelasjon for nevnte temperatur, med en koeffisient på 0,90.

Det er god korrelasjon mellom temperaturen i Oppstryn og på breen. Dette kan være nyttig å vite både ved framtidige forsøk til prognosering av bresmelting, og ved vurdering av O. Rogstads arbeider fra 1940-årene. Han brukte nemlig sommertemperaturene i Oppstryn som en parameter ved diverse beregninger av breavsmeltingen i dette århundret (Rogstad, 1941, 1951).

Tabell 3 C

Vesledalsbreen 1968

Regressjonslikninger for avløp

Antall variable	Likning for vassføring, Q = (10 ⁴ m ³ pr. døgn) (Partiell korrelasjonskoeff. i parentes)	Multipel korr.koeff.
a) For enkeltdag-observasjoner		
1	2,04 t' _{n-1} + 1,99 (0,83)	0,83
2	2,27 t' _{n-1} + 0,64 P' _{n-1} - 0,44 (0,88) (0,51)	0,88
3	2,43 t' _{n-1} + 0,47 P' _{n-1} + 0,40 C'' _{n-1} - 3,36 (0,89) (0,40) (0,36)	0,89
b) For 3-dagers glidende gjennomsnitt		
1	2,12 t' _{n-1} + 1,39 (0,90)	0,90
2	2,46 t' _{n-1} + 0,61 C'' _{n-1} - 4,00 (0,93) (0,55)	0,93
3	2,54 t' _{n-1} + 0,49 C'' _{n-1} + 0,41 P' _{n-1} - 4,46 (0,93) (0,46) (0,31)	0,94

Signifikansnivå for samtlige koeffisienter var 0,1% eller mindre

Ved bestemmelsen av regressjonslikningene kommer nedbøren inn fra og med annet trinn i analysen, mens skydekket blir den tredje variable som tas med for å "beskrive" vassføringen. For den del av analysen som bygger på 3-dagers løpende middeltall tas de samme variable med i regressjonen, men også her i en annen rekkefølge, se tabell 3 C.

En pussig ting ved Vesledalsbreen er de avvikende temperaturgradienter som framkommer ved beregninger basert på verdier fra nedre hytte. Det er tydelig at de observerte temperaturer der er lavere enn de ville blitt om man hadde beregnet dem ut fra en "normal" gradient på 0,7. Det er sannsynlig at brevinden nedsetter de avleste temperaturer mer enn vanlig der hvor termografen står plassert (se s. 31)

Nigardsbreen

Av alle de undersøkte breer dekker Nigardsbreen det største høydeintervall, fra 300 m til vel 1950 m, og vannet har en lang veg å tilbakelegge fra breens firnområde til Nigardsvatnet. Der registreres avløpet med en limnigraf (VM 1408). Det totale dreneringsområde er 64 km² hvorav ca. 41 km² eller 64% er bredekket. Det er derfor ikke uventet at variasjoner i avløpet blir forsinket en á to dager i forhold til de meteorologiske forhold som er årsaken til variasjonene.

Tabell 4 A
Nigardsbreen 1968

Oversikt over observasjoner i perioden 16/6-31/8 (77 døgn)

Observasjons- steder	H o.h. m	Anvendte symboler				Døgnmiddel				Temp.gradient °C/100 m
		temp.	nedb.	vind	skydekke	°C	mm	m/s	%	
Bjørkehaug (met.st.5543)	280	t	P			14.1	1.3			0.74
Observasjonshytta ved "Steinmannen" på Hauganosi	1620	t'	P'	V'	C'	4.2	1.5	4.3	51	1.43
"Brepelatået", termografhus ved stake 65	1760	t''				2.2				

Døgnlig avløp er målt ved utløpet av Nigardsvatn (døgnmiddel $143.74 \cdot 10^4 \text{ m}^3$)

Tabell 4 B
Nigardsbreen 1968

Korrelasjonskoeffisienter for daglige observasjoner

Jevnførte observasjoner (utvalg)	Koeffisient (enkeltdager)	Signifikans- nivå	Koeffisient (3-d.gl.gj.sn)	Signifikans- nivå
Avløp fra breen - t_{n-1}	0.80	0.000	0.86	0.000
" " - t'_{n-1}	0.79	0.000	0.83	0.000
" " - t'_{n-2}	0.75	0.000	0.82	0.000
" " - t_n	0.74	0.000	0.79	0.000
" " - t''_{n-1}	0.74	0.000	0.78	0.000
" " - t''_{n-2}	0.73	0.000	0.80	0.000
" " - C'_n	0.38	0.001	-0.54	0.000
" " - V'_{n-2}	-0.19	0.107	-0.22	0.051
t - t'	0.89	0.000	0.92	0.000
t - t''	0.86	0.000	0.91	0.000
t' - t''	0.96	0.000	0.98	0.000
P - P'	0.93	0.000	0.95	0.000
t - C'	-0.46	0.000	-0.53	0.000

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

Den best korrelerte variable i 1968 viste seg å være lufttemperaturen målt dagen før ved Bjørkehaug, en meteorologisk stasjon som ligger bare 4 km fra bretungen. Korrelasjonskoeffisienten ble såvidt høy som 0,80. Da regressjonslikningene skulle beregnes (se tabell 4 C), viste det seg at temperaturene ved Bjørkehaug og ved observasjonshytta ved Steinmannen dagen før var de viktigste

Tabell 4 C
Nigardsbreen 1968

Regressjonslikninger for avløp

Antall variable	Likning for vassføring, $Q = (10^4 \text{ m}^3 \text{ pr. døgn})$ (Partiell korrelasjonskoeff. i parentes)	Multipel korr.koeff.
a) For enkeltdag-observasjoner		
1	$11.22 t_{n-1} - 14.24$ (0.80)	0.80
2	$6.25 t_{n-1} + 4.28 t'_{n-1} + 37.93$ (0.33) (0.30)	0.82
3	$4.41 t'_{n-1} + 5.44 t_{n-1} - 1.67 C'_n + 57.33$ (0.32) (0.30) (0.26)	0.83
3x	$5.25 t'_{n-2} + 5.68 t_n - 1.21 C'_n + 48.20$ (0.58) (0.47) (0.18)	0.84
b) For 3-dagers glidende gjennomsnitt		
1	$12.57 t_{n-1} - 32.48$ (0.86)	0.86
2	$11.42 t_{n-1} - 2.29 C'_n - 4.58$ (0.80) (0.27)	0.87
3	$6.38 t_{n-1} - 2.87 C_n + 4.03 t'_{n-2} + 52.66$ (0.34) (0.34) (0.31)	0.88

*Etter at andre variable var prøvet i den trinnvise analyse.
Faktoren C'_n har dog dårlig signifikans i denne konstellasjon.
For øvrig var signifikansnivået for samtlige koeffisienter under 0.1%

variable, mens skydekket kom inn i den likning som tok med tre uavhengige variable.

Istedenfor å bruke daglig middeltemperaturer ved Bjørkehaug (t) som en av de variable, ble det etter forslag av direktør Sperstad, gjort et forsøk på å innføre nye variable som var forskjellige potenser av temperaturen, f. eks. $t^{1.1}$, $t^{1.2}$, $t^{1.3}$, osv... Det viste seg da at størrelsen $t^{1.1}$ ga en bedre korrelasjon enn t . Dette kan tyde på at avløpet (eller egentlig smeltingen) ikke er lineært avhengig av temperaturen, slik at temperaturvariasjoner på varme dager vil gi relativt større vassføringsvariasjoner enn på svale dager.

Dette kan dog ikke uten videre fastslåes før breens arealvariasjoner med høyden på en eller annen måte er trukket inn i analysen. På en sval dag smelter det bare på breens nederste deler, mens hele breens overflate trekkes inn i smelteprosessen på varme dager og veldige vannmengder vil da bli målt ved brefronten.

Det arbeides for tiden med en videre utvikling av metodikken slik at breens høydefordeling skal komme med i analysen.

Memurubreen

Smeltevannet fra Austre Memurubre samles ikke i ett løp før ca. 1,5 km nedenfor Bretungen, der avløpet registreres med en sommerlimnigraf, VM 1698.

Dreneringsområdet er 15,9 km², hvorav 9,0 km² eller ca. 57% er bredekket.

I løpet av sommeren ble det bygget en observasjonsstasjon oppe i firnområdet, men da de meteorologiske observasjonene der kom igang relativt sent, er bare

Tabell 5 A

Memurubreen 1968

Oversikt over observasjoner i perioden 15/6-4/9 (82 døgn)

Observasjonssteder	H o.h. m	Anvendte symboler				Døgnmiddel				Temp.gradient °C/100 m
		temp.	nedb.	vind	skydekke	°C	mm	m/s	%	
Observasjonshytta i dalen mellom Ø. og V. Memurubre	1520	t	P	V	C	6.5	2.6	2.1	61	0.71
Varden, Filefjell, (met.st. 5475)	1010	t'	P'			10.1	1.7			0.52 (til hytta)
Fanaråki (met.st. 392)	2060	t''	P''			3.7	2.4			

Døgnlig avløp er målt ved VM 1698 (1495 m o.h.) nedenfor hytta (døgnmiddel 27.29 · 10⁴m³)

Tabell 5 B

Memurubreen 1968

Korrelasjonskoeffisienter for daglige observasjoner

Jevnførte observasjoner (utvalg)	Koeffisient (enkeltdager)	Signifikansnivå	Koeffisient (3-d.g.l.gj.sn)	Signifikansnivå
Avløp fra breen - t' _{n-1}	0.69	0.000	0.74	0.000
" " - t _{n-1}	0.65	0.000	0.70	0.000
" " - t _{n-2}	0.64	0.000	0.71	0.000
" " - t' _{n-2}	0.64	0.000	0.71	0.000
" " - t' _n	0.63	0.000	0.67	0.000
" " - t'' _{n-1}	0.61	0.000	0.67	0.000
" " - V _{n-1}	0.44	0.000	0.45	0.000
" " - C _{n-2}	-0.34	0.002	-0.47	0.000
" " - P'' _n	0.26	0.020	0.30	0.008
t - t'	0.95	0.000	0.97	0.000
t - t''	0.96	0.000	0.98	0.000
t - C	-0.62	0.000	-0.74	0.000
P - P'	0.81	0.000	0.88	0.000
P - P''	0.66	0.000	0.70	0.000

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

Tabell 5 C

Memurubreen 1968

Regressjonslikninger for avløp

Antall variable	Likning for vassføring, $Q = (10^4 \text{ m}^3 \text{ pr. døgn})$ (Partiell korrelasjonskoeff. i parentes)	Multipel korr.koeff.
a) For enkeltdag-observasjoner		
1	$3.39 t'_{n-1} - 6.96$ (0.69)	0.69
2	$3.19 t'_{n-1} + 7.96 V_{n-1} - 21.79$ (0.72) (0.51)	0.78
3	$3.38 t'_{n-1} + 6.71 V_{n-1} + 0.81 P''_n - 23.01$ (0.77) (0.47) (0.43)	0.83
b) For 3-dagers glidende gjennomsnitt		
1	$3.62 t'_{n-1} - 9.59$ (0.74)	0.74
2	$3.92 t'_{n-1} + 1.68 P''_n - 16.54$ (0.82) (0.61)	0.84
3	$3.65 t'_{n-1} + 1.48 P''_n + 7.27 V_{n-2} - 28.53$ (0.84) (0.61) (0.52)	0.89

Signifikansnivå for samtlige korrelasjonskoeffisienter var under 0.1%

observasjonene fra hytta nedenfor breen tatt med i analysen. Dessuten er temperatur- og nedbørdata fra Fanaråki og Varden på Filefjell tatt med.

De variable som viste best korrelasjon med vassføringen var temperaturene ved Varden og nedenfor breen observert en dag før, korrelasjonskoeffisientene er beregnet til respektive 0,69 og 0,65. Vindstyrken viste bare en svak korrelasjon (0,44), men ble tatt med i regressjonslikningen allerede i 2. trinn. Nedbøren kom med i den likning som benyttet tre uavhengige variable.

På samme måte som for Nigardsbreen ble det gjort et forsøk på å innføre endel nye variable, som var potenser av observerte temperaturer. Her viste det seg at $t^{1.5}$ ga en høyere korrelasjonskoeffisient enn temperaturen selv, og vi står atter overfor spørsmålet om smeltingen er lineært avhengig av temperaturen eller ikke. Schytt (1964, p. 276) antyder at man i Nord-Sverige har funnet at avsmeltingen ikke er helt proporsjonal med temperaturen, og oppgir at den er nesten 3 ganger så stor ved $+10^{\circ}$ som ved $+5^{\circ}\text{C}$.

For å få bedre innsikt i disse forhold, er det nødvendig å innføre både breens flatefordeling og de lokale temperaturer i hvert høydeintervall (for forskjellige temperaturer) i analysen. Først da vil man få full nytte av temperaturobservasjoner ved en nedenforliggende stasjon til prognosering av vassføringen i breelven.

Dette er et mer omfattende arbeide som krever en del forsøksanalyser med det tidligere omtalte regnemaskinprogram. Arbeidet er igangsatt, og resultatene vil bli presentert separat.

Da det nå ser ut til at regressjonsanalyser gir muligheter til å utarbeide formler for prognosering av bretilsig, er alle tidligere års observasjoner punchet inn på hullkort slik at, når problemet med breens flatefordeling er løst, hele vårt observasjonsmateriale kan behandles for å prøve å komme fram til formler som f. eks. gjelder både for våte og tørre sommere.

Slike formler vil være av direkte praktisk nytte for en økonomisk daglig drift av kraftverk i områder med brerike nedslagsfelt.

SLAMTRANSPORT I NOEN UTVALGTE BRE-ELVER

Innledning

Utnyttelsen av norske vassdrag for kraftproduksjon har i etterkrigstiden foregått med akselerert tempo. Utbyggingsområdene er stadig blitt utvidet samtidig som en har vært på utkikk etter nye felt. De senere år er en rekke nye felt blitt trukket inn i bildet, og muligheten for utnyttelse av disse områder for kraftproduksjon er under utredning.

Flere av disse felter skiller seg vesentlig fra tidligere utbygde, da store deler av dem er dekket av isbreer. Dette gjelder vestlige og sentrale områder i S. Norge og partier av Nordland og Troms.

Felles for flere av disse områder er at det allerede nå er investert betydelige summer og nedlagt meget arbeid på det utredende stadium. Denne rapport vil i år som i fjor behandle en meget viktig og nødvendig del av slike utredninger, et område som hittil har vært altfor lite påaktet i Norge. Det er hva en med en fellesbetegnelse kan kalle slamstudier.

Brefrie og bredekte felt.

I kraftutbyggingen i Norge har en hittil vesentlig hatt å gjøre med vassdrag med brefrie nedslagsfelt. Gjennom en årrekke har en samlet en rekke opplysninger om slike felts hydrologiske forhold og vunnet stor erfaring. Når det gjelder

vassdrag med breer i nedslagsfeltet har erfaringsmaterialet hittil vært relativt tynt. Det er først i de aller siste år at systematiske studier er satt i gang ved slike felt, og en begynner nå å få relativt godt materiale til å dra slutninger om forskjellige sider ved breelvers hydrologi.

Det er helt klart at en ikke kan overføre alle erfaringer en har fra brefrie vassdrag til vassdrag med breer i nedslagsfeltet. Her vil tildels helt nye forhold komme inn i bildet, vesentlig knyttet til variasjonene i isens avsmeltning. Den hydrologiske forskjell mellom brefrie og brerike vassdrag vil selvsagt øke med økende breprosent. Elvene fra våre største breområder vil derfor komme i en særstilling, hydrologisk sett.

Naturlig slamproduksjon og sedimentasjon.

Den største fordel ved utbygging av brefelter ligger i det forhold at breene med sitt vannmagasin kan sikre tilførsel av vann i nedbørfattige perioder av kortere eller lengre varighet. Dette er selvfølgelig meget viktig. Det må imidlertid ikke overskygge det faktum at en ved utbygging av bre-vassdrag vil møte store ulemper. I ethvert vassdrag finner det sted en viss transport av materiale i fast form. De groveste kornfraksjoner, stein, sand og grus, transporteres rullende langs bunnen. De fineste fraksjoner fraktes "svevende" i vannet, holdt oppe av den turbulente strømming. Noe materiale fraktes også avsted i oppløst tilstand. Dette er forvitningsmateriale og annet materiale som elven selv gjennom erosjon har gjort klart for transport, enten ved erosjon i fast fjell eller i løsmasser (morene, sedimentmasser).

For brefrie vassdrag kan en si at denne materialtransport er avhengig av "elven selv". For brevassdrag er forholdet mer komplisert. I tillegg til elvens "egenproduksjon" av materiale, kommer breens veldige materialproduksjon ved erosjon mot den underliggende berggrunnen.

Det materialet som breen frigjør ved sin erosjon på det faste fjell blir i alt vesentlig fraktet avsted med breelven. Dette fører til at breelven ved og nedenfor brefronten får tilført større materialmengder enn den egentlig har kapasitet til å transportere. Endel av dette materialet vil snart sedimenteres, idet det i ethvert vassdrag er et visst forhold mellom materialtransport, vassføring og elvens gradient.

Karakteristiske avsetninger av denne type er f. eks. sandurfeltene på Island og liknende dannelser i en rekke norske daler forholdsvis nær breen. Der elven går over til å flyte rolig eller munner ut i et vann, skjer en rask avsetning. Dette fører til igjenfylling av sjøene - noe som naturligvis også vil skje i kunstige reservoarer.

Slammet som "slipemiddel".

Det annet moment ved slamtransportens praktiske side, er den meget store slitasje man vil få i ventiler og turbiner. Rent vann har praktisk talt ingen slipende effekt i det hele tatt, slambelastet vann derimot virker som smergel og vil raskt nedsette virkningsgraden og etterhvert gjøre f. eks. en turbin helt ubrukelig.

På dette felt har en meget få erfaringer, og de få som finnes er dårlig. Selv om det ikke er lett å få rede på økonomiske detaljer, er det et faktum at en såvel i Norge som i Sveits sliter med slike problemer. I Sveits må en flere steder kalkulere med regelmessige utskiftninger av deler i turbinene p. g. a. slamslitasjen. Dette fører selvfølgelig til en betydelig økning av driftsutgiftene. Dette problem vil en også møte i hele sin bredde når norske brefelt skal bygges.

En bør derfor allerede nå se problemet i øynene og gjennom undersøkelser bli klar over omfanget av de vanskeligheter en vil møte.

Slamstudier i Sør-Norge.

Resultatene fra de få slamstudier som hittil er foretatt i Norge har ikke gitt noe fullstendig bilde av slamtransporten, da slamprøvene som oftest er tilfeldig tatt og observasjonene dekker for korte tidsrom.

Sommeren 1967 ble det av Brekontoret, Hydrologisk avdeling, satt i gang systematiske slamundersøkelser ved tre brevassdrag i Sør-Norge. Det var Erdalsbreen og Vesledalsbreen, begge nordvestlige utløpere fra Jostedalsbreen, og Austre Memurubre i Øst-Jotunheimen. Disse breer var tidligere ikke undersøkt hverken hydrologisk, glasiologisk eller med hensyn til slam. Alle breene ligger i påtenkte utbyggingsfelt.

Sommeren 1968 ble undersøkelsene utvidet. I tillegg til de tre nevnte breer, ble det også satt i gang slamstudier ved Nigardsbreen, en østlig utløper av Jostedalsbreen. Observasjonene dekker det vesentlige av sommeren ved alle 4 breer.

Det er i foreliggende rapport også tatt med resultatene av en tidligere slamundersøkelse ved Tunsbergdalsbreen, en østlig utløper fra Jostedalsbreen. Denne undersøkelse var ledd i et hovedfagsarbeide ved Universitetet i Oslo.

Igjenslamming av magasiner.

Det er av både praktisk-teknisk og vitenskapelig interesse å få klarlagt hvor mye slam som produseres ved breene. Dette er særlig aktuelt nå når vi står

foran en utnyttelse av de store kraftkilder ved Jostedalsbreen, Folgefonni, Jotunheimen og Svartisen. Den praktiske siden ligger både i problemet med oppfylling av tunneller og reguleringsmagasin og i den ovenfor nevnte slamslitasje på turbiner etc. Før en går til regulering og utbygging av et brevassdrag, må en derfor ikke bare være klar over at det foregår en viss slamtransport, men også ved systematiske studier få vite størrelsesordenen av denne transport.

Derigjennom vil en kunne beregne hvor mye materiale som f. eks. årlig vil tilføres et magasin, og hvor mye dette vil redusere magasineringsskapiteten.

Det har vist seg at mange av de vannreservoar og magasin som er bygget i de siste årtier viser katastrofale tendenser til igjenslamning. Som eksempel kan nevnes at Hooverdammen i U. S. A. har fått 14% av sitt opprinnelige volum fylt av slam på 20 år. I løpet av kort tid kan således større investeringer bli nesten uten verdi. En regner en dam for nærmest ubrukelig om mere en 80% av opprinnelig volum er fylt med slam.

Metodikk

Slamprøvetaking.

Ved slamprøvetaking er målet å klargjøre hvor store slammengder som føres avsted i et vassdrag i løpet av en viss tid. Slammet holdes svevende i vannet p. g. a. den turbulente strømming. I partier av et vassdrag med sterk turbulens (stryk, fall) kan en regne med at slamkonsentrasjonen (slammengde pr. volum-enhet) er jevnt fordelt over et tverrsnitt av elven, slik at en slamprøve tatt på et slikt sted er representativ for vedkommende tverrsnitt.

Slamprøvene taes på 1-liters plastflasker. Det slamholdige vannet filtreres ved hjelp av et filtreringsapparat, der en skaper overtrykk for å påskynde filtreringen (fig. 68). Filterpapir med slam pakkes inn og analyseres senere i et laboratorium. Når en da kjenner slammengden pr. liter og dessuten vassføringen er det enkelt å regne ut den totale slamtransport forbi prøvetakingsstedet på den tid prøven ble tatt.

For å prøve nøyaktigheten ved denne prøvetakingsmetode, ble det gjort flere forsøk sist sommer. Ved forskjellige anledninger ble det tatt parallelle slamprøver. Det vil si at prøvetakeren fyllte to flasker samtidig med slamvann. Innholdet ble filtrert og analysert på vanlig måte.

Etter teorien om jevn konsentrasjonsfordeling ved turbulens i vannet skulle disse

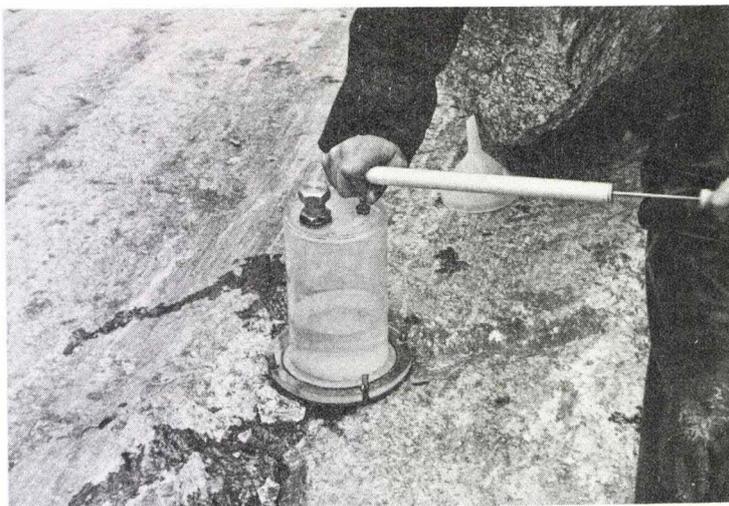


Fig. 68 Figuren viser det anvendte filtreringsapparat. Med pumpen skapes overtrykk som påskynder filtreringen.

Silt-filtering device. The internal pressure is raised by a bicycle pump to increase the filtering speed.

samtidige prøver gi samme slammengde. Både ved lave og høye konsentrasjoner viste det seg å være meget god overensstemmelse mellom de samtidige prøver. En prøve, tatt på et sted med god turbulens, er med andre ord antakelig representativ for vedkommende tverrsnitt.

Laborariearbeid.

Prøvene fra sommeren 1968, ble for en stor del analysert ved Polarinstituttets laboratorium i Vassdragsvesenet i Oslo. Noen prøver ble analysert ved Universitetet i Stockholm.

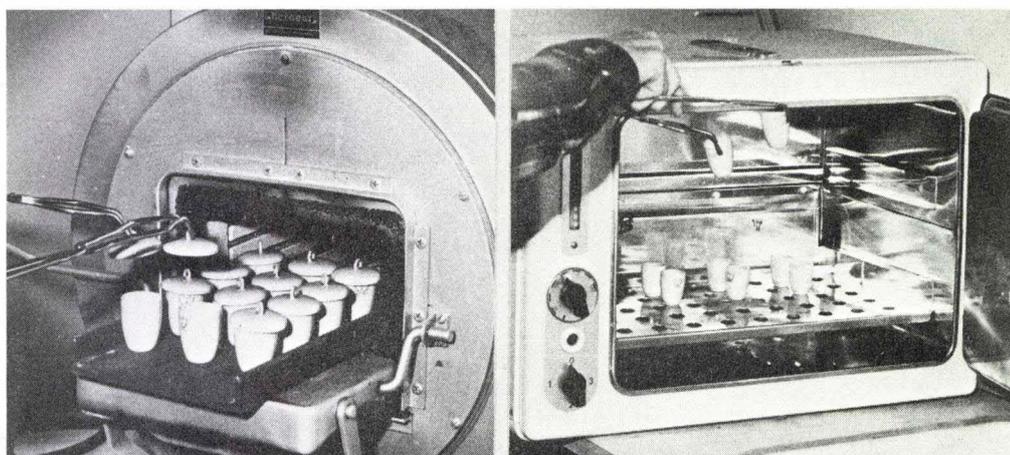


Fig. 69 Fra laborariearbeidet med slamprøvene. Slamprøvene settes i porselensdigler, først i brennovenen (til venstre) og så i varmeskapet (til høyre).

From the laboratory processing of sediment samples. The filter paper is removed by ashing in crucibels.

Framgangsmåten er følgende: Filtrerpapiret med slam plasseres i porselensdigler. Disse settes i brennovn med temperatur ca. 700°C , se fig. 69. Temperaturen må ikke være for høy, da flere faste stoffer, f. eks. karbonatene, ved for høy temperatur delvis forsvinner som gass.

Temperaturen må samtidig være så høy at en er sikret fullstendig forbrenning av papiret. For alle prøver analysert i 1968 ble temperaturen 650°C valgt ved brenningen. Diglene står i ovnen 1 time med lokk, og nok en time uten lokk. Fra brennoven føres diglene over i varmeskap med temperatur ca. 100°C på fig. 69. Her står prøvene ca 1 time og avkjøles. Deretter settes de 1/2 time i eksikator hvor prøvene avkjøles til romtemperatur. Ved en slik langsom og gradvis reduksjon av temperaturen hindrer en at prøvene tar opp nevneverdig fuktighet fra luften under avkjølingen. Prøven veies så til slutt, og vekten føres opp i tabeller.

Erdalsbreen

Erdalsbreen er en nordvestlig utløper av Jostedalsbreen, med drenering mot Strynsvatn. Den strekker seg fra ca. 1500 m o. h. ned til 860 m o. h. Ut fra brefronten kommer to atskilte breelver som forener seg etter 30-40 m. Sommerens vann- og slammålested ligger kort nedenfor sammenløpet. Breelven drenerer her et areal på 16,0 km² hvorav 11,2 km² er bredekket. De bratte fjellssidene omkring breen gir meget liten vanntilførsel slik at den overveiende del av vannet kommer fra selve breen.

Observasjonsperioden sommeren 1968 er 4 uker lenger enn i 1967; en har sammenhengende målinger fra 25/6 til 7/9. Det er tatt vind-, nedbør-, temperatur-, vassførings- og slamkonsentrasjonsmålinger. Sommeren er dekket med 5-6 døgnlige slamprøver, mens det i flomperiodene ved sterkt varierende vassføring er tatt timesprøver for bedre å følge de raske forandringer i slamkonsentrasjonen.

Sommerens resultater er vist i fig. 70. Den totale slamtransport i observasjonsperioden var ca. 6300 tonn. Den overveiende del av dette materiale har en kornstørrelse < 1 mm. Denne transportform representerer den overveiende del av den totale transport i et vassdrag generelt; dette gjelder i enda større grad brevassdrag. Tar en bunntransportert materiale og dessuten den øvrige årlige slamtransport med i beregningen, får vi et tall som sannsynligvis er 15-25% høyere. Dette er erfaring fra en rekke tidligere undersøkelser.

Materialtransporten i hele 1968 kan etter dette settes til ca. 7500 tonn, noe som

ERDALSBREEN 1968

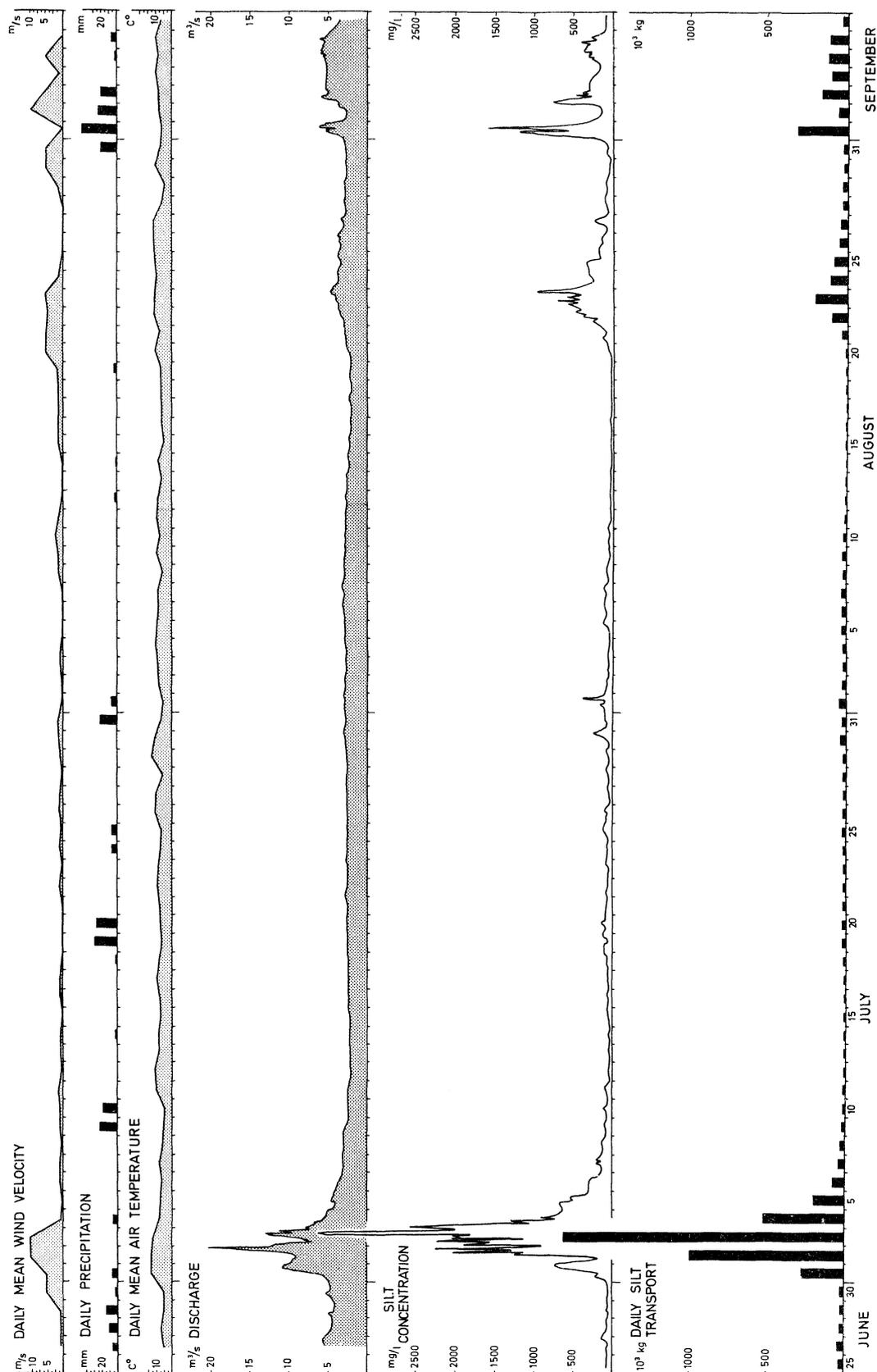


Fig. 70 Vindstyrke, nedbør og temperatur målt ved hytta nær Erdalsbrens front. Vassføring, slamkonsentrasjon og daglig slamtransport gjelder for målestedet foran brefronten.

Windvelocity, precipitation, and daily mean air temperature at the hut near the glacier front. Discharge, silt concentration and daily silt transport were measured at the gauging station.

tilsvarer omtrent 3700 m³ masse. Dette gjelder om en regner en egenvekt på ca. 2. I litteraturen oppgis her noe forskjellige tall, varierende fra 1,4 og opp til 2,5.

Fig. 70 viser ekstremt hva flommene virkelig betyr for materialtransporten. Av sommerens totale slamtransport foregikk 70% under flommen 2.-4/7. Det er nettopp slike perioder en må dekke med prøver. Ved Erdalsbreen har en klart dette. To høyvannsperioder i overgangen august - september er også godt dekket.

Fig. 70 illustrerer dessuten utmerket hvor "følsom" slamkonsentrasjonen er med hensyn til vassføringsvariasjoner. Dette gjelder særlig når vassføringen har vært konstant i lengre perioder, og så plutselig øker. Dette ser en klart den 27/8 og den 1/9 der relativt små vassføringsøkninger gir voldsomme økninger i konsentrasjonene. Dette må ha sammenheng med en akkumulasjon av erodert materiale i perioder med lav og konstant vassføring.

Sommerens største døgntransport inntraff under flommen 3/7, da 1800 tonn slam ble ført avsted. Denne døgntransport representerer ca. 30% av sommerens totale slamtransport.

Sommerens maksimale slamkonsentrasjon hadde en den 3/7 kl 18 da slaminnholdet var hele 3800 mg pr. liter. Minimumskonsentrasjonen, 19 mg pr. liter, inntraff 20/8 kl 07.

Materialtransporten på ca. 7500 tonn, tilsvarer en årlig erosjon på ca. 0,3 mm jevnt fordelt under hele breen. Et basseng eller magasin forholdsvis nær breen vil fange opp en del av dette materialet. Hvor stor del som kommer til å sedimenteres vil være avhengig av flere faktorer, bl. a. bassengets størrelse og form og materialets kornstørrelse. Generelt avtar elvens slamtransport med økende avstand fra brefronten, da endel slam sedimenteres i og omkring elveleiet. Jo lenger fra breen et magasin ligger, jo mindre blir tilførselen av materiale.

Like ved Erdalsbrefronten faller breelven ut over en terskel og danner et vertikalt fall. Nedenfor vider dalen seg ut og elvens fall avtar sterkt ned mot en sandurflate med liten gradient. Allerede her finner sedimentasjon sted, men hvor meget er ukjent. En km nedenfor dette mindre sandurfelt, omkring tilløpet fra Vesledalsbreeelven, vider dalen seg atter ut. Her har begge elvene sammen bygd opp et veldig sandurområde, flere hundre meter bredt og mer enn 2 km langt. Dreneringens anastomoserende forløp viser klart at elven har en materialtilførsel som er for stor i forhold til dens gradient og vassføring.

I dette område sedimenteres ganske sikkert en stor del av materialet. Hvor stor del av det opprinnelige slaminnhold som når Strynsvatn og sedimenteres der, er vanskelig å avgjøre. Kontinuerlige slamkonsentrasjonsmålinger i breelven nær gården "Greidung", ca. 8 km nedenfor Erdalsbreen, viser gjennomgående overraskende høye verdier.

Dette til tross for at elven passerer det nevnte, flate sandurområdet hvor det var grunn til å vente en vesentlig sedimentasjon.

Slamkonsentrasjonsmålingene ved Greidungs gård gir verdier som store deler av sommeren ligger fra 30% til 50% lavere enn verdiene ved Erdalsbrefronten. Dette vannet er i tillegg blandet med relativt slamfattig brevann fra Vesledalsbreen, (se senere), og med smelte- og nedbørvann fra et stort antall mindre bekker. Dette betyr at den virkelige prosentdel av Erdalsbreslam som fraktes forbi Greidungs gård, er vesentlig større enn de angitte prosenter. Dette interessante forhold kan kanskje geomorfologisk forklares ved at utviklingen, erosjons- og akkumulasjonsprosessene i nevnte område, har nådd et modenhetsstadium der størstedelen av det tilførte materialet over noe lengre tid fraktes videre.

Den vesentligste del av slammet fra Erdalsbreen tilføres altså Strynsvatnet og sedimenteres der. Forholdet viser klart at selv i vassdrag med slak gradient og tilsynelatende gode avsetningsforhold, vil en viss del av slammet alltid føres med og først sedimenteres etter en tid i stillestående vann.

Austre Memurubre

Austre Memurubre er en kontinentalt beliggende botnbre i Øst-Jotunheimen. Bretungen ligger på ca. 1640 m o. h. og breen strekker seg opp til ca. 2250 m o. h. (se kart).

Breens nedre partier ligger i en vid, flat dalbunn og dreneres ved brefronten gjennom 8-10 større og mindre elveløp (fig. 71.) Disse forener seg etterhvert til ett hovedløp ca. 1,5 km fra iskanten (se kart). Her er opprettet en målestasjon, A, der vassføring og slamtransport ble observert sommeren 1967. Målestasjonen ligger ca. 1500 m o. h. og elven drenerer her et nedslagsfelt på 15,9 km² hvorav 9,0 km² er bredekket (se fig. 72 og kart). Observasjonstiden sommeren 1968 er fra 21/6 til 5/9, altså 11 uker mot 9 uker i 1967.

Det er i 1968 utført flere nye vassføringsmålinger og vassføringskurven for målestasjon A er nå meget pålitelig.

Beregning av slamtransporten er utført på grunnlag av regelmessige slam-



Fig. 71 Brefronten ved Austre Memurubre. En ser tallrike mindre breelv-løp. Slamkonsentrasjonen er sterkt varierende fra løp til løp.

Numerous small glacial streams are draining from Austre Memurubre. The sediment concentration varies considerably from stream to stream.

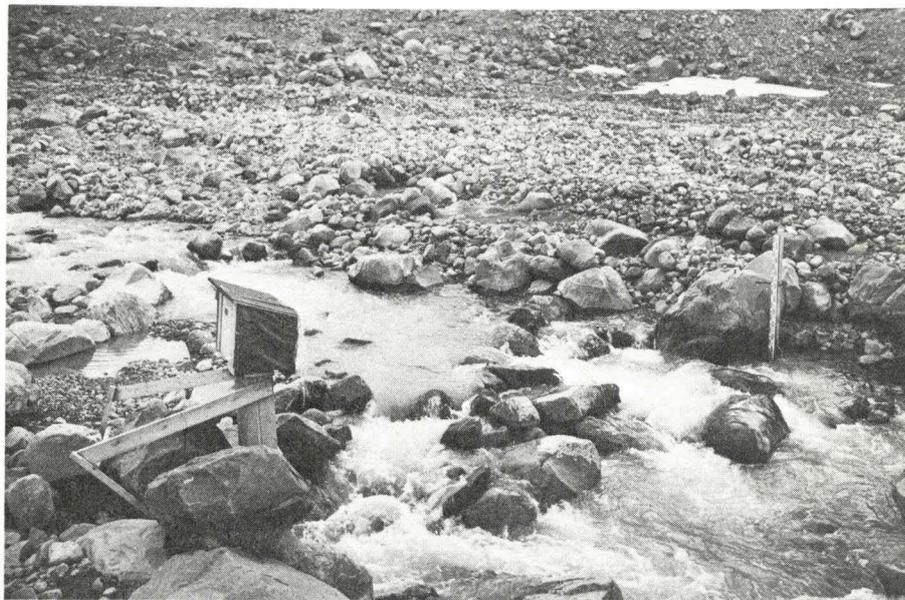


Fig. 72 Målested A i Austre Memurubreeelv ved lav vassføring. Vanmerket sees til høyre og limnigrafhuset til venstre.

Gauging station A at Austre Memurubre. The staff gauge is seen to the right and the limnigraph house to the left.

prøver. På "normale" dager med normal eller liten slamføring, ble det tatt 2-4 prøver pr. dag. Når elven viste tegn på stor slamtransport, dvs. ved sterkt stigende vannstand ble det tatt prøver hver time.

Målested A dekker den totale slamtransport fra Austre Memurubre. For om mulig å få en antydning om slamproduksjonen ved Vestre Memurubre ble målested B og D opprettet (fig. 74). Smeltevannet som passerer disse målesteder drenerer ca. 86% av Vestre Memurubre. Målested B ligger kort nedenfor sammenløpet av hovedløpet fra Austre Memurubre og en rekke mindre elveløp fra Vestre Memurubre. Breelven ved målested D drenerer ca. 30% av Vestre Memurubre i ett konsentrert løp.

Sommerens totale slamproduksjon ved Austre Memurubre var 3300 tonn (fig. 73). Tar en årets øvrige slamtransport og det bunntransporterte materialet med i beregningen kan den totale materialtransport forbi målested A i 1968 settes til 4000 tonn. Den beregnede totaltransport i 1967 var 5500 tonn.

Av sommertransporten i 1968 ble 1320 tonn eller 40% fraktet avsted under storflommen 2.-4/7. Den maksimale døgnttransport fant sted den 3/7 da hele 664 tonn slam passerte målested A. (fig. 73).

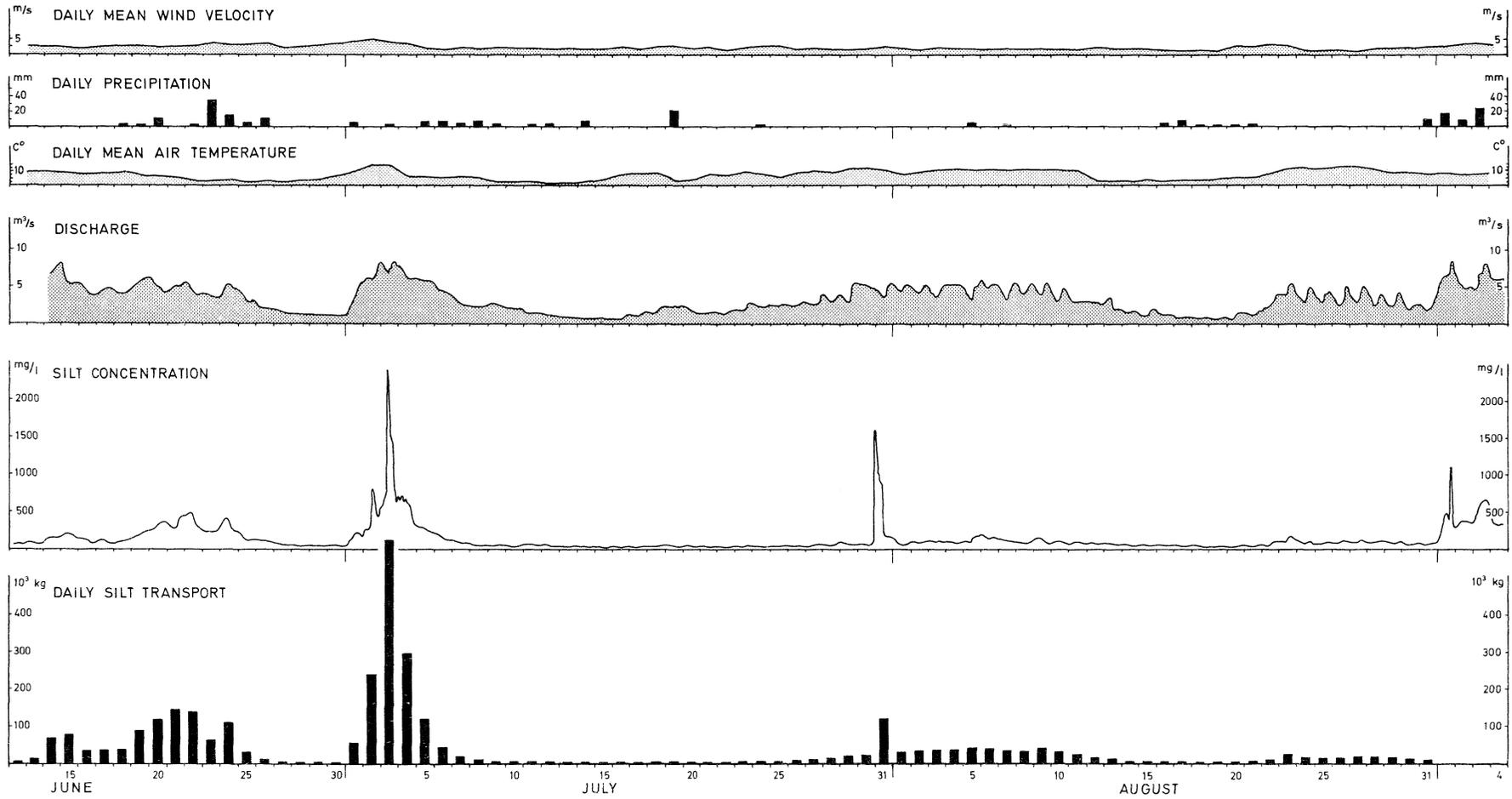
Den maksimale slamkonsentrasjon inntraff 3/7. Slamkonsentrasjonen var da 2400 mg pr. liter. Dette tilsvarende en materialtransport på hele 16 kg pr. sekund. Minimumskonsentrasjonen 7 mg pr. liter fikk en den 17/7 kl 06. De tilsvarende maksimums- og minimumstall for vassføring er 8,5 m³/s den 9/9 og 0,5 m³/s den 20/8. Disse tall viser hvor enormt slamkonsentrasjonen varierer i forhold til vassføringen. Forholdet mellom største og minste slamkonsentrasjon er 350, mens det tilsvarende forhold for vassføringene er 17 (fig. 73).

Tidsfaktoren er meget viktig for slamkonsentrasjonsvariasjonene. Jo raskere vassføringen varierer, f. eks. ved begynnende flom, desto større blir konsentrasjonsvariasjonene. Dette gjelder særlig den første sommerflom i brevassdragene da store mengder slam ligger "klar" til transport, og små stigninger i vassføringen fører til stor økning i den subglasiale elveerosjon av dette materialet.

En mindre flom i begynnelsen av september inntraff under og delvis etter avslutningen av årets observasjoner. Beregningen av slamtransporten i denne periode baserer seg på spredte målinger. Disse verdier er dog så små sammenliknet med sommerens totale transport, at den relative feil som disse noe usikre tall medfører, er meget liten.

Materialtransporten forbi målested A er ikke direkte representativ for erosjonen ved Austre Memurubre. Målestedet ligger nemlig 1,5-2,0 km fra brefronten og sedimentasjon finner sted mellom breen og målestedet. Totaltallene er av

AUSTRE MEMURUBRE 1968



108

Fig. 73 Figuren viser nedbør og temperatur ved hytta, samt vassføring, slamkonsentrasjon og daglig slamtransport ved målested A, 1, 5 km nedenfor Austre Memurubre.

Precipitation, temperature (at the hut), water discharge, silt concentration and daily silt transport at the gauging station A, 1, 5 km below Austre Memurubre.

denne grunn å betrakte som minimumsverdier for breerosjonen, og den virkelige breerosjon er av denne grunn kanskje 20-40% større.

Som fig. 71 og kartet viser dreneres de forskjellige deler av Austre Memurubre av en rekke større og mindre løp. For å danne seg et bilde av erosjonsforholdene for forskjellige partier av breen, er det foretatt konsentrasjonsmålinger ved brefronten i en rekke av de breelvløp som sees på fig. 71. Eventuelle variasjoner i erosjonen i breens forskjellige deler vil gi seg utslag i varierende slamkonsentrasjon i de forskjellige løp.

		Prøveserier nær fronten									
		Slamkonsentrasjon (mg/l)									
Løp \ Dato		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
11/7		4	15	38	104	197			11	54	117
30/7		6	47	81	68	271	146	517	189	178	97
22/8		7	173	134	37		145	4287	400		

Da målingene er så få og da en ikke kjenner vassføringen i de forskjellige løp, er det selvfølgelig umulig å si noe om slamtransporten i dem. De varierende konsentrasjonstall indikerer allikevel at breens erosjon er forskjellig i dens forskjellige partier. Breens østligeste deler virker overveiende mer aktiv og slamproduserende enn dens vestlige partier, representert ved de relativt høye konsentrasjonstall i løp V, VI, VII og VIII (se fig. 71 og kartet).

Områdets morfologiske trekk støtter også en slik antagelse da selve hoveddalføret dukker inn under isen i dette området, og følgelig vil breen være mektigst nettopp her.

Vestre Memurubre

Vestre Memurubre som har en overflate på 9,3 km², ligger SV for Austre Memurubre. Breen er en typisk botnbre og den sender sine ismasser fram i en dal-formet østløpende senkning i terrenget. Bretungen ligger på ca. 1650 m o. h. og breens høyestliggende partier i ca. 1960 m o. h. utgjøres av et breband, som mot nord går over i Hellstugubreen. Både Austre og Vestre Memurubres smelte- og nedbørvann dreneres mot Gjende av den felles avløpselv, Memuruelva (se kart).

Det er i sommer foretatt enkle slamundersøkelser ved Vestre Memurubre. Austre Memurubre har meget enklere hydrologiske forhold idet samtlige breelver som kommer fram ved isfronten forenes til et hovedløp etter ca. 1,5 km (ved målested A). Ved Vestre Memurubre samles dreneringen først etter

ca. 7 km. Det er således enklere å måle det slam som føres frem av Austre Memurubreelv, da ett målested forholdsvis nær breen er tilstrekkelig.

Ved de glasiologiske og hydrologiske studier i Memuruvassdraget sommeren 1967, ble Austre Memurubre studert mest inngående, p. g. a. de nevnte enklere forhold ved denne bre.

For helhetsbildet med hensyn til Memuruelvens totale nedslagsfelt, er det ønskelig også å kjenne forholdene ved Vestre Memurubre bedre. Forsøksvis har en derfor foretatt slamkonsentrasjonsstudier ved de nevnte målesteder B og D (se fig. 74).

Vassføringen ved B er summen av avløpet fra Austre Memurubre (målt ved A) og avløpet fra størstedelen av Vestre Memurubre. Tilsvarende blir slamkonsentrasjonen ved B et resultat av en blanding av ulike slamholdig vann fra de to breer.

Sommerens målinger viser gjennomgående langt lavere konsentrasjoner ved målested B enn ved A. Dette må bety at det vannet som kommer fra Vestre Memurubre er relativt mindre slamholdig enn vannet fra Austre Memurubre. Høyeste konsentrasjon under flommen 2. -4/7 ved målested B var 1030 mg pr. liter mot 2400 mg pr. liter ved målested A.

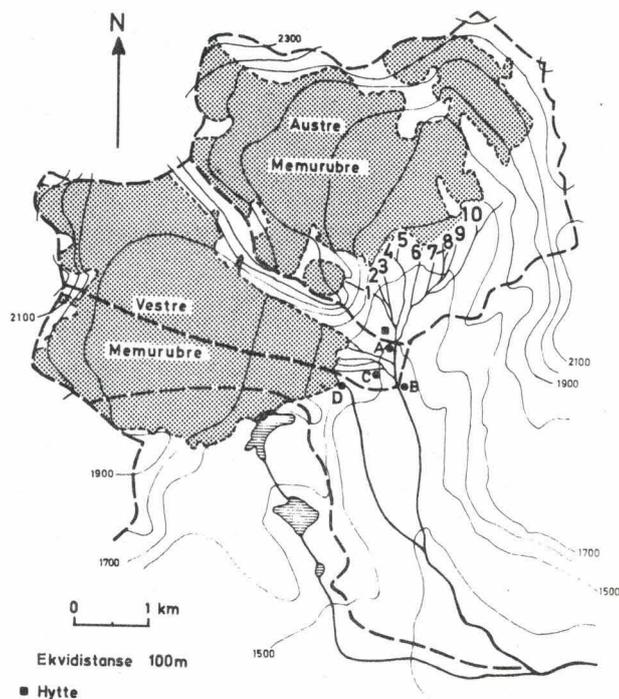


Fig. 74 Austre og Vestre Memurubre med nedslagsfelt for målestedene samt smeltevannbekkene fra Austre Memurubre, nummerert fra 1-10.

Austre and Vestre Memurubre with drainage areas and silt sampling locations. The various glacial streams from Austre Memurubre are numbered 1 to 10.

SILT CONCENTRATION IN REPRESENTATIVE PERIODS.
GAUGING STATION D, VESTRE MEMURUBRE.

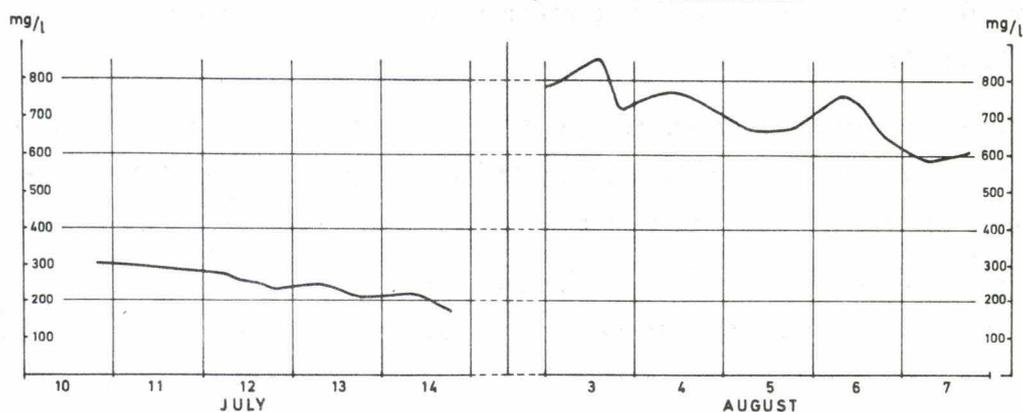


Fig. 75 Slamkonsentrasjonen i to representative perioder (10. -14. juli og 3. -7. august) ved målested D, Vestre Memurubre.

Silt concentration in two representative periods, (10. -14. July and (3. -7. August) at gauging station D, Vestre Memurubre.

Breelven ved målested D drenerer som nevnt ca. 30% av Vestre Memurubre (se fig. 74 og kart). Det er ikke foretatt noen vassføringsmålinger der, men forholdene ligger utmerket til rette for beregning av en vassføringskurve. Breelven løper i et konsentrert løp, og bunnprofilen er stabilt utformet i fast fjell. Turbulensgraden er høy og alt ligger godt til rette for vassføringsmålinger med "den relative saltfortynningsmetode".

Resultatene fra årets målinger er forbausende. De viser gjennomgående langt høyere konsentrasjoner enn ved noen annen breelv der det er foretatt målinger. Fig. 75 viser to utvalgte perioder fra sommeren 1968.

Vassføringen under "normale" dager ved målested D er ved enkle metoder beregnet til 2-3 m³/s. Med de høye konsentrasjonene representerer dette betydelige slammengder i løpet av sommeren.

Disse foreløpige studier viser så interessante forhold at for å få en helhetsvurdering av materialtransporten i Memuruelvens total-nedslagsfelt bør slamstudiene og framfor alt vassføringsmålingene utvides kommende sommer. Først da vil en kunne gi sikrere tall, også for Vestre Memurubres materialproduksjon.

Vesledalsbreen

Vesledalsbreen er en relativt liten dalbre som løper ut i nordvestlig retning fra Jostedalsbreens platå. Grensen for dens dreneringsområde går omtrent der Vesledalen faller ned fra selve Jostedalsbreplatået. Breen har et totalt areal på 4 km² og dens lengde er ca. 3 km. Et botnbrepreget parti av breen

strekker seg helt opp mot Strynekåpas topp på dennes N-side. Ca. 100 m foran brefronten, der breelven kaster seg utfor en 40-50 m høy foss, ligger målested A (se fig. 76 og 77).

Observasjoner av nedbør, vind, temperatur, vassføring og slamkonsentrasjon i Vesledalsbrevassdraget ble startet sommeren 1967, da observasjonstiden var 7 uker. Sommeren 1968 var perioden for kontinuerlige målinger 11 uker.

Under normale dager med relativt lite slam ble det tatt 5-6 prøver daglig. Under perioder med stor vassføring og stor slamtransport ble det tatt spesielle prøveserier som varte 1-1 1/2 døgn. De enkelte prøver i slike serier ble vanligvis tatt med 1 times intervall. Sommerens ene store flom er godt dekket med slike timesprøver.

Ved målested A drenerer breelven et område på 7,2 km², hvorav 4,0 km² eller 56% er bredekket. De brefrie områder består av bratte fjellsider og den overveiende del av breelvans vann kommer om sommeren fra selve breen.

Nedenfor den omtalte foss ved målested A har dalbunnen en trauførmig senkning der Vesledalsvatn ligger 950 m o. h. Vannet, som har en overflate på 0,016 km², synes å fylles raskt igjen av materiale som føres med av breelven (fig. 76).

Like ovenfor Vesledalsvatn ligger målested B og ved vannets utløp, ved en ny terskel i dalprofilet, ligger målested C (fig. 76). I et forsøk på å følge sedimentasjonsforløpet nedover langs breelven ble det tatt daglige slamprøver både ved B og C. Ved C er nedslagsfeltet 11,2 km². Begge områder har den samme bredekning som A, nemlig 4,0 km².

Vassføringskurver og avløp for sommeren 1967 er beregnet for alle tre målesteder. Ved C er beregningen utført på grunnlag av vannstandsregistrering ved limnigrafen og vassføringsmålinger med flygel. Ved A er sommerens avløp beregnet på grunnlag av hyppige avlesninger på vannmerket, som regel minst 5-6 ganger pr. døgn og avlesning på konstruert vassføringskurve.

Avløpskurven for B er konstruert som et middel mellom kurvene for A og C. Tillegget i nedslagsfelt mellom A og B er nemlig like stort som mellom B og C, morfologien er stort sett den samme og områdene har omtrent den samme dekning av snøfonner.

Ved målested A var sommerens totale slamtransport 300 tonn, hvorav 138 tonn passerte under sommerens eneste større flom 2.-4/7. Dette er ca. 47% av den totale sommertransport, og viser igjen viktigheten av gode og kontinuerlige observasjoner under flomperiodene (fig. 78).

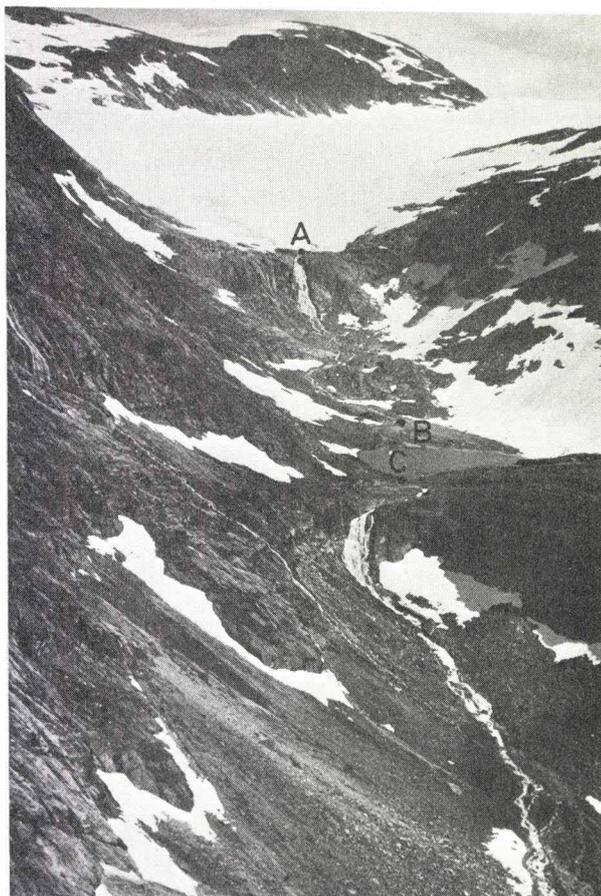


Fig. 76 Vesledalen og Vesledalsbreen sett fra luften. Den øvre del av dalen (under breen) synes relativt flat. A, B og C er prøvetakingsstedene.

Oblique air photograph of Vesledalen. In the background the Vesledalsbreen glacier is situated in a relative "flat-bottomed" valley. Silt sampling localities are marked A, B and C.

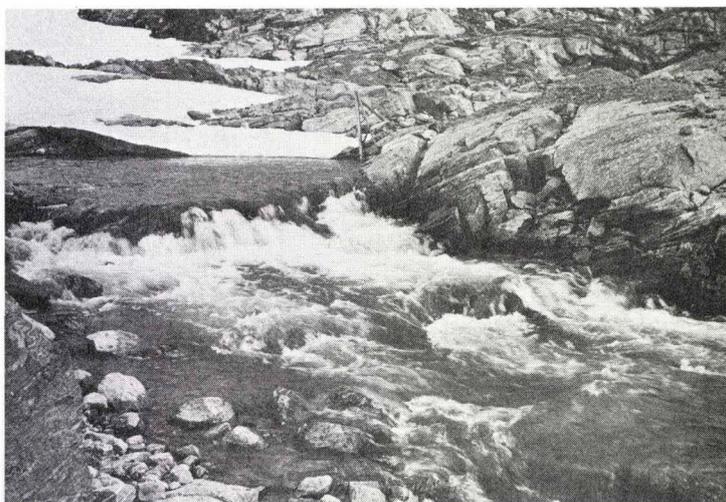


Fig. 77 Vannmerket og slamprøvetakingssted ved Vesledalsbreen.
Staff gauge and silt sampling location at Vesledalsbreen.

Den totale årstransport i 1968, dvs. Vesledalsbrens sedimentproduksjon, må etter dette være ca. 360 tonn. I 1967 ble den årlige materialtransport ved målested A beregnet til ca. 630 tonn.

Om vi forutsetter at erosjonen er jevnt fordelt under breen, og at materialet skriver seg fra siste års erosjon, betyr dette en erosjon på ca. 0,03 mm i 1968.

Sedimentasjonsforløpet langs et vassdrag er tidligere meget lite studert. De sedimentasjonsstudier som er foretatt ved Vesledalsbreelven i sommer, er ikke så fullstendige som en kunne ønske. Slamprøvetakingen ved A er fullstendig, men ved B og C er antall prøver for lite. Sommerens resultater gir allikevel en god pekepinn om størrelsesordenen av de slammengder som sedimenteres.

Sedimentasjonsforløp og materialtransport langs en elv er ikke helt entydige begreper. Hvis en f. eks. setter fram påstanden at slamtransporten ved B var 80% av slamtransporten ved A i sommer, altså at 20% av materialet ble sedimentert mellom A og B, må det presiseres at dette må oppfattes som gjennomsnittstall. Sedimentasjonsforløp og materialtransport langs en elv vil arte seg vidt forskjellig under f. eks. stigende og synkende vannstand.

Under stigende vassføring vil vanligvis stadig større mengder slam transporteres ut fra breen, samtidig som det skjer en erosjon i tidligere akkumulert materiale i elveleiet. Totalt sett vil en økende vannføring nedsette eller helt forhindre sedimentasjon mellom to gitte punkter i et naturlig elveleie.

Ved synkende vassføring makter ikke elven lenger å transportere sin last av faste partikler, og disse avsettes da langs elveleiet.

Tabellen som følger gir en pekepinn om størrelsesordenen av sedimentasjonen fra Vesledalsbreen ned til utløpet av Vesledalsvatn, målested C (fig. 76).

Målested	Totaltransport tonn 1968	Sedimentasjon fram til målestedet i % av totalproduksjonen i utvalgte perioder	
		1967	1968
A	303	0	0
B	494	23	3
C	391	42	25

Tallene antyder en større sedimentasjon i 1968 enn i 1967.

Sedimentasjonen i Veseldalsvatn ble i 1967 beregnet til ca. 140 tonn, mens den beregnede sedimentasjon i 1968 er ca. 30 tonn. Tallene indikerer at erosjons- og sedimentasjonsprosessene kan variere fra år til år. Dette er hva

VESLEDALSBREEN 1968

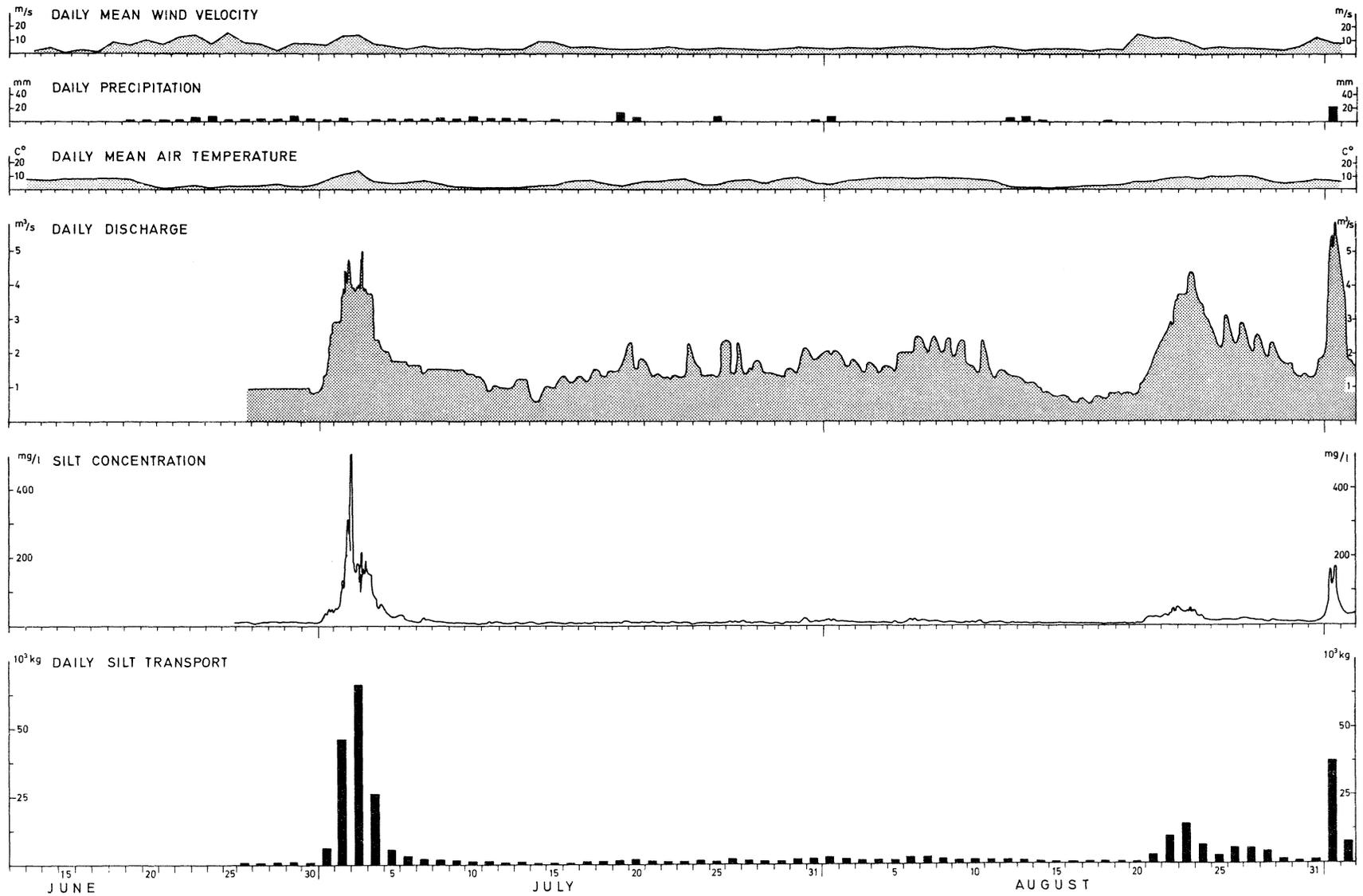


Fig. 78 De meteorologiske faktorer vind, nedbør og temperatur refererer seg til observasjoner ved hytta foran breen. Vassføring, slamkonsentrasjon og daglig slamtransport er målt ved målestед A.

Wind, precipitation and temperature at the hut, and discharge, silt concentration and daily silt transport at A.

en måtte vente. Variasjoner av denne type kan skyldes flere faktorer bl. a. varierende erosjon og ulike hydrologiske forhold, avhengig av meteorologiske faktorer.

Det materialet som fraktes forbi målested C ved utløpet av Vesledalsvatn føres videre ned mot Erdalen. Elven løper sammen med Erdalsbre-elven og renner til slutt ut i Strynsvatn. Sedimentasjonsstudiene ved Vesledalsbre-elven antyder at denne elv fører lite slam ut i Erdalsbre-elven. Dette styrker teorien om at de høye slamkonsentrasjoner ved Greidungs gård (se Erdalsbreen) vesentlig må skyldes slam fra Erdalsbreen.

Nigardsbreen

Nigardsbreen er en ca. 12 km lang, østløpende dalbre som strekker seg fra Jostedalsbreens platåformige overflate rundt 1700 m o. h. og ned til ca. 300 m o. h. Breens areal er 40 km² som er rundt 10% av Jostedalsbreens totale overflate. Breen er i sine øvre partier meget bred, før den i ca. 1300 m o. h. sender sine ismasser ned i en trang, bratt dal som ca. 300 m o. h. flater ut. (fig. 79). Den konsentrasjon av ismasser som her finner sted, resulterer i en relativt rask brebevegelse, med følgelig stor erosjon mot den underliggende berggrunn.

Der breen ender begynner Nigardsvatnet. Nigardsvatnet har en overflate på ca. 1 km². Det ligger i et iserodert basseng. Vannets oppdemning begynte i 1936, som følge av Nigardsbreens avsmelting med følgende sterk tilbakerykking av brefronten. Fra 1936 har vannet stadig blitt større like til august 1967 da brefronten for første gang mistet kontakten med vannet. Like fra Nigardsvatnet begynte å dannes og fram til i dag, har det foregått en stadig sedimentasjon av materiale der. Leire, silt, sand og grus som er frigjort fra berggrunnen ved breerosjonen, er ført med av elva ut i vannet og for en stor del sedimentert på bunnen. Noe av det finere materialet, "slammet", sedimenteres ikke i Nigardsvatnet, men føres ut av sjøen og videre ned Jostedalsvassdraget.

Det er tidligere foretatt en mindre slamundersøkelse i Nigardsvassdraget (se senere).

Nigardsbreen med Nigardsvatnet liggende helt inn til breen gir en glimrende anledning til å studere de slammengder som totalt sedimenteres i en bresjø. Her har en muligheten til å kontrollere både materialtransporten ut fra breen (inn i sjøen), og transporten ut av sjøen ved utløpet.

Disse forhold er undersøkt ved Nigardsbreen sommeren 1968. Fig. 79 viser



Fig. 79 Nigardsbreen og Nigardsvatnet sett fra luften. Målestedet ved brefronten og målestedet ved sjøens utløp er inntegnet.

Air photograph showing Nigardsbreen and Nigardsvatnet. Silt sampling were made at the glacier front and at the lake outlet.

de to målesteder der det er tatt kontinuerlige slamprøver fra 19/6-2/9.

Under flomperioder ble det tatt timelige slamprøver både ved brefronten og ved sjøens utløp. En ville på denne måten bestemme både breens materialproduksjon, og hvor stor del av denne som ble sedimentert i Nigardsvatnet, m. a. o. hvor effektiv en sjø på denne størrelse er som sedimentasjonsbasseng. Dette er jo, som nevnt innledningsvis, av stor viktighet i forbindelse med en eventuell utnyttelse av brevannet for kraftproduksjon.

Fig. 80 viser resultatene fra sommerens undersøkelser. Nedbør- og temperaturmålingene er fra den meteorologiske stasjonen "Bjørkehaug", ca. 3 km øst for Nigardsvatnet. Avløpskurven for utløpet av sjøen bygger på limnigrafstasjon med god vassføringskurve. Avløpskurven for brefronten er for store deler av sommeren identisk med kurven ved sjøens utløp. I perioder med liten eller ingen nedbør kommer det meget lite vann til sjøen fra de bratte fjellssidene. I slike perioder er vassføringen inn i, og ut av sjøen omtrent den samme. I nedbørperioder svulmer tallrike bekker opp, og fører slamfritt vann fra fjellssidene

inn i sjøen. Dette gjør at målt vassføring ved sjøens utløp ligger høyere enn vassføringen ved brefronten. I nedbørperioder er dette tilskudd av vann beregnet å utgjøre ca. 10% av den totale vassføring, målt ved sjøens utløp.

Konsentrasjonskurven på fig. 80 viser momentankonsentrasjonen både ved brefronten og ved sjøens utløp. En må ikke her vente en fullstendig korrelasjon i kurveforløpet. For det første vil en tidsforskyvning komme inn i bildet slik at undre kurve naturlig "ligger etter" den øvre kurve. Dernest vil vassføringsvariasjoner med følgende slamvariasjoner ved brefronten ikke bestandig forplante seg direkte til sjøens utløp. Materialets kornstørrelse, strømforholdene i sjøen og vindens innvirkning, samt en rekke andre faktorer gjør at ikke korrelasjonen mellom kurvene er fullstendig. Det nøyere studium av kurvene viser tross alt en viss sammenheng.

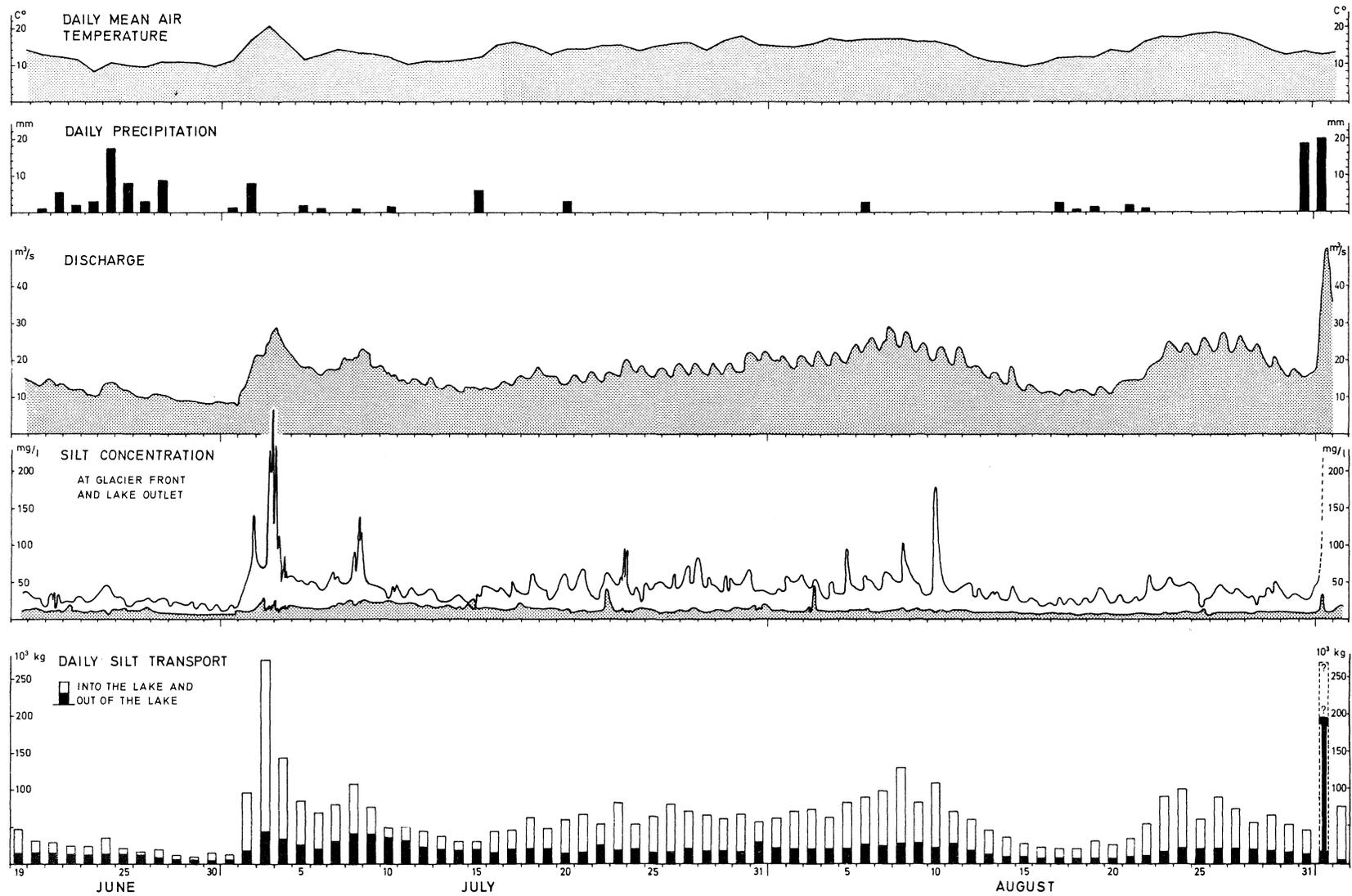
Søylediagrammet nederst på fig. 80 viser døgnlig slamtransport ved brefronten og ved sjøens utløp. Sommerens totale slamtransport inn i sjøen, dvs. slamproduksjonen ved Nigardsbreen i observasjonsperioden var 4370 tonn. Slamtransporten ut av sjøen i samme periode var 1375 tonn. Dette betyr at 70% av det slam som breelven fraktet ut i Nigardsvatnet ble sedimentert der. En flomperiode i begynnelsen av september inntraff delvis etter avviklingen av sommerens arbeide. Verdiene den 1/9 er av denne grunn noe usikre, da bare få prøver er tatt. Prosentvis innvirker imidlertid denne floms materialtransport meget lite på sommerens totale transport.

Søylediagrammet viser flere interessante forhold. Vi ser at flommen den 2. -4/7 utgjør en langt mindre del av sommerens totaltransport, enn hva som er vanlig med flommer av denne størrelse. Slamtransporten i Nigardsbreeelven viser således langt jevnere fordeling av slammet over sommeren enn ved andre undersøkte breer. Et annet forhold som kommer svært godt til uttrykk på diagrammet er Nigardsvatnets betydning som dempningsfaktor, ikke bare for vassføringen, men i like stor grad for slamtransporten. Den store flom 2. -4/7 førte til at slamtransporten ved brefronten ble 20 ganger større enn den 1/7, mens transporten av slam ved sjøens utløp bare ble 8 ganger større. Dette går

Fig. 80 Figuren viser nedbør- og temperatur nær utløpet av Nigardsvatnet. Slamkonsentrasjonskurven både for brefronten og for sjøens utløp er gjengitt. Vassføringen er registrert ved sjøens utløp. Den døgnlige totale slamtransport ut fra breen og ut av sjøen er vist nederst i diagrammet ved søyler.

The precipitation and the temperature observations taken close to the lake outlet. Silt concentration is observed both at the front of the glacier and at the lake outlet. The water discharge is found by limnigraph registrations. Daily total silt transport at the glacier front and out of the Nigardsvatnet lake are shown by columns.

Fig. 80



forøvrig igjen hele sommeren med langt større variasjoner ved brefronten enn ved sjøens utløp.

Tar en slamtransporten den øvrige del av året samt bunntransportert materiale med i beregningen, er den totale materialtransport i 1968 av størrelsesorden 5500 tonn. Sammenliknet med andre breer synes dette lite.

Det er tidligere utført slamundersøkelser i Nigardsbrevassdraget (Wehn 1968).

Wehn prøvde å beregne hvor stor del av det produserte slammene som ble igjen i sjøen. Ut fra slamprøver som han tok i vannet nær brefronten og ved sjøens utløp fant han at ca. 2200 tonn slam ble ført inn i sjøen, mens ca. 700 tonn ble ført ut av sjøen og videre ned vassdraget. Dette ga en sedimentasjon på ca. 1500 tonn for 1962. Ifølge Wehn's slamstudier ble altså ca. 70% av tilført slam fra Nigardsbreen sedimentert i sjøen, mens ca. 30% ble fraktet videre ut i sjøen. Disse prosenttall stemmer forbausende godt med de tall som årets undersøkelser har gitt.

Wehn's slammengder stemmer også forholdsvis godt med årets resultater. For perioden 17/7-29/8-1962 fant han at 2200 tonn slam ble ført inn i sjøen. Slamtransporten for omtrent et dobbelt så langt tidsrom i 1968 var 4400 tonn.

Konklusjon

Fig. 81 viser en sammenstilling av de litt større slamundersøkelser som hittil er foretatt ved norske breer. De fleste er utført ved Brekontoret, Hydrologisk avdeling i 1967 og 1968. Alle de undersøkte breer ligger i områder som er under planlegging for kraftproduksjon.

Resultatene fra Erdalsbreen, Vesledalsbreen og Nigardsbreen er sannsynligvis de mest pålitelige. Prøvene er her tatt ved brefronten og prøvetiden dekker den del av året da den vesentligste slamtransport foregår. Ved Austre Memurubre er også tidsdekningen god. Her er imidlertid tallene lavere enn de burde være, da slamprøvene er tatt 1 1/2 - 2 km foran breen. Fra erfaringer ved sedimentasjonsstudier i elven nedenfor andre breer, er det rimelig å anta at materialproduksjonen burde være 20-40% høyere.

Resultatene for Tunsbergdalsbreen er hentet fra en hovedfagsoppgave i naturgeografi ved Universitetet i Oslo ved John Hatling.

Som fig. 81 viser varierer den spesifikke materialproduksjon fra bre til bre. Dette er noe en må vente ut fra forskjelligartet berggrunn, ulik berggrunns-morfologi og breer av forskjellig størrelse og mektighet, med følgende varier-

INVESTIGATIONS OF SEDIMENT YIELD AT
 SELECTED GLACIERS IN SOUTHERN NORWAY

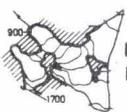
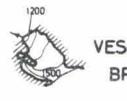
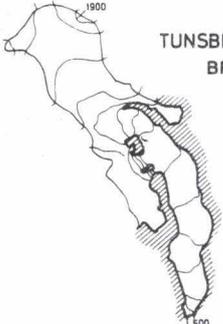
Area km ²	Sediment production				Annual erosion		
	1967		1968		1967	1968	
	10 ³ kg	10 ³ kg/km ²	10 ³ kg	10 ³ kg/km ²	mm	mm	
 ERDALSBREEN	11	9500	860	7500	680	0.4	0.35
 VESLEDALSBREEN	4	630	160	360	90	0.1	0.05
 AUSTRE MEMURUBRE	9	5500	630	4000	450	0.3	0.20
 NIGARDS- BREEN	40	-	-	5500	140	-	0.07
 TUNBERGDALS- BREEN	54	<u>1965</u>		-	-	<u>1965</u>	-
		16000	290	-	-	0.15	-

Fig. 81 Oversikt over slamundersøkelser ved utvalgte breer i Sør-Norge.

Investigations of sediment yield at selected glaciers in Southern Norway.

ende hastighet og erosjon.

Erdalsbreen som ligger i en markert, dyp dal har stor tykkelse og følgelig relativt stor hastighet og erosjon. Austre Memurubre ligger vesentlig i en dyp, markert dalendebotn og etter tallene for materialproduksjonen å dømme må den ha relativt stor hastighet.

Vesledalsbreen derimot ligger i en vid, åpen dalform og er antagelig relativt mindre mektig. De lave tall for materialproduksjonen må sees på denne bakgrunn.

Nigardsbrens lave erosjon, fig. 81 er påfallende. De veldige ismasser i høyere nivå som presses ned i den trange dalform, ga grunn til å vente en langt større materialproduksjon. Dette styrkes ytterligere av de hastighetsmålinger som

er foretatt på Nigardsbreens nedre deler. En har her funnet bevegelseshastigheter som er noe av det høyeste som er målt i Norge. Dette til tross er den spesifikke materialproduksjon liten. Nye målinger får gi oss større sikkerhet om at årets tall virkelig er representative. Det meste slam produseres antagelig i de deler der isen beveger seg hurtigst, det vil si i breens midtre og nedre deler. I tillegg kommer de vide svære viddene i firnområdet, der erosjonen sikkert er meget liten. Men disse flater deltar også i regnestykket og kan gi et noe galt inntrykk.

Sett i en annen sammenheng virker årets tall fra Nigardsbreen rimelige. Vinteren 1968 ble det i Nigardsvatnet tatt en serie borkjerner fra sjøens bunn. Borkjernene viser klart de karakteristiske "varv" eller lag, avsatt i forskjellige år. Gjennomsnittstykkelsen på disse varv er 4-5 mm. Bruker man en spesifikk vekt på 2 for slammaterialet, tilsvarer dette en gjennomsnittlig sedimentasjon på Nigardsvatnets bunn på 8-10 000 tonn, altså tall av samme størrelsesorden som en fikk ved årets målinger.

Sammenligner en tallene fra 1967, med de fra 1968 ved Erdalsbreen, Vesledalsbreen og Austre Memurubre, ser en at materialproduksjonen ikke avviker mer enn hva som synes rimelig i to forskjellige år. Dette faktum er betryggende for tallenes pålitelighet og sier oss at selv om verdiene antagelig har en viss feilmargin, er i hvertfall størrelsesordenen korrekt.

De breer som er undersøkt er av ulik størrelse og mektighet, og de ligger både kontinentalt (Austre Memurubre) såvel som mer maritimt (de øvrige). De er i så måte et representativt utvalg av norske breer. Den spesifikke materialproduksjon varierer fra ca. 200 tonn pr. km², opp til ca. 800 tonn pr. km². Den gjennomsnittlige årlige erosjon varierer fra under 0,1 mm pr. år opp til nesten 0,4 mm pr. år.

Av de veldige mengder materiale som breelvene fører fram til isfronten vil en betydelig del, først og fremst de grovere fraksjoner, sedimenteres i et eventuelt magasin. Hvor stor del som fraktes videre vil avhenge av flere faktorer, bl. a. materialets kornstørrelse og bassengets dimensjoner i forhold til vassføringen. Sikkert er det imidlertid at det vil skje en gradvis gjenfylling av magasinet. Sedimentasjon vil også kunne forekomme i tilløpstunneller o. l.

Det mest avanserte ved utnyttelsen av vannet i et brevassdrag er å ta vannet subglasialt, for å vinne fallhøyde. Foruten at det vesentligste smeltevanntilsig nettopp kommer fra breens nedre partier, vil en her møte problemet med slam og annen materialtransport med full styrke, selv om større stein og blokker kan siles fra, ved bygging av et grovmasket "nett" i en eller annen form. Da store stein bare utgjør en ubetydelig del av den totale materialtrans-

porten, vil en nok måtte bygge større bassenger der sedimentasjon av grus og sand kan finne sted. Her vil "klaringseffekten" selvsagt avhenge av bassengets størrelse.

Det er åpenbart at man ved planleggingen av et klaringsbassengs dimensjoner ikke baserer dette på skjønn, men på resultater funnet ved en systematisk prøvetaking ved brefronten, og evt. ved modellforsøk.

Erfaringer fra sommerens studier viser at selv ved relativt store sedimentasjonsbasseng (Nigardsvatnet), vil store slammengder fraktes videre, og føre til en gradvis nedsliting av ventiler og turbiner m. m. Her har en i Norge og i andre land som nevnt innledningsvis få og dårlige erfaringer. Slitasje på metaller og legeringer av slambelastet vann burde gjøres til gjenstand for forskning. At en betydelig slitasje finner sted er helt klart, men det er ikke kjent hvor raskt f. eks. en turbins virkningsgrad nedsettes.

På denne bakgrunn er det å håpe at slamstudiene ved påtenkte breutbyggingsfelt kan intensiveres og utvides i kommende år. I motsatt fall vil en kunne komme til å høste unødvendige dyre erfaringer når kraftanleggene ved brefelt settes i drift.

NIGARDSVATNET SOM SEDIMENTATIONS-BASSÄNG

Inledning

I samband med planerad vattenkraftutbyggnad i Norge avser man att utnyttja smältvatten från glaciärer på ett mycket tidigt stadium, dvs. omedelbart framför glaciärerna, kanske till och med under dessa.

Delvis nya problem kan förutses vid denna verksamhet. Ett av problemen gäller behovet av sedimentationsbassänger. Det starkt slamförande vattnet i en glaciärälv skulle i ett kraftverk medföra snabb förslitning av däri ingående komponenter, skovlar, ventiler, tuber etc.

Det blir troligen nödvändigt att anlägga sedimentationsbassänger där vattnets slam får möjlighet att sedimentera, så att ett minimum av fasta partiklar når ned till turbinerna i kraftverket.

Det kan, ur sedimentationssynpunkt, ställas vissa krav på hur en sedimentationsbassäng skall se ut. Den måste för det första vara av tillräcklig längd, så att de flesta fraktionerna hinner sedimentera. Som ett exempel kan anges

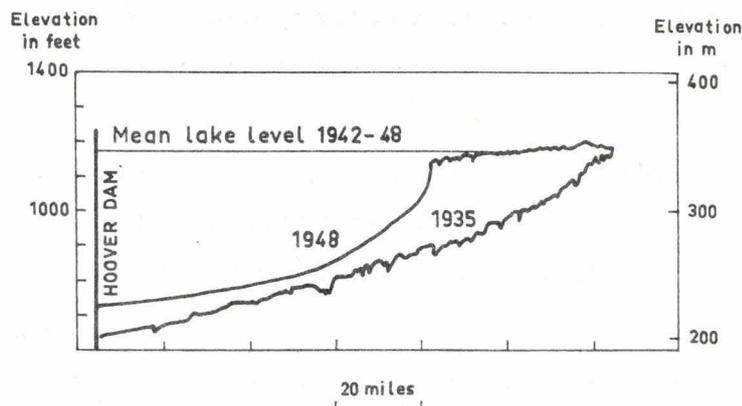


Fig. 79 Sedimentation i Hooverdammen 1935-48.

Sedimentation in the Hoover Dam, Colorado River, 1935-48.
(After Smith, Vetter, Cummings and others 1960)

att en sfärisk partikel med diametern 0,01 mm skulle, i ett jämnt strömmande vattendrag med en strömningshastighet av 1 cm/sek och ett djup av 10 meter, behöva 2000 meter bassäng för att nå botten efter att ha startat i ytan. Fraktionen 0,01 mm motsvarar grovmjåla (Silt).

Sedimentbassängen måste för det andra vara så utformad, att genomströmningstiden blir så stor som möjligt, främst för att förhindra koncentrerade bottenströmmar.

Slutligen måste bassängen ha en tillräcklig kapacitet. En bassäng med kort livstid blir oekonomisk om den inte kan tömmas (regenereras) på ett enkelt sätt.

För att belysa den senaste faktorn, kapaciteten, kan nämnas att Hooverdammen i Colorado River (fig. 79) har en sedimentationskapacitet av 75 000 millioner ton, men beräknas vara helt utfylld om 4-500 år. Under 14 år har det sedimenterat c:a 2 000 millioner ton (Smith, Vetter, Cummings and others, 1960).

Ett annat exempel, som storleksmässigt står närmare Nigardsvatnet, är Yasuoka Reservoir i Tenryu River i Japan. Denna bassäng, som har en kapacitet av 50 millioner m^3 (Nigardsvatnet = 5,4 millioner m^3) fylles under 13 år ut till hele 85% av kapaciteten! (United Nations 1953, s. 43) Det framgår såsom ganska klart att sedimentationsbassängens storlek är av väsentlig betydelse för kraftverksanläggningar med starkt slamförande driftsvatten. För att kunna beräkna den nödvändiga storleken av en sådan bassäng, måste materialtransporten i glaciärälven vara känd, samt den del av denna materialtransport som sedimenterar i bassängen.

Denna materialtransport kan uppdelas i två grupper:

A. Material i suspension, grovt sett fraktioner mindre än 1 mm.

B. Fraktioner grövre än 0,15-0,20 mm. Dessa är det bottentransporterade materialet, som förflyttas av strömmen genom rullning, glidning eller hoppning (saltation). En tredje grupp, material i löst form, betraktas som betydelselöst i detta sammanhang.

1968 års arbeten vid Nigardsvatnet har utförts som ett projekt vid Hydrologisk avdelning i Norges Vassdrags og Elektrisitetsvesen, i samarbete med Naturgeografiska Institutionen vid Stockholms universitet.

Programmet har skisserats och övervakats av dr. Gunnar Østrem, medan författaren ansvarade för detaljuppläggning och praktiskt utförande. Uppmätning av baslinjer för triangelnätet runt sjön utfördes den 3 aug. av personal från NVE, varvid användes en geodimeter.

Det lokala triangelnätet är upphängt i rikets nät och delvis beräknats i UTM-systemet (se bilaga). Dessa inmätningar samt datamaskinbehandling av materialet har utförts av Christian Nielsen, NVE.

Målsättning

Målsättningen för 1968 års arbeten var att förbereda och inleda ett studium av sedimentation i en naturlig bassäng. Såsom lämpligt objekt valdes Nigardsvatnet. Denna sjö är utomordentlig lämpad för sådana studier, huvudsakligen av följande skäl:

1. Sjön har en lämplig storlek, den är c:a 1800 meter lång, största bredden är c:a 300 meter, största djup är 34 meter vid referensnivå. (Referensnivå definieras här som vattennivån vid 150 cm avläsning på den fasta pegeln vid sjöns utlopp). Volymen under denna referensnivå är c:a 5,4 millioner m³. Denna storlek bedöms som lämplig med hänsyn till möjlig insats av tid och personal.
2. Nigardsvatnet är en mycket ung sjö, den har i sin helhet existerat endast sedan augusti 1967, när Nigardsbreen drog sig ända upp på land, och frilade sjön. Sjön bildades 1937, när iskanten stod vid det nuvarande utloppet. Baträffande sjöns utveckling (fig. 80). Detta betyder att man kan följa deltautvecklingen i sjöns västra del ända från begynnelsen (fig. 81).
3. Sjön är kommunikationsmässigt gynnsamt belägen, en god bilväg leder helt fram till den, lämpliga förläggningsmöjligheter finns i en hytta vid sjöns utlopp, samt i ett pensionat på några minuters bilavstånd.
4. Slam- och vattenföringsmätningar företas såväl vid sjöns utlopp som i glaciärälven, genom Vassdragsvesenets försorg.

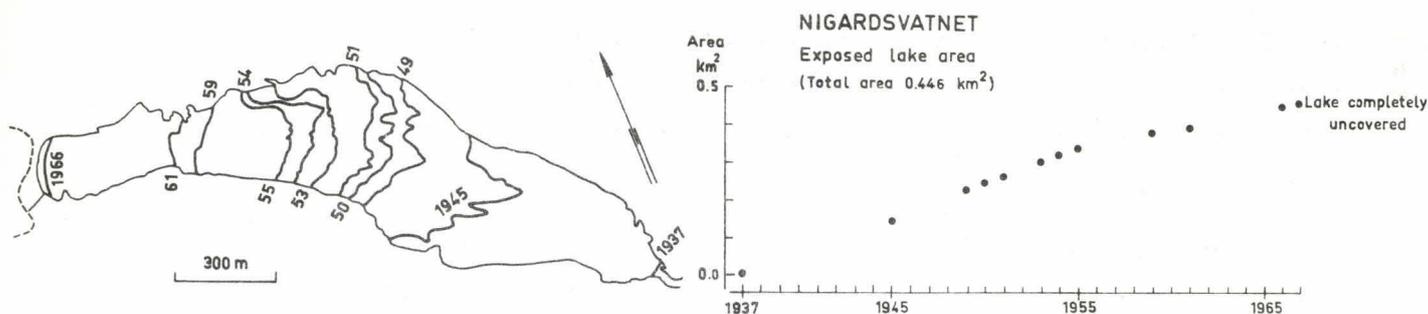


Fig. 80 Nigardsvatnets utveckling 1937-67. Åt vänster visas glaciärfrontens tillbakagång, och åt höger sjöytans tillväxt.

The development of Nigardsvatnet 1937-67. The left part shows the recession of the glacier front and the right part the areal growth of the lake.

5. Den huvudsakliga tillrinningen till sjön sker genom en enda älv av betydelse, nämligen glaciärälven. Denna älv har ett kort, och genom bergformationer mycket väldefinierat lopp, från iskanten till sjön.

Frågeställningen inför arbetet är följande: Hur mycket material av grupp A (suspenderat material) för glaciärälven med sig ut i sjön och hur mycket av grupp B? Hur stor del av dessa massor stannar kvar i sjön? Slutligen, kan det finnas en relation mellan vattenföring och slamtransport resp. bottentransport?

Material av grupp A kan uppmätas genom vattenprovtagning i glaciärälven såväl som vid utloppet av sjön. Detta har, som tidigare nämnts, utförts genom Vassdragsvesenets försorg, och här kan som exempel anges observerade värden för 1962 och 1968:

År	In i sjön ton	Ut ur sjön ton	Andel som passerar sjön
1962	2530	728	29% (Wehn 1965, s 60)
1968	4500	1400	31% (muntl. S Tornås m fl)

Wehn räknar med en sedimentation i sjön för 1962 av 2200 ton, för 1968 blir motsvarande siffra c:a 3000 ton.

Den mängd material som sedimenterar i sjön, kan med en mycket grov uppskattning anges till storleksordningen 2-4 tusen ton/år.

Material i grupp B är betydligt svårare att uppmäta. Det finns i litteraturen olika uppgifter om relationen mellan bottentransport och totaltransport. Dessa siffror har en stor spridning, och är egentligen inte säkert belagda i något fall. Som ett exempel kan anges, att mängden material i bottentransport uppgår till 10-20% av mängden material i suspension. (Sundborg 1967, s. 334). Dessa värden måste användas med mycket stor försiktighet. Det är för det första inte



Fig. 81 Nigardsvatnets delta vid lågt sommarvattenstånd (juli 1968, punkt 20).

The delta at Nigardsvatnet, July 1968 from point 20.

helt säkert att det föreligger någon fast relation mellan mängden av de olika fraktionerna, även om det kanske finns skäl att tro det. Därnäst är det givetvis att relationen varierar från vattendrag till vattendrag, speciellt mellan olika typer av vattendrag.

Den kanske viktigaste uppgiften för de pågående undersökningarna vid Nigardsvatnet, är att fastställa denna relation för en glaciärälv i sitt tidigaste lopp. Med hänsyn till vad som tidigare sagts, ligger problemet främst i att bestämma mängden material som i form av bottenransport föras in i sjön. En eventuell förlust av grovt material vid utloppet är sannolikt av ringa betydelse. Dels kommer den allra största delen av grovt material att sedimentera i deltat och omedelbart framför detta, dels kommer sjöns storlek och den därmed låga strömningshastigheten att utgöra ett hinder för bottenransport i någon nämnvärd skala. Dessutom förekommer en tröskel i sjön vid profil 19-22-12-13 med vattendjup på 1-3 meter. (Fig. 82 och 83). Jämfört med djuphålorna i den inre bassängen med mera än 10 meters djup, innebär detta uppförbackar som effektivt hindrar bottenransport av grova fraktioner. Det bör dock påpekas att det förekommer transport från sjön av sediment, som till stor del härstammar från erosion vid utloppet. Mängderna bedöms som små, men avsikten är att studera detta närmare under 1969.

Arbetets utförande

Upprättande av arbetskartor.

För de planerade undersökningarna erfordras noggranna kartor över Nigards-

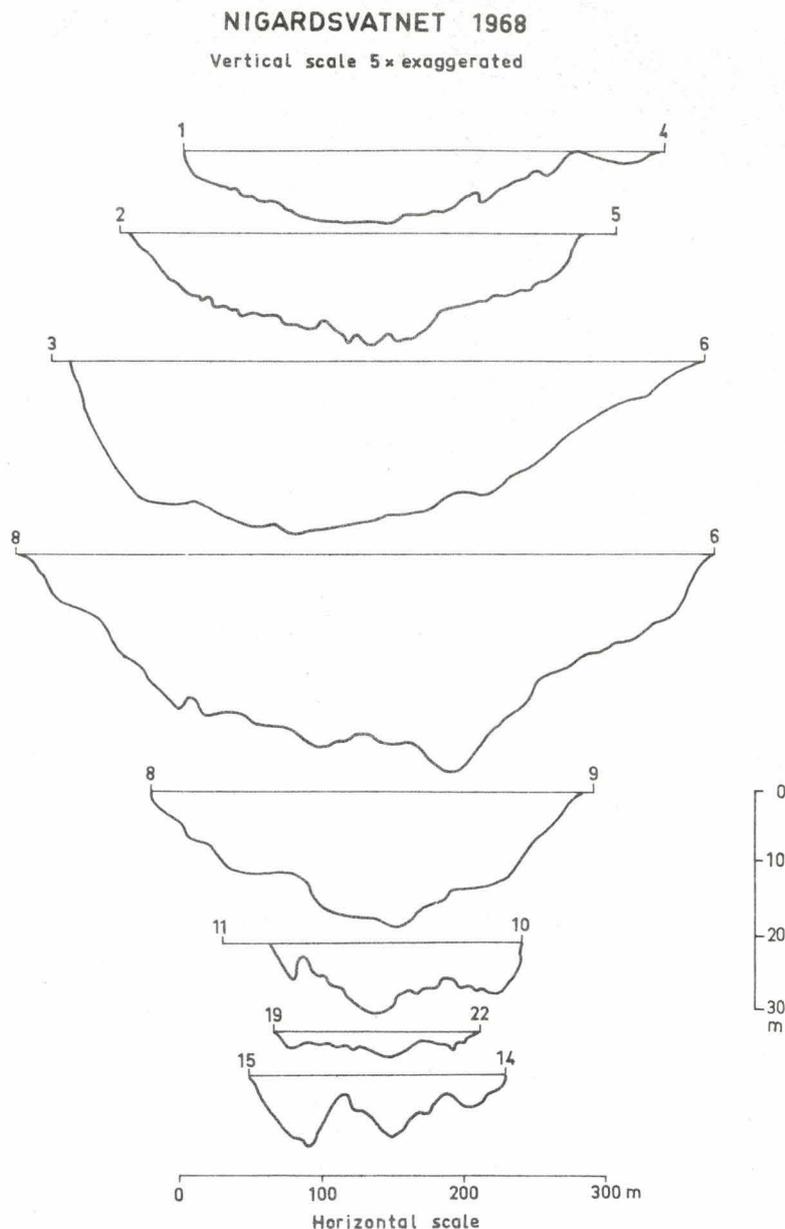


Fig. 82 Exempel på tvärprofiler över Nigardsvatnet 1968. Ändpunkternas siffror hänvisar till fixpunkter på huvudkartan. Lägg märke till den grunda tröskeln vid profil 19-22.

Depth profiles across Nigardsvatnet. The numbers are referring to triangulation points marked on the main map. Note the shallow depths at profile 19-22.

vatnet, särskilt beträffande bottentopografien. Den yttre delen av sjön är kartlagd 1962 på ett tillfredsställande sätt av Wehn i 1962 (Wehn 1965) och särskilt av Santha i 1966; NVE hydr. avd. Vid Wehns kartläggning var sjön delvis täckt av glaciären, och vid Santhas uppmätning fanns fortfarande is över delar av den inre bassängen.

Enär denna inre bassäng är speciellt intressant för att den innefattar deltat och området för sedimentation av grova fraktioner, har en särskild karta upprättats för denna del av sjön (fig. 83). Kartan över hela sjön visas i fig. 84,

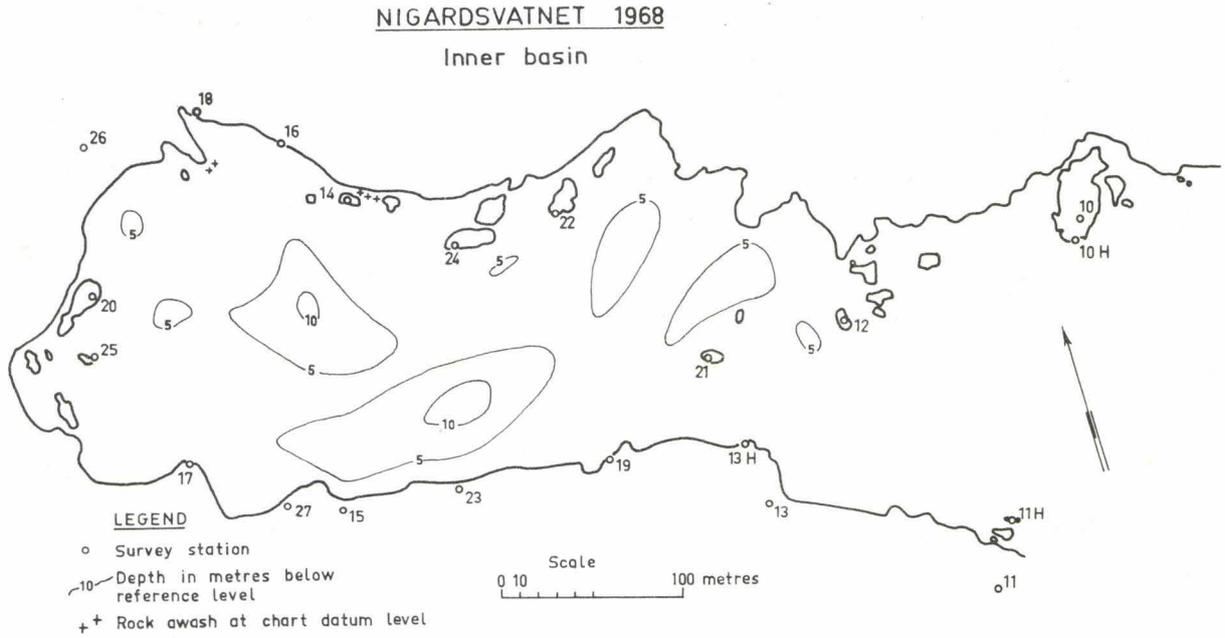


Fig. 83 Karta över inre del av sjön, 1968.

Map showing the inner region of the lake, 1968.

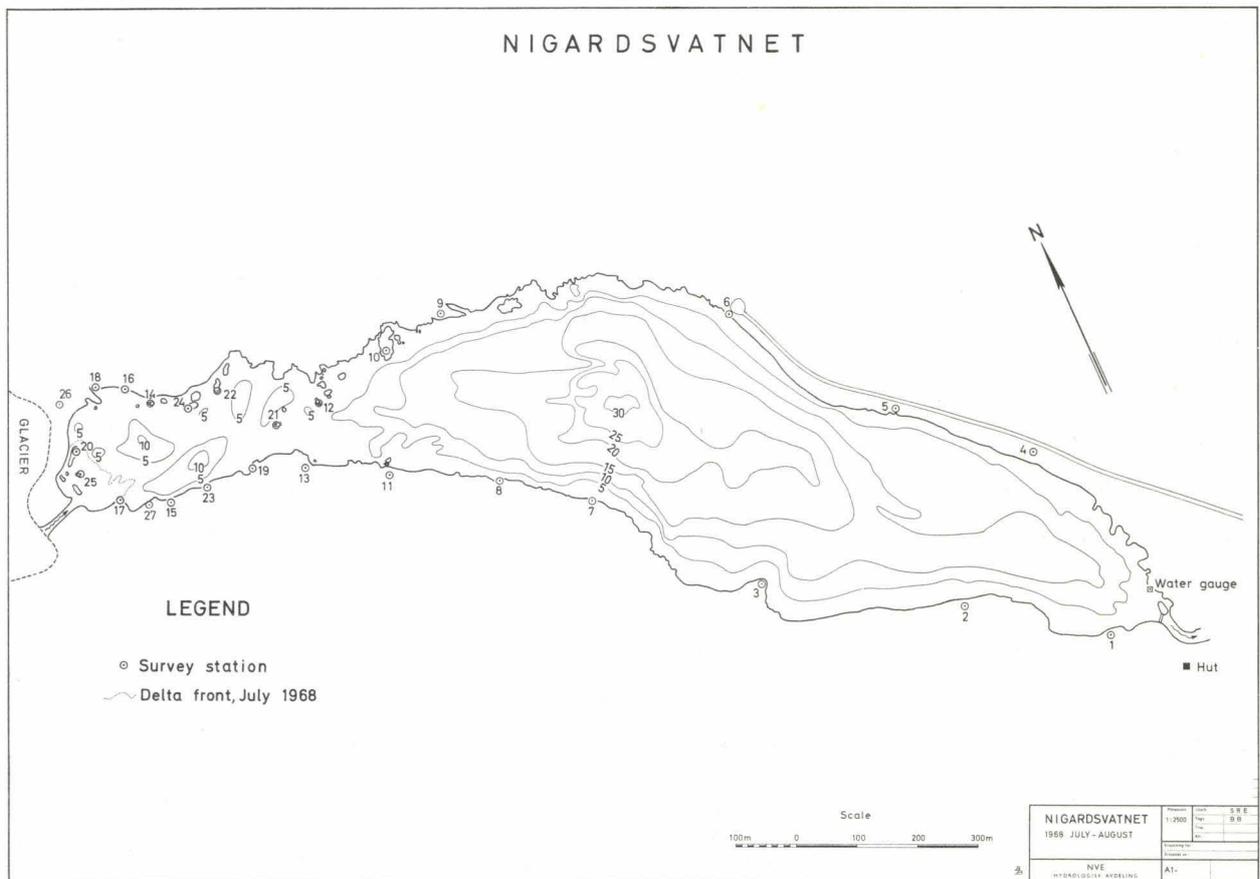


Fig. 84 Karta över Nigardsvatnet, yttre del från 1966, inre del från 1968.

Map showing Nigardsvatnet, the main part from 1966, the inner region from 1968.

och är till sin huvuddel baserad på Santhas karta av 1966, kompletterad med 1968 års uppmätningar i inre bassängen.

Denna inre bassäng omfattar en yta av 650000 m² eller c:a 14 % av hele sjöytan. Den är upplodat dels från båt och dels från is med lodwire och lodstake längs wires, som var uppspända mellan olika fixpunkter. Antalet lodskott under 1968 var c:a 450, vilket motsvarar en medelyta per lodskott om 145 m². Inre bassängen är således mycket noggrant bestämd beträffande bottentopografien.

Beräkning av bottentransport.

Två metoder för beräkning av mängden material i bottentransport bedöms såsom möjliga.

1. Noggrann upplodning av särskilt inre bassängen vid olika tidpunkter (förslagsvis 2 gånger per år) och en beräkning av pålagringen under denna tid. Denna pålagring, minskad med pålagring av material som ursprungligen varit i suspension, bör vara det material, som i form av bottentransport förts ut i sjön av glaciärälven.

2. Uppmätning av bottentransporten in situ, d. v. s. i glaciärälven.

Pågående arbeten tar i första hand sikte på att arbeta efter metod 1. Vissa komplikationer har redan tillstött och flera kan förutses. Bland annat är det i nuvarande läge svårt att göra någon felberäkning av de massor man kan räkna fram genom metod 1, beroende på att endast en mätserie har hunnit utföras. Ett undantag är profil 20-14 som mätts två gånger.

Det förekommer dessutom stora omfördelningar av det grova materialet i själva deltat, beroende på att älven kastar mellan olika huvudfårör på deltat. Detta påverkar inte den totala mängden ackumulerat material per tidsenhet, men kan förorsaka beräkningssvårigheter, främst vid felkalkyler av statistisk typ.

Ett allvarligt bekymmer är även de massor som förs ned i inre bassängen genom ras från bergssidorna. Detta förekommer såväl sommar som vinter, och måste studeras i noggranna profiler genom utsatta områden.

Motiven för att samtidigt med metod 1 även starta försök med metod 2 växer sig allt starkare. En väg att utföra detta projekt är att tvärs för älven, i dess väldefinierade lopp, spänna upp ett nät, som uppfångar de grova fraktionerna. Man måste av praktiska skäl räkna med att med ett sådant nät endast kunna fånga upp fraktioner ned till en viss storlek, vattnet måste ju kunna strömma genom nätet utan att förorsaka så stort tryck att nätet sprängs av denna anledning.

Det blir då vissa fraktioner, som ej kan registreras på detta sätt, nämligen de som är för små för att fastna i nätet och för stora för att registreras genom vattenprovtagning. Problemet bedöms såsom litet, enär interpolation med god noggrannhet bör kunna ske.

Kalkyler, baserade på 1968 års resultat.

1. Sedimentation av material, ursprungligen i suspension.

För år 1968 erhöles en transport av material in i sjön av c:a 4 500 ton, ut ur sjön c:a 1 400 ton. Den mängd som sedimenterat i sjön är alltså c:a 3 000 ton. Om det teoretiskt antages att dessa massor sedimenterar såsom ett jämnt skikt över hela sjön, erhålles en mäktighet av 3,5 mm. Detta är av samma storleksordning som de lager som uppmättes i proppar, upptagna ur Nigardsvatnet i jan-febr 1968 (Tornås 1968, s. 30).

Med denna sedimentationshastighet skulle Nigardsvatnet, genom sedimentation av enbart fint material, utfyllas under loppet av c:a 3 600 år. Det måste starkt understrykas att beräkningarna är mycket grovt förenklade på dette stadium, resultatet är dock måhända något bättre än en ren gissning.

2. Sedimentation av material, ursprungligen tillfört genom bottentransport.

Först skall det starkt betonas att det i nuvarande läge inte finns någon möjlighet, att med någon som helst grad av sannolikhet, beräkna ackumulationen av det grova materialet i Nigardsvatnet. De siffror, som tidigare nämnts beträffande relationen mellan grovt och fint material (d. v. s. 10-20 %) är högst osäkra. Enär det ännu inte står några andra, säkrare uppgifter till buds, har relationen 20 % använts för en beräkning av utfyllnadstiden för Nigardsvatnet. Antages att de grova massorna i sin helhet sedimenterar i sjön, erhålles en utfyllnadstid av c:a 2 500 år, beräknat på bägge grupper av sediment.

Siffran verkar ju betryggande ur kraftverkssynpunkt, men är med stor säkerhet helt värdelös, Nigardsvatnet kommer att utfyllas mycket snabbare än så.

Det finns redan nu indikationer på detta, Wehn erhöles sommaren 1962, vid ett försök till volymlberäkning av ackumulerade sediment, $32,5 \cdot 10^3$ ton per år. (Wehn 1965, s. 61). Även om mycket stor osäkerhet vidlåder den uppgiften så pekar den dock på en helt annan relation mellan grovt och fint material. Med detta värde skulle sjön vara utfylld på mindre än 300 år.

Även resultatet av mätningarna längs profil 20-14, som omfattade en tidsperiod av 4 månader (12/7 - 9/11 1968) pekar på en stark pålagring av grovt material.

I profilen erhöjls en genomsnittlig pålagring av 26 ± 13 cm.

Nigardsbreen har under de senaste åren retirerat tämligen snabbt och har sedan 1967 frilagt c:a 100 meter nytt land.

Det kan dock förutses att glaciären inom en nära framtid kommer att göra en ny framstöt, och av den anledningen har tvenne områden preparerats för en

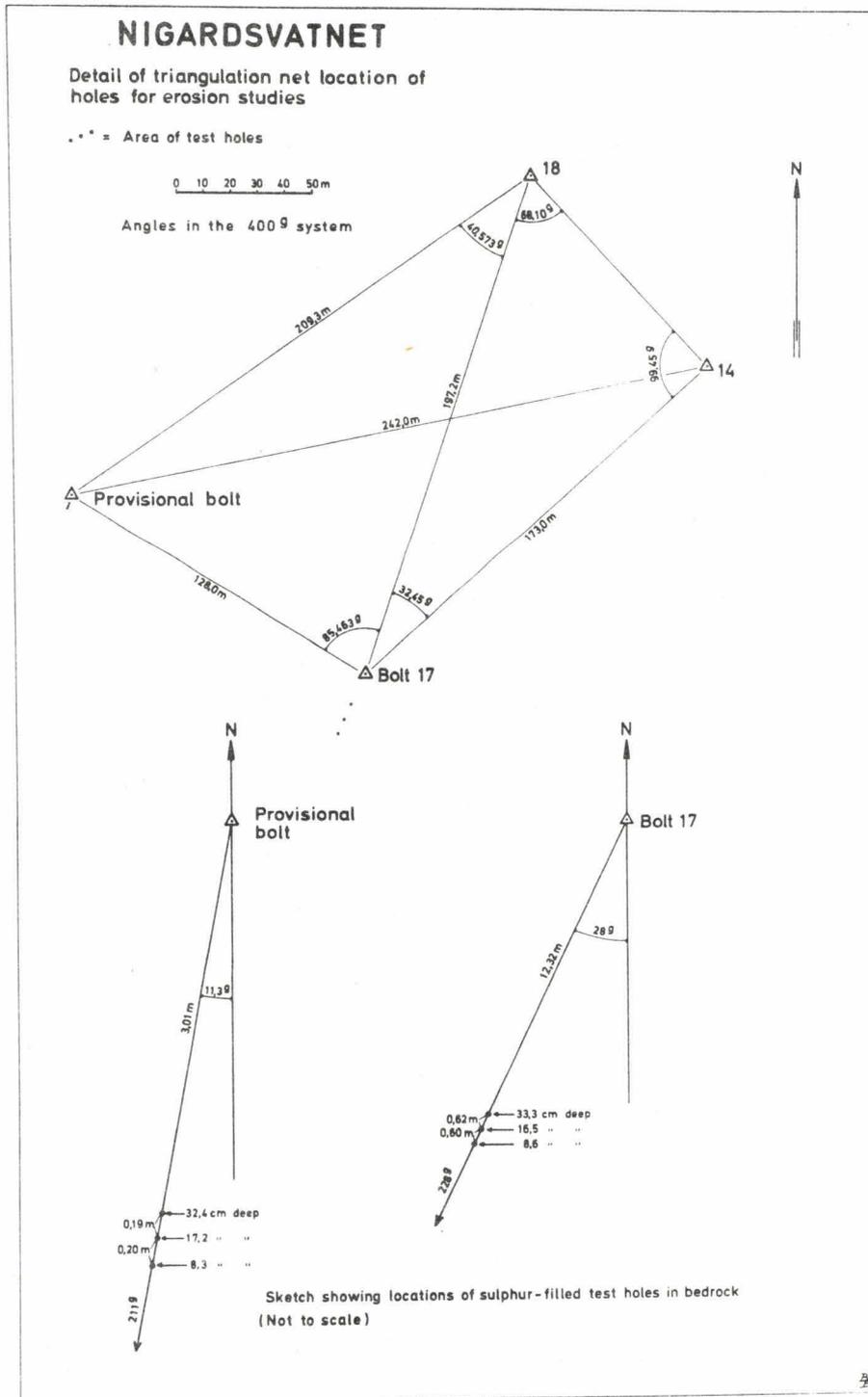


Fig. 85 Läget av inmätta hål för framtidig uppmätning av en glaciärs erosionsförmåga i fast berg.

Location of holes for erosion studies.

framtida uppmätning av en glaciärs erosionsförmåga i fast berg.

Vid varje lokal har tre hål av varierande djup borrats, noggrant uppmätts, samt fyllts med svavel.

Läget är inmätt från olika punkter, och anges i figur 85. Detta projekt, att direkt kunna uppmäta Nigardsbreen erosionsförmåga, kommer troligen inte att kunna avslutas förrän i en senare generation.

Sammanfattning.

1968 års arbeten vid Nigardsvatnet har i huvudsak syftat till att skapa ett gott mätsystem för att under kommande år uppmäta andelen grovt material som sedimenterar i sjön i relation till material i suspension och till vattenföringen.

Detta beräknas kunna ske med två metoder, dels genom noggrann uppmätning av sjöns, särskilt inre bassängens, volymminskning, dels genom en direkt uppmätning av grova fraktioner i glaciärälven med hjälp av ett nät. Försök skall sedan göras att prognosera Nigardsvatnets utfyllnadstakt. Delresultaten pekar på att denna utfyllnad kommer att ske snabbt.

SUMMARY

Mass-balance studies and hydrological and meteorological observations

The current program of glacio-hydrological measurements on Norwegian glaciers was continued in 1968 on all the glaciers previously investigated. In addition, the mass balance was measured on Vestre Memurubre, so that ten glaciers in southern Norway and three glaciers in northern Norway were included in the program this year. On five glaciers meteorological observations were made during the main part of the summer season.

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) and others, and 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, one considers the mass exchange from the base to the surface of the glacier, 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 (Technical Papers in Hydrology in 1968, reprinted in the Journal of Glaciology, Vol. 8 (1968), No. 52, pp. 3-7) is used, as in 1967. 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 time period between the formation of two consecutive summer surfaces, is shown in Fig. 1. 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. On Hardangerjøkulen, however, the total accumulation ($C_t = C_w + C_s$) and total ablation ($A_t = A_s + A_w$) are reported. Then the winter ablation and summer accumulation are included (Fig. 1). 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, but the snow density was measured only at a few points. As one is seldom able to do the field work exactly at the change from the winter to the

summer season, the deviations from the final values are found by 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 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. This year a computer program for such calculations and the construction of stake diagrams was worked out. A computer program for calculating mass volumes was also modified for the calculation of the winter, summer, and net balances on the basis of the maps of winter and summer balance.

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 mean balances are of the order of magnitude of 2 m of water equivalent. 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.

In 1968 the snow accumulation was larger than normal in all the areas concerned. The highest relative accumulation figures were found in the glaciated districts of western Norway, where, according to calculations based on meteorological

observations, there was 140% of the normal accumulation. In these areas snow depths of 6-9-m were measured. On Ålfotbreen and parts of Jostedalsbreen probing was possible only on the lowest parts of the glaciers. The calculation of the winter accumulation in the upper parts is therefore based on relatively few points. On Folgefonni the winter balance had to be calculated from separate measurements of the change in balance before and after 24 November. At this time a very hard ice layer that could not be penetrated by probing had formed. Fortunately an inspection of the glacier was made at this time. On Vesledalsbreen, on the glaciers in Jotunheimen, and in northern Norway there were no irregularities in the winter balance measurements. In 1968 the mean winter balance was 4.5 m on Ålfotbreen, which is the largest value ever measured by us. The winter balance decreased towards the eastern and more continental areas (Figs. 58 and 60).

In southern Norway the summer season was warm and dry; the mean temperature (1 June to 31 September) was $0,5^{\circ}\text{C}$ higher than normal in the northwestern part, close to $1,0^{\circ}\text{C}$ higher than normal in the southwestern part and almost $2,0^{\circ}\text{C}$ higher than normal in the central and higher parts. Thus the summer balance was higher than what is calculated as "normal" (Fig. 59). In northern Norway the summer was cold and wet; in Narvik the summer temperature (1 June to 31 August) was almost 2°C lower than normal. The summer balance then was very low.

The very large winter balance in the western part of southern Norway caused a large net accumulation on the glaciers here; in Jotunheimen the glaciers were almost in equilibrium.

Also in 1968 there were quite large local variations in Jostedalsbreen. The larger winter balance on Vesledalsbreen than on Nigardsbreen and Tunsbergdalsbreen seems reasonable, judging from the general accumulation pattern in this area. The mean summer balance is highest on Tunsbergdalsbreen, although the ablation in the respective height intervals is definitely smaller here than on the other two glaciers investigated. The different area distribution causes these variations. The situation in the Jostedalsbreen area indicates that significant differences in mass balance may occur within very short distances. This must be considered when judging the glaciological conditions.

In northern Norway there were surpluses on all the glaciers examined. Fig. 61 illustrates the net balance curves for all the glaciers under investigation.

Meteorological and hydrological investigations

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

The temperature gradient between the glacier area and the meteorological stations in the vicinity is computed, and also the gradient within the glacier area, in those cases in which measurements are available from more than one place. The observations from Nigardsbreen and Vesledalsbreen indicate that there is a discontinuity in the temperature gradient near the edge of the glacier. The temperature and wind conditions at the lower station on Vesledalsbreen seem to be influenced by glacier wind.

Daily precipitation was measured at the observation huts. The precipitation was very small in southern Norway in 1968; on Ålfotbreen there was less than half of the precipitation the year before. At some of the meteorological stations in this area there was less than 10% of the normal precipitation in August.

The distribution of summer precipitation was studied (Figs. 7, 8, 15, 20, 28 and 44) and the mean precipitation compared with those of nearby meteorological stations. As a great part of the precipitation came in the form of local showers, the correlation with nearby stations is not so good in all periods. As a mean for the whole summer, the precipitation in the Ålfotbreen basin was almost three times larger than in the valley, and on Folgefonni the precipitation was 1.4 times greater than at the best correlated valley station. These results correspond very well to what was found in previous years.

On Vesledalsbreen the precipitation pattern is very much influenced by the wind conditions. When the wind blows from the north the largest precipitation is found in the lower part of the area, and the mean value is almost twice that measured in the valley. When the wind direction is southerly, there is a precipitation maximum on the central parts of the glacier and the precipitation is more than three times that in the valley.

In Jotunheimen the precipitation was very small and evenly distributed in the area of investigation. No comparisons with other stations were made.

Surveying and movement studies

Local triangulation networks have been established at all the glaciers where the Glaciology Section is conducting mass-balance studies. These local networks have been connected with the Norwegian official triangulation network, so that it has been possible to calculate the co-ordinates for all fixed points in the UTM system. In a previous report (Østrem and Pytte 1968) maps of the local networks at Storsteinsfjell, Nigardsbreen, Folgefonna and Alftbreen showed the locations of various triangulation points, and their co-ordinates were given in tables. In the present report similar maps are given (at the end of the report) showing the local triangulation networks at Gråsubreen, Austre Memurubre and Vesledalsbreen. In the tables printed adjacent to the maps the UTM co-ordinates are given for all triangulation points. Furthermore, as last year's co-ordinate calculations for Alftbreen were based on some erroneous figures, a new map and a corrected table are also included.

The accuracy in the co-ordinates given is 0.1-0.5 m for the horizontal determination and up to 1.0 m for the vertical determination. For the purpose of glacier-movement studies, performed from the triangulation points, this accuracy is thought to be sufficient.

During the summer of 1968 a relatively large triangulation program was carried out to determine the annual ice movement at as many glaciers as possible. The results are shown on maps and in tables. For Gråsubreen, the most continental glacier under study, the bi-annual movement ranges from 0.3 m to 8.0 m. For Nigardsbreen the annual ice movement is of the order of 50-150 m. On Folgefonna, where many of the movement stakes are in the firn area, the bi-annual movement ranges from approximately 2 m to 35 m. On Alftbreen, which is situated in the maritime coastal area, it has proved very difficult to maintain the movement stakes on account of the huge winter accumulation. For three stakes that have been observed for three years, the ice movement showed surprisingly low values - only 5-7 m for these three years!

In addition to the horizontal movement studies, a vertical displacement study has been carried out on Folgefonna. Owing to the fact that long steel wires were drilled into the glacier, using a hot point, in 1963, it has been possible to keep a large number of points under continuous observation for several years.

The glacier surface has generally sunk during the years 1959-66, whereas the measurements for the last two years show a rising tendency above the 1300-m elevation. The results of the vertical-displacement studies, corrected for oblique movement of the measuring stakes, are presented on a map (see Fig. 65)

Glacier-mapping

During recent years most of the glaciers selected for mass-balance studies have been covered by special glacier maps. These maps were constructed from vertical air photographs, not more than 5 years old, and the maps were produced at a large scale. For most glaciers a scale of 1:10,000 was selected, but for some glaciers a scale of 1:20,000 was selected, owing to the size of the glacier.

In 1968, two glaciers in the eastern central part of Jotunheimen were mapped from vertical air photographs taken on 21 July 1966. The air photographs were originally taken for the Norwegian Geographical Survey to form a basis for a new, modern, topographical map series (1:50,000) of this part of southern Norway. Thus, the plotting could be carried out independently for the purpose of making a glacier map. Consequently, particular glaciological features could be emphasized in the plotting procedure. Crevassed areas, moraine cover and predominant boulders are marked separately in the maps. A large number of spot elevations are given for points that may be valuable for navigation and triangulation on the glacier. Ice-free areas were plotted with a minimum of generalization.

The accuracy is estimated to be better than 2 m in relative height determination and better than 5 m in absolute height determination, whereas the maximum error in horizontal determination is less than 5 m.

UTM co-ordinates (zone 32) and some geographical co-ordinates are plotted in the map frame.

The two maps are included as enclosures in the pocket in the back cover of this report.

Correlation studies and regression analysis

Introduction

Visual inspection of diagrams showing daily mean air temperature, precipitation and water discharge from a glacier may give a subjective impression of the relationship between the discharge and various meteorological parameters. Such a study was carried out on Canadian glaciers (Østrem 1966) and later discussed by Paterson (1966) and Østrem (1966). On the basis of this discussion, a method has been developed for correlation studies of river discharge and meteorological parameters in highly glacierized basins.

It is assumed that there is a linear correlation between the daily water discharge in the glacier stream and various meteorological parameters (for example, daily mean air temperature, precipitation and wind speed on the same day or one or two days before).

A stepwise regression analysis (for details in the special program used in this study, see Wøien 1966) selects the most significant parameters to describe the variation in discharge, and separate equations are given for one, two or more independent variables included in the regression. The computer print-out also gives a list of correlation co-efficients between all the variables included in the regression. For this report some of these co-efficients were selected and are presented in the tables marked B; altogether there are five such tables, one for each glacier basin under study. Similarly, a selection was made among the regression equations, so that only those which are based upon one, two or three independent variables we presented in the report. They are given in the tables marked C.

The analysis was based upon daily mean figures for temperature, wind speed, cloudiness, precipitation and discharge. The last-mentioned is regarded as the dependent variable, whereas all the others are independent variables.

Results

The analysis comprises data from the following glaciers:

(1) Alftobreen, (2) Erdalsbreen, (3) Vesledalsbreen, (4) Nigardsbreen, and (5) Memurubreen. For each of these glacier basins, an attempt has been made to use meteorological data both from standard meteorological stations in the area and data collected by the field parties working at the glacier during the summer season. In the analysis certain symbols are used and a tabel of **these** symbols, as well as the locations of the various observation points, are given in the tables marked A. The computed mean values and a few temperature lapse rates are also given.

As the melt-water may take a long time to reach the gauging station in the glacier stream, it was decided to include observations from one or two days before the actual discharge measurements were made in the river. For the glacier with the longest drainage distance, Nigardsbreen, it was obvious that a temperature observed two days earlier was better correlated with the discharge than the temperature observed on the same day.

Alftobreen

The water discharge is recorded by an automatic gauge. The total drainage

area, 8.6 km², is covered by 4.7 km² of glacier, which gives a glacierization percentage of 55. The mathematical analysis comprises daily observations from 2 June to 3 October, i. e. 124 consecutive days. The standard meteorological stations, although located at low altitudes in the valleys and thus receiving far less rain than the glacier, showed a good correlation co-efficient between the values measured at the glacier and those measured at the valley station (0.81). Further, a good correlation was found between the daily mean temperature noted in Førde and that noted at the glacier (0.85).

The water discharge in the glacier river was best correlated with the mean wind speed, as observed one day before (0.68), whereas the air temperature in Førde gave the second-best correlation co-efficient (0.55). For 3 days' consecutive means, the wind speed one day before and on the same day gave the highest co-efficients (0.75 and 0.65), whereas the temperatures showed poor correlations.

In spite of the fact that the summer of 1968 had unusually sunny, warm weather, it is obvious that the discharge was not very well correlated with the air temperature or cloudiness data. This is in sharp contrast with the conditions found at glaciers in continental areas, where the temperature has a great influence on discharge variations.

Alfotbreen is situated in an extremely humid area and it seems that the wind is the most predominant factor for glacier melting. Moist air masses will condense at the glacier surface, thus releasing energy that is used for glacier melting. This will produce a large amount of melt-water in the stream. It is planned to study more closely the influence of air humidity on glacier melting in this area.

Erdalsbreen.

The meteorological observations at the glacier front did not yield good correlations with the water discharge from the glacier, but similar observations from the adjacent Vesledalsbreen (both the tongue and the firn area), as well as data from the standard meteorological station at Oppstryn, gave better results. Also in this case the mean wind velocity was best correlated with the water discharge (0.56). In 1967, the precipitation proved to be the meteorological factor that had the greatest influence on river discharge. In 1968, the precipitation was unusually low (daily mean 1.9 mm as against 4.9 mm in 1967). None of the correlation co-efficients showed any high values this year.

Vesledalsbreen.

The main difference between Vesledalsbreen and Erdalsbreen, apart from the size (4 km² and 12 km², respectively), is the elevation interval. Vesledalsbreen extends from 1125 to 1600 m a. s. l., whereas Erdalsbreen covers the much greater elevation interval from 865 to 1750 m. The results of the mathematical analysis also show a definite difference between these two glaciers. The water discharge is definitely best correlated with temperature observations at Vesledalsbreen. The daily mean wind velocity has a correlation co-efficient as low as 0.49, whereas the air temperature measured at the tongue gave a co-efficient of 0.83. Almost opposite conditions were found for Erdalsbreen. When the regression equations were computed for the water discharge from Vesledalsbreen, the daily wind speed was not included (see Tabel 3 C).

Nigardsbreen.

Also in this case the air temperatures shows the best correlations with the water discharge. The temperature measured at a standard meteorological station close to the glacier front (Bjørkehaug) gave a correlation co-efficient as high as 0.80. When the regression equations were computed, the air temperatures were selected for the equations in cases in which only one or two independent variables were included; for the equation containing three variables, the cloud cover was selected as the third variable.

Instead of using the daily mean temperature (t) as one of the independent variables, an attempt was made to introduce new variables, such as $t^{1.1}$, $t^{1.2}$, $t^{1.3}$, etc. It was then found that the term $t^{1.1}$ gave a better correlation than t itself. This may indicate that the correlation between water discharge and air temperature is not linear, i. e. temperature variations on warm days produce relatively larger discharge variations than on cool days. However, as we have not taken the area distribution of the glacier into account, it may be that this apparent irregularity will disappear if the glacier-area variations with height are included in the regression. Further studies are being made on this particular point.

Memurubreen.

During the summer of 1968 a new observation hut was built in the firn area of the glacier, but, as routine observations started late in the summer, it was decided to use the meteorological observations made at the old hut below the glacier front. In addition, temperature and precipitation data from two standard meteorological stations were included in the analysis. Daily mean

air temperatures measured at one of the meteorological stations one day before and temperatures measured at the hut one or two days before showed the best correlation with water discharge. Although the wind velocity had a very poor correlation, it was included when the regression equations were computed.

A similar study to that made for Nigardsbreen was also carried out for Memurubreen. In this case the term $t^{1.5}$ showed a better correlation than the temperature itself. An attempt will be made to explain this by introducing the glacier-area variations with height in the analysis.

It is assumed that a similar study, carried out for the same glaciers over a series of years with varying meteorological conditions, will form a basis for future discharge predictions. It is hoped that general formulas can be developed for each glacier basin, in order to make possible a short-term runoff prediction and thus facilitate the economical operation of the hydro-electric power stations involved.

Sediment transport in selected glacier streams

The utilization of the Norwegian mountain streams for electricity production has now reached a stage when highly glacierized areas must be considered as possible water resources for future power stations. This involves various problems, one being the special hydrological conditions in glacier streams and another the sediment load in such streams.

The amount of suspended material carried by a glacier stream is easier to determine than the amount of bottom load. This report deals mainly with the suspended material, as found in four selected glacier streams.

The sediment studies that started in 1967 were continued and enlarged in 1968; in addition to the three streams studied in 1967, a new program of sediment studies was started at Nigardsbreen in 1968.

Water samples were collected in one-litre bottles in extremely turbulent sections of the river, thus assuring the relatively good representativeness of the samples. The water was filtered in the field and the filter papers sent for ashing in the laboratory. Only inorganic particles were therefore included in the study. It is supposed, however, that the amount of organic matter in the river is very small, close to the glacier.

Erdalsbreen

The glacier river running from Erdalsbreen, an outlet glacier flowing from Jostedalsbreen towards the north-west, drains an area of 16 km², of which 11.2 km² is glacier-covered. The water discharge and sediment content were continuously observed from 25 June to 7 September 1968. Water samples were taken 5-6 times a day, although hourly samples were taken during periods of high water discharge. The results are graphically demonstrated in Figure 70. The total sediment transport, i. e. generally particles that were carried in suspension, amounted to 6300 metric tons. Most of this material or (70 per cent) was moved by the river during the high-water period 2-4 July. This fact demonstrates the importance of taking continuous samples throughout the entire melting season. In one single day, 3 July, as much as 1800 tons of sediment were transported by the river. The maximum sediment concentration was then as high as 3800 mg/l, whereas the minimum concentration, 19 mg/l, was found two weeks earlier.

If the total amount of material had originated from one year's erosion, this glacier would have eroded 0.3 mm under its entire surface (11.2 km²).

Vesledalsbreen

This small outlet glacier from Jostedalsbreen flows in a valley adjacent to that of Erdalsbreen. Its area totals 4 km², and its length is approximately 3 km. The total drainage area for the glacier stream is 7.2 km², of which 56 per cent is glacier-covered. Continuous water sampling was carried out for almost 3 months in 1968. Five or six water samples were taken every day, except during periods of high water discharge, when sampling took place. In addition to these samples, which were taken at the glacier front, daily water samples were taken 700 m further down the glacier stream, where it enters a small lake (Vesledalsvatn). A study of the sedimentation in this lake was made possible by simultaneous sampling at the lake outlet.

The total amount of sediment carried in suspension from Vesledalsbreen was only 300 tons, of which 47 per cent was transported in the period 2-4 July. In 1967, twice the amount of sediment was observed to pass the same sampling site. If the above-mentioned amount of sediment had originated from one year's erosion, this glacier would have eroded only 0.03 mm in 1968. Compared with Erdalsbreen, which is located in the same climatological environment and probably rests on similar bedrock, Vesledalsbreen produces only one-tenth of the material delivered by Erdalsbreen (calculated per km² of glacier-covered ground). Sixty-five per cent of the sediment that was measured at the glacier front was deposited in the little lake.

Austre Memurubre

Austre Memurubre is a medium-sized corrie glacier, located in a relatively continental part of Jotunheimen. The melt-water drains off in several streams, so that the water discharge has to be measured and water samples have to be taken 1.5 km downstream, where all the melt-water collects in one single channel. The drainage area for this measuring site is 15.9 km², of which 9 km² is glacier-covered. Continuous observations of water discharge and sediment transport were made from 21 June to 5 September 1968.

Each day 2-4 samples were taken and hourly sampling was carried out during periods of high water discharge or when the river seemed to be unusually silty. The total amount of sediment carried in suspension was 3300 tons in 1968. During the high-water stage (2-4 July) 40 per cent of the total was carried past the measuring station. The sediment concentration showed very large variations; the ratio between the highest and the lowest observed concentration was 350, whereas the corresponding ratio between the highest and the lowest water discharge was only 17.

The total amount of sediment carried by the river at the measuring site is not a direct measure of the erosion of the bedrock caused by Memurubreen. Between the glacier front and the measuring site some material will definitely accumulate and this material may later be eroded by the river, especially by rising water stages. Nothing definite can therefore be said about the erosional effect of Austre Memurubre.

A few measurements were also made in the melt-water stream running from Vestre Memurubre. Also in this case it is necessary to carry out the sampling more than 1 km from the glacier front. Owing to local conditions, it proved difficult to obtain reliable data for the total sediment transport from Vestre Memurubre, but it is obvious that its melt-water generally has a lower sediment concentration. The highest concentration was found during the peak water discharge at the beginning of July. It was then 1030 mg/l, whereas the water from Austre Memurubre contained a maximum of 2400 mg/l at the same time.

Nigardsbreen

With its 40-km² glacier-covered area, this outlet glacier from Jostedalbreen is the largest one that has been studied, as regards sediment production. Large masses of ice drain through a relatively narrow and steep valley, so that effective erosion may be expected under the lower part of the glacier. The

glacier stream drains almost directly into the Nigardsvatnet lake, where sedimentation studies have been performed (see the following section for this special investigation). Water samples were taken from 19 June to 2 September 1968 at the glacier front and at the lake outlet. The water discharge was continuously recorded by an automatic gauge in the lake. The total amount of sediment carried in suspension by the river into the lake was almost 4400 tons. The total amount of sediment carried out from the lake was 1400 tons. This means that 70 per cent of the fine material settled in the lake.

The variations in water discharge and sediment concentration, both at the glacier front and at the lake outlet, as well as the daily sediment transport, are shown in Figure 80.

Nigardsvatnet, a natural sedimentation basin

Electricity production in Norway has hitherto been based upon rivers with sediment-free water. During recent years, however, partly glacierized mountain areas have been considered for electricity production. Many of the main streams in these areas carry a heavy load of sediment, which will undoubtedly introduce new problems for the engineers. It may be necessary to build special reservoirs, in which the coarse sediment is allowed to settle before the water is used in the power-production system. The sizes of such reservoirs must be determined according to the amount of sediment, the particle-size distribution, and the mean water discharge. Theoretically, a rock fragment with a size of 0.01 mm that is carried in a laminar stream that has a horizontal velocity of 1 cm/sec will need a reach of 2000 m to settle 10 m. Natural river conditions will not normally be so simple, on account of turbulence. Thus, it will be almost impossible to calculate the ideal dimensions for an artificial sedimentation basin that will collect a given proportion of the sediment.

Large dams that have been built in other countries for electricity production show surprisingly high rates of sedimentation. The Yasuoka Reservoir on the Tenryu River in Japan had a capacity of 50 million m³ when it was built, but after 13 years it was filled up to 85 per cent by river sediments. The famous Hoover Dam in Colorado (capacity 75,000 million m³) will be completely filled in approximately 400 years.

The sediment transported by the river is of two main kinds:

- (1) Small particles that will be carried by the water in suspension.
- (2) Particles that are moved along the river bottom.

The amount of material carried by the river in suspension can be relatively easily measured by taking water samples (see the previous section on sediment-transport studies). It is far more difficult to measure the amount of material moved along the river bottom. However, in the case of Nigardsvatnet, a lake that has been uncovered by the glacier during recent years, a delta is now being formed by such material. Thus, it is possible to make direct observations of the increasing volume of the delta. This forms a basis for calculations of the amount of bottom-transported material in the glacier stream.

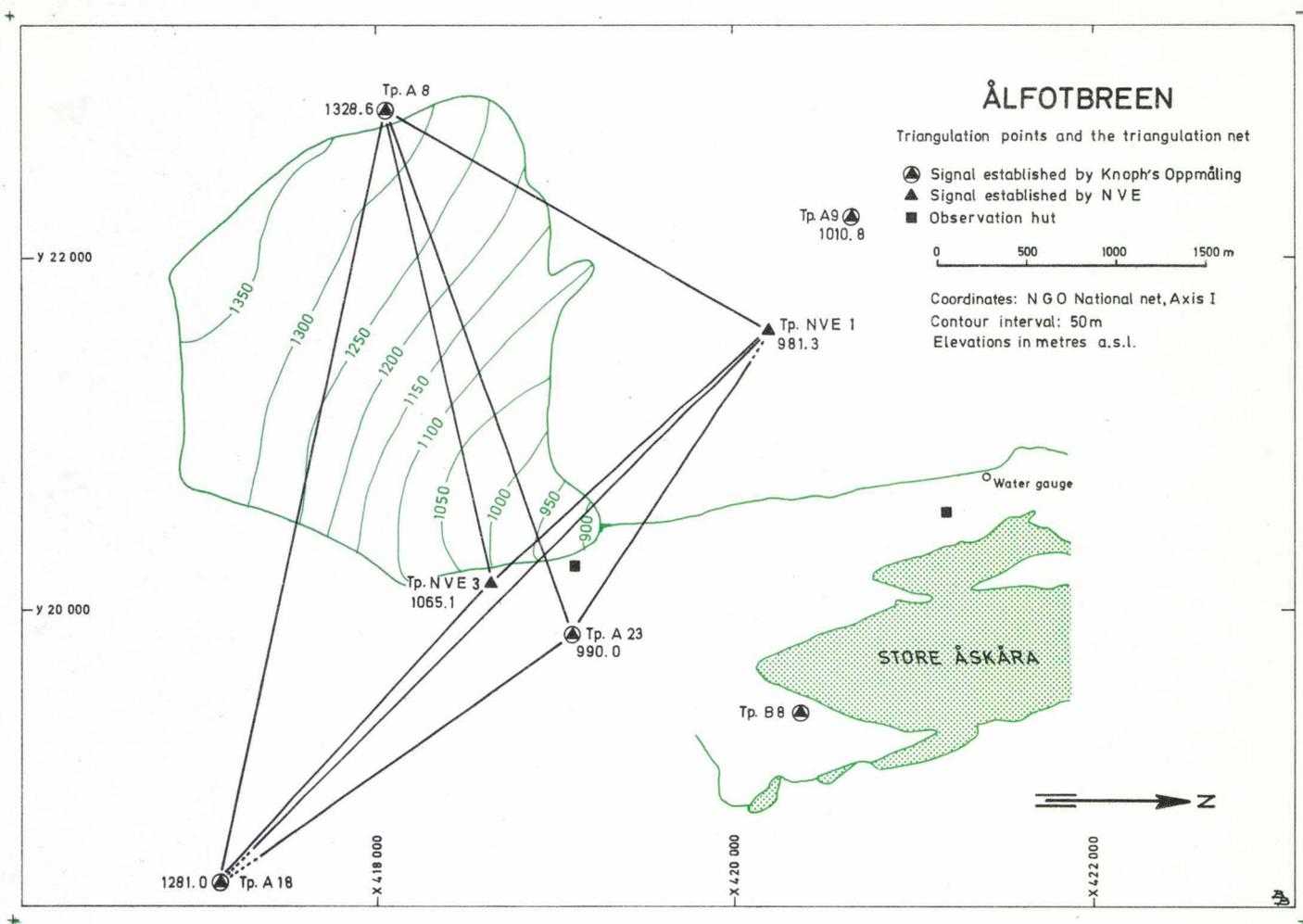
A detailed study of the rate of sedimentation in the lake was started early in 1968. This study included core-sampling from the lake bottom and a very detailed survey of the bottom topography. Parallel with these studies, a sampling program was started, to determine the total amount of suspended sediments that was carried into the lake and out of the lake by the river. These studies showed that 70 per cent of the fine material was deposited on the lake bottom, forming a layer 3-5 mm thick. A simultaneous study of the growth of the delta indicates that a layer 26 cm thick is deposited in the inner part of the lake, i. e. the part that is closest to the glacier. A very accurate survey of the delta was made late in 1968, so that the total accumulation of coarse material can be determined in 1969. It is planned to include a direct measurement of the coarse material moved along the river bottom.

A map of the lake and the main triangulation points is shown at the end of this report. The local triangulation network has been connected with the Norwegian official triangulation network, and co-ordinates for some of the fixed points have been calculated in the UTM system.

LITTERATUR

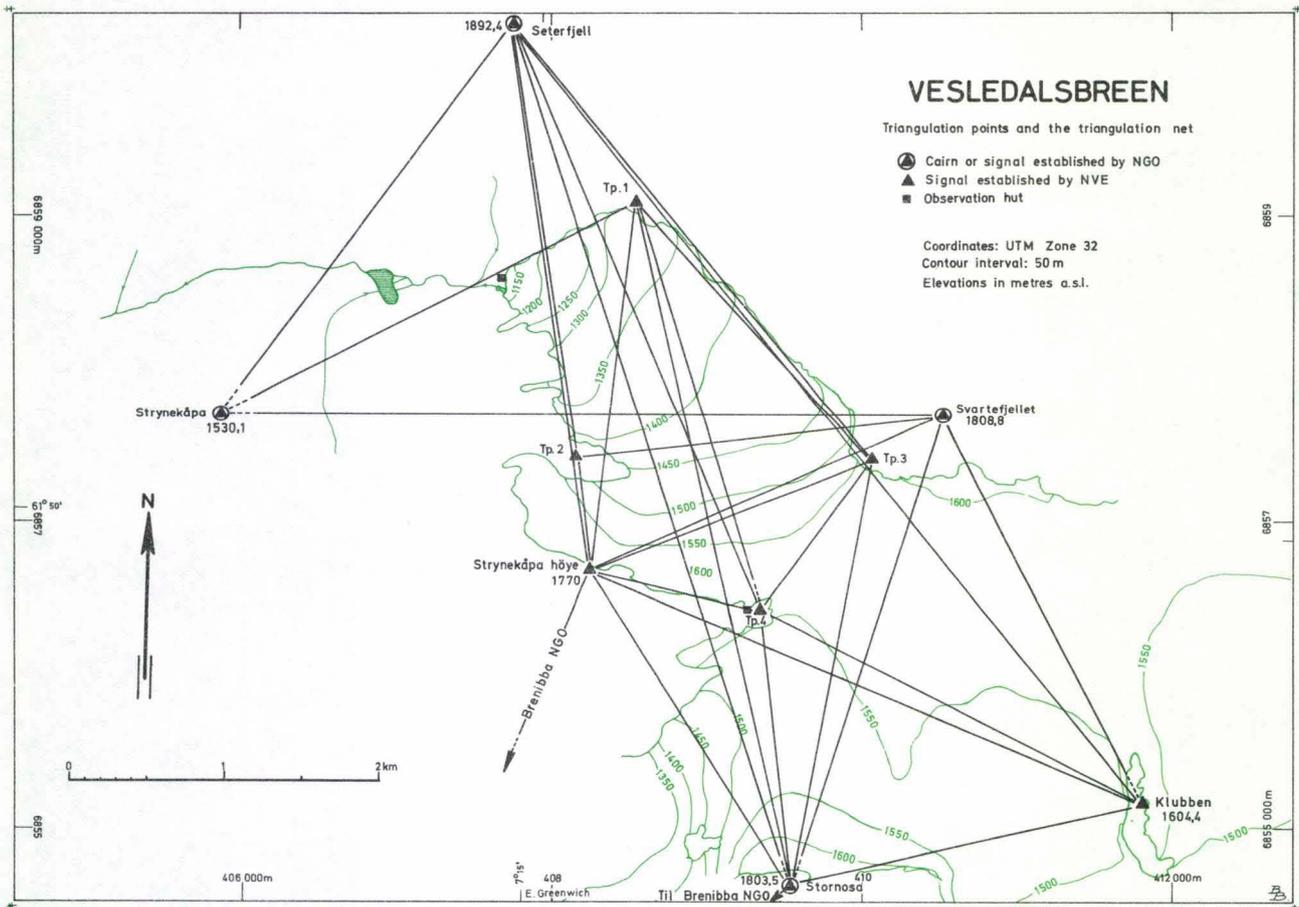
- Hatling, J. 1967: Geomorforlogi og slamtransport i Leirdølas nedslagsfelt. Hovedfagsoppgave ved Geogr. Inst., Universitetet i Oslo (upublisert). 106 p. + ill.
- Paterson, W. S. B. 1966: Mass balance studies in Western Canada 1965. Comments, Geogr. Bulletin 8, 383-385.
- Pytte, R. 1967: Glasio-hydrologiske undersøkelser i Norge 1966. Rapport nr. 2/1967 fra Hydrologisk avdeling, Norges vassdrags- og elektrisitetsvesen. Offset, 83 p. (With an English summmary)
- Pytte, R. og Liestøl, O. 1966: Glasio-hydrologiske undersøkelser i Norge 1965. Årsrapport fra Brekontoret, Hydrologisk avdeling, Norges vassdrags- og elektrisitetsvesen. Offset, 64 p. (With an English summary)
- Pytte, R. og Østrem, G. 1965: Glasio-hydrologiske undersøkelser i Norge 1964. Meddelelse nr. 14 fra Hydrologisk avdeling, Norges vassdrags- og elektrisitetsvesen. 91 p. + kartbilag. (With an English summary).
- Rogstad, O. 1941: Jostedalsbreens tilbakegang. Norsk Geogr. Tidsskr. 9, (1940-41), 273-293.
- Rogstad, O. 1951: Variations in the glacier mass of Jostedalsbreen. Journ. of Glac. 1, 551-556.
- Schytt, V. 1964: Scientific results of the Swedish glaciological expedition to Nordanstlandet, Spitsbergen, 1957 and 1958. Geogr. Ann. 44, 243-281.
- Sundborg, A. 1967: Some aspects on fluvial sediments and fluvial morphology. 1. General views and graphic methods. Geogr. Ann. 49A, 333-343.
- Smith, Vetter, Cummings and others, 1960: Comprehensive survey of sedimentation in Lake Mead, 1948-49. US. Geol. Survey, Prof. Paper 295.

- Tornås, S. 1968: Slamproblemer og sedimentasjonsstudier i en bresjø. Vannet i Norden 1, 1968, 25-30.
- United Nations 1953: FLOOD CONTROL SERIES, 5, New York
- Wehn, D. 1965: Vannførings- og slamundersøkelser i Nigardsbreens vassdrag. Hovedfagsoppgave ved Geogr. Inst., Universitetet i Oslo (upublisert) 94 s.
- 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, 383-385.
- 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)



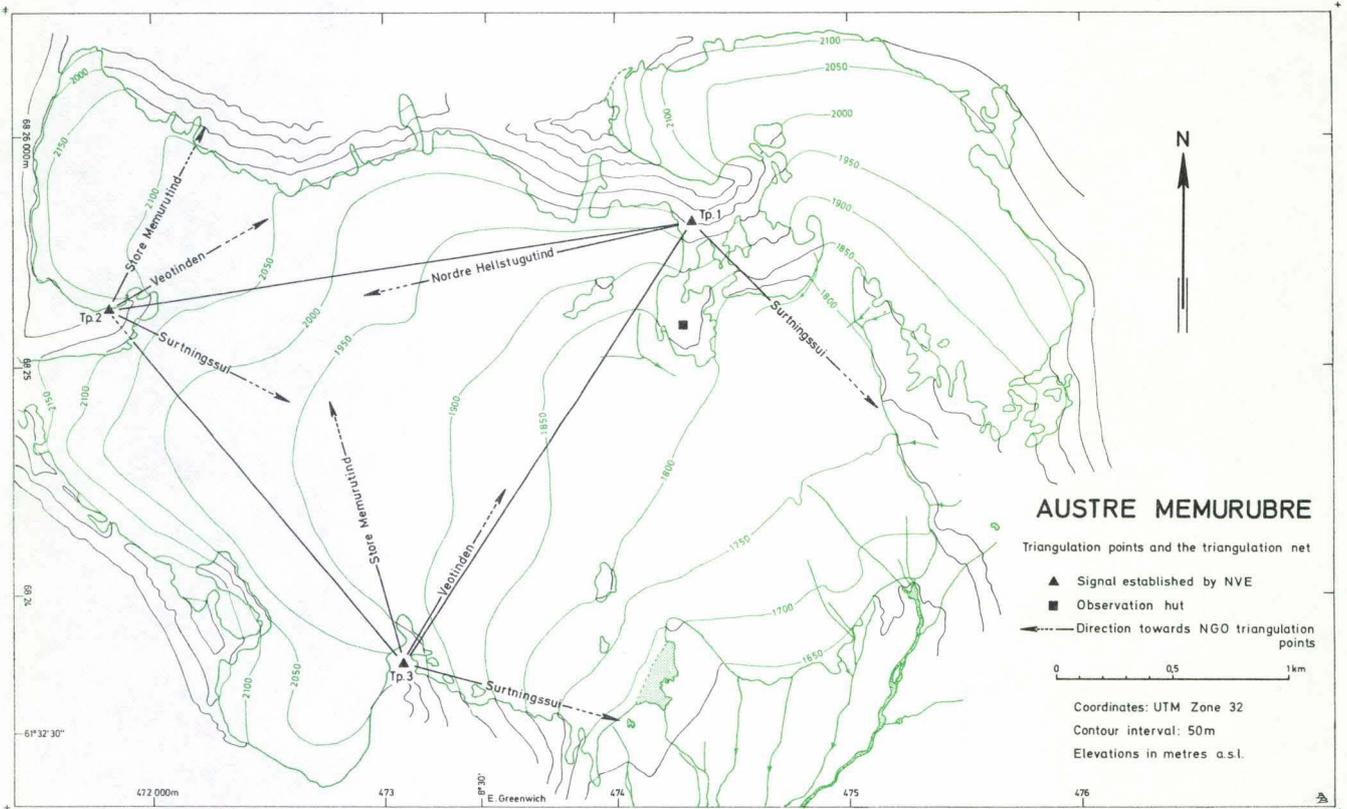
ÅLFOTBREEN

Navn	Koordinater i NGO Akse I gl. grunnlag		UTM koordinater Zone 32		Høyde	Signal- høyde	X, Y og Z refererer seg til:	Regnet av:
	X	Y	X	Y	Z			
Tp. A 8	418 098.14	-22 809.76	6 851 500.13	321 663.59	1328.60	2.30	Senter og topp bolt under bardunsignal med røys	Knoph
Tp. A 9	420 708.45	-22 235.28	6 854 081.69	322 355.66	1010.80	2.00	"	"
Tp. A18	417 155.88	-18 449.92	6 850 363.75	325 326.70 972.70	1281.00	2.00	"	"
Tp. A23	419 119.09	-19 893.88	6 852 387.99	324 622.63	990.00	1.96	"	"
Tp. B 8	420 402.41	-19 459.01	6 853.650.26	325 115.15		2.00	"	"
NVE 1	420 217.35	-21 628.21	6 853 564.96	322 938.40	978.86	2.00	Senter og topp bolt under stake	NVE
NVE 3	418 605.94	-20 152.34	6 851 887.09	324 341.21	1063.53	2.00	"	"

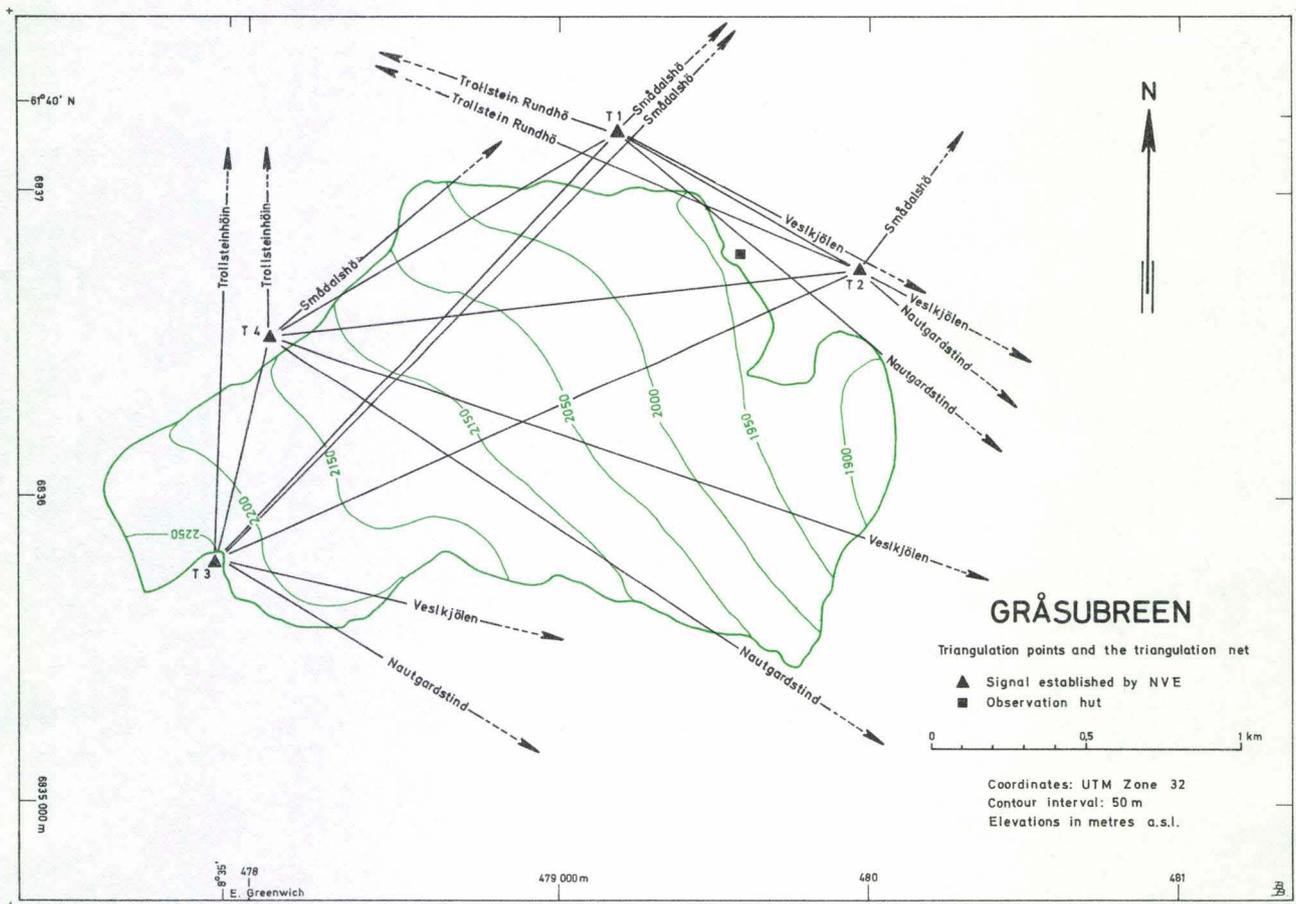


VESLEDALSBREEN

Navn	UTM koordinater		Høyde Z m o.h.	Signal- høyde m	X, Y og Z refererer seg til:	Regnet av
	X	Y				
Stornosi	6 854 626.75	409 520.01	1803.50	1.00	Senter og fot liten varde på høyeste topp	NGO
Svartefjell	6 857 707.10	410 510.34	1808.82	2.00	Senter og topp bolt under bardunsignal på høyeste topp	"
Seterfjell	6 860.883.10	407 829.07	1892.38	2.00	Senter og topp bolt under bardunsignal	"
Strynekåpa	6 857 724.18	405 830.94	1530.14	1.86	Senter og fot varde på høyeste punkt av nordvestre topp	"
Brenibba	6 849 474.98	404 789.97	2017.56	1.46	Senter og topp bolt under bardunsignal på høyeste topp	"
Klubben	6 855 179.67	411 818.94	1604.44	2.00	Senter og fot bolt under bardunsignal på sørligste og høyeste topp på skjæret.	NVE
Strynekåpa, høye	6 856 715.03	408 222.79	1772.90	2.00	Senter og fot bolt i stor stein på øst-siden av topplatået	"
Tp. 1	6 859 154.02	408 541.27	1427.74	2.00	Senter og fot bolt i fjell på liten hylle i skråningen	"
Tp. 2	6 857 435.41	408 067.87	1546.46	2.00	Senter og fot bolt i fjell på liten hylle i skråningen	"
Tp. 3	6 857 410.95	410 073.46	1623.56	2.00	Senter og fot bolt på avsats i fjellsiden	"
Tp. 4	6 856 474.02	409 239.62	1599.41	2.00	Senter og fot bolt ved termometerburet	"



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	"
Surtningsssui	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	6 825 249.91	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 rygg på stor flate	"

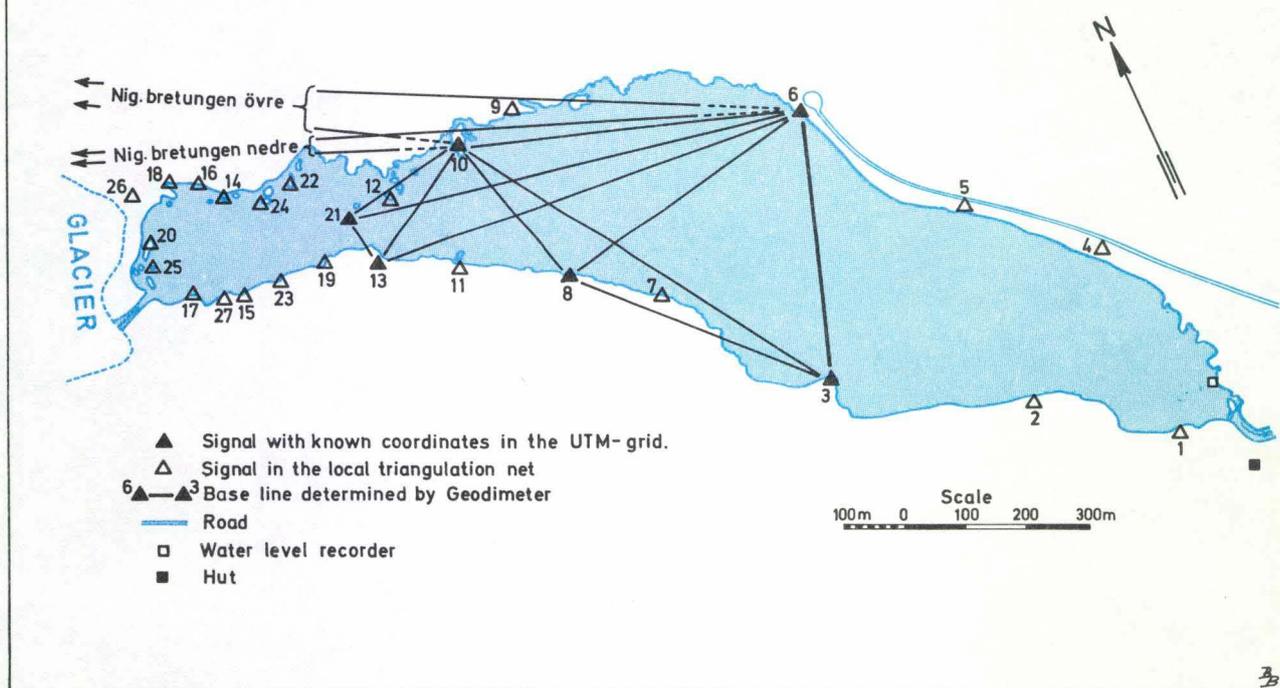


GRÅSUBREEN

Navn	UTM koordinater		Høyde Z m o.h.	Signal høyde m	X, Y og Z refererer seg til:	Regnet av
	X	Y				
Gjuvasshø	6 838 739.58	466 883.82	1880.47	-	Senter og topp bolt under bardunsignal	NGO
Memurutind, store	6 826 285.62	472 355.74	2364.21	-	Senter og fot varde	"
Nautgardstind	6 830 215.90	487.313.42	2257.69	-	Senter og fot gammel delvis utrast varde	"
Smådalshø	6 840 797.32	482 852.37	1889.75	-	Senter og topp varde	"
Styggehø	6 828 611.24	479 873.36	1882.84	1.91	Senter og topp bolt under bardunsignal	"
Trollsteinhøin	6 841 191.78	477 993.85	2202.92	1.92	Senter og topp kors av bardunsignal	"
Trollstein Rundhø	6 838 236.69	476 636.59	2170.19	1.87	Senter og fot varde på høyeste punkt	"
Veslkjølen	6 834 228.41	484 805.55	1796.06	1.95	Senter og topp bolt under bardunsignal	"
Tp. 1	6 837 184.72	479 182.47	1986.41	2.50	Senter og fot stake i boltehull	NVE
Tp. 2	6 836 747.18	479 981.16	1940.93	2.40	Senter og fot stake i boltehull	"
Tp. 3	6 835 790.46	477 896.22	2261.89	-	Senter svartmalt kors i fjell i varde	"
Tp. 4	6 836 504.00	478 062.03	2161.40	-	Senter og fot liten varde i skråningen	"

NIGARDSVATNET

Permanent signals and
triangulation net



Punkt nr	Koordinater i UTM, zone 32		Høyde topp bolt (over ref.nivå) (cm)	Beskrivelse
	X (m)	Y (m)		
1			337	Boret i sten
2			-	Al.stake i varde
3	6838847.98	406424.63	374	Boret i fjell.Endepkt.for basis
4			307	Al-stake i varde
5			110	Boret i sten
6	6839277.07	406566.31	229	" " Endepkt.for basis
7			175	Boret i fjell
8	6839182.52	406103.07	147	Boret i sten
9			202	Boret i fjell
10	6839458.92	406025.82	457	" "
11			753	" "
12			-	Tresignal på liten øy
13	6839338.60	405822.34	306	Boret i sten (rasfare)
14			206	Boret på liten øy
15			ca 300	Boret i fjell (rasfare)
16			105	" "
17			202	" "
18			246	" "
19			58	" "
20			178	" "
21	6839426.53	405805.07	113	" " på lite skjær
22			72	Øyebolt i fjell på lite skjær
23			-	Boret i fjell (rasfare)
24				" " på lite skjær
25				Øyebolt i fjell på deltaet
26				Øyebolt i stor blokk, stake på toppen av blokken
27				Boret i fjell(rasfare)