# NORGES VASSDRAGS-OG ELEKTRISITETSVESEN



# GLASIOLOGISKE UNDERSÖKELSER

RAPPORT NR. 2/71

VASSDRAGSDIREKTORATET

HYDROLOGISK AVDELING

OSLO NOV. 1971

# NORGES VASSDRAGS-OG ELEKTRISITETSVESEN



# GLASIOLOGISKE UNDERSÖKELSER

Redigert av Arve M. Tvede

Medarbeidere: Lars Kr. Dyrkorn, Olav Liestöl, Sigmund Messel, Lars Roald, Arve M. Tvede og Gunnar Østrem

RAPPORT NR. 2/71

VASSDRAGSDIREKTORATET

HYDROLOGISK AVDELING

OSLO NOV. 1971

#### FORORD

Foreliggende rapport fra Vassdragsvesenets breundersökelser 1970 kommer noe senere enn tidligere års rapporter. Grunnen til dette er at Randi Pytte, som tidligere redigerte disse rapportene, er gått over til et annet kontor ved Hydrologisk avdeling og cand.mag. Arve Tvede har overtatt arbeidet. Da han for tiden bare er engasjert på deltid, har dette nödvendigvis medfört en viss forsinkelse.

Årets rapport fölger stort sett oppsettingen fra tidligere rapporter. Nytt av året er resultatene fra Nord Norge, der undersökelser nu er igangsatt ved to breer (fra sommeren 1971 også en tredje bre) i området ved Svartisen. De to breene, Engabreen og Trollbergdalsbreen, er kartlagt i samband med undersökelsen og to nye brekart fölger derfor med denne rapport som bilag bak i boken.

Det glasiologiske arbeidet er i Sör-Norge som tidligere utfört av Vassdragsvesenets brekontor, undersökelsene i Svartisenområdet er utfört av hydrologer og teknikere som har Svartisen-prosjektets hydrologi som sitt spesielle arbeidsområde. De to nye brekartene er fremstilt som konsulentarbeid utenfor NVE.

Bremålingene bekostes dels av Hydrologisk avdeling som et ledd i de generelle undersökelser av breenes hydrologi, dels av Statskraftverkene som et ledd i planleggingen av framtidige brekraftverk, samt i et tilfelle av en konsesjonær i henhold til de alminnelige konsesjonsbetingelser. I foreliggende rapport finnes resultatene fra massebalanseundersökelser foretatt ved 8 breer i Sör-Norge og 2 breer i Nord Norge. Dertil er det også tatt med visse resultater fra Polarinstituttets målinger på Storbreen i Jotunheimen og cand.mag. Arve Tvedes egne undersökelser på Midtre Folgefonni (et ledd i en hovedfagsoppgave ved Universitetet i Oslo). Videre er de tidligere undersökelser av relasjonen mellom breavlöp og meteorologiske parametre fortsatt henimot en generell formel som tillater prognosering av breavlöpet. Tilslutt skal nevnes at strålingsmålinger ble igangsatt på 2 breer i 1970, resultatene av disse behandles i en egen artikel.

Det framgår av inneholdsfortegnelsen hvem som har skrevet de forskjellige avsnittene. Dertil kan nevnes at B. Braskerud har rentegnet illustrasjonene, delvis med hjelp av EDB maskinens plotter, og at fru A. Hertzberg har renskrevet og tilrettelagt materialet for offsetreproduksjon i Statskraftverkenes hustrykkeri. Sist, men ikke minst, vil jeg nevne at hovedmassen av de data som rapporten bygger på ble innsamlet av en rekke studenter som assisterte ved feltarbeidet.

Oslo i november 1971

Gunnar Östrem

### INNHOLD

			510
Materia	lhusholdningen og m	neteorologiske og hydrologiske	
undersö	kelser ved utvalgte	breer (Arve Tvede)	3
	Innledning		3
	Metodikk		5
	Ålfotbreen		8
	Vesledalsbreen		16
	Tunsbergdalsbreer	1	23
	Nigardsbreen		27
	Hardangerjökulen	(Olav Liestöl)	35
	Hellstugubreen	(Arve Tvede)	38
	Vestre Memurubre		41
	Austre Memurubre	e	43
	Gråsubreen		52
	Svartisen	(Lars Kr. Dyrkorn)	54
	Engabreen		56
	Trollbergdalsbreen	n	60
	En sammenlikning	av materialhusholdningen (Arve Tvede)	65
Glasi-n	neteorologiske under	sökelser i Sör-Norge (Sigmund Messel)	69
	Innledning		69
	Metoder og instrur	nenter	70
	Resultater		73
	Diskusjon		78
Breavlö	opet som funksjon av	meteorologiske parametre (Lars Roald)	80
	Innledning		80
	Metodikk		81
	Valg av meteorolog	giske parametre	82
	Resultater		83
	Diskusjon av liknir	ngen	97
	Konklusjon		98
Summa	ry (Gunnar Östrem)		99
Littera	tur		106
Bilag			108
	Kart over Engabre	en 1:20000	
	Kart over Trollber	gdalsbreen 1:10000	

Side

# MATERIALHUSHOLDNINGEN OG METEOROLOGISKE OG HYDROLOGISKE UNDERSÖKELSER VED UTVALGTE BREER

#### Innledning

I 1970 er det av Norges vassdrags- og elektrisitetsvesen foretatt glasiologiske undersökelser på 9 breer i Sör-Norge (fig. 1). Disse breene faller naturlig i 4 grupper, 1) Ålfotbreen, 2) Hardangerjökulen, 3) utlöpere fra Jostedalsbreen og 4) breer i Jotunheimen.

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

På Hardangerjökulen er materialbalansen målt på Rembesdalsskåki som drenerer til Simadalen og inngår i Eidfjord-anleggenes interesseområde. Undersökelsene, som ble igangsatt i 1963, bekostes av Statskraftverkene og utföres av Norsk Polarinstitutt.

På Jostedalsbreen er det i 1970 foretatt materialbalansemålinger på 3 forskjellige brearmer, Vesledalsbreen, Tunsbergdalsbreen og Nigardsbreen. På Nigardsbreen og Vesledalsbreen er det dessuten foretatt meteorologiske observasjoner, og avlöpet i breelvene er registrert. Arbeidet begynte på Nigardsbreen i 1962. I 1966 ble målinger igangsatt på Tunsbergdalsbreen, og i 1967 på Vesledalsbreen. Undersökelsene bekostes av Statskraftverkene.

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

Målingene på Hardangerjökulen blir som tidligere nevnt utfört av Norsk Polarinstitutt, de övrige av Hydrologisk avdelings brekontor.



I 1970 ble det også satt igang målinger av 2 breer i Svartisområdet, Nordland fylke. Undersökelsene er en del av Svartisundersökelsene som ledes av statshydrolog Lars Kr. Dyrkorn og bekostes av Statskraftverkene. Det er også meningen å utvide programmet med massebalansemålinger på en del av Högtuvbreen i 1971. Se fig. l

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

#### Metodikk

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

Målingene er i 1970 fortsatt etter tidligere års prinsipper som en har funnet hensiktsmessig ved praktisk bruk. Terminologien bygger på de retningslinjer som er utarbeidet av "Commission on Snow and Ice of the International Association of Scientific Hydrology" og offentliggjort av Unesco i 1969. Betydningen av de forskjellige termer og symboler er illustrert på fig. 2

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

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

Snöens tetthet måles bare i noen få punkter på breen, og fortrinnsvis i forskjel-



SS=time of formation of a summer surface

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

The balance as measured at a point is illustrated in relation to time. The terms used in the stratigraphic system are indicated in the diagram.

lige höydenivåer. Den vanligste metoden er å grave seg ned til sommeroverflaten og måle volum og vekt av snödekket med en stålsylinder som slås vertikalt ned i snöen. Er snödypet over 4-5 m blir denne arbeidsmåten vanskelig å praktisere og en er nödt til å ta opp snöpröver med et kjernebor for å kunne foreta tetthetsbestemmelse.

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

Som oftest vil det akkumulere endel snö på breen også etterat hovedmålingene er foretatt. Denne tilleggsakkumulasjonen kan enkelte ganger måles direkte ved målestakene, men vanligvis må den beregnes ut fra nedbör og temperaturobservasjoner på meteorologiske stasjoner nær breen. I årets resultater er vinterbalansen angitt som balansen målt ved hovedmålingene og tilleggsakkumulasjonen er beregnet for hver enkelt bre, med angivelse av beregningsmetode.

Sommerbalansen måles i utvalgte punkter på breen ved at de horisontale forandringer ved stakene registreres gjennom sommeren. Dette gjöres ved å ta parallelle målinger av stakenes lengde over breoverflaten og tettheten i den gjenværende snö og firn. Siste måling foretas normalt etterat neste balanseårs akkumulasjon har startet. Sommerbalansen målt ved stakene, overföres til et kart over det aktuelle breområdet og isolinjer gjennom punkter med lik sommerbalanse kan trekkes. Kartet kan så planimeterbehandles og de sökte verdier B<sub>s</sub> og b<sub>s</sub> beregnes. Sommerbalansen fordeler seg normalt mer regelmessig over breflaten enn vinterbalansen ved at den alltid vil synke med stigende höyde. Særlig utpreget er dette på de maritime breene hvor konveksjon fra varm luft yter et vesentlig bidrag til smelteprosessen. En nöyaktig måling av sommerbalansen kan derfor basere seg på langt færre punktmålinger enn vinterbalansen.

<u>Nettobalansen</u> beregnes som den algebraiske sum av vinterbalansen og sommerbalansen ( $b_n = b_w + b_s$ ) og er positiv i det tilfellet at breen har öket sin masse i löpet av balanseåret, negativ dersom breens masse er blitt mindre. Gjennom de punkter på breen hvor nettobalansen er null kan trekkes en såkalt likevektslinje.

Bearbeiding av målingene. Meget av utregningsarbeidet er tidkrevende når det skal gjöres for hånd. En pröver derfor å la den maskinelle bearbeiding overta planimetreringsarbeidet i störst mulig grad. Et dataprogram utarbeidet av sivilingeniör P. Solberg er tilpasset NVE's dataanlegg. Dette programmet vil planimetrere kartene over vinter- og sommerbalansen etterat disse er ferdig tegnet, beregne de tilhörende verdier og sette opp ferdige tabeller over de forskjellige balanseverdier. Det kan også nevnes at en iår har forsökt å orientere kartene likt, slik at nordretningen alltid er oppover arket. I noen tilfeller er det av plasshensyn ikke mulig å fölge denne generelle regel slik at nordretningen må legges i en mer tilfeldig posisjon.

#### Meteorologiske og hydrologiske observasjoner og beregninger

Disse er utvidet endel fra tidligere år ved at det iår er satt igang målinger av strålingsbalansen på den maritime Ålfotbreen og den mer kontinentale Austre Memurubre i Jotunheimen. Målingene er ment å skulle danne basis for en beregning av de forskjellige meteorologiske faktorers innflytelse på smelteprosessen, både som et gjennomsnitt for hele sommeren og i kortere perioder med forskjellige værforhold. Beregninger og presentasjon av materialet er utfört av cand. real. S. Messel og finnes på s. 69 i denne rapport.

Ellers er registreringer av skydekket, vindretning og styrke, lufttemperaturen og nedbör foretatt etter omtrent det samme mönster som tidligerear (se Pytte, 1970). Målinger av luftfuktigheten er iår utvidet til 4 breer i Syd-Norge og en bre i Nord-Norge. Det ble i fjorårets rapport angitt en ufullstendig beregningsmåte for vanndamptrykket. Den riktige skal være at metningsdamptrykket ( $e_s$ )

7

beregnes etter formelen :

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

Den relative fuktigheten (u) som registreres på hygrografen står i et forhold til vanndamptrykket (e) gitt ved  $u = \frac{e}{e_s}$ . Dögnmiddelverdien for vanndamptrykket er utregnet etter denne formel. De oppgitte verdier for vanndamptrykket i fjorårets rapport er riktige.

Avlöpet fra endel av de undersökte breene registreres ved limnigrafer. Dögnavlöpet er beregnet og satt inn i observasjonsdiagrammene sammen med de tilhörende meteorologiske observasjoner. Ellers er beregninger av sammenhengen mellom meteorologiske faktorer og avrenningen fra breen fortsatt som tidligere år. Behandlingen av materialet er iår utfört av cand.real. Lars Roald og resultatene er presentert i et eget kapitel på s.80

Alle observasjonsdiagrammer er iår tegnet maskinelt med kurveplotteren på NVE's dataanlegg. Programmet som utförer plottingen er utarbeidet av statshydrolog J. Andersen og metoden er arbeidssparende selv om endel ettertegning alltid vil være nödvendig for publikasjonsöyemed.

## Ålfotbreen

#### Materialhusholdningen.

<u>Vinterbalanse</u>. Förste besök denne vintersesongen fant sted 16. november. Det var da kommet 1,5 - 2 meter nysnö og 23 staker ble funnet og målt. Den 20.-21. januar ble breen besökt på nytt og det ble da tatt en fullstendig måling av balansen fram til dette tidspunkt. Talt ble det sondert i 165 pkt. langs 14,2 km sonderingsprofiler og snöens tetthet ble bestemt ved kjerneboring nær st. 4-66. Et akkumulasjonskart er tegnet og planimeterbehandlet. Til den 21. januar var det akkumulert 9,7  $\cdot$  10<sup>6</sup>m<sup>3</sup> vann eller spesifikt fordelt 2,06 meter (65 1/s km<sup>2</sup>). 9 staker ble funnet ved dette besöket, alle mer eller mindre nedböyet p.g.a. rim-dannelse og vind.

Den 7.-8. mai ble hovedmålingene av vinterbalansen foretatt. Det var pent vær under målingene og studier av snödekket i to sjakter (se fig. 3) viste at snöen var våt til 50 cms dyp på toppen av breen og til 280 cms dyp i 1050 meters höyde, mens resten av snödekket var tört ned til sommeroverflaten. Noen avrenning fra breen kan altså ikke ha foregått fram til dette tidspunkt. Ialt ble det tatt 140 sonderinger langs de samme profilene som i januar. Dette gir 30 sond/km<sup>2</sup>.



Part of ÅLFOTBREEN 1970

Position of stakes, pits and sounding profiles

Fig. 3 Beliggenheten av staker, sjakter og sonderinger på Ålfotbreen 1970.

> The location of stakes, pits and soundings on Ålfotbreen 1970

Part of ÅLFOTBREEN 1970

Winter balance in cm of water equivalent



Fig. 4 Kart over vinterbalansen 1970 Map showing the winter balance 1970

Vinterbalansen er beregnet til 12,  $5 \cdot 10^6 \text{m}^3$  vann som jevnt fordelt på breen utgjör et 2, 59 m tykt vannlag. (82 1/s km<sup>2</sup>).

Beregninger av den akkumulerte snömengde kan iår gjöres i 3 forskjellige tidspunkter utover vinteren – henholdsvis 16. november, 21. januar og 9. mai. Den förste beregningen baserer seg på snödypet målt ved 23 staker og tetthetsmåling ved st. 4-65. Disse stakene står jevnt fordelt over hele breflaten og alle höydenivåer er representert. Balansen for 21. januar og 9. mai er som tidligere nevnt, beregnet ut fra sonderinger av snödypet og parallelle tetthetsmålinger.

I tabellform er nedenfor satt opp den tilbakelagte del av vintersesongen, akkumulert snömengde i cm vannverdi og balansen på det gitte tidspunkt i prosent av den totale vinterbalanse. Vintersesongens begynnelsesdato er tidligere beregnet til 25. oktober (Pytte, 1970) og avsluttningen er satt til 9. mai. Tilsammen blir dette 195 dögn med akkumulasjon på breen.

	l6. november	21. januar	9. mai
Akk.snömengde i cm vannverdi	64	206	259
% av vintersesongen tilbakelagt	16	45	100
% av total vinterbalanse falt til dette tidspunkt	25	80	100

9



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

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.

Det alt vesentlige av vinternedbören kom altså för halve vintersesongen var gått. Ökningen fra 21. januar til 9. mai utgjorde bare 20% av den totale vinterbalanse, eller ca. 1-1,5 m snö. Til tross for dette forsvandt ytterligere 7 staker på breen i samme tidsrom slik at ved vintersesongens slutt var bare 2 staker av de opprinnelig 23 synlig.

Höyde	Areal	V	interbala	nse	So	mmerbal	anse	Nettobalanse		
intervall	S	B		b	B		b s	B	}	on y
mo.h.	km <sup>2</sup>	$10^{6} \text{m}^{3}$	·m	l/s km <sup>2</sup>	$10^{6-3}$	m	$1/s \text{ km}^2$	$10^{6} m^{3}$	m	$1/s \text{ km}^2$
1350-1378	0.274	0.734	2.68	85	0.799	2,88	91	-0.065	-0.20	- 6
1300-1350	1.014	2.677	2.64	83	3.043	3.00	95	-0,366	-0.36	-12
1250-1300	0.808	2.163	2.67	84	2,724	3.87	106	-0.561	-0.70	-22
1200-1250	0.754	1.996	2.63	83	2.986	3.96	125	-0.990	-1.33	-42
1150-1200	0.672	1.673	2.50	79	2.830	4.21	133	-1,157	-1.71	- 54
1100-1150	0.544	1.351	2.48	78	2.423	4.45	141	-1.072	-1.97	-63
1050-1100	0.356	0.870	2.44	77	1.685	4.73	149	-0.815	-2.29	-72
1000-1050	0.224	0.538	2.40	76	1.105	4.93	156	-0.567	-2.53	- 80
950-1000	0.128	0.369	2.88	91	0.632	4.94	156	-0.263	-2.06	- 65
900- 950	0.046	0.144	3.13	99	0.224	4.88	154	-0.080	-1.75	- 5 5
870- 900	0.004	0.014	3.50	11	0.020	4.88	154	-0.006	-1.38	-143
870-1378	4.824	12.529	2.60	82	18.462	3.83	121	-5.933	-1.23	-39

#### ÅLFOTBREEN 1970

Т

Sommerbalanse. Sommerobservatörene kom til stedet i slutten av mai og förste stakeavlesning ble tatt 31. mai. Balansen var da overalt mindre enn 9. mai og hadde minket med fra 35 cm vannverdi nederst på breen til 1 cm på toppen. Stakene ble avlest ca. hver 5. dag utover hele sommeren. Siste avlesning för observatörene forlot stedet, ble tatt 13. september. Neste besök fant sted 11. oktober. Breen var da dekket med nysnö höyere enn ca. 1050 m o.h., men det var minusgrader i hele området. Målinger foretatt 15. desember viser også at det ikke hadde vært ytterligere ablasjon etter 11. oktober. Vintersesongens avsluttning kan settes til ca. 1. oktober.

Det falt små mengder sommerakkumulasjon på breen 1.-3. juni, enkelte dager i förste halvdel av juli og fra 2.-6. september. I september kom det opptil 30 cm nysnö, men alt smeltet bort igjen för observatörene forlot breen. Noen tilfredsstillende beregning av sommerakkumulasjonen har det ikke vært mulig å gjöre.

Sommerbalansen er beregnet til  $18, 5 \cdot 10^6 \text{m}^3$  vann eller spesifikt fordelt 3,83 m vann. Dette gir en avrenning fra breen på 121 l/s km<sup>2</sup>. Sommerbalansen avtar jevnt oppover breen, men har sin störste verdi ca. 1000 m o.h., i et område på breen med lite akkumulasjon hvor breisen tidlig eksponeres.

<u>Nettobalanse.</u> Denne ble også iår negativ over hele breen, dvs. at hele vinterens akkumulasjon smeltet bort. Store deler av breoverflaten besto sent på sommeren av is (fig. 7) slik at sprekkeområdene ble avdekket. Likevektslinjen lå litt höyere enn breen og ved å ekstrapolere nettobalansekurven på fig. 5 fås verdien 1400 m o.h.

Massebalansen viser dette året et underskudd på  $6,0 \cdot 10^6 \text{m}^3$  vann, spesifikt fordelt 1,24 m. Breen har altså også iår gitt ekstra vanntilsig til vassdraget og i middel utgjör dette 39 1/s km<sup>2</sup>. De to siste årene har den undersökte delen av Ålfotbreen hatt et nettotap på 16,5  $\cdot 10^6 \text{m}^3$  vann. Bremassen har jevnt over tapt is og firn tilsvarende et vannlag på 3,41 m tykkelse. De kvantitative resultatene vil kunne finnes i tabellen på side 10 og fig. 5

#### Meteorologiske og hydrologiske observasjoner

<u>Sky- og vindforhold.</u> Observatörene kom til breen i slutten av mai og observasjonsperioden strekker seg fra 1. juni til 14. september. I denne tiden var det helt overskyet 46 dager, halvskyet eller klarere 31 dager hvorav 14 var helt skyfrie. Det midlere skydekket var i juni 4,7, i juli 8,5, i august 6,6 og i sep-







The results of the daily meteorological and hydrological observations at  ${\rm \AA lfotbreen}.$ 



Fig. 7 Ålfotbreen 24. august 1970. Bare små rester av årets snö var da igjen. Ålfotbreen, August 24, 1970. Nearly all the snow had disappeared at this time.

tember 9,7. Midlet for hele perioden (106 dögn) ble 7,0. Juni var den måneden som hadde best vær med hele 8 dager uten skyer.

Vindstyrken ble målt ved observasjonshytta. Den kraftigste vinden ble registrert 30. juli og dögnmiddelverdien var da 12,5 m/s. Laveste dögnmiddelverdi ble målt 13. juni til 1,15 m/s. Midlere vindstyrke for hele observasjonsperioden ble 6,0 m/s. Middeltallene for hver måned ligger meget nær hverandre og varierte mellom 5,83 m/s og 6,28 m/s. Dette skyldes delvis den sterke brevinden som ofte oppstår under ellers rolige og gode værforhold. Denne vinden registreres ved observasjonshytta og medvirker til at vindstyrken her varierer mindre enn hva som er tilfellet ved de andre observerte breene.

<u>Temperaturforhold.</u> I hele observasjonsperioden var det ingen dager med dögnmiddeltemperatur under 0°C. Laveste verdi, 0,9°C, ble målt 6. september, mens den varmeste dagen var 9. juli da middeltemperaturen kom opp i 13,2°C. Månedsmiddeltemperaturene er utregnet og ble 8,1°C i juni, 5,9°C i juli, 8,0°C i august og 4,8°C for september (1.-14.). Gjennomsnittstemperaturen for hele perioden, 1. juni - 14. september, ble 7,0°C. Som tidligere år, er temperaturen registrert ved breen sammenliknet med temperaturen målt i Förde, 35 km sydöst for Ålfotbreen. De tilsvarende månedsmiddeltemperaturene i Förde ble 16, 2°C, 13, 4°C, 15, 2°C og 11, 1°C. Temperaturgradientene mellom Förde og observasjonshytta er satt opp i nedenforstående tabell sammen med de tilsvarende resultater fra 1969.

	Juni	Juli	August	September	Juni - September
1969	0,75	0,82	0,76	0,63	0,74
1970	0,90	0,83	0,80	0,70	0,82

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

Gradienten er iår gjennomgående höyere enn hva den tidligere har vært, uten at det kan gis noen fyllestgjörende forklaring på dette.

<u>Nedbörsforhold.</u> Nedbören er iår målt på færre steder enn tidligere. En har etterhvert fått et ganske godt bilde av nedbörens fordeling både på breen og i den brefrie delen av nedslagsfeltet. (Se Pytte, 1967, 1968, 1969 og 1970). Det var derfor oppstilt målere bare 8 steder på eller like ved breen (fig. 8 ). I tillegg er nedbören målt to ganger i dögnet ved observasjonshytta. Her ble det oppstilt en standardmåler, en pluviograf og en pluviusmåler. I observasjonsdiagrammet er dögnlig nedbör målt i standardmåleren gjengitt. I juni falt det totalt 130 mm, i juli 311 mm, i august 133 mm og fra 1.-14. september 266 mm. Tilsamn.on ble det fra 1. juni til 14. september målt 840 mm nedbör.

Ved målepunkt 11 var det plasert en pluviograf og en standard regnmåler. Pluviografen var i drift fra 3.juni til 2.september. I denne perioden falt det 176 mm fra 3.-30.juni, 508 mm i juli og 237 mm i august.

Nedbörskartene i utvalgte regnperioder er utarbeidet etter fölgende metode. Nedbörsfordelingen på breen er tegnet på grunnlag av direkte målinger og det kjennskap til fordelingsmönsteret som en tidligere har fått. Nedbörsmengden pr. flateenhet i det brefrie området er funnet ved å ta den beregnete nedbörsmengde pr. flateenhet på breen og dividere denne med faktoren 1,91. Tallet 1,91 er framkommet ved å ta middeltallet for nedbör pr. breareal/nedbör pr. fjellareal i 17 nedbörsperioder fra årene 1966, 1968 og 1969 da nedbören også er registrert i det brefrie feltet. Forholdet mellom falt nedbör pr. flateenhet på breen og på fjellet varierte i disse 17 periodene mellom 1,26 og 2,32 men lå de aller fleste tilfellene mellom 1,7 og 2,0. Ut fra denne kunnskap kan så middelnedbören for hele nedslagsfeltet beregnes.

Nedbören er som tidligere år sammenliknet med nedbören målt ved stasjonene Svelgen ( $P_S$ ), Davik ( $P_D$ ) og Ålfoten ( $P_{Å}$ ). Middelnedbören ved alle 3 stasjonene er også trukket inn (P'). Det er iår tatt ut 5 markerte nedbörsperioder hvor bare få målere hadde veltet og bare små nedbörsmengder kom som snö. Periodene strakk seg fra 1) 23.-26.juni, 2) 17.-23. juli, 3) 25.-31.juli, 4) 5.-11. august, og 5) 14.-20.august.

Periode	Р	P <sub>S</sub>	Р	P <sub>D</sub>	P	P <sub>Å</sub>	<u>Р</u>	P'	Р
	mm	mm	PS	mm	P <sub>D</sub>	mm	P <sub>Å</sub>	mm	P'
(1) 23.6-26.6	77.2	69.6	1.1	42.7	1.8	48.3	1.6	53.5	1.4
(2) 17.7-23.7	75.2	50.7	1.5	37.0	2.0	43.6	1.7	43.8	1.7
(3) 25.7-31.7	110.3	40.7	2.7	15.6	7.1	24.7	4.5	27.0 '	4.1
(4) 5.8-11.8	36.3	20.0	1.8	11.6	3.1	3.5	10.4	11.7	3.1
(5) 14.8-20.8	18.2	22.2	0.8	14.5	1.3	10.1	1.8	15.6	1.2
Sum	317.2	203.2	1.6	121.4	2.6	130.2	2.4	151.6	2.1

De tilsvarende tall for årene 1965-69 er gjengitt i fjorårets rapport. Korrelasjonen fra år til år synes å være best med stasjonen Davik, men det kan være store avvik mellom de enkelte nedbörsperioder. Det vil også sees at forskjellene mellom de faste stasjonene er betydelig, særlig i periode 3 og 4.



Beliggenheten av nedbörmålere og de målte nedbörhöyder i 5 perioder i löpet av sommeren.

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

Luftfuktighet. Måleperioden for luftfuktigheten strekker seg fra 7. juni til 14. september. Hygrografen fungerte hele perioden, i motsetning til de tilsvarende instrumenter på Vesledalsbreen og Memurubreen som stadig frös fast, slik at ingen registrering ble foretatt i visse perioder. Bare 3 dager, 19. juni, 8. august og 7. september, var den dögnlige middelverdi av vanndamptrykket mindre enn 6, 1 mb som er metningstrykket ved 0  $^{\circ}$ C. Alle de andre dagene, ialt 99, var vanndamptrykket höyere enn denne verdi og det var muligheter for kondensasjon og dermed varmetilförsel til breoverflaten. Sammenlikninger med Vesledalsbreen og Memurubreen viser klart hvordan luftfuktigheten avtar fra vest mot öst. P.g.a. de omtalte brudd i måleserien på Vesledalsbreen og Memurubreen er det ikke mulig å foreta direkte sammenlikninger mellom de 3 breene. En pekepinn på hvor store forskjellene kan være, gir likevel det faktum at det på Vesledalsbreen var 15 dager med vanndamptrykk mindre enn 6,1 mb selv om måleperioden var kortere enn på Ålfotbreen.

Midlere vanndamptrykk for hver måned er beregnet og ble 8,3 mb i juni, 8,0 mb i juli, 7,0 mb i august og 7,4 mb i september. Midlet for hele perioden ble 7,7 mb. Verdiene iår ligger noe lavere enn sist sommer hvor midlet for juli, august og september ble 8,5 mb.

<u>Strålingsmålinger.</u> Målinger for å kunne bestemme de forskjellige meteorologiske faktorers betydning og andel i smelteprosessen, er iår startet på Ålfotbreen og Austre Memurubre. Resultatene og diskusjonen av disse er behandlet av Sigmund Messel og finnes på side 69 i denne publikasjon.

Avrenning. Limnigrafen i Breelva (VM 1775) fungerte dårlig store deler av sommeren og noen utregning av vannföringen kan derfor ikke utföres for 1970.

#### Vesledalsbreen

#### Materialhusholdningen.

<u>Vinterbalanse.</u> Breen ble förste gang besökt i månedsskiftet oktober-november 1969. Det var allerede kommet 1,5 til 2,0 m snö og det var sterke snöfall under oppholdet på breen. Neste besök fant sted 18. oktober da stakene ble skjött på alle de undersökte breutlöperne fra Jostedalsbreen. 5 staker ble skjött på den överste delen av breen, men ingen sonderinger av snödypet ble tatt.

Hovedmålingen foregikk den 12. april under gode værforhold. 17 staker var da synlig mens 5 ikke ble funnet. P.g.a. forrige sommers store avsmelting besto hele breoverflaten av is eller firn. Dette gjorde sonderingsmulighetene meget gode og ialt ble det tatt 170 sonderinger langs 16 km profiler, hvilket i gjennomsnitt gir 40 sond./km<sup>2</sup>. Snöpröve ble tatt ved st. 110 og st. 70 og hele snölaget var tört på begge steder (fig. 9 ).

Ut fra meteorologiske data kan det sees at temperaturen på breen må ha variert rundt frysepunktet hele mai måned. Noen beregning av tilleggsakkumulasjonen



Fig. 9Beliggenheten av staker,<br/>sjakter og sonderingsprofiler.Fig. 10Kart som viser<br/>vinterbalansen 1970.The location of stakes, pits<br/>and sounding profiles.Map showing the winter<br/>balance 1970.

etter 12. april blir derfor vanskelig og er ikke gjort - i alle tilfeller er den liten. Fra den 3. juni steg temperaturen raskt og vintersesongens avslutning kan settes til denne dato. De lavestliggende stakene ble förste gang målt 9. juni og snöens vannverdi var da alle steder mindre enn ved hovedmålingen i april.

Vinterbalansen er beregnet til  $6, 4 \cdot 10^6 \text{ m}^3$  vann eller som et jevnt fordelt vannlag på 1,52 m over hele breen (48 l/s km<sup>2</sup>). Dette er noe mer enn foregående vinter, men likevel under det antatte normale for området. Fordelingen av vinterbalansen er vist på fig.10. Snöens fordelingsmönster er meget likt fjorårets og viser at de störste snömengder samler seg rundt 1500 m.

Sommerbalanse. Det var sommeren 1970 stasjonert 2 faste sommerassistenter på den nederste hytta mens det tidligere år også har ligget observatörer på den övre hytta. Slamundersökelsene i vassdraget fra breen var iår ganske omfattende og dette förte til at målingene på breen ikke fikk det samme omfang som tidligere år. F.eks. er det ingen målinger av sommerakkumulasjonen, selv om en stor del av nedbören i juli må ha falt som snö på breens höyere deler.

Ablasjonshastigheten var störst i juni og august. Den temporære snögrensen flyttet seg raskt oppover breen og i slutten av august lå det igjen snö

17

18	

Höyde	Areal	v	Vinterbalanse			mmerbal	anse	Nettobalanse			
intervall	S	B		b	В		b	B		b	
m o.h.	km <sup>2</sup>	$10^{6^{11}}{m}^{3}$	m	$1/s \text{ km}^2$	$10^{60} \text{m}^{3}$	m	$1/s \text{ km}^2$	$10^{6m}$ m <sup>3</sup>	m	$\frac{1}{l/s}$ km <sup>2</sup>	
1700-1730	0.014	0.019	1.36	43	0.030	2.14	68	-0.011	-0.78	- 25	
1650-1700	0.115	0.165	1.43	45	0.329	2.12	67	-0.164	-0.69	- 22	
1600-1650	0.186	0.257	1.38	44	0.395	2.12	67	-0.138	-0.74	-2 <b>3</b>	
1550-1600	0.704	1.025	1.46	46	1.444	2.05	65	-0.419	-0.59	-18	
1500-1550	0.521	0.890	1.71	54	1.078	2.07	65	-0.188	-0.36	-11	
1450-1500	0.486	0.731	1.50	47	1.191	2.45	77	-0.460	-0.95	- 30	
1400-1450	0.724	1.066	1.47	46	2.025	2.80	88	-0.959	-1.33	-42	
1350-1400	0.719	1.097	1.52	48	2.165	3.01	95	-1.068	-1.49	-47	
1300-1350	0.420	0.700	1.67	53	1.359	3.24	102	-0.659	-1.57	-50	
1250-1300	0.120	0.211	1.76	56	0.419	3.49	110	-0.208	-1.73	-54	
1200-1250	0.147	0.201	1.36	43	0.542	3.69	116	-0.341	-2.33	-73	
1150-1200	0.050	0.056	1.12	35	0.201	4.02	127	-0.145	-2.90	-92	
1125-1150	0.015	0.017	1.12	35	0.062	4.13	130	-0.045	-3.01	-95	
1125-1730	4.221	6.435	1.52	48	11.240	2.66	84	-4.805	-1.14	- 36	

VESLEDALSBREEN 1970





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

> 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.

bare i et belte ved st. 90. Observatörene forlot stedet 10. september. Det var da kommet en del nysnö på breens överste del. Området ble neste gang besökt 6. januar 1971 og det var nå kommet 2-3 m snö. Stakeavlesninger viste at ablasjonen etter 10. september hadde vært minimal over 1500 m, mens det nederst på tunga hadde smeltet opptil 40 cm is.

Sommerbalansen er vist på fig.ll. Som siste sommer er det minst avsmelting i det området hvor snödekket ble liggende lengst og albedoen holdt seg höy. Höyere oppe kom firn etterhvert fram og ablasjonshastigheten ble derfor större. Også på bretunga er det en tendens til at tidlig snöbare områder får en större ablasjon enn snödekte deler av breen i samme höydenivå.

Ialt er sommerbalansen beregnet til  $11, 2 \cdot 10^6 \text{ m}^3$  vann eller en spesifikk avrenning på 2,66 m (84 l/s km<sup>2</sup>) for hele breen. Dette er 0,78 m mindre ablasjon enn sommeren 1969, som viste usedvanlig höye tall.

<u>Nettobalanse.</u> Også dette året ble denne sterkt negativ, vesentlig p.g.a. liten vinterbalanse og en varm juni som tidlig eksponerte store deler av breoverflaten. Nettobalansen ble negativ for alle breens höydenivåer selv om 2 staker (st. 80 og 90) viste en liten positiv balanse. Likevektslinjen lå höyere enn breen, men det er vanskelig å foreta en ekstrapolering for å finne hvor höyt denne ville ha ligget.

Ialt ble breens nettotap 4,8  $\cdot$  10<sup>6</sup>m<sup>3</sup> vann, eller spesifikt 1,14 m fra hele breflaten (36 1/s km<sup>2</sup>). Legger en til underskuddet fra 1969 blir dette tilsammen en ekstraavrenning på 14,0  $\cdot$  10<sup>6</sup>m<sup>3</sup> hvilket medförer at breoverflaten har tapt et vannlag på 3,32 m de to siste årene.

#### Meteorologiske observasjoner.

Observatörene var denne sommeren stasjonert på nedre hytte hvor det ble tatt meteorologiske observasjoner to ganger i dögnet. På övre hytte var det oppsatt en termograf, en hygrograf og et anemometer. Disse ble inspisert så ofte det var mulig, men likevel kunne det ikke unngås noen brudd i måleserien. Særlig utsatt var anemometeret da instrumentskålene har en tendens til å fryse fast ved minusgrader. Målinger av vindstyrken på övre hytte er derfor ikke tatt med i observasjonsdiagrammet.

<u>Sky- og vindforhold.</u> Observasjonsperioden strekker seg fra 8. juni til 10. september. I denne perioden var det stort sett pent vær fram til 24. juni, deretter urolig og mer dårlig vær til slutten av juli. August var skiftende, men VESLEDALSBREEN 1970



Fig. 12 Resultatene av de daglige meteorologiske observasjoner fra övre og nedre hytte, samt beregnet dögnavlöp ved limnigrafen ved utlöpet av Vesledalsvatn.

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

med flere godværsperioder. Helt klart var det bare 5 dager mens 34 dager hadde halvskyet eller bedre. Helt overskyet eller tett tåke var det ialt 26 dager. Midlere skydekke for hele perioden (93 dager) er beregnet til 6,5.

Det ble ikke tatt noen anemometermålinger på nedre hytte slik at en derfor ikke har noen kvantitative resultater om vindstyrken. Som tidligere nevnt, ble anemometeret på övre hytte avlest ved hvert besök slik at den midlere vindstyrken kan beregnes mellom avlesningene. Periodene kunne variere fra et dögn til en hel uke. Minste vindstyrke i en periode (18. juni til 20. juni) var 1,8 m/s mens den störste ble registrert 19. juli og var 16,5 m/s.

Vindretningen på nedre hytte bestemmes nesten helt av de topografiske forholdene fordi det enten blåser inn fra dalen eller ut fra breen. Det siste er det vanligste.

<u>Temperaturforhold.</u> Den dögnlige middeltemperaturen er beregnet for övre og nedre hytte. Ved övre hytte kom termografen igang 18. juni og stoppet opp 2. september. Enkelte mindre avbrudd finnes, der det har vært nödvendig å interpolere verdier, men dette har ikke påvirket resultatet særlig. Höyeste dögnmiddeltemperatur på övre hytte ble målt til 12, 6°C den 19. juni og den laveste -2, 3°C den 6. juli. Den förste halvdel av juli var meget kald og 7 dögn hadde da negative temperaturer. Utenom denne perioden var det kuldegrader bare 11. august. Ved nedre hytte var det varmest 9. juli med 12, 6°C og kaldest 7. september med -0, 8°C. Negative temperaturer forekom bare to dager i september, ellers var temperaturen over nullpunktet hele sommeren.

En sammenlikning av temperaturforholdene mellom övre og nedre hytte viser det samme forhold som er observert tidligere år. I godværsperioder synker temperaturgradienten og kan endog bli negativ enkelte dager. En sammenstilling av temperaturgradientene mellom Oppstryn, nedre hytte og övre hytte gir disse forhold :

Temperaturgradienter	( <sup>0</sup> C/	100	m)
----------------------	-------------------	-----	----

	930. juni	juli	august	110.sept.	9.610.9
Oppstryn/nedre hytte	0,97	0,76	0,78	0,85	0,79
Oppstryn/övre hytte		0,78	0,73		
Övre/nedre hytte		0,82	0,61		

<u>Nedbör</u>. Nedbörsmålinger ble denne sommeren bare foretatt ved nedre hytte. Noen sammenlikning mellom nedbören målt i Oppstryn og gjennomsnittlig nedbör på breen er derfor ikke mulig iår. Det har derimot vist seg tidligere at nedbören er ganske jevnt fordelt i området. En sammenlikning mellom nedbören målt ved nedre hytte og i Oppstryn vil derfor antagelig ikke avvike meget fra det tilsvarende forholdet mellom hele feltet og Oppstryn.

	1030. juni	juli	august	110. sept.	10.6-10.9.
Oppstryn	28,0	105,0	49,2	69,7	251,9
Nedre hytte	77,8	148,2	58,5	95,3	379,8
Nedre hytte/Oppstryn	2,8	1,4	1,2	l,4	1,5

Nedbör i mm

På nedre hytte falt så og si all nedbören som regn. Bare de siste dagene av observasjonsperioden var det nedbör i fast form, mens det på de höyeste deler av breen må ha falt endel snö også tidligere i perioden og da særlig i juli.

Målinger av luftfuktigheten som startet sommeren 1969 er fort-Luftfuktighet. satt etter samme mönster iår. Hygrografen var plasert på övre hytte for best å kunne registrere forholdene på den del av breområdet hvor de störste arealene finnes. I likhet med andre selvregistrerende instrumenter på övre hytte ble også hygrografen utsatt for nedisning og andre mekaniske feil som gjör at det blir noen brudd i måleserien. Vanndamptrykket er beregnet og resultatet satt inn i observasjonsdiagrammet. Ialt er vanndamptrykket beregnet for 64 dögn. Höyeste målte verdi var 9,7 mb (4. august), den laveste ble registrert 6. juli og var 4,4 mb. Ialt 22 dager var det lavere middelverdi enn 6,1 mb, men 7 av disse hadde også dögnmiddeltemperaturer under frysepunktet slik at metningstrykket ble lavere enn 6, 1 mb som er metningstrykket ved 0°C. I hvilken grad sublimasjon fra breoverflaten finner sted er vanskelig å si, men alle målinger hvor ablasjonen forårsaket av sublimasjon er blitt bestemt viser små verdier av störrelsesorden 0 til 1% av total ablasjon og vi kan derfor si at denne prosessen er helt ubetydelig i breens massebalanse. 42 dager skulle det være betingelser for kondensasjon på breoverflaten og derav smelting p.g.a. den frigitt varmemengde. Det er sannsynlig at en ikke helt ubetydelig del av ablasjonen er forårsaket av en slik kondensasjonsprosess. Luftfuktigheten er derfor trukket inn i regresjonslikningene for breavlöpet, og vil bli behandlet i et senere avsnitt i denne rapport, se side 80.

<u>Avrenning</u>. Dögnlige avlöpstall er registrert på limnigraf ved utlöpet av Vesledalsvatn (VM 1656) og resultatene er satt inn i observasjonsdiagrammet.

#### Tunsbergdalsbreen

#### Materialhusholdningen

Vinterbalanse. Alle stakene på platået var forsvunnet da breen ble besökt 18. desember. På tunga var derimot stakene intakte og snödypet under 1200 m o.h. lå mellom 1 og 2 m. Hovedmålingene ble foretatt 6.-8. april og alle stakene som ble forlenget i desember var fortsatt synlige. Som på de andre undersökte breene, var det også på Tunsbergdalsbreen gode muligheter for sondering og det ble tatt 260 sonderinger etter 47 km sonderinsprofiler, se fig. 13. Tettheten i snölaget ble målt ved st. 43. Snöen var törr over hele breen på dette tidspunkt. Da det var relativt lite snö på breen, var det flere områder med åpne sprekker hvor sondering ikke ble foretatt. Gjennom brefallet omkring 1400 m o.h. var det umulig å ta seg fram med ski, se fig.16.

Ialt er vinterbalansen beregnet til 77.2  $\cdot$  10<sup>6</sup>m<sup>3</sup> vann som jevnt fordelt utgjör et 1.54 m tykt vannlag (49 1/s km<sup>2</sup>).

Fra hovedmålingene ble foretatt til sommersesongen begynte i månedsskiftet mai/juni, falt det lite nedbör på breen. Ut fra meteorologiske observasjoner på nærliggende stasjoner er tilleggsakkumulasjonen beregnet til å være 6 cm på platået og 1-2 cm på tunga (jfr. Nigardsbreen).

<u>Sommerbalanse</u>. Stakene på platået ble förste gang målt 22. juni i sommersesongen og målingene viser at balansen var mindre enn ved forrige måling i april. På bretunga ble stakene först målt 3. juli. Ved siste stakeavlesning den 26. august hadde dessverre en del av stakene smeltet ut og falt overende, slik at ablasjonen siden forrige avlesning måtte beregnes ved hjelp av nærliggende staker. På platået ble stakene avlest siste gang i sommersesongen den 30. august. Etterat observatörene forlot breen, var det ikke mulig å få kontrollert noen av stakene på Tunsbergdalsbreen för disse forsvant utpå hösten. Beregninger av ablasjonen etter slutten av august har derfor måtte gjöres ved å sammenlikne med tall fra Nigardsbreen og Ålfotbreen. Beregningene kan så kontrolleres med stakemålinger når disse smelter fram i löpet av sommeren 1971.

Som det fremgår av det foregående, er ablasjonsmålingene på Tunsbergdalsbreen iår beheftet med en noe större usikkerhet enn tidligere år. Ved bruk av tallene for sommerbalansen og ved sammenlikninger med andre breer bör resultatene derfor brukes med större kritikk.

Ialt er sommerbalansen beregnet til 119,  $3 \cdot 10^6 \text{ m}^3$  vann, noe som svarer til et





Fig. 13 Beliggenheten av staker, sjakter Fi og sonderingsprofiler.

The location of stakes, pits and sounding profiles.

-sounding profile

> Fig. 14 Kart over vinterbalansen på Tunsbergdalsbreen.

> > Map showing the winter balance on Tunsbergdalsbreen.

Winter balance in cm of water equivalent



Fig. 15 Brimkjelen 26. juli 1970. Isfjell ligger igjen på bunnen etter siste uttapping av den bredemte sjöen.
Brimkjelen, a glacier-dammed lake at Tunsbergdalsbreen which on July 26, 1970, was empty.

vannlag på 2,38 m eller en avrenning på 75 l/s  $\mathrm{km}^2$  jevnt fordelt over breflaten.

<u>Nettobalanse</u>. Som foregående år ble nettobalansen også i år negativ for Tunsbergdalsbreen og ialt tapte breen masse tilsvarende 42,  $1 \cdot 10^6 \text{m}^3$  vann eller 0,84 m jevnt fordelt over hele breen.

Det ekstratilsiget vassdraget derved har fått, utgjör 27 l/s km<sup>2</sup> hvilket er meget nær halvparten av ekstratilsiget i 1969.

Likevektslinjen er iår beregnet til å ligge 1590 m o.h. Ellers vil alle resultatene av massebalansemålingene framgå av tabellen på side 26 og fig. 17.



Fig. 16 Tunsbergdalsbreens brefall 25. juli 1970. Brefallet er de senere år blitt mer oppsprukket og umulig å ta seg gjennom.

The icefall on Tunsbergdalsbreen has been impassable for the last two years.

Höyde	Areal	v	interbala	nse	Sor	nmerbala	anse	Nettobalanse			
intervall m o.h.	S km <sup>2</sup>	$10^{6} m^{3}$	m	$\frac{1}{l/s \text{ km}^2}$	$10^{6} m^{3}$	m	$b_s^{1/s km^2}$	$10^{6n} \text{m}^{3}$	m	$\frac{b_n}{1/s km^2}$	
1900-1930	0.38	0.75	1.97	62	0.33	0.87	28	0.42	1.11	32	
1800-1900	2.81	6.48	2.31	73	2.46	0.88	28	4.02	1.43	45	
1700-1800	8.79	19.23	2.19	69	10.20	1.16	37	9.03	1.03	33	
1600-1700	8.44	15.23	1.80	54	12.34	1.46	46	2.89	0.34	11 -	
1500-1600	6.95	11.39	1.64	52	12.16	1.75	55	- 0.77	-0.11	- 4	
1400-1500	4.28	6.54	1.53	48	9.63	2.25	71	- 3.09	-0.72	- 23	
1300-1400	1.62	2.33	1.44	45	4.04	2.49	78	- 1.71	-1.06	- 34	
1200-1300	1.24	1.74	1.40	44	3.69	2.98	94	- 1.95	-1.57	- 50	
1100-1200	3.34	3.85	1.15	36	11.41	3.42	108	- 7.56	-2.26	- 71	
1000-1100	3.82	3.87	1.01	32	14.33	3.75	118	-10.46	-2.74	- 87	
900-1000	3.34	2.54	0.76	24	14.20	4.25	134	-11.66	-3.49	-110	
800- 900	2.45	1.56	0.64	20	11.54	4.71	149	- 9.98	-4.07	-128	
700- 800	2.04	1.28	0.63	20	9.77	4.79	151	- 8.49	-4.16	-131	
600- 700	0.42	0.26	0.63	20	2.21	5.25	166	- 1.95	-4.64	-146	
540- 600	0.18	0.12	0.63	20	0.95	5.25	166	- 0.83	-4.61	-146	
540-1930	50.11	77.17	1.54	49	119.26	2.38	75	-42.09	-0.84	- 27	

TUNSBERGDALSBREEN 1970

#### TUNSBERGDALSBREEN 1970



## Fig. 17 Variasjonene av vinter-, sommer- og netto-balanse med höyden over havet, breens arealfordeling og arealverdier av nettobalansen i hvert 50 m höydeintervall.

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.

#### Nigardsbreen

#### Materialhusholdningen

Vinterbalanse. Breen ble i löpet av vinteren besökt 22. oktober, 18. desember og 6. -10. april. Målinger av vinterbalansen ble foretatt ved besöket i april. I oktober var det kommet nysnö höyere enn 1500 m o.h., opptil 1 m på de höyestliggende områdene. Ved besöket i desember var snömengden öket til 3-4 m og 8 staker ble ikke gjenfunnet. Ialt ble 18 staker skjött. I april var fortsatt 21 staker synlig mens 12 ikke ble funnet. Ökningen i snödyp siden desember var liten og utgjorde bare 1-2 m.

Etter forrige års store avsmelting besto breoverflaten de fleste steder av hard firn, selv höyt oppe på platået. Det var derfor lett å sondere alle steder og ialt ble det tatt 350 sonderinger av snödypet langs 61 km profillengde. Sjakter for måling av snöens tetthet ble gravet ved st. 57-68 og st. 52-67. Begge stedene var snölaget tört. Vinterbalansen på bretunga ble målt samtidig med målingene på platået. Også på bretungas nedre deler var snödekket tört 10.april.



Fig. 18 Beliggenheten av staker, sjakter og sonderinger på Nigardsbreen 1970. The location of stakes, pits and soundings on Nigardsbreen 1970.

Ut fra den kjennskap en etter 9 års massebalansemålinger har fått av Nigardsbreens snöfordelingsmönster, kan målingene nå utföres etter forenklete metoder uten at nöyaktigheten i resultatene svekkes. En nærmere analyse av akkumulasjonsforholdene på Nigardsbreen i tidsrommet 1965-1970 er behandlet på s. 34

Vinterbalansen fram til 10. april er beregnet til  $81, 4 \cdot 10^6 \text{m}^3$  vann, jevnt fordelt på hele breen blir dette 1,73 m (55 l/s km<sup>2</sup>).

Tilleggsakkumulasjonen som kom etter at hovedmålingene ble tatt, er forsökt beregnet ut fra temperatur og nedbörsobservasjoner på Fanaråki. Forholdet mellom målt sommernedbör på Haugenosi og Fanaråki er brukt i beregningen. I perioder av mai var dögnmiddeltemperaturen over frysepunktet også i höydenivået 2000 m, men det falt ikke nedbörsmengder av betydning i disse periodene. Nedbören som falt som snö er beregnet til å utgjöre 6 cm akkumulasjon på de deler av breen som ligger höyere enn 1600 m o.h.

Sommerbalanse. Lange perioder av juni hadde stort sett pent vær med höye



Fig. 19 Kart som viser vinterbalansen på Nigardsbreen 1970. Map showing the winter balance 1970.

temperaturer slik at ved sommermålingenes start 19. juni, var ablasjonen kommet godt igang over hele breen. Juli måned hadde derimot gjennomgående kaldt vær med stadige snöfall på breplatået. På de höyestliggende stakene var det derfor praktisk talt ingen ablasjon i denne måneden. Sommerakkumulasjonen ble ikke målt så fullstendig at noen beregning av dens totale verdi kan utföres. Dette skyldes vesentlig at perioder med snöfall også er perioder da værforholdene ikke tillater ferdsel på breplatået.

Stakene på platået ble avlest 10-15 ganger i löpet av sommeren, siste gang i månedsskiftet august/september. Kraftige snöfall satte inn samtidig, slik at da observatörene forlot breen 2. september var hele breplatået dekket av nysnö. Værforholdene utover hösten var ugunstige. Flere forsök ble gjort med flytransport til breen, men dette lykkes ikke för 6. januar 1971. Alle stakene unntatt 4 stk. var da forsvunnet, men ingen av disse 4 hadde målbar ablasjon siden 1. september. Sommersesongens avslutning kan derfor i år settes til denne dato.

På bretunga ble wirene målt og i nödvendig utstrekning omboret 10 ganger i löpet av sommeren. Siste avlesning ble tatt 1. oktober og dette ble sluttdato for sommerbalansen på tunga. Eventuell ablasjon etter dette tidspunkt blir overfört til neste års balanseregnskap.

Ialt er sommerbalansen beregnet til 107,5  $\cdot 10^6 \text{m}^3$  vann eller jevnt fordelt 2,29 m (72 1/s km<sup>2</sup>) over hele breen.

<u>Nettobalanse</u>. Som i 1969 ble det også iår et underskudd på nettobalansen. Ialt mistet breen masse tilsvarende 26,  $1 \cdot 10^6 \text{m}^3$  vann eller 0, 56 m (17 l/s km<sup>2</sup>) jevnt fordelt over hele breflaten. Likevektslinjen for året kom til å ligge 1650 m o.h.

Det store underskuddet de siste 2 år har medfört at breen er blitt usedvanlig oppsprukket, særlig i de lavere deler av platået. Endel staker som står i dette området er blitt meget vanskelig å måle kontinuerlig på en forsvarlig måte. Stakenettet vil derfor i löpet av det kommende år bli revidert endel, slik at stakerundene kan gjöres raskere og lettere.

## Meteorologiske og hydrologiske observasjoner og beregninger

<u>Sky- og vindforhold</u>. Observasjonsperioden strakte seg fra 18. juni til 1. september, ialt 76 dager. I denne tiden var det 20 dager med halvskyet eller klarere vær hvorav 7 ble notert som skyfrie. Tåke eller helt skyet var det ved ob-

Höyde	Areal	Vinterbalanse		nse	So	mmerbal	lanse	Nettobalanse			
intervall m o.h.	S km <sup>2</sup>	$10^{6^{W}}m^{3}$	m	$\frac{b_{w}}{1/s \text{ km}^2}$	$B_{10^{6}m^{3}}$	m	$\frac{b_s}{l/s km^2}$	$10^{6} \text{m}^{3}$	m	$\frac{b_n}{1/s \ km^2}$	
1900-1950	0.16	0.50	3.13	99	0.14	0.88	28	0.36	2.25	71	
1800-1900	3.76	8.90	2.37	75	4.13	1.10	35	4.77	1.27	40	
1700-1800	9.76	19.26	1.97	62	13.21	1.36	43	6.05	0.61	19	
1600-1700	12.76	23.54	1.84	58	23.06	1.81	57	0.48	0.03	1	
1500-1600	9.28	14.71	1.58	50	20.91	2.25	71	-6.20	-0.67	-21	
1400-1500	5.26	7.68	1.46	46	14.34	2.73	86	-6.66	-1.27	-40	
1300-1400	2.06	2.85	1.38	44	6.53	3.17	100	-3.68	-1.79	-57	
1200-1300	0.72	0.89	1.24	41	2.80	3.89	123	-1.91	-2.65	-84	
1100-1200	0.32	0.36	1.13	36	1.44	4.50	142	-1.08	-3.37	-106	
1000-1100	0.54	0.61	1.13	36	2.75	5.09	161	-2.14	-3.96	-125	
900-1000	0.42	0.47	1.13	36	2.31	5.50	174	-1.84	-4.37	-138	
800- 900	0.48	0.44	0.91	29	3.12	6.50	205	-2.68	-5.59	-176	
700- 800	0.40	0.35	0.88	28	2.90	7.25	229	<b>-</b> 2.55	-6.37	-201	
600- 700	0.44	0.37	0.84	27	3.40	7.73	244	-3.03	-6.89	-217	
500- 600	0.28	0.18	0.64	20	2.41	8.60	271	-2.23	-7.96	-251	
400- 500	0.20	0.13	0.65	20	1.96	9.80	309	-1.83	-9.15	-289	
300- 400	0.19	0.12	0.63	20	2.04	10.73	339	-1.92	-10.10	-319	
300-1950	47.03	81.36	1.73	55	107.45	2.29	72	-26.09	-0.56	-17	

#### NIGARDSBREEN 1970



Fig. 20 Variasjonene med höyden over havet av vinter-, sommer- og netto-balanse, samt breens arealfordeling og arealverdier av netto-balansen i hvert 50 m höydeintervall.

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.

servasjonshytta ialt 37 dager. Midlere skydekke for hele perioden er beregnet til 7,8. Dögnlig middelvindstyrke i juni var 5,4 m/s, i juli 5,2 m/s og i august 4,8 m/s, mens middeltallet for hele perioden ble 5,1 m/s. Höyeste dögnverdi var 13,7 m/s (15. juli) mens laveste 0,4 m/s ble målt 26.juli. Vindretningen på Steinmannen lå alt overveiende i sektoren fra syd til vest.

<u>Temperaturforholdene.</u> Som tidligere år ble lufttemperaturen også iår registrert ved observasjonshytta og ute på platået ved st. 65. Resultatene av disse målingene sammen med temperaturgangen på Björkehaug (212 m o.h.) er satt inn i observasjonsdiagrammet. Termografen på breplatået sviktet i deler av juli, vesentlig p.g.a. at instrumenthuset ble fyllt med snö. Sammenlikninger med temperaturen på observasjonshytta og Björkehaug er derfor bare utfört i de perioder hvor en har registreringer fra alle stasjoner.

N egative dögnmiddeltemperaturer forekom 3 dager ved observasjonshytta (1633 m o.h.) og minst 8 dager ved bur B (1773 m o.h.). I tillegg var det sannsynligvis endel negative dögnmiddeltemperaturer også i de perioder hvor en ikke har registrering fra bur B. Middeltemperaturen på Haugenosi varierte mellom 13,8°C den 18. juni og -1,2°C den 16. juli. Ved stasjonen på breplatået var de tilsvarende tall 6,1°C (3. august) og -2,4°C (16. juli), men her har en ikke registreringer fra den varme perioden i juni. Middeltemperaturen på Haugenosi i juni, juli og august ble henholdsvis 5,7°C, 2,0°C og 4,9°C, mens midlet for hele perioden ble 3,7°C.

Som tidligere år er sammenlikninger av temperaturgradientene mellom de tre aktuelle målestasjonene satt opp i en oversikt nedenfor.

	1970			1969	1968	
	20. <b>-</b> 30. juni	juli	august	20/6-31/8	17/6-31/8	1/7-31/8
Björkehaug/Haugenosi	0,77	0,75	0,66	0,71	0,71	0,67
Björkehaug/Bur B			0,76	0,78	0,84	0,78
Haugenosi/Bur B			1,72	1,43	2,00	2,14

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

Årets målinger bestyrker de observasjoner som er gjort tidligere år og viser at det særlig i godværsperioder er et temperatursprang fra land til bre. I årets måleperiode var det ingen lengre tidsrom med slike værforhold. Temperaturgradienten mellom Haugenosi og Bur B er derfor lavere enn de to foregående år som begge hadde lange perioder med pent vær. <u>Nedbörsforhold</u>. Nedbören ble daglig målt ved observasjonshytta og i tillegg var det plassert 18 nedbörsmålere av typen "Pluvius" utover breplatået. Som tidligere sommere, viste det seg vanskelig å få gode registreringer av nedbören I august hvor det bare kom nedbör som regn og hvor de aller fleste målerne ga pålitelige resultater, er sammenliknet med nedbören målt på Haugenosi ( $P_H$ ) og nedbören målt på Björkehaug ( $P_B$ ).  $P_P$  betegner middelnedbören på breplatået.

	13/8-16/8	16/8-20/8	Sum
Breplatået (P $_{\rm P}$ )	19,2	14,7	33,9
Haugenosi (P <sub>H</sub> )	11,0	13,9	24,9
Björkehaug (P <sub>B</sub> )	7,6	10,5	18,1
$P_P/P_H$	1,8	1,1	1,4
$P_{H}^{}/P_{B}^{}$	1,5	1,3	l,4

#### Nedbörsfordeling i mm

Resultatene stemmer godt overens med tidligere års målinger og viser at nedbören på breplatået (1400 m) er ca. 50% större enn nedbören som registreres ved observasjonshytta som igjen er ca. 50% större enn nedbören målt i Jostedalen (Björkehaug).

I tidsrommet 18. juni – 1. september falt det 365, 1 mm nedbör ved observasjonshytta hvorav 154, 0 mm kom i juli. På Björkehaug falt det i samme tidsrom 272, 7 mm og forholdet mellom P<sub>H</sub> og P<sub>B</sub> blir 1, 34 for hele sommeren.

Luftfuktigheten. Denne ble registrert med en hygrograf ved observasjonshytta og dögnmiddelverdiene for vanndamptrykket er beregnet. Verdier lavere enn 6, 1 mb forekom 17 dager hvorav 3 hadde negative dögnmiddeltemperaturer og dermed et metningstrykk mindre enn o, 1 mb. Bare en dag i juni og 4 dager i august forekom kombinasjonen höy dögnmiddeltemperatur og lav luftfuktighet slik at muligheten lå til rette for sublimasjon fra breoverflaten. Denne prosess spiller antagelig en helt ubetydelig rolle i ablasjonen på Nigardsbreen.

Hydrologiske målinger. Avrenningen er målt ved utlöpet av Nigardsvatnet (VM 1408) og resultatene er satt inn i observasjonsdiagrammet sammen med de meteorologiske observasjonene fra Haugenosi.

#### NIGARDSBREEN 1970



Fig. 21 Resultatene av de daglige meteorologiske observasjonene på Nigardsbreen og beregnet dögnavlöp ved limnigrafen i Nigardsvatnet. The diagram illustrates the daily meteorological observations on

Nigardsbreen and computed daily discharge at the stream gauge in Nigardsvatnet.

Vinterbalansen på Nigardsbreen 1965 - 1970

Massebalansemålingene på Nigardsbreen har pågått kontinuerlig fra 1962 og en har etterhvert fått endel erfaring om de spesielle forhold som kan opptre i dette breområdet. Bl.a. har det vist seg at målinger av vinterbalansen enkelte år blir vanskelig og meget arbeidskrevende å utföre med rimelig sikkerhet i resultatene. Dels er snömengdene så store på breens höytliggende deler at sonderingen blir tung å utföre, særlig når sommeroverflaten det skal sonderes til, enkelte år kan være vanskelig å föle med sonden. Dersom det i tillegg er få eller ingen staker synlig som sonderingene kan sammenliknes med, vil kjerneboring ned til forrige års sommeroverflate være den eneste mulige metode til å bestemme snödypet. Slike forhold forekom i 1964 og dels i 1968.

For i framtida å kunne forenkle arbeidet på Nigardsbreen endel, har en derfor gjort et forsök på å trekke mer informasjon ut av det arbeidet som til nå er utfört. Resultatet foreligger i et utarbeidet kart, fig. 22, som viser den gjennomsnittlige fordeling av vinterbalansen for årene 1965-1970 uttrykt i prosent av den midlere vinterbalansen ( $b_w$ ) for disse 6 årene altså:

$$\overline{b}_{w} = \sum_{n=65}^{70} \overline{b}_{w_{n}}$$

Det skal kort refereres hvordan kartet er blitt utarbeidet i praksis. Först ble kartbildet av Nigardsbreen overfört til et kalkerpapir med et rutenett hvor rutene er kvadrater med side 0,4 km. I områder hvor en erfaringsmessig vet at snöfordelingen er ujevn ble rutenettet lagt tettere med sidelengde 0,1 km. Ialt ble det brukt 425 kvadrater for å dekke breen. Kalkerpapiret ble så lagt over vinterbalansekartene for hvert av årene 1965-1970 og gjennomsnittsverdien for vinterbalansen i hver kvadrat ble notert. Middelverdien av disse 6 vinterbalanseverdiene ble så beregnet for hvert av de 425 kvadratene og et kart over den gjennomsnittlige fordeling av vinterbalansen er tegnet. Dette kartet er så planimeterbehandlet og midlere vinterbalanse for årene 1965-1970 ( $\overline{b_w}$ ) er beregnet til 2,35 m vann.

Neste skritt var å overföre de beregnete verdier for absolutt vinterbalanse til relative verdier. 2,35 m ble da satt lik 100% slik at 90% er 2,12 m, 110% blir 2,59 m, 120% blir 2,82 m osv.

Nye, relative isolinjer kunne så opptrekkes ved at en valgte isolinjesprang på 10%. Dette isolinjekartet er vist på fig.22.

Med den kunnskap dette kartet gir om akkumulasjonsfordelingen, kan en heretter nöye seg med å utföre akkumulasjonsmålinger over mindre områder av


Fig. 22 Den gjennomsnittlige fordeling av vinterbalansen fra 1965 til 1970 uttrykt i prosent av den midlere-spesifikke vinterbalanse (b<sub>w</sub>) for hele breen.

Mean winter balance distribution 1965-1970, expressed in percent of average spesific winter balance  $(b_w)$  for the whole glacier.

breen, helst omkring 100% isolinjen og unngå områder hvor det kan være vanskelig å få gode målinger p.g.a. sprekker o.a. Denne forenklete måte å utföre vinterbalansemålinger på, er i flere år brukt på Storbreen i Jotunheimen hvor måleserien går helt tilbake til 1948, se f.eks. Liestöl, 1967. Forutsetningen for å kunne anvende en slik metode er selvfölgelig at en har flere år med fullstendige akkumulasjonsmålinger over hele breens areal.

# Hardangerjökulen

# Materialhusholdningen

Målinger gjennom 7 år har vist at fordelingen av vinterbalansen er i hovedtrekkene den samme hvert år selv om den totale masse varierer. En håper derfor å kunne oppnå en god korrelasjon mellom målinger av noen få staker og den totale snömengde på breen. Et problem oppstår ved at stakene beveger seg og således endrer posisjon fra år til år. Stakene må derfor hvert år flyttes oppover breen et stykke for å kunne beholde målepunktets posisjon fast.

Værforholdene på Hardangerjökulen var iår omtrent de samme som ellers i högfjellet. Juni var meget varm og middeltemperaturen på Fanaråki (2060 m o.h.) var denne måneden 5<sup>°</sup>C hvilket er 5,1<sup>°</sup>C over det normale og den höyeste mid-



Höyde	Areal	V	interbala	nse	So	mmerbala	inse	Ν	lettobalan	se
intervall m o.h.	S km <sup>2</sup>	$10^{6} \text{m}^{3}$	g/cm <sup>2</sup>	$^{ m w}_{ m l/s~km}^{ m 2}$	$10^{6} m^{3}$	g/cm <sup>2</sup>	s 1/s km <sup>2</sup>	$10^{6n} \text{m}^{3}$	g/cm <sup>2</sup>	n 1/s km²
1850-1900	0.074	0.101	136	43	0.104	140	44	-0.003	- 6	- 2
1800-1850	3.358	4.965	148	47	4.735	141	45	+0.230	+ 7	+ 2
1750-1800	3.763	5.454	145	46	5.454	145	46	0.000	+ 0	<u>+</u> 0
1700-1750	4.033	5.536	137	43	6.251	155	49	-0.715	- 18	- 6
1650-1700	2.219	2.680	121	38	3.861	174	55	-1.180	- 53	- 17
1600-1650	0.971	1.108	114	36	1.893	195	62	-0.785	- 81	- 25
1550-1600	0.624	0.757	122	39	1.385	222	70	-0,628	-100	- 32
1500-1550	0.569	0.662	116	37	1.451	255	80	-0.789	-139	- 44
1450-1500	0.371	0.389	105	33	1.076	290	92	-0.687	-185	- 57
1400-1450	0.176	0.167	95	30	0.577	328	104	-0.410	-233	- 73
1350-1400	0.109	0.093	85	27	0.403	370	117	-0.310	-285	- 90
1300-1350	0.078	0.059	75	24	0.321	412	130	-0.262	-337	-106
1250-1300	0.265	0.186	70	22	1.208	456	144	-1.022	- 386	-122
1200-1250	0.308	0.200	65	20	1.540	500	158	-1.340	-435	-137
1150-1200	0.312	0.199	64	20	1.716	550	174	-1.517	-486	-153

0.651

0.381

33.00

597

645

189

188

203

60

-0.586

-0.346

-10.35

-537

-585

- 60

-170

-185

- 19

HARDANGERJÖKULEN 1970



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

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

٦

1100-1150

1050-1100

1050-1900

0.109

0.059

17.44

0.065

0.035

22.65

60

60

129

20

20

41

delverdi for juni som er målt siden stasjonen kom i drift i 1932. I resten av sommersesongen var temperaturen under eller nær det normale. Ablasjonen ble derfor stor i juni og moderat i de andre sommermånedene. Resultatet ble en negativ balanse for hele breen. Bare höydenivået rundt 1800 m o.h. viste positiv balanse. Som i foregående år minker akkumulasjonen og nettobalansen mot toppen av breen. Dette skyldes vindeffekt som blåser snö bort fra de höyeste partier.

Alle resultatene av målingene i 1970 er vist i tabell s. 37 og fig. 24.

#### Hellstugubreen

### Materialhusholdningen.

---1

Vinterbalanse. Mellom 1. oktober 1969 og 2. april 1970 var det ikke nödvendig å besöke breen. Under hovedmålingene av vinterbalansen 2.-3. april var 33 staker synlige. Snödypet var beskjedentog lå de fleste steder under 2 m. Det ble tatt 175 sonderinger av snödypet langs 14,5 km sonderingsprofiler. Det var gode muligheter for sondering de fleste steder. I de syd-vestlige botner var det endel åpne sprekker og tildels vanskelig å ta seg fram. Av den grunn er akkumulasjonsmönsteret her delvis konstruert på grunnlag av tidligere målinger og bilder av den temporære snögrensen utover sommeren. Tetthetspröver av snöen ble tatt ved st. 46-68 og st. 17.

Ialt ble vinterbalansen dette året 2,  $3 \cdot 10^6 \text{m}^3$  vann eller i middel 0, 70 m (22  $1/\text{s km}^2$ ) fordelt over hele breen.

Tilleggsakkumulasjonen var liten og er ut fra meteorologiske observasjoner beregnet til 4 cm. Se kapitellet om Austre Memurubre. Vintersesongens avslutning er likeledes beregnet til rundt 24. mai under 1600 m og til 3. juni for de höyestliggende områdene over 2000 m.

Sommerbalanse. Det varme været tidlig i juni hadde eksponert breisen opp til ca. 1750 m o.h. allerede 24. juni, da breen förste gang ble besökt i ablasjonssesongen. Stakene ble avlest ialt 6 ganger utover sommeren. Siste avlesning ble tatt 28. oktober da hele breen var dekket av nysnö. På de höyste deler av breen hadde det ikke vært markbar smelting siden månedsskiftet august/september og ablasjonssesongens slutt kan derfor settes til ca. 1. september. I midten av juli ble stakene på tungen smelteboret ca. 10 m ned. Samtidig ble 7 staker fjernet



Fig. 25 Beliggenheten av staker, sjakter og sonderingsprofiler. The location of stakes, pits and sounding profiles.

Winter balance in cm of water equivalent

HELLSTUGUBREEN 1970



Fig. 26 Kart som viser vinterbalansen 1970. Map of the winter balance 1970.

slik at det iår er færre staker på bretunga enn tidligere. De staker som er avmerket på fig.25 er alle staker som var synlig hele året og hvor sommerbalansen har kunnet beregnes.

Ved sommersesongens avslutning lå det igjen snö bare i deler av botnene og likevektlinjen kom til å ligge 2020 m o.h.

Ialt er sommerbalansen beregnet til 5,7  $\cdot$  10<sup>6</sup>m<sup>3</sup> vann som fordelt over hele breflaten blir 1,70 m eller en avrenning på 54 l/s km<sup>2</sup>.

<u>Nettobalanse.</u> Denne ble også iår sterkt negativ og utgjorde et underskudd på  $3, 3 \cdot 10^6 \text{m}^3$  vann. Dette vil si at breen spesifikt har avgitt et vannlag av 1 m tykkelse ekstra til vassdraget nedenfor, eller 32 1/s km<sup>2</sup> utjevnet over hele

Höyde	Areal	v	interbala	nse	So	mmerba	lanse		Nettobala	nse
intervall	S	B		b	B		b	B		b
m o.h.	4 km	10°m'	m	$1/s \text{ km}^2$	$10^{6} m^{3}$	m	1/s km <sup>2</sup>	$10^{6} m^{3}$	m	$l_{\rm j}  {\rm s  km}^2$
2100-2200	0.078	0.089	1.14	36	0.049	0.63	20	+0.040	+0.51	· +16
2050-2100	0.261	0.333	1.28	40	0.228	0.87	27	+0.105	+0.41	+13
2000-2050	0.202	0.230	1.14	36	0.195	0.97	31	+0.035	+0.17	+ 5
1950-2000	0.386	0.341	0.88	28	0.434	1.12	35	-0.093	-0.24	- 7
1900-1950	0.610	0.429	0.70	22	0.766	1.26	40	-0.337	-0.56	-18
1850-1900	0.377	0.272	0.72	23	0.588	1.56	49	-0.316	-0.84	-27
1800-1850	0.350	0.161	0.46	15	0.613	1.75	55	-0.452	-1.29	-41
1750-1800	0.141	0.058	0.41	13	0.273	1.94	61	-0.215	-1.53	-48
1700-1750	0.142	0.076	0.54	17	0.319	2.25	97	-0.243	-1.71	-54
1650-17 <b>0</b> 0	0.207	0.091	0.44	14	0.466	2.25	71	-0.375	-1.81	-57
1600-1650	0.192	0.085	0.44	14	0.528	2.75	87	-0.443	-2.31	-73
1550-1600	0.195	0.082	0.42	13	0.564	2.89	91	-0.482	-2.47	-78
1500-1550	0.124	0.045	0.36	11	0.403	3.25	102	-0.358	-2.89	-91
1450-1500	0.060	0.013	0.22	7	0.225	3.75	118	-0.212	-3.53	-111
1450-2200	3.326	2.305	0.70	22	5.651	1.70	54	-3.346	-1.00	- 32

#### HELLSTUGUBREEN 1970



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

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

året. Resultatene av årets målinger fremgår av tabellen på side 40 og fig. 27

# Vestre Memurubre

Materialhusholdningen.

<u>Vinterbalanse.</u> Siste stakeavlesning i 1969 ble tatt 1. oktober og hele breen var da dekket av snö. Breen ble ikke besökt igjen för 2. april da hovedmålingen av vinterbalansen ble foretatt. 3 staker var da synlige. Snömengdene var beskjedne, på store deler av breen bare 1,5 til 2,0 m. Sonderingsforholdene var meget gode og ialt ble det tatt 106 sonderinger langs 19 km sonderingsprofiler. Måling av snöens tetthet ble tatt ved st. 46 og viste at snödekket var tört uten markerte islag. Fordelingsmönsteret, som viser seg å være meget likt fra år til år, er vist på fig.29. Ut fra dette er vinterbalansen beregnet til 7,6  $\cdot$  10<sup>6</sup>m<sup>3</sup> vann eller spesifikt fordelt 0,84 m (27 1/s km<sup>2</sup>).

Balanseökningen etter hovedmålingen er forsökt beregnet ut fra meteorologiske observasjoner på nærliggende stasjoner. Det var bare beskjedne nedbörsmeng-



Winter balance in cm of water equivalent

**VESTRE MEMURUBRE 1970** 

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

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

Fig. 29 Kart over vinterbalansen 1970.

Map of the winter balance 1970.

41

Höyde	Areal	v	interbala	nse	So	mmerbal	anse	Ν	lettobalan	se
intervall	S	B		b <sub>s</sub>	B		b <sub>s</sub>	B		b <sub>n</sub>
m o.h.	$km^2$	10 <sup>6</sup> m <sup>3</sup>	m	$l/s m^2$	$10^{6} \text{m}^{3}$	m	$l/s km^2$	$10^{6} \text{m}^{3}$	m	l/s km <sup>2</sup>
2200-2300	0.017	0.023	1.38	43	0.011	0.63	20	0.012	0.75	24
2150-2200	0.085	0.117	1.38	44	0.053	0.63	20	0.064	0.75	24
2100-2150	0.144	0.198	1.38	44	0.090	0.63	20	0.108	0.75	24
2050-2100	0.212	0.292	1.38	44	0.169	0.80	25	0.123	0.58	18
2000-2050	0.242	0.308	1.27	40	0.212	0.88	28	0.096	0.39	13
1950-2000	0.656	0.655	1.00	32	0.738	1.25	40	-0.083	-0.25	- 4
1900-1950	1.469	1.347	0.92	29	1.933	1.32	42	-0.586	-0.40	-13
1850-1900	3,185	2,466	0.77	24	4.724	1.48	47	-2.258	-0.71	-22
1800-1850	1.324	0.925	0.70	22	2.421	1.83	58	-1.496	-1.13	-36
1750-1800	0.791	0.584	0.74	23	1.843	2.33	74	-1.259	-1.59	- 50
1700-1750	0.510	0.365	0.72	23	1.403	2,75	87	-1.038	-2.03	- 65
1650-1700	0.262	0.193	0.74	23	0.720	2,75	87	-0.527	-2.01	-63
1600-1650	0.086	0.091	1.06	34	0.280	3.26	103	-0.189	-2.20	-69
1570-1600	0.022	0.025	1.14	36	0.072	3.27	103	-0.047	-2.13	-68
1570-2230	9.005	7.589	0.84	27	14.669	1.63	51	-7.080	-0.79	- 25

#### VESTRE MEMURUBRE 1970





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

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

der fram til ablasjonssesongens begynnelse som er satt til 3. juni og ialt er tilleggsakkumulasjonen beregnet til 5 cm vann (jfr. Austre Memurubre).

Sommerbalanse. Stakene ble i ablasjonssesongen förste gang avlest 4. juli. Det hadde vært stor smelting fram til dette tidspunkt og den temporære snögrensen lå da ca. 1830 m o.h. Siste stakeavlesning för observatörene forlot breen ble foretatt 30. august. Nesten all snö var da smeltet bort og alle stakene sto på breis. Breen ble besökt neste gang 28. oktober. Det var da kommet  $\frac{1}{2}$  til 1 m snö. Ablasjonen etter 30. august hadde vært minimal og ablasjonssesongens slutt kan derfor settes til 1. september.

Ialt er sommerbalansen beregnet til 14,7  $\cdot$  10<sup>6</sup>m<sup>3</sup> vann eller 1,63 m (51 l/s km<sup>2</sup>) jevnt fordelt over hele breflaten.

<u>Nettobalanse</u>. Denne ble også iår sterkt negativ, vesentlig på grunn av små snömengder og stor avsmelting tidlig i juni. Ved slutten av sommersesongen var det en netto akkumulasjon bare i de övre deler av botnene. Likevektslinjen for dette året lå gjennomsnittlig 1990 m o.h.

Ialt minket breens masse med 7,  $1 \cdot 10^6 \text{m}^3$  vann eller spesifikt 0,79 m, noe som utgjör en ekstra avrenning på 25 l/s km<sup>2</sup>. Ellers vil alle resultatene av årets massebalanseundersökelser kunne leses ut av fig. 30 og tilhörende tabell.

# Austre Memurubre

# Materialhusholdningen.

-1

<u>Vinterbalanse.</u> Etter minimumsmålingene 2. oktober 1969 ble ikke breen besökt för hovedmålingene ble tatt 1. april. 25 staker var da synlige og det ble tatt 387 sonderinger av snödypet langs 30 km sonderingsprofiler. Etter siste års store avsmelting var breoverflaten overalt meget hard og derfor god å sondere til. Snöens tetthet ble målt ved st. 60 og 80 og det viste seg å være törr, homogen snö overalt. Vinterbalansen ble iår enda mindre enn året för og er beregnet til  $0, 81 \text{ m } (26 \text{ } 1/\text{s } \text{ km}^2)$ . Fordelingsmönsteret har vist seg å være relativt komplisert, se fig. 31.

Etter hovedmålingene i april falt det snö fram til begynnelsen av juni på breens höyere deler. Mengdene må ut fra meteorologiske beregninger ha vært beskjedne og er beregnet til 5 cm utjevnet over hele breen. Disse beregninger er basert på tidligere målinger som viser at nedbören målt på den meteorologiske stasjon-



Fig. 31 Kart som viser fordelingen av vinterbalansen på Austre Memurubre. Distribution of the winter balance on Austre Memurubre.



Fig. 32 Fordelingen av snö, firn og is på breoverflaten til forskjellige tider utover sommersesongen.

Position of transient snow line and the exposure of ice and firn during the summer season.

44

Ż

٦



Fig. 33 Beliggenheten av staker, sjakter og sonderingsprofiler på Austre Memurubre 1970.

Location of stakes, pits and sounding profiles on Austre Memurubre, 1970.

en Varden står i et bestemt forhold til den nedbör som faller på Memurubreen. For å bestemme om nedbören faller som regn eller snö er temperaturen målt på Fanaråki trukket inn i beregningene. Noen direkte målinger av denne tilleggsakkumulasjonen er ikke foretatt.

<u>Sommerbalanse.</u> Ablasjonen startet de förste dagene i juni og været var i perioder meget varmt resten av måneden. De förste målingene ble tatt 23. juni og viste at hele vinterakkumulasjonen allerede da var smeltet bort på bretunga, se fig. 32. Juli var derimot kald og stadige snöfall på breens höyere deler förte til lite smelting i denne måneden. August hadde perioder med varmt vær og ablasjonshastigheten var da större enn i juli. Siste stakemåling för observatörene forlot breen ble tatt 29. august. Neste besök fant sted 29. oktober og viste at det bare på bretunga hadde vært noe særlig smelting siden observatörene forlot stedet. I slutten av oktober var det kommet  $\frac{1}{2}$  til 1 m nysnö. Sommerbalansen ble beregnet til 14, 9  $\cdot$  10<sup>6</sup>m<sup>3</sup> vann eller i middel 1,71 m jevnt fordelt over hele breflaten (54 1/s km<sup>2</sup>).

					•						
Höyde	Areal	V	interbala	inse	Soi	nmerbal	anse	r	Vettobalar	ise	
intervall	S	B		b	В		b	В		b	
m o.h.	km <sup>2</sup>	$10^{6m}$ m <sup>3</sup>	m	$l/s \text{ km}^2$	$10^{6^{3}}$ m <sup>3</sup>	m	1/s km <sup>2</sup>	$10^{6} \text{m}^{3}$	m	$1 \text{ s km}^2$	
2250-2275	0.005	0.007	1.40	44	0.002	0.63	20	+0.005	+0.77	+24	
2200-2250	0.036	0.040	1.11	35	0.021	0.63	20	+0.019	+0.48	+15	
2150-2200	0.208	0.251	1.21	38	0.144	0.69	22	+0.144	+0.52	+16	
2100-2150	0.586	0.670	1.14	36	0.444	0.76	24	+0.226	+0.38	+12	
2050-2100	0.831	0.749	0.90	28	0.847	1.02	32	-0.098	-0.12	-12	
2000-2050	1.045	0.870	0.83	26	1.260	1.21	38	-0.390	-0.38	- 4	
1950-2000	1.287	1.053	0.81	25	1.753	1.36	43	-0.700	-0.55	-18	
1900-1950	1.401	0.991	0.71	22	2.330	1.66	52	-1.339	-0.95	- 30	
1850-1900	0.825	0.582	0.71	22	1.640	1.99	63	-1.058	-1.28	-41	
1800-1850	0.773	0.593	0.77	24	1.740	2.25	71	-1.147	-1.48	-47	
1750-1800	0.921	0.682	0.74	23	2.178	2.36	75	-1.496	-1.62	- 52	
1700-1750	0.522	0.371	0.71	22	1.568	3.00	95	-1.197	-2.29	-73	
1650-1700	0.241	0.166	0.69	22	0.827	3.43	108	-0.661	-2.74	-86	
1630-1650	0.032	0.020	0.63	22	0.120	3.75	118	-0.100	-3.12	-96	
1630-2275	8.713	7.045	0.81	26	14.871	1.71	54	-7.826	-0.90	-28	

AUSTRE MEMURUBRE 1970







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

<u>Temporær snögrense</u>. På grunnlag av fotografier og karttegninger er denne plottet inn på et kart over breen til tre forskjellige tidspunkter, henholdsvis 26. juni, 26. juli og 23. august. Grensen mellom snö, is og firn er komplisert og



Fig. 35 Austre Memurubre 23. august 1970. Bare 14% av brearealet var på dette tidspunkt snödekket.

Austre Memurubre on August 23, 1970. At this time 14% of the glacier area was still covered with snow.

gjenspeiler den ujevne fordelingen av vinterbalansen på breoverflaten. Det blir derfor vanskelig å sette et absolutt höydenivå for den temporære snögrensen i de forskjellige tidspunkter. Både 26. juni og 26. juli framsto grensen som overgangen snö/is, mens forholdet 23. august var mer komplisert med både overganger snö/firn og snö/is. Ved planimetrering er brearealet som var snödekket, evt. blottet som is og firn bestemt til de forskjellige tidspunkter.

Prosentandel av breoverflaten som var snödekket, resp. framsmeltet.

Dato	Snödekket, %	Framsmeltet, %
26. juni	65,2	34,8
26. juli	44,9	55,1
23. august	14,3	85,7



Fig. 36 Den nord-östre delen av Austre Memurubre ble i löpet av sommeren nesten avsnört fra hovedbreen.

The north-eastern part of Austre Memurubre was very nearly divided from the main glacier during the summer.

Det smeltet også noe snö etter 23. august slik at det arealet som var snödekket ved ablasjonssesongens slutt kan settes til ca. 10% av det totale breareal (fig. 32)

<u>Nettobalanse.</u> De relativt beskjedne snömengdene fra siste vinter smeltet bort tidlig på sommeren slik at ablasjonshastigheten ble större enn hva den ville blitt på en breflate med mer normalt snödekke. Sommerbalansen ble derfor meget nær den samme som i 1968 selv om temperaturen på nedre hytte var 1,2<sup>o</sup>C lavere i 1970 enn i 1968, beregnet for månedene juli og august. I 1968 var nettobalansen +0,01 m og störstedelen av breen snödekket hele sommeren, noe som klart viser albedoens betydning for ablasjonshastigheten.

Nettobalansen 1970 viser et underskudd på  $7, 8 \cdot 10^6 \text{m}^3$  vann eller 0,90 m (28 l/s km<sup>2</sup>) jevnt fordelt over hele breen. Likevektslinjen lå 2090 m o.h. Fig.35 viser breens firnområde 23. august. Likevektslinjen lå da litt lavere enn ved ablasjonssesongens slutt. Ellers vil alle resultatene ang. massebalansemålingene finnes i fig.34 og tilhörende tabell.

Det nord-östlige breområdet ble i löpet av sommeren 1970 omtrent avsnöret fra hovedbreen, se fig. 36. Noen transport av is fra dette område ned til tunga foregår altså ikke lenger. Indikasjoner på dette har en også i fjorårets hastighetsmålinger fra Austre Memurubre. De viser at breen på östsiden av tungas midtmorene nesten ikke er i bevegelse lenger.

## Meteorologiske observasjoner og beregninger.

Det var iår plasert observatörer i tiden 23. juni til 1. september på nedre hytte hvor de vanlige meteorologiske observasjonene ble tatt. På övre hytte var det oppsatt en termograf, hygrograf, pluviograf og en standard nedbörsmåler. I tillegg til dette var også en aktinograf (strålingsmåler) plasert her. Dataene fra denne og de resultater som kan utledes av dette blir presentert lenger ute i denne rapporten (side 69). Ellers er alle de meteorologiske dataene samlet i fig. 37 på side 49.

<u>Sky- og vindforhold.</u> Midlere skydekke ved nedre hytte er beregnet for perioden 22. juni til 31. august. For 9 dager i juni ble middeltallet 8, 6, for hele juli 8, 0 og august 6, 5. Gjennomsnittet for hele perioden ble 7, 4. Bare 2 dager er notert med helt klart vær, 16 dager hadde halvskyet eller bedre mens det 30 dager var tett skydekke.

Vindstyrken ble målt kontinuerlig på nedre hytte. Det var hele tiden lite vind og

48



Fig. 37 Resultatene av de daglige meteorologiske observasjonene ved de to observasjonshyttene og beregnet dögnavlöp i Breelva.

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

,

middelstyrken for hele perioden ble 2,4 m/s. Höyeste vindstyrke ble målt 15. juli til 7,4 m/s, mens den laveste, 0,7 m/s, var 15. august. Vindretningen vekslet endel, men lå mesteparten av tiden mellom syd-öst og vest. Det er tydelig at brevinden fra Austre Memurubre ikke påvirker forholdene ved nedre hytte noe særlig.

<u>Temperaturforhold.</u> Lufttemperaturen ble målt både på övre og nedre hytte. Termografen på övre hytte sviktet enkelte perioder slik at månedsmiddeltemperaturer ikke kan utregnes derfra. Ved nedre hytte ble middeltemperaturen for 9 dager i juni 7,5°C, i juli 4,5°C og i august 7,1°C. Midlet for hele observasjonsperioden ble 6,0°C. Höyeste dögnmiddeltemperatur ved nedre hytte var 12,0°C og ble målt 4. august, mens den laveste ble 1,7°C den 16. juli. På övre hytte var de tilsvarende verdier 9,2°C den 4. august og 0,7°C den 1. juli.

Temperaturgradientene mellom övre og nedre hytte er beregnet for de perioder der det finnes verdier fra begge målestedene. 7 dager i juni gav en gradient på  $0,70^{\circ}C/100$  m. I juli ble temperaturen registrert 20 dager og gradienten ble  $0,68^{\circ}C/100$  m, mens august ga de tilsvarende tallene 23 dager og  $0,73^{\circ}C/100$  m. Midlet av 50 observasjonsdögn ble en temperaturgradient på  $0,71^{\circ}C/100$  m.

Temperaturgradienten mellom den meteorologiske stasjonen Varden på Filefjell og nedre hytte er beregnet og satt sammen med de tilsvarende verdiene fra 1969.

	Juni	Juli	August	22/6-31/8 1970 12/6-31/8 1969
Varden/nedre hytte 1970	0,84	0,76	0,63	0,73
Varden/nedre hytte 1969	0,55	0,65	0,57	0,60

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

Det fremgår av dette at gradienten er höyere i år enn i 1969. Dette kan skyldes at gradienten synes å være höyere i perioder med dårlig vær enn i utpregete godværsperioder. Sommeren 1969 var preget av lange godværsperioder og mindre dårlig vær enn sommeren 1970.

<u>Nedbörsforhold</u>. Målinger tidligere år har vist at det er liten variasjon i nedbörsfordelingen i dette breområdet og at middelnedbören for hele feltet er meget nær den som blir målt ved övre hytte. En har derfor bare målt nedbören ved övre og nedre hytte iår. På övre hytte var det plasert en pluviograf og en normalmåler, mens det på nedre hytte ble målt i en normalmåler. I hele perioden fra 23. juni til 28. august falt det 285 mm ved nedre hytte og 300 mm ved övre hytte. Nedbören i juli kom fordelt over mange dager (28 på övre hytte), mens det i august var bare 10 dögn med nedbör. Over halvparten av nedbören i august falt den 18. da det ble målt 52 mm ved nedre hytte. Nedbören i de forskjellige månedene er sammenliknet med nedbören målt på Filefjell (met.inst. stasjon Varden).

	Nedre hytte P <sub>n</sub>	Övre hytte P <sub>ö</sub>	Varden P <sub>v</sub>	P <sub>n/P<sub>ö</sub></sub>	P <sub>n/P</sub> v	P <sub>ö</sub> /P <sub>v</sub>
23.6-30.6	79,3	91,4	32,3	0,87	2,46	2,83
Juli	112,2	130,2	117,2	0,86	0,96	1,11
1.8-28.8	93,0	78,6	35,0	1,20	2,66	2,24
23.6-28.8	284,5	300,2	184,5	0,95	1,54	1,63

Det ser ut som om forskjellene i nedbör målt ved Varden og på Austre Memurubre er störst i de perioder hvor nedbören kom som kraftige byger. Denne nedbörstypen var dominerende i juni og august, og kan dels være av konvektiv art.

Luftfuktigheten. Hygrografen var plasert på övre hytte, 1890 m o.h. Som diagrammet viser var det lange perioder i juli da instrumentet ikke fungerte og resultatene blir derfor ikke dekkende for hele observasjonsperioden. Ialt er vanndamptrykket utregnet for 50 dögn og den midlere verdi ble 6,65 mb. Sammenlikninger med forholdene på Vesledalsbreen viser at det er en god korrelasjon mellom de to stedene. Ialt er det 9 dager med vanndamptrykk mindre enn 6, 1 mb på Austre Memurubre, i det samme tidsrom hadde Vesledalsbreen også 9 dager med vanndamptrykk mindre enn metningstrykket ved  $0^{\circ}$ C. 6 av disse dagene er felles for begge stedene. På Vesledalsbreen var vanndamptrykket lavt i de perioder da vi savner målinger fra Austre Memurubre. Det er ut fra de sammenlignbare periodene grunn til å tro tilsvarende forhold også eksisterte på Austre Memurubre i disse periodene.

<u>Avrenning.</u> Limnigrafen i breelva (VM 1698) fungerte tilfredsstillende hele målesesongen. Under flommen tidlig på sommeren endret måleprofilet seg noe, p.g.a. erosjon. Ny vannföringskurve måtte derfor oppmåles og de dögnlige avlöpstallene som vises i observasjonsdiagrammet s. 49 er beregnet på grunnlag av denne nye kurven.

## Gråsubreen

## Materialhusholdningen.

<u>Vinterbalanse</u>. Målingene av årets vinterbalanse ble tatt allerede 29.-30. mars i forbindelse med andre arbeider på breen. Det var pent vær under målingene og ialt ble det tatt 200 sonderinger langs 10,7 km sonderingsprofiler. Det ble gravet 4 snösjakter for bestemmelse av snöens tetthet. Snömengdene var beskjedne, under 2 m alle steder, unntatt i den sydvestlige botn.

Vinterbalansen på dette tidspunktet er beregnet til  $1, 4 \cdot 10^6 \text{m}^3$  vann som utgjör 0,57 m (18 1/s km<sup>2</sup>) spesifikt fordelt.

Balanseökningen fram til vintersesongens avsluttning som var ca. 3. juni, er forsökt beregnet ut fra nedbören målt på Fanaråki. Det er ikke tidligere foretatt nedbörsmålinger på Gråsubreen og en kjenner derfor ikke forholdet mellom nedbörsmengdene som faller på de to stedene. Ved å trekke inn forholdet mellom snöakkumulasjonen på Gråsubreen og Nigardsbreen og sommernedbören på Fanaråki og Steinmannen (Nigardsbreen) kan det beregnes at Gråsubreen får ca. 40% av nedbören som måles på Fanaråki. Ut fra dette er tilleggsakkumulasjonen beregnet til 3 cm vann over hele breen.



Fig. 38 Beliggenheten av staker, sjakter og sonderingsprofiler. The location of stakes, pits and sounding profiles.



Fig. 39 Kart som viser vinterbalansen 1970.

Map of the winter balance 1970.

Höyde	Areal	Vinterbalanse			So	mmerbal	lanse	Nettobalanse			
intervall m o.h.	S 2 km	$10^{6}$ m <sup>w</sup> 3	m	$ _{l/s \ km}^{b}$	$\begin{bmatrix} B & b \\ 6^{5} & 3 \\ 10^{6} & m \end{bmatrix} \begin{bmatrix} b \\ 1/s & km \end{bmatrix}^{2}$		B106m3	m	$\left  {{l / {\rm{s}}  {\rm{km}}^2}} \right $		
2250-2280	0.031	0.024	0.77	24	0.019	0.63	20	+0.005	+0.14	+ 4	
2200-2250	0.178	0.122	0.69	22	0.111	0.63	20	+0.011	+0.06	+ 2	
2150-2200	0.309	0.186	0.60	19	0.224	0.73	23	-0.038	-0.13	- 4	
2100-2150	0.386	0.153	0.40	12	0.382	0.99	31	-0.229	-0.59	-19	
2050-2100	0.417	0.189	0.45	14	0.490	1.18	37	-0.301	-0.73	-23	
2000-2050	0.461	0.234	0.51	16	0.669	1.45	46	-0.435	-0.94	- 30	
1950-2000	0.459	0.309	0.67	21	0.745	1.62	51	-0.436	-0.95	- 30	
1900-1950	0.218	0.169	0.78	25	0.354	1.63	51	-0.185	-0.85	-27	
1870-1900	0.068	0.059	0.87	28	0.124	1.83	58	-0.065	-0.96	- 30	
1870-2280	2.528	1.445	0.57	18	3.118	1.23	39	-1.673	-0.66	-21	

GRÅSUBREEN 1970

Sommerbalanse. Breen ble ikke besökt i sommersesongen, men alle stakene, unntatt st. 13, ble funnet og målt 23. september. På dette tidspunkt var breen dekket av nysnö og studier i snödekket nær st. 6-67 viste at dette var frosset til et dyp av 90 cm. Sommersesongens slutt kan ut fra direkte målinger på de nærliggende Memurubreene settes til 1. september. Sommerbalansen er utregnet på 15 staker, hvorav bare en viste positiv balanse.

lalt er sommerbalansen beregnet til 3,  $1 \cdot 10^6 \text{m}^3$  vann eller spesifikt fordelt  $1,23 \text{ m} (39 \text{ l/s km}^2).$ 



Fig. 40

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

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

0,4 10<sup>6</sup> m<sup>3</sup> water balance

<u>Nettobalanse.</u> Denne ble også iår negativ og utgjorde et underskudd på  $1,7 \cdot 10^{6} \text{m}^{3}$  vann, eller som et vannlag av 0,66 m tykkelse fordelt over hele breen (21 1/s km<sup>2</sup>).

Likevektslinjen dette året ble liggende 2200 m o.h. Over dette nivået lå fortsatt noe av vinterens akkumulasjon igjen ved sommersesongens slutt.

Alle resultatene av massebalansemålingene finnes i tabellen på side og i fig. 40

#### Svartisen

Etter bestilling av Statskraftverkene ble det sommeren 1969 startet omfattende hydrologiske og glasiologiske undersökelser i Saltfjell-Svartisområdet.

I löpet av 1969-1970 ble det bygget 8 limnigrafer i tillegg til de allerede eksisterende i dette området. Videre ble det startet bre- og slamundersökelser ved to brefelt, nemlig :

<u>Engabreen</u> på Svartisens vestside. Breens höyeste partier ligger i området ved Snötind (1594 m o.h.) mens bretunga går ned til ca. 80 m o.h. Smeltevannet passerer gjennom Engabrevatn til Holandsfjorden. Limnigraf for registrering av avlöp er derfor satt opp i Engabrevatn. Hytte til bruk ved breundersökelsene er oppfört ved Lillebreen ca. 900 m o.h. med en garasje på ca. 1100 m o.h. Slamundersökelsene drives fra en hytte ved vatnet. Slamundersökelsene kom igang sommeren 1969, mens de förste stakene på breen ble satt ut hösten 1969. Resten av stakenettet ble satt ut våren 1970.

<u>Trollbergdalsbreen</u> - et brefelt utenfor selve Svartisen ved Skjelåtind i Beiarn. Breens höyeste partier ligger på 1370 m o.h. på sydsiden av Skjelåtind. Breen vender mot öst og går ned til ca. 900 m o.h. Den drenerer til Beiarelv. Limnigraf er satt opp i breelva ca. 1 km nedenfor breen og en hytte er satt opp i ca. 950 m höyde, ikke langt fra bretunga. De förste stakene ble satt ut sommeren 1969 samtidig som en begynte de förste slammålinger og meteorologiske observasjoner.

Videre vil en sommeren 1971 starte undersökelser av et brefelt ved Högtuva i Rana. Undersökelsene vil ha samme omfang som ved Trollbergdalsbreen. Det utpekte feltet ligger på nordsiden av Högtuva, er östvendt og drenerer ned Leirdalen til Langvatn. I forbindelse med undersökelsene er det konstruert spesielle brekart for disse to områdene, Engabreen i målestokk 1:20 000 og Trollbergdalsbreen 1:10 000. For begge gjelder at kartene er konstruert fra flyfotos tatt 25. august 1968. Ekvidistanse er 10 m på breflaten, det samme som ble valgt på de brekartene som tidligere er konstruert for breområder med massebalanseundersökelser i Syd-Norge. For å lette navigasjonen på breene, er flere markerte terrengformasjoner spesielt avmerket og höyden angitt. Da kartene er konstruert med henblikk på feltbruk og notering av måleresultater direkte på kartet, er breoverflaten ikke fargelagt mens höydekurver og sprekkområder er gitt en lys grönnfarge. Et eksemplar av begge kartene er vedlagt i en lomme på nest siste omslagsside og den geografiske beliggenhet er vist på fig. 41.



LOCATION MAP

## Engabreen

#### Materialhusholdningen

<u>Vinterbalanse.</u> Breen ble förste gang besökt 8.-10. september 1969. Det var da kommet ca. 20 cm nysnö. En satte ut et forelöbig stakenett med i alt 8 staker. Ved neste besök i februar 1970 ble 3 av disse stakene funnet. Samtidig satte en ut i alt 30 nye staker, derav 5 på bretunga.

Akkumulasjonsmålingene ble foretatt i tiden 2.-7. mai. Alle stakene som var satt ut i februar ble funnet. Det ble foretatt 360 sonderinger langs ca. 71 km sonderingsprofiler. Snötettheten ble målt ved stakene 14 og 121. Det har neppe vært akkumulasjon av betydning i tiden fra akkumulasjonsmålingene i begynnelsen av mai til sommermålingene begynte 15. juni.

Vinterbalansen er beregnet til 79  $\cdot 10^6 \text{m}^3$  vann eller i middel 2.05 m vann (65  $1/\text{s km}^2$ ).



## ENGABREEN 1970

Position of stakes, pits and sounding profiles

Fig. 42 Beliggenhet av staker, sjakter og sonderingsprofiler.

The location of stakes, pits and sounding profiles.

Sommerbalanse. Stakene ble målt 12-15 ganger i löpet av perioden 16. juni - 8. september.

Ablasjonen var allerede kommet igang da sommermålingene begynte. Sett under ett, må ablasjonen på Engabreen denne sommeren kunne karakteriseres som relativt stor. En har imidlertid ikke tidligere års undersökelser å sammenligne med.

I områdene over ca. 1000 m falt det 13.-14. juli fra 3-10 cm snö ellers var det lite sommerakkumulasjon. Siste ablasjonsmåling ble tatt 8. september. Det hadde da falt 20-30 cm nysnö over hele breen höyere enn ca. 900 m. Seinere stakemålinger mislyktes p.g.a. usedvanlig dårlige værforhold denne hösten. Sommersesongens slutt er derfor satt til 8. september for hele breen. P.g.a. gjentatte mildværsperioder utover hösten må en regne med ytterligere smelting på tunga, denne overföres til neste års balanseregnskap.

Sommerbalansen er i alt beregnet til 117, 7  $\cdot$  10<sup>6</sup>m<sup>3</sup>, tilsvarende 3,04 m vann i middel over hele breoverflaten (96 1/s km<sup>2</sup>).



#### ENGABREEN 1970

Winter balance in cm of water equivalent

Höyde	Areal	V	interbala	nse	Soi	mmerbal	anse	N	ettobalan	se
intervall	S	B		b	В		b	В		b
m o.h.	km <sup>2</sup>	$10^{6.3} \text{m}^3$	m	l/s km <sup>2</sup>	$10^{6} \text{m}^{3}$	m	$1/s \text{ km}^2$	$10^{6m}$ m <sup>3</sup>	m	 l∕s km
1500-1594	0.124	0.274	2.21	70	0.217	1.75	55	0.057	+0.46	+ 15
1450-1500	0.276	0.651	2.36	75	0.482	1.75	55	0.169	+0.61	+ 20
1400-1450	2.232	5.593	2.51	80	4.042	1.81	57	1.551	+0.70	+ 23
1350-1400	5.036	12.600	2.50	79	11.171	2.22	70	1.429	+0.28	+ 9
1300-1350	4.312	10.768	2.49	79	9.700	2.25	71	1.068	+0.24	+ 8
1250-1300	3.088	7.597	2.46	78	8.130	2.63	83	-0.533	-0.17	- 5
1200-1250	5.252	11.423	2.17	69	14.585	2.78	88	-3.162	-0.61	- 19
1150-1200	5.178	10.413	2.01	. 64	16.260	3.14	99	-5.847	-1.13	- 35
1100-1150	2.630	4.658	1.77	56	8.550	3.25	103	-3.892	-1.48	- 47
1050-1100	2.792	4.681	1.68	53	9.870	3.55	112	-5.189	-1.87	- 59
1000-1050	1.992	3.256	1.63	52	7.460	3.75	119	-4.204	-2.12	- 67
900-1000	2.460	3.826	1.56	49	9.595	3.90	124	-5.769	-2.34	- 75
800- 900	1.128	1.532	1.36	43	4.930	4.37	138	-3.398	-3.01	- 95
700- 800	0.552	0.621	1.13	36	2.725	4.94	157	-2.104	-3.81	-121
600- 700	0.442	0.409	0.93	29	2.320	5.25	166	-1.911	-4.32	-137
80- 600	1.167	0.832	0.71	22	7.560	6.48	205	-6.728	5.77	-183
80-1594	38.661	79.134	2.05	65	117.697	3.04	96	-38.563	-0.99	- 31

ENGABREEN 1970

ENGABREEN 1970



Fig. 44 Variasjonene av vinter-, sommer- og nettobalansen med höyden over havet, breens arealfordeling og arealverdier av nettobalansen i hvert 50 m höydeintervall.

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

<u>Nettobalanse.</u> Likevektslinjen for Engabreen ble liggende på 1300 m o.h. Nettobalansen for breen som helhet er klart negativ, dvs. breen avtok med  $38,5 \cdot 10^6 \text{m}^3$ vann, som i middel for hele breflaten utgjör 0,99 m (31 1/s km<sup>2</sup>). For övrig framgår de kvantitative resultater av tabellen på side 58 og fig. 44



# ENGABREEN 1970

Fig. 45 Resultatene av de daglige meteorologiske observasjonene samt beregnet dögnavlöp ved utlöpet av Engavatn.

The daily meteorological observations and computed daily discharge at the outlet of the lake.

1

## Meteorologiske og hydrologiske observasjoner

Sky- og vindforhold. I perioden 25.juni - 25.august hadde en 16 dager med halvskyet eller klarere vær. Dögnlig middelvindstyrke varierte mellom 0,9 m/s (11. og 12.juli) og 14,2 m/s (20.juli). Vindretning var overveiende fra sydvestvest.

<u>Temperaturforhold.</u> Lufttemperaturen ble registrert ved observasjonshytta. Laveste dögnmiddeltemperatur var 1,7°C (16.juli),höyeste registrerte var 13,3°C (2. august). Ingen dager ble det registrert negative temperaturer. Middeltemperaturen for hele perioden var 7,6°C.

<u>Nedbörforhold</u>. Dögnlig nedbör er målt med pluvius ved observasjonshytta. Det ble i observasjonsperioden målt 395 mm nedbör som regn. Ved hytta falt det ikke snö.

Det ble også gjort forsök på å måle nedbörfordelingen på breen, men dette var ikke vellykket. I perioden med stor nedbör er sikten på breen svært dårlig, og det lar seg ikke gjöre å få tömt pluviusene regelmessig.

Luftfuktighet. Luftfuktigheten ble målt i mesteparten av observasjonsperioden. Av diagrammet fremgår at det i denne perioden ikke forekom dager med vanndamptrykk under 6, 1 mb, som er metningstrykket ved 0<sup>°</sup>C.

<u>Hydrologiske målinger.</u> Dögnavlöpene registreres i vannet nedenfor breen (VM 1774). Vassföringskurve ble målt sommeren 1969. Kontrollmålinger ble gjort sommeren 1970 uten at en fant målbare profilforandringer ved bestemmende profil. Dögnavlöpene målt i 10<sup>6</sup>m<sup>3</sup> er gjengitt i observasjonsdiagrammet.

# Trollbergdalsbreen

Stakenettet ble utsatt sommeren 1969. Fra 25. juni og ut juli var det stasjonert to sommerassistenter som foruten utsetting av stakene foretok slammålinger og meteorologiske observasjoner.

### Materialhusholdningen

Vinterbalanse. Breen ble besökt 3.-5. desember 1969. Av 9 utsatte staker ble 8 funnet og forlenget. Akkumulasjonsmålingene ble foretatt 20.-22. mai og samt-



Position of stakes, pits and sounding profiles



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

lige staker fra desember ble da gjenfunnet. Det ble videre satt ut en ny stake og tatt 120 sonderinger langs 10 km sonderingsprofiler. Sommerflaten var gjennomgående meget tydelig.

Snötettheten ble målt ved stake 50-69. Akkumulasjonsmålingene ble foretatt relativt sent, og det har ikke vært akkumulasjon av betydning fra målingene ble foretatt fram til sommermålingene begynte. Vinterbalansen er beregnet til 3,6  $\cdot$  10<sup>6</sup>m<sup>3</sup> vann som tilsvarer 1,74 m vann fordelt over breen (55 l/s km<sup>2</sup>).

<u>Sommerbalanse</u>. Nedbör i form av snö falt i små mengder på de höyereliggende delene av breen (over 1100 m o.h.) 13. juli, 7. august og 28. august. Siste ablasjonsmåling ble foretatt 31. august. I likhet med Engabreen kunne senere forsök ikke gjennomföres p.g.a. værforholdene. Sommersesongens slutt har en derfor måttet sette til 31. august.

Sommerbalansen varierer fra 5,7 m vann på tunga til 3,7 m i de höyeste områdene. Total sommerbalanse for breen er beregnet til 8,6  $\cdot$  10<sup>6</sup>m<sup>3</sup> vann, tilsvarende 4,2 m (133 1/s km<sup>2</sup>).



Fig. 47 Kart som viser vinterbalansen 1970. Map of the winter balance 1970.

<u>Nettobalanse</u>. Årets akkumulasjon smeltet bort over hele breen, og breens masse minket med 5,0  $\cdot$  10<sup>6</sup>m<sup>3</sup> vann eller i middel 2,5 m (78 l/s km<sup>2</sup>) hvilket må være et eksepsjonelt stort tap for et enkelt år.



Fig. 48 Trollbergdalsbreen mot syd-vest 30. juli 1970. Nesten hele vinterens snödekke var allerede smeltet.

Trollbergdalsbreen, July 30, 1970. The old glacier surface was exposed very early this summer.

62

Höyde	Areal	v	interbala	anse	So	mmerbal	anse	N	lettobalan	se
intervall	S	B		b <sub>w</sub>	B	b		B		b <sub>n</sub>
m o.h.	km <sup>2</sup>	$10^{6} \text{m}^{3}$	m	l/s km <sup>2</sup>	10 <sup>65</sup> 3	m	l/s km <sup>2</sup>	$10^{6} \text{m}^{3}$	m	l/s km <sup>2</sup>
1350-1370	0.003	0.006	2.00	63	0.011	3.66	116	-0.005	-1.66	-53
1300-1350	0.050	0.106	2.12	67	0,187	3.74	119	-0.081	-1.62	- 52
1250-1300	0.045	0.096	2.13	67	0.167	3.71	118	-0.071	-1.58	-51
1200-1250	0.190	0.404	2.12	67	0.701	3.69	117	-0.297	-1.57	-50
1150-1200	0.191	0.361	1.90	60	0.701	3.68	117	-0.340	-1.78	- 57
1100-1150	0.137	0.292	2.13	67	0.496	3.62	115	-0.204	-1.49	-48
1050-1100	0.556	1.025	1.84	58	2,216	3.98	126	-1.191	-2.14	-68
1000-1050	0.607	0.907	1.50	48	2.702	4.45	141	-1.795	-2.95	-93
950-1000	0.202	0.290	1.43	45	1.041	5.14	163	-0.751	-3.71	-118
900- 950	0.074	0.096	1.30	41	0.425	5.74	182	-0.329	-4.44	-141
900-1370	2.055	3.583	1.74	55	8.647	4.21	133	-5.064	-2.47	-78

TROLLBERGDALSBREEN 1970





Fig. 49 Variasjonene av vinter-, sommer- og nettobalansen med höyden over havet, breens arealfordeling og arealverdier av nettobalansen i hvert 50 m höydeintervall.

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

### Meteorologiske og hydrologiske observasjoner

<u>Sky- og vindforhold.</u> I observasjonsperioden 27. juni - 22. august hadde en bare 10 dager med skydekke 50% eller mindre, av dem ingen med helt klart vær. På den annen side var det ikke mer enn 18 dager med helt overskyet vær eller tett tåke.

## **TROLLBERGDALSBREEN 1970**





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

Höyeste og laveste dögnlige middelvindstyrke var henholdsvis 10,4 m/s (23.juli) og 1,15 m/s (13.juli). Vindretning er preget av dalens retning (öst-vest).

<u>Temperaturforhold.</u> Lufttemperaturen ble registrert ved observasjonshytta. Laveste dögnmiddel var 1,7°C (16. juli) mens höyeste var 15,4°C (10. juli). Heller ikke ved denne breen ble det registrert negative temperaturer i observasjonsperioden. Middeltemperaturen var 8,0°C for hele perioden.

<u>Nedbörforhold.</u> Nedbör ble målt med en "pluvius" ved observasjonshytta. Det falt totalt 212 mm nedbör i perioden. Også her hadde en vansker med å få regelmessige målinger av nedbörfordelingen på breen.

Hydrologiske målinger. Avlöpsregistreringene foregår i breelva, ca. l km nedenfor breen. Vassföringskurve ble målt denne sommeren. Målestedet er ikke godt, men en regner med å få registrert dögnavlöpene uten alt for stor usikkerhet.

# En sammenlikning av materialhusholdningen på de enkelte breer

Materialhusholdningen av norske breer er i 1570 utfört på ialt 13 forskjellige breområder hvorav 11 ligger i Syd-Norge og 2 i Nord-Norge (Svartisområdet). 10 av breene undersökes av Hydrologisk avdeling mens 2 er utfört av Norsk Polarinstitutt (Storbreen og Hardangerjökulen). Midtre Folgefonni er målt av cand.mag. Arve Tvede. Alle resultatene angående sommer-, vinter- og nettobalansen er samlet i tabellennedenfor.

	Areal	v	interbala	inse	Son	nmerbal	anse	N	ettobalan	se	Likevekts-
	km <sup>2</sup>	$10^{6} m^{3}$	m	$\frac{b_w}{l/s km^2}$	$10^{6} \text{m}^{3}$	m	b s l/s km <sup>2</sup>	$10^{6} m^{3}$	m	$\frac{l}{l/s \text{ km}^2}$	linje m o.h.
Ålfotbreen	4.82	12.53	2.60	82	18.46	3.83	121	- 5.93	-1.23	- 39	(1400)
Vesledalsbreen	4.22	6.44	1.52	48	11.24	2.66	84	- 4.81	-1.14	-36	
Tunsbergdalsbreen	50.11	77.17	1.54	49	119.26	2.38	75	-42.09	-0.84	-27	1590
Nigardsbreen	47.03	81.36	1.73	55	107.45	2.29	72	-26.09	-0.56	-17	1650
Midtre Folgefonni	8.63	17.89	2.07	65	23.16	2.69	85	- 5.27	-0.62	-20	
Hardangerjökulen	17.44	22.65	1.29	41	33.00	1.89	60	-10.35	-0.60	-19	1780
Storbreen	5.40	5.24	0.97	31	9.13	1.69	54	- 3.88	-0.72	-23	1840
Hellstugubreen	3.33	2.31	0.70	27	5.65	1.70	54	- 3.35	-1.00	- 32	2020
Vestre Memurubre	9.05	7.59	0.84	27	14.67	1.63	51	- 7.01	-0.79	-25	1990
Austre Memurubre	8.86	7.05	. <b>8</b> 1	26	14.87	1.71	54	- 7.83	-0.90	-28	2090
Gråsubreen	2.53	1.45	0.57	18	3.12	1.23	39	- 1.67	-0.66	-21	2200
Engabreen	38 66	79.13	2 05	65	117 70	3 04	96	-38.56	-0.99	-31	1280
Trollbergdalsbreen	2.06	3, 58	1.74	55	8,65	4,21	133	- 5.06	-2.47	-78	

Ellers er materialomsetningen sammenliknet innbyrdes ved den samme framstillingsmåte som er brukt i tidligere års rapporter (fig.51, fig.52 og fig.53).

Hovedtrekkene som er kjent fra tidligere år, framgår også tydelig av årets resultater. Variasjonen mellom de forskjellige breer er iår mindre enn hva som ble funnet i 1969 da det tildels var store variasjoner i både sommer- og vinterbalanse over korte avstander.

Av snöakkumuleringskartene fra Meteorologisk institutt kan en se at det i alle brefeltene kom mindre nedbör enn normalt vinteren 1969/70. For 1200 meters nivået lå prosentsatsen i forhold til det normale på 70-80% i Syd-Norge og rundt 90% i Svartisområdet. Målinger på Ålfotbreen viser at 80% av vinterbalansen der var kommet för midten av januar og liknende forhold har sannsynligvis gjordt seg gjeldende også i resten av Syd-Norge. Sammenliknet med 1969 lå vinterba-



#### MASS EXCHANGE ON GLACIERS IN SOUTHERN NORWAY 1970

Fig. 51 Materialomsetningen på de undersökte breene i Sör-Norge. Et profil er lagt fra Ålfotbreen til Gråsubreen, og de övrige breer er plassert i forhold til likevektslinjens höyde 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.

lansen i 1970 nær verdiene for dette året i de vestlige breområdene,mens snömengdene i Jotunheimen var noe mindre enn i 1969 og som nevnt langt under det normale for området.

Sommersesongen startet i månedsskiftet mai/juni for alle breene i Syd-Norge og den störste ablasjonshastigheten ble målt i juni. Middeltemperaturen for denne måneden var på Fanaråki (2064 m o.h.) 5,0°C hvilket er 5°C over det normale og den varmeste juni måned som er målt i högfjellet. Resultatet var at en stor del av snödekket på breene forsvandt tidlig på sommeren og is og firn ble da eksponert. Den store avsmeltingen i 1969 hadde også fört til at den gamle breoverflaten fikk en lav albedo, noe som igjen virket inn på ablasjonshastigheten i 1970.





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

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

Resten av sommeren var temperaturen under det normale i juli og litt over normalen i august. I juli falt det en god del nysnö på de höyestliggende breområdene og dette bevirket at smeltingen var liten i denne måneden.

Sammenlikner en breene imellom vil en finne mindre variasjoner enn i 1969. Særlig i Jotunheimen er tallene for både vinter- og sommerbalansen nær hverandre. Den markert höyere sommerbalansen som ble registrert på Austre Memurubre i 1969 har ingen tilsvarende parallell i 1970. Dette kan skyldes at



#### NET BALANCE DIAGRAMS 1970

Fig. 53 Nettobalansekurvene for 1970. Å = Ålfotbreen, T = Tunsbergdalsbreen, V = Vesledalsbreen, F = Folgefonni, N = Nigardsbreen, Ha = Hardan-gerjökulen, S = Storbreen, He = Hellstugubreen, V M = Vestre Memurubre, A M = Austre Memurubre, G = Gråsubreen.

Net balance curves for 1970. For code explanation see above.

været sommeren 1970 var mer skyet enn i 1969 slik at solstrålingen og dermed breens eksposisjon fikk mindre betydning i smelteprosessen.

Likevektslinjen i 1970 kom til å ligge fra 100 til 200 meter höyere enn i et balansert år, störst forskjell var det i Jotunheimen og minst på Nigardsbreen og Tunsbergdalsbreen. På Vesledalsbreen og Ålfotbreen var det ikke positiv nettobalanse i noen höydenivåer og breoverflaten kom seint på sommeren til å bestå av is eller firn nær sagt overalt. Det er også disse breene som har hatt det absolutt störste massetapet i löpet av de to siste årene.

I Nord-Norge var forholdene sommeren 1970 omtrent som i Syd-Norge. Middeltemperaturen for månedene juni, juli og august i Glomfjord,var 12,8°C hvilket er 1,1°C over normalen. Også her hadde juni det störste temperaturoverskuddet. Sammenlikner en resultatene fra Engabreen og Trollbergdalsbreen synes vinterbalansen å være normalt fordelt. Sommerbalansen er på den annen side markert större på Trollbergdalsbreen hvilket også gjelder balansen i hvert höydenivå. Resultatet er et ekstremt stort underskudd på Trollbergdalsbreen sammenliknet med Engabreen. Om dette er et normalt bilde og hvilke faktorer som evt. forårsaker dette,trengs det flere års massebalansemålinger til for å kunne belyse.

## GLASIAL-METEOROLOGISKE UNDERSÖKELSER I SÖR-NORGE

### Innledning

For å bedre kjennskapet til de klimatologiske forhold ved bre-avsmeltingen i Sör-Norge, ble relativt detaljerte registreringer av stråling og ablasjon utfört i forbindelse med massebalanse- og meteorologisk/hydrologiske målinger på Austre Memurubre og Ålfotbreen sommeren 1970. Tidligere er liknende undersökelser beskrevet fra Skagastölsbreen av Eriksson i 1959, Storbreen av Liestöl i 1967, Gråsubreen av Klemsdal i 1970, Supphellebreen av Orheim i 1970, og Omnsbreen av Messel i 1971 (fig.54).



54 Kart som viser beliggenheten av de breer i Norge hvor energibalanseundersökelser er foretatt.

> Map showing the location of glaciers in Norway where heat balance investigations have been performed.

1

Ved undersökelsene utfört i 1970 skulle man ha oppnådd å få et noenlunde pålitelig bilde av hvilken rolle strålingen spiller kontra de non-radiative ablasjonsfaktorene (hovedsakelig konveksjon og kondensasjon) i et öst-vestlig snitt gjennom bre-områdene i Sör-Norge. Undersökelsene bör imidlertid også sees i sammenheng med de bestrebelser som gjöres på breer over hele verden for å få oversikt over de ulike klimatologiske faktorers innflytelse på avsmeltingen (Hoinkes, 1964, Paterson, 1969). På lengre sikt håper man at undersökelser av denne art skal hjelpe til å avslöre hvilken sammenheng det er mellom klimafluktuasjoner og brevariasjoner. (Ahlmann, 1948 og 1953, Heusser & Marcus, 1964, Lamb & Johnson, 1961, Meier, 1965, Tollner, 1954, Wallén, 1950).



Fig. 55 Testing av strålingsmålere. a) Robitzsch strålingstermometer (referanseinstrument), b) Moll-Gorczynski pyranometer med tilhörende registrator, c') Robitzsch aktinograf av type Casella, c<sup>2</sup>) Robitzsch aktinograf av type Fuess, d) Star solarimeter (albedometer).

The instruments employed for registration of radiation components on the glaciers (Austre Memurubre and Ålfotbreen) during the summer of 1970.

## Metoder og instrumenter

Breoverflatens synking fram gjennom sommeren ble registrert ved målestenger nedboret i breen. Ablasjonen ble så beregnet etter at tetthet av våtsnöen og det frie vanninnhold i snöen var målt. Dersom tettheten av våtsnöen er  $g_{w}$ , vil
tettheten av törrsnöen (dvs. den snö som virkelig smelter,  $\varrho_d$  , være uttrykt ved

$$\ell_d = \frac{\ell_w - p}{1 - P}$$

der P er brökdelen av fritt vann i snöen (Messel, 1971). Det bör i tillegg bemerkes at ablasjonen ikke har samme verdi som avrenningen fra breen, da litt av smeltevannet fra breoverflaten fryser igjen nedi bremassen, hvor vinterens kuldemagasin således varmes opp ved varmen som frigjöres ved frysningen. Mesteparten av denne såkalte påfrosne isen dannes i de förste 3 ukene av sommersesongen (Ambach, 1961, Liestöl, 1967, Schytt, 1949).

For å finne den energimengde som strålingen bidrar med til ablasjonen er det benyttet instrumenter vist i fig. 55 . En teoretisk diskusjon om disse er gitt oversiktlig av Robinson, 1966.

Robitzsch aktinograf, type Fuess, ble benyttet på Ålfotbreen. På Austre Memurubre brukte man et Moll-Gorczynski pyranometer sammen med Robitzsch aktinograf, type Casella. Disse instrumentene registrerte globalstrålingen, dvs. summen av den kortbölgete stråling direkte fra sola ( $I_s$ ), den diffuse himmelstrålingen ( $I_h$ ) og den reflekterte strålingen mot breflaten fra bratte fjellsider omkring ( $I_r$ ). Star-solarimeteret ble brukt til å måle breoverflatens albedo (a), dvs. breflatens refleksjonsevne for den kortbölgete strålingen. Den kortbölgete strålingsenergien som forbrukes til smelting av bremassen, dersom breoverflaten er horisontal, kan dermed uttrykkes som

$$S_{I} = (1 - a)(I_{s} + I_{h} + I_{r})$$

Nå heller Austre Memurubre gjennomsnittlig ca. 7° mot SE, og Ålfotbreen heller ca. 10° mot NNE. På grunn av at strålingen direkte fra sola dermed har sterkere fluks inn mot Austre Memurubre og et fradrag på Ålfotbreen. Korreksjonen er avhengig av i hvor stor grad den direkte solstrålingen dominerer globalstrålingen og hvordan fluksen varierer med breflatens helningsvinkel på de Ut fra målinger med Star-solarmeteret på breddegrader som breene finnes. begge de undersökte breene til ulike tidspunkt av sommeren, ble fölgende korreksjoner foretatt: På Austre Memurubre ble tillegget ca. 0.5% ved overskyet vær, ökende til ca. 3,5% ved klarvær. På Ålfotbreen ble fradraget ca. 1% ved overskyet vær, og fradraget kom opp i vel 5% ved klarvær. De beregnede korreksjonsverdier ble hver dag forhöyet til nærmeste halve prosent i siste del av august samt i september på grunn av solas relativt lave posisjon på himmelen. I juni, juli og förste del av august ble disse tallverdiene senket til nærmeste halve prosent. Av teorien bör nevnes at, dersom solstrålingens andel i globalstrålingen kalles p og den relative endring i strålingsfluksen på grunn av breoverflatens helning kalles s, vil man ha

71



Fig. 56 Utsnitt av registreringsdiagram, med kurver for globalstråling på en klar og delvis skyet dag tidlig på sommeren (överst) og sent på sommeren (nederst).

Diagrams showing curves for global radiation on clear and partly overcast days early in the summer (upper) and late in the summer (lower).

$$S_{I} = (1 - a)(I_{s} + I_{h} + I_{r})(1 - ps)$$

En viss interesse kan det ha at for sommeren 1970 sett under ett er p beregnet til ca. 75% på Austre Memurubre og ca. 65% på Ålfotbreen.

Den langbölgete del av strålingsenergien hadde man intet instrument til å måle direkte. Formelen

$$R_{c} = R_{o} (1 - k (\frac{c}{10})^{2})$$

er benyttet, der R<sub>c</sub> betegner strålingsbalansen (stråling inn mot breflaten - stråling emittert fra breflaten) for ulike skydekke (c). R<sub>o</sub> uttrykker strålingsbalansen ved klar himmel (c = 0), og er etter tidligere direkte målinger fastsatt til - 0,085 cal/cm<sup>2</sup> min. Minustegnet angir at strålingen tapper energi fra breen (Hoinkes & Untersteiner, 1952, Hoinkes, 1953). Skyfaktoren, k, er i beregningene fra Austre Memurubre og Ålfotbreen gitt verdier fra 1,1 til 1,7 - alt etter hvor tynt skydekket er og hvor höyt skybasis befinner seg (Wallén, 1948). Dette vil si at breflaten mottar mer langbölget strålingsenergi enn den sender ut dersom skydekket er tynt og dekker mer enn 9.5 tideler av himmelen. Ved tunge og lave skyer har breflaten, ifölge ovenstående beregninger, langbölget strålingsgevinst dersom sky-tettheten er over ca. 7,6 i tidel-skalaen.

Når det gjelder den praktiske utförelsen av målingene kan det nevnes at aktinografen av type Fuess hadde montert skivetrommel med 4 dögns omlöp, mens trommelen på type Casella brukte 7 dögn pr. omlöp. Type Fuess ga gode diagram for videre bearbeidelse, noe utsnittene vist i fig. 56 skulle bekrefte.

Av praktiske grunner var det umulig å få målt albedoen hver dag. Det ble anledning til å måle albedoen i 5 perioder à 2 - 4 dager fordelt jevnt utover sommersesongen på hver av de 2 breene. Så langt råd var, ble målingene foretatt flere ganger daglig, og i alle fall slik at man ved klarvær fikk verdier klokken 12 (Ambach & Hoinkes, 1963, Hubley, 1955, Messel, 1971, Scheibner & Mahringer, 1968). Forövrig er albedoen (som er en meget viktig faktor i energibalansen) forsökt bestemt ut fra observatörenes fotografier og dagboksanförsler om breoverflatens beskaffenhet.

# Resultater

De dögnlige verdier for albedo og stråling er for Austre Memurubre vist i tabell I og for Ålfotbreen i tabell II.

Man merker seg at albedo og langbölget stråling (den sistnevnte foregår hele dögnet!) bevirker en netto tilfört strålingsenergi for breen på knapt 1/4 av globalstrålingen i förste del av sommersesongen. Denne bröken öker til ca. 1/2 i siste del av sesongen. Globalstrålingen synker, rundt regnet, fra 500 cal/cm<sup>2</sup>/ dag i löpet av sommeren. Konsekvensen er at den strålingsenergi som brukes til smelting av snö og is ikke endrer seg vesentlig fram gjennom sommeren, dersom snömasse og ablasjonsforlöp er normale. Så langt ut som i september vil imidlertid globalstrålingen synke så raskt at den forventede albedosynking ikke oppveier tapet. Så sent på sommersesongen vil det også falle snö på breen ganske hyppig, og albedoen stiger. Både på Ålfotbreen og på Austre Memurubre skjedde dette i slutten av observasjonsperioden på de respektive breer. Den noenlunde jevne strålingsenergitilförsel fram til de siste par ukene av observasjonsperiod-

Date	Albedo	Global Radiation	Global Rad. absorbed	Long-wave Rad. balance	Total Rad. balance	Date	Albedo	Global Radiation	Global Rad. absorbed	Long-wave Rad, balance	Total Rad. balance	Date	Albedo	Global Radiation	Global Rad. absorbed	Long-wave Rad, balance	Total Rad. balance	
	e,		cal	cm <sup>2</sup>		1	5.		cal	cm <sup>2</sup>	·		б,		cal	cm <sup>2</sup>	J	1
June						July						Aug.				1		Ì
26	61	436	174	- 34	140	18	53	304	144	+18	162	9	50	496	253	-57	196	1
27	61	782	315	-103	212	19	59	447	187	- 2	185	10	48	264	138	+ 8	146	
28	60	302	124	- 5	119	20	68	236	74	+27	101	11	54	170	77	+29	106	
29	61	274	107	+28	135	21	66	292	100	-12	112	12	68	548	179	- 81	98	
30	59	291	120	+27	147	22	62	309	119	+ 20	139	13	67	008	205	- 84	121	
July						23	62	608	236	-74	162	14	67	305	102	-16	86	
1	59	287	118	+ 30	148	24	04	388	142	- 52	90	15	68	180	58	+29	87	
2	59	368	154	- 3	151	25	66	645	223	-58	165	16	66	473	164	-01	103	
3	59	446	187	-19	168	26	61	297	116	-18	98	17	63	149	50	- 25	75	
4	58	508	218	- 5	213	27	60	499	204	-26	178	18	54	110	53	- 28	81	ĺ
5	58	758	325	-76	249	28	57	268	115	-19	134	19	59	125	51	- 23	74	
- 6	60	304	123	- 52	71	29	55	368	169	- 38	131	20	00	137	40	- 25	71	
7	- 69	675	214	- 82	132	30	55	290	133	+14	147	21	66	160	54	+23	77	
8	68	533	172	-67	105	31	55	254	116	- 2 3	93	22	67	139	45	+ -1	49	l
9	61	297	121	· 1	122	Aug.						23	67	492	166	-80	80	
10	59	436	183	• 7	190	1	53	741	357	-119	238	24	64	493	183	-117	66	
11	57	496	218	- 8	210	2	54	647	304	- 87	217	25	62	475	188	-120	68	
12	54	352	166	-10	156	3	54	422	198	-25	173	26	60	482	199	-121	78	
13	54	328	154	• 23	177	-4	53	566	272	-66	206	27	53	468	227	-109	118	
14	54	534	250	- 9	241	5	53	571	275	-92	183	28	51	109	53	+20	73	
15	53	573	276	-53	223	6	52	227	111	-14	97	29	51	138	67	• 6	83	
-16	53	714	342	-86	256	7	52	602	294	-86	208	30	50	128	64	· 8	72	
17	53	481	232	- 8	224	8	52	604	295	-92	203						1	



Fig. 57 Ablasjon og netto tilfört strålingsenergi målt på Ålfotbreen i 1970. Ablation and net radiation on Ålfotbreen during the summer of 1970.

Y

20

L

30

10

UG

A

10

Jυ

30

20

Ε

Ν

1'0

U

J

з'n

S

20

U

S T

10

EPT.

-1

TABELL I AUSTRE MEMURUBRE 1970

#### TABELL II ÅLFOTBREEN 1970

				υ				1		ມ					1	υ	1
Date	Albedo	Global Radiation	Global Rad. absorbed	Long-wave Rad. balanc	Total Rad. balance	Date	Albedo	Global Radiation	Global Rad. absorbed	Long-wave Rad.balanc	Total Rad. balance	Date	Albedo	Global Radiation	Global Rad. absorbed	Long-wave Rad, balance	Total Rad. balance
	7/2		cal/	/cm <sup>2</sup>			0 <sup>+</sup> 0		cal/e	cm <sup>2</sup>			σ.		cal/	′cm	
Luna						Inly						Aug.			r	r	
June	65	330	114	-16	98	7	56	433	182	-12	170	12	44	467	245	- 82	163
2	65	504	169	-38	131	8	56	361	152	-22	130	13	45	401	211	-43	168
3	63	593	210	-54	156	9	57	372	154	-20	134	14	45	240	127	- 39	88
4	63	744	261	-115	146	10	56	407	178	-12	166	15	45	469	247	-45	202
5	64	624	213	-112	101	. 11	56	324	137	- 7	130	16	44	478	256	-72	184
6	64	778	266	-120	146	12	56	349	147	- 9	138	17	42	93	54	+29	83
7	63	407	143	- 84	59	13	57	195	81	+28	109	18	42	314	175	+14	189
8	61	777	288	-116	172	14	56	408	172	+ 6	178	19	40	201	116	+15	131
9	62	661	239	-100	139	15	56	133	57	+17	74	20	40	290	167	+ 8	175
10	61	606	226	-56	170	16	59	396	155	- 8	147	21	40	325	187	-12	175
11	62	486	177	-12	165	17	63	303	108	+ 3	111	22	40	444	254	-109	146
12	64	491	170	+18	188	18	60	278	108	+10	118	23	43	493	258	-113	145
13	60	684	262	-58	204	19	56	542	227	-38	189	24	42	481	266	-110	156
14	60	672	257	-70	187	20	56	407	171	-41	130	25	42	498	275	-120	155
15	60	793	302	-115	187	21	55	408	175	+ 4	179	26	43	493	268	-120	148
16	60	725	275	-117	158	22	56	226	96	+24	120	27	41	322	182	+ 2	184
17	61	733	271	-119	152	·23	56	388	163	-25	138	28	41	145	83	+29	112
18	61	781	289	-120	169	24	56	337	141	- 87	54	29	40	157	89	+28	117
19	60	778	296	-120	176	25	55	673	288	-103	185	30	41	148	85	+29	114
20	61	765	283	-116	167	26	56	282	119	-76	43	31	41	70	42	+30	72
21	61	721	267	-110	157	27	56	161	69	+ 4	73	Sept.					
22	58	732	292	-118	172	28	52	437	200	-52	148	1	39	104	62	+ 3	65
23	58	444	178	-64	114	29	50	249	120	+ 6	126	2	39	281	165	+ 4	169
24	59	551	216	-26	190	30	50	211	101	+11	112	3	40	78	47	+22	69
25	57	302	126	+ 3 3	149	31	50	378	181	- 3	178	4	61	75	30	+30	60
26	58	372	151	+ 6	157	Aug.						5	60	134	53	+19	70
27	58	673	270	-53	217	1	48	539	266	-120	146	6	62	157	58	0	58
28	57	168	70	+19	89	2	48	471	233	-96	137	(	62	315	115	-26	89
29	58	336	135	+18	153	3	48	332	166	-63	103	8	63	137	50	+13	65
30	58	311	126	+21	147	4	48	324	149	-59	90	9	61	180	22	-14	50
July						5	49	488	238	-72	167	10	60	52	27	+ 10	50
1	58	194	80	+28	108	6	48	190	95	+ 3	98	12	60	145	56	+17	73
2	56	397	175	+11	186		46	408	210	-60	150	12	60	220	84	+ 9	93
3	57	325	134	+19	153	8	46	385	199	-18	181	14	60	197	76	- 5	71
4	57	253	105	+26	131	9	45	270	143	+10	155	17	00				
5	5/	420	112	+ 8	180	10	40	212	141	+ 1	130						
	1 2 (	1 120	1 00	1 + 21	1 71	1 11	1 42	1 613	112	1 741	1.77			L	L	L	L

en på Ålfotbreen illustreres i fig. 57, hvor også den dögnlige målte ablasjon i 950 m o.h. er tegnet inn. Ablasjonen her er beregnet ut fra observatörenes dögnlige avlesning av 3 nedborede målestenger, ukentlige tetthetsmålinger og måling av fritt vanninnhold hver 3. dag i de förste 2 ukene av observasjonsperioden samt ved et besök på breen i juli (verdier fra 15% fritt vann i snö til 7% fritt vann i firn). Av fig.57 skulle det videre framgå at stråling og ablasjon er dårlig korrelerte störrelser på Ålfotbreen. På Austre Memurubre ble den daglige ablasjon av praktiske grunner ikke målt. Det ble dessverre heller ikke anledning til å få målt det frie vanninnhold i snöen mer enn ved to besök (verdier på 13% og 10%; begge verdier funnet i snö som falt forutgående vinter).

Beregning av ukentlig ablasjon er foretatt for både Austre Memurubre og Ålfotbreen, basert på avlesninger av målestengene på breen hver 3. – 8. dag. De ukentlige verdier for stråling og ablasjon er fört opp i tabell III. Målingene ved stasjonen i 950 m o.h. på Ålfotbreen er også fört opp i tabellen.

	AUSTRE N	MEMURUBR	E	L F O T B R E E N									
	The wh	ole glacier		St	ation 950 m a	a.s.l.	The whole glacier						
Period	Total Ablation	Ablation caused by radiation	Importance of radiation	Total Ablation	Ablation caused by radiation	Importance of radiation	Total Ablation	Importance of radiation					
day/month	g/	cm <sup>2</sup>	$\sigma_{0}^{*}$	g/c	g/cm <sup>2</sup> % g/cm <sup>2</sup>		g/cm <sup>2</sup>						
1/6- 7/6				27,1	10,4	38,4	26,3	9,8	37,3				
8/6-14/6				24,3	15,3	63,0	25,2	14,2	56,3				
15/6-21/6				32,7	14,6	44,6	29,6	13,0	43,9				
22/6-28.6				36,4	13,6	37,4	36,2	12,1	33,4				
29/6- 5/7	19,2	15,1	78,6	22,2	13,2	59,4	21,4	11,9	55,6				
6/7-12/7	16,6	12,3	74,1	29,5	12,1	41,0	26,8	10,8	40,3				
13/7-19/7	20,8	18,3	87,9	21,7	11,6	53,4	19,3	10,0	51,8				
20/7-26/7	16,7	10,8	64,7	18,2	10,6	58,2	17,0	9,2	54,1				
27/7-2/8	19,8	14,2	71,7	30,2	11,5	37,9	24,7	9,1	36,8				
3/8- 9/8	21,5	15,8	73,5	23,5	11,8	50,2	19,2	9,3	48,4				
10/8-16/8	19,1	9,3	48,7	23,1	13,6	58,8	19,6	10,9	55,6				
17/8-23/8	14,3	6,3	44,1	29,5	13,0	44,1	25,9	10,1	39,0				
24/8-30/8	16,4	7,0	42,7	26,9	12,3	45,7	26,3	10,4	39,5				
31/8- 6'9				15,7	7,0	44,6	12,9	6,3	48,8				
7/9-13/9				20,2	5,9	29,2	14,7	5,6	38,1				
Period of observation	164,1	109,1	66,5	381,2	176,5	46, 3	345,1	152,7	44,2				

TABELL III A B L A T I O N A N D R A D I A T I O N 1970

De viktigste resultater fra tabell III er at strålingen bidro med ca. 66% til ablasjonen på Austre Memurubre, mens bidraget var ca. 44% på Ålfotbreen. Man ser at strålingens relative andel på nedre del (950 m o.h.) av Ålfotbreen er beregnet til å være större enn middelverdien for breen. Det ser altså ut til at den lavere albedo, som eksisterer på breens nedre partier (og medförer större strålingsbidrag) mer enn oppveier den relativt höye temperatur og hyppige forekommende brevind (begge disse begunstiger de non-radiative ablasjonsfaktorer).

Hvis man betrakter strålingens relative belöp fra uke til uke, oppdager man raskt at det kan variere ganske kraftig. Spranget fra 87,9% til 64,7% i midtre del av juli på Austre Memurubre og fra 33,4% til 55,6% rundt månedsskiftet juni/juli på Ålfotbreen skulle bekrefte dette. Når det gjelder strålingsenergien forbrukt til ablasjon på Austre Memurubre, kan bemerkes at den ble relativt stor först i observasjonsperioden på grunn av tidlig blottleggelse av is og firn, og den ble relativt lav i de siste 3 ukene av perioden, dels på grunn av snöfall (og dermèd relativ höy albedo), dels på grunn av en del overskyete dager med kraftig vind og relativt höy temperatur. På Ålfotbreen var ablasjonsforlöpet



58 Ukentlige verdier av ablasjon, og dens sammensetning av stråling og non-radiative faktorer på Austre Memurubre i 1970.

> Ablation and the contribution of radiation and non-radiative factors. Weekly accounts during the summer season on Austre Memurubre 1970.



Fig. 59 Ukentlige verdier av ablasjon med markering av strålingsbidrag og bidrag fra non-radiative faktorer på Ålfotbreen i 1970.

Ablation on Ålfotbreen. The contribution of radiation and the non-radiative factors are marked. Weekly accounts on Ålfotbreen during the summer season 1970.

mer normalt, selv om vinterens fattige snöfall også her markerte seg. Snöfall i de 2 siste ukene medförte relativt höy albedo og dermed lite absorbert strålingsenergi. Strålingens retarderende fluks mot den NNE-hellende breoverflaten så sent på året bör også understrekes. (jfr. fig.57 ). Visuelle inntrykk av ukentlige ablasjonsforlöp på de to breene er gitt i fig.58 og fig.59 .

# Diskusjon

En diskusjon basert på opplysningene foran bör forsöke å gi svar på hvor representative resultatene oppnådd i 1970 er for de to breene som da ble undersökt. Videre er det rimelig å presentere resultatene fra Austre Memurubre og Ålfotbreen sammen med resultater oppnådd i Sör-Norge tidligere for å komme fram til en forelöpig regional oversikt, som viser hvordan de ulike klimatologiske faktorene bidrar til ablasjonen.

På flere måter var ablasjonsforholdene ved breene i Sör-Norge sommeren 1970 ikke normale. I balanseåret 1969 hadde breene det störste masse-underskudd på mange år (trolig siden 1947). Dette medförte, sammen med den snöfattige vinteren i fjellet,at relativt store is- og firnareal ble blottet tidlig på sommeren 1970. Relativt lav albedo er en konsekvens av dette.

På Austre Memurubre ble imidlertid albedoen ikke lav, dersom man ser sommeren under ett, fordi relativt hyppige snöfall hevet albedoen i flere perioder (se tabell III). En midlere albedo på 59% **e**r antagelig i overkant av den normale for breen. På den annen side skulle temperatur, fuktighet og vindforhold tilsi at konveksjon og kondensasjon fikk verdier i underkant av det som normalt kan forventes. Strålingens relative andel på ca. 66% i ablasjonen er derfor neppe langt fra den representative for Austre Memurubre i den perioden man her har beregnet for.

På Ålfotbreen falt nysnö bare helt sist i sommersesongen. Breoverflatens albedo sommeren 1970 kan, etter vurdering basert på fotos og dagbokopptegnelser fra denne og tidligere somre antas å være ca. 5% lavere enn normalt (dvs. ved massebalanse-likevekt). Strålingens bidrag til ablasjonen er nok vanligvis neppe over 37%, også fordi ablasjonen målt i 1970 kan regnes til å være i underkant av den som må være forat Ålfotbreen skal være i likevekt og ha "normal" materialomsetning. Situasjonen i 1970 illustrerer imidlertid godt fenomenet akselerende avsmelting; strålingen får ökende innflytelse på ablasjonen på grunn av at större is- og firnområder blottlegges. Fordi flere viktige målinger av praktiske og ökonomiske grunner ikke ble gjennomfört tilfredsstillende, er flere beregninger, som indikert foran bygget på vurderinger basert på "beslektede" observasjoner. Å angi usikkerhetsverdier i de fremkomne resultater er derfor vanskelig. På Ålfotbreen er globalstråling og dögnlige ablasjon i 950 m o.h. de mest pålitelige verdier; standardavviket overstiger neppe 3%. På Austre Memurubre bör nok 5% antas når det gjelder globalstrålingen. Når det gjelder den langbölgete strålingen er metoden lettvint å utföre i felten, men for daglige målinger ikke helt pålitelig. Tidligere undersökelser (Hoinkes & Untersteiner, 1952, Liestöl, 1967, Messel, 1971) synes likevel å tyde på at sluttresultatet for en lengre periode (3 uker eller mer) blir brukbart. Målinger av albedo og fritt vanninnhold i snö ble det minst anledning til å utföre sommeren 1970. Disse bör utföres nöyere ved eventuelle senere undersökelser, selv om relativt detaljerte målinger i Sör-Norge tidligere (Liestöl, 1967, Messel, 1971) gir visse holdepunkter.

For å nærme oss et svar på spörsmålet om hvilken rolle de ulike klimatologiske faktorer spiller i ablasjonen på de ulike breområdene i Sör-Norge er resultatene fra Austre Memurubre og Ålfotbreen fört opp sammen med resultatene fra de tidligere undersökelsene i Sör-Norge (tabell IV).

Year of	Period	Glacier	Position		Ablation c	components %		Author (Year)
Investigation	day/month	(see fig. 1)	<sup>0</sup> N, <sup>0</sup> E m a.s.l.	Radiation	Convection	Condensation	Rain and Sublimation	
1954 1955	May - Sept. May - S <b>e</b> pt.	Skaga- stöls-	$61^{\circ}_{50}$	79 66		21 34		B.E. Eriksson (1959)
1955	6/7 - 8/9	Stor- breen	$ \begin{array}{c}     61^{\circ}35 \\     08^{\circ}20 \\     1600 \end{array} $	54	32	14	1	O. Liestöl (1967)
1963	12/6-18/6 27/7-9/8	Gråsu- breen	61 <sup>0</sup> 39 08 <sup>0</sup> 36 1975	98 59	27	2 14		T. Klemsdal (1964)
1967	1/7-12/7 1/8-18-8 4/98-9	Supp- helle- breen	$61^{\circ}_{030}$ 06°48 ca. 70	32 26 14		68 74 86		O. Orheim (1968)
1968 1969	3/6- 8/9 3/6- 8/9	Omns- breen	$60^{\circ}_{39}$ 07°30 1540	50 55	34 31	16 14	1	S. Messel (1971)
1970	26/6-30/8	Austre Memuru- bre	$61^{\circ}_{033}$ 08°30 ca. 1900	67		33		S. Messel (1971)
1970	1/6-14/9	Ålfot- breen	61 <sup>°</sup> 45 05°40 ca.1250	44		56		S. Messel (1971)

# TABELL IV

HEAT BALANCE INVESTIGATIONS IN NORWAY

Ut fra det som er sagt om variasjoner i faktorenes relative bidrag fra uke til uke, bör den korte observasjonstid for enkelte av undersökelsene påpekes. Videre må man understreke at bidragene kan være noe forskjellige fra sommer til sommer. De verdier som presenteres i tabell V må betraktes som middelverdier for bidragene fra de 3 dominerende faktorer (stråling, konveksjon og kondensasjon) når breene har likevekt i materialomsetningen. Som supplement ved utarbeidelsen av tabell V er det benyttet data fra meteorologiske stasjoner beliggende nær breområdene.

TABELL V
ABLATION CONDITIONS, SOUTHERN NORWAY

Glacier Area	Perc		
	Radiation	Convection	Condensation
Jotunheimen, East	65	24	11
Jotunheimen, West	59	28	13
Jostedalsbreen, East, Finse area	54	31	15
Jostedalsbreen, West	46	36	18
The westernmost glaciers	37	40	23

Tabell V skulle gi uttrykk for strålingens dominans i de östlige breområder og de non-radiative faktorers tilsvarende dominans på breene vest i Sör-Norge. Uten å komme nærmere inn på teoriene om de fysisk-meteorologiske forhold ved energiutvikling og ablasjon (se f.eks. Grainger & Lister, 1966), kan det nevnes - ut fra resultatene gitt foran - at ablasjonen åpenbart vil variere best i takt med vinden på breene lengst vest og med temperaturen på breene i Jotunheimen. Skulle man ta med flere meteorologiske parametre, måtte disse bli <u>vind</u> og temperatur/luftfuktighet i de maritime vestilige breområder, <u>tempera-</u> tur og vind i de kontinentale östlige breområder.

# BREAVLÖPET SOM FUNKSJON AV DE METEOROLOGISKE PARAMETRENE

# Innledning

Ved sammenlikning mellom avlöpet i en breelv og avlöpet i et nærliggende brefritt vassdrag i löpet av en sommer, vil man finne store forskjeller. Ser man bort fra perioden med snösmelting om våren og forsommeren, vil varme, törre perioder före til lave vassföringer i det brefrie vassdraget mens nedbörrike förer til store. I breelven er derimot nedbörsperiodene ofte preget av moderate vassföringer mens varmebölger förer til flommer.

Årsaken til dette er at breene avgir betydelige mengder smeltevann til elvene i tillegg til det naturlige tilsiget som jo er betinget av nedbör og grunnvann. Smeltingen skyldes först og fremst meteorologiske prosesser. For hvert punkt på breen kan energibalansen bestemmes av likninger der de lokale meteorologiske parametrene inngår og avsmeltingen beregnes. Dersom den vesentlige delen av avlöpet i breelven skyldes dette smeltevannet, kan også avlöpet uttrykkes som en funksjon av de meteorologiske parametrene målt i punkter på breen. Hvis en slik relasjon kan finnes, vil man under gitte meteorologiske betingelser kunne beregne hvor meget vann som vil renne i elven etter en viss tid.

De brearmene som har vært studert i denne undersökelsen har et areal på 2 -50 km<sup>2</sup> og en lengde på 3 - 11 km. På de störste breene vil ikke alt smeltevannet rekke å renne av breen samme dag som smeltingen har foregått. Man kan vise at den vesentlige delen av vannet som passerer limnigrafen, har smeltet en a to dager tidligere, og derfor kan slike likninger brukes til direkte prognose av avlöpet.

Ved studier av værets innvirkning på breene har man hittil vesentlig benyttet seg av mikrometeorologiske metoder. Slike metoder er imidlertid meget utstyrs- og personellkrevende og egner seg neppe til praktiske korttidsprognoser for avlöpet.

I denne undersökelsen er det benyttet en metode som går ut på at det observerte avlöpet sammenliknes med observerte meteorologiske parametre fra noen få stasjoner på og omkring breen. Metoden forutsetter at de meteorologiske parametrene stort sett varierer i takt over hele breen. Ved statistiske metoder söker man å finne en relasjon mellom avlöpet og visse enkle funksjoner av de observerte parametrene.

Denne metoden ble förste gang prövet i 1966 da data fra breer i Canada ble analysert ved visuelle betraktninger og senere korrelasjonsanalyser, se Östrem (1966), Paterson (1966). Metoden er senere benyttet ved Brekontorets studier av avlöpene fra norske breer. Likninger ble da funnet for hver bre og hvert år ved regressjonsanalyse, jfr. Östrem (1968, 1969, 1970). En liknende analyse er utfört for noen breer i Alpene av Lang (1970). I Canada har man prövet en matematisk modell med utgangspunkt i varmeomsetningen ved breoverflaten (Derikx og Loijens, 1971).

## Metodikk

Man antar at det eksisterer en lineær sammenheng mellom avlöpet og enkle funksjoner av de meteorologiske parametrene. Avlöpet betraktes som den av-

81

hengige variable og de meteorologiske funksjonene som uavhengige. Ved trinnvis multippel regressjonsanalyse tilpasses en funksjon av formen :

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

til de observerte verdiene :  $Q_{ni}$ ,  $X_{1i}$ ,  $X_{2i}$ , ...,  $X_{ni}$ . De uavhengige variable tenkes målt uten usikkerhet, variansen i avlöpet skyldes de tilfeldige feil E, som er normalfordelt med middelverdi lik 0 og varians  $\sigma^2$ . I likningen står  $X_1$ ,  $X_2$ , ...,  $X_n$  for de uavhengige variable mens k',  $k_1$ ,  $k_2$ , ...,  $k_n$  er regressjonskoeffisientene.

Analysen består i at datamaskinen söker ut den av de uavhengige variable som best forklarer variasjonen i avlöpet. Denne variable blir tatt med i en regressjonslikning med <u>en</u> uavhengig variabel og koeffisientene blir beregnet. Dernest söker maskinen ut den variabel som best forklarer den delan av variansen som den förste variabelen ikke kunne forklare og beregner en regressjonslikning med to uavhengige variable. Beregningene går videre inntil forholdet mellom forklart og uforklart varians kommer under en viss grenseverdi ved innföring av nye variable. Denne grensen svarer til ca. 5% signifikansnivå med det antallet observasjoner og variable som er benyttet. Som et mål for hvor godt regressjonslikningen beskriver det observerte avlöpet, beregnes også den multiple korrelasjonskoeffisienten for hvert trinn i analysen.

En fullstendig beskrivelse av programmet finnes i Wöien (1966). Programmet er et standardprogram som bl.a. benyttes ved Norsk Regnesentral. Databehandlingen er utfört på NVE's regnemaskin CDC 3200.

# Valg av meteorologiske parametre

Den altoverveiende delen av smeltingen på en bre foregår på eller like under overflaten i löpet av sommeren. Betrakter man det överste skiktet av breen, kan det stilles opp en likning for energibalansen i dette laget. Riktignok tilföres det litt energi også fra undersiden, dels p.g.a. varmeledning fra det underliggende fjellet og dels p.g.a. friksjonsvarme, men det er ytterst små kvanta og belöpet er konstant. Da metoden forutsetter at likningen skal bygges opp av störrelser som varierer i takt med avlöpet, kan man derfor uten videre se bort fra de siste prosessene i analysen.

Av likningen framgår det at variasjonen i avsmeltingen vesentlig må skyldes variasjonen i nettoinnstrålingen og i den turbulente transporten av varme og vanndamp. Til en viss grad vil også varmt regn före til öket avsmelting. Varmeledning fra fjellet under breen og gjenfrysing av smeltevann kan også være av betydning for avrenningen, men spiller meget liten rolle sammenliknet med hovedfaktorene lufttemperatur og luftfuktighet.

Avsmeltingen er sterkt avhengig av varme- og vanndampinnholdet i luften. Er luften varm eller fuktig, vil den gradvis avkjöles og bli törrere hvis ikke nye varme eller fuktige luftmasser föres inn over breen. De parameterkombinasjonene som er prövet i analysen er slike som forklarer tilförselen av varm, fuktig luft fra utenforliggende områder, og de som direkte går inn i energilikningen.

Da de meteorologiske parametrene er mer eller mindre interkorrelerte, kan en og samme parameterkombinasjon godt tenkes å forklare flere prosesser. Man kan derfor ikke vente å finne likninger som helt svarer til energilikningen, metoden forutsetter heller ikke at de enkelte variablene skal ha en klar fysisk mening.

# Utgangsdata

Avlöpene er observert på vannmerker eller limnigrafer i elven foran brefronten. Ligger det et vann foran brefronten er vassföringen ved utlöpet benyttet i analysen.

De meteorologiske observasjonene er foretatt av Brekontorets sommerassistenter ved de enkelte breene. Dessuten er standardobservasjoner fra nærliggende stasjoner tilhörende Meteorologisk institutts blitt brukt. For Engabreen og Trollbergdalsbreen er det i tillegg benyttet radiosondedata fra 850-mbar nivået over Bodö.

De meteorologiske parametrene er : l. Temperatur, 2. Nedbör, 3. Luftfuktighet (vanndamptrykket), 4. Vindhastigheten, 5. Totalt skydekke, 6. Globalstrålingen.

For alle observasjoner er dögnmiddelverdier beregnet, og disse data er overfört til hullkort for hver enkelt bre.

# Resultater

For fölgende breer er det dögnlige avlöpet korrelert med de meteorologiske parametrene :

83

Bre	Areal km <sup>2</sup>	Höyde intervall m o.h.	Observa- sjons- periode	Antall ob- servasjoner i analysen
Ålfotbreen	4.82	870-1380	1965-70	392
Erdalsbreen	11.20	860-1900	1967-70	$<^{44}_{68}$
Vesledalsbreen	4.22	1120-1700	1967-70	178
Nigardsbreen	47.03	300-1950	1965-70	$<^{361}_{135}$
Memurubreen	8.86	1630-2250	1967-70	196
Storsteinsf <b>je</b> llbreen	6.12	920-1850	1964-66	168
Engabreen	39.16	90-1575	1969-70	58
Trollbergdalsbreen	2.02	910-1060	1970	64

Tabell	1
--------	---

For hver bre er det utarbeidet opptil tre tabeller :

- Tabell A gir en oversikt over de foreliggende observasjonene.
- Tabell B gir middelverdiene for de observerte parametre for hvert år, og for den databehandlete perioden.

Tabell C gir en oversikt over interessante korrelasjonskoeffisienter.

Som regel vil virkningen av varmebölger eller regnvær kunne gjenkjennes på avlöpskurven i flere dager. Det er derfor foretatt en <u>glidende midling</u> for de meteorologiske parametrene, avlöpet er umidlet. Antall dager det midles over varierer fra bre til bre og ble bestemt ved korrelasjonsanalyse. I likningene er antall dager som hvert ledd er midlet over, markert med bokstaven M og et tall foran symbolet for seneste dag det midles over. F.eks. markeres en tredagers glidende midling for temperaturen t' med uttrykket

 $t'M3_n - 1 \text{ som betyr } (t'(n-1) + t'(n-2) + t'(n-3))/3$ 

der (n-1) står for dagen för, (n-2) for to dager för, osv.

Nedenfor fölger en oversikt over resultatene av analysen for hver av de 8 breene.

# Ålfotbreen

Målingene ble satt igang sommeren 1965 med måling av temperatur, nedbör, vind og skydekke, i 1969 ble målinger av luftfuktigheten og i 1970 målinger av strålingen startet. Fram til 16/7 1969 ble avlöpet målt ved VM 1441 i breelven og fra 12/8 samme år ble avlöpet målt ved VM 1775. Den nye limnigrafen fungerte tilfredsstillende i 1969, i 1970 ser det ut til at den har registrert galt en stor del av sommeren. Målingene fra 1970 er derfor ikke brukt i analysen.

	Тa	bell	2	А	
--	----	------	---	---	--

85

## ÅLFOTBREEN

Oversikt over anvendte symboler

Observasjons-	Ho.h.			Anven	dte sym	boler	
steder	m	temp.	nedb.	fukt.	vind.	skydekke	stråling
Obs.hytta (ca. 100 m öst for bretungen)	905	t	Р	f	v	С	G
Förde (met. st. 5718)	3	t'					
Svelgen (met.st. 5780)	16		P"				
Davik (met. st. 5787)	32		P'''				
Ålfoten II (met. st. 5794)	24		P				

Avlöpet  $Q_n$  er målt ved bretungen, VM 1441 t.o.m. 16/7 1969 og ved VM 1775 t.o.m. 12/8 1969, og angis i  $10^4 m^3$ .

#### Tabell 2 B

## ÅLFOTBREEN

Middelverdier for de observerte og beregnete parametrene 1965-70

			Antall	Avlöp	t	Р	f	ν	С	ť'	P"	P"'	P""
År	Fra	Til	dögn	$10^4 m^3$	°C	mm	mbar	m/s	%	°c	mm	mm	mm
1965	10/6	22/7	43	29.7	5.8	9.8	-	3.8	-	13.3	5.2	3.8	2.6
1966	5/6	5/9	93	29.3	7.4	8.3	-	5.4	-	14.0	4.5	3.7	3.4
1967	12/6	31/8	81	32.6	6.1	12.5	-	4.3×	-	13.1	9.4	7.6	5.4
1968	4/6	3/10	122	22.0	7.0	4.5	-	5.6	-	13.6	3.7	2.7	2.0
1969	4/6	3/10 <b>×</b>	93	26.8	6.6	11.9	8.1+	6.4	-	12.9	9.1	7.3	6.5
1970	3/6	14/9	104	7	7.1	8.0	7.5	6.1	382	14.4	7.0	5.2	4.4
Databe- handlet periode			392	26.8	6.7	8.8	-	5.4	-	13.4	6.0	4.8	3.9

Vinden ble abservert i 41 dögn

**\*** Med brudd 17/7 - 11/8 da limnigrafen ble flyttet

🗄 Fuktigheten ble observert i 67 dögn

' Limnigrafen har sviktet

a dinata Secondaria

Analysen bygger på 392 observasjonsdögn fra perioden 1965-1969. Av de målte parametrene var nedbören målt ved hytta samme dag best korrelert med avlöpet (korrelasjonskoeffisient 0.61). Bedre var imidlertid produktet  $(t \cdot P)$  midlet glidende over to dager (0.77), og dette ble tatt med som förste variabel i likningen som ble :

 $Q_n = 3.54 + 0.16 \cdot (t \cdot P)M2_n + 1.43 \cdot t'M2_n + 0.11 \cdot (t \cdot V)M3_n$ 

Likningen hadde en multippel korrelasjonskoeffisient på 0.86 og en restfeil på 8.2 (30%).

Т

## Tabell 2 C

# ÅLFOTBREEN

Jevnförte observasjoner (utvalg)	Korrelasjons- koeffisient	Jevnförte observasjoner (utvalg)	Korrelasjons- koeffisient
$Q_n - t_{M3n}$	0.15	t - C	-0.55
'' - P <sub>M2n</sub>	0.69	P - P"	0.79
'' - V <sub>M3n</sub>	0.53	$Q_n - f_n$	0.28 +
'' - t' <sub>M2n</sub>	0.28	$Q_n - (f \cdot V)_n$	0.70 +
'' - (t · P) <sub>M2n</sub>	0.77	$(t \cdot V) - (f \cdot V)$	0.72 +
$'' - (t \cdot V)_{M3n}$	0.42	t - G	-0.25
t - t'	0.87	C - G	-0.62

Oversikt over interessante korrelasjonskoeffisienter 1965-69

+ Bare for 1969

٦







ÅLFOTBREEN 1969 DAILY DISCHARGE



Observert og beregnet dögnlig avlöp fra Ålfotbreen i 1966 og 1969. Fig. 60 Observed and computed daily discharge. Ålfotbreen 1966 and 1969.

Fig. 60 viser observert og beregnet avlöp for Ålfotbreen sommeren 1969. Som man vil se beskriver likningen avlöpet ganske godt. En viss forskyvning i avrenningstiden ser ut til å oppstå i forbindelse med de störste flomtoppene, jfr. flommen den 24/9. Dette kan före til ganske store avvik mellom beregnet og observert avlöp. Ved utpregete lavvassföringer vil likningen ofte overestimere avlöpet noe.

Ved Ålfotbreen laller det mer nedbör enn noe annet sted i landet. Som eksempel kan nevnes at flommen den 24/9 bl.a. skyldtes et regnvær som ga 230 mm på tre dögn. Slike store nedbörsmengder er antagelig årsak til at likningen har en såvidt stor restfeil. Vannmerket har en bredekning på bare 59%. I forbindelse med sterke regnvær vil derfor de ikke bredekte delene av dreneringsområdet gi et betydelig bidrag til avlöpet. Forsök på å subtrahere dette bidraget fra avlöpet för analysen utföres har ikke fört fram.

Antallet observasjonsdögn med avlöps- og fuktighetsdata er ennå for lite til at fuktigheten kan trekkes inn i likningen.

# Erdalsbreen

Måling av temperatur, nedbör og avlöp ble startet ved tungen sommeren 1967. Da temperaturen der var lavt korrelert med avlöpet, ble temperaturmålingene stanset året etter og först gjenopptatt i 1970 da også et anemometer ble satt opp ved tungen. Forövrig er det benyttet observasjoner fra den nærliggende Vesledalsbreen og den meteorologiske stasjon Oppstryn i analysen, se tabell 3A.

Tabell 3 A E R D A L S B R E E N

Oversikt	over	anvendte	symboler

Observasjons-	Ho.h.					
steder	m	temp.	nedb.	fukt.	vind.	skydekke
Erdalsbre- tungen	900	ť'	P'		V'	C'
Nedre hytte ved Vesle- dalsbreen	1130	t"	P"			С "
Övre hytte ved Vesledalsbreen	1590	t'"	P'''	f'"	V'''	С "
Oppstryn (met.st. 5870)	205	t	Р			

Avlöpet  $Q_n$  er målt ved bretungen, VM 1771, og angis i  $10^4 m^3$ .

Avlöpene er beregnet ut fra vannstandsobservasjoner ved VM 1771. Analyser av dataene for årene 1967 til 1969 gav en likning med tre ledd der den multiple korrelasjonskoeffisienten ikke var bedre enn 0.58. Ingen av de observerte parametrene viste noen god korrelasjon med avlöpet. Årsaken til dette er at det

# Tabell 3 B

## ERDALSBREEN

Middelverdier for de observerte parametrene 1967 - 70

År	Fra	Til	Antall Dögn	$\frac{\text{Avlöp}}{10^4 \text{m}^3}$	t' °C	P' mm	V' m/s	C' %	t" °C	P" mm	t'" °C	P''' mm	f''' mbar	V ''' m/ s	C ''' %	t °C	P mm
1967	10/7	22/8	44	41.4	-	5.4	-	-	6.0	5.0	2.7	3.4	-	4.8	73	12.7	2.9
1968	29/6	1/9	65	27.6	-	3.6	-	-	6.3	1.9	4.3	1.2	-	4.4	53	14.4	0.9
1969	13/6	31/8	80	55.1	-	3.4	-	-	7.6	3.0	5.4	3.1	7.4	6.1	63	16.1	2.0
1970	27/6	2/9	68	45.4	8.1	5.8	4.1	66	6.4	3.7	3.4	-	6.6	-+	-	13.8	2.4

+ Det selvregistrerende anemometeret sviktet sommeren 1970.

kontrollerende profil ved vannmerket stadig endres litt p.g.a. avleiringer av sand og grus som så skylles bort under store flommer. I forbindelse med storflommen den 25/6 1970 ble det kontrollerende profilet senket ca. 10 cm i forhold til sommeren 1967 da vassföringskurven ble bestemt.

I 1967 var det ingen store flommer, avlöpsdataene antas å være pålitelige for dette året samt for perioden etter storflommen i 1970 da en ny kurve ble bestemt. P.g.a. anemometersvikten på övre hytte sommeren 1970 måtte disse to årene analyseres hver for seg.

# Tabell 3 C E R D A L S B R E E N

1967		1970	
Jevnförte observasjoner	Korrelasjons-	Jevnförte observasjoner	Korrelasjons-
(utvalg)	koeffisient	(utvalg)	koeffisient
Q <sub>n</sub> - P <sub>n</sub> '	0.59	$Q_n - P_n'$	0.56
" - t" n-l	0.51	" - t" n-l	0.53
" - P <sub>n</sub> "	0.52	" - P"	0.50
" - t"" <sub>n-1</sub>	0.40	" - t"" n-l	0.21
" - C" <sub>n-1</sub>	0.35	" - C'n	0.15
'' - V''' <sub>n-1</sub>	0.50	'' - V' n-1	0.50
" - t <sub>n-1</sub>	0.48	" - t'	0.40
" - P <sub>n-1</sub>	0.17	" - f <sup>""</sup> n-1	0.25
" - (t · P)" <sub>M3n</sub>	0.86	'' - (t · P)' <sub>M2n</sub>	0.68
'' - (t · V)''' <sub>M3n</sub>	0.64		0.46
'' - (t · V)''' <sub>M3n-1</sub>	0.70	'' - (f'"·V') <sub>M3n</sub>	0.51
t" - t'"	0.87	$t'_n - t''_n$	0.86
$t''_n - t_n$	0.89	t' <sub>n</sub> - t''' <sub>n</sub>	0.78
t"" - C"'' <sub>n-2</sub>	-0.38	$t'_n - t_n$	0.83
$P'_n - P''_n$	0.59	$t'_n - f''_n$	0.45
P' - P"' n n-l	0.63	$t'_{n} - C'_{n-1}$	-0.43
$P'_n - P_n$	0.18	$P'_n - P_n$	0.54
$P'_n - P_{n-1}$	0.12	$P'_n - P_{n-1}$	0.76

Oversikt over interessante korrelasjonskoeffisienter

For 1967 ble likningen

 $Q_n = 29.69 + 0.736 \cdot (t \cdot P) "'M3_n + 0.299 \cdot (t \cdot V) "'M3_n$ 

funnet. Den multiple korrelasjonskoeffisienten var 0.89 og restfeilen 7.6 (18%). Den neste variabelen som ville bli tatt med i likningen var en temperatur, men den kunne ikke tas med ved det spesifiserte signifikansnivået.

For 1970 ble likningen

 $Q_n = 10.99 + 0.183 \cdot (t \cdot P)'M2_n + 0.088 \cdot (t \cdot V)'M2_n + 3.224 \cdot (t'_n + t''_{n-1})/2$ funnet. Den multiple korrelasjonskoeffisienten var 0.88 og restfeilen 6.1 (19%).

Det ser altså ut til at det er mulig å finne en brukbar likning for Erdalsbreen som svarer til likningen for de andre breene. Antagelig vil produkten  $(t \cdot P)'M_n^2$ og  $(t \cdot V''')M_n^3$  inngå i denne likningen. Dette avhenger imidlertid av hvorvidt avlöpsdataene stadig kan kontrolleres ved vassföringsmålinger, spesielt etter store flommer.

# Vesledalsbreen

Analysen for Vesledalsbreen bygger på de samme meteorologiske observasjonene som analysen for Erdalsbreen unntatt observasjonene fra Erdalsbretungen. Det henvises derfor til tabell 3A for en forklaring på de anvendte symbolene. Avlöpet er registrert på limnigrafen ved utlöpet av Vesledalsvatn (VM 1656).

#### Tabell 4 B

## VESLEDALSBREEN

Middelverdier for de observerte parametrene 1967 - 70

År	Fra	Til	Antall dögn	Avlöp 10 <sup>4</sup> m <sup>3</sup>	t" <sup>o</sup> C	P" mm	C " %	t''' °C	P''' mm	f'" mbar	V'''   m/s	C '''	t <sup>o</sup> C	P mm
1967	15/7	31/8	48	20.3	6.4	4.5	-	3.4	3.2	-	4.6	68	13.0	1.9
1968	26/6	1/9	68	14.6	6.2	1.9	-	3.9	1.2	-	4.6	56	14.4	0.9
1969	29/6	29/8	62	20.2	7.3	3.5	-	5.2	3.7	7.5	5.6	65	15.6	4.0
1970	10/6	1/9	74	19.8	6.6	4.1	67	3,6	-	6.6	- +	-	14.1	2.6
Data- behand let pe- riode	-		178	18.1	6.6	3.2	-	4.2	2.6	-	5.0	62	14.4	1.7

+ Det selvregistrerende anemometeret sviktet sommeren 1970.

Analysen bygger på 178 observasjonsdögn og gav som resultat likningen:  $Q_n = 0.217 \pm 0.163 + (t + V)'''M3_n + 0.195 + (t + P)''M3_n + 1.651 + t''M3_n$ 

Tabell 4	4 C
----------	-----

VESLEDALSBREEN

Oversikt over interessante korrelasjonskoeffisienter

Jevnförte observasjoner (utvalg)	Korrelasjons- koeffisient	Jevnförte observasjoner (utvalg)	Korrelasjons- koeffisient		
$Q_n - t''_n$	0.59	$Q_n - (t \cdot V)'''_{M3n}$	0.73		
" - t" n-l	0.70	'' - t" <sub>M3n</sub>	0.71		
" - P"	0.24	'' - f''' n	0.73 +		
" - P" n-l	0.18	'' - f''' n-l	0.79 +		
" - t"" n	0.47	t" - f""	0.69 +		
" - t"" n-l	0.50	$(t \cdot V)'''_{M3n} - (f \cdot V)'''_{M3n}$	n 0.77 +		
" - V"n-1	0.53	$(\mathbf{t} \cdot \mathbf{P})''_{M3n} - (\mathbf{f} \cdot \mathbf{V})'''_{M3n}$	0.14 +		
" - (t · P)" <sub>M3n</sub>	0.45				

+ Bare for 1969

med multipel korrelasjonskoeffisient 0.88 og reststandardfeil 4.34 (24%). Det foreligger 62 observasjonsdögn med fuktighetsdata, dette er for lite til at fuktigheten kan tas med i likningen.

# Nigardsbreen

Observasjonene begynte i 1965 og bortsett fra 1967 da vinden ikke ble observert er samtlige data benyttet i analysen. Fuktighetsmålingene begynte i 1969, og det foreligger nå 135 fullstendige observasjonsdögn med fuktighetsdata. Avlöpet er registrert ved utlöpet av Nigardsvatn (VM 1408).

Tabell 5 A									
NIGAR	DSBREEN								
Oversikt over	anvendte symboler								

 	the second se	 	 		_
				•	

Observasjons-	Ho.h.			ymboler	oler			
steder	m	temp.	nedb.	luftfu <b>kt</b> .	vindhast.	skydekke		
Björkehaug (met.st, 5543)	280	t	P					
Steinmannen	1620	ť'	Ρ'	f'	٧'	C'		
Breplatået	1773	t''						

Avlöpet  $Q_n$  er målt ved utlöpet av Nigardsvatn, VM 1408, og angis i  $10^4 \text{ m}^3$ .

Analysen bygger på 361 observasjonsdögn. Fölgende likning ble funnet:  $Q_n = 37.93 + 2.13 \cdot (t \cdot V)'M_{n-1}^3 + 0.71 \cdot (t \cdot P)M_{n-1}^3 + 11.29 \cdot tM_n^3$ med multipel korrelasjonskoeffisient 0.86 og restfeil 34.4 (20%).

## Tabell 5 B

## NIGARDSBREEN

Middelverdier	for	de	observerte	parametrene	1965	-	71	0
---------------	-----	----	------------	-------------	------	---	----	---

			Antall	Avlöp	t	Р	t'	P'	f'	V '	С'	t"
År	Fra	Til	dögn	$10^4 m^3$	°c	mm	°c	mm	mbar	m/s	σ,	°C
1965	15/6	29/8	76	107.2	12.7	2.0	2.5	2.8	-	2.4	57	0.7
1966	27/6	31/8	66	170.0	13.2	2.3	3.5	3.0	-	4.3	63	1.2
1967	1/7	31/8	62	148.3	12.0	3.9	3.3	4.1	-	-	75	1.8
1968	20/6	31/8	73	145.0	13.9	1.4	4.0	1.6	-	4.3	52	2.1
1969	20/6	31/8	73	229.4	15.2	2.0	5.8	2.2	7.9	4.7	64	3.1
1970	21/6	1/9	73	201.0	13.8	3.7	3.7	5.1	7.0	5.2	79	1.7
Data- behand- let pe- riode			361	170.0	13.8	2.3	3.9	2.9	-	4.2	63	1.8

Tabell 5	С
----------	---

#### NIGARDSBREEN

Oversikt over interessante korrelasjonskoeffisienter 1965 - 1970

Jevnförte observasjoner (utvalg)	Korrelasjons- koeffisient	Jevnförte observasjoner (utvalg)	Korrelasjons- koeffisient
$Q_n - t_{M3n}$	0.67	$Q_{n} - (t - V)_{n-1}$	0.81
'' - t <sub>M3n-1</sub>	0.67	t - t'	0.89
'' - P <sub>M3n</sub>	0.20	P - P'	0.83
'' - t' <sub>M3n-1</sub>	0.69	t' - C'	-0.47
" - P' <sub>M3n</sub>	0.16	$Q_n - f'_{M3n-1}$	0.80+
'' - V' <sub>M3n-1</sub>	0.30	$Q_n - (f \cdot V)'_{M3n-1}$	0.43+
	-0.03	t' - f'	0.62+
" - $(t \cdot P_{n-1})$	0.26	$(t \cdot V)' - (f \cdot V)'$	0.44+

+ Bare for 1969 - 70.

En analyse av dataene fra 1969-70 der fuktighetsparametre kunne tas med i likningen, gav som resultat en likning der den samme kombinasjonen av de meteorologiske parametrene ble tatt med som tidligere. Fuktigheten ble altså ikke tatt med i likningen – den spilte tydeligvis ikke så stor rolle som man kanskje kunne antatt.

Nigardsbreen er den störste av de undersökte breene. Av parametre observert samme dag inngår bare temperaturen på Björkehaug  $(t_n)$  i den midlete variabelen  $tM3_n$ , den feil som innföres ved å se bort fra temperaturen på dagen og bare midle over de to foregående dagene er liten. Likningen kan da brukes direkte til ett dögns prognoser.

Observasjonene startet sommeren 1967. Det förste året ble vinden ikke målt og dette året er derfor ikke med i analysen. I 1970 ble det ved övre hytte satt opp en termohygrograf som dessverre sviktet i flere perioder. Det ble derfor endel huller i observasjonene, i alt foreligger 43 fullstendige observasjonsdögn som kan brukes i analysen.

Avlöpet er registrert på VM 1698 i breelven. Dessverre endres også det kontrollerende profilet der stadig, men endringene er neppe så store som ved Erdalsbreen.

# Tabell 6 A

## MEMURUBREEN

Oversikt over anvendte symboler

Observasjons-	Ho.h.		Anvendte symboler							
steder	m	temp.	nedb.	fukt.	vind.	skydekke	stråling			
Nedre hytte	1520	t	Р		v	С	· G			
Varden, Filefjell (met.st. 5475)	1010	t'	P'							
Fanaråki (met.st. 5523)	2060	t''	P''							
Övre hytte	1860	t'''	P'''	f'''	v'''	C'''				

Avlöpet  $Q_n$  er målt ved VM 1698 nedenfor nedre hytte, og angis i  $10^4 m^3$ .

#### Tabell 6 B

#### MEMURUBREEN

Middelverdie	for de	observerte	parametrene	1967 - 70
--------------	--------	------------	-------------	-----------

			Antall	Avlöp	t	Р	v	С	G	ť'	P١	t"	P"	t'"	P'''	f "	V '''	C "'
År	Fra	Til	dögn	$10^{4} m^{3}$	°C	mm	m/s	%	cal/cm <sup>2</sup>	°c	mm	°c	mm	°c	mm	mbar	m/s	%
1967	12/7	31/8	51	28,3	5.7	4.9	-	68	-	9.1	2.1	2,3	4.5	-	-	-	-	-
1968	16/6	4/9	81	27.0	6.5	2.6	2.1	62	-	10.1	1.6	3.7	2.7	-	-	-	-	-
1969	21/6	31/8	72	35.0	8.1	2.4	2.6	62	-	11.2	1.4	4.4	2.8	5.7	2.8	-	3.4	64
1970	25/6	31/8	68+	32.4	6.7	4.2	2.2	69	367	10.1	2.8	3.2	4.5	4.0	4.2	6.6	-	-
Data- behand- let pe- riode			196	31.1	7.1	2.9	2.3	64	-	10.5	1.6	3.8	2.9	3.0	2.0	-	-	-

+ Analysen er basert på de 43 dögnene det foreligger fullstendige data for. De oppgitte middelverdiene refererer seg til observasjonene som er benyttet i analysen.

Analysen er utfört for årene 1968-70 og bygger på data fra 196 observasjonsdögn. Likningen ble :

 $Q_n = 4.915 + 0.977 \cdot (t \cdot V)M3_n + 0.151 \cdot (t \cdot P)M2_n + 1.681 \cdot t'M2_n$ med multipel korrelasjonskoeffisient 0.87 og restfeil 7.4 (24%).

Globalstrålingen var lavt korrelert med avlöpet (-0.176). Det er for få data til at fuktigheten kan tas med i likningen.

# Tabell 6 C

## MEMURUBREEN

Jev	nförte observasjoner (utvalg)	Korrelasjons- koeffisient	Jevnförte obse (utvalg	rvasjoner Korrelasjons- ) koeffisient
Q <sub>n</sub>	- t <sub>M2n</sub>	. 0.69	P - P'	0.80
11	- P <sub>M2n</sub>	0.14	P - P"	0.55
	- V <sub>M3n</sub>	0.34	t - C	-0.59
	- C <sub>M3n</sub>	-0.21	Q <sub>n</sub> - f <sup>'''</sup> M3n	0.45+
.,	- t' <sub>M2n</sub>	0.72	Q <sub>n</sub> - (f · V'''	) <sub>M3n</sub> 0.44+
.,	- $(t \cdot P)_{M2n}$	0.14	Q <sub>n</sub> - G <sub>n</sub>	-0.18+
	- $(t \cdot V)_{M3n}$	0.83	t''' - f'''	0.17+
t	- t'	0.96	t - G	0.56+
t	- t"	0.95	C - G	0.73+

#### Oversikt over interessante korrelasjonskoeffisienter 1968 - 1970

+ Bare for 1970.

# Storsteinsfjellbreen

Meteorologiske observasjoner ble foretatt i årene 1964-66. I 1966 ble det kontrollerende profilet helt endret, fölgelig er dette året ikke tatt med i analysen.

## Tabell 7 A

STORSTEINSFJELLBREEN

#### Anvendte symboler

Observasjons-	Ho.h.	Anvendte symboler						
steder	m	temp.	nedb.	vind.	skyd.			
Hytta	980	t'	P'	V '	С'			
Breplatået	1330	t'"						
Björnefjell (met. st. 8490)	512	t	Р					
Bretungen	980	t ''						

## Tabell 7 B

#### STORSTEINSFJELLBREEN

Middelverdier for de observerte parametrene 1964 - 66

År	Fra	Til	An <b>ta</b> ll dögn	$\frac{\text{Avlöp}}{10^4 \text{m}^3}$	t' °C	P' mm	V' m/s	C'	t'" °C	t C	P mm	t"   <sup>0</sup> C
1964	5/6	1/9	89	24.0	5.6	1.6	3.0	74	2.0	8.5	3.2	-
1965	14/6	31/8	79	21.5	5.4	0.8	2.0	70	2.0	8.0	2.2	5.2
1966	28/6	30/8	64	5.8+	6.6	1.8	4.2	75	2.9	9.0	4.1	5.5
Data- behand- let pe- riode			168	22.8	5.5	1.2	2.5	72	2.0	8.3	2.7	-

.

+ Stor profilforandring, dataene fra dette året kan ikke brukes i analysen.

## Tabell 7 C

#### STORSTEINSFJELLBREEN

Oversikt over interessante korrelasjonskoeffisienter 1964 - 1965

Jevnförte observasjoner	Korrelasjons-	Jevnförte observasjoner	Korrelasjons-
(utvalg)	koeffisient	(utvalg)	koeffisient
$Q_n - t'_{n-1}$	0.64	$Q_n - (t \cdot P)_{M2n}$	0.18
" - P' <sub>n</sub>	0.18	$Q_n - t_{M2n-1}$	0.72
" - t"" <u>n</u>	0.63	t - t'	0.93
" - t <sub>n-1</sub>	0.70	t' - t'"	0.97
'' - V'n	0.09	t' - C'	-0.41
'' - (t · V') <sub>M2n</sub>	0.62	P - P'	0.56

Av tabellen framgår at korrelasjonskoeffisientene gjennomgående var lave mellom avlöpet og de meteorologiske parametrene. Mye tyder på at profilet heller ikke der er stabilt, likevel ble en likning funnet ved analyse av observasjonene fra 1964-65 :

 $Q_n = 2.866 + 2.405 \cdot tM2_{n-1} + 0.384 \cdot (t \cdot V)'M2_n + 0.069 \cdot (t \cdot P)M2_n$ med multipel korrelasjonskoeffisient 0,76 og restfeil 9.7 (42%).

## Engabreen

Engabreen er en maritimt eksponert brearm på vestsiden av Svartisen. Med et areal på 36.2 km<sup>2</sup> er den den nest störste av de hittil undersökte breene.

Meteorologiske observasjoner ble igangsatt ved Engavatnet i 1969 da målingene varte snaut en måned. Avlöpet ble målt på limnigrafen ved utlöpet av vannet (VM 1792). For 1970 foreligger i alt 58 fullstendige observasjonsdögn, og det er disse dataene analysen bygger på.

#### Tabell 8 A

#### ENGABREEN

Anvendte symboler

	r						
Observasjons-	Ho.h.	Anvendte symboler					
steder	m	temp.	nedb.	fukt.	vind.	skyd.	
Hytta ved Enga- vatn	20	t	Р	f		С	
Glomfjord (met.st. 8070)	39	t'	P'	f'			
Radiosondedata 850 mb Bodö (met. st. 8229)		t"		f"	V ''		
Nordfjordnes (met.st. 8040)	14		P"'				

Avlöpet  $Q_n$  er målt ved utlöpet av Engavatn, VM 1792, og angis i  $10^4 m^3$ .

I 1969 ble observasjonene tatt ved Engabrevatnet mens observasjonene i 1970 ble tatt fra en hytte i brekanten 880 m o.h. Parametrene som er brukt i tabell 8 B refererer seg i 1969 til 20 m o.h. mens temperaturen i 1970 er målt ved hytta i brekanten. Radiosondedata fra 850 mbar-nivået over Bodö er også benyttet.

#### Tabell 8 B

## ENGABREEN

År	Fra	Til	Antall dögn		t °C	P mm	V m/s	C n	t' °C	P' mm	f' mbar	t" °C	f" mbar	V " m/s	P''' mm
1969	22/7	17/8	27	216.3	15.5	1.1	1.1	40	17.8	1.4.	14.3	-	-	-	1.0
1970	28/6	24/8	58	224.1	8.0	6.7	7.7	57	14.4	4.1	12.2	4.7	6.6	8.3	4.7

## Middelvérdier for de observerte parametrene $\ 1969$ - 70

#### Tabell 8 C

#### ENGABREEN

#### Oversikt over interessante korrelasjonskoeffisienter 1970

Jevnförte observasjoner	Korrelasjons-	Jevnförte observasjoner	Korrelasjons-
(utvalg)	koeffi <i>s</i> ient	(utvalg)	koeffisient
$Q_n - t_n$	0.39	$Q_n - (t \cdot P)_{M3n}$	0.28
" - t <sub>n-1</sub>	0.67	$Q_n - t_{M3n}$	0.70
" - P <sub>n</sub>	0.23	$Q_n - (t \cdot V)''_{M3n}$	0.81
" - t' <sub>n-l</sub>	0.69	$Q_n - (f \cdot V)''_{M3n}$	0.79
$'' = t''_{n}$	0.57	t - t"	0.85
$'' = t''_{n-1}$	0.67	P - P'	0.93
$f'' = f''_n$	0.50	P - P'"	0.81
" - f" <sub>n-1</sub>	0.47	t - C	-0.40
" - V" <sub>n-1</sub>	0.57	t" - f"	0.73

Fölgende likning ble funnet:

 $Q_n = 131.8 + 1.267 \cdot (t \cdot V)''M_n^3 + 0.179 \cdot (t \cdot P)M_n^3 + 3.691 \cdot tM_n^3$ med multipel korrelasjonskoeffisient 0.83 og restfeil 36.2 (16.2%).

## Trollbergdalsbreen

Trollbergdalsbreen er en liten brearm nordöst for Svartisen. Den drenerer mot Beiardalen og har et areal på 2 km<sup>2</sup>. Sommeren 1970 ble meteorologiske målinger utfört nær tungen. Avlöpet er observert på VM 1783.

Analysen bygger på 68 dögn, den beste likningen som ble funnet var :

 $Q_n = 1.308 + 0.166 \cdot (t \cdot V)M2_n + 0.014 \cdot (t \cdot P)M2_{n-1} + 0.768 \cdot f''M2_n$ med multipel korrelasjonskoeffisient 0.93 og restfeil 1.90 (19%). Erstattes

## Tabell 9 A

## TROLLBERGDALSBREEN

Anvendte symboler

Observasjons-	Ho.h.	Anvendte symboler							
steder	m	temp.	nedb.	fukt.	vind.	skyd.			
Hytta	960	t	Р		v	С			
Beiarn (met.st. 8110)	5		P'						
Radiosondedata 850 mb Bodö (met.st. 8229)		t"		f"	V "				
Dunderlandsdalen (met.st. 7974)	155		P'"						

Avlöpet  $Q_n$  er målt ved VM 1783, og angis i  $10^4 m^3$ .

## Tabell 9 B

## TROLLBERGDALSBREEN

Middelverdier for de observerte parametrene 1970

År	Fra	Til	Antall dögn	Avlöp 10 <sup>4</sup> m <sup>3</sup>	t °C	P mm	V m/s	C %	P' m	t" °C	f" mbar	V" m/s	P''' mm
1970	29/6	31/8	64	10.2	7.5	5.1	5.0	76	2.8	4.3	6.5	8.4	3.4

## Tabell 9 C

INCLUDENCONESONEE	Т	R	Ο	L	L	В	Е	R	G	D	А	L	S	В	R	Е	Е	Ν
-------------------	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---

Oversikt over interessan	te korrelasjonskoeffisienter –	1970
--------------------------	--------------------------------	------

Jevnförte observasjoner (utvalg)	Korrelasjons- koeffisient	Jevnförte observasjoner (utvalg)	Korrelasjons- koeffisient
Q <sub>n</sub> - t <sub>n</sub>	0.57	$Q_n - (t \cdot V)_{M2n}$	0.90
" - t <sub>n-1</sub>	0.73	'' - (t · P) <sub>M2n</sub>	0.48
'' - P n	0.25	'' - t <sub>M2n</sub>	0.73
" - P <sub>n-1</sub>	0.22	t - t"	0.91
'' - t"n	0.72	P - P'	0.85
" - t" n-l	0.65	V - V"	0.39
" - f" n	0.69	t - C	-0.45
'' - V"	0.54	t" - f"	0.75

fuktigheten i tredje ledd med temperaturen, får man en likning som er analog med dem som er utviklet for övrige breer :

 $Q_n = 4.466 + 0.077 \cdot (t \cdot V) M2_n + 0.026 \cdot (t \cdot P)M2_n + 0.265 \cdot t M2_n$ 

men den multiple korrelasjonskoeffisienten synker til 0.87 og restfeilen öker til 2.47 (24%).

# Diskusjon av likningen

Analysen har vist at avlöpet for alle breene kan beregnes av en formel av typen:  $Q = k' + k_1 \cdot (t \cdot V) + k_2 \cdot (t \cdot P) + k_3 (t)$  der de meteorologiske parametrene i hvert ledd er målt på stasjoner på eller i nærheten av breene, se tabell 10. De meteorologiske variablene er midlet glidende over 2-3 dögn avhengig bl.a. av breens störrelse.

Det er vanskelig å si hvilke fysiske prosesser hvert enkelt ledd i likningen representerer p.g.a. den höye interkorrelasjonen mellom de enkelte störrelsene. Leddet som inneholder produktet  $(t \cdot V)$  er egentlig et mål for den turbulente transporten av "törr" varme, men siden lufttemperaturen og fuktigheten er höyt korrelerte (0.6-0.8), er det grunn til å anta at leddet også beskriver en vesentlig del av den turbulente transporten av latent varme.

Leddet som inneholder  $(t \cdot P)$  er egentlig et mål for den varmemengden regnet tilförer breen. Dette bidraget til energibalansen er lite, antagelig forklarer leddet også variasjonen i regnets direkte bidrag til avlöpet.

Leddet som inneholder t er oftest det leddet som sist blir tatt med i likningen. For enkelte breer ser det ut til at denne temperaturen kan erstattes med skydekket, for Trollbergdalsbreen med fuktigheten. Antagelig forklarer dette leddet en del av variasjonen i nettoinnstrålingen. Analysen viser at globalstrålingen er svakt negativt korrelert med avlöpet. Skal man ta med strålingen i likningen, må breens albedo og utgående langbölgete stråling være kjent, slik at nettobalansen kan beregnes.

Bre	Antall dögn	Ar	Likning Avlöpet er gitt i 10 <sup>4</sup> m <sup>3</sup>	N l.var.	1idlingst 2.var.	id   3.var.	Korre- lasjons- koeff.	Res. std 10 <sup>4</sup> m <sup>3</sup>	.error
Ålfotbreen	392	1965-70	$Q = -3.54 + 0.16 \cdot (t \cdot P) + 1.43 \cdot t' + 0.11 \cdot (t \cdot V)$	2	2	3	0.86	8.20	31
Erdalsbreen	44	1967	$Q = 29.69 + 0.736 \cdot (t \cdot P)'' + 0.299 \cdot (t \cdot V)''$	3	3		0.89	7.`60	18
	68	1970	Q • 10.99 + 0.183 · $(t \cdot P)'$ + 0.088 · $(t \cdot V)'$ + 3.224 · t	2	2	2	0.88	6.13	19
Vesledalsbreen	178	1967-70	Q = 0.217 + 0.163 $\cdot$ (t $\cdot$ V)" + 0.195 $\cdot$ (t $\cdot$ P)" + 1.651 $\cdot$ t"	3	3	3	0.86	4.34	24
Nigardsbreen	361	1965-70	Q = $37.93 + 2.13 \cdot (t \cdot V)' + 0.71 \cdot (t \cdot P) + 11.29 \cdot t$	3	3	3	0.86	34,39 .	20
Memurubreen	196	1968-70	Q = $4.915 + 0.977 \cdot (t \cdot P) + 1.681 \cdot t'$	3	2	Z	0.87	7.38	24
Storsteinsfjellbreen	168	1964-65	Q = 2.866 + 2.405 · t + 0.384 · (t · V)' + 0.069 · (t · P)	2	2	2	0.76	9.70	42
Engabreen	58	1970	Q = $131.8 + 1.267 \cdot (t \cdot V)$ " - $0.179 \cdot (t \cdot P) + 3.691 \cdot t$	3	3	3	0.83	36.17	16
Trollbergdalsbreen	68	1970	Q = 1.308 + 0.166 $\cdot$ (t $\cdot$ V) + 0.014 $\cdot$ (t $\cdot$ P) + 0.768 $\cdot$ f"	2	2	2	0.93	1.90	19
	68	1970	Q = $4.466 + 0.077 \cdot (t \cdot V)$ " + $0.026 \cdot (t \cdot P) + 0.265 \cdot t$ "	2	2	2	0.87	2.47	24

Tabell 10

Oversikt over regressjonslikningene for alle breene

Skydekket kan brukes direkte som en strålingsparameter. Både globalstrålingen og den langbölgete strålingsbalansen er avhengig av skydekket. Grunnen til at skydekket ikke er tatt med i de endelige likningene, er at det er meget vanskelig å varsle, noe som er nödvendig for prognoser på mer enn et dögn for alle breene.

Man har tidligere forsökt å trekke inn virkningen av breens arealfordeling med höyden i analysen. Forsökene förte ikke fram, og dette henger for en del sammen med dreneringsmåtene i breen. Det ble antatt at smeltingen er proporsjonal med en representativ arealtemperatur, når snöen på de store, höyereliggende partiene begynner å smelte, vil bidraget til avlöpet öke sterkt. Snölaget har i virkeligheten en betydelig större avrenningstid enn de snöbare partiene i lavere nivåer. Virkningen blir altså forsinket og vil före til at avrenningen vil avta i mindre grad når varmebölgen er på retur.

Etterhvert som smeltingen utvikler seg, vil dreneringsveiene stadig bli mer effektive og avrenningstiden avta. Dette bekreftes også av analysen. Man kan vente en systematisk overestimering av avlöpet tidlig i sesongen og en underestimering på slutten. Dette er tilfelle for enkelte år på enkelte breer, men ikke alltid. I forbindelse med langvarige, kjölige perioder vil likningene alltid overestimere avlöpet.

Analysen viser at regn og smeltevann som skyldes dette,drenerer raskere enn smeltevann som skyldes andre prosesser. Det ser også ut til at avrenningstiden er noe kortere ved store flommer enn ved moderate vassföringer. Ved å ta hensyn til slike forhold kan antagelig noen av de störste feilene unngås ved prognoseringen.

Sammenlikning mellom middeltallene for det observerte og det beregnete avlöpet viser oftest avvikelser på mindre enn 5%. For enkelte år kan avviket gå helt opp i 15% for enkelte breer. Dette henger antagelig sammen med breens initialtilstand. Skal slike feil kunne reduseres, må man koble en parameter som beskriver breens tilstand sammen med regressjonslikningen. En slik parameter kan være det frie vanninnholdet i breen. Det er påkrevet med flere års målinger för man kan komme videre med dette. Slike målinger startes på et par breer i 1971.

# Konklusjon

Ved hjelp av regressjonsanalyse er det mulig å utvikle likninger for sammenhengen mellom breavlöpet og meteorologiske parametre målt på stasjoner nær breen. Likningene er bygget opp av de samme parameterkombinasjonene fra bre til bre.

Likningene er brukt til simulering av avlöpet for hvert år det foreligger meteorologiske data for. Variasjonen i avlöpet beskrives meget godt av likningene, absoluttverdiene for beregnet og observert avlöp avviker i gjennomsnitt noe fra år til år avhengig av sesongens forhistorie.

Avrenningstiden viser en viss sesongavhengighet, og den er kortere for regnflommer enn for flommer forårsaket av varmebölger eller sterk adveksjon av varm og fuktig luft. Ved å ta hensyn til dette ved simuleringen av avlöpet kan de störste feilene unngås.

For Nigardsbreen kan likningen brukes til et dögns prognoser, for de andre breene må værmeldingen også benyttes ved prognoseringen.

## SUMMARY

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

The Norwegian Water Resources and Electricity Board maintain glaciological studies at a number of selected glaciers for two main reasons. When water power utilization is considered in a particular area reliable information on river run-off must be available. River gauging has therefore been carried out during many years, in several cases for more than 50 or a 100 years. Mean annual river discharge can be calculated from such data. However, most of the gauging stations are situated in valleys far from the glaciers so that their influence on the river hydrology is subdued. The modern technology for power plants in mountaineous areas is based upon high altitude reservoirs, which in turn means that the water intake will be situated close to the glaciers in glacierized areas. This gives rise to various problems such as silting-up of reservoirs, a substantial flow of water in a short summer season, and almost no run-off in winter, and considerable annual variations in run-off due to variations in glacier melt. The first mentioned problem is dealt with in special reports based on sediment transport studies, whereas the two latter must be solved by direct observations of glacier mass balance and melt water discharge. Results from these studies are reported in this publication.

# Mass balance studies, introduction

The mass balance studies were carried out by standard methods previously described by Östrem and Karlen (1962), Östrem and Stanley (1969) and others. The mass changes in the glacier during a glaciological year were calculated for 10 glaciers in South Norway and two glaciers in North Norway (see Fig. 1). Concerning the terminology it has been attempted to follow proposals given by Unesco 1969. The measurements were made according to the stratigraphical system based upon the existence of an observable summer surface which is assumed to be formed at the time of minimum mass at the site.

100

The mass balance at a selected point during a balance year, i.e. within the period between the formation of two consecutive summer surfaces, is shown in Fig. 2. The diagram illustrates all the point terms used. All point terms are symbolized by small letters  $(b_n, b_s, b_w)$  and the values are reported as equivalent volumes of water per unit area (m).

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

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

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

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

On several of the glaciers there is a fairly large number of stakes. As the stakes have a tendency to disappear during the winter season, replacement stakes must be established in the spring. Much work is, therefore, involved in calculating and checking the balance at each stake. In 1968 a computer program for such calculations and the construction of stake diagrams was worked out. This program is now being revised, but it was not operable for the preparation of this report.

The accuracy of mass-balance measurements depends on the number of measuring points and the accuracy of each observation. Local conditions during the field work may influence the accuracy, and the general glaciological situation is also of great importance.

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

The experience and thoroughness of the personnel also have an important bearing on the quality of the results. The final assessment of the degree of accuracy then, has to be a subjective evaluation of the various factors involved.

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

# Field results in the balance year 1969-70

The winter 1969-70 proved to be drier than normal. For most of South Norway only 70-80% of the normal snow precipitation fell at altitudes around 1200 m. In North Norway there were also less snow than normal; for the Svartisen glaciers the accumulation was of the order of 90% of an average year.

The summer melt started unusually early. The month of June was the warmest ever observed in the high mountains in South Norway - this, in conjunction with the above-mentioned relatively small amounts of snow caused glacier ice to be uncovered unusually early in the summer and the transient snow line ascended to higher altitudes than in previous years, see Fig. 7 and 48. The lower albedo greatly influenced melt conditions during the rest of the summer and in spite of below average temperatures and some snow falls in the firn basins, the equilibrium line eventually reached an altitude that was 100-200 m higher than in a year of steady state conditions. For Vesledalsbreen and Ålfotbreen in Western Norway, the equilibrium line climbed so high that there was no positive net balance at all so that the glacier surfaces in these cases were solely snow-free glacier ice or old firn at the end of the summer (cf. Figs. 51 and 53). In North Norway a particularly large ablation was discovered on Trollbergdalsbreen; it was significantly higher than that on Engabreen, thus causing a larger mass loss for Trollbergdalsbreen.

The highest negative net balance was found on Ålfotbreen where 1,23 m of water equivalent was lost (evenly distributed throughout the entire glacier surface). The previous year, 1969, also showed a remarkably negative mass balance so that for these two years together this glacier lost 3,40 m of water equivalent. This glacier is situated in the most maritime glacierized mountain area in Norway. The mass exchange of this glacier is normally of the order of 4 m of water equivalent. Gråsubreen, on the other hand, is representative of glaciers in the most continental part of South Norway. The mass loss in that case was only 0,66 m of water equivalent,which pushed the equilibrium line up to an altitude of 2200 m, i.e. almost to the top of the glacier (cf. table on page 53). Glaciers situated between these two extremes showed mass balance figures that were larger than for Gråsubreen but less than the value quoted for Ålfotbreen.

# Two new glacier maps

The Svartisen area in North Norway situated just north of the Polar Circle is being assessed for future water power development. The area is dominated by the large Svartisen ice-cap (or more correctly, two ice-caps that taken together, form the second largest ice mass in Norway), and for this reason glacier-hydrological studies were started in 1970. So far, two glacier areas have been selected for these studies : Engabreen, which is a western outlet glacier from the Svartisen ice-cap; and Trollbergdalsbreen which is a fairly small independent valley glacier to the north-east of the ice-cap proper. A third area of investigation is planned in an area to the south-west, but investigations were not started here before 1971. (See Fig. 1).

Glacier maps were constructed for the two above-mentioned areas, the one at a scale of 1:20000, the other at a scale of 1:10000. In both cases the maps were constructed from air photographs taken on August 25, 1968. The contour interval is 10 m on the glacier surfaces, similar to what was selected for glacier

maps previously constructed for areas of mass balance investigations in Southern Norway. A UTM grid is printed on the maps, but geographical coordinates are also given in the map frame. To facilitate the navigation on the glaciers several predominant points are particularly marked and spot elevations given. The maps are intended for field use and for the plotting of field observations directly onto the map. Therefore, the glacier surface is represented by a white area with only contour lines and crevasses shown in a light green colour. Copies of the two maps are included in a pocket on the back side cover of this report. The location of the two new glacier maps together with the locations of previously published maps are shown on a location map (Fig. 41).

# Special studies of the winter balance on Nigardsbreen 1965-1970

The development of the winter snow cover has been studied every year from 1962 on Nigardsbreen and considerable experience has been gained concerning the snow distribution on this glacier. As shown at many other glaciers the general snow accumulation pattern is almost the same from year to year. To study this in more detail, comparisons were made between snow accumulation maps constructed for Nigardsbreen. A coordinate net with a side length of 400m was placed on these maps and a mean value of the winter balance in each square was calculated (in certain areas smaller squares of 100 m side length were used). The average winter balance for the whole glacier was defined as "normal" and was assigned the value 100%. Areas on the glacier that had received that amount of water equivalent were connected with a 100% contour line and similarly, areas of higher and lower winter balance were given higher and lower percentage values. The map is shown in Fig. 22.

In future it may not be necessary to carry out snow accumulation measurements in hundreds of points as has been usual in recent years. Provided that this map is valid a considerably smaller number of measuring points will be required to obtain reliable information of the winter balance for Nigardsbreen.

# Meteorological and hydrological investigations

As distinct from mass balance measurements that can be carried out without maintaining permanent crews on the glaciers during the melt season, meteorological and hydrological observations generally need more maintenance mainly consisting of frequent servicing of the various instruments, particularly the rain gauges. Consequently, meteorological observations have been carried out at a selected number of glaciers only. Cloud cover, air temperature, relative humidity. wind conditions, precipitation and discharge in the melt water river

103

were carried out on the following glaciers : Ålfotbreen, Vesledalsbreen, Nigardsbreen and Austre Memurubre. For two of the glaciers, Ålfotbreen and Memurubreen, observations of incoming radiation were started in 1970 by a Robitsch Aktinograf.

All instruments were running throughout the whole ablation period except for certain mechanical breakdowns, particularly at Memurubreen. All these data were plotted in diagrams and they are shown in illustrations, one for each glacier (see Figs. 6, 12, 21, 37). The plotting procedure was made by a computer-operated plotting device so that drafting work was reduced considerably.

The temperature lapse rate was calculated in cases where observations were available on the glacier proper and on glacier-free ground in the vicinity. In some cases the lapse rate was also calculated between points on the glacier proper. The highest lapse rate was found in June with decreasing values throughout the summer. Figures are shown for each glacier at the appropriate place in the text. As usual, one could detect a discontinuity in the temperature gradient at the glacier boundary, for example between the two observation points at Nigards-breen (Steinmannen and the met. screen in the firn area) with an average temperature drop of 1,4°C. In 1969 this temperature drop was measured to 2,0°C. The difference may be due to the fact that in 1970 there were fewer periods of favourable weather at this location. The highest temperature drops are generally found on clear, sunny days. As previously mentioned, the month of June was unusually warm. At the meteorological station Fanaråki in the western part of Jotunheimen (2060 m a.s.l.) the air temperature was 5°C higher than normal.

Daily precipitation was measured at the observation huts and at several points distributed on the glacier surfaces. By using a large number of observation points considerable information can be gained concerning the local distribution of rain during the summer season. A considerably higher precipitation level was generally found on the glacier proper. For example, the glacier plateau at Nigardsbreen received 50% more rain than the observation hut at Steinmannen which, in turn, received 50% more than the standard meteorological station down in Jostedalen (Björkehaug). Similarly, between 1, 6-2, 6 as much precipitation was measured at Ålfoten glacier than at the permanent meteorological station period comprised the main part of the melt season, i.e. from 24 June to 31 August. This period was longer in some cases. In Jotunheimen the precipitation is often increased by local convection. At Memurubreen 52 mm of rain was

recorded on August 18, which is more than half of the total in August.

The air moisture was in general somewhat lower than last year mostly due to lower air temperatures. However, it was still higher than 6, 1 millibars which is the critical point above which condensation takes place on surfaces at melting temperature. On Ålfotbreen the air moisture fell below this critical level only on 3 days during the whole summer. On Austre Memurubre it was below 6, 1 mb more than nine days, whereas for Engabreen the air moisture was <u>always</u> above the critical level. Consequently, there cannot have been much evaporation from the glaciers this summer, but certainly fairly extensive condensation must have taken place. Due to freezing conditions and snow falls in July there are occasional discontinuities in the observation series from the highest stations.

# Special radiation studies

To increase the knowledge of the influence of various meteorological parameters on glacier melt, special studies of radiation conditions were started on two glaciers in 1970. Two Robitsch Aktinografs were installed at these glaciers and in addition a Moll-Groczynski pyranometer was used at Austre Memurubre. The incoming short-wave radiation was recorded through the entire melt season and the albedo was directly measured 5 times during the summer for periods of 2-4 days by means of a Star solarimeter. For technical reasons it was impossible to observe the albedo every day so that in the intervening periods it was determined from frequent photographs and daily ocular observations of the glacier surface. The results are shown in the tables on page 74 and 75. From these tables it can be seen that the albedo shows an decrease throughout the melt season so that in spite of less incoming short-wave radiation the energy used for snow and ice ablation is fairly constant throughout the summer. This statement is valid only before the late summer snow falls which suddenly increased the albedo, which is what happened at the end of the observation period.

To investigate the relation between ablation and radiation, daily readings were made on 3 ablation stakes and observations of the free water content were made every 3 days during the first two weeks of the observation period. From Fig. 57 it can be seen that radiation and ablation correlate poorly on Ålfotbreen. A somewhat better correlation might possibly be expected for Austre Memurubre but the data are probably not sufficiently comprehensive to confirm this. From table III on page 76 it can be seen that radiation accounted for 44% of the glacier melt on Ålfotbreen and 67% on Austre Memurubre. This figure may seem somewhat higher than could be expected in an average year for Ålfotbreen due to the fact that in 1970 the glacier surface was uncovered unusually early, resulting in a higher average albedo than in most summers. A review of earlier radiation studies at Norwegian glaciers is compiled in table IV.

# Melt water discharge as a function of meteorological parameters

There is a clear correlation between meteorological factors and glacier melt, but the details may not be easily obtained. To study the influence of meteorological parameters on glacier melt many scientists have used micro-meteorological methods, involving fairly sophisticated instruments. A different approach has been attempted in Norway for a recent number of years. The daily water discharge has been regarded as a dependent variable whereas daily mean temperature, run of wind, precipitation, air moisture and, to some extent, radiation were considered independent variables. It is supposed that a linear correlation exists between the water discharge and the meteorological parameters. A stepwise regression analysis was applied to data from 8 various glaciers and a number of combinations between the above-mentioned independent variables were included in the analysis. The stepwise regression program described by Wöien (1966) was written in FORTRAN and run on a CDC 3200 computer at the Norwegian Water Resources and Electricity Board.

For each glacier three tables were prepared :

- Table A showing the existing observations from the glacier.
- Table B showing the mean values of the observed meteorological parameters for each year, and for the periods that were included in this particular study.
- Table C giving a review of interesting and relevant correlation coefficients.

Apart from the daily water discharge, running means were used in the analysis. The number of days during which running means were calculated varies from glacier to glacier; in most cases the running means were calculated for two or three days.

For all glaciers it could be shown that the products of temperature and precipitation or temperature and wind speed, were the most important to describe the water discharge. As the third term the air temperature appeared in all regression equations. By comparing the various regression equations it was found that glacier discharge, Q, could be expressed by a formula of the following form :

Q •  $k_1 + k_2(t \cdot V) + k_3(t \cdot P) + k_4 \cdot t$
in which Q = daily discharge
t = daily mean air temperature
V = daily run of wind
P = daily precipitation, and
k<sub>1</sub> ....k<sub>4</sub> = constants

Т

The incoming radiation showed very little, if any, correlation to the discharge.

In the above formula the values of the constants are different for each single glacier but they remain constant for the same glacier during several years.

When the formula is used for predicting water discharge there will obviously be deviations between the observed and the computed values but the correlation between observed and computed discharge is fairly high, cf. the tables marked C under each glacier in the text, and Fig. 60.

## LITTERATUR

Ahlmann,	H. W:son				
	1948	:	Glaciological research on the North Atlantic coasts. <u>Royal Geogr. Soc. Research Series</u> , No. 1. London, (83 p.).		
	1953	:	Glacier variation and climatic fluctuations. <u>Bowman</u> <u>Memorial Lectures, Series 3.</u> The Amer.Geogr.Soc. New York, (51 p.).		
Ambach,	W. 1961	:	Die Bedeutung des aufgefrorne Eises für Massen- und Energiehaushalt. Zeitschr. f. Gletscherkunde und Glazialgeol. 4, p. 169-189. Innsbruck.		
Ambach &	d Hoinkes, H	ł.			
	1963	:	The heat balance of an Alpine Snowfield. Publ. No. 61 of the <u>I.A.S.H.</u> Commission of Snow and Ice, p. 24-36.		
Derikx, A	.L. & Loije	ns,	н.		
	1971	:	Model of runoff from glaciers. Symposium on runoff from snow and ice, held at Quebec City, 26/5-27/5 1971, Vol. 1, p. 152-199.		
Eriksson,	B.E. 1959	:	An experimental study of heat transmission in the surface layers of the Skagastöl Glacier. <u>Medd. från</u> <u>Uppsala Univ.Geogr.Inst.</u> , Ser. A., No.141, (10 p.).		
Grainger,	M.E. & Li 1966	ster, :	, H. Wind speed, stability and eddy viscosity over melting ice surfaces. <u>Journ. of Glac</u> . 6/43, p. 101-127. Cam- bridge.		
Haussar	IC & Mar	CUE	MG		
ileussei,	1964	:	Historical variations of Lemon Creek Glacier, Alaska, and their relationship to the climatic record. Journ. of Glac. 5/37, p. 77-86. Cambridge.		
Hoinkes,	H. & Unters	teine	er, N.		
	1952	:	Warmeumsatz und Ablation auf Alpengletschern. I. <u>Geogr. Ann.</u> 34, p. 99-158. Stockholm		
Hoinkes,	н.				
	1953	:	Warmeumsatz und Ablation auf Alpengletschern. II. <u>Geogr. Ann.</u> 35, p. 116–140. Stockholm.		
	1964	:	Glacial Meteorology. <u>in</u> : H. Odishaw: <u>Research in</u> <u>Geophysics M.I.T. Press</u> , 2/15, p. 391-424. Cam- bridge, Massachusetts.		
Hoinkes, H. & Wendler, G.					
,	1968	:	Der Anteil der Strahlung an der Ablation von Hinter- eis und Kesselwandferner (Ötztaler Alpen, Tirol) im Sommer 1958. <u>Archiv f. Meteorol., Geophys. und</u> <u>Bioklimat.</u> Ser. B., 16/2-3, p. 195-236. Wien.		

109

Hubley, R	.C. 1955	:	Measurements of diurnal variations in snow albedo on Lemon Creek Glacier, Alaska. <u>Journ. of Glac.</u> 2/18, p. 560-563. Cambridge.
Klemsdal,	т. 1968	:	A glacial-meteorological study of Gråsubreen, Jotun- heimen. <u>N. Polarinst. Årbok 1968,</u> p. 58-74. Oslo.
Lamb, H.	H. & 1961	Johnson, :	A.L. Climatic variation and observed changes in the gene- ral circulation. <u>Geogr. Ann.</u> 43, p. 363-400. Stock- holm.
Lang, H.	1970	:	Über den Abfluss vergletscherter Einzugsgebiete und seine Beziehungen meteorologischen Faktoren. Mittelg. Vawe/ETH Zürich, Nr. 85, 31/1-9.
Liestöl, C	). 1967	:	Storbreen Glacier in Jotunheimen, Norway. <u>N. Polar-</u> inst. Skrifter 141, (63 p.), Oslo.
Meier, M	.F. 1965	:	Glaciers and climate <u>in</u> : H. Wright and D. Frey: <u>The</u> <u>quaternary of the United States</u> , p. 795-805. Princeton.
Messel, S	1971	:	Mass and heat balance studies on Omnsbreen, a cli- matically dead glacier in Southern Norway. <u>N. Polar-</u> inst. Skrifter 156. Oslo. (43 p.)
Orheim, (	). 1970	:	Glaciological investigations of Store Supphellebre, West-Norway. <u>N. Polarinst. Skrifter</u> 151, (48 p). Oslo.
Paterson,	W.S. 1966	. B. :	Mass balance studies in Western Canada, 1965. Comments. <u>Geogr. Bull.</u> , Vol. 8, p. 383-385.
	1969	:	The physics of glaciers. Pergamon Press Ltd. Ox- ford. (250 p.).
Putto R			
i ytte, it.	1963	:	Materialhusholdningen for en del av Folgefonni 1963. Stensilert rapport fra Hydrologisk avdeling (24 p.).
	1964	:	Hellstugubreen. En glasiologisk undersökelse. Hoved- fagsoppgave ved Universitetet i Oslo. Upubl. (82 p.).
	1967	:	Glasio-hydrologiske undersökelser i Norge 1966. Rapport nr. 2/67 fra Hydrologisk avdeling, Norges vassdrags- og elektrisitetsvesen. Offset, (83 p.). (With an English summary).
	1969	:	Glasiologiske undersökelser i Norge 1968. Rapport nr. 5/69 fra Hydrologisk avdeling. Norges vassdrags- og elektrisitetsvesen. Offset (149 p.). (With an English summary).

Pytte, R.							
,	1970	:	Glasiologiske undersökelser i Norge 1969. Rapport nr. 5/70 fra Hydrologisk avdeling. Norges vassdrags- og elektrisitetsvesen. Offset (94 p.) (With an English summary).				
Pytte, R. & Liestöl, O.							
	1966	:	Glasio-hydrologiske undersökelser i Norge 1965. Årsrapport fra Brekontoret, Hydrologisk avdeling, Norges vassdrags- og elektrisistetsvesen. Offset (64 p.).				
Pytte, R.	& Östrem,	G.	·				
	1965	:	Glasio-hydrologiske undersökelser i Norge 1964. Meddelelse nr. 14 fra Hydrologisk avdeling, Norges vassdrags- og elektrisitetsvesen. (92 p. + kartbilag) (With an English summary).				
Robinson,	N.						
	1966	:	Solar Radiation. Elsevier Publishing Company. Am- sterdam/London/New York. (347 p.).				
Scheibbne	r, F. & Mal	hring	ger, W.				
	1968	:	Die Albedo der Sonnblickgletscher und ihre zeitlichen Variationen. <u>Archiv f. Meteorol., Geophys. und Bio-</u> <u>klimat.</u> Ser. B, 16/2-3, p. 174-194. Wien.				
Schytt, V.							
	1949	:	Re-freezing of the meltwater on the surface of gla- cier ice. <u>Geogr. Ann.</u> 31, p. 222-225. Stockholm.				
Tollner, H	4. 1954	:	Die meteorologisch-klimatischen Ursachen der Glet- scherschwankungen in den Ostalpen während der letzten zwei Jahrhunderte. <u>Mitteil. Geogr. Gesellsch.</u> 96/31, p. 31-74. Wien.				
UNESCO							
	1969	:	Combined heat, ice and water balances at selected basins. Technical Paper in Hydrology, No. 5, (20 p.).				
Wallen, C	.C.						
	1948	:	Glacial-meteorological investigations on the Kårsa Glacier in Sw <b>e</b> dish Lappland 1942-1948. <u>Geogr. Ann.</u> 30, p. 451-672. Stockholm.				
	1950	:	Recent variations in the general circulation as related to glacier retreat in Northern Scandinavia. <u>Geofisica</u> <u>Pura et Applicata</u> 18, p. 175-178. Milano.				
Wöien, D.							
	1966	:	Program description of NRSR multiple regression analysis. Norw. Computing Center, (17 p. mimeo).				
Östrem, G.							
	1966	:	Reply to Dr. Paterson's comments. <u>Geogr. Bull.</u> 8, p. 386-389.				
	1968	:	Korrelasjonsberegninger - et middel til avlöpsprog- nosering. Glasiologiske undersökelser i Norge 1967, Rapport nr. 4/68 fra Hydrologisk avd., Norges vass- drags- og Elektrisitetsvesen, p. 104-116.				

Т





Östrem,	G.		
	1969	:	Korrelasjonsberegning og regressjonsanalyse av dögnlige avlöp som funksjon av meteorologiske para- metre. Glasiologiske undersökelser i Norge 1968, Rapport nr. 5/69 fra Hydrologisk avd., Norges vass- drags- og elektrisitetsvesen, p. 83-97.
	1970	:	Breavlöp som funksjon av meteorologiske parametre. Glasiologiske undersökelser i Norge 1969, Rapport nr. 5/70 fra Hydrologisk avd., Norges vassdrags- og elektrisitetsvesen, p. 73-84.
Östrem,	G. & Karlen 1962	, V. :	Nigardsbreens hydrologi. <u>Norsk Geogr. Tidsskr.</u> 18 (1961-62), p. 156-202. (With an English summary).
Östrem,	G. & Liestöl 1964	, O. :	Glasiologiske undersökelser i Norge 1963. <u>Norsk</u> <u>Geogr. Tidsskr.</u> 18 (1961-62), p. 281-340. (With an English summary).
Östrem,	G. & Pytte, 1968	R. :	Glasiologiske undersökelser i Norge 1967. Rapport nr. 4/68 fra Hydrologisk avdeling, Norges vassdrags- og elektrisitetsvesen. Offset (131 p.). (With an English summary).

T