NORGES VASSDRAGS-OG ELEKTRISITETSVESEN



GLASIOLOGISKE UNDERSØKELSER I NORGE 1979

REDIGERT AV NILS HAAKENSEN OG BJØRN WOLD

BIDRAGSYTERE : NILS HAAKENSEN, OLAV LIESTØL, SIGMUND MESSEL, LARS-EVAN PETTERSSON, BJØRN WOLD OG GUNNAR ØSTREM.

RAPPORT NR. 3-81

VASSDRAGSDIREKTORATET

HYDROLOGISK AVDELING

OSLO JULI 1981

FORORD

Vassdragsvesenets Brekontor er en del av Hydrologisk avdeling som har til hovedoppgave å sørge for å holde rede på landets hydrologi, d.v.s. måle og beregne avløpet i våre vassdrag og sjøsystem. En del av vassdragene får noe av sitt vann fra breer, og derfor er det Brekontorets oppgave å beregne breenes bidrag til vassføringen.

Det er en nærmest umulig oppgave å måle alle landets breer - det er over 1500 av dem med et samlet areal på mer enn 2700 km² - så derfor har vi valgt ut noen få som kan antas å være representative for visse områder med mange breer. Således har vi valgt Gråsubreen, Hellstugubreen og Storbreen (måles av Norsk Polarinstitutt) som gode representanter for Jotunheimen, mens Nigardsbreen får representere Jostedalsbreens store bredekkede områder. Ålfotbreen representerer de kyst-nære breene i Sør-Norge. I Nord-Norge er vär dekning noe dårligere, der måles f.t. bare Engabreen som er en del av Svartisen. De mange andre breer i Nord-Norge vet vi lite om, dessverre.

For en del breer har vi hatt muligheter til å skaffe lange sammenhengende måleserier. Observasjoner av Nigardsbreen startet i 1962, og denne serien er en av de lengste i sitt slag i verden (med Storbreen i Jotunheimen og Storglaciären i Nord-Sverige som overmenn – de startet i 1949 og 1946, respektive). Målingene på Gråsubreen og Hellstugubreen har pågått kontinuerlig siden 1963.

I tillegg til de rene massebalanse-undersøkelsene har Brekontoret fått en del spesialoppgaver, f.eks. studeres slamtransporten i et par utvalgte bre-elver (resultatene publiseres i en egen rapportserie), og ved Bondhusbreen foregår det spesielle studier av prosesser som skjer <u>under</u> breen. Videre er resultatene fra Svartisen-området blitt brukt for å beregne breenes innflytelse på vassføringen for å kunne beregne et "brekorrigert" normalavløp i området.

Resultatene fra bremålingene i 1979 er samlet i denne rapport, og en oversikt er også tatt med om resultatene fra samtlige breer siden målingene startet i 1962. Arbeidene har vært finansiert fra flere kilder: Statskraftverkene, Sogn og Fjordane Kraftlag, Hydrologisk avdeling, Vestlandsverkene og konsesjonsavgiftsfondet. Materialet presenteres som et resultat av et team-work mellom ansatte ved Brekontoret.

Oslo i juli 1981

INNHOLD

1.	Materialhusholdning, meteorologiske og hydrologiske undersøkelser	
	ved utvalgte breer (Bjørn Wold og Nils Haakensen)	4
	1.1 Innledning	4
	1.2 Metodikk	6
	1.3 Ålfotbreen	8
	1.4 Bondhusbreen	14
×.	1.5 Nigardsbreen	18
	1.6 Storbreen (Olav Liestøl)	23
	1.7 Hellstugubreen	24
	1.8 Gråsubreen	27
	1.9 Engabreen	29
	1.10 En sammenligning av materialhusholdningen på de enkelte breer	35
	1.11 En oversikt over massebalanseundersøkelser utført på noen	
	norske breer i perioden 1962-79	38
2.	Energibalansen på Engabreen (Sigmund Messel)	42
	2.1 Innledning	42
	2.2 Resultater	43
3.	Beregning av normalavløpet i Svartisenområdet (Lars-Evan Pettersson)	46
	3.1 Innledning	46
	3.2 Breenes normalavløp	48
	3.3 Breenes nettobalanse	53
	3.4 Brekompensert avløp	55
4.	Flommen i Jostedalen (Bjørn Wold)	57
5.	Brimkjelen (Bjørn Wold)	59
		6.0
6.	Subglasial hydrologi pa Bondhusbreen (Bjørn Wold)	60
7	Nutt brokart over Bondbuchroon (Nile Heckonson)	67
/ •	Nytt Diekait Over Bohanusbreen (MIIS Haakensen)	02

.

Side

8.	Engl	ish Summary (Gunnar Østrem)	64
	8.1	Mass balance, meteorological and hydrological investigations	
		at selected glaciers	64
	8.2	The energy balance on Engabreen	72
	8.3	Calculations of normal discharge in the Svartisen Area	73
	8.4	The flood in Jostedalen Valley	75
	8.5	Brimkjelen	76
	8.6	Subglacial hydrology at Bondhusbreen	76
	8.7	A new glacier map of Bondhusbreen	77

9. Litteratur

1. MATERIALHUSHOLDNINGEN, METEOROLOGISKE OG HYDROLOGISKE UNDERSØKELSER VED UT-VALGTE BREER.

1.1. Innledning

Norges Vassdrags- og Elektrisitetsvesen har i 1979 foretatt glasiologiske undersøkelser på 5 breer i Sør-Norge og 1 bre i Nord-Norge. I tillegg har Norsk Polarinstitutt foretatt massebalansemålinger på 2 breer i Sør-Norge.

På Ålfotbreen i Nordfjord foretas undersøkelsene på en nordvendt brearm som nå drenerer til Store Åskåravatn. Dette vassdrag er utbygd av Sogn og Fjordane fylke, og undersøkelsene er pålagt utbyggeren i konsesjonsbetingelsene. Utgiftene til undersøkelsene deles likt mellom Sogn og Fjordane Kraftverk og Hydrologisk avdeling i NVE. Målingene har pågått siden høsten 1962. I 1979 ble det foruten materialbalansemålinger også foretatt en del meteorologiske registreringer.

På Folgefonni ble materialbalansen målt på Bondhusbreen. Målingene er et ledd i arbeidet med å bedre vår forståelse av Bondhusbreens dynamikk, og hvordan dette påvirker mulighetene til å fange opp vann subglasialt. Derfor ble det høsten 1976 satt igang målinger av materialbalansen og en del meteorologiske parametre. Undersøkelsene bekostes av Statskraftverkene.

På Jostedalsbreen har NVE fortsatt undersøkelsene på Nigardsbreen. Dette var den første bre der Brekontoret utførte målinger av materialhusholdningen, og arbeidene har pågått kontinuerlig siden 1962. Nigardsbreen er spesielt interessant som hydrologisk objekt da planene for Breheimverkene forutsetter et subglasialt elveinntak under bretunga. Siden 1977 har måleprogrammet vært endel forenklet, og stasjonen på Steinmannen er ikke lenger fast bemannet i sommersesongen. Dette har medført at de meteorologiske målingene ikke lenger er av samme kvalitet som tidligere. Undersøkelsene på Nigardsbreen er fra 1979 betalt av Leirdøla Kraftverk ved konsesjonspålegg.

I Jotunheimen er materialhusholdningen målt på Hellstugubreen og Gråsubreen. Disse målingene har pågått siden 1963, og utgiftene dekkes for tiden av Hydrologisk avdeling.

I Nord-Norge ble det i 1970 satt igang målinger på Engabreen og Trollbergdalsbreen i Svartisområdet. Disse målingene ble supplert med undersøkelser av en utløper fra Høgtuvbreen i 1971. Målingene er en del av Svartisundersøkelsene som finansieres av Statskraftverkene i forbindelse med kraftutbyggingsplanene i denne del av Nordland. Målingene på Trollbergdalsbreen



ble avsluttet i 1975, og på Høgtuvbreen i 1977. På Engabreen ble det i tillegg til bremålingene også foretatt meteorologiske observasjoner. Norsk Polarinstitutt har i 1979 målt materialbalansen på Storbreen i Jotunheimen og på Rembesdalsskåki, en vestlig utløper av Hardangerjøkulen.

1.2 Metodikk

1.2.1 Materialhusholdningen

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

Målingene ble i 1979 fortsatt etter tidligere års prinsipper fordi en har funnet at disse er hensiktsmessige for praktisk bruk. Terminologien bygger på retningslinjer utarbeidet av "Commision on Snow and Ice of the International Association of Scientific Hydrology" (UNESCO 1970). Betydningen av de forskjellige termer og symboler er illustrert på fig. 2.

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

Ved å ta opp snøprøver med et kjernebor er det også mulig å lokalisere siste sommers snøoverflate dersom denne framstår som en distinkt horisont. Hvis dette må gjøres i mange punkter blir akkumulasjonsmålingene en meget arbeidskrevende prosess.

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

Snøens vannverdi kan deretter bestemmes i en rekke punkter utover breflaten.



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.

Alle punktene plottes på et kart og deretter trekkes isolinjer gjennom punkter med lik vannverdi. Breens totale vinterbalanse (B_w) målt i m³ vann og den spesifikke vannverdien (b_w) målt i m kan nå regnes ut ved å planimetrere dette kartet.

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

Sommerbalansen måles i utvalgte punkter på breen ved at de vertikale forandringer ved stakene registreres gjennom sommeren. Dette gjøres ved å ta parallelle målinger av stakenes lengde over breoverflaten samt tettheten i den gjenværende snø og firn. Siste måling foretas normalt etter at neste balanseårs akkumulasjon har startet.

Sommerbalansen målt ved stakene overføres til et kart over det aktuelle breområdet og isolinjer gjennom punkter med like vannverdier kan trekkes. Kartet kan så planimeterbehandles og de søkte verdier B_s og b_s beregnes. Sommerbalansen fordeler seg normalt mer regelmessig over breflaten enn vinterbalansen fordi den nesten alltid vil avta med stigende høyde. Særlig utpreget er dette på de maritime breene hvor konveksjon fra varm luft yter et vesentlig bidrag til smelteprosessen. En tilstrekkelig nøyaktig bestemmelse av sommerbalansen kan derfor basere seg på langt færre punktmålinger enn vinterbalansen.

Nettobalansen beregnes som den algebraiske sum av vinterbalansen og sommerbalansen ($b_n = b_w + b_s$) og er positiv i det tilfellet at breen har øket sin masse i løpet av balanseåret, negativ dersom breens masse er blitt mindre. Gjennom de punkter på breen der nettobalansen er null trekkes den såkalte likevektslinje.

1.2.2 Meteorologiske og hydrologiske observasjoner og beregninger

Disse er stort sett foretatt etter samme mønster som forrige år. Målinger av varmebalansen er i år utført på Engabreen. Disse 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 utført av cand.real. S. Messel.

Ellers er registreringer av skydekket, vindretning og styrke, lufttemperatur, fuktighet og nedbør foretatt etter omtrent det samme mønster som tidligere år (se Pytte 1970).

Avløpet fra endel av breene blir registrert med limnigrafer eller ved regelmessige vannstandsobservasjoner. Det vil framgå av teksten under hver enkelt bre hvilke målinger som er utført, og endel middeltall og totaltall er også angitt. Det detaljerte tallmateriale oppbevares ved Hydrologisk avdeling.

1.3 Ålfotbreen

1.3.1 Materialhusholdningen.

Akkumulasjonsmålingene ble foretatt i tiden 23. - 25. april. Bare tre aluminiumsstaker hadde overlevet vinteren. Sonderingsforholdene var imidlertid relativt gode og sikkerheten i snødypmålingene ble dermed bra, selv med få referansepunkter på staker. Snødypet ble målt ved sondering i 240 målepunkter, noenlunde jevnt fordelt over hele breen. Dette gir ca 50 målepunkter pr. km². Snødypene varierte fra ca 4 m til ca 8 m. Tetthetsprøve i ca 1 250 m o.h. ga en midlere tetthet i årets snølag på 0.51 g/cm³.



Position of stakes, pits and sounding profiles



Fig. 3 Beliggenheten av staker, sjakt og sonderingsprofiler i 1979. The location of stakes, pit and sounding profiles in 1979.

Part of ÅLFOTBREEN 1979

Winter balance in cm of water equivalent



Fig. 4 Kart over vinterbalansen i 1979.

Map showing the winter balance in 1979.



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

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

Høyde	Areal	Vinterbalanse			Sc	mmerbala	nse	Nettobalanse			
intervall	. S	B w	b w		Bs	b		Bn		b n	
m o.h.	km ²	10 ⁶ m ³	m	$1/s \text{ km}^2$	10 ⁶ m ³	m	$1/s \text{ km}^2$	10 ⁶ m ³	m	$1/s \text{ km}^2$	
1350-1380	0.274	0.91	3.33	106	0.75	2.74	87	0.16	0.59	19	
1300-1350	1.015	3.61	3.56	113	2.92	2.88	91	0.69	0.68	22	
1250-1300	0.811	2.80	3.45	109	2.53	3.12	99	0.27	0.33	10	
1200-1250	0.765	2.41	3.15	100	2.62	3.43	109	-0.21	- 0.28	- 9	
1150-1200	0.649	1.98	3.05	97	2.36	3.64	116	-0.38	-0.59	-19	
1100-1150	0.553	1.78	3.22	102	2.15	3.89	123	-0.37	-0.67	-21	
1050-1100	0.356	1.13	3.18	101	1.43	4.01	127	-0.30	-0.83	-26	
1000-1050	0.216	0.62	2.88	91	0.88	4.06	129	-0.26	-1.18	-38	
950-1000	0.125	0.37	2.94	93	0.53	4.20	133	-0.16	- 1.26	-40	
900- 950	0.047	0.16	3.40	108	0.21	4.40	140	-0.05	-1.00	-32	
870- 900	0.004	0.01	3.50	111	0.02	4.60	143	-0.01	-1.00	-32	
870-1380	4.815	15.78	3.28	104	16.40	3.41	108	-0.62	- 0.13	- 4	

ÅLFOTBREEN 1979

Den totale vinterbalanse er beregnet til 15.8 \cdot 10⁶m³ vann, som tilsvarer et vannlag på 3.28 m tykkelse dersom det fordeles jevnt over hele breen. Dette er ca 95% av middelet for perioden 1963-79.

Ablasjonssesongen varte fra begynnelsen av mai til midten av oktober. Ablasjonen ble målt i 19 punkter over hele breen. Den varierte fra ca 4.5 m på nedre deler av breen til ca 2.5 m på de øvre. Total sommerbalanse er beregnet til 16.4 \cdot 10⁶m³ vann. Dette tilsvarer et vannlag på hele breen med tykkelse 3.41 m, som er litt over middelet for perioden 1963-79.

Nettobalansen ble et underskudd på 0.6 \cdot 10⁶m³ vann. Omregnet på helårsbasis vil det si at det nedenforliggende vassdrag fikk et ekstra vanntilskudd på 4 1/s km² fra breen. Dette var tredje året på rad Ålfotbreen kom ut med negativ balanse.

1.3.2 Meteorologiske observasjoner

På Ålfoten var det meteorologiske måleprogram i 1979 det samme som de foregående år med termograf, pluviograf og hygrograf som alle hadde omløpstid på én måned. Instrumentene ble kontrollert én gang pr måned. Observasjonsperioden varte fra 4. juni til 22. oktober, tilsammen 141 døgn, og resultatene er vist i fig. 6. Termografen gikk uten brudd hele tiden, pluviografen hadde en del brudd etter 28. september, og hygrografen gikk også svært bra inntil den stoppet å skrive den 28. september.

I tabellen nedenfor er månedsverdiene for de meteorologiske parameterne i 1979 sammenliknet med midlere månedsverdier for perioden 1965-79. I denne

	Т(⁰ С)	T(^O C)	P(mm)	P(mm)	F(mb)	F(mb)	Q(10 ⁶ m ³)	$\overline{Q}(10^6 m^3)$
Juni Juli	6.9 6.1	6.3 6.9	111	168 158	8.3	7.8	10.4	8.6
August	6.8	7.6	291	208	8.9	7.9 ·	9.7	8.2
	5.0	4.5	544	405	0.0	1.2	8.2	6.9
Sommer	5.9	6.3	1024	939	8.5	7.8	35.4	33.3

- T = middeltemperatur for 1979
- \overline{T} = middeltemperatur for årene 1965-79
- P = månedsnedbør i 1979
- P = midlere månednedbør for årene 1965-79 ·
- F = midlere luftfuktighet i 1979
- \overline{F} = midlere luftfuktighet for årene 1965-79
- Q = månedlig avrenning i Breelven i 1979
- \overline{Q} = midlere månedlig avrenning for årene 1965-79

ÅLFOTBREEN 1979



Fig. 6.

perioden er det registrert månedsmiddeltemperatur og månedsnedbør 13-14 år for månedene juni, juli og august og 6-7 år for september. Midlere luftfuktighet er observert 7 år i juni, 8 år i juli og 5 år i august og september. Bortsett fra juni, som var forholdsvis varm, hadde resten av sommeren lavere middeltemperatur enn middelverdien for årene 1965-79. I observasjonsperioden hadde 7 døgn negativ døgnmiddeltemperatur (av disse var 5 i oktober), og 11 døgn hadde døgnmiddel på over 10°C, og av disse var 5 i juni, som også hadde sommerens høyeste døgnmiddeltemperatur med 11.3°C den 4., 5. og 24. juni. Temperaturgradienten mellom Førde i Sunnfjord og Ålfotbreen var 0.71 °C/100 m i juni, 0.74 °C/100 m i juli, 0.67 °C/100 m i august, 0.60 °C/100 m i september og 0.45 °C/100 m for oktober. Standardavviket er 28% eller 0.18 °C/100 m for den 141 dager lange observasjonsperioden.

Nedbøren i perioden juni-september var 1 024 mm og det er 109% av middelverdien for perioden 1965-79. Juni, og særlig juli, hadde lite nedbør, mens august og september hadde forholdsvis mye. (For de døgn hvor observasjoner mangler, er det stipulert verdier ved å sammenligne med nærliggende stasjoner). Høyeste nedbør på ett døgn ble målt 25.september med 126 mm.

Hygrografen viste et høyere midlere vanndamptrykk enn middelverdien for tidligere år. Middelfuktighet for hele sommeren var 8.5 mb, mens middelverdien for perioden 1965-79 var 7.8 mb. Kun 2 døgn i løpet av sommeren hadde positiv temperatur og et vanndamptrykk under 6.1 mb.

1.3.3 <u>Avløp</u>

Avrenningen fra breen, som ble målt på limnigrafen i Breelven, var $35.4 \cdot 10^6 \text{m}^3$ i perioden juni-september, og det er 6% mer enn middelverdien for perioden 1965-79. Juli hadde liten avrenning (74% av middel) mens de andre månedene hadde månedsavløp på ca 120% av middelverdien. Midlere avløp var $0.29 \cdot 10^6 \text{m}^3$, og største døgnlige avløp var $0.75 \cdot 10^6 \text{m}^3$ den 15. august.

Fig. 6 Resultater fra de daglige meteorologiske observasjoner på Ålfotbreen (900 m o.h.), samt daglig avløp i breelva i 1979.

> The daily meteorological observations at Ålfotbreen (900 m a.s.l.), and the daily discharge at the water gauge in the glacier river in 1979.

1.4 Bondhusbreen

1.4.1 Materialhusholdningen

Akkumulasjonsmålingene ble foretatt 9. mai. Bare tre staker var synlige i måleområdet som strekker seg fra toppen av breen ned til ca 1 200 m o.h. På grunn av sprekkfaren ble det ikke foretatt målinger lenger ned. For denne del av breen er akkumulasjonstallene skjønnsmessig fastsatt. Balansetallene er beregnet etter det nye brekartet (se vedlegg), men arealbegrensningen er lik tidligere år. Det er derfor bare mindre justeringer i arealene. Snødypet er målt ved sondering i 110 punkter. Dette gir en tetthet på 11 målepunkter pr.km² i måleområdet. Snødypene varierte fra ca 8 m til mindre enn 3 m. Snøens vannverdi ble målt ved sjaktgraving og kjerneboring ca 1 530 m o.h. Midlere tetthet for vinterens snøpakke var 0.46 g/cm³.

Total vinterbalanse er beregnet til 29.9 \cdot 10⁶m³ vann, som fordelt over hele brearealet tilsvarer et 2.8 m tykt vannlag. Dette er ca 30% mer enn middelet for de to foregående år.

Sommerbalansen ble målt i 12 punkter og er beregnet til 26.4 \cdot 10⁶m³ vann, som fordelt over hele brearealet tilsvarer et 2.5 m tykt vannlag. Dette er ca 15% mindre enn middelet for de to foregående år, og resultatet ble dermed et overskudd i nettobalansen på 3.5 \cdot 10⁶m³ vann. Dette er vann som breen i år har holdt tilbake fra det nedenforliggende vassdrag. Fordelt på hele året betyr det en reduksjon i avrenningen på 11 1/s km².

Høyde	Areal	V	interbala	anse	So	ommerbala	anse	Nettobalanse		
intervall	s , 2	B 106 ^w 3		b w	$^{B}_{106}$ 3		^b s, 2	$B_{10}6^{n}3$		^b n 2
m o.n.	к.т	10 m	m	1/S KM	10 m	m	1/S Km	10 m	m	1/S KM
1600-1635	2.82	9.93	3.52	112	5.64	2.00	63 `	4.29	1.52	49
1500-1600	4.22	12.94	3.07	97	8.94	2.12	67	4.00	0.95	. 30
1400-1500	1.81	4.31	2.38	76	4.67	2.58	82	-0.36	-0.20	- 6
1300-1400	0.72	1.50	2.08	66	2.46	3.42	108	-0.96	-1.34	- 42
1200-1300	0.50	0.72	1.44	46	1.94	3.88	123	-1.22	-2.44	- 77
1100-1200	0.32	0.30	0.94	30	1.27	3.97	126	-0.97	-3.03	- 96
1000-1100	0.10	0.08	0.80	25	0.43	4.30	136	-0.35	-3.50	-111
900-1000	0.03	0.02	0.67	21	0.14	4.67	148	-0.12	-4.00	-127
800- 900	0.04	0.02	0.50	16	0.20	5.00	159	-0.18	-4.50	-143
700- 800	0.06	0.02	0.33	11	0.33	5.50	174	-0.31	-5.17	-163
600- 700	0.03	< 0.01	0.15	5	0.18	6.00	190	-0.18	-5.85	-185
500- 600	0.02	< 0.01	0.10	3	0.14	7.00	222	-0.14	-6.90	-219
450- 500	0.002	< 0.01	0.10	2	< 0.02	8.00	254	-0.02	-7.90	-252
450-1635	10.67	29.86	2.80	89	26.36	2.47	78	3.50	0.33	11

BONDHUSBREEN 1979

BONDHUSBREEN 1979



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

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

1.4.2 Meteorologiske observasjoner

Ved utløpet av Holmavatn (1130 m o.h.) ble meteorologiske parametere registrert på termograf, hygrograf og pluviograf. Registreringene startet 7. juni. Termografen gikk uten avbrudd til 19. september med omløpstid på 1 måned. Hygrografen gikk med en ukes omløp inntil 19. august, og med månedsomløp til 29. september kun med én dags avbrudd. Kvaliteten på registreringene er bra.

Bortsett fra en 6 dagers periode i begynnelsen av juli ble stasjonen besøkt daglig mellom 7. juni og 13. august for kontroll av instrumentene. I denne perioden ble det også foretatt observasjoner av skydekke og vind. De meteorologiske observasjonene fra Holmavatn er vist i fig. 8.

Middeltemperaturen for observasjonsperioden var 5.2° C. Høyeste døgnmiddeltemperatur var 11.7[°] den 18. august. Middeltemperaturen for juni var 5.0° C, for juli 5.5° C, for august 5.8° C og for september (1. - 19.) 3.7° C. 3 døgn i september hadde negativ døgnmiddeltemperatur. Temperaturgradienten mellom BONDHUSBREEN 1979



Omastrand og Holmavatn er beregnet til 0.69° C pr 100 m for hele observasjonsperioden, varierende mellom 0.64° C og 0.71° C for de enkelte måneder. Standardavviket var 18% for 105 observasjonsdøgn. Fig. 8 viser god konformitet mellom temperaturkurvene for Omastrand og Holmavatn.

Nedbøren ble målt til 217 mm i juni (7. - 30.), 127 mm i juli, 236 mm i august og 396 mm l. - 25. september. For hele perioden 7. juni - 25. september ble det målt 975 mm nedbør i pluviografen. Det gir en middelverdi på 8.8 mm pr døgn. Av lll observasjonsdøgn var 36 uten nedbør, og største nedbørhøyde ble målt 18. september med 58.2 mm. Høyeste ukesnedbør var 202 mm for uken 24. - 30. juni.

Fuktighetsmålingene viser et midlere vanndamptrykk på 7.8 mb for 104 observasjonsdøgn. Bare 5 døgn i løpet av perioden hadde et midlere vanndamptrykk under 6.1 mb, hvilket er betingelsen for sublimasjon fra breoverflaten, men bare ubetydelig under denne verdi. Sublimasjon kan ha forekommet i kortere perioder av andre døgn. Men fuktighetsmålingene viser at sublimasjon utgjør en ubetydelig del av ablasjonen på Bondhusbreen.

1.4.3 Avløpsmålinger

Det er ikke utført avløpsmålinger i breelven foran Bondhusbreen, men det gjøres kontinuerlige målinger med limnigraf av oppfanget vann i det subglaciale vanninntaket som ligger på ca 940 m o.h. Den del av breen som ligger nedenfor denne høyde utgjør 0.2 km² eller 2% av Bondhusbreens totalareal. Vannføringen i inntaket må derfor høyst bli 98% av avrenningen fra breen. I realiteten må det bli noe mindre da bresmeltningen nedenfor inntaket er større enn høyere oppe på breen.

Avløpet i inntaket var 51 \cdot 10⁶m³ vann i perioden 1. mai - 30. september. Den subglasiale hydrologi på Bondhusbreen er behandlet mer utførlig i kapitel 6 på side 60.

Fig. 8 Resultater fra de daglige meteorologiske observasjonene på Holmavatn (1130 m o.h.), samt døgnlig avløp i sedimentkammeret i det subglasiale vanninntaket under Bondhusbreen.

The daily meteorological observations at Holmavatn (1130 m a.s.l.), and the daily discharge at the water gauge in the sediment chamber in the subglacial water inntake shaft under Bondhusbreen.

1.5 Nigardsbreen

1.5.1 Materialhusholdningen

Akkumulasjonsmålingene ble foretatt i tiden 8. - 21. mai under dårlige værforhold. Sonderingsmulighetene var stort sett bra, bortsett fra i de aller høyeste områdene hvor sommeroverflaten var lite markert. Det var imidlertid mulig å kontrollere målingene ved tilsammen 20 staker, så resultatene må sies å være pålitelige. Snødypet ble sondert ved ialt 338 punkter, de fleste beliggende høyere enn 1 500 m o.h. Dette gir en måletetthet i underkant av 10 punkt pr km². Områdene nedenfor ca 1 500 m o.h., som utgjør ca 25% av arealet,ble ikke målt, dels på grunn av værforholdene







Fig.10 Kart over vinterbalansen i 1979. Map showing the winter balance in 1979.

og dels på grunn av sprekkfaren og utilgjengelig terreng. Akkumulasjonen i disse områdene ble skjønnsmessig fastsatt som en gradvis avtrapping ned til kjente verdier nedenfor breen. Snødypene i måleområdet varierte fra ca 9 m til ca 3.5 m. Det er dessuten regnet med en tilleggsakkumulasjon etter hovedmålingen på 20 cm vann ovenfor 1 650 m o.h. og 10 cm vann mellom 1 650 m o.h. og 1 400 m o.h. Snøens vannverdi ved hovedmålingen ble målt til 0.54 g/cm³ i 1 630 m o.h. og 0.48 g/cm³ i 1 840 m o.h. Vinterbalansen er beregnet til 132.8 \cdot 10⁶m³ vann, som tilsvarer et vannlag på hele brearealet på 2.8 m tykkelse. Dette er vel 20% over middelet for perioden 1962-79.

Sommerbalansen ble målt i 29 punkter og er for hele breen beregnet til 98.5 · 10⁶m³ vann. Dette tilsvarer et vannlag på hele breen av en tykkelse



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

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

på vel 2 m, noe som er ca 6% over middelet for perioden 1962-79.

Årets nettobalanse ble positiv med 34.3 $\cdot 10^{6}$ m³ vann. Fordelt over hele brearealet ville dette utgjøre et 71 cm tykt vannlag i tillegg til tidligere masse. Det betyr også at avrenningen på årsbasis ble 22 1/s km² mindre enn for et tilsvarende brefritt areal.

1.5.2 Meteorologiske observasjoner

Det meteorologiske måleprogram på Steinmannen var det samme som de to foregående år med termograf, hygrograf og pluviograf, alle med månedsomløp. Feltstasjonen ble besøkt én gang pr måned for kontroll av instrumentene. Termografen og pluviografen har gått bra, men det er en del brudd i registreringene på hygrografen (se fig. 12).

Observasjonsperioden var fra 1. juni til 12. september, og resultatene er

Høyde	Areal	v	interbal	anse	S	ommerbal	anse	Nettobalanse			
intervall	S	B _w	-	b w	Bs		b s	Bn		b _n	
m o.h.	km ²	10 ⁶ m ³	m	$1/s \text{ km}^2$	$10^{6} m^{3}$	m	$1/s \text{ km}^2$	$10^{6} m^{3}$, m	$1/s \text{ km}^2$	
1900-1960	0.31	1 17	3 77	119	0.22	0.70	22	0.95	3.07	97	
1800-1900	3 93	1/ 87	3 78	120	3 30	0.84	27	11 57	2 94	93	
1700-1800	9.35	30.73	3 20	104	10.73	1 15	36	20.00	2 14	68	
1600-1700	12 76	37 58	2 95	03	18.87	1 48	50 47	18 71	1 47	46	
1500-1600	9.62	24.63	2.55	81	20.54	2 14	68	4 09	0.42	13	
1400-1500	6 12	1/ 33	2.50	74	16 36	2.14	85	- 2 03	-0.33	- 11	
1200-1/00	2 10	4.33	2.01	64	7 57	2.07	110	- 2.20	1 /6	11	
1300-1300	2.10	4.57	1 77	54	11	2.47	100	- 5.20	~1.40	- 40	
1200-1300	0.88	1.56	1.//	56	3.42	3.89	123	- 1.86	-2.12	- 6/	
1100-1200	0.44	0.72	1.63	52	1.85	4.21	133	- 1.13	-2.58	- 81	
1000-1100	0.54	0.79	1.45	46	2.57	4.75	151	- 1.78	-3.30	-105	
900-1000	0.45	0.59	1.32	42	2.36	5.25	167	- 1.77	-3.93	-125	
800- 900	0.47	0.54	1.15	36	2.70	5.75	182	- 2.16	-4.60	-146	
700- 800	0.31	0.31	0.99	32	1.94	6.25	198	- 1.63	-5.26	-166	
600- 700	0.38	0.32	0.85	27	2.57	6.75	214	- 2.25	-5.90	-187	
500 600	0.26	0.17	0.65	21	1.89	7.25	230	- 1.72	-6.60	-209	
400- 500	0.14	0.07	0.49	15	1.09	7.75	246	- 1.02	-7.26	-231	
300- 400	0.06	0.02	0.32	10	0.50	8.25	262	- 0.48	-7.93	-252	
300-1960	48.20	132.77	2.75	87	98.48	2.04	65	34.29	0.71	22	

NIGARDSBREEN 1979

vist i fig. 12. Middeltemperaturen for denne perioden var 3.7⁰C. Det ble målt 343 mm nedbør i pluviografen og midlere vanndamptrykk var 7.5 mb.

I tabellen under er månedsverdiene i 1979 sammenliknet med midlere månedsverdi for perioden 1965-79. For denne perioden har man temperaturmålinger i

	T(^O C)	T(°C)	P(mm)	P(mm)	F(mb)	F(mb)	Q(10 ⁶ m ³)	$\overline{Q}(10^6 \text{m}^3)$
Juni Juli	3.5 3.3	3.5 3.7	42 81	93 88	6.6 7.4	6.3 7.0	36.3 45.0	39.6 52.1
August	4.2	4.3	189	105	8.1	7.1	65.1	54.6
Sommer	3.7	3.8	318	284	7.4	6.8	146.4	146.3

T = middeltemperatur for 1979

 \overline{T} = middeltemperatur for årene 1965-79

P = månedsnedbør i 1979

 \overline{P} = midlere månedsnedbør for årene 1965-79

F = midlere luftfuktighet i 1979

 \overline{F} = midlere luftfuktighet for årene 1965-79

Q = månedlig avrenning fra Nigardsvann i 1979

 \overline{Q} = midlere månedlig avrenning for årene 1965-79

NIGARDSBREEN 1979



Fig.12 Resultater fra de daglige meteorologiske observasjoner på Nigardsbreen (1633 m o.h.) og temperaturmålingene fra Bjørkehaug i Jostedalen, samt døgnlig avløp ved limnigrafen i Nigardsvatn.

Diagram showing the daily meteorological observations on Nigardsbreen (1633 m a.s.l), temperature at Bjørkehaug, Jostedalen, and the daily discharge at the water gauge in the Lake Nigardsvatn.

12 år i juni og 15 år i juli og august. Nedbørmiddelet er middelverdien for 12 år i juni og 14 år i juli og august, mens fuktighetsmålinger foreligger i 8 år for juni og 9 år for juli og august. Målingene har startet på noe varierende tidspunkt de forskjellige år, vanligvis ca 15. juni, så månedsverdiene for juni er sannsynligvis ikke sammenliknbare.

Temperaturen i 1979 avvek ikke vesentlig fra middelverdien for de 15 årene det er utført målinger i noen av sommermånedene. 8 døgn hadde negativ døgnmiddeltemperatur. Sommerens høyeste døgnmiddel hadde 18. august med 9.8 °C, og så sent som 6. september var middeltemperaturen 9.7 °C. Temperaturgradienten mellom Bjørkehaug i Jostedalen og Steinmannen var 0.92 °C/100 m i juni, 0.89 °C/100 m i juli og 0.71 °C/100 m i august. Standardavviket var 27% eller 1.7 °C/100 m for den 104 døgn lange observasjonsperioden. Sommerens nedbør var omtrent 110% av middelverdien for perioden 1965-79. Juni hadde lite nedbør og august mye. Største døgnlige nedbør ble målt den 14. august med 42.5 mm. Hygrografen hadde flere brudd, særlig i juni. For hele sommeren viser resultatene et høyere vanndamptrykk enn middelverdien for tidligere år. 5 døgn med positiv temperatur hadde et vanndamptrykk under 6.1 mb, og det vil da foregå en viss sublimasjon fra breoverflaten.

1.5.3 <u>Avløp</u>

Avløpet fra utløpet av Nigardsvann mellom 1. juni og 31. august var 146 millioner m³, og det er nøyaktig det samme som middelverdien for perioden 1965-79. Juni og juli hadde forholdsvis liten avrenning, mens august hadde 65 $\cdot 10^{6}$ m³ eller 120% av middelverdien for perioden. Den største døgnlige avrenningen var 15. august med 5.77 $\cdot 10^{6}$ m³, mens midlere avløp for hele sommeren var 1.59 $\cdot 10^{6}$ m³.

1.6 Storbreen

Massebalansemålinger har vært utført på Storbreen i Jotunheimen siden 1949, og er den bre i Norge som har den lengste måleserie. Vinterbalansen ble målt til 1.55 m, som er 12% høyere enn middelverdien for perioden 1949-79. Sommerbalansen var 1.45 m, som er 88% av middelverdien for den samme perioden. Nettobalansen ble dermed 0.10 m vann jevnt fordelt over hele breflaten (Liestøl 1980), mens middelverdien for perioden 1949-79 er -0.27 m. 1979 var dermed det første året siden 1974 med positiv massebalanse på Storbreen (Wold & Repp 1979). Variasjonene av nettobalansen med høyden over havet er vist i fig.13. Figuren viser at likevektslinjen lå på 1700 m o.h.



Fig. 13 Storbreen

Variasjonen av nettobalansen med høyden over havet, breens arealfordeling og arealverdiene av nettobalansen i 1979.

Storbreen. Net balance in relation to the elevation above sea level, the area distribution, and area net balance in 1979.

1.7 Hellstugubreen

Akkumulasjonsmålingene ble foretatt 10. mai. Sonderingsforholdene var gode, og snødypet ble målt i 125 punkter fordelt over hele breen. Dette gir en tetthet på vel 25 målepunkter pr km². Snødypet varierte fra ca 7.5 m til ca 1 m. Snøens vannverdi ble målt til 0.46 g/cm³ i 1 960 m o.b., og den totale viuterbalansen er beregnet til 4.75 $\cdot 10^{6}$ m³ vann. Dette tilsvarer et vannlag med tykkelse 1.43 m over hele breen, og det er 132% av middelet for perioden 1962 – 79.

Sommerbalansen er målt i 17 punkter. For hele breen er den beregnet til $4.8 \cdot 10^6 \text{m}^3$ vann. Det er 1.45 m vann jevnt fordelt over hele breen og er 105% av middelet for perioden 1962 – 79.



HELLSTUGUBREEN 1979

HELLSTUGUBREEN 1979

Winter balance in cm of water equivalent



Fig. 14 Beliggenheten av staker, sjakter og sonderingsprofiler i 1979.

> The location of stakes, pits and sounding profiles in 1979

Fig. 15 Kart over vinterbalansen 1 1979.

Map showing the winter balance in 1979.

Nettobalansen ble svakt negativ med et underskudd på $0.1 \cdot 10^{6}$ m³ vann eller 9.02 m vann jevnt fordelt over hele breen. Dette er den høyeste nettobalansen siden 1974.

Høyden av firnlinjen er ikke observert direkte, men er beregnet til å ligge på ca 1820 m o.h.



Fig.16 Variasjonene med høyden over havet av vinter-, sommer- og nettobalansen, breens arealfordeling og arealverdier av nettobalansen i hvert 50 m høydeintervall.

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

Høyde	Areal	V	Vinterbalanse			ommerbala	inse	Nettobalanse		
intervall	S	B _w	bw		Bs		b _s	Bn	1	o _n
m o.h.	km ²	10 ⁶ m ³	m	$1/s \text{ km}^2$	$10^{6} m^{3}$	m	$1/s \text{ km}^2$	10 ⁶ m ³	m	$1/s \text{ km}^2$
2150-2200	0.021	0.05	2.20	69	0.02	0.95	30	0.03	1.25	39
2100-2150	0.088	0.16	1.83	58	0.07	0.80	25	0.09	1.03	33
2050-2100	0.301	0.56	1.86	59	0.26	0.86	27	0.30	1.00	32
2000-2050	0.189	0.35	1.87	59	0.18	0.94	30	0.17	0.93	29
1950-2000	0.362	0.62	1.71	54	0.39	1.08	34	0.23	0.63	20
1900-1950	0.605	0.95	1.57	50	0.68	1.12	36	0.27	0.45	14
1850-1900	0.368	0.53	1.43	45	0.46	1.25	40	0.07	0.18	5
1800-1850	0.348	0.47	1.35	43	0.51	1.47	46	-0.04	-0.12	- 3
1750-1800	0.149	0.19	1.30	41	0.26	1.74	55	-0.07	-0.44	-14
1700-1750	0.146	0.20	1.38	44	0.27	1.85	59	-0.07	-0.47	-15
1650-1700	0.213	0.25	1.20	38	0.44	2.07	66	-0.19	-0.87	-28
1600-1650	0.182	0.20	1.09	34	0.40	2.19	70	-0.20	-1.10	-36
1550-1600	0.196	0.15	0.74	24	0.47	2.40	76	-0.32	-1.66	-52
1500-1550	0.110	0.05	0.43	14	0.29	2.64	84	-0.24	-2.21	-70
1450-1500	0.045	0.02	0.35	13	0.13	2.89	92	-0.11	-2.54	-79
1450-2200	3.323	4.75	1.43	45	4.83	1.45	46	-0.08	-0.02	- 1

HELLSTUGUBREEN 1979



Fig. 17 Beliggenheten av staker, sjakter og sonderingsprofiler i 1979. The location of stakes, pits and sounding profiles in 1979.



Fig. 18 Kart over vinterbalansen i 1979.

Map showing the winter balance in 1979.

1.8 Gråsubreen

Akkumulasjonsmålingene ble foretatt 11. mai. Sonderingsforholdene var gode, og snødypet ble målt i 110 punkter dvs. vel 40 punkter pr km². Snødypet varierte mellom 0.8 og 3.4 m. Breens beliggenhet og form bidrar til at vinterbalansen bare i liten grad varierer med høyden over havet. Snøens vannverdi ble målt til 0.39 g/cm³ i 2 220 m o.h. Den totale vinterbalanse er beregnet til 2.3 \cdot 10⁶m³ vann, og tilsvarer et vel 90 cm tykt vannlag over hele breen. Dette er 128% av middelet for perioden 1962-79.

Sommerbalansen ble målt i 15 punkter. På grunn av breens form og beliggenhet vil ablasjonen få et noe annet forløp enn på de andre breene som måles i Norge. Blant annet vil endel av smeltevannet fra enkelte deler av breen fryse igjen som såkalt "påfrosset is" i andre områder. Dette medfører store vanskeligheter med måling av sommerbalansen, og kurvens form blir også noe uvanlig. Årets totale sommerbalanse er imidlertid beregnet til 2.2 \cdot 10⁶ m³ vann, som er 80% av middelet for perioden 1962-79.

Nettobalansen ble svakt positiv med et beregnet overskudd på 0.11 \cdot 10⁶m³ vann. Dette er første år uten negativ balanse siden 1974.



GRÅSUBREEN 1979

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

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

Høyde	Areal	. v	interbal	anse	So	ommerbal	anse	Nettobalanse		
intervall	s	B		b	B		bs	B		b _n
m o.h.	km ²	10 ⁶ m ³	m	$1/s \text{ km}^2$	10^{6-3} m	m	l/s km ²	10 ⁶ m ³	m	$1/s \text{ km}^2$
2250-2300	0.034	0.03	0.88	28	0.03	0.88	28	0.00	0.00	0
2200-2250	0.179	0.14	0.78	24	0.15	0.84	27	-0.01	-0.06	- 3
2150-2200	0.305	0.26	0.85	27	0.23	0.75	24	0.03	0.10	3
2100-2150	0.384	0.30	0.78	25	0.33	0.86	27	-0.03	-0.08	- 2
2050-2100	0.416	0.37	0.89	28	0.38	0.91	29	-0.01	-0.02	- 1
2000-2050	0.464	0.44	0.95	30	0.43	0.93	29	0.01	0.02	1
1950-2000	0.457	0.44	0.96	31	0.40	0.88	28	0.04	0.08	3
1900-1950	0.214	0.24	1.12	36	0.18	0.84	27	0.06	0.28	9
1850-1900	0.065	0.08	1.23	39	0.06	0.92	29	0.02	0.31	10
1850-2300	2.518	2.30	0.91	29	2.19	0.87	28	0.11	0.04	1

GRÅSUBREEN 1979

ENGABREEN 1979

Position of stakes, pits and sounding profiles



Fig.20 Beliggenheten av staker, sjakter og sonderingsprofiler i 1979. The location of stakes, pits and sounding profiles in 1979.

....

1.9 Engabreen

1.9.1 Materialhusholdningen

Akkumulasjonsmålingene ble foretatt i tiden 21. - 25. mai. Sonderingsforholdene var rimelig gode, og det var anledning til å kontrollere snødypene ved 15 staker. Snødypet ble målt i 183 punkter noenlunde jevnt fordelt over hele brearealet over 1 000 m o.h., dvs. i underkant av 6 målepunkter pr km². Området nedenfor 1 000 m o.h. utgjør mindre enn 10% av totalarealet. På grunn av sprekkfaren og utilgjengelig terreng ble akkumulasjonen i disse områdene skjønnsmessig fastsatt. Største målte snødyp var like under 10 m. Målinger av snøens vannverdi ble tatt i 1 180 m o.h. og 1 350 m o.h.

< 50 50-100 900 1000 100-150 200-250 250 - 300 200 200 1000 800 900 300 400-450 400 500 60 80<u>0</u> 1200 900 1000 1100 1200 1360 N 1300 1400 1400 1500 1500

ENGABREEN 1979

Winter balance in cm of water equivalent

Fig.21. Kart over vinterbalansen i 1979. Map showing the winter balance in 1979.

ENGABREEN 1979.



Fig.22 Variasjonene av vinter-, sommer- og nettobalansen med høyden over havet, breens arealfordeling og arealverdier av nettobalansen i hvert 100 m høydeintervall.

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

Høyde	Areal	Vinterbalanse			S	ommerbal	anse	Nettobalanse			
intervall	S	Bw		b w	Bs		b s	Bn		b s	
m o.h.	km ²	10^{6}m^{3}	m	$1/s \text{ km}^2$	$10^{6} m^{3}$	m	$1/s \text{ km}^2$	$10^{6} m^{3}$	m	$1/s \text{ km}^2$	
1500-1594	0.12	0.36	3.00	95	0.32	2.70	86	0.04	0.30	9	
1400-1500	2.51	11.19	4.46	141	6.14	2.45	78	5.05	2.01	63	
1300-1400	9.35	40.75	4.36	138	22.30	2.39	76	18.45	1.97	62	
1200-1300	8.55	34.87	4.08	129	24.66	2.88	92	10.21	1.20	37	
1100-1200	7.60	26.86	3.53	112	24.84	3.27	104	2.02	0.26	8	
1000-1100	4.66	13.52	2.90	92	16.63	3.57	113	- 3.11	-0.67	- 21	
900-1000	2.46	6.32	2.57	81	10.46	4.25	135	- 4.14	-1.68	- 54	
800- 900	0.94	1.93	2.05	65	4.47	4.75	151	- 2.54	-2.70	- 86	
700- 800	0.50	0.88	1.75	55	2.75	5.49	174	- 1.87	-3.74	-119	
600- 700	0.37	0.55	1.50	47	2.31	6.25	198	- 1.76	-4.75	-151	
500- 600	0.27	0.31	1.16	36	1.82	6.75	214	- 1.51	-5.59	-178	
400- 500	0.21	0.16	0.75	19	1.52	7.25	230	- 1.36	-6.50	-211	
300- 400	0.17	0.08	0.49	15	1.37	8.08	256	- 1.29	-7.59	-241	
200- 300	0.22	0.07	0.30	10	1.97	8.96	284	- 1.90	-8.66	-274	
80-200	0.09	0.01 '	0.15	5	0.89	9.87	313	- 0.88	-9.72	-308	
80-1594	38.02	138.44	3.64	115	122.45	3.22	102	15.99	0.42	13	

ENGABREEN 1979

Vinterbalansen for hele breen er beregnet til 138.4 \cdot 10⁶m³ vann, som tilsvarer et vannlag på 3.6 m tykkelse over hele breen. Dette er 116% av middelet for perioden 1970-79.

Sommerbalansen ble målt i 19 punkter. Beregnet for hele brearealet ga dette en balanse på $122.5 \cdot 10^6 \text{m}^3$ vann, tilsvarende et 3.2 m tykt vannlag. Dette er 40% mer enn midlere sommerbalanse i perioden 1970-79 og det høyeste som er målt siden 1972.

På tross av stor sommerbalanse ble nettobalansen positiv, og breen øket sin totale masse med 16 \cdot 10⁶m³ vannekvivalenter. På årsbasis vil det si at en avrenning på 13 1/s km² ble holdt tilbake fra det nedenforliggende vassdrag. Dette var det sjuende år med positiv massebalanse siden målingene startet i 1970.

1.9.2 Meteorologiske observasjoner

Det meteorologiske måleprogram på Engabreco sommeren 1979 var det samme som de to foregående år med målinger utført på 3 steder: 1) den gamle hyttetomten (880 m o.h.) som var observasjonssted i årene 1970-76, 2) på feltstasjonen (1100 m o.h.) dit hytten ble flyttet i 1976, og 3) på Skjæret (1360 m o.h.) som er en nunatak midt inne på breplatået. Målingene pågikk i perioden 14. juni – 1. september (på Skjæret fra 19. juni).

På 880 m o.h. ble det målt fuktighet og temperatur med hhv. hygrograf og termograf som begge hadde urverk med ukesomløp. Hygrografen hadde mange brudd, og resultatene er av tvilsom verdi. Termografen har gitt gode resultater bortsett fra en ukes stans i begynnelsen av august. Stasjonen ble besøkt én gang pr dag, og da ble døgnlig vindstyrke målt med anemometer og nedbør i pluvius. Registreringene på dette stedet opprettholdes ennu for bedre å kunne sammenligne observasjonene på 880 m o.h. fra tiden før 1976 med dem på 1100 m o.h. i tiden etterpå.

Feltstasjonen på 1100 m o.h. var bemannet hele observasjonsperioden. Her ble utført observasjoner av vind, temperatur, nedbør (pluvius og standardnedbørmåler) og skydekke to ganger om dagen (0600 og 1800 GMT). Dessuten

Fig.23 Resultatene av de daglige meteorologiske observasjonene på Engabreen (1100 m o.h.) samt beregnet døgnavløp ved utløpet av Engavatn.

The daily meteorological observations at Engabreen (1100 m a.s.1.) and computed daily discharge at Lake Engavatn.



ble fuktighet og temperatur registrert kontinuerlig med hhv. hygrograf og termograf med en ukes omløp, og registreringene må karakteriseres som svært gode. Ved feltstasjonen ble det også installert en aktinograf som utførte kontinuerlige registreringer av kortbølget stråling. Disse målingene er behandlet separat i kapittel 2, s. 42, mens de meteorologiske målingene på feltstasjonen er vist i figur 23.

Skydekket ble målt i deler av 10 med 10 som helt overskyet, og 0 som helt klart. Middelet for hele perioden (79 dager) var på 7.1; 31 dager eller 39% var helt overskyet, mens 23 dager eller 29% hadde halvskyet eller lettere. Bare fem dager var helt skyfrie.

Middeltemperaturen for stasjonen på 1100 m o.h. for observasjonsperioden var 6.1° C og det er 1.7° C høyere enn de to foregående somre. Høyeste døgnmiddel var 11.0° C den 18. august, og laveste var -0.9° C den 18. juni. Middeltemperatur over 10° C ble målt i 7 døgn. Middeltemperaturen for juni var 5.2° C, for juli 7.1° C og for august 5.5° C. På Skjæret (1360 m o.h.) var middeltemperaturen 3.9° C, og det er 0.8° C høyere enn i 1977. På den gamle stasjonen på 880 m o.h. var middeltemperaturen 7.2° C, og det er 0.4° C høyere enn middelverdien for perioden 1970-76.

Temperaturforskjellen mellom de to stasjonene på 880 m o.h. og 1100 m o.h. er svært ujevn og var 1.4° C i juni, 0.8° C i juli og 1.5° C i august, og varierte mellom 3.7° C og -0.9° C med et standardavvik på 83%. Middeldifferensen for hele sommeren var 1.2° C. Ser man derimot på temperaturgradienten mellom feltstasjonen 1100 m o.h. og Engavannet (10 m o.h.) og Glomfjord (39 m o.h.), var den h.h.v. 0.68° C/100 m og 0.75° C/100 m og med et standardavvik på 26% og 34% respektive.

Midlere døgnlig vindstyrke på 1100 m o.h. var 5.2 m/s med maksimum 14.5 m/s den 14.aug. og minimum 0.5 m/s den 27.juli. I tilsammen 7 døgn var middelvindstyrken over 10 m/s.

Nedbøren ble målt med pluvius på 880 m o.h., med standard nedbørmåler og pluvius på feltstasjonen på 1100 m o.h. og med pluviograf på Skjæret. I standardnedbørmåleren på feltstasjonen ble det registrert 77 mm i juni, 38 mm i juli og 234 mm i august - tilsammen 349 mm i løpet av 76 dager. To dager i juni og en i juli hadde snevær og vind uten oppfanget nedbør av betydning, så tallene er for lave. Største nedbør ble målt 31. august med 107 mm, og tilsammen 29 dager var uten nedbør. På nedre hyttetomt ble det målt 25 mm i juni, 23 mm i juli og 122 mm 1 - 29 august (sammenlignet med 106 mm på feltstasjonen) og på Skjæret ble det registrert 27 mm i juni, 72 mm i juli og 129 mm i august.

I Glomfjord falt det i feltperioden (14.juni - 31.august) 200 mm og ved Engavann 277 mm. (Det er tatt hensyn til tre døgn uten nedbørtall på brestasjonen). Brestasjonen fikk dermed 175% av nedbøren i Glomfjord og 126% av nedbøren på Engavann. Sammenlignet med Glomfjord varierte prosentandelen mellom 112% og 186%, men sammenlignet med Engavann var den prosentvise forskjell mye mindre og var 136% i juni, 117% i juli og 125% i august.

Luftfuktighetsmålingene viser et midlere vanndamptrykk på 7.9 mb i juni, 8.4 mb i juli og 8.1 mb i august. Høyeste verdi var 11.0 mb den 18.juli. Kun ett døgn hadde positiv døgnmiddeltemperatur og et vanndamptrykk under 6.1 mb, hvilket er betingelsen for direkte sublimasjon fra breoverflaten. Ablasjon fra breen i form av sublimasjon må dermed ha vært helt ubetydelig.

1.9.3. Avrenning.

Fra 14.juni til 31.august var avløpet 132.1 $\cdot 10^{6}$ m³ målt i utløpet av Engavann, hvis nedslagsfelt er 75% bredekket. Det gir et døgnlig middelavløp på 1.67 $\cdot 10^{6}$ m³, og det er 104% av middelverdien for perioden 1970-79. Avløpet var 18.0 $\cdot 10^{6}$ m³ i juni, 53.9 $\cdot 10^{6}$ m³ i juli og 55.5 $\cdot 10^{6}$ m³ i august. Tallene for de enkelte månedene avviker også svært lite fra middelverdiene for perioden 1970-79. Høyeste døgnavløp ble målt 15.august med 3.28 $\cdot 10^{6}$ m³, og det er høyeste døgnavløp siden 1972. For perioden 1.mai - 31.oktober var avløpet fra Engavann 179 $\cdot 10^{6}$ m³, mens middelverdien for årene 1970-79 er 175 $\cdot 10^{6}$ m³. Utenom denne periode ansees smelting fra breen å ha vært ubetydelig.

1.10 En sammenligning av materialhusholdningen på de enkelte breer

I 1979 ble massebalansen målt på 8 norske breer, 7 i Syd-Norge og 1 i Nord-Norge. NVE utfører målingene på 6 av breene og Norsk Polarinstitutt på de to andre. Som fig. 1 viser er breene i Syd-Norge ganske godt fordelt geografisk fra Ålfoten i vest som den mest maritime til Gråsubreen i Øst-Jotunheimen som den mest kontinentale. I Nord-Norge er det bare utført undersøkelser på Engabreen, og en vet derfor lite om forholdene lenger nordover.

Bortsett fra Ålfoten som hadde 94% av normal (gjennomsnittet for 17 år) vinterakkumulasjon, hadde samtlige breer i Syd-Norge en vinterakkumulasjon noe høyere enn normalt (112-132%), og størst prosentvis overskudd hadde Gråsubreen og Hellstugubreen. Sommerbalansen var nær eller litt under det normale (gjennomsnittet for de årene undersøkelsene har pågått), og varierte fra 80% på Gråsubreen til 106% på Nigardsbreen og Hardangerjøkulen.


NET BALANCE DIAGRAMS 1979

Net balance curves for 1979.

Dette førte til at de fleste av de undersøkte breene kom ut med en nettobalanse nær null eller svakt positiv. Størst nettobalanse hadde Nigardsbreen med 0.71 m og minst hadde Ålfoten med -0.13 m mens breene i Jotunheimen hadde en nettobalanse svært nær null.

På Engabreen var vinterakkumulasjonen 116% av gjennomsnittet for de 10 årene undersøkelsene har pågått. Selv om den fine sommeren ga en sommerbalanse på 139% av middelet for 10 år, ble nettobalansen 42 cm.

Resultatene av årets massebalanseundersøkelser er sammenstillet i tabellen

nedenfor og i fig. 24 og 25. I tabellen på s. 41 er årets massebalanseresultater jevnført med middelverdien av tidligere års undersøkelser.

	Areal Vinterbalanse		Sc	ommerbal	anse		Likevekts-				
Bre	S km ²	10 ⁶ ^w 3	m	b W 1/s km ²	10^{6}m^{3}	m	$\frac{b_s}{1/s km^2}$	B 10 ⁶ m ³	m	b 1/s km ²	m o.h.
Ålfotbreen	4.8	15.78	3.28	104	16.40	3.41	108	- 0.62	-0.13	- 4	1240
Bondhusbreen	10.6	29.86	2.82	90	26.36	2.49	79	3.50	0.33	11	1455
Nigardsbreen	48.2	132.77	2.75	87	98.48	2.04	65	34.29	0.71	22	1500
Hellstugubreen	3.3	4.75	1.43	45	4.83	1.45	46	- 0.08	- 0.02	- 1	1820
Gråsubreen	2.5	2.30	0.91	29	2.19	0.87	28	0.11	0.04	1	-
Engabreen	38.0	138.44	3.64	115	122.45	3.22	102	15.99	0.42	13	1130

MASSEBALANSERESULTATER



Fig.25 Forholdet mellom vinter- og sommerbalansen i 1979 sammenlignet med et år med beregnet "normal" materialomsetning.

Relation between winter and summer balance in 1979 compared to a year with a computed "normal" mass exchange.

Å = Ålfotbreen, B = Bondhusbreen, N = Nigardsbreen, H = Hardangerjøkulen, S = Storbreen, He = Hellstugubreen og G = Gråsubreen.

1.11 En oversikt over massebalanseundersøkelser utført på noen norske breer i perioden 1962 - 79.

I figur 26 er vist en oversikt over massebalanseundersøkelser på noen norske breer i perioden 1962-79. I tabellen er alle tall for balanse angitt i m vannekvivalent jevnt fordelt over hele breens overflate.

Ålfotbreen er den mest maritime av de undersøkte breene og har den største materialomsetningen av de undersøkte breene. Massebalanseundersøkelser har pågått der siden 1963. Vinterbalansen har variert mellom 2.47 m og 4.67 m mens sommerbalansen har variert mellom 2.49 m og 4.83 m. Minste nettobalanse var -2.17 m i 1969 og største målte nettobalanse var 2.18 m i 1973. Før 1970 hadde Ålfotbreen gjennomgående mindre vinterbalanse og større sommerbalanse (middelverdi ble 3.19 m og 3.58 m) enn etter 1970 da middelverdiene var 3.73 m og 2.70 m respektive. Nettobalansen i årene 1963-70 var tilsammen -3.12 m, mens den i perioden 1971-79 var +5.80 m. Tendensen ser imidlertid ut til å ha snudd igjen, da årene 1977-79 har hatt relativ liten vinterbalanse og negativ nettobalanse på tilsammen 1.20 m.

På Nigardsbreen har massebalanseundersøkelser pågått siden 1962. Materialomsetningen er her mindre enn på Ålfoten. Midlere vinterbalanse på 18 år er 2.27 m og midlere sommerbalanse er 1.93 m. Nettobalansen varierte mellom +2.24 m i 1962 og -1.31 m i 1969, og siden 1962 har kummulativ nettobalanse vært 6.21 m. Det kan ikke her påvises noen forandring rundt 1970 som på Ålfotbreen, men for de siste tre årene har nettobalansen ligget rundt null tilsammen -0.19 m. Selv om Nigardsbreen har hatt en positiv nettobalanse siden 1962 har brefronten på samme tid trukket seg tilbake med ca 820 m.

På Hardangerjøkulen har det vært utført massebalansemålinger på Rembesdalskåkje siden 1963. Midlere vinterbalanse ligger på 1.92 m og midlere sommerbalanse på 1.93 m. Det vil si at breen ikke har forandret sitt volum

The table is showing results of mass balance measurements performed at some Norwegian glaciers during the period 1962-79. B_W , B_s , and B_n are the winter, summer, and net balance, respectively. For some of the glaciers values for discharge during the summer and advance or retreat of the glacier front are shown where such figures are available.

Fig. 26 Tabellen viser resultater fra massebalanseundersøkelser for noen norske breer utført i årene 1962 - 79. B_w, B_s og B_n er vinterbalanse, sommerbalanse og nettobalanse respektive, oppgitt i m vannverdi jevnt fordelt på hele breens areal. Dessuten er det oppgitt avrenningen fra breen i millioner kubikkmeter i sommermånedene juni - august og brefrontens frem- eller tilbakerykning i meter der disse måles.

_						+		r				r	·····	*******		·····					
				1962	1963	1964	1965	1966	1967	1968	1969	1970	1971	1972	1973	1974	1975	1976	1977	1978	1979
	q	Bw	m		2.48	2.69	3.64	2.47	4.46	4.55	2.66	2.60	4.29	3.81	4.67	3.57	4.64	4.40	2.33	2.56	3.28
	ree	Bs	m		3.58	2.41	3.16	4.08	3.18	3.60	4.83	3.83	3.35	3.70	2.49	2.54	3.43	2.87	2.89	3.07	3.41
	otb	Bn	m		-1.10	+0.28	+0.48	-1.61	+1.28	+0.95	-2.17	-1.23	+0.94	+0.11	+2.18	+1.03	+1.21	+1.53	-0.56	-0.51	-0.13
	VI Fo	Q juni-aug.	10°m ³			28.2	29.4	25.4	30.4	22.3	25.6	26.5	32.3	33.2		25.8			24.9	26.5	26.6
		Front	m																		
	u l	Bw	m	2.8	3 1.87	2.13	2.29	1.76	3.40	2.72	1.95	1.73	2.11	1.88	2.40	2.06	2.50	2.88	1.52	2.12	2.75
	ree	Bs	m	0.6	3 2.09	1.18	1.38	2.68	1.24	2.50	3.26	2.29	1.29	2.02	1.30	1.58	2.23	2.48	2.29	2.25	2.04
	dsb	Bn	m	+2.2	5 -0.22	+0.95	+0.91	-0.92	+2.16	+0.22	-1.31	-0.56	+0.82	-0.14	+1.10	+0.48	+0.27	+0.40	-0.77	-0.13	+0.71
	gar	Q juni-aug.	10^{6}m^{3}			117.1	92.3	144.4	111.2	121.8	130.0	167.8	120.2	139.1	140.6	111.1	134.8	139.4	132.1	152.2	146.7
	Ni.	Front	m	-3	-65	-65		1			515		1	>	-65	-46	-16	-1	-7	-14	+3
F	1	Bw	_ m		1.15	1.85	2.05	1.60	2.44	2.68	1.07	1.29	2.02	1.78	2.62	1.91	2.25	2.45	1.20	1.80	2.40
	ger	Bs	m		2.55	1.31	1.54	2.24	1.25	2.15	2.97	1.89	1.28	1.86	1.79	1.50	2.10	2.30	1.92	2.10	2.10
	lan ıle	Bn	m		-1.40	+0.54	+0.51	-0.64	+1.19	+0.53	-1.90	-0.60	+0.74	-0.08	+0.83	+0.41	+0.15	+0.15	-0.72	-0.30	+0.30
	lar øku	0 juni-aug.	10 ⁶ m ³																		
		Front	m																		
+								1.05			1.00	0.07	1.16	1 20	1 / 0	1 26					
	u	Bw	m	1.5	0.96	1.16	1.54	1.25	1.89	1.64	1.22	0.97	1.40	1.39	1.40	1.20	1.55	1.81	0.94	1.26	1.55
	ree	Bs	m	0.8	2 2.14	0.95	1.20	1.86	1.1/	1.59	2.64	1.69	1.28	1.70	1.40	1.02	1.70	1.90	1.48	1.70	1.45
	orb	Bn	m 63	+0.7	2 -1.18	+0.21	+0.34	-0.61	+0.72	+0.05	-1.42	-0.72	+0.18	-0.31	+0.08	+0.24	-0.15	-0.09	-0.54	-0.44	+0.10
	St	Q juni-aug.	10°m													_					
1		Front	m	-	5 -20	-11	-8	-6	-5	-8	-14	-18	-14	-10	-5	-5	-8	-10	-8		-6
	een	Bw	m	1.1	3 0.94	0.71	1.29	0.95	1.48	1.38	0.95	0.70	1.12	0.94	1.20	1.00	1.35	1.16	0.68	1.05	1.43
	ibr(Bs	m	0.4	1.92	0.83	0.77	1.62	0.93	1.49	2.23	1.70	1.25	1.43	1.41	0.76	1.71	1.89	1.40	1.59	1.45
	าริก	Bn	m	+0.7	3 -0.98	-0.12	+0.52	-0.67	+0.55	-0.11	-1.28	-1.00	-0.13	-0.49	-0.21	+0.24	-0.36	-0.73	-0.72	-0.54	-0.02
	lst	Q juni-aug.	10^{6} m^{3}																		
	Hel	Front	m	-1	-12	-6								←		65	>	-10			
F		Bw		0.8	0.40	0.39	0.77	0.72	1.45	1.03	0.74	0.57	0.49	0.66	0.72	0.58	0.91	0.62	0.51	0.67	0.91
	een	Be	m			0.71	0.36	1.01	0.74	1.11	2.04	1.23	0.96	1.30	1.61	0.24	1.86	1.62	0.90	0.89	0.87
	bre	Pa		+0.7	-0.71	-0.32	+0 /1	-0.20	+0.71	-0.09	-1 30	-0.66	-0.47	-0.64	-0.80	+0.24	-0.95	-1 00	-0.39	-0.22	+0.04
	åsu	BII	1.6.3	+0.7	-0.71	-0.52	+0.41	-0.29	+0.71	-0.08	1,50	-0.00	-0.47	-0.04	-0.09	10.04	0.75	1.00	0.55	0.22	10.04
	Gr	Q juni≁aug.	IUm																		
F		Front	m																		
	E	Bw	m									2.05	3.20	3.22	4.37	3.39	3.18	3.86	2.08	2.48	3.64
	ree	Bs	m									3.04	2.19	3.29	1.65	2.59	1.57	1.45	1.20	2.99	3.22
	gab.	Bn	m									-0.99	+1.01	-0.07	+2.72	+0.80	+1.61	+2.41	+0.88	-0.51	+0.42
	Εnε	Q juni-aug.	10 ⁶ m ³									139.7	180.1	147.1	138.3	117.2	103.6	110.7	89.1	133.1	141.6
		Front	m					+5	+10	+22	+8	+34	+28	-31	-12	-4	0	+7	+31	+25	+20
U.,				1	1	1	1							1							1

siden 1963. Nettobalansen har variert mellom -1.90 m i 1969 Og +1.19 m i 1967. Som Ålfotbreen viser også Hardangerjøkulen et netto underskudd i perioden 1963-70 og et netto overskudd i perioden 1971-79, hhv. -1.77 m og +1.48 m i de to periodene. Midlere vinterbalanse var 0.28 m større og midlere sommerbalanse o.11 m mindre i den siste perioden enn i den første.

På Storbreen startet massebalanseundersøkelsene i 1949. Før 1972 viste breen et samlet underskudd på 5.52 m. Den samme tendens som resultatene fra Ålfotbreen og Hardangerjøkulen viser med mindre nettobalanse før 1970 enn etter, finner vi også på Storbreen, her ved at det samlede underskuddet i perioden 1962-70 er større enn i perioden 1971-79. Nettobalansen i de to periodene er -1.89 m og -0.87 m respektive. Største nettobalanse ble målt i 1962 og 1967 med 0.72 m og den minste i 1969 med -1.42 m. Mens vinterbalansen på Storbreen har vært forholdsvis jevn med middelverdi på 1.40 m hele undersøkelsesperioden, har sommerbalansen vist en synkende tendens fra 1.81 m før 1962 til 1.51 m etter 1970. Siden 1949 har fronten på Storbreen trukket seg 350 m tilbake, derav 160 m etter 1962.

På Hellstugubreen har massebalanseundersøkelsene pågått siden 1962. Her varierer vinterbalansen mellom 1.48 m og 0.70 m med en middelverdi på 1.08 m, og sommerbalansen ligger mellom 0.40 m og 2.23 m og har middelverdien 1.38. Nettobalansen varierer fra -1.28 m til +0.78 m. På 18 år har breen hatt et netto underskudd på 5.26 m, og bare 4 av årene har hatt positiv nettobalanse. Det kan ikke påvises noen tydelig forskjell i resultatene i periodene før og etter 1970, bare en svak økning av sommerbalansen.

På Gråsubreen, som er den mest kontinentale av de undersøkte breene, begynte massebalansemålingene i 1963, og materialomsetningen er her bare 20-25% av den på Ålfotbreen. Vinterbalansen varierer mellom 0.39 m og 1.45 m og sommerbalansen mellom 0.24 m og 2.11 m. Nettobalansen har ligget mellom -1.37 m og +0.71 m. Bare 4 av de 17 årene undersøkelsene har pågått, har hatt positiv nettobalanse. På Gråsubreen har det vært en tendens til minkende akkumulasjon og økende ablasjon i årene etter 1970 sammenlignet med årene før. I perioden 1963-70 var midlere vinterbalanse 0.76 m og midlere sommerbalanse 1.04 m, mens de tilsvarende tall for perioden 1971 – 79 var 0.67 m og 1.14 m, slik at midlere nettobalanse avtok fra -0.28 m til -0.47 m fra 1960-årene til 1970-årene. Kumulativt masseunderskudd for Gråsubreen for perioden 1963-79 er 6.49 m vann jevnt fordelt over hele breen. Gråsubreen og Hellstugubreen er mer kontinentale enn de tidligere omtalte breene, og variasjonene i sommerbalansen er mye større enn i vinterbalansen.

Engabreen har den lengste måleserie av breene i Nord-Norge, og her har

Bre	Antall års	Vinte	rbalanse	Somme	rbalanse	Netto	balanse
	målinger	b _w (m)	% av b	b _s (m)	% av b	b _n (m)	$\overline{b}_{n}(m)$
Ålfotbreen	17	3.28	94	3.41	103	-0.13	0.16
Bondhusbreen	3	2.82	118	2.49	90	0.33	-0.39
Nigardsbreen	18	2.75	121	2.04	106	0.71	0.35
Hardangerjøkulen	17	2.40	125	2.10	109	0.30	-0.02
Storbreen	31	1.55	112	1.45	88	0.10	-0.27
Hellstugubreen	18	1.43	132	1.45	105	-0.02	-0.36
Gråsubreen	18	0.91	128	0.87	80	0.04	-0.38
Engabreen	10	3.64	116	3.22	139	0.42	0.83

MASSEBALANSE 1979

Fig. 27 Resultater av massebalanse-undersøkelsene i 1979 prosentvis sammenlignet med middelverdien av vinter-, sommer- og nettobalansen for de årene undersøkelsene har pågått.

> The table shows the winter, summer and net balance results for Norwegian glaciers in 1979, and the figures expressed as percentages of the average of the investigated years. The left column shows the total number of years when investigations were made.

undersøkelsene pågått siden 1970. Materialomsetningen er stor, nesten like stor som på Ålfotbreen. Midlere vinterbalanse for 10 år er 3.15 m og midlere sommerbalanse 2.32 m. Tilsammen har Engabreen hatt et netto overskudd på 8.28 m i løpet av 1970-årene. På samme måte som for Ålfotbreen og Nigardsbreen ser man også på Engabreen en tendens til avtagende nettobalanse etter 1977. Mens nettobalansen på de andre to breene har vært negativ de tre siste årene, har den på Engabreen vært mindre positiv, tilsammen 0.79 m. Dette skyldes både mindre vinterbalanse og større sommerbalanse de tre siste årene. Masseøkningen på Engabreen har også medført at brefronten har rykket frem. Frontmålinger, som har vært gjort på Engabreen siden 1966, viser en netto fremrykning på 143 m, og denne fremrykningen ser ut til å fortsette.

Sammenligner en derimot resultatene fra de forskjellige breene år for år, finner en svært god overensstemmelse. Årene 1963, 1965, 1969, 1977 og 1978 viser underskudd for samtlige undersøkte breer, og største målte masseunderskudd ble målt i 1969 på alle sammen. Dette skyldes svært høy sommertemperatur. Samtlige breer har sin største målte sommerbalanse i 1969. I 1977 hadde samtlige breer svært liten vinterbalanse, for flere den minste som er målt. Selv om sommerbalansen var nær eller litt større enn middelverdien,ble nettobalansen negativ for alle breer i Syd-Norge. På den annen side viser årene 1964, 1965, 1967 og 1974 masseoverskudd for samtlige breer. De fleste av breene har sin minste målte sommerbalanse i 1964 og 1967. I tillegg var også vinterbalansen den største målte for de fleste av breene i 1967. Årene 1973, 1975 og 1976 viser et rekordartet overskudd for de to mest maritime breene Ålfotbreen og Engabreen. Overskuddet avtar med økende kontinentalitet, og breene i Jotunheimen, særlig Gråsubreen, viser underskudd. Disse årene var vinterakkumulasjonen forholdsvis stor for alle breene, men i absoluttverdier ble det mest på de maritime breene. Dette viser at akkumulasjonssesongen har størst betydning for massebalansen på de maritime breene, mens sommertemperaturen betyr mest for de kontinentale.

Ved å sammenligne resultatet fra Engabreen med resultatene fra breene i Syd-Norge viser vinterbalansen god korrelasjon, mens det for sommerbalansen ofte er omvendt korrelasjon. Men da vinterbalansen er av overveiende betydning for nettoresultatet hos en maritim bre, er det relativt god korrelasjon mellom nettobalansen til Engabreen og breene i Syd-Norge.

2. ENERGIBALANSEN PÅ ENGABREEN

2.1 Innledning

Energibalansemålinger ble i 1979 på Engabreen utført både i snø-området (1 100 mo.h.) og på bretunga (50 m o.h.) – svarende til dem som ble utført i 1978.

Observasjonsperioden var 15.juni - 30.august i snø-området, mens den på bretunga utgjorde tidsrommet 1.juni - 13.september.

Idet 79-undersøkelsene er nær identiske med dem fra tidligere år, henvises til Tvede (1975) for detaljerte opplysninger om metoder og instrumenter. Her skal bare nevnes at globalstrålingen ble registrert av to Robitzsch aktinografer, en plassert ved brehytta (1100 m o.h.) og en nær bretunga (50 m o.h.). Avsmeltingen ble registrert daglig på nedborede staker i snø-området og ukentlig ved avlesing av wirene nedboret på bretunga.

Bortsett fra 3 døgns observasjonsavbrekk for globalstrålingen på bretunga (som ble estimert ut fra målingene i snø-området), gikk feltarbeidet etter planen.

Usikkerheten i de relative verdier for stråling og non-radioaktive fak torer (se tabellene I og II, 3 siste kolonner) er vurdert til 4% - som i tidligere år. Tabellene I og II gir de ukentlige verdier for de viktigste faktorene i energibalansen for henholdsvis snø-området og bretunga.

I snø-området (1100 m o.h.) bidro strålingen med 39% til avsmeltingen. Konveksjon pluss kondensasjon forårsaket nær 61%, mens nedbøren betydde mindre enn 1%.

Ut fra de målinger en til nå har utført på Engabreen, kan en i tillegg antyde:

 Globalstrålingen på bretunga (målinger 50 m o.h.) er i overkant av 75% sammenlignet med globalstrålingen på breplatået (målinger 1100 m o.h.). Både værlag og topografi bidrar til denne forskjellen.



Fig. 28

Kart som viser beliggenheten av de breer hvor energibalanseundersøkelser er foretatt. Engabreen er undersøkt i 1979.

Map showing the location of Norwegian glaciers where heat balance investigations have been performed. Engabreen was studied in 1979. 2) Både bretunga og breplatået mottar en noenlunde jevn "grunnsum" av strålingsenergi – svakt minkende fram gjennom sommeren. På breplatået minker den fra ca. 180 cal/cm² på dager i siste del av juni til ca. 100 cal/cm² på dager i siste del av august. På bretunga er tilsvarende tall ca. 240 cal/cm² og 130 cal/cm². At verdiene på breplatået således ser ut til å være omkring 75% av verdiene på bretunga, skyldes hovedsakelig albedo-forskjellen på rundt regnet 30%.

Poriod	Mean	Global	Net Rad.	Ablation	Ablation	Registered	Re	lative heat su	pply by
reitou	Albedo	Radiation	absorbed by clacier	coused by Radiction	caused by Rain	toral Ablation	Radiation	Convection + Condensation	Frecipitation
Day/month	474 274	ca.	l/cm ²		g∕em²				
15/6 -21/6	67	2865	830	10.5		20.5	50.7	49.3	0
22/6 -28/6	64	4179	1156	14.5	0.2	36.7	39.5	60.0	0.5
29/6 - 5/7	68	2744	378	t0.9	G (10.5	103.8	- 3.7	-0.1
6/7 -12/7	64	3932	1095	13.7	0.1	26.6	29.4	70.4	0.2
13/7 -19/7	62	4334	1137	14.2	6.1	10.4	30.0	69.8	0.2
20/7 -26/7	61	3489	1074	13.4	0.1	28-6	46.9	52.6	0.5
27/7 - 2/8	60	-6176	1260	15.8	0	26.1	59.6	40.4	0
3/8 - 9/8	63	3243	890	11.1	0.1	21.8	50.9	49.1	0
10/8 -16/8	60	2865	776	9.7	0.2	46.4	20.9	78.8	0.3
17/8 -23/8	60	1790	723	9.0	0.1	35.6	25.3	74.4	0.3
24/8 -30/8	62	2091	646	8.1	0.1	13.2	61.4	38.7	0
15/6 -30/8	63	35648	10465	130.8	1.2	233.8	39.2	60.5	0.3

MELATION CONSTITIONS ENGABREEN 1979 SNOW AREA - 1100 M A.S.L.

TASTE = 1.1

ABLATION CONDITIONS ENGABREEN 1970 CONTROL TONGUE 50 M A.S.L.

Devial	Mean	Gioba)	Net Rad.	Ablation	Addition	ing storad	Rel	ative heat sup	ply by	
reriou	Albedo	Radiation	absorbed	caused by	caused by	teral	Radiation	Convection +	Precipitation	
			by glacier	Kadiation	Rain	apratico:		Condensation		
Day/month	Z	cal	./cm ²	g/cm ²			7.			
1/6 - 7/6	35	3020	1704	21.3	0.1	38. ⁹	54,9	44.8	0.3	
8/6 -14/6	35	1487	905	11.3	0.3	29.4	38.4	60.6	1.0	
15/6 -21/6	35	2066	1159	14.5	0.5	33.1	43.8	54.7	1.5	
22/6 -28/6	35	3142	1731	21.6	0.4	54.9	39.3	60.0	0.7	
29/6 - 5/7	35	1628	1043	13.0	0.3	33.5	38.8	60.3	0.9	
6/7 -12/7	35	2612	1528	19.1	0.1	52.3	36.5	63.3	0.2	
13/7 -19/7	35	3357	1813	22.7	0	34.4	41.7	58.3	0	
20/7 -26/7	35	2324	1428	17.9	0.2	48.0	37.3	62.3	0.4	
27/7 - 2/8	35	2772	1560	19.3	0	45.2	43.1	56.9	0	
3/8 - 9/8	35	2506	1498	18.7	0.1	58.2	32.1	67.7	0.2	
10/8 -16/8	35	2152	1193	14.9	0.3	o6.5	22.4	77.1	0.5	
17/8 -23/8	35	1661	907	11.3	0.5	55.4	19.3	79.8	0.9	
24/8 -30/8	35	1457	859	10.7	0.8	34.9	30.7	67.0	2.3	
31/8 - 6/9	35	1159	348	10.6	L.C.	21.9	33.2	63.7	3.1	
7/9 -13/9	35	857	692	8.7	G., 3	22.5	26.0	71.9	2.1	
1/6 -13/9	35	32197	18868	235.8	5.3	673.0	35.0	64.2	0.8	

Year of	Period	Glacier	Position	1	Ablation	n components %		Author
investigation	day/month	(See map)	m.a.s.l.	Radiation	Convection	Condensation	Rain and sublimation	(year)
		Gråsu-	61 [°] 39'					T Klongdol
1963	12/6 - 18/6	breen	08 [°] 36'	98		2		I.KIEmsual
	27/7 - 9/8		1975	59	27	14		(1968)
		Austre	61° 33'					S.Messel
1970	26/6 - 30/8	Memurubre	08 30'	67	3:	3	< 1	(1971Ъ)
1971	15/6 - 6/9		ca.1900	77	2:	3	< 1	(1973)
		Stor-	610 35'					0.Liestøl
1955	6/7 - 8/9	breen	08° 20'	54	32	14	< 1	(1967)
			1600					
		Skagastøls-	61° 30'					B.E.Eriksson
1954	May - Sept.	breen	07° 50'	79	2	1		(1959)
1955	May - Sept.		ca.1600	66	34	4		
		Omns-	60° 39'					S.Messel
1968	3/6 - 8/9	breen	07 [°] 30'	50	34	16	< 1	(1971a)
1969	3/6 - 8/9		1540	55	31	14	< 1	()
			······		+			S.Messel
1972	15/6 - 6/9	Nigards-	61 [°] 43'	64	3	6	< 1	(1974)
1973	22/6 - 6/9	breen	07 [°] 08'	53	47		< 1	(1975a)
1974	22/6 - 6/9		1620	77	23		< 1	(1975Ъ)
1975	22/6 - 30/8			54	4	6	< 1	(1977a)
1976	15/6 - 30/8			- 64	3	6	1	(1977Ъ)
1977	15/6 - 30/8			65	. 3.	5	1	(1978)
	1/7 - 12/7	Supphelle-	61° 30'	32	68			0.0rheim
1967	1/8 - 18/8	breen	06 [°] 48'	26	74			(1970)
	4/9 - 8/9		ca.70	14	86			(
								S.Messel
1970	1/6 - 14/9	Ålfot-	61 ⁰ 45'	44	56		< 1	(1971b)
1971	1/6 - 6/9	breen	05 [°] 40'	43	56		1	(1973)
1972	1/6 - 2/8		ca.1250	53	46		1 .	(1974)
								S.Messel
1973	22/6 - 30/8	Enga-	66 ⁰ 40'	32 🕈	67		1	(1975a)
1974	22/6 - 6/9	breen	13 [°] 50'	33 \star	. 66		1	(1975b)
1975	22/6 - 30/8		850		52		< 1	(1977a)
1976	15/6 - 30/8			45	54		1	(1977ь)
1977	15/6 - 30/8		1100	48	52		1	(1978)
1978	15/6 - 30/8			43	57		< 1	(1979)
1978	6/7 - 6/9		50	34	65		< 1	(1979)
1979	1/6 - 13/9			35		C C		
1979	15/6 - 30/8		1100	30	64		1	(1980)
			1100	ענ	61		1	(1980)

TABLE III ABLATION CONDITIONS ON GLACIERS IN NORWAY

* Area not representative for Engabreen (very strong catabatic winds).

3) Som i tidligere års undersøkelser på breene, finner en at ablasjonsfaktorenes relative bidrag til nedsmeltingen av bremassen utover sommeren kan variere ganske kraftig fra uke til uke (og selvsagt fra dag til dag).

Idet strålingen bidrar med en noenlunde jevn grunnsum av energi, må variasjonene nevnt ovenfor tilskrives de raske skiftlingene i konveksjon og kondensasjon når vind, temperatur og fuktighet varierer.

Også i 1979 har det vært såkalt "vinterklima"-dominans en hel uke i Engabreens snø-område (se tabell I), nemlig fra 29.6 til 5.7, mens både uken før og uken etter var preget av maritimt sommerklima. Det ser ut til at rundt 10% av sommersesongen på Engabreens platå preges av "vinterklima", dvs. temperaturer så lave at selv ikke hjulpet av strålingen har breen hatt ablasjon.

4) Strålingen og de non-radiative faktorers innflytelse fra år til år kan en med mindre sikkerhet uttale seg om. På Engabreens platå har strålingsbidraget variert fra 48% til 39%. Som en middelverdi kan antydes 43% stråling og 57% konveksjon + kondensasjon, mens nedbør betyr mindre enn 1% for avsmeltningen.

På bretunga var strålingsbidraget i 1978 på 34%, mens det altså i 1979 er på 35%. To års undersøkelser på dette felt gir for dårlig konklusjonsgrunnlag, bortsett fra det resultat at nedbøren bidrar med knapt 1% til avsmeltingen. Både kraftig strålingsvirkning (lav albedo) og de jevnt dominerende katabatiske luftstrønmer nedover bretunga sørger for at nedbøren her betyr relativt sett så lite.

I tabell III på s. 45 er gitt en oversikt over de energibalanseundersøkelser som til nå er foretatt på breer i Norge. I figur I er vist beliggenheten av breene.

3. BEREGNING AV NORMALAVLØPET I SVARTISENOMRÅDET.

3.1 Innledning

I et område hvor store deler av elvenes nedslagsfelt er dekket av bre, slik som området rundt Svartisen, byr det på spesielle problemer å beregne en elvs normalavløp. Normalavløpet defineres som middelet av årsavløpene i de hydrologiske årene 1930-31 t.o.m. 1959-60. Dette var en periode da breene i Svartisenområdet stort sett gikk tilbake, minket i volum, og altså fikk elvene fra breene et ekstra tilskudd av vann. I motsetning til denne periode har klimaet i 70-årene vært gunstig for breene, i hvert fall i de vestligste delene av området. De har øket i volum og derved holdt tilbake vann fra breelvene. Da det ikke er mulig å forutsi om breene kommer til å vokse eller minke i framtiden, må en definere normalavløpet fra et bredekket felt som middelavløpet i 1930-60 dersom breene hadde vært i likevekt (vinterakkumulasjonen = sommerablasjonen). Dette betyr at en må addere/subtrahere breens netto massebalanse til/fra avløpet for å få <u>det brekompenserte avløpet</u>. (Normalavløpet fra et bredekket nedslagsfelt, definert slik, tilsvarer da normalnedbøren i feltet. Magasineringseffekter er eliminert.)



Fig. 29 Kartet viser de nedslagsfeltene og avløpsstasjonene som er brukt til beregningen av normalavløpet i Svartisenområdet.

Map showing the drainage areas and the water gage stations used in the calculation of the normal discharge in the Svartisen Area.

Fra normalperioden 1930 - 60 finnes det ikke noen tall for breenes massebalanse. Først i 1969, i forbindelse med planlegging av eventuell kraftutbygging i området, ble det startet opp med massebalansemålinger på noen breer i Svartisenområdet. Brekompenserte avløpsdata etter 1969 kan brukes, og normalverdiene beregnes ved sammenligning med data fra brefrie felter som har målte normalverdier. Normalverdiene som er beregnet på denne måte, er naturligvis beheftet med en viss usikkerhet da beregningen bygger på kun 8-9 års observasjoner, og da sammenligningsfeltene er av annen karakter og størrelse enn de bredekkete feltene. I tillegg ligger de et stykke unna.

Normalavløpet fra en enkelt bre beregnes på samme måte som nevnt ovenfor, d.v.s. med breen i likevekt. For sammenligning og for å kunne tegne et isobydatkart, uttrykkes normalavløpet som spesifikt avløp, d.v.s. avløp pr. flateenhet (1/s km²).

3.2 Breenes normalavløp.

Den riktigste måten å finne fram til en enkelt bres avløp på er å måle avløpet fra breen alene direkte, og deretter, som nevnt tidligere, kompensere for breens nettobalanse, eller annerledes uttrykt, kompensere for breens magasineringsevne. I praksis må imidlertid målestasjonen ligge et stykke fra breen, og en får da i tillegg et avløp fra et brefritt felt. For å beregne dette avløp, må en bruke data fra et nærliggende brefritt vannmerke, forutsatt at en kan vente at avløpsforholdene er noenlunde like. Denne beregningsmåte kan brukes for Engabreen, der bremålinger har vært utført siden 1969, og en har kontinuerlige registreringer av avløpet fra Engabrevatn (Vm 1774) foran Engabreen.

Fra øvrige breer i Svartisenområdet der det har vært bremålinger, Høgtuvbreen og Trollbergdalsbreen, finnes avløpsdata kun fra sommermånedene og den ovennevnte beregningsmåten er derfor umulig å bruke. For disse breer beregnes årsavløpet som summen av vinternedbøren (som måles direkte ved akkumulasjonsmålingen) og sommernedbøren (som beregnes på grunnlag av data fra nedbørstasjonen i Glomfjord).

3.2.1 Engabreen

Vm 1774 Engabrevatn ble opprettet i juni 1969. De første årene gikk limnigrafen kun om sommeren, men fra 1973 har den gått året rundt. Imidlertid er det mulig med rimelig sannsynlighet å beregne vinteravløpet de fire første årene ved sammenligning med Vm 714 Vassvatn. Ca 80% av årsavløpene ble målt under observasjonsperiodene og altså rant ca 20% vekk under vinterperiodene.

Tabell 1 viser Engabrevatns avløp, Engabreens nettobalanse og det brekompenserte avløpet fra Engabrevatn i årene 1969-78. (En ser bort fra at breens balanseår skiller seg noe fra det hydrologiske året 1.9. - 31.8.).

Videre brukes data fra Vm 714 Vassvatn for å beregne avløpet fra Engabrevatns brefrie del. Vassvatn ligger ca 40 km sørvest for Engabrevatn og har

et nedslagsfelt av tilnærmelsesvis samme størrelse og karakter som Engabrevatns brefrie del. Nedbøren i Vassvatn er grovt anslått 20% større enn i Engabrevatns brefrie del, ogdet spesifikke avløpet regnes for å være tilsvarende større. Dette anslag bygger på data fra nedbørstasjonene 8020 Lurøy og 8070 Glomfjord, som ligger henholdsvis i Vassvatns nedslagsfelt og ca 15 km nord for Engabrevatn.

Avløpet fra Engabrevatns brefrie del er beregnet etter følgende formel:

 $Q_{Brefri de1} = \frac{100}{120} \cdot Q_{Vassvatn} \cdot \frac{12.4}{18.5}$

12.4 og 18.5 er arealene i km^2 for henholdsvis Engabrevatns brefrie del og Vassvatns nedslagsfelt. Avløpet fra Engabreen (38.0 km^2) er lik det brekompenserte avløpet fra Engabrevatn minus det beregnete avløpet fra den brefrie delen. Resultatet av beregningene vises i tabell 1.

Hydrologisk år	Avløp Vassvatn (m ³ /s)	Avløp Engabrevatn (m ³ /s)	Nettobalanse Engabreen (m ³ /s)	Brekompensert avløp Engabrevatn (m ³ /s)	Beregnet Brefri del (m ³ /s)	avløp Engabreen (m ³ /s)
196970 1970-71	1.75	7.22	-1.19	6.03	0.98	5.05
1971-72	1.97	7.58	-0.08	7.50	1.10	6.40
1972-73	2.93	6.97	3.28	10.25	1.64	8.61
1973-74	2.12	5.26	0.96	6.22	1.18	5.04
1974-75	2.09	5.13	1.94	7.07	1.17	5.90
1975-76	2.68	6.50	2.91	9.41	1.50	7.91
1976-77	1.56	3.73	1.06	4.79	0.87	3.92
1977-78	1.79	6.39	-0.61	5.78	1.00	4.78
Sum 1969-78 30-årsnormal	19.16			64.84	10.71	54.13
(m^3/s)	1.96			6.63	. 1.09	5.54
(1/s km ²)	105.7			131.5	87.9	145.8

Tabell 1. Avløp fra Vassvatn, Engabrevatn og Engabreen. 30-årsnormaler.

For å finne fram til 30-årsnormalen summeres avløpet for de ni årene og divideres med Vassvatns avløp i samme periode. Forholdstallet multipliseres med Vassvatns 30-årsnormal og resultatet blir normalverdien for Engabreens avløp. Se tabell 1.

En usikkerhetsfaktor er beregningen av avløpet fra den brefrie delen. Her er det antatt at spesifikt avløp i Vassvatn er 1.2 ganger større enn spesifikt avløp i Engabrevatns brefrie del. Hvis isteden tallene 1.0 (likt spesifikt avløp) resp. 1.4 brukes så blir 30-årsnormalen for Engabreen henholdsvis 4% lavere og 3% høyere. Dette viser at usikkerheten ved beregningen av avløpet fra den brefrie delen har forholdsvis liten innflytelse på det endelige resultatet. En annen usikkerhetsfaktor er omregningen til normalavløp. Er Vassvatn en god sammenligningsstasjon? Kvaliteten på avløpsdataene fra Vassvatn antas å være god. Korrelasjonskoeffisienten mellom Engabrevatns og Vassvatns observerte avløp i 9-årsperioden er 0.376. Denne koeffisient stiger helt til 0.962 hvis istedenfor Engabrevatns observerte avløp det brekompenserte avløpet brukes. Det vil si at de to målestasjonene er godt korrelert i observasjonsperioden.

3.2.2 Høgtuvbreen

For å beregne årsnedbøren på Høgtuvbreen (2.60 km²), deles de hydrologiske årene inn i vinter- og sommersesonger på breen. Inndelingen skjer på grunnlag av dels observasjoner ved besøk på breen og dels temperaturmålinger ved nærliggende værstasjoner (Glomfjord og Nerdal i Rana). Det hydrologiske året begynner første september og i de fleste årene har mesteparten av september vært å regne som en del av sommersesongen på Høgtuvbreen, dvs. nedbøren har kommet i form av regn og således ikke akkumulert på breen. Fra slutten av september til midten av mai har i de fleste årene nedbøren falt som snø og akkumulert på breen, dvs. det har vært vinter. Fra midten av mai til utgangen av august (utgangen av det hydrologiske året) har det så vært sommer.

Vinternedbøren på breen er målt direkte ved akkumulasjonsmålingen. Sammenligning mellom denne målte akkumulasjon og den i samme tidsrom oppmålte nedbøren i Glomfjord (nedbørstasjon 8070) viser at Høgtuvbreen, i middel i de

Hydrologisk år	Nedbør Glo vinter	omfjord (mm) sommer	Vínteřakk. (mm) Høgtuvbreen	Beregnet sommer- nedbør (mm) Høgtuvbreen	Beregne Høgt (mm)	et årsnedbør cuvbreen (1/s km ²)
1970-71	1548	869	3047	1825	4872	154.5
1971-72	1437	697 [.]	3336	1464	4800	152.2
1972-73	2087	877	3907	1842	5749	182.3
1973-74	1648	567	3477	1191	4668	148.0
1974-75	1078	829	3000	1741	4741	150.3
1975-76	1898	747	3660	1569	5229	165.8
1976-77	1196	421	2195	884	3079	97.6
Sum						
1970-77	158	399	331	38		
30-årsnormal				,		
(mm)	19	952	40	69		
(1/s km ²)			. 129	.0		

Tabell 2. Beregnet årlig nedbør på Høgtuvbreen. 30-årsnormal.

syv årene 1970 – 77, har fått 2.1 ganger så mye "vinternedbør" som Glomfjord. Forholdet mellom "sommernedbørene" forutsettes å være det samme slik at den i sommerperioden registrerte nedbøren i Glomfjord multipliseres med 2.1, og en får da beregnet "sommernedbør" på Høgtuvbreen.

Vinter- og sommernedbørene hvert år på Høgtuvbreen adderes, og de således beregnete årsnedbørene regnes for å tilsvare breens avløp, kompensert for magasineringen av vann på breen. Resultatet vises i tabell 2. Fordampingen fra breen anses å være ubetydelig.

30 - årsnormalen fås ved å beregne forholdet mellom den totale nedbøren på Høgtuvbreen og i Glomfjord i årene 1970 - 77. Forholdstallet multipliseres med verdien for Glomfjords 30 - årsnormal, og en får da Høgtuvbreens normalverdi. Resultatet vises i tabell 2.

Den største usikkerhetsfaktoren ved denne beregningsmetode er fastsettelsen av datoene for vinter- resp. sommersesongens begynnelse på breen. Med det følger at både forholdstallet mellom vinternedbørene på breen og i Glomfjord og "sommernedbøren" i Glomfjord kan være feil. Det kan også hende at forholdstallet ikke er representativt for sommerforholdene. Usikkerheten i den beregnete sommernedbøren på Høgtuvbreen blir i alle tilfeller av relativt liten betydning da sommernedbøren utgjør stort sett kun en tredjedel av årsnedbøren. Som eksempel kan nevnes at i fem av de syv årene ligger forholdstallet mellom vinternedbørene mellom 1.9 og 2.3, og hvis disse tallene brukes, blir normalverdien for Høgtuvbreen henholdsvis ca 3% mindre og ca 3% større. Den eksakte verdi på forholdstallet har altså liten betydning så lenge størrelsesordenen er riktig.

3.2.3 Trollbergdalsbreen

Årsnedbøren og videre 30 – årsnormalen for Trollbergdalsbreen (1.82 km²) beregnes på samme måte som for Høgtuvbreen. Beregningene er utført for årene 1969 – 74, da det ble utført massebalanseundersøkelser på breen. Trollbergdalsbreen er mer kontinental og har derfor mindre nedbør enn Engabreen og Høgtuvbreen. Selv om vintersesongen stort sett har vært lenger på Trollbergdalsbreen enn på Høgtuvbreen, har Trollbergdalsbreen i middel i de fem årene 1969 – 74 bare fått 1.5 ganger mer vinternedbør enn Glomfjord. Resultatet av beregningene vises i tabell 3 på s. 52.

Forholdstallet har vært mellom 1.4 og 1.7, og hvis disse tallene brukes, blir normalverdien for Trollbergdalsbreen henholdsvis ca 2% mindre og ca 4% større.

Hydrologisk år	Nedbør Glo vinter	mfjord (mm) sommer	Vinterakk. (mm) Trollbergdalsbre	Beregnet sommer- nedbør (mm) Trollbergdalsbre	Beregne Trollbe (mm)	t årsnedbør ergdalsbreen (1/s km ²)
1959-70	1211	586	1744	879	2623	83.2
1970-71	1442	975	2135	1463	3598	114.1
19 71- 72	1437	697	2439	1046	3485	110.5
1972-73	2157	807	3187	1211	4398	139.5
1973-74	1649	566	2566	849	3415	108.3
Sun						
1969-74	11	527	1751	19		
30-årsnormal						
(mm)	19	952	296	57		
(1/s km ²)			94.	.1		•

Tabell 3. Beregnet årlig nedbør på Trollbergdalsbreen. 30-årsnormal.

3.2.4 Hele Svartisenområdet

Beregniugene av normalavløpet for breene ga følgende resultat for de breer der målinger er foretatt:

Engabreen:	146	1/s	km^2
Høgtuvbreen:	129	1/s	km ²
Trollbergdalsbreen:	94	1/s	km^2

Normalavløpet for øvrige breer i Svartisenområdet anslås på grunnlag av disse beregnete data og den kjennskap en har til nedbørfordelingen i store trekk i området. Nedbøren avtar fra vest til øst og den øker med høyden over havet. I tillegg har en en viss kontroll på rimeligheten av disse anslåtte

Tabell 4. Anslåtte verdier for normalavløpet fra breer i Svartisenområdet.

Vannmerkenummer	Nedslagsfelt/delfelter	Breenes normalavløp (1/s km ²)
717	Gråtådalen Beiardalen	115 94
881	Svartisdal	115
890	Storglåmvatn, vest Storglåmvatn, øst	130 110-115
1133	Berget, vest Berget, øst	135 115
1198	Bogvatn Blakkådalen	100 105
1774	Engabrevatn	146
1811	Bogvatn	. 100
2006	Leiråga	129
2133	Gråtåga	115 '

verdier ut fra måledata fra vannmerker i elvene nedenfor disse breer. Avløpet fra den brefrie delen i et slikt nedslagsfelt må stå i rimelig proporsjon til avløpet fra nærliggende helt brefrie felter. Tabell 4 viser normalavløpet fra breer i de forskjellige nedslagsfeltene i Svartisenområdet.

Bremålingene dekker kun ca 10% av den totale breflaten i Svartisenområdet, og det må en huske på når en vurderer sikkerheten i de anslåtte verdiene. Usikkerheten er spesielt stor for østre Svartisen hvor ingen målinger er blitt utført.

3.3. Breenes nettobalanse

Som nevnt tidligere må avløpet fra bredekkete nedslagsfelt kompenseres for breenes netto massebalanse for at en skal få normalavløpet fra feltene. Nettobalansen er forskjellen mellom vinter- og sommerbalansene (akkumulasjonen og ablasjonen). Ved denne beregning av nettobalansen utgår en fra måledataene fra Engabreen. Vinterakkumulasjonen og sommerablasjonen på breene i de forskjellige nedslagsfeltene i Svartisenområdet blir anslått i prosent av Engabreens. Som grunnlag for størrelsen av dette anslag brukes dels målingene på Høgtuvbreen og Trollbergdalsbreen, dels data fra nedbørstasjoner i området. I tillegg er kjennskap til de forskjellige breenes beliggenhet, eksponering og høyde over havet en god støtte.

Høgtuvbreens vinterakkumulasjon var i den felles observasjonsperioden (7 år) ca 97% av Engabreens, Trollbergdalsbreens vinterakkumulasjon i 5 år var ca 74% av Engabreens. I tillegg var vinternedbøren (okt. - april) ved nedbørstasjonen 7965 Nord Rana i Røvassdalen ca 80% av vinternedbøren i 8070 Glomfjord i årene 1969-77. Dette tilsammen antyder at vestre Svartisen får i grove trekk 90-100% av Engabreens vinternedbør, mens østre Svartisen får under 90%. De valgte prosenttallene for de forskjellige breene vises i tabell 5, s. 55.

Vinterakkumulasjonen beregnet på denne måte er naturligvis beheftet med en stor grad av usikkerhet. For det første er prosenttallene for Høgtuvbreen og Trollbergdalsbreen middeltall i en årrekke. Enkelte år skiller seg ut med ± 10%. Vinternedbøren fordeler seg ikke likt i området fra år til år,og de anslåtte prosenttallene må derfor sees på som rimelige middelverdier. For det andre avhenger breenes vinterbalanse av mer komplekse forhold enn av kun nedbørfordelingen i grove trekk i området. F.eks. har lengden av vintersesongen på breen, og altså indirekte høyden over havet, betydning for vinterbalansen og likeså breens eksponering for vind, da vinden fjerner snøen fra utsatte steder og avsetter den i rolígere omgivelser.



Fig.30 Sammenhengen mellom breenes middelhøyde og deres sommerbalanse i prosent av Engabreens i noen nedslagsfelt i Svartisenområdet.

The relation between mean elevation of glaciers in the Svartisen Area and their summer balance in per cent of that of Engabreen.

Sommerbalansen var i fellesperioden på Høgtuvbreen ca 160% og på Trollbergdalsbreen ca 124% av sommerbalansen på Engabreen. Disse tall antyder en viss sammenheng mellom ablasjonen og breenes middelhøyde over havet (se fig.30) (Med en bres middelhøyde menes her den høyde som halve brearealet ligger over og halve brearealet ligger under). Sommerbalansen på øvrige breer stipuleres på grunnlag av denne sammenheng og breenes middelhøyde. Resultatet vises i tabell 5.

Sommerbalansen for Høgtuvbreen og Trollbergdalsbreen varierer fra år til år i forhold til den på Engabreen,og prosenttallene er kun rimelige middelverdier. De anslåtte tallene for øvrige breer er altså beheftet med en stor grad av usikkerhet. Både for sommer- og vinterbalansen er det tallene for østre Svartisen som er spesielt usikre da det ikke har blitt foretatt noen målinger i det hele tatt der.

Nettobalansen for et brefelt blir forskjellen mellom vinter- og sommerbalansene, beregnet ut fra feltets prosenttall og Engabreens måledata i de aktu-

Vm.nr.	Navn/delfelt	Areal Total	(km ²) Bre	Bre- prosent	Breenes middelhøyde (m o.h.)	Vinterbalanse i prosent av Engabreens	Sommerbalanse i prosent av Engabreens	Beregnet nettobalanse 1969-78 (m)
717	Selfors (Gråtådalen) (Beiardalen)	796.8	38.9 21.1 17.8	4.9	1120 1100	85 75	115 120	0.67 -3.08
881	Svartisdal	121.7	57.4	47.2	1130	88 1	115	1.51
890	Storglåmvatn (vest) (øst)	266.9	106.4 68.4 38.0	39.9	1140 1150	95 85	110 110	4.47 1.67
1133	Berget (vest) (øst)	188.0	63.0 48.9 14.1	33.5	1040 1260	98 88	130 95	1.30 5.51
1198	Bjørnfoss (Bogvatn) (Blakkådalen)	308.9	57.8 5.9 51.9	18.7	1040 1160	80 85	125 110	-2.70 1.67
1774	Engabrevatn	50.4	38.0	75.4	1218	100	100	7.86
1811	Bogvatn	36.5	5.9	16.2	1040	80	125	-2.70
2006	Leiråga	39.5	5.4	13.7	995	97	. 140	-0.99
2133	Gråtåga	114.7	19.4	16.9	1120	85	115	0.67

Tabell 5. Data fra bredekte nedslagsfelt i Svartisenområdet.

elle årene. Ved å multiplisere med brearealene får en den vannmengde som breen har gitt i tillegg til eller holdt tilbake fra elven nedenfor.

Størrelsesordenen på usikkerheten illustreres ved et regneeksempel: Hvis f.eks. vinterbalansen er anslått 10% for stor i et nedslagsfelt med 10% breer, blir det brekompenserte avløpet fra feltet beregnet ca 1% for stor. Har nedslagsfeltet 50% breer, blir avløpet beregnet ca. 5% for stor.

Hele beregningsmetoden avhenger naturligvis av gode og nøyaktige målinger og beregninger av massebalansen på Engabreen.

3.4. Brekompensert avløp.

Det brekompenserte avløpet hvert år beregnes ved å øke eller minske det observerte avløpet med det avløp nettobalansen for feltets breer tilsvarer.

1 fig. 31 illustreres observert og brekompensert avløp fra noen nedslagsfelt i Svartisenområdet.

30-års normalen beregnes ved sammenligning med brefrie felt som har normal. Slike felt er det kun få av i Svartisenområdet. Vannmerkene med nedslagsfelt i de sørvestlige og sentrale delene av Svartisenområdet sammenlignes med VM 714 Vassvatn som ligger ved kysten sørvest for området. Vassvatn har et nedslagsfelt på ca. 18 km², og det spesifikke avløpet er høyt, over 100 1/s km². Vannmerkene i den nordøstlige delen



Fig. 31 Årlig spesifikt avløp fra medstagsfeltene VM 1774 Engabrevatn og VM 714 Vassvatn (øverst) og VM 717 Selfors og VM 720 Skarsvatn (nederst). For VM 1774 og VM 717 som har en bredekning på hhv 75% og 5%, er det vist forskjellen mellom observert spesifikt avløp og det beregnede avløp etterat det er foretatt kompensasjon for nettobalansen til breene i nedslagsfeltene.

> Annual specific discharge from the drainage areas VM 1774 Engabrevatn and VM 714 Vassvatn (upper diagram), and VM 717 Selfors and VM 720 Skarsvatn (lower diagram). For VM 1774 and VM 717, which are 75% and 5% glacier covered, respectively, the difference is shown between the really observed specific discharge and the "compensated discharge", i.e. the calculated discharge after corrections are made for annual glacier mass balance variations.

av Svartisenområdet sammenlignes med VM 720 Skarsvatn, som har et nedslagsfelt på ca 140 km². Det spesifikke avløpet her er relativt lavt, ca 40 1/s km².

Resultatet av normalverdiberegningene ict om del vannmerker i Svartisenområdet vises i tabell 6.

Vm.nr.	Antal Navn i ber	l obs.år egningen	Hele feltet	(m ³ /s) Bredel	Brefri del	Hele feltet	(1/s km ²) Bredel	Brefri del	Sammenlign. Vannmerke
714	Vassvatn	30	1.96			105.9			Norm.
717	Selfors	9	33.49 ^x	4.06	29.43	42.0	104.4	38.8	720
720	Skarsvatn	30	5.24			36.4			Norm.
881	Svartisdal	9	10.48	6.60	3.88	86.1	115.0	60.3	714
890	Storglåmvatn	6	25.04	13.08	11.96	93.3	122.9	74.5	714
1133	Berget	9	20.07	8.22	11.85	106.8	130.5	94.8	714
1198	Bjørnfoss	11	22.66	6.04	16.62	73.4	104.5	66.2	1133 ^{x x}
1774	Engabrevatn	9	6.63	5.54	1.09	131.5	145.8	87.9	714
1811	Bogvatn	8	2.46	0.59	1.87	67.4	100.0	61.1	720
2006	Leiråga	5	3.79	0.70	3.09	95.9	129.0	90.6	714
2133	Gråtåga	3	7.45	2.19	5.26	65.0	112.9	55.2	720

Tabell 6. Beregnete normalavløp.

 $^{\rm X} Normalavløpet$ kan være beregnet for lavt p.g.a. mulig profilforandring.

XXPga. usikre avløpstall fra Bjørnfoss i de siste årene er normalavløpet beregnet ved sammenlikning med Berget i tidligere år. Nettobalansen på disse to felters breer innvirker omtrent like mye på avløpet fra respektive nedslagsfelt.

4 FLOMMEN I JOSTEDALEN

Den 14. og 15. august 1979 opplevde Jostedalen sin største flom i "manns minne". Ved Fossøy er det slått inn et gammelt flommerke i fjell. Det var fra storflommen 15. august 1898. Denne gangen var vannstanden på stedet vel en meter høyere. Massemedia meldte at det var stor bre- og snøsmelting som førte til flommen. Dette stemte ikke med det inntrykk og de målinger Brekontoret hadde. Det ble derfor foretatt en analyse av alle tilgjengelige meteorologiske og hydrologiske data. Dette arbeidet er publisert i en artikkel i "Været nr 1-1980" (Gjessing & Wold, 1980), og vi skal her bare gjenta konklusjonen.

Selv om beregningene er unøyaktige på grunn av få og til dels usikre data, må konklusjonen bli at det var en betydelig smelting på breene i forbindelse med flommen. Smeltingen fordelte seg nokså jevnt på begge døgn, og midlere smelting pr døgn tilsvarte vel 50 mm vann på Nigardsbreen. Dette er verdier som oppnås eller overskrides 5-6 ganger hver sommer, og vi kan derfor ikke si at smeltingen var ekstrem.

Mens smeltingen og tilførselen av smeltevann foregikk noenlunde jevnt, var nedbøren konsentrert til mindre enn et døgn. Storparten falt i løpet av 12 timer. Det kan derfor neppe være tvil om at det var den kraftige nedbøren som var årsaken til flomtoppen og de store skadene.

På Fåberg, øverst i Jostedalen, var nedbøren fra kl. 0700 den 14. august





JOSTEDÖLA VED HAUKÅSGJELET



Fig. 32

Tilsiget til Tunsbergdalsmagasinet, Nigardsvatn og hele Jostedalen ovenfor Haukåsgjelet, og tilsigets bidrag fra nedbør og smeltning. For Tunsbergdalsmagasinet er også inntegnet den vannføring som ble sluppet i Jostedøla gjennom Leirdøla Kraftstasjon. (Haukåsgjelet ligger ovenfor stedet der vannet fra kraftstasjonen slippes i Jostedøla.)

The inflow (Tilsig) of water to the water storage Tunsbergdalsmagasinet, Lake Nigardsvatn, and to the Jostedalen Valley above the gorge Haukåsgjelet. The contribution from precipitation (Nedbør) and snow and ice melt is shown. The amount of water used by the Leirdøla power station, is indicated by "Kraftproduksjon". This amount is diverted to the river Jostedøla. (The water from the power station enters Jostedøla below Haukåsgjelet.) til kl. 0700 den 15. august hele 77.8 mm. Dette er den høyeste døgnnedbør som er målt siden stasjonen ble opprettet i 1895, og hele 35.9 mm større enn den gamle augustrekorden fra flomdagen 15. august 1898.

Inne ved fronten av Nigardsbreen ble det målt 91 mm nedbør fra kl.1300 til kl.1900 den 14. august. Det var store lokale variasjoner i værforholdene, og for datagrunnlag og beregninger vises til artikkelen av Gjessing & Wold (1980).

BRIMKJELEN

Vel 3 km ovenfor fronten til Tunsbergdalsbreen, en sydøstlig utløper fra Jostedalsbreen, ligger den bredemte sjøen Brimkjelen, som gjerne er blitt tappet en gang i året. De senere årene har tungen til Tunsbergdalsbreen smeltet mye tilbake, og det har medført at Brimkjelens volum er blitt sterkt redusert. I 1978 ble volumet av sjøen anslått til mellom 1.0 og



Fig.33 Brimkjelen fotografert 19. august 1979. Sjøen var da helt tom.

The glacier dammed lake photographed on August 19, 1979. The lake was then completely drained.

1.5 millioner kubikkmeter (Haakensen 1979), mens det i 1926 ble tappet ut 25 - 30 millioner kubikkmeter (Liestøl 1956).

I 1979 ble Brimkjelen besøkt 2 dager etter storflommen i Jostedalen, dvs. den 17. august. Ved besøket var sjøen uttømt, og elven rant fritt innunder breen. Det lå imidlertid igjen mange store isblokker i bunnen, tildels også snø/firnblokker, nedenfor øvre strandlinje. Disse blokkene var forholdsvis store, og de ga ellers inntrykk av å være relativt "ferske". Selve avløpet inn under breen viste ingen tegn på at en tapping nettopp hadde funnet sted. Det samme inntrykk ga også bunnforholdene i den uttappede sjøen, som syntes å ha ligget tørrlagt en stund. Mye tyder på at det har vært en tapping av sjøen forholdsvis sent på sommeren (juli/ august), men at tappingen ikke har hatt noe med flommen å gjøre. En sammenligning med bilder som ble tatt sommeren 1978, viser ingen synlig forandring på Brimkjelens form og størrelse i løpet av det siste året.

SUBGLASIAL HYDROLOGI PÅ BONDHUSBREEN

6

Gjennom det nye inntaket under Bondhusbreen, det såkalte Holmavannsinntaket, har det kommet vann hele året. I vintermånedene er vassføringen gradvis avtakende fra ca 0.4 m³/s i desember til ned mot 0.1 m³/s på senvinteren.

Årets sommervassføring begynte 15. mai, med en stigning til vel $1 \text{ m}^3/\text{s}$. Maksimal døgnlig vassføring i mai ble målt den 31. med 2.7 m $^3/\text{s}$. Totalt kom det i mai vel 2.3 $\cdot 10^6 \text{m}^3$.

Juni hadde en midlere vassføring på 4.8 m³/s pr døgn med et maksimum på ca 11 m³/s den 26. Total vanntilgang i juni var 12.3 \cdot 10⁶m³.

Juli hadde en midlere døgnlig vassføring på 3.9 m³/s med et maksimum på $6.5 \text{ m}^3/\text{s}$ i slutten av måneden.Den totale vanntilgangen for juli var $10.5 \cdot 10^6 \text{m}^3$.

August hadde en midlere døgnlig vassføring på vel 6 m³/s, med et maksimum på over 12 m³/s den 15. Total vanntilgang i august var 16.2 \cdot 10⁶m³. September hadde også forholdsvis høy vassføring med et døgnmiddel på 3.8 m³/s og døgnmaksimum på 5.7 m³/s den 9. Total vanntilgang i september var 9.8 \cdot 10⁶m³.

Totalt for hele 1979 er det beregnet en vanntilgang på ca 59 \cdot 10⁶ m³. Ifølge ablasjonsmålingene var bidraget fra snø- og issmelting på breen ca

 $26.5 \cdot 10^{6}$ m³ vann. Om vi ser bort fra mindre tilskudd som smelting langs bunnen av breen etc., må resten av vannet, altså ca $32 \cdot 10^{6}$ m³ skyldes nedbør som regn. Dersom vi bruker et dreneringsareal på 12.5 km² til inntakene, vil det bli en nedbør på mer enn 2 500 mm over hele feltet i løpet av sommeren. Ved Holmavatn ble det målt ca 1 000 mm nedbør i perioden 7/6 -25/9. Sommerens tall for nedbøren i feltet virker for stort, og feilen ligger antakelig i feilaktig feltavgrensing. Et totalt dreneringsareal på ca 15 km² ser ut til å gi riktigere tall. Det vil senere bli forsøkt å beregne dette mer eksakt og en bedre feltavgrensing vil også bli forsøkt.



Fig.34 Utsnitt av limnigrammet som viser de tre spesielle begivenhetene som i løpet av sommeren er observert på limnigrafen i sedimentkammeret.

Three parts of the limnigram (water gauge recording) showing the three occurrenses observed at the stilling well in the sediment chamber in the water collecting tunnel under Bondhusbreen glacier during the summer.

I løpet av sommersesongen er det tre ganger observert spesielle begivenheter på limnigrafen i sedimentkammeret. Detaljer fra disse limnigrammene er vist på fig. 34. Registreringene viser en raskt avtakende vassføring, fulgt av en brått økende. Alle hendelsene hadde noe forskjellig forløp, men felles for alle var at det syntes å skyldes en form for blokkering av vannløpet. Denne blokkering er hevet når vanntrykket er blitt stort nok. Hvor en slik blokkering finner sted, har vi ikke grunnlag for å si noe om. Det synes imidlertid å være tre muligheter, ved Holmavannsbekken's innløp i breen, inne under breen eller i selve inntaket. Det første synes minst sannsynlig, da man ved ett av tilfellene hadde anledning til å inspisere innløpet uten å finne tegn til blokkering. De øyeblikkelige storflommer som fulgte blokkeringen, brakte med seg store mengder is inn i tunnelen og kammeret. Ved første episode sank vassføringen nesten momentant, mens ϕ kningen etterpå tok ca 4 timer. Andre episode var mer uregelmessig, men hele begivenheten varte i ca 4 timer. Tredje episode var også uregelmessig, men med raske svingninger. Det hele varte i ca 3 timer. Alle begivenheter fant sted under relativt høy vassføring.

I 1979 ble vanntemperaturen i bekken ut fra Holmavatn målt kontinuerlig fra 8. juni til 1. oktober. Temperaturen steg i løpet av juni fra 0.6° C til 2.2° C med en del variasjoner. Middeltemperaturen for hele måneden var 1.3° C. For juli var middeltemperaturen 2.6° med maksimumsverdi på 4.2° C. I august steg middeltemperaturen til 5.0° C med maksimum på 7.5° C. September viste en middeltemperatur på 4.7° C og maksimum i begynnelsen av måneden på 6.2° C.

7 NYTT BREKART OVER BONDHUSBREEN

I forbindelse med utbyggingen av Folgefonn-anleggene, hvor en stor del av kraften produseres av smeltevann fra breen, utførte Brekontoret glasiologiske undersøkelser på deler av Folgefonn i årene 1964-68. For slike undersøkelser er det nødvendig med spesialkart over de breområdene som skal undersøkes. For planleggingen av Folgefonn-anleggene ble det konstruert et fotogrammetrisk kart over hele breen i målestokk 1: 20 000 etter flybilder fra 1959. For breundersøkelsene ble en del av dette kartet forstørret og detaljkorrigert (Pytte og Østrem 1965, s. 73).

Det subglasiale vanninntaket som ble laget under Bondhusbreen, gir en enestående mulighet til å studere breens dynamikk. Statskraftverkene har bevilget en del penger til slike undersøkelser, og i forbindelse med disse blir det også utført massebalansemålinger på Bondhusbreen. Breen ble flyfotografert 11. august 1979 av Fjellanger Widerøe A/S på oppdrag fra Brekontoret for å skaffe et best mulig kartgrunnlag (oppgave nr. 6095). Fotograferingen ble foretatt fra høyden 6100 m o.h., og billedmålestokken er 1: 30 000. Kartet ble konstruert av Bjørn S. Haga hos Fjellanger Widerøe A/S i en B-8 tegnemaskin. Under konstruksjonen ble det brukt 2 NGO-triangelpunkter og 5 NVE-triangelpunkter. Dessuten ble enkelte punkter på breen markert med farvepulver for hjelp under konstruksjonen.

Kartet har en målestokk på 1: 10 000 med en ekvidistanse på 10 m på breen og 20 m ellers. Det ble lagt vekt på å markere sprekker på breen og høydepunkter i terrenget rundt med tanke på at kartet også skal brukes til felt-



Fig. 35 Oversiktskart over brekart som er utgitt av NVE. Det foreliggende kart over Bondhusbreen er angitt med sort rute.

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

arbeider. Videre er morener, morenemateriale, store blokker, og også triangelpunktene som er brukt under konstruksjonen avmerket på kartet. Hovedvannskillet mellom øst- og vestsiden av breen er inntegnet, men pga. stor usikkerhet om avgrensingen av Bondhusbreens nedslagsfelt, er ikke dette inntegnet. Kartet har geografiske og UTM-koordinater i margen. Kartet er derfor i overensstemmelse med de i 1965 internasjonalt anbefalte normer for brekart. Men av praktiske grunner er det ikke inntegnet UTM-ruter på kartet.

Kartet er trykket i fire farver, har hvit breflate med grønne høydekurver

og sprekker og skiller seg lite kartografisk fra tidligere utgitte brekart fra NVE, men pga. de mange sprekkene på breen er høydekurver og sprekker trykket med forskjellige grønnfarver.

På baksiden av kartet er det trykket en del informasjoner om breen. Det er en kort kommentar til kartet og konstruksjonen av dette, og et skråbilde av Bondhusbreen og Folgefonn viser beliggenhet og topografi. Tre foto fra hhv. 1891, 1904 og 1971 samt et diagram over frontmålinger siden 1875 viser breens store tilbakegang i løpet av de siste 100 år. Dessuten er det gitt en kort informasjon om glasiologisk og teknisk arbeid som er utført på Bondhusbreen og en liste over litteratur vedrørende Folgefonn og Bondhusbreen. All tekst på kartet er på engelsk.

Det nye kartet vil heretter tjene som grunnlag for de glasiologiske målingene som skal utføres på Bondhusbreen. Et eksemplar følger som bilag i lomme på 3. omslagsside.

Kartet er trykt hos Sekkelsten & Sønn A/S.

8. ENGLISH SUMMARY

8.1 <u>Mass balance, meteorological and hydrological investigations at selected</u> glaciers

8.1.1 Introduction

The Norwegian Water Resources and Electricity Board (abbreviated NVE) conducted 1979 glaciological mass balance investigations at five glaciers in Southern Norway and one glacier in Northern Norway. The Norwegian Polar Research Institute performed mass balance studies at two glaciers in Southern Norway.

Three of the glaciers in Southern Norway, selected for the long-term mass balance investigations, are outlet glaciers from ice-caps: Alfotbreen near the Western coast, Folgefonni south of the Hardanger Fjord, where Bondhusbreen is one of the outlet glaciers, and Jostedalsbreen, the largest continous ice mass in Northern Europe, where the investigations are concentrated on the east-facing Nigardsbreen (this is one of the largest outlet glaciers from the Jostedalsbreen ice-cap). A subglacial water intake has been completed under Bondhusbreen and another water intake is planned for Nigardsbreen for water power production.

All these three glaciers are observed because they are (or will be) involved in water power projects. The other glaciers observed in Southern Norway are Hellstugubreen and Gråsubreen in Jotunheimen where the studies are made for general hydrological reasons.

The glaciological studies (performed by NVE) started in the early 60-ies except at Folgefonni where they started 1976, and in Northern Norway where Engabreen, Trollbergdalsbreen and Høgtuvbreen were selected in the early 70-ies to provide data for a planned hydro-electric power system near the Svartisen ice-cap. At present only Engabreen, a west-facing outlet glacier, is still under study.

8.1.2 Methods

The field observation methods for the winter balance and summer balance measurements have been unchanged since the studies started in 1962 and are described in Østrem & Stanley (1969). The terminology is based upon proposals made by "The Commission on Snow and Ice of the International Association of Scientific Hydrology" (UNESCO 1970), compare Fig. 2.

The winter balance is measured during the months April and May whereas the summer balance is observed more or less continuously during the entire melt season. All point measurements are plotted on maps, and isolines are drawn through points of equal water equivalent. Two such maps are made, one for the winter balance and one for the summer balance. Greatest local variations are found on the winter balance map (mostly due to wind conditions), whereas the summer balance decreases quite regularly with increasing altitude. Only the winter balance maps are reproduced in this report, but also a map is given to show the network of observation points which forms the base for the calculations.

The net balance is calculated for each height interval (normally each 50 or 100 m) as an arithmetic sum of winter and summer balance within the interval $(b_n = b_w + b_s)$. The results are plotted in tables, see for example page 14, and in graphs, compare Fig. 7, etc.

The meteorological and hydrological observations and calculations were made according to the same system as in previous years. A special investigation of heat balance was made on Engabreen to form a base for heat balance calculations during the entire summer and also during shorter periods - compare the special chapter by S. Messel (p. 42).

The discharge from some of the glaciers under study has been recorded by au-

tomatic water gauges or by frequent staff readings. The results are shown in connection to the mass balance figures for each single glacier.

8.1.3 Ålfotbreen

When the winter balance was observed at the end of April only three aluminium stakes had survived the heavy winter snow accumulation. However, snow depth soundings were made in 240 single points relatively evenly distributed over the glacier surface, i.e. about 50 points per km². The snow depth showed variations between 4 m and 8 m, compare Figs. 3, 4, and 5. The total winter balance amounted to 15.8 $\cdot 10^6 \text{m}^3$ water or an average of 3.28 m of water equivalent. This is about 95% of the mean for the period 1963-79.

The ablation as measured in 19 points evenly distributed over the glacier surface showed variations from 4.5 m in the lower part to 2.5 m in the upper part of the glacier. In total $16.4 \cdot 10^6 \text{m}^3$ water was removed from the glacier. This corresponds to 3.41 m water equivalent which is just above the mean for the period 1963-79.

The net balance showed a very small deficit $(0.6 \cdot 10^6 \text{m}^3 \text{ water equivalent})$. This is the third consecutive year with negative mass balance on Ålfotbreen.

Results from the meteorological observation program during the summer 1979 are shown in the table on page 11 and in the diagram on page 12.

The discharge from the glacier as measured at the automatic gauge amounted to $35.4 \cdot 10^6 \text{m}^3$ during the period June-September, which is 6% more than the mean for the period 1965-79. The mean daily discharge was $0.29 \cdot 10^6 \text{m}^3$ with a maximum of $0.75 \cdot 10^6 \text{m}^3$ on 15 August.

8.1.4 Bondhusbreen

Observations of the winter balance was made on 9 May. Only three stakes were visible between the highest point of the glacier (1635 m a.s.l.) down to about 1200 m a.s.l. It is almost impossible to measure snow depths below that altitude due to an extremely crevassed surface. Therefore, it was necessary to estimate the winter balance for the lower part of the glacier.

The snow depth was measured in 110 points which corresponds to 11 points per km^2 . The snow thickness showed variations from 3 m to 8 m and it had a mean density of 0.46 g/cm³. The total winter balance amounted to 29.9 \cdot 10⁶m³ water which corresponds to 2.8 m of water equivalent. This is about 30% more than the mean for the two previous years.

The summer balance was measured in 12 points and amounted to $26.4 \cdot 10^6 \text{ m}^3$ water corresponding to 2.5 m water equivalent which is about 15% less than

the mean for the two previous years. Thus this glacier showed a positive net balance amounting to $3.5 \cdot 10^{6} \text{m}^{3}$ water or 0.33 m water equivalent.

Meteorological observations were made at the outlet of the Lake Holmavatn at 1130 m a.s.l. where a small automatic meteorological station has been installed. Good quality recordings were obtained throughout the entire summer season.

The mean temperature was 5.2°C with a maximum daily mean of 11.7 on 18 August. The precipitation amounted to 217 mm in June, 127 mm in July, 236 mm in August, and 396 mm up to 25 September. More than 8 mm of rain fell, in average, per day during the summer. Only 36 days were without precipitation, the maximum daily rain-fall (58.2 mm) was observed on 18 September.

The water wapor observations indicate that only 5 days during the entire period (104 days) had a water wapor pressure less than 6.1 mb. This indicates that evaporation from the glacier surface is neglectable.

Water discharge measurements were not made at the front of the glacier but the water collected sub-glacially is continuously recorded. This intakes accounts for about 98% of the liquid discharge from the glacier. In total $51 \cdot 10^6 \text{m}^3$ water was collected under the glacier in the period May-September. A more comprehensive study of the sub-glacial hydrology is given in chapter 6 (page 60) in this report.

8.1.5 Nigardsbreen

Winter balance measurements on this large glacier surface is always a difficult task and takes long time. This year the field work went on from 8 to 21 May under bad weather conditions. Snow soundings were made in 338 points, most of them higher than 1500 m a.s.l., giving a point density of almost 10 points per km². The areas under 1500 m a.s.l. proved to be very difficult for direct observations, partly due to weather conditions and partly due to many large crevasses. Because the winter balance had been measured on the very lower part of the tongue, an interpolation could be made for the crevassed areas.

The snow depths showed variations from 3.5 to 9 m. An additional accumulation, amounting to 10-20 cm water equivalent fell after the snow survey. The total winter accumulation amounted to $132.8 \cdot 10^6 \text{m}^3$ water which corresponds to 2.8 m water equivalent and this is over 20% more than the average for the period 1962-79.

The summer balance was measured in 29 points; it amounted to 98.5 - 10^{6} m³

water, corresponding to just over 2 m of water equivalent which is slightly above the average for the period 1962 - 79.

The net balance turned out to be positive - the glacier grew by 71 cm water equivalent during 1979. All mass balance data are shown in the table on page 21.

The meteorological observations were made as in previous years with thermograph, hygrograph and a pluviograph recording on one-monthly charts. The station was therefore visited every month to check the instruments and to change charts. The results are shown in Fig.12.

The mean temperature for the observation period from 1 June - 12 September was 3.7° C, the total precipitation amounted to 343 mm and the mean water wapor pressure was 7.5 mb. The daily mean air temperature for the summer 1979 was very close to the average for the last 15 years. The highest mean daily temperature occurred on 18 August (9.8° C) and on 6 September (9.7° C). Only 8 days had negative mean temperature. The lapse rate between the observation station at Steinmannen and the meteorological station Bjørkehaug in the Jostedalen Valley was 0.92 in June, 0.89 in July and 0.71 in August. The maximum daily precipitation occurred on 14 August when 42.5 mm rain fell at the station.

The discharge from the Lake Nigardsvatn during the months June, July and August amounted to $146 \cdot 10^6 \text{m}^3$ which is almost exactly the same as the average for the period 1965-79. The maximum daily discharge occurred on 15. August when $5.77 \cdot 10^6 \text{m}^3$ passed the measuring station - the daily mean for the entire period was $1.59 \cdot 10^6 \text{m}^3$.

8.1.6 Storbreen

The east-facing valley glacier Storbreen in the Jotunheimen area, Southern Norway, has been observed for its mass balance since 1949 by Dr. Olav Liest ϕ l, the Norwegian Polar Research Institute. This is probably the second longest series of such detailed investigations in the world (the glacier Storglaciären in Swedish Lappland has apparently the longest series, starting 1946.

The winter balance was 1.55 m of water equivalent which is 12% higher than the average for the period 1949-79. The summer balance, 1.45 m of water equivalent, was 88% of the average for the same period. The net balance was consequently +0.10 m water equivalent (Liest ϕ 1 1980) whereas the average for the period 1949-79 is -0.27 m. The year 1979 was the first year since 1974 with positive mass balance (Wold & Repp 1979). Variations of the net balance in relation to altitude is shown in Fig.13. From this illustration it is easy to see that the equilibrium line was at an altitude of 1700 m in 1979.

8.1.7 Hellstugubreen

Observations of the winter balance were made on 10 May under good conditions. The snow depths were measured in 125 single points which gives a point density of 25 points per km². The snowpack thickness showed variations from 1 m to about 7.5 m. The total winter balance amounted to $4.75 \cdot 10^6 \text{m}^3$ which corresponds to 1.43 m water equivalent. This is 32% higher than the average for the period 1962-79.

The summer balance was measured in 17 points and it amounted to $4.8 \cdot 10^6 \text{m}^3$, corresponding to 1.45 m water equivalent. This is slightly higher than the average for the period 1962-79. The height of the equilibrium line was not observed directly but it was calculated to be at an altitude about 1820 m a.s.l. Compare Fig.16 and the table on page 26.

8.1.8 Gråsubreen

The snow survey to determine the winter balance was made on 11 May under good conditions and the snowpack thickness was measured in 110 single points. This is more than 40 points per km². The largest snow depth was 3.4 m but certain areas of the glacier had less than 1 m snow. The variation in winter balance does not show too great variations with elevation, certainly due to redeposition of the snow by wind action. The total winter balance was $2.3 \cdot 10^6 \text{m}^3$ water which corresponds to 0.9 m water equivalent. This is 28% more than the average for the period 1962-79.

The summer balance was measured in 15 points. The glacier is one of the highest situated glaciers in Norway and it is supposed to be of the "subpolar" type. A large part of the melt water will normally re-freeze on the glacier surface forming super-imposed ice. This makes it difficult to measure the summer balance and the diagram showing variations in summer balance with altitude is more complicated than for most other glaciers, compare Fig.19. The total summer balance was $2.2 \cdot 10^6 \text{ m}^3$ water which is almost the same as for the two previous years but only 80% of the average for the period 1962-79.

The net balance turned out to be slightly positive (0.11 m water equivalent) - for the first time since 1974.

8.1.9 Engabreen

The winter balance was measured in the period 21 - 25 May under good condi-

tions. The snow depths were checked at 15 stakes whereas the snowpack thickness was measured in 183 points which is almost 6 points per km^2 above 1000 m a.s.l.

The winter balance was $138.4 \cdot 10^6 \text{m}^3$ water corresponding to 3.6 m water equivalent. This is 16% more than the average for the period 1970-79.

The summer balance was measured in 183 single points and it amounted to $122.5 \cdot 10^6 \text{ m}^3$ water corresponding to 3.2 m water equivalent. This is 40% more than the average for the period 1970-79 and the highest observed since 1972. In spite of this unusually large melt during the summer period the net balance turned out to be positive - the glacier increased its mass by $16 \cdot 10^6 \text{m}^3$ water and a corresponding amount of liquid water was withheld from the glacier stream. Engabreen has shown a positive mass balance every year since 1970.

The meteorological program on Engabreen was the same in 1979 as in previous summers: measurements were made at 3 locations, at 880, 1100, and 1360 m a.s.l. Results from the 1100 m station are shown on Fig.23. The mean temperature was 6.1°C which is 1.7°C higher than the previous two summers. The lapse rate between the stations at 880 and 1100 m a.s.1. showed great variations whereas the lapse rate between the field station at 1100 m a.s.l. and a station at Lake Engavatn and the standard meteorological station at Glomfjord showed 0.68 and 0.75°C per 100 m, respectively. Liquid preceipitation fell during the summer as follows: 77 mm in June, 38 mm in July, and 234 mm in August. In addition some snow fell during June but this was not collected in the precipitation gauges. Comparisons with the above mentioned stations indicate that the glacier station (1100 m) received 26-75% more precipitation than the two low-land stations. The water vapor pressure was about 8 mb during the entire summer, only one day had a vapor pressure less than 6.1 mb. Thus, conditions for evaporation from the glacier surface have been very poor - in fact mainly condensation may have taken place, except very short periods during the summer.

The total water discharge from the glacier was calculated from automatic water gauge recorder figures and an established rating curve. From 14 June to 31 August 132.1 \cdot 10⁶m³ water discharged from the glacier. This corresponds to a daily mean discharge of 1.67 \cdot 10⁶m³ which is very close to the average for the period 1970-79. A maximum daily discharge was measured 15 August when $3.28 \cdot 10^{6}m^{3}$ water discharged into the glacier lake. This is the highest daily discharge observed since 1972. The water discharge occurring before and after the field season proper, has also been calculated, so that the run-off during the months May through October amounted to 179 \cdot 10⁶m³. This figure takes into account virtually all glacier melt which occurred during the summer 1979.

8.1.10 Comparisons between mass balance at the glaciers under study

During the summer 1979 a detailed mass balance investigation was made on 8 Norwegian glaciers, 7 of them in Southern Norway and one in Northern Norway. NVE performed the studies on 6 of the glaciers and The Norwegian Polar Research Institute studied the two resting. Fig. 1 indicates the location of all these glaciers under study.

All the glaciers in Southern Norway except Ålfotbreen experienced a higher winter accumulation than normal - the highest relative figures were found on Gråsubreen and Hellstugubreen. The summer balance was close to the normal ("normal" means in this connection the average for the previous years during which mass balance investigations have been made). Most of the glaciers under study showed, therefore, a slightly positive balance - the glaciers in Jotunheimen were very close to a steady-state. For details see the table on page 37.

8.1.11 <u>A review of mass balance investigations made at selected glaciers in Norway</u> 1962-79.

Fig.26 on page 39 gives a review of results from glaciological mass balance investigations at 7 Norwegian glaciers since NVE started such investigations in 1962. All figures in the table gives the total water volume <u>divided</u> by the glacier area so that they are directly comparable - they give the water equivalent in metres.

The greatest glacier loss occurred in 1969 when Ålfotbreen lost 2.17 m of water equivalent and most of the other glaciers also had their greatest mass loss since the observation series started.

The balance year 1962 (1961-1962) showed in general a very high positive mass balance, Nigardsbreen added 2.24 m of water equivalent to its mass that year.

In general, the glaciers in the Western part of Southern Norway have experienced an increase in mass whereas the glaciers in the continental, eastern, part of Southern Norway (mainly the Jotunheimen glaciers) have been still retreating. Glaciers in Northern Norway, represented by Engabreen, seem to have increased in volume similar to the glaciers in the South-Western part of the country. Observations of the ice front indicate that certain parts of the Jostedalsbreen ice-cap seem to push forward whereas the studied outlet glacier, Nigardsbreen, has still been retreating in spite of its mass growth. Engabreen, on the contrary, has shown a substantial change in its front position - measurements performed since 1966 document a net advance of
143 m and this advance seems to continue.

Certain years seem to show general trends in the mass balance for <u>all</u> the investigated glaciers. The years 1963, 1965, 1969, 1977, and 1978 gave negative mass balances and particularly during 1969 a large negative balance was observed, certainly due to the unusually warm summer. The years 1964, 1965, 1967, and 1974 showed a positive mass balance for all the glaciers. Three years are somewhat peculiar: during 1973, 1975, and 1976 the glaciers in maritime areas, i.e. Ålfotbreen and Engabreen, showed a large positive mass balance but this tendency decreased with increasing continentality so that the glaciers in Jotunheimen, particularly Gråsubreen had, in fact, negative balances. For these three years it is assumed that the regional variation in snow accumulation was the most important factor for the final result. Due to very heavy winter accumulation in the Western parts of Norway and unusually little snow in the eastern parts, this great regional difference also governed the difference in final mass balance for the glaciers.

8.2 The energy balance at Engabreen

Similar to 1978 attempts were made to measure the energy balance at Engabreen both in the snow covered area (1100 m a.s.1.) and on the tongue (50 m a.s.1.). The observation period lasted from 15 June to 30 August in the upper area and from 1 June to 13 September in the lower area. The methods and instruments have been described in earlier reports, compare Tvede (1975) for details.

The global radiation was recorded by two Robitzch actinographs, one near the glacier observation hut and another close to the glacier terminus. Daily observations were made of the ablation in the snow covered area and weekly observations of ice melt were made on the tongue.

The results are shown in tables on page 44 from which it can be seen that radiation accounted for almost 40% of the ablation in the upper part whereas a slightly smaller percentage was found on the tongue. However, there are fairly large variations in this figure throughout the summer which can be seen from the figures in the right hand part of the tables. It is assumed that the incoming radiation is, in fact, relatively constant so the great variations are assumed to be caused by rapid changes in convection and condensation when wind, temperature, and moisture changes from day to day or even during single days.

The table on page 45 shows results from similar investigations at Norwegian

glaciers since NVE started glaciological studies in Norway. For Storbreen however, results are given from earlier studies by O. Liestøl (1967), and for Skagastølsbreen results from V.E. Eriksson's (1959) studies. From the table, it seems that for glaciers in maritime areas, e.g. Ålfotbreen, and, Supphellebreen, the radiation plays a less important role for the ablation.

8.3 Calculations of the "normal" discharge in the Svartisen area

The "normal" discharge is defined as the average of annual discharge in the period 1931-1960 (note that "annual" means discharge in a hydrological year, not calender year or glaciological year. However, for certain statistics this is of minor interest). During this 30-year period most glaciers in the Svartisen area retreated quite significantly and all rivers draining glacierized areas received more water than they normally should have done if the glaciers had been in a steady-state condition.

In the 1970-ies the climatological conditions have been favourable for glaciers and they have not decreased in mass. On the contrary, most of them have grown and thus added some of the annual solid precipitation to their mass. This results in water discharges that are smaller than they "should have been".

It is impossible to make a long-term forecast for glacier variations so, for hydrological purposes, it is most useful to consider a "normal" discharge to be the quantity of water that would run in the rivers under glaciological steady-state conditions. This means that the glaciological mass balance results must be used to correct the actual observed discharge figures to calculate a "normal" figure. This compensation for glacier variation involves a subtraction or addition of the total amount of water which has been withheld or released by the glaciers.

For the normal period 1931-60 no glaciological mass balance data exist. The first results were available from 1969 when mass balance studies were initiated in the Svartisen area to make possible such hydrological calculations which are mentioned above. Thus, only for the years after 1969 it is possible to calculate the compensated discharges. These figures must, in turn, be compared with discharges from completely glacier-free areas where long series of annual discharges are available.

One such glacier-free area is the Vassvath drainage basin which has basin characteristics comparable to the glacier-free part of the Engabreen drainage basin. However, small corrections must be made for the fact that the precipitation in Vassvath is slightly higher than in the Engabreen area. Otherwise the size and height distribution is almost identical for the two areas. The calculations are shown in the table on page 49 where the discharge from the Lake Engabrevatn was compensated for glacier variations during 9 consecutive years.

Certain sources of error must be taken into account but it is assumed that the Vassvatn drainage basin is a good representative for hydrological conditions in the area. The correlation coefficient between discharges from the Vassvatn basin and from the Lake Engabrevatn is as high as 0.96 provided compensations are made for glacier variations as shown in the table.

For the glacier Høgtuvbreen a slightly different method was used in that summer precipitation and winter precipitation as measured at the glacier and at the meteorological station Glomfjord were compared. As an average for the period 1970-77, the glacier received just above two times the precipitation measured in Glomfjord. Each year's total precipitation was calculated for Høgtuvbreen, and a compensation made for glacier variations. The compensated 30-year "normal" is given in Table 2.

Finally, for the north-eastern part of the Svartisen area, similar calculations were made from the data obtained at Trollbergdalsbreen. The results are shown in Table 3 on p. 52.

For the entire Svartisen area the glacier-compensated "normal" discharge figures are shown in the Table lower part of page 52.

For hydrological purposes a special unit expressing "specific discharge" is used in many of the tables. This unit, $1/s \text{ km}^2$, is a metric unit generally used in Europe. The none-metric unit, acre-feet per sq.mile expresses also the specific discharge for a given area. The conversion between these two units are: 1 l/s km^2 = approx. 66 acre-feet per sq.mile. The metric conversion is as follows: 1000 mm precipitation during 1 year will produce 31.7 $1/s \text{ km}^2$ of specific water discharge.

Due to the fact that direct glacier measurements in the Svartisen area are made only on about 5% of the total glacier surfaces there, one can wonder whether the directly observed figures are representative for <u>all</u> the glaciers in the area. A study has been made to compare winter balances and summer balances on Høgtuvbreen and Trollbergdalsbreen to corresponding data measured at Engabreen. The results indicate that there is a definite connection between summer balance and the glacier mean elevation whereas the precipitation is, in general, more related to the distance from the sea - the Western basins receive more snow during the accumulation period. There are also other

74

factors which influence on the winter balance, for example the length of the winter (indirectly a function of the altitude), wind exposure, resulting in re-deposition of the snow, local topography, etc. may cause variations in winter balance.

For glaciers situated within drainage basins where reliable discharge data are available a study was made to estimate the glacier net balance (although not directly observed). The results are shown in Table 5 on page 55. These figures have been used to compensate the observed discharge figures. Fig.31, upper part, demonstrates the improvement in correlation between the discharge from the Gauge 1774 Engavatn and Gauge 714 Vassvatn before and after compensation was made.

Finally, the compensated "normal" discharge has been calculated for 11 discharge stations in the Svartisen area. The results are shown in Table 6 on page 57.

8.4 The flash flood in Jostedalen 1979

On 14-15 August 1979 a catastrophic flash flood occurred in the Jostedalen Valley. The water level in the river was higher than in August 1898 when the latest catastrophic flood is reported in this area. A study has been made to determine which factors caused this flash flood which damaged many houses and large agriculture areas in the valley.

The daily glacier melt was in the order of 5 cm water equivalent on the tongue of Nigardsbreen which is a quite normal figure for that time of the year. The greatest part of the water must have been delivered from a very concentrated rain storm which passed the area on 14 August. At the meteorological station Fåberg the liquid precipitation from 07 hrs. on 14 August through 07 hrs. on 15 August amounted to almost 78 mm. This is the highest daily precipitation ever measured since the station was established 1895 and in fact - no less than 36 mm larger than the previous record from 15 August 1898, i.e. the day for the previous catastrophic flash flood in the valley.

At the front of Nigardsbreen a precipitation measurement was made between 13 hrs. to 19 hrs. on 14 August, amounting to 91 mm. There was apparently great local variations in the amount of rain that fell on 14 August. However, it is quite clear that this precipitation caused the flash flood because it fell in a period when glacier melt produced a "base flow" of water in the main river. A graphic representation showing results from this special study is given in Fig.32.

8.5 Brimkjelen

The ice-dammed Lake Brimkjelen has caused several flash floods in the lower part of Jostedalen when its water volume has been suddenly released at unpredictable intervals. The damming outlet glacier Tunsbergdalsbreen has, however, been shrinking during the last several decades and the amount of water necessary to cause a sudden outburst is getting smaller. Consequently, the amount of water which is released from time to time is now so small that outbursts are almost un-noticeable down-stream in the valley.

An estimate of the lake volume in 1978 indicated that between 1.0 and 1.5 mill. m^3 were released each time the lake emptied. The catastrophic flash flood in 1926 was caused by a release of some 25-30 mill. m^3 water (Liestøl 1956).

If the outlet glacier Tunsbergdalsbreen should grow again it is assumed that the amount of water released from the lake at each occasion may be larger and this fact has been taken into account when the new dam was constructed for the hydro-electric power station Leirdøla.

8.6 Subglacial hydrology at Bondhusbreen

A subglacial water intake constructed in the bedrock under the outlet glacier Bondhusbreen (from the Folgefonni ice-cap) has collected water all year round. However, during the winter time the water discharge has decreased gradually, in December it amounted to 0.4 m³/s decreasing to about 0.1 m³/s during the winter. The summer melt water discharge started on 15 May when the discharge amounted to about 1 m³/s. At the end of the month it had increased to 2.7 m³/s. The maximum daily discharge was observed at the end of June when it amounted to 11 m³/s. Another discharge peak was observed in the middle of August (12 m³/s).

The total discharge in 1979 was about $60 \cdot 10^6 \text{m}^3$. Mass balance measurements indicate that less than half of this, about $26 \cdot 10^6 \text{m}^3$ water originated from glacier melt, the rest of the water must originate from liquid precipitation draining from 12.5 km². This indicates that this precipitation amounted to more than 2500 mm during the summer. This is an unreasonably high figure because only 1000 mm was actually observed at Holmavatn from 7 June - 25 September. The explanation may be that the drainage basin is larger - about 15 km² seems to be a more realistic figure. Therefore, attempts will be made in the future to define the drainage basin more accurately by radio-echo sounding.

An automatic water gauge records the run-off in the tunnel diverting water from the subglacial intake. During the summer 1979 there were observed three unexpected events when the water discharge suddenly decreased and quickly increased again, compare Fig.34. These sudden changes may be explained by a blocking effect somewhere under the glacier but no direct observation has been possible. The theory of a subglacial ice dam may be supported by the fact that large amounts of ice blocks were carried by the water when the rapid increase occurred. Each event lasted only a few hours.

8.7 A new glacier map of Bondhusbreen

In connection with the hydro-electric power system collecting water from the ice-cap Folgefonni and adjacent areas (Folgefonnanleggene) various glaciological studies were initiated. Mass balance studies were carried out 1964-68 and a special glacier map was then constructed to form a base for these investigations. The map was constructed from air photographs taken in 1959 and contained thus some minor errors in the glacier outline due to glacier retreat since the photographs were taken.

In connection with subglacial water intake under Bondhusbreen it proved necessary to start mass balance investigations and this required a good glacier map. It was therefore arranged for a special photography on 11 August 1979; the pictures were taken from 6100 m a.s.l. and the picture scale is approx. 1: 30 000. A special glacier map was then constructed by Bjørn S. Haga at Fjellanger Widerøe A/S in a B-8 plotter. The ground control consisted of two triangulation points within the National network and five new triangulation points established by NVE.

The map is printed in 5 colours at a scale of 1: 10 000 with contour interval 10 m on the glacier and 20 m elsewhere. Special glaciological features, such as crevasses etc. were particularly marked on the map. Also moraine ridges, large blocks, all triangulation points etc. are plotted on the map. Both geographical and UTM coordinates are marked to fulfill the requirements from the International Symposium on Glacier Mapping held in Ottawa 1965. The reverse side of the map has some detailed information on the glacier, such as front variations since 1875, certain old photographs showing the glacier front taken from the same point in 1891, 1904 and 1971, and some information about the diverting system, etc.

This new map will now be used as a base for further glaciological studies. A copy of it is enclosed with this report.

77

Eriksson, B.E. 1959: An experimental study of heat transmission in the surface layer of the Skagastøl Glacier. - Medd. från Uppsala Univ.Geogr.Inst. Ser.A (141 p.). Gjessing, Yngvar T. og Wold, Bjørn 1980: Flommen i Jostedalen 14. - 15.august 1979, Været nr.1-1980. Universitetsforlaget, p. 29-34. Haakensen, N. 1979: Brimkjelen. -I: Wold, B. og Repp,K.,1977, p.47-50. Hagen, J.O. 1977: Glasiologiske undersøkelser i Norge 1976. - Hydrologisk avdeling, Norges vassdrags- og elektrisitetsvesen. Rapport nr. 7/77, 94 p. (English summary). Klemsdal, T. 1968: A glacial-meteorological study of Gråsubreen, Jotunheimen. - Norsk Polarinst. Årbok 1968, p. 58-74. Liestøl, O. 1956: Glacier dammed lakes in Norway. - Norsk Geogr. Tidsskrift, Bind XV, p. 122-149. 1967: Storbreen Glacier in Jotunheimen, Norway. - Norsk Polarinst. Skrifter 141, 63 p. 1980: Glaciological work in 1979. - Norsk Polarinst. Årbok 1979, p.43-51 Messel, S. 1971a: Mass and heat balance studies on Omnsbreen, a climatically dead glacier in Southern Norway. - Norsk Polarinst. Skrifter 156, 43 p. 1971b:Glasial-meteorologiske undersøkelser i Sør-Norge. - I: Tvede, A.M., 1971, p. 69-80. 1973: Glasial-meteorologiske undersøkelser i 1971. - I: Tvede, A.M., 1973, p. 72-83. 1974: Glasial-meteorologiske undersøkelser i 1972. - I: Tvede, A.M., 1974, p. 75-87. 1975a: Glasial-meteorologiske undersøkelser i 1973. - I: Tvede, A.M., 1975, p. 49-58. 1975b: Energibalansen på utvalgte breer 1974. - I: Tvede, A.M., Wold, B.og Østrem, G., 1975, p. 53-60. 1977a: Energibalansen på utvalgte breer 1975. - I: Wold, B. og Hagen, J.O. 1977, p. 45-51. 1977b: Energibalansen på utvalgte breer 1976. - I: Hagen, J.O., 1977, p. 40-45. 19/8: Energibalansen på utvalgte breer 1977. - I: Wold, B. og Haakensen, N., 1978, p. 35-39. 1979: Energibalansen på Engabreen. - I: Wold, B. og Repp, K., 1979, p.37-39.

Orheim, O.

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

Pytte, R. og Østrem, G.

- 1965: Glasio hydrologiske undersøkelser i Norge 1964 (Rapport). -Hydrologisk avdeling, Norges vassdrags- og elektrisitetsvesen. Meddelelse nr. 14.
- Pytte, R.
 - 1969: Glasiologiske undersøkelser i Norge 1969.- Hydrologisk avdeling, Norges vassdrags- og elektrisitetsvesen. Rapport nr. 5/69, 149 p. (English summary)
 - 1970: Glasiotogiske undersøkelser i Norge 1969. Hydrologisk avdeling, Norges vassdrags- og elektrisitetsvesen. Rapport nr. 5/70, 94 p. (English summary).

Tvede, A.M.

- 1971: Glasiologiske undersøkelser i Norge 1970. Hydrologisk avdeling, Norges vassdrags- og elektrisitetsvesen. Rapport nr. 2/71,111 p. (English summary).
- 1973: Glasiologiske undersøkelser i Norge 1971. Hydrologisk avdeling, Norges vassdrags- og elektrisitetsvesen. Rapport nr. 2/73, 110 p. (English summary).
- 1974: Glasiologiske undersøkelser i Norge 1972. Hydrologisk avdeling, Norges vassdrags- og elektrisitetsvesen. Rapport nr. 1/74, 99 p. (English summary).
- 1975: Glasiologiske undersøkelser i Norge 1973. Hydrologisk avdeling, Norges vassdrags- og elektrisitetsvesen. Rapport nr. 1/75, 72 p. (English summary)

Tvede, A.M., Wold, B. og Østrem.

1975: Glasiologiske undersøkelser i Norge 1974. - Hydrologisk avdeling, Norges vassdrags- og elektrisitetsvesen. Rapport nr. 5/75, 68 p. (English summary).

UNESCO.

1970: Combined heat, ice and water balance at selected glacier basins. Technical papers in hydrology, no. 5, 20 p.

Wold, B. og Hagen, J.O.

1977: Glasiologiske undersøkelser i Norge 1975. – Hydrologisk avdeling, Norges vassdrags- og elektrisitetsvesen. Rapport nr. 2/77, 66 p. (English summary)

Wold, B. og Haakensen, N.

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

Wold, B. og Repp K.

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

1979: Subglacial constructions and investigations at Bondhusbreen, Norway. -Journal of Glaciology, Vol. 23, no. 89. p. 363 - 379.

Østrem, G. og Stanley, A. 1969: Glacier mass balance measurements. - A guide prepared jointly by the Canadian Dept. of Energy, Mines and Resources and the Norwegian Water Resources and Electricity Board, 128 p.