

RAPPORT

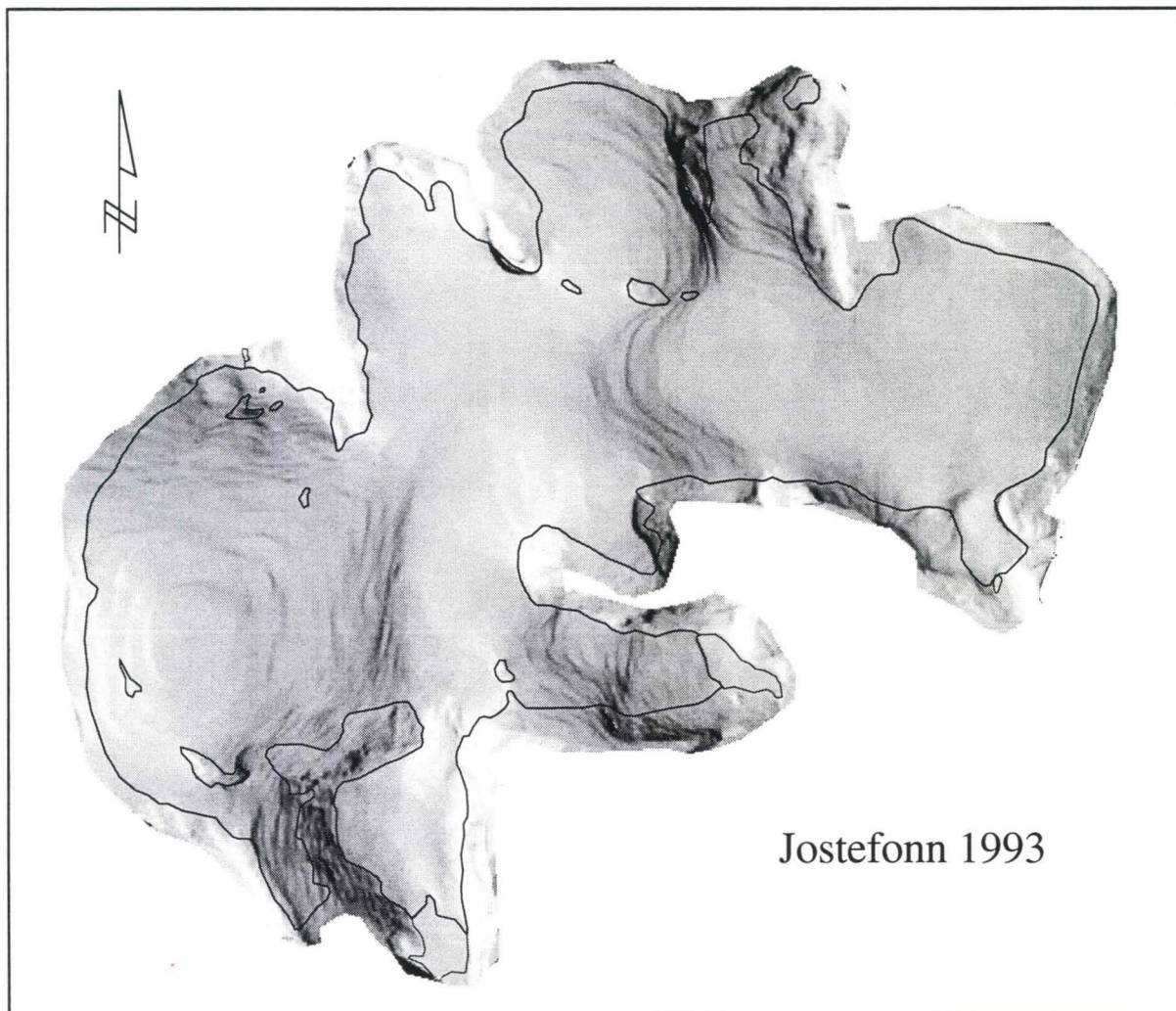
03 1998



NVE
NORGES VASSDRAGS-
OG ENERGIVERK

Liss M. Andreassen

VOLUMENDRINGER PÅ JOSTEFONN 1966 - 93



Jostefonn 1993

Forsidebilde: Skyggelagt terrengmodell laget fra kart over Jostefonn i 1993.

TITTEL Volumendringer på Jostefonn 1966 - 93.	RAPPORT Nr. 3 1998.
SAKSBEHANDLER Liss M. Andreassen	DATO 30. januar 1998
	RAPPORTEN ER åpen
OPPDRAGSGIVER Sogn og Fjordane Energiverk	OPPLAG 50

SAMMENDRAG

Jostefonn er en platåbre med et areal på 12,5 km² som ligger i Sogn og Fjordane fylke. Denne rapporten omhandler volumendringer av hele Jostefonn i perioden 1966 - 1993.

Beregningene er gjort ut fra topografiske kart over breen som ble konstruert av flybilder fra 1966 og 1993. Breen har i gjennomsnitt lagt på seg 0,6 ± 0,5 m vannekvivalenter, totalt en volumøkning på 8 ± 7 × 10⁶ m³ vann. Breen har dermed totalt sett vært tilnærmet i balanse i denne perioden, men det har skjedd store lokale volumendringer. I de øverste delene av breen har det vært stor volumøkning, mens breen har minket betydelig i de lavere områdene hvor brefrontene har smeltet tilbake. Totalt har 30% av breens areal minket i tykkelse, mens 65% av breen har økt i tykkelse.

ABSTRACT

Jostefonn is a plateau glacier with an area of 12.5 km² located in the southwestern of Norway. In this report we calculate the volume change of Jostefonn between 1966 and 1993.

Topographic maps were constructed from air photos taken in 1966 and 1993. Comparison of the maps showed that Jostefonn had an average increase of 0.6 ± 0.5 m water equivalents in this period, totally a volume increase of 8 ± 7 × 10⁶ m³ water. While the glacier as a whole had only a small total change in volume, there have been major local changes in the geometry. In the upper parts of the glacier total thickness has increased, while in the lower parts there has been retreat and thinning. Around 30% of Jostefonn's area has experienced a decrease in volume, and around 65 % has had positive changes.

EMNEORD / SUBJECT TERMS

Massebalanse, volumendring, bre, kartkonstruksjon, flyfotografering

Mass balance, volume change, glacier, mapping, aerial photo

ANSVARLIG UNDERSKRIFT



Arne Tollan
avdelingsdirektør

FORORD

Utbyggingen av Vettlefjordelva fant sted på slutten av 1980-tallet. En betydelig del av dreneringsområdet til magasinene Øvre og Nedre Svartevassvatn er bredekt, og smeltevannet fra breene bidrar dermed til kraftproduksjonen. Langsiktige endringer i breenes volum fører til at avrenningen fra et breområde vil avvike fra avrenningen fra et sammenlignbart befritt område. Denne rapporten omhandler beregninger av Jostefonns volumendring i perioden 1966 – 93. Det nykonstruerte kartet fra 1993 er også grunnlag for beregning av årlig massebalanse i perioden 1996-2000 på en del av Jostefonn som drenerer til Nedre Svartevassvatn og Skaddalen.

Nykonstruksjon av kart basert på flybilder tatt i 1966 og 1993 er gjort av Fjellanger Widerøe A/S. Liss Marie Andreassen ved Seksjon Bre og Snø har gjort beregningene og skrevet denne rapporten.

Oslo, 30. januar 1998



Hallgeir Elvehøy
fungerende seksjonsleder

INNHALDSFORTEGNELSE

1. INNLEDNING	1
2. DATAGRUNNLAG	2
Flyfoto	2
Topografiske kart	2
3. METODE	3
Høyde-areal fordeling	3
Volumendring	3
4. RESULTATER OG DISKUSJON	6
Høyde-areal fordeling	6
Volumendring	7
5. KONKLUSJON	10
6. REFERANSER	10

1. INNLEDNING

Jostefonn er en platåbre som ligger ca. 10 km vest for Fjærland og ca. 10 km sørvest for Jostedalsbreen. Breen ligger i Sogn og Fjordane fylke og er delt mellom kommunene Balestrand og Førde. Massebalansemålingene på Jostefonn er konsesjonspålagt Sogn og Fjordane Energiverk for Mel kraftverk. Målingene ble startet opp høsten 1995 og skal vare i 5 år. Det er ikke gjort breundersøkelser på Jostefonn tidligere.

Denne rapporten omhandler volumendringer av Jostefonn i perioden mellom 1966 og 1993. Jostefonn har et samlet areal på 12,5 km² og strekker seg fra 950 til 1620 m o.h. Breen kan deles inn i syv mindre dreneringsenheter (Østrem m.fl. 1988). Massebalansemålingene blir utført på to brearmer som drenerer til Skaddalen og Øvre Svartevassvatn (figur 1-3). Disse brearmene har ingen offisielle navn, men blir i denne rapporten kalt Skaddalsbreen og Svartevassbreen. Flatbreen blir brukt som navn på den nordøstlige delen som også drenerer til Nedre Svartevassvatn (figur 1).



Figur 1. Oversiktskart som viser Jostefonns plassering i Sør-Norge og hovedsystemet av vann og elver som drenerer fra Jostefonn til Mel kraftverk.

Map of the Jostefonn, with the position of Jostefonn in South Norway and the main drainage channels from Jostefonn to Mel Kraftverk.

2. DATAGRUNNLAG

Flyfoto

For å beregne volumendringer av breer kan man bruke detaljerte fotogrammetriske kart laget av vertikale flybilder. Jostefonn er fotografert flere ganger de siste tiårene. Til denne rapporten ble det konstruert nye kart over hele Jostefonn av flybilder fra 1966 og 1993. I tillegg er Jostefonn fotografert i 1964, 1981 og 1997. En oversikt over flyfotograferingene er vist i tabell 1.

Topografiske kart

Konstruksjonen ble foretatt av Fjellanger Widerøe A/S i 1997 v.h.j.a. en analytt med digital registrering. Høydekoter ble konstruert med 10 m ekvidistanse. Det ble konstruert koter for hele breen samt en 100 m randsone utenfor breen. Nøyaktigheten av det ferdige kartet avhenger bl.a. av passpunktgrunnlaget og målestokken til flybildene. I tillegg vil nøyaktigheten avhenge av snø og isoverflatens beskaffenhet. Stor avsmeltning og gode kontraster er fordelaktig, mens nysnø eller skyer gjør det vanskelig å trekke konturer. Flybildene fra 1966 hadde gode kontraster, mens flybildene fra 1993 hadde middels gode kontraster. De digitale dataene hadde en absolutt punktmiddelfeil på ca. $\pm 1,5$ m, mens den relative nøyaktigheten var vesentlig bedre med en punktmiddelfeil rundt $\pm 0,5$ m. Dette skyldes at konstruksjonen av de to kartene ble gjort samtidig, og at det ble benyttet samme punktgrunnlag. (Borgeraas pers.medd.).

Tabell 1. Flyfotograferinger av Jostefonn i perioden 1964 – 1997. Alle fotograferingene er foretatt av Fjellanger Widerøe A/S (tidl. Widerøe Flyveselskap). Flyfotograferingene i 1966 og 1993 ble brukt til å konstruere kart.

Aerial photographs taken of Jostefonn in the period 1964-1997. All aerial photography has been carried out by Fjellanger Widerøe A/S (former Widerøe Flyveselskap). The 1966 and 1993 photographs were used for map construction.

Kontrakt-nr. Contract no.	Dato Date	Flyhøyde Fly height	Målestokk Scale	Merknader Remarks
1571	02.09.1964	7300	1:38000	Nysnø og svært lite kontraster. Uklar breavgrensing.
1833	21.07.1966	7800	1:38000	Relativt bra med kontraster.
7076	29.08.1981	-	1:40000	Dårlig kontrast.
11534	27.08.1993	7200	1:40000	Endel snø, middels kontraster.
12181	14.08.1997	-	1:30000	Generelt gode kontraster.

3. METODE

Databearbeidelse og beregninger er gjort i et Geografisk Informasjonssystem (GIS) med programvaren Arc/Info som verktøy (ESRI 1995).

Høyde-areal fordeling

Høyde-areal fordelingen ble beregnet ved å bestemme arealet i 50 meters intervaller på breen. Nunatakker på breen og områder som åpenbart ikke var bre ble tatt bort. En feilkilde vil være at det noen steder er usikkerhet hvor grensen mellom bre og ikke-bre går. I bratte områder vil arealet underestimeres da beregningen ikke tar hensyn til helningen av terrenget.

Volumendring

Høydedataene var konstruert som høydekurver, og måtte konverteres til et raster før volumendringene kunne beregnes. For å lage en digital terrengmodell (DTM) kan en benytte ulike interpolasjonsmetoder. Til denne rapporten ble det utprøvd en rekke metoder i Arc/Infos tin- og gridmoduler; triangulær interpolasjon, invers avstandsvektning, glidende gjennomsnitt og samlemetoden topogrid. Vi vil i denne rapporten ikke gå detaljert inn på de ulike interpolasjonsmetodene, men henviser til litteratur som omhandler metodene bl.a. Burroughs (1986). De forskjellige terrengmodellene ble sammenlignet med hverandre og med kartgrunnlaget for å velge ut den beste modellen. Det ble deretter valgt å bruke metoden triangulær interpolasjon (TIN) som ga de mest pålitelige terrengmodellene. Det totale volumresultatet varierte lite med de forskjellige metodene. Dette skyldes det detaljerte høydegrunnlaget.

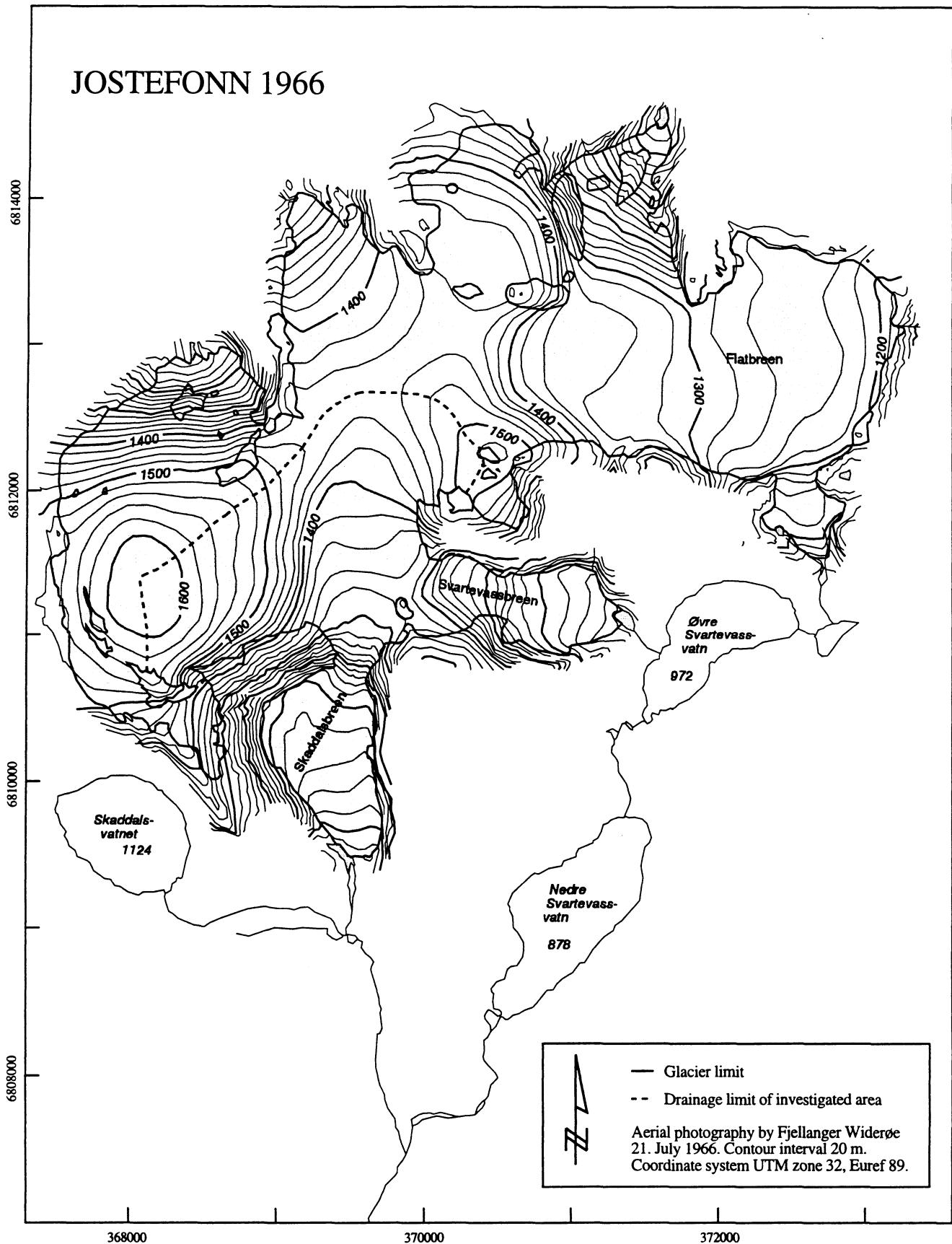
Framgangsmåten for volumberegning var følgende: Det ble laget et triangulært nettverk fra høydedataene (høydekoter og høydepunkter). Fra dette nettverket ble det laget en terrengmodell for hvert år med celledimensjon 10 m. Overflaten fra 1966 ble deretter trukket fra overflaten fra 1993 for å få et differansekart, brediff:

$$\text{brediff} = \text{kart93} - \text{kart66} \quad (1)$$

Bredifferansekartet angir differansen som breis, firn og dels snø. Ved å anta at tettheten i et dybdeprofil er uendret fra 1966 til 1993 behøver man ikke kjenne tettheten til firn- og snølaget. Volumendringen ble regnet om til vannekvivalenter ved å multiplisere med tettheten til is som vanligvis oppgis som $0,9 \text{ g/cm}^3$ (Paterson 1994):

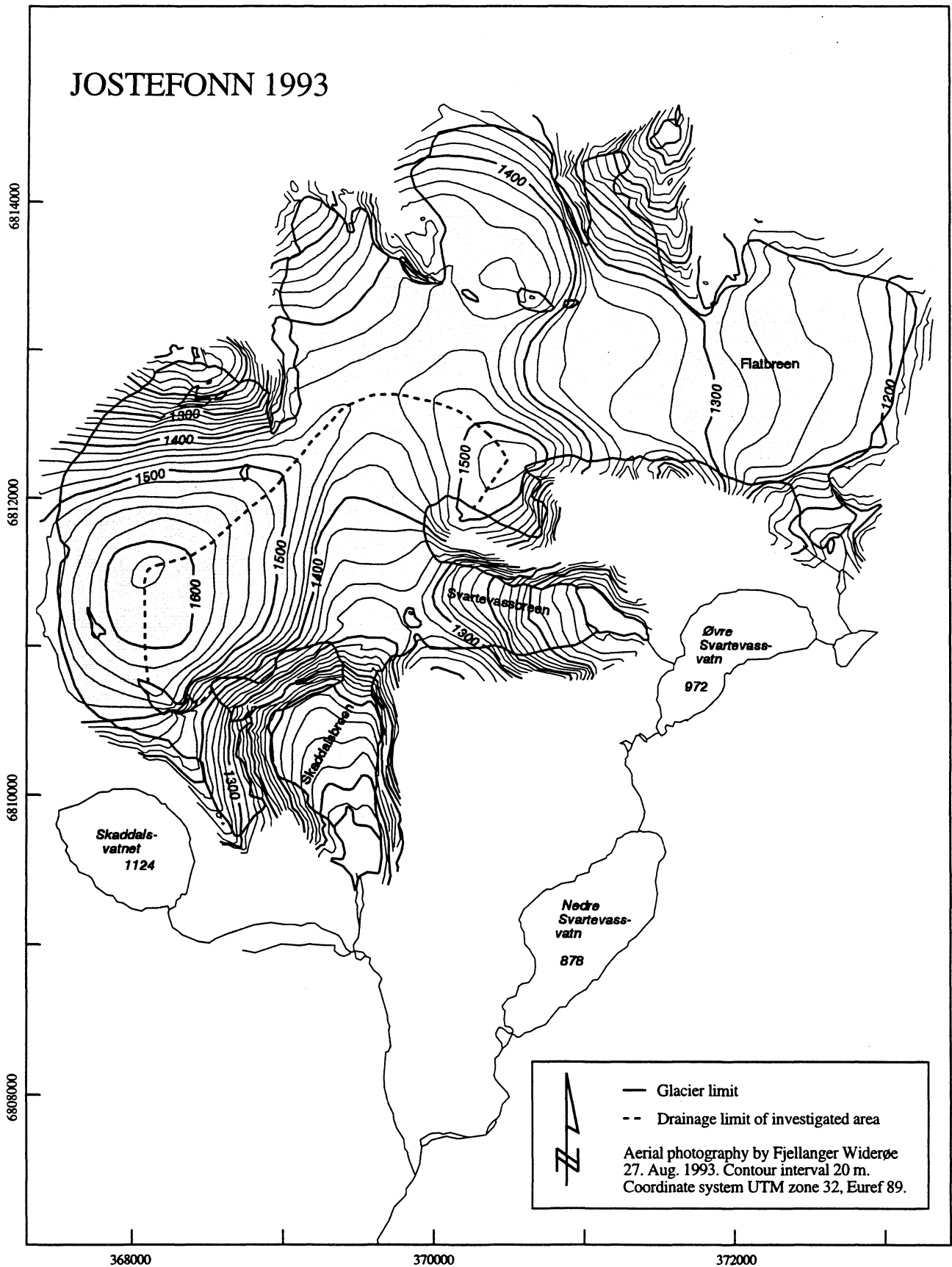
$$\text{vanndiff} = \text{brediff} \times 0,9 \quad (2)$$

Vanndifferanskartet ble så brukt til å beregne gjennomsnittlig volumendring per m^2 og total volumendring for hele Jostefonn.



Figur 2. Kartgrunnlag Jostefonn 1966 med dreneringsgrensen til brearmene Skaddalsbreen og Svartevassbreen.

Map of Jostefonn in 1966 with the drainage divide for Skaddalsbreen and Svartevassbreen.



Figur 3. Kart over Jostefonn 1993 med dreneringsgrensen til brearmene Skaddalsbreen og Svartevassbreen.

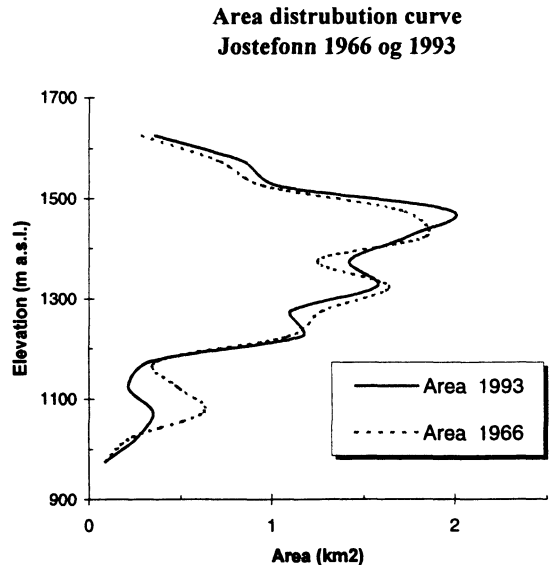
Map of Jostefonn in 1993 with the drainage divide for Skaddalsbreen and Svartevassbreen.

4. RESULTATER OG DISKUSJON

Høyde-areal fordeling

I figur 4 vises høydefordelingen av areal for Jostefonn i 1966 og 1993. Det samlede arealet har minket med 0,1 km² fra 12,6 i 1966 til 12,5 i 1993. I denne beregningen er ikke brefrie

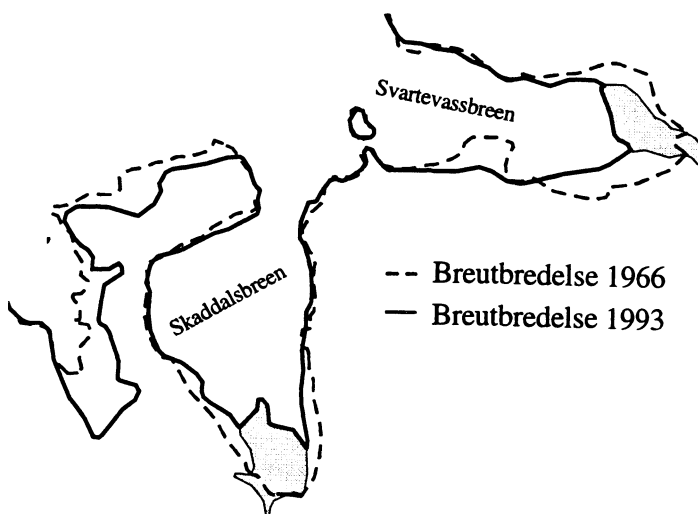
Elevation (m a.s.l.)	Area 1966 (km ²)	Area 1993 (km ²)	Difference 1966-93 (km ²)
950-1000	0,09	0,09	0,00
1000-1050	0,24	0,27	0,03
1050-1100	0,63	0,35	-0,28
1100-1150	0,48	0,21	-0,27
1150-1200	0,37	0,34	-0,03
1200-1250	1,09	1,16	0,07
1250-1300	1,28	1,10	-0,17
1300-1350	1,64	1,57	-0,07
1350-1400	1,25	1,42	0,17
1400-1450	1,85	1,75	-0,10
1450-1500	1,71	1,98	0,27
1500-1550	0,96	1,04	0,08
1550-1600	0,72	0,84	0,13
1600-1620	0,29	0,36	0,07
950-1620	12,60	12,50	-0,10



Figur 4. Høydefordelingen av arealet på Jostefonn i 1966 og 1993. Den største endringen har skjedd mellom 1050 og 1150 m o.h.

Area-distribution diagram for Jostefonn in 1966 and 1993. The greatest changes in areal distribution occurred between 1050 and 1150 m a.s.l. due to frontal retreat.

områder på breen tatt med. I 1981 var arealet 11,0 km² hvilket betyr at breen var mindre i en periode mellom 1966 og 1993 (Østrem m.fl. 1988). Imidlertid er beregningen av dette arealet mer unøyaktig. De største arealendringene mellom 1966 og 1993 har skjedd i høydeintervallet 1450-1500 m hvor breen i dag er blitt større, og i området 1050-1150 m hvor brearealet er betydelig redusert. Det siste skyldes tilbakegangen av de sørøstlige bretungene til Jostefonn, spesielt Skaddalsbreen og Svartevassbreen (figur 5).



Figur 5. Brefrontposisjon av Skaddalsbreen og Svartevassbreen i 1966 og 1993.

Front position of Skaddalsbreen and Svartevassbreen in 1966 and 1993.

På den nordvestlige delen av Jostefonn har det vært mindre endringer av brefrontposisjonen. Det er enkelte steder vanskelig å bestemme bregrensen da den er dekket av snø, men en ser at noen steder har breen gått litt fram, andre steder har den smeltet litt tilbake (figur 7). En forklaring til denne forskjellen fra øst til vest er at brefrontene i vest ligger rundt 100 m høyere, og brearmene ser også ut til å være mindre aktive i denne delen av breen.

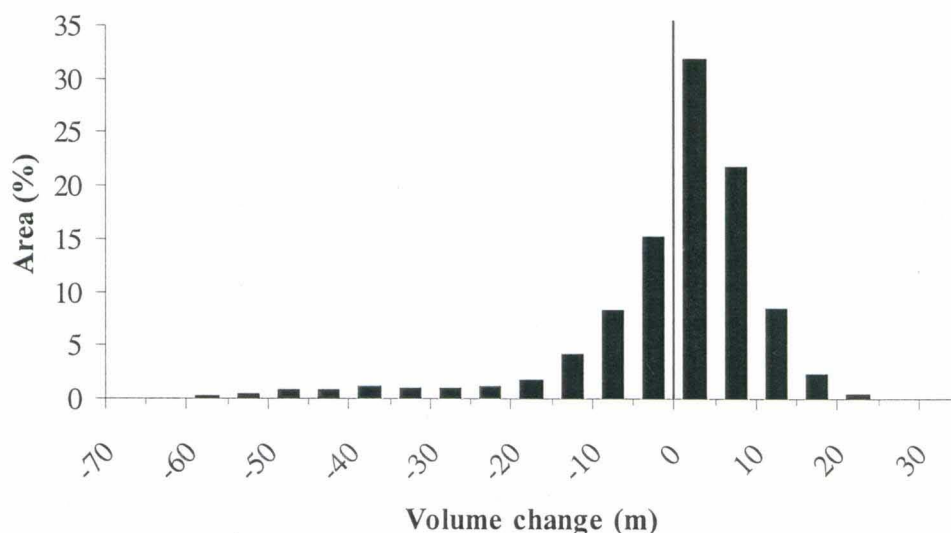
Volumendring

Med triangulær interpolasjon ble volumendringen i perioden 1966-93 beregnet til $0,6 \pm 0,5$ m vannekvivalenter i gjennomsnitt for hele breen (tabell 2). Dette tilsvarer en total økning av breens volum på $8,3 \pm 6,8 \times 10^6 \text{ m}^3$ vann i perioden, eller en pålagring av ca. 23 mm vann i gjennomsnitt på breen per år. Breen har altså vært i tilnærmet balanse i perioden. Flyfotoene fra 1966 var tatt en drøy måned tidligere enn flyfotoene i 1993. Antar vi at smeltingen fortsatte en måned til i 1966 vil volumøkningen bli mindre eller endog negativ.

Til tross for at breen totalt ikke har endret volum i perioden har det skjedd store lokale volumendringer på Jostefonn (figur 7). På 30 % av breens areal har istykkelsen minnet, mens 65 % av breen har økt i tykkelse. Høydeendringene varierer fra -75 m til +44 m som tilsvarer hhv. -67 m og +39 m vannekvivalenter. På det meste av breen er endringene relativt små, rundt 80 % av breen har endringer mellom -10 og +10 m vannekvivalenter (figur 6). De

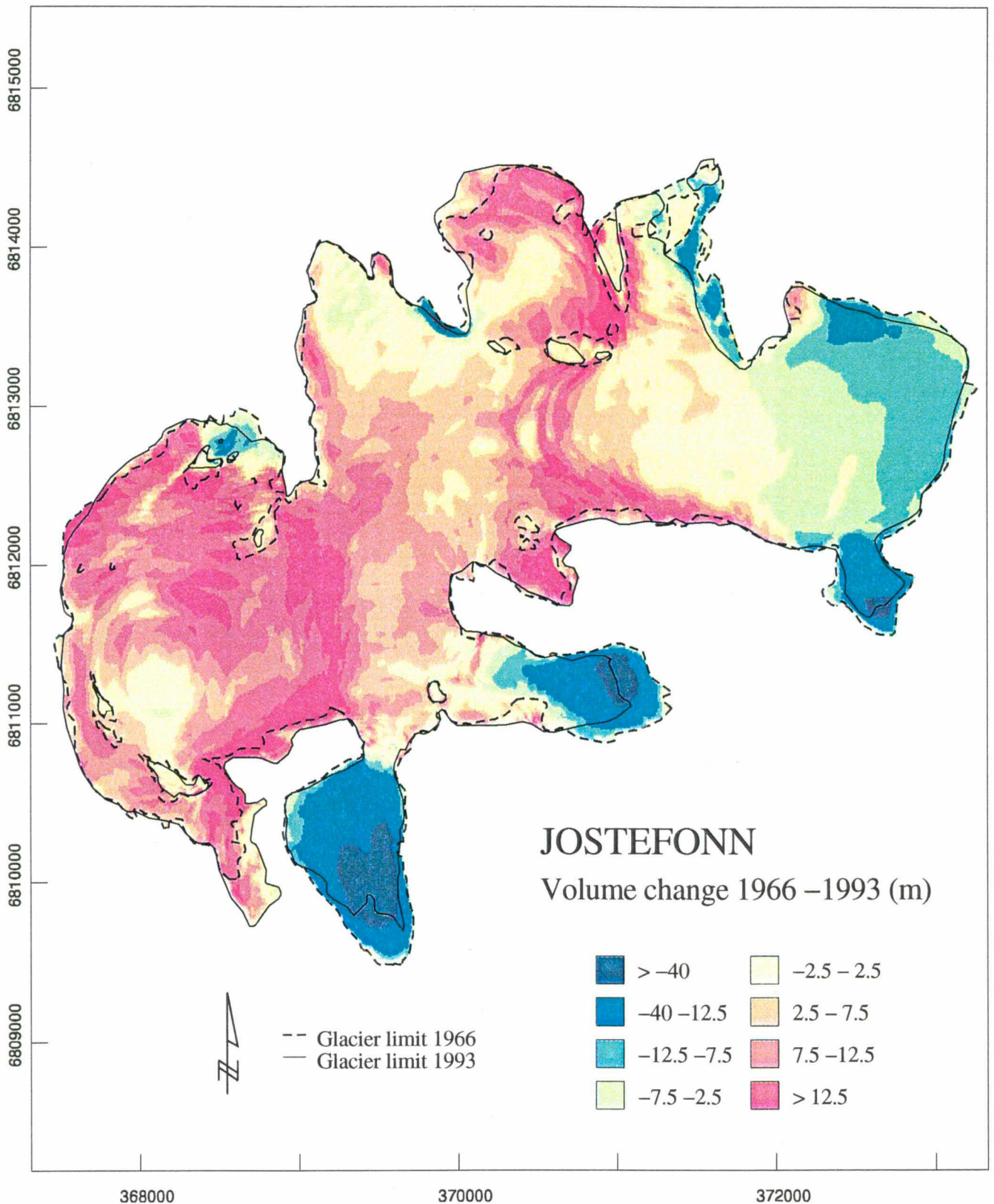
Tabell 2. Volumendring av Jostefonn i perioden 21.07 1966 – 27.08 1993.
Volume change of Jostefonn in the period 21.07 1966 – 27.08 1993.

Volume change total (m)	Volume change Total (10^6 m^3)	Volume change per year (m)	Volume change per year (10^6 m^3)
$0,6 \pm 0,5$	$8,3 \pm 6,8$	$0,02 \pm 0,02$	$0,31 \pm 0,25$



Figur 6. Histogram som viser fordelingen av endring i vannekvivalent og areal i prosent på Jostefonn mellom 1966 og 1993. Størstedelen av Jostefonn har endringer mellom -10 og +10 m.

Histogram showing the distribution of change in water equivalent and area in percent for Jostefonn between 1966 and 1993. Most of Jostefonn experienced changes between -10 and +10 m.



Figur 7

Volumendringer av Jostefonn (vanndifferansekart) i perioden 1966 til 1993. Blågrønne farger viser negativ endring, gult viser endring mellom –2,5 og 2,5 m vannekv., mens røde farger viser positiv endring.

Volume change of Jostefonn (water difference) from 1966 to 1993. Blue and green colours shows negative change, yellow shows change between –2.5 and 2.5 w.eqv., while red colours shows positive change.

sørøstvendte brefrontene har smeltet mye tilbake fra 1966 til 1993, og breen har dermed mistet mye volum i de laveste områdene. De høyere områdene har økt i tykkelse. I østvendte skråninger som ligger i le ser man en betydelig økning i tykkelse.

Det er interessant å sammenligne volumendringen av Jostefonn med andre breer. Det er blitt målt massebalanse årlig i perioden 1966-93 ved en rekke andre breer i Sør-Norge (tabell 3). De vestlige breene Nigardsbreen og Ålfotbreen har i denne perioden hatt masseoverskudd på over 10 m i gjennomsnitt. Hardangerjøkulen som ligger sør for Jostefonn har også hatt betydelig overskudd, mens breene i Jotunheimen i øst har hatt betydelig underskudd. En ser her et klart regionalt bilde hvor den kumulative nettobalansen avtar fra vest mot øst i denne perioden. Jostefonn passer dermed ikke helt inn i dette bildet.

Nigardsbreen og Austdalsbreen, begge utløpere av Jostedalsbreen, er to breer det er nærliggende å sammenligne med. Breene ligger hhv. ca. 40 og 60 km nordøst for Jostefonn og har i perioden hatt et overskudd på 11,3 og 2,7¹ m vannekvivalenter i gjennomsnitt. En forklaring på denne forskjellen for de tre breene er den ulike høydefordelingen til breene. Jostefonn har en gjennomsnittlig høyde på rundt 1370 m o.h., Austdalsbreen ca. 1450 m, mens Nigardsbreen har en middelhøyde på rundt 1550 m. Vi ser av disse tre breene i samme område at det er en sammenheng mellom målt volumforandring og middelhøyde til breene. Det er naturlig at Nigardsbreen vil ha større muligheter til å bygge opp et stort overskudd enn Jostefonn når en ser på høydefordelingen til de to breene.

Beregninger av volumendringer for Harbardsbreen i perioden 1966 – 96 ga en negativ endring på over 8 m vann (Kjøllmoen 1997). Denne breen skilte seg ut sammenlignet med de andre breene i tabell 3 i et vest-øst profil (Austdalsbreen og Jostefonn var ikke tatt med i sammenligningen). Undersøkelsene både på Harbardsbreen og Jostefonn viser dermed at det regionale bildet av endringene i breers volum de siste tiårene er mer komplekst enn utelukkende øst-vest forskjeller. Høydefordeling av breene, geometri, isdynamikk og lokale klimaforhold vil også spille inn.

Tabell 3. *Kumulativ massebalanse basert på årlige målinger i perioden 1966 - 93 for seks breer i Sør-Norge og volumendring beregnet fra kart for Jostefonn (1966 - 93), Harbardsbreen (1966 - 96) og Austdalsbreen (1966-1988). TM: tradisjonelle årlige massebalansemålinger med måling av akkumulasjon og ablasjon, map: volum beregnet ved å sammenligne kart.*

Cumulative mass balance in the period 1966 – 93 for six glaciers in South Norway, and volume change from map comparison of Jostefonn (1966 – 93), Harbardsbreen (1966 – 96) and Austdalsbreen (1966-1988). TM: traditional mass balance measurements, map: volume change calculated by comparison of maps.

	Glacier	Cumulative volume change (m)	Method	Remarks
west	Ålfotbreen	13,3	TM	
	Jostefonn	0,6	map	
	Nigardsbreen	11,3	TM	
	Austdalsbreen	2,7	map & TM	map 1966-88, TM 1988-93
↓	Hardangerjøkulen	7,4	TM	
	Harbardsbreen	-8,5	map	map: 1966-96
	Storbreen	-3,1	TM	
	Hellstugubreen	-7,7	TM	
east	Gråsubreen	-7,5	TM	

¹ Volumberegning basert på sammenligning av kart fra 1966 og 1988 (Laumann 1990) og kumulativ massebalanse fra 1988-1993.

5. KONKLUSJON

Arealet av Jostefonn har minket med $0,1 \text{ km}^2$ fra 1966 til 1993. I høydeintervallet 1450-1500 m har breen i dag større areal, mens i de nederste områdene har brearealet blitt betydelig redusert. De sørøstvendte bretungene har smeltet mye tilbake i denne perioden, mens den delen av breen som vender nordvest har hatt liten endring av frontposisjon.

Jostefonn har i perioden fra 21.7.1966 til 27.8.1993 lagt på seg i gjennomsnitt $0,6 \text{ m} \pm 0,5 \text{ m}$ over hele breen. Dette tilsvarer en økning av breens volum på $8 \pm 7 \times 10^6 \text{ m}^3$ vann. Jostefonn har i perioden dermed vært tilnærmet i balanse, men det har skjedd store lokale volumendringer på breen. De øverste områdene har lagt på seg, mens smelting av brefrontene har ført til stort volumtap i nedre deler i perioden. Totalt har 30 % av breens areal minket i tykkelse, mens 65 % av breen har økt i tykkelse.

Jostefonn skiller seg ut fra andre breer i området som har hatt stort overskudd i samme periode. Noe av forklaringen kan være at Jostefonn ligger lavere enn disse breene.

6. REFERANSER

- Burrough, P.A. 1986: Principles of Geographical Information Systems for Land Resources Assessment. *Monograph of soil and resources survey no. 12*, 176 s.
- ESRI 1995: Understanding GIS. The ARC/INFO method. Version 7. *John Wiley & Sons inc., New York*, 400 s.
- Kjøllmoen, B. 1997: Volumendringer på Harbardsbreen 1966 – 96. *NVE rapport 6 1997*, 17 s.
- Laumann, T. 1990: Austdalsbreen – Konsekvenser av kraftutbyggingen. *NVE oppdragsrapport 6 – 90*, 61 s.
- Paterson, W.B.S. 1994: The physics of glaciers. 3rd edition. *Pergamon, Oxford*, 480 s.
- Østrem, G., Selvig, D. K. & Tandberg, K. 1988: Atlas over breer i Sør-Norge. *Meddelelser fra Hydrologisk avdeling nr. 61*, 248 s.

Denne serien utgis av Norges vassdrags- og energiverk (NVE)

Adresse: Postboks 5091 Majorstua, 0301 Oslo

I 1998 ER FØLGENDE RAPPORTER UTGITT:

Nr 1 Oslo Energi Konsult: Sluttbrukertiltak og lokal kraftsystemplanlegging. (55 s.)

Nr 2 Halfdan Benjaminsen, Jim Bogen, Truls Erik Bønsnes:
Suldalslågens sedimentkilder. Fotoregistrering 1997 (149 s.)

Nr 3 Liss M. Andreassen: Volumendringer på Jostefonn 1966 - 93 (10 s.)

NORGES VASSDRAG
OG ENERGIVERK



00535989