



Sluttrapport for glasiologiske undersøkelser på Jostefonn 1996-2001

Hallgeir Elvehøy

11
2001



O P P D R A G S R A P P O R T

Sluttrapport for glasiologiske undersøkingar på Jostefonn 1996-2000

Norges vassdrags- og energidirektorat

2001

Oppdragsrapport nr 11-2001

Sluttrapport for glasiologiske undersøkingar på Jostefonn 1996-2000.

Utgitt av: Norges vassdrags- og energidirektorat

Redaktør:

Forfatter: Hallgeir Elvehøy

Trykk: NVEs hustrykkeri

Opplag: 50

Vetlefjordbreen, den vestlege av to brearmar frå Jostefonn som var omfatta av massebalansemålingane, kalvar no i eit lite vatn som var nesten heilt dekt av breen i 1966. Sundfjordbjørnen er toppen oppe til venstre i biletet.

Forsidefoto: Foto: Hallgeir Elvehøy, oktober 1999.

Samandrag:

Emneord: Glasiologi, isbre, massebalanse, volumendring

Norges vassdrags- og energidirektorat
Middelthuns gate 29
Postboks 5091 Majorstua
0301 OSLO

Telefon: 22 95 95 95
Telefaks: 22 95 90 00
Internett: www.nve.no

Desember 2001

Innhold

Forord	4
Samandrag	5
Innleiing	6
Målingar	7
Topografiske kart	7
Massebalansemålingar	7
Lufttemperatur	13
Høgdeprofilering	14
Massebalanse rekonstruksjon	15
Volumendring 1966-93	15
Massebalanse modellert med resultat frå andre brear	17
Massebalanse modellert frå nedbør og temperatur	20
Massebalanse 1962-95	21
Høgdeendring 1993-2000	24
Konklusjonar	25
Referansar	26

Forord

Etter at Vetlefjordelvi vart regulert i 1989 vart Sogn og Fjordane Energiverk pålagt av NVE å utføre glasiologiske undersøkingar på Jostefonn som ein del av konsesjonspålagte hydrologiske undersøkingar av 12. juni 1995. Hydrologisk avdeling, NVE, har gjort målingar og analysar på oppdrag for Sogn og Fjordane Energiverk. Denne rapporten omtaler målingar som er gjennomført i perioden 1996-2000, og analysar som ser dei glasiologiske forholda på Jostefonn i forhold til andre brear i Sogn og Fjordane.

Hallgeir Elvehøy har vore prosjektleiar for arbeidet. Liss Andreassen gjorde analysar av volumendringar basert på kart frå 1966 og 1993. Feltarbeidet har vore gjort av personell frå Hydrologisk avdeling og frå NVE sitt regionkontor i Førde med noke bistand frå personalet ved Mel Kraftverk.

Oslo, desember 2001


Kjell Repp
avdelingsdirektør


Erik Roland
seksjonssjef

Samandrag

Jostefonn er ein liten platåbre (12,5 km²) som ligg i Sogn og Fjordane. Avrenninga frå brearmane på sørsida av Jostefonn vert utnytta i Sogn og Fjordane Energi (SFE) sitt Mel Kraftverk i Vetlefjorden i Balestrand.

To brekart over Jostefonn er konstruert frå flybilete tatt 21. juli 1966 og 27. august 1993. Karta vart nytta til å bestemme arealendringar og rekne ut breen si volumendring i perioden (27 år). Arealet hadde minka frå 12,6 til 12,5 km². Dei største endringane fann stad på dei tre sørlege brearmane som alle hadde trekt seg fleire hundre meter tilbake. Volumet til heile breen hadde likevel auka med om lag 8 ±7 mill m³ v.ekv. (0,6 ±0,5 m v.ekv.), medan volumet for feltet som er omfatta av massebalansemålingane hadde minka med 12 ±2 mill m³ v.ekv. (-3,1 ±0,5 m v.ekv.). Smelting mellom 21. juli 1966 og ca. 1. oktober 1966 vart estimert til 1,8 m v.ekv., og volumendringa vart redusert tilsvarande til -1,3 ±0,5 m v.ekv. for at volumendringa skal kunne samanliknast med estimert massebalanse. Det er ikkje rekna med smelting etter 27. august 1993.

Massebalansen til to brefelt (3,8 km²) som drenerer til Mel Kraftverk vart målt i perioden 1996-2000 (5 år). Kartet frå 1993 vart brukt som grunnlag for massebalansemålingar. Midlare vinterbalanse var 2,78 m v.ekv., og midlare sommarbalanse var -2,83 m v.ekv. Midlare nettobalanse var -0,05 m v.ekv. Brefeltet var dermed i balanse i denne perioden.

Regresjonsanalyse mot lange tidsseriar for massebalanse på Ålfotbreen (1963-2000) og Nigardsbreen (1962-2000) viste rimeleg god korrelasjon for vinterbalansen (begge), sommarbalansen (Nigardsbreen) og nettobalansen (begge). Regresjonslikningar er brukt som modellar, og spesifikk vinter-, sommar og nettobalanse på Jostefonn er rekna ut for perioden 1962(63) – 95. Modellresultata vart ganske forskjellige, men resultatata frå modellen basert på massebalanse på Nigardsbreen gav best samsvar med volumendring utrekna frå kart for perioden 1966-93.

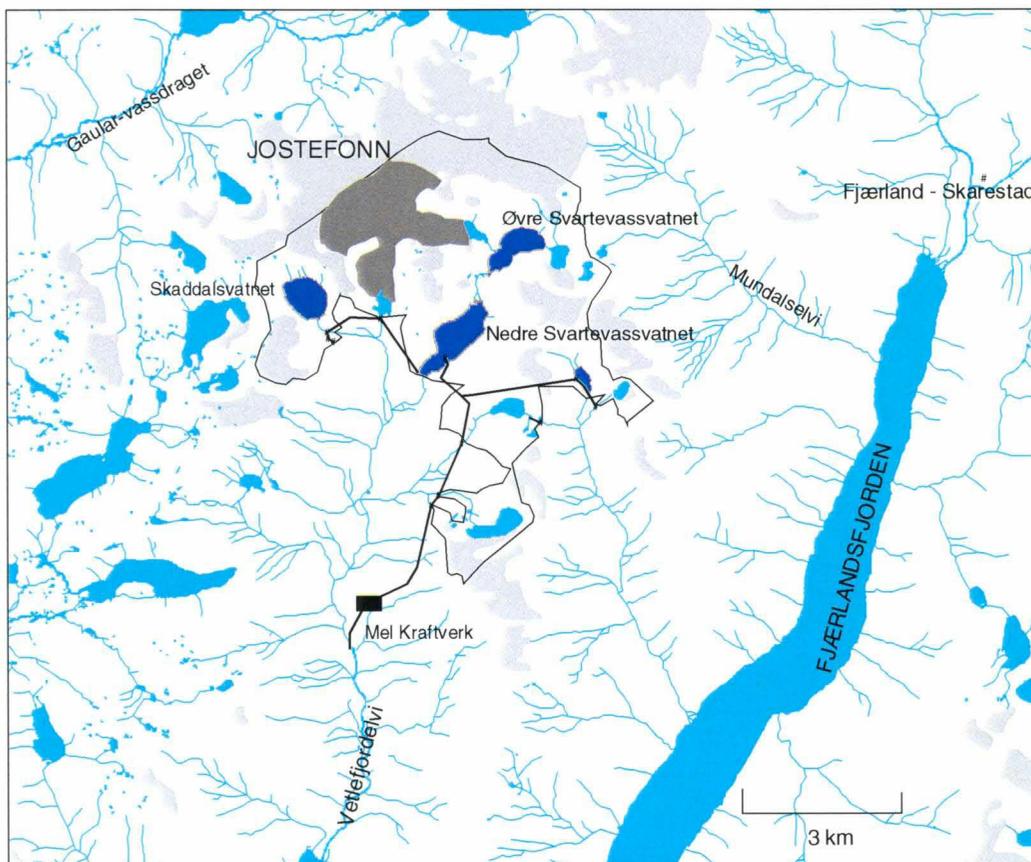
Ein nedbør-graddagsmodell (PT-modell) basert på HBV-modellen si snørutine vart kalibrert mot målt massebalanse på Jostefonn for perioden 1996-99. Meteorologiske data frå DNMI sin klimastasjon Fjærland-Skarestad vart brukt. Modellen vart så nytta til å rekne ut spesifikk massebalanse for perioden 1962-95. Modellert kumulativ nettobalanse vart meir positive enn det volumendringane viste.

I september 2000 vart det gjort profilering med GPS for å kunne vurdere høgdeendring frå 1993 til 2000, og som eit grunnlag for eventuelle seinare målingar av høgdeendring. Dessutan vart delar av fronten i vatna framfor dei to brearmane målt inn for å vise eventuelle frontposisjonendringar. GPS-målingane viste ein senking av breoverflata langs profilet mellom 1340 og 1620 moh. Målingane viste også at brefrontane hadde trekt seg tilbake 50-100 meter i løpet av perioden på 7 år.

Innleiing

Jostefonn (61°25'N 6°35'Ø) er ein liten platåbre som ligg 10 km sørvest for Jostedalsbreen, i kommunane Balestrand og Førde. Breen har eit areal på 12 km² og dekkjer høgdeintervallet 960 – 1620 moh. Breen har sju utløparar, tre mot Gaular i nord, ein mot Mundalselvi i aust, og tre mot Vetlefjordelvi i sør (fig. 1). Sogn og Fjordane Energiverk (SFE) regulerer avrenninga frå sørsida av Jostefonn i magasinane Skaddalsvatnet, Øvre Svartevassvatnet og Nedre Svartevassvatnet. Om lag 27 % av det regulerte nedbørfeltet på 30 km² er bredekt. Mel Kraftverk i Vetlefjorden i Balestrand har vore i drift sidan 1989.

I "Pålegg om hydrologiske undersøkelser – Utbygging og regulering av Vetlefjordelvi" dagsett 27. juni 1995 vart det gitt pålegg om massebalansemålingar på Jostefonn i 5 år. Hydrologisk avdeling i Norges vassdrags- og energidirektorat (NVE) har gjennomført målingane på oppdrag frå SFE. Denne rapporten oppsummerer resultatane av målingane og set resultatane i samanheng med målingar på andre brear i området.



Figur 1

Kart som viser overføringstunnelar, magasin (mørk blått) og feltgrenser for Mel Kraftverk. Breområder er vist i grått, medan feltet med massebalansemålingar er vist i mørkt grått.

Målingar

Topografiske kart

For gjennomføring av massebalansemålingane vart eit nytt, detaljert kart konstruert basert på bilete frå 1993. For å kunne rekne ut volumendringane på Jostefonn for ein lengre periode med rimeleg nøyaktigheit vart det også konstruert nye kart på grunnlag av flybilete frå 1966. Kartkonstruksjonen og analysene av endringar er nærare omtala i NVE-Rapport nr 3-1998.

Kartkonstruksjon

Dei utvalgte vertikalfotografia vart tekne 21. juli 1966 (Fjellanger Widerøe A/S, oppgåve 1833, målestokk 1:38 000) og 27. august 1993 (Fjellanger Widerøe A/S, oppgåve 12181, målestokk 1:40 000). Begge karta vart konstruert i 1997 av Fjellanger Widerøe A/S i målestokk 1:10 000 med 10 meter ekvidistanse. Kartkonstruktøren meddelte at snøforholda i 1993 førte til relativt dårleg kontrast i bileta i området over 1590 moh. ved Sundfjordbjørnen. Dette førte til større uvisse i eit område på om lag 0,36 km² (J. Borgeraas, pers. medd.). Fjellanger Widerøe A/S estimerte høgdeuvisse i kartkonstruksjonane til ±1,5 meter (punktmiddelfeil). For utrekning av høgdeendring er imidlertid den relative uvisse mindre fordi karta er konstruert med samme punktgrunnlag og metodikk (punktmiddelfeil ±0,5 m). Dette gjer karta godt egna til studiar av volumendringar.

Karta er konstruert med høgdekoter. På grunnlag av høgdekoter og punkthøgder vart digitale terrengmodellar (DTM) generert på rasterformat. Analysar av høgdearealfordeling og volumendringar er gjort ut ifrå terrengmodellane.

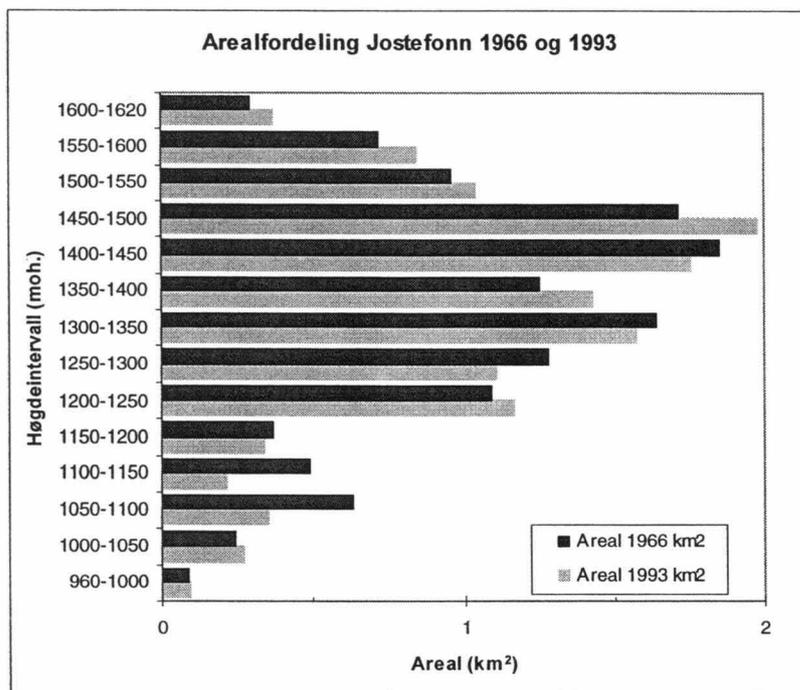
Endringar mellom 1966 og 1993

Arealet av Jostefonn har minka med 0,1 km² frå 12,6 til 12,5 km². Dei tre søraustvendte Bretungene har smelta tilbake 200 – 400 meter i perioden slik at nye vatn har dukka fram. Endringane er små for dei nord- og austvendte brearmene. Høgdearealfordelinga i 1966 og 1993 er vist i figur 2. I dei øvre områda viser karta at breen har vorte tjukkare. Mellom anna vart toppen av Jostefonn (Sundfjordbjørnen) målt til 1615 moh. i 1966, medan høgda i 1993 var over 1620 moh.

Massebalansemålingar

Massebalansemålingane omfattar to brearmar på sørsida av Jostefonn. Avrenninga frå den vestlege av disse, Vetlefjordbreen, vert overført til Nedre Svartevassvatnet via eit inntak nedafor vatnet framfor brefronten (fig. 1).

Det undersøkte brefeltet hadde i 1993 eit areal på 3,8 km² som er om lag halvparten av det bredekte arealet i reguleringsområdet. Dreneringsgrensa for brefeltet er bestemt ut ifrå breoverflata si helling. Dei faktiske dreneringsgrensene er også avhengig av



Figur 2

Jostefonn si høgde-arealfordeling i 1966 og 1993.

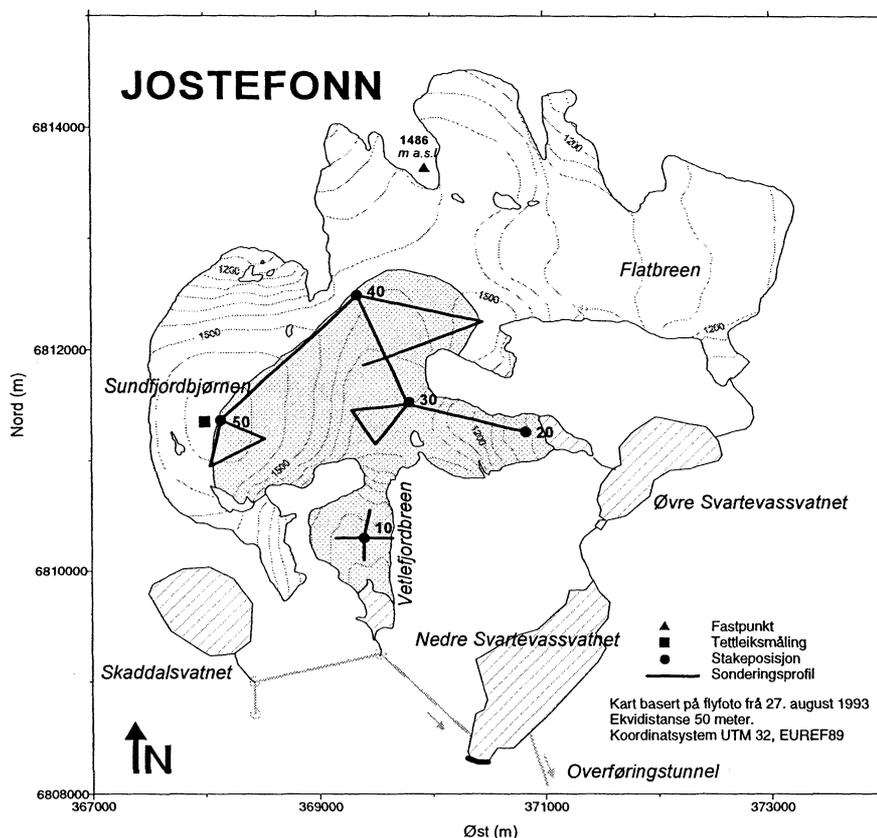
botntopografien. Ei vurdering av terrengformene tilsei at den reelle dreneringsgrensa truleg går noke lengre nord og vest slik at arealet til det undersøkte brefeltet og reguleringsområdet kan vere litt større.

Måleopplegg

Massebalansen er målt etter ein stratigrafisk metode der alle målingane er gjort i forhold til forrige sommeroverflate (SO) einkvar stad på breen (Kjøllmoen 2000, Østrem & Brugman 1991). Dette medfører at lengda av balanseåret kan variere noke frå øvst til nedst på breen.

Stakeposisjonar og sonderingsprofil er valt ut for best mogleg å representere variasjonane i feltet samstundes som målingane skal vere praktisk gjennomførbare, tryggleiken for personellet skal vere ivaretatt, og omfanget skal vere innafør tildelte ressursar. Ut ifrå disse omsyna omfattar ikkje måleopplegget den bratte austsida av Sundfjordbjørnen og brefallet ned mot Vetlefjordbreen. Figur 3 viser måleopplegget i 2000 som eksempel på korleis målingane har vore gjennomført i dei 5 åra målingane har pågått.

Vinterbalansen vart målt rundt 1. mai. Snødjupet vart sondert i om lag 70 punkt langs profila og kontrollert mot stakeavlesing eller kjerneprøve i stakeposisjonane. Tettleiken til snøpakka vart målt ved stake 50 (stake 30 i 1996). Målingane vart gjort i utgravd sjakt ned til 2 meter djup, og ved kjerneboring ned til SO. Volum og vekt av snøprøvene vart målt, tettleik vart utrekna for kvar prøve, og eit vassekvivalentprofil frå overflata ned til SO vart etablert. Snøpakka sin midlare tettleik ved stake 50 har vore 0,45-0,55 g/cm³.



Figur 3

Kart over Jostefonn med området som er omfatta av massebalanse-målingane (grått) og måleopplegget slik dei vart gjennomført i 2000.

Vassekvivalentprofilen vart rekna som representativt for heile breen og brukt til å rekne om snødjupmålingane til vassekvivalentverdiar.

Sommarbalansen vart utrekna for stakeposisjonane ut ifrå målt endring i overflatehøgde i forhold til SO og målt eller estimert tettleik for vekksmelte og/eller gjenverande snø og is. Snø som har lagt over ein sommar har erfaringsmessig ein tettleik på om lag $0,6 \text{ g/cm}^3$. Tettleik for firn som er eit eller fleire år gammal vert estimert til $0,7 \text{ g/cm}^3$, medan tettleiken for breis er $0,9 \text{ g/cm}^3$. Målingane i dei enkelte åra er nærare omtale under.

Feltarbeid

Massebalansemålingane starta opp i september 1995 med utsetting av fem stakar. Ved snømålingane i 1996 var det gode sonderingsforhold over heile breen. I tillegg til profila i det undersøkte feltet vart det også sondert eit profil frå stake 40 mot den austlege delen av Jostefonn kalla Flatbreen (fig. 3). Mellom 1200 og 1300 moh. var det meir snø på Flatbreen enn i det undersøkte feltet, medan det mellom 1300 og 1450 moh. var omlag like mykje snø. Ved minimumsmåling var all vintersnø smelta vekk slik at snølina låg over toppen av breen. Firnlina (grensa mellom blåisområde og område dekt av gammal snø) låg om lag på toppen av brefallet mot Vetlefjordbreen 1250 - 1300 moh.

	Snømålingar					Minimumsmålingar		
	Dato	Stakar (vår)	Tettleik (g/cm ³)	Sonderingar (antall)	Snødjup (m)	Dato	Snølinehøgde (moh.)	Antall stakar (smelting m)
1996	30/4	5	0,44 (3,4 m)	59	2,6	22/9	>1620	5 (4,8 – 5,5)
1997	26/4	3	0,45 (8,0 m)	61	7,8	26/9	Ubestemt	4 (6,3 – 9,8)
1998	14/5	4	0,50 (5,9 m)	74	5,5	23/9	1300	4 (4,0 – 6,3)
1999	5/5	5	0,45 (6,2 m)	82	6,3	6/10	1200-1300	5 (5,1 – 6,5)
2000	29/4	5	0,46 (4,2 m*)	73	6,6	14/9	1050	5 (4,0 – 7,0)

Tabell 1

Oppsummering av datagrunnlag for utrekning av massebalansen på Jostefonn. Stakar (vår) viser samla tal for stakar som var synleg om våren og kjerneboringar gjort for å sette ut nye stakar. For tettleik er snødjup vist i parentes (* tettleik ikkje målt til SO). Dersom det ligg nysnø på breen ved minimumsmåling vil snølinehøgda vere ukjent. Stakar (haust) viser tal på stakeposisjonar som vart målt med variasjonsbredda i endring i stakelengde i løpet av sommaren i parentes.

I 1997 var det gode sonderingsforhold over heile breen. Ved minimumsmålingane var det berre på austsida av Sundfjordbjørnen og ved stake 40 at det låg att snø frå siste vinter. I 1998 og 1999 var det gode sonderingsforhold over heile breen. Ved minimumsmålingane i 1998 var det ikkje nysnø på breen, medan det i 1999 låg nysnø ned til om lag 1200 moh., I 2000 var det gode sonderingsforhold over heile breen med unntak av området rundt stake 50. Ved minimumsmåling låg det nysnø ned til om lag 1300 moh. Hausten 2000 var uvanleg varm slik at smeltinga heldt fram etter minimumsmåling. Denne smeltinga er ikkje inkludert i utrekna sommar- og nettobalanse.

Resultat

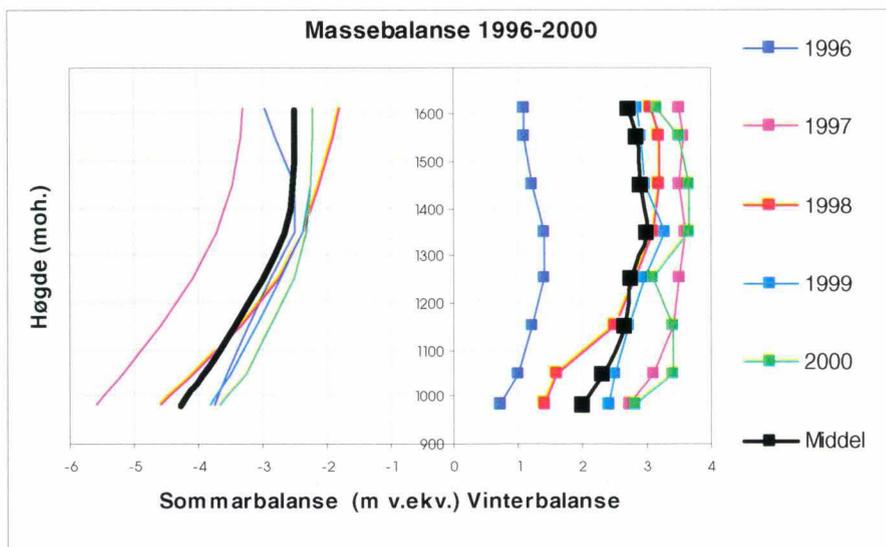
Punktverdiar for vinter- og sommarbalansen vert plotta mot høgde i eit diagram. Representative kurver for høgdefordelinga vert trekt manuelt (fig. 4 og 5). Frå disse kurvene vert middelerdiar for 100 meters høgdeintervall funne (vedlegg 1). Dei årlege resultatata er vist i tabell 2 medan middelerdiar for heile brefeltet er vist i figur 6. Uvissa i utrekna massebalanse er vanskeleg å estimere, men under rimeleg gode forhold reknar vi med at uvissa i vinterbalansen er i storleiken $\pm 0,2$ m v.ekv., medan uvissa i sommar- og nettobalansen er i storleiken $\pm 0,3$ m v.ekv.

Vinterbalansen

Vinterbalansen varierte mellom 1,2 m v.ekv. i 1996 og 3,5 m v.ekv. i 1997 med ein middelerdi på 2,78 meter. Vinterbalansen si høgdefordeling i 1996-2000 er vist i figur 4. Mykje snø akkumulerer i le av Sundfjordbjørnen slik at dei høgste verdiane er å finne mellom 1300 og 1500 moh. Vinterbalansen var langt mindre i 1996 enn i dei andre åra.

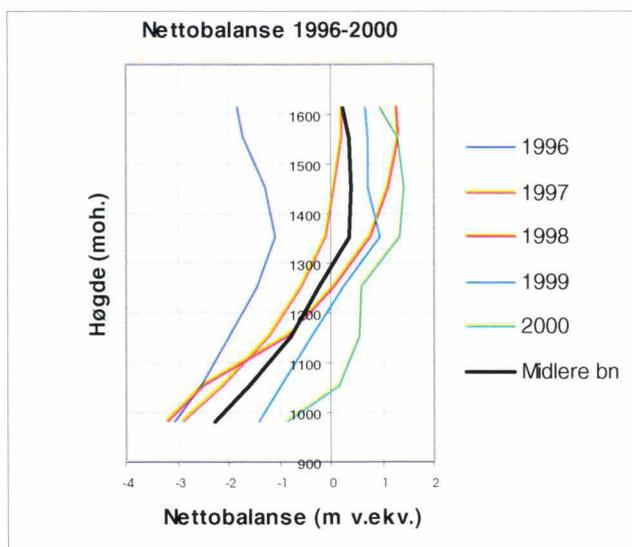
Sommarbalansen

Sommarbalansen varierte mellom -2,5 m v.ekv. i 2000 og -3,9 m v.ekv. i 1997 med ein middelerdi på -2,83 m v.ekv. Sommarbalansen var vesentleg høgare i 1997 enn i dei andre åra som var temmeleg like (-2,5 til -2,7 m v.ekv.) (tab. 2). Kurveforma i 1996 avvik frå dei andre kurvene ved at sommarbalansen aukar mot toppen (fig. 4). Sjølv om dette er unormalt kan vi ikkje utelukke at det er riktig.



Figur 4

Vinter- og sommarbalansen si høgdefordeling på Jostefonn i 1996-2000.



Figur 5

Nettobalansen si høgdefordeling på Jostefonn i 1996-2000. Likevektslinehøgda (ELA) vert bestemt som høgda der nettobalansekurva viser at $b_n = 0,0$ m v.ekv. For middelveidikurva er ELA om lag 1290 moh.

Nettobalansen

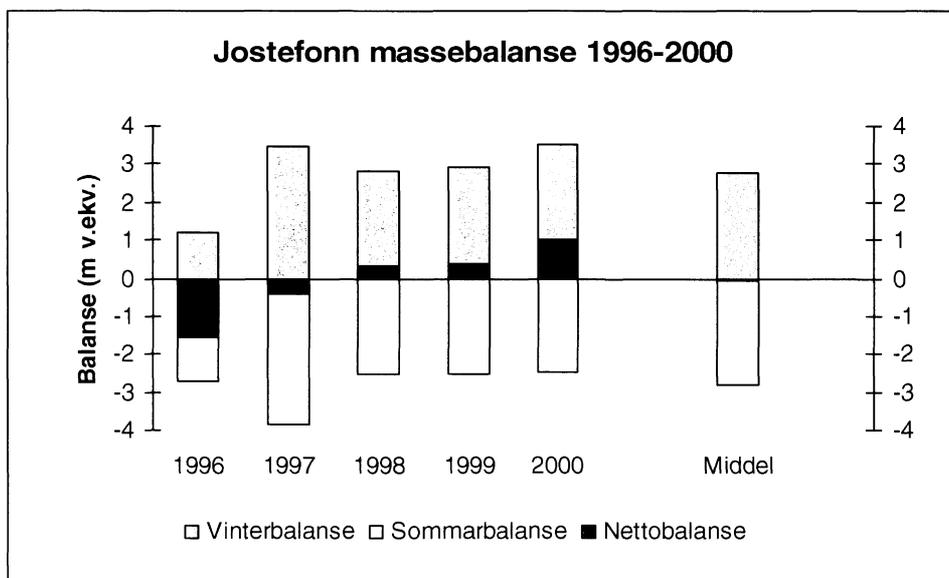
Nettobalansen varierte mellom $-1,5$ m v.ekv. i 1996 og $+1,0$ m v.ekv. i 2000 med ein middelveidi på $-0,05$ m v.ekv. (tab. 2). Massebalansen har med andre ord vore svakt negativ i perioden. Det undersøkte feltet har mista masse tilsvarande eit vasslag på $0,25$ m, og det tilsvarer 1 mill m^3 vatn. Ut ifrå nettobalansekurvene (fig. 5) er likevektslinehøgda (ELA) bestemt. I 1996 smelta all vintersnøen vekk slik at ELA låg over toppen av breen. I 2000 var det berre nedst på bretungene og i brefallet mot Vetlefjordbreen at blåis var eksponert. Berre 10 % av arealet var snøfritt. Ut ifrå ELA og breen si høgde-arealfordeling kan areal over likevektslinehøgda (AAR) reknast ut.

Når breen er i balanse ($b_n=0$) er AAR om lag 70 %. Den midlare nettobalansekurva for 1996-2000 har ELA = 1290 moh. Denne høgda tilsvarar toppen av brefallet mot Vetlefjordbreen, og høgda for grensa mellom blåis og firn. For Jostefonn er då AAR om lag 73 %.

År	b_v (m)	b_s (m)	b_n (m)	ELA (moh.)	AAR (%)
1996	1,19	-2,72	-1,53	>1620	0
1997	3,45	-3,87	-0,42	1400	52
1998	2,84	-2,54	0,30	1250	75
1999	2,92	-2,54	0,38	1200	79
2000	3,49	-2,47	1,02	1050	90
Middel 1996-2000	2,78	-2,83	-0,05	1290	73

Tabell 2

Spesifikk vinterbalanse (b_v), sommarbalanse (b_s), nettobalanse (b_n), likevektslinehøgde (ELA) og arealandel over ELA (AAR) på den målte delen av Jostefonn i perioden 1996-2000. Middelerdi ELA er rekna ut med $ELA_{1996}=1620$ moh.



Figur 6

Vinter-, sommar- og nettobalansen på den undersøkte delen av Jostefonn (fig. 3) i perioden 1996-2000. Middelerdien for vinterbalansen var 2,78 m v.ekv., medan midlare sommarbalanse var -2,83 m v.ekv. Resultata av målingane vert dermed at den undersøkte delen av Jostefonn har vore i balanse i 5-års perioden ($b_n = -0,05$ m v.ekv.).

Lufttemperatur

Nedre og Øvre Svartevassvatn (884 og 968 moh.)

Sogn og Fjordane Energiverk måler lufttemperatur ved demninga på Nedre Svartevassvatnet og lukehuset ved Øvre Svartevassvatnet (fig. 1). Stasjonane er registrert i NVE si hydrologiske database med stasjonsnummer 78.6.0 (Øvre Svartevassvatnet) og 78.7.0 (Nedre Svartevassvatnet). Data vert overført til og lagra ved Mel Kraftverk. Målingane starta opp i 1989 med lagring av døgnverdiar til og med 1991, to verdiar pr. døgn frå 1992 til 1995, og timeverdiar etter 26. november 1995. Ein del driftsfeil gjer at det er mange hol i dataseriane.

Fjærland-Skarestad

Næraste klimastasjon til Jostefonn er Fjærland – Skarestad (stasjonsnummer 55840, 10 moh.) om lag 10 km aust for Jostefonn. Denne stasjonen har vore i drift sidan 1954. Vinternedbør (oktober-april) og sommarmiddeltemperatur (juni-september) er vist i tabell 3.

	Vinternedbør (mm)	Sommartemperatur (°C)
1996	972	12,8
1997	1769	14,8
1998	1362	13,1
1999	1690	13,7
2000	1785	13,0
1961-90	1332	12,4
1990-99	1589	13,0

Tabell 3

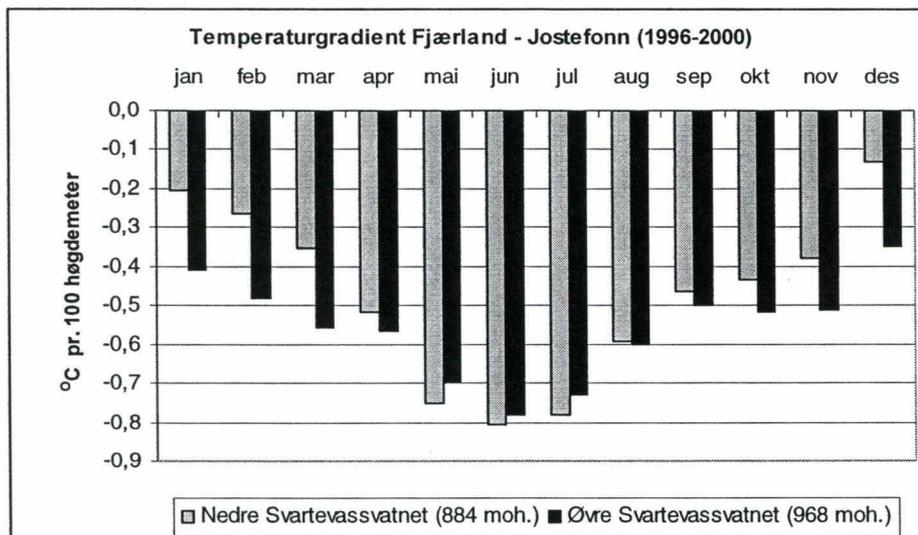
Vinternedbør (sum for perioden oktober-mai) og sommartemperatur (middelverdi for juni-september) for klimastasjon Fjærland-Skarestad. Vinternedbøren i 1996 var vesentlig mindre enn i dei fire andre åra, medan sommartemperaturen i 1997 var vesentleg høgare enn i dei andre åra. Dette samsvarer med svært liten vinterbalanse i 1996 og høg sommarbalanse i 1997 (tab. 2).

Temperaturgradient Fjærland - Jostefonn

Med temperaturmålingar i fleire høgder kan temperaturgradientar reknast ut. Høgdeforskjellen mellom Fjærland - Skarestad og målestasjonane ved Nedre og Øvre Svartevassvatnet er 874 og 958 meter, medan høgdeforskjellen mellom Fjærland – Skarestad og toppen av Jostefonn er om lag 1610 meter.

Midlare temperaturgradient for kvar måned mellom Fjærland – Skarestad og Nedre og Øvre Svartevassvatnet er rekna ut for perioden desember 1995-desember 2000 (fig. 7). Målingane viser at temperaturgradienten varierer mykje gjennom året og er

størst om sommaren. Dette skuldast til dels at kaldluft kan samlast i dalføre i klarvørsperiodar om vinteren. Sidan Nedre og Øvre Svartevassvatnet også ligg nede i eit dalføre, kan midlare temperaturgradient for vintermånadane mellom Fjærland – Skarestad og toppen av Jostefonn truleg vere enda mindre. Midlare temperaturgradient var $-0,51\text{ }^{\circ}\text{C}/100\text{ moh.}$



Figur 7

Månadleg temperaturgradient mellom klimastasjon Fjærland – Skarestad (DNMI, stasjonsnummer 55840, 10 moh.) og lufttemperaturstasjonane Nedre og Øvre Svartevassvatnet (SFE).

Høgdeprofilering

Eit lengdeprofil mellom stakane 50, 40 og 30 vart målt inn 21. juli og 14. september 2000. Målingane vart gjort med to Ashtech Z-Surveyor to-fase GPS-mottakere. Målingane vart gjort kinematisk med måleintervall 2 sekund og referansemottakar plassert på fastpunkt C30T0020 (1486 moh.) om lag 1,5 km nordaust for stake 40 (fig.3). Det vart også målt på bretungene ved stake 10 og 20. Disse profildataene kunne ikkje korrigerast med referansedata pga. batterisvikt på referansemottakaren. Usikkerheita i grunnriss (1-5 meter) er imidlertid god nok til å bestemme frontposisjon for samanlikning med kart frå 1993.

Målingane i juli vart gjort i tilfelle det ikkje vart mogleg å måle i september. Målingane frå juli vert derfor ikkje nærare omtala.

Massebalanse rekonstruksjon

Med grunnlag i måleperioden 1996-2000 kan massebalansen for det målte brefeltet modellerast tilbake i tid. Her vert to uavhengige metoder nytta for å modellere massebalansen tilbake til 1962. Volumendring mellom 1966 og 1993 utrekna frå kartsamanlikning vert brukt til å verifisere modellresultata.

Volumendring 1966-93

Analysen er tidlegare omtala i NVE-Rapport nr 3-1998 "Volumendringer på Jostefonn 1966-93" (Andreassen, 1998).

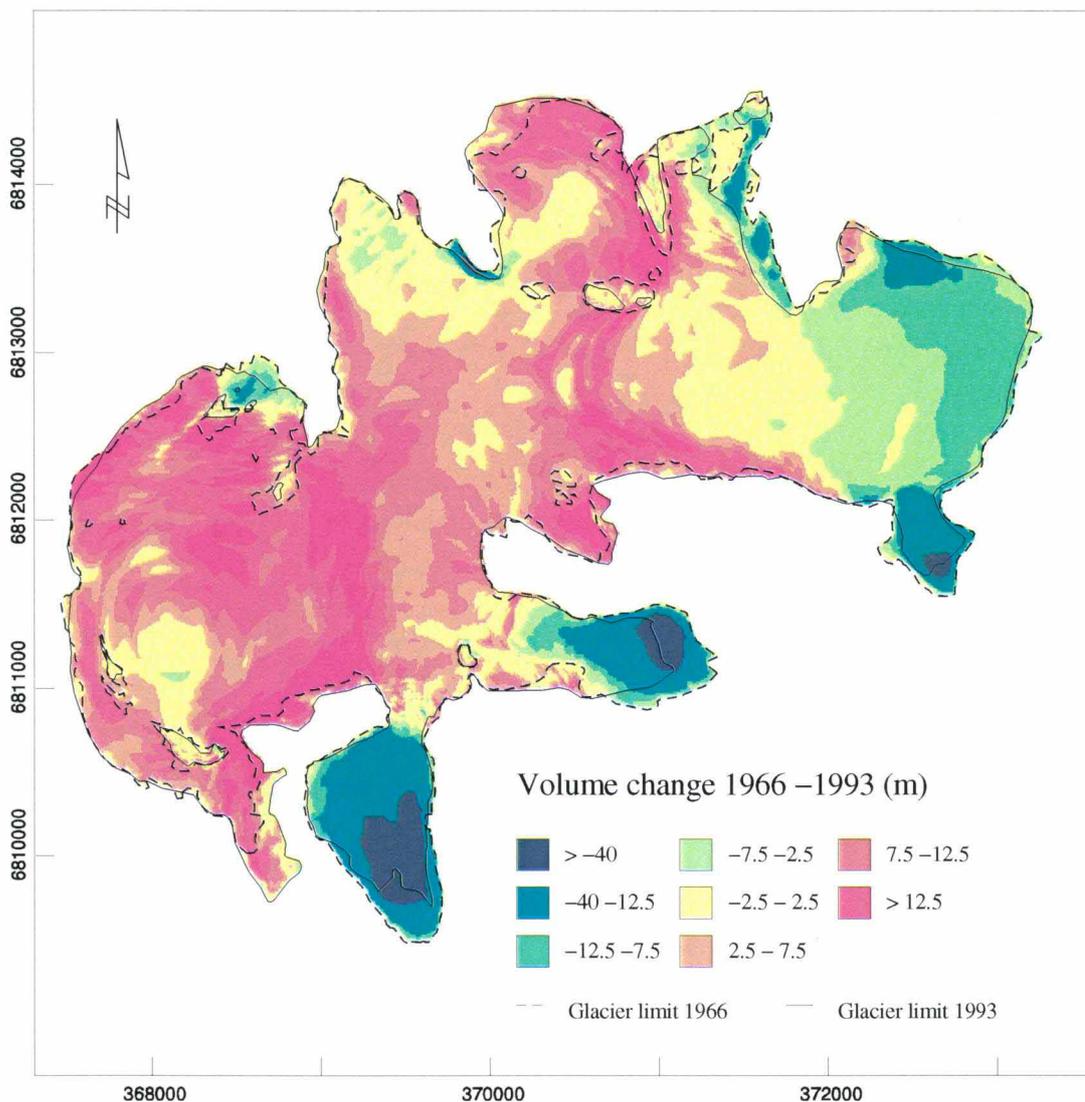
Ut ifrå nye topografiske kart frå 1966 og 1993 vart det generert høgderaster med rutestorleik 50 ganger 50 meter. Eit høgdeendringsraster vart så utrekna ved å trekke høgderaster frå 1966 ifrå høgderaster frå 1993. Dette rasteret vart så omrekna til eit vassekvivalentraster ved å multiplisere med tettleiken til is ($0,9 \text{ g/cm}^3$). Vi reknar då med at djupet til overgangen firn – is ikkje er vesentleg endra (om lag 30 meter) slik at endringar i terrenghøgde skuldast endring i tjukkleiken til islaget under 30 meter djup, og ikkje vesentlege forskjellar i akkumulasjonsforholda i åra før flyfotograferinga. Ut ifrå vassekvivalentrasteret vart så midlare og total volumendring utrekna, og kart som viser høgdeendring generert (fig. 8).

Heile breen hadde auka volumet med 8 ± 7 mill. m^3 v.ekv. som tilsvarar $0,6 \pm 0,5$ meter jamt fordelt over heile breen ($12,5 \text{ km}^2$). Det viser at breen sitt volum ikkje er vesentleg endra i perioden. Det hadde likevel vore store lokale endringar. Dei tre sørvendte Bretungene har minka 200-400 meter i lengde, og ved brefronten i 1993 var breoverflata senka over 40 meter. Samtidig hadde det vore pålagring i mange austvendte skråningar.

I rapporten som omtala analysen av volumendringar (Andreassen, 1998) vart volumendringa på Jostefonn samanlikna med målingar frå andre brear i Sør-Norge. Kystnære brear som Ålfotbreen og Nigardsbreen har hatt ei vesentleg volumauke i perioden 1966-93 (frå massebalansemålingar), medan brear i Jotunheimen som Storbreen, Hellstugubreen og Gråsubreen har hatt negativ volumendring. Harbardsbreen i Breheimen og Rembesdalskåka, ein sørvestleg utløpar frå Hardangerjøkulen som drenerer til Sima Kraftverk i Eidfjord, ligg om lag like langt frå kysten. Rembesdalskåka har hatt volumauke, medan Harbardsbreen har minka. Forskjellen her skuldast i stor grad høgdeforskjell ved at middelhøgda til Rembesdalskåka er om lag 1750 moh., medan middelhøgda til Harbardsbreen er om lag 1575 moh. Jostefonn har ikkje hatt den volumauken som vi har sett på Ålfotbreen, Nigardsbreen og mange andre utløparar frå Jostedalsbreen og andre platåbrear på Vestlandet. Middelhøgda til Jostefonn er relativt lav, - om lag 1375 moh. Fig. 8 viser at dei høgare delane av breen har vokse medan det spesielt er dei lavaste områda som gir areal- og volumtap. Dette medfører at middelhøgda for breen aukar, og vil på sikt,

dersom denne utviklinga fortsett, gi ein meir positiv spesifikk massebalanse på Jostefonn.

Feltet som var omfatta av massebalansemålingane minka derimot med 12 ± 2 mill. m^3 vassekvivalentar som tilsvarar $-3,1 \pm 0,5$ meter jamt fordelt over feltet ($3,8 \text{ km}^2$). Dette feltet har hatt ei meir negativ utvikling hovudsakleg pga. det store volumtapet på bretungene. Flybiletta frå 1966 er tekne midt på sommaren (21. juli). Smelting mellom 21. juli og slutten av smeltesesongen i 1966 er estimert til 1,8 m v.ekv. ut ifrå ei vurdering av sommarbalanse, nedbør og avrenning frå Ålftobreen og Nigardsbreen sommaren 1966 (Pytte, 1967) og modellert sommarbalanse på Jostefonn i 1966 (omtala seinare). Det er ikkje rekna med smelting etter 27. august 1993. Kumulativ nettobalanse 1966-93 for det undersøkte brefeltet vart dermed om lag $-1,3 \pm 0,5$ m v.ekv.



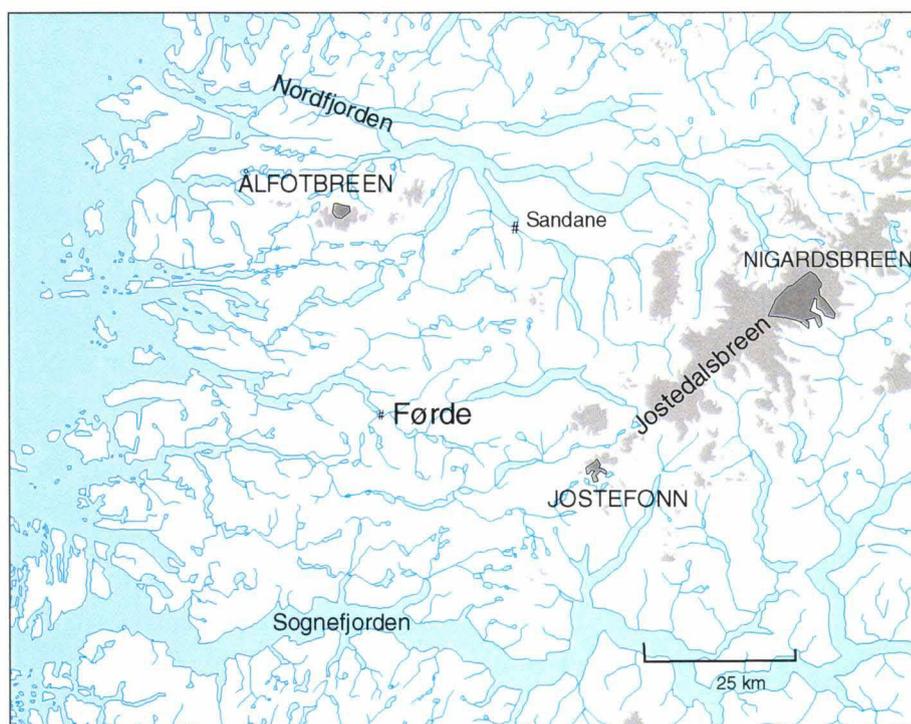
Figur 8

Kart over areal- og høgdeendring (vassekvivalentar) på Jostefonn i perioden 1966-93. Blågrønne farger viser negative endringar, gult viser små endringar, og røde farger viser positive endringar (frå NVE-Rapport 3-1998).

Massebalanse modellert med resultat frå andre brear

Utrekna massebalanse vert rapportert som volum og som spesifikke verdiar, det vil sei midla over brearealet. Spesifikk massebalanse kan dermed samanliknast frå bre til bre for å vise forskjellar og samvariasjon mellom brefelt. Ved regresjonsanalyse kan grad av samvariasjon mellom ulike brefelt vurderast, og resultat av regresjonsanalyse kan brukast til å forlenge dataseriar ut ifrå målingar andre stader.

Massebalansen har vore målt på Nigardsbreen ($61^{\circ}42'N$, $7^{\circ}08'Ø$) på austsida av Jostedalsbreen sidan 1962 og på Ålfotbreen ($61^{\circ}45'N$, $5^{\circ}40'Ø$) i Nordfjord sidan 1963. Ålfotbreen ($4,35 \text{ km}^2$, $890 - 1380 \text{ moh.}$) ligg om lag 55 km nordvest for Jostefonn medan Nigardsbreen ($47,8 \text{ km}^2$, $320 - 1960 \text{ moh.}$) ligg 45 km nordaust for Jostefonn (fig. 9). Om lag 55 % av arealet på Nigardsbreen ligg høgare enn toppen av Jostefonn. Dessutan er breen om lag 12 gonger større enn Jostefonn. Ålfotbreen er om lag like stor som den undersøkte delen av Jostefonn, men ligg vesentleg lavare enn Jostefonn. Over 50 % av Jostefonn ligg høgare enn toppen av Ålfotbreen. I forhold til avstand frå kysten ligg Jostefonn mellom Ålfotbreen og Nigardsbreen.



Figur 9

Kart som viser lokaliseringa av Jostefonn, Ålfotbreen og Nigardsbreen.

Måleperioden sin representativitet

For å vurdere måleperioden sin representativitet er perioden samanlikna med lengre periodar ved brear med lange måleseriar. På Ålfotbreen var vinterbalansen i 1996-2000 mellom 48 og 147 % av gjennomsnittet for måleperioden 1963-2000. På Nigardsbreen var vinterbalansen mellom 59 og 141 % av middelverdien for 1962-

2000. Ut ifrå dette ser det ut til at perioden dekker variasjonsbredda i vinterbalansen godt.

Sommarbalansen på Ålfotbreen i perioden 1996-2000 var mellom 105 og 135 % av middelveidien for perioden 1963-2000, medan sommarbalansen på Nigardsbreen i perioden 1996-2000 var mellom 80 og 136 % av gjennomsnittet for perioden 1962-2000. Dette viser at perioden 1996-2000 representerer variasjonsbredda i sommarbalansen på Nigardsbreen rimeleg godt, medan perioden hadde større sommarbalanse enn normalt på Ålfotbreen og dermed ikkje representerer variasjonsbredda i perioden 1963-2000.

Regresjonsanalyse

I analysen er spesifikk vinter-, sommar- og nettobalanse målt på Jostefonn i perioden 1996-2000 samanlikna med dei samme parametranne på Ålfotbreen og Nigardsbreen. Figur 10 viser balanseverdier, korrelasjonskoeffisientar og linære regresjonslikningar. Korrelasjonskoeffisientar og standardfeil for regresjonslikningane er vist i figur 10. Korrelasjonskoeffisienten er relativt høg for alle samanlikningane med unntak av sommarbalansen på Jostefonn og Ålfotbreen. Ålfotbreen gir best korrelasjon for nettobalansen, medan Nigardsbreen gir best korrelasjon for vinter- og sommarbalansen.

Ut ifrå regresjonslikningar og balanseverdier målt på Nigardsbreen og Ålfotbreen kan årlege balanseverdier for Jostefonn reknast ut for perioden 1963-1995 som er felles for Ålfotbreen og Nigardsbreen. Sommarbalansen på Jostefonn vert ikkje modellert frå sommarbalansen Ålfotbreen/Hansebreen pga. dårleg korrelasjon. Modellar basert på regresjonslikningane mellom Jostefonn og dei to andre breane gir forskjellige utviklingar for massebalanseparametranne på Jostefonn i perioden. Dei ulike modellresultata vert samanlikna nedanfor.

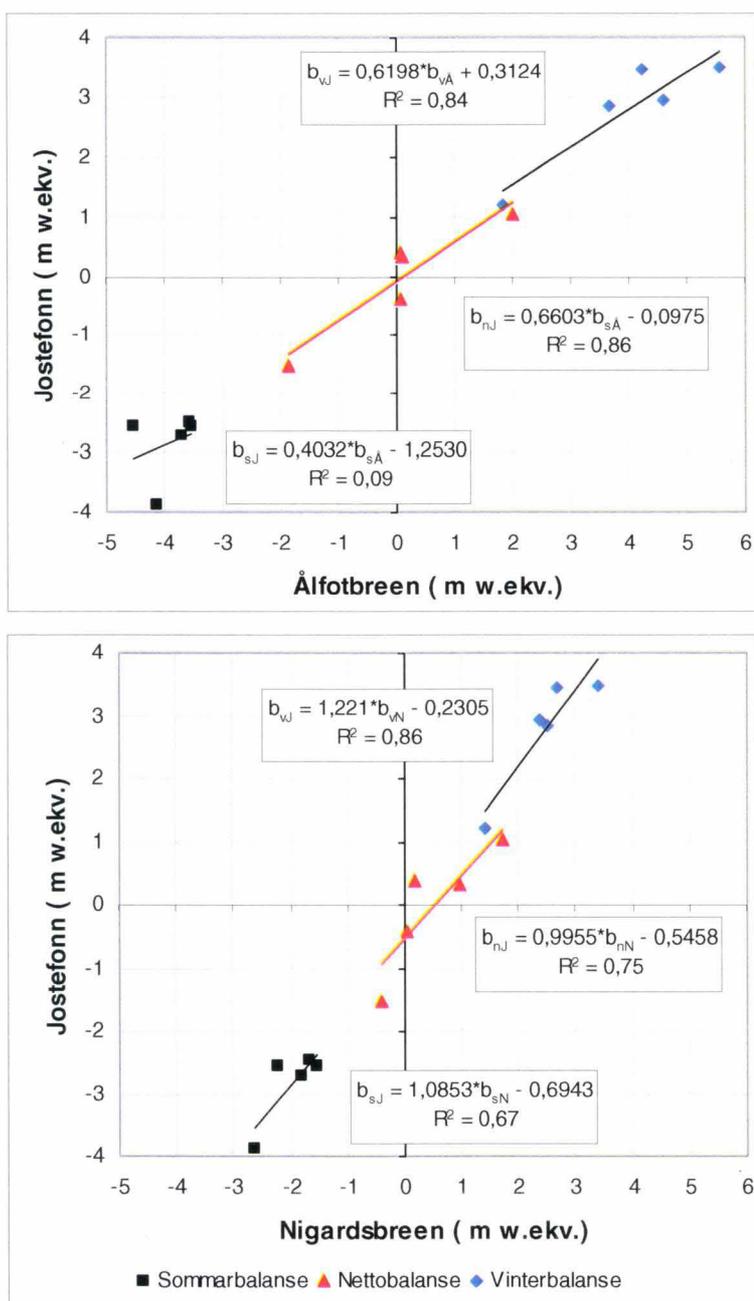
Vinterbalansen

Det er god korrelasjon for begge breane, og modellane gir svært like gjennomsnittsverdier. Midlare modellert vinterbalanse på Jostefonn for perioden 1963-95 vart 2,6 m v.ekv. (Ålfotbreen) og 2,7 m v.ekv. (Nigardsbreen).

Sommarbalansen

Det er relativt god korrelasjon for Nigardsbreen, men svært dårleg korrelasjon for Ålfotbreen. Midlare sommarbalanse på Jostefonn modellert frå Nigardsbreen vart -2,8 m v.ekv.

Sommarbalansen på Jostefonn vart også estimert som differansen mellom vinterbalanse og nettobalanse modellert frå Ålfotbreen for samanlikning med modellresultata basert på Nigardsbreen. Midlare sommarbalanse estimert frå Ålfotbreen vart -2,4 m v.ekv. Forskjellen vart dermed relativt stor. Det er spesielt i perioden 1975-85 at modellresultata spriker.



Figur 10

Linær regresjon mellom vinter-, sommar- og nettobalansen på Jostefonn og tilsvarende balanseverdier på Ålfotbreen (øvt) og Nigardsbreen (nedst) i perioden 1996-2000.

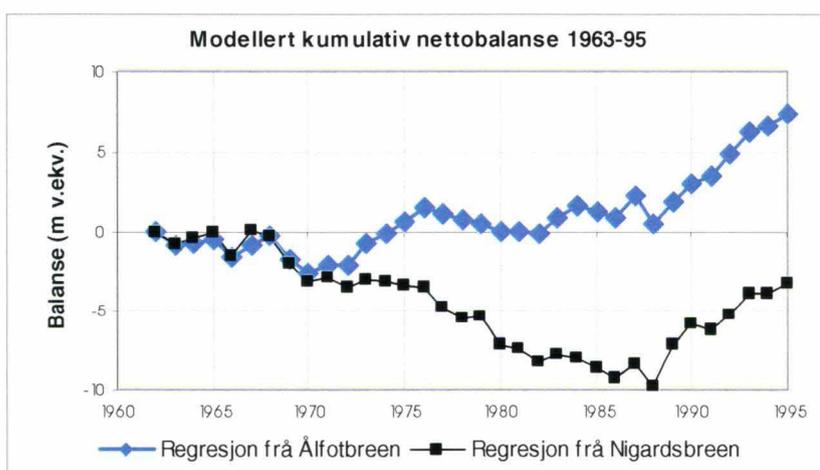
Nettobalansen

Det er relativt god korrelasjon for begge breane. For perioden 1963-95 vart midlare modellert nettobalanse på Jostefonn 0,22 m v.ekv. for modellen basert på Ålfotbreen, og $-0,10$ m v.ekv. for modellen basert på Nigardsbreen. Modellresultata spiker mest i perioden 1972-84 då Ålfotbreen hadde større tilvekst enn Nigardsbreen (fig. 11). Den store forskjellen mellom modellresultata basert på målingar på Ålfotbreen og Nigardsbreen gjer det naudsynt å samanlikne med andre typar data for å finne den beste modellen.

	Vinterbalanse		Sommarbalanse		Nettobalanse	
	r ²	s.f. (m v.ekv.)	r ²	s.f. (m v.ekv.)	r ²	s.f. (m v.ekv.)
Ålfotbreen	0,85	0,43	0,09	0,65	0,86	0,41
Nigardsbreen	0,86	0,41	0,67	0,39	0,75	0,56

Tabell 4.

Korrelasjonskoeffisient (r^2) for samvariasjon mellom spesifikk massebalanse målt på Jostefonn og to andre brear i perioden 1996-2000 (5 år), og standardfeil (s.f.) for balanseverdi på Jostefonn estimert med regresjonslikningar vist i figur 10.



Figur 11

Kumulativ nettobalanse på Jostefonn 1962-95 modellert frå målt nettobalanse på Ålfotbreen og Nigardsbreen. Legg merke til utviklinga i perioden 1971-84. I periodane 1962-71 og 1984-95 er det små forskjellar.

Massebalanse modellert frå nedbør og temperatur

Snøakkumulasjon og smelting av snø og is kan modellarast ut ifrå målt temperatur og nedbør og parametarar som nedbør- og temperaturgradientar, og graddagsfaktorar for snø- og issmelting. Graddagsfaktorar gir ein empirisk samanheng mellom døgnmiddeltemperatur og smelting av snø og is. Graddagsfaktoren er normalt høgare for is enn for snø. Standardverdiar for parametranne kan brukast, men modellresultata vert normalt betre hvis målte verdiar for snøakkumulasjon og smelting kan brukast til kalibrering av modellen. Beregningsrutinene er henta frå HBV-modellen si snørutine. Spesifikk vinter-, sommar- og nettobalanse vert rekna ut for kvart høgdeintervall for kvart år (1. oktober – 30. september). Kombinert med arealfordelingskurva vert spesifikk massebalanse for heile feltet rekna ut for kvart år.

Modellen er basert på verknader av høgdegradientar. Verknader av vind slik som vinddrift og lesideakkumulasjon, og smelting som følgje av konveksjon (vind bles varm luft mot breen) og kondensasjon (vind bles fuktig luft mot breen), er ikkje inkludert.

Modellkalibrering 1995-1999

Modellen er kalibrert med temperatur- og nedbørdata frå den meteorologiske stasjonen Fjærland-Skarestad i perioden 1995-99 (fig. 1 for lokalisering). Meteorologiske data for 2000 var ikkje tilgjengeleg. Månadsmiddel for temperaturgradienten mellom Fjærland og Nedre og Øvre Svartevassvatnet for 1996-2000 er brukt (fig. 7). Tre andre modellparametrar vart justert slik at midlare modellert vinter- og sommarbalanse (4 år) vart lik midlare målt vinter- og sommarbalanse for disse fire åra. Kalibreringa resulterte i verdiar for nedbørgradient (+4,3 % pr 100 m), smeltefaktor for snø (4,25 mm vatn pr. graddøgn) og smeltefaktor for is (5,7 mm vatn pr. graddøgn) som vart nytta til å modellere massebalansen for feltet med massebalansemålingar på Jostefonn i perioden 1963-95.

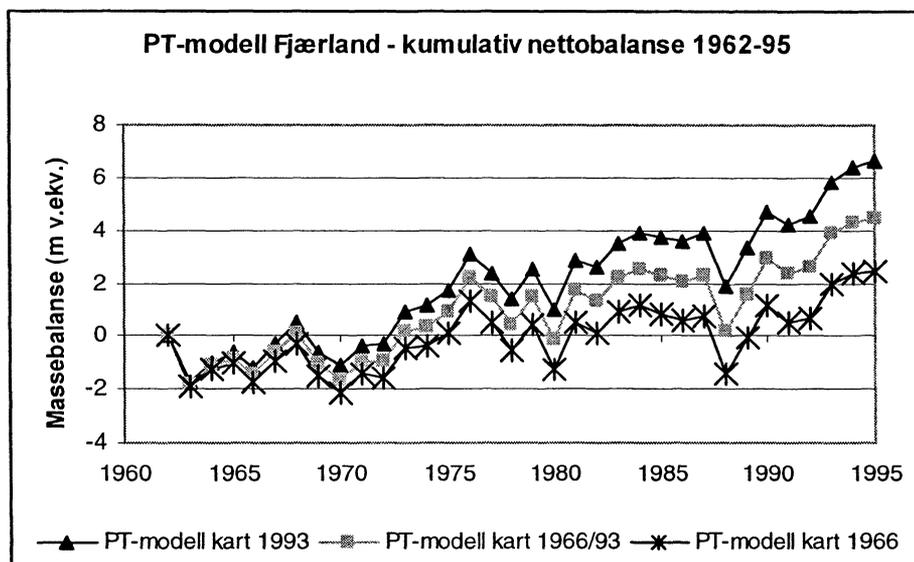
Massebalanse 1963-95

Modellen vart køyrd med temperatur- og nedbørdata for Fjærland-Skarestad frå 1. oktober 1962 til 1. oktober 1995. For kvart år vart vinter-, sommar- og nettobalanse utrekna for åtte høgder mellom 980 og 1610 moh., og volumverdiar for høgdeintervalla vart utrekna ut ifrå ei arealfordelingskurve. Kumulativ nettobalanse for perioden 1962-95 utrekna med tre alternative arealfordelinger er vist i figur 12. Arealfordelinga frå 1993 (3,8 km²) gir midlare nettobalanse +0,20 m v.ekv., medan arealfordelinga frå 1966 (3,9 km²) gir +0,07 m v.ekv. Midlare arealfordelingskurve gir midlare nettobalanse +0,14 m v.ekv. Årsaka til forskjellen ligg i ein reduksjon i areal lengst nede på breen der Bretungene har smelta tilbake, og ein liten auke i areal på øvre del av breen. Den midla høgdefordelingskurva som truleg samsvarer best med faktiske forhold, ga midlare vinterbalanse for perioden 1963-95 på 2,6 m v.ekv., og midlare sommarbalanse på -2,5 m v.ekv.

Massebalanse 1962-95

Spesifikk vinter-, sommar- og nettobalanse er modellert for perioden 1962-95 (33 år) for den delen av Jostefonn som var omfatta av massebalansemålingar i perioden 1996-2000. Midlare spesifikk vinterbalanse for perioden er 2,6 – 2,7 m v.ekv. for dei tre ulike modellane. For sommarbalansen gir regresjon frå Ålfotbreen og PT-modellen frå Fjærland-Skarestad -2,4 og -2,5 m v.ekv., medan regresjon frå Nigardsbreen gir -2,8 m v.ekv. Dermed vert midlare nettobalanse på Jostefonn positiv for regresjonen frå Ålfotbreen og PT-modellen frå Fjærland-Skarestad, medan regresjonen frå Nigardsbreen gir negativ nettobalanse. Modellane gir dermed forskjellig utvikling for kumulativ nettobalanse på Jostefonn (fig. 13). Samanlikninga av modellert kumulativ nettobalanse for perioden 1966-93 med volumendring frå kart frå 1966 og 1993 viser at nettobalanse modellert ved regresjon frå massebalansedata

på Nigardsbreen stemmer best med resultat frå kartsamanlikninga (tab. 5). Sjølv om dei to andre modellane gir forholdsvis like resultat gir dei langt meir positive estimat for perioden 1966-93 enn det kartsamanlikninga tyder på. Vi reknar derfor regresjonen frå Nigardsbreen for å vere den beste modellen for massebalansen på delfeltet på Jostefonn for perioden 1962-95. Årlege verdiar for perioden er gitt i tabell 6. Vinterbalansen varierer mellom 1,6 og 4,7 m v.ekv., med ein middelværdi på 2,71 m v.ekv. Sommarbalansen varierer mellom -1,4 og -4,2 m v.ekv. med ein middelværdi på -2,77 m v.ekv. Nettobalansen varierer mellom -1,8 (1969) og +2,6 (1989) m v.ekv. med ein middelværdi på -0,05 m v.ekv.



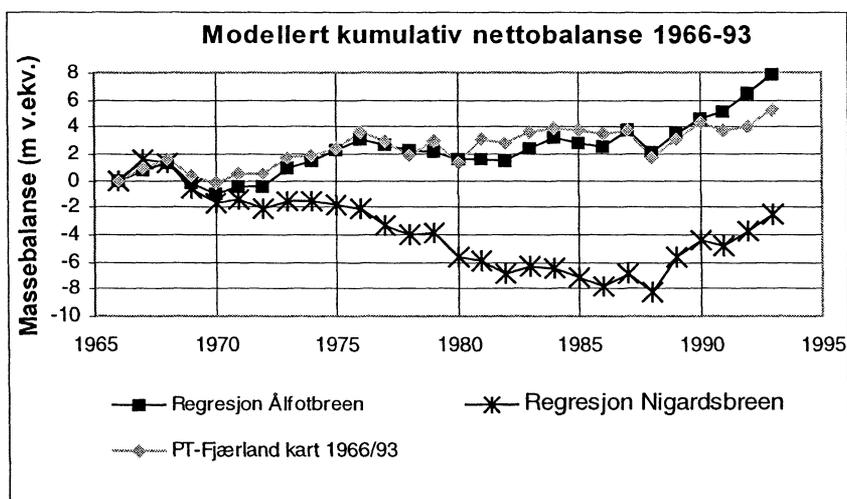
Figur 12

Modellert kumulativ nettobalanse 1962-95 på den delen av Jostefonn der massebalansen vart målt i perioden 1996-2000. Modellen er basert på målt nedbør (P) og temperatur (T) ved DNMI sin klimastasjon Fjærland – Skarestad. Dei ulike kurvene viser verknaden av små endringar i arealfordeling brukt i utrekning av årleg spesifikk massebalanse.

Kumulativ nettobalanse 1966-93 delfelt Jostefonn (3,8 km ²)	
Lineær korrelasjon frå Ålfotbreen	+7,8 m v.ekv.
Lineær korrelasjon frå Nigardsbreen	-2,4 m v.ekv.
PT-modell Fjærland m/ Jostefonn kart 1966/93	+5,3 m v.ekv.
Volumendring frå kartsamanlikning	-1,3 m v.ekv.

Tabell 5

Samanlikning av ulike estimat for massebalansen i perioden 1966-93 på delfeltet med massebalansemålingar.



Figur 13

Kumulativ nettobalanse 1966-93 modellert med lineær regresjon frå andre massebalanseseriar, og frå meteorologiske data frå Fjærland – Skarestad.

	Vinterbalanse (m v.ekv.)	Sommarbalanse (m v.ekv.)	Nettobalanse (m v.ekv.)
1962	3,3	-1,4	1,7
1963	2,1	-3,0	-0,8
1964	2,4	-2,0	0,4
1965	2,6	-2,2	0,4
1966	1,9	-3,6	-1,5
1967	3,9	-2,0	1,6
1968	3,1	-3,4	-0,3
1969	2,2	-4,2	-1,8
1970	1,9	-3,2	-1,1
1971	2,3	-2,1	0,3
1972	2,1	-2,9	-0,7
1973	2,7	-2,1	0,5
1974	2,3	-2,4	-0,1
1975	2,8	-3,1	-0,3
1976	3,3	-3,4	-0,1
1977	1,6	-3,2	-1,3
1978	2,4	-3,1	-0,7
1979	3,1	-2,9	0,2
1980	1,9	-3,9	-1,8
1981	2,4	-2,7	-0,2
1982	2,1	-3,3	-1,0
1983	3,5	-2,8	0,5
1984	2,8	-3,0	-0,2
1985	1,9	-2,7	-0,6
1986	1,7	-2,6	-0,6
1987	3,1	-2,1	0,9
1988	2,5	-4,1	-1,4
1989	4,7	-1,6	2,6
1990	4,1	-2,6	1,2
1991	2,2	-2,6	-0,3
1992	3,6	-2,4	1,0
1993	3,6	-2,1	1,3
1994	2,6	-2,6	0,0
1995	3,6	-2,8	0,6

Tabell 6

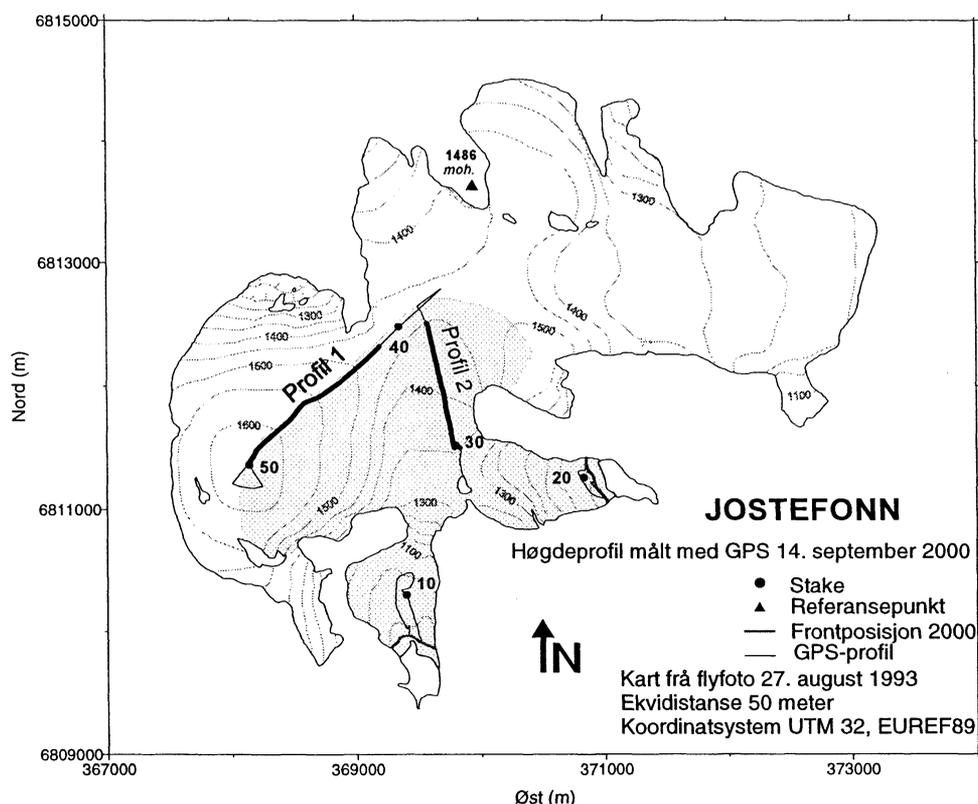
Spesifikk vinter-, sommar- og nettobalanse på Jostefonn i perioden 1962-95 modellert ved regresjon frå massebalansedata for Nigardsbreen. Standardfeil er estimert til 0,4 m v.ekv. for vinter- og sommarbalansen, og 0,6 m v.ekv. for nettobalansen (tab. 4). Midlare vinterbalanse er 2,71 m v.ekv., og midlare sommarbalanse er -2,77 m v.ekv. Midlare nettobalanse vart -0,05 m v.ekv.

Høgdeendring 1993-2000

Høgdeprofilering vart gjort for å kunne vurdere endring frå 1993 til 2000, og som eit grunnlag for eventuelle seinare målingar av høgdeendring. Dessutan vart delar av fronten i vatna framfor dei to brearmane målt inn for å vise eventuelle endringar. Profila er vist i figur 14.

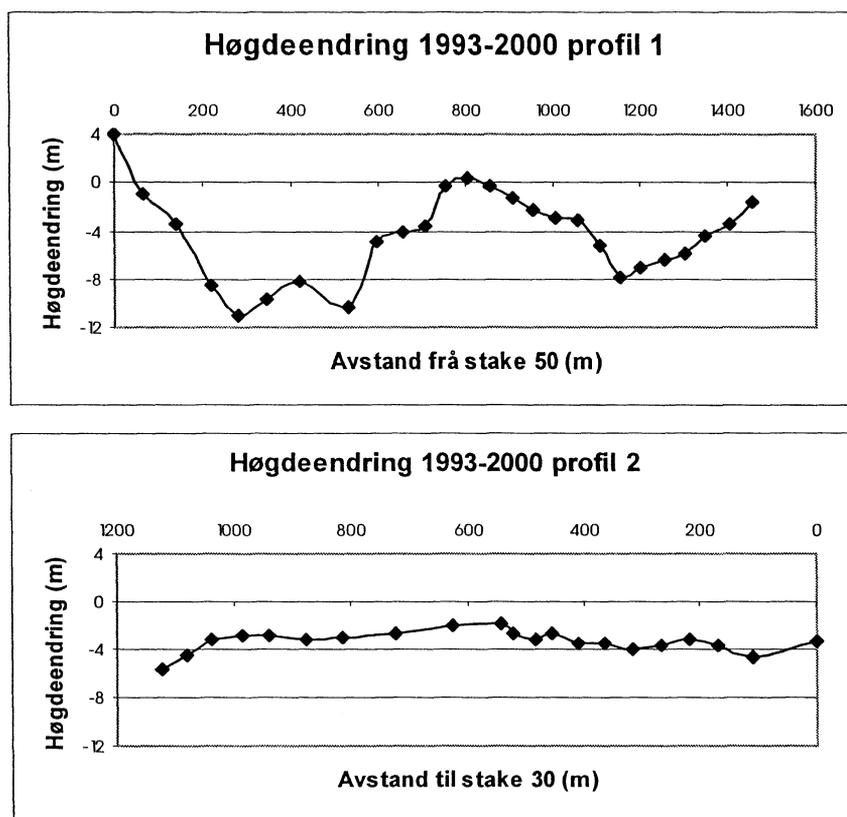
Resultat

GPS-data frå september 2000 er prosessert for å vise terrenghøgde langs profilet. Eit tilsvarande høgdeprofil er generert frå terrenghøgdeprofilen frå 1993. Berre i området ved stake 50 øvst på breen viste samanlikninga at breoverflata har vorte høgare i perioden. Samtidig var dette området det vanskelegaste å konstruere frå flybiletet frå 1993 pga. dårleg kontrast. Høgdeprofila ved stake 10 og 20 er usikre pga. manglande referansedata. I figur 15 er høgdeforskjellen mellom GPS-profilet og kartet frå 1993 langs utvalgte delar av GPS-profilet vist. Høgdeprofila målt på bretungene ved stake 10 og 20 viser også frontposisjonane. Ut ifrå innmålte posisjonar og fotografi frå 14. september 2000 er frontposisjonen estimert (fig. 14). Brefrontane har trekt seg 50-100 meter tilbake i løpet av perioden.



Figur 14

GPS-profil målt 14. september 2000. Fastpunkt 1486 moh. vart brukt som referanse. Eit profil frå stake 50 og nesten til stake 40 (profil 1), og eit som starta nedafor stake 40 (1450 moh.) og går til stake 30 (profil 2), er samanlikna med kart frå 1993 i figur 15.



Figur 15

Høgdeendring langs utvalgte profil mellom kart frå 27. august 1993 og GPS-målingar frå 14. september 2000.

Konklusjonar

Samanlikning av kart frå 1966 og 1993 viste at arealet hadde minka litt, og at bretungene på sørsida av breen hadde vorte 200 – 400 meter kortare. Lengre oppe hadde arealet auka noke. Ut ifrå karta vart volumendring for heile breen ($12,5 \text{ km}^2$) utrekna til $+0,6 \pm 0,5 \text{ m v.ekv.}$ Samanlikning med andre målte brefelt viser at Jostefonn har hatt ei mindre positiv massebalanseutvikling. Årsaka til dette er m.a. at Jostefonn ligg relativt lågt. Volumendring for brearmene som var omfatta av massebalansemålingane ($3,8 \text{ km}^2$) var $-3,1 \pm 0,5 \text{ m v.ekv.}$ Korrigert for smelting etter fotografering 21. juli 1966 var kumulativ nettobalanse for perioden 1966-93 $-1,3 \text{ m v.ekv.}$

Fem år med massebalansemålingar viser at vinter- og sommarbalansen på Jostefonn er mindre enn på Ålfotbreen, men større enn på Nigardsbreen. Dette harmonerer med at Jostefonn ligg høgare enn Ålfotbreen, men lågare enn Nigardsbreen.

Regresjonsanalyser viser at vinterbalansen på Jostefonn samvarierer godt med både Ålfotbreen og Nigardsbreen. Sommarbalansen på Jostefonn samvarierer rimeleg godt med sommarbalansen på Nigardsbreen, men dårleg med sommarbalansen på Ålfotbreen. Årsaka er også her truleg høgdeforholda som gjer at smeltesesongen på Ålfotbreen er vesentleg lengre enn på Nigardsbreen og truleg også på Jostefonn.

Nettobalansen på Jostefonn samvarierer også rimeleg godt med nettobalansen på Nigardsbreen og Jostefonn.

Ein nedbør-graddagsmodell (PT-modell) køyrd med nedbør- og temperaturdata frå Fjærland – Skarestad vart kalibrert for Jostefonn med vinter- og sommarbalansedata for perioden 1996-99 (4 år). Den kalibrerte modellen vart så køyrd for perioden 1966-93.

Resultata frå dei ulike modellane for perioden 1966-93 vart samanlikna med volumendring for perioden. Kumulativ nettobalanse for PT-modellen liknar resultata for regresjonslikningar frå Ålfotbreen, men var vesentleg meir positive enn resultata frå kartsamanlikninga og regresjonslikningar frå Nigardsbreen. Ut ifrå dette er regresjonslikningar basert på massebalansemålingar på Nigardsbreen rekna som beste modellen for massebalansen på Jostefonn (dvs. feltet omfatta av massebalansemålingane).

Profilering med GPS 14. september 2000 viste at breoverflata hadde senka seg (breen hadde vorte tynnare) langs dei utvalgte profila mellom 1993 og 2000. Innmåling av brefrontane til dei to Bretungene viste at brearmene hadde vorte over 50 meter kortare i løpet av 7 år.

Referansar

Andreassen, L.M.

1998: Volumendringer på Jostefonn 1966-93. NVE-Rapport nr 3/1998 (10 s.).

Kjøllmoen, B. (red.)

2000: Glasiologiske undersøkelser i Norge 1999. NVE-Rapport nr 2/2000 (140 s.).

Pytte, R.

1967: Glasio-hydrologiske undersøkelser i Norge i 1966. Rapport nr 2/67 fra Hydrologisk Avdeling, Vassdragsdirektoratet. (83 s.).

Østrem, G. & M. Brugman

1991: Glacier mass-balance measurements. A manual for field and office work.

National Hydrology Research Institute, Scientific Report No 4, Saskatoon, Canada.

Vedlegg 1

Vinter-, sommar- og nettobalansen si høgdefordeling på Jostefonn i 1996-2000.

Mass balance Jostefonn 1995/96 – traditional method							
Altitude (m a.s.l.)	Area (km ²)	Winter balance		Summer balance		Net balance	
		Measured 30th Apr 1996		Measured 22nd Sep 1996		Summer surface 1995 - 1996	
		Specific (m w.eqv.)	Volume (10 ⁶ m ³)	Specific (m w.eqv.)	Volume (10 ⁶ m ³)	Specific (m w.eqv.)	Volume (10 ⁶ m ³)
1600 - 1615	0,18	1,09	0,2	-0,33	-0,5	-1,86	-0,3
1500 - 1600	0,72	1,09	0,8	-2,80	-2,0	-1,71	-1,2
1400 - 1500	1,07	1,20	1,3	-2,50	-2,7	-1,30	-1,4
1300 - 1400	0,78	1,40	1,1	-2,50	-2,0	-1,10	-0,9
1200 - 1300	0,25	1,41	0,4	-2,85	-0,7	-1,44	-0,4
1100 - 1200	0,18	1,20	0,2	-3,20	-0,6	-2,00	-0,4
1000 - 1100	0,54	0,99	0,5	-3,55	-1,9	-2,56	-1,4
960 - 1000	0,09	0,70	0,1	-3,75	-0,3	-3,05	-0,3
960-1622	3,81	1,19	4,5	-2,81	-10,7	-1,63	-6,2

Mass balance Jostefonn 1996/97 – traditional method							
Altitude (m a.s.l.)	Area (km ²)	Winter balance		Summer balance		Net balance	
		Measured 26th Apr 1997		Measured 26th Sep 1997		Summer surface 1996 - 1997	
		Specific (m w.eqv.)	Volume (10 ⁶ m ³)	Specific (m w.eqv.)	Volume (10 ⁶ m ³)	Specific (m w.eqv.)	Volume (10 ⁶ m ³)
1600 - 1622	0,18	3,50	0,6	0,00	-0,6	0,20	0,0
1500 - 1600	0,72	3,55	2,6	-3,35	-2,4	0,20	0,1
1400 - 1500	1,07	3,50	3,7	-3,45	-3,7	0,05	0,1
1300 - 1400	0,78	3,60	2,8	-3,70	-2,9	-0,10	-0,1
1200 - 1300	0,25	3,50	0,9	-4,10	-1,0	-0,60	-0,2
1100 - 1200	0,18	3,40	0,6	-4,60	-0,8	-1,20	-0,2
1000 - 1100	0,54	3,10	1,7	-5,20	-2,8	-2,10	-1,1
960 - 1000	0,09	2,70	0,2	-5,60	-0,5	-2,90	-0,3
960-1622	3,81	3,45	13,1	-3,87	-14,7	-0,42	-1,6

Mass balance Jostefonn 1997/98 – traditional method							
Altitude (m a.s.l.)	Area (km ²)	Winter balance		Summer balance		Net balance	
		Measured 14th May 1998		Measured 23rd Sep 1998		Summer surface 1997 - 1998	
		Specific (m w.eqv.)	Volume (10 ⁶ m ³)	Specific (m w.eqv.)	Volume (10 ⁶ m ³)	Specific (m w.eqv.)	Volume (10 ⁶ m ³)
1600 - 1622	0,18	3,05	0,5	0,23	-0,3	1,25	0,2
1500 - 1600	0,72	3,20	2,3	-1,90	-1,4	1,30	0,9
1400 - 1500	1,07	3,20	3,4	-2,10	-2,2	1,10	1,2
1300 - 1400	0,78	3,10	2,4	-2,35	-1,8	0,75	0,6
1200 - 1300	0,25	2,80	0,7	-2,75	-0,7	0,05	0,0
1100 - 1200	0,18	2,50	0,5	-3,35	-0,6	-0,85	-0,2
1000 - 1100	0,54	1,60	0,9	-4,10	-2,2	-2,50	-1,4
960 - 1000	0,09	1,40	0,1	-4,60	-0,4	-3,20	-0,3
960-1622	3,81	2,84	10,8	-2,54	-9,7	0,30	1,1

Mass balance Jostefonn 1998/99 – traditional method

Altitude (m a.s.l.)	Area (km ²)	Winter balance		Summer balance		Net balance	
		Measured May 5 1999		Measured Oct 6 1999		Summer surfaces 1998 - 1999	
		Specific (m w.eqv.)	Volume (10 ⁶ m ³)	Specific (m w.eqv.)	Volume (10 ⁶ m ³)	Specific (m w.eqv.)	Volume (10 ⁶ m ³)
1600 - 1622	0,18	2,85	0,5	-2,20	-0,4	0,65	0,1
1500 - 1600	0,72	2,90	2,1	-2,20	-1,6	0,70	0,5
1400 - 1500	1,07	2,96	3,2	-2,25	-2,4	0,71	0,8
1300 - 1400	0,78	3,28	2,6	-2,35	-1,8	0,93	0,7
1200 - 1300	0,25	2,95	0,7	-2,70	-0,7	0,25	0,1
1100 - 1200	0,18	2,70	0,5	-3,10	-0,6	-0,40	-0,1
1000 - 1100	0,54	2,50	1,4	-3,50	-1,9	-1,00	-0,5
960 - 1000	0,09	2,40	0,2	-3,80	-0,3	-1,40	-0,1
960-1622	3,81	2,92	11,1	-2,54	-9,7	0,38	1,4

Mass balance Jostefonn 1999/00 – traditional method

Altitude (m a.s.l.)	Area (km ²)	Winter balance		Summer balance		Net balance	
		Measured 29th Apr 2000		Measured 14th Sep 2000		Summer surfaces 1999 - 2000	
		Specific (m w.eqv.)	Volume (10 ⁶ m ³)	Specific (m w.eqv.)	Volume (10 ⁶ m ³)	Specific (m w.eqv.)	Volume (10 ⁶ m ³)
1600 - 1622	0,18	3,15	0,6	-2,20	-0,4	0,95	0,2
1500 - 1600	0,72	3,50	2,5	-2,20	-1,6	1,30	0,9
1400 - 1500	1,07	3,65	3,9	-2,25	-2,4	1,40	1,5
1300 - 1400	0,78	3,65	2,8	-2,30	-1,8	1,35	1,1
1200 - 1300	0,25	3,10	0,8	-2,50	-0,6	0,60	0,2
1100 - 1200	0,18	3,40	0,6	-2,85	-0,5	0,55	0,1
1000 - 1100	0,54	3,40	1,8	-3,25	-1,8	0,15	0,1
960 - 1000	0,09	2,80	0,3	-3,65	-0,3	-0,85	-0,1
960-1622	3,81	3,49	13,3	-2,47	-9,4	1,03	3,9

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

Utgitt i Oppdragsrapportserien i 2001

- Nr. 1 Liss M. Andreassen og Hans-Christian Udnæs: Snøfordeling gjennom en smeltesesong (20 s.)
- Nr. 2 Thomas Skaugen: Disaggregation of precipitation (25 s.)
- Nr. 3 Hans-Christian Udnæs: Hydrologiske simuleringer med meteorologiske prognoser (25 s.)
- Nr. 4 Hervé Colleuille: Filefjell - Kyrkjestølane (073.Z) Grunnvannsundersøkelser. Årsrapport 2000 (31 s.)
- Nr. 5 Hervé Colleuille: Skurdevikåi tilsigsfelt (015.NDZ) Grunnvannsundersøkelser. Årsrapport 2000 (32 s.)
- Nr. 6 Randi Pytte Asvall: Vanntemperatur og isforhold i Stjørdalselva. Virkninger av Meråkerutbyggingen (58 s.)
- Nr. 7 Even Gillebo, Tor Simon Pedersen: Prognose for grunnvannstand, Brunnesmoen, Modum kommune, Buskerud (012.D6Z) (20 s.)
- Nr. 8 Hervé Colleuille, Lars-Egil Haugen, Hans-Christian Udnæs, Knut Møen: Infiltrasjonsprosesser i frossen jord på Gardermoen. Analyse av markvann-, grunnvann-, tele- og snøobservasjoner (72 s.)
- Nr. 9 Øystein Aars: Vannutvekslingen i Skjomen, Nordland (51 s.)
- Nr. 10 Randi Pytte Asvall og Ånund Sigurd Kvambekk: Ny strategi for tapping av Altamagasinet om vinteren. Endring av vanntemperatur- og isregimet fra utløpet av kraftstasjonen til Savco ved utvidet bruk av øvre inntak. (19 s.)
- Nr. 11 Hallgeir Elvehøy: Sluttrapport for glasiologiske undersøkelser på Jostefonn 1996-2001 (26 s.)



**Norges
vassdrags- og
energidirektorat**

Norges vassdrags- og energidirektorat
Middelthunsgate 29
Postboks 5091 Majorstua
0301 Oslo

Telefon: 22 95 95 95
Telefaks: 22 95 90 00
Internett: www.nve.no