

DOKUMENT

5 1998



Norges
vassdrags-
og
energiverk

OPPDRAKSRAPPORT

Hallgeir Elvehøy

Samanlikning av massebalanse på Hardangerjøkulen og Folgefonna



bilde

Omslagsbilete

Gråfjellsbrea (venstre) og Breidablikkbrea (høgre) på vestsida av Søre Folgefonna. Avrenninga frå disse brefelta vert regulert til Mauranger Kraftverk. Flyfoto Fjellanger Widerøe A/S 7.august 1997 (oppgåve 12176).

TITTEL Samanlikning av massebalanse på Hardangerjøkulen og Folgefonna	DOKUMENT Nr 5 1998 OPPDRAKSRAPPORT
SAKSBEHANDLER Hallgeir Elvehøy	DATO 30. juli 1998 RAPPORTEN ER Open
OPPDRAKSGIVER Statkraft Region Sør-Norge	OPPLAG 20

SAMANDRAG

På Hardangerjøkulen er massebalansen målt sidan 1963 på den sørvestlege delen av breen som drenerer via Rembesdalskåki til Rembesdalsvatnet. Målingane viser at breen vokste markant i perioden 1989-95 etter fleire år med stor vinterbalanse og positiv nettobalanse. På Folgefonna er massebalansen målt i perioden 1964-81 på fem delfelt med til saman 15 år med massebalanseresultat. Målingane tyder på positiv nettobalanse i denne perioden.

Massebalansemålingar og nedbørdata tyder på at vinterbalansen er større på den sørlege delen av Søre Folgefonna enn på den nordlege delen av Søre Folgefonna, på Midtre Folgefonna og på Nordre Folgefonna. Sommarbalansen ser ut til å være ganske lik over heile Folgefonna. Målingane indikerer at vinterbalansen kan vere svært påvirkad av vindtransport som gir eit meir komplisert akkumulasjonsmønster.

Vinter- og sommarbalanse på Folgefonna var i gjennomsnitt om lag 130% av vinter- og sommarbalansen på Hardangerjøkulen i åra med samtidige målingar.

Samanlikning av vinter- og sommarbalansen sine høgdefordelingskurver viser at vinterbalansen var større på Folgefonna enn på Hardangerjøkulen i samme høgdenivå, medan sommarbalansen var større på Hardangerjøkulen enn på Folgefonna. Fordi mesteparten av (den undersøkten delen av) Hardangerjøkulen sitt areal ligg høgare enn toppen av Folgefonna vart like vel sommarbalansen større på Folgefonna enn på Hardangerjøkulen.

Det var til dels god korrelasjon mellom vinterbalansen og nettobalanse på Folgefonna og Hardangerjøkulen. For sommarbalansen var det til dels dårlig korrelasjon mellom resultata frå dei to breområda. Ut ifrå regresjonsanalyisen er modellar for vinter-, sommar- og nettobalanse for to områder på Folgefonna laga. Modellane estimerer kummulativ nettobalanse i det sørlege området til +12 meter vasskvivalentar, medan kummulativ nettobalanse i det nordlege området vart +1 meter vasskvivalentar. Modellane antyder at forskjellen i stor grad kom i perioden 1963-88.

Samanlikning av modellresultat med kartstudier viser ikkje forskjellar som falsifiserar modellane. Datagrunnlaga er så pass forskjellige at årsaker til forskjellane ikkje kan knyttast til modellane.

Samanliknign av årleg nettobalanse på nordlege delen av Folgefonna modellert frå nettobalanse på Hardangerjøkulen og værdata frå Bergen viser rimelig god korrelasjon ($r^2=0.80$) mellom dei to modellane. Modellen basert på værdata gir ei meir positiv nettobalanseutvikling enn modellen basert på Hardangerjøkulen sin nettobalanse.

Forskjellar i frontposisjonendringar mellom brearmar frå sørlege delen av Søre Folgefonna og nordlege delen av Søre Folgefonna støtter at nettobalanse har vore generelt positiv på den sørlege delen i heile perioden medan nettobalanse på den nordlege delen var negativ i alle fall fram til 1989. Observasjonar frå Nordre Folgefonna tyder på at utviklinga har vore meir positiv der enn på den nordlege delen av Søre Folgefonna og på Midtre Folgefonna.

Det var brukbar ($r^2=0,73$) korrelasjon mellom vinterbalansen modellert med linære regresjonslikningar frå vinternedbør på lokale nedbørsstasjonar og frå vinterbalansen på Hardangerjøkulen for begge dei to områda på Folgefonna. Ein tilsvarende analyse for sommarbalansen ga svært dårlig korrelasjon.

Metodane som her er brukt for å lage modelllar for massebalansen på Folgefonna har den svakheita at datagrunnlaget for modellane frå perioden 1963-81 har lita variasjonsbredde i forhold til det som har vore målt seinare.

EMNEORD

Massebalanse, modellar

ANSVARLEG UNDERSKRIFT



Kjell Repp
avdelingsdirektør

FORORD

Som ei følgje av diskusjonar rundt bredelen av pålegg om hydrologiske undersøkingar av 21.juni 1994 for statsreguleringa av Maurangervassdraga har Statkraft Region Sør-Norge tinga ei vurdering av samanhengar mellom massebalansen på Folgefonna og Hardangerjøkulen.

Denne rapporten er svar på tinging nr 97- 40311 av 20. februar 1997 og tinging nr 98-40204 av 17. februar 1998 og byggjer på tilbod frå NVE av 20.august 1997. Rapporten byggjer alt vesentleg på massebalanse målingar rapportert i serien "Glasiologiske undersøkelser i Norge" frå Hydrologisk avdeling, NVE. Videre er noe datagrunnlag henta frå Norsk Polarinstitutts årbøker og Det Norske Meteorologiske institutt.

Analysane er gjort av Hallgeir Elvehøy som også har skrevet denne rapporten.

Oslo, juli 1998



Erik Roland
seksjonsjef

INNHOLDSFORTEGNELSE

	Side
1. INNLEIING	7
1.1 Datagrunnlag	7
2. MASSEBALANSEMØNSTERET PÅ Folgefonna	10
3. SAMANLIKNING HARDANGER - Folgefonna 1963-81	12
3.1 Vinterbalansen	14
3.2 Sommarbalansen	14
3.3 Nettobalansen	16
3.4 Vinter- og sommarbalansen si høgdefordeling	16
4. MODELLAR FOR MASSEBALANSEN PÅ Folgefonna	17
5. VERIFISERING	20
5.1 Nettobalanse frå samanlikning av kart	20
5.2 Nettobalanse frå vinternedbør og sommartemperatur i Bergen	21
5.3 Nettobalansen vurdert ut ifrå frontposisjonendringar	23
5.4 Vinterbalansen frå vinternedbør på nedbørstasjonar	24
6. KONKLUSJONAR	24
REFERANSAR	25

1. Innleiing

Bakgrunnen for denne rapporten er ønskje om å sjå nærare på felles trendar i massebalanse målingane på Hardangerjøkulen og på Folgefonna. Sidan målingane på Folgefonna er gjort på fleire delfelt til ulike tider vert massebalansemønsteret på Folgefonna først vurdert (kapittel 2). Så vert samvariasjon mellom målingar på Hardangerjøkulen og Folgefonna analysert (kapittel 3). Ut ifrå resultat av korrelasjonsanalysane vert laga modellar for massebalansen på Folgefonna (kapittel 4). Til slutt vert disse modellane testa ved å samanlikne med andre typar modellar og andre studier (kapittel 5).

Namnsettinga på Folgefonna følgjer eit framlegg frå Bottolv Helland (namnekonsulent) og Arve M. Tvede (NVE) laga i samband med utarbeiding av eit bokverk om Folgefonna halvøya. Nokre av namna i dette framlegget er endra frå tidlegare offisielle kart, og nokre er nye namn som truleg vert offisielle ved neste revisjon av Statens Kartverks N50-kartserie.

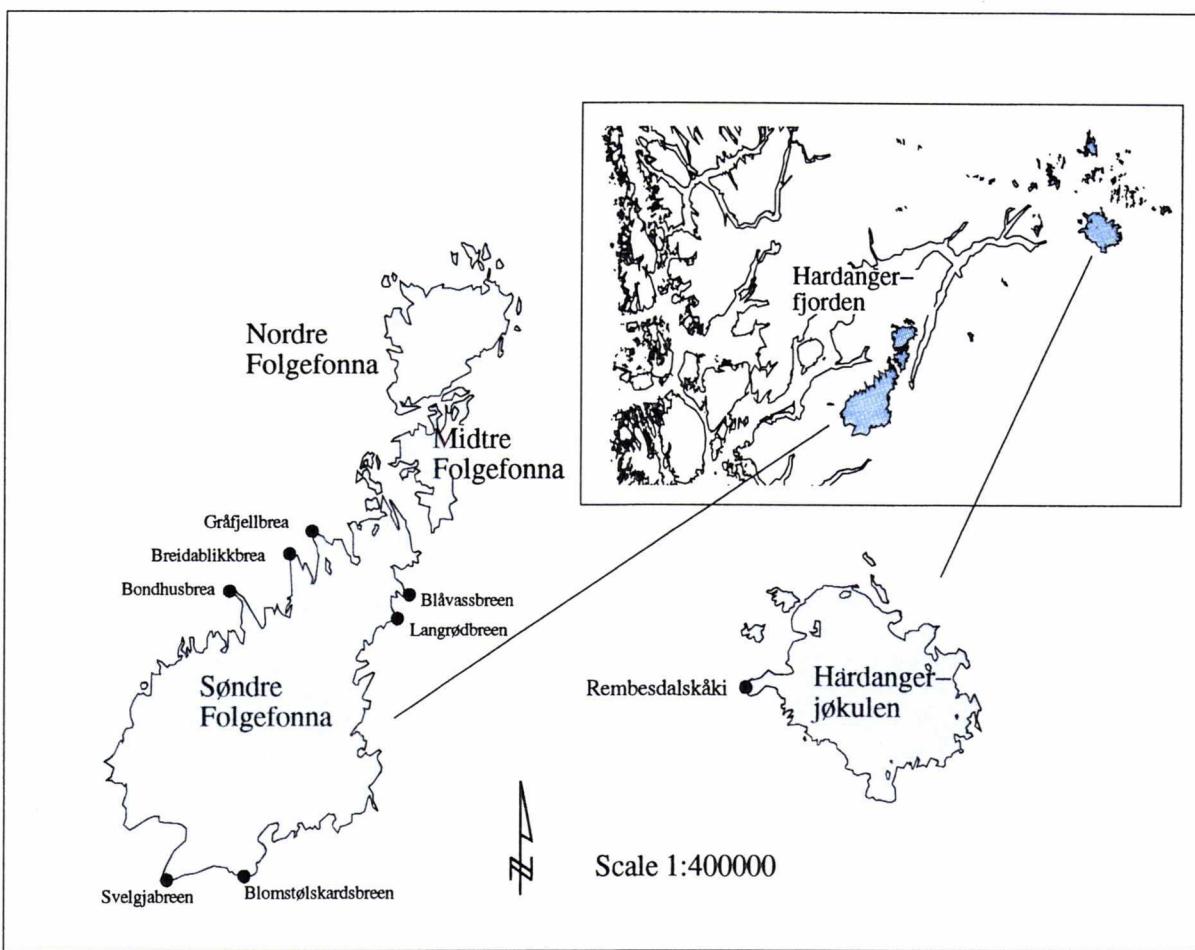
1.1 Datagrunnlag

Figur 1 viser Hardangerjøkulen og Folgefonna med brefelta der massebalansen er målt. Hardangerjøkulen ligg omlag 70 km nordaust for Søre Folgefonna. Måling og utrekning av massebalansen er i hovedtrekk gjort etter samme metodar som er brukt elles i Norge (Østrem & Brugman, 1991). Uvissa i resultata er vanskelig å estimere, men vart av Pytte (1969) estimert til mellom 4 % og 8 % for vinter- og sommarbalansen når verdiane er i storleiken 2 m vaskekvalentar. I år med svært høge verdiar for vinter- eller sommarbalansen vil imidlertid uvissa truleg vere noke større. Etter 1988 har massebalansen på Hardangerjøkulen vore utrekna etter ein forenkla metode som inneber at vinterbalansen si høgdefordeling ikkje vert utrekna frå akkumulasjonskart men direkte frå målepunkta. Denne forenklinga baserer seg på at akkumulasjonsmønsteret på breane er relativt likt frå år til år slik at måleoppdragget kan reduserast til å omfatte berre dei mest representative sonderingsprofila.

1.1.1 Hardangerjøkulen

Hardangerjøkulen er den sjette største breen i Norge og dekkjer eit areal på 73 km^2 . Massebalanse målingane vert gjort på den sørvestlege delen (17 km^2) som drenerer via Rembesdalskåki mot Rembesdalsvatn og som strekk seg frå toppen av breen 1850 moh. ned til brefronten 1050 moh. Det meste av arealet (77%) til dette brefeltet ligg over 1650 moh.

Målingane vert i hovedsak gjort på breplatået over 1600 moh. I brefallet mellom 1270 og 1500 moh. har det ikkje vore målt på grunn av tett oppsprekking. Massebalansen er utrekna på grunnlag av kart frå 1961. Brefeltet der massebalanse målingane vert gjort vert heretter omtala som Hardangerjøkulen. Målingane på Hardangerjøkulen vart igangsett av Norsk Polarinstitutt i 1963 og har vore utført av NVE sidan 1985. I perioden 1978-84 vart målingane gjort etter eit forenkla opplegg som baserte seg på eit fåtall målepunkt og at høgdefordelinga av massebalansen var den samme som i tidlegare år. Uvissa i resultata frå denne perioden er derfor truleg større enn for tidlegare og seinare periodar. Resultata av målingane har vore publisert i serien "Glasiologiske undersøkelser i Norge" fra NVE og i Norsk Polarinstitutts årbøker. Målingane har sidan 1982 vore konsesjonspålagt Statkraft SF sitt Sima Kraftverk i Eidfjord.

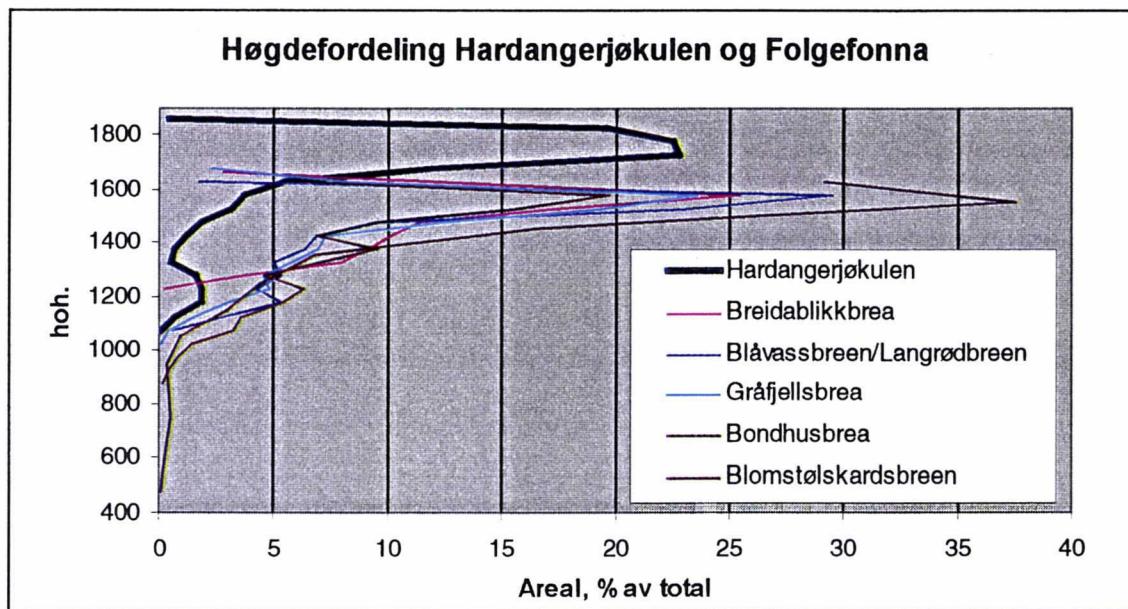


Figur 1 Kart over breområda i Hardanger (frå Østrem m fl., 1988). Brefelt der det er gjort massebalansemålingar er markert med ●. Blomstølskardbreen og Svelgjabreen på sørssida av Søre Folgefonna er på dette kartet kalt Blomsterskardbreen.

1.1.2 Folgefonna

Breområdet kalla Folgefonna er samansett av tre individuelle brear, Nordre (26 km^2), Midtre (11 km^2) og Søre Folgefonna (168 km^2). Søre Folgefonna er det tredje største samanhengende breområdet i Norge. Dei høgaste delane av Nordre og Søre Folgefonna ligg opp til 1650 moh., medan toppen av Midtre Folgefonna ligg 1570 moh. Frå Søre Folgefonna strekk dei to brearmane Bondhusbrea og Buerbreen seg ned til om lag 500 moh., medan Midtre og Nordre Folgefonna når ned til 1000-1100 moh. På Nordre og Søre Folgefonna ligg det meste av arealet mellom 1500 og 1650 moh. Storparten av Hardangerjøkulen ligg dermed høgare enn toppen av Folgefonna (figur 2).

På Folgefonna har det vore gjort målingar av massebalansen på fleire brearmar i kortare periodar i tidsrommet mellom 1963 og 1981, dels som undersøkingar i samband med vasskraftutbyggjing i Mauranger (Blåvassbreen, Langrødbreen (av NVE tidlegare kalla Ruklebreen), Gråfjellsbrea, Breidablikkbrea og Bondhusbrea på nordlege delen av Søre Folgefonna), og dels som hovudfagsarbeid ved Universitetet i Oslo (Midtre Folgefonna og



Figur 2 viser høgde-areaelfordelinga til den undersøkte delen av Hardangerjøkulen og nokre av dei undersøkte delane av Søndre Folgefonna.

Blomstølskardsbreen/Svelgjabreen; Tvede, 1972). Massebalansen er i hovedsak utrekna på grunnlag av kart frå 1959. For Bondhusbrea vart det i tillegg brukt kart frå 1979.

Blåvassbreen ($2,5 \text{ km}^2$) og Langrødbreen ($1,9 \text{ km}^2$) ligg på austsida av Søre Folgefonna og har relativt mykje vindakkumulasjon og eit ujamnt akkumulasjonsmønster. Breane vart målt som eitt brefelt frå 1964 til 1968, medan Blåvassbreen også vart målt i 1963. Avrenninga frå Blåvassbreen er no regulert av Norzink i Odda.

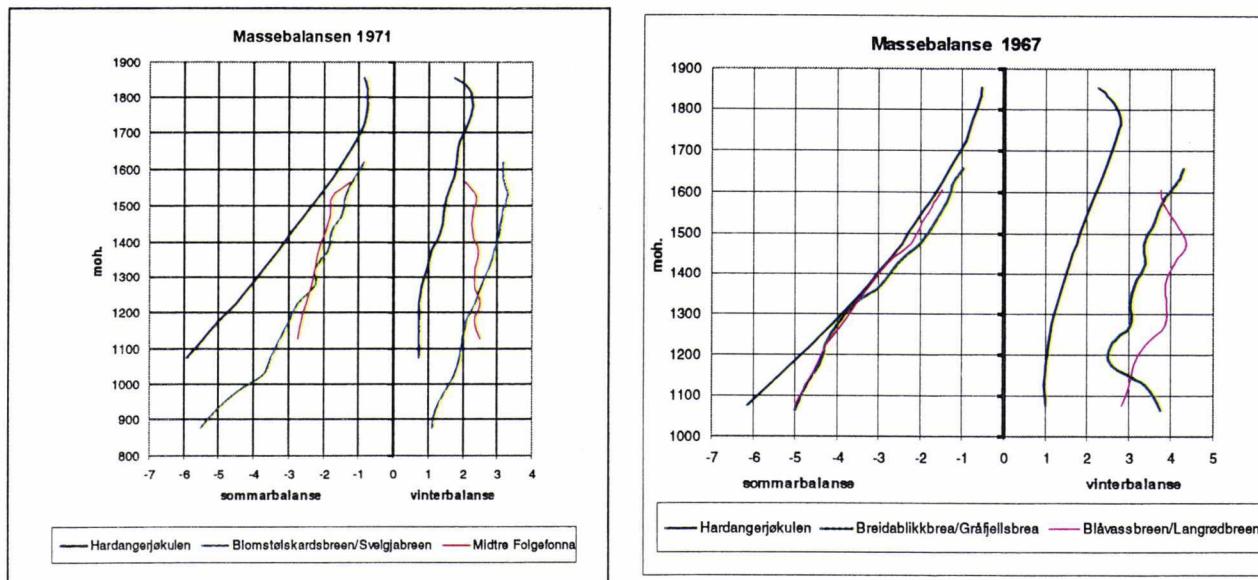
Breidablikkbrea ($4,8 \text{ km}^2$) og Gråfjellsbrea ($9,5 \text{ km}^2$) ligg på vestsida av Søre Folgefonna og vart målt som eitt brefelt i perioden 1964-68. I tillegg vart Breidablikkbrea målt i 1963 og Gråfjellsbrea i 1974 og 1975. Akkumulasjonsmønsteret var relativt jamnt over 1450 moh. men med noe omfordeling pga. vind. Avrenninga frå Breidablikkbrea og Gråfjellsbrea er regulert til Statkraft SF sitt Mauranger Kraftverk.

Bondhusbrea ($10,6 \text{ km}^2$) ligg på vestsida av Søre Folgefonna og vart målt i perioden 1977-81. Bretunga går heilt ned til ca 450 moh., men under 1150 moh. er breen så bratt og oppsprett at han i praksis er utilgjengeleg. Balanseverdiane for høgdeintervalla under ca 1150 moh. vart derfor estimert. Kartgrunnlaget for utrekninga av massebalansen var relativt dårlig slik at avgrensinga av øverste delen av dreneringsområdet der overflata er tilnærma horizontal vart usikker. Til saman gjer det at massebalansaresultata frå Bondhusbreen er meir usikre enn resultata frå dei andre brefelta på Folgefonna. Avrenninga frå Bondhusbrea er regulert til Statkraft SF sitt Mauranger Kraftverk.

Blomstølskardsbreen og Svelgjabreen ($45,7 \text{ km}^2$) på sørsida av Søre Folgefonna vart tidlegare målt som eitt brefelt. Dette brefeltet har vore kalla Blomsterskardsbreen. Det vart målt nettobalanse der i eit år (1970), fullstendig massebalanse i eitt år (1971), og nettobalanse ved ein forenkla metode basert på likevektslinehøgde (ELA) og nokre stakar nær likevektslinja i

perioden 1972-77 (Tvede, 1972, Tvede & Liestøl, 1977). Avrenninga frå disse brefelta vert no regulert av Sunnhordland Kraftlag i Blådalsvassdraget.

Midtre Folgefonna (11 km^2) vart målt i 1970 og 1971, og har eit komplisert akkumulasjonsmønster som indikerer mykje vindtransport (Tvede, 1972; Østrem & Tvede 1986). Sidan heile breen er målt som eitt brefelt vil truleg middelverdien for breen vere representativ for eit større område.



Figur 3. Den spesifikke vinter- og sommarbalansen si høgdefordeling på Hardangerjøkulen, Midtre Folgefonna og Blomstølskardsbreen/Sveljabreen i 1971 (venstre) og på Hardangerjøkulen, Blåvassbreen/Langrødbreen, og Breidablikkbrea/Gråfjellsbrea i 1967 (høgre). Data for Midtre Folgefonna og Blomstølskardsbreen frå Tvede (1972).

2. MASSEBALANSEMØNSTERET PÅ FOLGEFONNA

I området rundt Folgefonna er årleg normal nedbørsmengd målt på stasjonar nær havnivå 2500-3000 mm på sørsida av breen, 1800-2200 mm på vestsida, og 1100-1500 mm på austsida av breen (normalperioden 1961-90, data frå DNMI). Disse variasjonane virker inn på korleis vinterbalansen fordeler seg over breområdet.

Samtidige målingar av massebalansen på Midtre Folgefonna og Blomstølskardsbreen/Sveljabreen (avstand 20-25 km) i 1971 viste at det var relativt liten forskjell (5 %) i sommarbalanse mellom dei to brefelta medan vinterbalansen var relativt mykje større (37 %) på Blomstølskardsbreen/Sveljabreen enn på Midtre Folgefonna (Tvede, 1972). Figur 3 viser at sommarbalansen i dei to brefelta har om lag samme variasjon med høgda over havet, medan vinterbalansen på Midtre Folgefonna varierer svært lite med høgda. Den jamne fordelinga av sommarbalansen skuldast truleg at det er relativt små variasjonar i meteorologiske parametrar som lufttemperatur, vindhastigheit og skydekke over Folgefonna når verdiane vert midla over sommarsesongen (mai-september). Ut ifrå eit slikt resonnement

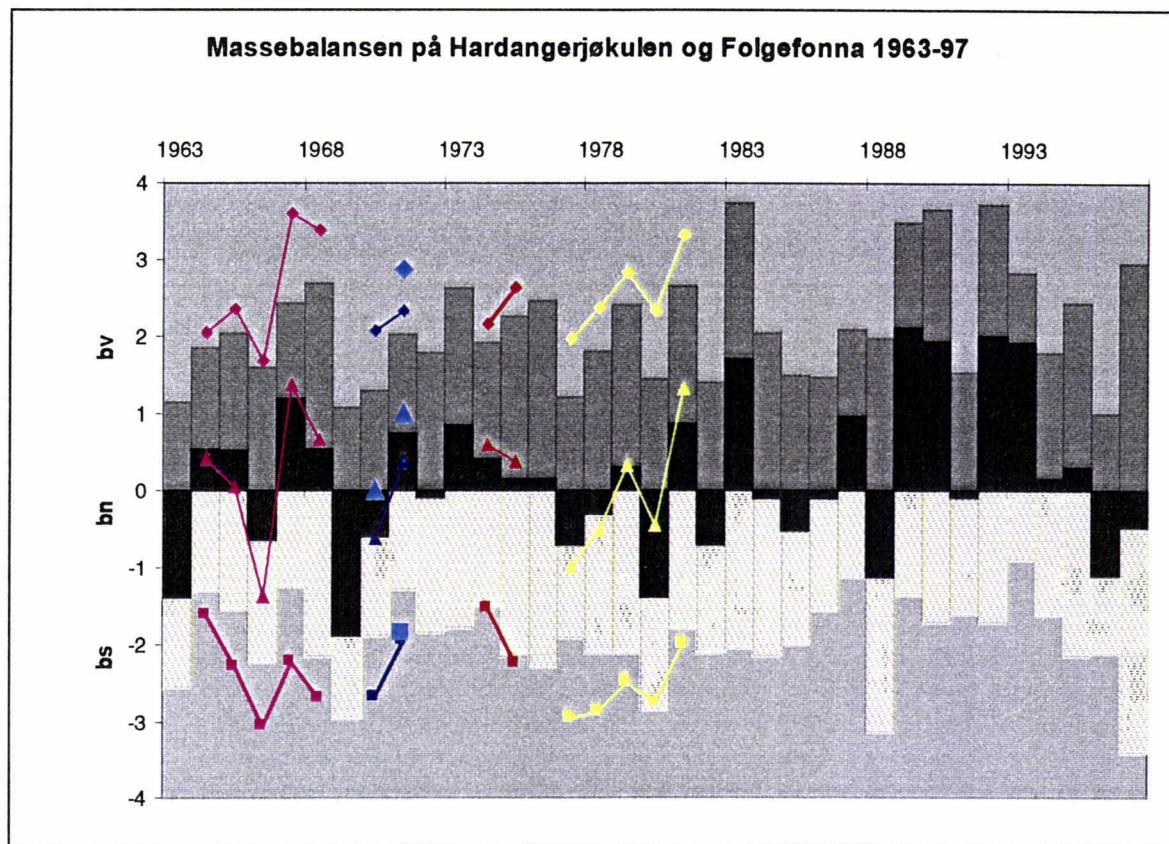
kan sommarbalanse målingar på eit brefelt truleg representere sommarbalansen på heile Folgefonna.

Ein annan måte å sjå variasjonar i vinterbalansen er å studere den temporære snøgrensa som skil områda der all snøen frå siste vinter er smelta vekk frå områda der det framleis ligg at snø. Snøgrensa kan stadfestast på flybilete teke seint på sommaren medan høgda kan finnast frå kart. Dersom smeltinga har hatt om lag lik høgdefordeling i heile breområdet vil variasjonar i høgda til den temporære snølinna vise område med relativt liten og relativt stor vinterbalanse. Variasjonar i den temporære snøgrensa si høgde kan derfor brukast som indikator på korleis vinterbalansen varierer over Folgefonna.

Den temporære snøgrensa på Folgefonna er høgdebestemt ut ifrå flybilete frå 7.august 1997 (Fjellanger Widerøe oppgåve 12176). På sørsla av Søre Folgefonna låg då snøgrensa om lag 1200 moh., på den nordlege delen av Søre Folgefonna om lag 1375 moh, og på Nordlege Folgefonna om lag 1400 moh. Tvede (1972) gjorde ei tilsvarende undersøking basert på flybilete frå 10.august 1959 (Fjellanger Widerøe oppgåve 1061) og fann at den temporære snøgrensa då låg omlag 1350 moh. på sørsla av Søre Folgefonna og om lag 1500 moh. på den nordlege delen av Søre Folgefonna og på Nordlege Folgefonna. Denne høgdeforskjellen på 150-200 meter viser som massebalanse målingane i 1971 at vinterbalansen er større på sørsla av Søre Folgefonna enn lengre nord. Tvede (1972) rekna ut at normal årsnedbør sank frå ca 4500 mm/år på sørsla av Søre Folgefonna til ca 3500 mm/år på den norlegaste delen av Søre Folgefonna og på Midtre Folgefonna. Denne forskjellen slår mest ut for vinterbalansen sidan ein vesentleg del av nedbøren kjem om vinteren og det meste av sommarnedbøren kjem som regn som ikkje vert rekna med i massebalansen.

I perioden 1964-68 vart Breidablikkbrea, Gråfjellsbrea, Blåvassbreen og Langrødbreen på den nordlege delen av Søre Folgefonna målt. Målingane viste at vinterbalansen var større på dei bratte austvendte brefelta enn på dei slakare, vestvendte delfelta. Samanlikning av kurver for vinterbalansen si høgdefordeling viser at det spesielt i høgdeintervallet mellom 1400 og 1500 moh. var større vinterbalanse på dei austvendt områda enn på dei vestvendte. Denne ulikskapen skuldast vindtransport. Sommarbalansen var som regel om lag like stor i samme høgdenivå på aust- og vestsida. Som eksempel er høgdefordelinga målt i 1967 vist (figur 3). Sidan vinddrift spelar ei vesentleg rolle vil målingar over større areal vere meir representative for området enn mindre areal fordi ein kan rekne med at effekta av vindtransport vert midla ut. Derfor vert Breidablikkbrea, Gråfjellsbrea, Langrødbreen og Blåvassbreen i perioden 1964-68 heretter sett på som eitt brefelt.

Bondhusbrea og Blomstølskardsbreen/Sveljabreen drenerer kvar si side av den sørlege brekulen på Søre Folgefonna. Målingane på Blomstølskardsbreen/Sveljabreen (figur 3a) viser at vinterbalansen var størst i høgdeområdet 1500-1550 moh., medan målingane på Bondhusbrea viser at vinterbalansen var størst i dei øvste, slake partia 1600-1630 moh. nær isskillet mot Blomstølskardsbreen/Sveljabreen. Dette tyder på at det er ein viss grad av vindtransport frå dei øvste delane av Blomstølskardsbreen/Sveljabreen til dei øvste delane av Bondhusbrea. Sidan høgdeintervallet 1500-1630 utgjer ein vesentleg del (ca 67%) av Bondhusbrea er det derfor rimeleg å anta at vinterbalansen på Bondhusbrea og på Blomstølskardsbreen/Sveljabreen vil vere om lag like.



Figur 4 Spesifikk vinter- (øvst), sommar- (nedst) og nettobalanse (midten) målt på Hardangerjøkulen og Folgefonna i perioden 1963 - 97. Dei ulike brefelta på Folgefonna er Blåvassbreen/Langrødbreen/Breidablikkbrea/Gråfellsbrea (—), Midtre Folgefonna (—), Blomstølskardsbreen/Svelgjabreen (—), Gråfellsbrea (—) og Bondhusbreen (—).

3. SAMANLIKNING HARDANGERJØKULEN - FOLGEFONNA 1963-81

Ved utrekning av massebalansen frå målingane vert som regel vinter- og sommarbalansen rekna ut for 50 eller 100 meter høgdeintervall, og middelverdi for heile brefeltet rekna ut på grunnlag av disse høgdeverdiane og høgde-areafordelinga. Resultat av massebalanse målingar på Hardangerjøkulen og Folgefonna er vist i figur 4.

Vinterbalansen var større på Folgefonna enn på Hardangerjøkulen i alle åra med samtidige målingar. I snitt var vinterbalansen på dei målte brefelta på Folgefonna 130% av vinterbalansen på Hardangerjøkulen (105 – 163 %). Sidan det meste av nedbøren som regel kjem med vestlege vindar skuldast nok det meste av forskjellen kortare avstand til kysten. I år med relativt mykje vinternedbør (som i 1967) har Folgefonna ein relativt større vinterbalanse enn Hardangerjøkulen, medan i nokre år med lågare vinternedbør kan skilnaden vere mindre (som i 1966). Årsaka til dette kan vere skilnaden i dominante vindretning i desse to vintrane. I nedbørfattige vintrar som i 1966 kjem nedbøren i større grad med austlege og søraustlege vindar som gjev relativt meir nedbør på brear som ligg nær hovedvassskillet slik som Hardangerjøkulen. Elles ser det ut til at vinterbalansen på Hardangerjøkulen og Folgefonna i stor grad varierer på samme måte.

Sommarbalansen var som regel større på Folgefonna enn på Hardangerjøkulen, noe som kan forklara med at Folgefonna jamnt over ligg lågare enn Hardangerjøkulen (figur 2). Målt sommarbalanse på Folgefonna var i snitt 133 % av sommarbalansen på Hardangerjøkulen (98-179 %). Avstanden mellom Folgefonna og Hardangerjøkulen (75-80 km) kan her spele inn med meir kontinentale forhold på Hardangerjøkulen enn på Folgefonna. Dette kan spesielt virke inn på graden av skydekke som igjen virkar inn på smelteprosessane.

Nettobalansen er ein kombinasjon av vinterbalansen og sommarbalansen, og vert derfor påvirka av variasjonar i begge disse faktorane. Målingane på Hardangerjøkulen og Folgefonna samsvarer rimelig godt i og med at begge breområda har positive eller negative balanseår samtidig. Nettobalansen er imidlertid som regel meir ekstrem på Folgefonna.

Samvariasjonen mellom massebalansen på Hardangerjøkulen og på Folgefonna vert undersøkt nærmare ved linær korrelasjonsanalyse. Datagrunnlaget er 15 år med målingar frå 5 brefelt. Analysane tek utgangspunkt i at datasettet er homogen, og dermed at alle verdiane frå Folgefonna er like representative. Det medfører at graden av samvariasjon uttrykt i dei målte verdiane både vert påverka av forskjellen mellom Hardangerjøkulen og Folgefonna og av forskjellar mellom brefelta på Folgefonna. I analysane vert 5 ulike utvalg frå Folgefonna testa mot resultat frå Hardangerjøkulen:

- 1) brefeltet Blåvassbreen/Langrødbreen/Breiblikkbrea/Gråfjellsbrea (1964-68),
- 2) Bondhusbrea (1977-81),
- 3) Blåvassbreen/Langrødbreen/Breiblikkbrea/Gråfjellsbrea (1964-68), Midtre Folgefonna (1970-71) og Gråfjellsbrea (1974-75),
- 4) brefelt på sørlege delen av Søre Folgefonna (Bondhusbrea og Blomstølskardsbreen/Svelgjabreen),
- 5) alle brefelt målt på Folgefonna.

	Utvalg	n	Korrelasjonslikning	r^2	Folgefonna	Folgefonna
					kumm. 1963-97	kumm. bv+bs 1963-97
Vinterbalansen	1	5	y = 1,82x - 1,27	0,91	91	
	2	5	y = 0,82x + 1,00	0,93	96	
	3	9	y = 1,29 x - 0,13	0,74	91	
	4	6	y = 0,83x + 1,01	0,91	97	
	5	15	y = 1,03 x + 0,50	0,71	94	
Sommarbalansen	1	5	y = 1,03 x - 0,65	0,78	-93	
	2	5	y = 0,36 x - 1,84	0,15	-89	
	3	9	y = 0,97 x - 0,63	0,58	-88	
	4	6	y = 0,61 x - 1,28	0,44	-86	
	5	15	y = 0,78 x - 0,94	0,54	-86	
Nettobalansen	1	5	y = 1,51 x - 0,43	0,96	-6	-2
	2	5	y = 0,86 x + 0,16	0,69	10	7
	3	9	y = 1,21 x - 0,19	0,84	1	3
	4	6	y = 0,90 x + 0,19	0,76	12	11
	5	15	y = 0,97 x + 0,01	0,74	6	8

Tabell 1 Korrelasjonslikninger mellom Hardangerjøkulen (x) og Folgefonna (y) for utvalg 1 til 5 (se over) på Folgefonna. n er antall år med samtidige målingar, og r^2 er korrelasjonskoeffisienten (r^2). Kummulerte verdier basert på modellen er vist i de to siste kolonnene. bv+bs er summen av vinterbalansen og sommarbalansen.

Korrelasjonslikningane for dei ulike utvalga er vist i tabell 1. For vinterbalansen vert korrelasjonen dårlegare når fleire brefelt vert teke med i datagrunnlaget. Dette kan forklarast med at delfelta på Folgefonna er ulikt påverka av vindtransport og at nedbørmengda avtar nordover på Folgefonna. For sommarbalansen er biletet meir komplisert sidan det var brukbar korrelasjon for Blåvassbreen/Langrødbreen/Breidablikkbrea/Gråfjellsbrea, men dårleg for Bondhusbrea. Med bakgrunn i at sommarbalansen si høgdefordeling ikkje ser ut til å variere vesentleg over Folgefonna (Tvede, 1972), vil derfor eit størst mogleg datasett truleg gi sikrast korrelasjon sidan støy i samvariasjonen mellom Hardangerjøkulen og Folgefonna då vert meir midla ut.

Sidan nettobalansen er ein kombinasjon av vinterbalansen og sommarbalansen er korrelasjonen dårlegare enn for vinterbalansen men bedre enn for sommarbalansen. Når alle 15 åra med målingar på Folgefonna vert brukt gir analysen ein samanheng som sei at nettobalansen vil vere om lag den samme på Folgefonna som på Hardangerjøkulen.

I tabell 1 er kummulert massebalanse på Folgefonna for perioden 1963-97 utrekna med korrelasjonslikningane også vist. Modellert kummulativ vinterbalanse var 91 til 97 meter vassekvivalentar, medan modellert kummulativ sommarbalanse var -86 til -93 meter vassekvivalentar. Til samanlikning er kummulerte verdiar for Hardangerjøkulen 74,2 og -68,2 meter vassekvivalentar. Resultata er nærmere omtala nedafor.

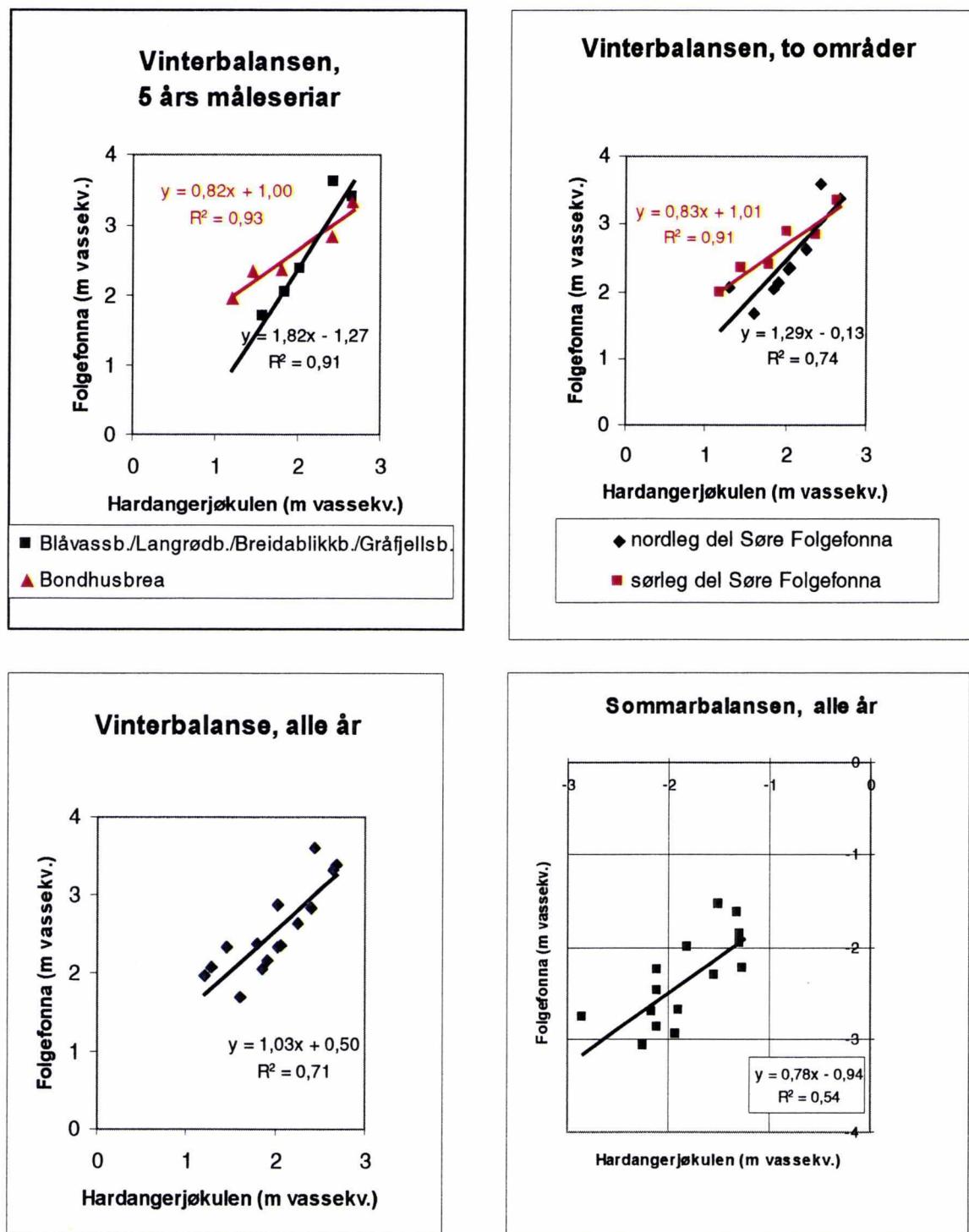
3.1 Vinterbalansen

Figur 5 viser resultat av korrelasjonsanalysen for vinterbalansen. Det var god korrelasjonen ($r^2 = 0,91$ og $r^2 = 0,93$) mellom vinterbalansen målt på Hardangerjøkulen og på brefelta med 5-års måleperiodar på Folgefonna (Breidablikkbrea/Gråfjellsbrea/ Langrødbreen/Blåvassbreen 1964-68 og Bondhusbrea 1977-81)(figur 5a). Når forskjellige brefelt vert teke med i datagrunnlaget vert imidlertid korrelasjonen dårlegare (figur 5b og c). Ved gruppering i to områder vart korrelasjonen framleis god for det sørlege området ($r^2 = 0,91$) men noe dårlegare for det nordlege området ($r^2 = 0,74$). Når alle dataene vart sett under eitt vart $r^2 = 0,71$.

3.2 Sommarbalansen

Sommarbalansemålingar i perioden 1964-68 på Blåvassbreen/Langrødbreen/Breidablikkbreen/Gråfjellsbreen korrelerer ganske godt ($r^2 = 0,78$) med samtidige målingar på Hardangerjøkulen, medan det er dårlig korrelasjon mellom målingar på Bondhusbrea og Hardangerjøkulen i perioden 1977-81 ($r^2 = 0,15$). I denne perioden vart imidlertid sommarbalansemålingane på Hardangerjøkulen gjort på ein forenkla måte slik at uvissa i resultata i denne perioden må reknast å vere større enn elles. Dette kan vere med på å forklare den dårlege korrelasjonen for Bondhusbrea.

Ved gruppering av dataene i to områder vart korrelasjonen noe betre for det sørlege området ($r^2 = 0,44$) og noe dårlegare for det nordlege området ($r^2 = 0,58$), medan alle dataene samla ga $r^2 = 0,54$ (figur 5). Analysen viser dermed at det var relativt dårleg samanheng mellom sommarbalansen på Hardangerjøkulen og på Folgefonna.



Figur 5 Korrelasjon mellom vinterbalansen målt på Hardangerjøkulen (x) og på Folgefonna (y) i dei fem utvalga brukt i analysen (tabell 1), og korrelasjon mellom sommarbalansen målt på Hardangerjøkulen (x) og Folgefonna(y) basert på alle år med målingar på Folgefonna (nede til høgre).

3.3 Nettobalansen

Det var god korrelasjonen ($r^2 = 0,96$) mellom nettobalansen på Hardangerjøkulen og nettobalansen på Blåvassbreen, Langrødbreen, Breidablikkbrea og Gråfjellsbrea (1964-68), medan korrelasjonen til nettobalansen på Bondhusbrea (1977-81) var noe dårligere ($r^2 = 0,69$). Når datasettet vert delt opp i to grupper var korrelasjonen relativt god både for det nordlege området ($r^2 = 0,84$) og det sørlege området ($r^2 = 0,76$). For heile datasettet vart korrelasjonen $r^2 = 0,74$.

Analysane viser at det er nært samanheng mellom vinter- og nettobalansen på Hardangerjøkulen og Folgefonna, medan sommarbalansen truleg er påverka av faktorar som påverkar avsmeltinga på Hardangerjøkulen og Folgefonna ulikt (som til dømes grad av skydekke). Samanlikningane viser at graden av samvariasjon vert endra med endra utvalg. Det skuldast både forskjellar i massebalanseforholda mellom dei ulike delfelta på Folgefonna og at forholdet mellom Folgefonna og Hardangerjøkulen vil variere noe frå år til år avhengig av dei meteorologiske forholda. Her kjem både avstand til kysten og høgde over havet inn. For vinterbalansen vil det truleg vere avgjerande om lavtrykksaktiviteten er sterk nok til å gi nedbør både på Folgefonna og på Hardangerjøkulen, medan det for sommarbalansen kan vere vesentleg om Folgefonna er meir skydelt enn Hardangerjøkulen. Høgdeforskjellen vil mellom anna kunne føre til forskjellig mengd nedbør som snø om våren, sommaren og hausten.

3.4 Vinter- og sommarbalansen si høgdefordeling

Figur 3 viser eksempel på korleis vinter og sommarbalansen kan variere med høgda. Samanlikning av sommarbalansen si høgdefordeling i ein del år med samtidige målingar viser at sommarbalansen i samme høgdenivå som regel var større på Hardangerjøkulen enn på Folgefonna. Men sidan storparten av Hardangerjøkulen sitt areal ligg høgare enn toppen av Folgefonna vart likevel midlare sommarbalanse for brefelta større på Folgefonna enn på Hardangerjøkulen. Figur 3 viser at over 1700 moh. var spesifikk sommarbalanse på Hardangerjøkulen mindre enn spesifikk sommarbalanse på toppen av Folgefonna. Sidan 65% av arealet til Hardangerjøkulen ligg høgare enn 1700 moh. og dermed hadde mindre sommarbalanse enn Folgefonna vart midlare sommarbalanse for Folgefonna større enn for Hardangerjøkulen.

Vinterbalansen var høgare i samme høgdenivå på Folgefonna enn på Hardangerjøkulen, men forskjellen varierer mykje frå år til år, mellom brefelta, og med høgda over havet (figur 3). Akkumulasjonskart laga på grunnlag av sonderingar viser ofte at det kan vere store variasjonar i vinterakkumulasjonen innafor høgdeintervall pga terregnformer og vindeffektar. På platåbrear som Hardangerjøkulen og Folgefonna avtar ofte slike variasjonar oppover på breen fordi dei øvre delane av breen som regel har jamnare form enn randsona og breutløparane. Derfor vart samvariasjonen mellom vinterbalansen 1550 moh. på brefelta på Folgefonna og vinterbalansen på Hardangerjøkulen undersøkt. Sidan over 80% av arealet til den målte delen av Hardangerjøkulen ligg på breplatået ovafor brefallet Rembesdalskåki vert her den rapporterte middelverdien brukt som mål for vinterbalansen på den øvre delen av Hardangerjøkulen. Dei samme utvalga som for tabell 1 vart brukt. Analysane viste om lag den samme graden av samvariasjon som for middelverdiane.

4. MODELLAR FOR MASSEBALANSEN PÅ FOLGEFONNA

Undersøkingane i kapittel 3 viste at det var til dels god korrelasjon mellom resultata av massebalansemålingar på Hardangerjøkulen og Folgefonna. Linære korrelasjonslikningar kan dermed brukast til å estimere massebalansen på Folgefonna. Men sidan målingane på Folgefonna er gjort på fleire brefelt kan ikkje likningane seiast å vere gyldige for enkeltfelt men heller for større område. På Hardangerjøkulen er dessuten variasjonsbredda i resultata frå perioden 1964-81 mindre enn i perioden 1982-97 (figur 4). Då var til dømes vinterbalansen på Hardangerjøkulen i nokre av åra over 3,5 m vassekvivalentar og nettobalansen var over 2,0 meter, medan den største vinterbalansen i perioden 1963-81 var 2,68 m (1968). Uvissa i modellerte verdiar vil då vere spesielt stor fordi balanseverdiane på Hardangerjøkulen i disse åra låg utafor modellgrunnlaget sine intervall (figur 4).

Sidan det ikkje er gjort målingar på Nordre Folgefonna kan det ikkje seiast noe sikkert om kor vidt massebalanseforholda der er annleis enn lengre sør. Normalverdiar frå nedbørstasjonar rundt Folgefonna (1961-90) og sommarbalansemålingane på Midtre Folgefonna og Blomstølskardsbreen/Sveljabreen i 1971 (Tvede, 1972) saman med den korte avstanden mellom breane gjer imidlertid at det truleg er liten forskjell mellom Nordre Folgefonna og breamråda lengre sør (Midtre Folgefonna og nordlege delen av Søre Folgefonna).

a)	Sørlege del av Søre Folgefonna	Kumulativt 1963-97 (m)
Vinterbalansen	$b_v(F) = 0,83 * b_v(H) + 1,01$ når $b_v(H) < 2,5m$ $b_v(F) = 1,03 * b_v(H) + 0,50$ når $b_v(H) > 2,5m$	98
Sommarbalansen	$b_s(F) = 0,78 * b_s(H) - 0,94$	-86
Nettobalansen	$b_n(F) = 0,90 * b_n(H) + 0,19$	12

b)	Nordlege del av Søre Folgefonna, Midtre Folgefonna og Nordlege Folgefonna	Kumulativt 1963-97 (m)
Vinterbalansen	$b_v(F) = 1,29 * b_v(H) - 0,13$ når $b_v(H) < 2,5m$ $b_v(F) = 1,03 * b_v(H) + 0,50$ når $b_v(H) > 2,5m$	89
Sommarbalansen	$b_s(F) = 0,78 * b_s(H) - 0,94$	-86
Nettobalansen	$b_n(F) = 1,21 * b_n(H) - 0,19$	1

Tabell 2: Likningar for utrekning av spesifikk vinter-, sommar- og nettobalanse a) på den sørlege delen av Søre Folgefonna, og b) på den Nordlege delen av Søre Folgefonna, Midtre Folgefonna og Nordlege Folgefonna ut ifrå målt massebalanse på Hardangerjøkulen ($b(H)$). Til samanlikning var kumulativ nettobalanse på Hardangerjøkulen i samme perioden 6,0 m vassekvivalentar. For vinterbalansen (og dermed summert nettobalanse) var det naudsynt å bruke to likningar fordi vinterbalansen på Hardangerjøkulen er større enn 2,5 m vert elles estimert vinterbalanse større for det nordlege området enn for det sørlege noke det ikkje er støtte for i målingar.

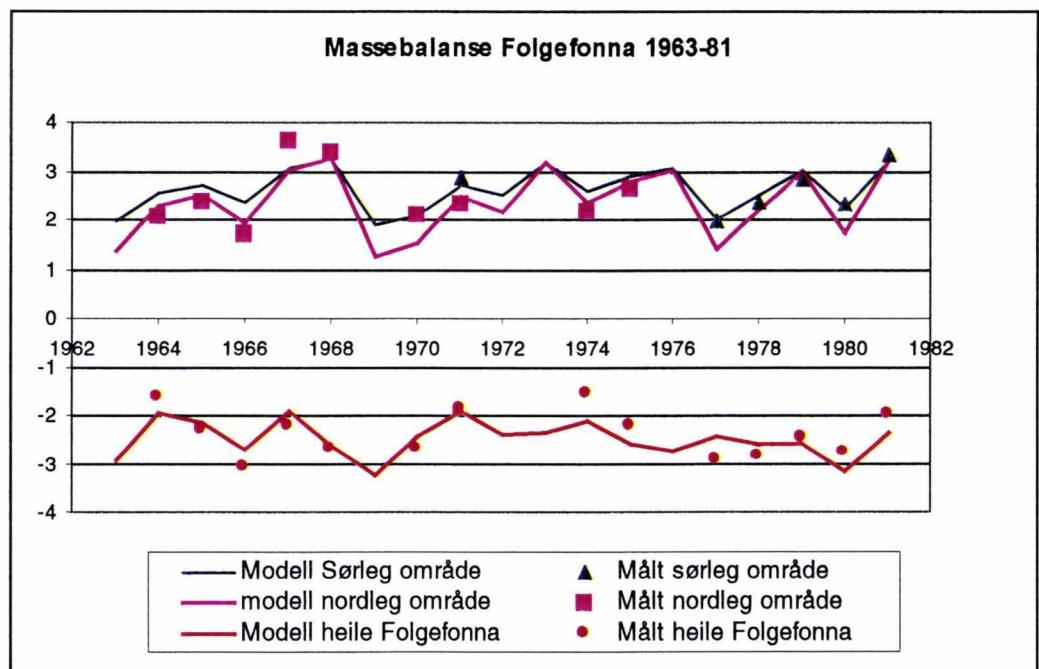
På bakgrunn av vurderingane av massebalanse mønsteret på Folgefonna (kapittel 2) og analysane av korrelasjon mellom målingar på Hareangerjøkulen og Folgefonna (kapittel 3) er det laga modellar for massebalansen i to områder på Folgefonna, eit nordleg område som omfattar Nordre, Midtre og nordlege delen av Søre Folgefonna, og eit sørleg område som omfattar den sørlege delen av Søre Folgefonna med mellom anna Bondhusbrea, Buerbreen og Blomstølskardsbreen / Svelgjabreen. Dermed er det tatt høgde for målt forskjell i vinterbalanse mellom dei to områda i 1971. For sommarbalansen er samme likninga brukt sidan korrelasjonslikninga basert på heile datasettet ga best korrelasjon for heile Folgefonna samla, og målingane i 1971 viste at det truleg var liten forskjell mellom dei to områda. For vinterbalansen vart det valgt å bruke eit samansett likningssett fordi når vinterbalanseverdien på Hardangerjøkulen er større enn 2,5 meter vassekvivalentar gir korrelasjonslikningane større vinterbalanse i det nordlege området enn i det sørlege området, og det er det ikkje grunnlag for verken i massebalanse målingar på Folgefonna eller i nedbørsmålingar rundt Folgefonna.

Uvissa i modellert massebalanse på Folgefonna har fire hovedkomponentar: 1) uvisse i utrekna massebalanse frå målingar, vanligvis estimert til $\pm 0,2$ m vassekvivalentar, 2) regresjonsanalyse forutset at alle datapunkt er like representarive, slik at forskjellar mellom dei ulike delfelta på Folgefonna kan gi auka uvisse i modellresultata, 3) metodisk uvisse i korrelasjonslikningane, og 4) uvisse som skuldast at datagrunnlaget ikkje dekker variasjonsbredda i seinare års målingar.

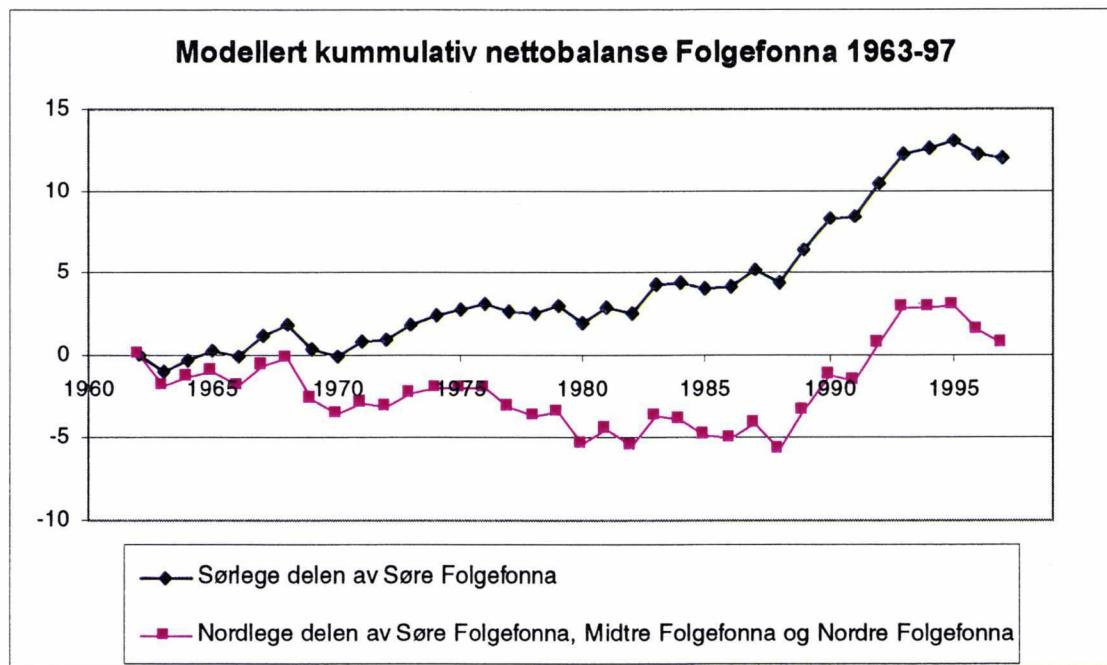
Teoretisk er det ein føresetnad at uvissene under punkt 2 og 4 ikkje eksisterer. Derfor vert dei heller ikkje estimert her. Uvissa under punkt 3 kan reknast ut frå datagrunnlaget, og avheng mellom anna av kor mange datapunkt som danner grunnlag for modelllikninga og av kor sikkert vi ønskjer at estimatet skal vere. Med ein vinterbalanse på Hardangerjøkulen på 2,0 m vart soleis vinterbalansen på søre delen av Søre Folgefonna estimert til $2,7 \pm 0,5$ m med 95% sannsyn, men $2,7 \pm 0,3$ m med 80% sannsyn. Dersom vinterbalansen på Hardangerjøkulen er 3,5 m (utafor modellgrunnlaget), så vert vinterbalansen estimert til $4,1 \pm 0,8$ m med 95% sannsyn, og til $4,1 \pm 0,5$ m med 80% sannsyn. Relativt liten skilnad i sannsynintervall skuldast at det i første tilfellet er 6 observasjonar i datagrunnlaget medan det i siste tilfellet er det 15 observasjonar.

I figur 6 er modellert og målt årleg vinter- og sommarbalanse samanlikna. Midlare forskjell mellom målt og modellert vinterbalanse var $0,26$ m vassekvivalentar, medan midlare forskjell mellom målt og modellert sommarbalanse var $0,29$ m vassekvivalentar. Til samanlikning vert uvissa i målt vinter- og sommarbalanse vanligvis estimert til $\pm 0,20$ m vassekvivalentar.

Modellane er brukt til å rekne ut kumulativ vinter-, sommar- og nettobalanse på Folgefonna i perioden 1963-97. Modellane tilsei då at vinterbalansen har vore vesentleg større på den sørlege delen av Søre Folgefonna enn på den nordelege delen av Søre Folgefonna og Midtre og Nordre Folgefonna. Sommarbalansen er antatt å ha samme utvikling i dei to områda, og er for begge områda estimert til å vere mindre enn vinterbalansen. Modellert kumulativ nettobalanse for dei to områda viser eit stort overskot i det sørlege området, men nær balansen for det nordlege området. Figur 7 viser den modellerte kumulative nettobalanse på Folgefonna i perioden 1963-97.



Figur 6 Målt og modellert vinter- (Øvst) og sommarbalanse (nedst) på Folgefonna i perioden 1963-81.



Figur 7 Kummulativ nettobalanse på Folgefonna etter modellane i tabell 2.

5. VERIFISERING

Årleg vinter-, sommar- og nettobalanse på den nordlege delen av Søre Folgefonna kan estimerast ut ifrå modellane i tabell 2. Sidan massebalanse målingane på Folgefonna er brukt som grunnlag for modellane kan disse resultata berre til ein viss grad brukast til verifisering av modellresultata for vinter- og sommarbalansen. Det er spesielt åra med ekstreme verdiar utafor variasjonsbredda i perioden 1964-81 som treng verifisering. Den modellerte massebalansen kan imidlertid verifiserast indirekte ved samanlikning med andre typar data og modellar.

5.1 Nettobalanse frå samanlikning av kart

Ved å samanlikne brekart basert på flybilete over samme brefelt frå ulike tidspunkt kan volumforandringa til brefeltet i perioden mellom fotograferingane reknast ut. Volumendringa omrekna til vassekvivalentar tilsvrar kumulativ nettobalanse i perioden mellom fotograferingane. Nettobalanse på Midtre Folgefonna for perioden 1959-81 vart såleis utrekna til -9,6 m vassekvivalentar (Østrem & Tvede, 1986), medan modellen for nordlege delen av Søre Folgefonna (inkludert Midtre Folgefonna) basert på årleg nettobalanse på Hardangerjøkulen ga -5,2 m vassekvivalentar. For perioden på 22 år tilsvarer dette -0,43 og -0,23 m vassekvivalentar pr. år. Nettobalanse på Hardangerjøkulen i perioden 1959-62 vart estimert ved linær korrelasjon til Storbreen i Jotunheimen.

Samanlikning av målt og modellert nettobalanse på Midtre Folgefonna for 1970 og 1971 viser relativt liten forskjell. Målt nettobalanse var hhv. -0,62 og 0,37 meter, medan modellert massebalanse var -0,91 og 0,71 meter. Modellen gir med andre ord både meir positive og meir negative verdiar enn målingane. Ei forklaringa på dette kan då vere at det er faktiske forskjellar i massebalansen mellom Midtre Folgefonna og nordlege delen av Søre Folgefonna, sidan det meste av datagrunnlaget for modellen er henta frå Søre Folgefonna. Det er imidlertid ikkje grunnlag i dataene (figur 4) for å seie at vinterbalansen er mindre på Midtre Folgefonna enn på den nordlege delen av Søre Folgefonna. Ein forklaring kan imidlertid knyttast til det at vindtransport er vesentleg for akkumulasjonsfordelinga på Midtre Folgefonna. Østrem & Tvede (1986) viste at omfanget av sterk vind i vintersesongen hadde auka mellom perioden 1951-59 og perioden 1960-79, og brukte det som forklaring på den negative massebalansen til Midtre Folgefonna i perioden 1959-81. Tvede & Laumann (1997) har også vist til aukande grad av sterk vind om vinteren som årsak til at ein del småbrear i Aurlandsfjella har minka mellom 1969 og 1989. Dei peikar på faktorar som lesideakkumulasjon og areal på losida av breen som viktige faktorar for korvidt småbreane voks eller minka. Forklaringa kan då vere at Midtre Folgefonna, som er ein relativt liten bre, harhatt mindre vinterbalanse enn nordre delen av Søre Folgefonna i denne perioden pga. sterke vind om vinteren enn tidlegare. Det har då ført til meir negativ nettobalanse på Midtre Folgefonna.

Ei tilsvarande samanlikning av kart frå 1959 og 1995 av den sørlege delen av Søre Folgefonna viste at i eit område som omfatta 69% av Møsevassbrea, Svelgjabreen og Blomstølskardsbreen opp til 1500 - 1550 moh. ($62,8 \text{ km}^2$, Østrem m.fl. 1988) hadde overflata heva seg i snitt 8,4 meter (Smith-Meyer & Tvede, 1996). Kartlegginga i 1995 dekka dessverre ikkje dei øvste $19,3 \text{ km}^2$ av desse brefelta, men overflatehevinga i dette området vart estimert til 7 meter. Den samla volumendringa tilsvarer då ein midlare kumulativ nettobalanse i perioden 1959-95 på +5,8 m vassekvivalentar. Tilveksta var imidlertid konsentrert om

Blomstølskardsbreen og Svelgjabreen som i det kartlagte området hadde ein tilvekst på hhv. 9,2 og 8,8 m vaskekvalentar, medan Møsevassbrea som ligg meir eksponert mot vestavinden var tilnærma i balanse (-0,8 meter). Det er rimelig å rekne med at dei øvre områda av desse brefelta hadde større tilvekst enn snittet for den kartlagte delen slik at dei nemnte verdiane må reknast som minimumsverdiar for brefelta.

Modellen for sørlege delen av Søre Folgefonna basert på årleg nettobalanse på Hardangerjøkulen ga til samanlikning ein kumulativ nettobalanse for perioden 1959-95 på +13,7 m vaskekvalentar. Sidan modellen i hovedsak er basert på data frå Bondhusbrea, kan modellen kanskje underestimere massebalansen på Blomstølskardsbreen/Svelgjabreen noe, men likevel representerer den sørlege delen av Søre Folgefonna. Smith-Meyer & Tvede (1996) viste at det er store forskjellar innanfor dette området slik at modellresultat må tolkast med varsemd i forhold til enkeltfelt på den sørlege delen av Søre Folgefonna.

5.2 Nettobalanse frå vinternedbør og sommartemperatur i Bergen

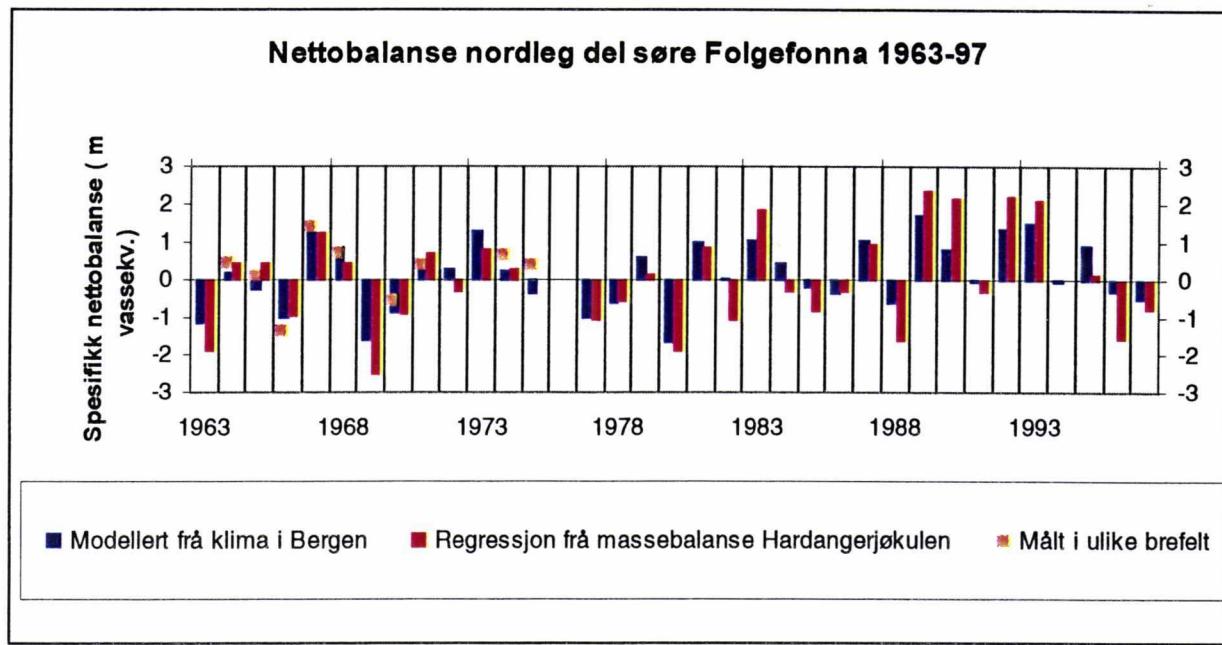
Sidan massebalansen er avhengig av meteorologiske forhold har det vore gjort fleire studiar med mål å finne metodar for utrekning av massebalansen utifrå meteorologiske parametrar (ma. Liestøl 1967, Johannesson m.fl. 1995). Tvede (1979) fann følgjande samanheng mellom nettobalanse på Folgefonna og vinternedbør og sommartemperatur målt i Bergen:

$$b_n = 444 + 2,16 * P - 54 * T_3$$

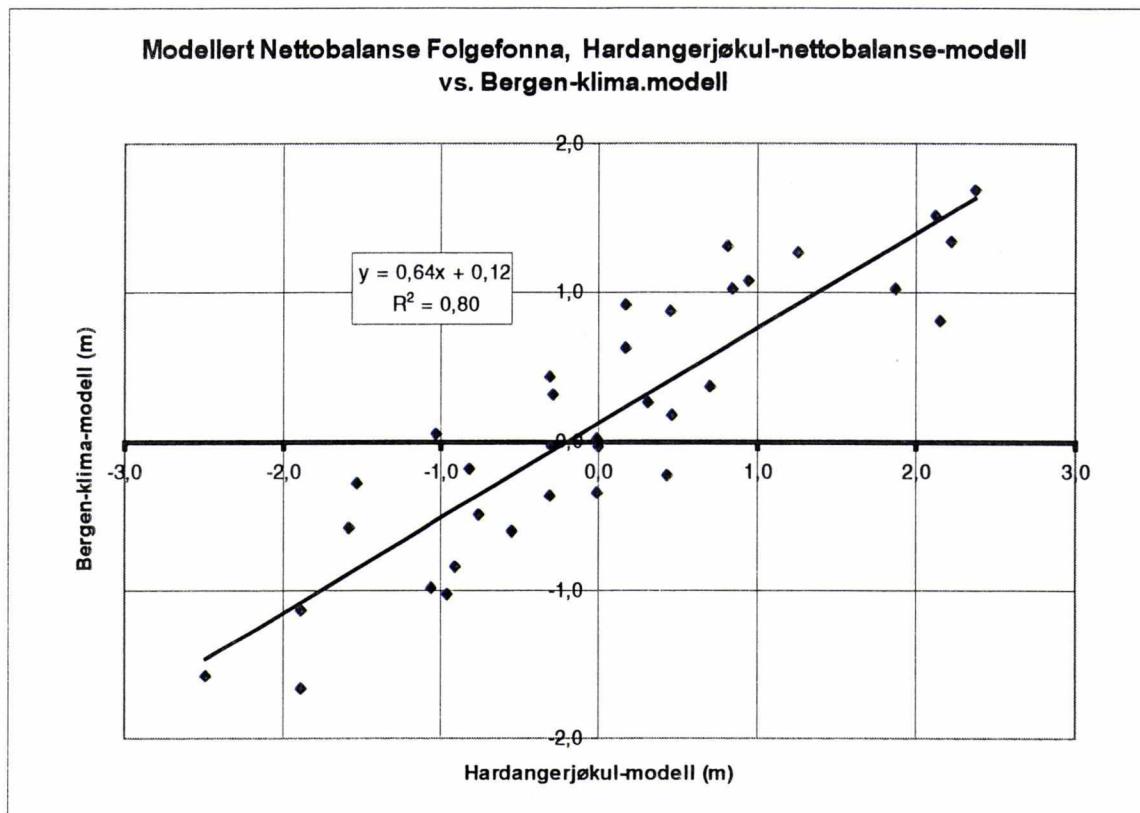
der b_n er spesifikk nettobalanse på Folgefonna (cm), P er vinternedbøren(1/10-31/5) i Bergen (cm), og T_3 er midlare lufttemperatur i Bergen (Fredriksberg) i perioden 1/6 – 31/8 ($^{\circ}$ C). Samanhengen er basert på massebalansemålingar på Midtre Folgefonna, Breidablikkbrea, Gråfjellsbrea, Langrødbreen og Blåvassbreen i perioden 1964 - 71. Det vart også forsøkt å bruke data frå meir nærliggande klimastasjonar men utan at det ga bedre korrelasjon til målt nettobalanse. Sidan datagrunnlaget kjem frå området rundt nordre delen av Søre Folgefonna vil formelen best representerer forholda på den delen av Folgefonna.

Ut ifrå nedbør- og temperaturdata frå Bergen for perioden 1963-97 vart så formelen brukt til å rekne ut årleg spesifikk nettobalanse på Folgefonna i perioden. Sidan nedbørstasjonen Bergen-Fredriksberg vart nedlagt i 1985 er stasjonen Bergen-Florida bruk i staden uten korreksjonar. Nedbør-normalen (1961-90) for Bergen-Florida er 105% av normalen for Bergen-Fredriksberg slik at modellresultata kan verte noe høgare enn forutsett. Forskjellen er imidlertid så liten at han neppe verkar inn på konklusjonane.

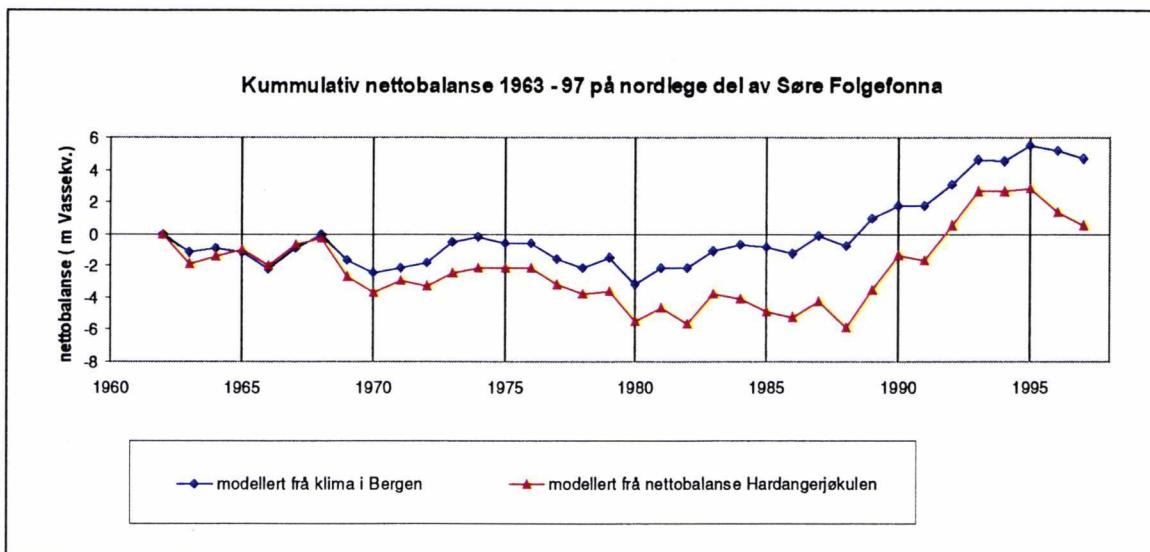
Figur 8 viser massebalansen på nordlege delen av Søre Folgefonna i perioden 1963-97 modellert ved regresjon frå nettobalanse på Hardangerjøkulen, meteorologiske parametrar målt i Bergen, og målt i ulike delfelt på Folgefonna i perioden 1964-81. Figur 9 viser at det er rimelig god korrelasjon mellom estimata for enkeltår mellom dei to modellane ($r^2 = 0,79$), og begge modellane gir noe lunde same kumulative utviklinga i nettobalanse i perioden (figur 10). Modellen basert på data frå Bergen gir imidlertid mindre positiv utvikling i perioden etter 1988 enn modellen basert på nettobalanse på Hardangerjøkulen (figur 10).



Figur 8 Årleg nettobalanse på nordlege delen av Søre Folgefonna i perioden 1963-97 modellert frå nettobalanse på Hardangerjøkulen, meteorologiske parametar målt i Bergen, og målt nettobalanse i ulike delfelt på Folgefonna i perioden 1964-81.



Figur 9 Samanlikning av nettobalanse på nordlege delen av Søre Folgefonna modellert frå nettobalanse på Hardangerjøkulen (x) og modellert frå klimadata frå Bergen (y).



Figur 10 Kummulativ nettobalanse på nordlege delen av Søre Folgefonna modellert fra nettobalanse på Hardangerjøkulen og fra klimadata fra Bergen.

Modellen basert på data fra Bergen er basert på målingar i perioden 1964-75 med relativt lite variasjon i nettobalanse samanlikna med perioden 1981-97 (figur 4). For å teste om modellen kan representere dei meir ekstreme nettobalanseverdiane målt i perioden 1982-97 vart tilsvarende modell for Hardangerjøkulen (Wold & Repp, 1979) testa for perioden 1963-97. Samanlikning med målt nettobalanse på Hardangerjøkulen viser at den meteorologiske modellen ga størst feil i år med svært positiv nettobalanse (1990 og 1992), men overvurderer nettobalanse i år med svært negativ nettobalanse (modellen gir for lite negativ nettobalanse i 1996). For perioden 1989-95 vart nettobalanse dermed undervurdert med 4,2 meter. Derfor har truleg nettobalanse på nordlege delen av Søre Folgefonna vore meir positiv enn det modellen basert på meteorologiske data fra Bergen kan tyde på, og det stemmer rimelig godt med resultata frå modellen basert på nettobalanse på Hardangerjøkulen.

5.3 Nettobalanse vurdert ut ifrå frontposisjonendringar

Sidan slutten av 1980-talet har mange brearmar frå platåbreane på Vestlandet hatt stor tilvekst, og mange brefrontar har rykka fram (Elvehøy m.fl., 1997). Både Buerbreen, Bondhusbrea og Blomstølskardsbreen har rykka fram sidan slutten av 1980-talet. Det tyder på at det har vore positiv nettobalanse på den sørlege delen av Søre Folgefonna i ein periode før dette. Modellen for den sørlege delen av Søre Folgefonna estimerer ein slik positiv trend i nettobalanse heilt sidan 1963 med ekstra stor tilvekst i perioden 1989-95 (figur 7). Til samanlikning er det ikkje tegn som tyder på at brearmane på den nordlege delen av Søre Folgefonna eller Midtre Folgefonna har vokse noke særleg i perioden. Samanlikning av flybilete frå 1981 og 1997 viser imidlertid at Botnabrea på vestsida av Nordre Folgefonna og Dettebreen på austsida har gått noke fram sidan 1981 (Sorteberg, 1998). Dette kan tyde på at Nordre Folgefonna kan ha ei meir positiv utvikling enn nordlege delen av Søre Folgefonna og Midtre Folgefonna.

5.4 Vinterbalanse frå vinternedbør på nedbørstasjonar

Målt vinterbalanse i det nordlege området er korrelert mot vinternedbør (15.september-15.mai) på tre nedbørstasjonar på vestsida av Folgefonna; Bondhus (1963 - 76), Mauranger Kraftverk (1977 - 97) og Kvåle (1966 - 97), medan vinterbalansen i det sørlege området er korrelert mot vinternedbøren på tre stasjonar på sørsida av Søre Folgefonna; Indre Matre(1963 - 71), Eikemo (1963 - 97) og Opstveit (1968 - 97). Sidan stasjonane ikkje har gått gjennom heile perioden vart middelverdien for dei aktive stasjonane kvar vinter brukt. Det var god korrelasjon mellom vinternedbør og vinterbalanse ($r^2=0,97$ i sør og $r^2=0,81$ i nord). Ut ifrå regressjonslikningane og vinternedbør på stasjonane rundt breen vart så årleg vinterbalanse i dei to områda utrekna.

Det var relativt god korrelasjon mellom dei to modellane ($r^2=0,72$ i sør og $r^2=0,74$ i nord). Kummulativ vinterbalanse vart noke større for modellen basert på lokale nedbørstasjonar (101 meter mot 98 meter vaskekvalentar i sør, og 96 meter mot 89 meter nord). Middelforskjellen mellom dei to modellane var 0,29 m for det sørlege området og 0,41 m for det nordlege. Samanlikning år for år viser imidlertid at i enkelte år kan forskjellen vere over 1 meter. Modellen basert på lokal nedbør har imidlertid den samme veikskapen som dei andre modellane ved at vinternedbøren i perioden med massebalanse målingar var mindre enn i ein del nedbørrike år seinare i perioden.

Ein tilsvarande analyse vart forsøkt for sommarbalansen, men det var svært dårlig korrelasjonen mellom målt sommarbalanse på Folgefonna og sommartemperaturen (15.mai-15.september) på nærmeste klimastasjonen som er Omastrand i Strandebarm på nordvestsida av Hardangerfjorden.

KONKLUSJONAR

Massebalanse målingar og nedbørdata tyder på at vinterbalansen er større på den sørlege delen av Søre Folgefonna enn på den nordlege delen av Søre Folgefonna, på Midtre Folgefonna og på Nordre Folgefonna. Sommarbalansen ser ut til å vere ganske lik over heile Folgefonna. Målingane indikerer at vinterbalansen kan vere svært påvirkad av vindtransport som gir eit meir komplisert akkumulasjonsmønster.

Vinter- og sommarbalansen på Folgefonna var i gjennomsnitt om lag 130% av vinter- og sommarbalansen på Hardangerjøkulen i åra med samtidige målingar.

Samanlikning av vinter- og sommarbalansen sine høgdefordelingskurver viser at vinterbalansen var større på Folgefonna enn på Hardangerjøkulen i samme høgdenivå, medan sommarbalansen var større på Hardangerjøkulen enn på Folgefonna. Fordi mesteparten av (den undersøkte delen av) Hardangerjøkulen sitt areal ligg høgare enn toppen av Folgefonna vart like vel sommarbalansen større på Folgefonna enn på Hardangerjøkulen.

Det var til dels god korrelasjon mellom vinterbalansen og nettobalansen på Folgefonna og Hardangerjøkulen. For sommarbalansen var det til dels dårlig korrelasjon mellom resultata frå dei to breområda. Ut ifrå regresjonsanalysen er modellar for vinter-, sommar- og

nettobalansen for to områder på Folgefonna laga. Modellane estimerer kummulativ nettobalanse i det sørlege området til +12 meter vassekvivalentar, medan kummulativ nettobalanse i det nordlege området vart +1 meter vassekvivalentar. Modellane antyder at forskjellen i stor grad kom i perioden 1963-88.

Samanlikning av modellresultat med kartstudier viser ikkje forskjellar som falsifiserer modellane. Datagrunnlaga er så pass forskjellige at årsaker til forskjellane ikkje kan knyttast til modellane.

Samanlikning av årleg nettobalanse på nordlege delen av Folgefonna modellert frå nettobalanse på Hardangerjøkulen og værdata frå Bergen viser rimelig god korrelasjon ($r^2=0,80$) mellom dei to modellane. Modellen basert på værdata gir ei meir positiv nettobalanseutvikling enn modellen basert på Hardangerjøkulen sin nettobalanse.

Forskjellar i frontposisjonendringar mellom brearmar frå sørlege delen av Søre Folgefonna og nordlege delen av Søre Folgefonna støtter at nettobalansen har vore generelt positiv på den sørlege delen i heile perioden medan nettobalansen på den nordlege delen var negativ i alle fall fram til 1989. Observasjonar frå Nordre Folgefonna tyder på at utviklinga har vore meir positiv der enn på den nordlege delen av Søre Folgefonna og på Midtre Folgefonna.

Det var brukbar ($r^2=0,73$) korrelasjon mellom vinterbalansen modellert med linære regresjonslikningar frå vinternedbør på lokale nedbørstasjonar og frå vinterbalansen på Hardangerjøkulen for begge dei to områda på Folgefonna. Ein tilsvarande analyse for sommarbalansen ga svært dårlig korrelasjon.

Metodane som her er brukt for å lage modellar for massebalansen på Folgefonna har den svakheita at datagrunnlaget for modellane frå perioden 1963-81 har lita variasjonsbredde i forhold til det som har vore målt seinare.

Referansar

Elvehøy, H., N. Haakensen, M. Kennett, B. Kjøllmoen, J. Kohler, A.M. Tvede, 1997:
Glasiologiske undersøkelser i Norge 1994 og 1995. NVE-Publikasjon Nr 19/1997 (197 s.).

Johannesson, T., O. Sigurdsson, T. Laumann & M. Kennett, 1995:
Degree-day glacier mass-balance modelling with applications to glaciers in Iceland, Norway and Greenland, Journal of Glaciology Vol.41 No 138 s. 345-358.

Liestøl, O., 1967:
Storbreen Glacier in Jotunheimen, Norway, Norsk Polarinstittuts Skrifter Nr 141 (63 s.).

Pytte, R. & G. Østrem, 1965:
Glasio-hydrologiske undersøkelser i Norge 1964, Hydrologisk Avdeling, NVEs Meddelelse nr 14

(90 sider).

Smith-Meyer & Tvede, 1996

Volumendringer på Søndre Folgefonna mellom 1959 og 1995. NVE-Rapport Nr 36-96 (12 sider).

Sorteberg, H.K., 1998:

Regional breovervåkning i Sør-Norge 1997. NVE-Rapport Nr 8/1998 (21 s.).

Tvede, A.M., 1972:

En glasio-hydrologisk undersøkelse av Folgefonna, upublisert hovedfagsoppgåve, Universitetet i Oslo, (103 s.).

Tvede, A. M., 1979:

Likninger til beregning av nettobalansen fra værdata. I: Wold, B. & K. Repp, 1979
Glasiologiske undersøkelser i Norge 1978. NVE-Rapport Nr 4-79 (71 sider).

Tvede, A.M. & O. Liestøl, 1977

Blomsterskardbreen, Folgefonna, mass balance and recent fluctuations, Norsk Polarinstitutt Årbok 1976, s 225-233.

Østrem, G. & Brugman, M. 1991:

Mass balance measurements: a manual for field and office work. National Hydrology Research Institute, Scientific Report nr. 4, NHRI, Saskatoon, Canada & NVE, Oslo (151 s.).

Østrem, G., K. Dale Selvig & K. Tandberg, 1988:

Atlas over breer i Sør-Norge, Meddeelse Nr. 61, Hydrologisk avd., NVE (248 s).

Østrem, G. & A.M. Tvede, 1986:

Comparison of glacier maps – a source of climatological information? Geografiska Annaler, Vol.68A, s225-231.

Denne serien utgis av Norges vassdrags- og energiverk (NVE)
Adresse: Postboks 5091 Majorstua, 0301 Oslo

I 1998 ER FØLGENDE DOKUMENT UTGITT:

Nr 1 Kristin Kolseth: Avkastning på kapitalen i sentral-, regional- og distribusjonsnettet (7 s.)

Nr 2 Eli Sæterdal: Punktbaserte marginale tap (29 s.)

Nr 3 Inger Sætrang(red): Oversikt over vedtak i tvistesaker. *Andre halvår i 1997* (10 s.)

Nr 4 Ingebrigts Bævre: Vurdering av flom og isforhold i Surna (112.C) ved Bolme (13 s.)

Nr 5 Hallgeir Elvehøy: Samanlikning av massebalanse på Hardangerjøkulen og Folgefonna (26 s.)