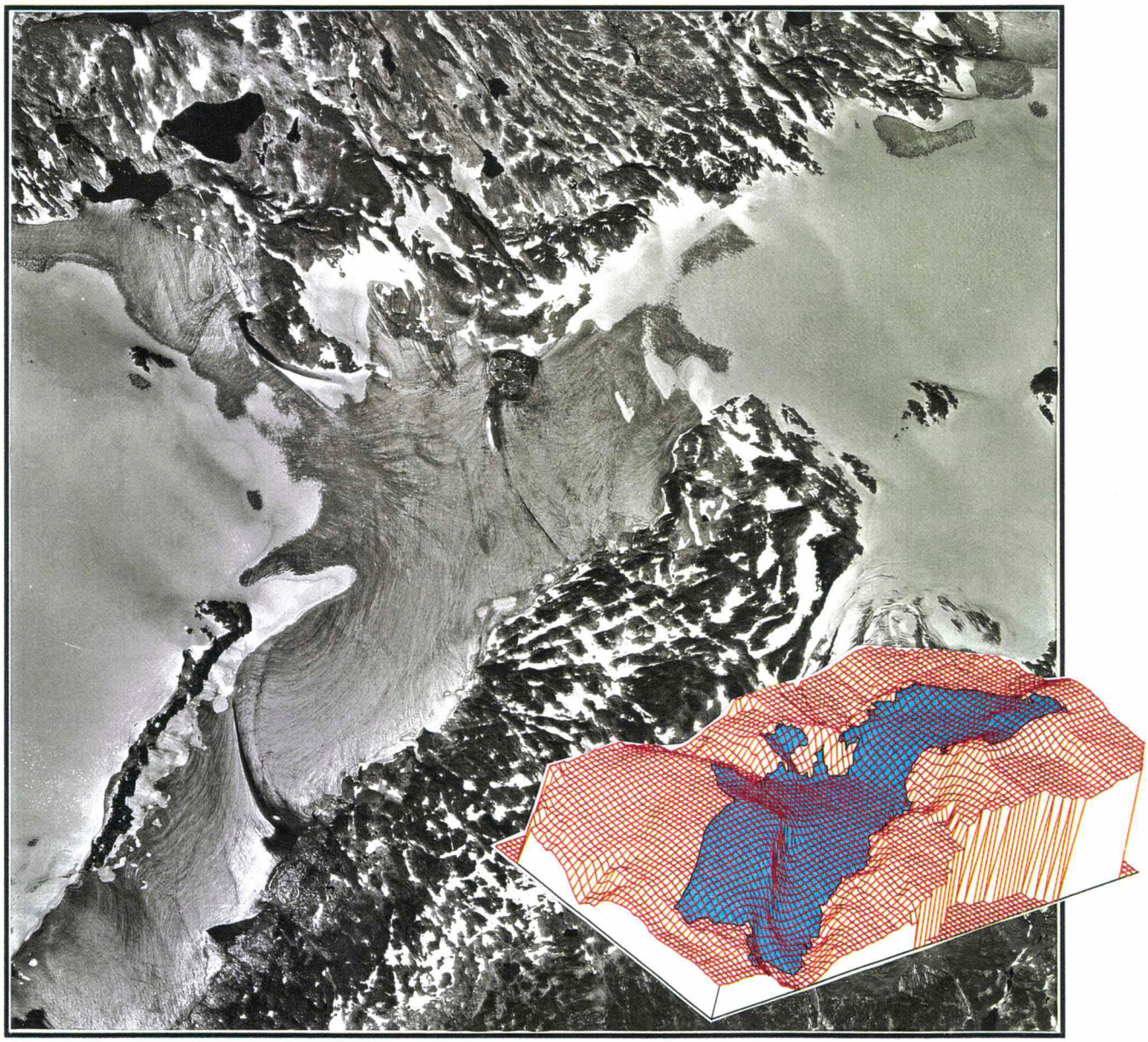
RAPPORT

06 1997

NVE
NORGES VASSDRAGS-
OG ENERGIVERK

Bjarne Kjøllmoen

VOLUMENDRINGER PÅ HARBARDSBREEN 1966 - 96



HYDROLOGISK AVDELING

43

NORGES VASSDRAGS- OG ENERGIVERK

Forfatter: Bjarne Kjøllmoen

VOLUMENDRINGER PÅ HARBARDSBREEN 1966-96

NVE-Rapport nr 6

fra

HYDROLOGISK AVDELING

1997

Flyfoto: Fjellanger Widerøe AS

TITTEL Volumendringer på Harbardsbreen 1966-96	**RAPPORT** Nr 6 1997
SAKSBEHANDLER Bjarne Kjøllmoen, Seksjon Bre og Snø	DATO 7.april 1997 RAPPORTEN ER Åpen
OPPDRAGSGIVER Hydro Energi Sogn	OPPLAG 50

SAMMENDRAG

Denne rapporten omhandler beregning av volumendringer på Harbardsbreen i perioden 1966-96. Beregningene er utført på den delen av breen som drenerer østover til Steindalselvi og Fivlemyrane kraftmagasin.

Beregningene bygger på en sammenligning av kart fra 1966 og 1996. Resultatet viser at volumet på denne delen av Harbardsbreen har minket med ca 124 mill.m^3 vann i løpet av denne 30-årsperioden. På ca 30% av breens areal har volumet økt, mens på ca 70% har volumet minket. Volumøkningene har stort sett vært i områdene over 1600 m o.h. De største negative endringene er på de lavestliggende områdene med en vertikal høydeendring på mer enn 60 meter.

Volumendringen, som er et uttrykk for breens nettobalanse i denne perioden, er sammenlignet med seks andre breer i et vest/øst-profil fra den maritime Ålfotbreen i Nordfjord til den kontinentale Gråsubreen i Øst-Jotunheimen. Sammenligningen viser at Harbardsbreen skiller seg ut med et relativt større underskudd i perioden 1966-96 enn andre breer.

ABSTRACT

Results from the calculations of volume changes at Harbardsbreen in the period 1966-96 are presented in this report. Calculations are made on the part of the glacier which drains eastwards to Steindalselvi and Fivlemyrane reservoir.

The calculations are based on a comparison of maps from 1966 and 1996. The result shows that this part of Harbardsbreen has decreased in volume by ca. 124 mill.m^3 of water during these 30 years. Negative volume changes occur over about 70% of the area. Positive volume changes are generally confined to areas above 1600 m a.s.l. The greatest negative changes are found at the lowest parts, with a vertical lowering of the surface amounting to more than 60 metres.

The volume change, which is an expression for the net balance of the glacier in this period, is compared with six other glaciers in a west/east-profile from the maritime Ålfotbreen in Nordfjord to the continental Gråsubreen in East-Jotunheimen. This comparison shows that Harbardsbreen had a greater net deficit in the period 1966-96, relative to the other glaciers.

EMNEORD/SUBJECT TERMS
Flyfotografering, kartkonstruksjon, volumendringer, nettobalanse
Aerial photography, mapping, volum changes, net balance

ANSVARLIG UNDERSKRIFT

Arne Tollan
avdelingsdirektør

FORORD

Utbyggingen av Fortun- og Grandfastavassdragene ble utført på slutten av 1950-tallet. Smeltevann fra Harbardsbreen, som blir utnyttet til denne kraftproduksjonen, blir magasinert i Fivlemyrane kraftmagasin. Magasinet har en reguleringshøyde på 10 m og lagringskapasitet på 3.5 mill.m^3 vann.

Med bakgrunn i de pålegg om hydrologiske undersøkelser som er gitt, omhandler denne rapporten første del av de breundersøkelsene som vil bli utført i perioden 1996-2001. Rapporten beskriver breens volumendring i perioden 1966-96. I de neste fem årene vil undersøkelsene omfatte måling av breens massebalanse og observasjon og eventuelle målinger av en bredemt sjø.

Flyfotografering og kartkonstruksjon er utført av Fjellanger Widerøe AS, personell fra Seksjon Bre og Snø har stått for feltarbeidet i forbindelse med fotograferingen, mens Bjarne Kjøllmoen har utarbeidet denne rapporten.

Oslo, april 1997

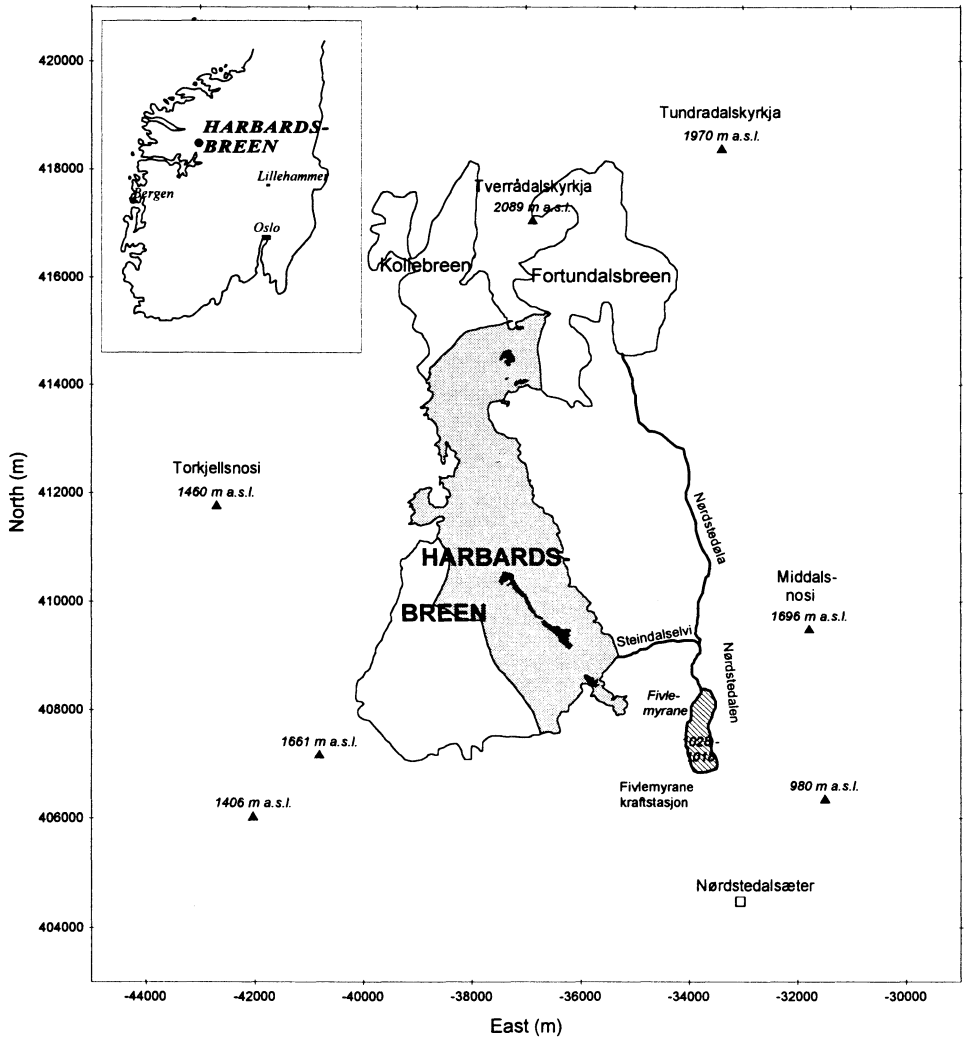
Gunnar Atterås
seksjonssjef

INNHOLDSFORTEGNELSE

1.	INNLEDNING	7
2.	DATAGRUNNLAG	8
	2.1 Data fra 1966	8
	2.2 Data fra 1996	8
3	BEREGNINGER	9
	3.1 Metode	9
	3.2 Volumendring	10
4	KOMMENTARER TIL RESULTATET	14
REFERANSER		17

1. INNLEDNING

Harbardsbreen ligger mellom Mørkridsdalen og Fortundalen nordøst i Breheimen i Sogn og Fjordane. Den henger sammen med Fortundalsbreen (ca 5 km^2) i nordøst og Kollebreen (ca 3 km^2) i nordvest. Beliggenheten gjør at den ligger i en overgangssone mellom de nedbørrike breene på Vestlandet og de nedbørfattige breene i Jotunheimen (figur 1). Breens areal er ca 25 km^2, der ca 13 km^2 drenerer østover til Steindalselvi og Fivlemyrane kraftmagasin. Det er for denne østlige delen av Harbardsbreen volumendringene mellom 1966 og 1996 nå er beregnet. Den undersøkte delen av breen er østvendt med en markert fjellskrent midt på den sydlige delen som nærmest deler breen i to. Den strekker seg fra 1250 m o.h. opp til 1970 m o.h. Den resterende del av breen drenerer enten vestover til Rausdøla eller sørover til Nobbelvi og Mørkrisvassdraget.



Figur 1. Harbardsbreen ligger i Breheimen i Luster kommune, Sogn og Fjordane fylke. Undersøkelsene er utført på den østvendte delen av breen (ca 13 km^2) som drenerer til Steindalselvi og Fivlemyrane kraftmagasin.

Harbardsbreen is located in Breheimen in Sogn og Fjordane county. The investigation reported here is carried out at the eastern part of the glacier (ca 13 km^2) which drains to Steindalselvi and Fivlemyrane reservoir.

Breundersøkelsene på Harbardsbreen, som er en del av et konsesjonspålegg fra Hydrologisk avdeling, ble igangsatt sommeren 1996. Undersøkelsene omfatter massebalansemålinger, observasjon av mulige bredemte sjøer og beregning av volumendringer siden 1966. Beregninger av volumendringer eller breens kumulative nettobalanse, som denne rapporten omhandler, er foretatt ved å sammenligne kart fra hhv 1966 og 1996. Det er ikke gjort breundersøkelser på Harbardsbreen tidligere.

2. DATAGRUNNLAG

Flyfotografering og kartkonstruksjon er utført av Fjellanger Widerøe AS for begge årene.

Kartgrunnlagene for 1966 og 1996 er vist i figur 2. Breavgrensningen mot fjellet er klart definert rundt hele breen. I nord og sørvest danner isskillet avgrensningen til den undersøkte del av breen. Denne grensen er trukket manuelt på bakgrunn av breens overflatetopografi.

2.1 Data fra 1966

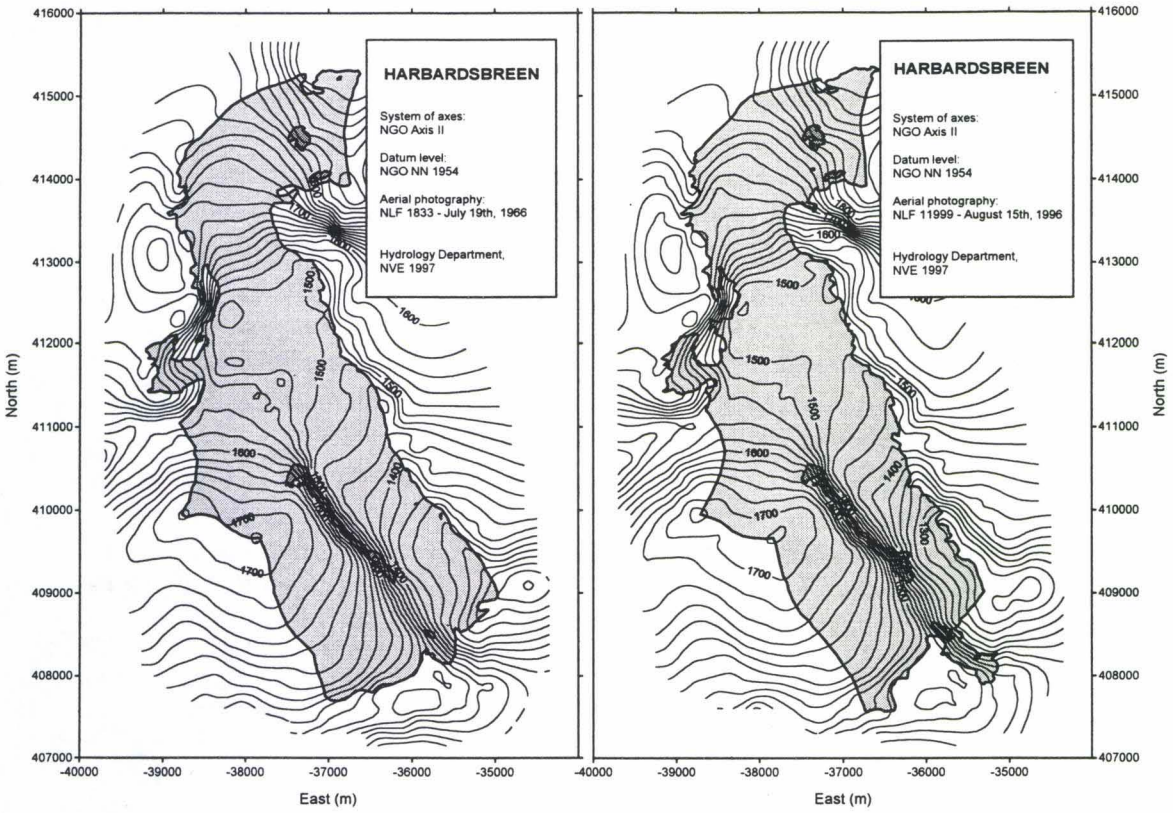
Grunnlaget for dataene fra 1966 er fra flybilder i målestokk 1:40 000. Bildene er tatt den 19.juli 1966, og det var pent, klart vær denne dagen. Lite snøakkumulasjon gjennom vinteren og stor avsmelting på sommeren gjorde at breen var svært avsmeltet dette året. Kvaliteten på bildene er derfor god og de egner seg godt til dette formålet.

Flybildene fra 1966 ble opprinnelig tatt for konstruksjon av kart i den nasjonale kartserien N50 (den gang M711) som er den landsdekkende hovedkartserien i målestokk 1:50 000. Denne kartmålestokken er for liten for foreliggende breundersøkelser, og det eksisterende N50-kartet med ekvidistanse 20 m kunne derfor ikke benyttes. Det er derfor konstruert et nytt og mer detaljert kart fra 1966 med ekvidistanse 10 meter. Kartet er lagret i digital form.

2.2 Data fra 1996

Grunnlaget for dataene fra 1996 er fra flybilder i målestokk 1:30 000. Bildene er hovedsakelig tatt den 15.august og supplert den 16.september 1996. Lite snø om vinteren og omtrent normal avsmelting på sommeren gjorde at forholdene var gode for flyfotografering av breer dette året. Det var pent klart vær begge fotodagene og bildene er av svært god kvalitet.

Kartkonstruksjonen er utført på samme punktgrunnlag som kartet fra 1966 og med ekvidistanse 10 meter. Kartet er lagret i digital form.



Figur 2. Kartgrunnlaget for 1966 (til venstre) og 1996 (til høyre). Høydekurvene er vist med 20 m ekvidistanse.

Map basis for 1966 (left) and 1996 (right). The contour lines are shown with 20 m equidistance.

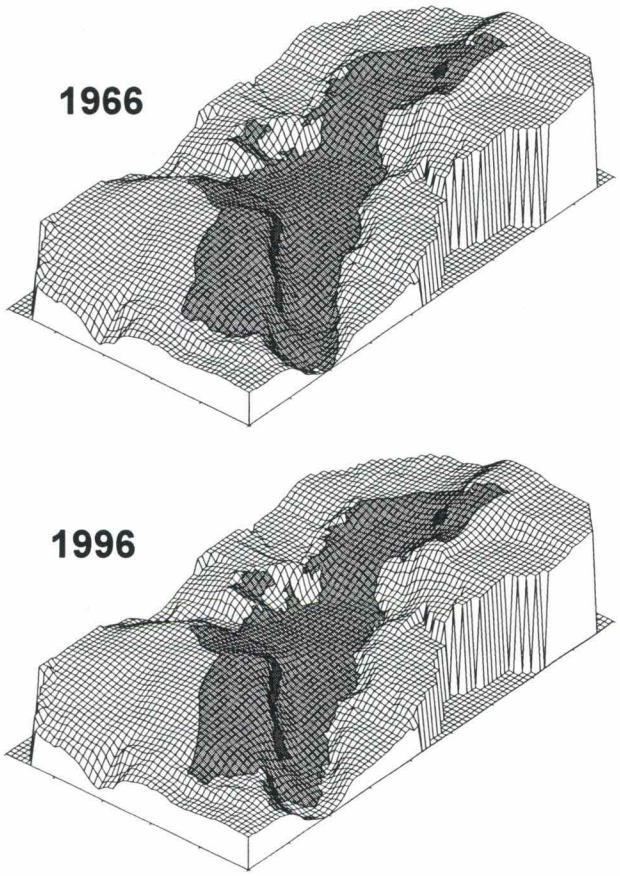
3. BEREGNINGER

3.1 Metode

Metoden som her er benyttet for å beregne volumendringer er en såkalt "topografisk metode". Grunnlaget for beregningene nedenfor er høydekurver og breavgrensning som vist i figur 2. Dataene er bearbeidet ved hjelp av kartprogrammet SURFER (Golden Software, Inc. USA).

Breoverflaten er delt inn i rutenett (grid), der hver rute etter bestemte interpolasjons-metoder blir gitt en middelhøyde. Rutestørrelse og interpolasjonsmetode er blant annet avhengig av datatettheten som i dette tilfelle varierer noe. Av den grunn er genereringen av "gridet" utført med rutestørrelse fra 25 x 25 m til 400 x 400 m, og med to ulike interpolasjonsmetoder; "Kriging", som er basert på bruk av romlig statistikk og "Inverse Distance to a Power", som er en vektet middelinterpolator. Alle varianter av de nevnte rutestørrelser og interpolasjonsmetoder ga omtrent samme resultat. Det genererte rutenettet danner en digital terrengmodell (DTM), og kan visualiseres som vist i figur 3.

Ved å sammenligne "gridene" for de to årene 1966 og 1996, vil hver gridrute få en høydedifferanse. Netto volumendring er summen av høydedifferansene.



Figur 3. *Breoverflaten er delt inn i rutenett (grid) der hver rute er gitt en middelhøyde. Et rutenett på 100 x 100 m er her gjengitt som tredimensjonale terrengmodeller for 1966 og 1996.*

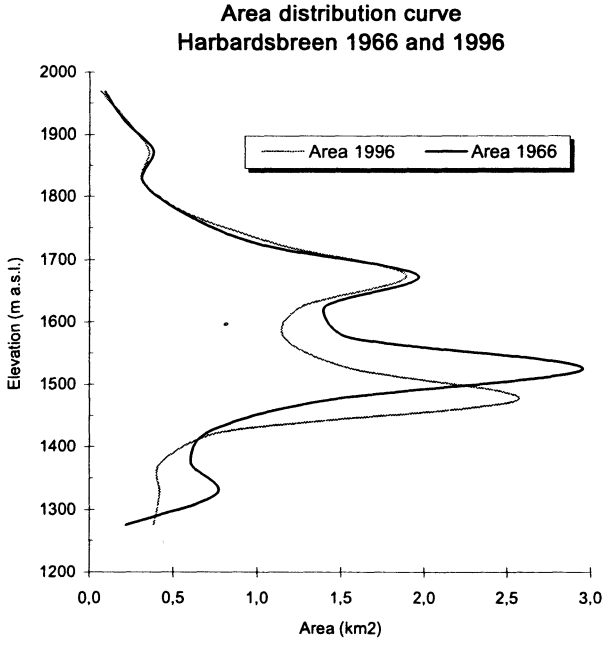
The glacier surface is divided into a grid where each grid cell has an average height. The surfaces for 1966 and 1996 are shown as three-dimensional terrain models with grid size of 100 x 100 metres.

3.2 Volumendring

Beregningene viser at breflaten har sunket over store deler av den østvendte delen av Harbardsbreen. I de lavestliggende områdene på den sørøstlige delen er bretykkelsen redusert opp til 60 m eller mer. Ellers er de negative endringene jevnt over i størrelsesorden 5-30 meter. Det er bare i de høyereliggende områdene i sørvest og nord, samt i noen randsoneområder at breen har økt i tykkelse mellom 1966 og 1996. Den vertikale økningen er stort sett mellom 0 og 15 meter. Arealmessig representerer områdene med negativ endring omtrent 70% av breen. Høydeendringene er illustrert i figur 5.

Endring i bretykkelse medfører nødvendigvis også endring i breens arealhøyde-fordeling. Denne endringen er vist i figur 4. Ettersom bretykkelsen stort sett har avtatt i perioden 1966-96, ligger arealkurven for 1996 gjennomgående lavere enn for 1966. Den største arealendringen har skjedd mellom 1400 og 1600 m o.h. Mellom 1500 og 1600 m o.h. er arealet redusert med 40%, mens det har økt med 60% i

høydeintervallet 1400-1500 m o.h. Beregningene viser at det totale brearealet på den østvendte delen av Harbardsbreen er redusert fra 14.2 til 13.2 km^2 i perioden 1966-96.



Elevation (m a.s.l.)	Area 1966 (km^2)	Area 1996 (km^2)
1950 - 1990	0,10	0,07
1900 - 1950	0,20	0,21
1850 - 1900	0,38	0,35
1800 - 1850	0,32	0,32
1750 - 1800	0,56	0,58
1700 - 1750	1,01	1,12
1650 - 1700	1,97	1,89
1600 - 1650	1,41	1,27
1550 - 1600	1,55	1,16
1500 - 1550	2,96	1,57
1450 - 1500	1,43	2,56
1400 - 1450	0,72	0,82
1350 - 1400	0,61	0,43
1300 - 1350	0,76	0,42
1250 - 1300	0,22	0,39
1250 - 1990	**14,2**	**13,2**

Figur 4. Diagram som viser høydefordelingen av arealet på Harbardsbreen for 1966 og 1996. De største arealendringene har skjedd mellom 1400 og 1600 m o.h.

Diagram showing the area distribution curves for Harbardsbreen in 1966 and 1996. The greatest changes in area distribution has occured between 1400 and 1600 m a.s.l.

Den volumendringen som er beregnet direkte ut fra terrengmodellene består av breis og firn. For å regne om disse volumene til vannverdier, må massens egenvekt først bestemmes. Egenvekten kan vanskelig måles, og er derfor bestemt ut fra enkel modellering og antagelser. Det er antatt at fordelingen av egenvekten i et dybdeprofil er uforandret fra 1966 til 1996. Det betyr at overgangen fra firn til is ligger omtrent på samme dyp for begge årene. Denne antagelsen er velbegrunnet i ablasjonsområdene, men noe mer usikker rundt likevektslinjen fordi høyden på denne varierer fra år til år. Tross denne usikkerheten er det valgt å bruke en egenvekt på 0.9 g/cm^3 (egenvekt for is) over hele breen.

For oversiktens skyld er høydeendringene gruppert i ulike intervaller. Tabell 1 viser hvert høydeintervall med areal, volumendring og egenvekt. Den samme intervallinndelingen er brukt på kartet i figur 5.

Resultatet av beregningene for den østvendte delen av Harbardsbreen viser et kumulativt underskudd i volumbalansen på 124 mill.m^3 vann i perioden 1966-96.

Fordeles dette jevnt over hele breens areal tilsvarer det et vannlag på 8.5 meter. Midlere årlig nettobalanse i 30-årsperioden blir da et underskudd på 4.1 mill.m^3 vann eller -0.28 m vannekvivalenter.

Nøyaktigheten på sluttresultatet er avhengig av flere faktorer, der kartkonstruksjon og interpolasjon i terrengmodellene utgjør de vesentligste. For å få en viss forståelse av nøyaktigheten på resultatet der summen av de største feilkildene inngår, er de digitale høydemodellene sammenlignet utenfor breen. Terrenghøyden skal her være uendret fra 1966 til 1996. Kartkontrollen, som er gjort langs den østlige brekanten, viser høydedifferanser i størrelsesorden ≤ ±2 meter. Kontrollen er illustrert med kartet nederst til venstre i figur 5. Med bakgrunn i denne kontrollen er den kumulative nettobalansen i perioden 1966-96 -8.5 m ±2.0 m vannekvivalenter.

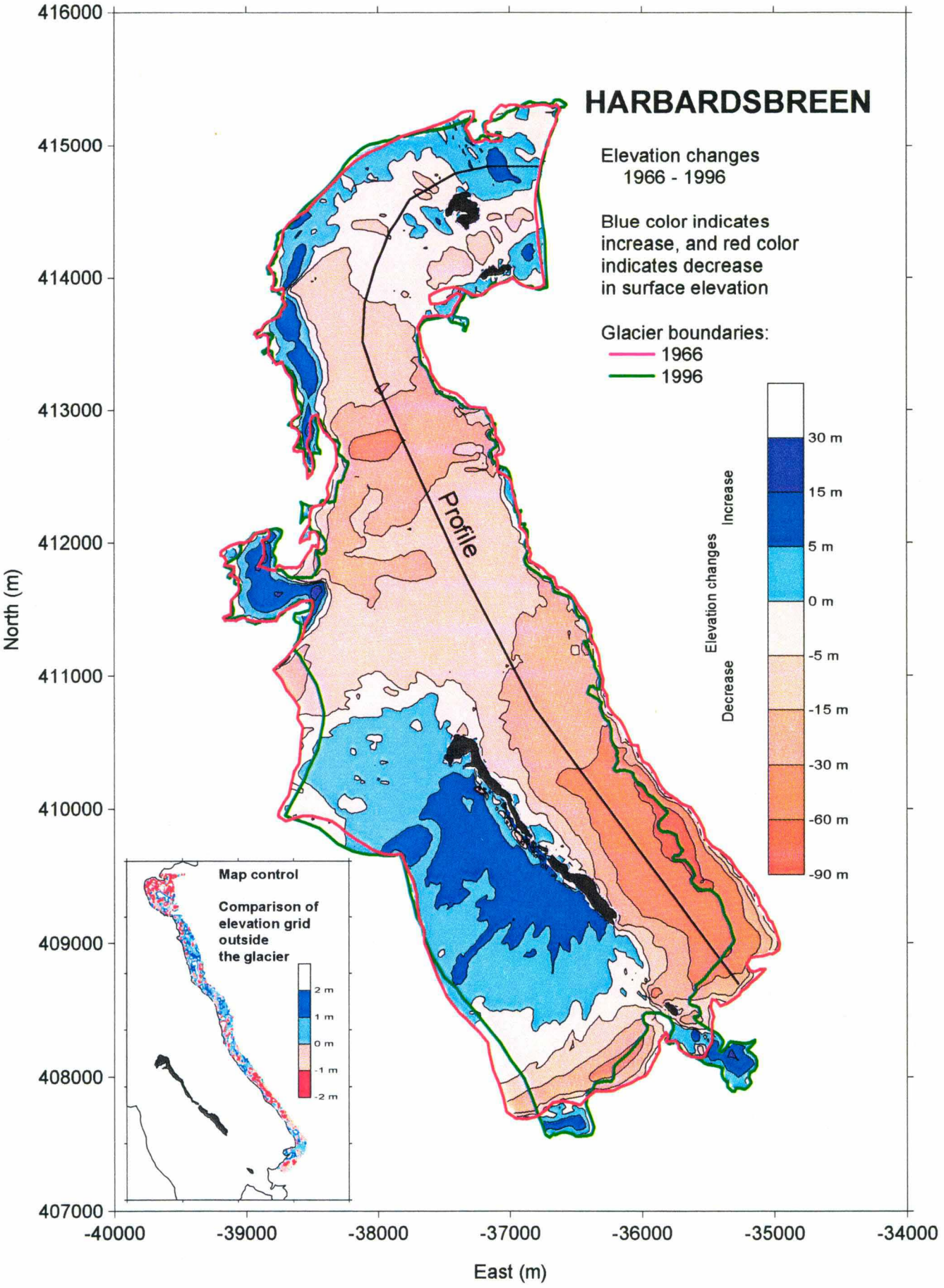
Tabell 1. Endringer i høyde og volum på Harbardsbreen i perioden 1966-96. Endringene er gruppert i høydeintervaller der areal og volumendring er beregnet. Egenvekten er antatt til 0.9 g/cm^3.

Changes in elevation and volume on Harbardsbreen in the period 1966-96. The changes are divided into height intervals where area and volume changes are calculated. Density is assumed to be 0.9 g/cm^3.

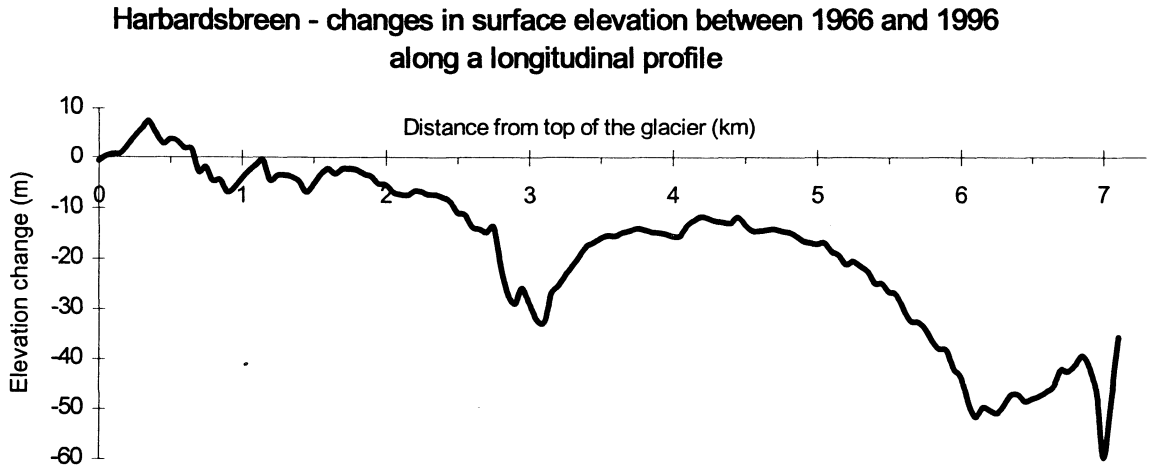
Elevation change (meters)	Area (km^2)	Volume change of snow, firn and ice (mill.m^3)	Density (g/cm^3)	Volume change in water eqv. (mill.m^3)
-60 - -90 m	0.14	- 9.4	0.90	- 8.5
-30 - -60 m	1.15	- 48.1	0.90	- 43.3
-15 - -30 m	2.63	- 53.2	0.90	- 47.9
-5 - -15 m	3.73	- 37.9	0.90	- 34.1
0 - -5 m	2.64	- 6.0	0.90	- 5.4
0 - +5 m	2.95	+ 5.9	0.90	+ 5.3
+5 - +15 m	1.34	+ 10.0	0.90	+ 9.0
+15 - +30 m	0.03	+ 0.5	0.90	+ 0.5
-90 - +30 m	**14.61**	**- 138.2**		**- 124.4**

Figur 5. (Motsatt side) Høydeendringer på den østvendte delen av Harbardsbreen i perioden 1966-96. Breflaten har sunket på 70% av brearealet. Det er bare i de høyereliggende områdene i sørvest og nord, samt i noen randsoneområder at breen har økt i tykkelse. De største negative endringene finner vi på den lavestliggende delen av breen i sørøst der den vertikale reduksjonen er mer enn 60 meter. Det lille kartet nederst til venstre viser kartkontrollen som er gjort i det brefrie området langs østsiden av breen.

(Opposite side) Elevation changes on the east-facing part of Harbardsbreen in the period 1966-96. The glacier has decreased in thickness over 70% of its area. Only in the higher areas in southwest and north, and in some marginal areas has the glacier increased in thickness. The maximal negative changes are found on the glacier tongue, where the vertical decrease is more than 60 metres. The index map shows the map control outside the eastern part of the glacier.


HARBARDSBREEN
Elevation changes
1966 - 1996
Blue color indicates
increase, and red color
indicates decrease
in surface elevation
Glacier boundaries:
1966
1996
Profile
Elevation changes
Increase
Decrease
30 m
15 m
5 m
0 m
-5 m
-15 m
-30 m
-60 m
-90 m
Map control
Comparison of
elevation grid
outside
the glacier
2 m
1 m
0 m
-1 m
-2 m
North (m)
East (m)
416000
415000
414000
413000
412000
411000
410000
409000
408000
407000
-40000
-39000
-38000
-37000
-36000
-35000
-34000

Den vertikale høydeendringen som er vist i figur 5 kan også visualiseres i profiler. Figur 6 viser et 7 km langt lengdeprofil fra toppen av breen (1970 m o.h.) ned langs østsiden av fjellskrenten midt på breen til brefronten (1250 m o.h.).



Figur 6. Høydeendringene langs et lengdeprofil fra toppen av breen i nordøst (1970 m o.h.) til brefronten i sørøst (1250 m o.h.).

The elevation changes along a longitudinal profile from top of the glacier in northeast (1970 m a.s.l.) to the glacier terminus in southeast (1250 m a.s.l.).

4 KOMMENTARER TIL RESULTATET

Endringer i breens overflatehøyde er et resultat av massebalanse, komprimering av snø og firn og istransport nedover breen. Massebalansen er igjen bestemt av den mengde med snø som blir tilført om vinteren og hvor mye snø og is som smelter om sommeren. Generelt på breer er sommerens avsmelting tilnærmet en lineær funksjon av overflatens høyde, mens vinterens snødybder kan variere noe mere innenfor samme høydenivå. Denne variasjonen i snøfordelingen skyldes topografiske forhold på og utenfor breen. Deler av breen kan ved bestemte vindretninger ligge i nedbørskyggen, og vinddrift kan føre til ujevn fordeling av snøen.

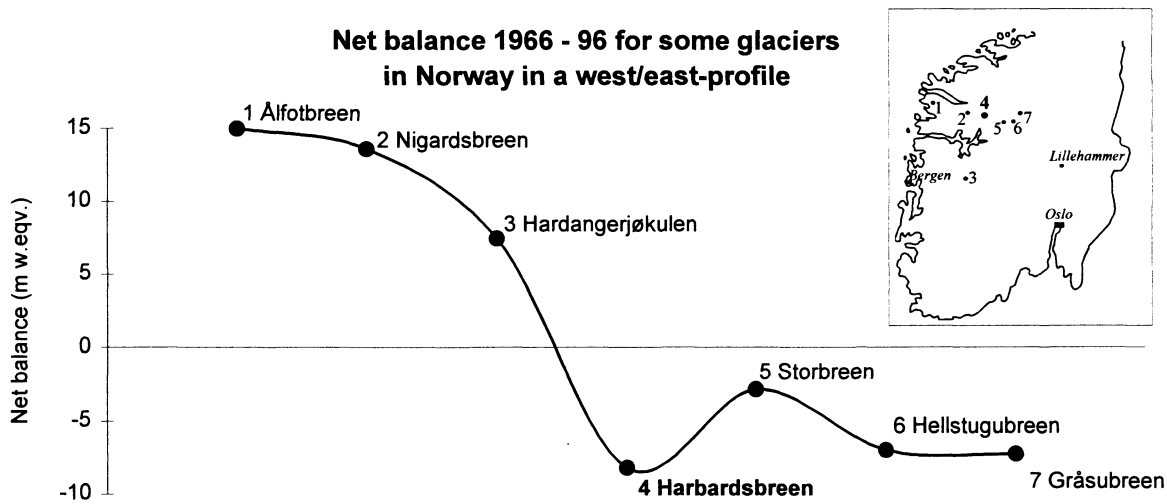
For Harbardsbreen kan vi generelt si at områdene over 1600 m o.h. har økt i høyde og volum, mens områdene under 1600 m o.h. har minket. Som det framgår både av kartet i figur 5 og lengdeprofilet i figur 6, er endringen i hovedsak en funksjon av breoverflatens høyde over havet.

Resultatet av nettobalansen på den østvendte delen av Harbardsbreen i perioden 1966-96 er sammenlignet med massebalansemålinger på seks andre breer i Sør-Norge. Disse breene danner et vest/øst-profil fra den svært maritime Ålfotbreen i vest med et kumulativt overskudd i nettobalansen på nesten 15 m vannekvivalenter,

til den kontinentale Gråsubreen i øst med et kumulativt underskudd på over 7 m i perioden 1966-96.

Resultatet av sammenligningen er vist i figur 7. Harbardsbreen avviker betydelig fra de andre breene med større underskudd i nettobalansen enn den østligst beliggende Gråsubreen. Årsaken til at Harbardsbreen ikke passer inn i dette vest/øst-bildet kan være sammensatt. Den delen av breen som beregningene er utført på er østvendt med en nesten 2 km lang vertikal fjellskrent midt på breen. Dessuten er den er omgitt av høye fjelltopper i nord (over 2000 m o.h.), og Jostedalsbreen i vest. Dette er faktorer som gjør at store deler av breen er mindre eksponert for nedbør fra vest og nord. Den resterende delen av breen som omfatter et areal på 8-10 km^2 er sør- og vestvendt og dermed mer utsatt for nedbør fra de dominerende vindretningene. Resultatet for hele Harbardsbreen kan derfor passe bedre med de andre breene. Harbardsbreen, som ligger på overgangen mellom det nedbørrike Vestlandet og det tørre Østlandet, har et høydespenn mellom 1970 og 1250 m o.h. Breene i Jotunheimen ligger høyere og strekker seg over 2000 m o.h., men ikke særlig under 1500 m o.h. Avsmeltingen gjennom sommeren, som i hovedsak er en funksjon av høyde over havet, vil derfor være relativt større på Harbardsbreen enn på breene i Jotunheimen.

Konklusjonen er at sammenlignet med andre breer i regionen mottar den østvendte delen av Harbardsbreen relativt lite snø om vinteren pga topografiske forhold, og den avgir relativt mye vann om sommeren pga høydefordelingen.



Figur 7. *En sammenligning av den kumulative nettobalansen i perioden 1966-96 for 7 breer fra den svært maritime Ålfotbreen i vest til den kontinentale Gråsubreen i Øst-Jotunheimen. Harbardsbreen skiller seg klart ut fra de andre breene med et underskudd i nettobalansen på hele 8.5 m vannekvivalenter.*

A comparison of cumulative net balance during the period 1966-96 for 7 glaciers ranging from the extremely maritime Ålfotbreen in the west to the more continental Gråsubreen in East-Jotunheimen. Harbardsbreen is notably different from the other glaciers, with a deficit in net balance amounting to 8.5 m water equivalent.

REFERANSER

Golden Software, Inc. USA.
1995: SURFER for Windows. Brukermanual versjon 6. (469 sider).

Haakensen, N.
1986: Glacier mapping to confirm results from mass-balance measurements. Meddelelse nr. 54/86 fra Hydrologisk avdeling, NVE (5 sider).

Kjøllmoen, B.
1994: Beregning av midlere nettobalanse for Storsteinsfjellbreen 1960-93. HB-notat nr. 8/94 fra Hydrologisk avdeling, NVE (5 sider).

Paterson, W.S.B.
1994: The Physics of Glaciers. (480 sider).

Smith-Meyer, S. og Tvede, A.M.
1996: Volumendringer på Søndre Folgefonna mellom 1959 og 1995. Rapport nr 39/96 fra Hydrologisk avdeling, NVE (12 sider).

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

I 1997 ER FØLGENDE RAPPORTER UTGITT:

Nr 1 Ingebrigt Bævre: Skjøtselsplan for vegetasjon i Surna (112.Z) og regulerte sideelver. (17 s.)

Nr 2 Ånund Sigurd Kvambekk: Temperatur- og saltmålinger og isforhold i Holandsfjorden og Glomfjorden før åpningen av Svartisen kraftverk (1976-1993). (24 s.)

Nr 3 Sverre Husebye: Fysiske og kjemiske forhold undersøkt i forbindelse med vanninntak; Tvillingvatn, Ny-Ålesund, Spitsbergen. (21 s.)

Nr 4 Hans Otnes, Frode Trengereid og Kjetil Storset: Årsrapport for Norges vassdrags- og energiverk (NVEs) havarigruppe. (17 s.)

Nr 5 Torger Wisth og Mads Johnsen: E6 Mediå - Okshammeren. Vassdragsvurderinger. (11 s.)

Nr 6 Bjarne Kjøllmoen: Volumendringer på Harbardsbreen 1966 - 96. (17 s.)