Glasiologiske undersøkelser på Harbardsbreen 1996-2001

Sluttrapport

Norges vassdrags- og energidirektorat

2003

Oppdragsrapport nr 1

Glasiologiske undersøkelser på Harbardsbreen 1996-2001

Sluttrapport

Utgitt av:	Norges vassdrags- og energidirektorat
Forfattere:	Bjarne Kjøllmoen og Rune Engeset

Trykk:	NVEs hustrykkeri
Opplag:	50
Forsidefoto:	Harbardsbreen strekker seg opp til 1960 moh. Inne på breflata ligger en bredemt sjø som har årlige tappinger. I bakgrunnen skimtes den sydlige toppen av Tverrådalskyrkja (2034 moh.). Bildet er tatt den 23. september 1998 av Hallgeir Elvehøy.
ISSN:	1503-0318

Sammendrag:	Resultater fra NVEs undersøkelser på Harbardsbreen i perioden 1996-2001 er samlet i denne rapporten. Undersøkelsene har omfattet måling av breens massebalanse, beregning av volumendring, kartlegging av en bredemt sjø og måling av lufttemperatur.
Emneord:	Glasiologi, massebalanse, volumendring, bredemt sjø

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

Januar 2003

Innhold

Forord **4**

Sammendrag **5**

Innledning **6**

Massebalanse **7**

Massebalanse 1967-1996 7

Massebalanse 1997-2001 14

Bredemt sjø **22**

Oversikt 22

Kartlegging av terskelområdet 25

Vurdering av vannmengde 30

Lufttemperatur **31**

Konklusjoner **32**

Referanser **33**

Vedlegg 1 i

Forord

I "Pålegg om hydrologiske undersøkelser i Fortun-Grandfastvassdragene (vassdrag nr. 075.Z)" datert 10.11.1995 ble det gitt pålegg om breundersøkelser på Harbardsbreen i en periode på 5 år. Hydrologisk avdeling i Norges vassdrags- og energidirektorat (NVE) har foretatt undersøkelsene på oppdrag fra Hydro Energi Sogn. Denne rapporten oppsummerer målinger og analyser som er gjennomført i perioden 1996-2001.

Bjarne Kjøllmoen har vært prosjektleder for arbeidet og har sammen med Rune Engeset skrevet denne rapporten. Personell fra NVE har utført feltarbeidet.

Oslo, januar 2003

Erik Roland
seksjonssjef

Bjarne Kjøllmoen
overingeniør

Sammendrag

Harbardsbreen ligger nordøst i Breheimen mellom Jostedalsbreen i vest og Jotunheimen i øst (fig. 1). Hele breens areal er ca. 25 km^2, der ca. 13 km^2 drenerer østover til Steindalselvi og Fivlemyrane kraftmagasin. Det er på denne østlige delen av Harbardsbreen undersøkelsene har blitt utført.

Brekart som dekker den østlige delen av breen, er konstruert fra flybilder tatt i 1966 og 1996. Kartene er brukt til å beregne breens areal- og volumendringer i de mellomliggende 30 år. Arealet hadde minket fra 14,2 km^2 til 13,2 km^2, mens brevolumet hadde minket med ca. 120 mill. m^3 vann (9 m v.ekv.).

Regresjonsanalyser med lange tidsserier for massebalansen på Nigardsbreen (1962-2001) og Storbreen (1949-2001) viste god korrelasjon med Nigardsbreen, og ikke fullt så god korrelasjon med Storbreen. Regresjonsligninger er brukt som modeller for å beregne massebalansen på Harbardsbreen for perioden 1967-1996. Modellene basert på korrelasjon med hhv. Nigardsbreen og Storbreen viste omtrent samme resultater. Kumulativ nettobalanse 1967-1996 korrelert mot Nigardsbreen ble -8,9 m v.ekv., mens tilsvarende resultat korrelert mot Storbreen ble -6,4 m v.ekv.

En nedbør-og temperaturmodell (PT-modell) ble kalibrert mot målt massebalanse på Harbardsbreen for perioden 1997-2001. Meteorologiske data fra DNMIs meteorologiske stasjoner Bjørkehaug og Sognefjell (fig. 1) ble brukt. Modellen ble benyttet til å beregne spesifikk massebalanse for perioden 1967-1996. Modellert kumulativ nettobalanse 1967-1996 ble -6,8 m v.ekv.

Massebalansen til brefeltet som drenerer til Fivlemyrane kraftmagasin, ble målt i perioden 1997-2001. Kartet fra 1996 ble brukt som grunnlag for beregninger og målinger av massebalansen. Midlere vinterbalanse i måleperioden på 5 år var 1,76 m, midlere sommerbalanse -2,00 m og midlere nettobalanse -0,23 m v.ekv. Brefeltet hadde et totalt underskudd på 1,16 m vannekvivalenter i perioden 1997-2001.

Istykkelse og bunntopografi i området rundt en bredemt sjø beliggende ca. 1500 moh. ble kartlagt med radar våren 1999. Målingene viste en overfordypning midt under breen med en istykkelse opp til 160 meter. Utløsende vannhøyde er estimert til mellom 1485 og 1490 moh. Volumet av en tapping er anslått til å være opp til 1,6 mill. m^3 vann.

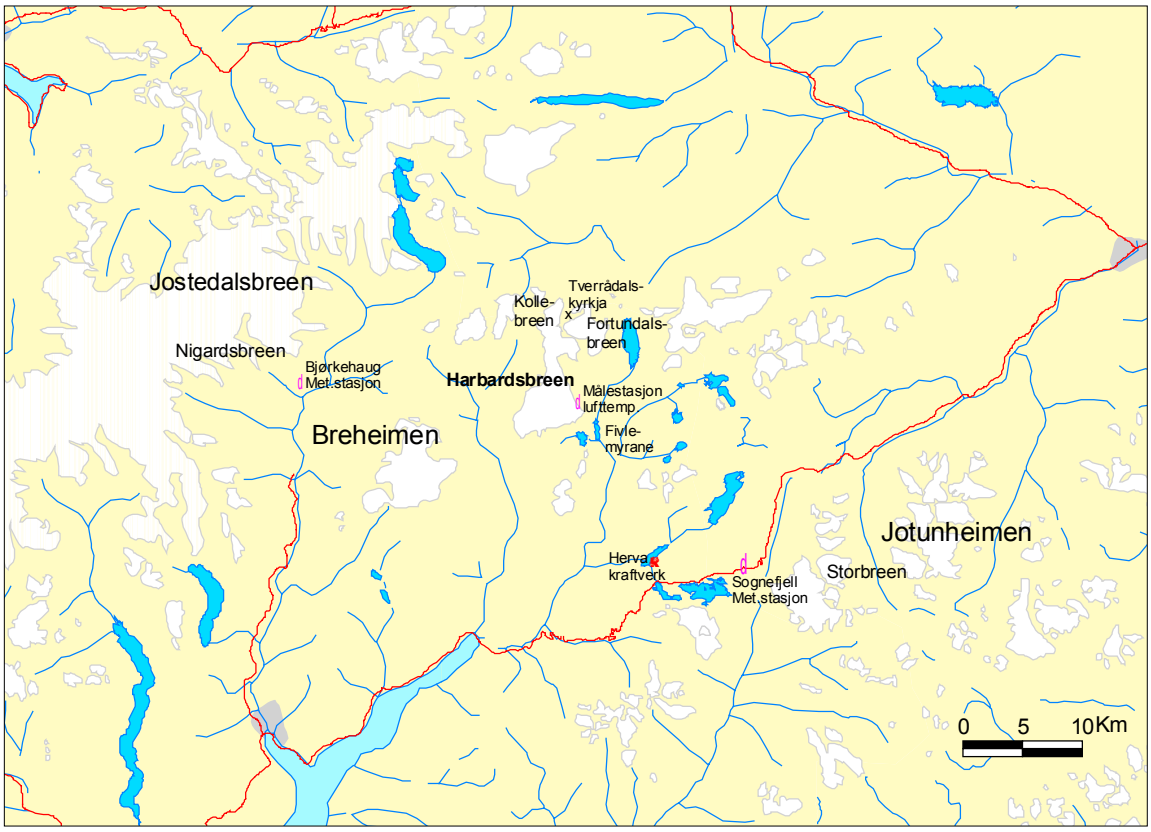
Lufttemperaturen ved breen ca. 1320 moh. ble målt i perioden fra mai 1997 til september 2001. Resultatene fra disse målingene er sammenlignet med målinger fra DNMIs meteorologiske stasjoner Bjørkehaug og Sognefjell.

Innledning

Harbardsbreen (61°40'N, 7°35'E) er en platåbre nordøst i Breheimen i Sogn og Fjordane beliggende mellom Jostedalsbreen i vest og Jotunheimen i øst. Den henger så vidt sammen med Fortundalsbreen i nordøst og Kollebreen i nordvest. Breens beliggenhet er i overgangssonen mellom de maritime breene på Vestlandet og de kontinentale breene i Jotunheimen (fig. 1).

Harbardsbreen dekker totalt et areal på ca. 25 km^2 og strekker seg fra 1250 moh. opp til 1960 moh. Omkring halvparten av breens areal (13,2 km^2) drenerer østover til det regulerte kraftmagasinet Fivlemyrane. Hydro Energi Sogn utnytter dette vannmagasinet til kraftproduksjon i Herva kraftverk.

De glasiologiske undersøkelsene er foretatt på brefeltet som drenerer østover. Undersøkelsene startet sommeren 1996 med flyfotografering, og samme høst ble det igangsatt massebalansemålinger. Observasjoner av en bredemt sjø finnes tilbake til 1992, og i 1999 ble bresjøen kartlagt med breradar. Lufttemperaturen ved breen er målt i perioden mai 1997 til september 2001. Det er ikke gjort dokumenterte undersøkelser på Harbardsbreen tidligere.



Figur 1
Harbardsbreen ligger nordøst i Breheimen mellom Jostedalsbreen i vest og Jotunheimen i øst.

Massebalanse

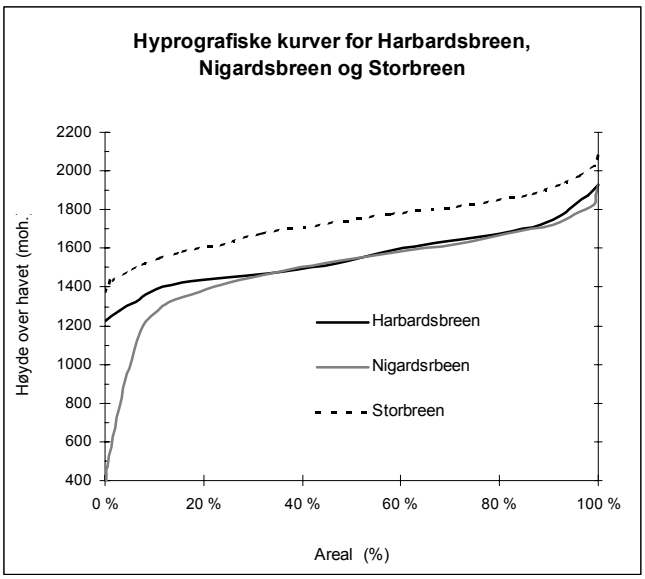
Massebalanse 1967-1996

Massebalansen for det målte brefeltet er modellert for perioden fra høsten 1966 til høsten 1996 med to uavhengige metoder. For verifisering av resultatene er volumendringen, eller nettobalansen, beregnet for samme periode ved å sammenligne to kart.

Sammenligning med andre breer

Massebalansen beregnes og oppgis som volumverdier og spesifikke verdier. Spesifikke verdier angir balansen midlet over brearealet, og de kan derfor direkte sammenlignes med andre breer. Ved bruk av regresjonsanalyse kan graden av samvariasjon mellom ulike brefelt vurderes, og resultatene kan brukes til å forlenge dataserier.

Massebalansen har blitt målt på Nigardsbreen (61º42´N, 7º08´Ø) på østsiden av Jostedalsbreen siden 1962 og på Storbreen (61º34´N, 8º08´Ø) i Jotunheimen siden 1949. Nigardsbreen (47,8 km^2, 320-1960 moh.) ligger ca. 30 km vest for Harbardsbreen, mens Storbreen (5,4 km^2, 1390-2100 moh.) ligger ca. 30 km sørøst for Harbardsbreen (fig. 1). Hypsografiske kurver for de tre breene er vist i figur 2. Både Nigardsbreen og Harbardsbreen går opp til 1960 moh. Omkring 7 % av arealet på Nigardsbreen ligger under laveste punkt på Harbardsbreen som er 1250 moh. Arealmessig er Nigardsbreen 3½ ganger større enn Harbardsbreen. Storbreens areal er derimot under halvparten av den undersøkte delen av Harbardsbreen. Den strekker seg 140 m høyere enn Harbardsbreen, men dette arealet utgjør bare 3 % av hele Storbreen.



Figur 2
Arealfordeling i de ulike høydenivåer (hypsografisk kurve) for Harbardsbreen, Nigardsbreen og Storbreen. På den horisontale aksen kan man lese av brearealet (i %) opp til ethvert høydenivå.

Måleperiodens representativitet

Måleperiodens (1997-2001) representativitet er vurdert ved å sammenligne denne med hele måleperioden for Nigardsbreen og Storbreen.

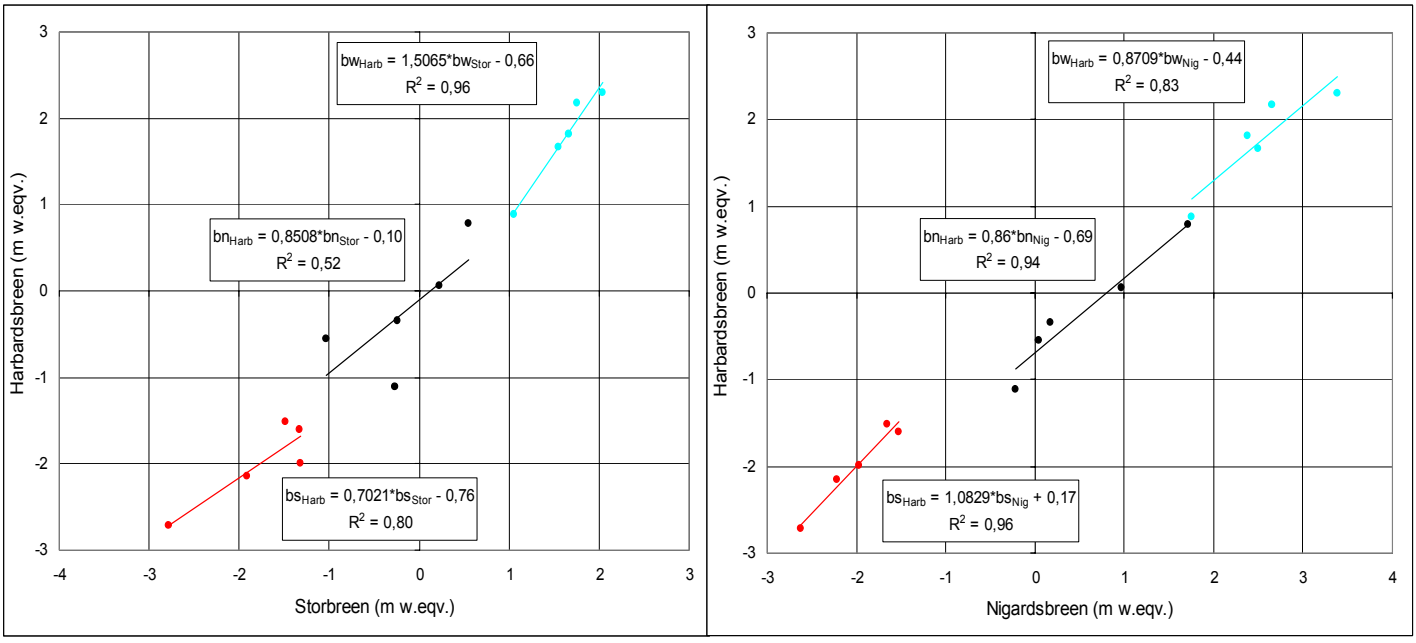
På både Nigardsbreen og Storbreen var vinterbalansen i årene 1997-2001 mellom 73 og 141 % av middelverdien for respektive måleperioder 1962-2002 og 1949-2002.

Sommerbalansen på Nigardsbreen i perioden 1997-2001 var mellom 78 og 134 % av gjennomsnittet for perioden 1962-2002, mens sommerbalansen på Storbreen var 79 og 166 % av gjennomsnittet for perioden 1949-2002. Ut fra dette virker det som at måleperioden dekker variasjonsbredden i både vinterbalansen sommerbalansen godt på begge breene.

Regresjonsanalyse

Analysen er basert på spesifikk vinter-, sommer- og nettobalanse målt på Harbardsbreen i perioden 1997-2001 sammenlignet med tilsvarende verdier på Nigardsbreen og Storbreen. Balanseverdiene er plottet i figur 3 som også viser lineære trendlinjer, regresjonsligninger og R-kvadrerte verdier. Den R-kvadrerte verdien, også kalt bestemmelseskoeffisienten, er en indikator mellom 0 og 1 uten dimensjon. Den reflekterer graden av lineær relasjon mellom to datasett. En trendlinje blir mer pålitelig jo nærmere 1 verdien kommer.

Analysen viser at det er god korrelasjon for alle sammenligningene med unntak av nettobalansen mot Storbreen. Nigardsbreen gir best korrelasjon for sommer- og nettobalansen, mens vinterbalansen er best korrelert mot Storbreen.



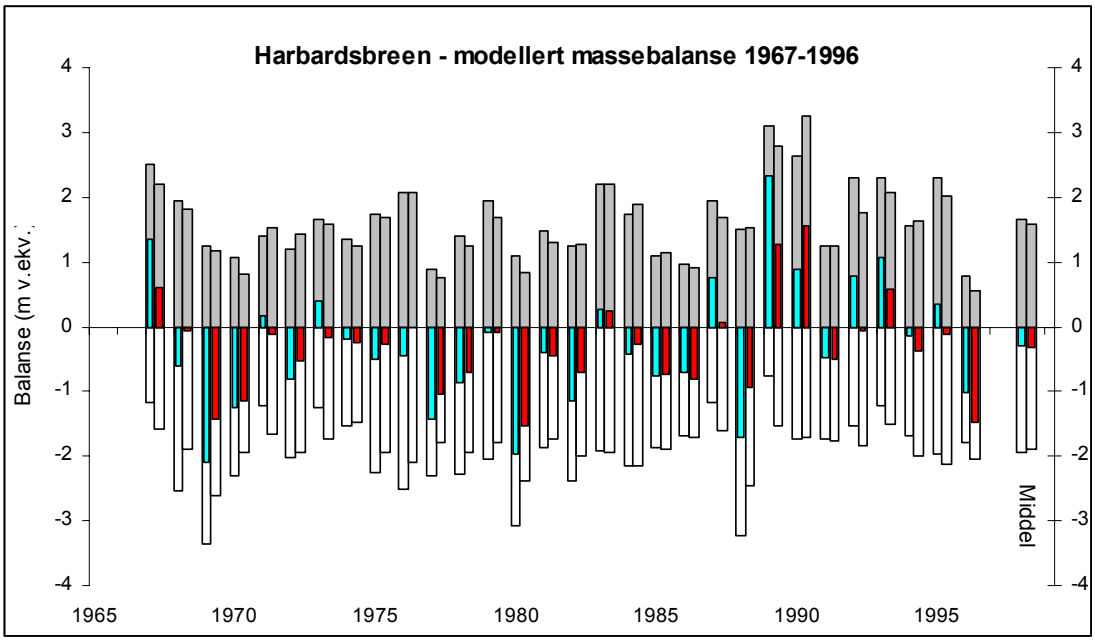
Figur 3
Lineær regresjon for vinter-, sommer- og nettobalansen mellom Harbardsbreen og hhv. Storbreen (venstre) og Nigardsbreen (høyre).

Ved hjelp av regresjonsligningene og målte balanseverdier på Nigardsbreen og Storbreen er årlig massebalanse på Harbardsbreen modellert for perioden 1967-1996. Resultatene i figur 4 viser at modellene gir svært lik utvikling av massebalansen på Harbardsbreen i denne perioden.

Regresjonsligningene for vinterbalansen har forholdsvis god korrelasjon for begge breene, og spesielt god sammenlignet med Storbreen. Modellene ga svært like gjennomsnittsverdier. Midlere vinterbalanse på Harbardsbreen i perioden 1967-96 modellert med Nigardsbreen ble 1,7 m vannekvivalenter (m v.ekv.) og 1,6 m v.ekv. modellert med Storbreen.

Sommerbalansen har svært god korrelasjon sammenlignet med Nigardsbreen, men noe dårligere med Storbreen. Begge modellene gir imidlertid samme resultat med midlere modellert sommerbalanse på -1,9 m v.ekv.

Nettobalansen viser god korrelasjon sammenlignet med Nigardsbreen, men ikke så bra sammenlignet med Storbreen. Modellert midlere årlig nettobalanse på Harbardsbreen ble -0,30 m v.ekv. korrelert med Nigardsbreen, og -0,21 m v.ekv. korrelert med Storbreen. Det tilsvarer en kumulativ nettobalanse for Harbardsbreen i perioden 1967-1996 på hhv. -8,9 m v.ekv. (Nigardsbreen) og -6,4 m v.ekv. (Storbreen). Modellert nettobalanse på Harbardsbreen gir med andre ord større underskudd sammenlignet med Nigardsbreen enn med Storbreen. Dessuten er variasjonsbredden (maks. og min.) i nettobalansen større for verdiene korrelert med Nigardsbreen. Modellresultatene er vist som kumulativ nettobalanse i figur 6.



Figur 4
Årlig vinter-, sommer- og nettobalanse i perioden 1967-1996 modellert ved hjelp av regresjonsligninger og målte verdier for Nigardsbreen (nettobalansen i blått) og Storbreen (nettobalansen i rødt).

Nedbør og temperatur

Massebalansen kan også estimeres ved bruk av klimadata. Snøakkumulasjon og smelting av snø og is modelleres ut fra målt temperatur og nedbør. Modellen omtales her som PT-modell. Parametre som nedbør- og temperaturgradienter, og graddagsfaktorer for snø- og issmelting bestemmes ved kalibrering.

Nedbør- og temperaturdata

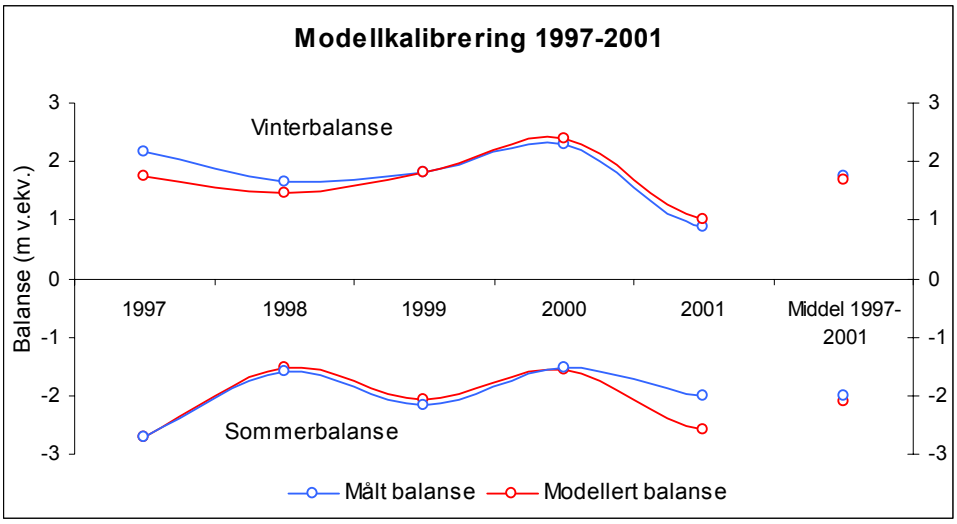
Nedbørdata er hentet fra DNMIs meteorologiske stasjon Bjørkehaug i Jostedal (nr. 55430) som ligger ca. 20 km vest for Harbardsbreen. Stasjonen er en manuelt betjent klimastasjon (324 moh.) med pålitelige døgndata for nedbør tilbake til 1964.

Temperaturdata er hentet fra DNMIs automatstasjon Sognefjell (nr. 55290) som ligger ca. 25 km sørøst for Harbardsbreen. Stasjonen, som ligger 1413 moh., har temperaturdata tilbake til desember 1978. Dataserien er imidlertid komplett bare for perioden 1979-88 og årene 1998, 2000 og 2001. For årene 1990-94 finnes det ingen data. Temperaturserien for Sognefjell er utvidet ved hjelp av temperaturdata fra Bjørkehaug. Det er gjort ved at temperaturgradienter mellom Bjørkehaug og Sognefjell er beregnet i periodene med felles observasjonstid. Temperaturdata fra Bjørkehaug kombinert med månedlige middelverdier for temperaturgradienten er så brukt for å komplettere dataserien for Sognefjell.

Modellkalibrering

PT-modellen har anbefalte standardverdier for blant annet temperatur- og nedbørgradienter og smeltefaktorer for snø og is. Bruk av standardverdiene gir ikke nødvendigvis de beste resultatene ved modellberegninger.

For å finne de beste parameterverdiene er modellen kalibrert mot den målte vinter- og sommerbalansen på Harbardsbreen i 5-års perioden 1997-2001. Modellen er kalibrert slik at de *modellerte* verdiene er sammenfallende med de *målte* verdiene i fire av fem år for både vinter- og sommerbalansen (fig. 5).



Figur 5
Målt og modellert vinter- og sommerbalanse i kalibreringsperioden 1997-2001.

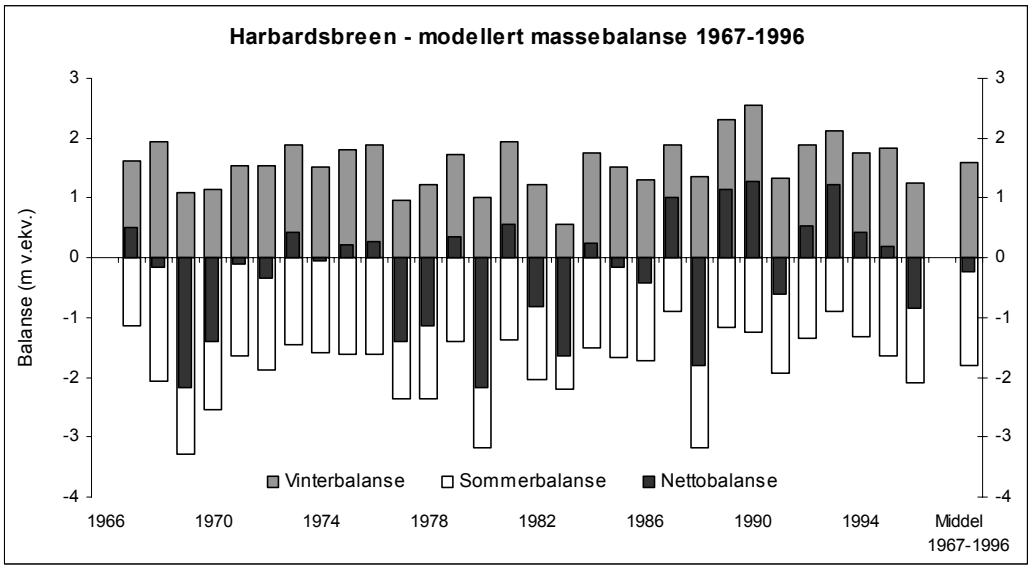
For vinterbalansen avviker året 1997, mens sommerbalansen avviker i 2001. Midlere modellert vinterbalanse (1,68 m v.ekv.) i kalibreringsperioden 1997-2001 blir dermed litt mindre enn den målte middelverdien (1,76 m v.ekv.). Midlere modellert sommerbalanse (-2,10 m v.ekv.) i samme periode blir litt større enn den målte middelverdien (-2,00 m v.ekv.).

Kalibreringen resulterte i at verdiene for smeltefaktor for snø og is ble hhv. 3,5 mm og 7,5 mm vann pr. graddag. Nedbørgradienten ble satt til 1 % pr. 100 meter. Temperaturgradienten ble bestemt som månedsmidler ut fra temperaturmålinger ved Harbardsbreen (1320 moh.) og Bjørkehaug i perioden 1997-2001. Årsmiddelverdien ble 0,6 ºC pr. 100 meter. Ved kalibreringen ble breens arealfordeling fra 1996 benyttet. Firngrensa (overgangssona mellom firn og is) ble satt til 1550 moh.

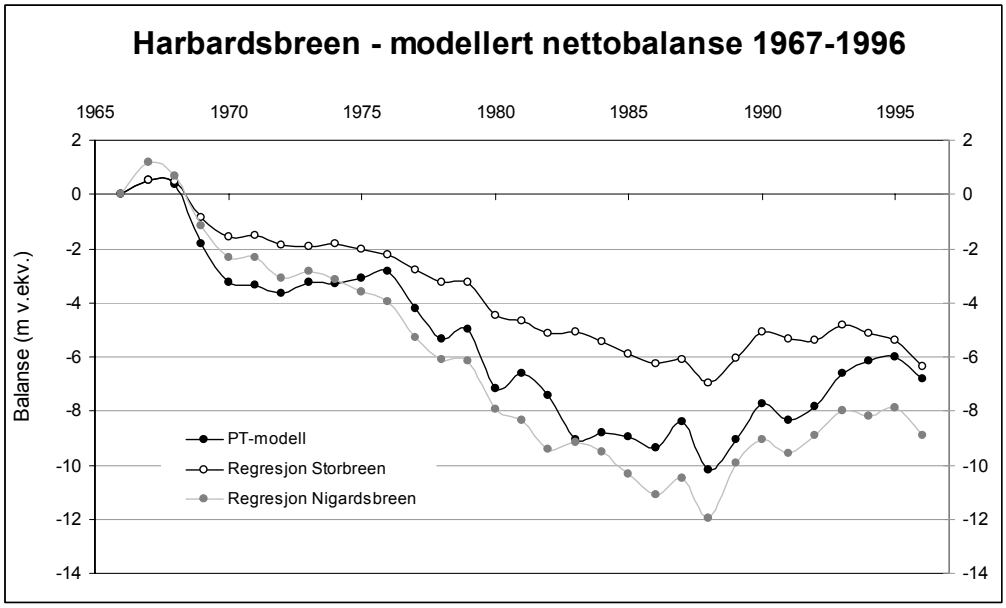
Resultat

Modellen er benyttet for perioden 1966-1996. Ved beregningene ble startdato satt til 1. oktober 1966 og sluttdato til 30. september 1996. Dette tilsvarer massebalanseårene 1967-1996. Modellen har beregnet årlige balanseverdier ut fra en gitt arealfordeling. Arealfordelingen er kjent for årene 1966 og 1996, men ikke for årene mellom. Midlere arealfordeling for 1966 og 1996 er derfor benyttet.

Modellen viser en midlere vinterbalanse for perioden 1967-96 på 1,6 m v.ekv. og midlere sommerbalanse på -1,8 m v.ekv. (fig. 6). Midlere nettobalanse ble -0,23 m v.ekv. Kumulativ nettobalanse i perioden 1967-96 blir da -6,8 m v.ekv. (fig. 7).



Figur 6
Årlig vinter-, sommer- og nettobalanse for perioden 1967-1996 modellert ved hjelp av nedbør- og temperaturdata.



Figur 7
Kumulativ nettobalanse 1967-1996 modellert med lineær regresjon fra Nigardsbreen og Storbreen, og fra meteorlogiske data fra Sognefjell og Bjørkehaug.

Kartsammenligning 1966 og 1996

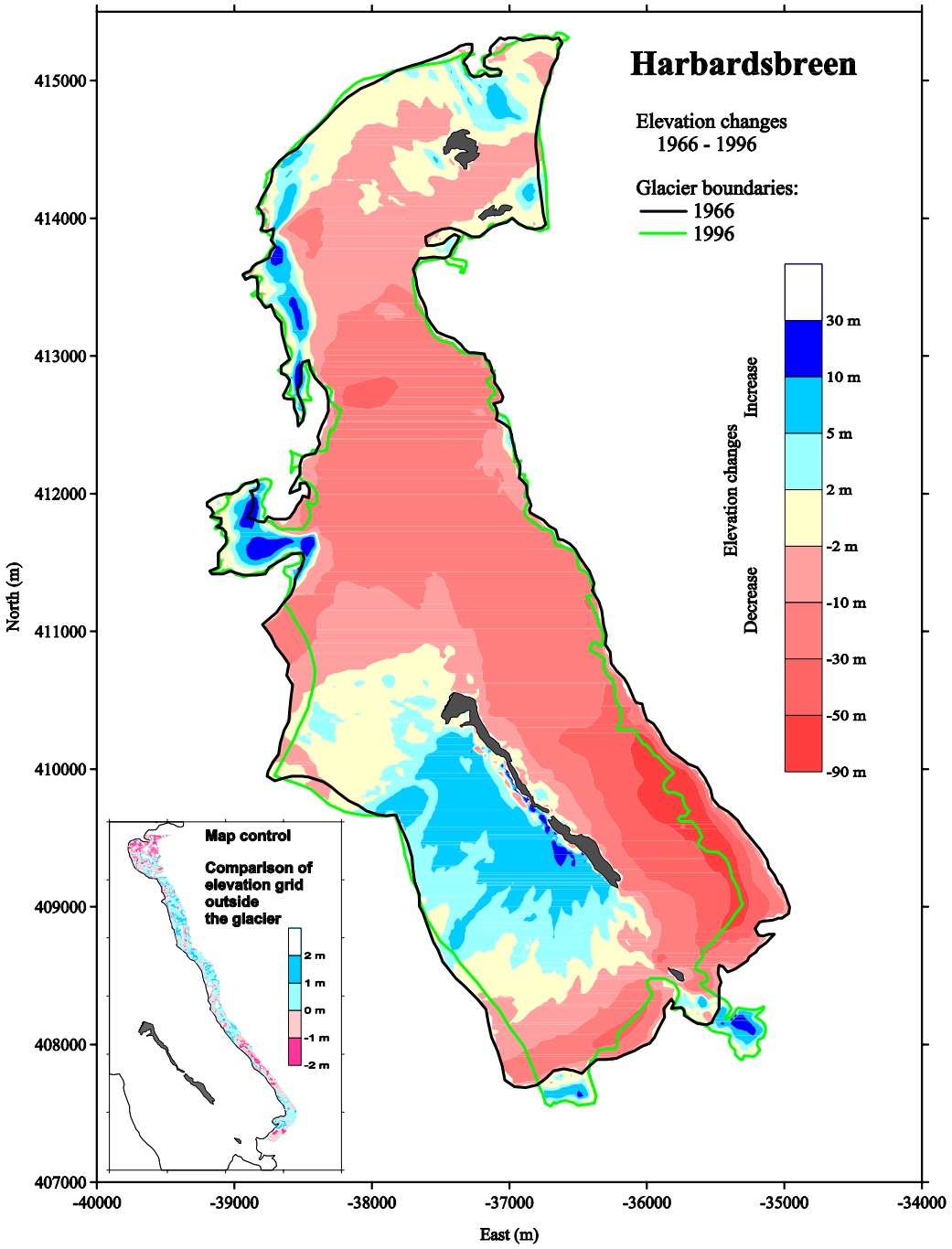
Analysen er tidligere beskrevet i NVE Rapport nr. 6 1997 (Kjøllmoen 1997).

Datagrunnlaget bygger på flyfoto fra 19. juli 1966 og 15. august og 16. september 1996. Årsaken til at bildene fra 1996 er fordelt på to datoer skyldes tåkeproblemer den 15. august. Den vestlige delen ble derfor fotografert på nytt 16. september. I tidsperioden fra 15. august til 16. september vil det normalt være en viss smelting på breen, noe som medfører en senkning av breoverflata. Bildene viser imidlertid at det er meget liten høydeforskjell på breflata i de to bildeparene. Høydeendringen er antatt å være mindre enn usikkerheten, og det er derfor valgt å overse denne lille feilkilden.

Ut fra flybildene ble det konstruert høydekurver, som igjen ble konvertert til høyderaster eller digitale terrengmodeller (DTM) ved hjelp av bestemte interpolasjonsmetoder. Flere forskjellige typer og varianter av interpolasjonsmetoder og rasteroppløsninger ble utprøvd og sammenlignet med hverandre og med kartgrunnlaget for å finne den beste modellen. Alle kombinasjoner ga omtrent samme resultat.

For å beregne volumendringene i perioden 1966-1996 ble DTM_{1996} trukket fra DTM_{1966} med en resulterende terrengmodell DTM_{diff} (fig. 8). Høydemodellen DTM_{diff} angir endringene som breis, firn og ev. snø. Det er antatt at tettheten i et dybdeprofil er uendret fra 1966 til 1996, noe som betyr at overgangen fra firn til is er i samme dybde for begge årene. Høydemodellen DTM_{diff} ble dermed regnet om til vannekvivalenter ($DTM_{vanndiff}$) ved å multiplisere med tettheten til is som vanligvis oppgis som 0,9 g/cm^3 (Paterson 1994). Spesifikk og total volumendring ble så utledet fra høydemodellen $DTM_{vanndiff}$.

Beregningene viste at breen i perioden 1966-1996 hadde minket i volum med ca. 120 ±30 mill. m^3 vann. Fordeles dette vannvolumet utover hele brearealet - som i samme periode krympet fra 14,2 til 13,2 km^2 - tilsvarer det et underskudd på ca. 9 ±2 m v.ekv.



Figur 8
Areal- og høydeendringer (m) på den østvendte delen av Harbardsbreen i perioden 1966-96. Blå farger viser negative endringer, gult ubetydelige endringer, og røde farger viser positive endringer. Det lille kartet nederst til venstre viser kartkontrollen som ble gjort i det brefrie området langs østsiden av breen.

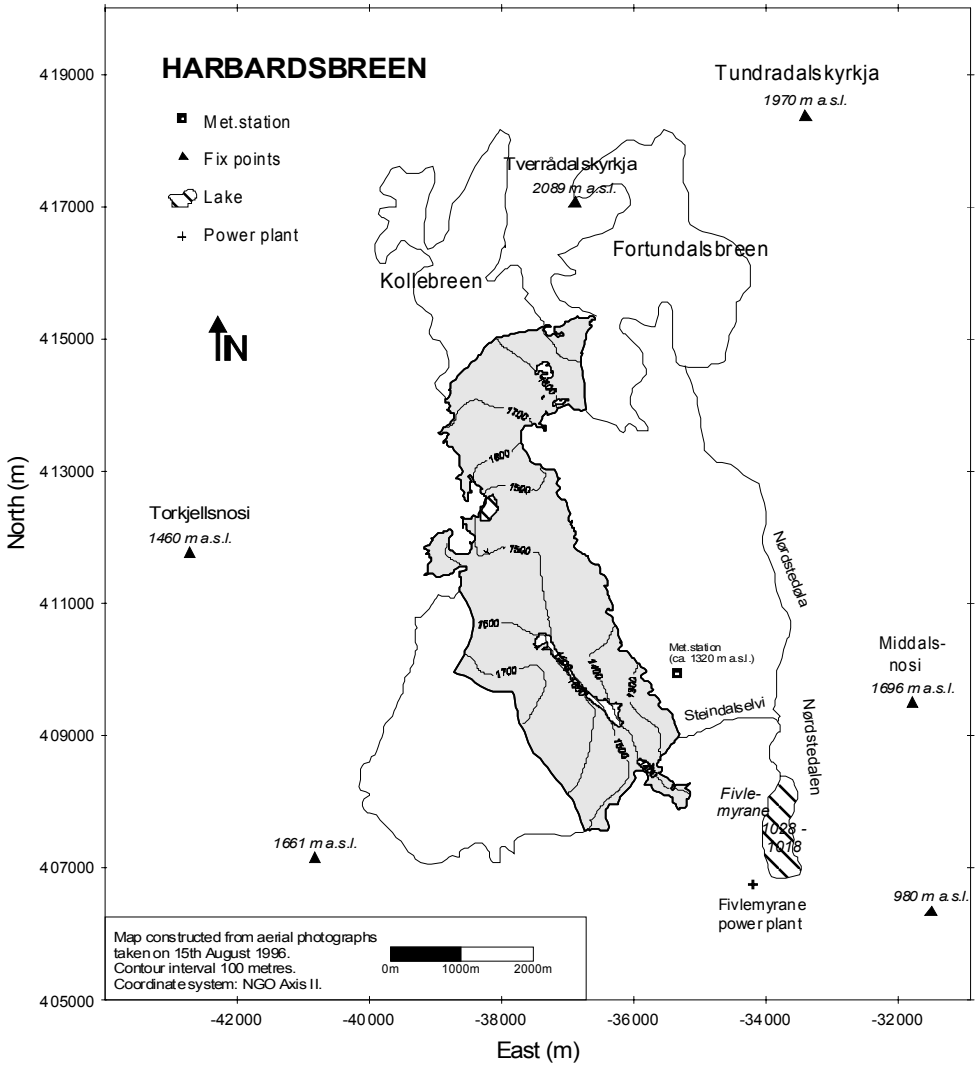
Et forhold man skal være klar over er at fototidspunktet er forskjellig i 1966 og 1996. Bildene fra 1966 ble tatt 19. juli, mens det i 1996 ble fotografert 1 og 2 måneder

senere. Som nevnt tidligere viser bildene fra 1996 at avsmeltingen mellom 15. august og 16. september var svært liten. Smeltingen fra 19. juli til slutten av smeltesesongen i 1966 er estimert til 1,0-1,5 m v.ekv. Estimatet er basert på midlere avsmelting i tilsvarende periode for de målte årene 1997-2001. Feilkildene som følge av forskjellig fototidspunkt er med andre ord mindre enn antatt usikkerhet.

I Kjøllmoen 1997 ble resultatet fra analysen sammenlignet med massebalanse-målinger på seks andre breer i Sør-Norge. Kystnære breer som Ålfotbreen og Nigardsbreen hadde vesentlig volumøkning i tilsvarende periode, mens breer i Jotunheimen hadde negativ nettobalanse.

Massebalanse 1997-2001

Massebalansemålinger er utført i 5-års perioden fra høsten 1996 til høsten 2001. Målingene er foretatt på den delen av Harbardsbreen som drenerer østover til kraftmagasinet Fivlemyrane (fig. 9).

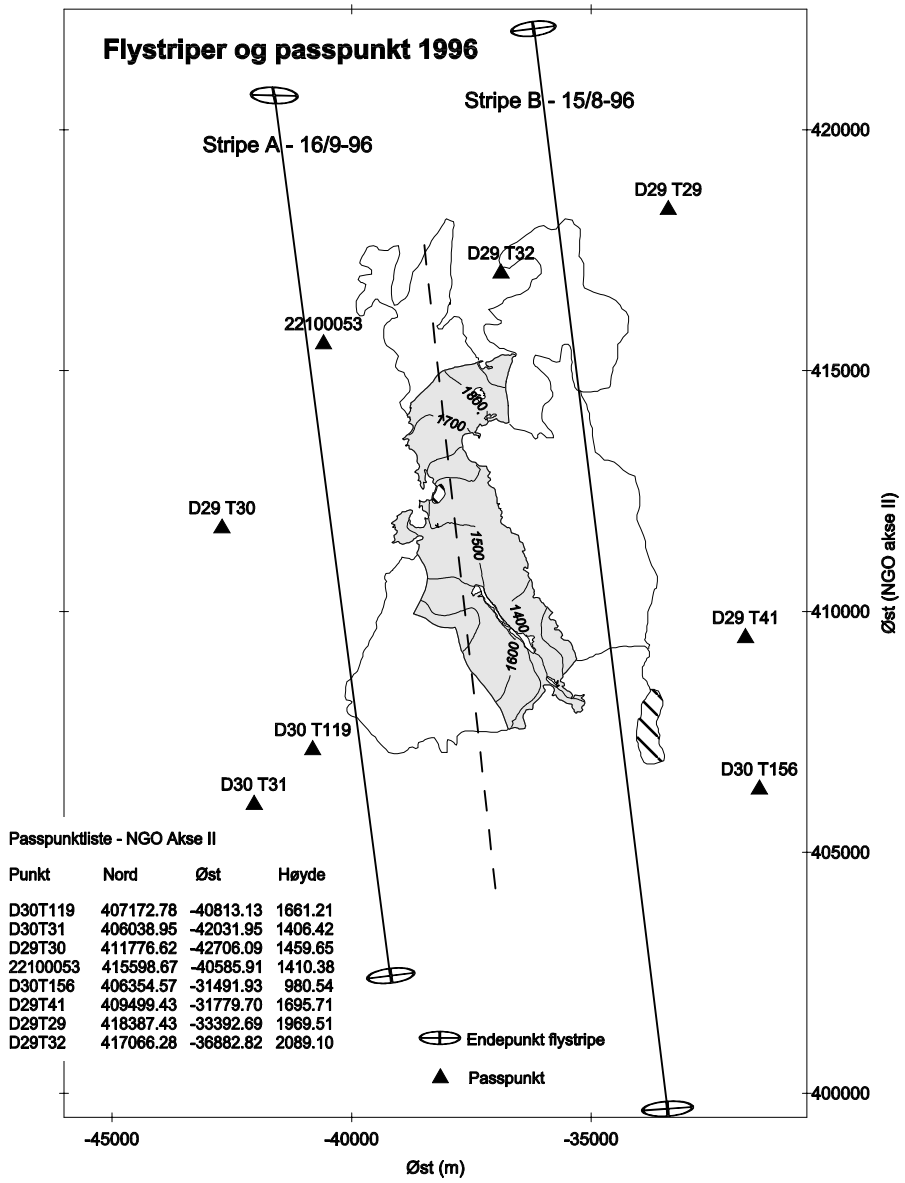


Figur 9
Massebalansemålingene er utført på den delen av Harbardsbreen som drenerer østover via Steindalselvi og Nørdstedøla til magasinet Fivlemyrane.

Kartgrunnlag

Eksisterende topografisk kart over Harbardsbreen var fra N50-kartserien basert på flybilder tatt i 1966. Man antok at breflatas høyde var betydelig endret de siste 30 årene, og det var derfor nødvendig med et nytt kart over breen.

En ny flyfotografering ble gjennomført 15. august 1996 av Fjellanger Widerøe AS. Bildemålestokk var 1:30 000. Forut for fotograferingen ble 8 passpunkter signalert med hvitmaling i et felt på 1 x 1 meter. Passpunktene, også kalt kontrollpunkter, danner grunnlaget for aerotrianguleringen (punktbestemmelse utført som fotogrammetrisk triangulering). Det viste seg på flybildene at noen av passpunktene i stripe A var dekket av skyer. Denne stripen ble derfor fotografert på nytt den 16. september samme år (fig. 10).



Passpunktliste - NGO Akse II

Punkt	Nord	Øst	Høyde
D30T119	407172.78	-40813.13	1661.21
D30T31	406038.95	-42031.95	1406.42
D29T30	411776.62	-42706.09	1459.65
22100053	415598.67	-40585.91	1410.38
D30T156	406354.57	-31491.93	980.54
D29T41	409499.43	-31779.70	1695.71
D29T29	418387.43	-33392.69	1969.51
D29T32	417066.28	-36882.82	2089.10

Figur 10
Flystriper og passpunkt som ble benyttet under flyfotograferingen i 1996. Den stiplede linjen viser sentrum i overlappinga mellom bildesettene som ble tatt 15. august og 16. september.

Bildene fra 15. august er av god kvalitet med stor avsmelting og mye struktur i snøflata. På bildene fra 16. september er det synlig et tynt lag med nysnø som gir dårligere kontrast. Aerotrianguleringen og kartkonstruksjonen er utført ved bruk av begge bildesettene.

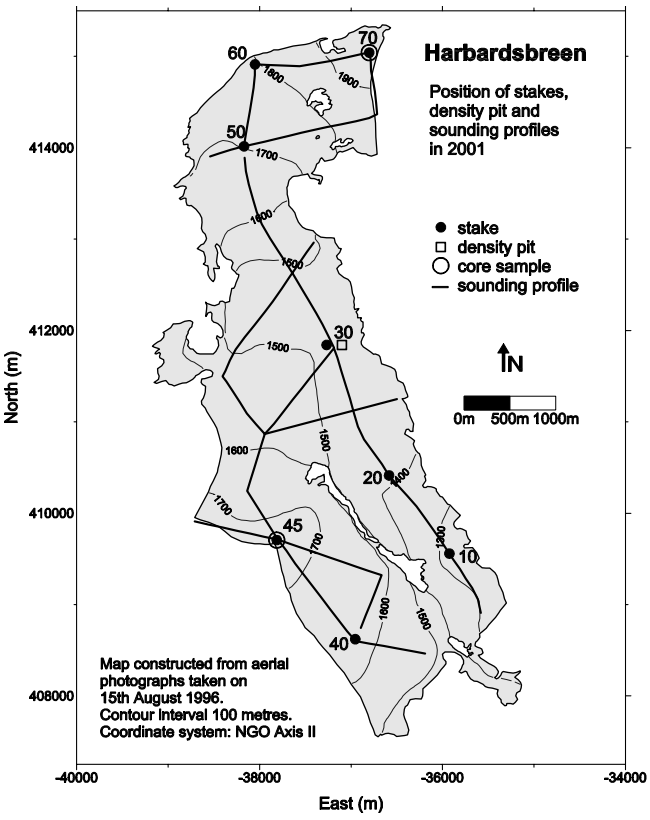
Kartet er konstruert i målestokk 1:10 000 med 10 meter ekvidistanse. Kartet er nærmere beskrevet under kapittelet "Volumendring 1966-1996".

Brefeltet som er undersøkt dekker et areal på 13,2 km^2, og ligger mellom 1250 og 1960 moh. Dreneringsgrensa for brefeltet er visuelt bestemt ut fra høydekurvene. De faktiske dreneringsgrensene er i tillegg avhengige av topografien under breen.

Måleopplegg og metode

Massebalansen er målt og beregnet etter en stratigrafisk metode der alle målingene er gjort i forhold til forrige års sommeroverflate (SO) ethvert sted på breen (Kjøllmoen 2001, Østrem & Brugman 1991). Dette medfører at balanseårets lengde kan variere litt fra nedre til øvre del av breen.

Stakeposisjoner og sonderingsprofil er valgt ut fra gitte kriterier. De skal være representative (høyde- og arealmessig), målingene skal være praktisk gjennomførbare, trygghet i forhold til ferdsel skal være ivaretatt og omfanget skal være innenfor gitte rammer. Stakeposisjonene har vært de samme gjennom hele måleperioden. Sonderingsprofilene har også i hovedsak vært de samme. Figur 11 viser måleopplegget i 2001 som eksempel på hvordan målingene har blitt gjennomført i perioden 1997-2001.



Figur 11
Beliggenheten av staker, tetthetsprøve, kjerneprøver og sonderinger på Harbardsbreen i 2001.

Vinterbalansen er vanligvis blitt målt i første halvdel av mai. Snødypet er målt ved sonderinger i ca. 150 punkt langs de utvalgte profilene. Målingene er kontrollert mot stakeavlesninger eller kjerneprøver. Snøens tetthet er målt i stakeposisjon 30 (fig. 4). Målingene er gjort med sylinder i utgravd sjakt ned til mellom 1,5 og 2,5 m dyp, og ved kjerneboring videre ned til SO. Snøens volum og vekt er målt, og tetthet og vannekvivalent for snøpakken beregnet. Snøpakkens midlere tetthet ved stake 30 har vært 0,37-0,47 g/cm^3 (tab.1). Tetthetsmålingene i posisjon 30 er regnet som representative for hele breen, og de er brukt for å konvertere alle snødypmålinger til vannekvivalentverdier. I 2000 ble det benyttet tetthetsmålinger fra Austdalsbreen.

Sommerbalansen er målt i andre halvdel av september. Smeltingen er målt ved stakeavlesninger i 7-8 posisjoner. Snø som ligger igjen etter en sommer, er erfaringsmessig estimert til 0,6 g/cm^3. Tettheten til eldre firn som har smeltet er estimert til 0,7-0,8 g/cm^3, mens breis har en tetthet på 0,9 g/cm^3. Målingene i hvert enkelt år er omtalt senere.

Feltarbeid

1996/1997

Massebalansemålingene startet i september 1996 med utsetting av sju staker. Under snømålingene i mai 1997 ble det satt ut stake i ytterligere en posisjon. Snødypet ble målt i profiler som i prinsippet ble gjentatt de neste fire årene. Sonderingsforholdene var gode over hele breen og det var mest snø på den sørvestlige delen av breen. Ved minimumsmålingene i september lå det igjen snø (1-1½ m) kun i de sørvestlige områdene på breen. Overalt ellers var all snøen fra sist vinter smeltet bort. Det var kommet 0,3-0,6 m nysnø over 1400 m nivå. Noen nøkkeltall fra målingene er vist i tabell 1.

1997/1998

Sonderingsforholdene var gode over hele breen, og de største snødyp ble funnet på den sørvestlige delen. Ved minimumsmålingene i slutten av september lå det igjen mellom 1 og 1½ m snø i områdene over ca. 1600 moh. Det var ikke kommet nysnø.

1998/1999

Sonderingsforholdene var stort sett gode, dog noe vanskelig i de sørvestlige områdene på breen hvor snødypet var størst. Ved minimumsmålingene i slutten av september lå det igjen ca. ½ m snø på den sørvestlige delen av breen, ellers var all snøen fra sist vinter smeltet bort. Det var ikke kommet nysnø.

1999/2000

Over 1500 moh. var sonderingsforholdene til dels vanskelige. I likhet med foregående år var det mest snø i de sørvestlige områdene. Ved minimumsmålingene i midten av september lå det igjen snø fra sist vinter over hele breen - fra 0,2 m i de lavest-liggende områdene til ca. 2 m på den sørvestlige delen. Det var kommet opptil 45 cm nysnø på breen. Høsten 2000 var uvanlig varm slik at smeltinga fortsatte etter minimumsmålingene.

2000/2001

Sonderingsforholdene var svært gode over hele breen. Det ble sondert i alle planlagte målestrekk, totalt ca. 150 punkter. De største snødypene ble funnet i de sørvestlige områdene. Ved minimumsmålingene i september var all snø fra sist vinter smeltet bort. Det var kommet ubetydelig med nysnø på breen.

	Snømålinger				Ablasjonsmålinger		
År	Dato	Snødyp			Dato	Smelting	
		Antall målinger	Middeldyp (m)	Middeltetthet (g/cm^3)		Antall staker	Vannverdi (m v.ekv.)
1997	19/5	185	4,5	0,47	24/9	7	2,2 – 3,7
1998	15/5	136	3,5	0,47	23/9	8	0,7 – 2,7
1999	8/5	147	3,7	0,47	30/9	7	1,7 – 2,9
2000	29/4	147	4,9	*0,46	13/9	8	1,1 – 2,0
2001	7/5	151	2,7	0,37	19/9	7	1,2 – 3,2

* Middeltetthet av 5,2 m snø målt på Austdalsbreen.

Tabell 1
Oppsummering av datagrunnlaget for beregning av massebalansen på Harbardsbreen i perioden 1997-2001.

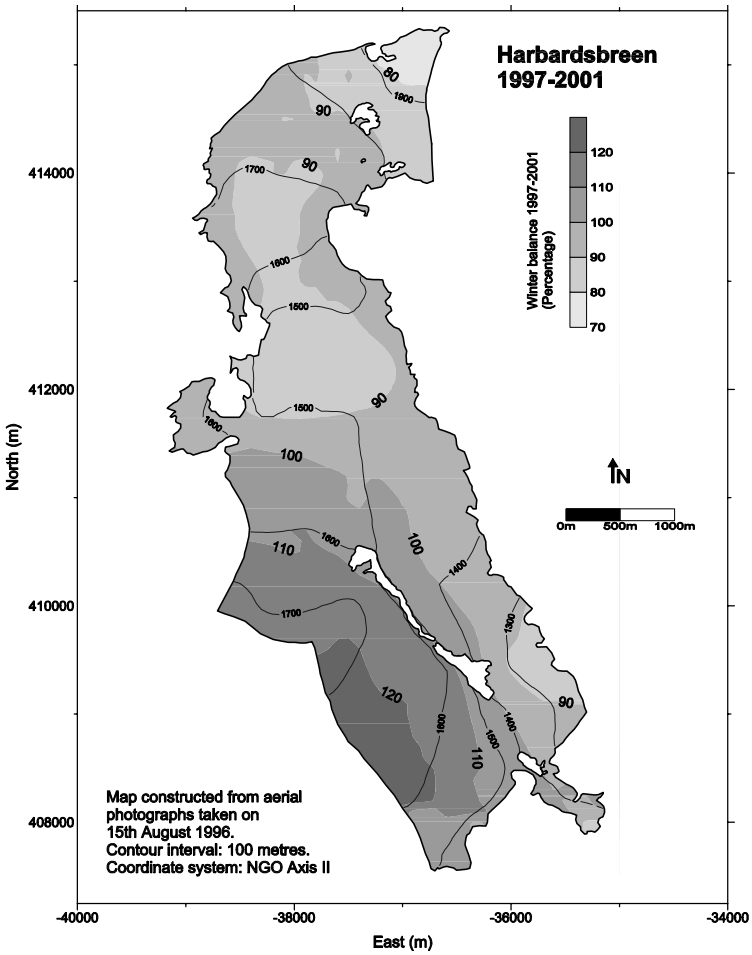
Resultater

Punktverdier for vinter- og sommerbalansen er plottet mot høyde i et diagram. Ut fra en visuell bedømming er representative kurver for høydefordelingen blitt trukket manuelt (fig. 13 og 14). Fra disse kurvene er middelverdier for hver 50. høydemeter bestemt (vedl. 1). De årlige resultatene er vist i figur 15.

Usikkerheten i balansetallene er avhengig av flere faktorer og er derfor vanskelig å estimere. Usikkerheten i vinterbalansen er i første rekke påvirket av nøyaktigheten av de ulike målingene (snødyp og tetthet) og deres representativitet for hele brefeltet. Generelt øker usikkerheten med økende snødyp. Usikkerheten i sommerbalansen beror først og fremst på antall målepunkt (staker) og deres representativitet for de respektive høydeintervall. Under rimelig gode forhold kan man anta at usikkerheten i vinterbalansen er i størrelsesorden ±0,2 m v.ekv., mens den for sommer- og nettobalansen er i størrelsesorden ±0,3 m v.ekv.

Vinterbalanse

Vinterbalansen varierte mellom 0,9 m v.ekv. i 2001 og 2,3 m v.ekv. i 2000 med en middelverdi på 1,76 m v.ekv. De største snømengdene ble hvert år målt på den sørvestlige delen av breen. De høyeste balanseverdiene er derfor å finne mellom 1600 og 1700 moh. (fig. 12 og 13). 2001 framstår som det mest ekstreme året med svært liten vinterbalanse.



Figur 12
Arealmessig fordeling av vinterbalansen på Harbardsbreen i perioden 1997-2001. Isolinjene er angitt i prosent der 100 % tilsvarer middelverdien for hele breen i måleperioden 1997-2001.

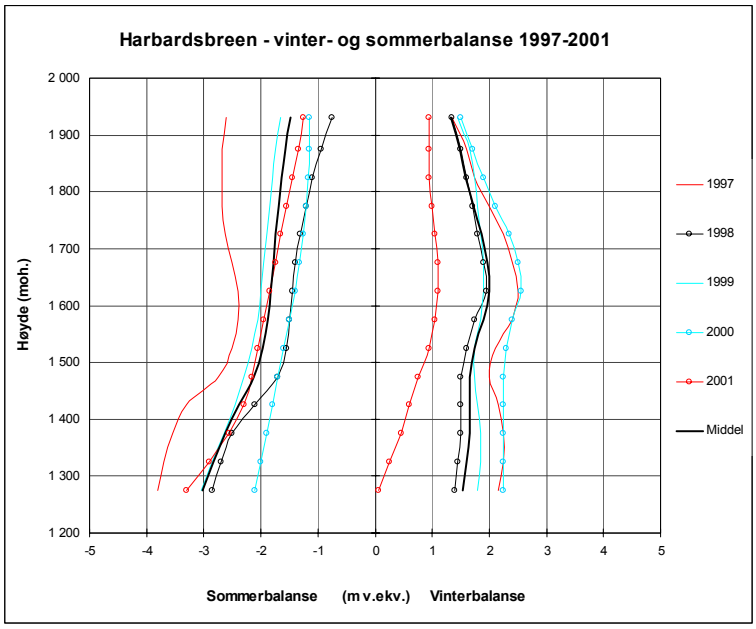
Sommerbalanse

Sommerbalansen varierte mellom -1,5 m v.ekv. i 2000 og -2,7 m v.ekv. i 1997 med middelverdi på -2,00 m v.ekv. Balansen var vesentlig større i 1997 enn i de andre årene.

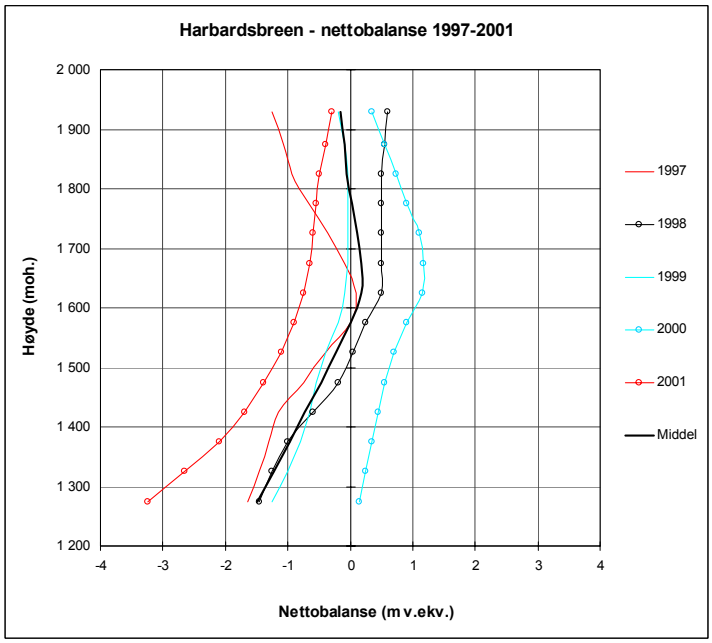
Nettobalanse

Nettobalansen varierte mellom -1,1 m v.ekv. i 2001 og +0,8 m v.ekv. i 2000 med middelverdi på -0,23 m v.ekv. (fig. 15). Massebalansen i det undersøkte brefeltet har vært negativ i tre år (1997, 1999 og 2001) og positiv i ett år (2000). I 1998 var breen i likevekt. Totalt sett har brefeltet hatt et underskudd på 1,2 m v.ekv. som tilsvarer et vannvolum på 15 mill.m^3.

Til sammenligning var midlere nettobalanse for Nigardsbreen og Storbreen i perioden 1997-2001 hhv. +0,54 m v.ekv. og -0,15 m v.ekv. (fig. 16). Tilsvarende var de kumulative verdiene hhv. +2,7 m v.ekv. og -0,8 m v.ekv. Det målte brefeltet på Harbardsbreen har med andre ord hatt omtrent samme utvikling som Storbreen i måleperioden 1997-2001.

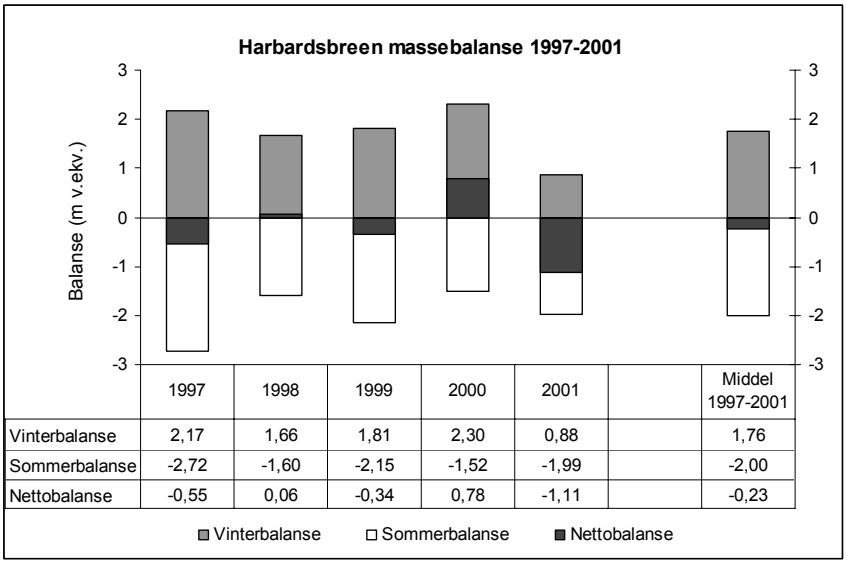


Figur 13
Høydefordeling av vinter- og sommerbalansen på Harbardsbreen i perioden 1997-2001.



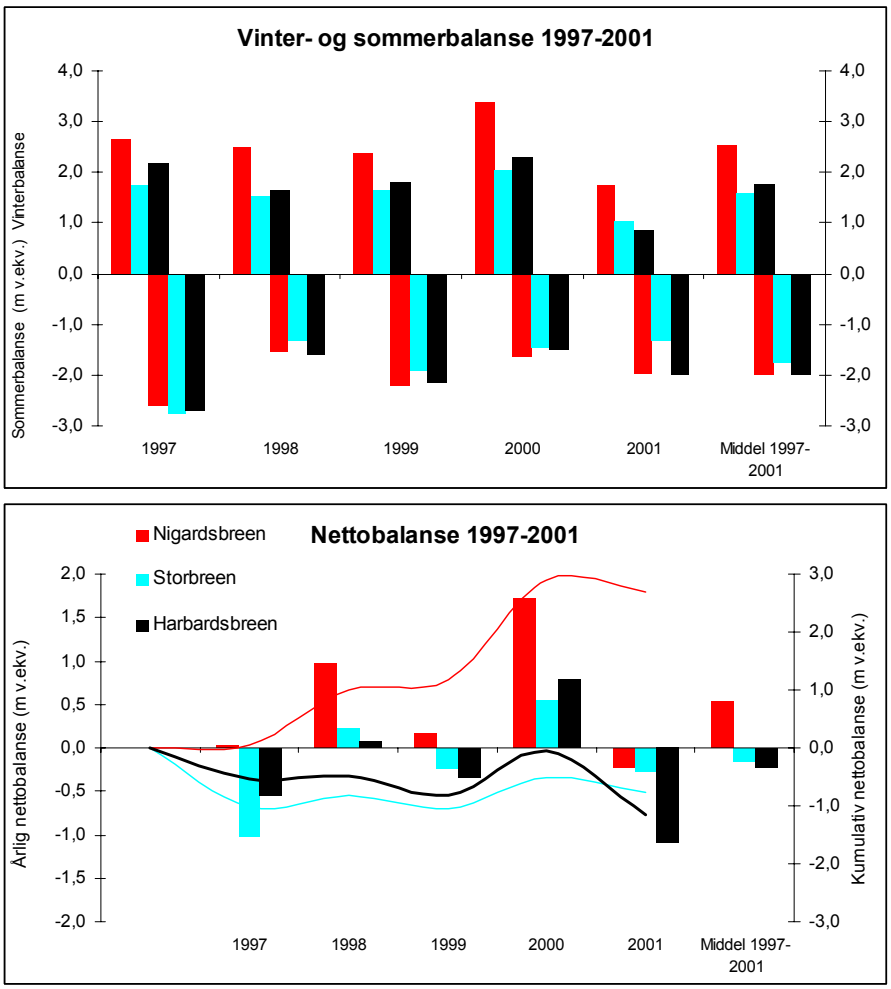
Figur 14
Høydefordeling av nettobalansen på Harbardsbreen i perioden 1997-2001.

Ut fra nettobalansekurvene (fig. 14) kan likevektslinjens høyde (ELA) bestemmes. Bare i 1998 var likevektslinjens høyde klart definerbar (1500 moh.). I to av årene (1997 og 1999) lå det igjen noe snø i ett eller to mindre områder på breen. I de øverste partiene var imidlertid all vintersnøen smeltet bort. For disse to årene kan ikke likevektslinjens høyde bestemmes. I 2000 lå det igjen snø over hele breen og ELA lå derfor *under* breens nedre grense (<1250 moh.). I 2001 var all vintersnøen smeltet bort og ELA lå *over* breens høyeste punkt (>1960 moh.).



	1997	1998	1999	2000	2001		Middel 1997-2001
Vinterbalanse	2,17	1,66	1,81	2,30	0,88		1,76
Sommerbalanse	-2,72	-1,60	-2,15	-1,52	-1,99		-2,00
Nettobalanse	-0,55	0,06	-0,34	0,78	-1,11		-0,23

Figur 15
Vinter-, sommer- og nettobalansen på Harbardsbreen i perioden 1997-2001. Totalt sett har breen i denne perioden hatt et underskudd i massebalansen på -1,16 m v.ekv.



Figur 16
Vinter-, sommer- (øverst) og nettobalanse (nederst) for Harbardsbreen (svart stolpe og svart linje) i måleperioden 1997-2001 sammenlignet med tilsvarende verdier for Nigardsbreen (rødt) og Storbreen (blått). Kumulativ nettobalanse er vist som linjer i samme farger i den nederste figuren.

Bredemt sjø

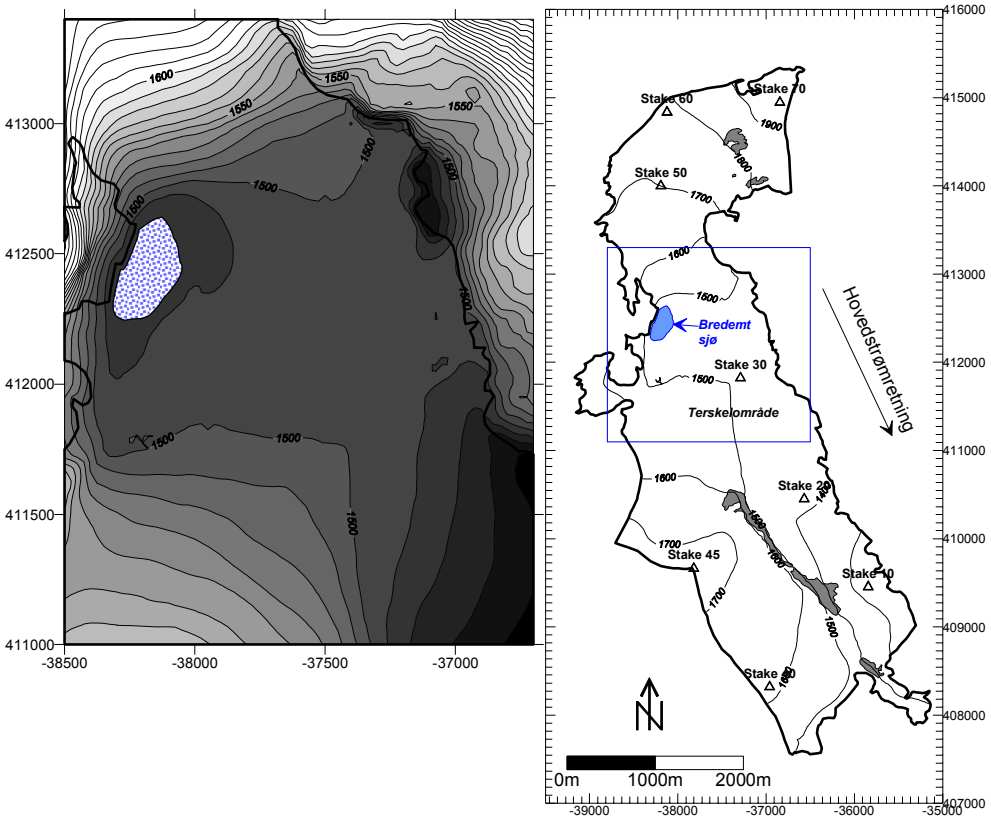
Siden 1992 er det gjort observasjoner (tab. 2) av den bredemte sjøen som ligger på vestsiden av breen (fig. 16) i høydenivå ca. 1480 moh. Observasjonene tyder på at sjøen tømmes relativt hyppig. En slik tømming fører nødvendigvis til en midlertidig økning av vannføringen inn til Fivlemyrane magasin. Størrelsen på tømmingen og hvordan den utvikler seg er ukjent. Fra andre steder vet en at tappinger fra bredemte sjøer *kan* være en potensiell trussel mot damanlegg og ferdsel langs vassdraget.

For å skaffe en bedre forståelse av tappingsprosessen er istykkelsen i området ved bresjøen kartlagt med breradar våren 1999. Videre er tappingsvolum og utløsende vannhøyde grovt vurdert.

Oversikt

Terskelområdet

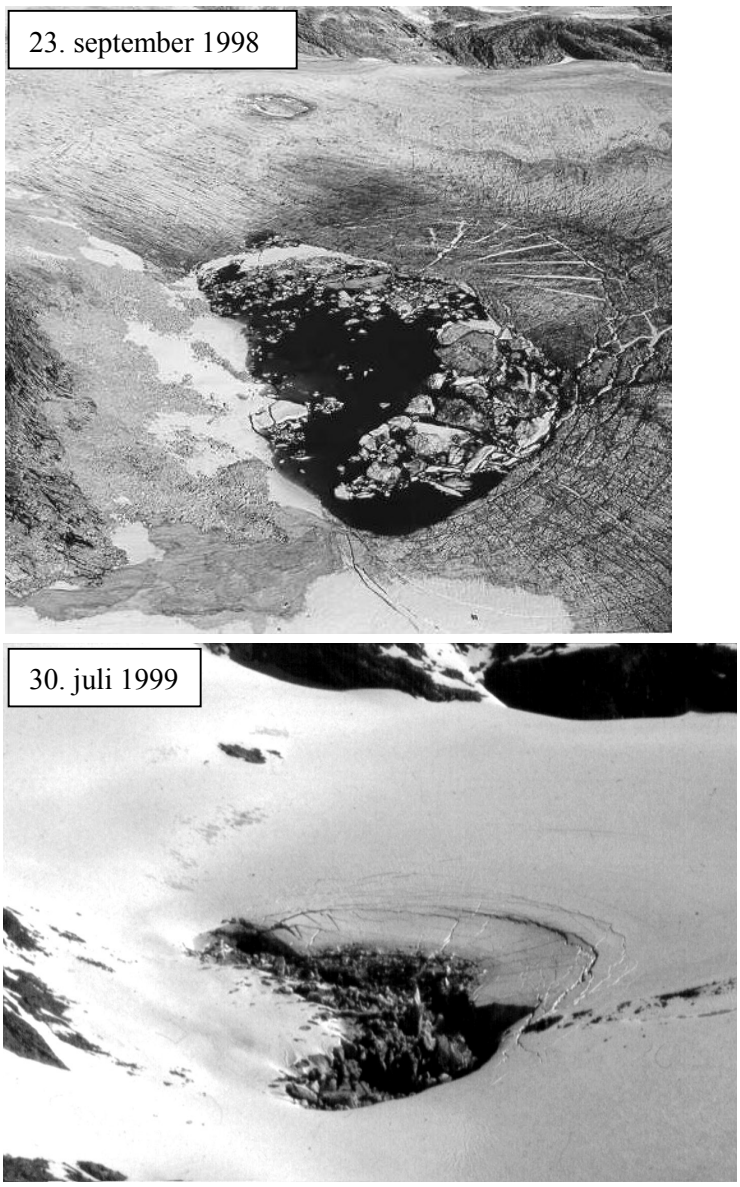
I terskelområdet ligger breoverflata mellom 1480 og 1510 moh. (fig. 17). Overflata i området er omtrent horisontal, og det er derfor grunn til å tro at bunntopografien bestemmer hvor tappingskanalen går under isen. Breoverflata ble kartlagt ved flyfotografering 15. august 1996, og et kart med 10 m høydeintervall er tilgjengelig på digital form.



Figur 17
Terskelområdet for det bredemte vannet ved Harbardsbreen. Kartkoordinater (NGO 1948) er vist i meter.

Obervasjoner av den bredemte sjøen

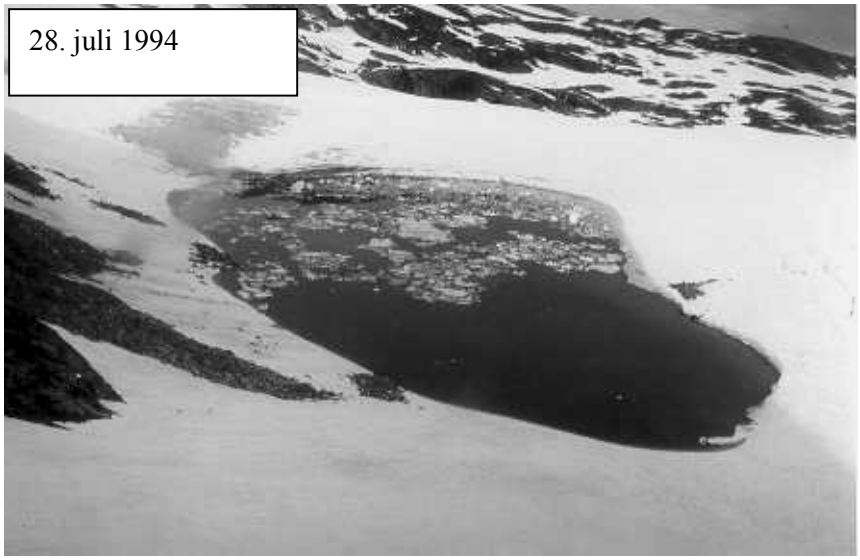
Kartleggingen viser at breoveflata i det flate terskelområdet i august 1996 var 1495 moh., mens vannhøyden var 1483,8 moh. (sjøens utbredelse er vist i figur 20). Bilder som ble tatt under feltarbeid høsten 1998 og sommeren 1999 viser sjøen før og etter tapping (fig. 18).



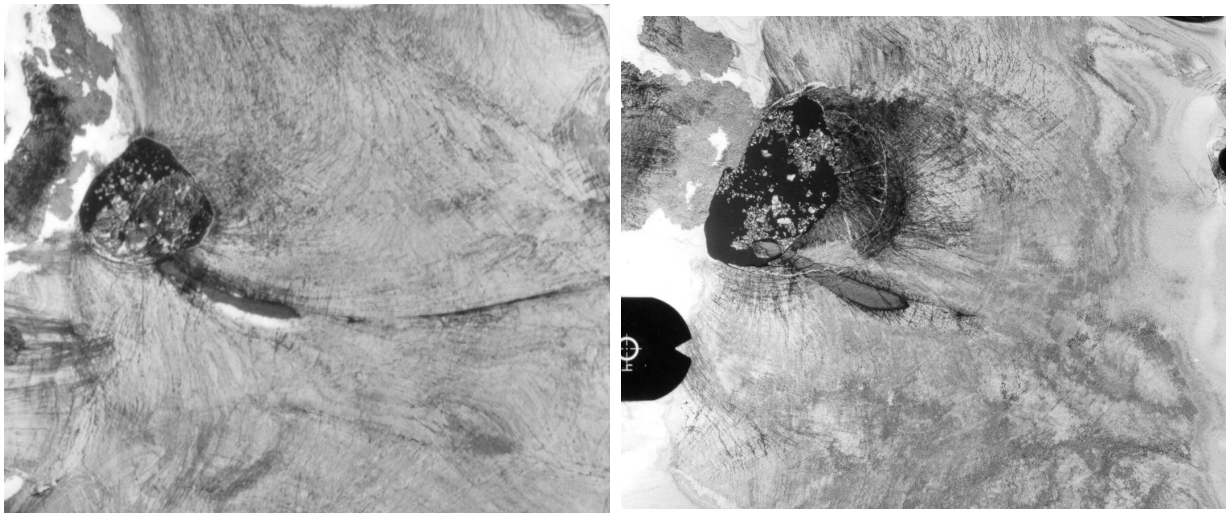
Figur 18
Bildene viser sjøen før (høsten 1998) og etter (sommeren 1999) tapping. Foto Erik Roland og Bjarne Kjøllmoen.

Sprekkemønsteret vist på bildene antyder at deler av breen flyter i vannet når det er høy vannstand. Videre er det tydelig at store ismengder brekker av i sjøen og blir liggende utover bunnen etter tappingen. Det ser ut til at sjøen tappes helt. En viss usikkerhet er knyttet til om det er igjen vann under breen der breoverflata har kollapset. Bildet fra 1994 (fig. 19) viser at sjøen kan bli enda større enn observert høsten 1998 (fig. 18).

Flybildene i figur 20 viser bresjøen den 19. juli 1966 og 15. august 1996. Tabell 2 gir en beskrivelse av de observasjoner som er gjort av bresjøen i perioden 1992 til 2001.



Figur 19
Den bredemte sjøen fotografert sommeren 1994. Foto Bjarne Kjøllmoen.



Figur 20
Sjøen flyfotografert 19. juli 1966 (venstre) og 15. august 1996 (høyre). Foto Fjellanger Widerøe AS.

Dato	Observasjon
19.07.1966*	Vann i sjøen
19.09.1992	Vann i sjøen
27.08.1993*	Vann i sjøen
23.09.1993	Vann i sjøen (litt usikkert)
28.07.1994	Vann i sjøen
20.07.1996	Vann i sjøen
15.08.1996*	Vann i sjøen
14.09.1996	Vann i sjøen
16.09.1996*	Vann i sjøen
01.02.1997	Tom
19.05.1997	Mye snø, men ingen synlig vann- eller isflate i krateret.
25.07.1997	Vann i sjøen
24.09.1997	Vann i sjøen
15.05.1998	Mye snø, muligens noe vann i sjøen
12.08.1998	Vann i sjøen
23.09.1998	Vann i sjøen
08.05.1999	Tom
30.07.1999	Tom
30.09.1999	Tom
29.04.2000	Tom
27.07.2000	Vann i sjøen
13.09.2000	Vann i sjøen
16.02.2001	Tom
07.05.2001	Tom
23.08.2001	Vann i sjøen
19.09.2001	Tom

Tabell 2
Observasjoner av den bredemte sjøen i perioden 1992-2001. Noen observasjoner er også gjort ut fra flybilder (*), deriblant fra flybilde tatt i juli 1966.

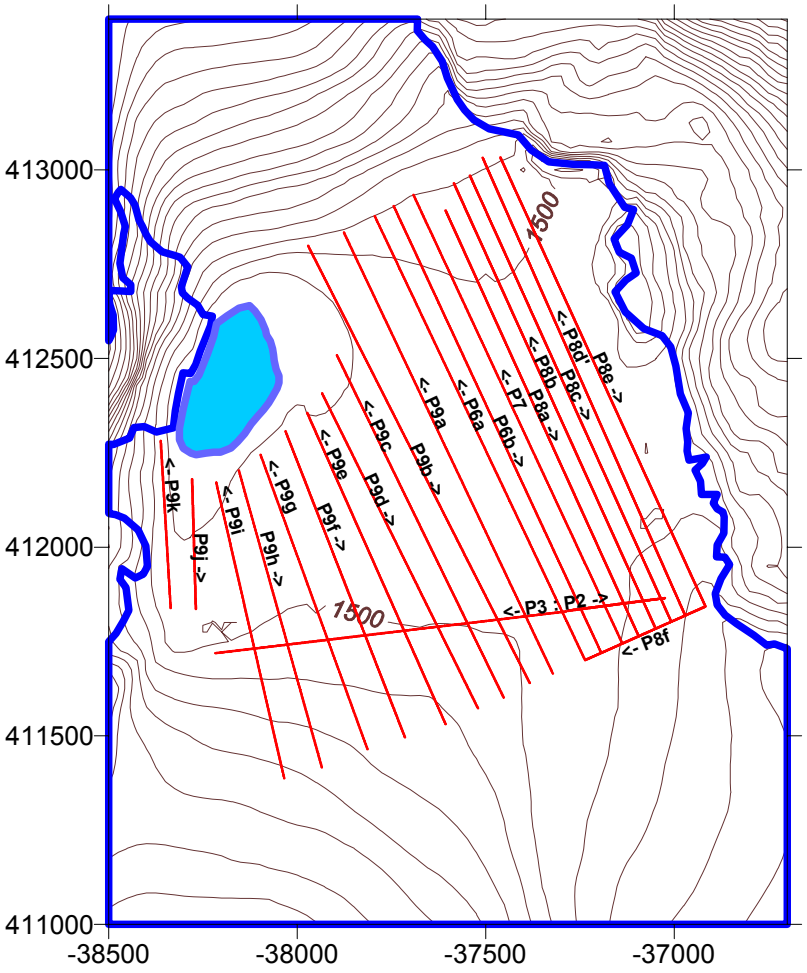
Observasjonene viser at det var vann i sjøen på sommerstid i årene 1966, 1992, 1993, 1994, 1996, 1997, 1998, 2000 og 2001. I 1999 var bresjøen tom både om våren, sommeren og høsten. For sommeren 1995 finnes det ingen observasjoner. Det ser dermed ut til å være sikre indikasjoner på at tapping forekom i tidsrommene mellom 14. september 1996 og 1. februar 1997, 23. september 1998 og 8. mai 1999, 13. september 2000 og 16. februar 2001 og mellom 23. august og 19. september 2001. Det er også sannsynlig at det skjedde en tapping i tidsrommet 24. september 1997 og 15. mai 1998. Det ser med andre ord ut til at tapping har skjedd årlig siden 1996 (med unntak av 1999), og at tappingen oftest har forekommet sent på høsten.

Kartlegging av terskelområdet

Breradarmålinger

Breisen danner en demning mot sjøen når isens trykk ved brebunnen er større enn vanntrykket. For å kartlegge bunntopografi og bretykkelse ble det utført istykkelses-målinger med breradar i terskelområdet i mai 1999. Målingene inkluderte god

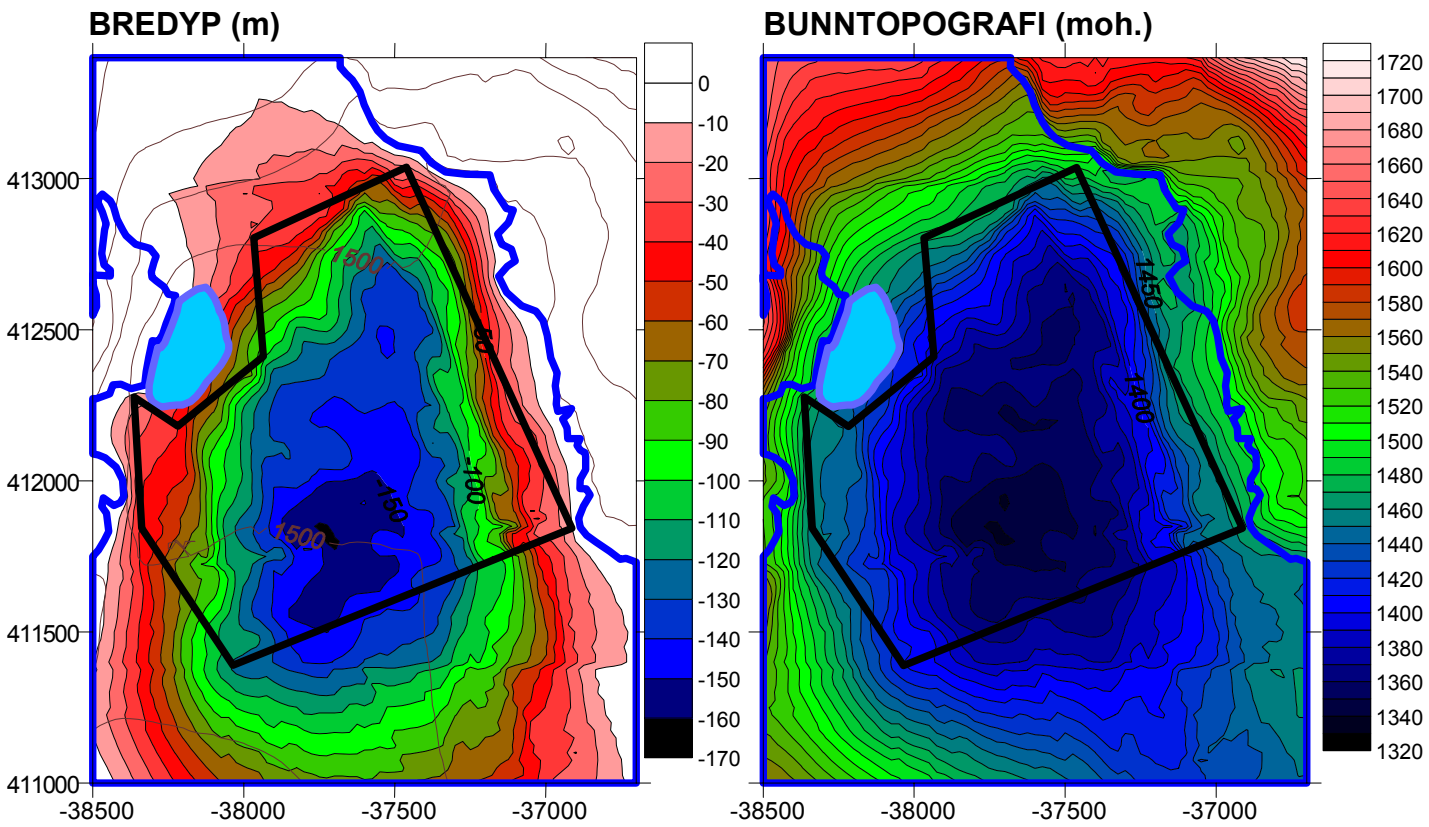
dekning av terskelområdet, men det ble ikke tid til å kartlegge breen nedstrøms terskelområdet. Kinematiske GPS-målinger med høy presisjon ble brukt for posisjonering. I ettertid viste det seg dessverre at disse dataene ikke kunne prosesseres. Derfor ble breradarmålingene posisjonert ut fra visuell bestemmelse av endepunktene for hvert profil. Usikkerheten i posisjoneringen er dermed større enn forventet og er anslått til ±50 meter. Til sammen ble det samlet inn data fra 21 profiler fordelt som vist i figur 21.



Figur 21
Lokalisering av breradarmålingene. Data ble samlet inn fra 21 profiler (røde linjer) som til sammen dekker et område på ca. 1,5 km^2. Pilene viser kjøreretningen under målingene.

Beregning av bretykkelse og bunntopografi

Radargrammene ble tolket og bretykkelse beregnet. Beregning av tykkelsen antas å ha en usikkerhet på ±5-10 m. Videre ble det konstruert et kart over bretykkelsen ved å interpolere resultatene fra breradarmålingene sammen med innlagte punkter langs brekanten der bretykkelsen er null. Valgt interpolasjonsmetode er "kriging" med gridstørrelse 25 x 25 meter. Dette er vist i figur 22 sammen med kart over bunntopografi. Bunntopografi ble konstruert ved å kombinere overflatetopografi fra kartet fra 1996 og bredyp fra breradarmålinger. Kartet er kun gyldig for terskelområdet, dvs. der det er samlet inn breradardata (se fig. 21).



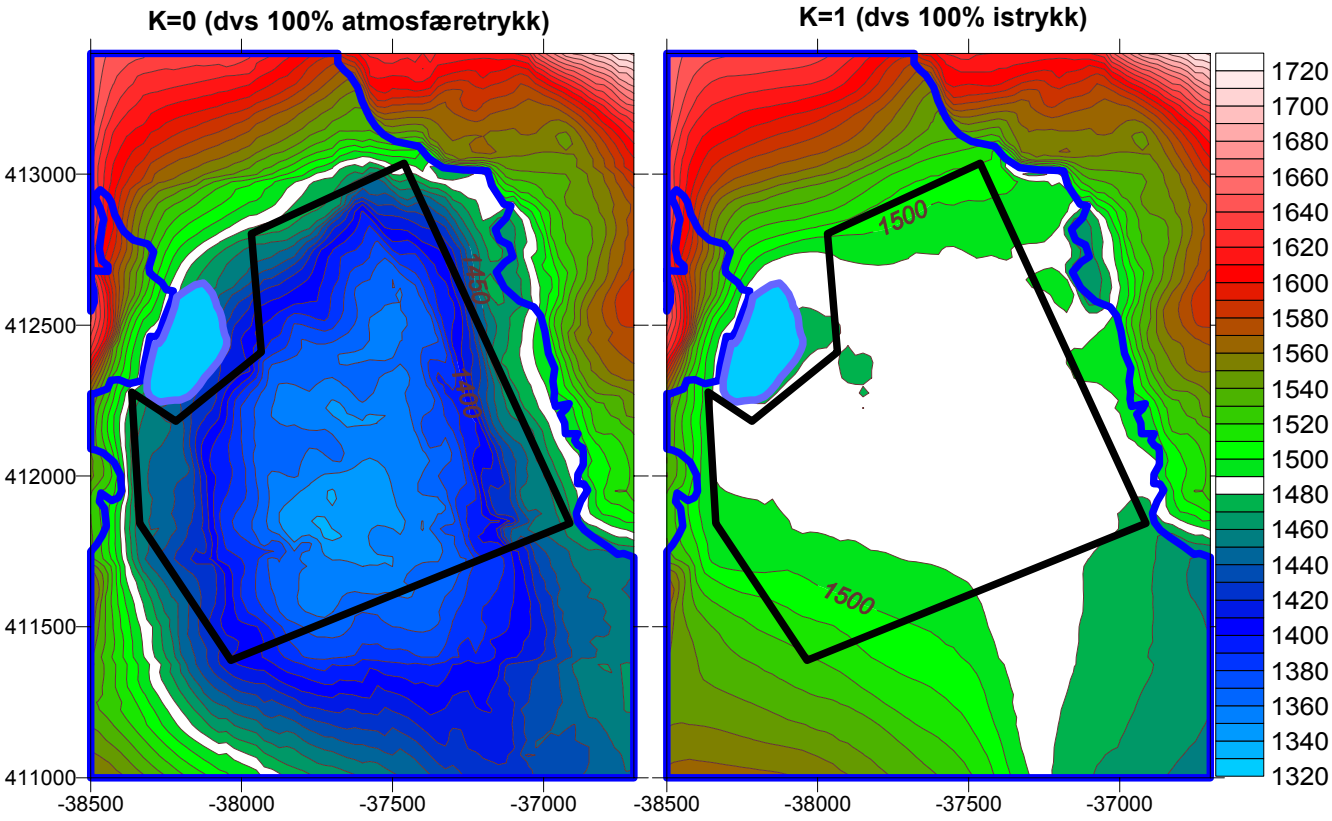
Figur 22
Bretykkelse (m) til venstre og bunntopografi (moh.) til høyre i terskelområdet. Blå tykk linje viser brekanten og svart tykk linje markerer utstrekning av breradarmålingene. I områdene utenfor denne svarte linjen (spesielt nedre del av kartet) er bretykkelse og bunntopografi noe usikkert bestemt.

Målingene viste en overfordypning midt under breen. Breens tykkelse er der opp til 160 meter. Den store variasjonen i bretykkelse gjør at overfordypningen fylles effektivt opp med is og gjør overflata nesten horisontal (jfr. fig. 17). Det bør merkes at i nedre del av kartene gis det en dårlig presentasjon av virkeligheten, da det her ikke finnes breradarmålinger (se fig. 21).

Beregning av vannpotensial og drenering

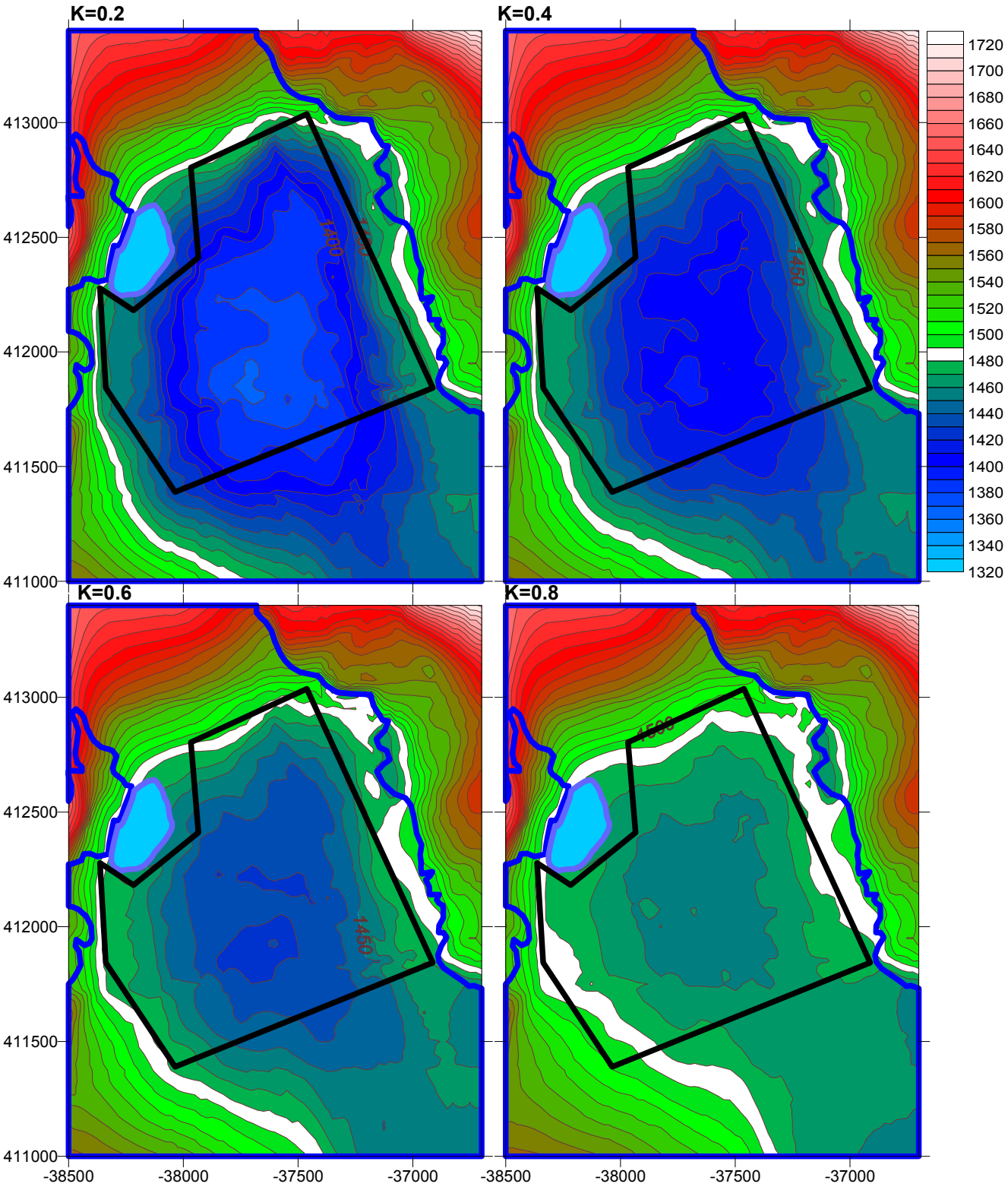
Ved drenering langs bunnen kan istrykket styre vannets vei vekk fra de veier det ville tatt dersom kun bunntopografien (og ikke istrykket) var avgjørende. For å vurdere de ulike dreneringsveiene, beregnes vannpotensialet, og effekten av isens trykk kan forenklet uttrykkes ved en konstant, k. Vannpotensialet ble beregnet på samme måte som i Kjøllmoen og Kennett (1995) og Elvehøy mfl. (1997). Vannet vil drenere i den retning hvor potensialet avtar mest.

Figur 23 viser potensialflater beregnet ved ulike verdier av k, fra 0 (dvs. ikke påvirket av istrykket, vannet drenerer ved atmosfærisk trykk) til 1 (istrykket bestemmer dreneringen sammen med bunntopografien).



Figur 23
Vannpotensialkart ved k=0 (venstre) og k=1 (høyre). Verdiene angir potensialhøyde i meter. Blå tykk linje viser brekanten og svart tykk linje markerer utstrekning av breradarmålingene. I områdene utenfor den svarte linjen (spesielt nedre del av kartet) er vannpotensialet noe usikkert bestemt.

Figur 23 og 24 viser at dersom vannet drenerer ved atmosfærisk trykk (k=0) så er det grunn til å tro at vannet drenerer mot midten av breen og renner videre ved eller nær midten av breen. På den annen side danner som regel slike tappinger drenerings-systemer, hvor også isens trykk bestemmer den veien vannet tar (k>0). Dersom isens fulle trykk tas med i vurderingen (k=1) så vil som regel breoverflatens helling overstyre bunntopografien. Vi ser her at vannpotensialet er nærmest likt over hele terskelområdet. Dreneringen drives av endringer i potensialet, og målingene antyder at tappekanalen kan være lokalisert innenfor en større sektor sørøst for vannet (hvitt felt i figur 23). Kanalens plassering kan også være styrt av lokaltopografi (f. eks renner eller rygger under breen) som leder vannet bestemte veier. Kartene i figur 23 og 24 antyder at breen bare så vidt er tykk nok til å demme vannet når bresjøens overflate er 1483,5 moh.



Figur 24
Vannpotensialkart ved k=0,2, 0,4, 0,6 og 0,8. Verdiene angir potensialhøyde i meter. Blå tykk linje viser brekanten og svart tykk linje markerer utstrekning av breradarmålingene. I områdene utenfor den svarte linjen (spesielt nedre del av kartet) er vannpotensialet noe usikkert bestemt.

Beregningene og observasjonene tyder på at vannet dreneres i sørøstlig retning ved tapping. Smeltevann fra de høyereliggende deler av breen over sjøen dreneres av én eller flere elver under breen. Om det er én eller flere (to) er uvisst. Disse passerer enten gjennom, nær, eller langt fra sjøen. Dermed er det grunn til å tro at vannet ved en tapping enten løper sammen med denne (disse) breelva midt langs breen eller langs østre side av breen dersom breelva er plassert her. Dersom hovedbreelva renner langs østsiden av breen kan det også være mulig at tappekanalen løper separat nær senterlinja til breen et godt stykke. For å vite dette bedre må utfyllende breradar-målinger og eventuelt sporstoffmålinger utføres.

Vurdering av vannmengde i bresjøen

Under befaring i 1992 ble det gjort en vurdering av bresjøens volum. Anslaget gav et volum på 300 m x 200 m x 10 m, dvs. 600 000 m^3. Fordelt over et areal på 0,5 km^2 som er magasinarealet til Fivlemyrane ved høyeste regulerte vannstand (HRV), gir dette en økning av vannstanden med 1,2 m (600 000 m^3/500 000 m^2). Basert på sjøens areal på det nye kartet og flybilder fra 15. august 1996, samt vurdering av tidligere bilder og feltbesøk, vurderes dette anslaget som lavt. Det anslås et volum på 400 m x 200 m x 20 m, dvs. 1 600 000 m^3. Dette vil ved tapping gi en økt vannstand ved HRV på 3,2 m gitt at magasinarealet er konstant.

En viss grad av usikkerhet knytter seg til hvor mye vann det er under brekanten ved sjøen (som nevnt ser denne ut til delvis å flyte), samt nøyaktig estimering av bunntopografi til sjøen. Videre er tappingstid eller vannføring forbundet med tapping ikke kjent.

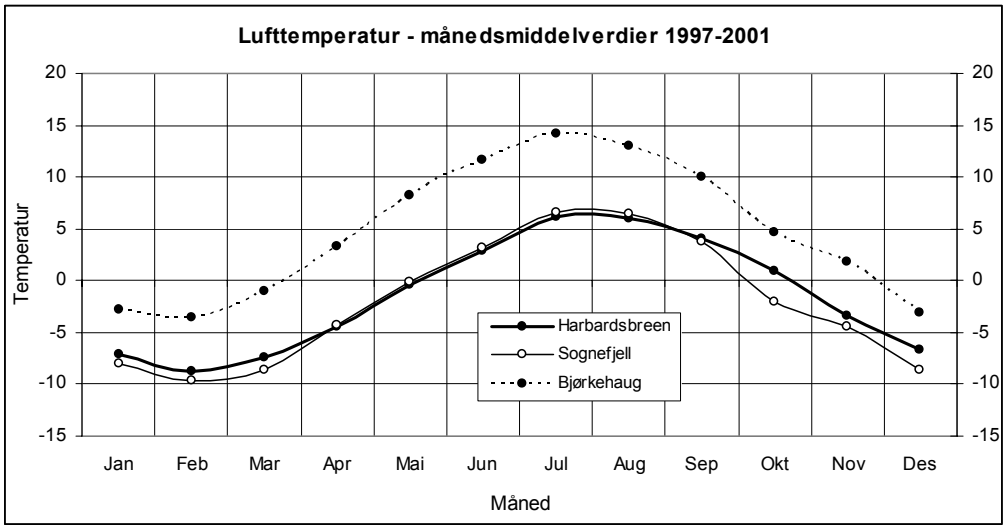
Lufttemperatur

En stasjon for måling av lufttemperatur ble satt opp på østsiden av Harbardsbreen (fig. 1 og 9) i mai 1997. Temperaturen ble logget med en times intervaller, og dataene ble lagret lokalt i en lagringsenhet og nedlastet ved hvert feltbesøk. Data finnes for perioden mellom juni 1997 og september 2001 dog med enkelte brudd. For periodene oktober 1998 - januar 1999 og mars 2001 – april 2001 er det ingen data.

I tabell 3 og figur 25 er måleresultatene vist som månedsverdier i perioden 1997-2001. Resultatene er sammenlignet med månedsmiddelverdier fra DNMIs målestasjoner Sognefjell og Bjørkehaug.

Lufttemperatur - månedsverdier 1997-2001												
	Jan	**Feb**	**Mar**	**Apr**	**Mai**	**Jun**	**Jul**	**Aug**	**Sep**	**Okt**	**Nov**	**Des**
Harbardsbreen (1320 moh.)												
1997						4,45	8,51	8,95	2,27	3,23	-4,16	-4,05
1998	-6,47	-4,99	-7,73	-4,71	-1,24	2,48	4,61	4,74	4,87			
1999		-8,79	-6,27	-3,64	-3,56	1,13	3,23	4,60	4,71	-2,70	-4,13	-10,67
2000	-8,35	-8,69	-8,37	-5,11	1,90	1,94	7,16	5,33	4,20	2,28	-1,92	-5,32
2001	-6,29	-12,28			1,39	4,14	7,08	6,60	4,40			
Middel 1997-2001	**-7,0**	**-8,7**	**-7,5**	**-4,5**	**-0,4**	**2,8**	**6,1**	**6,0**	**4,1**	**0,9**	**-3,4**	**-6,7**
Sognefjell (1413 moh.)												
Middel 1997-2001	**-8,0**	**-9,6**	**-8,5**	**-4,2**	**-0,1**	**3,1**	**6,6**	**6,5**	**3,7**	**-2,1**	**-4,4**	**-8,6**
Bjørkehaug (324 moh.)												
Middel 1997-2001	**-2,8**	**-3,5**	**-1,0**	**3,3**	**8,3**	**11,6**	**14,3**	**13,0**	**10,0**	**4,7**	**1,9**	**-3,1**

Tabell 3
Årlige månedsmiddeltemperaturer fra Harbardsbreen i perioden juni 1997 til september 2001. Månedlige middelverdier for Sognefjell og Bjørkehaug er basert på samme datagrunnlag (samme periode, 1997-2001 og med de samme databrudd) som for Harbardsbreen.



Figur 25
Kurver som viser månedsmidler i perioden 1997-2001 for Harbardsbreen, Sognefjell og Bjørkehaug. Kurvene er basert på datagrunnlaget i tabell 3.

Konklusjoner

Fem år med massebalansemålinger på Harbardsbreen viser at det østvendte brefeltet har hatt et samlet underskudd på -1,2 m v.ekv. i perioden 1997-2001. I samme periode har Nigardsbreen hatt positiv nettobalanse med +2,7 m v.ekv., mens Storbreen har hatt et underskudd på -0,8 m v.ekv. I forhold til Nigardsbreen hadde Harbardsbreen mindre vinterbalanse, mens sommerbalansen var omtrent lik. I forhold til Storbreen var både vinter- og sommerbalansen jevnt over litt større på Harbardsbreen.

Modellering av massebalansen for perioden 1967-1996 er foretatt ved bruk av tre uavhengige metoder – regresjonsanalyser mot to andre breer, nedbør- graddagsmodell og kartsammenligning (kun nettobalanse). Modellene viste at brefeltet har hatt en negativ nettobalanse mellom -7 og -9 m ekv. i 30-årsperioden 1967-96. Estimert og målt nettobalanse 1967-2001 er ca. -9 m v.ekv. Tilsvarende tall for Nigardsbreen og Storbreen er hhv. +13,7 m v.ekv. og -3,9 m v.ekv. De årlige modellerte og målte verdiene viser at det er sommerbalansen som fører til at Harbardsbreen har hatt en mer negativ utvikling enn Storbreen i perioden 1967-2001. Dette kan forklares med at Harbardsbreen (1250-1960 moh.) ligger noe lavere enn Storbreen (1390-2100 moh.).

Istykkelse og bunntopografi i området rundt bresjøen er kartlagt. Målingene viser en overfordypning midt under breen med en istykkelse opptil 160 meter. Målingene antyder at bresjøen tappes ved en utløsende vannhøyde mellom 1485 og 1490 moh. Volumet av en tapping anslås til å være opptil 1,6 mill. m^3 vann under nåværende forhold. Dreneringsretningen ved en tapping ser ut til å være mot sørøst. Den nøyaktige dreneringsveien kan ikke bestemmes uten at det gjøres utfyllende målinger. Hyppigheten på tappingene er usikre, men observasjoner tyder på at tapping har skjedd årlig (med unntak av 1999) i perioden fra september 1996 til september 2001.

Referanser

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

Kjøllmoen, B & M. Kennett.
1995: Breundersøkelser på Svartisheibreen 1988-94. *NVE Rapport 17 1995*, 35 s.

Kjøllmoen, B.
1997: Volumendringer på Harbardsbreen 1966-96. *NVE Rapport 6 1997*, 17 s.

Kjøllmoen, B. (Ed.).
2001: Glaciological investigations in Norway in 2000. *NVE Report 2 2001*, 122 s.

Paterson, W.B.S.
1994: The physics of glaciers. 3rd edition. *Pergamon, Oxford*, 480 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*. Environmnt Canada, N.H.R.I., Saskatoon and Norwegian Water Resources and Energy Directorate, Oslo, 224 p.

Vedlegg 1

Tabeller som viser den høydefordelte massebalansen på Harbardsbreen i perioden 1997-2001.

Mass balance Harbardsbreen 1996/97 – traditional method

Altitude (m a.s.l.)	Area (km^2)	Winter balance Measured 19th May 1997		Summer balance Measured 24th Sep 1997		Net balance Summer surfaces 1996 - 1997	
		Specific (m w.eq.)	Volume (10^6 m^3)	Specific (m w.eq.)	Volume (10^6 m^3)	Specific (m w.eq.)	Volume (10^6 m^3)
1900 - 1960	0,28	1,35	0,4	-2,60	-0,7	-1,25	-0,4
1850 - 1900	0,35	1,60	0,6	-2,67	-0,9	-1,07	-0,4
1800 - 1850	0,32	1,75	0,6	-2,68	-0,9	-0,93	-0,3
1750 - 1800	0,58	2,00	1,2	-2,67	-1,5	-0,67	-0,4
1700 - 1750	1,12	2,25	2,5	-2,62	-2,9	-0,37	-0,4
1650 - 1700	1,89	2,40	4,5	-2,50	-4,7	-0,10	-0,2
1600 - 1650	1,27	2,50	3,2	-2,40	-3,0	0,10	0,1
1550 - 1600	1,16	2,40	2,8	-2,40	-2,8	0,00	0,0
1500 - 1550	1,57	2,10	3,3	-2,50	-3,9	-0,40	-0,6
1450 - 1500	2,56	2,00	5,1	-2,75	-7,0	-0,75	-1,9
1400 - 1450	0,82	2,15	1,8	-3,30	-2,7	-1,15	-0,9
1350 - 1400	0,43	2,25	1,0	-3,55	-1,5	-1,30	-0,6
1300 - 1350	0,42	2,25	0,9	-3,70	-1,6	-1,45	-0,6
1250 - 1300	0,39	2,15	0,8	-3,80	-1,5	-1,65	-0,6
1250 - 1960	**13,16**	**2,17**	**28,6**	**-2,72**	**-35,8**	**-0,55**	**-7,2**

Mass balance Harbardsbreen 1997/98 – traditional method

Altitude (m a.s.l.)	Area (km^2)	Winter balance Measured 15th May 1998		Summer balance Measured 23rd Sep 1998		Net balance Summer surfaces 1997 - 1998	
		Specific (m w.eq.)	Volume (10^6 m^3)	Specific (m w.eq.)	Volume (10^6 m^3)	Specific (m w.eq.)	Volume (10^6 m^3)
1900 - 1960	0,28	1,35	0,4	-0,75	-0,2	0,60	0,2
1850 - 1900	0,35	1,50	0,5	-0,95	-0,3	0,55	0,2
1800 - 1850	0,32	1,60	0,5	-1,10	-0,4	0,50	0,2
1750 - 1800	0,58	1,70	1,0	-1,20	-0,7	0,50	0,3
1700 - 1750	1,12	1,80	2,0	-1,30	-1,5	0,50	0,6
1650 - 1700	1,89	1,90	3,6	-1,40	-2,7	0,50	0,9
1600 - 1650	1,27	1,95	2,5	-1,45	-1,8	0,50	0,6
1550 - 1600	1,16	1,75	2,0	-1,50	-1,7	0,25	0,3
1500 - 1550	1,57	1,60	2,5	-1,55	-2,4	0,05	0,1
1450 - 1500	2,56	1,50	3,8	-1,70	-4,4	-0,20	-0,5
1400 - 1450	0,82	1,50	1,2	-2,10	-1,7	-0,60	-0,5
1350 - 1400	0,43	1,50	0,6	-2,50	-1,1	-1,00	-0,4
1300 - 1350	0,42	1,45	0,6	-2,70	-1,1	-1,25	-0,5
1250 - 1300	0,39	1,40	0,5	-2,85	-1,1	-1,45	-0,6
1250 - 1960	**13,16**	**1,66**	**21,9**	**-1,60**	**-21,1**	**0,06**	**0,8**

Mass balance Harbardsbreen 1998/99 – traditional method

Altitude (m a.s.l.)	Area (km^2)	Winter balance Measured 8th May 1999		Summer balance Measured 30th Sep 1999		Net balance Summer surfaces 1998 - 1999	
		Specific (m w.eq.)	Volume (10^6 m^3)	Specific (m w.eq.)	Volume (10^6 m^3)	Specific (m w.eq.)	Volume (10^6 m^3)
1900 - 1960	0,28	1,45	0,4	-1,65	-0,5	-0,20	-0,1
1850 - 1900	0,35	1,65	0,6	-1,75	-0,6	-0,10	0,0
1800 - 1850	0,32	1,75	0,6	-1,80	-0,6	-0,05	0,0
1750 - 1800	0,58	1,80	1,0	-1,85	-1,1	-0,05	0,0
1700 - 1750	1,12	1,85	2,1	-1,90	-2,1	-0,05	-0,1
1650 - 1700	1,89	1,90	3,6	-1,95	-3,7	-0,05	-0,1
1600 - 1650	1,27	1,90	2,4	-2,00	-2,5	-0,10	-0,1
1550 - 1600	1,16	1,85	2,1	-2,05	-2,4	-0,20	-0,2
1500 - 1550	1,57	1,75	2,7	-2,15	-3,4	-0,40	-0,6
1450 - 1500	2,56	1,75	4,5	-2,30	-5,9	-0,55	-1,4
1400 - 1450	0,82	1,80	1,5	-2,45	-2,0	-0,65	-0,5
1350 - 1400	0,43	1,85	0,8	-2,65	-1,1	-0,80	-0,3
1300 - 1350	0,42	1,85	0,8	-2,85	-1,2	-1,00	-0,4
1250 - 1300	0,39	1,80	0,7	-3,05	-1,2	-1,25	-0,5
1250 - 1960	**13,16**	**1,81**	**23,8**	**-2,15**	**-28,3**	**-0,34**	**-4,5**

Mass balance Harbardsbreen 1999/00 – traditional method

Altitude (m a.s.l.)	Area (km^2)	Winter balance Measured 29th Apr 2000		Summer balance Measured 13th Sep 2000		Net balance Summer surface 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)
1900 - 1960	0,28	1,50	0,4	-1,15	-0,3	0,35	0,1
1850 - 1900	0,35	1,70	0,6	-1,15	-0,4	0,55	0,2
1800 - 1850	0,32	1,90	0,6	-1,18	-0,4	0,73	0,2
1750 - 1800	0,58	2,10	1,2	-1,20	-0,7	0,90	0,5
1700 - 1750	1,12	2,35	2,6	-1,25	-1,4	1,10	1,2
1650 - 1700	1,89	2,50	4,7	-1,33	-2,5	1,17	2,2
1600 - 1650	1,27	2,55	3,2	-1,40	-1,8	1,15	1,5
1550 - 1600	1,16	2,40	2,8	-1,50	-1,7	0,90	1,0
1500 - 1550	1,57	2,30	3,6	-1,60	-2,5	0,70	1,1
1450 - 1500	2,56	2,25	5,8	-1,70	-4,4	0,55	1,4
1400 - 1450	0,82	2,25	1,8	-1,80	-1,5	0,45	0,4
1350 - 1400	0,43	2,25	1,0	-1,90	-0,8	0,35	0,2
1300 - 1350	0,42	2,25	0,9	-2,00	-0,8	0,25	0,1
1250 - 1300	0,39	2,25	0,9	-2,10	-0,8	0,15	0,1
1250 - 1960	**13,16**	**2,30**	**30,2**	**-1,52**	**-20,0**	**0,77**	**10,2**

Mass balance Harbardsbreen 2000/01 – traditional method

Altitude (m a.s.l.)	Area (km^2)	Winter balance Measured 7th May 2001		Summer balance Measured 20th Sep 2001		Net balance Summer surface 2000 - 2001	
		Specific (m w.eq.)	Volume (10^6 m^3)	Specific (m w.eq.)	Volume (10^6 m^3)	Specific (m w.eq.)	Volume (10^6 m^3)
1900 - 1960	0,28	0,95	0,3	-1,25	-0,4	-0,30	-0,1
1850 - 1900	0,35	0,95	0,3	-1,35	-0,5	-0,40	-0,1
1800 - 1850	0,32	0,95	0,3	-1,45	-0,5	-0,50	-0,2
1750 - 1800	0,58	1,00	0,6	-1,55	-0,9	-0,55	-0,3
1700 - 1750	1,12	1,05	1,2	-1,65	-1,8	-0,60	-0,7
1650 - 1700	1,89	1,10	2,1	-1,75	-3,3	-0,65	-1,2
1600 - 1650	1,27	1,10	1,4	-1,85	-2,3	-0,75	-1,0
1550 - 1600	1,16	1,05	1,2	-1,95	-2,3	-0,90	-1,0
1500 - 1550	1,57	0,95	1,5	-2,05	-3,2	-1,10	-1,7
1450 - 1500	2,56	0,75	1,9	-2,15	-5,5	-1,40	-3,6
1400 - 1450	0,82	0,60	0,5	-2,30	-1,9	-1,70	-1,4
1350 - 1400	0,43	0,45	0,2	-2,55	-1,1	-2,10	-0,9
1300 - 1350	0,42	0,25	0,1	-2,90	-1,2	-2,65	-1,1
1250 - 1300	0,39	0,06	0,0	-3,30	-1,3	-3,24	-1,3
1250 - 1960	**13,16**	**0,88**	**11,6**	**-1,99**	**-26,2**	**-1,11**	**-14,6**

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

Utgitt i Oppdragsrapportserie A i 2003

Nr.1 Bjarne Kjøllmoen og Rune Engeset: Glasiologiske undersøkelser på Harbardsbreen 1996-2001 Sluttrapport (33 s.)