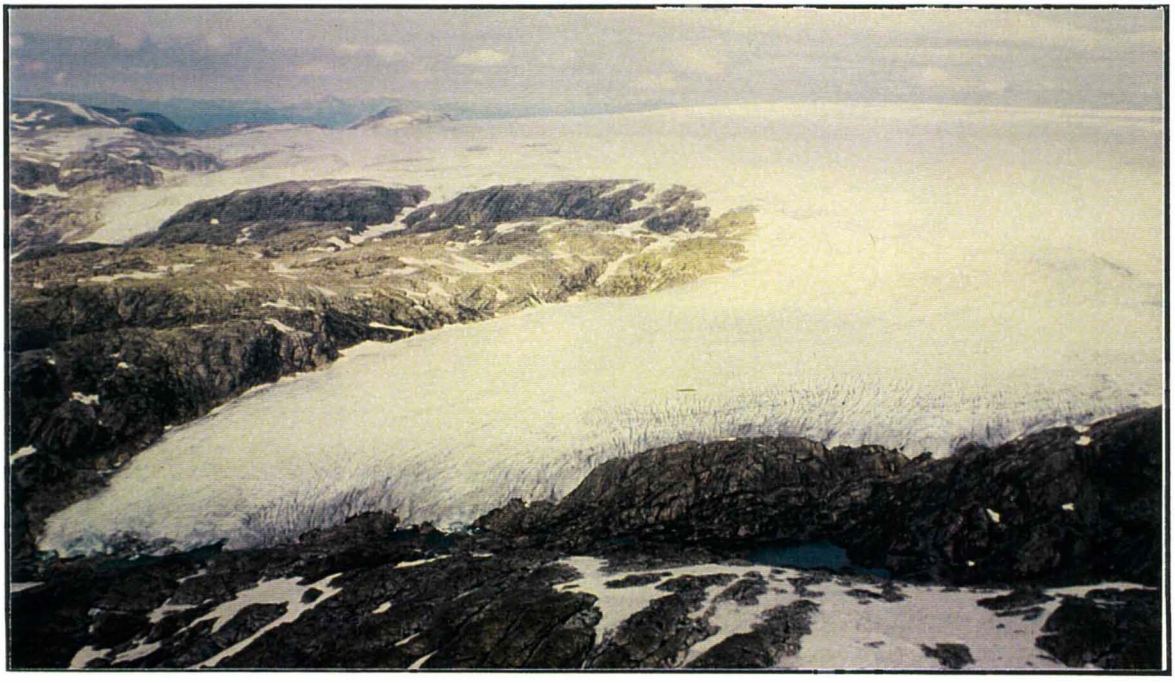
RAPPORT

22 1997

NVE
NORGES VASSDRAGS-
OG ENERGIVERK

Hallgeir Elvehøy

ISTYKKELSESMÅLINGER PÅ KJERRINGBOTNBREEN, SØNDRE FOLGEFONNA



HYDROLOGISK AVDELING

TITTEL Istykkelsesmålinger på Kjerringbotnbreen, Søndre Folgefonna (042.G)	**RAPPORT** Nr 22 1997
SAKSBEHANDLER Hallgeir Elvehøy, Seksjon Bre og Snø	DATO 16.desember 1997 RAPPORTEN ER Åpen
OPPDRAGSGIVER L/L Sunnhordland Kraftlag	OPPLAG 50

SAMMENDRAG

Denne rapporten omhandler metode og resultater fra istykkelsesmålinger med breradar og beregning av bunntopografien på den nederste delen av Kjerringbotnbreen på sørsiden av Søndre Folgefonna. Målingene ble gjort 9.mai 1997. Posisjonering ble gjort med differensiell GPS. Overflatehøyden er hentet fra kart i målestokk 1:10 000 laget fra flybilder tatt 31.august 1995.

Istykkelsen kunne bestemmes for ca 600 punkt langs 6 km profiler i et område på ca 1 km^2. Største istykkelse var ca 230 meter. Kartleggingen viser at brebunnen ligger mellom 800 og 840 m o.h. i den midtre delen av bretungen minst 1.2 km innover fra brefronten. Usikkerheten i bunnhøyden er anslått til ± 20 meter.

EMNEORD/SUBJECT TERMS
Istykkelse, bunntopografi

Ice thickness, bottom topography

ANSVARLIG UNDERSKRIFT

Arne Tollan
avdelingsdirektør

Forside: Kjerringbotnbreen, Søndre Folgefonna, 1.september 1994
Foto: Arve M. Tvede

FORORD

Denne rapporten er laget på bestilling fra L/L Sunnhordland Kraftlag.

Formålet var kartlegging av bunntopografien i området for en potensiell overføringstunnel. Radarmålingene ble gjort av Hallgeir Elvehøy og Tron Laumann assistert av Dagfinn Vatne og Steinar Omvik fra L/L Sunnhordland Kraftlag. Tolkningen av breradardataene er gjort av Kristoffer Østen, mens Hallgeir Elvehøy har skrevet denne rapporten.

Oslo, 16.desember 1997

Hallgeir Elvehøy

Hallgeir Elvehøy
fungerende seksjonssjef

INNHOLDSFORTEGNELSE

1. INNLEDNING	7
2. TEORI	7
3. FELTARBEID	8
4. DATABEARBEIDING OG RESULTATER	9
5. KONKLUSJON	12
REFERANSER	13

1. INNLEDNING

Den sørlige delen av Søndre Folgefonna drenerer nå hovedsakelig til Blådalsvassdraget som er regulert av L/L Sunnhordland Kraftlag. En stor del av dette brefeltet er tidligere feilaktig kalt Blomsterskardsbreen (Tvede, 1972 og 1994, og Smith-Meyer & Tvede, 1996). Den østlige delen av dette breområdet går ned til Blomstølsvatnet. Denne brearmen heter offisielt Blomstølskardsbreen. Den vestlige delen av breområdet går ned mot Svelgen mellom Kjerringbotn og Inste Botnane. Både "Breen i Svelgen" og "Kjerringbotnbreen" er foreslått. I denne rapporten er breen kalt Kjerringbotnbreen.

Avrenningen fra Blomstølskardsbreen går naturlig til Sandvikedalen og Åkrafjorden, men ble ved reguleringen av Blådalsvassdraget overført fra Blomstølskardsvatnet (1007-1034 m o.h.) via en tunnel til Inste Botnane hvorfra vannet renner naturlig til Midtbotnvatnet (700-751 m o.h.). For å kunne utrede muligheten for å overføre dette vannet til Insta Mosevatnet (824-877) ønsket L/L Sunnhordland Kraftlag å få kartlagt bunntopografien under Kjerringbotnbreen. Denne rapporten beskriver metode for og resultater av istykkelsesmålinger på den nederste delen av Kjerringbotnbreen i mai 1997.

Tidligere er istykkelsen målt på den nedre delen av Blomstølskardsbreen (Kennett & Sætrang, 1987). Andre glasiologiske undersøkelser i dette breområdet omfatter årlig nettobalanse på Blomstølskardsbreen og Kjerringbotnbreen i perioden 1971-77 og full massebalanse i 1971 (Tvede, 1972), brevariasjoner i nyere tid (Tvede, 1994), og volumforandringer på Mosevassbreen, Kjerringbotnbreen, Blomstølskardsbreen og Sauanutbreen mellom 1959 og 1995 (Smith-Meyer & Tvede, 1996).

2. TEORI

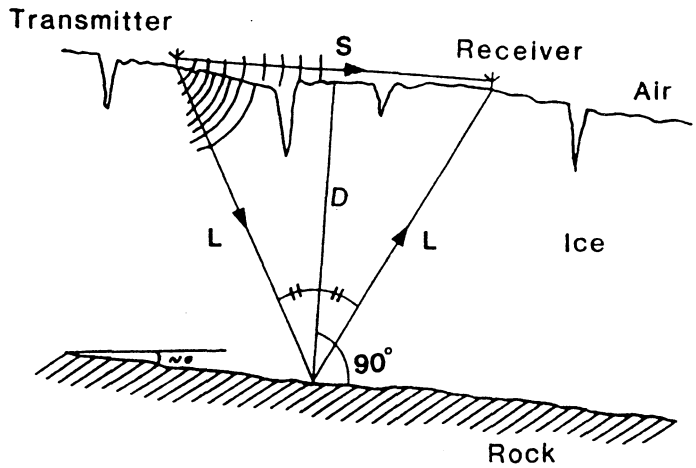
Breradarsystemet består av en sender og en mottaker som blir trukket etter hverandre langs breoverflaten. Måling av istykkelse med breradar baserer seg på at en elektromagnetisk bølgepuls reflekteres fra grenseflater mellom medier (for eksempel fjell, is, vann og luft) som har forskjellige elektriske egenskaper (forskjellige dielektrisitetskonstanter) (figur 1). Istykkelsen D ble beregnet ved formelen:

$$D = ((V_{is}/2*(T_m + S/V_{luft}))^2 - (S/2)^2)^{0.5} \qquad (1),$$

hvor:

V_{is} er bølgehastigheten i is, satt til 169 m/mikrosekund (Robin, 1975).
V_{luft} er bølgehastigheten i luft, satt til 300 m/mikrosekund.
T_m er tiden fra direktesignalets ankomst til det reflekterte signalets ankomst.
S er avstanden mellom sender og mottaker som var ca 20 meter.

Det forutsettes 1) at bunnekkoet kom fra et punkt tilnærmet loddrett under breradaren, 2) at bølgehastigheten var konstant og bølgeforplantningen rettlinjet, 3) at direktebølgen gikk i luftlaget like over snøoverflaten, og 4) at breens og brebunnens overflater var tilnærmet horisontale (Kennett & Sætrang, 1987).



Figur 1 Direkte og reflektert bølge i et tenkt tverrsnitt (fra Kennett & Sætrang, 1987)

3. FELTARBEID

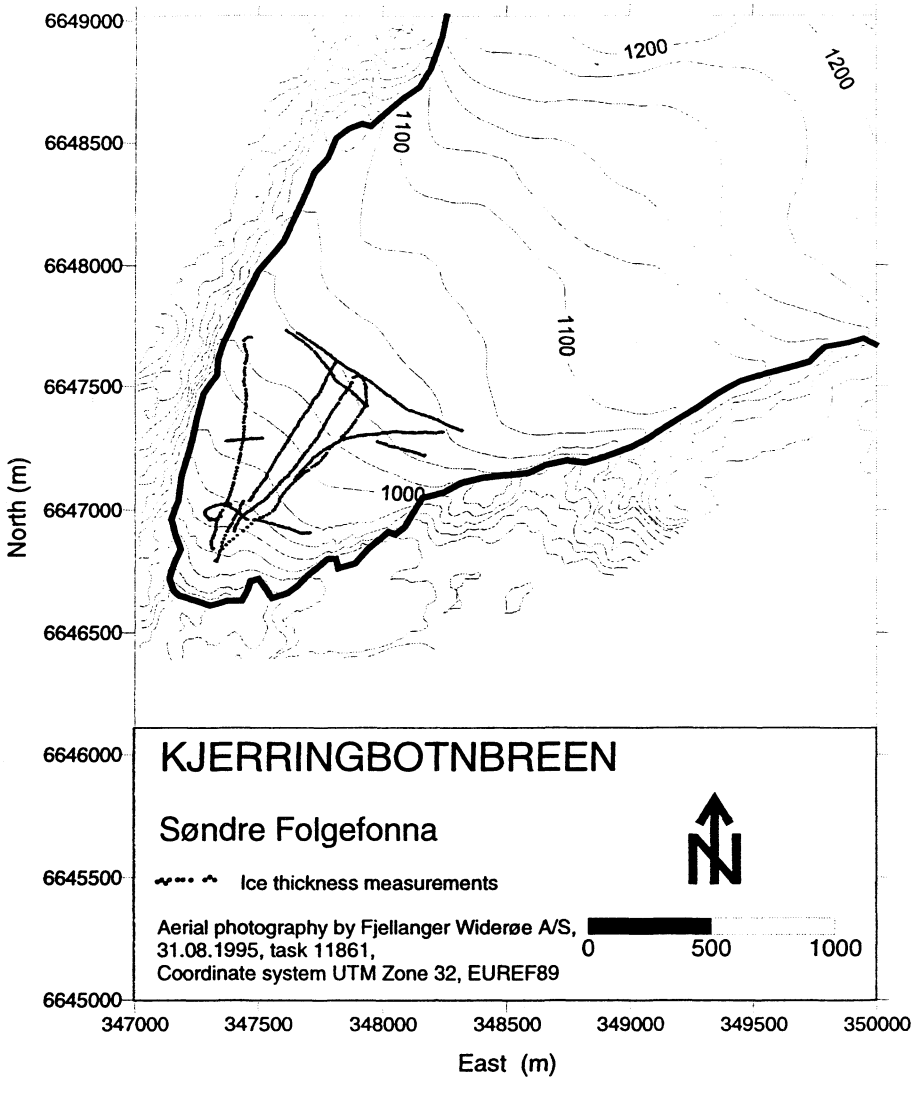
Målingene ble gjort den 9.mai 1997, og det ble kjørt ca 8 km profiler til sammen. Arbeidet konsentrerte seg om et ca 0,5 km^2 stort område mellom ca 900 og 1050 m o.h. på Kjerringbotnbreen (figur 2). For å kunne beregne brebunnens høyde over havet trengs informasjon om radarens posisjon på breoverflaten (x,y), radarens høyde over havet (z), og istykkelsen (d). Radarens posisjon og istykkelsen ble bestemt ved feltmålinger, mens overflatens høyde over havet ble bestemt utifra posisjon og kart fra 1995.

3.1 Posisjon

Til å bestemme breradarens posisjon ble det brukt 2 stk Garmin GPS 100 SRVY 2 GPS-mottakere som måler på P-koden i GPS-signalene. To mottakere ble brukt for at nøyaktigheten i posisjonen til breradaren skulle kunne forbedres ved differensiell post-prosessering (DGPS) fra ca 40 meter til mellom 3 og 10 meter (Garmin Corporation,1993). Den ene mottakeren (BASE) stod fast montert på et NGO-punkt på høyde 1332 ca 2 km nord for måleområdet, mens den andre (ROVER) var montert på radarsleden.

3.2 Istykkelse

Radarsenderen lager en kraftig radiopuls (sentralfrekvens ca 5 MHz) som sendes ut via antenner som er 15 m lange (avhengig av frekvensen). De elektromagnetiske bølgene reflekteres fra bunnen av breen, mottas av mottakerantennene og vises på mottakeren som er et digitalt oscilloscop (Tektronix 222). Oscilloscopet midler de mottatte signalene, og middelverdien overføres til PC (Huskey FC486) hvert 3-4 sekund. Det betyr at når radaren kjøres i 10 km/t så lagres en måling for hver tiende meter. Den endelige breradarfilen inneholder informasjon om tid og midlet breradarsignal.



Figur 2 Nedre del av Kjerringbotnbreen med breradarprofiler.

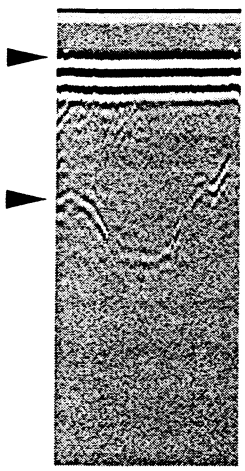
4. DATABEARBEIDING OG RESULTATER

Arbeidet bestod i å bestemme dyp til brebunnen fra radioekkomålingene samt å koble disse dybdene med GPS-data for å bestemme posisjon for hvert radioekko-skudd.

4.1 Posisjon

Etter endt målearbeid ble dataene fra mottagerne lastet ned til en PC, og posisjoner langs kjøreruten differensielt korrigert ved hjelp av programmet PC100S2 (Garmin Corporation, Lenexa, Kansas). Den endelige posisjonsfilen inneholder informasjon om tid og posisjon. Nøyaktigheten i denne formen for posisjonering er av produsenten oppgitt å være i størrelsesorden 10 meter. Usikkerheten i høyde er erfaringsmessig vesentlig større. GPS-høyden er derfor ikke brukt i den videre bearbeidingen.

4.2 Istykkelse



Figur 3 Eksempel på radarprofil. Øverste svarte linje representerer overflaten, mens toppen av svart-kvitt-svart-linja lengre nede representerer bunnen. Største dyp i profilet er ca 170 meter. Dette profilet går langs vestsiden av bretungen (fra 15 til 16 i figur 4).

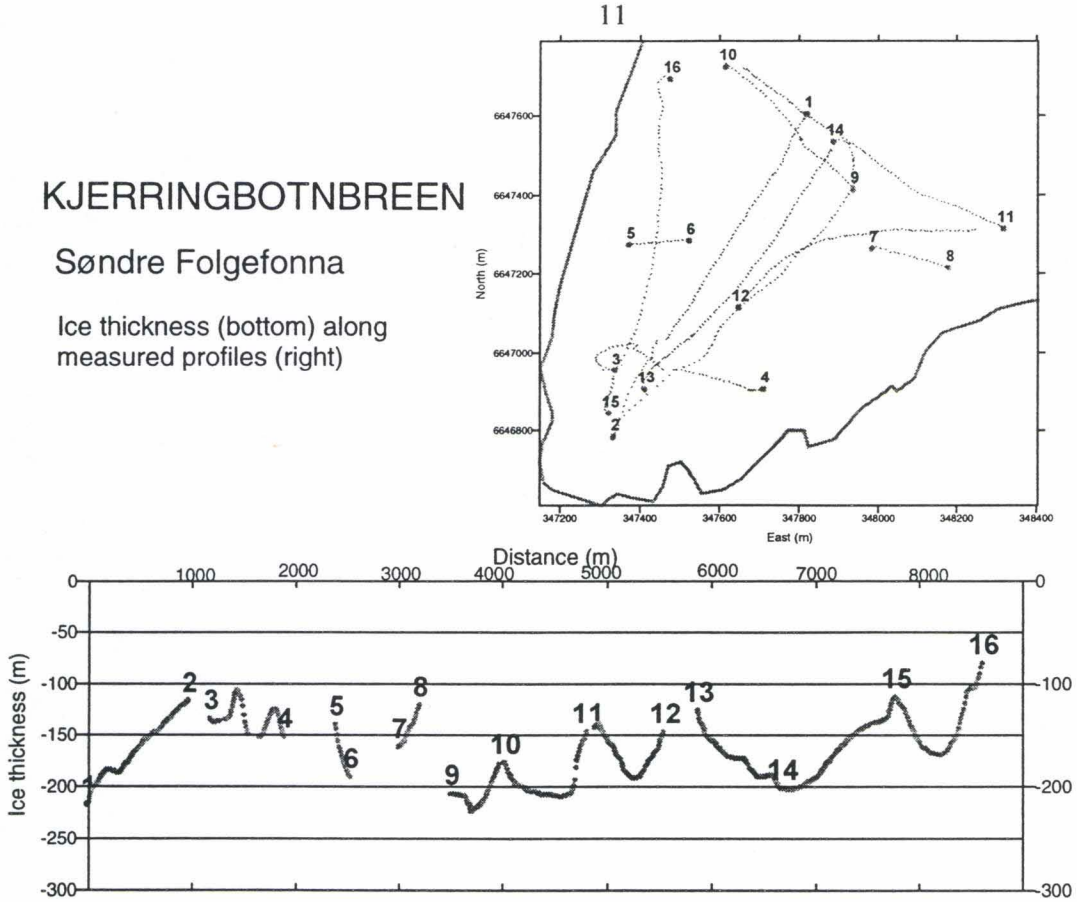
Radarbildene viser istykkelsen som to-veis-gangtid. Et eksempel er vist i figur 3. Ved manuell tolkning av radarbildene ble reflektorer som kunne tolkes som bunnekko bestemt. Disse reflektorene ble så digitalisert, og istykkelsen beregnet ut ifra gangtiden ved hjelp av ligning (1). Ut ifra tidspunkt for hver enkelt radarmåling ble så posisjonsdata og istykkelsesdata koblet sammen. Ved å sammenligne istykkelse i kryssende profiler kunne tolkningene bekreftes og i noen tilfeller forkastes. Forskjellen mellom de kryssene profilene var stort sett mindre enn 20 meter. Det ble gjort et estimat av tolkningens nøyaktighet i de forskjellige profilene. Det ble vurdert visuelt innen hvilket område en reflektor måtte ligge. Antall bilde-elementer (piksler) dette intervallet tilsvarte ble regnet om til meter. Det ble funnet at eventuelle avvik mest sannsynlig ligger innenfor intervall varierende fra ± 10 m opp til ± 20 m i de mest usikre profilene.

Figur 4 viser de tolkede radarprofilene. Største istykkelse er ca 230 meter. Figur 5 viser istykkelsen på nedre del av Kjerringbotnbreen interpolert på grunnlag av ca 600 radarmålinger og brekanten (der istykkelsen er null). Interpellasjonen er gjort ved krieging i programmet Surfer (Golden Software, Inc., Golden, Colorado). Merk at en del mindre strukturer i kartet skyldes interpellasjonen og ikke har grunnlag i målingene.

4.3 Bunntopografi

Brebunnens høyde bestemmes ut ifra breoverflatehøyden og istykkelsen. Breoverflatens høyde er hentet fra kart konstruert av Fjellanger Widerøe fra flybilder tatt 31.august 1995 (figur 2). Høydeendringen mellom 31.august 1995 og 10.mai 1997 er antatt å være ubetydelig (± 2 m i snitt) ut ifra antagelse om ca 1 m avsmelting høsten 1995 (etter 31.august), netto avsmelting på nedre del av breen i balanseåret 1995 –96 på 3-4 meter, og pålagring av 3-5 meter snø vinteren 1996-97. Ut ifra de originale kartdataene er det generert et 5x5 meter høydegrid som brukes til beregning av bunntopografien i det undersøkte området.

Figur 6 viser bunntopografien under nedre delen av Kjerringbotnbreen beregnet ved at istykkelse i istykkelsesgridet som er grunnlag for figur 5 trekkes fra overflatehøyden i høydegridet generert fra kartet fra 1995. Her er det også mange småskala former som skyldes interpellasjonen og som ikke har grunnlag i målingene.



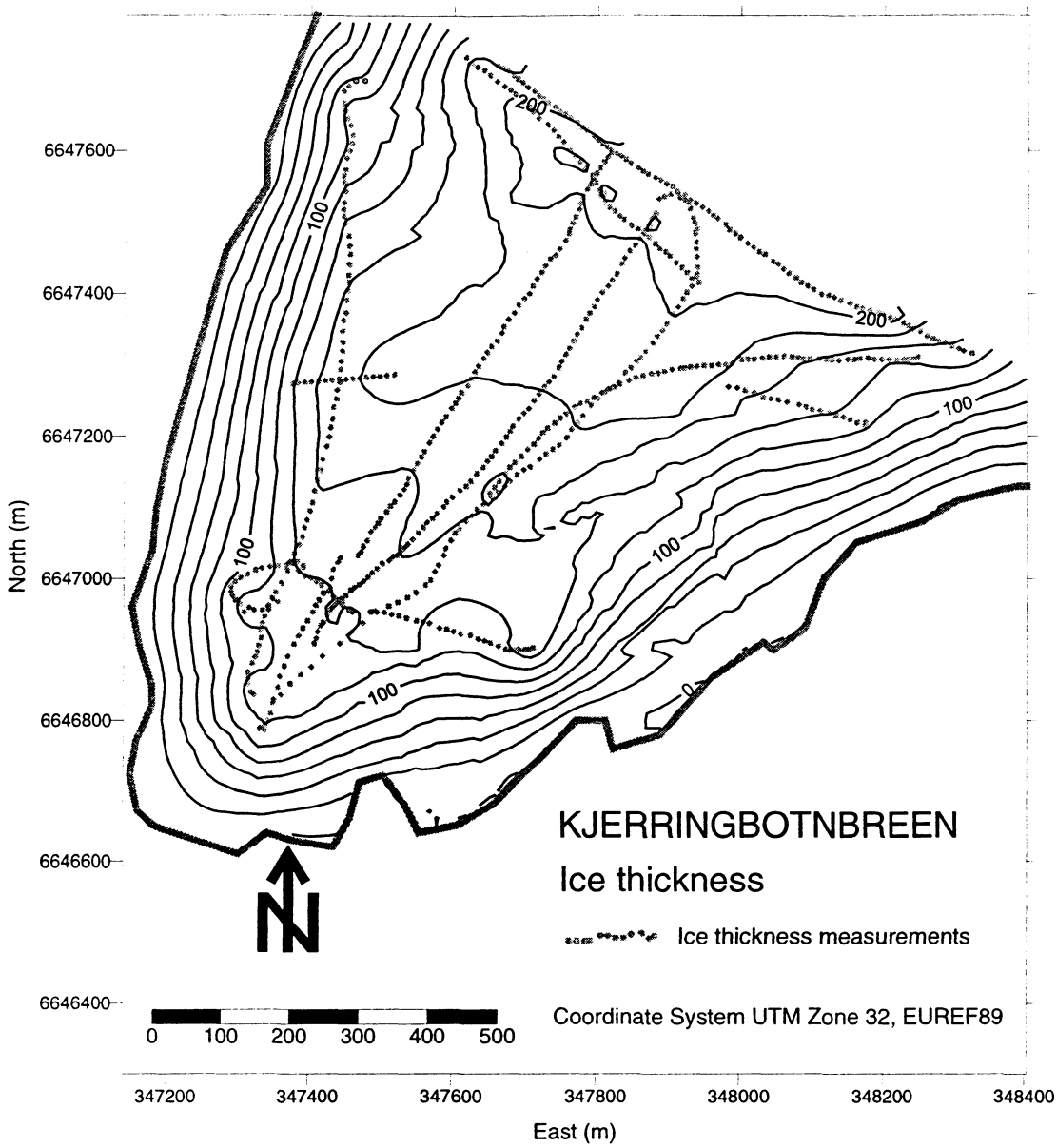
Figur 4 Profiler kjørt på Kjerringbotnbreen (øverst) og tilhørende istykkelsesprofiler (nederst).

4.4 Usikkerhet

Usikkerhet i høyden på brebunnen i ett enkelt, vilkårlig punkt har mange komponenter:

- usikkerhet som skyldes interpolasjon fra nærliggende punkt.
- usikkerhet i posisjonering av radaren, anslått til mindre enn 20 meter i horisontalplanet.
- usikkerhet i istykkelse som skyldes at refleksen fra brebunnen ikke nødvendigvis kommer fra et punkt vertikalt under breradaren. Dette er spesielt problematisk der brebunnen heller mye (ofte nær brekanten).
- usikkerhet i istykkelse som skyldes svakt retursignal pga. mye vannlommer og bresprekker i breen.
- usikkerhet i breoverflatens høyde som skyldes endringer i breen siden fotograferingstidspunktet.

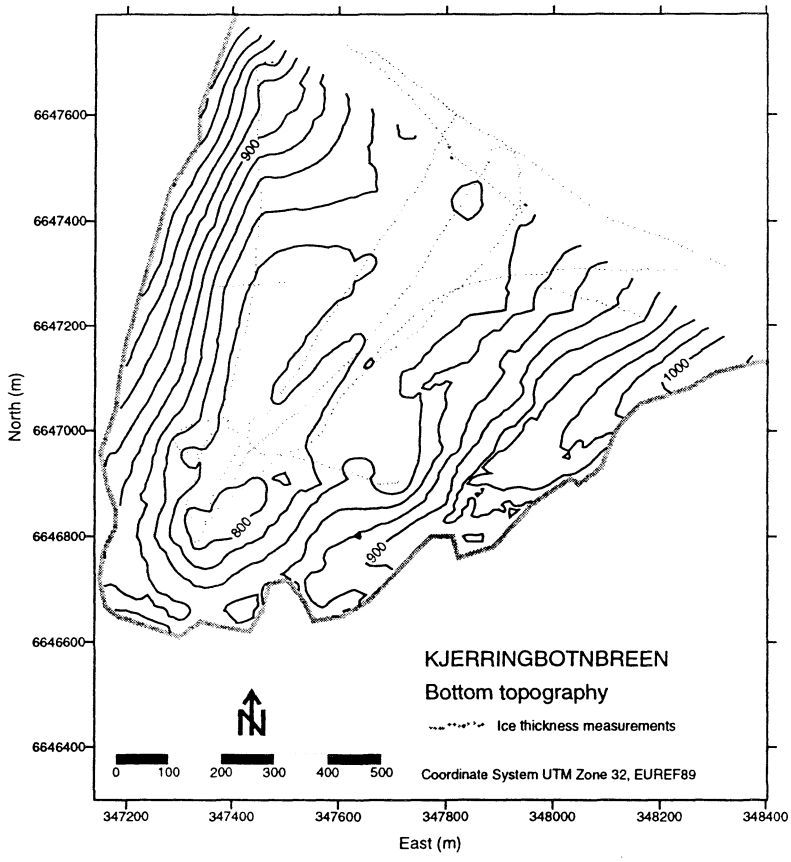
Ut ifra dette anslår vi at usikkerheten i bunnhøyden i punkt bestemt med GPS er ± 20 meter. Utenfor radarprofilene kan vi bare anta at faktisk bunnhøyde ligger innenfor interpolert høyde ± 20 meter. Interpolasjonen forutsetter da forholdsvis jevn terrengform mellom profilene. Ut fra formen på breoverflaten er det ikke no som tyder på at det skal kunne være store avvik fra interpolasjonen **med unntak av** områdene nær brekanten der istykkelsen forventes å være noe større enn det interpolasjonen viser.



Figur 5 Istykkelse på nedre del av Kjerringbotnbreen interpolert fra istykkelsesmålinger med radar. Usikkerheten i interpolert istykkelse er anslått til ± 20 m der det er nærliggende målinger. Nær brekanten vises en del strukturer som er generert i interpolasjonen uten grunnlag i faktiske målinger.

5. KONKLUSJON

Formålet med målingene var å kartlegge bunntopografien under nedre delen av Kjerringbotnbreen. Kartleggingen viser at brebunnen er ganske flat fra brefronten og minst 1.2 km oppover breen. Brebunnen under den sentrale delen av bretungen ligger mellom 800 og 840 m o.h. Usikkerheten i bunnhøyden i områder dekket av målinger er anslått til ± 20 meter.



Figur 6 Bunntopografien på nedre del av Kjerringbotnbreen ut ifra breoverflatehøyden 31.august 1995 og interpolert istykkelse (figur 5). Usikkerheten i bunnhøyden er anslått til ±20 m der det er nærliggende målinger. Nær brekanten vises en del strukturer som ikke har grunnlag i faktiske målinger.

REFERANSER

Kennett, M. & Sætrang, A.C.
1987: Istykkelsesmålinger på Folgefonna. Oppdragsrapport nr 18-87, Hydrologisk avdeling, NVE.

Robin, G. de Q.
1975: Velocity of radio waves in ice by means of a bore-hole interferometric technique. Journal of Glaciology, Vol. 15, No. 73.

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).

Tvede, A.M.
1972: En glasio-klimatisk undersøkelse av Folgefonni. Hovedfagsoppgave ved Universitetet i Oslo, Geografisk Institutt.

Tvede, A.M.
Blomsterskardbreen, Folgefonni. En oversikt over breens variasjoner i nyere tid. NVE-Rapport nr 22-1994, 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.)

Nr 7 Lars-Evan Pettersson: Flomberegning Riksheimelva (097.6Z). (15 s.)

Nr 8 Eirik Traae: Oppfylling av Eikebergmyra - Vassdragsteknisk vurdering. (12 s.)

Nr 9 Randi Pytte Asvall: Nytt Tyin kraftverk. Virkninger på vanntemperatur- og isforhold samt forekomst av frostrøyk. (18 s.)

Nr 10 Hans Christian Olsen og Margrethe Cecilie Elster: Sedimentundersøkelser i Mandalsvassdraget (vassdragsnr. 022) 1993-1995. (52 s.)

Nr 11 Lars-Evan Pettersson: Flomberegning Gjøv (019.CZ). (14 s.)

Nr 12 Ingjerd Haddeland og Lars-Evan Pettersson: Flomfrekvensanalyse og vannlinjeberegning, Alta sentrum (212.A0). (9 s.)

Nr 13 Roger Sværd: Flomberegning for Rotenvikvatnet ved Lyngseidet. (17 s.)

Nr 14 Nils Roar Sælthun (red.): Regional flomfrekvensanalyse for norske vassdrag. (81 s.)

Nr 15 Heidi Gill Østvold: Komponentrapport, generatorer, to- og tre-viklings transformatorer i det norske regional- og hovednettet. (111 s.)

Nr 16 Heidi Gill Østvold: Komponentrapport, kabler og ledninger i det norske regional- og hovednettet. (123 s.)

Nr 17 Hallgeir Elvehøy, Jack Kohler, Rune Engeset og Liss M. Andreassen: Jøkullaup fra Demmevatn. (36 s.)

Nr 18 Lars-Evan Pettersson: Flomberegning Fjellhamardammen (002.CBZ). (15 s.)

Nr 19 Hervé Colleuille og Nils-Otto Kitterød: Geohydrologisk vurdering av Bjorstaddalen avfallsdeponi i Skien kommune. Oppdragsrapport. (44 s.)

Nr 20 Jack Kohler: Forandringer på en bretunge i Dimdalen, Svartisen: observasjoner og modellering. (12 s.)

Nr 21 Hans Christian Olsen: Sedimenttransportundersøkelser ved Langfjordjøkulen. Statusrapport 1989-1995. (53 s.)

Nr 22 Hallgeir Elvehøy: Istykkelsesmålinger på Kjerringbotnbreen, Søndre Folgfonna (042.G). (13 s)