

|  |  |
|--|--|
| Rapportens tittel:<br><i>BREHEIMEN-STRYN: UNDERSØKELSE AV<br/>BUNNTOPOGRAFI PÅ BØDALSBREEN</i> | Dato: 1986-11-25<br>Rapporten er: Åpen<br>Opplag: 50 |
|--|--|

|   |   |
|---|---|
| Saksbehandler/Forfatter:<br>Nils Haakesen, Brekontoret<br>Bjørn Wold, Brekontoret | Ansvarlig:<br><i>Bjørn Wold</i><br>Bjørn Wold |
|---|---|

|                                    |
|------------------------------------|
| Oppdragsgiver:<br><i>STATKRAFT</i> |
|------------------------------------|

**Sammendrag**

En eventuell utbygging av det lave fall i Stryn inkluderer et vanninntak under Bødalsbreen.

Sommeren 1986 ble det utført boringer for å kartlegge fjelloverflaten under breen. Boringen ble utført med varmt vann under stort trykk. Det ble ialt boret 15 hull i tre profiler. Samtlige hull ble logget for nøyaktig fastsettelse av koordinater for fjellpunktene under breen. Logging av borehullene viste seg å være svært viktig da flere av hullene hadde store avvik fra vertikalen.

Istykkelsen i området var 50-60 meter, og den subglasiale elven ble observert i to av borehullene. Det antas at denne for tiden går i et markert løp i det aktuelle området, men dette løpet vil kunne bli ustabil dersom istykkelsen øker.

Dersom et vanninntak under breen skulle komme til utførelse, bør mer detaljerte målinger utføres i det aktuelle høydenivå.

## FORORD

Foreliggende rapport er avslutning av bestilling nr B-01/4918 fra Statkraft. Oppdraget var å måle Bødalsbreens tykkelse slik at bunntopografien mellom fjellkotene 720 og 800 ble kjent samt å gi en vurdering av det subglasiale elveløpets plassering og stabilitet. Dette er nødvendig informasjon for prosjektering av et mulig subglasialt vanninntak ved en eventuell utbygging av det lave fall i Breheimen (Stryn).

Feltarbeidet ble utført av Nils Haakensen og Tormod Holth Nilsen sammen med assistenter. Tormod Holth Nilsen utførte all punkt-måling på breoverflaten, mens ingeniør Viktor Tokle fra Avdeling for Bergteknikk ved SINTEF utførte og beregnet avviksmålingene. Nils Haakensen og Bjørn Wold har bearbeidet måledataene og skrevet rapporten.

Oslo, november 1986



Arne Tollan  
Avd.dir.

## INNHold

|                             | Side |
|-----------------------------|------|
| 1. INNLEDNING               | 3    |
| 2. FORBEREDELSE             | 3    |
| 3. FELTARBEID               | 3    |
| 4. LOGGING AV BOREHULL      | 5    |
| 5. VURDERING AV RESULTATENE | 9    |
| 6. KONKLUSJONER             | 11   |
| 7. REFERANSE                | 11   |
| APPENDIX                    |      |

## 1. INNLEDNING

I Statkrafts søknad om utbygging av vannkraftressursene i Stryn foreligger planer om et breinntak under Bødalsbreen. For å få det nødvendige fall på tunnelen til magasinet må vannet tas på et nivå som i dag ligger under Bødalsbreen. Det aktuelle området har vært bredekket i lang tid, og breen er for tiden i vekst. Fjellterrenget på det aktuelle nivå er derfor ikke kjent.

I bestilling nr B-01/4918 ble Brekontoret bedt om å foreta de nødvendige undersøkelser av breens tykkelse slik at bunntopografien mellom fjelkote 720 og fjelkote 800 ble best mulig kjent. Det ble også bedt om en vurdering av det subglasiale elveløpets plassering og stabilitet, slik at rapporten kunne danne et best mulig grunnlag for plassering og utforming av et eventuelt subglasialt vanninntak.

## 2. FORBEREDELSE

Feltarbeidet ble planlagt utført ved å bore en rekke hull gjennom breen ned til fjell. Varmt vann under høyt trykk ble vurdert som den mest effektive metode til å oppnå et maksimalt antall borhull på kortest mulig tid. Brekontoret har tidligere benyttet tilsvarende utstyr på andre steder og hadde nødvendig utstyr tilgjengelig. Dette ble sjekket og klargjort. For å unngå unødig driftstans ble i tillegg en del nytt utstyr innkjøpt.

Det nødvendige punktgrunnlag for innmåling av borehull ble skaffet til veie.

Statkrafts lokalkontor i Stryn sørget for oppsetting av brakker og bro ved Sætrevatn, slik at det var bomuligheter for fem personer.

Arbeidsstedet ble ikke rekognosert av Brekontoret på forhånd. Muntlig forklaring og fotografier fra personell i Statkraft ble ansett som tilstrekkelig grunnlag til vurdering av hvordan arbeidet burde utføres. Dette viste seg senere å være feil. Breen i det aktuelle området var adskillig brattere og vanskeligere tilgjengelig enn beregnet, og det skapte både sikkerhetsproblemer og forsinkelser i selve arbeidet.

## 3. FELTARBEID

Feltarbeidet ble igangsatt tirsdag 12/8. Fordi breen var vesentlig brattere enn forutsatt, kunne ikke utstyret flyes opp på breen med det samme. Det var nødvendig å bygge plattformer på henholdsvis brekote 820 og brekote 900 for å få plassert utstyret. På grunn av manglende sambandsmulighet (mobiltelefonen

virker ikke fra Bødalen) og vanskeligheter med helikopterkapasitet kom utstyret først på plass i løpet av torsdag 14/8.

Etter en god start med det nye utstyret fikk vi tekniske problemer både med dette og med det gamle boreutstyret. I den gamle vannvarmeren røk flere rør, og forsøk på reparasjon var mislykket. Problemene med den nye vannvarmeren ble løst på stedet, og denne fungerte senere bra.

På grunn av meget bratt breoverflate måtte det delvis benyttes helikopter for å flytte det tyngste utstyret, og arbeidet tok vesentlig lenger tid enn beregnet. Alt utstyr måtte forankres under arbeidet.

Det gamle utstyret, som ikke virket, var plassert på brekote 900, og av den grunn ble det ikke boret hull her.

Lenger ned ble det boret hull i 3 tverrprofiler på ca 815 m o.h., ca 790 m o.h. og ca 780 m o.h. med hhv. 5, 7 og 3 hull. Det ble boret tilsammen 15 hull, hvorav ett ble tett igjen på 20 m dyp før logging ble utført. Ett var åpenbart skjevt og ble avsluttet før bunnen var nådd.

Hullenes lokalisering på breen er vist i fig. 1.

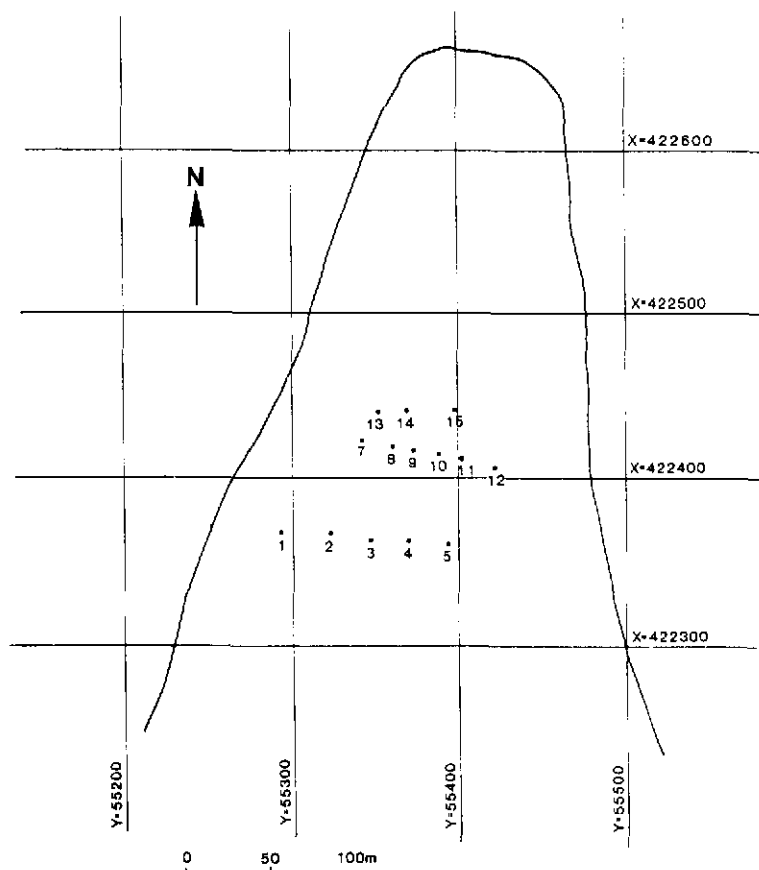


Fig. 1. Lokalisering av borehullene på Bødalsbreen. Hullene ble boret i tre tverrprofiler på hhv. ca 815, ca 790 og ca 780 m o.h.

Hullenes dybde (=borelengde) varierte mellom 50 og 67 m og boretiden varierte mellom 45 og 160 min.

På grunn av høyere prioritert arbeidsoppgave for samme oppdragsgiver på Austdalsbreen, og fordi det ble antatt at 15 borehull ville gi en tilfredsstillende klarlegging av bunntopografien i området, ble arbeidet i samråd med oppdragsgiver avsluttet fredag 22/8.

#### 4. LOGGING AV BOREHULL

Tabell 1 viser en oversikt over antall borehull med boredato, dyp, boretid og anmerkning om vann i hullet ble drenert.

Alle borehull ble nøyaktig innmålt og logget med utstyr for avviksmåling, utført av Avdeling for Bergteknikk ved SINTEF.

Resultatene er presentert i SINTEF-rapport nr STF36 F86064.

Resultatet av loggingen viser at en del av hullene var boret til dels svært skjeve. Det vil si at hullets bunn ligger langt fra vertikalen ned fra hullets startpunkt på breoverflaten.

Med hullets totalavvik menes avstanden fra bunnens virkelige posisjon til bunnens posisjon dersom det ikke hadde vært avvik.

Totalavvik  $\Delta$  er definert som

$$\Delta = \sqrt{d_x^2 + d_y^2 + d_z^2}$$

der  $d_x$ ,  $d_y$  og  $d_z$  er avviket i hhv. x-, y- og z-retningen.

I de borede hull varierer totalavviket mellom 0.2 m og 56.3 m. For seks av hullene er totalavviket under 5 m og fire av hullene har et totalavvik større enn 25 m. Det er ikke påvist noen systematisk retning på avviket.

For hull med stort avvik øker avviket sterkt med økende dybde, og totalavviket halvveis ned i hullet er 15-25% av totalavviket på bunnen. Dette viser at en skjevhet som oppstår i hullet, har lett for å øke nedover, hvilket forklares med at borespydets øvre del vil falle i motsatt retning av skjevheten pga. tyngdekraften. Det viser seg imidlertid også klart at det er de hull der det ble gjort de største bestrebelsene på å la borespydet henge i slangen og ikke være nær bunnen, som har gitt minst totalavvik.

I Appendix er vist en skjematisk oversikt over avviket i tre ulike plan.

| Hull | dato | dyp | boretid (min) | Drenert |
|------|------|-----|---------------|---------|
| 1    | 14.8 | 53  | 160           | nei     |
| 2    | 15.8 | 50  | 130           | nei     |
| 3    | 17.8 | 63  | 60            | ja      |
| 4    | 18.8 | 63  | 90            | ja      |
| 5    | 18.8 | 67  | 90            | ja      |
| 6    | 19.8 | 58  | 100           | ja      |
| 7    | 20.8 | 57  | 70            | ja      |
| 8    | 19.8 | 63  | 75            | ja      |
| 9    | 19.8 | 53  | 45            | ja      |
| 10   | 20.8 | 51  | ca 100        | ja      |
| 11   | 20.8 | 52  | 90            | ja      |
| 12   | 21.8 | 69  | timevis       | nei     |
| 13   | 22.8 | 53  | 75            | ja      |
| 14   | 22.8 | 51  | 85            | ja      |
| 15   | 22.8 | 51  | 70            | ja      |

Tabell 1. Boretekniske data om de enkelte hull.

## Avviksmålinger

| hull nr. | boret<br>lengde<br>m | d <sub>x</sub><br>m | d <sub>y</sub><br>m | d <sub>z</sub><br>m | totalavvik<br>m | overfl.<br>m o.h. | bunn<br>m o.h. |
|----------|----------------------|---------------------|---------------------|---------------------|-----------------|-------------------|----------------|
| 1        | 53                   | - 7.6               | -14.5               | 3.7                 | 16.8            | 816               | 767            |
| 2        | 20                   | - 1.0               | 0.5                 | 0.0                 | 1.1             | 815               | -              |
| 3        | 63                   | - 1.6               | 1.4                 | 0.0                 | 2.1             | 813               | 750            |
| 4        | 63                   | 14.7                | - 5.2               | 3.4                 | 15.9            | 814               | 765            |
| 5        | 67                   | - 3.6               | -31.6               | 11.2                | 33.7            | 815               | 760            |
| 6        | 58                   | - 7.6               | -10.9               | 1.9                 | 13.4            | 793               | 737            |
| 7        | 57                   | -24.6               | - 3.9               | 7.6                 | 26.0            | 791               | 741            |
| 8        | 63                   | 23.6                | -12.9               | 8.8                 | 28.3            | 790               | 735            |
| 9        | 53                   | -10.6               | - 9.5               | 3.2                 | 14.5            | 790               | 741            |
| 10       | 51                   | - 0.2               | - 0.2               | 0.0                 | 0.3             | 792               | 741            |
| 11       | 52                   | -12.1               | - 4.3               | 2.7                 | 13.1            | 795               | 746            |
| 12       | 69                   | -27.9               | -40.5               | 27.4                | 56.3            | 798               | 757            |
| 13       | 53                   | 0.1                 | 0.1                 | 0.0                 | 0.2             | 780               | 727            |
| 14       | 51                   | - 0.2               | - 0.1               | 0.0                 | 0.3             | 777               | 727            |
| 15       | 51                   | - 0.8               | - 3.6               | 0.3                 | 3.7             | 781               | 731            |

Tabell 2. Resultater fra avviksmålingene, samt breoverflatens og bunnens høyde.

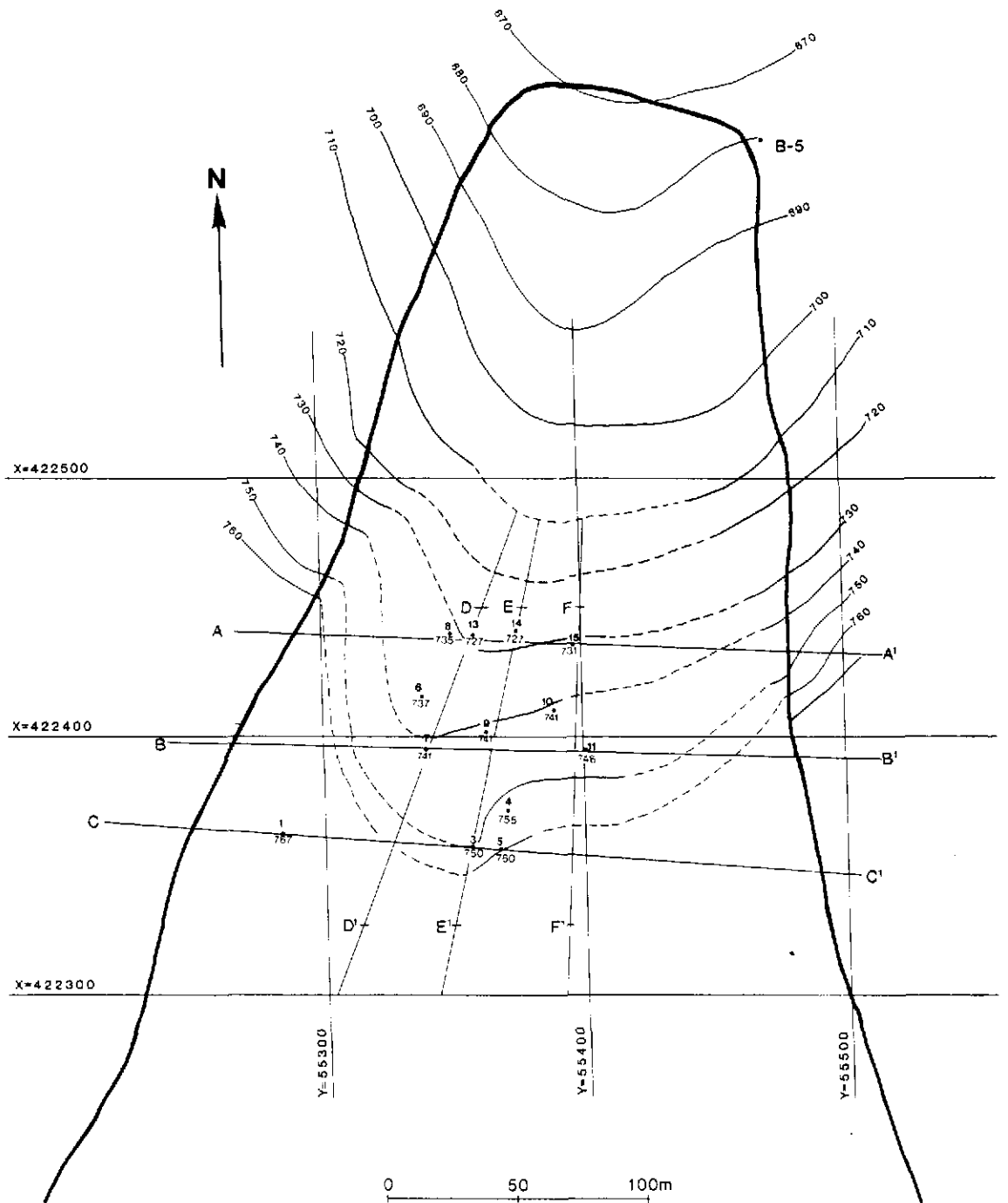


Fig. 2. Bødalsbreen. Bunntopografi tegnet på grunnlag av NGO's kart M 711 fra 1966 (da brefronten sto lenger tilbake enn i dag) og smelteboringer utført i august 1986. Borehullets bunn er inntegnet med hullnummer og bunnens høyde. Stiplede koter er trukket på grunnlag av subjektivt skjønn. Tykk strek angir breens avgrensing sommeren 1986.



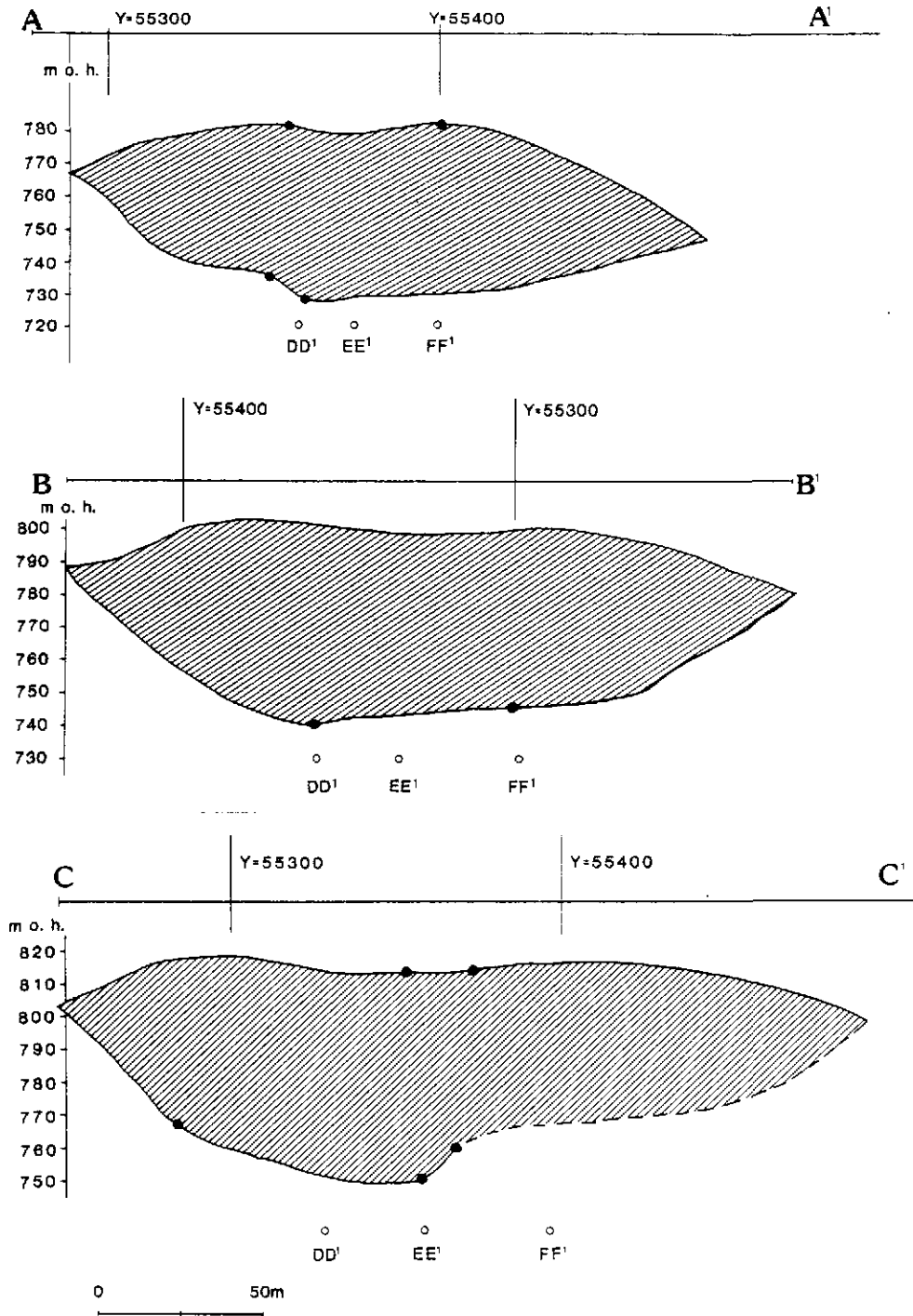


Fig. 3. Tre tverrsnitt av Bødalsbrens tunge basert på kartet i fig. 2. De tre snittene er tegnet nær de tre overflateprofilene hvor boringene ble utført. Sorte punkter viser steder med kjent høyde.

## 5. VURDERING AV RESULTATENE

Bearbeidingen av feltmålingene viste at det kunne vært ønskelig med flere borehull. Grunnlaget for den generelle vurdering av fjellsålens form er dårlig.

Som tabell 1 viser, drenerte vannet i alle hullene unntatt nr 1, 2 og 12. Dreneringen, som skjedde plutselig, ble tolket som indikasjon på at bunnen var nådd. Fra hull nr 3 og 9 blåste en merkbar vind, og gjennom hull 3 hørtet også rennende vann.

På fig. 2 er beliggenheten av hullenes bunn tegnet inn på kartet, og hullets bunnkote er angitt (avrundet til nærmeste hele meter). Ut fra dette er det forsøkt tegnet koter over breens bunntopografi.

Boreresultatene antyder at dypålen går vest for breens midtlinje.

Tverrprofilene A, B og C, (fig. 3) indikerer at dalen under breen er U-formet med forholdsvis flat bunn rundt kote 720 og oppover mot kote 745, mens det kan se ut som om det er en mer markert dypål over kote 750. (Ved hull 3 hørtet rennende vann gjennom hullet.) Antydning om hvorvidt dette fortsetter videre oppover kan imidlertid ikke gis uten flere borehull høyere opp.

Hull nr 1 er ganske nær den vestlige kant av breen. På denne side ligger en mektig sidemorene med store blokker. Mange har en størrelse på flere kubikkmeter. Vannet drenerte ikke fra hull nr 1. Vi antar at grunnen kan være at boringen stoppet på en stor blokk fra morenen. Dersom dette er tilfelle ligger fjellgrunnen på dette sted lavere enn kote 767.

Fig. 3 viser tre tverrprofiler som er tegnet på grunnlag av fig. 2. De viser største bretykkelse på 52 m på profil A og 65 m på profil C. Fig. 4 viser et lengdeprofil som er tegnet på grunnlag av fig. 2. Bretykkelsen øker fra ca 50 m ved D, E og F (bunnkote ca 725) til rundt 60 m ved D', E' og F' (bunnkote mellom 760 og 770).

I følge Hooke (1984) vil en breelv med gradient større enn  $0.5^\circ$  og vannføring større enn  $1 \text{ ls}^{-1}$  være ved atmosfærisk trykk såfremt bretykkelsen er under 70 m. Det betyr at elveleiets posisjon ikke påvirkes av isens trykkfordeling og at breelven fortrinnsvis vil renne i berggrunnens dypål.

I det undersøkte området på Bødalsbreen er bretykkelsen 50-60 m. Som følge av det ovennevnte skulle derfor elven under Bødalsbreen for tiden sannsynligvis ha et permanent leie i det aktuelle området (kote 720).

Fig. 4 viser at breen øker i tykkelse oppover. Ved å ekstrapolere bunnprofilen oppover vil tykkelsen på breen ved berggrunnskote 820 være rundt 75-80 m. I dette nivået er det derfor større mulighet for at elven kan skifte leie. Dersom breen i fremtiden vokser, vil elveløpet lenger nedover også kunne bli ustabil. Videre vurderinger for et inntak på kote 800 kan ikke gjøres uten mer smelteboring.

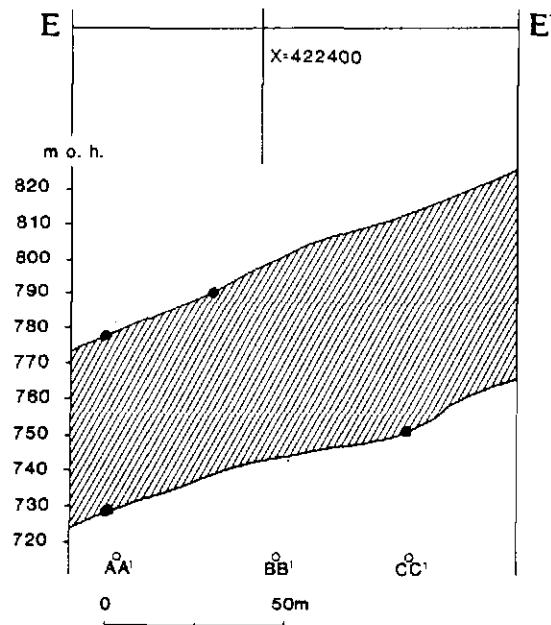


Fig. 4. Lengdeprofil av Bødalsbreens nedre del basert på kartet i fig. 2. Breetykkelsen øker fra ca 50 m ved det nederste tverrprofilet til ca 60 m ved det øverste. Sorte punkter viser steder med kjent høyde.

Det må presiseres at istykkelsen i området kan endres vesentlig i både positiv og negativ retning i løpet av få år. Breen ligger i en skålform som gir en kompresjon av ismasser i det aktuelle området. Dette medfører lite sprekker på breoverflaten, og et øket normaltrykk i bunnen.

Det er følgelig flere grunner til at man ikke uten videre kan regne med å beholde stabilt hovedløp for det subglasiale vann i området, selv om mye taler for at dette finnes i dag.

Som argument mot ovenstående vurdering kan fremheves erfaringene fra Bondhusbreen, der vannet har kommet i samme hovedløp siden inntaket ble åpnet i 1978, på tross av en isoverdekning på ca 150 m.

Vi antar at dette skyldes den virkning man der oppnår ved at temperert vann fra Holmavatn drenerer inn under breen umiddelbart ovenfor inntaket. Dette vann sørger antagelig for å holde åpen en kanal i samme område hele året. Slike forhold finnes ikke ved Bødalsbreen.

Vi antar også at istykkelsen over Bondhusinntaket har vært relativt stabil i den tid dette har vært i drift. Istykkelsen vil kunne variere vesentlig raskere på Bødalsbreen hvor mulig inntak vil ligge både nærmere brefronten og på et lavere høydenivå.

## 6. KONKLUSJONER

- Smelteboring er en god metode for å finne den subglasiale fjellgrunn på nedre del av Bødalsbreen.
- Boring uten direkte avvikskontroll kan gi store avvik fra vertikalen. Borehull må logges for å gi troverdige resultater.
- Istykkelsen i det målte området er 50-60 m i august 1986. Denne kan raskt endre seg i positiv eller negativ retning.
- Breelven antas for tiden å gå i et markert og stabilt løp.
- Ved en økning i istykkelse på mer enn 10-20 m vil det subglasiale vannløp kunne bli ustabilt.
- Dersom et vanninntak under breen skulle komme til utførelse, bør mer detaljerte målinger av istykkelsen utføres i det aktuelle høydenivå.

## 7. REFERANSE

Hooke, R. LeB

1984: On the role of mechanical energy in maintaining subglacial water conduits at atmospheric pressure. Journ. of Glaciology, Vol. 30, No. 105. p.180-187.

Tokle, V.

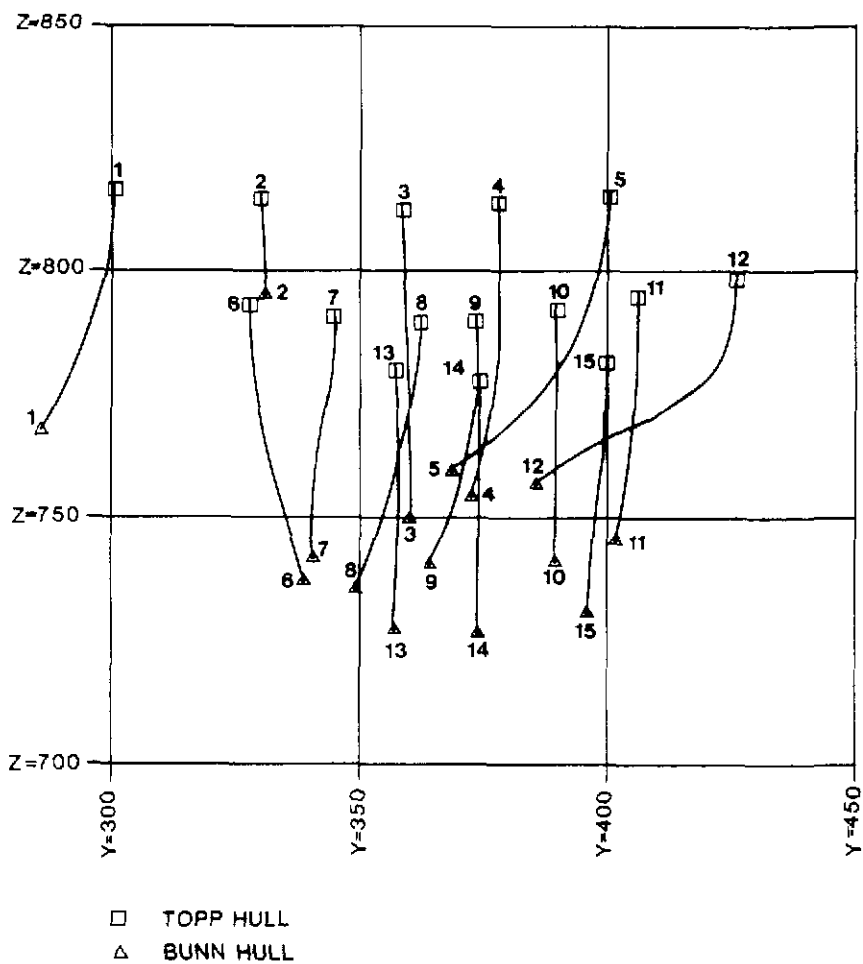
1986: Avviksmåling - Bødalsbreen. SINTEF, Avd. for Bergteknikk nr STF36 F86064. 2 s. + app.

## APPENDIX

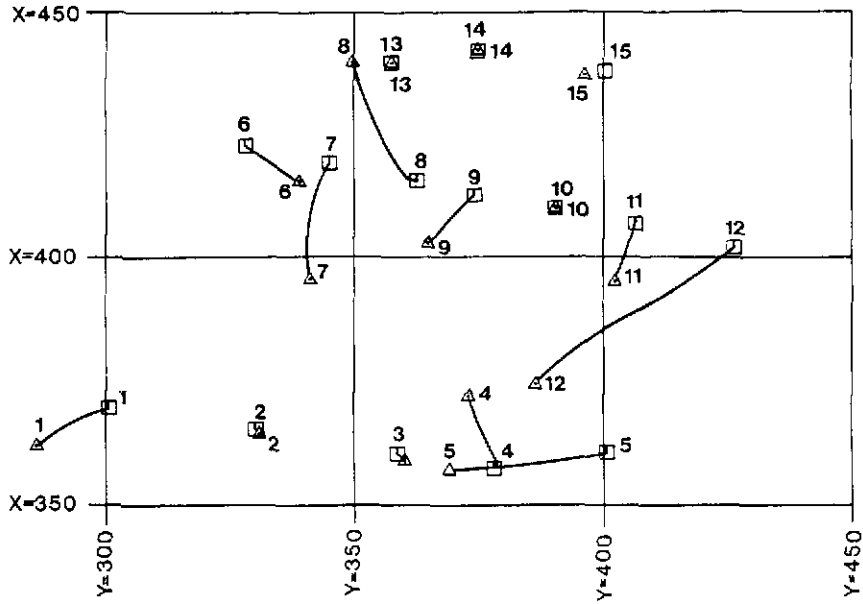
De tre figurene viser borehullenes bane gjennom isen i x-y, x-z og y-z projeksjonene. Koordinatsystemet er angitt i meter, slik at hver rute er 50 m (sammenlign kartet i fig. 2, s. 7). Figurene er gjengitt fra rapporten fra avviksmålingene av borehullene (Tokle 1986).

Enkelte av hullene er til dels svært skjeve, men andre er rette. Figurene viser ikke noe systematisk avvik hverken i retning eller størrelse.

## Y-Z-projeksjon



### HORISONTALSNITT



### X-Z-projeksjon

