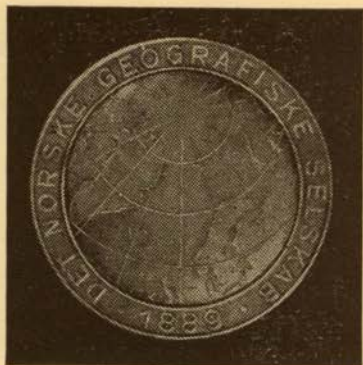


NORSK POLARINSTITUTT

Meddelelse nr. ██████ 88



Særtrykk av Norsk Geografisk Tidsskrift, Bind XVII, Hefte 5—8, 1959—1960

**GUNNAR ØSTREM**  
**BREER OG MORENER**  
**I JOTUNHEIMEN**

I KOMMISSJON HOS UNIVERSITETSFORLAGET, OSLO

# Breer og morener i Jotunheimen

AV

GUNNAR ØSTREM

Med 17 tekstfigurer og en løs kartplansje, bakerst i heftet.

AV NORGES overflate er omtrent én prosent dekket av isbreer og større snøfonner. Man vet ikke aralet av den «evige» snø og is så helt nøyaktig, men Liestøl (1960 a, 1961 a) har gjort et forsøk på å beregne flateinnholdet av alle breer og snøfonner i Norge på grunnlag av de topografiske kartenes angivelser, supplert med flybilder der hvor dette har vært mulig. Han kommer til at det i Nord-Norge er 1954 km<sup>2</sup> og i Syd-Norge 1910 km<sup>2</sup> is- og snødekket område, men da beregningene for Nord-Norge er meget usikre på grunn av kartenes kvalitet må spesielt tallet for Nord-Norge reduseres en hel del. Man kan anta at ca. 3500 km<sup>2</sup> er snø- og isdekket (Liestøl 1960 b).

Det har vist seg at isbreene på eldre kart ofte er inntegnet med litt overdrivelse av størrelsen (Bjørstad 1930, Hagene 1961) så derfor kan man f.eks. ikke uten videre bruke målinger på kartene som grunnlag for beregninger av breenes variasjoner. Se fig. 1. Breene har gått kraftig tilbake i løpet av de siste desennier, så selv de kartene som var riktige for noen årtier siden vil nu vise for store bredekkede flater.

At breene har gått kraftig tilbake vet alle som har vandret litt i høyfjellet, og minskningen kjennetegnes som regel av et antall endemorenerygger, den ene innenfor den andre. Ofte er det en eller to større rygger ytterst, d.v.s. lengst bort fra bretungen, og innenfor disse ligger det gjerne flere mindre rygger som er avsatt senere.

Mens de ytterste ryggene er mer eller mindre dekket av vegetasjon i en eller annen form, består de innerste ryggene oftest av sterile stein- og jordmasser. Dette tyder på at de innerste ryggene relativt nylig er blitt frilagt av isen mens de ytterste har vært tilgjengelige for plantenes invasjon i lengre tid.

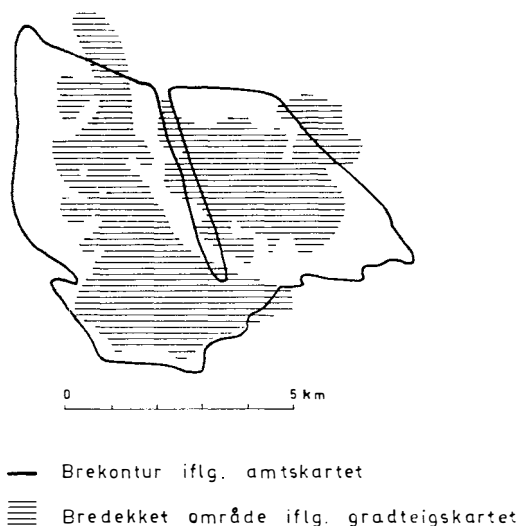


Fig. 1. Et eksempel på de gamle kartenes overdrevne angivelser av breenes størrelse. Figuren viser «Memuru Bræen» (egentlig østre og vestre Memurubre samt Hellstugubreen) ifølge amtskartet over «Kristians Amt» fra 1849 og det tilsvarende breområdet ifølge gradteigskartet Gjende, oppmålt i 1930-årene. Disse breene har neppe noen gang i historisk tid vært så store som amtskartet viser. Idag er breområdet ennå mindre enn gradteigskartet angir.

*The same glacier on two different maps. The line indicates the outline of the Memuru glacier on a map from 1849, the shaded area is the same glacier on the topographic map made in the 1930's. The glacier covered area may never have been so large in historic time as the old map indicates.*

Ved studier av lavenes og de høyere plantenes innvandring i moreneområdene er det mulig å danne seg en oppfatning om de forskjellige rygenes alder i forhold til hverandre (Fægri 1933 og 1948, Bergstrøm 1954, Beschel 1950 og 1957, Bornfeldt-Österborg 1958, Storck 1960, Grønning-sæter 1961). Det har nemlig vist seg at f.eks. visse lavararter vokser meget langsomt og har en meget regelmessig tilveksthastighet. Ved å måle de enkelte lavindividens størrelse kan man bestemme deres alder, og dermed også fastslå hvor lenge stenen som de sitter på har vært fri for is. Metoden har naturligvis sin begrensning og må brukes med omtanke og helst i forbindelse med observasjoner av andre veksters innvandring. Men i trakter hvor ingen direkte observasjoner av Bretungens beliggenhet har vært gjort tidligere, vil metoden være til stor hjelp ved datering av endemorenene.

Det er alminnelig antatt at den ytterste moreneryggen ved våre breer vanligvis representerer isens framstøt i 1750-årene. Siden den tid har de stort sett gått tilbake, men med mindre opphold eller framstøt — noe som har resultert i de mange mindre moreneryggene mellom 1750-morenen og iskantens beliggenhet idag.

Breenes variasjoner har i lang tid vært iaktatt, men mere systematiske observasjoner av brefrontenes årlige forandringer i Jotunheimen begynte først omkring sekelskiftet, med P. A. Øyen som den første organisator av arbeidene. Hans observasjonsserier strekker seg fram til og med 1912 da observasjonene midlertidig opphørte. De ble senere, fra 1927, fortsatt av bl.a. Werenskiold, Hoel, Koller, Liestøl m.fl. (Werenskiold 1949). Idag foretas regelmessige målinger av isfronten ved følgende breer i Jotunheimen: Storgjuvbreen, Veslegjuvbreen, Illåbreene, Storbreen, Tverråbreen, Hellstugubreen, Styggebreen, Slettmarkbreen, Langedalsbreen, Svartdalsbreen, Leirbreen, Bøverbreen og Styggedalsbreen. (Mercanton, 1961.)

Foruten disse rent lineære innmålinger av brefronten er det fra tid til annen foretatt flere mere nøyaktige undersøkelser av breenes materialbalanse, volumforandringer, bevegelsesmekanisme etc. Således har f.eks. Ahlmann undersøkt breer i Horung-området (Ahlmann 1922, 1928 og 1940), Werenskiold og Hoel har laget detaljerte kart over bl.a. Tverråbreen og Svellnosbreen for beregninger av isens volumendringer (Werenskiold 1939 og 1949), og et liknende arbeide er gjort av Liestøl ved Hellstugubreen (Liestøl 1958). Skagastølsbreen og Ridingsbreen er blitt undersøkt i årene 1955—56 av B. E. Eriksson (1958), Veslegjuvbreen og Vesl-Skautbreen av en gruppe engelskmenn 1948—53 (Lewis 1960) og Storbreen i Leirdalen av Norsk Polarinstitut gjennom en rekke år. Polarinstuttet har her en permanent forskningsstasjon, og breenes materialhusholdning blir gjenstand for årlige undersøkelser og analyser. (Liestøl, 1961 b.)

Sommeren 1955 ble det foretatt en flyfotografering av store deler av Syd-Norge (Norges geogr. oppmåling 1956, p. 29), og i denne forbindelse ble det i dagene 28.—30. juli tatt flybilder av praktisk talt hele Jotunheimen. Senere har Flyvåpnet på anmodning velvilligst tatt nye bilder av området høsten 1960.

Med utgangspunkt i dette materiale er det nu blitt mulig å lage et kart over alle Jotunheimens breer, og i motsetning til gradteigskartene som er målt over flere forskjellige år (helt fra 1871 til 1938) kan man nu tegne inn breenes *synkrone* kontur på ett og samme kart. (Se bilaget.)

Dette kart vil naturligvis vise mange avvikelser fra gradteigskartenes

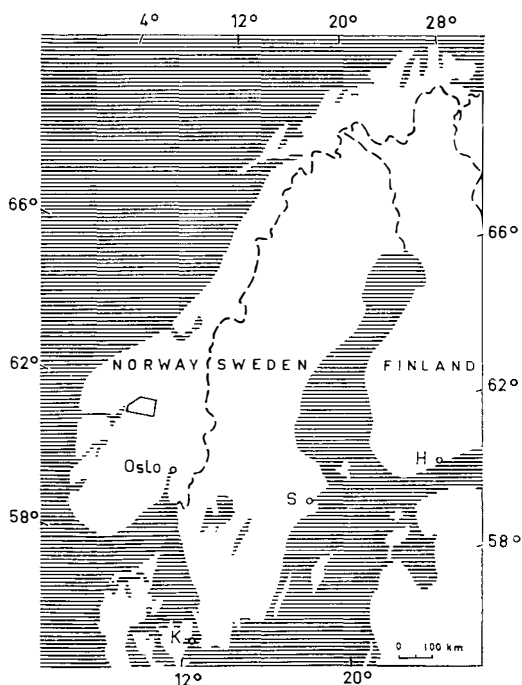


Fig. 2. Oversiktskart, med området for det nye brekartet inntegnet.

*Location map, with the investigated area marked.*

brekonturer, av flere grunner. For det første er gradteigskartene over Jotunheimen av meget vekslende kvalitet, de eldste er vanligvis de dårligste og gjengir både terrenget og breene med relativt store avvikelser fra det virkelige forhold. De nyeste gradteigskartene er basert på fotogrammetriske målinger og gjengir terrenget med en meget høy grad av nøyaktighet. Derfor vil en sammenlikning mellom topografisk kart og flybilde kunne gi sterkt vekslende resultat. I områder med nye, moderne kart er ikke avvikelserne i breenes utbredelse på langt nær så store som i områder hvor vi bare har gamle og relativt umoderne kart.

Dernest har som nevnt breene gjennomgående smeltet sterkt tilbake siden kartene ble målt, og da de forskjellige delene av Jotunheimen er målt i forskjellige år, kommer resultatet av breavsmeltingen til å gjøre seg ulike sterkt gjeldende innenfor brekartets område.

Videre skjelner de topografiske kartene ikke mellom isbreer og snøfonner, noe som er forsøkt gjennomført på det foreliggende brekartet. Visse deler av de topografiske målingene kan dessuten være foretatt i snø-

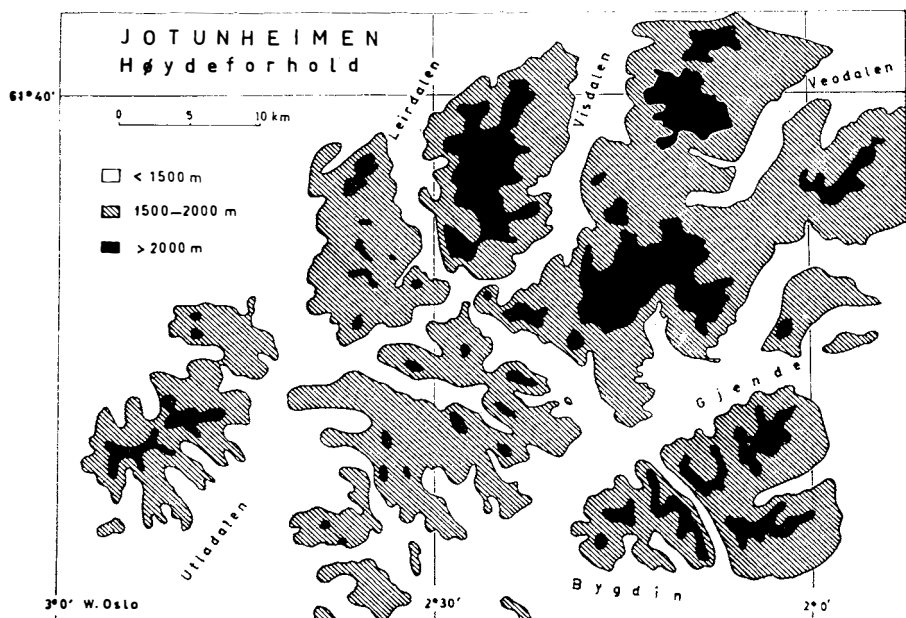


Fig. 3. Høydekart utarbeidet på grunnlag av landgeneralkartet.

*Elevation map.*

rike år eller tidlig på sommeren, hvorved flere mere tilfeldige snøfonner er blitt inntegnet som permanente.

Endelig kan visse feil ha oppstått ved inntegningen av breenes nuværende konturer fra flybildene, da denne inntegning ikke er foretatt maskinelt slik som de nyere karter framstilles, men på en noe forenklet måte. En nærmere diskusjon av disse og liknende feil følger senere.

Ved studium av flybildene er det ofte lett å finne slike serier av endemorenerygger som er omtalt ovenfor. Men det kan også vise seg at mange av de yngre ryggene er så små at det praktisk talt er umulig å se dem på flybilder i den målestokk det her er tale om (1 : 40 000—1 : 50 000).

En nærmere granskning av endemorenene har også vist at ryggenes størrelse ikke alltid står i noe rimelig forhold til den breen som har dannet dem. Således kan en stor bre ha noen små, beskjedne endemorenerygger, mens en meget liten bre i nærheten kanskje har en forholdsvis nesten enormt stor endemorene. Som eksempel kan nevnes Veobreens hovedarm som går ned i Veodalens øverste del. En vesentlig del av Veobreen dreneres



Fig. 4. Flyfotografi av en del av Skautflyi (Veobreen til venstre) tatt 27. september 1960. I bildets øvre høyre del syns Hellstugubreens tunge og foran denne er det noen endomorenener som er vanskelige å se uten forstørrelse. Disse er ikke isfylte. Derimot er det lett å se de store isfylte endomorenene i bildets nedre del. Dalen lengst til høyre er Visdalen. Målestokk ca. 1:75 000. Gjengitt med tillatelse av Flyvåpnet.

*Air photograph taken September 27, 1960. At the front of Hellstugubreen in the upper right part of the picture only small end moraines without ice cores appear. In the lower part of the picture, large ice-cored moraines can be seen. Scale approximately 1 : 75,000. Published by permission of R.N.A.F.*

denne veg, og i dalen finner man noen endomorenerygger som er 4—5 meter høye. En annen, meget liten del av Veobreen dreneres mot Skautflyi og der finner man en endomorene som er over 20 meter høy og som tilsynelatende har et volum som er meget større enn alle hovedbreenes små rygger tilsammen. Dette er ikke noe enestående tilfelle — det finns mengder av eksempler på liknende forhold i hele Jotunheimen (se fig. 4).

Fenomenet synes ikke å ha noen sammenheng med de geologiske forhold, men vi skal senere se at det finns en viss regional tendens.

Oppdagelsen av disse «unormalt» store endomoreneryggene ga støttet til en mere inngående undersøkelse av dem. I noen tilfelle, som f.eks. ved den store endomorenen foran Grotbreen i Trollsteinkvølven (ved Glittertind) finns det mange tydelige grytehull — dødisgroper — i selve moreneryggen, noe som skulle tyde på at ryggen har hatt og kanskje ennu har en kjerne



Fig. 5. Grotbrens endemorene i Trollsteinkvølven sett fra vest. De største grytehullene er fylt av vann.

*The end moraine at the front of Grotbreen in the northwestern part of the Jotunheimen. The largest kettle holes are filled with water.*

av is (Fig. 5). Ved Veslegjuvbreen, hvor det som tidligere nevnt foretas regelmessige årlige målinger av brefrontens beliggenhet, har det vist seg at de små målevardene som er oppsatt som faste punkter på endemorenen ikke er så faste som man skulle tro — de faller ned etter noen år på grunn av bevegelser i morenen de er bygget på (Liestøl, pers. medd.). Sannsynligvis ligger det her en usynlig ismasse som langsomt smelter.

#### *Undersøkelser i terrenget.*

For å få en sikrere oppfatning om det virkelig ligger is inne i så mange av Jotunheimens morenerygger som flybildene ga mistanker om, ble det gjort en del undersøkelser i terrenget høsten 1959 ved hjelp av to metoder som man ellers ofte bruker ved malmundersøkelser o.l., nemlig seismisk og elektrisk sondering. Den første bygger som kjent på lydbølgenes forplantning i jorden, og da lyden går ulike fort i ulike lag, kan man med den såkalte refraksjonsmetoden bestemme dypet til diskontinuitetsflater, f.eks. tykkelsen av løsmaterialet ned til berget, istykkelsen i breer osv. Også når



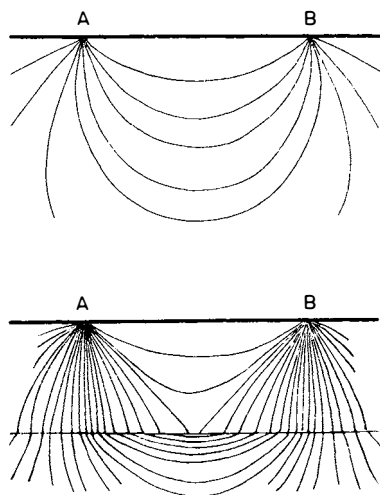


Fig. 6. Prinsippet for elektrisk jordmotstandsmåling. A og B er elektroder av stål som settes ned i bakken og forbindes med en strømkilde. Derved oppstår et elektrisk felt i jorden, illustrert ved feltlinjer. Ved å flytte elektrodene A og B fra hverandre kan deler av strømmen dirigeres mot større dyp. På den øverste tegningen tenkes jorden å være homogen, på den nederste illustreres to jordlag med forskjellig ledningsevne. Da det underste laget har minst elektrisk motstand, vil en større del av strømmen søke seg gjennom dette lag. Feltets deformasjoner kan måles med ytterligere noen elektroder som settes mellom A og B. (Delvis etter Lasfargues 1957.)

*Diagram illustrating the principle of the electric resistivity method. A and B are the current electrodes. By changing the distance between them the current can be directed to different depths. In the first drawing the soil is supposed to be homogeneous, in the other two different earth resistivity layers are present. The deformation of the electric field is measured by means of additional electrodes.*

det ligger flere forskjellige lag oppå hverandre kan man som regel bestemme tykkelsen av hvert enkelt lag (Krynine—Judd 1957, p. 261—263).

Den andre metoden bygger på det faktum at forskjellige lag oftest har forskjellig elektrisk ledningsevne, og ved en spesiell teknikk er det mulig å måle ledningsevnen på større dyp samt bestemme beliggenheten av diskontinuitetsflater. Se fig. 6.

Den seismiske metoden forutsetter bruk av en ganske omfattende instrumentutrustning. I dette tilfelle ble et 12-kanalers refraksjonsinstrument utlånt fra dosent K. M. Båth ved Seismologiska Institutionen i Uppsala, og instrumentet veide over 200 kilo med alle tilbehør (se fig. 7). Derfor måtte



Fig. 7. Et 12-kanalers refraksjonsinstrument montert på en liten slede. Fra venstre: ryggsekk med reservedeler m.m., en bilakkumulator som leverer strømmen til hele anlegget, forsterkerenhet, registreringsenhet. Kassen til høyre er emballasje.

*A 12-channel seismic refraction instrument. From left to right: Rucksack with tools and extra equipment, car battery which gives the current for the instrument, amplifier, recorder. To the right a part of the transportation box.*

de seismiske målingene begrenses til morener som lå relativt nær bilveger (Storgjuvbreen, Veslegjuvbreen, Svellnosbreen).

De elektriske måleinstrumentene er betydelig lettere, 30—40 kilo, og kunne derfor bæres til breer som lå litt lengre bort (Visbreen, Bukkeholsbreen, Veobreen etc.). Instrumentet var stilt til disposisjon av Statens Väginstytut, Stockholm. Se fig. 8.

Feltarbeidet ble utført i oktober 1959, ved et tidspunkt som var gunstigst mulig for jordmotstandsmålinger, da jorden var opptint til et maksimalt dyp uten at noen ny tele ennå hadde begynt å danne seg i overflaten. Ved stor imøtekommenhet fra eierne av Leirvassbu, Gjuvasshytta og Spiterstulen, kunne disse steder brukes som utgangspunkt ved arbeidene i marken, til tross for at selve turistsesongen forlengst var slutt og alle hyttene var stengt.

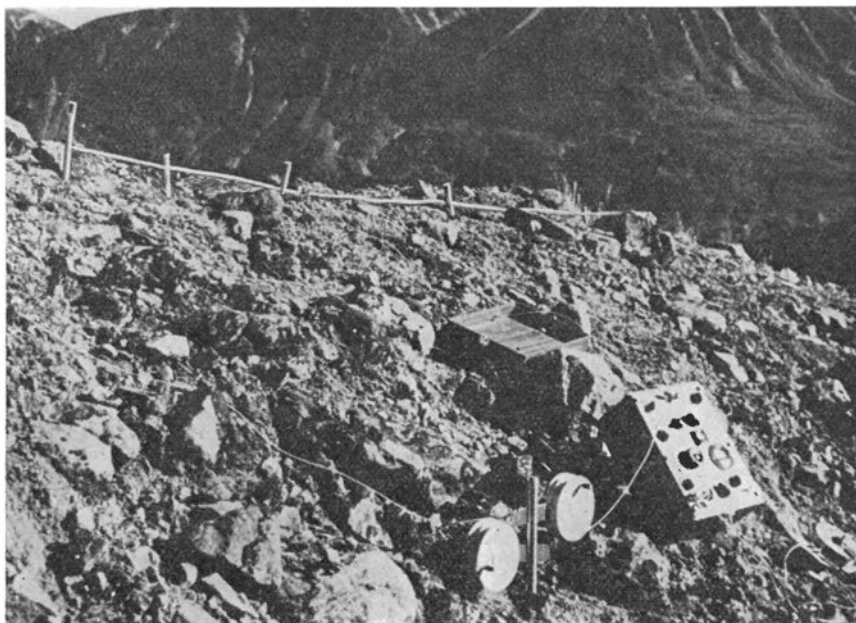


Fig. 8. Elektrisk motstandsmåling på morenerygg ved Bukkeholsbreen. Ytterst står strømelektrodene, mellom dem er målelektrodene plassert. Etter hver avlesning flyttes elektrodene utover, hver gang med noen meter. En måleserie kan gjøres på et par timer.

*Electric earth resistivity measurements on a moraine ridge at Bukkeholsbreen. Current electrodes are shown to the left and right, and the measuring electrodes are placed between them. After each reading, the electrodes are moved a few metres further apart. A complete measuring series can be made in about 2 hours.*

Målingene konsentrerte seg om tre typer morenerygger:

- a) små rygger som med all sikkerhet ikke ville vise seg å inneholde noe is,
- b) store rygger som kunne mistenkes å inneholde is ifølge flybildetolkningen, og
- c) grensetilfelle, der det ved studiet av flybildene var vanskelig å avgjøre om man skulle anta noen iskjerne eller ikke.

Dessuten måtte hensyn tas til beliggenheten, flere interessante morenerygger hvor utførelsen av markmålinger kunne ha vært ønskelig måtte utelates på grunn av deres utilgjengelighet. Men de ryggene som ble valgt

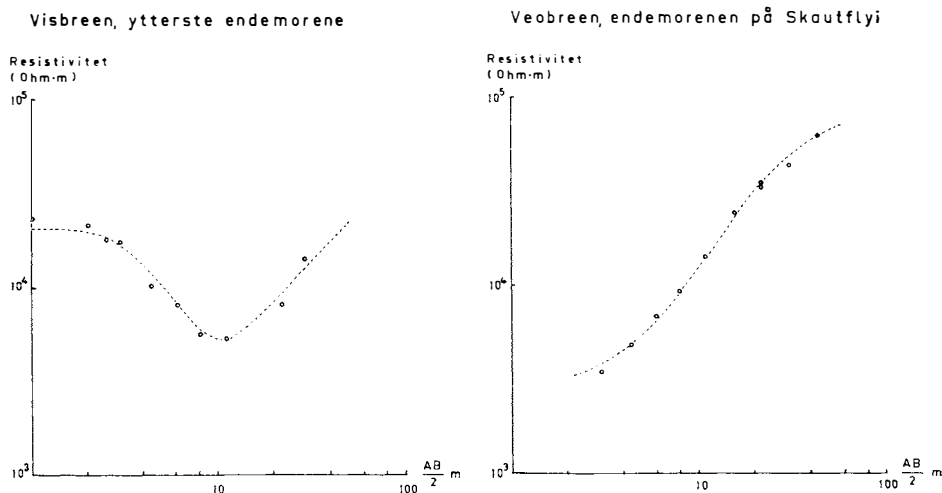


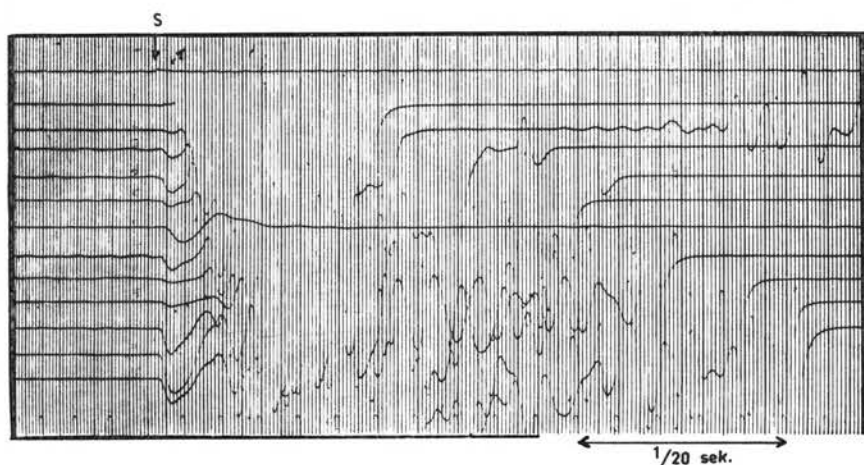
Fig. 9. Resultatet av to elektriske jordmotstandsmålinger foretatt i to forskjellige morenerygger. Abscissen angir den halve avstanden mellom strømelektrode (A og B), dette tilsvarer omtrent det dyp som strømmen trenger ned i jorden. Ordinaten angir jordmotstanden. I det ene tilfelle (Visbreen) synker motstanden med stigende dyp, for deretter atter å stige. Dette tolkes som et relativt tørt jordlag med grunnvann på 2,5 meters dyp og fjellgrunn på 6,3 meters dyp. I det andre tilfellet (Veobreen) stiger motstanden særdeles kraftig, og beregningene viser at det her er tale om is under maksimalt 2,2 meter tett pakket morenemateriale. Is er en ennu dårligere leder enn fjell.

*The results from two earth resistivity measurements in two different moraine ridges. On the x-axis the distance  $\frac{AB}{2}$  is measured, on the y-axis the earth resistivity is indicated. The interpretation of the curves gives the following results: a) Dry earth about 2.5 metres, then wet earth and at last bed rock at 6.3 metres. b) Ice under morainic material of maximum 2.2 metres thickness.*

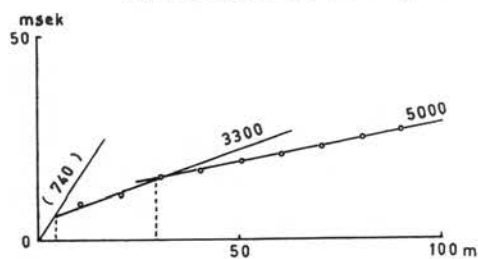
representerer flere typeeksempler innen de ovenfor nevnte gruppene, og et godt grunnlag ble lagt for den fortsatte flybildetolkningen. Spesielt var det jo viktig å få undersøkt slike grensetilfeller hvor bildetolkningen hadde vært usikker.

Noen store og ganske sterkt markerte rygger, som på grunn av sin størrelse eventuelt kunne tenkes å inneholde is, ble undersøkt og viste seg å være isfrie (som f.eks. morenene ved Bukkeholsbreen og Svellnosbreen) mens helt små og ubetydelige morener iblant viste seg å inneholde is (som f.eks. endemorenen ved Veslegjubreen, se fig. 10).

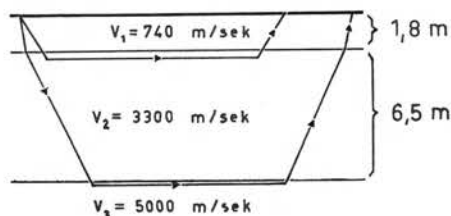
Med den elektriske metoden var det relativt lett å bestemme tykkelsen



Veslegjuvbreen, endemorenen



Hastighetsdiagram



Tolkningsresultat

Fig. 10. Fra den seismiske undersøkelsen av Veslegjuvbrens endemorene. Øverst et seismogram som inneholder samtidige registreringer fra 12 seismometre (geofoner). Den øverste linjen registrerer skuddøyeblikket (S). Etter målinger på seismogrammet (som oftest er det nødvendig med flere skudd) kan hastighetsdiagrammet konstrueres og etter ytterligere beregninger framkommer tolkningen (nederst til høyre): 1,8 m morene og 6,5 m is (muligens moreneblandet) over fjellgrunnen. (Beregningene utført av ing. S. R. Ekman.)

*Seismogram from the seismic soundings on the end moraine at Veslegjuvbreen and its interpretation: 1.8 m of moraine and 6.5 m ice (perhaps mixed with moraine) over the bedrock.*

av morenematerialet, men mektigheten av den begravde iskjernen lot seg ikke bestemme. Motstanden i is er nemlig alt for stor sammenliknet med motstanden i løsmaterialet. Forutsetningen for at metoden overhode skal kunne brukes er at jorden ikke er frosset i overflaten; er den frosset lengre

ned kan dette medføre visse komplikasjoner. Videre må det finnes et visst minimum av finmateriale i overflaten slik at elektrodene kan få ledende forbindelse nedover. Å f.eks. måle tykkelsen av en steinrøys er umulig.

Ville man ha rede på iskjernens mektighet, måtte man bruke den seismiske metoden som på mange måter er den elektriske overlegen. Men begge metodene er egentlig avpasset for å måle dypet til *planparallele* diskontinuitetsflater. Derfor vil det lett oppstå vanskeligheter når flatene danner vinkler med hverandre eller når jordoverflaten ikke er forholdsvis plan. Ved arbeider på morenerygger vil som oftest begge disse komplikasjoner støte til, og spesielt for de seismiske beregninger ble et omfattende regnearbeide nødvendig. Derimot viste det seg at den elektriske metoden fungerte ganske bra på isfylte morener når avstanden til isen holdt seg innenfor rimelige grenser. Men isens tykkelse kunne altså ikke måles.

Foruten at denne elektriske metoden kan komme til anvending ved måling av dypet til is, til fast berg, til grunnvannsspeilet (Sorgenfrei 1955) etc., er det trolig at den også kan brukes til å konstatere forekomsten av permafrost.

Ved arbeidet i marken ble det løpet av 10 dager utført 4 seismiske profiler og 15 geo-elektriske målinger. For kontrollens og sammenlikningens skyld ble alle seismiske profiler også målt elektrisk. Det seismiske arbeidet ble hovedsakelig utført av ing. S. R. Ekman fra Stockholm og de elektriske motstandsmålinger av geolog S. Fredén fra Uppsala.

### *Analyser av flybildene.*

De erfaringene som undersøkelsen i terrenget ga, var meget verdifulle og gjorde det mulig å tolke moreneformasjonene på flybildene med en meget større grad av sikkerhet enn tidligere. En total gjennomgang av fotografiene over Jotunheimens moreneområder har nu vist at et stort antall morenerygger med all sikkerhet inneholder en kjerne av is.

Resultatet av denne undersøkelsen vises på kartet (bilag) der alle større morenerygger som antas å inneholde is er tegnet med røde sammenhengende linjer, mens andre rygger er inntegnet med røde, stiplede linjer. For orienteringens skyld er store deler av vannsystemet, trigonometriske punkter, turisthytter og noen vegger inntegnet. Disse detaljer er direkte kopiert etter gradeigskartene, og gjengis med tillatelse av Norges Geografiske Oppmåling.

Kartet viser også som tidligere nevnt breenes konturer i 1955, da flybildene ble tatt, og som sammenlikning er gradeigskartenes angivelser

av bredekket område også inntegnet. Som nevnt vil avvikelserne mellom breenes tidligere og nuværende utbredelse variere sterkt innenfor det kartlagte området, og kan ikke *direkte* tas som noe mål for breenes kvantitative avsmeltning.

Selve bildetolkningen og overføringen av detaljer fra flyfotografier til kart er foretatt på den måten at to og to flybilder ble studert stereoskopisk, hvorved alle synlige morenrygger ble henført enten til den ene eller den andre kategorien, alt etter som det av deres form, størrelse, beliggenhet i terrenget m.m. kunne antas at de inneholdt is eller ikke. Denne inndeling av morenene i to grupper må naturligvis bli mer eller mindre subjektiv og i mange tilfelle kan det tenkes at en morenerygg er klassifisert som isfri, mens den i virkeligheten kanskje inneholder en kjerne av is — og tvert om. Men kontrollmålingene i marken har vist en forbausende stor overensstemmelse mellom tolkningsresultat og de virkelige forhold. I denne forbindelse kan det nevnes at en liknende gjennomgang av morenerygger i Kebnekajseområdet i Nord-Sverige har gitt full overensstemmelse mellom flybildetolkning og markundersøkelser — både elektriske og seismiske målinger samt direkte graving i morener (Østrem 1961).

De på denne måte iaktatte morener er så blitt inntegnet på et gjennom-siktig papir som ble lagt oppå det ene flybildet, hvorved den stereoskopiske effekten ikke ble synderlig nedsatt mens selve inntegningen foregikk. Av naturlige grunner kunne ikke *alle* morenerygger tegnes inn på denne måten — i mange tilfelle ligger det et stort antall små rygger så tett inntil hverandre at de ikke ville kunne skilles fra hverandre etter forminskning til det ferdige kartets målestokk. Noen rygger er også så små at de knapt lar seg identifisere på flybildene, selv ved forstørrelse. Derfor har det ved inntegningen vært nødvendig å gjøre noen forenklinger og generaliseringer, og dette gjelder framfor alt de mindre og de aller minste ryggene som ikke inneholder noe is.

En stiplede rød linje på kartet kan således bety at det går en eller eventuelt et par parallelle morenerygger gjennom terrenget. Hvis det er et stort antall rygger foran en bre, er dette antydning ved flere stiplede linjer. Men antallet linjer på kartet kan av ovennevnte tekniske grunner ikke motsvare antallet rygger i terrenget. Det som her er sagt om isfrie morenerygger gjelder også for de isfylte morene. Dertil kommer at de isfylte morenene ofte har en komplisert ytre form som vanskelig lar seg illustrere ved hjelp av enkle linjer. I slike tilfelle er som oftest forløpet av morenens høyeste ryggparti tegnet som en sammenhengende linje, mens selve morenemassen kanskje har en betydelig større bredde i terrenget.

Samtidig med inntegningen av morenene ble det fra flybildene også tegnet av endel vassdrag og andre terrengdetaljer som senere skulle brukes som kontrollpunkter ved overføringen av tegningen til kartets målestokk. Videre ble alle breenes konturer tegnet og den temporære snøgrensens beliggenhet markert der hvor dette var mulig. Se fig. 11. Ved å sammenlikne med et topografisk kart var det som oftest relativt lett å bestemme denne snøgrenses høyde over havet med en nøyaktighet av  $\pm 30$  meter (en høydekurve) og denne høyde ble notert på tegningen. (I noen tilfelle var det vanskelig å bestemme den temporære snøgrensens beliggenhet med så stor nøyaktighet p.g.a. sprekker eller ujevn breoverflate, og i slike tilfelle ble tallet satt i parentes.)

På flybildene kan man som regel avgjøre om et hvitt område er en virkelig isbre eller om det bare dreier seg om en snøfonn, og dette ble da også markert på tegningen.

Etter at et flybildepar var behandlet på denne måten, kunne tegningen se ut som vist på fig. 11 som er en av de ca. 40 enkelttegninger som ble framstilt ved bildetolkningen.

Disse tegninger, som altså var i flybildenes målestokk, ble så trukket opp med tusj og fotografert i småbildeformat. Deretter ble det framstilt diapositiver av hver enkelt tegning, og ved å projisere bildene mot et hvitt papir hvor gradeigskartenes vannsystem, høydepunkter etc. var innkopiert i målestokken 1:100 000, kunne hver enkelt tegning innpasses med relativt stor nøyaktighet, og morener og brekonturer overføres til kartet. En liknende overføringsmetode er tidligere brukt av Schytt (1960, p. 213).

På grunn av at den opprinnelige stereomodellen som framkom ved betraktning av flybildene inneholdt deformasjoner, bl.a. fordi ingen korrekasjoner var foretatt i bildenes orienteringselementer (Hallert 1953, p. 103 ff.) og fordi terrenget har så store høydeforskjeller, kunne det iblant være vanskelig å få hele tegningen til å passe inn på kartet samtidig. Men ved å justere projektorens stilling i forhold til projeksjonsplanet (kartet) var det nesten alltid mulig å få en god overensstemmelse mellom *en del* av tegningen og kartet ad gangen.

Bit for bit ble således tegningenes detaljer overført til kartet, bortsett fra snøgrenseangivelsene — disse ble gjenstand for en spesiell behandling og er altså ikke innlagt på kartet.

Nøyaktigheten ved ovenstående metode for overføring av bildenes detaljer til kartet vil avhenge av mange faktorer, men i sterkest grad vil høydeforskjellene i terrenget gjøre seg gjeldende ved den sideforskyvning som oppstår i bildene (Hallert 1953, p. 116). Derfor gjelder det bl.a. å



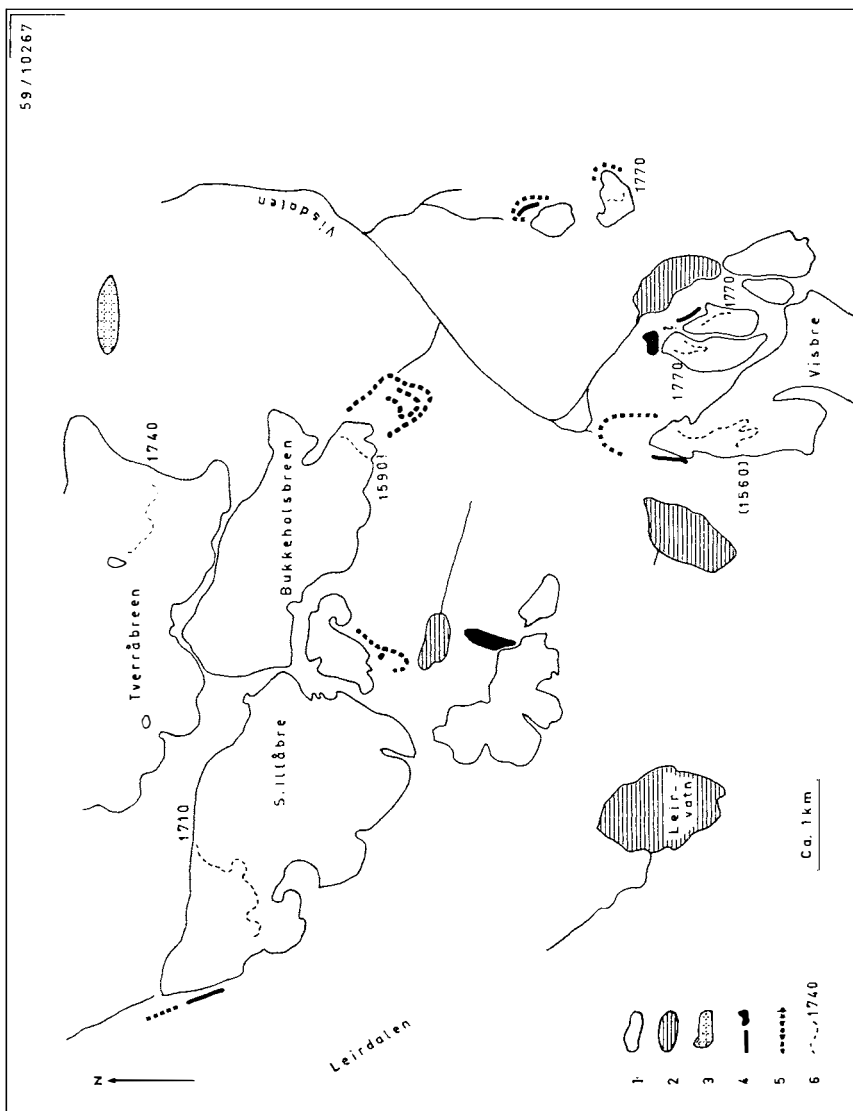


Fig. 11. Eksempel på resultatet av en bildetolkning av et flybildepar. Tegnfor-  
klaring: 1 = bredekket område, 2 = vann, 3 = snøfonn, 4 = moreneformasjon  
som sannsynligvis inneholder en kjerne av is, 5 = morenerygg uten iskjerne, 6  
= temporær snøgrense og dens høydetall.

*An example of the result of the interpretation of a pair of air photographs.  
Legend: 1 = glacier covered area, 2 = lake, 3 = snow field, 4 = moraine  
assumed to be ice-cored, 5 = moraine assumed to be without an ice-core, 6  
= temporary snowline and its elevation a.s.l.*

tegne inn passpunkter som ikke ligger på alt for stor vertikal avstand fra de detaljer som skal overføres til kartet.

På det foreliggende brekartet vil det kunne forekomme feilplaseringer av detaljer av ovennevnte årsak, men gjennomgående kan det antas at feilene holder seg innenfor 1—2 mm på kartet, d.v.s. 100—200 meter i terrenget, rent untagelsesvis noe mer.

Som nevnt er det på kartet gjort forskjell på isbreer og snøfonner der dette har vært mulig. Men det er tenkbart at f.eks. en helt snødekket «ekte» bre er blitt tatt for en snøfonn og avmerket som en sådan, mens en snøfonn er blitt klassifisert som isbre. Slike feil burde det dog være et meget lite antall av fordi praktisk talt alle breer var sterkt avsmeltet i slutten av juli 1955 da bildene ble tatt, og det ikke er noen større vanskelighet å skjelne mellom is og snø på bildene.

Derimot er det en større vanskelighet å avgjøre hvilke snøflekker som skal tas med og hvilke som kan utelates. I mange tilfelle kan man anta at små snøfelt som fantes i terrenget i slutten av juli ville være totalt bortsmeltet senere på sommeren samme år, og i slike tilfelle er de helt utelatt på kartet. Men da slike avgjørelser naturligvis må bli ganske subjektive og bygge på bildetolkerens erfaring fra liknende områder, ligger det i sakens natur at kartets angivelser på dette punkt må bli noe usikre.

Hovedprinsippet har vært å ta med samtlige isbreer og alle *større* snøfonner. Breenes firnområder er avsatt som breer, men på noen steder hvor et snøområde ligger i tilslutning til en bres firnområde uten at det kan sies å være en del av dette, er snøområdet tegnet som en selvstendig snøfonn. Av tekniske grunner har det ikke vært mulig å ta med snøfonner som ville bli mindre enn 2—3 mm på kartet.

#### *Moreneryggene.*

Som tidligere nevnt kan det være vanskelig å identifisere *små* morenerygger på flybildene, selv ved å anvende et forstørrende stereoskop er det ikke lett å se høydeforskjeller på noen få meter. Spesielt hvis belysningen er uheldig eller det ikke fins vegetasjon, kan det være meget vanskelig å tegne inn små morenerygger. Således er det f.eks. foran både Bøverbreen og Leirbreen store moreneområder som relativt nylig er blitt frilagt for is. Men disse områdene ser på flybildene ut som mer eller mindre jevnt grå flater, og det er derfor ikke mulig å tegne inn noen rygger i disse områdene.

Kartet inneholder således bare slike morenerygger som er så store at de framtrer klart på flybildene. I gunstige tilfeller, hvor f.eks. belysningen

eller sjatteringer i vegetasjonen hjelper til å styrke relieffet, kan dette bety at rygger ned til ca. 1 meters høyde er kommet med på kartet, dog med den begrensningen som tidligere er nevnt, nemlig at en rekke pallelle rygger av tekniske grunner har måttet generaliseres ved inntegningen. Når det gjelder de isfylte morene, så er disse i alminnelighet så store at det ikke er vanskelig å se dem på bildene (se fig. 4), men også her gjelder det at flere pallelle rygger iblant er generalisert til én linje på kartet. I noen enkelte tilfelle er spesielt store midtmorenerygger inntegnet med røde linjer som for isfylte morener.

Ser man nu på forekomsten av moreneryggene, er det ikke vanskelig å iakttå en viss regional variasjon av spesielt de isfylte morenene. Det ser ut som om deres hyppighet er størst i kartets nordøstre del, mens forekomsten av is i moreneryggene blir mer sparsom mot sydvest. I området omkring Glittertind er omtrent alle forekommende morener sannsynligvis fylt av is, mens iskjerner er mer sjeldne i Vest-Jotunheimen og glimrer nesten helt med sitt fravær i Hurrungane.

Det viser seg at forekomsten av isfylte morener øker mot de traktene som har den høyest liggende snøgrensen.

#### *Snøgrensen.*

Da alle flybildene over Jotunheimen ble tatt omtrent samtidig, d.v.s. i løpet av to dager i slutten av juli 1955, har det vært mulig å gjøre en synkron bestemmelse av den temporære snøgrensens høyde i hele Jotunheimen. På nesten alle breene var det mulig å se grenselinjen mellom is og snø (resp. mellom gammel firn og siste års snø) og denne linjen ble innlagt på de tegninger som ble gjort direkte etter flybildene (fig. 11). Oftest kunne denne linjen lett høydebestemmes ved å sammenlikne med høydekurvene på det tilsvarende gradteigskartet, men i endel tilfelle gikk linjen altfor uregelmessig til at en høydebestemmelse var mulig, og i noen tilfelle kunne breen være så omvekslende snøfri og snødekket at man ikke kunne tale om en veldefinert snøgrense. Slike innviklede mønstre er vanlige for sterkt oppsprukne breer, breer som har en meget bølgende overflate, og breer som ligger slik til at vinden spiller en avgjørende rolle ved akkumulasjonen på vinteren. Der breen er barblåst vil man jo iakttå et isområde hele sommeren, uavhengig av hvordan den temporære snøgrensen stiger oppover langs bretungen. I slike tilfelle har det oftast ikke vært mulig å fastlegge noen sikker høyde for snøgrensens beliggenhet.

Alle høydebestemmelser (77 i tallet) ble senere innlagt på et kart, og

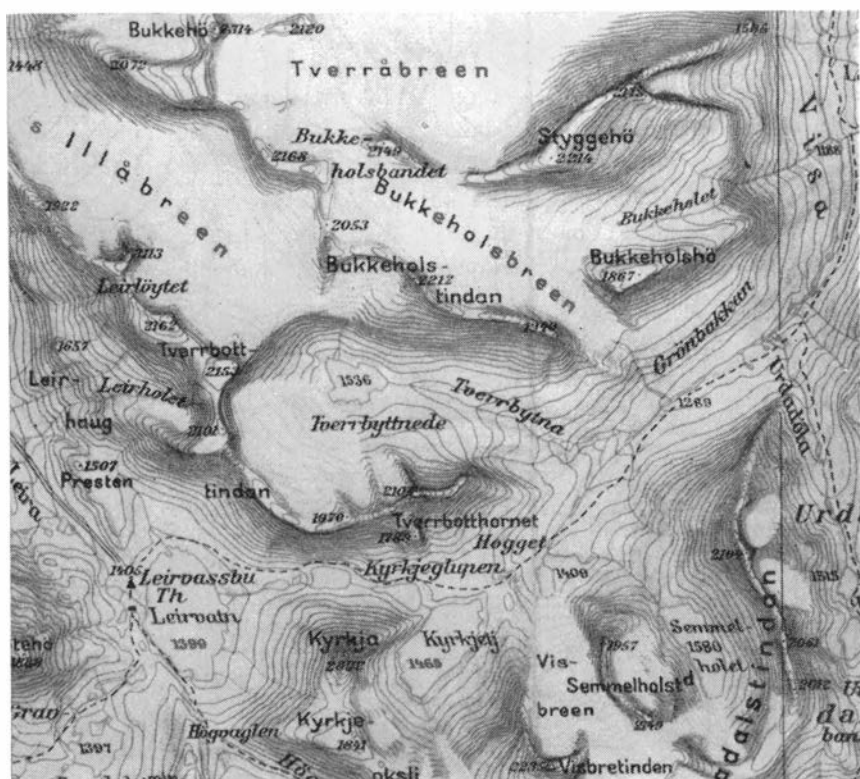


Fig. 12. Den delen av kartbladet Gjeende som omtrent tilsvarende området for bildetolkningen på fig. 11. Gjengitt med tillatelse fra N.G.O.

*Part of the topographic map (1 : 100,000) of the same area as shown in fig. 11. Published by permission of Norges geografiske oppmåling.*

høydetallene ble gruppevis middelverdieregnet. Gruppene ble valgt slik at alle breer innenfor ett og samme fjellmassiv kom i samme gruppe, se fig. 13. Middelverdien for den temporære snøgrensens høydetall er innført på figuren. I noen tilfelle hvor også enkelte litt usikre (subjektivt bedømte) høydetall er tatt med, er middelverdien satt i parentes. Kartet (fig. 13) viser en tydelig tendens til høyere snøgrense mot nordøst, og et forsøk på å tegne høydekurver for snøgrensens beliggenhet er gjort i fig. 14. Dette er da den temporære snøgrensens høyde ved slutten av juli måned 1955. Utover sommeren og høsten vil den naturligvis stige hele tiden, for å nå sin maksimumshøyde like før neste vinters snødekke atter legger seg over hele området.

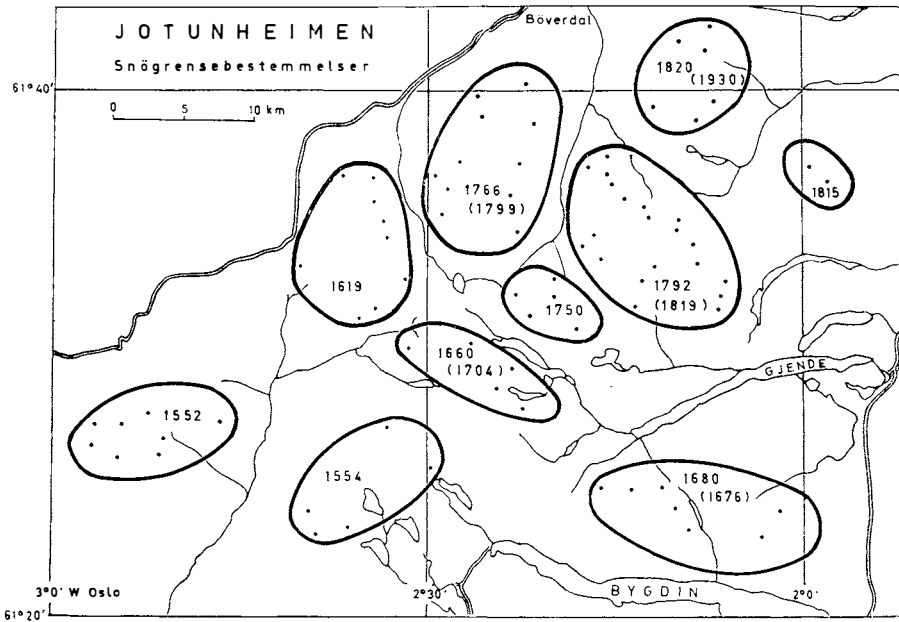


Fig. 13. Beregning av den temporære snøgrensens høyde på breene ved tidspunktet for flyfotograferingen (28—30. juli 1955). Hvert punkt representerer én sikker høydebestemmelse. Tallene viser gjennomsnittet for breene innenfor hvert lokalområde. Hvis noen litt usikre høydebestemmelser tas med, framkommer tall som er satt i parentes.

*The temporary snowline on the glaciers at the time when the air photographs were taken (28—30 July, 1955). Every dot represents one good determination of the elevation a.s.l. Figures are the mean for small areas.*

Det er tidligere gjort flere forsøk på å bestemme snøgrensen i Jotunheimen, således har f.eks. Ahlmann (1922, p. 9—17) undersøkt dens forløp fra kysten og inn i landet. Han finner at «the firn limit rises within Jotunheimen from 1600 m in NW to 2200 in SE, i.e. about 600 m in a distance of about 45 km». Undersøkelsen bygger vesentlig på den såkalte toppmetoden. Den går som kjent ut på å bestemme hvilken topphøyde som minst kreves for at det skal danne seg isbreer. Derved får man ikke fram den egentlige snøgrensen, men en såkalt glasiasjonsgrense («Vergletscherungsgrenze», Enquist 1916, p. 10—22). Man anser at denne ligger 100 meter høyere enn snøgrensen.

På grunn av at breene har en viss avkjølende effekt, vil firngrensen på

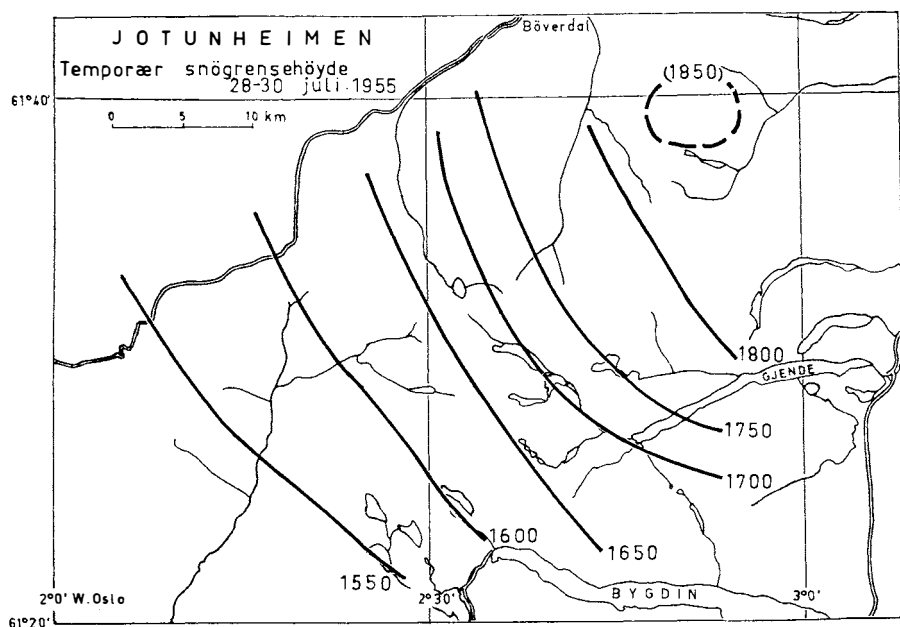


Fig. 14. Den temporære snøgrensens høyde i Jotunheimen ved slutten av juli måned 1955.

*The elevation of the temporary snowline in the Jotunheimen in the last days of July, 1955.*

en bre komme til å ligge *lavere* enn snøgrensen i det omgivende terrenget, man regner med en forskjell på 100 meter. Firngrensen på en bre kan bestemmes ved å måle akkumulasjonen (tilførselen) og ablasjonen (avsmeltingen). Der hvor disse balanserer hverandre går firngrensen. (Ahlmann 1948, p. 41).

Hoel (1953, p. 114) anslår snøgrensen til å ligge på omkring 2050 meter i Jotunheimen, mens Werenskiold (1957, p. 55) mener at den ligger over 2100 meter i «de tørreste strøk inne i landet».

Å få en helt sikker bestemmelse av snøgrensens beliggenhet er en overordentlig vanskelig oppgave, da måtte man ha årlige målinger av snøens utbredelse på høsten gjennom mange år foruten at et stort beregningsarbeide ville kreves.

Det som nu er gjort på flybildene fra 1955 er en fastleggelse av *den temporære snøgrensen på breene* i området i dagene 28.—30. juli (da bildene ble tatt), og resultatet kan altså ikke *direkte* være noe mål for snø-

grensens høyde i Jotunheimen. Men undersøkelsen viser tydelig hvordan snøgrensen varierer sterkt i høyde, med en utpreget stigning fra vest mot øst. De høydetall som er angitt på fig. 14 gjelder riktignok for et bestemt tidspunkt, men tendensen med de maksimale høyder mot nordøst vil sikkert også gjelde for snøgrensen generelt.

### *De isfylte moreners dannelse.*

Spørsmålet om hvordan de isfylte morenene er dannet, kan ikke besvares uttømmende på det nuværende stadium, dertil kreves bl.a. flere feltundersøkelser. Det er således nødvendig å undersøke om den isen som nu ligger beskyttet inne i morenemassene opprinnelig er bre-is som på en eller annen måte er gått over til å bli dødis og som sådan blitt dekket av morenemateriale, eller om isen er oppstått på annen måte.

Fra Baffin Island har Goldthwait (1951) inngående beskrevet hvordan isfylte endemorener dannes ved at bunnmorene transporteres opp langs glideplan mellom aktiv breis og dødis nær brefronten. Schytt (1956, p. 64—67) viser liknende foreteelser fra Grønland og nevner at ryggene ofte antar imponerende dimensjoner til tross for at det egentlige morenematerialet bare er av noen desimeters tykkelse; hovedparten av ryggene består av is.

En utgravning i en isfylt sidmorene ved Isfallsglaciären i Nord-Sverige (Østrem 1961) ifjor viste at den begravde iskjernen *ikke* var dannet av bre-is, men måtte være oppstått av snø på stedet.<sup>1</sup> På en eller annen måte må løsmaterialet i dette tilfelle være blitt plasert oppå en stor snøfonn som siden etterhvert er gått over til is. Denne is ligger nu som en godt konserverte kjerne inne i moreneryggen. De 2—3 meter med løsmateriale danner nu en effektiv beskyttelse mot smelting, noe som har kunnet vises ved temperaturmålinger inne i moreneryggen.

Om de isfylte morenene i Jotunheimen er dannet på noen av de ovenfor nevnte måtene og altså kan henføres til Gripps «Satz-Endmoränen» (Gripp 1938, p. 219) eller om de bør klassifiseres som «Stauch-Endmoränen», dannet ved plogliknende prosesser ved en framstøtende iskant, er det på det nuværende tidspunkt for tidlig å uttale seg om.

Horisontale sandforekomster, vakkert lagdelt og med ensartet materiale kan iakttas inne i den store isfylte endemorenen foran Grotbreen i Trollsteinkvølven, noe som kan tyde på at det her *ikke* er tale om en sammen-

---

<sup>1</sup> En liknende undersøkelse er senere gjort i Jotunheimen, se tillegget på side 234.



Fig. 15. Lagdelt sand i endemorenen i Trollsteinkvølven. Lagene består av finsand og grovmo.

*Layers of fine sand in the end moraine at Trollsteinkvølven.*

skjøvet morenerygg, men at materialet er avsatt under rolige forhold. (Fig. 15.) Videre er et samband mellom iskjerner i moreneryggene og forekomsten av snøfonner iaktatt. Sannsynligvis vil fortsatte markundersøkelser kunne kaste mere lys over disse ryggers dannelsesmåte.

Det er mulig at mange av de moreneryggene som idag ikke inneholder noe is en gang har hatt en iskerne, og at denne er smeltet bort. Hvis nemlig iskjernen skulle smelte bort fra de store isfylte ryggene vi har på mange steder idag, ville vi få noen relativt ubetydelige rygger, da løsmaterialet sannsynligvis bare er 2—3 meter tykt i de fleste tilfelle. De utførte elektriske motstandsmålingene har nemlig vist at morenelaget gjennomgående ikke er tykkere.

At vi har et så stort antall isfylte morenerygger i Jotunheimens østre og nordøstre del kan bero på at vi i disse områder har en høyt liggende snøgrense. Foruten at selve snøgrensen ligger høyt, ligger også Bretungene



som oftest høyt, og de isfylte morenene i disse deler av Jotunheimen ligger nu i så stor høyde over havet at den relativt korte sommeren ikke er tilstrekkelig for å kunne smelte den begravde isen.

I den vestre delen av Jotunheimen ligger snøgrensen og dermed også Bretungene meget lavere, og iskjernene har kunnet smelte bort — om de nu noengang har eksistert.

#### *Breenes samlede areal.*

Ved å måle alle de områdene som er markert som breer på gradteigskartene, kommer man til at det er 272 km<sup>2</sup> land som er bredekket i Jotunheimen (Liestøl, 1960 a). I dette tall er det da medregnet både de virkelige isbreer og snøfonnene, ettersom kartene ikke skjelner mellom disse to grupper av «evig snø og is».

Man kan gjøre en liknende måling på det foreliggende brekartet, og kommer da til at det er 220 km<sup>2</sup> breer og 18 km<sup>2</sup> snøfonner i Jotunheimen. Disse tall må da tas med de reservasjoner som tidligere er nevnt bl.a. angående vanskelighetene med å identifisere snøfonnene på flybildene. Forskjellen mellom de siste tallene og Liestøls oppgaver kan som nevnt ikke direkte tas som noe uttrykk for breenes avsmeltning i de senere år, men tendensen er i alle fall tydelig.

Hvis man kunne få gjort en liknende flyfotografering igjen om noen år, og man samtidig gjorde fortløpende observasjoner i marken av breenes vertikale sammensynkning, ville man få et godt mål for den virkelige tilbakegangen av Jotunheimens breer — en minskning i ismassene som nu kan være til glede for kraftverkene som på denne måte får mere vann i sine turbiner enn den rene nedbøren over området egentlig skulle tilsi. Dette er en virkning av breene som er «unormal» og som har sin rot i den pågående klimafluktasjonen (Ahlmann 1953). Hvis klimaet skulle forandre seg den andre vegen, ville breene begynne å tilta i volum ved å binde en hel del av årsnedbøren, noe som ville gi seg merkbart til kjenne i de vassdragene som har sine kilder i bredekkede områder. De ville få en mindre årlig vannføring enn «normalt» (Klæboe 1959, p. 211).

For å gi en oppfatning om hvor meget ekstra vann som kan tilføres et vassdrag som følge av breenes negative materialbalanse, kan nevnes at i 1947 ga Storglaciären i Nord-Sverige 2 mill. m<sup>3</sup> vann ekstra pr. kvadratkilometer breområde (Schytt 1960, p. 219). Dette er dog det største tall som har forekommet i løpet av de 13 årene som breen er blitt undersøkt, et gjennomsnitt for disse år viser at ca. 0,6 mill. m<sup>3</sup> ekstra vann avgis pr. kvadratkilometer breområde i året. For Hellstugubreen angir Liestøl (1958,

p. 29) et noe høyere tall, 0,85 mill. m<sup>3</sup> pr. km<sup>2</sup>, men dette gjelder for årene 1929—44.

Selv om ikke breene skulle øke eller avta i volum sett over en lengre periode, så har de en viss utjevneende effekt på vassdragenes vannføring. Men dette er tidligere (Rogstad, 1942 og 1948) behandlet i Norsk Geografisk Tidsskrift, og skal ikke nærmere berøres her.

*Oversikt over brearealene i Jotunheimen.*

For sammenlikningens skyld er tabellen satt opp med samme gruppering som Liestøl tidligere har anvendt (Liestøl 1960 a).

Område	Breer km <sup>2</sup>	Snøfonner km <sup>2</sup>	Sum km <sup>2</sup>
Glittertind — Trollstein	10,2	1,1	11,3
Memurutind — Surtningssuen	50,9	2,6	53,5
Smørstabbtindane — Loftet	33,7	0,2	33,9
Fannaråki	9,3	0,2	9,5
Hurrungane	17,3	1,2	18,5
Galdhøpiggen-området	37,3	2,3	39,6
Tyin — Utladalen — Veslådalen	31,3	6,2	37,5
Vest for Svartdalen	7,6	1,2	8,8
Nord for Leirungdalen	13,8	0,6	14,4
Syd for Leirungdalen	6,0	2,4	8,4
Besshø	0,8	0,1	0,9
Nautgardstind	1,9	0,2	2,1
Tilsammen	220,1	18,3	238,4

Det største sammenhengende bredekkede området ligger omkring Smørstabbtindene: Leirbreen, Bøverbreen, Smørstabbreen og Sandelvbreen. Det er 18,5 km<sup>2</sup> stort. Bjørnbreen og Storbreen er da ikke medregnet.

Det nest største breområdet dannes av Hellstugubreen og v. Memurubreen som har et felles firnområde. Tilsammen utgjør de 13,8 km<sup>2</sup>. Fannaråki er ca. 8,5 km<sup>2</sup>.

TILLEGG

*Om undersøkelser av iskjerner.*

Etter at ovenstående artikkel var skrevet, har forf. gjort flere feltarbeider i Jotunheimen. I april 1961 ble de store endemorenene ved Gråsubreen og Veobreen underkastet en mere inngående undersøkelse, bl.a. ved graving

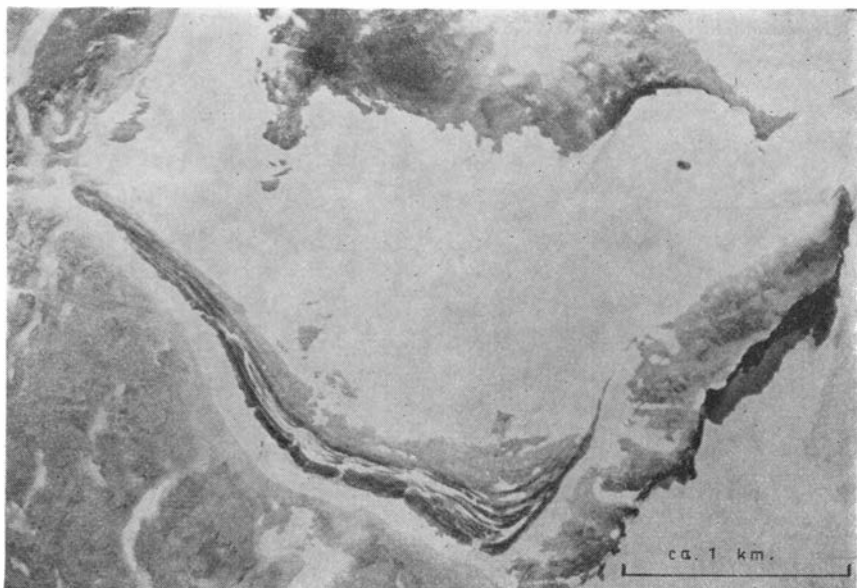


Fig. 16. Flyfotografi av Gråsubreen og dens veldige endemorene hvor utgravninger ble foretatt i april 1961 på tre forskjellige steder. Under 1—3 meter morenemateriale støtte man på is som ifølge de krystallografiske analyser må være dannet av snø på stedet. (Godkjent for publisering av Forsvarsstaben.)

*Aerial photograph of Gråsubreen and its large terminal moraine where three pits were dug in April, 1961. Under 1—3 metres of moraine there was ice which crystallographic analysis showed had originated from snow in situ.*

i de frose morenemassene. (På grunn av høyt vanninnhold er det i praksis meget vanskelig å grave på sommeren når jorden er opptint.)

I tre av de mange mindre ryggene som finnes på Gråsubreens endemorene (se fig. 16 og 17) ble det gravet groper, og is ble funnet under et meget tynt lag av jord og sten — i ett tilfelle var det bare ca. 1 m morenemateriale på isen.

I Veobreens endemorene på Skautflyi (se fig. 4) ble det gravet to groper. Her lå isen noe dypere, vel 2 meter under ryggens nuværende overflate. I samtlige tilfelle var isen blandet med tynne morenelag.

Prøver av isen ble tatt med for krystallografiske analyser, men allerede på stedet kunne det fastslåes at isen ikke var vanlig bre-is; den må være dannet av snø på stedet, f.eks. ved at en snøakkumulasjon er blitt dekket av morenemateriale, eventuelt i flere omganger. (Det krystallografiske arbeidet ble utført av dr. Erkki Palosuo, Helsingfors.)

GRÅSUBREENS ENDEMORENE, TVERRPROFIL

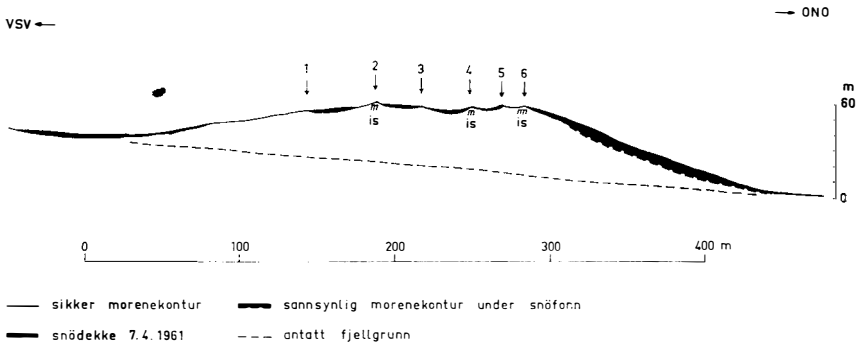


Fig. 17. Tverrprofil gjennom Gråsubreens endemorene. Nuværende Bretunge ligger langt til venstre for ryggen. Pilene viser beliggenheten av de mest markerte ryggene i systemet. Under nr. 2, nr. 4 og nr. 6 er is påvist ved graving, og det er trolig at det finnes is under praktisk talt hele morenedannelsen.

*Cross-section of the terminal moraine at Gråsubreen. The glacier tongue lies a few hundred metres to the left of the ridge. Arrows point out the largest ridges in the system. Under no. 2, no. 4 and no. 6 ice was found by digging, but it is possible that ice is present under most of the ridge.*

Fra to av gropene ble en større mengde is tatt opp for å forsøke å aldersbestemme isen ved hjelp av de små organiske partikler som fantes i isen. Disse partikler må ha blåst ut på snøen fra omgivelsene før snøen ble dekket av morene, og skulle således kunne gi en maksimal alder for morenedannelsen. I det ene tilfellet viste det seg dog at en prøve på 200 kg is inneholdt ytterst lite organisk materiale (ialt 0,1 gram rent kull, en mengde som med nuværende metoder er for lite for C—14-datering), mens en liknende mengde is fra en annen grop inneholdt tilstrekkelig stoff for en C—14-datering.

Det foreløpige resultat av denne datering viste en alder av  $2600 \pm 100$  år for den is som ble tatt fra den aller ytterste ryggen ved Gråsubreen (rygg nr. 6 på fig 17).

Det er ennå for tidlig å trekke noen vidtgående slutning på grunnlag av denne ene bestemmelse, men det kan påpekes at alderen omtrent sammenfaller med tidspunktet for den postglasiale klimaforverringen ved slutten av bronsealderen.

Med hjelp av termistorer som er satt ned i Gråsubreens endemorene er det mulig å følge temperaturrens variasjoner i forskjellige dyp både i

morenekappen og et stykke ned i isen. Avlesninger av disse vil bli foretatt med passende mellomrom for bl.a. å fastslå i hvilken grad iskjernen er utsatt for smeltning. Videre vil en fortsatt krystallografisk analyse av isprøvene være nødvendig.

## SUMMARY

### *Glaciers and moraines in the Jotunheimen District, Norway.*

About one percent of Norway is covered by glaciers and snowfields. Earlier attempts (Liestøl, 1960 a) to determine the exact area covered by snow and ice have utilized topographic maps mainly, supplemented by air photos. Unfortunately, some of the maps are old and inaccurate, and thus in many cases the glaciers have been drawn too large (Fig. 1). The figure of 3500 km<sup>2</sup> for the total area of glaciers and snow fields in Norway is, therefore, only a rough approximation.

During the last decades the glaciers have retreated, and in front of each tongue there is normally a series of end moraine ridges, of which the outermost is believed to date from the great glacier advance about 1750.

Observations of glacier variations in the Jotunheimen have been made since the beginning of this century, with an interruption between 1912 and 1927 (Werenskiold, 1949). On 15 glaciers yearly observations are made of the retreat of the front, and on Storbreen detailed regime investigations are made every year by the Norwegian Polar Institute (Norsk Polarinstitutt). Glaciological investigations have also been made on other glaciers in certain years (see Ahlmann 1922, 1928 and 1940; Werenskiold 1939 and 1949; Eriksson 1958; Liestøl 1958; Lewis 1960; and others).

In the summer of 1955 air photos were taken of the southern part of Norway, and the Jotunheimen District was photographed between the 28th and 30th of July. In September 1960 the Royal Norwegian Air Force took a new series of air photographs at the request of the author.

From this material it has been possible to make a map of all the glaciers and snowfields in the Jotunheimen as they appeared when the photographs were taken; i.e., essentially simultaneously. The outlines of the glaciers as shown on the topographic maps refer to several different years, as the various map sheets were produced between 1871 and 1938. On the author's new glacier map (see enclosure) the outlines of the glaciers according to both the topographic maps and the air photographs are indicated. It is obvious that the difference between the "old" and the "new" outlines is of varying magnitude in different parts of the map. Some of the

topographic maps have been made by photogrammetric means in recent years, and therefore there is little difference between the outlines. In other cases parts of the topographic maps may have been compiled in years with unusual snow conditions or, in the case of the older map sheets, the mapping was rather inaccurate, and therefore the difference between the outlines is considerable.

The author's own map may contain some slight mistakes as a result of the relatively simple method used in drawing the outlines from the 1955 air photographs (see discussion below).

From a study of the air photographs it was evident that the size of the moraine ridges did not correspond to the size of the glaciers which had produced the ridges. Large glaciers often have very small end moraines and vice versa. In some cases the largest moraine ridges have kettle holes, and thus it was assumed that many of the moraines were ice-cored. (Fig. 5.)

As a result of field work in October, 1959, when seismic soundings and earth resistivity measurements were made on 15 different moraines, it can be stated that an ice core is present in many of the ridges. In addition to measurements on ridges which appeared to be ice-cored from a study of the air photographs, several ridges which were not thought to have icecores were also investigated. In addition, in several of those cases for which the air photos did not indicate anything definite in this regard, measurements were made to obtain more information. Thus the air photo interpretation of the whole area could be made with a greater degree of accuracy.

The results of this interpretation are shown on the large map (see enclosure). All the moraine ridges which are large enough to be seen on the photographs have been included, although they are somewhat generalized in certain cases. The details have been transferred from the photographs (scale about 1 : 50.000) to the map (scale 1 : 100.000) in the following way: A transparent paper was placed on one of the two photographs which were studied under a stereoscope. All moraine ridges, the outlines of the glaciers, and some other details were plotted on the paper (Fig. 11). This paper was photographed and the diapositive placed in a projector. By changing the projecting distance and the projecting angle, it was possible to fit the details on the diapositive onto the corresponding topographic map details. Drainage features and trigonometric points were used most frequently as reference points in this operation. Then the outlines of the glaciers and the moraine ridges could be traced onto the map. The error on the map should not be greater than 1—2 mm (100—200 metres on the ground). A similar method has previously been used by Schytt (1960 p. 213).

Glaciers and snowfields have been marked by different symbols on the map, but in some cases a small glacier may have been mistaken for a snowfield and vice versa. It is not thought that such mistakes are common, however, as at the time when the air photos were taken the ice was clearly visible on most of the glaciers. Very small snow patches, which may not be present every year, have not been included; i.e., snow patches which would be smaller than 2—3 mm on the map.

Concerning the distribution of the ice-cored moraines, it is obvious that they are more numerous toward the east and northeast; in the western part of the area nearly all moraines are without ice-cores. This regional distribution seems to be connected with the elevation of the snowline.

From the air photographs the location of the temporary snowline (Ahlmann 1948, p. 41) could be determined on the glaciers. By comparison with the contour lines on the topographic maps it was possible to obtain the elevation above sea level. In some cases the topography of the glacier or other factors made it impossible to fix the elevation of the snowline, but 77 good estimations were made on different glaciers. The glaciers were grouped so that each group consisted of glaciers in the same mountain massif. The arithmetic means of the figures in each group are shown in Fig. 13. From this map the elevation of the temporary snowline in the area was plotted (see Fig. 14).

It is obvious that ice-cored moraines are more common in that part of Jotunheimen where the snowline is highest. A definite connection between some ice-cored moraines and permanent snow accumulations has also been observed.

It is possible that a great number of the moraines in Jotunheimen have been ice-cored, but the ice may have melted in many of them. Only in the moraines which are situated in the highest parts of the area, i.e., where the snowline reaches its highest elevation, are icecores still present. The summers in these areas are too short to allow melting of the buried ice.

The author has made investigations in northern Sweden concerning the origin of the buried ice (Østrem 1961). There it was possible to prove that the ice core in the one moraine studied had its origin as snow *in situ*, and not from glacier ice such as Goldthwait (1951) has described from Baffin Island. Further investigations of this problem in the Jotunheimen District are planned.

(After this article was written, the author carried out additional work in the area in April, 1961. Five pits were dug in ice-cored moraines at Gråsubreen and Veobreen. Under a relatively thin layer of morainic

material — in one case only 1 meter — ice was found in all pits. From the preliminary crystallographic analysis (made by Dr. E. Palosuo, Helsinki) it is obvious that the ice has originated from snow *in situ*.

A larger quantity of ice was collected from two of the pits in order to date the tiny bits of organic material which were found in the ice. This organic material is thought to have blown onto the snow before the latter became covered by moraine, and it can therefore be used to obtain a maximum limit for the time of deposition of the morainic material on top of the snow.

About 200 kilograms of ice from one pit did *not* contain a sufficient quantity of carbon (only 0.1 g pure carbon) but the same quantity of ice from the other pit gave carbon enough for a C—14 dating.

The preliminary result gave an age of  $2600 \pm 100$  years B.P. for the ice in the outermost ridge (no. 6) in fig. 17. (Personal communication from R. Nydal, Oct. 1961.)

By means of thermistors the temperature at different depths in the moraine cover and in the ice core can be observed.

Further investigations on these subjects are planned.)

The total area of the glaciers in Jotunheimen, as measured on the topographic maps is  $272 \text{ km}^2$  (Liestøl 1960 a). This figure also includes snowfields. From measurements on the author's new glacier map, the area of glaciers is  $220 \text{ km}^2$ , the area of snowfields  $18 \text{ km}^2$ . The difference between these figures cannot be used *directly* for computations of the shrinkage of the glaciers in Jotunheimen as Liestøl's value has been obtained from maps of different ages.

By means of future air photography and continuous ground observations of the vertical shrinkage, it will be possible to obtain more detailed information about the loss of material from the glaciers. The water lost has been added to the run-off in the rivers in this area, and this additional water supply will continue as long as the glaciers are retreating. The yearly magnitude of glacier shrinkage is indicated by the figure  $600,000 \text{ m}^3$  water per  $\text{km}^2$  of glacier area, as measured in northern Sweden (the average during 13 years according to Schytt, 1960, p. 220), and the figure  $850,000 \text{ m}^3$  per  $\text{km}^2$  measured at Hellstugubreen during the years 1929—44 (Liestøl 1958, p. 29).



## LITTERATUR

(Foruten litteratur som er nevnt i teksten, inneholder listen også enkelte arbeider som har nær tilknytning til emnet.)

- Ahlmann, H. W., 1922: *Glaciers in Jotunheimen and their Physiography*. Geogr. Annaler 4, p. 1—57, Stockholm.
- 1928: *Physico-Geographical Researches in the Horung Massif, Jotunheimen*. Geogr. Annaler 10, p. 339—371, Stockholm.
- 1935: *Dannelsen av den siste endemorene ved Styggedalsbreen*. N. Geogr. Tidsskr., Bd. V, (1934—35) p. 499—500. Oslo.
- 1940: *The Styggedal Glacier in Jotunheim, Norway*. Geogr. Annaler 22, p. 95—130. Stockholm.
- 1948: *Glaciological Research on the North Atlantic Coasts*. Royal Geographical Society, Research Series No. 1. London.
- 1953: *Glacier Variations and Climatic Fluctuations*. Bowman Memorial Lectures, Series 3. New York.
- Bergström, E., 1954: *Studies of the Variations in Sizes of Swedish Glaciers in Recent Centuries*. Association Internat. d'Hydrologie. Publ. No. 39 (Assemblée générale de Rome, Tome IV) p. 356—366. Louvain.
- Beschel, R., 1950: *Flechten als Altersmassstab rezenter Moränen*. Zeitschr. für Gletscherkunde und Glazialgeologie 1, p. 152—161. Innsbruck.
- 1957: *Lichenometrie im Gletschervorfeld*. Jahrbuch 1957 des Vereins zum Schutze der Alpenpflanzen und -Tiere. München.
- Bjørstad, E., 1939: *La cartographie de haute montagne*. Norsk Geogr. Tidsskr., Bd. VII (1938—39), p. 306—312. Oslo.
- Bornfeldt, F. & Österborg, M., 1958: *Lavarter som hjelpemiddel för datering av ändmoräner vid norska glaciärer*. Seminarieuppsats, Geogr. Inst., Stockholms Universitet. (Stensilert.)
- Dobrin, M. B., 1952: *Introduction to geophysical prospecting*. New York.
- Enquist, Fr., 1916: *Der Einfluss des Windes auf die Verteilung der Gletscher*. Bull. Geol. Inst. Upsala, Vol. 14.
- Eriksson, B. E., 1958: *Glaciological investigations in Jotunheimen and Sarek in the years 1955 to 1957*. Geographica Nr. 34, Uppsala.
- Forbes, J. D., 1853: *Norway and its glaciers visited in 1851*. Edinburgh.
- Fægri, K., 1933: *Über die Längenvariationen einiger Gletscher des Jostedalubre und die dadurch bedingten Pflanzen-Sukzessionen*. Bergens Museums Årbok 1933. Hft 2, p. 1—255.
- 1948: *On the variations of the western Norwegian glaciers during the last 200 years*. — Procés-Verbaux de Séances de l'Assemblée Gen. d'Oslo de l'Union Géodésique Internationale, p. 293—303. Louvain.
- Goldthwait, R. P., 1951: *Development of end moraines in East-central Baffin Island*. Journ. of Geology, Vol. 59, No. 6, p. 567—577. Chicago.
- Gripp, K., 1938: *Endmoränen*. Comptes rendus du congrés internat. de geogr. Amsterdam 1938. Tome 2, Section II a, p. 215—228. Leiden.
- Grønningsæter, B. J., 1961: *Breer og bresmelting på Møre*. Den norske Turistforenings årbok, p. 111—119. Oslo.

- Hagene, G., 1961: Kartlegging av breene. Den norske turistforenings årbok, p. 159—169. Oslo.
- Hallert, B., 1953: Fotogrammetri, grunndrag och översikt. Stockholm.
- Helland, A., 1913: Norges Land og Folk. V: Beskrivelse over Kristians Amt. p. 76—153 (Jotunfjeldene). Oslo.
- Hoel, A., 1953: Flateinnholdet av breer og snøfonner i Norge. N. Geogr. Tidsskr. Bd XIV (1953—54), p. 109—123. Oslo.
- Holmsen, G., 1913: Spitsbergens jordbundsvis. Det Norske Geografiske Selskaps Årbok XXIV (1912—13), p. 1—150. Oslo.
- Holtedahl, O. & Andersen, B. G., 1960: Glacial Map of Norway, Norges geol. unders. No. 208, Oslo.
- Hoppe, G., 1958: Flygbilden som vetenskapligt hjälpmedel. Svensk Naturvetenskap 1957—58, p. 186—208, Stockholm.
- Klæboe, H., 1959: Grunntrekk av hydrologien, særlig Norges hydrologi. N. Geogr. Tidsskr. Bd XVI (1957—58), p. 100—248. Oslo.
- Krynine, D. P. & Judd, W. R., 1957: Principles of engineering geology and geotechnics. New York.
- Lasfargues, P., 1957: Prospection électrique par courants continus. Paris.
- Lewis, W. V., 1960: Norwegian Cirque Glaciers. Royal Geographical Society, Research Series No. 4. London.
- Liestøl, O., 1958: Special investigations on Hellstugubreen and Tverråbreen. (Prel. Abstract from "The Glaciers and Snowfields of Norway") Norsk Polarinstittut, Skrifter Nr. 114, Oslo.
- 1960 a: Areas and number of glaciers and snowfields in Norway. (Prel. Abstract from "The Glaciers and Snowfields of Norway") Norsk Polarinstittut, Skrifter Nr. 114, Oslo.
- 1960 b: Glaciers of the present day, in: Geology of Norway. Norges geol. unders. nr. 208, p. 482—489. Oslo.
- 1961 a: Breer i Norge. Den norske turistforenings årbok, p. 20—23. Oslo.
- 1961 b: Bremåling og brevariasjoner. Den norske turistforenings årbok, p. 24—34. Oslo.
- Mercanton, P. L., 1961: Rapport sur les variations de longueurs des glaciers Européens, en 1956/57, 1957/58, 1958/59. Ass. Int. d'Hydrologie Scientifique, Assemblée Générale de Helsinki, Publ. No. 54, p. 366—378.
- Norges geografiske oppmåling 1956: Beretning om Norges geografiske oppmålings virksomhet i året 1955. Oslo.
- Rabot, Ch., 1900: Les variations de longueur des glaciers dans les régions arctiques et boréales. Arch. des sciences physiques et naturelles, 1899—1900, p. 201—216. Genève.
- Rogstad, O., 1942: Våre breer tilbakegang. N. Geogr. Tidsskr., Bd IX (1942—43), p. 129—157. Oslo.
- 1948: Breenes virkning på den nyttbare vannmengde ved kraftverkene i Glåma. N. Geogr. Tidsskr., Bd XII (1948—50) p. 9—20, Oslo.

- Schytt, V., 1956: Lateral drainage channels along the northern side of the Moltke Glacier, Northwest Greenland. *Geogr. Annaler* 38, p. 64—77. Stockholm.
- 1960: The Glaciers of the Kebnekajse-massif. *Geogr. Annaler* 41, (1959), p. 213—227. Stockholm.
- Selmer-Olsen, R., 1954: Om norske jordarters variasjon i korngradering og plastisitet. *Norges geol. unders.* No. 186. Oslo.
- Sorgenfrei, T., 1955: Geoelektriske Undersøgelser i Danmark og Skåne 1953. *Danmarks Geologiske Undersøgelse, III Række Nr 32.* København.
- Storch, A., 1960: Några botanisk-glaciologiska studier i Tarfaladalen. Seminarieuppsats, *Geogr. Inst., Stockholms Universitet.* (Stensilert.)
- Werenskiold, W., 1939: Glaciers in Jotunheim. *N. Geogr. Tidsskr.* Bd VII (1938—39), p. 638—647. Oslo.
- 1949: Glacier Measurements in the Jotunheim. *Geogr. Annaler* 31, p. 292—294. Stockholm.
- 1957: Norge, en oversikt i: «Norge, vårt land», Bd I, p. 1—84. Oslo.
- Østrem, G., 1959: Ice melting under a thin layer of moraine, and the existence of ice cores in moraine ridges. *Geogr. Annaler*, Vol. 41, No. 4, p. 228—230. Stockholm.
- 1961: Ice-cored moraines in the Kebnekajse area. *Biuletyn Peryglacjalny nr. 11, Lodz* (under trykning).











# Brekart over Jotunheimen

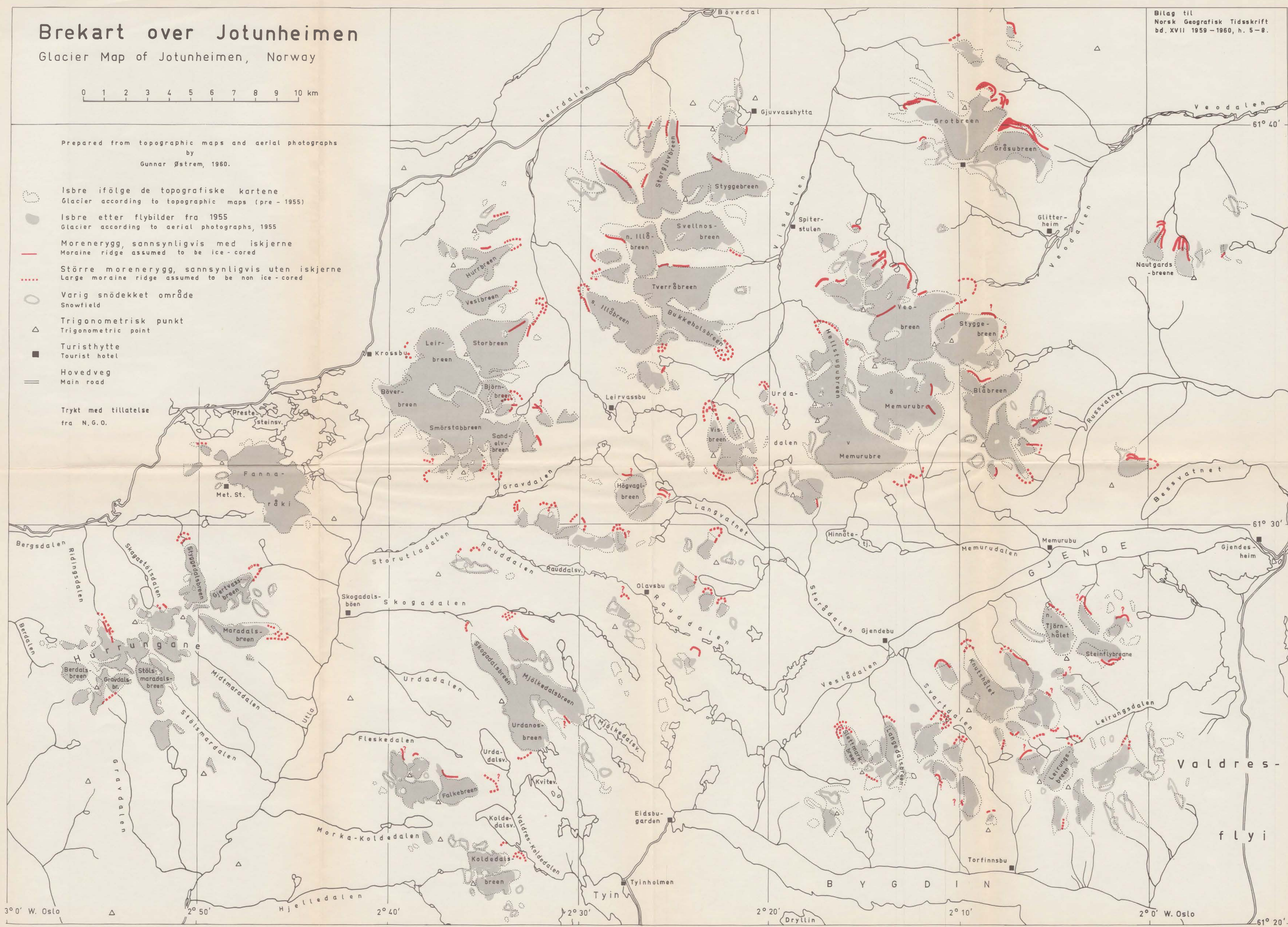
Glacier Map of Jotunheimen, Norway

Bilag til  
Norsk Geografisk Tidsskrift  
bd. XVII 1959-1960, h. 5-8.

0 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 km

Prepared from topographic maps and aerial photographs  
by  
Gunnar Østrem, 1960.

-  Isbre ifølge de topografiske kartene  
Glacier according to topographic maps (pre-1955)
  -  Isbre etter flybilder fra 1955  
Glacier according to aerial photographs, 1955
  -  Morenerygg, sannsynligvis med iskerne  
Moraine ridge assumed to be ice-cored
  -  Større morenerygg, sannsynligvis uten iskerne  
Large moraine ridge assumed to be non ice-cored
  -  Varig snødekket område  
Snowfield
  -  Trigonometrisk punkt  
Trigonometric point
  -  Turisthytte  
Tourist hotel
  -  Hovedveg  
Main road
- Trykt med tillatelse  
fra N.G.O.





A.W. BRØGGERS BOKTRYKKERI A/S - OSLO