

Rapport nr. 84.087

Beskrivelse til det kvartærgeologiske
kart Borgund 1:50 000, 1517 III



Norges geologiske undersøkelse

Leiv Eirikssons vei 39, Postboks 3006, 7001 Trondheim - Tlf. (07) 92 16 11
Oslokontor, Drammensveien 230, Oslo 2 - Tlf. (02) 55 31 65

Rapport nr. 84.087	ISSN 0800-3416	Åpen/ Fortrolig ttk	
Tittel: Beskrivelse til det kvartærgeologiske kart Borgund 1:50 000, 1517 III			
Forfatter: Forsker Per Holmsen		Oppdragsgiver: Norges geologiske undersøkelse	
Fylke: Sogn og Fjordane		Kommune: Lærdal, Årdal, Vang	
Kartbladnavn (M. 1:250 000) Årdal		Kartbladnr. og -navn (M. 1:50 000) 1517 III Borgund	
Forekomstens navn og koordinater:		Sidetall: 24	Pris: 60,-
		Kartbilag:	
Feltarbeid utført: 1965, 1968	Rapportdato:	Prosjektnr.: 5.1.2022.00	Prosjektleder: Per Holmsen
Sammendrag: Rapporten er en kvartærgeologisk beskrivelse av kartblad Borgund som grunnlag for en del av oversiktskart Jotunheimen 1:50 000. Kartet i M 1:50 000 er fargekopi av håndtegnet original som finnes ved NGU. Beskrivelsen er søkt tilpasset lesere uten særlige kunnskaper i kvartærgeologi, og har avsnitt om storformene, Kvartærtiden og småformene og om de geologiske prosesser. Hovedvekten er lagt på glasiasjons-historien, særlig slutten i Preboreal. Et avsnitt om klima-variasjonene i Holocen er tatt med for den ulærde leser.			
Emneord	Løsmassekartlegging		
	Kvartærgeologi		

Hydrogeologiske rapporter kan lånes eller kjøpes fra Oslokontoret, mens de øvrige rapportene kan lånes eller kjøpes fra NGU, Trondheim.

INNHALDSFORTEGNELSE

	Side
Innledning	1
Storformene	2
Kvartærtiden	4
Småformene. De geologiske prosesser	5
Glasiasjonshistorien	9
Dreneringshistorien	12
Jordartene	12
Jordarter avsatt av isen. Morenejordarter	12
Randmorener	12
Bunnmorene	14
Ablasjonsmorene	15
Jordarter avsatt av smeltevann. Breelvavsetninger	15
Elve- og bekkeavsetninger avsatt etter at isen forsvant	16
Ur	17
Organiske jordarter. Torv	17
Antropogene dannelser	18
Klimaforandringene i Holocen	18
Ressurser og ressursforvaltning	22
Lærdals betydning for kommunikasjonene	23
Litteratur	23

Innledning

Det topografiske grunnlag for kvartærkart Borgund er gradteig Borgund, idet det nye kart i AMS-serien 711 ikke foreligger ennå i skrivende stund.

Kvartærkartet er ett av de 28 kart som til sammen dekker oversiktskartet Jotunheimen i M 1:250 000, utgitt som Norges geologiske undersøkelses publikasjon nr. 274 av Per Holmsen (1982). Blad Borgund foreligger bare som rentegnet, håndtegnet, i farger, men kan eventuelt bestilles som fargekopi, lik 27 av samtlige tilsvarende kart. Det 28. av disse kart er utgitt av NGU med beskrivelse av J.L. Sollid (1983), nemlig blad Fullsenn.

Blad Borgund er det sørvestligste av de kartblad som dekker Jotunheimens område. Det er naturlig å se kvartærkartet i sammenheng med bladet nordenfor, Hurrungane, da det er mange analoge trekk med dette blads formasjoner. Dette er beskrevet som NGU rapport nr. 84.086.

Storformene

Med storformene menes fjellgrunnens aller groveste former, som geografisk kan sammenfattes i tre hovedtrekk, nemlig de høye fjell, de dypt nedskårete daler, samt viddenivået. Av disse er viddenivået det eldste, men dette er bare så vidt bevart, i sterkt modifisert form, i den nordøstligste del av kartbladet, omkring Fillefjell. Det opprinnelige viddenivået ble utformet langt tilbake i tiden. Alt vi ser av topografien innen blad Borgund er bare rester som står igjen etter at rennende vann og isbreer har tært ned viddenivået. Det yngste trekk av storformene er de dypt nedskårete dalene, hvorav Lærdals-dalføret med sine sidedaler og Årdals-dalføret med sine sidedaler i nordvest er de viktigste.

Det er kanskje ikke så vanlig å tenke på de høye fjellene som erosjonsrester, det mer vanlig å tenke seg at fjellene er noe som har reist seg. Vi sier ofte at "fjellene reiser seg opp", men dette er altså et mer poetisk uttrykk fra betrakterens synsvinkel. Likevel har dette uttrykk en aktualitet, men ikke for den vanlige betrakter.

Geologene mener at viddenivået var utformet allerede tidlig i Tertiærtiden, mange millioner år tilbake i den geologiske tidsregning. Norge var da erodert ned til et lavland, med sannsynligvis slakke høydedrag som hevet seg over flatlandet. Men i Tertiær foregikk det jordskorpebevegelser som hevet Den skandinaviske halvøy opp, mest i vest, minst et par tusen meter i forhold til kontinentalsokkelen i

vest. Dette gav elvene, som tidligere hadde flytt rolig mot havet, et mye sterkere fall med økt erosjons- og transportevne. Det ligger store masser av Tertiære lag avsatt på kontinentalsokkelen, særlig på den ytre del hvor de ikke senere er blitt fjernet av isbreene i Kvartærtiden.

Storformenes dannelselse er influert av fjellgrunnens beskaffenhet, noe som Lærdals-dalføret er et eksempel på. Dalen er erodert ut i et fjellgrunnskompleks av fyllitt og glimmerskifer (med kvartsitt i vekslingslag). Fyllitt- og glimmerskiferområdet henger sammen over Fillefjell med det tilsvarende bergartskompleks i Valdresdalførene. Disse bergarter er lettere eroderbare enn i de harde gneisene nord og sør for det dypt nedskårede dalføre, og det er naturlig å anta at dalførets forløp er betinget av de bløtere bergarter. Samme årsak kan antas å betinge at selve fjellovergangen over Fillefjell er så vidt lav som knapt 1 000 m o.h.

Til storformene hører en eiendommelighet i Lærdal ved Borgund. Det er Vindhellen, hvor riksvegen gjennom dalen gikk i gammel tid. Den siste store utbedring av vegen gjennom Vindhellen ble gjort omkring 1840, og denne er blitt fredet, sammen med andre deler av den gamle vegen over Galdane lenger nede i dalen. Siden, etter dynamitten kom i bruk, skjedde det store omlegninger av vegnettet mange steder på Vestlandet, og den nåværende vegtrase går langs elven i en bue rundt Vindhellen nedenfor Borgund.

Vindhellen er det gamle forløp av dalføret, fra en tid vi ikke kjenner så nøye, antagelig ganske lenge før den siste nedisning. Passpunktet som fører over til Vindhellen representerer dalbunnen den gang for lenge siden. Det er meget sikkert at det måtte en nedisning til for å forandre dalens løp, da både iserosjonen og breelvene "valgte" å finne en ny trase for selve hoveddalen. Den dalen som den nåværende vegtrase følger er et yngre trekk i utviklingen

av storformene her ved Borgund. Det var bare ikke mulig å legge en stor veg langs elven før dynamittens tid.

Kvartærtiden

Mens Tertiærtiden var en varm tid (jfr. skoger på Spitsbergen) med sterk kjemisk forvitring, ble klimaet vesentlig kaldere i Kvartærtiden. På høye breddegrader oppstod det nedisninger over store områder, således sammenhengende innlandsis over Den skandinaviske halvø. Vi regner Kvartærtidens begynnelse til noe slikt som 2-3 millioner år tilbake. Med nedisningene kom et nytt medium inn i de geologiske prosesser, til å øke både erosjonen og transportevnen.

Det har vært mange istider i Kvartærtiden, vi vet ikke nøyaktig hvor mange. Noen mener 10, andre 20, for å antyde noen tall. Innimellom istidene var det mildere perioder da innlandsisene forsvant for en tid, og i de store istider har det vært tider da isdekkene delvis har vært borte, såkalte interstadialtider, noe kjøligere enn de større interglasialtider ("mellomistider"). Det kan således ha vært flere nedisninger i løpet av en stor istid. Den siste store istid er kalt Weichsel-istiden. Den hadde minst en, kanskje to, interstadialer, da vegetasjonen rakk å vandre inn (skog bl.a.). Den siste nedisning, den som vi kjenner best, tok til for om lag 40 000 år siden, etter en interstadial da det bl.a. levet mammut i Norge. Den tok slutt for ca. 9 000 år siden. Da var klimaet blitt så varmt at den siste innlandsisen forsvant. Om de mindre klimasvingninger siden da er det fortalt i avsnittet om klimavariasjonene i Holocen (tiden etter siste nedisning, grovt sett).

For i noen grad å plassere mennesket i den geologiske tidskala kan det sies at mennesket hører Kvartærtiden til. De eldste mennesketyper på jorden var andre enn de nålevende.

Den mennesketype som befolker jorden i nåtiden, den som kaller seg selv Homo Sapiens ("mennesket som vet") må være temmelig ung, neppe eldre enn ca. 40 000 år, og hører Weichsel-tiden til. Om Norge var bebodd før siste nedisning vet vi absolutt intet, trolig var Norge ubebodd. I Sør-Frankrike og Spania levet Homo Sapiens for noe slikt som 20 000 år siden, og malte de bekjente hulemaleriene. Dette var mens innlandsis dekket Norden, men Frankrike var ikke nediset, og i Pyreneene var det bare lokale isbreer. De første mennesker innvandret til Norge i Holocen, som er den tiden vi lever i.

Småformene. De geologiske prosesser

Med småformene menes slike detaljer i landskapet som ikke på noen måter har forandret karakteren av storformene. Det dreier seg om både erosjonsformer og avsetninger av løse masser, vesentlig dannet i løpet av den siste nedisning og i tiden etter at storisen forsvant. De er resultatet av de geologiske prosesser som har virket på jordens overflate, slike som isen, det rennende vann og frosten. Slike dannelser er et hovedtema i norsk kvartærgeologi, fremfor alt de løse avsetninger og deres former. Med en geologisk betegnelse kalles de løse avsetninger for jordarter.

Det viktigste hjelpemiddel til å få i stand det kvartærgeologiske kartblad Borgund har vært flybilleder og stereoskop, både til å rekognosere og til å tegne dette. Anvendelsen av flybilledpar og stereoskop beror på at det finnes geologiske lovmessigheter mellom de ytre former og materialinnholdet i dem, og disse former er som regel så karakteristiske at det også kan avgjøres hvilke geologiske prosesser som har ført til dannelsen.

I denne rapport er det benyttet få faguttrykk for at også ikke-geologer skal kunne lese den med utbytte. Til hjelp

for en noe videre forståelse av småformene og de geologiske prosesser kan det henvises til en bok av Per Holmsen (1979) Grunnlag i kvartærgeologi, trykt som Norges geologiske undersøkelses publikasjon nr. 347. Den foreligger ved alle landets kommunekontorer. Der er også de fleste vanlige faguttrykk definert, og det er gitt en liste over slike uttrykk hvor det er henvist til side hvor definisjonen er gitt.

I tillegg til flybilledtolkningen er det også utført befaringer i marken, vesentlig i den hensikt å kunne kontrollere resultatene av flybilledtolkningen og eventuelle usikre tolkninger.

En del småformer lar seg ikke se på flybilledene som har vært benyttet. Dette gjelder f.eks. isskuringsstriper og andre små spor som isen har satt på det faste fjellunderlag. Disse må oppsøkes i marken og retninger som viser isens bevegelser må måles på stedet. Målinger av skuringsstripenes retninger har vært få innen kartbladet fordi isbevegelsen har vært kjent i sine hovedtrekk på forhånd. Den har stort sett fulgt de dype dalene. Men noen striper er angitt på kartet som avviker fra denne regel, nemlig noen steder hvor den store dalbreen i Preboreal (se avsnittet om glasiasjonshistorien) gjorde et fremstøt inn mot sidemorener i sidedaler da den fylte Lærdal.

Is og rennende vann har forskjellig virkning på underlaget. Isen eroderer på fjellunderlaget ved at den skurer løs og plukker opp materiale fra fjellet og transporterer det videre, særlig i det underste skikt av breen, i sålen. Materialet avsettes igjen ved randen av breen som randmorener (endemorener og sidemorener). Men når breens bevegelse opphører og isen smelter vekk blir det materiale som var innesluttet i breen liggende igjen. Således ble morenedekkene avsatt. Dette er det viktigste løsmateriale innen bladet Borgund, fordi det er dette som er det alt

overveiende grunnlag for vegetasjonen. Det er særlig bunnmorenen, det som var innesluttet i isens såle da bevegelsen opphørte. Isen kan også transportere materiale mot bakke, fordi isen strømmer i den retning som isoverflaten heller, fra høyere til lavere områder på isoverflaten. Det er trykkgradienten som driver ismassene, ikke underlagets helling. Dette foregikk f.eks. i Preboreal da breen fylte Lærdal så den rant mot bakke inn i sidedalene.

Vannet virker på en annen måte, hovedsakelig transporterer en elv den veg dalen heller, og bare i bakevjer kan rennende vann også føre materialet opp mot sidene. Rennende vann transporterer fast materiale på tre måter, langs bunnen, i suspensjon i turbulent vann, og flytende på overflaten (særlig under isgang i elvene, fastfrosset til bunns som flyter opp). Det materiale som transporteres langs bunnen (sand og grovere) avsettes på steder der strømhastigheten avtar. Det som transporteres i suspensjon bunnfelles i helt stille vann, og særlig i saltvann. Det som fraktes med isfloer faller ned når isen smelter eller isfloene knuses. Det grovere materiale stammer ikke bare fra moreneavsetninger som vannet eroderer, men også fra det faste fjell i stryk og fosser hvor vannsprut om vinteren fryser til is, som igjen sprenger løs stykker fra fjellet.

Vannet eroderer både i fjell og i løse avsetninger, særlig under flom, da strømhastigheten er stor. En viktig prosess er jettegrytedannelsen, i fast fjell. I raskt strømmende vann, som i elvene på Vestlandet, dannes det sterkt turbulente strømmer som fører med seg grove partikler, stein og blokker, som sliter på fjellunderlaget og det bores ut såkalte jettegryter. Materialet som hvirvles rundt sliter på fjellet som en boreprosess, og materialet slites selv ned inntil det føres opp og ut av jettegryten. Nytt materiale kommer til, og det dannes rekker av jettegryter som til sammen danner et elvegjel. De dype kulpene i et

vassdrag som Lærdalselven, kan bli flere titall meter dype. At de ikke er blitt gjenfylt viser at vannets turbulens fører materialet ut av kulpene igjen når det er blitt tilstrekkelig nedslitt. Slitestyrken av både fjellgrunn og "slipematerialet" spiller stor rolle for hvor hurtig jettegrytedannelsen foregår. Lærdalsvassdraget følger et fjellgrunnskompleks av metamorfe kambrosiluriske skifre som henger sammen med de tilsvarende skifre i Valdres, og som inneholder bl.a. fyllitter, som er relativt mindre motstandsdyktige mot erosjon.

En annen virkning av vannet er den oppløsende effekt på visse mineraler, særlig kalkspat. Men da større kalkstenslag ikke er kjent innen blad Borgund, antas denne effekt å ha vært svært liten sammenlignet med elvenes erosjon ved hjelp av fast materiale.

Frosten har betydning for erosjonens gang i land som har kaldt vinterklima, som Norge. Virkningen er flersidig. I fossen og bratte stryk dannes det frostrøyk og sprut om vinteren på fjellsiden, som da ises ned. Frostsprengningen på slike steder løsner stein og blokk som faller ned i elven og bidrar til å øke materialet som kan slites og transporteres videre. Dette synes å ha betydning for jettegrytedannelsen og dannelsen av elvegjel.

Frosten sprenger også ut stein og blokker fra bratte fjellhamre i dalsider høyere oppe, og det er alminnelig antatt at urer dannes i stor utstrekning på denne måte. Men det er sannsynligvis ikke den eneste måten at urer dannes. Avlastningen av fjellet ved erosjonens gang i sprø bergarter fører til en oppsprekning etter et mønster som tar seg ut som en (falsk) benkning parallelt med den bratte overflate. Derved kommer vannet og frosten til med sin virkning. Erosjonen er en langsom prosess, og oppsprekning ved avlastning av fjellmasser tar derfor også lang tid. Det bør kanskje forklares litt nærmere at så lenge fjellet ligger

belastet under vekten av overliggende fjell, skjer det ikke noen oppsprekning på denne måte. Men når det overliggende fjell er fjernet ved erosjonen (av is f.eks.) vil bergarter av sprø typer utvide seg, noe slike bergarter ikke tåler uten å sprekke opp. Dette antas å være en av de meget viktige prosesser som i det lange løp fører til utjevningen av et skarpt relieff. De store fjellskred i Tafjord og Loen i dette århundre er eksempler på denne prosess.

Mange urer i Lærdal synes å være gamle, sannsynligvis i hovedsaken ramlet ned kort etter at Lærdalsbreen forsvant. En tid har isbreen holdt massene på plass, eller har medført en delvis innspenning av fjellmassene. En del store blokker synes å være falt ned på breen i et sent stadium og har vært transportert en strekning med denne.

Glasiasjonshistorien

Det er her bare tale om den siste nedisning. De eldste skuringsstriper som finnes i stor høyde i viddenivået har en retning mot vest, svarende til isbevegelsens retning under maksimum av nedisning. Få slike striper er imidlertid kjent. Nær den dypt nedskårete Lærdal synes isbevegelsene lenge å ha fulgt denne dalen. Det er også en naturlig tanke at den dype Sognefjorden måtte være et stort avløp for breene, og at dette trakk brestrømmen til seg gjennom de dype dalene, Årdal og Lærdal (og Luster).

Vi har ingen brukbare data om Lærdalsbreen før Preboreal tid. Men på grunnlag av likheten mellom Lærdal, Årdal og Luster, og forholdene i Sysendalen - Eidfjord i Hardanger, vet vi at innlandsisen gjorde et fremstøt omkring midten av Preboreal, da det inntrådte en temporær klimaforverring, den siste vi kjenner som førte til brefremstøt under avsmeltningshistorien av den siste innlandsisen. Flere fremstøt foregikk i løpet av kanskje noen hundre år, og kulmi-

nerte omkring midten av Preboreal, for ca. 9 500 ^{14}C -år før nåtid.

Det Preboreale fremstøt er nærmere omtalt av Anundsen og Simonsen (1967). Fremstøtet da er også registrert, og til dels aldersbestemt, fra Nord-Norge og fra Oslo. I Lærdal ble det da avsatt lokale randmorener langs sidene av Lærdalsbreen som fylte dalen, og som også sendte mindre brearmer inn i noen av sidedalene. Det er ikke tale om sammenhengende sidemorener, men om kortere stumper, mange steder flere morenerygger i litt forskjellig høyde. Ved hjelp av disse ryggene, som er lett synlige på flybilledene, lar det seg gjøre å rekonstruere Lærdalsbreen i grove trekk. Breen hadde sitt utløp fra innlandsisen som lå over vannskillet på Fillefjell sammenhengende med isen over Østlandet. En annen breutløper ser ut til å ha strømmet over vannskillet fra Hemsedal over Eldrevatn og har flytt sammen med Lærdalsbreen i Mørkedalen. I den øvre del av Lærdal og i Mørkedalen må breen ha fylt dalen til omkring 1 350 m o.h., men med en stadig synkende overflate nedover Lærdal. Breen hadde en konveks overflate, og brearmene innover sidedalene har hatt et fall innover. I Kvamsdalen f.eks. ligger randmorenene i høyder mellom ca. 1 050 og 1 080 m o.h. Ved Lærdalsøra ligger tilsvarende stumper av sidemorene ennå en god del lavere, og de viser at breen gikk ut i fjorden.

En lokal bre må ha ligget over Berdalseken (1 814 m o.h.) uten sammenheng med innlandsisen. Fra denne breen har det vært utløpere til Berdalsflui og til Jotetjern. Breutløperen til Berdalsflui har fylt dette vatnet til utløpet og avsatt en lokal endemorene av en merkelig form, fig. 1, med to små rygger ut i vatnet nær utløpet. Breutløperen mot SØ har fylt Jotetj. 1 484 og videre ned bratthenget mot passet mellom Vetle Frostdalen og Slutedalen. Her er det skuringsstriper rettet SØ (160°) og to små endemorener.

Det må også ha vært en lokal bre over Raudbergsnuten (1 805 m o.h.), hvor det også i nåtiden ligger en liten aktiv bre ned mot Fossdalen (den eneste i nåtiden). Disse to høyeste fjellpartier innen blad Borgund kan si oss noe om glasiasjonsgrensen (bestemt ved toppmetoden) i Preboreal, vel å merke bare innen et meget begrenset område. Siden Raudbergsnuten bærer en liten aktiv bre i dag, dannet ved sammenblåsning av snø med den fremherskende vindretning fra SW, kan vi kanskje slutte at den lokale glasiasjonsgrense i nåtid ligger på ca. 1 800 m o.h. Det er ikke så sikkert at glasiasjonsgrensen i Preboreal lå så meget høyere, kanskje snaut 200 m høyere, idet vi må ta i betraktning landhevingen på ca. 100 m siden Preboreal.

Lærdalsbreen må ha forsvunnet i løpet av de resterende ca. 500 år av Preboreal, som må ha vært en varm tid. Fjellviddene var i slutten av Preboreal begynt å bli vegetasjonsdekket. Den raske nedsmelting av innlandsisen i løpet av ca. 500 år må ha ført til at all tilførsel av is til Lærdalsbreen må ha opphørt.

Vi vet at i begynnelsen av Boreal (ca. 9 000 - ca. 8 000 14C-år før nåtid) må breene i Norge ha forsvunnet (med mulig unntak for de aller høyest beliggende breer i Jotunheimen, sannsynligvis alle). Klimaet var varmere enn nåtidens, og holdt seg varmere helt til den Subatlantiske tid, da klimaet ble kaldere igjen. Nåtidens breer må ha vokst opp igjen da, for ca. 2 500 år siden. Disse breene, som er betinget av det kaldere klima, hadde sin maksimale størrelse omkring midten av 1700-tallet (noen få breer aller vestligst hadde sin største utbredelse noe senere). Den lille lokalbreen under Raudbergsnuten har en markert endemorene ut mot Fossdalen, som sannsynligvis markerer det maksimale fremstøt omkring midten av 1700-tallet. Breen i Preboreal på samme sted har nok vært en god del større, men tydelige spor etter denne mangler øyensynlig.

Dreneringshistorien

Dreneringen under isens avsmeltning har i overveiende grad fulgt de nåværende vassdrag. Det finnes en unntagelse ved Fagerselvatni nær den nedlagte seter Fagersete nord for Borgund kirkested. En utløper eller sidegren av Lærdalsbreen nådde til Fagersete under det Preboreale fremstøt, og tvang smeltevannet fra denne del av breen til å renne nordenom Duveskardnosi til Ljøsndalen. Smeltevannet har avsatt et breelvdelta fra øst ut i øvre Fagerselvatnet, på "utsiden" av den øverste morenerygg som demmer opp det nedre av de to vatni. Avsetningen av dette breelvdelta har foregått fra øst, hvor et markert smeltevannløp fører ned mot avsetningen, åpenbart langs brekanten. Den lave posisjon av moreneryggene (i alt fire) mellom ca. 1110 og 1150 viser at breoverflaten hadde et markert fall innover mot Fagerselvatni og Ljøsndalen. De høyeste morenerygger i dette området ligger i ca. 1 380 m o.h. på Svartehetta, og er nok dannet tidligere enn breelvavsetningen ved Fagersete.

Dreneringen har ellers måttet foregå under isbreen, subglasialt. Som bekjent er det alltid en breelv under en bre.

Jordartene

Jordarter avsatt av isen. Morenejordarter

Morene har to betydninger i norsk. Den ene betydning er en materialbetegnelse, den annen er en formbetegnelse, og betegner en rygg eller voll som er avsatt av isen.

Randmorener. En bre transporterer materiale frem til randen hvor det avsettes som en ryggformet voll når breen gjør et fremstøt eller brefronten er stasjonær, d.v.s. på samme sted i lengre tid. Etter hvor slike rygger avsettes i for-

hold til breen kalles de endemorene (avsatt ved fronten) eller sidemorene (langs siden). Randmorene er den felles betegnelse på disse. Det finnes en rekke morenerygger som markerer Lærdalsbreens fremstøt eller stillstand i Preboreal.

I Frostdalen er det små rygger i Frostdalsnosi i ca. 1 460 m's høyde, som er tolket som de høyeste merker etter breen i Preboreal. Ved munningen av Valdresdalen er det en markert morenerygg i ca. 1 340 m's høyde, og synes å markere en lokal utbukting av breen. Korte stumper av sidemorene finnes rundt Salen og Syndarhovd. Ved Borlosgrovi ligger tilsvarende små morenerygger i ca. 1 340 m's høyde, noe lavere enn ved Salen. Ved Kvenma i Kvamsdalen er der også rygger, som der ligger noe under ca. 1 100 m's høyde, nevnt under foregående avsnitt. Noen av ryggene nord for Borgund er også nevnt der. I sidedalene ligger moreneryggene lavere enn i fri posisjon ut mot dalen, noe som avspeiler breens konvekse overflate. Dette har betydning for å anslå snøgrensen i den tid (Preboreal) da breen gjorde sine fremstøt. Under snølinjen smelter breen mer enn årsnedbøren som snø, over snølinjen legger breen på seg mer enn det smelter, og breoverflaten blir da konkav og det dannes ikke sidemorener. De vestligste moreneryggene innen blad Borgund finnes omkring 1 200 m's høyde rett nord for Hegg.

På sørsiden av dalen finnes morenerygger ved Spjotåni nord for Eikishornane. Her er det et område med mer morenemateriale enn ellers i viddennivået omkring 1 300 m's høyde. Det er mulig at dette er et område hvor breen over Eldrevatn fløt sammen med Lærdalsbreen. Nordgående smeltevannløp kan tyde på dette. En kort morenerygg finnes også i vestskråningen av Ulvisnubben i ca. 1 300 m's høyde.

Sør for Mørkedalen finnes små morenerygger omkring Heftingdøla. Høyden er vanskelig å angi etter kartets høydekurver her.

De vestligste moreneryggene sør for dalen finnes i Losknuten og sør for Kyrkjevollstølen i ca. 1 170 m's høyde.

Bunnmorene. En bre opptar materiale fra fjellgrunnen på forskjellig måte, ved plukking og ved løsrivning ved hjelp av det materiale som breen fører med seg i sin under del, sålen. Så lenge breen beveger seg føres dette innefrosne materiale med i sålen, eventuelt frem til breranden. Men hvis breens bevegelse stopper opp og breen deretter smelter vekk, blir materialet liggende igjen der hvor det befant seg da bevegelsen stoppet opp. Det er den viktigste jordart i nær sagt alle deler av Norges innland over den marine grense. Det er denne jordart som danner grunnlaget for det meste av planteveksten og det som gjør Norges innland beboelig. Det er også den viktigste og mest utbredte jordart innen blad Borgund.

Bunnmorenen er av form som et dekke, og er angitt på kvartærkartet med grønne farger, ett mørkere grønt hvor morenedekket er sammenhengende, og et lysere grønt hvor dekket er usammenhengende med bart fjell eller særlig sparsomt morenemateriale i veksling.

Bunnmorenens egenskaper skal her bare omtales i ganske korte trekk. Den inneholder alle kornstørrelser fra leir til blokk hvis materialet ikke er omleiret og utvasket senere. Og dette betinger flere karakteristiske egenskaper. Men mengdeforholdet mellom kornstørrelsene kan variere temmelig meget. Vi sier at den er usortert, og som regel heller ikke lagdelt. Vanngjennomtrengeligheten er derfor liten, men holder til gjengjeld godt på jordfuktigheten og oppløste næringsemner. At den er tørketålende spiller mange steder en stor rolle for de fleste slags nyttevekster, både dyrkede og viltvoksende. Mineralinnholdet, og dermed også den kjemiske sammensetning er preget av den fjellgrunn som isen har hentet mineralpartiklene fra, særlig den nære fjellgrunn i den retning isen kom fra. Det

henger sammen med at isen under sin glidning henover fjellgrunnen opptar nytt materiale hele tiden, slik at det lengere transporterte materiale stadig "fortynnes" med kortere transportert materiale. Fjellgrunnens bergartstyper bestemmer derfor i ganske høy grad mengdeforholdet mellom de forskjellige kornstørrelser like så vel som det kjemiske innhold. Finkornige og erosjonssvake bergarter gir et høyere finstoffinnhold (silt og leir) enn hårde og oppsprukne bergarter. Glimmerskiferområdet har gitt både et høyere finstoffinnhold og dessuten mer morenemateriale enn de hårde gneisene i høyfjellsplatåene nord og sør for Lærdalsdalføret. Finstoffinnholdet i glimmerskifermorene er høyere også på grunn av at glimmerskier knuses lettere ned under isens transport-påkjenning.

Ablasjonsmorene. Denne term er definert som det materiale som ble liggende på isens overflate under nedsmeltningen. Det er gjerne noe utvasket for de finkornige bestanddeler på grunn av dette. Ablasjonsmorenen har sjelden form som et sammenhengende jevnt dekke, men har gjerne en hauget overflate, fordi materialet på isoverflaten ble skyllet ned i søkk i isoverflaten under den siste fase i avsmeltningen. På grunn av dannelsesmåten ligger ablasjonsmorenen ovenpå bunnmorene, i tilfelle begge typer er til stede.

Det er lite ablasjonsmorene innen blad Borgund, og da vesentlig begrenset til Frostdalen og nord for Grønevatn. På kvartærkartet er ablasjonsmorene bare angitt som røde tegn for hauger på grønn bunnfarge.

Jordarter avsatt av smeltevann. Breelvavsetninger.

Det er påfallende lite breelvavsetninger innen blad Borgund. Det henger sammen med den omstendighet av smeltevann under isens avsmeltning har fulgt de nåværende vassdrag. De få eksisterende breelvavsetninger er angitt med

orange farge på kvartærkartet. Det er noen små forekomster ved øvre og nedre Smeddalsvatn og i en terrasse ved elven nedenfor Maristov, og så er det det lille breelvdelta ved Fagersete som er omtalt under dreneringshistorien. Videre er det noen små såkalte eskere i Oddedalen øst for Maristova. Det er markerte rygger av breelvmateriale avsatt subglasialt (inn under isen i hoveddalen da denne strakte seg innover sidedalen).

Elve- og bekkeavsetninger avsatt etter at isen forsvant

Slike yngre avsetninger kalles helst for postglasiale (etter at isen forsvant).

Det er to typer av denne slags avsetninger innen blad Borgund. Den ene type er elveslettene, den annen type er grusvifter.

Elveslettene finnes langs hovedelva, vesentlig mellom Solum og Borgund. De består mest av sand, avstt av Lærdalselva under flom. De er dyrket fra gammel tid.

Det er to større grusvifter, den ene ved Mørkedølas utløp ved Borlo. Den er vesentlig skogbevokst. Den annen er ved Kvammas utløp, hvor også Volldøla har lagt opp en del av viften. Denne grusviften er flatere enn Mørkedølas vifte, og er delvis oppdyrket. Mindre grusvifter finnes ved Horgje og Voldum. Materialet i grusviftene består av grovere materiale øverst og mer av sand i den laveste del, slik at de nederste delene av grusviftene er dyrket i en viss utstrekning. En liten grusvifte er lagt opp av Grøna nær vannskillet på Fillefjell.

I den nordvestlige snipp av kartbladet Borgund har Geisdøla lagt opp en bratt grusvifte som fortsetter inn på nabolandet Lærdalsøyri, hvor Årdalstangen ligger. Den øverste del av denne grusviften er angitt som breelvavsetning. Grunnen

til dette er antagelsen av at viften ble anlagt under avsmeltningen av Årdalsbreen i Preboreal. Senere er den nedre del av grusviften anlagt, hvor bebyggelsen på Årdalstangen ligger. Geisdøla følger en bratt og trang sidedal og fører til dels grovt materiale under sterk flom. Mesteparten av det grove materiale ligger på den øvre bratte del av grusviften. Grusviften antas å være ansvarlig for oppdemningen av Årdalsvatnet, i hvert fall medansvarlig. Årdalselvi renner over steinet materiale som ikke kan ha kommet gjennom Årdalsvatnet. Det som kompliserer avsetningene på Årdalstangen er at den nedre del av grusviften består av sand og grus avsatt i fjorden etter at breen var forsvunnet, men mens havet ennå stod omtrent 100 m høyere enn i nåtiden til å begynne med, gradvis lavere ettersom den isostatiske landhevningen foregikk.

Ur

Det er mange urer innen blad Borgund, særlig under de bratte berghammere i dalsidene i Lærdalen og sidedalene. De er ikke blitt studert særlig, og det er ikke lagt større vekt på kartleggingen av dem, da bladet Borgund ble utarbeidet tidlig som grunnlag for det kvartærgeologiske oversiktskart Jotunheimen og det hastet å få bragt et slikt grunnlag til veie. Urer dannes ved nedfall av steinblokker fra brattheng, og det er alminnelig antatt at frostsprengning er viktig i prosessen med å løsne blokkene. Men fjellets oppsprekningsmønster spiller også en viktig rolle. Det meste av urene antas å være dannet kort etter at Lærdalsbreen forsvant, til dels allerede under nedsmeltningen av breen i Preboreal.

Organiske jordarter. Torv

Den eneste type organiske jordarter innen blad Borgund er torv. Det er svært lite av dette innen blad Borgund, og er

begrenset til små myrer som er angitt på de topografiske kartgrunnlag med eget tegn. På kvartærkartet er noen markert med en T. Tykkelsen av torvlagene er liten, for det meste 1 m eller mindre. Det er ikke gjort særlige torvundersøkelser.

Antropogene dannelser

Antropogen betegner "ved menneskets virksomhet".

Kvartærkartet ble bragt i stand før Lærdalsutbyggingen var påbegynt, og de antropogene dannelser i forbindelse med denne vassdragsutbygging er derfor ikke kommet med på kartet. Det vil særlig være steintippene og damanleggene som representerer de forandringer i naturen som er gjort, herunder også forandringer av de naturlige vannsystemer.

Anleggene i forbindelse med Årdalsutbyggingen var utført før kartet ble laget. I den nordlige del av kartets område er flere mindre elver, Berdalselvi og Fossdøla, overført til Årdals kraftverk.

Klimaforandringene i Holocen

Holocen er betegnelsen på tiden etter Yngre Dryas-tiden, som sluttet om lag for 10 000 år siden. Yngre Dryas var en kald tid, av varighet ca. 1 000 år, med store synkrone brefremstøt i Norden. Yngre Dryas er valgt som sluttfasen i Weichsel-istiden ut fra forekomster fra denne tid i Nord-Europa som kan dateres ved flere metoder, bl.a. ved datidens plantefossiler og dyrefossiler samt ved organisk materiale som kan dateres ved ^{14}C -metoden.

Etter Yngre Dryas fulgte en kort periode med varmt klima og sterk isavsmeltning, men denne periode var kort. Den aller første del av Holocen varte neppe mer en 2-300 år, før en relativt kortvarig klimaforverring inntrådte igjen, av sannsynligvis ca. 200 års varighet.

De første 1 000 år etter Yngre Dryas er kalt Preboreal, nevnt under avsnittet om glasiationshistorien. Fra omkring midten av Preboreal ble klimaet atter varmt, med sterk isavsmeltning, slik at det som var tilbake av innlandsisen og breutløperne mot vest forsvant. Ved slutten av Preboreal var fjellviddene begynt å bli vegetasjonsdekket.

Den følgende tid er kalt Boreal. Det er også nevnt under glasiationshistorien at breene i Norge forsvant i Boreal, som var en tørr og varm tid, som varte fra ca. 9 000 til ca. 8 000 år før nåtid. Etter at den første pionervegetasjonen var innvandret allerede i Preboreal, med gressarter og urter, dvergbjørk og einer, i viddenivået, etablerte furuen seg som skogstre i Boreal, med en skoggrense flere hundre meter høyere enn nåtidens. Bjørk etablerte seg også meget tidlig. I lavlandet vandret enkelte løvtrær inn i tillegg til bjørk og furu, således or og hassel. Det er jo ikke mye lavland innen blad Borgund, men denne grovt skisserte vegetasjonshistorie nevnes likevel for fullstendighets skyld. For viddenivåets vedkommende har det også interesse å nevnte at den høye skoggrense i Boreal delvis, men ikke i sin helhet, skyldtes at innlandet fremdeles var nedtrykket på grunn av innlandsisens vekt under tidligere tider, men ennå ikke oppnådd isostatisk likevekt etter at isen var borte. En del av den høye skoggrense skyldtes også det varmere klima enn nåtidens. Furskog vokste da bl.a. ved Tyin, som funn av store furustokker i en liten myr viser, funnet under gravning for veganlegg langs østsiden av vatnet i mer enn 1 100 m's høyde.

Den tid som fulgte kalles Atlantikum, og var en varm og fuktig tid. Dette klima varte ca. 3 000 år inntil for ca. 5 000 år siden. Myrene vokste i denne tid, begunstiget av nedbør og varm fuktighet. I kyststrøkene på Vestlandet ble myrene så fuktige at furskogen døde ut. En del mer varmtelskende løvtrær vandret inn i lavlandet, som Eik, Lind etc.

Den varmeste tid siden nedisningen var i slutten av Atlantikum ved overgangen til Subboreal. Da vandret edellauvskogen inn i lavlandet i Sørlandstraktene, lønn og den mest varmekrevende av trærne, bøken.

Subboreal var en varm og tørr tid, som varte til ca. 2 500 år før nåtid. Myrene tørket opp igjen, og furuskogen vandret inn på ny.

For ca. 2 500 år siden ble klimaet både kaldere og fuktigere igjen. Dette er den Subatlantiske tid, tiden vi lever i. På Østlandet og i Trøndelagen vandret granen inn, og fortrent delvis furuskogen, og er blitt det viktigste nåletré i disse deler av Sør-Norge. På Vestlandet er det bare på Voss at det vokser naturlig granskog, men det er en oppfatning blant flere forskere at granen ennå ikke har nådd sin totale utbredelse. Enkelte steder i fjordområdene på Vestlandet er det i dette århundre plantet inn gran, og i senere tid også Amerikanske grantyper som synes å slå godt til.

Det kaldere klima i Subatlantikum førte til at breene vokste opp igjen på nytt etter å ha vært borte i syv tusen år så langt vi vet. Men det har også forekommet klimavariasjoner i løpet av Subatlantikum. Den kaldeste tiden siden siste nedisning inntraff i 1 600- og 1 700-tallet, da breene rykket frem, med den største utbredelse omkring midten av 1 700-tallet. Denne kalde tiden var også preget av store uår, og rekker av uår, som det finnes beretninger om i Ivar Leivens bøker fra Gudbrandsdalen, på grunnlag av muntlige fortellinger i disse trakter. Også breene i Jotunheimen, i Sogn (Nigardsbreen) og i Nordfjord gjorde sitt største postglasiale fremstøt omkring midten av 1 700-tallet. Det finnes opptegetninger om disse brefremstøt i gamle jordebøker og de er derfor historisk fastslått.

Uår med sommerfrost på korn og andre nyttevekster forekom også i begynnelsen av 1 800-tallet (1809 og 1814, som falt sammen med krigsårene). Siden har breene gått tilbake, med enkelte kortvarige fremstøt senere. I det 20. århundre har breene stort sett minket, særlig fra 1930 årene og utover, og virkelige uår har ikke forekommet i større utstrekning i dette århundre. Akkurat for tiden synes breenes tilbakegang å ha minsket en del, med enkelte år da det har vært et materialoverskudd på noen av breene.

Denne grove oversikt over klimavariasjonene i Holocen bygger på mange faglitterære arbeider, og er bare ment som holdepunkt for spesielt interesserte, som ikke har anledning til å få tak i de vitenskapelige arbeider. Det kan opplyses at en av de viktigste metoder for å finne ut om treslagenes innvandring er pollenanalysen, studiet av pollen (blomsterstøv) i torvlagene. Det er så vidt vites ikke utført pollenanalyser av torvlag innen blad Borgund, og de pollen-data som oversikten bygger på stammer fra undersøkelser andre steder. De omtrentlige tidsangivelser for klimavariasjonene bygger på radiologiske dateringer av organisk materiale, trestubber, torv- og gytjelag, etter ^{14}C -metoden. Også denne metode bygger på visse forutsetninger, bl.a. at produksjonen av den radioaktive karbonisotop ^{14}C i den øvre del av atmosfæren har vært konstant inntil prøvesprengningene av de kjernefysiske våpen i atmosfæren fant sted omkring begynnelsen av 1960-årene. Det skal ikke her gåes nærmere inn på mulige feilkilder ved slike radiologiske dateringer, men antydes at det neppe bør settes likhetstegn mellom ^{14}C -dateringer og kalenderår. Det er imidlertid usannsynlig at det er særlig store avvik. Det riktige er å angi tidspunktene med helt runde tall, selv om laboratoriebestemmelsene av prøver er utviklet til stor presisjon.

Ressurser og ressursforvaltning.

De geologiske ressurser innen blad Borgund er begrenset til morenedekket, som for det aller meste er temmelig sparsomt og usammenhengende. Området er sparsomt befolket. Det er derofr lite jordbruk, fast bosetning er begrenset stort sett til selve Lærdal. Det er også dyrket en del post-glasiale elveavsetninger i dalen. For dem som driver dette beskjedne jordbruk spiller dette naturligvis stor rolle. Tidligere kunne også beitestrekningene i noen av sidedalene utnyttes ved seterdrift, men dette er for en stor del nedlagt. som så mange steder ellers i landet. Alt i alt er jordressursene små. Det sparsomme morenedekke gir i dag grunnlag for sauebeite og noe geit, så helt unyttet er beitestrekningene ikke.

Det finnes ingen større ressurser av nyttbare sand- og grusforekomster. Nabokartbladet Lærdalsøyri er bedre utstyrt med slike.

De viktigste naturgitte ressurser innen kartbladet i dag er nok vannkraftmulighetene, som allerede er tatt i bruk etter at feltarbeidet innen bladet ble utført (i 1960-årene) gjennom utbyggingen for Lærdal kraftverk. Men disse ressurser faller utenom de rent geologiske, og er betinget av storformene og nedbøren.

Å forvalte de geologiske ressurser på en fremtidsrettet måte vil bety å ta var på den dyrkningsjord som finnes. Beitestrekningene er neppe truet, mmen de ligger som en mulig ressurs i en fjernere fremtid ettersom jordens befolkning øker og matknapphet i mer global målestokk kan tenkes å øke tilsvarende.

Lærdals betydning for kommunikasjonene

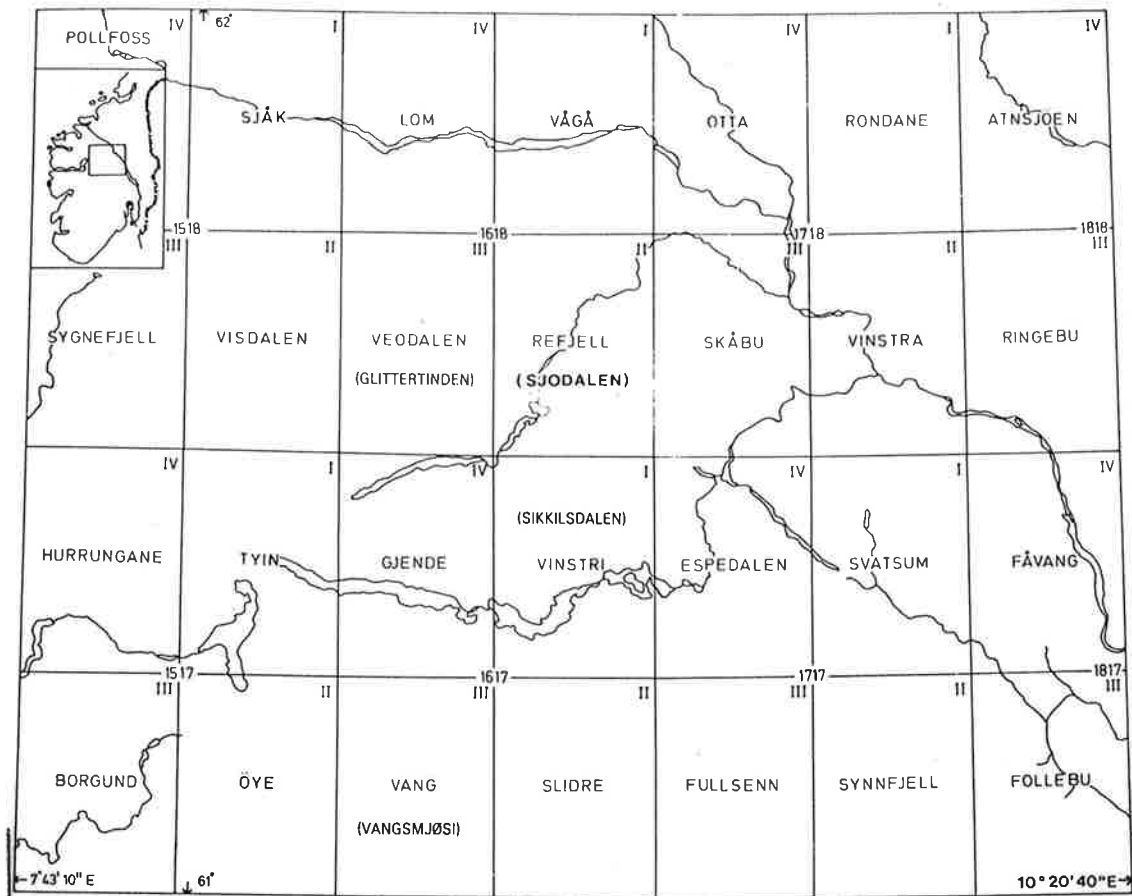
Det er fristende å tilføye noen ord om vegen gjennom Lærdal. Den store betydning som ferdselsveg mellom Østlandet og Vestlandet ligger i at Fillefjell er den laveste fjellovergang sør for Lesjaskog, og denne vegen har hatt en viktig historisk betydning gjennom århundrer. Den gamle vegen over Vindhella, som omsider ble fredet i 1970-årene, vitner om vanskelighetene med å lage en kjøreveg gjennom den trange og uvegsomme dalen. Vegen gjennom Lærdal er fremdels den sikreste og mest pålitelige vegforbindelse mellom de to nevnte hovedlanddeler. Forbindelsne over Fillefjell betød mer i gamle dager. Valdresdalførene, som hadde mindre god vegforbindelse med det øvrige Østlandet, ble delvis befolket via Lærdal, og ferdselen mellom Valdres og Lærdal betød mer for handelssamkvemmet mellom disse bygdene i gammel tid enn nå.

Litteratur.

Anundsen, K. og Simonsen, A., 1967: Et Pre-Borealt fremstøt på Hardangervidda og i området mellom Bergensbanen og Jotunheimen. Årbok for Universitetet i Bergen - Matematisk-Naturvitenskapelig serie, 1967, No 7.

Det finnes omtrent ikke kvartærgeologisk litteratur vedrørende Lærdals-området utenom det ovennevnte arbeidet. Men i litteraturlisten til dette er det angitt en rekke arbeider før 1967 som er relevant i forbindelse med det Preboreale fremstøt.

Holmsen, P., 1982: Jotunheimen. Beskrivelse til kvartærgeologisk oversiktskart M 1:250 000 (med farge-trykt kart). Nor.geol.unders. Nr. 374.



Nøkkelkart Jotunheimen, alle enkeltkart 1:50 000, serie M 711.



Fig. 1. Berdalsflui endemorene. Blad Borgund 1517 III. Preboreal, dannet av en lokalbre over Berdalsseken som da har fylt Berdalsflui (vatnet) fra vestsiden. Endemorenen har en merkelig ensidig og skjev form, og har to små ryggformete forlengelser ut i vatnet (sees ikke på figuren). UTM 427 870, mot NW. Fot. P. Holmsen (personen tilv.) 8/8-1968.