

## **Geologi og vannboring**

*Kambro-silurbergartenes hydrogeologi i Mjøstraktene*

*Meddelser fra vannboringsarkivet nr. 3*

AV

STEINAR SKJESETH

Med 10 tekstfigurer

### **Innledning**

I 1952 ga statsgeolog P. Holmsen en orientering om vannboringsarkivet ved N.G.U. og dets arbeidsgrunnlag. Han nevner kort de viktigste opplysninger vi ønsker om borebrønner og som er nødvendige for oss ved studiet av boringsresultat og vannets opptreden i fjell. De siste år er den hydrogeologiske virksomhet ved N.G.U. utvidet. En søker nå i størst mulig utstrekning å gi råd og vegledning ved all grunnvannforsyning. Ut fra erfaringer og kjennskap til geologien vil vi gi opplysninger om de muligheter grunnvannet i våre jord- og bergarter byr på ved løsning av vannspørsmålet i de forskjellige distrikter. Dette arbeid utføres i samarbeid med de lokale planleggere. Samarbeidet med de forskjellige borfirmaer har vært til stor hjelp ved innsamling av boringsresultater.

Opplysning om boringsresultater kommer inn til Norges geologiske undersøkelse direkte eller gjennom borfirmaene. Hver borebrønn får sitt eget nr. og opplysninger vedrørende boringen blir ført opp på et arkivkort. Et slikt utfylt kort sees på fig. 1. Kortene fylles gjerne ut av borfirma og geolog. Beliggenheten av borebrønnen avmerkes på topografiske kart med nr. og angitt vannmengde.

Resultatene av siste års boringer har stort sett vært svært tilfredsstillende og bekreftet betydningen av brønnboring ved vannforsyning her i landet, særlig i landdistrikter med spredt bebyggelse. Bor-

ingsresultatene varierer sterkt både med hensyn til dybde og vannføring. En har ikke bare variasjoner fra bergart til bergart men også innen samme bergartsformasjon.

Statistikk over eller opplysninger om boringsresultat i de forskjellige bergartsformasjoner eller områder gir ikke uten videre grunnlag for uttalelse om mulighetene for å skaffe vann ved boring på et nytt sted. En slik uttalelse bør bygge på første hånds kjennskap til de lokale geologiske og topografiske forhold. Studiet av den enkelte borebrønn er avgjørende for forståelsen av de forskjellige problemer ved vannets opptreden i fjell. Derfor har vi de siste år besøkt flest mulige boreplasser. I disse tilfellene er det gitt anvisning om plasering, og boringene blir fulgt opp under arbeidet.

Bare for enkelte områder og bergartsformasjoner synes de statistiske opplysninger å kunne nyttes generelt. Dette gjelder f. eks. de permiske rombeporfyrene i Oslo-feltet (Vestfold) (P. Holmsen 1952 s. 8) og de mektige kalk- og sandsteinsformasjonene i Oslo-feltets Kambrosilur. En slik statistikk over resultater fra slike bergarter i Mjøstraktene vil bli gitt nedenfor. Ellers har «sparagmitt-formasjonenes» bergarter i det sentrale Sør-Norge gitt gode resultater. — Bløte skifre og mange planskifrige bergarter gir lite vann. Boringen frarådes f. eks. i alunskifer og tette leirskifre i Oslo-feltet (Skjeseth 1952, s. 17).

Variasjonene i vannføring er særlig stor innen grunnfjellsområdene. Granitt, gneissgranitt og massive gabbroer gir oftest lite vann, mens boringer innen gneissområder som regel gir bra med vann. Heller ikke her gjelder statistikken for de enkelte tilfeller. En kan unntakelsesvis oppnå store vannmengder innen grunnfjellsgranitter og helt negative boringer i gneiss-bergarter. Ut fra dette er det innlysende at bergarten som sådan ikke direkte er bestemmende for vannføringen.

#### *Vann i fjell —*

Som påpekt av P. Holmsen (1953) er nesten alle norske bergarter lite porøse. Unntakelser er rombeporfyrene f. eks. i Vestfold og de geologisk unge Brumunddal-sandsteiner og rombeporfyrikonglomeratet i ytre Oslofjord.

Vannet i norske bergarter opptrer i sprekker og sprekkesystemer. Studiet av grunnvann i fjell her i landet krever derfor kjennskap til sprekker i fjell, hvordan de er dannet og deres forløp horisontalt og mot dypet. Størrelsen, utstrekningen og forbindelsen mellom de

Norges Geologiske Undersøkelse  
 Josefinesgt. 34, Oslo  
 Hydrogeologisk seksjon.

Kartblad G. 32 Ø.  
 Bh. nr. 58

Beliggenhet: Asla, Veldre, Ringsaker.  
 Fylke: Hedmark Kommune: Ringsaker. Høgd. o.h. ca. 270 m.  
 Eier: Haugen, O. M.  
 Adresse: Asla, Veldre st. Tlf.nr. 45144 Hamar -sentral  
 Borfirma: N.N. Bh. utført: 20/12 19 55.

Jordlag: Dybde til fjell: 1 m. Beskaffenhet: morene

Total dybde av bh.: 70 m.

Fjellart: Mjøskalk (flattliggende)

Vanninnløp: 45 m. 60 m. 70 m. m

Vannføring: 6.000 liter/time. Prøvepumpet: 14 timer

Prøvepumping:

1.	Dybde		Varighet:	timer.	Vannføring:	
	<u>45</u>	m.			<u>300</u>	l/t.
2.	<u>60</u>	"	"	"	<u>700 - 1000</u>	"
3.	<u>70</u>	"	"	<u>14</u>	"	<u>6000</u> "

Vannstand i bh. etter prøvepumping: 9 m. fra markoverflaten.

Vannets kvalitet: Farge: klart Smak: ingen

Lukt: ingen Temp.: \_\_\_\_\_

Analyse: ingen

Korrespondanse, befaring m.v.: Befaring v/ Steinar Skjeseth 25/10 - 1955.

Resultat av boring på nabogården Døhli ca. 400 m. SØ for Asla:

70 m. - 4000 l/t. (G.32 Ø. bh. nr. 26).

Forandring i eiendomsforhold: \_\_\_\_\_

Fig. 1. Eksempel på utfyllt arkivkort fra Vannboringsarkivet ved NGU.  
*Spesimen card from the water-drilling records of NGU.*

enkelte sprekkene avgjør hvor mye vann fjellet kan oppta og magasinere (magasineringsevnen).

I kalksteiner er sprekkene ofte sekundært utvidet av vannet. Regnvann inneholder kullsyre og i tillegg opptar det ofte humussyrer før det trenger ned i kalksteinen. Langs sprekkene løser dette vannet opp kalksteinen. Senere utvides sprekkene også mekanisk. Til slutt får en utviklet kanaler og hulrom i kalksteinen. Vannets oppløsende virksomhet er særlig stor på og nær dagoverflaten over grunnvannet. Kalken får derfor ofte en furet overflate. Det oppstår vertikale kanaler. Overflatevannet renner ned i slike «sluk», og samles i hovedkanaler helt fra dagoverflaten. Det er påvist at grunnvannet også løser opp kalksteinen under «grunnvannsspeilet». Nede i kalken oppstår på den måten kanaler og huler. Kalkgrottene i Nordland er dannet slik. Også i kalksteiner innen Oslo-feltet har vi eksempler på slike dannelser. Tjern dreneres delvis gjennom kalk, og bekker har underjordiske løp i kalksteiner (s. 30). Det er klart at vannets oppløsende virksomhet har stor betydning for kalksteinenes hydrogeologi. Nedtrengningen av vann fra dagoverflaten økes og kalksteinens magasineringsevne kan mangedobles.

#### *Grunnvann — grunnvannsspeil. —*

Under et bestemt nivå i jord og fjell vil alle porer og hulrom være fylte med vann. Dette nivået kalles grunnvannsspeilet og vannet under det grunnvann. En regner vanlig med at grunnvannspeilet stort sett følger terengoverflaten. Dette forutsetter at grunnen er homogen (f. eks. sand). Grunnvannet i fjell følger ikke de samme regler. Det har uregelmessig form bestemt av sprekkenes forløp. Ugjennomtrengelige lag skiller ofte mellom forskjellige sprekkesystem, slik at de magasin sprekkene representerer ikke kommuniserer. På den måten får vi mer eller mindre isolerte grunnvannsmagasin i fjellet (se side 20).

Observasjoner av vannstanden i borhull etter avsluttet boring er viktig for forståelsen og bedømmelse av resultatet. Vannstanden viser naturlig store variasjoner også lokalt. Ofte finner en isolerte grunnvannsmagasin med eget grunnvannspeil.

I mange tilfeller renner borhullene over. Slike «artesiske» brønner får en når en skjærer sprekker der vannet står under trykk.

Topografien spiller en stor rolle. Der vannførende sprekker

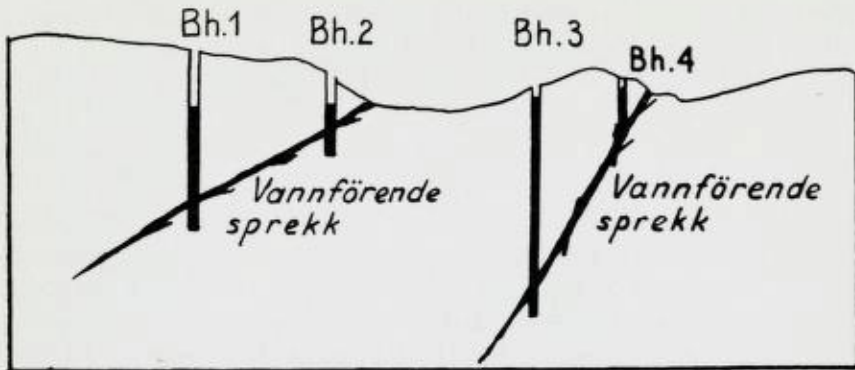


Fig. 2. Dybden av borehullene (Bh) avhenger av på hvilket dyp en skjærer vannførende sprekker. Den skjematisk tegningen (vertikalsnitt) forklarer hvorfor dybden ofte varierer lokalt.

*Schematic drawing (cross-section) to explain great local variations in depth of drilled wells.*

munner ut i daler har en naturlige kilder. Studiet av slike kilder gir viktige opplysninger om bergartenes og distriktets hydrogeologi. Nivået og karakteren av munningen til slike oppkommer er bestemmende for grunnvannstanden i det magasin som dreneres. Trangt utløp med stor motstand betinger en høyere grunnvannstand i magasinet enn i tilfelle der motstanden er liten (se side 25).

Bevegelsen av grunnvannet i fjell vil oftest være hurtigere enn i porøse avleiringer, da friksjonsmotstanden er mindre. Vannet samles gjerne i «hovedkanaler» som tilføres vann fra sidesprekker. Største bevegelse foregår i grunnvannspeilets nivå, men det er også vanlig med grunnvannbevegelse langt under dette nivå.

#### *Dybde av borhull. —*

Dybden av en boring avhenger av på hvilket dyp en treffer vannførende sprekker og karakteren av det sprekkesystem en får vann fra. Dybden av bh. varierer naturlig sterkt lokalt. Et eksempel på hvordan lokale variasjoner kan oppstå er gitt på fig. 2. Borehullene 1 og 2 får vann fra samme skråttstilte sprekk, men bh. 1 må bores dypere. Bh. 3 og 4 får vann fra en steilere sprekkese. Figuren viser at dybdene kan bli mest forskjellige lokalt innen områder med steiltstående

sprekkesystemer. — I områder der en har regelmessige sprekkesystem vil en i mange tilfelle kunne forutsi dybden av slike borhull ved å måle helningen (fallet) av sprekkene i dagen og beregne forløpet mot dypet. I kambrosilur-bergartene kjenner vi tykkelsen av de enkelte formasjoner, og kan slik forutsi de enkelte formasjoners opptreden på dypet.

I områder med flatt-liggende lag eller horisontal-oppsprekking av fjellet, er sjansen for å treffe vannførende sprekker størst, og borebrønnene blir her ofte grunnere. Flattliggende kalksteiner gir bedre resultater enn steiltstående (se fig. 9).

Sprekk-frekvensen og størrelsen av sprekkene avtar mot dypet. Enhver fortsettelse av en boring over en viss dybde bør derfor være begrunnet.

#### *Prøvepumping, grunnvannmagasin. —*

Vannføringen i et borhull måles ved prøvepumping i forbindelse med boringen og angis i liter pr. time. Prøvepumping er viktig for bedømmelse av det magasin som borhullet drenerer, en kan ikke bruke de samme målemetoder som ved boringer i porøse lag. Ved slike kan en som kjent beregne borhullets og det vannførende lags vannføring ved senkningen av grunnvannspeil pr. tidsenhet. Dette forutsetter kjennskap til materialets kornstørrelse og mektighet av vannførende lag.

Liknende observasjoner nyttes ved boring i fjell ved å måle tilrenningen. En tømmer borhullet og måler stigning av vannet i hullet. Dette gir en god forhandspeiling av hullets vannføring, men gir imidlertid sjelden opplysning om magasinets vannføring og størrelse.

Prøvepumpingen bør foregå kontinuerlig i flere timer, 8 timer er vanlig. Som regel har en da en konstant vannføring. I mange tilfelle er ikke 8 timer tilstrekkelig. Det hender ofte at vannføringen synker til et minimum av det opprinnelige, eller helt holder opp. En slik senkning skjer gjerne trinnvis. Magasinet må ha tilførsel enten fra dagoverflaten eller helst fra nærliggende magasin. For å vise betydningen av prøvepumping skal jeg ta et eksempel. (se fig. 3). Et borhull (bh.) ga til å begynne med 6000 pr. time. Etter 6 timers prøvepumping falt vannføringen til 1000 l pr. time og etter ytterligere 6 timers prøvepumping til 500 l pr. time, som borhullet ga ved videre kontinuerlig pumping. Fig. 3 gir en skjematisk fremstilling av og forklaring på forløpet av prøvepumpingen.

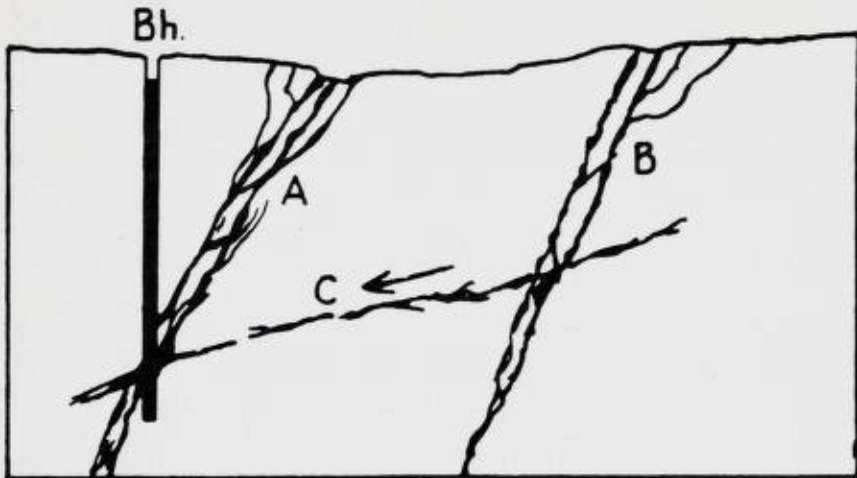


Fig. 3. Eksempel på begrensede grunnvanns-magasin. Borehullet skjærer et sprekkesystem (magasin A) som tilføres vann fra et nærliggende sprekkesystem (magasin B) gjennom sprekkesone C (vertikalsnitt).

*An example of individual ground-water magazines. The drilled well derives water from a fracture system representing a magazin (A), which is mostly supplied from a nearby fracture system (B) via the fracture C.*

Borhullet skjærer et sprekkesystem og drenerer først det magasin sprekkene representerer med en hastighet av 6000 l pr. time. Størrelsen av magasin A er ca. 30 000 l. Magasin A tilføres hovedsakelig vann fra et annet sprekkesystem (magasin B) gjennom forbindesprekker (C). Resultatet av pumpingen viser at vannføring fra A til B er mindre enn 1000 l pr. time. Magasin B inneholder ca. 5000 liter. Den konstante vannføring 500 l pr. time er et mål for samlet tilrenning til magasinene A og B fra dagoverflaten og fra mindre sprekker i fjellet.

Eksemplet viser betydningen av nøyaktige målinger av vannføringen til enhver tid. I dette tilfelle ville 6 eller 8 timers prøvepumping vært for lite om vannbehovet på stedet hadde vært konstant 1000 l pr. time eller 24 000 l pr. døgn.

Det hender og at en treffer «lommer» i fjellet uten tilførsel av betydning. Størrelsen av slike veksler sterkt. En kjenner eksempler på lommer i fjell av størr. orden 100 m<sup>3</sup>. Slike lommer finnes særlig i

grunne borhull. Stor vannføring og jevn og varig senkning av vannstanden i borhullet tyder på at en er kommet i en slik beholder uten nevneverdig tilsig.

Slike begrensede grunnvannmagasin kan ha stor betydning for den enkelte boring, idet de tjener som reservebeholdere som fylles når pumpen ikke er i gang slik at en ofte kan nytte en pumpe med større kapasitet enn den konstante vannføring tilsier.

Det vil være ønskelig og av stor betydning å få montert vannmålere ved noen av våre borebrønner i fjell. Ved hjelp av forbruksmålinger kunne vi skaffe rede på bergformasjonenes magasinerings-evne og hvor stor del av nedbøren som renner ned i fjell-sprekkene. Til slike målinger måtte en velge brønner som drenerer bergmasser av noenlunde kjent størrelse. Flere av øyene våre ville være godt egnet til slike undersøkelser.

Observasjoner av vanninnslag under boringen er av stor betydning for bedømmelse av borebrønnen. — Vanninnslag nær dagen er ofte uheldig og bør støpes bort da de gjerne står i direkte forbindelse med dagoverflaten og lett gir forurenset vann.

#### *Vannets kvalitet. —*

Det er dessverre utført alt for få analyser av vann fra våre borebrønner i fjell. De utførte analyser viser at en må være forsiktig ved plasing av borebrønner slik at vannet ikke forurennes fra dagoverflaten. En bør stort sett ta de samme hensyn ved plasing av borebrønn som er vanlig ved brønngraving. P. g. a. den hurtige sirkulasjon av vann i fjell oppnår en sjelden den selvrensing som er vanlig i porøse lag.

Jeg skal ganske kort nevne de bergartsformasjoner som har gitt ubrukbart vann der forurensningen skyldes selve bergarten. De kambriske alunskifre gir vanligvis sterkt svovl- og jernholdig vann. Dette gjelder særlig de overkambriske skifre. En boring i den såkalte Biriskifer ga svovlholdig vann. Enkelte ordoviciske skifre har gitt dårlig vann. (Ogygiocaris-skifer). Ved boringer i silurformasjonene har den såkalte Pentameruskalk (Borealiskalken) flere steder gitt sterkt svovlholdig vann. Denne kalken, som hovedsakelig er bygget opp av tykkskallede brachiopodeskjell gir svovlvannstoff ved slag (stinkkalk). Ved finknusing av denne kalksteinen under boring utvikles svovlvannstoff. I enkelte tilfelle har vannet blitt brukbart etter lengre tids pumping.



## Kambro-silurbergartenes hydrogeologi i Mjøstraktene

I 1952 ga jeg en oversikt over boringer i Mjøstraktens Kambro-silurbergarter og pekte på de muligheter som disse bergarter ga som vanngivere ved dypboring. Siden er denne form for vannforsyning blitt svært alminnelig i traktene. De mange boringer i forskjellige formasjoner har gitt gode opplysninger om disse bergarters hydrogeologi. Jeg har besøkt samtlige borplasser i distriktene her og kommet frem til generelle regler for vannets opptreden. Stort sett kan vi si at det grunnleggende studiearbeid er ferdig. På grunnlag av de tidligere boringer og kjennskap til geologien, kan en i svært mange tilfelle forutsi resultat av ny boring. — De erfaringer en har gjort ved Mjøsa kan tilpasses til områder med liknende bergarter i og utenfor Oslo-feltet. I 1952 (s. 13) ga jeg en oversikt over de forskjellige bergartene og deres beskaffenhet. Her skal jeg bare omtale boringene i kambro-silurbergartene og særlig den ordoviciske lagserien. (Kart se Skjeseth 1952)

### *Kambrium.*

Undre kambrium består av grå, sandige leirskifre med sandsteinsbenker. Stratigrafisk og tektonisk slutter disse lag seg til underliggende eokambriske kvartsitter. Lagene har gitt bra med vann på Ringsaker.

Mellom og overkambrium består av bløte, kullholdige mørke til svarte skifre. De tallrike sprekker og spalter er av subkapilær størrelse slik at gjennomtrengeligheten for vann er liten. Særlig de overkambriske lag har gitt sterkt svovlholdig vann. Boringer frarådes derfor i de fleste tilfeller. Vannet fra skifrene er aggressivt og tærer sterkt på vanlige galvaniserte jernrør.

Nedtrengningen i disse bergarter er minimal og da den bløte skiferen dessuten ofte danner forsengkninger i terrenget, er dreneringen ofte et stort problem. I slike forsengkninger får en lett stagnerende og råttent vann. Mange tjern, gjengroingstjern og myrer i distriktene er betinget av den ugjennomtrengelige skiferen og viser tydelig dens hydrogeologiske egenskaper. — Vannspørsmålet i alunskiferstrøk er et problem. Enkelte steder er det løst ved at de har boret i nærliggende grunnfjell eller eokambrisk kvartsitt. På Furnes har de slik bygget felles vannverk fra boringer i denne kvartsitten.

*Ordovicium.* —

De underordoviciske skifre har de samme egenskaper som alunskifrene og borerer vil oftest gi negativt resultat.

*Orthocerkalken.* Orthocerkalken har en annen utvikling på Ringsaker enn i områdene sønnenfor. På Ringsaker har kalken en mektighet på ca. 40 m. Den har utviklet sprekkesystem etter benkningen og vertikalt på denne. (1952, fig. 3.) Kalksteinen er sterkt foldet. Antiklinalene er oftest erodert mens synklinalene står frem i terrenget. Kalken danner øst-vestgående høydedrag. På grunn av de tektoniske bevegelsene, skyvningen, foldningsforkastninger og erosjonen, er sammenhengen i kalkformasjonen brutt. På den måten er det oppstått flere mer eller mindre isolerte kalkpartier som hvert representerer et grunnvannmagasin. Lagene over og under kalken består av nesten vanntette skifer-formasjoner.

Sprekkene i kalken er utvidet sekundært ved vannets oppløsende virksomhet. I steiltstående kalksteiner er oppløsningen særlig stor i grunnvannspeilets nivå. De sørste vannmengder finnes på grensen mot tektonisk ligg-skifer. Langs denne grensen finnes mange naturlige kilder. Ved disse er det ofte utfelt kalktuff fra vannet. Et fint eksempel finnes i veien nedenfor Enger, Dokka. De fleste gravde brønner ligger på grensen mellom kalk og skifer, men da bebyggelsen på de fleste gardene gjerne finnes på høyder, får disse brønnene en begrenset tilførsel og kapasitet. Boreringsresultat i kalken på Ringsaker har vært sterkt vekslende (fig. 9). Her er det mange faktorer som spiller inn. De viktigste er kalkens lagstilling, terreng og erosjonsforhold samt magasinets størrelse. Jeg skal belyse noen forskjellige tilfeller med eksempler. — Det første eksempel er fra en steiltstående kalkstein på Ringsaker. To nabogarder ligger her på en øst—vestgående høyde. Fig. 1 a og b viser beliggenhet og de topografiske og geologiske forholdene. Tidligere fikk disse gardene vann fra brønner på grensen mellom kalk og skifer. Brønnene hadde alt for liten kapasitet p. g. a. magasinets og nedslagsfeltets størrelse. To borebrønner, (A og B) henholdsvis 35 og 40 m, ga 500 og 900 l pr. time. De er boret ned til skifergrensen. Vannstanden i disse bh. går frem av skissene c og d. De to borebrønnene får vann fra et magasin som er begrenset av skifrene og terrenget. Vannstanden i borhullet er bestemt av terrenget. Når vannstanden i kalken synker under den prikkete linje (normal vannstand), får de gravete brønnene begren-

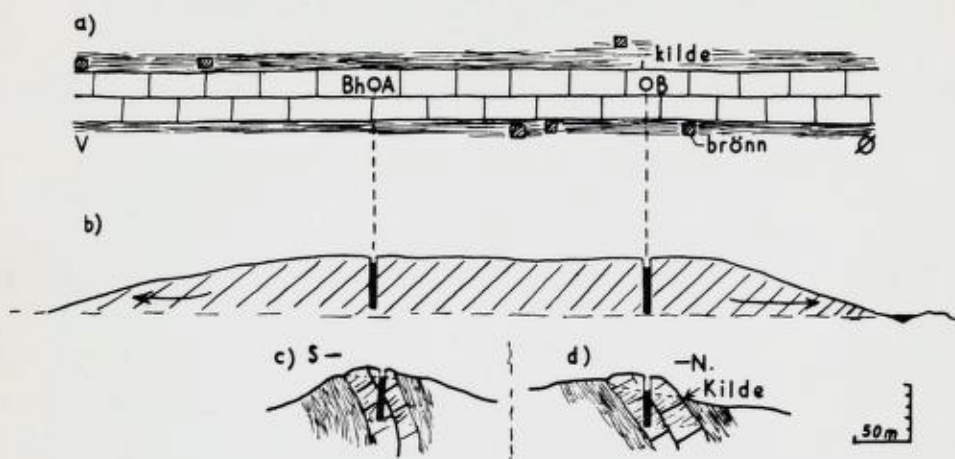


Fig. 4. De to borhullene A og B får vann fra sprekker i Orthocerkalk. Sprekker i kalksteinen representerer et grunnvannsmagasin som er begrenset av tette skifre på begge sider og av terrenget i strøkkretningen.

a. kartskisse, b. lengdeprofil (Ø—V), c & d. tverrprofil (N—S).

*The two drilled wells (A and B) obtain water from fractures and solution channels in the Orthoceras Lmst. The fractures in the limestone represent a ground-water body, limited by impermeable shales on both sides and by the terrain in the strike direction.*

*a. sketch maps, b. strike profile, c & d. dip sections.*

set tilførsel. Etter sterkt regnvær eller snøsmelting fylles magasinet og vannet renner til brønnene.

I et annet tilfelle der kalken har samme lagstilling er den overliggende skiferen erodert, slik at magasinet blir sterkt redusert. Vannføringen her er ca. 300 l pr. time. (fig. 5 b).

Grunnvannet beveger seg i strøkkretningen av kalken. En erosjon og avskjæring av laget her vil derfor ha større innvirkning på grunnvannmagasinet. — Dette går frem av eksempel fig. 3. a. som viser lengdesnitt av kalkbenk. Ved grense mellom skifer og kalk i dagen ved kilde er det betydelig vannføring. Magasinet reduseres betydelig på denne måten og bh. ga minimal vannføring. I et ekstremt tilfelle i Redalen, traff en på en sprekk på 75 m under dagoverflaten som drenerte kalken ned til dette dyp. Sprekkens utløp i dalen ligger her flere hundre meter lengre øst, og terrenget er jevnt skrånende.

Den største vannføring i Orthocerkalken, 1800 l pr. time, er oppnådd i en flattliggende kalkstein i en antiklinal. Her skjæres mange

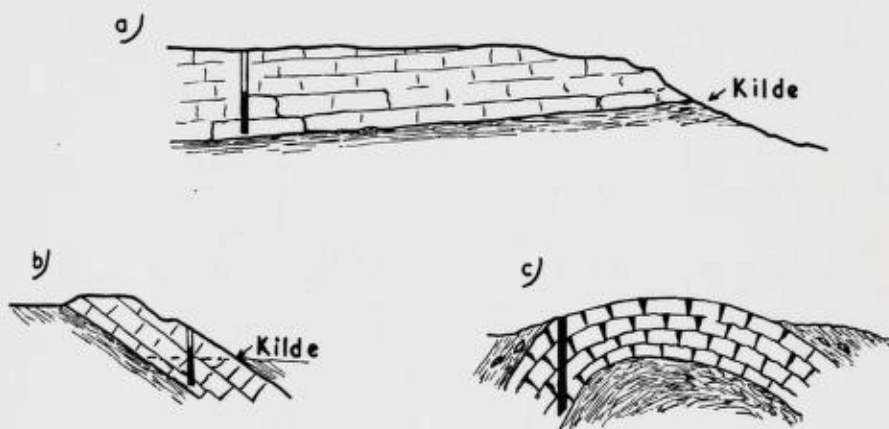


Fig. 5. a) Lengdesnitt gjennom Orthocerkalk (vertikal lagstilling). P. g. a. terrengforholdene dreneres kalken mot kilde på grense mellom kalk og «ligg-skifer».

Magasinet i kalken reduseres betraktelig og borhullet (Bh) gav lite vann.

b) Tverrsnitt gjennom Orthocerkalk. Kalken dreneres til stort dyp da «hengskiferen» er erodert.

c. Borhull i antiklinal i Orthocerkalk. Kalken har her utviklet tensjon-sprekker. Bh. får vann fra et stort magasin.

a) Section through Orthoceras Lmst. The Lmst. is drained towards the spring (kilde). Thus the yield of the drilled well is small.

b) Cross section showing reduction of ground-water magazin in the Orthoceras Lmst. by drainage, due to erosion of the hanging impermeable shale.

c) The orthoceras Lmst. has developed tension-joints near the top of the anticlines. The drilled well thus gives relatively much water.

benker. Magasinet og nedslagsfeltet til dette er stort. I toppen av antiklinalen finnes tensjonssprekker (fig. 5 c).

Sør for Ringsaker har kalken som tidligere nevnt (1952 ) for liten mektighet til å gi vann. 3 nye borer i de siste år i traktene Vang—Hamar har bekreftet dette.

#### Mellomordovicium-Silur.

Boringer i de mellomordoviciske og tildels siluriske lag har bidradd sterkt til en forståelse av disse bergarters hydrogeologi. Karakteren og aldersrekkefølgen av disse lagene er skjematisk fremstilt på fig. 7 og 8.

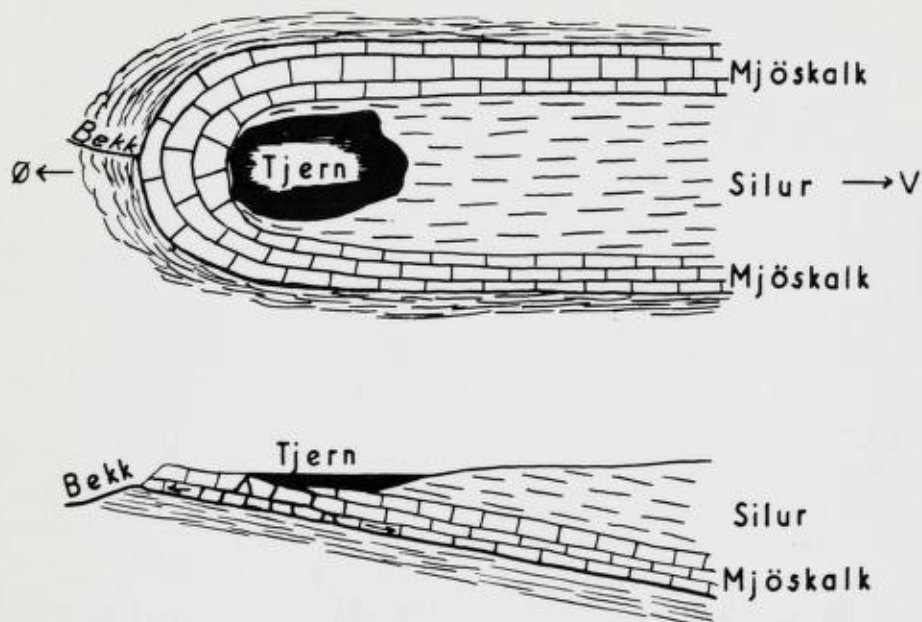


Fig. 6. a. Kartskisse og b. vertikalsnitt (Ø—V) gjennom tjern som er betinget av synklinal i Mjøsalk (V. Toten). Tjernet har «underjordisk» avløp gjennom kanaler i kalken i bekk mot øst og delvis i aksefallretningen mot vest.

a. Sketch map and b. profile (E—W) through lakelet situated at the closure of syncline in Mjøsalmst. The lakelet has its outlet through canals in the limestone to the east and partly in the direction of axial plunge to the west.

I denne lagserien er det en jevn overgang fra bløte skifere i bunnen til mektige kalksteiner og sandsteinsformasjoner øverst. Den store forskjell i kompetanse av de forskjellige formasjoner har vært bestemmende for foldningen og karakteren av oppsprekningen. Kompetansen av formasjonene og dermed sprekkdannelse tiltar fra eldre til yngre lag. Størrelsen av foldene skifter. Som vi skal se synes det å være et entydig lovmessig forhold mellom lagenes kompetanse og vannføring. —

Mjøsalken og de siluriske lag danner store åpne folder. Antiklinalene er som regel erodert, mens synklinalene står igjen i terrenget. Foldnings-aksene heller mot de store forkastningslinjene, f. eks. Hunselv og Brumundelv og er avgjørende for grunnvannets bevegel-

sesretning. Terrenget faller jevnt fra silur-bergarter og Mjøsalk til de eldre bløte Ogygiocarislager (se fig. 8).

*Ogygiocaris-skifer* er en bløt, kullholdig mørk leirskifer. Skiferen har av og til utviklet små folder, men den er som regel knust under foldebevegelsene. De tallrike spalter og sprekker er av subkapilær størrelse slik at skiferen nærmest er ugjennomtrengelig for vann. Vannføringen i borhull i skiferen gir svært lite vann — ca. 100 l pr time og mindre. Vannet skraver seg i disse tilfeller hovedsakelig fra den øvre forvitrede del.

Nedtrengning og dreneringsforhold er de samme som for de kambriske skifer (side 23). Dette fremgår tydelig av de brønner som er gravd i skiferen. De holder godt på vannet.

#### *Robergia-lagene.*

Fra Ogygiocaris-skifer til overliggende lag er det en jevn overgang fra mørk til grå skifer. Samtidig øker lagenes kompetanse. Boringer i overgangs-sonen har gitt 3—500 l pr. time. Etter hvert kommer det inn tynne kalksandsteinslag. Disse lagene øker i tykkelse og antall opp i lagrekker, og foldenes størrelse tiltar. Lagene har stort sett steilt nordlig fall i distriktene. De typiske Robergia-lager gir vanlig 800—1500 l pr. time.

#### *Coelosphaeridium-lagene.*

Karakteren av disse lagene er stort sett de samme som for foregående. Skiferen er noe mer sandig og kalk-sandsteins-benkene tykkere (30—40 cm.) Vannføringen er gjennomsnittlig ca. 2000 l pr. time. Nedtrengningen er større i disse lagene enn i Ogygiocaris-skifer. Vanlige brønner holder dårlig på vann og grunnvannspeilet ligger dypere.

#### *Cyclocrinuslagene.*

Disse lagene slutter seg tektonisk og dermed hydrogeologisk nær til den overliggende Mjøsalk. Øvre del består av tynne kalklager. På grensen mot kalken finnes gjerne en skiferhorisont.

Generelt kan en si at vannmengden stiger med dybden i disse skiferbergarter da en taper større magasin og hele tiden skjærer sprekker. I motsetning til det en vanlig finner i fjell kan en her snakke

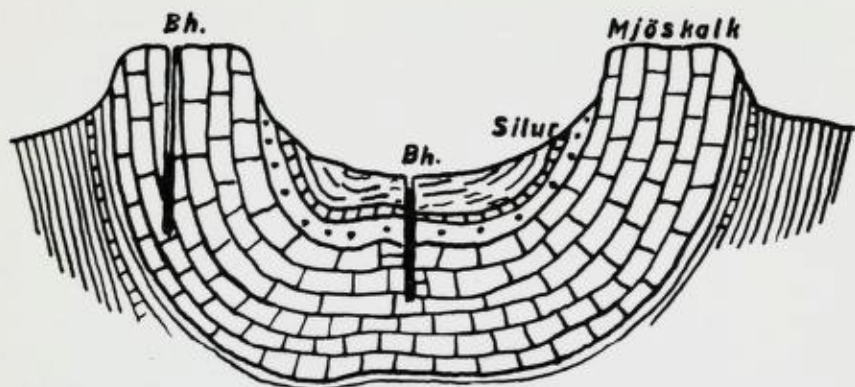


Fig. 7. Tverrsnitt gjennom Mjøskalk-synklinal. Boringer nær bunnen av synklinalen har gitt de største vannmengdene. Boringer i de steiltstående flankene er dypere og har gitt mindre vann.

Section through syncline in the Mjøsa lmst. Drilled wells near the bottom of the syncline yield more water than those in the steep flanks.

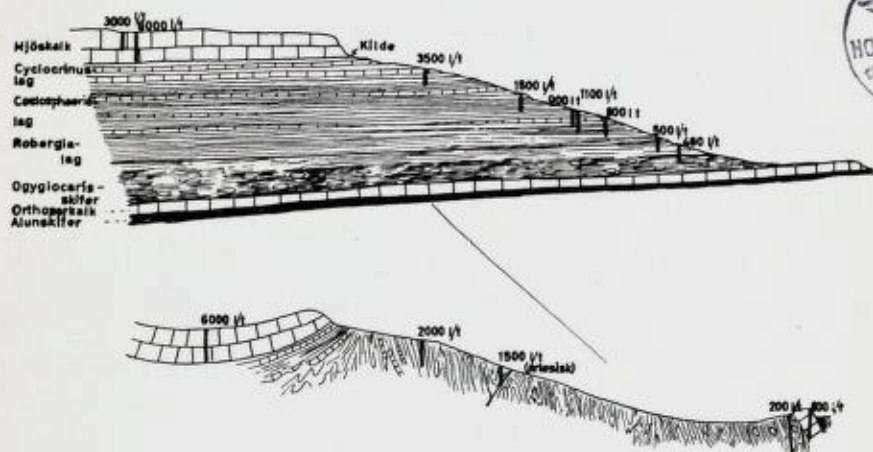


Fig. 8. Typisk lengde (Ø—V) og tverrprofil (N—S) gjennom de mellomordoviciske lagene i Mjøstraktene. Profiler fra søndre Ringsaker. Utførte boringer med angitt vannføring er inntegnet. Vannføringen tiltar fra den inkompetente Ogygiocaris-skifer til den kompetente Mjøskalken (kfr. fig. 9).

Typical length (E—W) and cross-section through the Middle-Ordovician formations at Mjøsa. Profiles from southern Ringsaker. Drilled wells with water yield of each indicated. The yield of water increases from the soft incompetent Ogygiocaris Shale to the competent Mjøsa lmst.

om et sammenhengende grunnvannspeil. Sprekkene opptrer tett og er nøye forbundet. Grunnvannspeilet følger derfor stort sett terrengoverflaten. Ved boringer har en fått artesisisk vann med typiske eksempler på såkalt «underflow».

### *Mjøskalk.*

Mjøskalken er en forholdsvis ren, tykkbenket kalkstein. Mektigheten er ca. 100 m. Kalken danner store folder. Nær bunnen av synkinalene har den en flat lagstilling, mens de øst-vestgående flankene oftest er steiltstående og danner rygger i terrenget. Dette er særlig tydelig på V. Toten. Lagstillingen er avgjørende for vannets opptreden i kalken. Vannets oppløsende virksomhet har hatt mye å si, idet sprekkene er utvidet til hulrom og kanaler. Foldningsbildet og aksefall har vært bestemmende for vannets bevegelsesretning og hydrologiske forhold.

Grense mellom kalken og underliggende lag betinger de største oppkommer og naturlige kilder i distriktene. På V. Toten ligger en rekke tjern ved ombøyningene av kalksynkinalene mot øst. Mot vest virker de siluriske lag demmende. Mange av disse tjernene mangler overjordiske avløp og dreneres gjennom kalkene. Ved Eriksrud-tjern munner et underjordisk avløp fra tjernet ut på grensen mot underliggende lag. Forholdene er skjematisk fremstillet på fig. 6. Det er grunn til å anta at store vannmengder renner ut i synkinalens aksefall-retning og at de største vannstrømmer finnes nær bunnen av disse. Boringer ovenfor (øst) Reinsvold tyder på dette. Underjordiske løp i Mjøskalken er kjent fra Veldre, Ringsaker. Der forsvinner bekker ned i kalken og munner ut i Brumundelv flere km borte. Nedtrengningen i disse kalksteinene er stor. Store kanaler fra dagoverflaten sees i forskjellige kalkbrudd på Toten. (f. eks. Hole).

Mjøskalken har gitt svært gode resultater ved boring. Vannføring på flere tusen l. pr. time er vanlig. Resultatene veksler sterkt, særlig i steiltstående lag. De største vannmengder er oppnådd nær bunnen av synkinalene (fig. 7). Her står vannet ofte under trykk. (1952 s. 20). Terrenget spiller en langt større rolle her enn i de andre ordoviciske formasjoner p.g.a. de åpne kanalene i kalken. Grunnvannspeilet veksler og sterkt og en finner mange steder lokale lommer av betydelig størrelse. I to borhull ca. 1,5 m avstand var forskjellen i vannstand 14 m. Hvor stor nedtrengningen kan være lokalt viser følgende eksempel: Et 20 m borhull ble prøvepumpet og ga 6000 l pr.



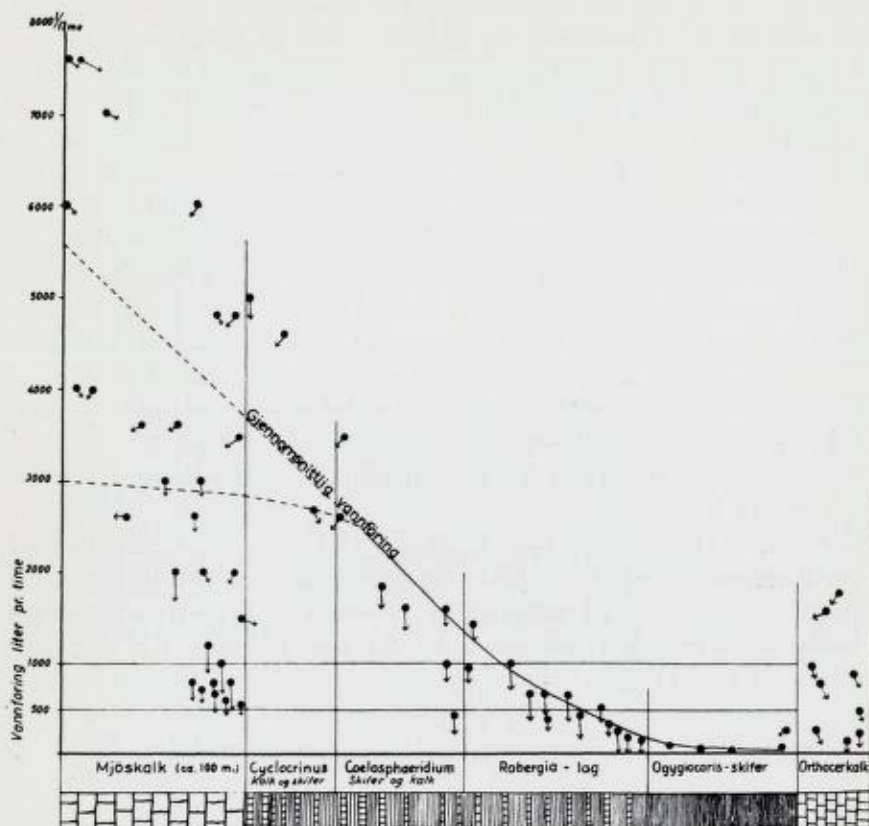


Fig. 9. Grafisk framstilling av vannboringsresultatene i den mellom-ordoviciske lagserien i Mjøstraktene. Gjennomsnittlig vannføring er angitt. For Mjøsalkalen er to gjennomsnittskurver antydnet, den underste gjelder samtlige boringer, den øverste flattliggende lag. Bh.'s rel. dybde og bergartenes lagstilling er gitt henholdsvis ved «dybdepilens» lengde og retning.

*Graphical representation of the capacities of drilled wells in the Middle-Ordovician formations in the Mjøsa District. The relative depth of well and the dip of strata are given by length and direction respectively of the arrows.*

time. Da de tok til å bruke av vannet, viste det seg at det nesten ikke var vann. Under prøvepumpingen trengte vannet direkte ned i magasinet igjen, slik at de pumpet det samme vannet hele tiden. Dette forhold må en ta hensyn til ved plassering av borehull p.g.a. faren for forurensning.

På fig. 8 er gitt en grafisk fremstilling av boringsresultatene i

de mellom-ordoviciske — siluriske skifer — og kalkbergartene ved Mjøsa. Vannmengden er angitt i liter pr. time på den vertikale skala og bergartene (lagrekken) er avsatt på den horisontale. De yngste lagene finnes lengst til venstre. Dybden av borhullene går frem av lengde av pilene. I Mjøskalken spiller som sagt lagstillingen en avgjørende rolle, og er her markert ved «dybdepilens» retning.

Resultatene viser stort sett en jevn stigning fra Ogygiocaris-skiferen med ca. 100 l pr. time, til Mjøskalk og silurbergarter, der en oftest oppnår flere tusen liter pr. time. De to profilene (vertikalsnittene) på fig. 8 gjennom den mellom-ordoviciske lagrekken fra søndre Ringsaker gir et godt bilde av de topografiske forhold over disse bergarter i de forskjellige områdene i distriktet. Borhull med resultater er inntegnet i profilene.

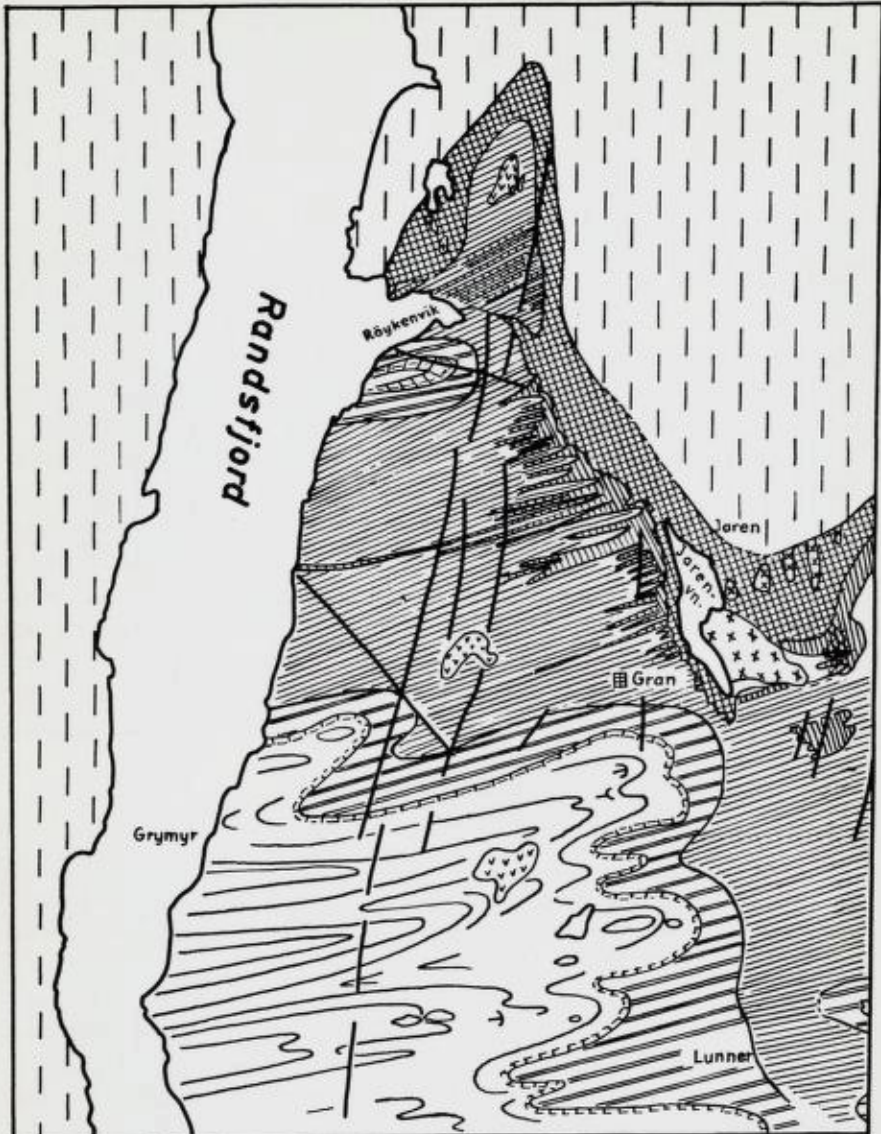
Som ventet finner en den største spredning i vannføring ved boringer utført i Mjøskalken. Dette skyldes som nevnt at vannføringen her er sterkt avhengig av topografien og lagstillingen. Kalkstein med vertikal lagstilling har gitt de dårligste resultater. Kurve for gjennomsnittlig vannføring er inntegnet. I Mjøskalken er det to gjennomsnittskurver antydnet. Den undre gjelder samtlige boringer, den øvre boringen i flatt-liggende lag.

Mange av boringene er avsluttet med det samme en viss vannmengde er oppnådd og gir derfor ikke noe riktig bilde av den vannmengden som bergartene virkelig kan gi. Dette gjelder samtlige av de dårligste resultater i Mjøskalken (1000 l pr. time).

Ut fra kjennskapet til berggrunnen innen kambro-silurbergartene ved Mjøsa og de resultater som er oppnådd kan vi nå med ganske stor sikkerhet forutsi resultatet av en ny boring her. I hvert fall kan en i de fleste tilfeller, når en kjenner vannforbruket, fraråde eller tilråde boring. Er f. eks. vannforbruket på et sted ca. 1000 l pr. time

Fig. 10. Forenklet geologisk kart over Hadelands kambro-silurbergarter. Boringer frarådes i de fleste tilfeller i områdene med alunskifer, Orthocerkalk og Ogygiocaris-skifer (mørk skravering). De ordoviciske og siluriske kalksteiner, sandsteiner og skifre i området mellom Søsterkirkene — Lunner og Randsfjorden har gitt gode resultater.

*Simplified map of the Cambro-Silurian at Hadeland. Drilling for water is discouraged at most places in the alum-shales, Orthoceras lms. (southerly facies) and the Ogygiocaris Shale. The Ordovician and Silurian limestones, sandstones in the area between Søsterkirkene — Lunner and the Randsfjord are as a rule good aquifers.*



Tegneforklaring:

- |   |                             |   |                       |   |                                    |
|---|-----------------------------|---|-----------------------|---|------------------------------------|
|  | Grunnfjell                  |  | Alunskifermm          |  | Orthocerkalk<br>Ogygiocaris-skifer |
|  | Ordvicisk skifer m. kalklag |  | Ordvicisk og silurisk |  | Mænaitt, Camptonitt                |
|  | Eruptivganger               |  | Eruptiver             |  | Kalkstein<br>Sandstein<br>skifer   |

vil ikke vannspørsmålet kunne løses ved boring hvis fjellgrunnen består av Ogygiocarisskiffer eller laveste del av de såkalte Robergiaglagene.

*Hadeland.* På Hadeland har vi stort sett de samme kambro-silurbergarter som ved Mjøsa. Tektonikk og topografi er svært lik i de to distriktene. Boringsresultatene på Hadeland viser de samme relasjoner til berggrunnen som nevnt i det foregående avsnitt.

Fig. 10 gir et forenklet berggrunnkart over kambro-silurbergartene innen kartbladet Gran. *Områder der boringer i de fleste tilfeller frarådes er gitt mørk skravering. (Alunskifer, Orthocerkalk og Ogygiocaris-skifer.)*

Langs Jaren-dalføret finnes alunskifer og underordoviciske skifre på begge sider fra Røykenvik til Gran st.

Orthocerkalken har liten mektighet og må ha en gunstig lagstilling og topografisk utbredelse for å gi tilstrekkelig vann. På Hadeland er disse lagene gjennomvannet av yngre steiltstående ganger eller flattliggende lag med eruptive bergarter. Disse gangbergartene er ofte oppsprukket og vil derfor i gunstige tilfeller gi bra med vann også innenfor det nevnte skiferområdet, men som regel representerer slike ganger et svært begrenset magasin. På østsiden av Jarenvannet er det tykke lag av Mænaitt og Camtonitt i bunnen av de kambriske skifrene. Disse eruptive lagene har gitt bra med vann i to borhull.

Ogygiocaris-skiferen har, som ved Mjøsa, gitt lite og dårlig vann (cks. Hadeland Turisthotell).

Vi får en jevn økning i vannføring mot de ordoviciske og siluriske kalksteiner, sandsteiner og skifre i området mellom Søsterkirkene — Lunner og Randsfjorden. Dette er det gunstigste området for boring på Hadeland. De mektige ordoviciske og siluriske kalksteiner danner store synklinaler mot Randsfjorden. Ved ombøyningen av disse mot øst er det som på Toten flere tjern som er tektonisk betinget. Boringer innenfor dette området har gjennomsnittlig gitt 2—3000 l pr. time. Faren for forurensning av grunnvannet fra overflaten er stor, da det finnes åpne kanaler i kalksteinene. En bør derfor ta hensyn til kalklagenes lagstilling ved plasering av borebrønn her.

Lengre sør i Oslofeltet er det også utført en rekke boringer i kambro-silurbergartene. Disse boringer vil bli behandlet i en senere meddelelse.

### Summary

Geology and Well-drilling. The Hydrogeology of the Cambro-Silurian of the Mjøsa District.

*Report No. 3 from Archives for Well-Drillings.*

Norwegian rocks are with a few exceptions impervious. The water is concentrated in fractures, joints, fissures, solution openings etc. and hydrogeological study requires knowledge of the tectonics of the different formations and districts.

The yield of drilled wells and their depths show great local variations. Statistics give for most formations, little information as to what yield may be expected in a new well and at what depth. Each place must be the subject of a special geological investigation. The fractures are often unconnected or only connected by narrow fractures which control the yield of the well (fig. 2). Continuous pumping over a long period is necessary to get reliable information of the aquifer and the size of the water body stored in the fractures. Contamination of water occurs in Cambrian and Ordovician soft shales and in a fossiliferous Silurian limestone. (Pentamerus Limest.) («formational contamination»).

About 60 wells drilled in the «Cambro-Silurian districts» at Mjøsa (map see Skjeseth 1952) demonstrate the hydrogeology of these rocks. It is also shown that there is a clear connection between stratigraphy and the yield of water of the drilled wells. The soft Cambrian and Lower Ordovician shales and thin limestones give little and often contaminated water. The results obtained by drillings in the Orthoceras Limestone show great variation due to differing dips of strata. Ground water level and size of water body in the fractures are also controlled by the erosion and topographic relief (figs. 4 and 5).

The Middle Ordovician formations (figs. 8 and 9) have shown increasing tectonic competence up from the soft Ogygiocaris Shale to the younger Mjøsa Limestone and the yields of the drilled wells gradually increase from older to younger layers. The wells in the Mjøsa Limestone show greatest variation. Here the results are controlled by the folding. Wells in or near the throughs of the synclines give more than wells drilled in the steep flanks (figs. 7 and 9).

The plunge of fold axes influences the direction of water flow. At Hadeland (figs. 10) the relation between stratigraphy and yield of drilled wells is the same as at Mjøsa. Areas where drilling for water is not recommended are indicated by dark shading (Alum shales, Orthoceras Limestone, Ogygiocaris Shales). Exceptions to this are wells drilled through Permian dykes and sills in the soft, impervious formations. The dykes are fractured and thus may yield sufficient water, but their magazines are limited.

### Litteratur

- Holmsen, P.*, 1952: Meddelelse fra Vannboringsarkivet. Nr. 1. N.G.U. nr. 184, s. 5—11.
- 1953: Om norske bergarters hydrogeologi. Kommunalt Tidsskrift nr. 9.
- Skjeseth, S.*, 1952: Meddelelse fra Vannboringsarkivet. Nr. 2. N.G.U. nr. 184, s. 12—22.