

## Kvaliteten av grunnvann.

*Meddelelse fra Vannboringsarkivet nr. 5.*

AV

STEINAR SKJESETH

Med 7 tekstfigurer.

Kvaliteten av bruksvann blir viet stadig større oppmerksomhet. Ved Kgl. resl. av 28. sept. 1951 er det gitt forskrifter om drikkevannforsyningsanlegg. Disse forskrifter har hjemmel i næringsmiddel-loven av 19. mai 1933 og sunnhetsloven av 16. mai 1860. I disse forskrifter heter det bl. a.:

Drikkevann og vann som brukes ved ervervsmessig tilvirkning eller tilberedning av næringsmidler eller til rengjøring av lokaler, kar, redskap o. l. som brukes til ervervsmessig tilvirkning, tilberedning, oppbevaring, servering eller annen omsetning av næringsmidler, skal være hygienisk betryggende. Vannkilden skal være sikret så godt som mulig mot bakteriell forurensning (f. eks. fra bebyggelser, dyrket mark, kulturbeiter, utfartssteder, beferdet veg, bevertningssteder o. l.) og mot tilsig av skadelige stoffer.

Vannforsyningsanlegg til anstalt (sykehus, herberge, skole, fengsel eller liknende) eller til restaurant, kafé, hotell eller annen bedrift som ervervsmessig tilvirker eller omsetter næringsmidler, må anmeldes til og være godkjent av helse-rådet. Det samme gjelder anlegg som leverer vann til mer enn 20 husstander eller mer enn 100 mennesker.

I mange områder av landet har den kvalitetsmessige siden ved vannforsyningen vært det største problem. Overflatebrønner og vann i bekker, elver og innsjøer som tidligere ble brukt, er oftest etter hvert blitt forurenset og ubrukelig. Mange av brønnene, særlig i tettbebyggelse, er infisert med kloakk. Da dypboring etter vann ble kjent i landet, øynet mange muligheten for å få ordnet vannforsyningen på en tilfredsstillende måte. Ved dypboring kan en få det

best mulige grunnvann og boringen etter vann de siste årene har hatt stor betydning for løsning av vannforsyningsproblemene først og fremst i land-distriktene.

De fleste regner vel med at det ikke er noen fare for forurensning av vann i borebrønner, ut fra den oppfatning at det vann en får på denne måten skriver seg fra stort dyp. Mange er blitt fristet til å spare på ledninger og grøfter og har plasert borebrønnen helt inn til forbruksstedet uten å ta hensyn til eventuelle forurensningskilder.

En bør ta de samme hensyn ved valg av boreplass som ved valg av andre vannkilder, og prøve å finne fram til et sted som sikrer nok vann, godt vann og som samtidig ligger mest mulig praktisk til for videre utbygging av anlegget. Grunnvannet i norske bergarter opptrer som kjent nesten bare i sprekker. Resultatet av en boring er avhengig av det eller de sprekkesystem som blir krysset ved boringen. Før en setter i gang boring bør en prøve å danne seg en mening om hvor vannet til brønnen vil komme fra, dvs. grunnvannstrømmens bevegelsesretning. Nedslagsfeltet til brønnen må være renest mulig uten direkte tilsig fra helsefarlige forurensningskilder. Grunnvannet har relativt stor hastighet i sprekken og undergår derfor ikke tilstrekkelig selvrensing. Dette gjelder særlig for kalksteiner der grunnvannet som regel renner i åpne kanaler. En kan oftest slutte seg til hvor forurensningen skriver seg fra, slik som i det sammensatte eksempel (på fig. 1). Gården til høyre får trykkvann fra naturlig oppkomme som ligger på grense mellom grus-sand-avsetning og underliggende leire. Mange av de største oppkommene i våre dalfører har en slik beliggenhet og er av samme type. — Fjellgrunnen i området består av flatt-liggende kalksten som er delvis blottet eller dekket av tynt leirlag på gårdsplassen. Ved å grave en «synkekum» ned til fjell, oppnår de et «lettvent og effektivt» kloakkavløp; men denne løsning av kloakkproblemet er ofte uheldig.

Kloakken forsvinner ned i kanaler og sprekker i kalken. Uthus med gjødselkjeller ligger på fjell. En må i slike tilfelle regne med at mye gjødselvann renner ned i fjellet. Disse forurensningene følger grunnvannstrømmen i bergartenes fallretning mot venstre p. g. a. underliggende tette skiferformasjon.

På gården til venstre har vannforsyningen vært vanskelig å løse. I den oppsprukne kalksteinen har de ikke nådd ned til grunnvannspeilet ved vanlig brønngraving. Fjellgrunnen byr på gode muligheter for vann ved boring. Nær grense mellom kalk- og skiferfor-

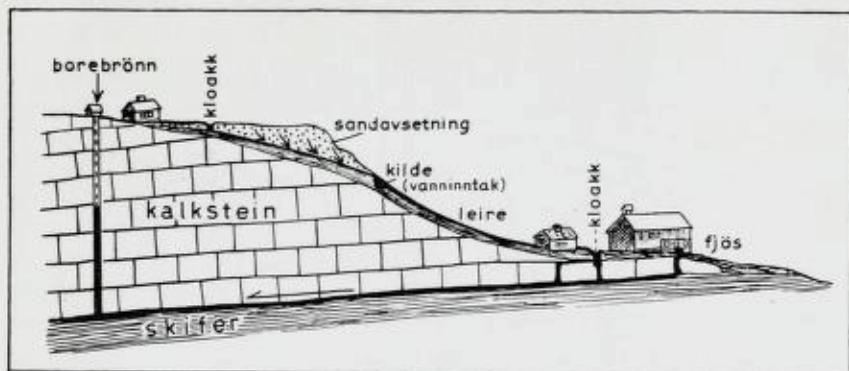


Fig. 1. Skjematisk tegning som viser hvordan kloakk kan forurense naturlig kilde og borebrønn.

*Schematic diagram to show how a natural spring (kilde) and a well (borebrønn) can be contaminated by sewage (kloakk).*

masjon fikk de rikelig med vann i borebrønnen. Her lar de kloakk forsvinne i synkegrøfter i sandavsetningen utenfor gården. Denne avsetningen ligger i nedslagsfeltet til kilden på gården nedenfor og etter en tid er kilden forurenset. Stort vannforbruk fra borebrønnen dirigerer forurenset vann mot stedet. I den sterkt oppsprukne bergarten varer det ikke lenge før brønnen trekker inn forurenset vann. — Ved å ta hensyn til vannkilden ved legging av kloakken kunne ofte slik forurensning vært unngått. — I dette tilfelle var det lett å slutte seg til hvor forurensningen skrev seg fra. Mange går uten videre ut fra at bare de plaserer borebrønnen ovenfor bebyggelse, er de på den sikre siden. Dette er oftest riktig, da grunnvannsbevegelsen går fra høyere til lavere nivå i terrenget. Også på steder der forurensningskilden ligger langt fra og nedenfor brønnen kan den forårsake forurensning. Forklaring på dette er gitt i neste eksempel (fig. 2). Borhullet ble her boret i dalsøkk ovenfor bebyggelse. Borhullet fikk vann fra en sprekkesone som også passerer septiktank og kloakk 50 m nedenfor. Ved analyse ble det påvist infeksjon i borebrønnen. Det ble gjort forsøk på pumpe borhullet rent. Resultatet ble at situasjonen forverret seg. Forurensningen skrev seg fra septiktanken nedenfor som var stoppet til slik at kloakken rant tilbake i grunngrøftene. Hadde de vært oppmerksom på forholdene på et tidlig tidspunkt, kunne ødeleggelsen av vannet vært unngått. Det første som skulle vært utbedret var kloakken.



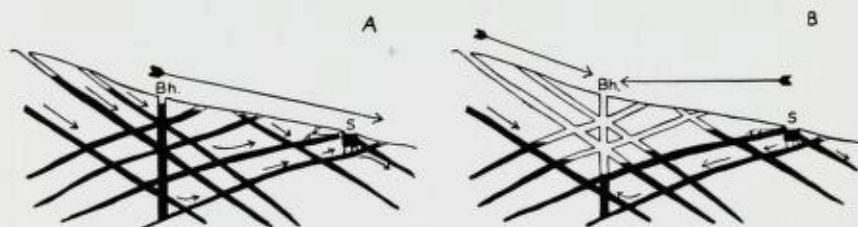


Fig. 2. Forurensning av borebrønn fra kloakk (Septiktank S) nedenfor. A. grunnvannstand og grunnvannstrømmens retning før pumping og B. etter pumping med senkning av grunnvannstand.

*Contamination of a well (Bh) from a septic tank (S) at a lower level. A. Groundwater level and direction of flow before pumping and B., after pumping.*

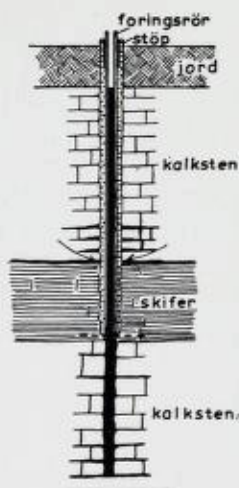
Fig. 2 viser skjematisk forholdene før og etter prøvepumping. Brønnen er relativt grunn (35 m) og gir bare ca. 300 l/time. Før prøvepumping gikk grunnvannstrømmen som angitt ved piler, forbi brønn og septiktank. Ved prøvepumpingen tømte de sprekke for vann og tok ut mer vann enn tilrenningen. Det oppsto en tilnærmet senkningstrakt rundt borebrønnen, og en fikk direkte tilsig fra kloakken nedenfor. Forandringen av grunnvannstrømmens retning er vist på skissen til høyre. I dette tilfelle kunne forurensningen svært sannsynlig vært unngått ved å bore brønnen dypere. Da kunne de ha oppnådd en større vannføring enn forbruket. Senkningen av grunnvannstanden ville blitt så liten at grunnvannstrømmens retning ikke hadde blitt forandret selv under pumping.

Det er innlysende at en ikke kan sette opp bestemte regler for avstand mellom borebrønn og mulig forurensningskilde. Det må vurderes i hvert enkelt tilfelle ut fra de rent lokale geologiske og topografiske forhold. Unntagelsesvis kan bare noen meter være tilstrekkelig; men der fjellet viser en gjennomgripende oppsprekking, kan vannet gå flere hundre meter i sprekker uten å bli rensset. Ved en boring rant boreslammet direkte over til en annen borebrønn 15 m bortenfor. I et annet tilfelle ble det konstatert direkte forbindelse mellom to borebrønner i 50 m avstand under boring.

Kan en gjøre noe for å hindre at borebrønner får tilsig av forurenset vann? Forebyggende arbeid forutsetter oftest detaljert kjennskap til borehullet. Særlig viktig er observasjoner av på hvilke dyp vanninnslagene kommer samt kjennskap til vannstand i borerhullet etter boring. Som regel kan en ut fra borerapport og geologien

Fig. 3. Utestengning av forurenset grunnvann i kalkstensformasjon over impermeabel skifer.

*Sealing-off of contaminated ground-water in limestone (kalksten) above an impermeable shale (skifer).*



si hvor det uønskede vannet trenger inn. Hvis en ikke på denne måte kan avgjøre det, kan en ta ut vannprøver fra isolerte partier av borehullet ved bruk av såkalt «mansjett» under prøvetagning.

Der forurensningen skriver seg fra grunne og isolerte sprekkesystem, kan en stenge ute dette vannet ved sementering og oppboring, eller mer effektivt ved nedsetting av stålrør som støpes fast. Der fjellet er sterkt oppsprukket til stort dyp, må en sørge for effektiv gjenstøping av sprekke-ene til nivå under grunnvannspeilet. Her må en også regne med grunnvannsekningen ved pumping. Der det er en veksling av vannførende og ikke vannførende lag som vist på fig. 3, kan en foreta utestengning av vann med stort hell. Mellom to kalkstensformasjoner er det en impermeabel skiferformasjon. Vannet i øvre kalkformasjon stenges ute ved å drive foringsrør ned i skiferformasjonen. På samme måte kan en stenge ute forurenset vann fra isolerte overflatesprekker og ta ut rent vann fra sprekkesystem på større dyp. — Det er ofte en fordel at fjellgrunnen ved borestedet er dekket av løsavleiringer (leire og lignende materiale), som enten vil rense overflatevannet eller hindre nedtrengning. I slike tilfeller drives foringsrør (jorddrivningsrør) ned til fjellet. En må sørge for effektiv faststøping, så overflatevannet ikke siver ned i fjellet langs foringsrøret.

Overdekning av løsavleiringer byr ellers på fordeler ved bygging av pumpehus og nedlegging av ledninger.

Kjennskapet til kvaliteten av grunnvannet fra borebrønner her i landet er dessverre mangelfullt. Ved Statens Institutt for Folkehelse er det utført en del analyser av vann fra borebrønner. Kopi av analyseattestene blir velvilligst oversendt til NGU's vannboringsarkiv. I det følgende skal jeg gi en foreløpig oversikt over noen analyse-resultater.



Fra luften opptar regnvannet bl. a. surstoff og kullsyre. Når vannet siver ned i jord og fjell forbrukes surstoffet av organiske stoffer. Ved denne prosessen avgis kullsyre til vannet. Grunnvannet vil derfor oppløse mineraler i jord og fjell, som avgir stoffer til vannet. Det er innlysende at jordsmonn og fjellgrunn som vannet passerer, er bestemmende for vannets kjemiske karakter. Grunnvannet i en borebrønn vil som regel ikke forandre karakter fra tid til annen. Tidsfaktoren spiller derimot en avgjørende rolle. Har vannet vært lenge i kontakt med fjellet, vil det som regel ha mer oppløste stoffer. Avstengte sprekker eller lommer i fjellet med liten grunnvannssirkulasjon inneholder mest oppløste stoffer. Ved pumping settes sirkulasjon igang og vannet forandrer karakter. I borebrønner med mer eller mindre direkte tilrenning av overflatevann, vil en få oppblandet grunnvann som skifter kjemisk karakter etter nedbørsforholdene.

Ved forråtning av organisk materiale på jorden og i jordsmonnet, tilføres det kvelstoff-forbindelser til grunnvannet. Tilstedeværelse av kvelstoff i større mengder kan tyde på uønsket vann i borebrønnen. Helsefarlig forurensning påvises spesielt ved bakteriologiske undersøkelser av vannet. En borebrønn bør pumpes en tid før det blir tatt ut vann til bakteriologisk analyse, da brønnen lett får tilsig fra overflaten under boringsarbeidet. Tar en prøver av vannet umiddelbart etter boring, bør en tilsette klor og pumpe en tid. Ved sprengning i borhullet under boringsarbeidet tilføres kvelstoff. Dette bør en være oppmerksom på ved prøvetagning.

En del av de vanlige grunnstoffer som blir bestemt ved vannanalyse er satt opp i diagram på fig. 4. Det er ikke foretatt spesielle geologiske undersøkelser ved de enkelte borebrønner. Diagrammet viser resultater av vann-analyser fra tre større bergartsgrupper. Den første gruppe omfatter kambro-siluriske skifre og kalkstener fra Oslo-feltet, neste gruppe er permiske dypbergarter, Larvikitt, Drammensgranitt og Nordmarkitt fra Oslofeltet, og siste gruppe er grunnfjell. Den siste er en svært heterogen gruppe med forskjellige bergarter.

Ved analysene bestemmes vannets surhetsgrad (pH.). Surt vann er aggressivt og virker tærende på galvaniserte jernrør, kopperrør m. m., og bevirker en større oppløsning av mineraler.

De stoffer som hovedsakelig tilføres vannet fra grunnen er kalsium (Ca), magnesium (Mg), mangan (Mn) og jern (Fe).

Innholdet av hovedsakelig Ca og Mg blir angitt ved hardhets-

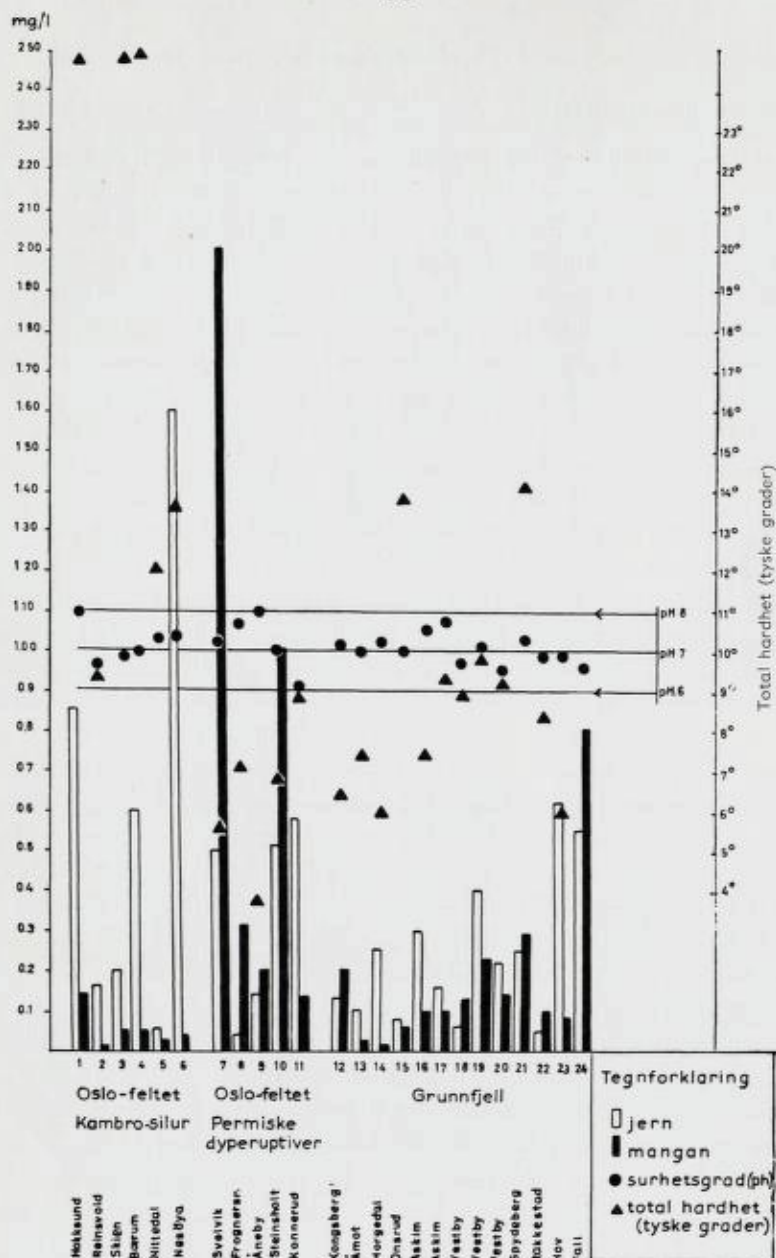


Fig. 4. Diagram som viser resultat av vannanalyse fra forskjellige bergartsformasjoner (anal. Statens Inst. for Folkehelse).

Diagram to show the results of analyses of water from various rock-formations (Analyst: Statens Inst. for Folkehelse).

graden. Hardhetsgraden (i tyske grader) beregnes etter innholdet av de nevnte grunnstoffer:  $\frac{\text{Ca}^{++} \cdot 1,4 + \text{Mg}^{++} \cdot 2,3}{10} = \text{total hardhet.}$

En skiller vanlig mellom forbigående og permanent hardhet. Den forbigående hardhet skyldes bikarbonat der kalsium felles ut ved koking. Denne utfelling bevirker ofte hvitt belegg i kokekar o. l. Den permanente hardhet f. eks. gips, felles først ved tilsetning av såpe. Vann fra kambrosilur-bergarter har som en kunne vente den høyeste hardhetsgrad. Det relativt lave innhold av Ca i borebrønn nr. 2 skyldes stor vannføring (ca. 8000 l/t) og nedtrengning av overflatevann slik at grunnvannet blir oppblandet. Vannet fra de permiske eruptivene og grunnfjell har relativt liten hardhet. I den siste gruppen vil resultatene selvsagt variere. Gabbroide bergarter gir hardere vann enn de sure.

Jern- og manganinnholdet er sterkt vekslende. Vann fra kambrosilur-bergartene har stort jerninnhold. Skiferformasjonene, særlig de mørke skifre, inneholder svovelkis og magnetkis som forårsaker det høye jerninnholdet. Dyperuptivene viser tildels høyt innhold av mangan. Dette skriver seg fra mangan-mineraler avsatt i sprekkesoner. Ved borebrønn nr. 7 såes denne manganmineralisering tydelig i sprekker på dagoverflaten i nedslagsfeltet. Det er ikke gjort forsøk som viser hvordan jern- og manganinnholdet eventuelt varierer med dybden av vanninnslag. I borebrønnene 7, 23 og 24 skriver jern og mangan seg hovedsakelig fra grunne sprekkesystemer. Innholdet av de nevnte stoffer tiltar her tydelig etter regnvær som bevirker heving av grunnvannstanden.

*Saltvann.* Nær kysten og på øyer hender det at de får salt vann i borebrønner. En kan ikke gi generelle regler for hvor langt en må plasere borhull fra sjøen for å unngå innslag av saltvann. Ferskvannskilder på øyer og helt nede i strandkanten har bidradd til den alminnelige oppfatning at saltvann filtreres av f. eks. sand. Saltvann er en oppløsning som ikke lar seg filtrere på denne måten.

Mange tror at ferskvann på øyer skriver seg fra «vannårer» som kommer fra fastlandet. Dette er imidlertid ytterst sjelden tilfelle. Fjorder, sund o. l. er som regel betinget av bløte bergarter og geologiske strukturer som vil bryte en eventuell grunnvannstrøm. En skal derfor aldri regne med å kunne ta ut mer ferskvann enn det som finnes i sprekker og porer i jord eller fjell på øya. Hvis en stadig



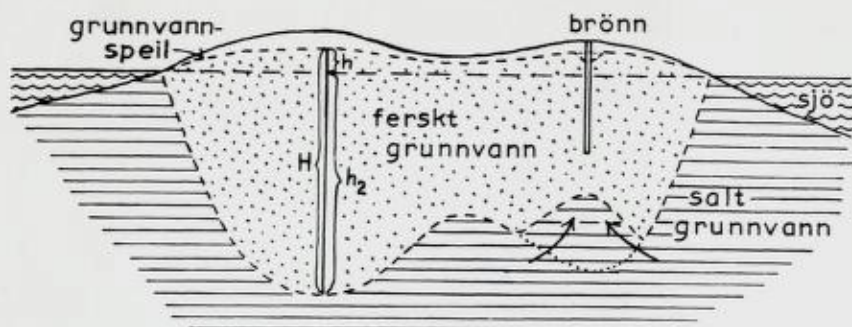


Fig. 5. Forholdet mellom ferskt og salt grunnvann i øy som består av homogent og porøst materiale (f. eks. sand). Ferskvannet flyter på saltvannet p. g. a. forskjellen i egenvekt (etter Herzberg).

*Relation between fresh and salt ground-water on an island consisting of a homogeneous, porous medium, (e. g. sand). The fresh water floats on the water due to its lesser density (after Herzberg).*

tar ut mer enn infiltrasjonen, tærer en på ferskvannsmagasinet på øya, og vil til slutt få salt vann.

Består øya av porøse og homogene bergarter eller jord kan en beregne forholdet mellom ferskt og salt grunnvann (fig. 5 etter Herzberg). På hele øya foregår infiltrasjon som bevirker en grunnvannstrøm fra de sentrale partier av øya mot kysten. Øya inneholder en ferskvannslinse som flyter på saltvann (fig. 5). Ferskvannet innstiller seg i hydrostatisk likevekt med saltvannet.

Hvis en setter egenvekten av ferskvannet lik 1 og av saltvannet lik  $d$ . (1,029) får en:  $H = h_1 + h_2 = d \cdot h_2$ ,  $h_2 = \frac{h_1}{1,029 - 1} = 35 \cdot h_1$ . Ferskvann-søylen under havnivået er ca. 35 ganger så høy som grunnvannshøyden over havnivået. En kan sammenligne forholdet med isfjell som flyter i saltvann. Dette betyr ikke at en kan grave eller bore brønn ned til denne dybde uten å få innslag av saltvann ved pumping. På samme måte som ovenfor kan en beregne hvor dypt en kan grave en brønn og hvor mye en kan senke grunnvannspeilet før en får saltvanninnslag (fig. 5 til høyre). Ved pumping dannes en senkningstrakt omkring brønnen. Samtidig trenger saltvann inn i en motsvarende trakt under brønnen. Høyden av denne trakten står i samme forhold til senkingen av grunnvannet som  $h_2$  til  $h_1$ .

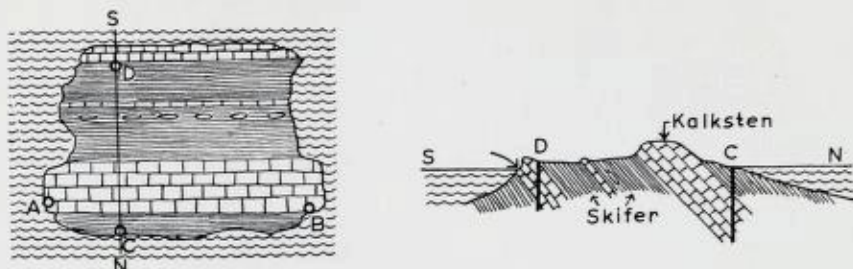


Fig. 6. Borebrønner i øy som består av kalkstenslag og impermeable skifer. P. g. a. lagstillingen (se fig. til høyre) får de ferskvann i bh. A, B og C. I bh. D får de saltvann etter en tids pumping.

*Drilled wells on an island consisting of layers of limestone and impermeable shales (skifer). Due to the dip of the beds (see right hand figure) fresh water is found in wells A, B and C. In D salt water will be draw in after a short period of pumping.*

Disse beregninger gjelder som sagt der grunnen er porøs og homogen og kan ikke overføres til brønner i norske bergarter. Her skifter forholdene fra boreplass til boreplass. Det som i første rekke er avgjørende er bergartene, lagstilling og sprekkesystemenes forløp, og dessuten de topografiske forhold i nedslagsfeltet som bl. a. er bestemmende for det hydrostatiske trykk i sprekken. Vi har de enkleste eksempler i kambrosilurbergartene. På øyene i indre Oslofjord er det utført flere vellykkede borer. Mange av disse er boret helt ned i strandkanten og gir ferskt vann. Årsakene til dette går fram av fig. 6. Fjellgrunnen på øya består av tette skifere og oppsprukkede kalkstenslag. Lagstillingen er vist i profil N—S.

Bh. A, B og C er boret nær sjøen og gir ferskt vann. Infiltrasjonen er stor i kalkstensformasjonen der vannet renner ned i sprekker og kanaler. Det dannes et mer eller mindre isolert grunnvannmagasin i formasjonen med grunnvannstrøm ut mot sjøen. Nær sjøen ved A og B står ferskvannet under hydrostatisk trykk mot saltvannsfronten. Ved bh. C som er boret gjennom impermeabel skifer ned i kalkstenen fikk de artesisk vann. Her kunne de oppnådd ferskvann ved boring ute i sjøen, ved å sette foringsrør et stykke ned i skiferformasjonen. Ved bh. D er lagstillingen mindre gunstig og de fikk saltvann etter å ha pumpet en tid. Her rant saltvannet direkte ned i sprekker i kalkstenen da de tømtes for ferskvann (angitt ved pil). Disse eksempler kan overføres til andre bergartsformasjoner. Sprekkesystem parallell med sjøen og med fall mot sjøen er gunstigst.

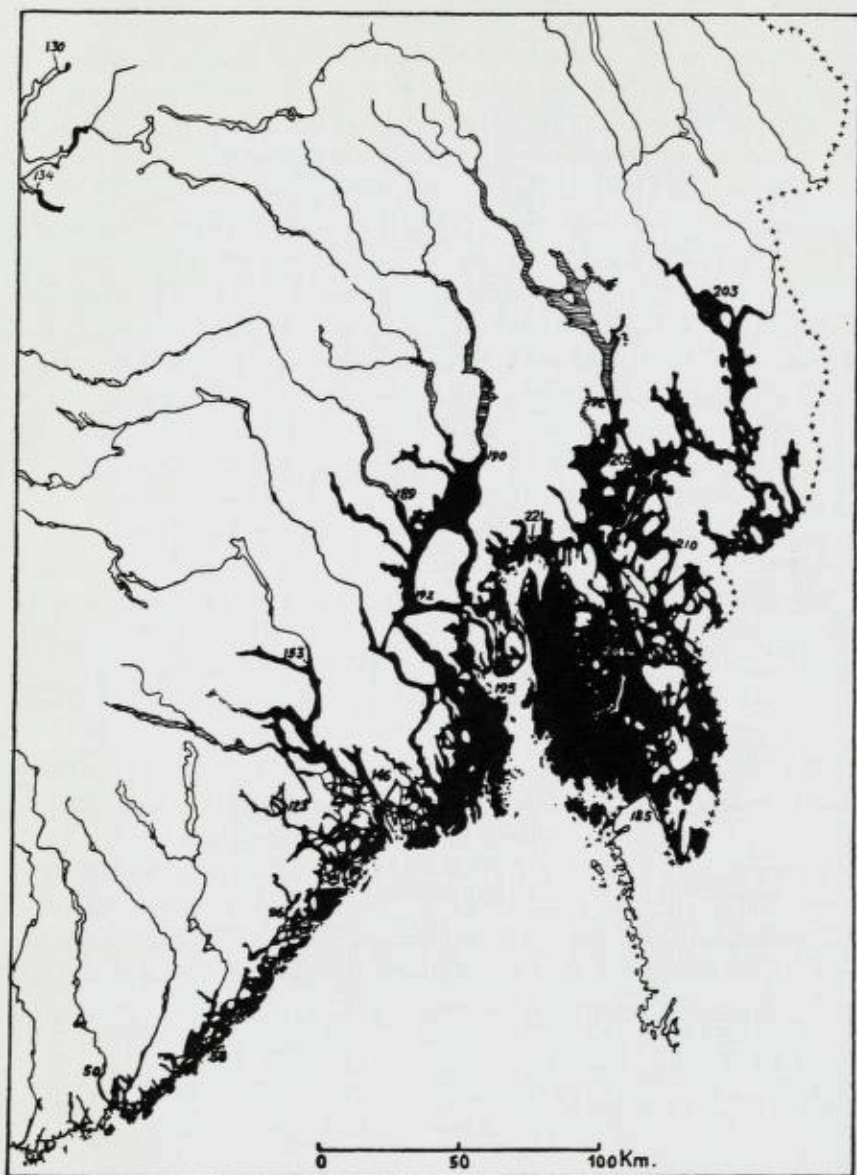


Fig. 7. Havets største utbredelse i Sørøst-Norge etter siste istid (etter Høltedahl). Innenfor dette område hender det at de får salt vann i borebrønner. Saltet skriver seg fra leire avsatt i havet eller fra avstengte sprekker i fjell.  
*The parts of south-east Norway covered by sea after the last Ice age. Inside this area (shown in black) salt water is at times found in drilled wells. The salt originates in marine clays or in sealed fissures in the rocks.*



Fallretning fra sjøen fører ofte til direkte inntrengning av saltvann. Sjøen dekker da deler av nedslagsfeltet til brønnen.

Faren for saltvann-intrusjon er størst i granitter o. l. bergarter med benking og flattliggende sprekker som fører direkte ut i sjøen. En må også ta i betraktning tykkelsen og karakteren av eventuelle løsavleiringer som finnes mellom fjell og sjø. Impermeable leirlag eller morene kan hindre saltvannet fra å trenge inn i brønnen.

Det hender ofte at de får saltvann etter å ha brukt borebrønnen en tid. Dette betyr at de har tømt ferskvann-magasinet på øya. Etter kortere eller lengre tid med infiltrasjon vil ferskvannet fylle sprekke-ene igjen og fortrenge saltvannet.

Etter siste istid lå landet lavere i forhold til havnivået enn i dag. Havet trengte da langt inn i landet. Den største utbredelse av havet i Sørøst-Norge i denne tid er vist på fig. 7.

Innenfor dette området hender det at de får salt grunnvann i borebrønner. Dette er tidligere beskrevet bl. a. av Rekstad (1922), G. Holmsen (1920) og P. Holmsen (1951). Saltet skriver seg fra leirene som ble avsatt i fjordene, eller fra sprekker i fjell med saltvann eller utfelt salt. Slike «saltvannsbrønner» er tidligere kjent bl. a. fra Østfold, Vestfold, Solør og Vestfossen. Vann fra borebrønn ved Hokksund inneholdt 2100 mg/1 klor (Cl). En borebrønn nær den marine grense ved Skjetlein jordbruksskole, Heimdal, Sør-Trøndelag, ga salt vann. Vann fra en 70 m dyp borebrønn i granitt nær Tangen ved Mjøsa inneholdt etter boring 133 mg/1 Cl. Hardheten var 18,9°. Etter 6 mndrs. forbruk var klorinnholdet sunket til 44 mg/1. Samtidig gikk hardheten ned til 9,2° (analyse Statsbanenes kjem. lab.). Grunnvannet hadde her vært avstengt i sprekker i lengre tid uten sirkulasjon. Pumpingen bevirket sirkulasjon og vannet forandret kjemisk karakter.

### Summary.

#### *Quality of ground water.*

The quality of ground-water from drilled wells in Norway is little known. The ground water mainly occurs in fractures. Open fracture-systems, with rapid circulation of ground-water, may easily lead to contamination. Analyses of water from drilled wells in

rocks, are carried out at Statens Inst. for Folkehelse. The results of these analyses are given to the Geological Survey.

Results of analyses; pH, total hardness, dissolved iron (Fe) and manganese (Mn) are shown in the diagram, Fig. 4. The pH-values show little variation. Water from the Cambro-Silurian shales and limestones has the highest hardness. The high contents of iron in these rocks, especially in black shales, are due to pyrite and pyrrhotite. The manganese in some of the wells in Permian plutonic rocks comes from manganese-mineralisation in fractures. Ingress of salt water may occur in wells near the coast. The conditions vary from place to place, depending on the rock-type, dip of beds and fractures. In fig. 6 the wells A, B and C obtained fresh water close to the sea, while the well D gave salt water after a short period of pumping. Salt water also occurs occasionally in wells within an area which was covered by the sea after the Quarternary glaciation (fig. 7). Here the salt originates from marine clays and sometimes from rock-fractures with poor circulation.

### Litteratur.

- Herzberg*: Die Wasserversorgung einiger Nordseebäder, Journ. Gasbeleuchtung Wasserversorgung, Jahrg. 44, Munich, 1901.
- Holmsen, G.*: Grundvandet i vore leravsætninger, N.G.U. nr. 135. Oslo 1930.
- Holmsen, P.*: Dypboring i fjell som løsning av vannspørsmålet. N.L.T.F. 1951.
- Holtedahl, O.*: Norges geologi. N.G.U. nr. 164. Oslo 1953.
- Rekstad, J.*: Grunnvatnet. N.G.U. nr. 92. Kristiania 1922..