

Hvilke bergarter kan gi problemer med vannkvaliteten i råsprengte tunneler og bassenger?

Hva har vi lært om geokjemiske prosesser fra analyser av grunnvannsbrønner, og kan dette overføres til vannforsyning i større skala?

Av Bjørn Frengstad

Bjørn Frengstad er hydrogeolog og forsker ved Norges geologiske undersøkelse.

Innlegg på fagtreff i Norsk vannforening 11. februar 2013.

Sammendrag

Mineraler er kjemiske forbindelser som kan løses i vann når berggrunnen forvitrer. De vesentligste prosessene er oppløsning og utfelling, oksidasjon og reduksjon, samt hydrolyse. Landsomfattende undersøkelser av vannkjemien i henholdsvis private borebrønner og vannverk basert på grunnvann i fjell, viser at flere grunnstoffer forekommer i konsentrasjoner over drikkevannforskriftens grenser. Dette gjelder særlig mangan, jern, fluorid og radon. Forhøyede konsentrasjoner av uran forekommer også, men drikkevannforskriften omfatter ikke dette tungmetallet. En råsprengt overføringstunnel er som en horisontal brønn, men kontaktflaten mot berget blir liten i forhold til vannvolumet som strømmer gjennom. Bidrag fra berggrunnen vil fortynnes til godt under drikkevannforskriftens krav. Utfelte manganpartikler kan likevel skape driftsmessige problemer i vannverket, og avdampert radongass kan utgjøre en risiko for vannverksarbeidere.

Innledning

I norsk bevissthet betraktes stein ofte som noe evigvarende og uforanderlig. Eidsvollsmennene i

1814 uttrykte dette som ”Enige og tro inntil Dovre faller”. Det er lett å tenke dette når en ser et blankskurt svaberg langs kysten eller nakne klippevegger i høyfjellet. Men bergarter er også kjemiske forbindelser og de fleste bergartene består av mineraler som er basiske og reduserende. Nedbørvann som har vært i kontakt med oksygen og karbondioksid i atmosfæren, er naturlig oksiderende og surt. Nedbør i likevekt med atmosfærens karbondioksid har pH=5,6 selv uten menneskepåvirket sur nedbør. I tillegg foregår det prosesser i jordsmonn, myrer og plantenes rotsone som kan senke pH ytterligere. Nydannet grunnvann kan derfor reagere aktivt med berggrunnen og frigjøre en del løste stoffer.

Norges geologiske undersøkelse har i samarbeid med Statens strålevern og Mattilsynet undersøkt hvilke naturlig forekommende stoffer som kan være problematiske i bergborede drikkevannbrønner. Innlegget gir en kort innføring i kjemiske prosesser mellom vann og berggrunn og forekomsten av konsentrasjoner over drikkevannsgrensen for relevante parametre. Til slutt vil bli drøftet om disse stoffene også kan utgjøre en trussel for vannkvaliteten i råsprengte tunneler og bassenger.

Lynkurs i Norges geologi

Godt og vel halvparten av Norges landareal er dekket av grunnfjellsbergarter fra Prekambrium, vesentlig gneiser, granitter og gabbro. I tillegg kommer senprekambriske avsetningsbergarter (sandsteiner, konglomerater) i Finnmark og østlige Sør-Norge som utgjør 15 % av landarealet. Den kaledonske fjellkjeden strekker seg som en ryggrad gjennom landet fra Jæren i sørvest til Tana i nordøst. Sammen med de såkalte kambrosilurbergartene dekker disse bergartene om lag 30 % og de forvitrer lettere enn grunnfjellet. Vulkanske bergarter og størkningsbergarter fra større dyp i Oslofeltet utgjør 2 % (Ofstedahl 1981). Over berggrunnen ligger det et usammenhengende lag av løsmasser som for det meste stammer fra slutten av siste istid. Fordi landet var presset ned av ismassene, finnes det tidligere havbunnsedimenter langt innover land, vesentlig i Trøndelag og på Østlandet. Ellers finnes tykkere løsmasseavsetninger i dalgangene.

De mest utbredte bergartsdannende mineralene som kvarts og feltspat er svært stabile under dagens klima i Norge. Mer ustabile mineraler og bergarter så som kismineraler og kalkspat kan finnes lokalt eller i sprekker og ganger hvor man også finner sekundære utfelling og/eller leirmineraler. Store grottesystemer kan dannes ved oppløsning av kalksteiner og finnes for eksempel i Ranaområdet og i Børgefjell. I kambrosilur sedimentene på Østlandet er alunskifer et potensielt problem. Dette er organisk-rike skifre dannet under reduserende forhold i avsnørte havbassenger som forvitrer hurtig ved kontakt med vann og oksygen og ofte inneholder uran.

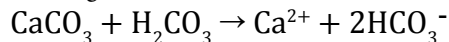
Hydrogeokjemiske prosesser

Hydrogeokjemiske prosesser er en samlebetegnelse for kjemiske reaksjoner mellom berggrunn og vann. De vanligste er oppløsning og utfelling, reduksjon og oksidasjon (redoks), hydrolyse, ionebytte og kompleksbinding. Grunnvannets kjemiske sammensetning er summen av alle reaksjoner som motvirker eller forsterker hverandre.

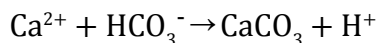
Oppløsning og utfelling

Oppløsning og hydratisering av steinsalt/koksalt (NaCl) i vann er en kjent og dagligdags reaksjon

hvor vannmolekylens dipol trekker ut og hydratiserer Na^+ og Cl^- ioner slik at de løser seg helt i vannet. En annen viktig prosess for grunnvannkvaliteten er oppløsning av kalkspat (CaCO_3) hvor kalkspat i kontakt med karbonsyre danner kalsium- og bikarbonat-ioner:



Dette er en relativt rask reaksjon som øker vannets pH. Dersom konsentrasjonen av kalsium og bikarbonat blir høy nok, kan vannet bli mettet og kalk feller ut:

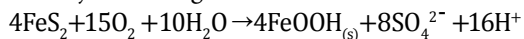


Reaksjonslikningen viser at det frigjøres et H^+ -ion, dvs. at pH synker. Oppløsning og utfelling av kalkspat fungerer som en pH-buffer ved ca pH=8,2.

Reduksjon og oksidasjon (redoks)

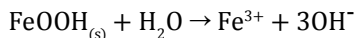
Oksidasjon betyr at et atom, molekyl eller ion mister et eller flere elektron(er) og reduksjon betyr tilsvarende at et molekyl, atom eller ion får tilført elektroner. Disse to reaksjonene er derfor alltid knyttet til hverandre selv om vi for enkelhets skyld ofte bare ser på den ene halvparten. Det finnes en rekke redoksreaksjoner der vann og mineraler er involvert. Et metalls løselighet i vann er ofte avhengig av oksidasjonstall. Uran er for eksempel svært løselig i vann under oksiderende forhold som seksverdig uran (U^{vi}) og svært lite løselig under reduserende forhold som fireverdig uran (U^{iv}). Redoksreaksjoner påvirker ofte vannets pH og kan derfor fremme andre forvitningsprosesser.

Når svovelkis (FeS_2) utsettes for vann og oksygen vil mineralet begynne å oksidere og det dannes jernhydroksid, sulfat og surhet som vist i reaksjonslikningen:



Dette er en vanlig reaksjon i forbindelse med Norges mange nedlagte kisgruver og er opphavet til sur gruveavrenning. Magnetkis i alunskifer oksideres på tilsvarende måte med dannelse av syre, men også oksidasjon av organisk materiale som følge av grøfting av myrer kan senke pH i vannet drastisk.

Grunnvann kan av og til bli tilnærmet oksygenfritt og det oppstår reduserende forhold. Da kan jern og/eller mangan gå i løsning i vannet og den illeluktende gassen hydrogensulfid kan dannes. Reduksjon medfører ofte økt pH som illustrert i reaksjonslikningen for reduksjon av jernhydroksid:

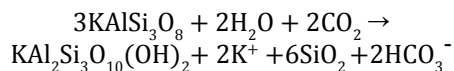


Et vesentlig spørsmål når det gjelder de kjemiske forholdene i en vannoverføringstunnel er derfor hvorvidt tunnelen er vannfylt hele tiden eller om fyllingsgraden varierer slik at det både er tilgang til fukt og oksygen.

Hydrolyse

Hydrolyse er en kjemisk reaksjon mellom mineral og vann der H^+ erstatter ioner i mineralet slik at det opprinnelige mineralet går over til et sekundært mineral, gjerne et leirmineral. Prosessen forbraker syre og danner bikarbonat og er her

vist som omdanning av kalifeltspat til leirmineralet illitt hvor kalium og silikat går i løsning og vann absorberes i leirmineralet:



Hydrolyse er en langsom prosess, men den er viktig fordi feltspat er jordskorpas mest utbredte mineralgruppe og en vesentlig bestanddel i blant annet gneiser og granitter. Hydrolyse er i tillegg en temperaturavhengig reaksjon. Forvitring av gneiser og granitter går svært langsomt i vårt klima, og norsk berggrunn fremstår på overflaten som nærmest uforvitret etter Istiden. I jordens mellomalder var klimaet derimot tropisk og forvitring gikk opptil 200 meter dypt. Dypforvitring fra denne tiden er bevart i sprekkesoner mange steder på Østlandet og har vært årsak til uventede stabilitetsproblemer ved driving av tunneler (Olesen og Rønning 2008).



Figur 1. Jern som er løst i grunnvann kan felle ut på tunnelvegger ved tilgang på oksygen. Her fra Follidal gruver.

Problematiske stoffer i grunnvann i berg

Enkelte stoffer kan fra naturens side forekomme i grunnvann i konsentrasjoner som kan ha helsemessig betydning eller medføre bruksmessige ulemper. En landsomfattende undersøkelse av private borebrønner i berg utført av NGU i samarbeid med Statens strålevern og Mattilsynet (Midtgård m. fl. 1999, Banks m. fl. 2000, Frengstad 2002) bekreftet dette, se tabell 1. Drikkevannforskriften gjelder ikke for vannforsyningsanlegg som forsyner færre enn 50 p.e. eller 20 husstander. Med tanke på at ca 10 % av landets befolkning er tilknyttet mindre vannverk og private brønner, er det et betydelig antall norske borgere som har en uregulert drikkevannkvalitet. NGU undersøkte et utvalg bergborede brønner fra Vannverksregisteret og Mattilsynets lister over brønner som forsyner vann til offentligheten (Seither m.fl. 2012). Resultatene er i stor grad sammenliknbare med private borebrønner, tabell 1.

Jern og mangan

I prosentandel er det først og fremst mangan og/eller jern som opptrer i konsentrasjoner over drikkevannsgrensen. Dette har ingen kjent helsemessig betydning, men kan gi store bruksmessige

problemer. Ulempene inkluderer misfarging av klesvask og sanitæranlegg, utfelling og slamdannelse i brønner, høydebasseng, pumper og armaturer samt gjentetting av dyser. Forekomsten av jern og mangan i grunnvannet har relativt liten sammenheng med type bergart. Grunnstoffene finnes i de fleste bergarter og forekommer ofte utfelt på sprekkeflater. De løses i grunnvann under reduserende forhold og kan felles ut når vannet igjen får kontakt med oksygen. Flate områder med langsom grunnvannsstrømning, gjerne under myrer, er typisk for forhøyet innhold av jern og mangan. Vekslede grunnvannstand og blanding av oksygenrikt og oksygenfattig vann kan forsterke problemet. I tillegg vil aktiviteten til ulike bakterier kunne fremskynde redoksreaksjoner betraktelig.

Fluorid

Fluorid i riktige mengder er essensielt for en god tannhelse. Ved for lavt inntak av fluorid angripes tennene av karies mens for mye fluorid kan skade tannemalje på tenner som er under dannelse (dental fluorose). Omkring 16 % av bergborede brønner gir vann som bryter drikkevannsgrensen for fluorid på 1.5 mg/l, og konsentrasjoner opp til 8,26 mg/l er blitt målt i Norge (Banks m.fl. 2000).

Parameter	Norm	Private brønner utenfor norm n=476	Mattilsyn- og VREG-brønner utenfor norm n=327
Mangan	<0,05 mg/l	31 %	28 %
Jern	<0,2 mg/l	16 %	21 %
Fluorid	<1,5 mg/l	16 %	15 %
Aluminium	<0,2 mg/l	4 %	6 %
Arsen	<0,01 mg/l	1,5 %	0,9 %
Radon	<500 Bq/l	17 %	-
Uran	<0,03 mg/l*	12 %	7 %
Nikkel	<0,02 mg/l	1,3 %	3,5 %
Kadmium	<0,005 mg/l	0,25 %	0 %
Bly	<0,01 mg/l	0,25 %	1,4 %

Tabell 1. Prosentandel av bergborede brønner i Norge som gir vann utenfor drikkevannsforskriftens krav for ulike parametre. Radon er analysert hos Statens strålevern mens øvrige parametre er analysert på NGU Lab. *For uran er det brukt grenseverdien satt av WHO og USA siden det foreløpig ikke finnes noen norsk grenseverdi.

Det er viktig at brønneier får vannet sitt analysert slik at en i samråd med tannlegen kan redusere eller kutte ut bruken av fluorholdig tannpasta og andre fluortilskudd. Granitter og lyse gneiser er risikobergarter for fluor. Grunnvann med lavt kalsiuminnhold og høy pH (pH>8.2) inneholder også gjerne mer løst fluorid.

Radon

Et mer kjent problem i Norge er den radioaktive gassen radon som er et stadium i nedbrytningskjeden til naturlig uran. Mindre kjent er det kanskje at radon er svært løselig i vann under normale grunnvannstemperaturer. Siden grunnvannsbrønner ofte er lukkede systemer, føres radongassen inn i huset der den damper av når vannet varmes opp, for eksempel i oppvaskmaskiner og dusjer. Statens strålevern (Strand og Lind) har vist at radon i brønner kan gi betydelige bidrag til radonkonsentrasjoner i inneluft. Å puste inn radonholdig luft øker risikoen for lungekreft, mens den helsemessige risikoen ved å drikke radonholdig vann er antatt å være vesentlig lavere. Det amerikanske vitenskapsakademiet har likevel konkludert med at radon i vann utgjør en større helserisiko enn de fleste andre naturlig forekommende kjemiske stoffer i vann (US National Research Council 1999). 17 % av de undersøkte bergborede brønnene overskrider anbefalt tiltaksnivå på 500 Bq/l radon. Granitter, pegmatitter og alunskifer er spesielt problematiske når det gjelder radon, men få bergarter kan friskmelles fullstendig. For de som jobber ved vannverk, er det viktig å være oppmerksom på at radongass kan oppkonsentreres over åpne vannbasseng (Åkerblom m.fl. 2002).

Tungmetaller

Undersøkelsene har vist at tungmetaller sjelden er et problem i grunnvann, trolig fordi løseligheten er liten ved nøytrale til basiske pH-verdier som er vanlige i grunnvann. Forekomst av forhøyede uranverdier er derimot mer vanlig, da løseligheten av dette tungmetallet er mer avhengig av redoksforhold enn av pH. Naturlig, ikke-anriket uran har lav radioaktivitet og det er dens kjemiske giftighet som tungmetall som er grunn-

lag for at WHO og USEPA har satt en grenseverdi på 30 µg/l.

Overføringsverdi til overføringstunneler

En råsprengt overføringstunnel kan betraktes som en stor, horisontal borebrønn i berg. Også mellom vannet og tunnelveggen vil det foregå kjemiske prosesser og det overførte vannet vil vanligvis få økt pH og alkalitet, samt et høyere ioneinnhold. Det er imidlertid noen vesentlige forskjeller:

Borebrønner i berg har liten diameter (100 – 200 mm), mens overføringstunneler har stort tverrsnitt som medfører en relativt liten kontaktflate i forhold til vannvolumet.

Grunnvannet som kommer inn i en borebrønn i berg har beveget seg langs noen få sprekker hvor utfelte sprekke mineraler ofte betyr mer enn bergarts mineralene. Dette gir en langvarig og tett kontakt mellom vann og mineraler. I overføringstunneler er det bare en begrenset mengde vann som kommer inn gjennom sprekker. Sprekke mineraler har derved mindre betydning for vannkvaliteten.

Selv om det i prinsippet er mulig å blende av enkelte nivåer i en brønn dersom det kommer inn grunnvann med uønsket kjemisk sammensetning, er dette noe som sjelden gjøres. I en overføringstunnel vil bergkvaliteten kontrolleres fortløpende under driving, og vanskelige partier som forvitrer lett, kan støpes inn.

Det er ikke kjent at vann fra norske vannverk har hatt ionekonsentrasjoner over drikkevannsforskriften som følge av reaksjoner med berggrunnen i overføringstunneler. Det finnes imidlertid et eksempel på at det kommer inn manganholdig grunnvann i en overføringstunnel i slike mengder at utfelt mangan gir problemer med gjentetting av dyser i vannverket. Problemene holdes i sjakk ved at tunnelen rengjøres årlig for manganslam.

Oppsummering

- Kjemisk forvitring av mineraler i berggrunnen øker generelt grunnvannets pH og tilfører hovedkationer, bikarbonat og sulfat + sporelementer

- Vannkjemien varierer fra bergart til bergart og mellom brønner innen samme bergart (blant annet på grunn av ulik pH, redoksforhold og oppholdstid)
- Naturgitt kjemisk drikkevannskvalitet i bergborede brønner kan være problematisk, blant annet når det gjelder mangan, jern, fluorid, radon og uran
- Granitter, lyse gneiser, alunskifer og pegmatitter er ”risikobergarter”
- Berggrunnens bidrag til vann i overførings-tunneler blir sterkt fortynnet
- Utfelt mangan kan gi driftsmessige problemer i vannverk selv om konsentrasjonene i vannet er under drikkevannsgrensen.
- Vekslede vannfylling bør unngås av hensyn til frigjøring av redoks-sensitive stoffer som jern og mangan
- Dersom vannverksarbeidere oppholder seg ved underjordiske vannbassenger bør luften undersøkes med hensyn på radongass

Litteratur

Banks, D., Frengstad, B., Skrede, Aa.K., Krog, J.R., Strand, T., Lind, B. og Siewers, U. 2000. Grunnvann – ikke bare vann. Gråsteinen 6. Norges geologiske undersøkelse, Trondheim, 58 s.

Frengstad, B. 2002. Groundwater quality of crystalline bedrock aquifers in Norway. Doktor Ingeniør avhandling 2002:53. Institutt for geologi og bergteknikk, NTNU, 389 s.

Midtgård Aa.K., Frengstad, B., Banks, D., Krog, J.R., Siewers, U., Strand, T. og Lind, B. 1999. Fordeling av sporelementer i grunnvann fra 476 borebrønner i fast fjell, analysert med ICP-MS. NGU-rapport 99.099, 169 s.

Oftedahl, C. 1981. Norges geologi. En oversikt over Norges regionalgeologi. 2. Utgave. Tapir, Trondheim, 207 s.

Olesen, O. og Rønning, J.S. 2008. Dypforvitring: Fortidens klima gir tunnelproblemer. I: Slagstad, T. og Dahl, R. (Red.) Geologi for samfunnet i 150 år – arven etter Kjerulf. Gråsteinen 12, Norges geologiske undersøkelse, Trondheim, s. 101-110.

Seither, A., Helgason, P.E., Berg, T., and Frengstad, B. 2012. The inorganic drinking water quality of some groundwaterworks and regulated wells in Norway. NGU Report 2012.073, 166 s.

Strand, T. and Lind, B. 1992. Radon in tap water from drilled wells in Norway. Proceedings. International Symposium on Radon and Radon Reduction technology, 22-25/9/92, Minneapolis, USA.

US National Research Council, Committee on Risk Assessment of Exposure to Radon in Drinking Water, 1999. Risk Assessment of Radon in Drinking Water. National Academy Press, Washington D.C, 222 s.

Åkerblom, G., Hagberg, N., Mjønes, L., and Heiberg, A. 2002. High indoor radon concentrations at some Swedish waterworks. In: Bølviken, B. (Ed.) Natural Ionizing Radiation and Health. Proceedings from a symposium held at the Norwegian Academy of Science and Letters, Oslo 6-7 June 2001.