


# DRIKKEVANN

## LANGT TIL HAVS



Under de vakre strendene på østkysten av Afrika, og langt utover i det turkise havet, ligger det store reservoarer med friskt og ferskt grunnvann ned til flere tusen meters dyp. Så langt har denne ressursen vært lite påaktet. Men fremtidens behov for vann til en voksende og mer vannkrevende befolkning, tvinger frem at vi ser med nye øyne på det som kan være en nesten uuttømmelig kilde.

Ferskvann under havet har inntil nylig blitt sett på som en kuriositet, og kartleggingen av det som kan vise seg å være verdens største grunnvannsforekomster har bare så vidt begynt. Nå begynner vi også å forstå det geologiske grunnlaget for hvordan disse reservoarene dannes.

TEKST: Fridtjov Ruden

Jordklodens lange og buktende kystsoner er svært sårbare. Her bor mer enn halvparten av verdens befolkning, inne på land ligger store arealer som er underlagt intensivt jordbruk, rett utenfor kystlinjen blir rike fiskeressurser tatt i bruk, og i et ganske smalt belte finner vi de fleste av verdens økonomiske og industrielle virksomheter. Med dette følger også store miljøbelastninger, og et stadig økende behov for ferskvann.

Nyere kunnskap viser heldigvis at det i den samme kystsonen ligger enorme grunnvannsreservoarer. Noen av dem finnes på land, mens andre – og de kan være gigantiske – finnes under havet.

Submarin hydrogeologi er derfor på god vei til å bli et nytt, spennende og nyttig fagfelt.

Når vi får kartlagt og tatt i bruk de submarine grunnvannsreservoarene, kan vannproblemene i mange land reduseres vesentlig, for ikke å si elimineres. Det gir håp i velutviklede områder der grunnvannet trues av tilgrising og saltvannsinntrengning, men også til mennesker som i dag lever i stor fattigdom uten tilgang på livsnødvendig, rent vann.

#### UNDERSJØISKE KILDER

Geografiens far, grekeren Strabo, beskrev den praktiske anvendelsen av en rekke undersjøiske ferskvannskilder i det østlige Middelhavet og i Den persiske gulf for drøye 2000 år siden. Enkelte av disse kildene har vært benyttet til vannforsyning siden fønikisk tid (700 f.Kr. til 500 e.Kr.), og den dag i dag er flere av dem fortsatt i bruk.

Fenomenet med slike submarine grunnvannskilder er globalt. Vi finner dem derfor også her i landet. NGU har for eksempel kartlagt flere hundre "pockmarks" (groper i havbunnen) i Indre Oslofjord, og forskerne tror de kan være dannet av undersjøiske kilder som stiger opp til havbunnen. Tilsvarende studier i Japan beskriver hvordan grunnvannet, når det artesiske trykket er stort nok, kan lage et "øye" i havbunnen ved å presse bort leire og andre sedimenter.



Foto: Ian Bryce

Undersjøiske kilder med ferskvann har vært kjent og brukt i flere tusen år. Her ser vi en slik kilde utenfor Zanzibar, med en antatt vannføring rundt 800.000 liter pr døgn.

## AKVIFER

I henhold til korrekt norsk skrivemåte omtales en grunnvannsforekomst nå som en akvifer (fra latin: vannbærer). En akvifer er et geologisk reservoar under bakken som inneholder vann. Som volumenheter i marin hydrogeologi benyttes som regel km<sup>3</sup>. Det norske vannforbruket er ca. 1 km<sup>3</sup> pr år. For en oljegeolog tilsvarer dette 6,3 milliarder fat. Til sammenligning var de opprinnelige reservene i Statfjord-feltet i overkant av 5 milliarder fat olje.

Undersjøiske kilder opptrer i overveiende grad i hulrom og sprekker i kalksteiner (karst), og de kjennetegnes ved et beskjedent volum og rask gjennomstrømning. Mange av kildene reagerer imidlertid hurtig på nedbørsvariasjoner, og de er sårbare for tiltak og forurensning på land. Alt dette bidrar til at undersjøiske kilder har liten betydning i regional vannforsyning.

Skal vi finne submarine grunnvannsreservoarer med store volumer, må vi derfor lete etter annet enn små undersjøiske kilder, og vi må forstå hvordan de dannes. Vi må altså kjenne de hydrogeologiske prosessene.

## VANNET PRESSER PÅ

Hydrogeologene driver tradisjonelt sin virksomhet på land, og gjerne med tiltagende engstelse jo nærmere kystlinjen og det salte vannet de kommer. For i kystnære områder med stor befolkningstetthet, er problemene mange. Forurensning er et nøkkelbegrep. Men ikke minst er *saltvannsinntrengning* som et Damoklessverd: Grådighet, og dermed overpumping, fører til at saltvannsfronten beveger seg mot land, og mot brønnene. Sakte, men sikkert, vil brukerne oppleve at saliniteten øker, og at vannet blir ubrukelig både til drikkevann og irrigasjon.

Nå viser det seg at *ferskvannsinntrengning* – satt i scene av naturen selv – er et fenomen som er langt mer utbredt enn man tidligere har vært klar over. Ferskvannsinntrengning betyr at ferskt vann som står under trykk presser saltvannet ned og ut slik at det oppstår grunnvannsreservoarer under havet.

## VANNET SIGER NED

Hyppige variasjoner i havnivået gjennom kvartær (pleistocen) tid har hatt konsekvenser for submarint grunnvann.

Vi vet at det globale havnivået har variert mellom 0 og –130 m ganske mange ganger i løpet av kvartær. I løpet av disse knappe to millioner årene har havnivået ligget under –50 m-nivået i til sammen ca. én million år. Store områder har derfor vært tørrlagt over lengre perioder, og ferskt vann har infiltrert de sedimentære bergartene som i dag ligger begravd under havbunnen. I tillegg ble det også etablert en mulighet for hydraulisk kontakt mellom infiltrasjonsområder på land og de dype reservoarene lenger ut.

Over deler av verden for øvrig finnes arealmessig store, men ikke nødvendigvis mektige, fluviale avsetninger (elveavsetninger) fra de mange korte periodene med lavt vann i kvartær. Mange av avsetningene inneholder ferskvann, og noen fører også fremdeles ferskvann fra land og milevis til havs. I Sørøst-Asia med grunn sokkel finns flere slike alluviale systemer.

*Skal vannet presses ned riktig dypt, må flere forutsetninger på plass, og det er disse mekanismene vi nå skal se litt nærmere på.*

## MINNER FRA ISTIDEN

De store isbreene i arktiske strøk øver et stort trykk på underlaget, og i noen tilfeller kan trykket medføre oppsprekking av berggrunnen, selv om den består av harde granitter og gneiser. Trykket fra isbreen vil også kunne skyve ferskvannet ned til store dyp, i teorien



Kartet viser hvor i verden det er grunnvann. Enkelt sagt kan vi si at grunnvann finnes overalt. Men i likhet med andre geologiske ressurser, er også denne ulikt fordelt mellom forskjellige land. Legg merke til at kartet ikke tar i betraktning muligheten for submarine grunnvannsreservoarer, noe som er helt i tråd med moderne lærebøker som heller ikke nevner denne type forekomster. Nå viser imidlertid ny kunnskap at de aller største grunnvannsreservoarene kan finnes seg *under* havbunnen. Den brune fargen viser områder med små grunnvannsressurser, den grønne fargen antyder områder med kompleks geologi, men som har viktige grunnvannsreservoarer, mens de blå fargene angir områder med store grunnvannsressurser. Sterk blå farge viser store innsjøer.



Illustrasjon: Lawrence Beck

Da kontinentene var dekket av store isbreer under istidene kan presset fra de tunge ismassene ha blitt så stort at grunnvannet har blitt skjovet under havet.

flere titalls kilometer i et hypotetisk underliggende reservoar, og langt dypere enn det noen gang har vært boret etter både grunnvann og hydrokarboner. At ferskt grunnvann påtreffes på flere tusen meters dyp i arktiske strøk burde derved ikke overraske.

Aldersdatering av vann fra et reservoardyp på 1500 m, ca. 90 km utenfor kysten av New Jersey i USA, avslører drikkevannskvalitet med alder rundt 12.000 år, altså fra siste del av den siste istiden. Vannet vurderes som en fremtidig vannkilde for New York.

Løfter vi blikket nordover, kan verdens største akviferer ligge under de store fiskebankene utenfor Nova Scotia og New Foundland. Dersom foreløpige antagelser holder stikk, vil for eksempel Grand Banks kunne inneholde i størrelsesorden 150.000 km<sup>3</sup> for hver 500 m mektighet, og kanskje enda større forekomster, finnes sannsynligvis mange andre steder. Til sammenligning inneholder en av verdens største akviferer på land, Aquifero Guarani i Sør Amerika, ca. 40.000 km<sup>3</sup> med ferskt vann. Den største av dem alle, Den nubiske akvifer i Nord-Afrika, som holder liv i millioner av mennesker i denne del av verden, inneholder hele 375.000 km<sup>3</sup> vann.

Vi ser altså at de store iskappene over den nordlige halvkulen i kvartær tid har gitt oss gigantiske submarine grunnvannsforekomster.

#### FJELLOMRÅDENES INNFLYTTELSE

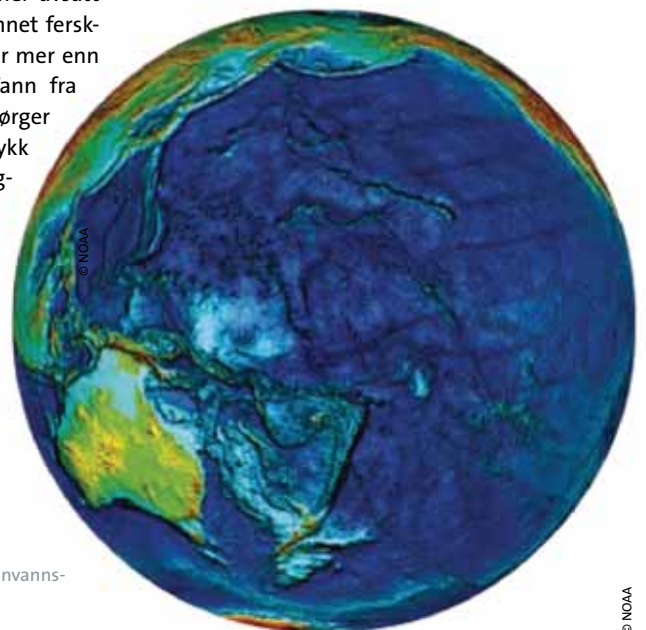
Når høyereliggende landområder med grunnvann ligger bak en kystlinje, vil det kunne oppstå en ubrutt hydraulisk kontinuitet fra infiltrasjonsområdene på land og dypt ned i utenforliggende sedimentære bassenger. Under Tanzanias Songosongo gassfelt (produserer fra sandsteiner avsatt i kritt tid) er det for eksempel funnet ferskvann i jura sandsteiner som ligger mer enn 2000 m under havoverflaten. Vann fra infiltrasjonsområdene på land sørger for et tilstrekkelig stort artesisk trykk til å motvirke diffusjon fra overliggende salt porevann og holder på den måten akviferen fersk.

Tilsvarende forhold ser vi også lenger mot nord, ved Kimbiji, hvor ca. 1200 m mektige sandavsetninger av neogen alder leder ferskvann mer enn 1000 m under Det indiske hav. Drivkraften bak prosessen er in-

filtrasjon av regnvann fra høyereliggende områder 100 km inne på land. Vannet beveger seg uhyre sakte, og det har blitt mer enn 2000 år gammelt innen det når kystlinjen. Den betydelige alderen til tross, dette vannet er dynamisk, blir stadig fornyet og er altså ikke fossil.

#### INNESTENGT GRUNNVANN

Det finnes ytterligere en mekanisme for plassering av vann dypt nede i submarine reservoarer, og hvor det også dreier seg



© NOAA

Den blå planeten er dekket med enorme mengder vann, men det aller, aller meste (1.4 milliarder km<sup>3</sup>) er saltvann. Bare rundt 1 promille er ferskvann. Ny kunnskap viser imidlertid nå at mengden grunnvann sannsynligvis er mye større enn det man har trodd hittil. Det er de store submarine grunnvannsreservoarene som endrer dette bildet.

© NOAA

## VERDENS GRUNNVANN

Verdens vannressurser er faktisk ganske sjenerøse. Grunnvann er stort sett en fornybar ressurs, og den årlige tilførselen som følge av nedbør og infiltrasjon i undergrunnen er rundt 14.000 km<sup>3</sup> per år. Til sammenligning ligger det norske forbruket av drikkevann på rundt 1 km<sup>3</sup> pr år – eller i overkant av 200 m<sup>3</sup> pr år per nordmann. Nedbøren kunne derfor alene – hvis den ble tatt vare på – forsyne mer enn ti ganger verdens befolkning med vann (70 milliarder mennesker). I praksis er situasjonen dessverre en annen: De største problemene er knyttet opp mot tilgjengelighet, fordeling, økonomi og kvalitet.

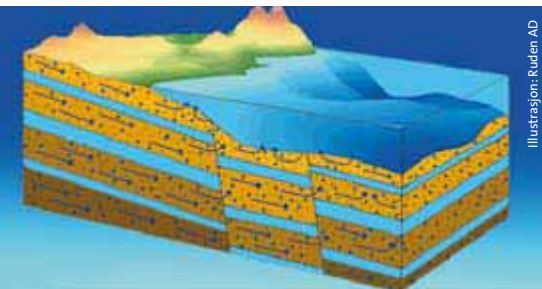
## SUBMARINT GRUNNVANN

Undersjøiske kilder	Små volumer	Fornybare kilder
Istrykk	Store volumer	Fornyes etter hver istid
Artesisk trykk	Store volumer	Fornybare kilder
Innestengt grunnvann	Store volumer	Ikke fornybare kilder

## OLJE OG VANN

Oljegeologene har i en årrekke funnet reservoarbergarter hvor porevannet har mye mindre salt (lavere salinitet) enn vanlig sjøvann. Mange av dem har nok også reflektert over at det finnes ferskvann i reservoarer på flere tusen meters dyp. Det er grunn til å anta at det finnes mye verdifull, men ubenyttet kunnskap, stuet bort i oljebransjens mange

lønnkamre. Tatt i betraktning at hydrogeologien historisk sett har vært premissleverandør til oljebransjen (Darcy's lov, Theis' ligning, etc.), burde tiden etter hvert være moden for en viss "tilbakebetaling". Det arbeides derfor med et symposium i samarbeid med oljeindustrien hvor formålet er å få frem vannrelatert informasjon av samfunnsmessig verdi.



Prinsippskisse som viser hvorfor vi finner reservoarer med friskt og ferskt grunnvann under havet. Betingelsene er at reservoaret er sammenhengende fra infiltrasjonsområdene og til langt ut under havet.

om betydelige volumer. Disse vil imidlertid ikke være i likevekt med sine nåværende omgivelser, og vannet som ender opp der vil ikke bli fornyet.

Et eksempel utenfor Tanzania, nærmere bestemt i Vest- Zanzibarbassenget, mellom Zanzibar og det tanzanianske fastlandet, illustrerer godt dette prinsippet.

Bassenget har vært under innsynkning siden miocen tid (de siste 20 millioner år). Slikt tiltrekker seg elver, i dette tilfellet Ruvu og Wami, sannsynligvis også et tidlig løp av Rufiji, som alle har sendt sand ut i bassenget gjennom millioner av år. I Vest-Zanzibarbassenget har vi fått en sedimenttær lagrekke på nærmere 9000 m der sand og kalkrike leirelag veksler. Vann er blitt begravd i en stadig mektigere "sandwich" av sand og leire. Sammenpressningen av bergartene skyver ferskvannet ut fra underliggende akviferer, og motvirker diffusjon fra saltvann. Resultatet er en spektakulær submarin akvifer med volumpotensial i verdensklasse. Slike ressurser har imidlertid den ulempen at de ikke er fornybare.

### VED EN BEGYNNELSE

Vann er en mangelvare i mange områder på Jorden. Slike steder er avsalting av havvann i mange tilfeller det eneste reelle tilbudet,

og kostnaden ved denne prosessen vil være førende for bestemmelsen av prisen på vann. Til tross for stadige forbedringer er prosessen fortsatt energikrevende. Dette innebærer at gevinsten ved økt effektivitet i stor grad vil bli spist opp av stigende energipriser. Dessuten vil CO<sub>2</sub>-fotsporene ved avsalting alltid være betydelige.

Submarine akviferer vil riktignok ikke ligge på de mest optimale stedene. Men det gjør som kjent heller ikke olje- og gassreservoarer. Det vil derfor til syvende og sist være den lokale og regionale markedsprisen som bestemmer når og hvordan de enkelte akviferer skal benyttes.

Porøse undersjøiske akviferer har et betydelig potensial for vannforsyning, og vann er blitt en strategisk ressurs som etter hvert vil tiltrekke seg langsiktige investeringer. Kartlegging av verdens største grunnvannsforkomster har imidlertid bare så vidt begynt.

## LETING ETTER AKVIFERE

Betydelige volumer med ferskvann kan lekke fra akvifere og opp gjennom havbunnen uten at vi legger merke til det. Fordi utstrømningen skjer over svært store arealer, blir den diffuse strømmingen av ferskvann veldig lav, og med en tilsvarende uhyre svak uttynning av havvannet. Det arbeides for tiden med kartlegging av spore-

lementer som kan avsløre slik strømming.

Den norske oljebransjen har imidlertid utviklet elektromagnetiske letemetoder (EM) til måling av resistiviteten i lag under havbunnen (GEO 02/2008). Metoden benyttes til å påvise olje og gass før det bores, men kan også benyttes til å påvise submarine ferskvannsreservoarer. Derfor er det igangsatt et sam-

arbeidsprosjekt for studier av submarine akviferer mellom EMGS i Trondheim og Røden AD. Prosjektet er støttet av Innovasjon Norge. Bruk av EM til regional grunnvannsprospektering gir muligheter som kan sette andre metoder fullstendig i skyggen.