

# MRS

## - oplagt kortlægningsmulighed i Danmark

Af geofysiker Mette Ryom Nielsen, Rambøll; geofysiker, ph.d. Konstantinos Chalikakis, Université Pierre et Marie Curie (Paris VI); Klaus Petersen, Geolog, cand.scient., tidligere Vejle Amt nu Miljøcenter Århus og Jette Vindum, Geolog, cand.scient., tidligere Vejle Amt nu Kolding Kommune

MRS-metoden er oplagt at implementere i grundvandsressourcekortlægningen af den simple grund, at den kan bruges til at kortlægge vigtige parametre som vandindhold og permeabilitet, hvilket ingen andre overflademetoder kan. Rambøll har længe arbejdet på at muliggøre en optimering og tilpasning af MRS-metoden til de danske forhold, og i foråret 2006 lykkedes det at indsamle MRS-data af meget høj kvalitet.

Siden starten af 1990'erne er der i Danmark udført intens kortlægning af den danske grundvandsressource. Denne kortlægning udføres primært med geofysiske metoder som SkyTEM, jordbaseret TEM, MEP, PACES og seismik. Fælles for disse metoder er, at der kan kortlægges fysiske parametre af undergrunden som for eksempel elektrisk modstand. Blandt andet ud fra disse fysiske



MRS NUMISplus-udstyret (foto: Mette Ryom Nielsen)

parametre tolkes geologiske egenskaber og hydrologiske forhold. MRS-metoden (Magnetisk Resonans Sondering) adskiller sig markant fra de traditionelle geofysiske metoder, idet metoden direkte måler på vandet i jorden og ikke sedimenternes samt vandets samlede fysiske egenskaber.

Det er med andre ord med MRS muligt fra jordoverfladen direkte at måle på vandindholdet i jorden og estimere magasinets hydrauliske egenskaber som permeabilitet

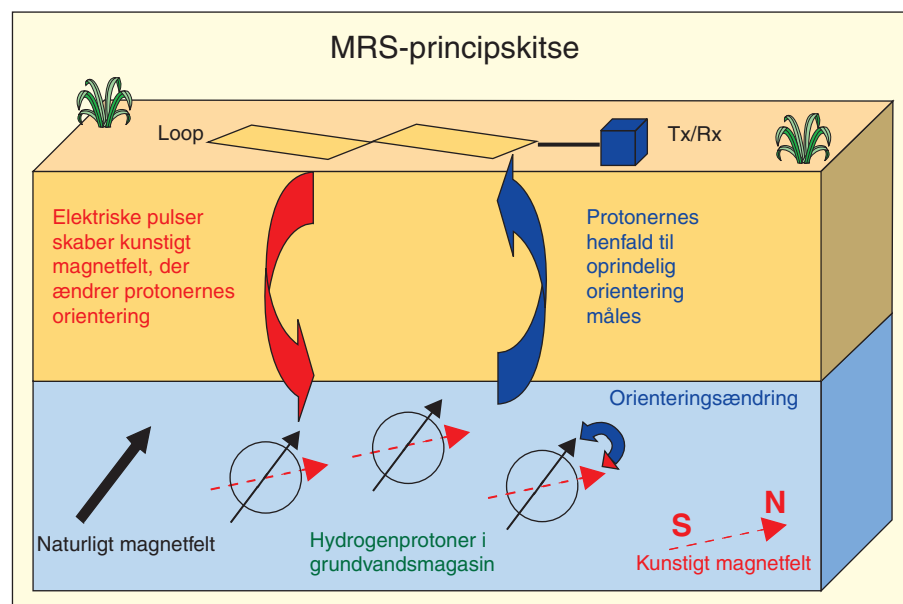
og transmissivitet. Disse parametre er helt afgørende i vurderingen af et magasinets egnet til vandindvinding.

### Metodens historie

MRS-metoden til grundvandsressourcekortlægning blev udviklet i Rusland i begyndelsen af firserne af et russisk team. Metoden blev herefter hovedsageligt benyttet i Rusland. I 1996 udviklede det franske firma IRIS Instruments med et team af russiske forskere et MRS-udstyr kaldet "NUMIS" /1/. Dette medførte en markant øget interesse for metoden, og i de seneste år er MRS-metoden testet i adskillige lande med stor succes. Det optimerede NUMISplus MRS-udstyr, vist på billedet, er det eneste kommercielt tilgængelige MRS-udstyr. Sammenlignet med øvrige geofysiske metoder er MRS-metoden en relativt ny geofysisk metode, som stadig udvikles og optimeres både udstyrmæssigt og tolkningsmæssigt.

MRS-metodens anvendelighed i Danmark blev afprøvet af det franske IRD (Institut de recherche pour le développement) i samarbejde med Geofysiksamarbejdet i det daværende Nordjyllands Amt i 2003. Konklusionen heraf var, at metoden er anvendelig i Danmark, men at yderligere optimering til de danske forhold var nødvendig /2/.

Siden 2003 er metoden forbedret. Dette sammen med en forventning om, at en optimeret konfiguration samt nøje tilpasning af de anvendte parametre ville muliggøre en tilpasning af metoden til danske forhold, var



MRS-principskitse. (Grafik: Mette Ryom Nielsen)

baggrunden for, at Rambøll i 2006 indgik samarbejde om et MRS-udviklingsprojekt med det daværende Vejle Amt og University of Pierre & Marie Curie (UPMC) Paris, som har stor erfaring med metoden.

#### Metoden

Metoden er i bund og grund en stor udgave af hospitalernes MR-scannere. Princippet bag metoden bygger på den egenskab, at hydrogenprotoner i vandmolekyler har et magnetisk dipol-moment, som er orienteret parallelt med Jordens geomagnetiske felt. Dvs. at hydrogenprotonerne i vandmolekylerne overalt på kloden naturligt ligger orienteret efter retningen på Jordens magnetfelt på den pågældende lokalitet.

Ved at etablere et kunstigt magnetfelt med en bestemt resonansfrekvens kan orienteringen af hydrogenprotonernes dipol ændres. Dette udføres i praksis ved at lægge et kabel i et loop på jordoverfladen og herigennem sende en strøm. Dette giver anledning til et magnetfelt, som kan ændre hydrogenprotonernes orientering. Princippet i en MRS-sondering er skitseret i figuren på foregående side nederst.

Når det kunstige magnetfelt slukkes, henfalder protonerne til deres oprindelige position. Dette henfald kan måles i loopkablet på jordoverfladen og kaldes det magnetiske resonans-signal. Amplituden af signalet er proportionalt med det procentvise vandindhold i jorden. Dvs. jo kraftigere responssignal desto mere vand og omvendt. Ved trinvist at øge strømstyrken eller strømpulsen i loopkablet, øges gradvist den indtrængningsdybde, hvor vandmolekylerne er påvirket. Dermed kan responserne relateres til et antal dybder, hvorved et dybdeprofil opnås.

Den tid, det tager hydrogenprotonerne at henfalde til den oprindelige orientering, er relateret til porerummenes størrelse og indbyrdes sammenhæng. Dvs. ved at måle

henfaldstiden kan jordens permeabilitet estimeres, idet høj permeabilitet giver høj henfaldstid og omvendt. På baggrund af permeabiliteten kan den kumulerede transmissivitet ned til den maksimale indtrængningsdybde estimeres.

Det er kun signaler fra de frie vandmolekyler i jorden, der registreres ved en MRS-sondering. Dvs. der måles ikke et signal fra kapilært bundne vandmolekyler som fx vand bundet til lerminerale. Dette skyldes, at henfaldstiden for vandmolekyler, som er påvirket af kapillære kræfter, er kortere, end hvad MRS-udstyret kan registrere. Dvs. signalet målt med MRS-metoden stammer udelukkende fra det frie og flytbare vand, som er interessant i grundvandsressourcesammenhæng.

Det signal, der måles fra henfaldet af protonerne, er meget svagere end den omgivende elektromagnetiske støj fra ledningsnet, vindmøller mv. og der bør generelt holdes en afstand på minimum 150 m til disse. For at kunne skelne MRS-signalet fra den elektromagnetiske støj, gentages MRS-målingerne mange gange og stakkes, hvorved støjen midles ud. Jo længere tid der stakkes desto større bliver signalet i forhold til støjen, og dermed opnås et bedre signal/støjforhold. En typisk MRS-sondering tager mellem 6 og 12 timer.

Indtrængningsdybden for en MRS-sondering afhænger af den benyttede loopkonfiguration og -størrelse. Traditionelt anvendes et kvadratisk loop med sidelængden 100 m, hvilket giver en indtrængningsdybde på mellem 120 m og 150 m. I områder med højt støjniveau kan med fordel anvendes en såkaldt 8-tals-loop-konfiguration, som er to forbundne kvadrater traditionelt begge med en sidelængde på 75 m. Denne konfiguration giver en reduceret indtrængningsdybde på 80 m til 100 m, men giver til gengæld en markant bedre undertrykkelse af støjen end med et kvadratisk loop.

#### Resultater fra Vejle Amt

På baggrund af tidligere geofysiske kortlægninger med bl.a. TEM-metoden er der i tre områder i det daværende Vejle Amt udpeget områder potentielt egnet til drikkevandsindvinding. Efterfølgende er der i de tre områder udført i alt 14 MRS-sonderinger, med det formål, at opnå et datagrundlag, der gør det muligt at optimere prioriteringen af lokaliteter til fremtidige kildepladser. Det andet formål med projektet var at teste og om muligt optimere metodens anvendelighed i Danmark.

Overordnet er geologien i de tre områder beskrevet ved: øverst moræne- og smeltevandsaflejringer overlejrende glimmersand og -silt og herunder fed ler. Grænsen til glimmeraflejringerne findes i en dybde på mellem 30 m og 80 m, og grænsen til det fede ler forventes i en dybde på mellem 100 m og 150 m. Traditionelt vil man med TEM-metoden kunne opnå god bestemmelse af grænsen til den fede ler, men sandsynligvis vil det ikke være muligt, at skelne mellem fx smeltevandsaflejringer med magasinegenskaber og eventuelle underliggende glimmeraflejringer, idet disse sedimenter kan have samme elektriske modstand. MRS-metoden vil derimod netop kunne kortlægge forskellene i de hydrauliske egenskaber, der er mellem smeltevandsaflejringer og glimmeraflejringer. Dette forhold er forsøgt illustreret i figuren øverst på næste side.

Feltarbejdet med indsamling af de i alt 14 MRS-sonderinger blev udført i maj 2006 og indledtes med grundige indsamlinger af ledningsnetplaner, støjmålinger og arbejde med tilpasning til de danske forhold. Det lykkedes at indsamle MRS-data af høj kvalitet, og det kan derfor konkluderes, at det har været muligt at optimere metoden til danske forhold. Resultaterne er verificeret med prøvepumpninger og flere boreriger med god overensstemmelse. Figuren nederst på siden viser et eksempel på resultaterne

**Quaternary Research Association**  
6th International Postgraduate Symposium — Copenhagen 21<sup>st</sup> to 24<sup>th</sup> August 2007

- climate reconstruction
- palaeoecology
- geochronology
- glaciology
- sedimentology
- environmental archaeology

**Geocenter**  
Copenhagen University  
Øster Voldgade 10  
DK-1350 Copenhagen

[qra2007@geol.ku.dk](mailto:qra2007@geol.ku.dk)

Find the latest news at [www.qra2007.geol.ku.dk](http://www.qra2007.geol.ku.dk)

af en MRS-sondering sammenstillet med en nærliggende boringsbeskrivelse.

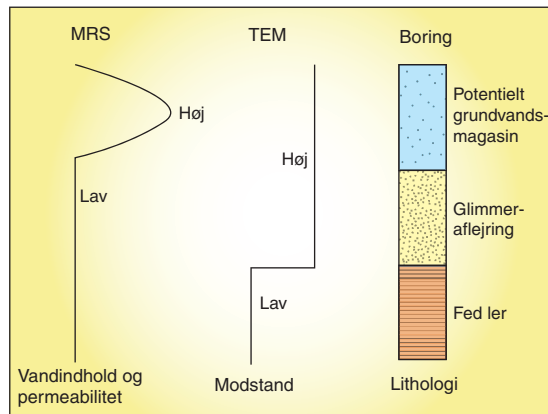
I MRS-sonderingen ses et stigende vandindhold fra dybden 31 m til en maksimal værdi på 19 % i dybden 80 m. Den maksimale permeabilitet, eller hydraulisk ledningsevne på  $1,5 \times 10^{-3}$  m/s, er ligeledes estimeret i dybden 80 m. Der er hverken registreret fald i vandindhold eller permeabilitet, og det må derfor formodes, at bunden af magasinet ikke er nået inden for opstillingens indtrængningsdybde. Dette stemmer fint overens med borebeskrivelsen. Den viste transmissivitetkurve er de kumulerede værdier med dybden. Transmissiviteten i dybden svarende til filteret i boringen stemmer meget fint overens med værdien opnået ved prøvepumpning ( $1,9 \times 10^{-3}$  m<sup>2</sup>/s).

De optimale forhold for et potentielt grundvandsmagasin er højt vandindhold og høj permeabilitet. For at sammenligne resultaterne af flere MRS-sonderinger er der på næste side vist profiler over hhv. vandindhold og hydraulisk ledningsevne gennem fire MRS-sonderinger.

Det ses, at det mest optimale sted for vandindvinding ud af de fire lokaliteter, er ved Bredal 1, den nordligste sondering. Her findes i dybden 80 m både højt vandindhold og høj hydraulisk ledningsevne.

Overordnet gav MRS-metoden en mere korrekt afgrænsning af de potentielle grundvandsmagasiner i forhold til TEM-metoden, som overvurderede tykkelsen af magasinet, idet metoden ikke kunne skelne mellem aflejringstyperne med forskellige hydrauliske egenskaber. Dvs. inden for områder, der ifølge TEM-kortlægningerne udgør sammenhængende højmodstandsområder og dermed tilsyneladende ensartede po-

*MRS-metoden kan kortlægge en forskel i de hydrauliske egenskaber mellem aflejringer med grundvandsmagasin-egenskaber og glimmeraflejring, hvorimod TEM-metoden kun kortlægger en forskel i den elektriske modstand mellem glimmeraflejring og fed ler. (Grafik: Mette Ryom Nielsen)*



tentielle grundvandsmagasiner, er der med MRS-sonderingerne kortlagt variationer i vandindhold og permeabilitet. Hermed er der med MRS opnået et bedre grundlag for at udpege en ny kildepladslokalitet med de mest optimale hydrauliske parametre.

#### Anvendelsesområder

I dag skal MRS-metoden ses som en billig måde efter en fladedækkende kortlægning at optimere prioriteringen af mulige borelokaliteter ud fra de hydrologiske parametre.

Information om hydrologiske parametre i et område med mulig indvindingsinteresse må desuden være værdifuldt i alle tilfælde. Dette gælder ikke kun, når der skal skelnes mellem fx sand og glimmerler, men også i andre tilfælde hvor en elektrisk modstand ikke entydigt kan oversættes til en geologisk aflejringstype. Desuden kan der også forekomme hydrauliske variationer inden for samme aflejringstype, hvorfor én borelokalitet vil være mere optimal end en anden.

Desuden vil MRS-metoden være meget relevant at anvende til at opnå forbedrede og

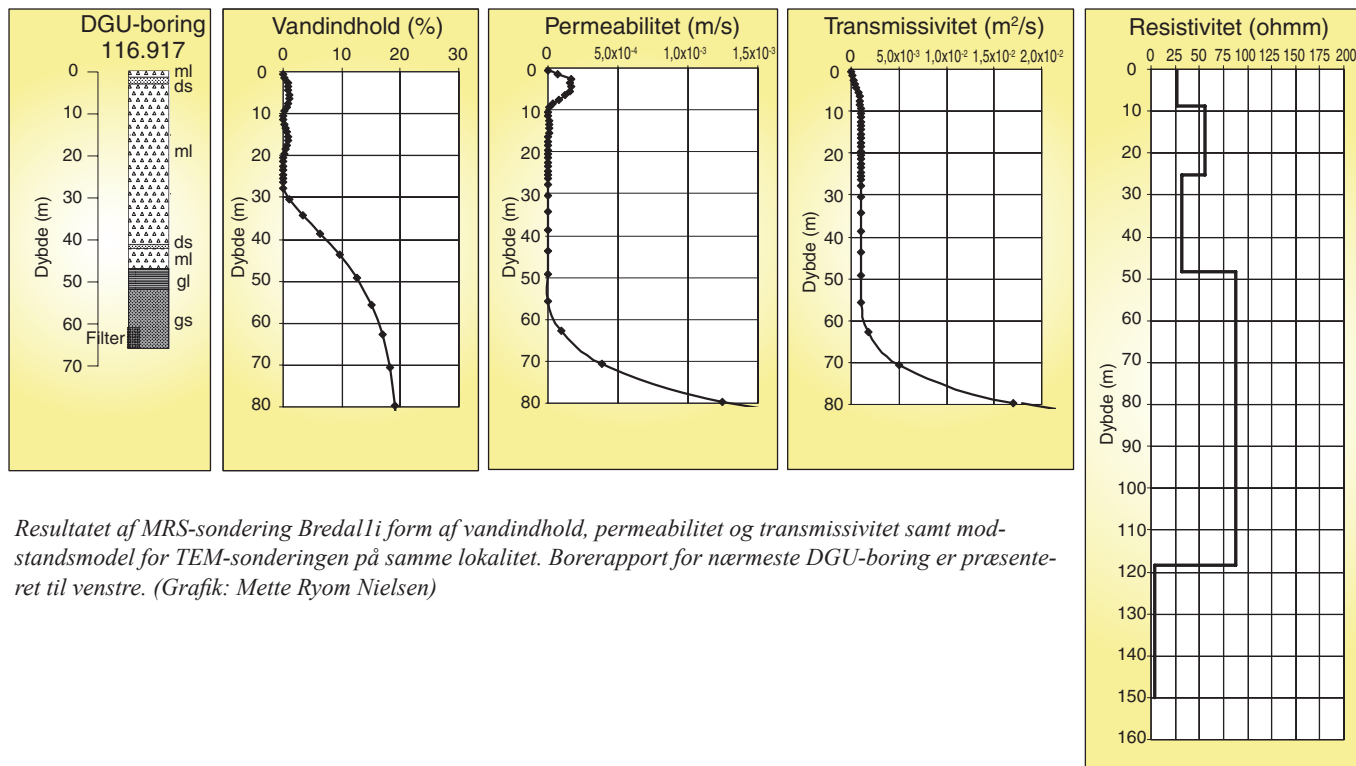
mere detaljerede parameterinput til grundvandsmodeller, hvor der ofte er langt mellem de hydrauliske data.

Hvis der forhåbentlig i fremtiden optimeres på det eksisterende NUMISplus udstyr og ikke mindst på tolkningssoftwaren, eller der udvikles helt nyt MRS-udstyr og -software, så måletiden og dermed prisen for en sondering minimeres, vil metoden kunne bruges mere fladedækkende. Opnås dette vil MRS-metoden sammen med eksisterende resistivitetmetoder som fx TEM-metoden give en væsentlig forbedring i grundvandsressourcekortlægningen.

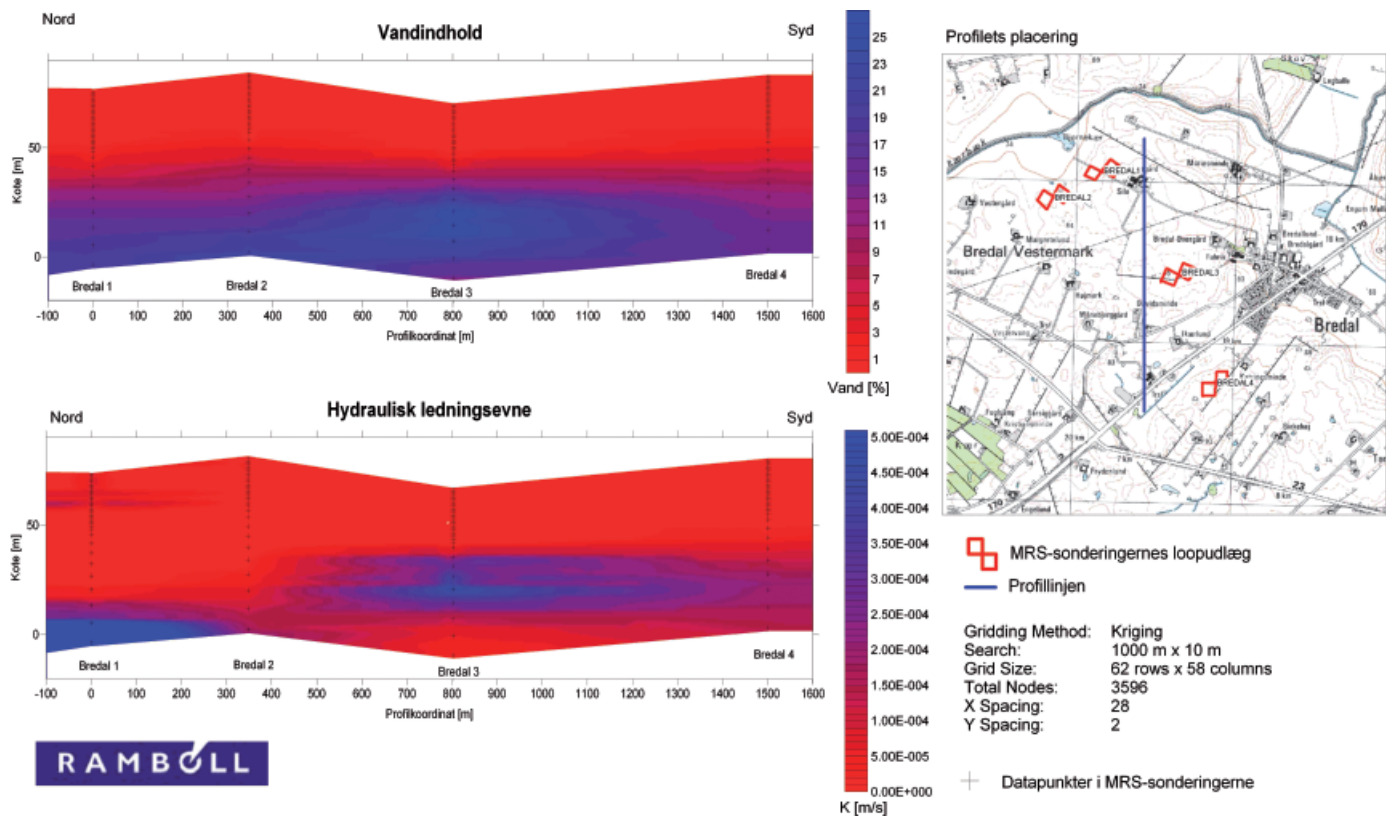
#### Referencer:

/1/ Nuclear magnetic resonance as a geophysical tool for hydrogeologists, Legchenko, A., Baltassat, J.M., Beuce, A., Bernard, J., Journal of Applied Geophysics 50, 2002.

/2/ Field test of NUMISplus MRS Equipment in northern Denmark (August 2003), Legchenko, A., Robain, H., IRD report, 2003. ■



Resultatet af MRS-sondering Bredal 1 i form af vandindhold, permeabilitet og transmissivitet samt modstandsmodel for TEM-sonderingen på samme lokalitet. Borerapport for nærmeste DGU-boring er præsenteret til venstre. (Grafik: Mette Ryom Nielsen)



MRS-profiler fra Dalby-området med hhv. det procentvise vandindhold og den hydrauliske ledningsevne. (Grafik: Mette Ryom Nielsen)

## Kort nyt

### Voldsomt uvejr hærger Australien

I første halvdel af juni blev Australiens østkyst ramt af et voldsomt uvejr. Enorme regnskyl og stormvejr har bl.a. hærget byen Newcastle, der ligger lige nord for Sydney. De voldsomme regnskyl var årsag til, at veje kollapsede, træer væltede, og skibe gik på grund eller blev skyllet op på land. Ni personer er omkommet under uvejret.

Ritzau/UVH



Det voldsomme uvejr har bl.a. ramt byen Newcastle. (Grafik: UVH)

### Våd weekend i Danmark

Den 16.-17. juni 2007 faldt der visse steder op til 72 millimeter – voldsomt med den verificerede måling på 72,3 mm i Hvidbjerg ca. 15 km nord for Struer. Mindst nedbør kom der på Bornholm med 3,1 millimeter i Rønne.

Klimatolog Mikael Scharling beretter, at Danmark samlet set fik over én milliard tons vand i weekenden. Her kommer beregningen: "Danmark er rundt regnet 43.100 km<sup>2</sup>, og over det areal faldt der i snit 26,4 mm nedbør. En millimeter nedbør er det samme som én liter pr. kvadratmeter, og derefter er det ret let at regne igennem";  $43.100 \cdot 1.000 \cdot 1.000 \cdot 26,4 = 1.137.840.000.000$  liter eller 1.137.840.000 tons.

På DMI's hjemmeside kan man desuden læse, at 27 mm ret præcist er halvdelen af Danmarks normalnedbør i juni (55 mm).

DMI/UVH

## Rettelse til nr. 2-2007

I forbindelse med vores geokonkurrence i nr. 1-2007 stillede vi nogle spørgsmål, hvor vi desværre fik bragt et enkelt forkert svar på spørgsmålene i nr. 2-2007.

Det drejer sig om spørgsmål nr. 1: Hvor store mængder aske og pimpsten, skønner man, at der blev slynget ud i atmosfæren ved Tamboras udbrud på øen Sumbawa i Indonesien i 1815? Det rigtige svar er 150 km<sup>3</sup> og ikke 150 m<sup>3</sup>. I svarene i nr. 2-2007 havde vi desværre ikke fået k'et med. Vi beklager fejlen!

Redaktionen