

SOLENERGI OG GEOLOGI

af Henning Sørensen

Menneskets materielle fremskridt har indtil nu, hvad energikilder angår, næsten udelukkende været baseret på den solenergi, der er oplagret i træ, vand- og vindkraft og i de fossile brændsler. Først i de seneste år er den oplagrede solenergi blevet suppleret med geotermal energi, tidevandsenergi og atomkraft, men de fossile brændsler er stadig langt de vigtigste energistoffer.

Som nærmere behandlet i Varv 1, 1974 næres der alvorlig frygt for, at de fossile brændsler ikke fortsat vil kunne dække energibehovet. Man er derfor begyndt at se på alternative energikilder. De geologiske aspekter af en af disse, atomkraften, blev behandlet i Varv 2, 1974.

Solenergien selv er umiddelbart den mest tiltalende af de alternative energikilder. Denne energi tilflyder Jorden kontinuert, er udtømmelig og er næsten uden bivirkninger. Den udgør mere end 99,9 % af den energi, som påvirker jordoverfladen, og menneskeheden anvender nu en energimængde, der er en meget lille brøkdel af den energi jordkloden modtager fra solen.

Man må gå ud fra, at mennesket i en ikke fjern fremtid vil udnytte solenergien direkte til husopvarmning og kraftfremstilling og sandsynligvis også indirekte via fremstilling af brint eller ved på anden måde at omdanne solenergi til kemisk energi. Disse lidt fjernere perspektiver vil vi lade ligge for i stedet at behandle de mere "traditionelle" former for oplagret solenergi.

Som vist på side 92 bliver en væsentlig del af solenergien tilbagekastet som kortbølget stråling fra atmosfærens øvre del. En anden betydelig del absorberes i atmosfærens støv, skyer og så videre. Lidt mindre end halvdelen af den indkomne solenergi når ned til jordoverfladen og opvar-

Lidt om tal

Der er mange tal i denne artikel. De er sammenstykket af oplysninger fra mange og til dels indbyrdes modstridende kilder. De skal derfor tages med forbehold og viser først og fremmest størrelsesordenene.

Apropos tal.

I Varv 2, 1974 side 62 linie 5 skal der stå 4 og ikke 40 km³.

mer denne, havene og atmosfærens nedre del. Denne energi er dog ikke 100 % til rådighed for jordoverfladens geologiske, meteorologiske og biologiske processer. Det at temperaturen ved jordoverfladen er nogenlunde konstant på trods af den stadige tilførsel af solenergi viser, at jordoverfladen må udstråle varme til atmosfæren og rummet uden for denne. Nettoresultatet af ind- og udstrålingen er, at der i gennemsnit er cirka 30 % af den indfaldne solenergi til rådighed for processerne ved jordoverfladen, men der er store variationer fra sted til sted.

0,2 % af den totale solstråling omdannes ved jordoverfladen til den mekaniske energi, som driver vinde, bølger og havstrømme. Cirka 20 % af solenergien holder vandets geologiske kredsløb - fordampning-nedbør-afstrømning, nedsivning-fordampning - i gang. Det er en lille del af denne mekaniske energi, der kan nyttiggøres som vind- og vandkraft.

0,02 % af solenergien oplagres ved fotosynteseprocessen i de klorofylholdige planter som kemisk energi. Denne energi kan udnyttes ved brænding af planter og fossilt brændsel.

SOLENERGI OPLAGRET SOM MEKANISK ENERGI

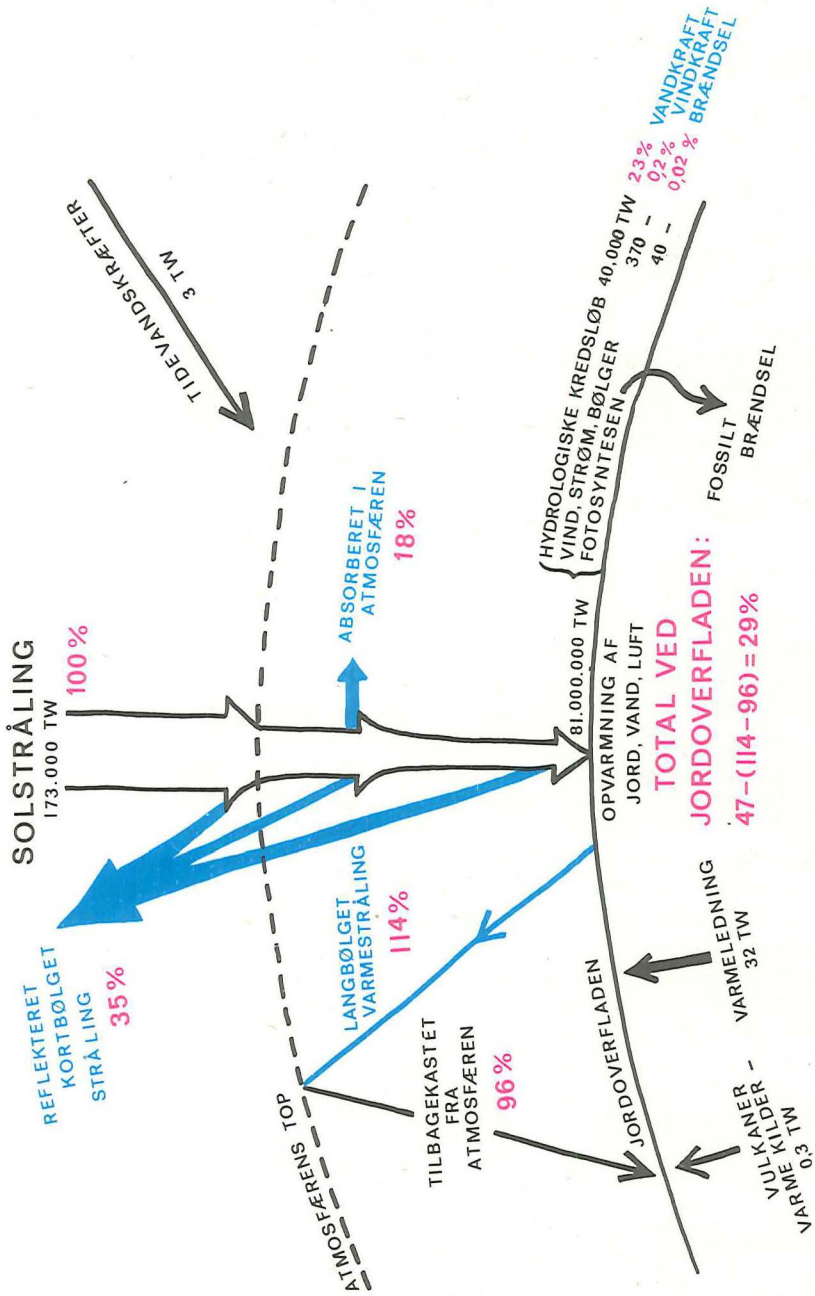
Vind- og vandkraft har til nu været af stor lokal betydning og vil fortsat kunne dække væsentlige lokale energibehov. Vandkraft udgør nu cirka 6 % af den totale energiproduktion, og 8-9 % af de beregnede vandkraftreserver udnyttes. Det skønnes, at vandkraft selv ved fuld udnyttelse af temperaturforskellen mellem overfladevand og dybere vand i tropiske have kun vil kunne dække få procent af det fremtidige energibehov.

Geologien spiller en vigtig rolle inden for vandkraftsektoren. Planlægningen af vandkraftværker kræver nøje geologisk analyse af de involverede vandløb og landområder, både hvad angår selve placeringen af dæmninger og andre anlæg, her tænkes især på fundering, analyse af sprækkesystemer, analyse af skredrisiko og seismiske forhold, og hvad angår følgerne af bygningen af dæmninger og vandreservoarer og de dermed forbundne ændringer af flodernes vandføring og lejer. Opfyldning af vandreservoarer med sedimenter sætter en stopper for vandkraftanlæggenes drift og kan også virke ind på de økologiske og dyrkningsmæssige forhold længere nede ad vandløbene. Vandkraft er en vigtig side af ingeniørgeologien.

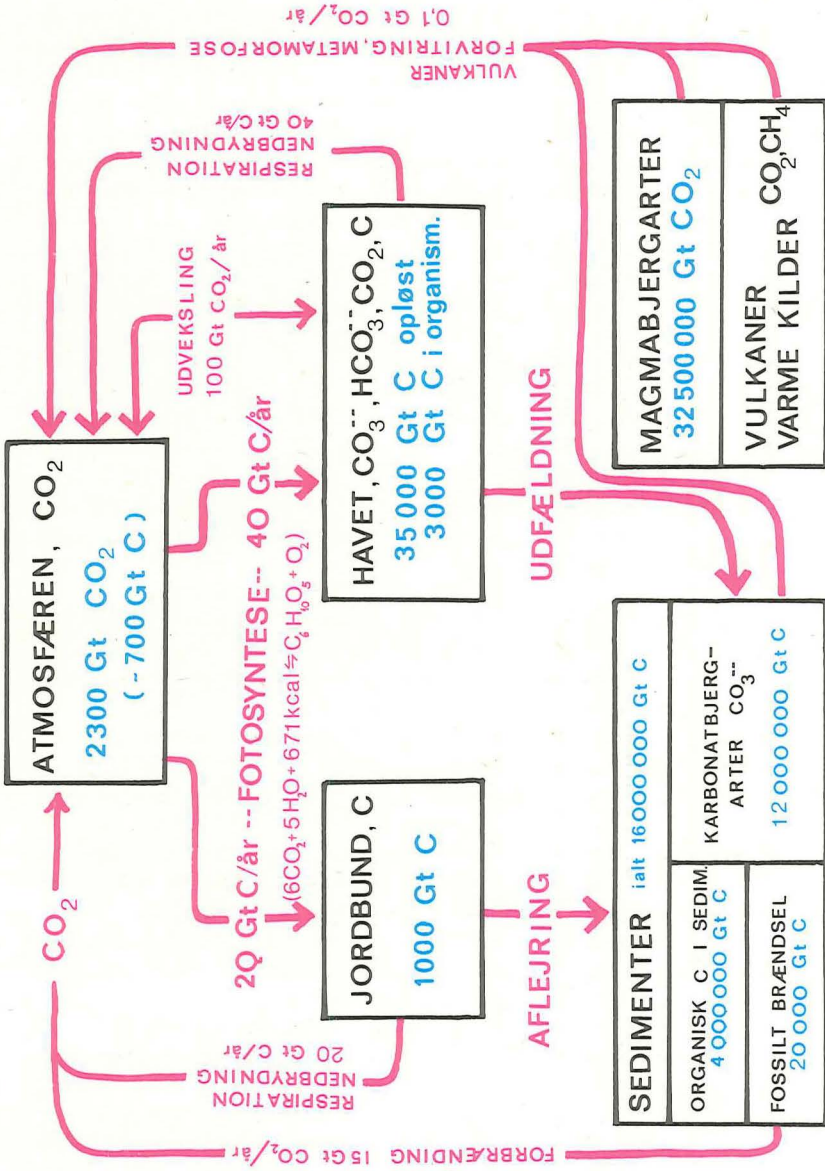
Vindkraften vil ikke blive omtalt nærmere, da geologiske forhold kun spiller en underordnet rolle inden for dette energiområde.

SOLENERGI OPLAGRET SOM KEMISK ENERGI

Det er selvsagt umuligt at give nøjagtige tal for den mængde kulstof, som fotosynteseprocessen hvert år trækker ud af luftens og havvandets indhold af kuldioxid (CO_2) og oplagrer som organiske kulstofforbindelser i de grønne planter på land og i havets planteplankton. Det skønnes, at



Skema over energistrømmen ved jordoverfladen.
 1 watt = 1 joule/sec = måleenhed for effekt, det vil sige energiydelse per sekund.
 1 TW (terawatt) = 10¹² watt = 1.000.000.000.000 watt.



Kulstofets geokemiske kredsløb. 1 Gt = 1 milliard t. Blå farve: beholdning. Rød farve: transport.

der hvert år på landjorden nydannes plantemateriale med et indhold af grundstoffet kulstof (C) på cirka 20 milliarder t; det tilsvarende tal for havet angives at ligge mellem 40 og 100 milliarder t. Det er denne kemisk bundne solenergi, som danner grundlaget for de biologiske processer i biosfæren.

Ved organismernes respiration og ved forrådnelsen af døde organismer dannes CO_2 med mere under varmeudvikling. Der er nogenlunde ligevægt mellem mængden af nydannet organisk stof og mængden af nedbrudt materiale. De organismerester, som på grund af indlejring i sedimentbjergarter eller i iltfattigt vand afskæres fra kontakt med luftens ilt, unddrages imidlertid kulstofs ydre kredsløb og er udgangsmaterialet for dannelsen af de fossile brændselsstoffer. Disse sidste omfatter kulrækkens bjergarter - tørv, brunkul, stenkul, antracit, råolie, naturgas, olieskifer og tjæresand.

De ovennævnte tal for den mængde kulstof, som fotosyntesen frembringer hvert år, kan sammenholdes med, at der nu årligt bruges cirka 3 milliarder t kul og cirka 2 milliarder t olie. Det kan her også nævnes, at jordklodens skove skønnes at indeholde 400-500 milliarder t kulstof, en mængde der udgør cirka totrediedele af kulstofindholdet i atmosfærens kuldioxid (ialt cirka 700 milliarder t). Disse tal antyder, at det ikke skulle være helt umuligt at dække en væsentlig del af vort energibehov ved hjælp af solenergiplantager og -farme. Træ og planteaffald er stadig de vigtigste energiråstoffer i primitive samfund.

Det er beregnet, at 5-20 % af USAs skovbrug vil kunne dække hele USAs el-produktion, såfremt skovene drives som energiplantager. Skovbrug optager nu 23 % af USAs areal, i verden som helhed dækkede skovbrug i 1967 19 % af landarealet.

Man kunne også tænke sig at anvende energiplantagernes plantestof til at fremstille træsprit eller eventuelt vinsprit.

Træsprit (CH_3OH , methanol eller methylalkohol) vil kunne fremstilles ud fra hele træer, ukrudt, nedfaldne blade og så videre, men også ud fra brunkul, olieskifer og husholdningsaffald. Træsprit kan bruges som tilsætning til benzin i de nu anvendte forbrændingsmotorer og kunne tænkes helt at erstatte benzin, når olieklenderne er ved at være tømte. Anvendelse af træsprit og andre alkoholer giver mindre forurening og en bedre udnyttelse af bilmotorerne. Træsprit er næstefter benzin det flydende brændstof, som udvikler mest energi pr. rumfangsenhed.

Energiplantager forekommer at være en tiltalende løsning på en del af fremtidens energiproblemer. Det må dog erkendes, at denne energikilde skal konkurrere med fødevarerproduktionen om den dyrkbare jord. Intensiv dyrkning af jorden er i mange egne af jorden ledsaget af storstilet jordbundsødelæggelse og jorderosion. Og den er meget energikrævende, blandt andet fordi der skal tilføres store mængder kunstgødning og vand. Der er behov for en omfattende forskningsindsats, også geologisk og geokemisk,

med henblik på at udvikle dyrkningsmetoder, som ikke automatisk følges af jordbundsfordelæggelse. Dette er et forskningsfelt som stort set har været overset af geologer og geokemikere.

Er energiplantager en fremtidsmulighed, er udnyttelse af planteaf-fald og husholdningsaffald en nærliggende mulighed, som fortjener den stør-ste opmærksomhed.

DE FOSSILE BRÆNDSLER - KULSTOFS GEOKEMI

Selv om der synes at være gode muligheder for at udvikle alterna-tive energikilder, vil vi i endnu en lang årrække være helt afhængige af de fossile brændsler. Der er derfor gjort mange forsøg på at vurdere, hvor store ressourcerne af disse er. Det er i denne forbindelse af en vis inter-esse at vide, hvor meget kulstof, der totalt findes i jordskorpens bjergar-ter og i havet.

Grundstoffet kulstof (carbon, C) findes hovedsagelig i to typer af kemiske forbindelser, organiske kemiske forbindelser og carbonater. De organiske kemiske forbindelser indeholder kulstof i reduceret form, især i forbindelse med grundstoffet brint (H). De simpleste af disse forbindelser er kulbrinterne, som for eksempel metan (CH_4), der er vigtige bestand-dele af naturgas og olie. Mere komplicerede forbindelser er dyrenes og planternes "bygningsten", kulhydrater, proteiner og fedtstoffer.

Carbonater er kemiske forbindelser, hvori kulstof findes i oxideret tilstand, eksempler er mineralet kalkspat eller calcit, CaCO_3 , og havvan-dets carbonatjoner, CO_3^{--} . Luftarten kuldioxid, CO_2 , hører til denne type kulstofforbindelser.

Langt den største del af kulstoffet ved jordoverfladen findes i car-bonatbjergarter som kalksten og dolomit. En anselig mængde findes som organisk kulstof i levende og døde organismer, finfordelt i sedimenter og ophobet i de fossile brændsler. Luftens og overfladevandets indhold af CO_2 (og CO_3^{--}) udgør nok store vægtmængder, som dog er forsvindende i for-hold til mængderne af carbonatbjergarter og organiske aflejringer. Den svenske geokemiker F.E. Wickman har benyttet dette i et forsøg på at be-regne den totale mængde af organisk kulstof i sedimenter og i fossile brænd-sler.

Forholdet mellem de to stabile kulstofisotoper C-12 og C-13 er i organismer, olie og kul cirka 91,0, mens det er cirka 88,5 i carbonat-bjergarter. Denne forskel må antages at skyldes isotopfraktionering, idet jordklodens oprindelige kulstof formentlig har haft et konstant C-12/C-13 forhold. Isotopfraktioneringen kan være forårsaget af organismerne, som har opkoncentreret den lette isotop C-12, således at det CO_2 de har afgivet, har været beriget på C-13. Kender man nu det primære C-12/C-13 for-hold og den totale mængde af carbonatbjergarter, kan den totale mængde

Udregning af den totale mængde "organisk" kulstof i sedimenter

$$a = \text{primære C-12/C-13} = 89,1$$

$$b = \text{biogene C-12/C-13} = 91,0$$

$$c = \text{carbonat C-12/C-13} = 88,5$$

$$K = \text{mængden af kulstof i carbonatbjergarter} = 2450 \text{ g/cm}^2 \text{ jordoverflade}$$

$$X = \text{mængden af organisk kulstof i sedimenter, indbefattet fossilt brændsel.}$$

Såfremt kulstof med det primære C-12/C-13 i løbet af den geologiske udvikling er blevet fordelt i de to store reservoirer for kulstof, carbonatbjergarter og biogene aflejringer haves:

$$a = \frac{c \cdot K}{K + X} + \frac{b \cdot X}{K + X}$$

$$89,1 = \frac{88,5 \cdot 2450}{2450 + X} + \frac{91,0 \cdot X}{2450 + X}$$

$$X = 774 \text{ g/cm}^2 \text{ jordoverflade}$$

af organisk kulstof beregnes, som vist i det indrammede felt. Den totale mængde af kulstof i carbonatbjergarter beregnede Wickman ad anden vej til at være $2450 \pm 560 \text{ g/cm}^2$ jordoverflade. Kulstoffet i diamant og i meteoritter antages at repræsentere det primære C-12/C-13 forhold. Dette er fundet at være 89,1.

Wickman fandt da, at mængden af organisk kulstof er $700 \pm 200 \text{ g/cm}^2$ jordoverflade eller, da jordoverfladens areal er $5,1 \cdot 10^{18} \text{ cm}^2 - 3,5 \cdot 10^{15} \text{ t}$. Det meste af dette kulstof findes finfordelt i sedimentbjergarterne, som i gennemsnit har cirka 0,5 % kulstof. Dette kulstof kan ikke udvindes direkte, men kan være udgangsmateriale for dannelsen af olie og naturgas. De $3,5 \cdot 10^{15} \text{ t}$ eller cirka 4.000.000 milliarder t kulstof er jordklodens ultimative kulstoffressource. De udgør en meget lille del af det organiske kulstof, som er dannet gennem de måske 2 milliarder år fotosyntesen har været virksom på jordkloden. Som nævnt er langt det meste af de fotosyntetisk producerende kulstofforbindelser hurtigt blevet omdannet til CO_2 , med mere.

De fossile brændsler vil blive behandlet i en følgende artikel.

Henny Sørensen