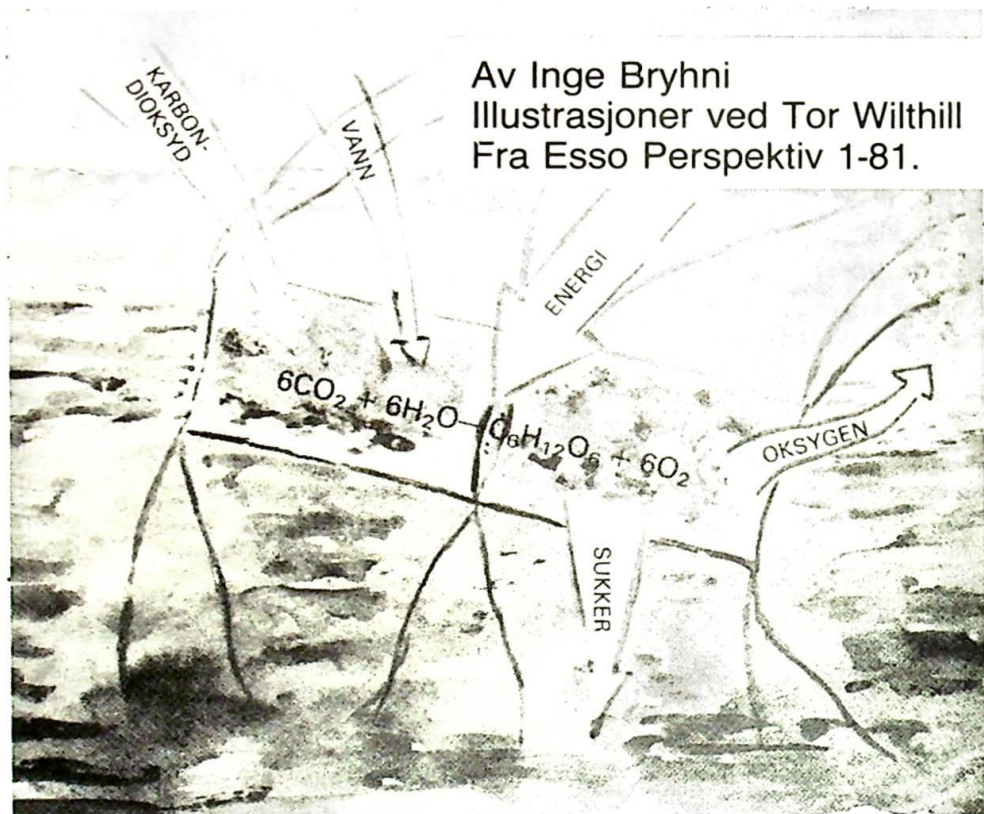


# FORUNDERLIGE PETROLEUM

Av Inge Bryhni  
Illustrasjoner ved Tor Wilthill  
Fra Esso Perspektiv 1-81.



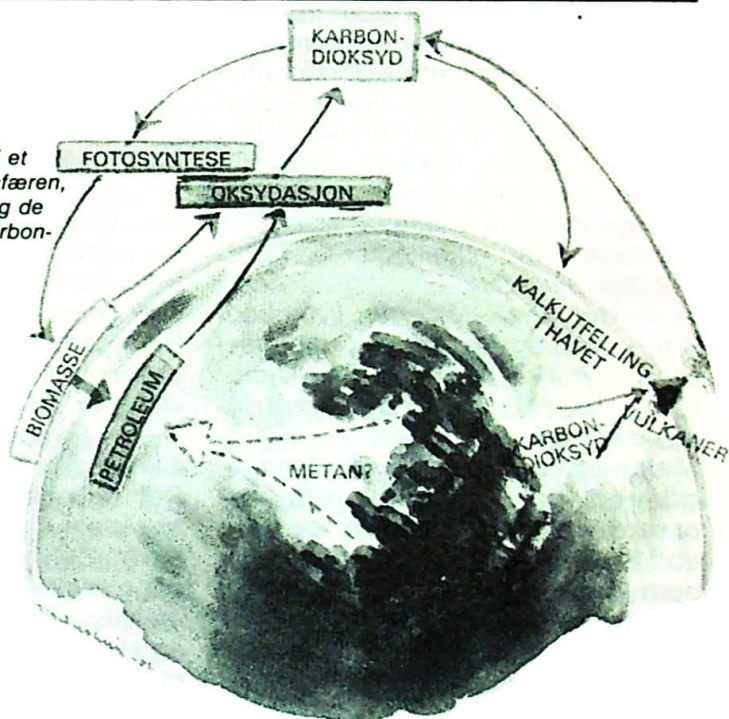
*Fotosyntese. Ved hjelp av fargestoffet klorofyll har grønne planter evnen til å overføre sol-energi til kjemisk energi. Fra de enkle forbindelsene karbondioksyd og vann kan de ved sollysets innvirkning produsere sukker, som omdannes videre til en rekke andre organiske stoffer. Som et biprodukt ved denne reaksjonen er det dannet oksygen, som hovedsakelig er blitt tilført Jordens atmosfære på denne måten. De mikroskopiske plantene i havet produserer sammen med landplantene ca. 100 milliarder tonn hvert år (målt som rent karbon) og denne primærproduksjonen er grunnlaget for alt høyere liv på Jorden.*

Med petroleum mener vi naturgass, råolje og asfalt som finnes i naturlig tilstand i undergrunnen. Da det dreier seg om kjemiske forbindelser av elementene hydrogen og karbon, kan vi si at petroleum er naturlig forekommende hydrokarboner. Hovedbestanddelen av naturgass er en enkel forbindelse av ett karbonatom bundet til fire hydrogenatomer ( $\text{CH}_4$  — metan), mens råolje er blandinger av mange forskjellige forbindelser hvor store antall karbon- og hydrogenatomer er bundet sammen i lange kjeder og ringer.

Felles for alle typer petroleum er at de opptrer i sedimentære bergarter hvor slike danner sær-

lig tykke avleiringer og fortrinnsvis er dannet i løpet av de siste 400 millioner år av jordens historie. Dette stemmer godt med den rådende teori at petroleum er dannet fra rester av planter og dyr som ble avleiret i sedimentene. Det er tidligere tiders solenergi som ligger lagret i jordens skjød, omformet til kjemisk energi ved at grønne planter ved hjelp av sollyset har bygget sammensatte organiske forbindelser fra de enkelte utgangsmaterialer kulldioksyd og vann (fotosyntese). Når vi brenner petroleum vil det skje en oksydasjon og de enkelte utgangsstoffene frigjøres for eventuelt å få inn i kretsløpet igjen.

Karbon eller kullstoff tar del i et evig kretsløp gjennom atmosfæren, havet, levende organismer og de sedimentære bergartene. Karbon-dioksyd frigjøres ved oksydasjon av biologisk materiale (biomasse) og fossile brennstoffer som f.eks. petroleum. Noe vil også komme frem ved vulkanutbrudd. Teorien om også en ikke-biologisk dannelses måte for petroleum skiller seg fra de mer aksepterte teoriene ved at det også kommer et tilskudd av metan fra jordens indre.





## **Petroleum også fra jordens indre? Neppe!**

Hydrogen og karbon er vidt utbredte elementer i solsystemet. Det fins til og med meteoritter med bekjennende bestanddeler. Disse meteorittene (Type I karbonrike chondritter) kan ha nærmere 10 % karbonrikt materiale og 20 % vann, og antas å ha vært viktige bestanddeler i den partikkelskyen som solen og planetene utviklet seg fra. Jordens første atmosfære inneholdt trolig betydelig metan, men dette unnvek tidlig sammen med andre lette gasser fra de indre til de ytre deler av solsystemet. Metan finnes således idag som viktig bestanddel av Saturn, Uranus og Neptun. Kanskje er det ennå noe igjen også i Jordens indre som strømmer ut og modens til petroleum?

Tilhengere av ikke-biologiske opprinnelsesteorier for petroleum har pekt på at eruptive bergarter kan inneholde små mengder hydrokarboner (bl.a en diabas fra Dyvika ved Arendal, hvor det ligger olje i små hulrom), og at det er funnet metan i vulkanske gasser. De mener også at det er særlig mye metan å finne langs de store skjøtene eller platekantene i jordskorpen hvor bruddsoner når ned i store dyp. Lysfenomener, livlig bobling i vann og besynderlig oppførsel blant dyr like forut for større jordskjelv settes i forbindelse med utstrømming av metan.

Metan-utstrømminger fra jordens indre er ikke særlig sannsynlig; - alt som er nevnt ovenfor kan forklares ved at det er biologisk dannet metan som har vært på ferde. Et kjemisk motargument er at metan ved de høye temperaturene i jordens indre må antas å være spaltet til kullos og

hydrogen i nærvær av vann. Hvis metan likevel skulle strømme opp til overflaten, burde det være like mye i gamle grunnfjellsområder som i unge sedimenter, og det vet vi at det ikke er. Vi må derfor avvise muligheten av betydelige metanbidrag fra jordens indre.

## **Fra landplanter eller livsformer i havet?**

I kullgruver opptrer gass som hovedsakelig består av metan og er frigjort ved forkulling av planterestene som steinkullet er dannet fra. Det er derfor naturlig å tenke seg kull i sedimentære bergarter som kilde for naturgass. Noen gassforekomster er trolig dannet på denne måten, men flytende petroleum -råolje - synes å være knyttet til sedimenter som ble avsatt i havet. Her representerer de omvandlingsprodukter hovedsakelig av mikroskopiske planter, dyr og bakterier. Alle organismer inneholder stort sett de samme bestanddeler: karbohydrater, eggehvitestoffer, fett og, - i høyere planter -, også lignin. Med hensyn til dannelsen av petroleum er fettstoffene (lipidene) av særlig betydning, og de finnes særlig i marint plankton. «Geokjemiske fossiler», - dvs. komponenter i oljen med spesiell kjemisk sammensetning bevart fra organismene den er dannet fra - peker mot planteplankton som den viktigste bidragsyteren.

## **Biologisk produksjon i havet**

Det er enorme mengder organisk materiale som produseres hvert år i havet. Selvom bare en liten del unngår oksydasjon og nedbrytning til de enkelte utgangsstoffene igjen ( $\text{CO}_2$  og  $\text{H}_2\text{O}$ ), vil det etterhvert samle seg mye i de sedimentære avleiringene.

Den samlede mengde karbon av organisk opprinnelse som er akkumulert i sedimentene i løpet av livets 3000 millioner år lange historie på Jorden, er beregnet til 6.400 trillioner ( $6.4 \times 10^{15}$ ) tonn. Det er denne enorme massen av organisk materiale som har stått til disposisjon ved dannelsen av jordens brennstoffressurser.



*Mikroplankton i havet. Mikroskopisk små dyr jakter på diatomeer, fureflagellater og andre planter. I sin tur blir de spist av større dyr, men det vil alltid være et «regn» av døde organismer mot bunnen hvor noen av dem vil bli en del av de sedimentære avleiringene.*

Grunnlaget for den primære produksjonen av organisk materiale på jorden er fotosyntesen hvorved lysenergien fra solen omformes til kjemisk energi i grønne planter. I første omgang dannes druesukker (glukose) som bygges om til stivelse, cellulose, fett og eggehvitestoffer. Plantene blir delvis spist av dyr som igjen

gjener som føde for organismer høyere opp i næringskjeden.

I havet er det først og fremst planteplankton som står for den primære organiske produksjonen. Det dreier seg her hovedsakelig om en-cellede alger som lever i det øverste vannlaget hvor lyset slipper til. Hvert år blir det produsert ca. 60 milliarder tonn målt som organisk karbon. For å begripe dette høye tall er det verdt å tenke på at alt det steinkull som brytes på jorden hvert år bare beløper seg til 3,5 milliarder tonn!

Den viktigste begrensende faktoren ved plankton-produksjonen er foruten lyset, næringsstoffer som nitrater og fosfater. Slik mineralsk næring finner vi mest av i nærheten av kontinentene og i havet ellers bare hvor vannmasser fra dypet veller opp. På de grunne sokkelområdene er den årlige produksjonen ofte mer enn 100 mg pr. kvadratmeter. De viktigste

produsentene er diatomeer, fureflagellater og coccolitophorider. Av disse er sikkert diatomeene viktigst; - mikroskopiske småplanter som ligger inne i en sirlig utformet, perforert eske av kisel, og som lever såvel i saltvann som i ferskvann. I havet holder småplantene seg flytende ved hjelp av utstrittende lange børster. Diatomeene er mer artsrike enn noen



annen algeart (anslagsvis 12000 av ialt 35000) og kan opptre i svære mengder: En eneste liter sjøvann fra overflaten kan inneholde fra noen tusen til flere millioner diatomer. Under en enkelt m<sup>2</sup> vannflate kan det være hundre millioner til ti milliarder av dem. Av de ca. 100 milliardene tonn med organisk karbon som plantene produserer hvert år på Jorden, faller 20-25% på diatomeene. Dette gir disse småplantene i havet samme rang når det gjelder biologisk produksjon som de store nåletrærne i skogene på den nordlige halvkule. Produksjonen pr. arealenhet er heller ikke så verst: diatomeene produserer i et gunstig område årlig 200-400 g karbon pr. kvadratmeter vannflate mens vi i en potet- eller kornåker får ca. 500 til 1000 g!

Også fra landområdene vil det komme et tilskudd av organisk materiale til havet. Med vind og elver føres det

blomsterstøv, plante- og dyrerester ut i havet. Verdens største elv, Amazonasfloden, fører omkring to milliarder tonn organisk karbon tilhavs hvert år.

### **Et «regn» av organismer mot bunnen**

Fra de øvre vannlagene faller et «regn» av døde organismer mot bunnen. Mesteparten blir fortært av ådseletere eller biologisk nedbrutt (oksydert) av bakterier og ved gjæringsprosesser. En liten del vil imidlertid avleire seg sammen med leire, silt og sandpartikler, kalk osv. som sedimentære avleiringer på bunnen. Bunnsedimentene langs randen av kontinentene har oftest mer enn en halv prosent organisk karbon. I gjennomsnitt er det imidlertid mindre enn 0.1% av den organiske produksjonen som blir bevart i sedimentene, men i oksygen-fattig, dårlig ventilert vann kan bevaringsgraden komme opp i

## **NORSKE MINERALHANDLERES FORBUND**

— STIFTET 1982 —

B.B. PRODUKTER  
BERGKRISTALLEN  
B. GJERSTAD A/S  
BJØRN STRØMNÆS  
EINAR FIVELSDAL  
FROLAND MINERAL CENTER  
GEO-HOBBY A/S  
GRENLAND STEINHOBBY  
JOHANSSONS STENSLIPERI

KENT'S A/S  
KONGLOMERAT, ELLEFSEN & CO.  
NORSK STEIN-HOBBY  
STEINHAUGEN, JENSEN & CO.  
STEINKJELLEREN ROCK-SHOP  
STENBODEN  
STRYN STEINSENTER  
THULITTEN STENHUS  
TORGEIR T. GARMO

Sekretariat:  
Postboks 30  
N-4820 FROLAND

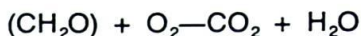
hele 4%. Det er dette organiske materialet som er utgangspunktet for dannelsen av petroleum. Jo mer organisk karbon som blir bevart i sedimentene, desto større er sjansene for at det kan komme til nytte for fremtidens energibehov.

### Biokjemisk nedbrytning

La oss se nærmere på hva som hender med det organiske «regnet» som daler mot bunnen. Det aller meste av det blir oksydert og nedbrutt til karbondioksyd og vann i den øverste oksygen-rike del av vannsøylen hvor det tjener som nærings- og energikilde for levende organismer. Bakteriene spiller en meget viktig rolle her. De opptrer i en mengde (biomasse) som nesten kommer opp mot planteplanktonets, og levningene etter dem kan danne en betydelig del av det organiske materialet som blir bevart i sedimentene.

Nedbrytningen ved bakterienes hjelp går raskere og mest effektivt i oksygenrikt (aerobt) miljø, hvor oksyda-

sjonen kan illustreres ved prosessen



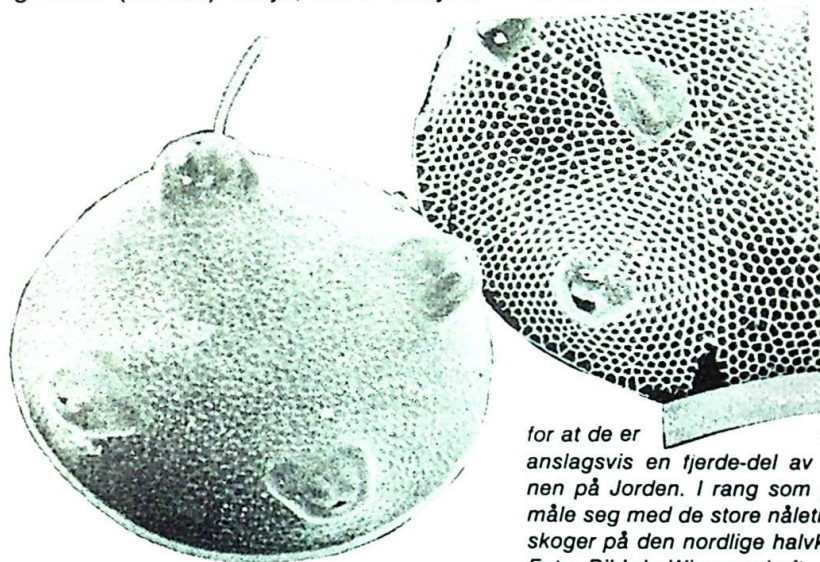
Når det tilgjengelige oksygen er brukt opp, vil anaerobe bakterier overta. De kan benytte nitrat som kilde for oksygen og frigjøre nitrogen:



eller, - når nitratene er oppbrukt - benytte sulfat som oksydasjonsmiddel:



Til slutt vil det også kunne foregå gjæring hvorved metan og høyere hydrokarboner dannes ved bakterielle prosesser. Nedbrytning under oksygen-fattige (anaerobe) forhold er lite effektiv og bidrar til at hydrogen- og fettrike nedbrytningsprodukter blir bevart i sedimentene. Det er under slike forhold at kildebergarter for petroleumforekomster blir dannet.



Diatomeene har sirlig utformede, perforerte skall av kisel. Til tross for at de er ørsmå, står de for anslagsvis en fjerdedel av primærproduksjonen på Jorden. I rang som produsent kan de måle seg med de store nåletrærne som danner skoger på den nordlige halvkule!  
Foto: Bild du Wissenschaft



### Typeeksempel: Svartehavet

Svartehavet kan stå som modell for et havområde hvor bunnsedimentene bevarer særlig mye organisk materiale. I det noe brakke overflatevannet blir det hvert år produsert ca. 100 g organisk karbon pr. m<sup>2</sup> ved fotosyntese og hertil bringer elvene med seg ytterligere 7 g planterester fra landområdene rundt.

På større dyp enn 150-250 m er vannet oksygen-fritt og giftig. Metan og illeluktende hydrogensulfid dannes ved delvis nedbrytning av det organiske materialet som har sluppet gjennom det «friske» oksygen-holdige overflateskiktet, men tilstrekkelig blir igjen til at det samler seg 1-5% organisk karbon i bunnsedimentene. Gytjen på bunnen av Svartehavet er på mange måter lik de sedimentære bergartene som vi kjenner som oljeskifer og kildebergarter for petroleum, bare med den forskjell at de sistnevnte er eldre og tildels forvandlet under et dekke av tusener av meter med overliggende sedimenter.

### Fra organiske rester til kerogen

Når sedimentene dekkes av stadig tykkere, yngre avleiringer, begynner nye prosesser å gjøre seg gjeldene. Trykket øker med vekten av de overliggende avleiringene og temperaturen tar til å stige.

Sedimentene kommer nå i et stadium som vi kaller diagenese, og som fører til at de vannrike, løse massene herdes til faste bergarter. Dette skjer ved dyp på noen få hundre meter (sjeldent opp til 2000 meter) og temperaturen er lavere enn 50°C. Torv vil under slike forhold omdannes til brunkull, og i andre sedimenter vil mineralpartiklene sementeres fastere sammen på grunn av at det felles

ut kalk, jernoksyder og kisel i mellomrommet mellom kornene. Det organiske materialet forvandles fra «biopolymerer» til «geopolymerer» under utdrivning av kuldioksyd, vann og metan. Resultatet er en rekke ulike uoppløselige stoffer som sammenfattes under betegnelsen kerogen. Kerogen er den vanligste form for organisk materiale i sedimenter og er i spredt form ca. 1000 ganger mer utbredt enn alle steinkull- og petroleumreserver tilsammen. Ved oppvarming spaltes kerogen til olje og gass, og dette har også vært utført teknisk ved de særlig kerogen-rike bergartene som kalles oljeskifer. Vi behøver ikke gå lengre enn til Sverige for å finne betydelige forekomster av slike bergarter. Alunskiferen ved Närke inneholder kerogen som ved oppvarming gir 4-7% olje og forekomsten er beregnet å kunne gi over 400 millioner tonn syntetisk petroleum. I Estland er det en usedvanlig



### MINERAL- OCH STENMÄSSA

S:T ILIANS SKOLA

**VÄSTERÅS**

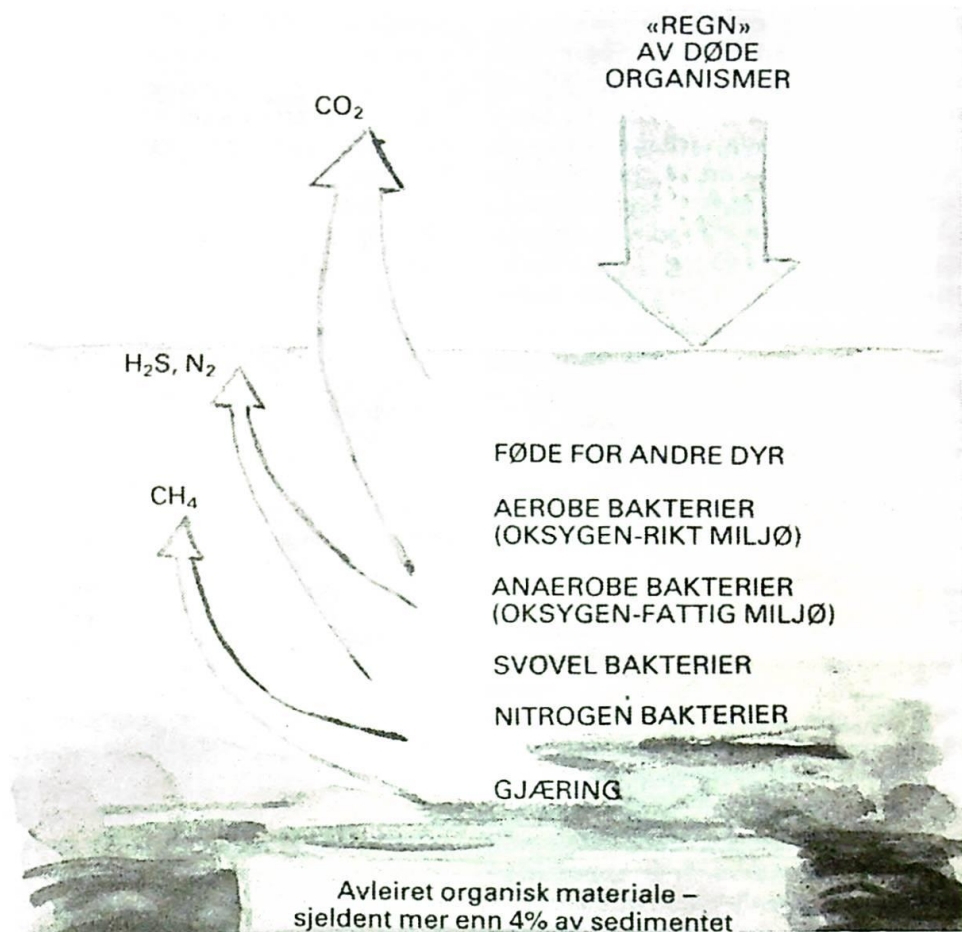
25-26 Augusti 1984

Byte och försäljning av mineral, slipade och oslipade smyckestenar, geologisk litteratur mm.

FILMER-FÖREDRAG-LOTTERIER-MÄSSFEST

BORDSHYRA 50.-/meter, LOGI förmedlas

UPPLYSNINGAR: VAGS c/o Lennart Ohman  
Högvtllsvägen 3, S-722 42 Västerås



Når de døde organismene faller ned til bunnen, vil det meste bli nedbrutt (oksydert) av ådsel-  
etere, bakterier og ved gjæringsprosesser. Det  
som blir igjen (gjennomsnittelig mindre enn  
0,1%, sjelden mer enn 4%), kan omdannes  
videre til kerogen som er en forløper for petro-  
leum.

bergart (kukersitt) dannet i samme  
tidsrom; - denne inneholder 40% ke-  
rogen hvorav det meste kan forvand-  
les til olje og gass ved opphetning.

### Fra kerogen til petroleum

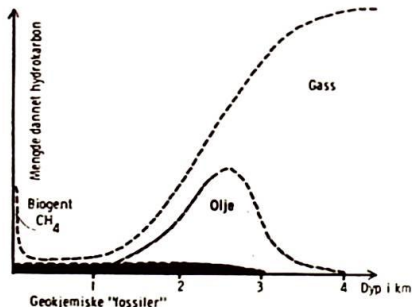
Hvis grunnen fortsetter å synke og  
nye sedimenter avleirer seg, kan de

eldste lagene bli dekket med flere tu-  
sen meter tykke sedimenter. Det blir  
varmere -for det er en kjent sak fra  
mange dype borerer at temperatu-  
ren stiger med dypet. Når det er blitt  
så varmt som 50-150°C kan vi si at  
sedimentene er kommet inn i «kjø-  
kenet» hvor petroleum tilberedes i  
naturen. Forvandringsstadiet kalles  
for katagenese og er bl.a. karakteri-  
sert ved at brunkull går over til stein-  
kull. Kerogen omdannes først til flyt-  
ende petroleum, siden til våtgass og  
kondensat. Metan eller tørrgass dan-  
nes i mindre mengde til å begynne



med, men blir det dominerende forvandleingsprodukt etter hvert som temperaturen stiger. Hvis det blir vesentlig over 150°C (til 250°C) betyr det slutten på videre dannelse av råolje og gass: døren til «petroleums-kjøkkenet» er stengt. Sedimentene går nå inn i stadier med mer betydelig bergartsforvandling (metamorfose) hvor eventuelle organiske rester

består av stabile kull-lignende stoffer som minner om anthrasitt og grafitt. Alunskiferen i Oslo-området kan tidligere ha vært av samme type som de kerogen-rike bergartene i Sverige og Estland, men forvandleingsgraden er langt høyere. Våre alunskifre er trolig eksempler på bergarter som har plassert katagenesestadiet, hvor de mistet sitt innhold av petroleum.



*Skjema for dannelse av petroleum idet avleiringsdybden øker. Temperaturen vil stige etterhvert som stadig nye avleiringer legger seg over et sediment. Til å begynne med kan det dannes litt metan ved biokjemisk aktivitet, og sedimentet gjennomgår en diagenese, dvs. forandring fra en løs masse til en fast bergart, samtidig som det organiske materialet omvandles til kerogen. Ved større dyp vil katagenese sette inn, og petroleum dannes nå ved forvandling av kerogen. Ved store dyp vil temperaturen kunne bli for høy til å få noe petroleum dannet i det hele tatt. De angitte dypene er gjennomsnittsverdier, som vil kunne variere sterkt med kerogentype, hvor raskt temperaturen stiger med dypet etc.*

### Hvem skal vi takke?

Det blir ofte sagt at vi burde takke de store dinosaurerne for petroleumsforekomstene vi nyter godt av idag. Disse kjempeøglene fra fjerne tider fortjener imidlertid knapt ros i denne sammenheng; - tvert imot: de spiste dyr som spiste mindre dyr som igjen spiste nettopp de smådyrene og plantene som var det egentlige utgangsmateriale for petroleum. Uten dem ville det kanskje ha vært ørlite grann mere petroleum på Jorden! De store plantene i karbontidens sumpskog er også ofte gitt æren

for forekomstene av petroleum. Noen gassforekomster kan nok ha fått tilskudd derfra, men også her retter vi takken til feil adresse. Det er de aller minste plantene som bør æres; - dem vi knapt kan se, men som samlet er blant de aller mest utbredte livsformer på Jorden. Ikke bare sanket de solenergi fra fjerne tider til vårt bruk, de ga også grunnlaget for alt annet liv. Sammen med landplantene har de dertil bygget opp den oksygenrike atmosfæren som vi alle er avhengige av.