

## Inleiding.

Nog geen honderd jaar geleden was 94% van de in de industrie gebruikte energie afkomstig van de rug van de mens, tegenwoordig is dat slechts 8%.

In China van vandaag waar 80% meer mensen moeten leven van 1 hectare landbouwgrond dan in India heerst er geen honger, omdat men de mens zodanig heeft kunnen motiveren en organiseren, dat de menselijke energie nu woestijnen in graansilo's heeft getransformeerd.

Het unieke van de mens is ook dat hij gebruik weet te maken van andere mogelijkheden van energie bronnen om het effect van zijn arbeid te vergroten, door b.v. herbivoren te temmen (paard, olifant etc.) of door hout te branden.

Alle energie echter die hierbij vrijkomt, dus de menselijke energie (arbeidsprestaties), energie onttrokken aan herbivoren (domme kracht) en energie van brandend hout, is van een bron afkomstig namelijk, de levende planten en dus de Zon.

Andere bronnen van energie die door de moderne mens gebruikt worden zijn:

1. fossiele energie,

energie van fossiele plantenresten en andere organismen, zoals steenkool, gas en aardolie.

2. waterreservoirs, watervallen.

3. hoogteverschillen bij eb en vloed.

4. geothermale energie, geisers.

5. kernenergie.

De eerste twee bronnen van energie zijn in de loop der tijden van vitaal belang geworden voor de moderne mens. We zullen echter op de eerste plaats zeer zuinig moeten omspringen met onze huidige energie voorraden, aan de andere kant moeten wij naarstig zoeken naar nieuwe bronnen, zoals bijv. solar energie, de windmolen weer in ere herstellen, energie van de golven van de zee, etc.

De energie flowsheet van de aarde is in nevenstaand schema (fig.1) weergegeven.

De verschillende bronnen van energie die ons nu ter beschikking staan hebben ertoe geleid dat de consumptie schrikbarend omhoog is gegaan, vooral in Amerika. In 1900 bedroeg de consumptie  $8 \times 10^{15}$  BTU\* en in 1965 was dat al  $50 \times 10^{15}$  BTU. (fig.2)

\* 1 BTU (Britisch Thermal Unit) is de warmte energie nodig om 1 pound water  $1^{\circ}\text{F}$  in temperatuur te doen stijgen.

1 gramcalorie is de warmte energie nodig om 1 gram water  $1^{\circ}\text{C}$  in temperatuur te doen stijgen.

1 BTU = 252 gram calorien

1 joule = 0,2390 gram calorien

= 0,000948 BTU

1 watt = 1 joule per seconde.

Rond 1878 was 70% van de gebruikte energie afkomstig van hout, het huidige gebruik is echter dusdanig veranderd dat maar 0,5% van de totale energieverbruik van hout afkomstig is.

De voornaamste energiebron is tegenwoordig fossiele brandstoffen: steenkool, olie en gas- en in mindere mate waterkracht. Echter zijn deze bronnen van energie (fossiele energie) non-renewable. Vandaar dat na de recente oliecrisis de Amerikanen meer hun heil zoeken in atoom energie (deze is echter ook non-renewable) welke in grote mate aanwezig is. Men probeert steeds meer andere vormen van energie aan te boren en aan te wenden of het gebruik te vergroten van zonne energie en geothermale energie (IJsland). Deze vormen van energie missen echter nog de flexibiliteit en de overbrenging die fossiele energie en atoom energie bezitten, en ze zijn waarschijnlijk van lokale betekenis.

#### Fossiele brandstoffen.

Planten resten zijn op verschillende wijze in verscheidene vormen bewaard gebleven, maar slechts drie vormen zijn van belang als energie bron; steenkool, aardolie en aardgas. 95% van alle opgewekte energie in de U.S.A. is hiervan afkomstig. In andere landen is dit percentage veel hoger. (fig. 3)

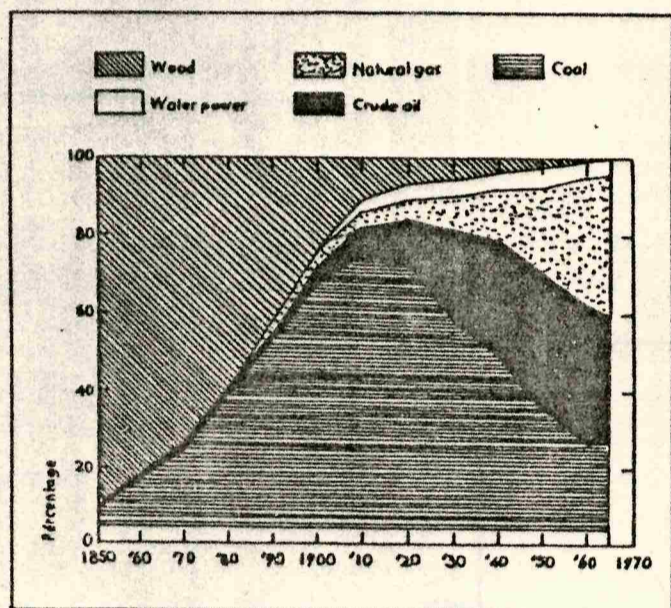


Figure 3 Percentage production of energy from different fuels and water power in the United States. Nuclear power production is still too small to show on this plot. (After U.S. Bureau of Mines and S.H. Schurr, B.C. Netschert 1960).

De hoeveelheid zonne energie die tijdelijk in planten opgespaard ligt en door fotosynthese verkregen is, is zeer groot. Echter gaat praktisch alle op deze wijze verkregen energie verloren door middel van

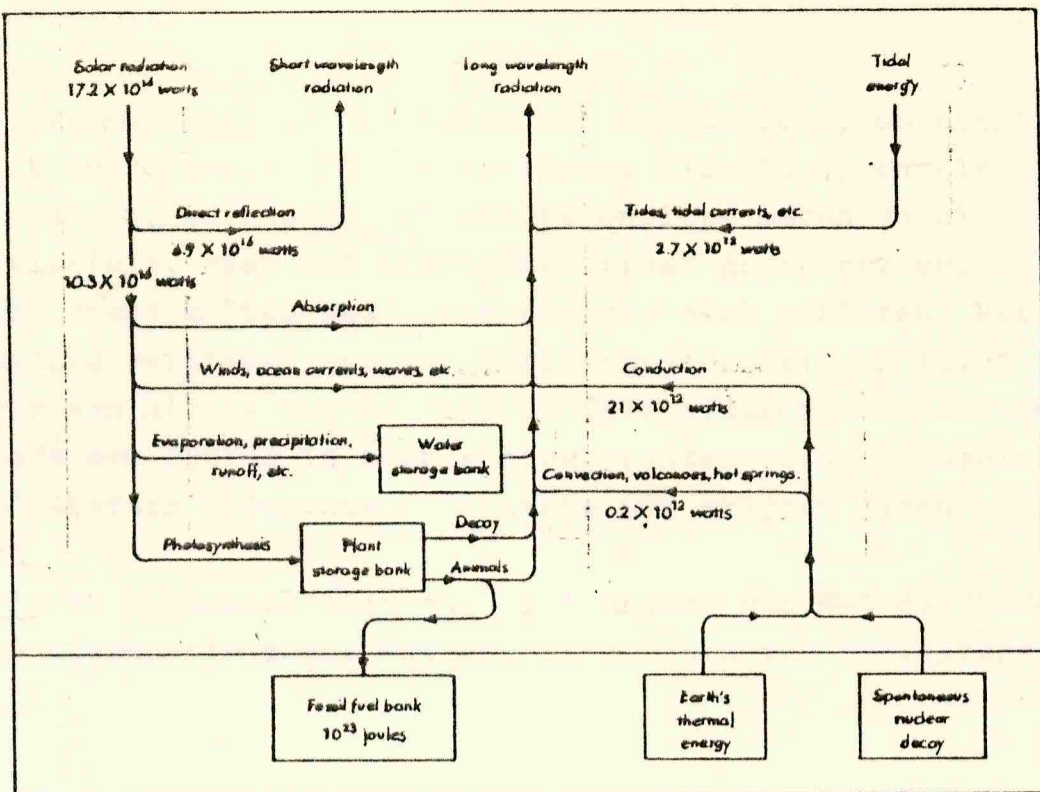


Figure 1 An energy flow sheet for the Earth. The unit of energy used is the joule. Where the energy flux is continuous, such as that following in from the Sun, the absolute power unit, the watt, is used to measure the flux. A watt is equal to one joule per second. All the energy temporarily stored in the fossil fuel bank, therefore, is equal only to the energy radiated to the Earth every seven days by the Sun. (After M.K.Hubbert, Energy Resources, Pub.1000-D, Committee on Natural Resources, Nat. Academy of Sciences-Nat. Research Council, Washington D.C. 1962.)

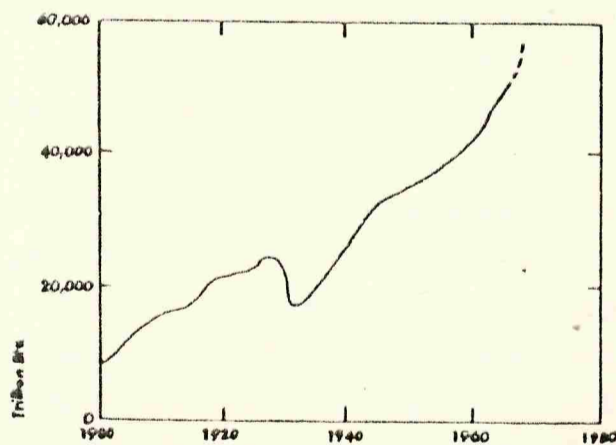


Figure 2 Growth of energy. Production in the United States from mineral fuels and water power. During the 65 year period when power consumption grew eightfold, the population increased approximately two and a half times. (After U.S. Bureau of Mines.)

verval (verrotting) in de oxiderende <sup>at</sup> aardmosfeer, de energie komt terug in de ruimte en is dan verloren, Slechts op enkele plaatsen, zoals zwampen, moerassen, of andere ondiepe meren en uitgestrekte riviervlakte's, waar het plantenmateriaal gepreserveerd wordt in een reducerend milieu gaat deze energie niet verloren. Het reducerend milieu vertraagt het verrottingsproces hetgeen leidt tot opslag van een kleine hoeveelheid op deze wijze verzamelde energie gedurende een cyclus is zeer gering, echter is de accumulatie van plantentresten gedurende de laatste 600 miljoen jaren aanzienlijk geweest.

Aardolie en steenkool zijn dus niet anders dan met de jaren (miljoenen) opgehoopte zonne energie in de vorm van koolwaterstofverbindingen.

#### Steenkool.

Steenkool wordt gevormd uit de overblijfselen van zoetwater plantentresten, het is dus duidelijk dat het milieu waarin dit geschied een dicht bebost zwamp (moeras) of meer is. In het stilstaand water vallen dorre takken, stammen, bladeren en sporen, die na verzadigd te zijn met water naar de bodem zinken. Alles wat boven water blijft zal vergaan en overgaan tot  $CO_2$  en  $H_2O$ .

Eenmaal onder water zijn ze buiten de invloed van de atmosfeer, de beschikbare zuurstof in het water is overal verbruikt en vindt dus geen verder verval (verrotting) meer plaats zoals boven water, en daar de anaerobe bacteriologische omzetting zeer traag verloopt kan het restant hout geaccumuleerd worden tot een amorfe massa veen. Slechts (schatting) 0,01% van alle plantaardig materiaal blijft op deze wijze bewaard. Vooral die bestanddelen die slechts langzaam omgezet worden als lignine (houtstof), cuticula's, huidjes van sporen, harsen en was blijven op deze wijze bewaard.

Dikke accumulatie kan echter alleen plaats vinden als een zwampbasin langzaam daalt, en een rijke afzetting zal slechts gevormd worden als er weinig klei of andere anorganisch detritisch materiaal wordt neergezet.

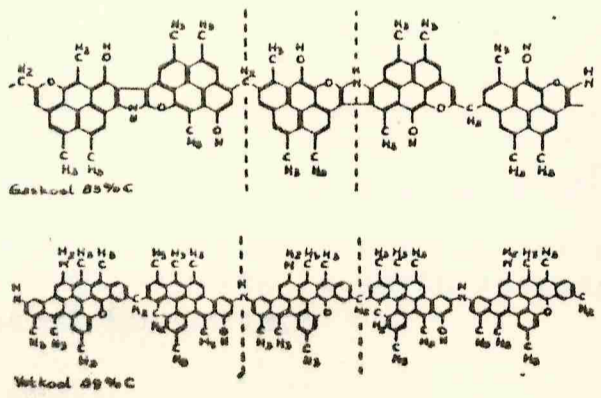
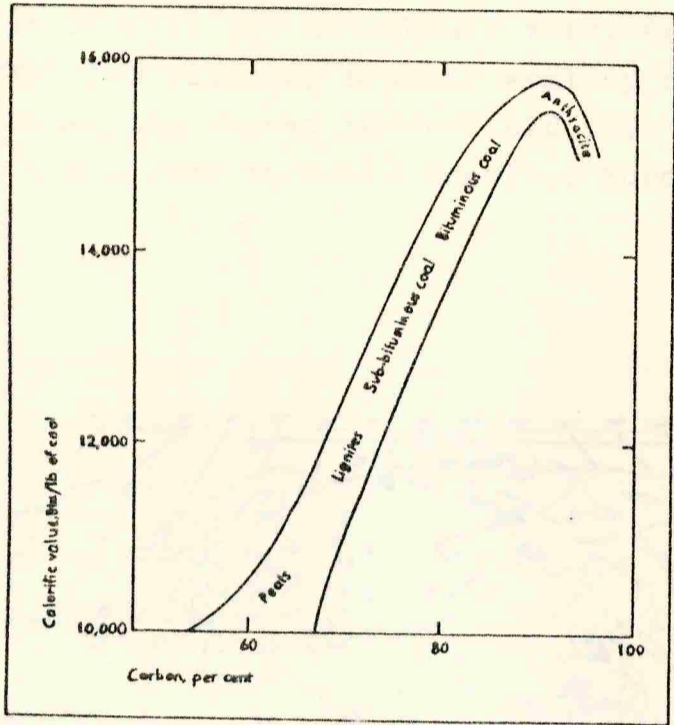
Tegenwoordig zijn er slechts weinig geschikte plekken voor steenkool accumulatie zoals b.v. in Virginia en North Carolina.

Gedurende de geologische historie hebben zich echter op verscheidenen plaatsen gedurende vele tijdperken vele steenkool afzettingen plaatsgehad. De eerste bekende steenkoolafzettingen dateren van het Boven-Siluur. Maar eerst in het Boven-Devoon werden afzettingen van enig belang afgezet, en in het Carboon en het Perm werden de belangrijkste en grootste steenkool reserves van de gehele geologische historie afgezet. Op alle continenten werd toen steenkool afgezet

*Handwritten notes:*  
Veen is de eerste stap tot steenkool vorming, het heeft relatief een laag koolstof gehalte en dus een laag calorisch gehalte en produceert weinig hitte. Tijdens het proces dat hierop volgt, diagenese en compactie (inklinking, inkoling, het veen is onder een dik sediment pakket komen te liggen) vinden een aantal reacties plaats waarbij water, zuurstof, stikstof (CO<sub>2</sub>, H<sub>2</sub>O en CH<sub>4</sub>) en andere planten elementen verwijderd worden, hierbij een dichte zeer compacte koolstof rijke steenkool achterlatend. (fig. 4 en 5)

en de grote afzettingen van Noord-Amerika en Europa werden toen afgezet.  
Veen is de eerste stap tot steenkool vorming, het heeft relatief een laag koolstof gehalte en dus een laag calorisch gehalte en produceert weinig hitte. Tijdens het proces dat hierop volgt, diagenese en compactie (inklinking, inkoling, het veen is onder een dik sediment pakket komen te liggen) vinden een aantal reacties plaats waarbij water, zuurstof, stikstof (CO<sub>2</sub>, H<sub>2</sub>O en CH<sub>4</sub>) en andere planten elementen verwijderd worden, hierbij een dichte zeer compacte koolstof rijke steenkool achterlatend. (fig. 4 en 5)

Figure 4 Increase calorific value of coal with increasing rank.



Figuur 5 Structuurformules van gaskool met 83% C (boven) en vetkool met 89% C (onder). Bij voortgaande inkoling worden de moleculen groter door polymerisatie. (Naar Van Krevelen, Handel. Natuur- en Geneesk. Congr. 1955.)

Oudere steenkool afzettingen hebben dus een hoger koolstof gehalte dan jongere.

Natuurlijk liggen de bituminieuze steenkool en anthraciet zeer goed op de brandstof markt. Na een depressie begint de steenkool mijnbouw zich weer te herstellen, dankzij de OPEC (1974) en Iran (1979). Steenkool blijft echter een weinig mobiele brandstof, niet bruikbaar voor auto, buitenboordmotor, petroleumstel etc.

Steenkool afzettingen zijn gebonden aan sediment basins en welk zoetwater sediment afzettingen. De meeste steenkool reserves zijn volgens de geologen reeds ontdekt vandaar dat de U.S. Geological Survey die winbare steenkool reserve op  $8,415 \times 10^9$  ton geschat. Tot winbare afzettingen worden gerekend een laag van 30 cm dik en niet dieper dan 1800 meter. Ook wordt aangenomen dat met de meest efficiënte mijnmethode er slechts 50% uitgehaald wordt (recovery van 50%). Met deze restrikties rekening houdend komt op bovengenoemd reserves, hetgeen desondanks een enorme hoeveelheid is.

De grootste afzettingen komen voor in Noord Amerika, Europa en Azie. (fig. 6 en 7)

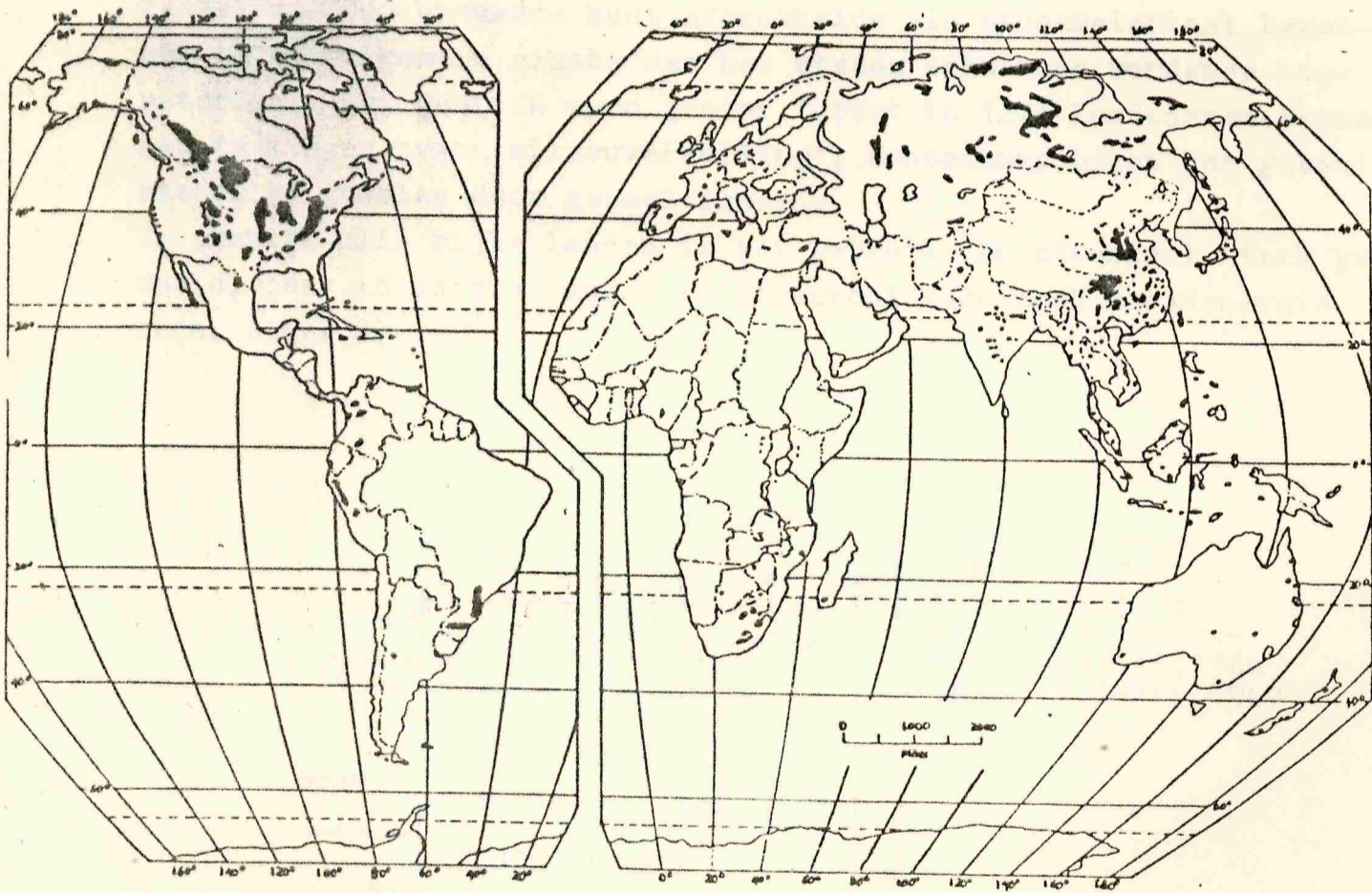


Figure 6 Occurrence of coal measures around the world has a very erratic distribution, with most known reserves occurring in North America, Europe, and Asia. (After Oxford Economic Atlas of the World.)

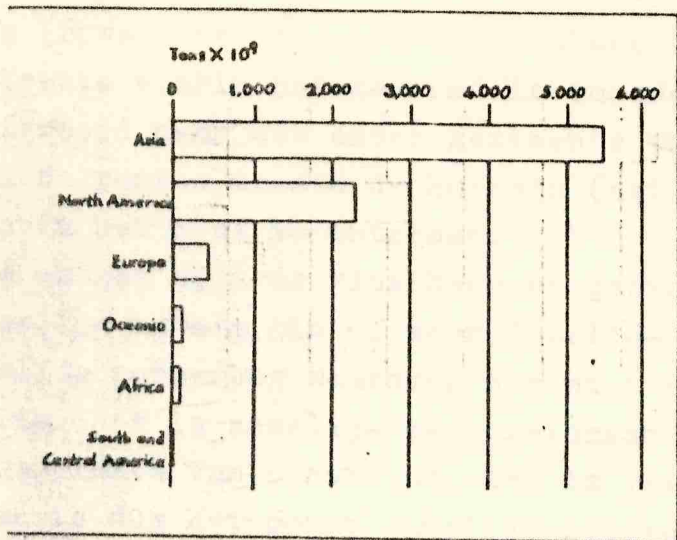


Figure 7 Geographic distribution of recoverable coal reserves. (After P. Averitt, 1969)

De Chinezen maakten reeds 2000 jaar geleden gebruik van steenkool. En de Hopi Indianen van de Jeddith Vallei in Arizona hadden tussen de 13e en 17e eeuw 100.000 ton steenkool gemijnd en verbruikt. Echter kreeg steenkool pas een wereldwijde verbruik, nadat inwoners van de noord-oost kust van Engeland rond 1200 vlambaar zwart gesteente dat van de verweerde kust afbrokkelde als stookmateriaal begonnen te gebruiken in plaats van het steeds schaarser wordende bosmateriaal. Het gebruik werd groter totdat in 1273 Londenaren begonnen te klagen over 'milieuvervuiling', desondanks begon het gebruik steeds te groeien door geheel Europa.

In sommige olie rijke landen is het gebruik van steenkool sterk gedaald, maar in andere landen is steenkool toch noch hoofdenergie bron. (fig. 8)

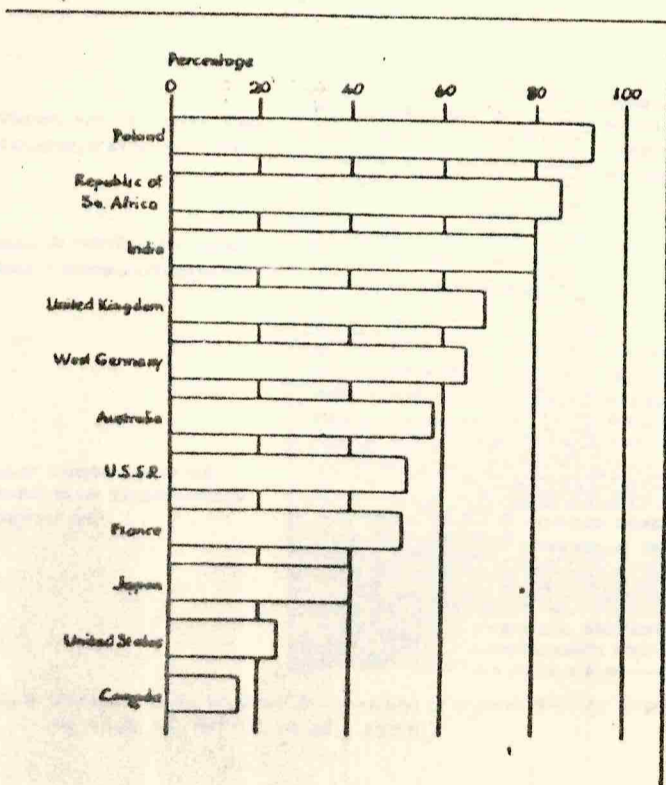


Figure 8 Percentage of total energy supplied by coal in selected countries, 1964 (After H. Perry 1967)

Aardolie en Gas.

Aardolie (ruwe olie of petroleum) is een vloeistof, die vanuit het gesteente waarin het gevormd is (moedergesteente) grotendeels is gemigreerd naar een ander gesteente waar de olie zich nu bevindt in de porien tussen de korrels (het reservoir gesteente) maar waarin het niet is ontstaan.

Aardolie en gas zijn de vloeibare en gasvormige componenten van petroleum, ze hebben min of meer dezelfde samenstelling en hebben ook dezelfde oorsprong waarover nog niet het laatste woord gesproken is. Het is namelijk zeer zeldzaam petroleum terug te vinden op de plaats van oorsprong, het is veelal naar elders gemigreerd en is dus het oorspronkelijk milieu en hiermede het ontstaansmateriaal, of tenminste de voorlopers niet terug te traceren. Door de snelle opkomst echter van de organische geochemie, de microbiologie en nieuwe analytische apparaten en methoden is men dichterbij de oplossing, alhoewel er nog heel wat mysteries zijn. Onderstaand diagram (fig. 9) geeft een opeenvolging van gebeurtenissen die een rol spelen bij de omzetting van organisch materiaal in petroleum.

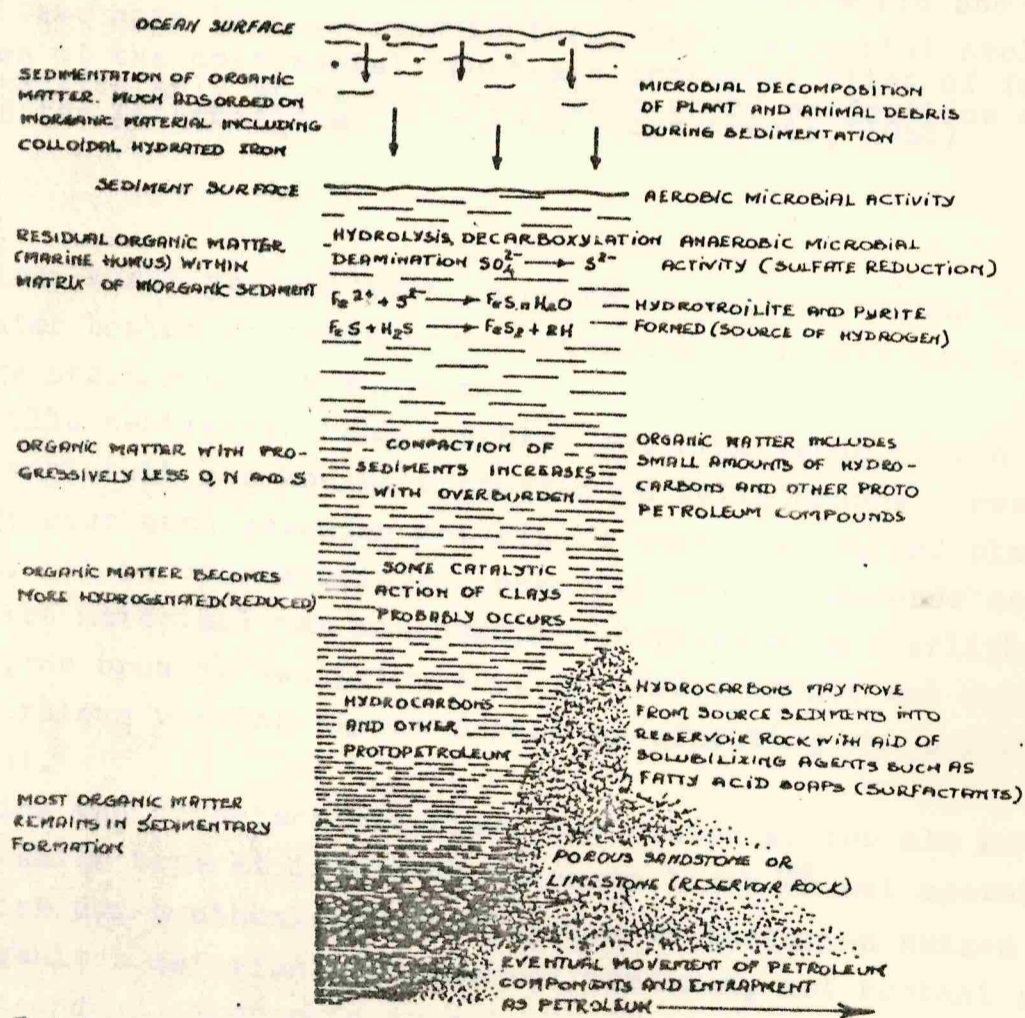


Fig. 9. General events involved in conversion of organic matter to petroleum. (Diagram suggested by that of SMITH et al., 1959.)



Aardolie en aardgas bestaan hoofdzakelijk uit koolwaterstoffen en worden als steenkool gevonden in sedimentaire basins (fig. 10)

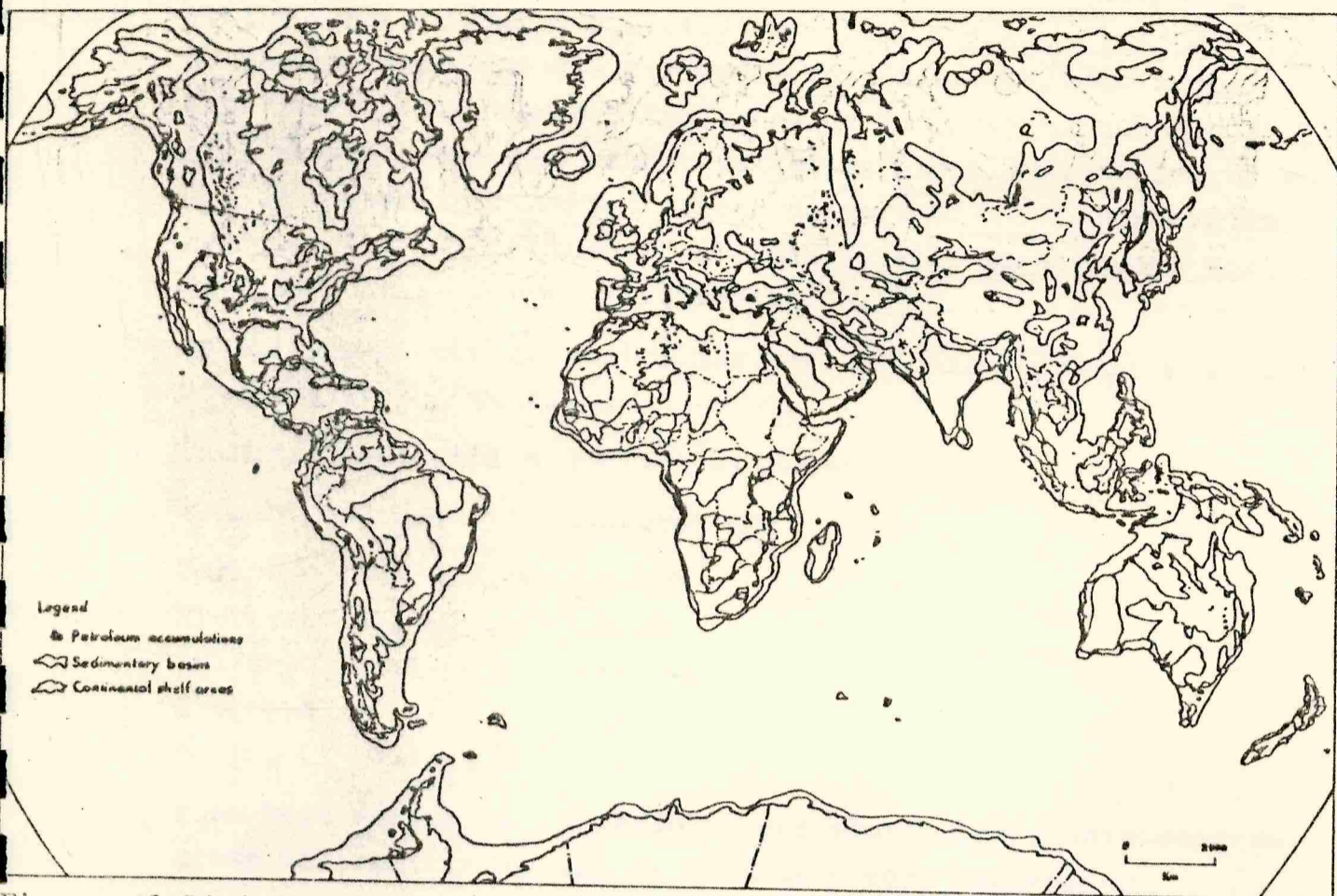


Figure 10 Distribution of the sedimentary basins of the world and the petroleum accumulations that have been located in them. The continental shelf areas—thesea-covered portion of the continental crust—are potential sites of future petroleum discoveries, particularly where they contain seaward projections of the sedimentary basins. (After International Petroleum Encyclopedia, 1968)

Petroleum wordt veelvuldiger gevonden in mariene basins dan in zoetwater basins en prevaleert natuurlijk in basins met hoog percentage organisch rijk sediment.

Bijna alle sedimenten hebben echter wat organische resten en een grote varieteit aan koolwaterstoffen en zelfs druppels ruwe olie zijn geassocieerd gevonden met min of meer onveranderd plantenresten. Het is daarom vrijwel zeker dat wijd verspreide sedimentaire organisch materiaal van microscopische planten en dierlijke oorsprong, de bron is van petroleum. En verder is het wel duidelijk dat petroleum vorming direkt begint na afzetting van organisch materiaal.

Afzetting van organisch materiaal kan echter alleen als het zuurstof gehalte beperkt is tot de bovenste lagen <sup>van</sup> ~~om~~ het zeewater waar zich dan bentonische evertbraten en bacterien huizen die het organisch materiaal grotensdeel verteren, het restant gedeel-  
te <sup>lijk</sup>verteerd of afgebroken organisch materiaal bezinkt aldus in

een zuurstof vrije omgeving. Hier beneden vindt nog gedeeltelijk afbraak plaats door anaerobe bacterien in het bijzonder zwavelbacterien.

Hierna vindt transformatie (of metamorfose) plaats van de in sedimenten aanwezige organische stoffen in verschillende in aardolie voorkomende koolwaterstoffen.

De eerste petroleum die gevormd wordt is natuurlijk 'zwarte olie' (met zware moleculengewichten). Met de loop der tijden als de olie steeds onder een dikker pakket sediment komt te liggen en als de temperatuur stijgt worden de moleculen in lichtere en mobieleren  $\frac{2}{3}$  (thermodynamisch verval) en zocoende wordt de 'zwarte olie' steeds 'lichter'.

De bulk chemische samenstelling van aardolie varieert niet veel, zie onderstaand tabel.

Chemical Composition of Typical Petroleum.

Element	Crude Oil	Natural Gas
Carbon	82.2-87.1%	65-80%
Hydrogen	11.7-14.7	1-25
Sulfur	0.1- 5.5	trace-0.2
Nitrogen	0.1- 1.5	1-15
Oxygen	0.1- 4.5	-

maar toch verschilt de aardolie van plaats tot plaats door de grote diversifikatie van de individuele componenten. Olie, gas en water in sedimenten hebben de neiging naar de oppervlakte te migreren, hoe lichter de olie hoe sneller de migratie richting oppervlakte, tenzij het onderweg opgevangen wordt in zogenaamde oil traps (fig. 11), waar accumulatie plaats vindt.

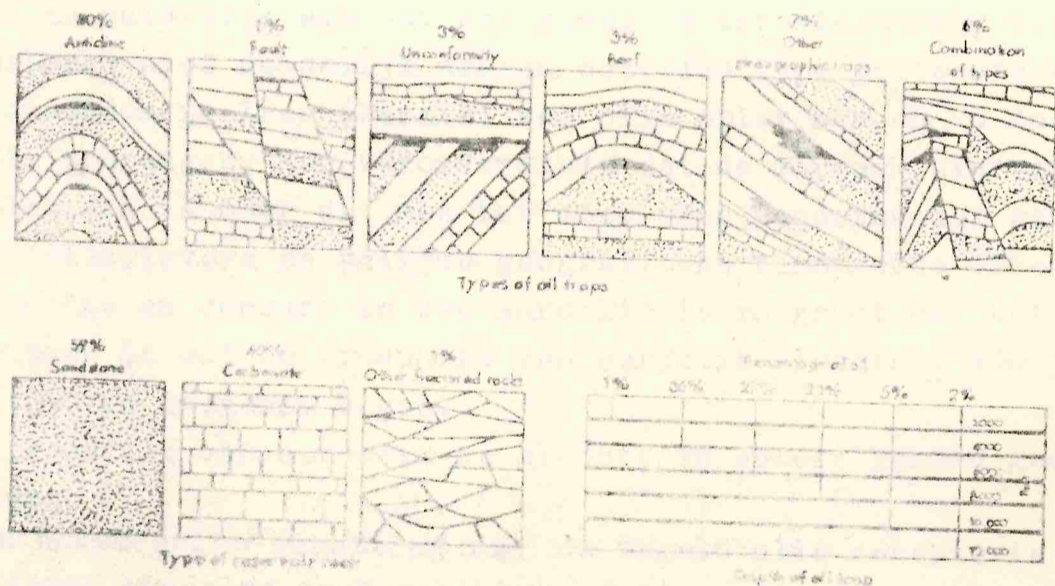
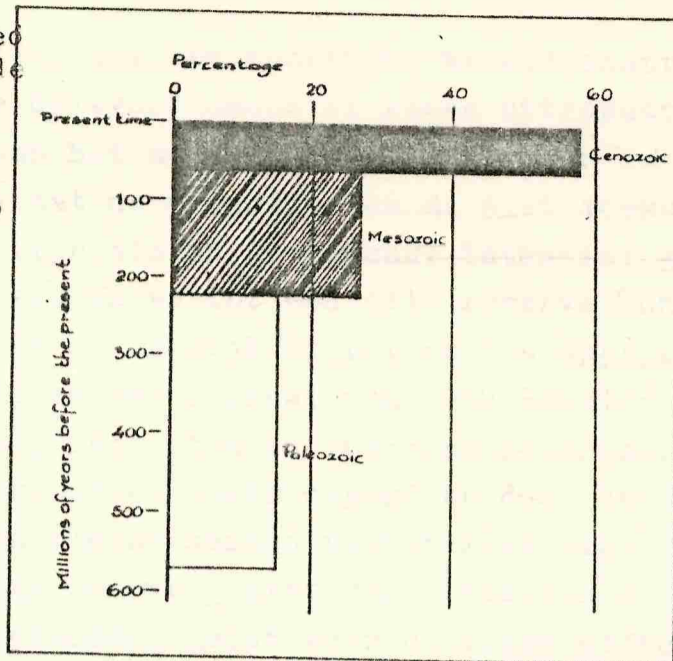


Figure 11 Types of oil traps and reservoir rocks, and the depth of known oil pools, together with the percentage of the world's oil production from each. (From Man's Physical World by J.E. Van Riper. Copyright 1962 by McGraw-Hill Inc. Used with permission of McGraw-Hill Book Company.)

De jongste gesteente (Plioceen 2,5 miljoen jaar oud) zijn de grootste reservoirs (fig. 12).

Figure 12 Estimated production of crude oil from rocks of different geological age ranges. (After G.C.Gester, 1948).



Aardgas, voornamelijk methaan, kan als volgt voorkomen; opgelost in ruwe olie, als een kap boven een olie reservoir, of als een grote gasbel onafhankelijk van een of ander olie reservoir. Al de wijze van voorkomen zijn waardevol en bovendien is aardgas, door de geweldige perfectie in het aanleggen van pijpleidingen en het commercieel vloeibaar maken van aardgas, overal naar toe te transporteren en heeft het bijv. in de Verenigde Staten als energiebron aardolie overtroffen.

Ruwe olie en steenkool hebben een grote maar niet gelijke geografische verspreiding. De verspreiding van ruwe olie is echter niet zo duidelijk als dat het geval is met steenkool, het is bijvoorbeeld niet duidelijk waarom dezelfde type gesteente van dezelfde ouderdom in Iran (Perzie) wel olie opleveren en in Australië niets opbrengen. Men veronderstelt dat de oorzaak hiervan niet geologisch is maar dat men tot meer olie vondsten zal geraken bij een intensievere en gelijke geografische verspreide olie exploratie. Productie en consumptie van aardolie is zo groot dat het onvoorstelbaar is dat de produktie van aardolie slechts  $\pm$  100 jaar terug in 1857 in Roemenië begon.

De productie van aardolie is slechts in enkele landen geconcentreerd.

Een nauwkeurige schatting van de wereld olie reserve is met de huidige middelen en beschikbare feiten niet te geven. Alhoewel

de oliemaatschappijen wel min of meer de reserve kennen van huidige produktie putten en van putten die op korte termijn geëxploiteerd zullen worden.

Olie en gasvelden zijn t.o.v. steenkoolvelden relatief veel kleiner, de kosten om een dergelijk veld te vinden is dan ook veel hoger.

Een ander manier om toch tot een redelijke wereldschatting te komen is de bestaande olievoorkomens of reeds uitgeputte voorkomens te relateren aan het sediment voorkomen over de wereld, aangenomen natuurlijk dat de potentie van de niet geëxploreerde voorkomens even goed zijn als in de bekende intensief geëxploreerde gebieden, dan zouden we tot een olie reserve kunnen komen van  $1500-3500 \times 10^9$  barrels. Terwijl de tot nu toe opgegeven olie- en gasreserve door Oil en Gas Journal van 1967  $600 \times 10^9$  barrels bedraagt voor measured, indicated en inferred reserves.

Dat geëstimeerde olie reserves zoals opgegeven door verschillende autoriteiten sterk van elkaar kunnen verschillen ligt in het feit dat het percentage recovery niet door iedereen op 35% wordt gehouden, zoals tegenwoordig geldt voor de meest efficiënte olievelden.

Sommigen zoals M.K.Hubert beweren dat we de grootste piek in olie vondsten reeds achter de rug hebben en dat we naar andere energie bronnen moeten uitkijken, de recente vondsten in Mexico (40.1 miljard barrels proven, 44,6 miljard barrels probable en 200 miljard barrels potential) bewijzen echter het tegendeel. De voorkomens hier blijken veel groter te zijn dan die van tot nog <sup>toe</sup> als grootste olieland bekende Saoedie-Arabie.

Teerzand.

Komt in grote hoeveelheden voor in Noord-Alberta langs de Athabasca Rivier (fig. 14).

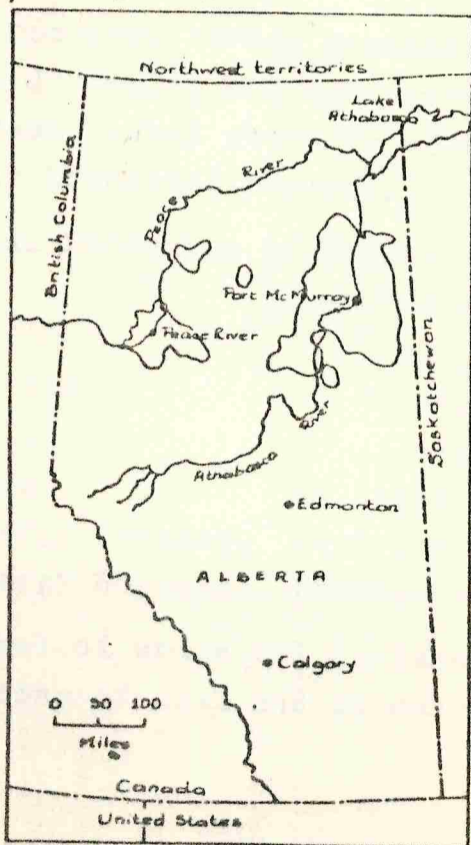


Figure 14 Areas in Alberta, Canada, known to be underlain by tar sands. The first commercial production has begin near Fort McMurray, where 45.000 barrels of oil are produced from 100.000 tons of sand mined each day.

De reserve wordt geschat op een equivalent van  $600 \times 10^9$  barrels olie.

Teer is hetzelfde als aardolie alleen bestaat het uit grote zware moleculen asfalt hydrocarbonaten. Echter is het niet vloeibaar en treedt het op als een kitmiddel voor de zandkorrels. Het gesteente moet dus in zijn geheel gemijnd worden en verhit worden met stoom om het asfalt te laten vloeien. De teer wordt dan later verwerkt tot bruikbare olie.

De reserves van Athabasca beslaan een gebied van  $75.000 \text{ km}^2$  bij een dikte van  $\pm 60 \text{ m}$ . Dit is het grootste voorkomen tot nu toe ontdekt en de enigste dat op het ogenblik gemijnd wordt. Het vermoeden bestaat dat andere evengrote of grotere voorkomens ontdekt zullen worden.

Olie schalie.

Sommige schalies bezitten zoveel bituminieus organisch materiaal dat grote hoeveelheden petroleum eruit gedistilleerd kunnen worden.

De tot nu toe rijkste afzetting geeft een average van 1 (een) tot 2 (twee) barrels per ton gesteente, terwijl plaatselijk er wel 4 (vier) barrels per ton gemaakt kan worden.

De grootste reserves komen in Noord-Amerika voor en wel in de staten Wyoming Utah en Colorado, waar gedurende het Eoceen tijdperk sedimentatie van organisch rijke kleien plaatsvond in drie grote ondiepe meren.

Reserve van deze afzettingen worden geschat op  $850 \times 10^9$  barrels, bij een produktie van  $1-1\frac{1}{2}$  barrel per ton.

De grootste vondst tot nu toe buiten Noord-Amerika is die van Zuid-Oost Brazilië in de Irati Schalie met  $400 \times 10^9$  barrels aan olie reserve.

Wereld reserves worden geschat op  $200 \times 10^9$  barrels volgens 'Oil and Gas Journal', bij een recovery van 50%.

Onderstaand tabel geeft de stand van zaken weer van de huidige fossiele brandstof reserve.

Potential Resources of Fossil Fuels and Their Energy.\*

£	Barrels x $10^9$	Btu x $10^{15}$
Coal	34,500	197,000
Oil and Gas	2,500	14,250
Oil Shale	1,000	5,700
Tar Sands	at least 600	3,400
1966 Energy Consump.	equiv. to 30	170
1976 Energy Consump.	(estimated) 48	270

\* 1 barrel of crude oil is taken to be approximately equal to 0.22 tons of coal and to generate  $5.7 \times 10^6$  Btu of energy.

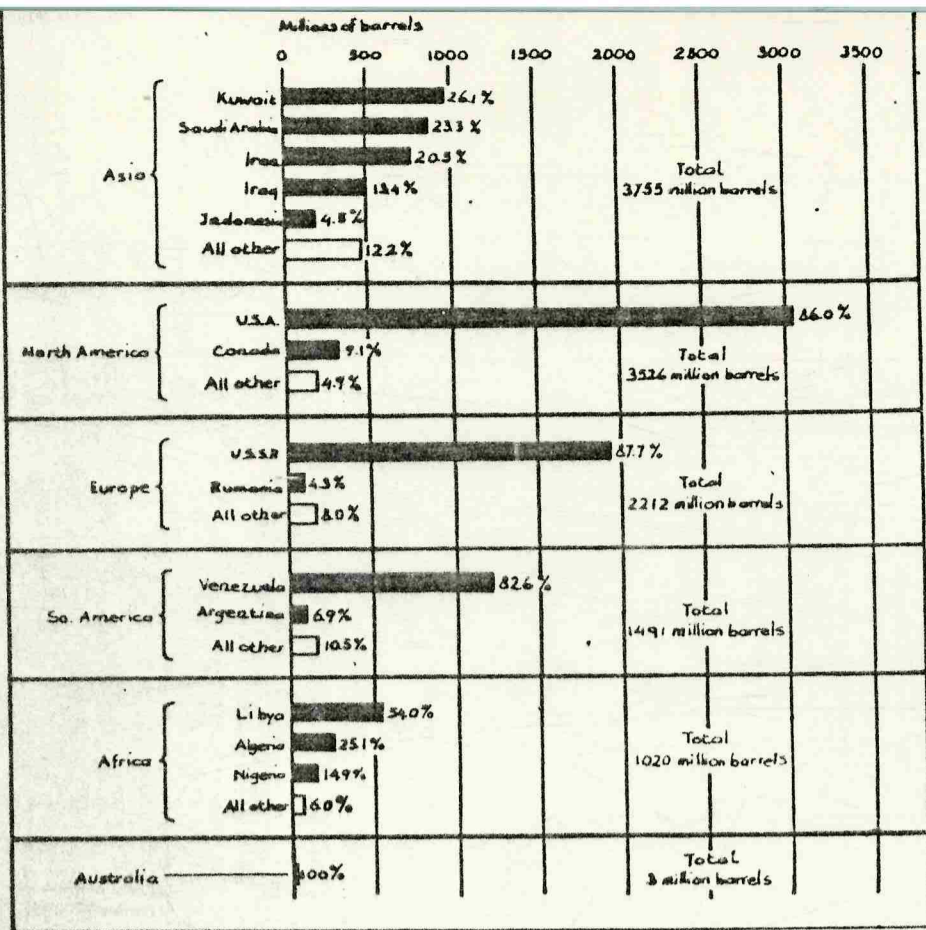


Figure 13 World distribution of the  $12,890 \times 10^6$  barrels of petroleum produced in 1966. (After U.S. Bureau of Mines.)

Figure 15 Organic-rich shales were laid down in ancient freshwater lakes during the Eocene Epoch in parts of Colorado, Wyoming, and Utah. Little of these valuable sediments has been removed by later erosion.

Although the whole area shown is underlain by only shale, only the darkly shaded areas are underlain by shales that are more than 10 feet thick and that are capable of yielding 0.5 barrels or more oil per ton of shale. (After U.S. Department of Interior, 1968)

