

GEOLOGIJA FOSILNIH GORIVA

Predavači: Prof. dr **Aleksandar Kostić**

Prof. dr **Dragana Životić**

Predispitne obaveze i poeni

- Obavezni predispitni poeni: min. 30
- Aktivnost na predavanjima: do 15 poena
- Aktivnost na vežbama: do 15 poena
- Testovi: do 20 poena (2 testa po 10 poena)
- Usmeni ispit: do 50 poena

Tematske celine:

1. Fosilna goriva – podela, definicije i specifičnosti
2. Fizičke i hemijske osobine fosilnih goriva
3. Organska supstanca u sedimentima
4. Osnovi geologije uljnih šejlova i naftnih peskova
5. Osnovi geologije nafte i gasa (geneza i procesi preobražaja)
6. Osnovi geologije ugljeva (geneza i procesi preobražaja)
7. Resursi i rezerve fosilnih goriva u svetu i Srbiji

Ispitna pitanja:

1. Fossilna goriva – podela, definicije i specifičnosti
2. Fizičke osobine fosilnih goriva
3. Hemijske osobine fosilnih goriva
4. Organska supstanca u sedimentima (količina, tip i procesi preobražaja)
5. Povoljne depozicione sredine za stvaranje fosilnih goriva
6. Poreklo nafte i gasa
7. Kerogen i matične stene za naftu i gas
8. Distribucija matičnih stena u vremenu i prostoru
9. Generisanje nafte i gasa (definicija, faze i faktori)
10. Migracija nafte i gasa i prirodni rezervoari
11. Ležište nafte i gasa (definicija, elementi, klasifikacija i promene UV u ležištima)
12. Poreklo uglja, podela i stratigrafska distribucija
13. Litotip uglja (definicija i podela)
14. Litotipovi mrkih i kamenih ugljeva (osobine, poreklo i način pojavljivanja)
15. Macerali uglja (definicija i osnovna podela)
16. Macerali huminitske/vitrinitske grupe (osnovna obeležja, poreklo i podela)
17. Macerali liptinitske i inertinitske grupe (osnovna obeležja, poreklo i podela)
18. Uslovi za obrazovanje ugljeva (flora, klima, geomorfologija regiona)
19. Proces karbonifikacije (definicija, glavne faze i faktori)
20. Ugljonosna serija i ugljeni sloj
21. Debljina ugljenog sloja , uklopci u sloju i promene debljine ugljenog sloja
22. Klasifikacija uljnih šejlova
23. Morfološki tipovi uljnih šejlova
24. Značajne formacije uljnih šejlova u svetu
25. Resursi i rezerve fosilnih goriva u svetu (nafta, gas, ugalj, uljni šejlovi, naftni peskovi)
26. Ugljonosni baseni Srbije
27. Uljni šejlovi Srbije
28. Nalazišta nafte i gasa u Srbiji

Osnovna literatura:

- 1. Ercegovac, M., 2002: **Geologija nafte.**- RGF, Beograd, NIS-Naftagas, Novi Sad, 463 str.
- 2. Ercegovac, M., 1990: **Geologija uljnih škriljaca.**- «Građevinska knjiga», 180 str.
- 3. Nikolić, P. i Dimitrijević, D., 1990: **Ugalj Jugoslavije.**- «Pronalazaštvo», Beograd, 462 str.
- 4. Thomas L., 2002: **Coal geology.** -John Wiley & Sons Ltd, San Francisco, CA, 384 pp.
- 5. **Geologija Srbije – kaustobioliti (knjiga VII),** RGF, Beograd.

1. FOSILNA GORIVA: Organogene sedimentne stene, potpovršinski fluidi i gasovi koji se mogu koristiti kao gorivo.

Ranije korišćeni termin: KAUSTOBIOLITI

KAUSTIKOS - GORUĆI

BIOS - ŽIVOT

LITOS - KAMEN

PODELA fosilnih goriva:

Petrobitumije (nafta, gas, naftni peskovi),

Karbobitumije (ugljevi)

Kerobitumije (uljni šejlovi)

– *Prema agregatnom stanju: čvrsta, tečna i gasovita.*

DEFINICIJE:

UGLJEVI

- Svetlo do tamno smeđe, sive ili crne sagorljive sedimentne stene, nastale stratifikovanom akumulacijom ostataka kopnenih i redje vodenih biljaka, sa manje od 50% neorganske materije.



SIROVA NAFTA

Kompleksna smeša tečnih, gasovitih i čvrstih ugljovodonika akumulirana u porama stena u sedimentnim basenima (“rezervoarima”).

Pod normalnim uslovima se nalazi u tečnom stanju, lakša je od vode i mnogo viskozija. Zapaljiva je i sagorljiva, a odlikuje se velikom toplotnom vrednošću.

ZEMNI GAS

Smeša ugljovodonika koji se pod normalnim uslovima većinom nalaze u gasovitom stanju. Osim ugljovodoničnih gasova, sadrže još i CO_2 , N_2 , H_2S i He.

Pri “normalnim” uslovima (20°C, 1 atm) :

- C_1-C_4 gasoviti ugljovodonici
- C_5-C_{17} tečni ugljovodonici
- C_{18+} polučvrsti i čvrsti ugljovodonici

NAFTNI PESKOVI (*“tar sands”*)

Površinske akumulacije degradovane nafte (*“bitumena”*) u peskovima. Nastaju erozijom zaštitnih stena ležišta nafte ili migracijom iz većih dubina (emigracija, remigracija). U nekim slučajevima obrazuju se i asfaltna jezera (*Trinidad*).



Naftni peskovi ("tar sands")



Athabasca (Alberta, Kanada)

Nafta i gas **nastaju u matičnim stenama** transformacijom **KEROGENA**, i iz njih kasnije **migriraju** ka površini basena. Kada postoje odgovarajuće **zamke**, obrazuju **ležišta** nafte i gasa.

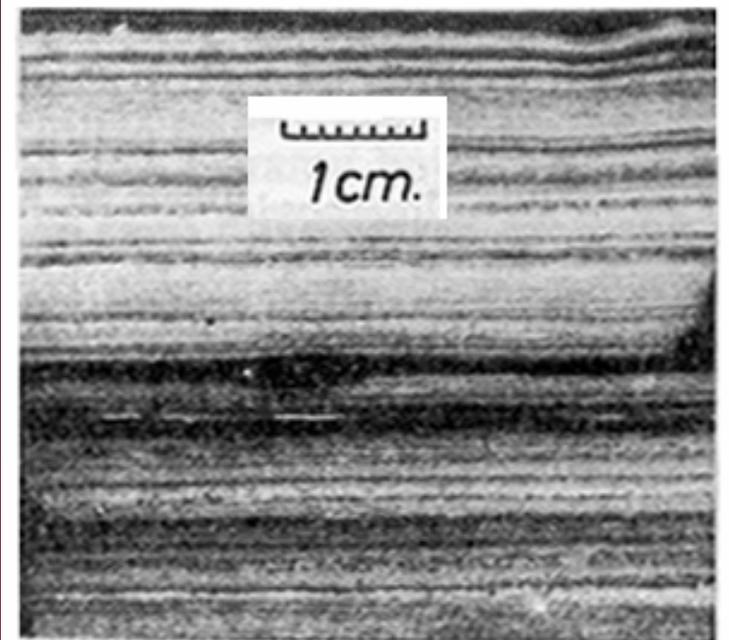
ULJNI ŠEJLOVI

Finozrne do pelitske glinovito-laporovite ili karbonatne **sedimentne stene** sa značajnim učešćem kerogena (5-60 %) koji pri pirolizi (destilaciji) daje tečne ugljovodonike (kerogensko “ulje” tj. naftu) i nešto gasa.

*Koriste se i termini: **uljni škriljci**, **uljni glinci**, **gorući škriljci**, **naftni šejlovi** i sl.*

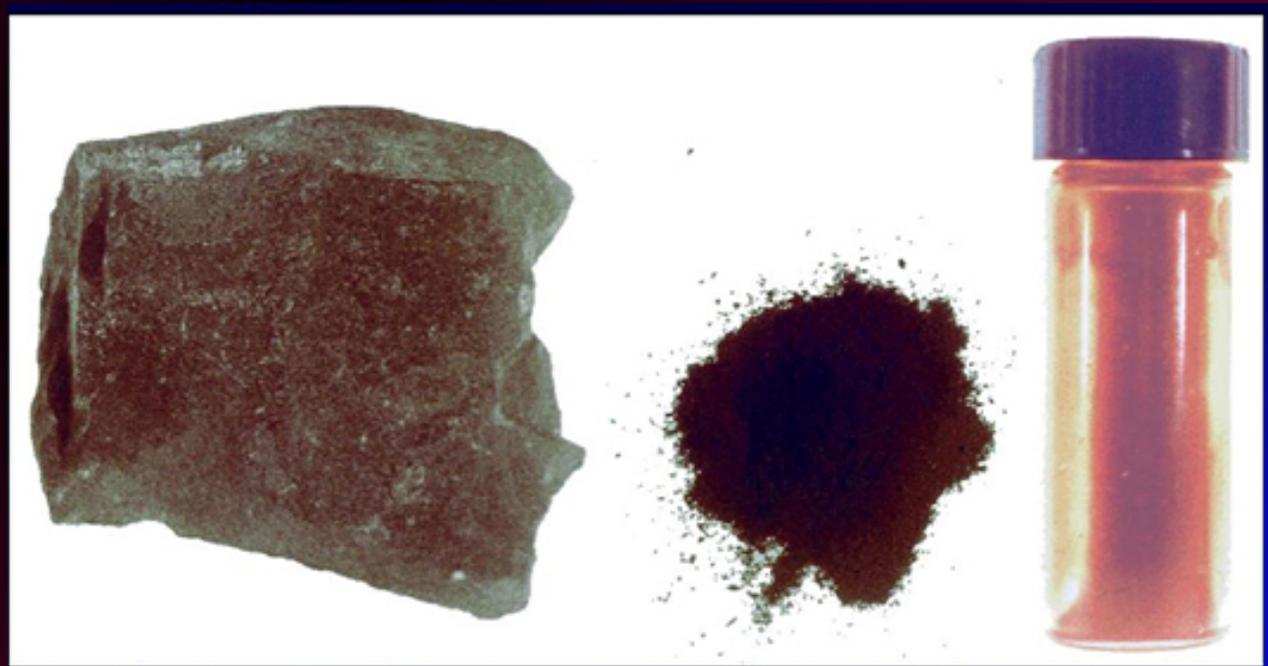
Šejl: *sediment sa preko 65 % zrna manjih od 5 mikrona (1/200 mm) - (Lewan, 1978).*

Uljni šejlovi



Kerogen se definiše kao čvrsta disperzna organska supstanca sedimentata, nerastvorana u organskim rastvaračima.

Čini oko 95 % ukupne organske supstance u sedimentima.



Sedimenti bogati kerogenom

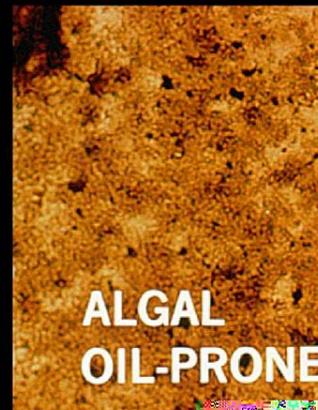
**Organic-
Rich**

**Thin
Laminae**

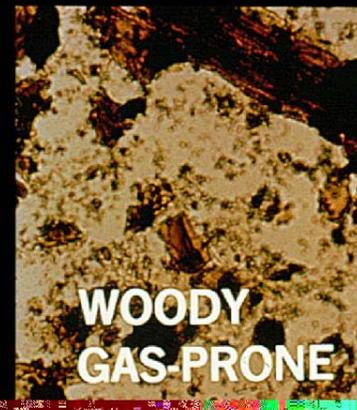


1 Inch

Kerogen Types



**ALGAL
OIL-PRONE**



**WOODY
GAS-PRONE**

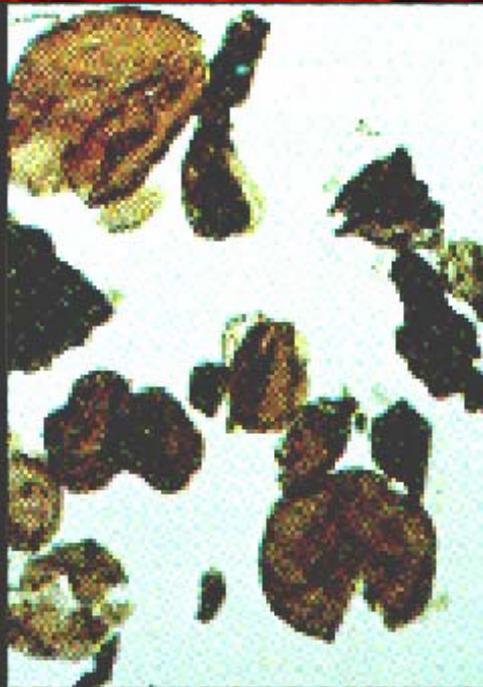
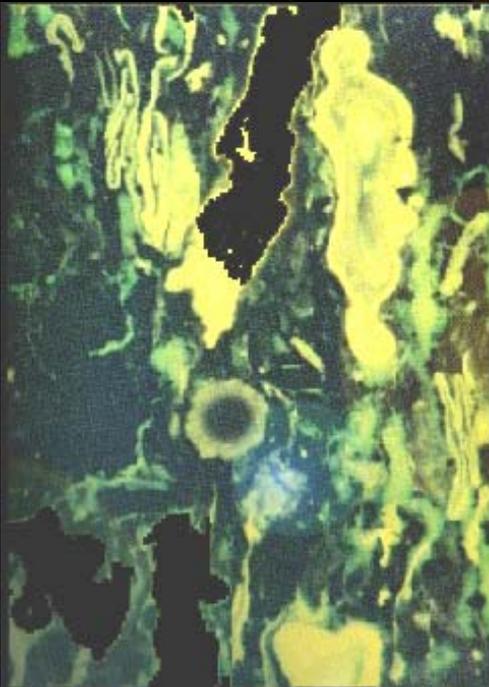
LOMPOC Quarry Sample
Monterey Formation, CA

KEROGEN

SAPROPELNI

UGLJEVITO-
SAPROPELNI

UGLJEVITI



Tip I

Tip II

Tip III

Hutton, 1991

Klasifikacija uljnih šejlova:

Najčešći
macerali:
Telalginit
Lamalginit
Bituminit

TERESTRIČNI

Kenel ugalj

Kenel: smeđi do crni uljni šejl, izgrađen od rezina, spora, voskova, kutikula... V, I.

OS bogata lipidima iz viših kopnenih biljaka

JEZERSKI

Lamozit

Torbanit

Lamozit: svetlo i sivo- smeđ do crn. sa dominacijom lamalginita. V, I, telalginit, bitumen.

Torbanit: crn, sa dominacijom telalginita (*Botryococcus* i sl.). Mala bogata ležišta. V, I.

OS bogata lipidima algi iz slatkovodnih, brakičnih ili slanih jezera

MORSKI

Kukerzit

Tasmanit

Marinit

Kukerzit: svetlo smeđ, sa telalginitom od algi *Gloeocapsomorpha prisca*.

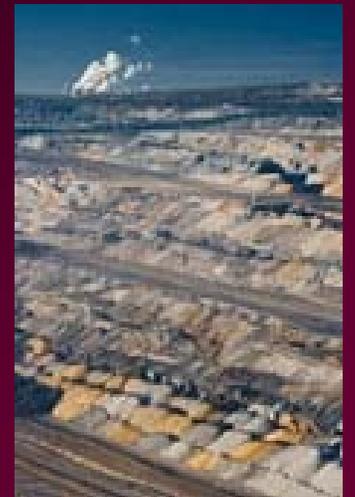
Tasmanit: smeđ do crn, sa telalginitom od jednoćelijskih tasmanitskih algi, nešto lamalginita, V, I.

Marinit: siv do crn sa lamalginitom i bituminitom od morskog fitoplanktona. Telalginit, V, bitumen.

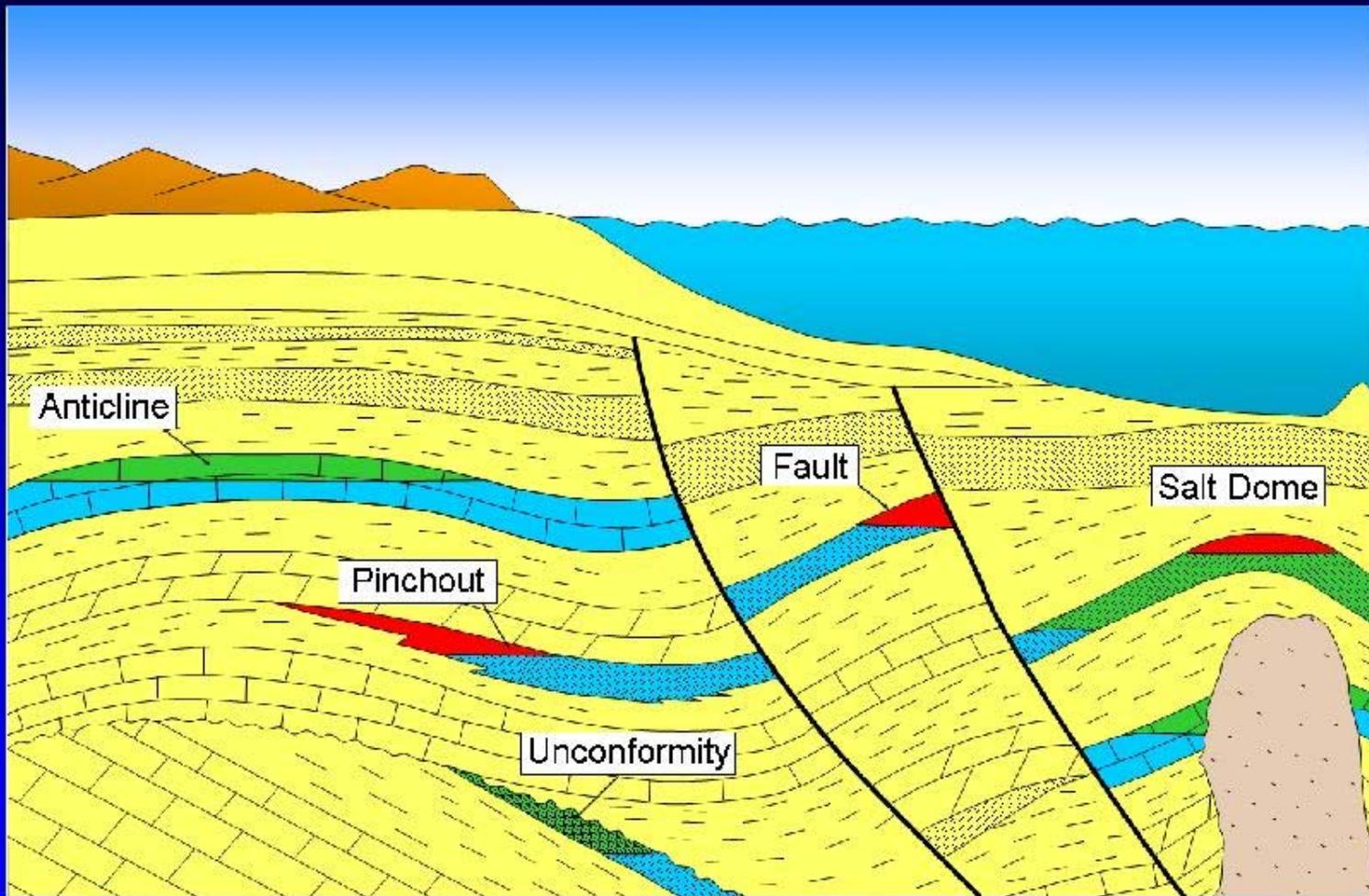
OS bogata lipidima morskih algi, akritarhi i dinoflagelata.

Specifičnosti geneze, pojavljivanja, istraživanja i proizvodnje različitih fosilnih goriva

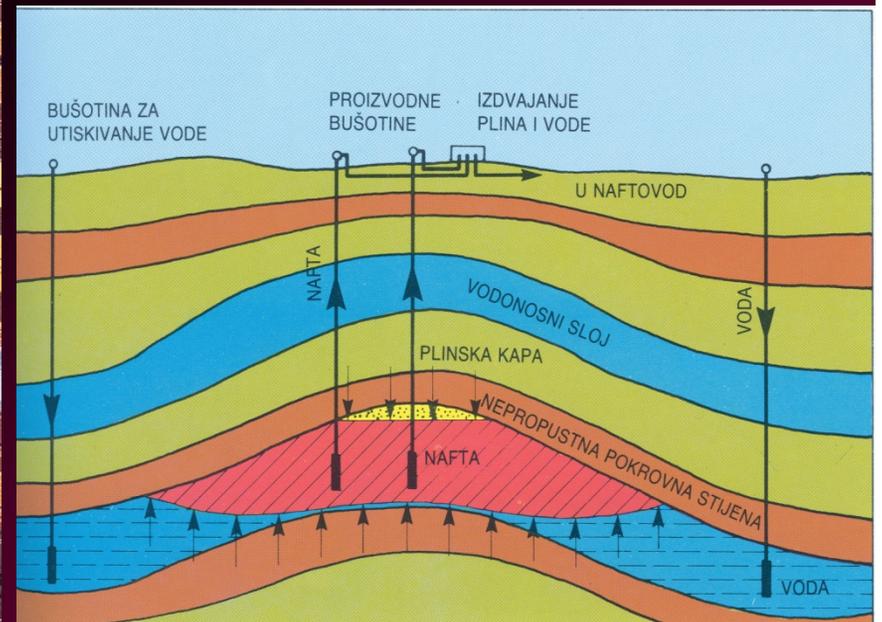
- Akumuliranje fosilnih goriva ***in-situ*** (ugalj, uljni šejlovi) ili posle **migracije** (nafta, gas)
- **Akumulirana** (ugalj, nafta, gas) ili **disperzna** organska supstanca u sedimentima (uljni šejlovi, matične stene)
- Dominantno akumuliranje ostataka **kopnenih biljaka** (ugalj) ili ostataka **algi, planktona i bakterija** (uljni šejlovi, matične stene za naftu i gas)
- Različite metode **istraživanja, eksploatacije, prerade**

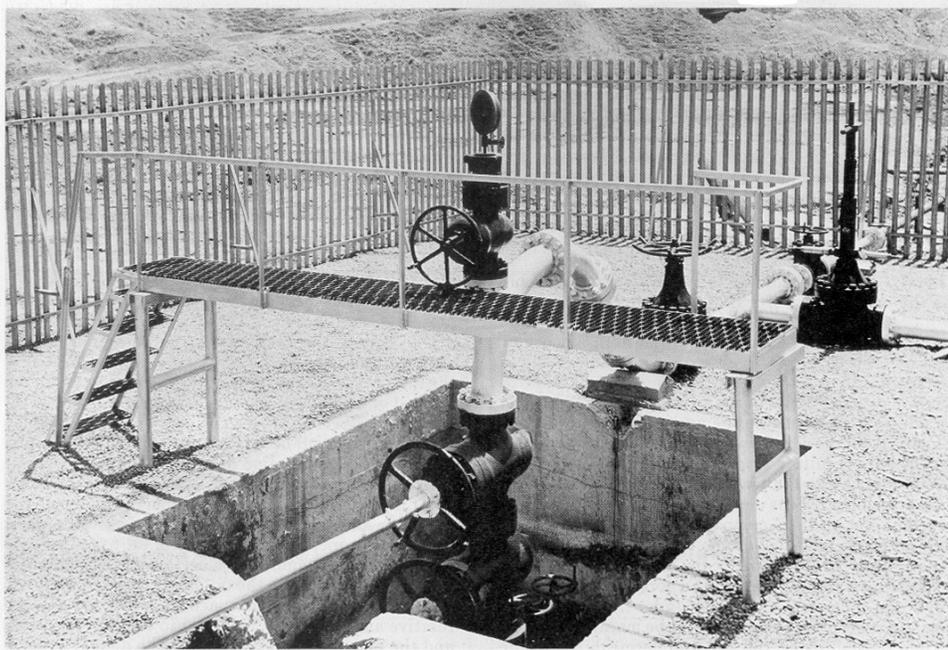


Hydrocarbon Trap Types



ISTRAŽIVANJE I PROIZVODNJA NAFTE

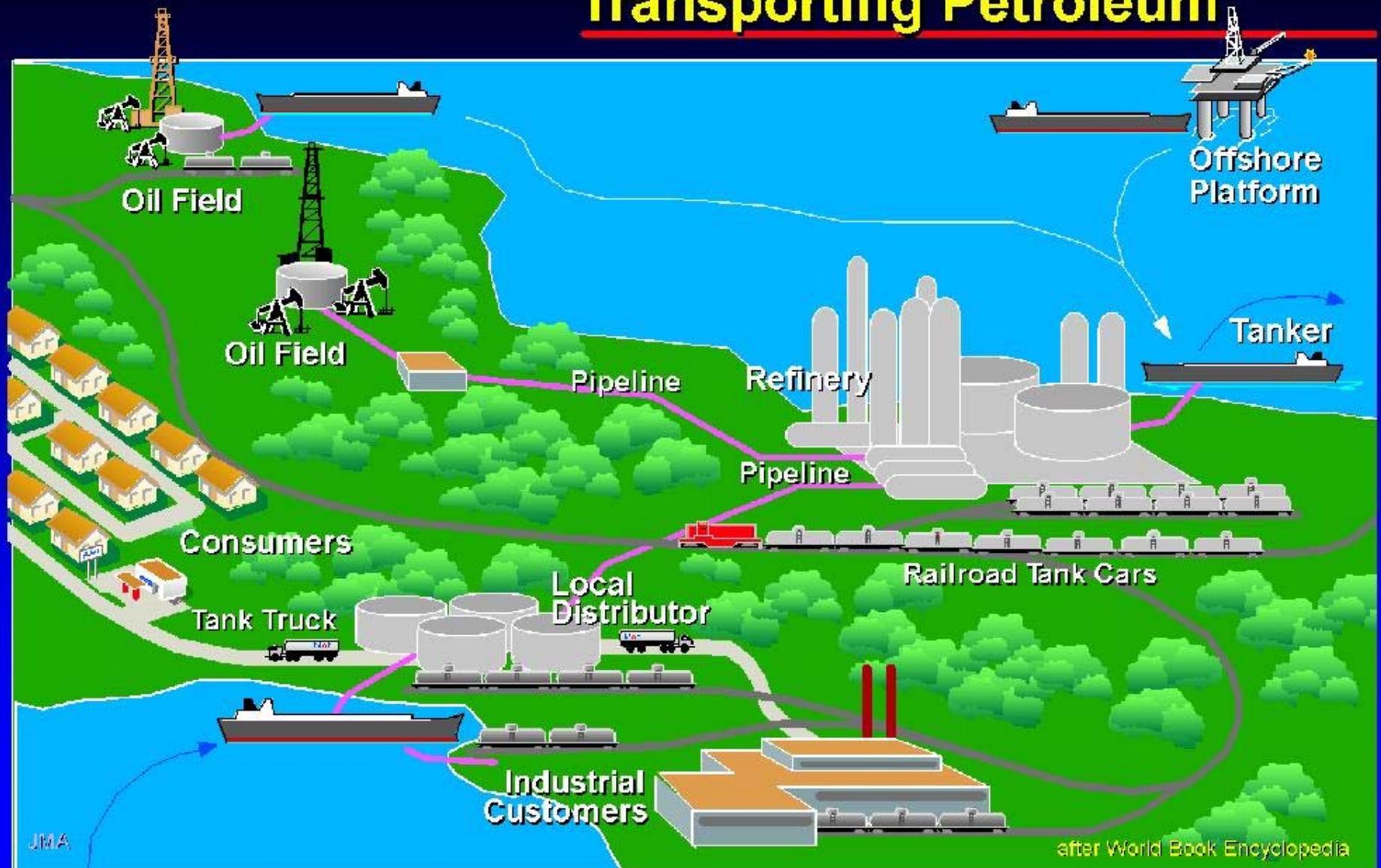




Wellhead of a producing well in the Agha Jari field, in Iran.



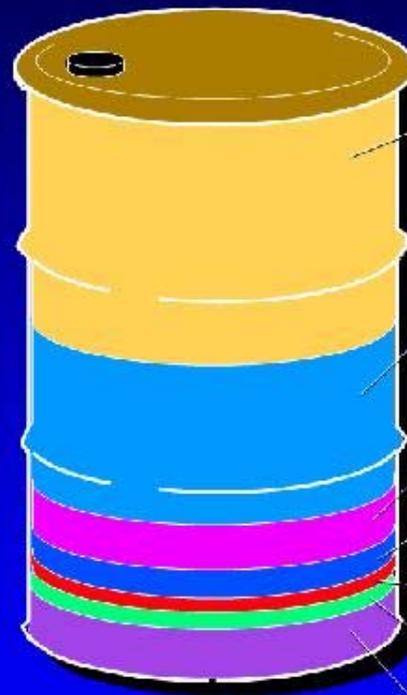
Transporting Petroleum



Petroleum Products

A Barrel of Crude Oil Provides:

One Barrel =
42 gallons



Gasoline - 19.5 gallons

Fuel Oil - 9.2 gallons

Jet Fuel - 4.1 gallons

Asphalt - 2.3 gallons

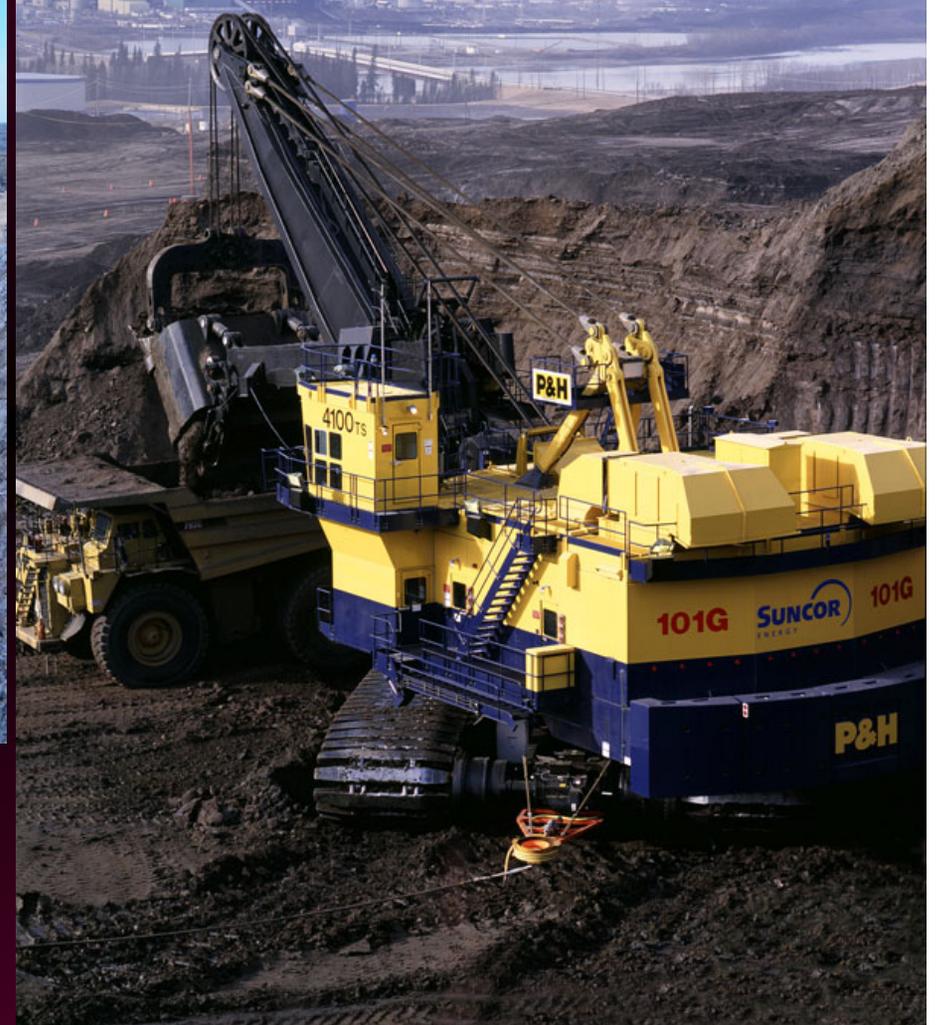
Kerosene - 0.2 gallons

Lubricants - 0.5 gallons

Petrochemicals,
other products - 6.2 gallons

NAFTNI PESKOVI

Athabasca (Alberta, Kanada)



Large-Scale Commercial Tar Sands Surface Mining Activity North of Fort McMurray, Alberta, Canada (The shovel bucket holds approximately 100 tons of tar sands ore. A tar sands processing plant is visible in the background.) (Image courtesy of Suncor Energy, Inc.)



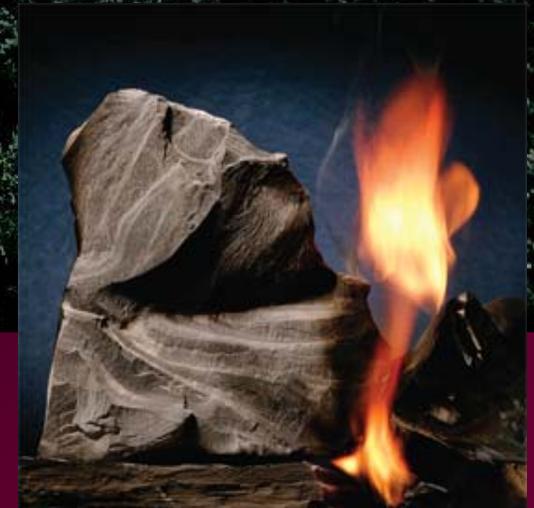
Portion of a Large-Scale Commercial Tar Sands Processing Plant near Fort McMurray, Alberta, Canada (Image courtesy of Suncor Energy, Inc.)



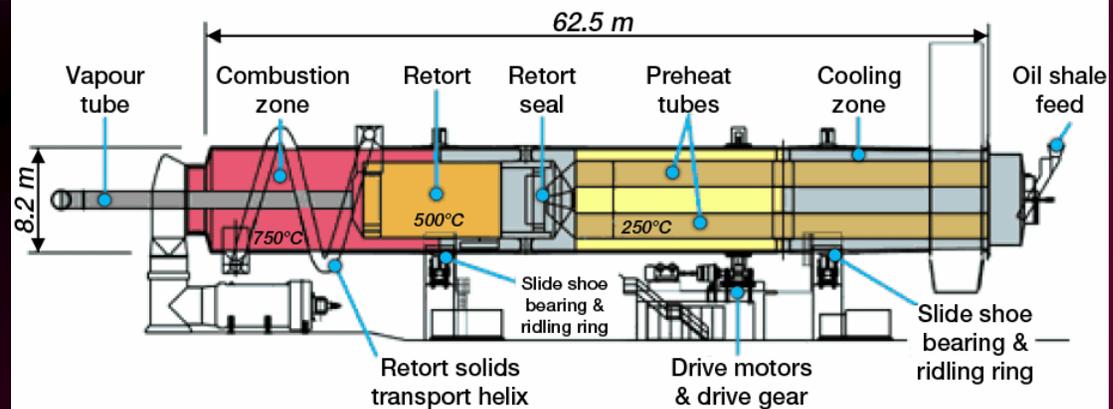
Close-up View of a Large-Scale Commercial Tar Sands Processing Plant near Fort McMurray, Alberta, Canada
(Image courtesy of Suncor Energy, Inc.)

ULJNI ŠEJLOVI

Green River shale



Podzemno odkopavanje, površinsko retortovanje





ATP Processor Retort Technology at Stuart Oil Shale Facility, Queensland, Australia (This is a demonstration-scale [4,800-bbl/day] oil shale facility. A portion of the oil shale mining area is visible in background. Photo courtesy of Queensland Energy Resources Limited, Queensland, Australia, and UMATAC Industrial Processes, Calgary, Alberta, Canada. Reprinted with permission.)

Podzemno in-situ retortovanje uljnih šejlova (*Shell Oil*)



1 BORE IN

In a 30- by 20-foot field, a series of 600-foot-deep holes are drilled to reach oil shale -- sedimentary rock containing hydrocarbons. The holes are spaced 5 feet apart around the perimeter and within the field.

2 FIRE UP

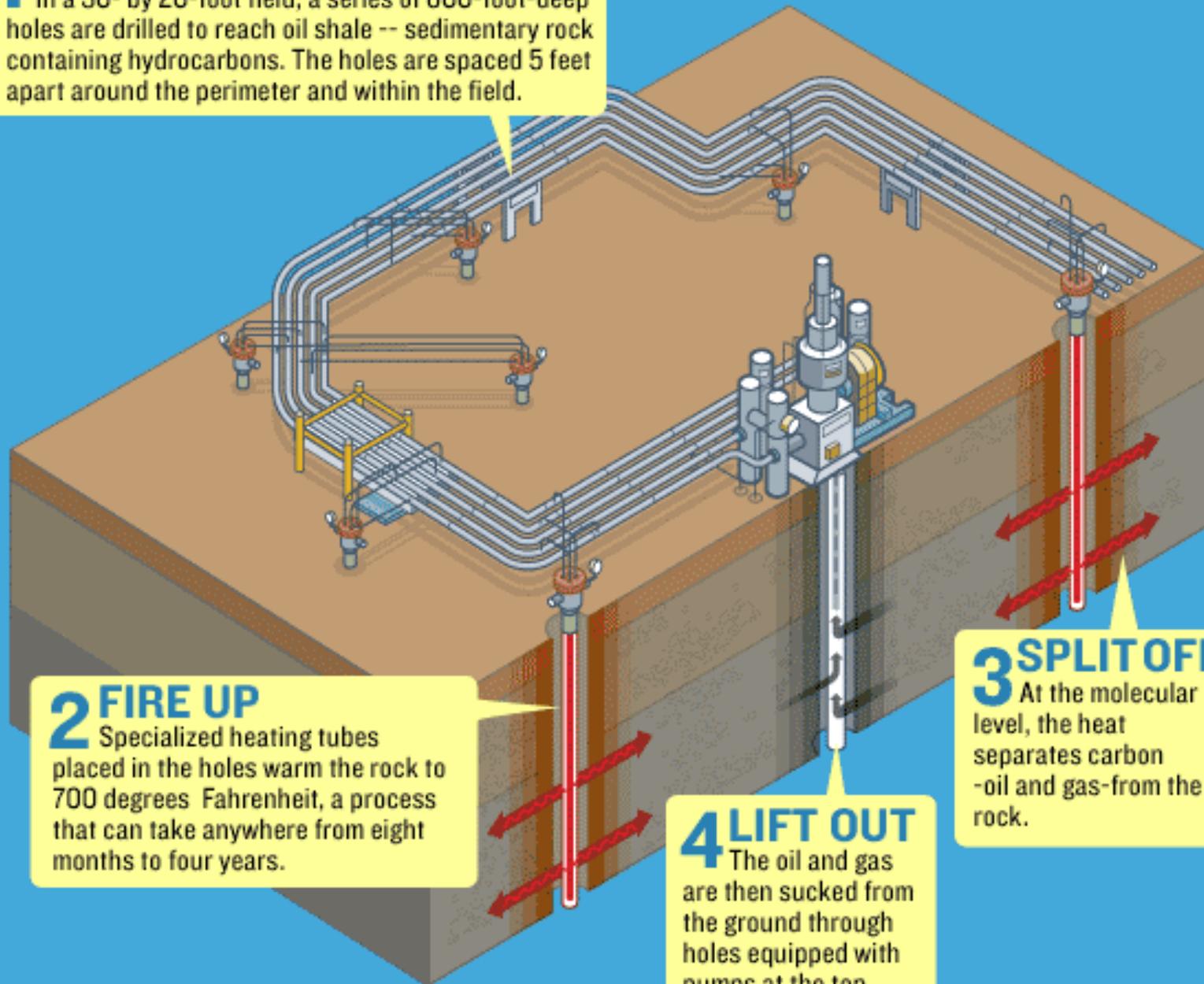
Specialized heating tubes placed in the holes warm the rock to 700 degrees Fahrenheit, a process that can take anywhere from eight months to four years.

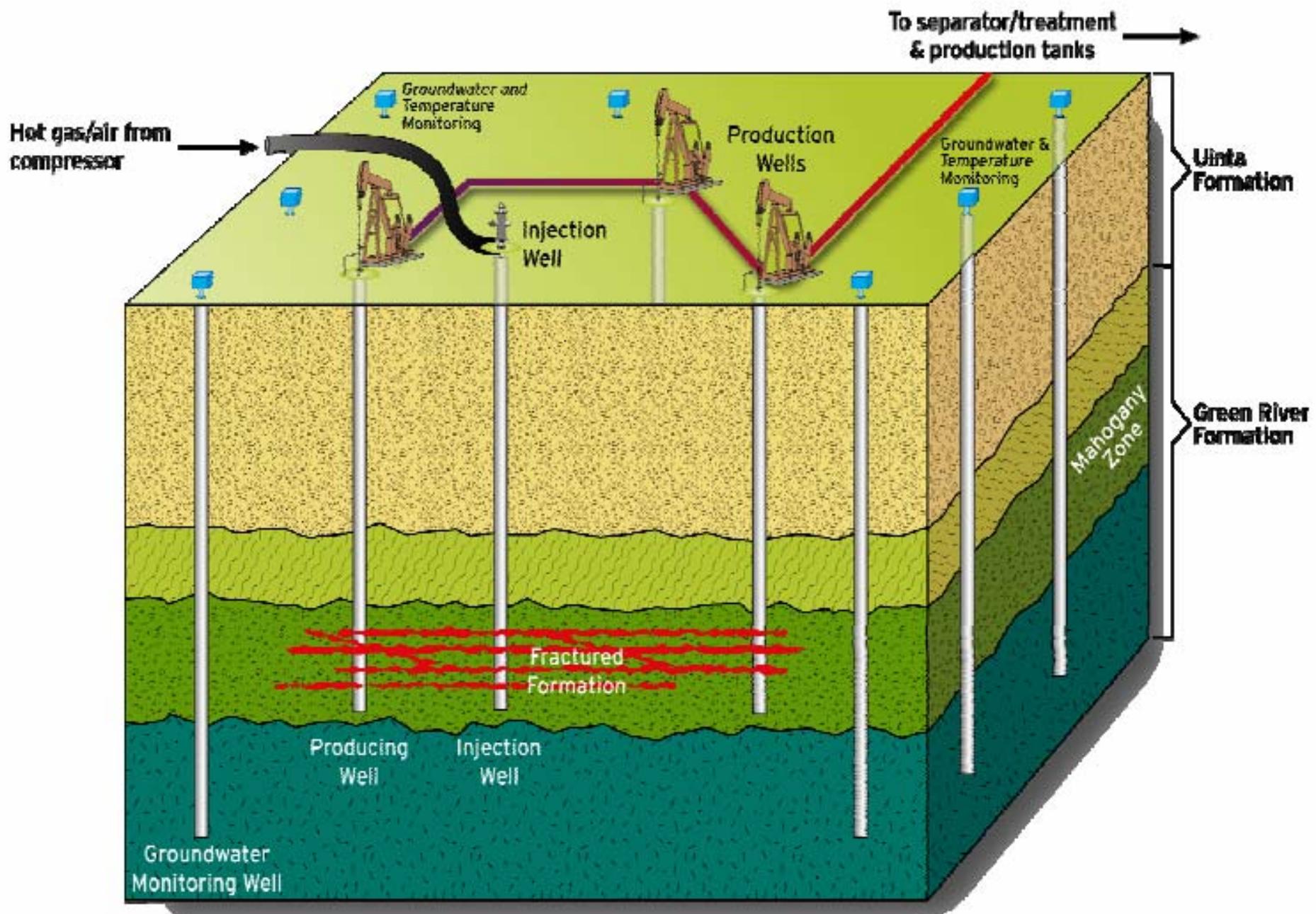
4 LIFT OUT

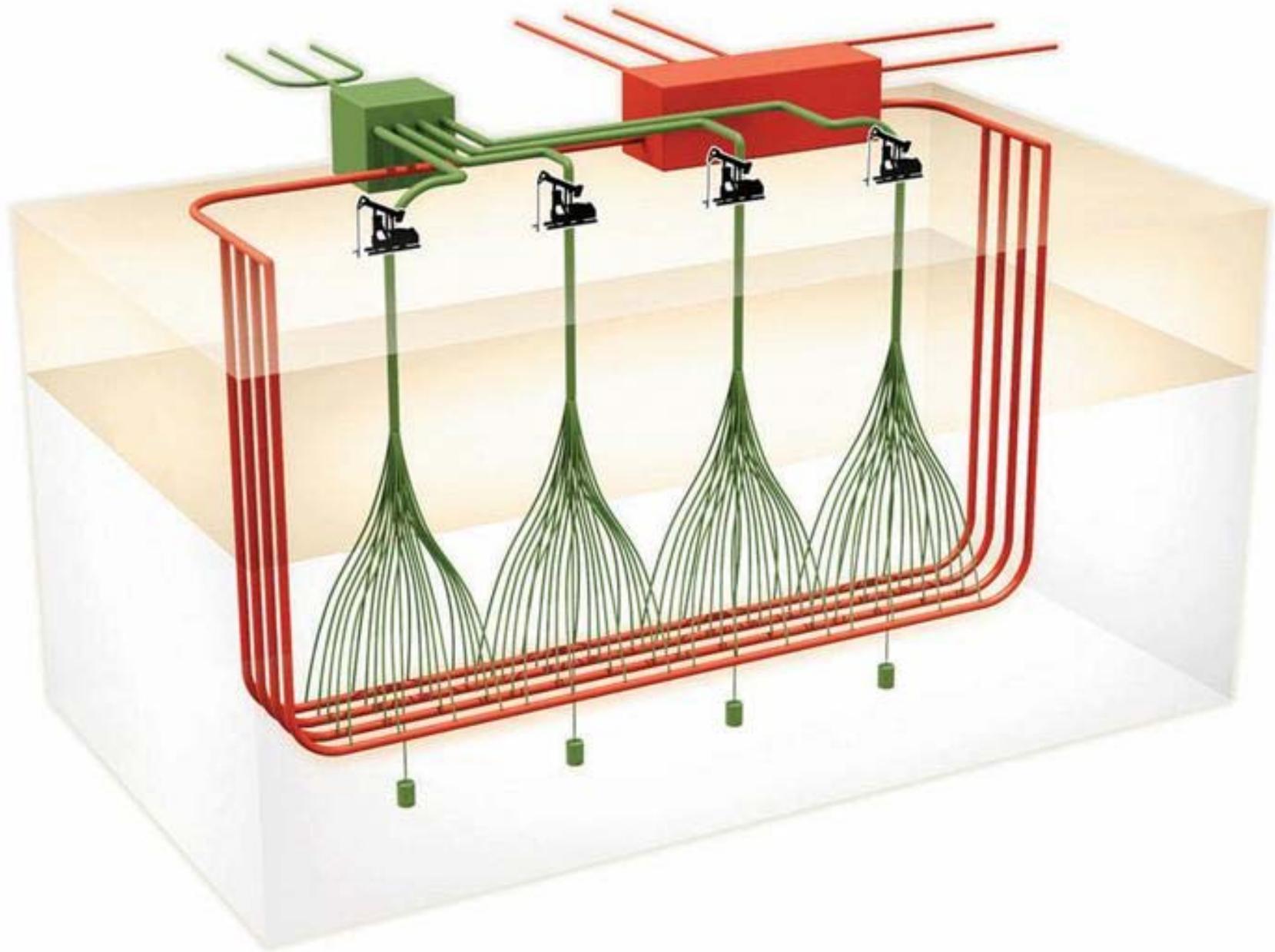
The oil and gas are then sucked from the ground through holes equipped with pumps at the top.

3 SPLIT OFF

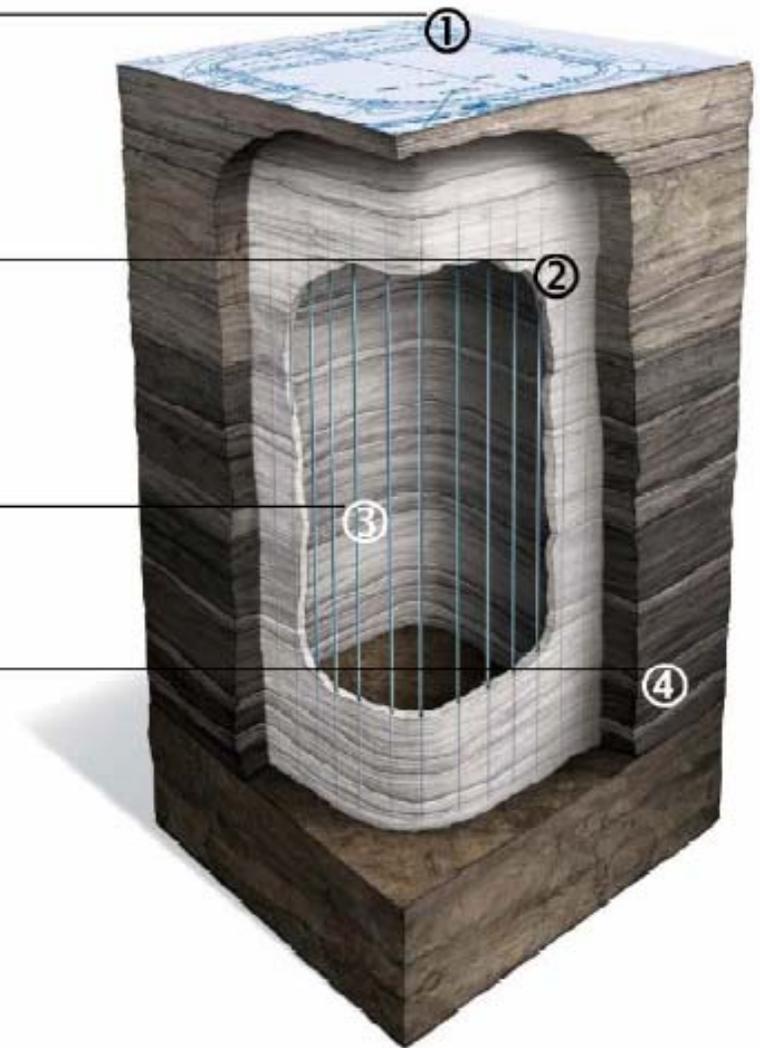
At the molecular level, the heat separates carbon -oil and gas- from the rock.







1. **SURFACE FOOTPRINT** – Surface facilities for the freeze wall include access points to the closed-loop pipe system, monitoring wells and groundwater wells, which will pump out the groundwater from inside the contained reservoir once the freeze wall is built.
2. **ICE WALL** – A chilled liquid would be circulated through a closed system of pipes causing the water in the surrounding rock to freeze and eventually form a wall of ice. This freeze wall will serve as a barrier to keep groundwater out of the contained reservoir.
3. **HOLES** – Shell will drill a maximum of 150 holes spaced about 8 feet apart in order to create the closed-loop pipe system.
4. **SHALE BED** – Up to 2,000 feet beneath the surface, the shale layer is a rock formation containing organic matter (kerogen). It is this organic matter trapped in the rock that results in oil and gas when gradually heated. Shell's goal is to find a way to produce this potential energy resource in an economically viable, environmentally responsible and socially sustainable manner.



Oil Shale Deposit

In Situ

Conventional

Fracturing

Mining

Retorting

Crushing

Product Recovery

Retorting

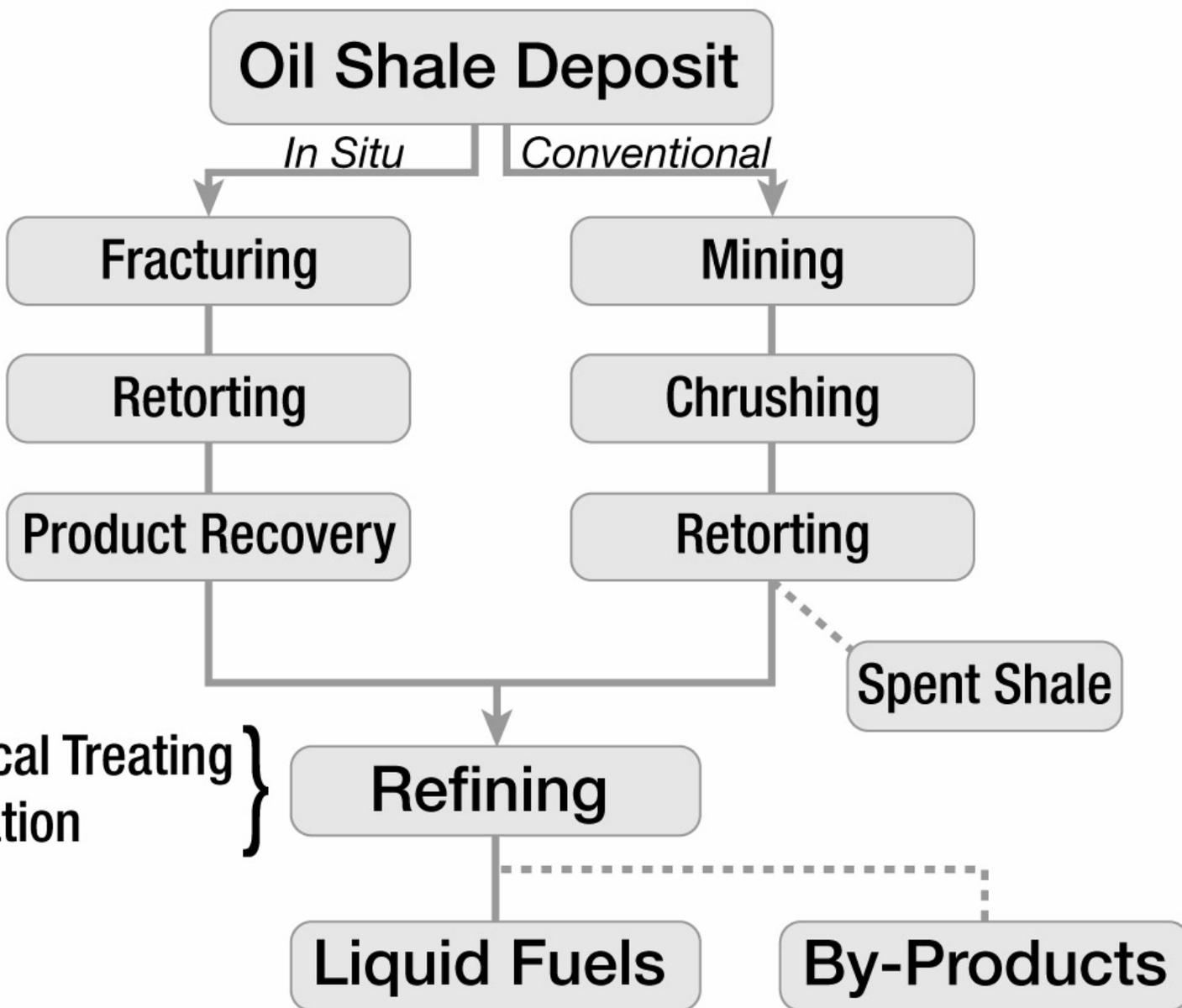
Spent Shale

Thermal & Chemical Treating
Hydrogenation

Refining

Liquid Fuels

By-Products



2.

Fizičke i hemijske osobine fosilnih goriva

FIZIČKE OSOBINE NAFTE:

- Optičke (boja, fluorescencija, optička aktivnost)
- Mehaničke (relativna gustina, viskoznost, zapreminski koeficijent)
- Termičke (tačka stinjavanja, toplotna vrednost, tačka ključanja)
- Električne (dielektričnost)
- Miris

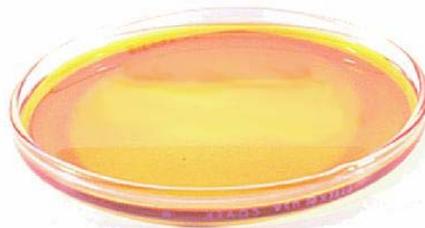
Optičke osobine:

- **BOJA** – od svetlo zelene, žute ili crvenkaste do različitih nijansi smeđe (najčešće mrke do crne). Zavisí od hem. sastava (asfaltne mat. i aromati daju tamniju boju). Lake nafte su često svetlije.

The Goal - 'Black Gold'

Petroleum Supplies our Energy Needs

Light Texas Crude
Palo Pinto Field
North Texas



Heavy Texas Crude
Humble Oil Field
Southwest Texas



- **FLUORESCENCIJA** – u odbijenoj svetlosti nafta fluorescira različitim prelivima boje (najčešće **plava**, **zelena** ili **ljubičasta**). Zavisí od stepena zrelosti nafte, a manje od hem. sastava.
- **OPTIČKA AKTIVNOST** – svojstvo **O.M.** da ravan polarizacije svetlosti skreće u desno. (*Osobina koja je bila jedan od dokaza organskog porekla nafte*)

Relativna gustina :

Relativna gustina d (15°/15°)	Toplotna vrednost kJ/kg
0,70 – 0,75	45.980 – 47.443
0,75 – 0,80	47.443 – 46.380
0,80 – 0,85	46.380 – 45.458
0,85 – 0,90	45.458 – 44.620
0,90 – 0,95	44.620 – 43.890

$$^{\circ}\text{API} = \frac{141,5}{\text{g (gr/cm}^3\text{)}} - 131,5$$

Lake : do 0,85 g/cm³

Sr. teške: 0,85 – 0,93

Teške: 0,93 – 1,00

Jako teške: preko 1,00

Viskoznost: Meri se viskozimetrima, na principu merenja brzine isticanja nafte kroz specijalne cevi.

Na viskoznost utiču hemijski sastav i gustina, a u ležišnim uslovima T , P i količina rastvorenog gasa.

Relativna viskoznost (u odnosu na vodu):

Kondenzati: **0,5 - 1**

Benzin: **0,6**

Kerozin: **2,0**

Lake nafte: **2 - 100**

Teške nafte: **100 – 1000**

ZAPREMINSKI KOEFICIJENT

$$B_o = V_{\text{lež.}} / V_{\text{pov.}}$$

Zависи od količine rastvorenog gasa u nafti - **GOR**
(od engl. *Gas-Oil Ratio*)

$$B_o > 1 \quad (1,13 - 1,35 \text{ m}^3 / \text{m}^3)$$

Termičke osobine:

Tačka stinjavanja: od - 30 do + 32 °C

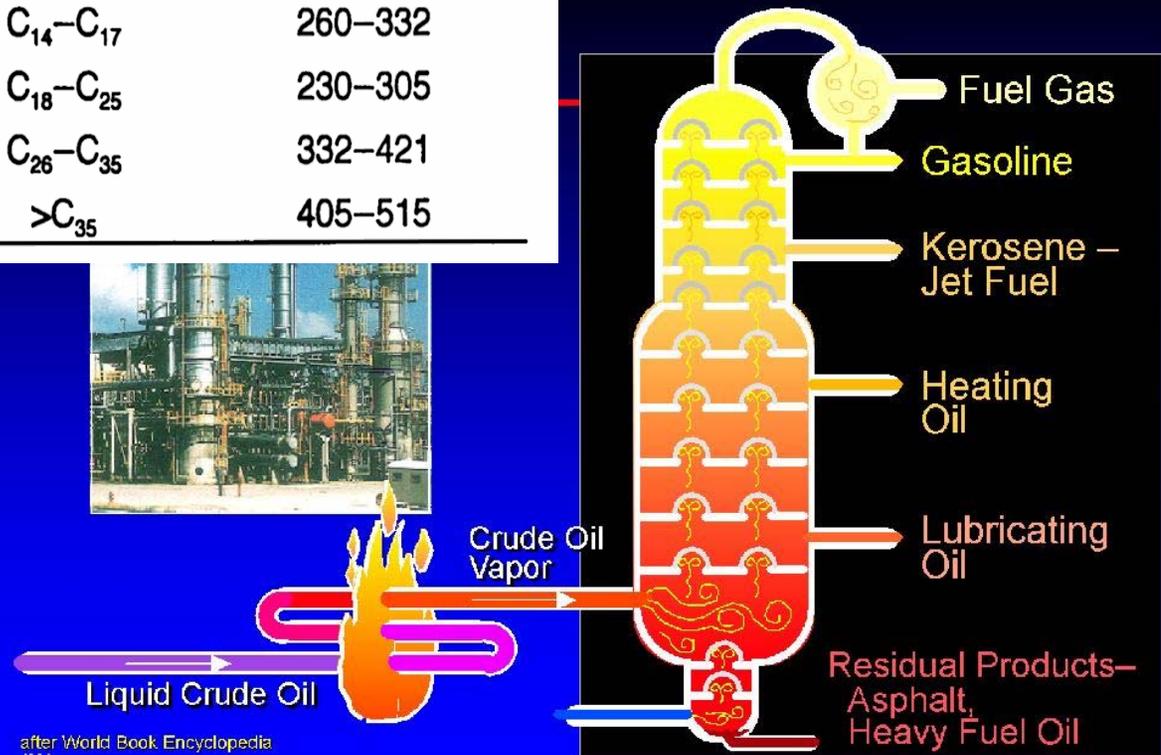
Toplotna vrednost: 43000 – 48000 kJ / kg

Opada s porastom rel. gustine.

Tačka ključanja:

Frakcije sirove nafte i njihove tačke ključanja.

Frakcije sirove nafte	Broj atoma ugljenika	Tačka ključanja °C
Rafinerijski gas	C_1-C_4	< 20
Benzin	C_4-C_{10}	15–200
Kerozin	$C_{11}-C_{12}$	200–260
Gasna ulja	$C_{14}-C_{17}$	260–332
Laki destilati	$C_{18}-C_{25}$	230–305
Ulja za podmazivanje	$C_{26}-C_{35}$	332–421
Ostatak (asfalt, bitumen i dr.)	$>C_{35}$	405–515

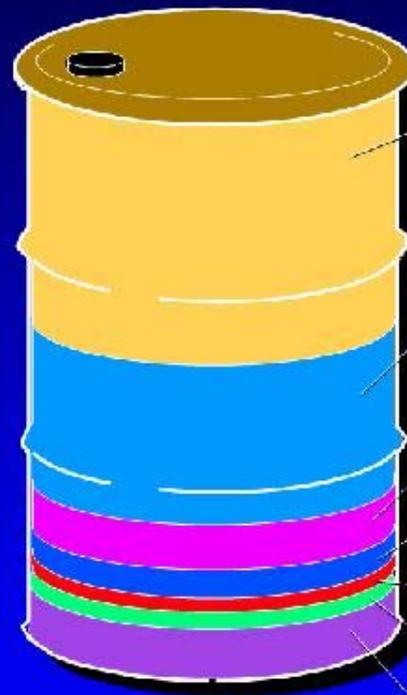


after World Book Encyclopedia
JMA

Petroleum Products

A Barrel of Crude Oil Provides:

One Barrel =
42 gallons



Gasoline - 19.5 gallons

Fuel Oil - 9.2 gallons

Jet Fuel - 4.1 gallons

Asphalt - 2.3 gallons

Kerosene - 0.2 gallons

Lubricants - 0.5 gallons

Petrochemicals,
other products - 6.2 gallons

Električne osobine: dielektrik
(osobina od značaja pri istraživanju)

Miris: zavisi od hem. sastava: parafini – miris benzina, aromati – prijatan miris kedrovog ulja, H_2S – neprijatan miris.

FIZIČKE OSOBINE GASOVA :

Relativna spec. masa (*u odnosu na vazduh*):

(0.554 metan - 2,0 butan) – azot ~ 0,98; CO₂ ~ 1,5

Molekularna težina (metan – 16,04)

Kritična T kritični P (-95°C metan, +134°C butan; pritisak
36 – 52 kg/cm²)

Zapreminski koeficijent (0.0075-0.01)

Viskozitet (*u ležištima sličan tečnosti*)

Toplotna vrednost: od 35.700 (C₁) do 122.000 (C₄)kJ/m³

FIZIČKE OSOBINE UGLJA:

- **OPTIČKE:** Sjajnost - zavisi od litotipa, kompakcije i ranga; boja – zavisi od sastava i ranga (celuloza-bela, lignin-žut, humin-crnokrak) ali generalno mrka do crna.
- **MEHANIČKE:** Specifična masa 1,2-1,7 g/cm³ (OS oko 1); zapreminska masa (sa porama); tvrdina (1-3 po Mosovoj skali), plastičnost i elastičnost; deljivost (klivaž); drobljivost (najviše kameni); prelom (zemljast, vlaknast, školjkast, nepravilni i sl.)
- **TERMIČKE:** Toplotna vrednost (6000-8500 kcal/kg tj. 25000-35000 kJ/kg) – tce = 7000 kcal/kg
- **ELEKTRIČNE:** Poluprovodnik (**provodljivost naglo raste s porastom sadržaja C od preko 87 %**)

HEMIJSKE OSOBINE FOSILNIH GORIVA

- Elementalni i komponentalni sastav odredjuju **hemijske osobine** fosilnih goriva.

Elementarni sastav fosilnih goriva i kerogena (mas.%; Hunt, 1996)

	Gas	Nafta	Asfalt	Ugalj	Kerogen
Ugljenik	76	84,5	84	83	79
Vodonik	24	13	10	5	6
Sumpor	0	0,5	3	1	5
Azot	0	0,5	1	1	2
Kiseonik	0	0,5	2	10	8
	100	100	100	100	100

NAFTA I GAS

C i **H** prvenstveno grade različite **ugljovodonike**, kao i **heterokomponente** (NSO jedinjenja)

O – naftenska kiselina, **NSO jedinjenja**, voda

N – u **NSO jedinjenjima**

S – slobodni sumpor, **H₂S** i u **NSO jedinjenjima**

Pepeo < 0.1 % (Na, Cl, V, Ni, Si, Fe, Ca, Zn, Ag, Cr, Mo)

UGLJEVI

Kondenzovani aromati - hemijski sastav vrlo promenljiv, a prvenstveno zavisi od stepena transformacije biljnih ostataka (ranga uglja).

U organskoj supstanci: C, H, O, N, S

Huminske kiseline, humusne materije i bitumije.

Kod ksilitičkih ugljeva (lignita) + celuloza, lignin i hemiceluloza

Sapropelni ugljevi imaju dva puta više vodonika - oko 10 %.

S – osim organskog i neorganski (piritski i sulfatni).

U pepelu ugljeva:

Si, Al, Ti, Ca, Mg, S, Na, K, P

Mikroelementi:

Be, V, U, Ni, Mo, Fe, Zn, Pb

ULJNI ŠEJLOVI

Ugljovodonici kerogena i bitumena
(alicyklični, alifatični i aromatični), **masne**
kiseline (tip I, II), **humusne kiseline** (tip III)

Empirijska formula kerogena (Smith, 1961):



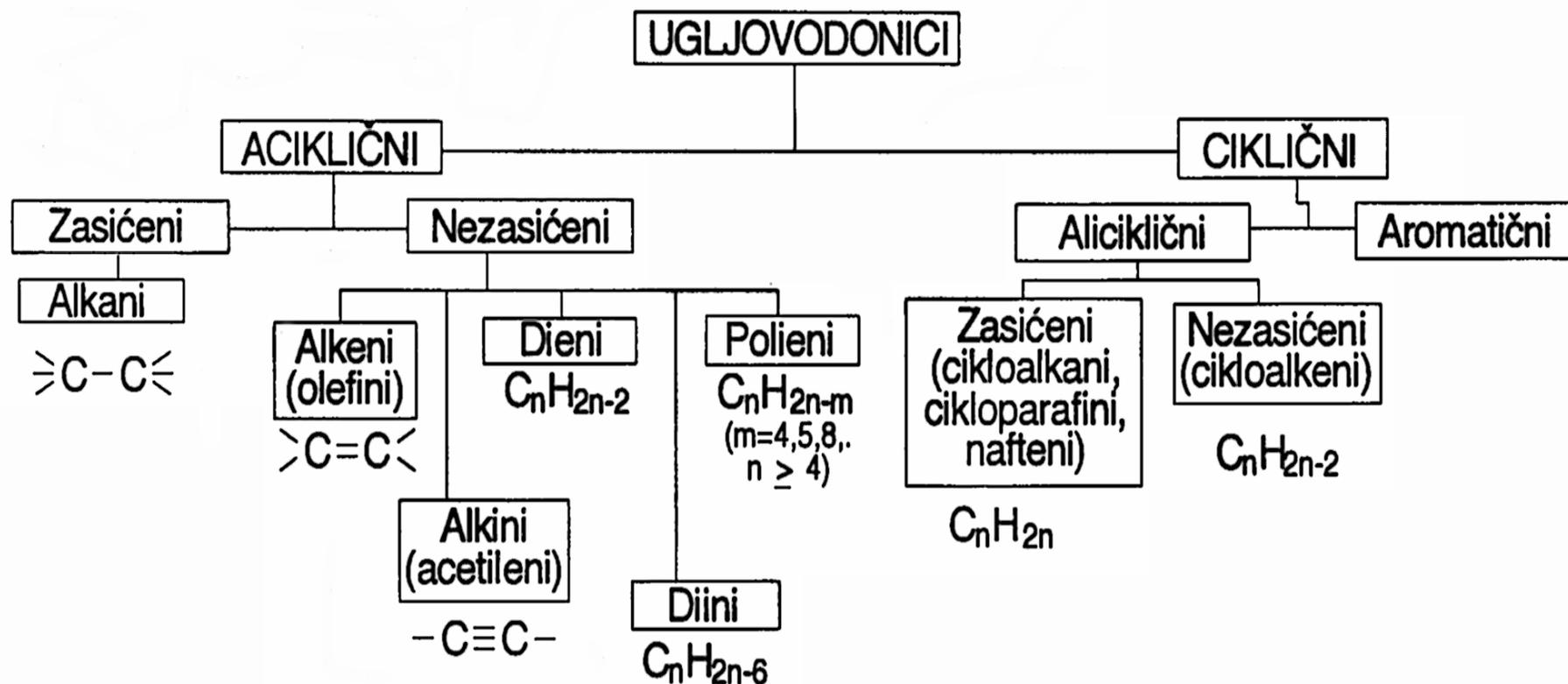
Si, Al, Ca, Mg

mikroelementi: Se, Ge, V, B, Ni, Co, Li, Be, Cd, As, U, Th i dr.

KOMPONENTALNI SASTAV NAFTE

- **UGLJOVODONICI**
- **HETEROKOMPONENTE**
- **MINERALNA MATERIJA**
- **VEZANA VODA**

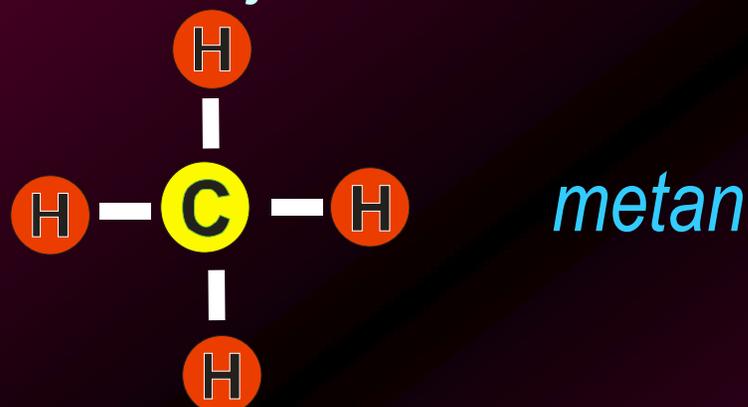
UGLJOVODONICI



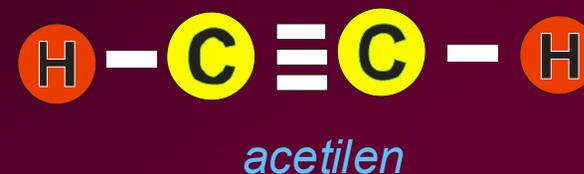
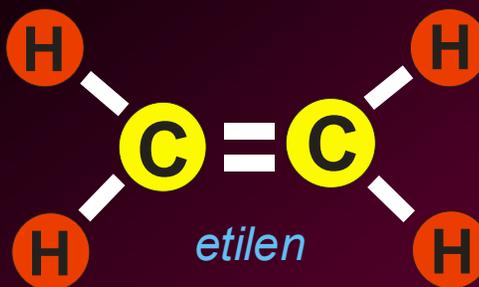
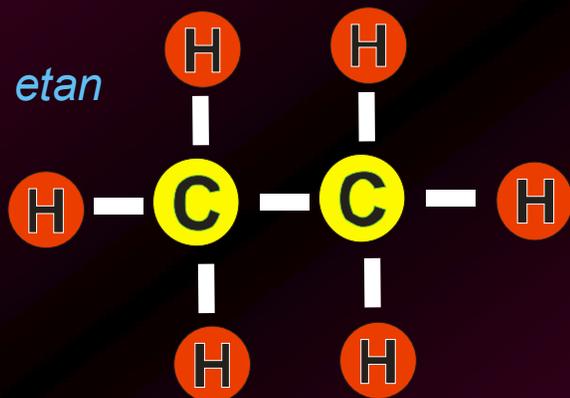
Najprostija organska jedinjenja: **C**⁽⁴⁺⁾ i **H**⁽⁻⁾

Načini povezivanja atoma C i H

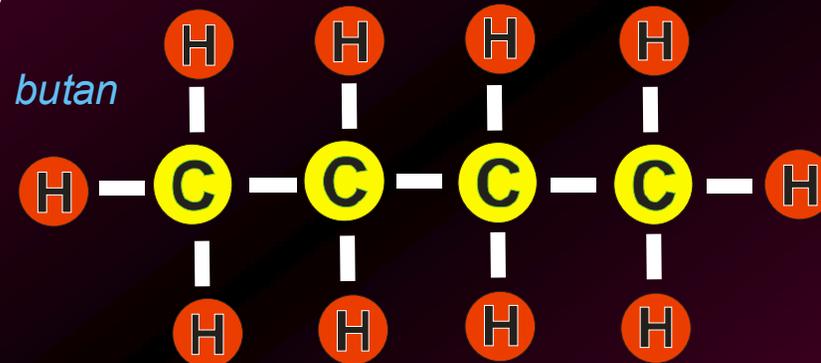
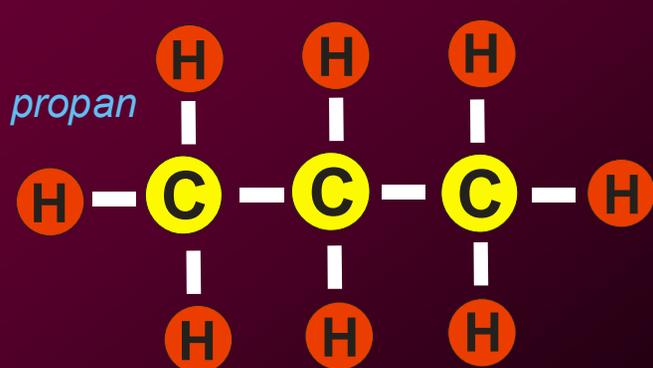
1. Atom ugljenika se vezuje za 4 atoma vodonika:



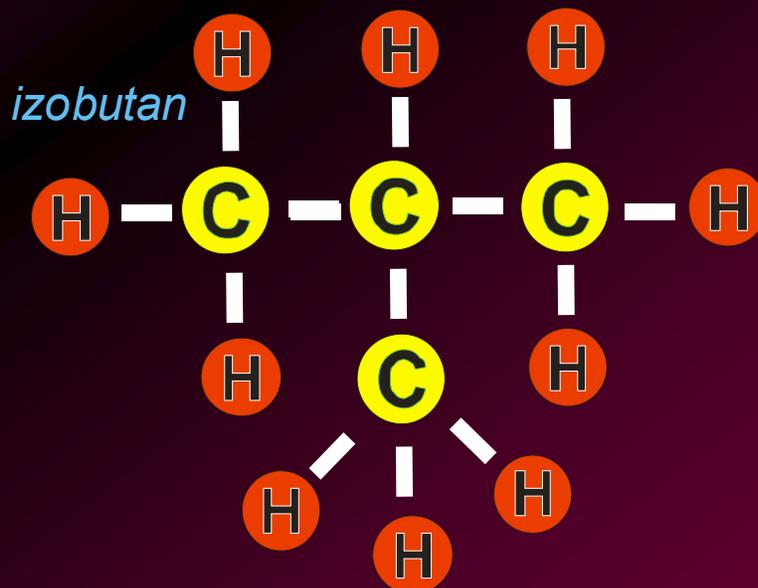
2. Dva atoma ugljenika su međusobno povezana: a) prostom, b) dvoqubom ili c) trogubom vezom:



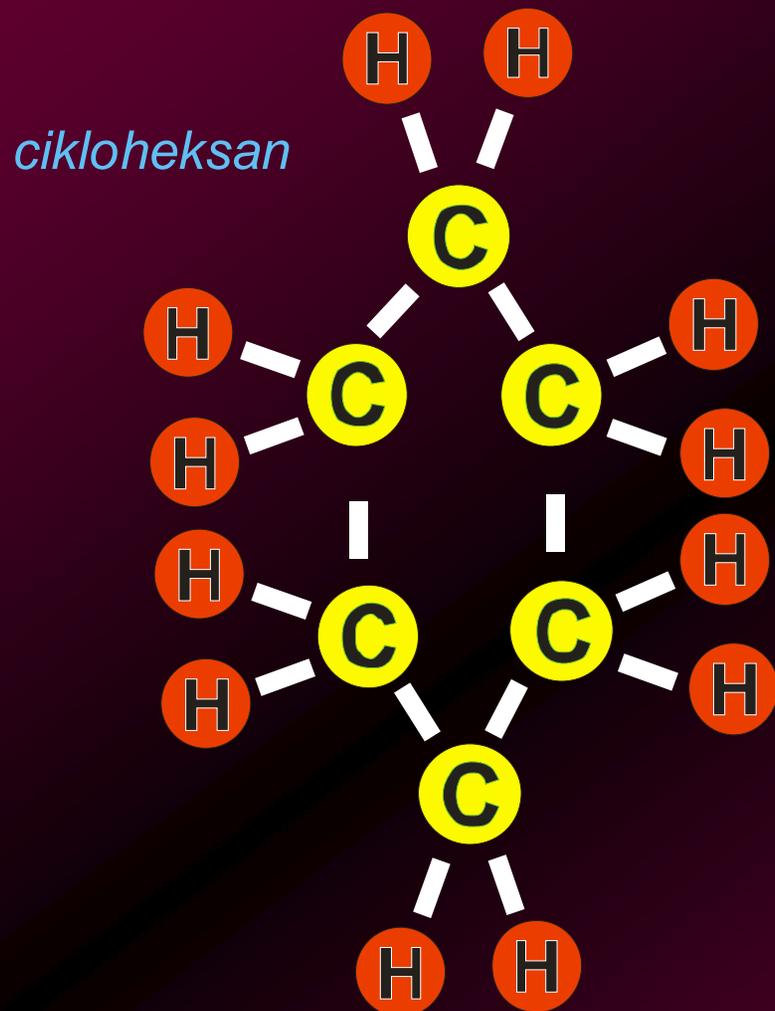
3. Atomi ugljenika se međusobno vezuju u otvorene lančane nizove, bez grananja:



4. Atomi ugljenika se međusobno vezuju u račvaste nizove, sa grananjem (izomeri):



5. Atomi ugljenika se međusobno vezuju u zatvoren prstenast niz (ciklični), a svaki od njih sa po 2 atoma vodonika:



Ciklični ugljovodonici:

Zasićeni-cikloalkani (**nafteni**)



Nezasićeni – cikloalkeni

(**aromati**) C_nH_{2n-6}

Aciklični ugljovodonici (alifatični):

- **ALKANI** (parafini) C_nH_{2n+2}
zasićeni (jednogube veze), *vrlo zastupljeni u nafti*
- **ALKENI** (olefini) C_nH_{2n}
nezasićeni (jedna ili više dvogubih veza)
- **ALKINI** (acetileni) C_nH_{2n-2}
nezasićeni (jedna ili više trogubih veza); *retki u nafti*

Glavni tipovi UV u sirovim naftama:

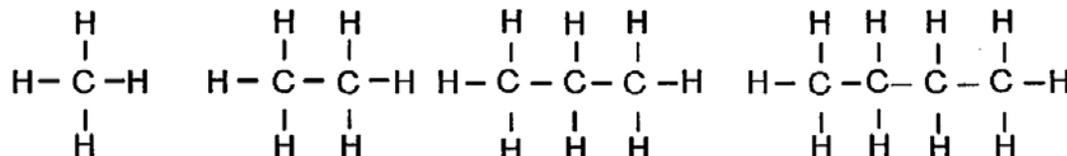
n-alkani

izo-alkani

nafteni

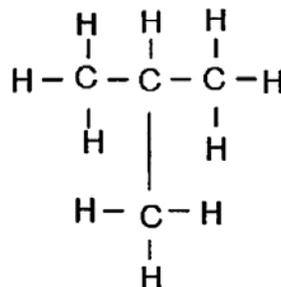
aromati

A.



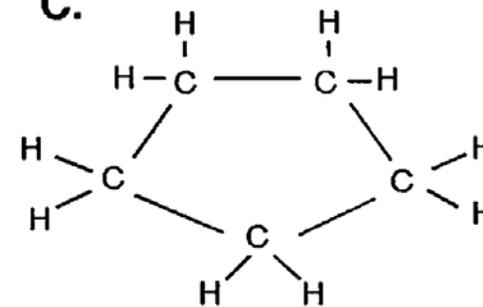
METAN (CH₄) ETAN (C₂H₆) PROPAN (C₃H₈) BUTAN (C₄H₁₀)

B.



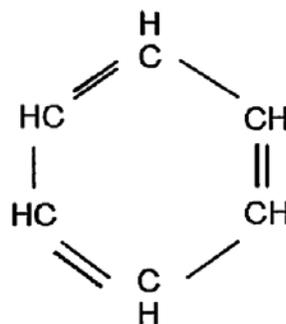
IZOBUTAN (C₄H₁₀)

C.

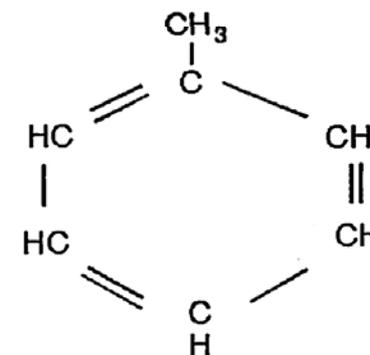


CIKLOPENTAN (C₅H₁₀)

D.



BENZEN (C₆H₆)



TOLUEN (C₇H₈)



KLASIFIKACIJA NAFTI:

1. **PARAFINSKE** (preko 75 % alkana). *USA, Pers. Zaliv, naša ležišta*
2. **NAFTENSKE** (većinom - do 70 % naftena). *USA, Mexico, Venecuela, Afrika, VELEBIT, KELEBIJA*
3. **PARAFINSKO-NAFTENSKE** (60-70 % alkana i preko 20 % naftena). *Kontinentalna SAD, Pers. zaliv*
4. **PARAFINSKO-NAFTENSKO-AROMATSKE** *Kavkaz*
5. **NAFTENSKO-AROMATSKE** (preko 35 % naftena i oko 35 aromata). *Kalifornija, Texas, Burma*
6. **ASFALTNE** (teške nafte sa preko 60% smola i asfaltena). *Trinidad*
7. **NAFTENSKO-AROMATSKO-ASFALTNE**. *Kalifornija, Texas*

KOMPONENTALNI SASTAV GASA

- Ugljovodonični gasovi (C_1 - C_4)
- Kondenzati (C_5+)
- Ostali gasovi (CO_2 , H_2S , N_2 , He)

- Metan – i do 98 %
- Etan 3 - 6 %
- Propan 1 - 3 %
- Butan 0,6 – 2 %
- teži UV (kondenzati)
- **Azot** – posebno u Pz (30 x više nego u Tc), obično više tamo gde ima i He
- **CO₂** – posebno u Tc. Opasan (bez mirisa) i štetan jer dovodi do korozije i snižava toplotnu vrednost
- **H₂S** – posebno u karbonatima (i do 15 % , retko i 40 %). Otrovan i korozivan. Persijski zaliv.
- **He** – 1-2 % (retko i do 8 %; Sev. Amerika). Neorganskog porekla, raspadima radioaktivnih elemenata.

- Gas sa manje od 5 % etana i težih homologa – “suvi” gas (*dry gas*)
- Gas sa preko 5 % etana i težih homologa – “vlažan” gas (*wet gas*)
- Gas bez $\text{CO}_2 / \text{H}_2\text{S}$ – “slatki” gas (*sweet gas*)
- Gas sa preko 2 % $\text{CO}_2 / \text{H}_2\text{S}$ - “kiseli” gas (*acid gas*). Gas sa povišenim sadržajem H_2S – *sour gas*.

TEHNIČKA ANALIZA UGLJEVA

Vlaga (W) 1 – 60 %

Pepeo (A) 5 – 50 %

Sumpor (S) ~ 1-5 %

Isparljive materije (V) 4 – 70 (90) %

Sagorljive materije (C)

Vezani ugljenik (C-fix)

Koksni (tvrđi) ostatak – bez pepela

VLAGA (W)

Zависи od sastava, teksture, drobljivosti, ranga i hidrogeoloških karakteristika ležišta

- Gruba vlaga - odstranjuje se provetravanjem pri standardnim uslovima
- Konstitucionalna (“vezana”) vlaga – u porama uglja – odstranjuje se na 105 °C
- Ukupna vlaga – zbir grube i konstitucionalne.

PARAMETRI KVALITETA ULJNIH ŠEJLOVA:

- Količina i tip OS (kerogena)
- Toplotna vrednost (5000-10000 kJ/kg) – kerogen oko 35000 kJ/kg
- Prinos ulja (od ispod 8% do preko 20 %) – min. 50 l/t rentabilno (varira od 30 do 220 l/t)
- Sadržaj sumpora (od ispod 2 do preko 5 %)
- Sadržaj vlage (od ispod 10 do preko 20 %)
- Mogućnost obogaćivanja (flotiranjem)
- Hemijski sastav pepela (karbonatni nepovoljan)

3. ORGANSKA SUPSTANCA U SEDIMENTIMA

Organska supstanca (OS) u litosferi se najvećim delom nalazi rasejana u sedimentima tj. u disperznom stanju. Pretežno se javlja kao amorfnu (u morskim sedimentima), a ređe ima očuvanu strukturu. U sedimentnim stenama najveći deo disperzne OS je nerastvoran u organskim rastvaračima (kerogen), dok je manji njen deo rastvoran (bitumen). Organskom supstancom su posebno bogati fino-zrni sedimenti – šejlovi¹ i krečnjaci.

¹Šejl: sediment sa preko 65 % zrna manjih od 5 mikrona (1/200 mm) - (Lewan, 1978)

GLAVNI *PREKURSORI* FOSILNIH GORIVA:

➤ **Fitoplankton**

➤ **Zooplankton**

➤ **Bakterije**

➤ **Alge**

➤ **Ostaci kopnenih biljaka**

KOLIČINA I TIP OS U SEDIMENTIMA ZAVISE OD:

- Evolutivnog razvitka organskog sveta i bioprodukcije
- Prinosa OS i njenog akumuliranja
- Karakera sredine sedimentacije
- Litološkog sastava sedimenata

Evolucija organskog sveta i bioprodukcija

Najveća količina biomase nastaje kao rezultat **fotosinteze**, tj. pretvaranja sunčeve energije u hemijsku. Ovaj proces se odvija uz prisustvo **vode**, **CO₂** i **hloroplasta** pri čemu se stvara OS (složeni polisaharidi) i oslobađa O₂.

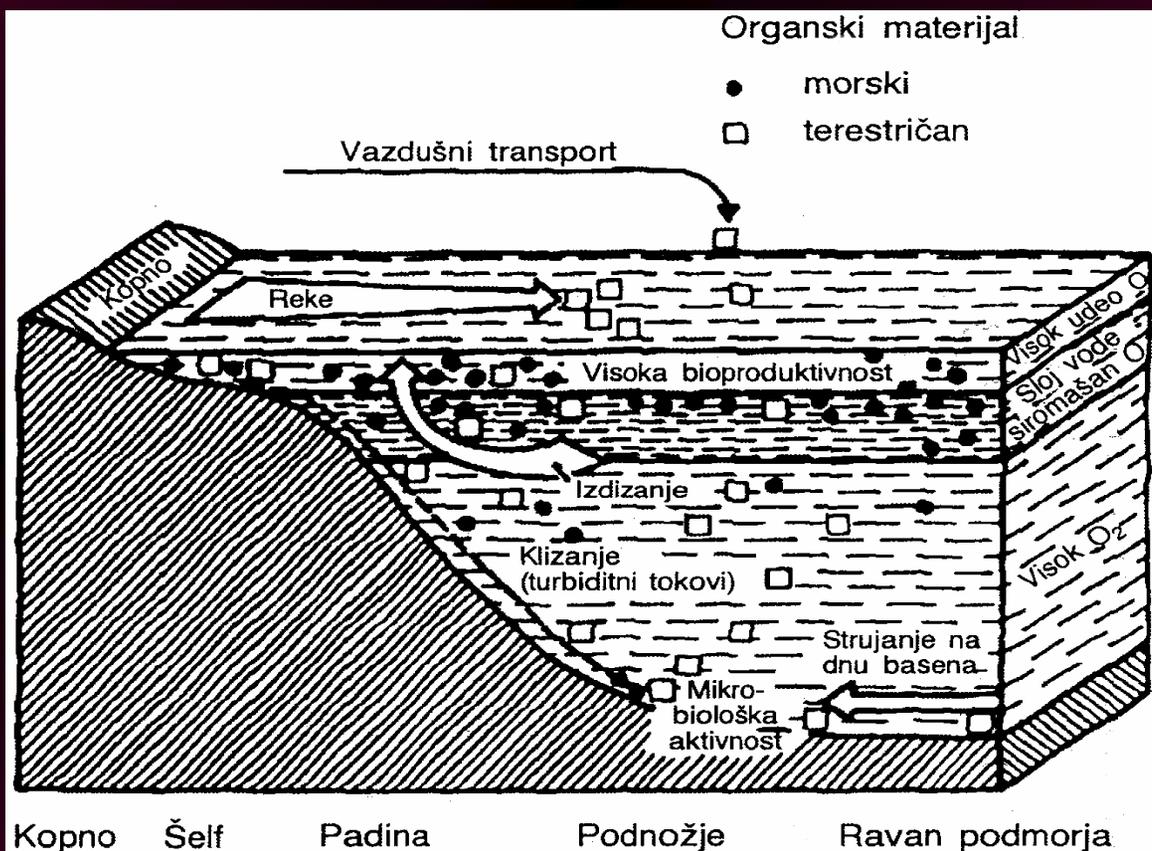
Posle izumiranja organizama, ugljenik iz njih se uz prisustvo O₂ ponovo transformiše u CO₂ (i vodu).

- Od prekambrijuma do devona (*do pre ~ 400 Ma*) najznačajniji prekursori: **fitoplankton** (modro-zelene alge i akritarhe) i **bakterije**
- Od devona (~ 400-350 Ma): **+ kopnene biljke**

Maksimalni razvitak fito- i zoo-planktona (usled klime i tektonike):
ordovicijum (500-425 Ma; + ribe), silur (425-405 Ma + O₂ – prvi kopneni org.), devon-karbon (345-280 Ma + više kopn. biljke), jura (190-140 Ma + dinosaurusi, ptice), kreda (140-65 Ma + cvetnice, insekti), neogen (~ 24 Ma). **Više fitoplankt. = više zoopl. i bakterija!**

Na primarnu bioprodukciju (gr /m²/ god) vodenih organizama utiču intenzitet sunčeve svetlosti, temperatura i pokretljivost vode, količina CO₂ kao i hemijski sastav vode. Posebno je značajno prisustvo nitrata i fosfata koji su nutrijenti od velikog značaja za razvitak organskog sveta.

U morima i okeanima, najintenzivnija bioprodukcija ("cvetanje fitoplanktona") je u gornjem sloju vodenog stuba (prvih 60-80 m) u tzv. eufotičnoj zoni.



Model bioprodukcije i sedimentacije organskog materijala u basenu na kontinentalnom obodu (Rullkötter, 1985).

Prinos OS i njeno akumuliranje - faktori

1. **Geološki**: tip basena, njegova geološka gradja i tektonski sklop, reljef i morfologija basena, paleogeografski i paleoklimatski uslovi, paleookeanografske prilike i razvoj organskog sveta.

2. **Mehanički**: brzina rečnih tokova, brzina i snaga vetra, jačina morskih struja i energija talasa.

3. **Fizičko-hemijski**: salinitet, temperatura, pritisak, gustina, zasićenje CaCO_2 , koncentracija vodonikovih jona (pH) i oksido-redukcioni potencijal (Eh).

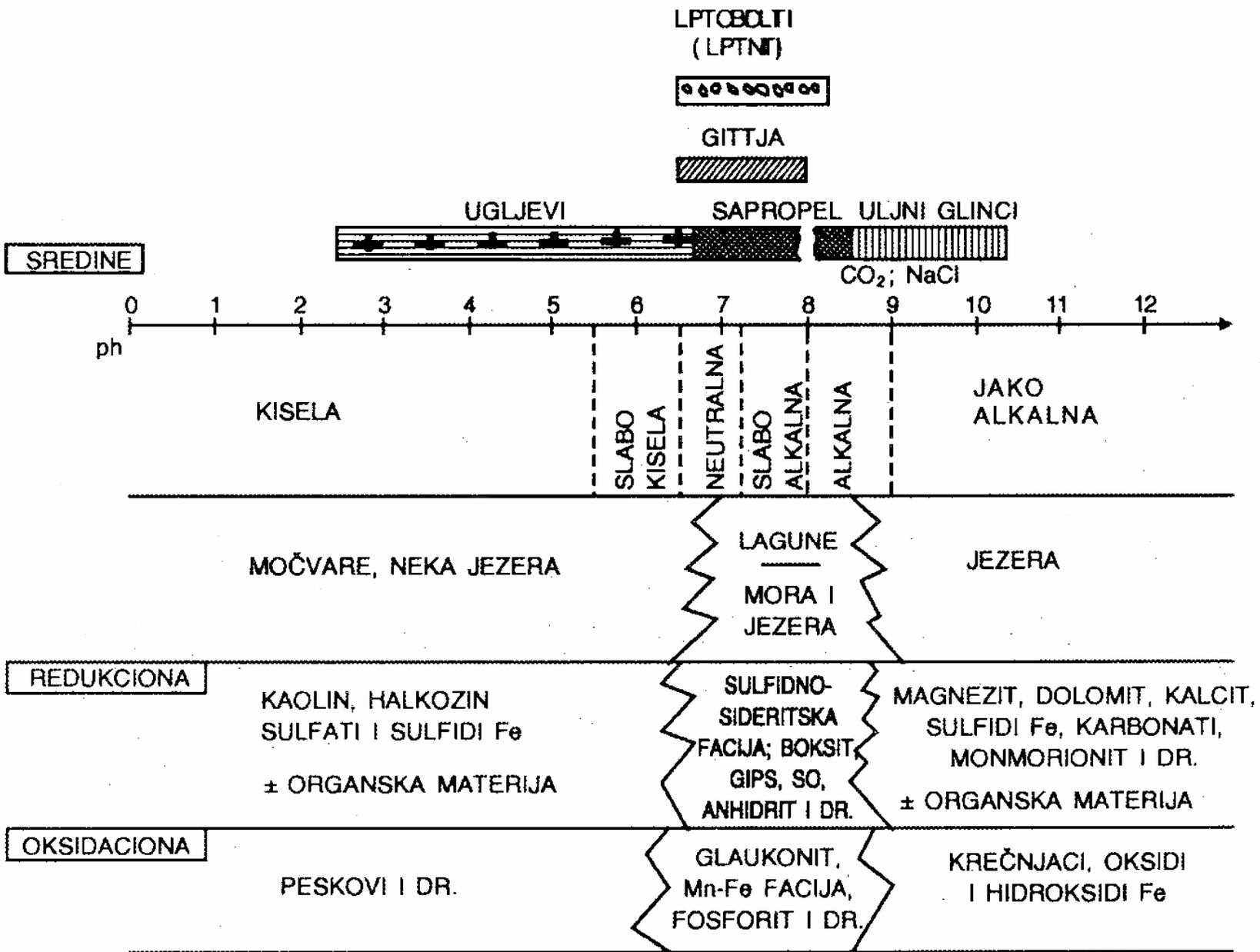
4. **Biološki**: stepen primarne bioprodukcije, mogućnost očuvanja OS i uslovi fosilizacije

Karakter sredine sedimentacije

- **Dubina, položaj i karakter sredine**
(sublitoral ~ 180-200 m; mirni delovi šelfa)
- **Brzina i tip sedimentacije, granulometrijski sastav**
(brzina, dominantan pravac, veličina zrna)
- **Salinitet**
- **Koncentracija vodonikovih jona (pH)**
- **Oksido-redukциони potencijal (Eh)**

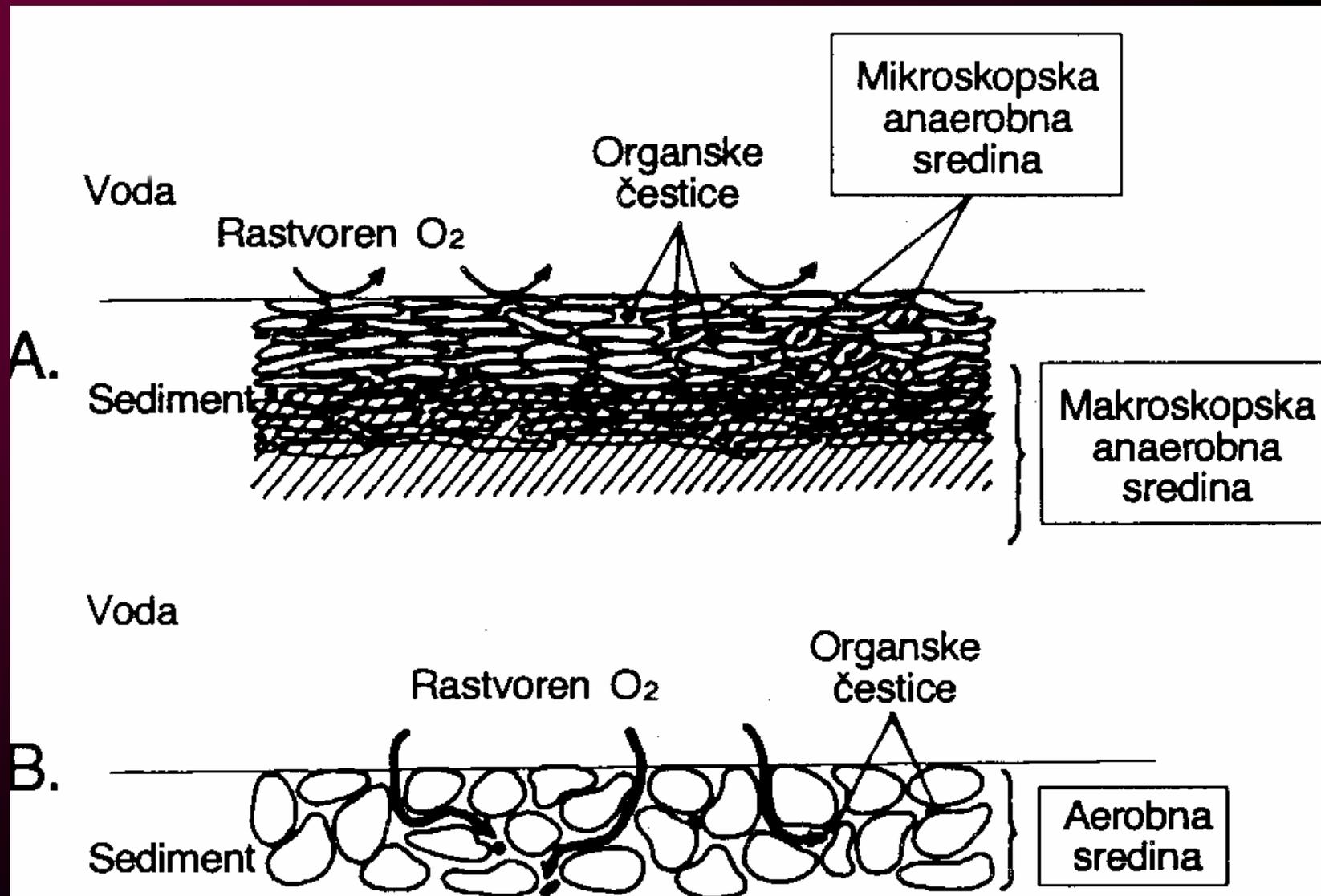
Sredine sedimentacije, tip OS i naftni i gasni potencijal.

PREDEO	NAČIN TRANSPORTA	TIP SREDINA SEDIMENTACIJE	USLOVI U SREDINI SEDIMENTACIJE	OČUVANOST I KOLIČINA ORGANSKE SUPSTANCE	DOMINANTNI TIP ORGANSKE SUPSTANCE	FOSILNA GORIVA POTENCIJAL	PRIMERI (KORELACIJE)
Kopno	Vertikalna sedimentacija	Močvarna	Niska energija vode; nizak O ₂ ; niska bakterijska aktivnost; malo singenetske mineralne supstance (MS)	Nije oksidisana, jako visok udeo	Drvenasti	Ugalj	Kolubara, Kosovo, Vlasina i dr.
	Vertikalna sedimentacija	Eutrofna jezera	Niska energija; sa O ₂ ; umerena bakterijska aktivnost; nizak - srednji udeo MS	Nije oksidisana, visok udeo	Drvenasti i algalni		Tip planinskih jezera
	Fluvijalni	Obalska/deltna	Visoka energija; sa puno O ₂ ; visoka bakterijska aktivnost	Jako oksidisana, nizak udeo	Drvenasti	Gas (? nafta)	Gulf Coast
Jezero	Vertikalna sedimentacija	Jezero	Niska energija, nizak O ₂ ; visoka bakterijska aktivnost; srednji udeo MS	Nije oksidisana, visok - jako visok udeo	Algalni	Nafta	Aleksinac, Probištip, Green River
Epikontinentalno more, Morska/brakična	Vertikalna sedimentacija	Duboki zalivi ili mirne vode	Relativno plitka; niska energija; stratifikacija vode; sa malo O ₂ ; niska anaerobna bakterijska aktivnost, nizak udeo MS	Nije oksidisana, visok udeo	Algalni i drvanasti	Nafta	Crno more
More	Horizontalna sedimentacija (obalske struje)	Obalske močvare	Visoka energija; sa puno O ₂ ; visoka aerobna bakterijska aktivnost; visok udeo singenetske MS	Pretaložena org. supstanca, nizak - srednji udeo	Algalni	Nafta (količina zavisi od debljine stene)	Gulf Coast
More	Vertikalna sedimentacija	Kontinentalni šelf	Dubina vode 200-1500 m; sa malo O ₂ ; niska bakterijska aktivnost; hemijsko taloženje minerala	Nije oksidisana, visok udeo	Algalni	Nafta	Phosphoria formacija, Pacifički okean, Zapadni Peru
More	Vertikalna sedimentacija	Otvoren abisal - okean	Niska energija; sa puno O ₂ ; visoka aerobna bakterijska aktivnost	Jako oksidisana, nizak udeo	Algalni	-	DSDP LEG. 58 Severno, Filipinsko more



Geneza organske supstance i minerala u različitim sredinama zavisno od vrednosti pH.

Litološki sastav sedimenata



Očuvanje ili destrukcija organske supstance

PROCESI PREOBRAŽAJA OS

OS prolazi kroz različite faze mikrobiološkog razlaganja (degradacija i kondenzacija biopolimera), povezivanja sa neorganskom (mineralnom) materijom, kao i kroz različit stepen termičkih promena (dijageneza, katageneza, metamorfizam).

Elementarni sastav lipida, ugljenih hidrata, proteina i lignina (Kamneva, 1974).

BIOPOLIMERI:	S a d r Ź a j , %				
	C	H	O	N	S
Masti	76–79	11–13	10–12	–	–
Voskovi	80–82	13–14	4–6	–	–
Smole	75–85	9–12	5–14	–	0,5
Celuloza	44,4	6,2	49,4	–	–
Lignin	60–63	6–6,4	30–35	–	–
Proteini	53–55	6–7	20–30	15–17	0,3–2,4

MIKROBIOLOŠKO RAZLAGANJE

pod dejstvom anaerobnih bakterija:

Fermentacija: *anaerobne bakterije za svoj metabolizam koriste O_2 iz biopolimera. Oslobadja se CO_2 i stvaraju različita organska jedinjenja (masne kiseline, alkoholi, aldehidi, ketoni i dr.).*

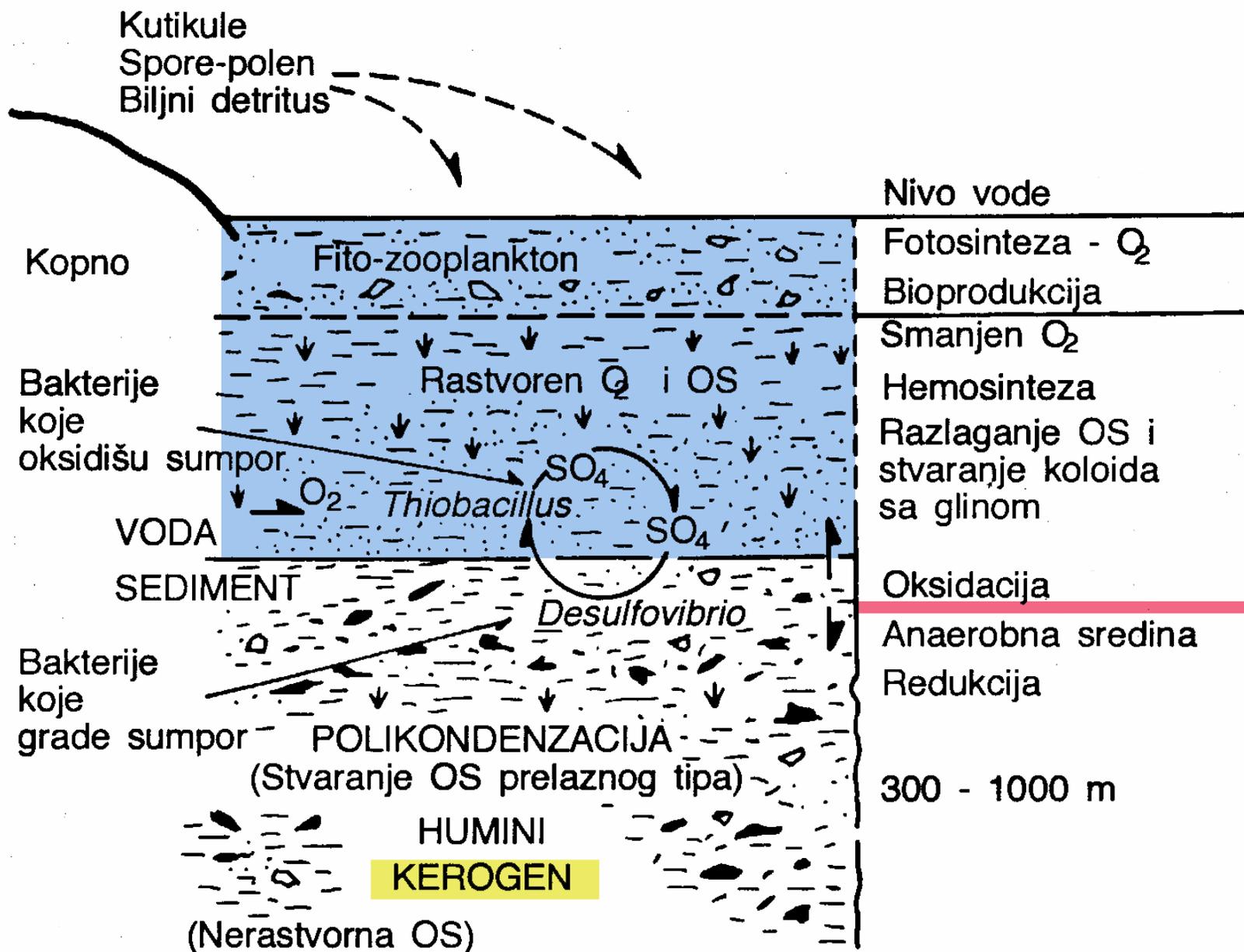
Sapropelizacija: *u mirnim delovima basena, anaerobne bakterije razlažu i strukturu OS (prvenstveno lipide iz algi, ali i iz samih bakterija) pa nastaje gelozna amorfna organska supstanca.*

Shema preobražaja OS :

Pod dejstvom mikroorganizama, u dijagenezi (do oko 30°C) se biopolimeri (*proteini, lipidi, ugljeni hidrati, lignin, kutin, smole*) razlažu *hidrolizom* (prisustvo O₂) i *fermentacijom* (bez O₂) na proste biomonomere: šećeri, *aminokiseline*, fenoli, alkoholi, masne kiseline, hidrolizovani lignin i dr.

U dubljim delovima basena (do oko 800 m), očuvani biomonomeri se dalje razlažu i *polikondenzacijom* grade nove azotne i humusne komplekse visoke molekulske mase koji su označeni kao geopolimeri (humin i kerogen). To su složeni azotni i humusni kompleksi.

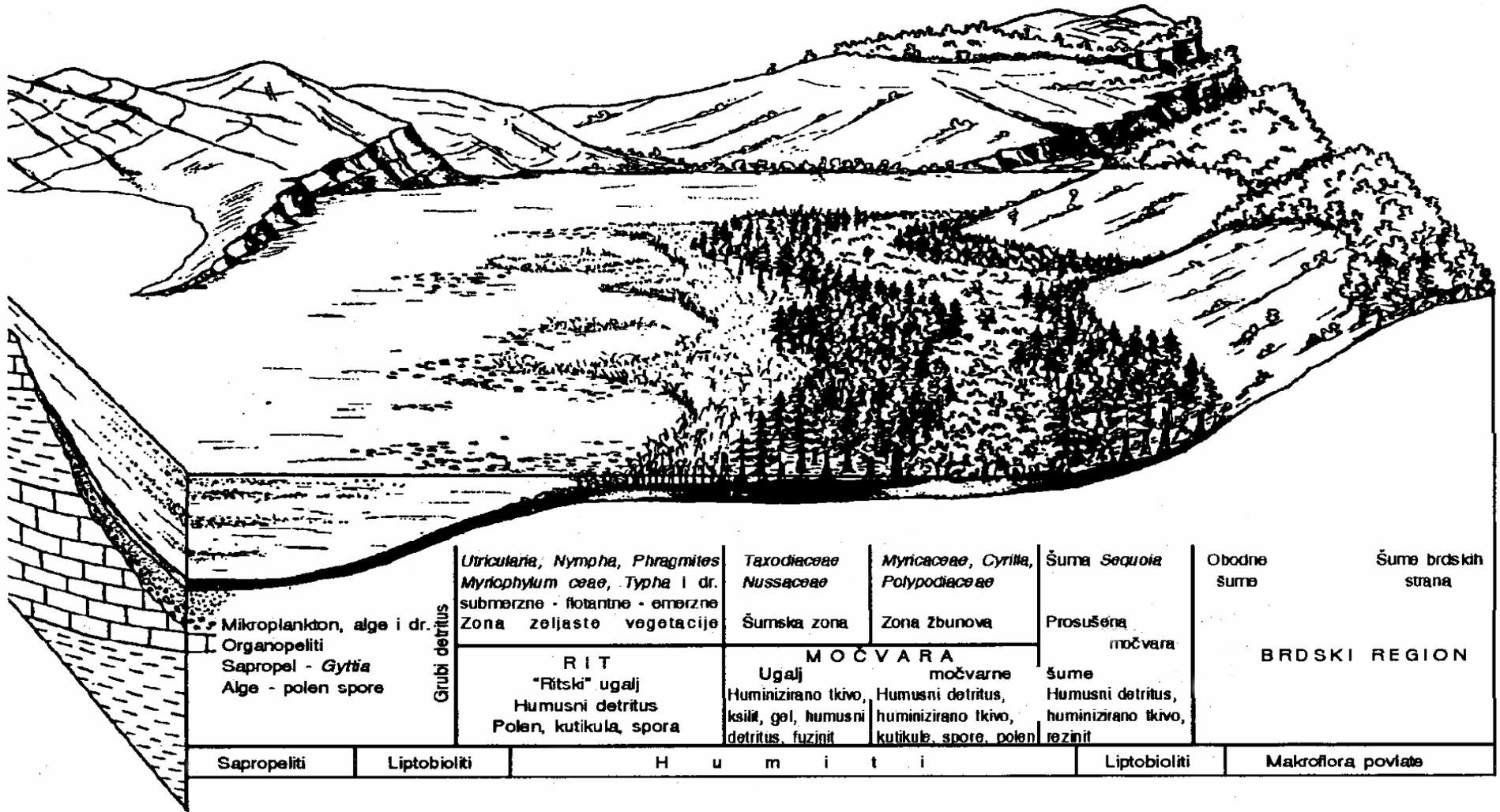
Na još većim dubinama (temperaturama) - u katagenezi, dolazi do termičke transformacije geopolimera u geomonomere, odnosno kerogena u naftne i kasnije gasne ugljovodonike.



Shematski prikaz produkcije, akumulacije i transformacije organske supstance u vodenoj sredini i sedimentima.

*Povoljne depozicione sredine za nastanak
fosilnih goriva*

Kopnena sredina sedimentacije (močvare; jezera: izražena stratifikacija vode, vertikalna sedimentacija, malo O₂) – ugljevi (močvare) - uljni šejlovi, nafta i gas (jezera).

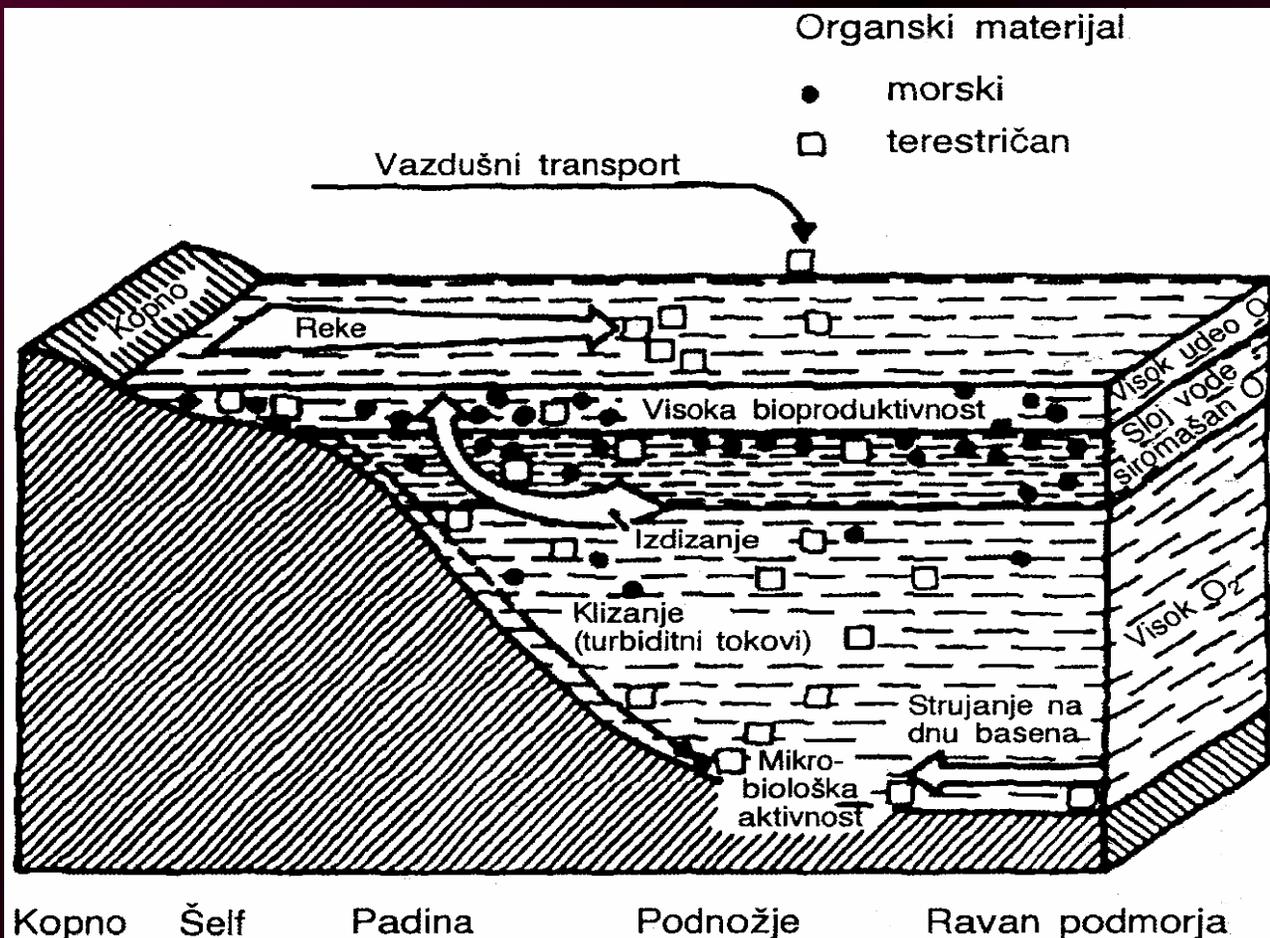


Močvarne facije i geneza humusnih i sapropelnih ugljeva i uljnih glinaca

Morska sredina sedimentacije

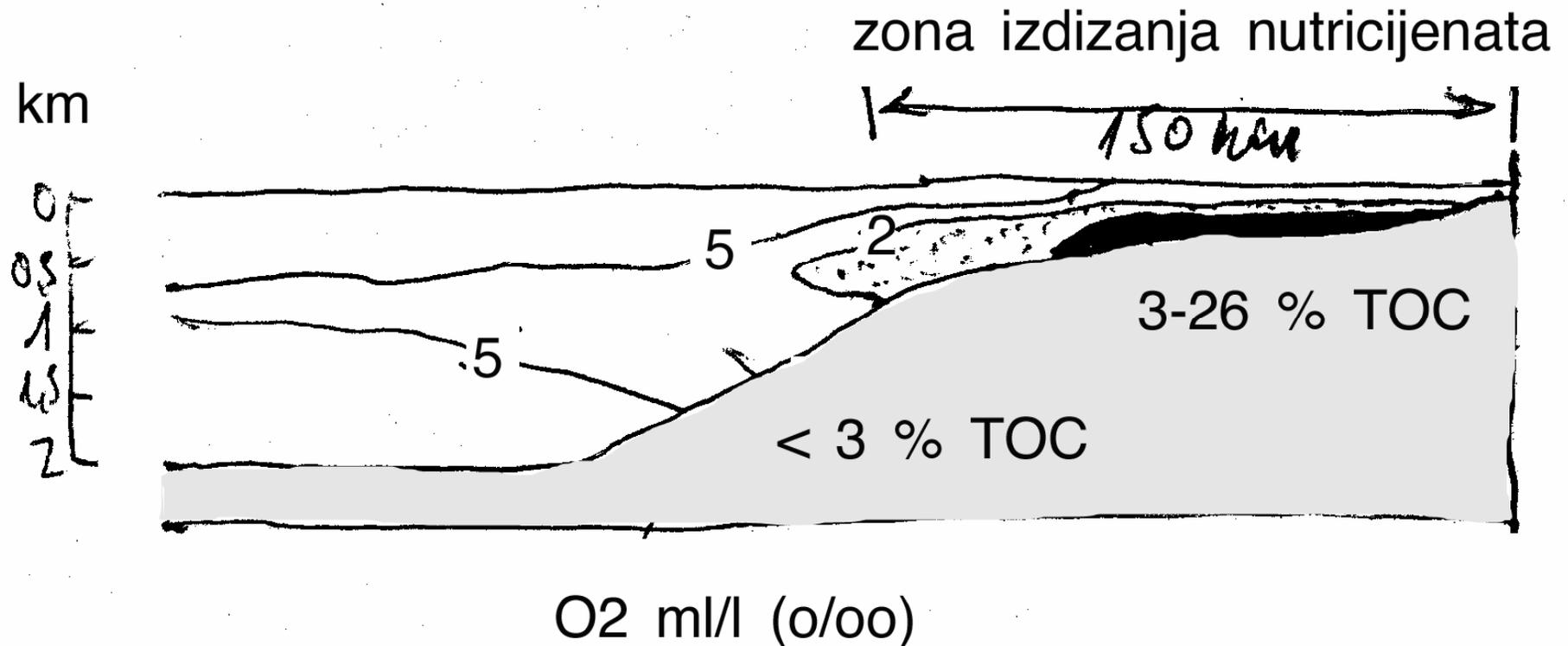
Okeani: *litoral* – pl.-oseka, *sublitoral* – do 180-200 m, *batijal* – do 1800 m i *abisal*.

1. Kontinentalni prag i odsek: mirni delovi na šelfovima (lagune, estuari, lokalne depresije) i padine (odseci) – nafta, gas, uljni šejlovi (morski).
2. Obalske močvare (paralski ugljevi).



Model bioprodukcije i sedimentacije organskog materijala u basenu na kontinentalnom obodu (Rullkötter, 1985).

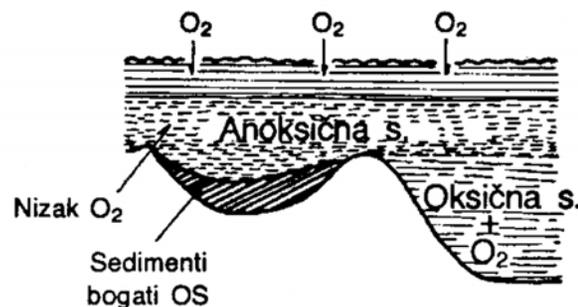
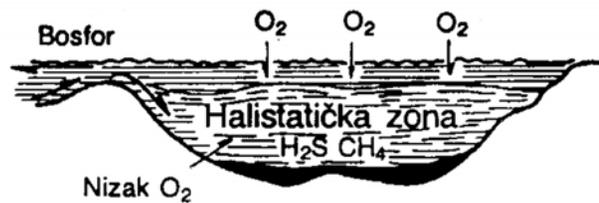
Sadržaj kiseonika u okeanima (ml/l)



Stvaranje OML je uzrokovano značajnijim trošenjem kiseonika zbog bakterijskog razlaganja uginulog planktona, izdizanja nutricijenata (hladna masa bogata N i P) ka površini, cvetanja planktona na površini i trošenja O₂ i ispod te zone. Sadržaj O₂ u njemu je **manji od 0,5 ml/l** što pogoduje stvaranju povoljnih uslova za taloženje matičnih stena za naftu i gas.

2. Sredine sa stajaćom vodom (zatvorena mora / velika jezera) – uljni šejlovi, nafta, gas

3. Izolovani i poluizolovani morski baseni - nafta, gas



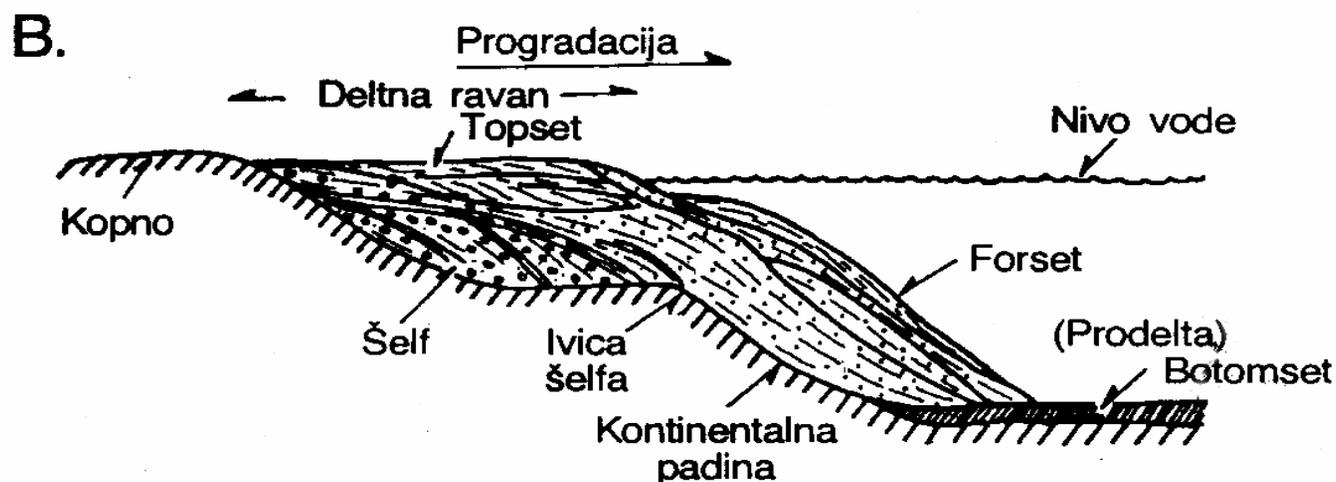
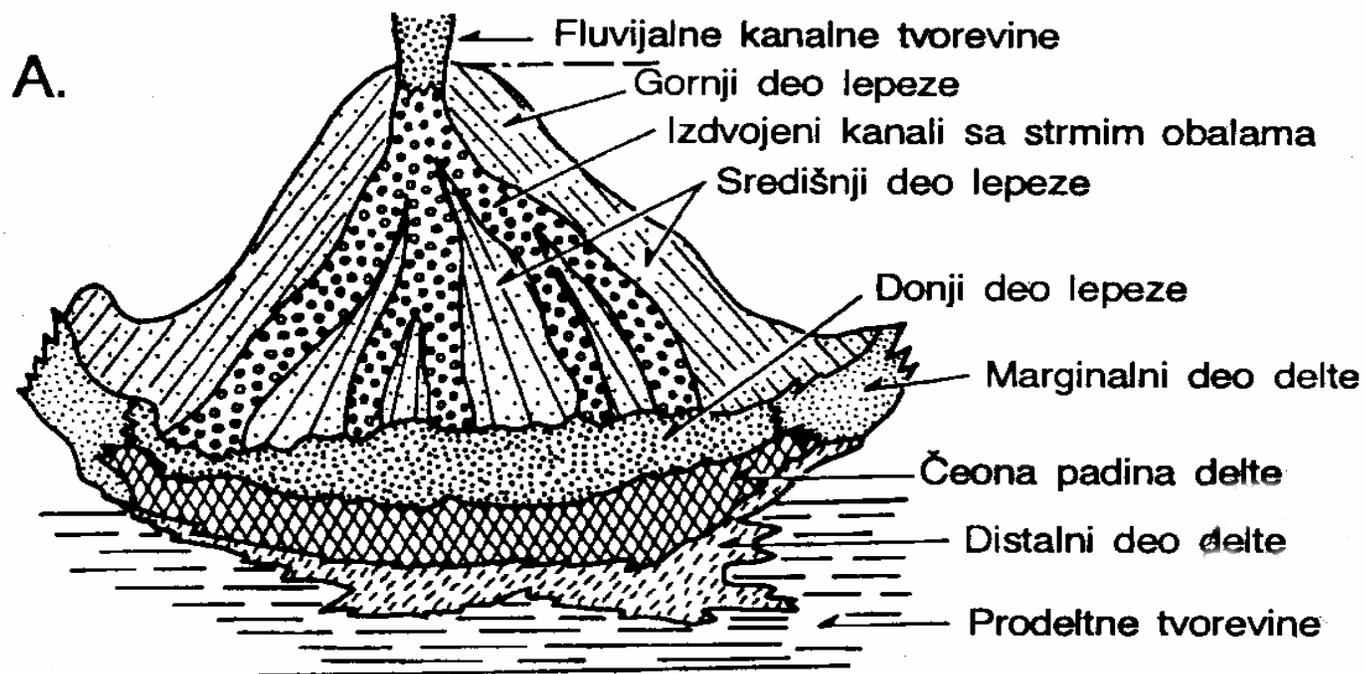
Model basena sa stajaćom vodom i stratifikacijom po gustini (mora / velika jezera) – (*Green River*)

Model jako stratifikovanog basena sa halistatičkom zonom i stalnim anoksičnim uslovima (*Crno more*, 20 g soli / l)

Anoksične sredine u izolovanim depresijama (Santa Barbara, Kalifornija)

Prelazna sredina sedimentacije – delte (ugljevi, nafta, gas). *Botomset – MS.*

Shematski prikaz građe deltnog sistema A. odozgo i B. u profilu



4.

OSNOVI GEOLOGIJE ULJNIH ŠEJLOVA

Hutton, 1991

Klasifikacija uljnih šejlova:

Glavni macerali: Telalginit
Lamalginit
Bituminit

TERESTRIČNI

Kenel ugalj

Kenel ugalj: smeđi do crni uljni šejl, izgrađen od rezina, spora, voskova, kutikula... V, I.

OS bogata lipidima iz viših kopnenih biljaka

JEZERSKI

Lamozit

Torbanit

Lamozit: svetlo i sivo- smeđ do crn. sa dominacijom lamalginita. V, I, telalginit, bitumen.

Torbanit: crn, sa dominacijom telalginita (*Botryococcus* i sl.). Mala bogata ležišta. V, I.

OS bogata lipidima algi iz slatkovodnih, brakičnih ili slanih jezera

MORSKI

Kukerzit

Tasmanit

Marinit

Kukerzit: svetlo smeđ, sa telalginitom od algi *Gloeocapsomorpha prisca*.

Tasmanit: smeđ do crn, sa telalginitom od jednoćelijskih tasmanitskih algi, nešto lamalginita, V, I.

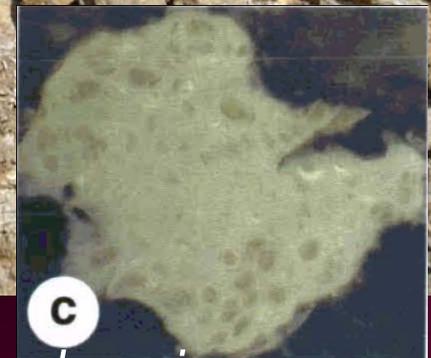
Marinit: siv do crn sa lamalginitom i bituminitom od morskog fitoplanktona. Telalginit, V, bitumen.

OS bogata lipidima morskih algi, akritarhi i dinoflagelata.



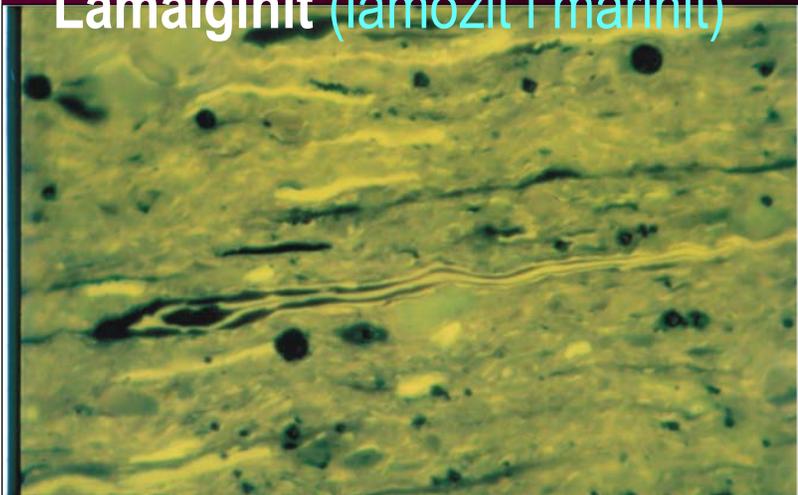
Kenel Ohaja (karbon)

Kukerzit
Estonije

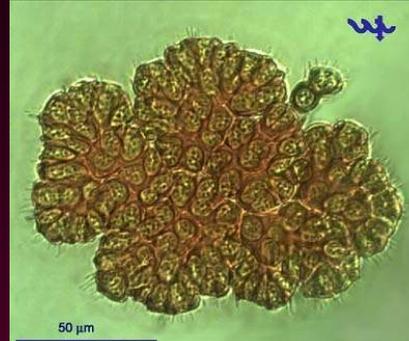
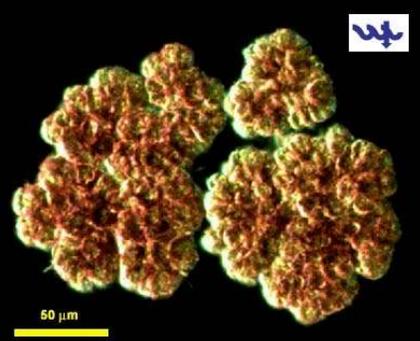


Gloeocapsomorpha prisca

Lamalginit (lamožit i marinit)



Botryococcus

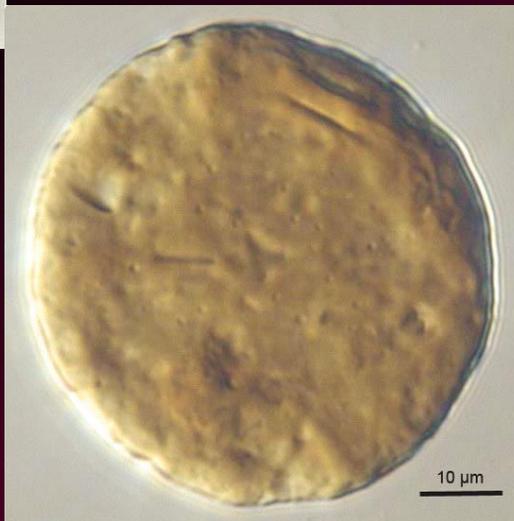
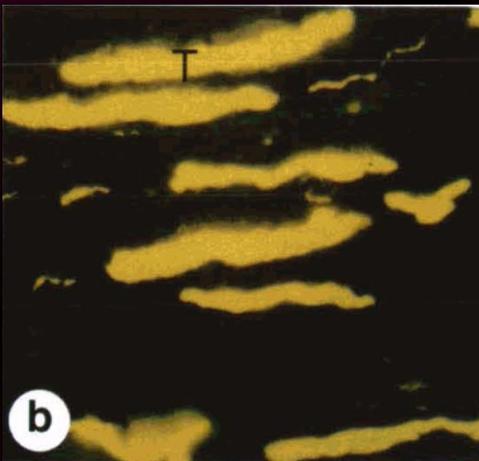


(torbanit)

Tasmanit



Tasmanitske alge



MORFOLOŠKI TIPOVI ULJNIH ŠEJLOVA

Karakteristični načini pojavljanja uljnih šejlova, tj. njihovi morfološki tipovi su:

- slojeviti
- sočivasti
- sinklinalni
- kalderni

SLOJEVITI TIP

Skoro horizontalni slojevi (ili prvobitno horizontalni), značajnog rasprostranjenja, ujednačene debljine ili grupa slojeva sa proslojcima jalovine.

Veoma je rasprostranjen tip, a nastaje u plitkim depresijama - u mirnoj depozicionoj sredini. Mogu biti naknadno tektonski izmenjeni.

Tipični primeri su formacija **Iрати** uljnih šejlova (perm, Brazil) kao i mnoga ležišta ordovicijumskih uljnih šejlova **Pribaltika** (Estonije, Litvanije, Latvije i Rusije-oko Petrovgrada).

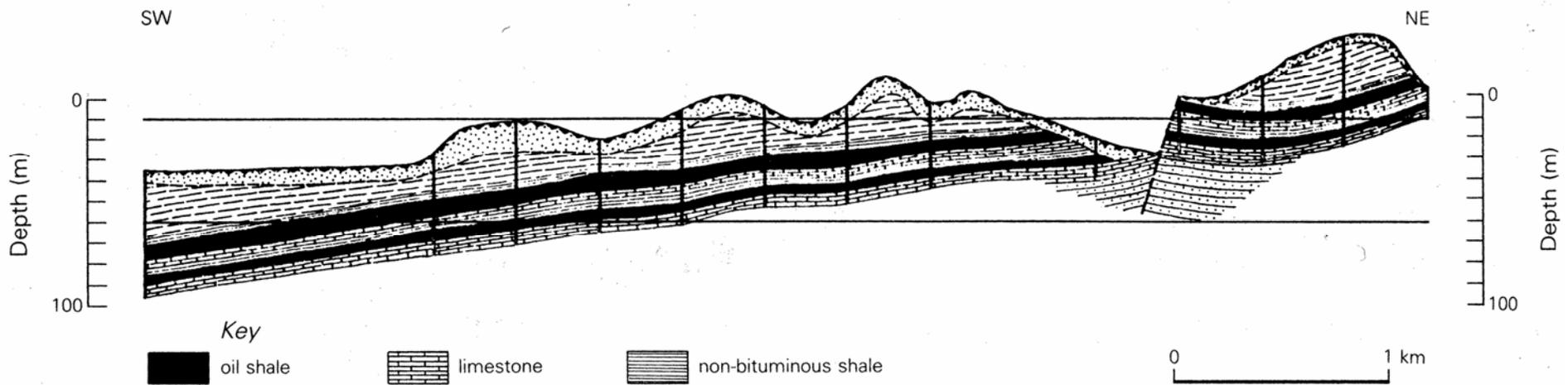
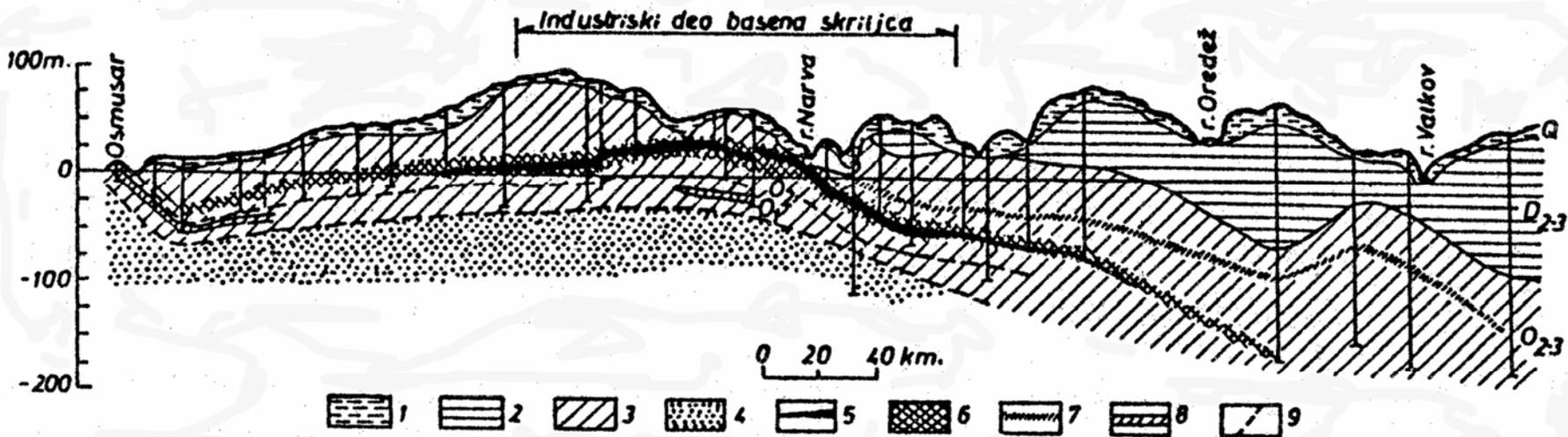


Figure 10.9 Cross section through the formations containing the Irati oil shale in São Mateus do Sul district, southernmost Brazil. (From V. T. Padula, *AAPG Bull.*, 1969.)



Geološki profil kroz Pribaltički basen kukerzita (po Baukovu i Kotlukovu iz Zelenina i Ozerova, 1983)

Legenda: 1. kvartar, 2. gornji i srednj devon, 3. gornji i srednji ordovicijum, 4. kambrijum, 5. eksploatacioni sloj kukerzita, 6. i 7. horizonti kukerzita srednjeg ordovicijuma, 8. dikcionemski škriljci donjeg ordovicijuma i 9. rasedi.

SOČIVASTI TIP

Karakterističan je za delte, deltne lagune, jezera i depresije sa promenjivim režimom akumulacije DOS i mineralne supstance.

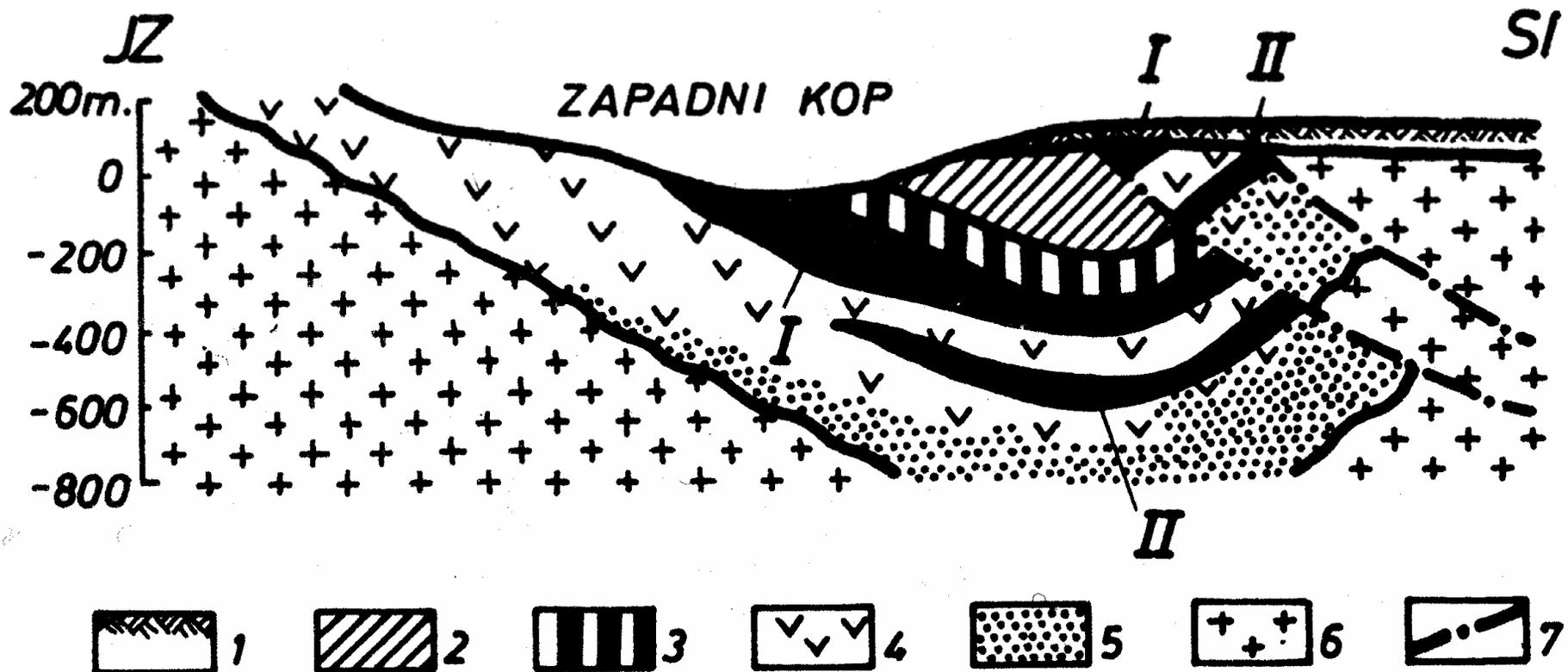
Veličine sočiva variraju, kako po rasprostranjenju tako i po debljini. Velika raslojenost i složena građa. Izražena heterogenost sastava, kvaliteta i debljine.

SINKLINALNI TIP

Znatno je ređi tip. Slojevi imaju sinklinalni oblik koji je uglavnom predisponiran paleoreljefom basena, tj. uglavnom nastao pre sedimentacije i akumulacije OS (mada mogu biti i sinhronne tektonske strukture).

Padni ugao slojeva dostiže 10-40°, može biti više slojeva, a rasprostranjenje zavisi od veličine struktura.

Tipični primeri su eocensko ležište Fušun (Kina) i formacija «crnih šejlova» u Uzbekistanu (Dnjeparsko-Donski basen, gornji devon-karbon).



Slika 12. Geološki profil kroz ležište Fušun (Kina; po Baženovu iz Zelenina i Ozerova, 1983).

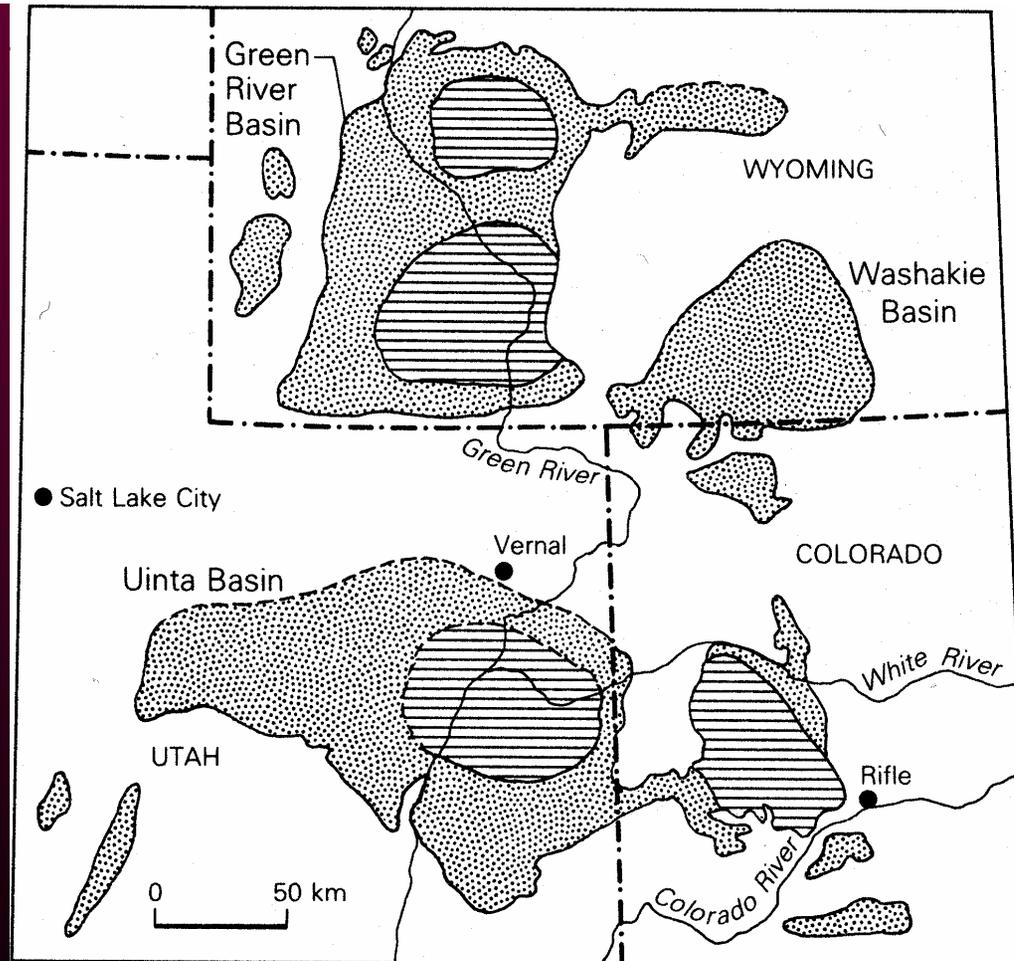
Legenda: 1. kvartar, 2. zeleni argiliti i laporci, 3. uljni škriljci - donji deo paleogene serije Fušun, 4. tufovi i bazalti, 5. kreda, 6. granit i gnjasevi i 7. rasedi; I i II gornji i donji sloj uglja.

KALDERNI TIP

Najčešće je vezan za više depresija (basena) različitih veličina koje su u međusobnoj vezi. Ovaj tip je posledica laganog spuštanja dna basena (ili izolacije usled izdizanja) i postepenog ispunjavanja morskim, jezerskim ili rečnim sedimentima.

Ležišta se karakterišu znatnom facijalnom raznovrsnošću jer se morski sedimenti mogu smenjivati sa jezerskim, a ovi sa rečnim.

Tipičan primer ovog tipa pojavljivanja je formacija Green River (4 izolovane depresije).



Key

-  unappraised or low-grade shale
-  shale yielding at least 1 m³ of oil per 10⁴ kg of shale

Figure 10.8 Basins containing the lacustrine, Eocene, Green River Formation in three states of the western USA. The east–west separation across the center of the map is caused by the Uinta Mountains, the north–south margin of the basins on the west by the Wasatch Mountains, both major Laramide uplifts. (From H. Wilson, *Oil Gas J.*, 29 June 1981; after Union Oil Co. of California.)

Značajnije FORMACIJE ULJNIH ŠEJLOVA:

Najstarija značajna ležišta su donjopaleozojska ležišta Evroazije i serverne Afrike i marinskog su porekla.

Većina post-devonskih ležišta je jezerskog porekla.

Istorijski, geološki i ekonomski, najznačajnija ležišta uljnih šejlova su u zapadnom **SAD**, Rusiji, Kongu, Brazilu, Estoniji, Škotskoj, i Kini.

Glinovito-karbonatne, karbonatno-silikatne i karbonatno-glinovite **kambrijumske** formacije Sibirske platforme (Olenski basen - oblast Jakutsk, Rusija).

- Sedimentacija na platformi u relativno dubljim zonama mora, u donjem i srednjem kambrijumu
 - P= 500.000 km²
 - Prognozne rezerve šejla 300×10^9 t
 - Prinos ulja 5-10 %
 - Veći broj slojeva uljnih šejlova promenljive debljine (najčešće 0,5 m)
 - TOC 15-25 %
 - Sapropelni tip kerogena dominantan
-
- Severna Azija, južna Švedska (*Kolm šejl*)

Ordovicijumska formacija dikcionemskih uljnih šejlova Pribaltičkog basena (SZ deo Ruske platforme, Estonija – u eksploataciji)

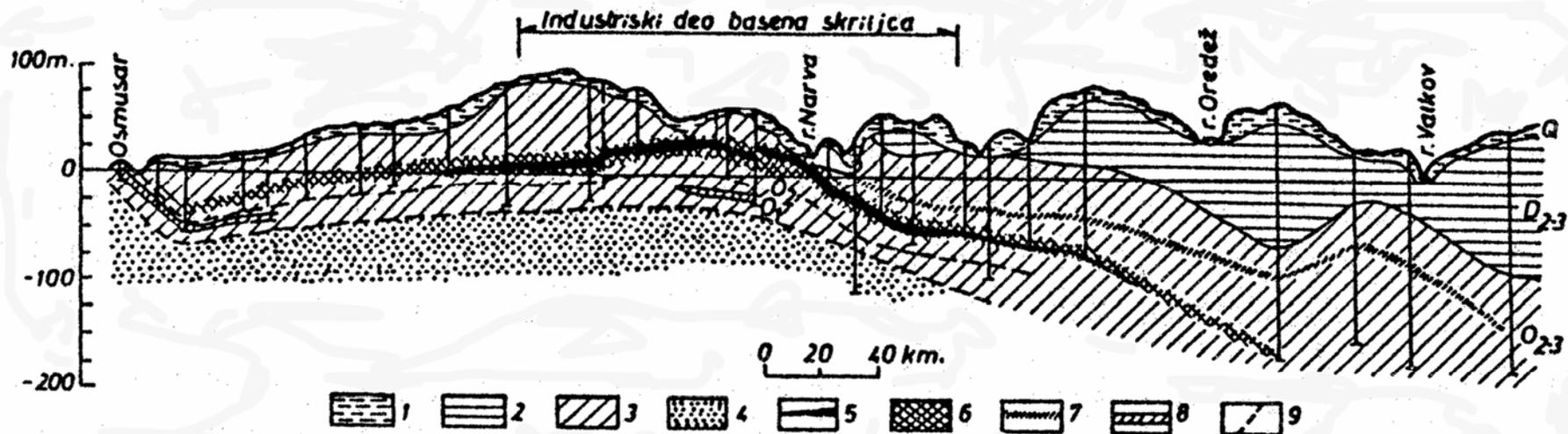
- Ležišta nastala u plitkim zalivima epikontinentnog mora u **donjem ordovicijumu** i sadrže ostatke dendroidskog graptolita – *Dictyonema* (graptolit verovatno planktonskog tipa)
- Prostiru se na oko 12.000 km²
- Prognozne rezerve šejla čak 600×10^9 t
- Prinos ulja samo 2-4 %
- Ležište homoklinalnog (platformnog) tipa sa padnim uglom 10-15°
- Dubina oko 300 m (Estonija) i 100 m (Petrovgrad)
- Debljina slojeva 4-8 m
- Sapropelni tip kerogena
- Osim Estonije: ostrvo ***Southampton*** (Hudson Bay, Kanada)

Ordovicijumska karbonatno-kukerzitna formacija Pribaltičkog basena (južni delovi Baltičkog štita)

- Plitko epikontinentalno more Ruske platforme u **srednjem ordovicijumu**, depresije u oblasti šelfa na dekametarskoj dubini - u vreme maksimalne transgresije
- Najpoznatija ležišta takođe u Estoniji (zapadni deo Pribaltičkog basena) i kod Petrovgrada.
- Površina preko 100.000 km²
- Rezerve **kukerzitskog šejla** oko 24×10^9 t, TOC 20–55 %
- Prinos ulja čak 13 - 40 % (*ali sa preko 20 % fenola*)
- Veliki broj (do 30) slojeva uljnih šejlova u smeni sa glinovitim krečnjacima, laporovitim dolomitima i bituminoznim glinama
- Debljina horizonta od 5 do 35 m (od zapada ka istoku).
- Sapropelni kerogen, skoro isključivo od ostataka algi

Gloeocapsomorpha prisca

Pribaltički basen (kukerziti donjeg i srednjeg ordovicijuma)



Geološki profil kroz Pribaltički basen kukerzita (po Baukovu i Kotlukovu iz Zelenina i Ozerova, 1983)

Legenda: 1. kvartar, 2. gornji i srednj devon, 3. gornji i srednji ordovicijum, 4. kambrijum, 5. eksploatacioni sloj kukerzita, 6. i 7. horizonti kukerzita srednjeg ordovicijuma, 8. dikcionemski škriljci donjeg ordovicijuma i 9. rasedi.

Devonska glinovito-karbonatna formacija istočnog dela Ruske platforme (Timen-Černišev-Južni Ural)

- Plitkovodne morske sredine platforme i depresija Urala
 - Heterogen litološki sastav (krečnjaci, lapori, gline, peščari, argiliti, bituminozne gline).
 - Površina oko 100.000 km²
 - Prognozne rezerve kvalitetnog šejla do 400×10^9 t
 - Prinos ulja 5 – 15 % (retko do 30 %)
 - Debljina serije sa uljnim šejlovima 10 – 75 m (veći broj slojeva debljine 0.1–2.2 m)
 - Ugljevito-sapropelni tip kerogena
 - TOC 10-30 %
-
- Još i u istočnom **SAD** (*Ohajo* i *Antrim* šejlovi), **Engleskoj**, **Francuskoj**, **Poljskoj**, **Brazilu** (*Curua* formacija), **Peruu**, **Boliviji**, itd.

Gornjodevonsko-donjokarbonska formacija “crnih šejlova” SAD
(Anadarko, Permski basen) i Kanade (Alberta)

- Nastala u vreme gornjeg devona i donjeg karbona, u morskim uslovima u jednoj velikoj sineklizi pravca pružanja S-J
- Površina oko 725.000. km²
- Rezerve se procenjuju na 10¹⁰ t
- Prinos ulja 4-10 %
- Krečnjaci, uljni šejlovi (sloj 17 m) i ugljevi
- Karakteristična crna boja
- TOC 5 – 25 %
- Humusno-bituminozni tip OS, sa dosta urana
- Javljaju se slične formacije kao matične stene i u Ural-Volga i Dnjeparsko-Donskom basenu.

Karbon: Škotska (oblast Midlothian – Midlend dolina) - u eksploataciji, New Brunswick (Kanada - *Albert formacija*)

Debljina serije sa uljnim šejlovima u oblasti Edinburga iznosi oko 800 m. U samoj seriji ima 9 horizonata, a u svakom od njih više slojeva (do 5) uljnih šejlova, debljine od 0,2 do 6 m. Uljne šejlove karakteriše tanka slojevitost, puno algalnog materijala i ostataka viših biljaka.

Sredina je bila plitkovodna, a klima polusuva.

Gornjokarbonsko- donjopermska formacija **torbanita** Australije
(Novi Južni Vels i Kvinslend) - «kerozinski šejl»

- Nastala u Tasmanskoj depresiji
 - Argiliti i alevroliti sa sapropelnim kerogenom i čestim bočnim prelazima u ugalj
 - Veliki broj ležišta, najčešće sočivastog oblika
 - Brojni ostaci algi tipa *Botryococcus braunii*, kao i retki ostaci mikrinita, spora, kutikula i smolnih telašaca
 - Procenjene rezerve ulja 11×10^6 t
 - Prinos ulja je i preko 50 % (100-600 l /t !)
- Još u Kazahstanu (*Kenderlyk šejl*), Španiji (*Puertollano formacija*) i Južnoj Africi (*Ermelo formacija*)

Permski uljni šejlovi **Irati** formacije (Brazil)

- U eksploataciji
 - Razvijeni u faciji argilita nastalih na platformi, u jezerskoj sredini i epikontinentalnom moru niskog saliniteta.
 - Jasno izražena ciklična sedimentacija
 - Prosečna ukupna debljina perma 500-700 m. Rasprostranjenje u obliku «S».
 - Uljni šejlovi su slojevitog tipa, a ima i do 80 slojeva (debljine do 9m).
 - Velika površina, rezerve šejla oko 1200×10^9 t, ulja 11,5 Bt.
 - Prinos ulja 6 – 12 %
 - TOC 20-30 %
 - Sapropelno-humusni kerogen
-
- Još i u Francuskoj (*Autun*) i Tasmaniji (*tasmanit*)



Figure 10.10 Oil shale occurrences in Brazil. The squares in the south outline the outcrop areas of the Irati and Paraiba shales discussed in the text. (From V. T. Padula, *AAPG Bull.*, 1969.)

Irati uljni šejlovi (Brazil)

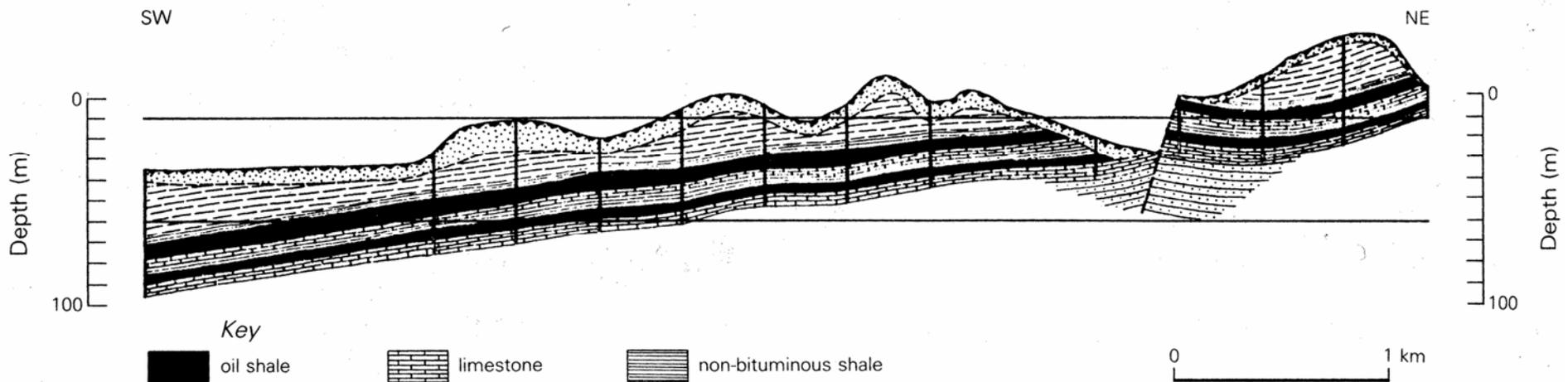
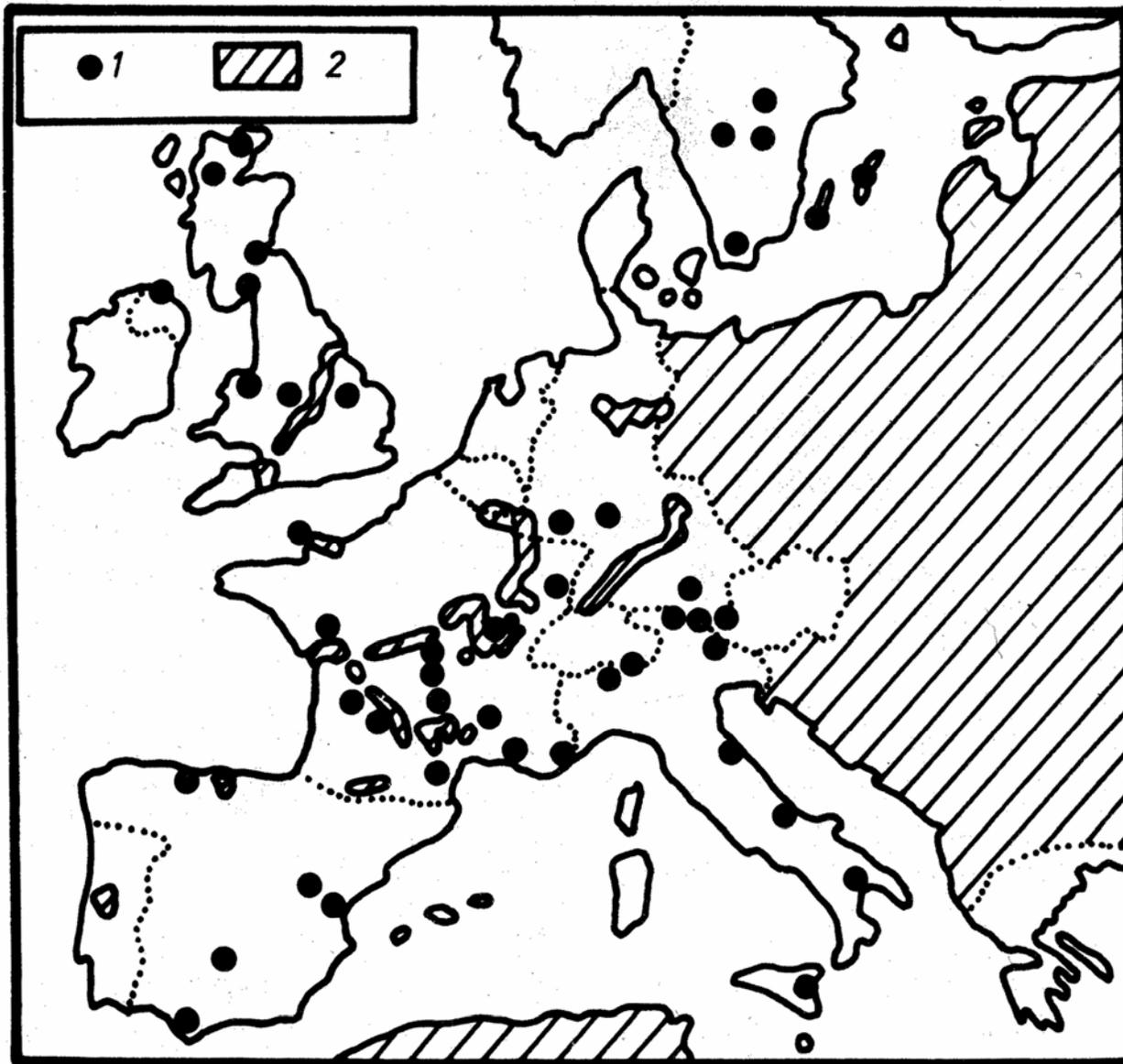


Figure 10.9 Cross section through the formations containing the Irati oil shale in São Mateus do Sul district, southernmost Brazil. (From V. T. Padula, *AAPG Bull.*, 1969.)

Lijaska formacija uljnih škriljaca Zapadne Evrope (donja jura)

- Veliko rasprostranjenje – od Portugalije do Skandinavije – u priobalnim delovima mora na paleozojskoj platformi
 - Debljina slojeva varira od par cm do 2 m, retko preko 5 m
 - Broj slojeva od 1 do 15, bez ujednačenosti debljina
 - Ponekad zajedno sa kamenim ugljem
 - Sapropelni i humusno-sapropelni kerogen
 - TOC 10-20 %
 - Rezerve ulja procenjene na oko 250×10^6 t, a prinos je 3-15 %
-
- Francuska (*Crevenay*), Nemačka (*Meselski šejlovi*), Rusija (*Kaspijska formacija*), Argentina (*Neuquen*)



Slika 10. Raspored ležišta uljnih škriljaca donje jure u Zapadnoj Evropi (Šlat-
ter, 1968).

Legenda: 1. ležišta škriljaca i 2. sedimenti lijaca

Gornjojurska formacija basena Volge

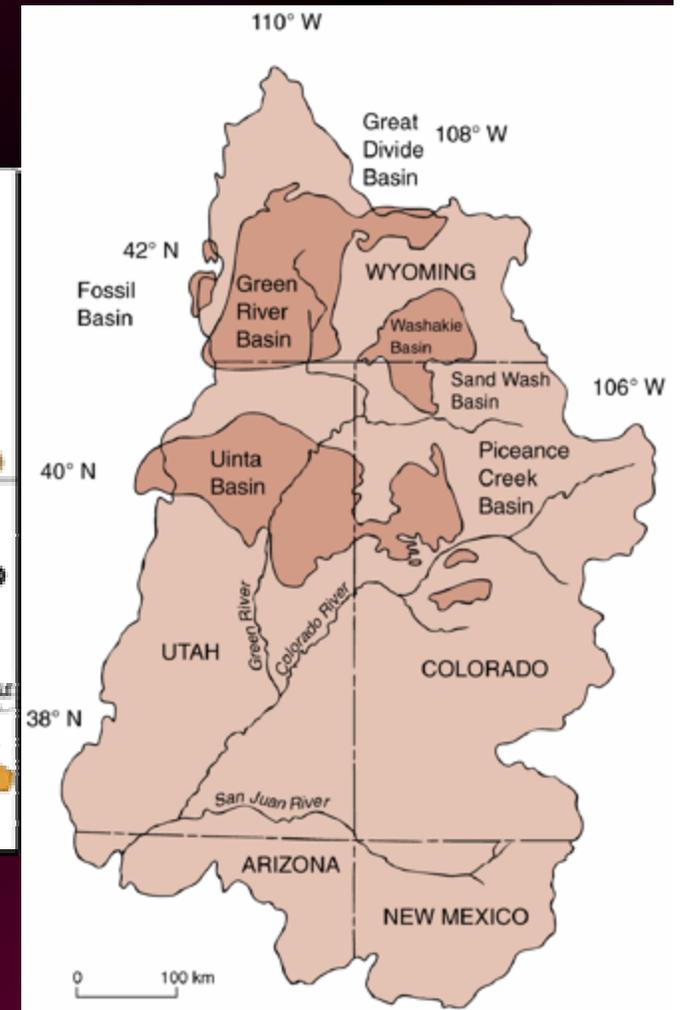
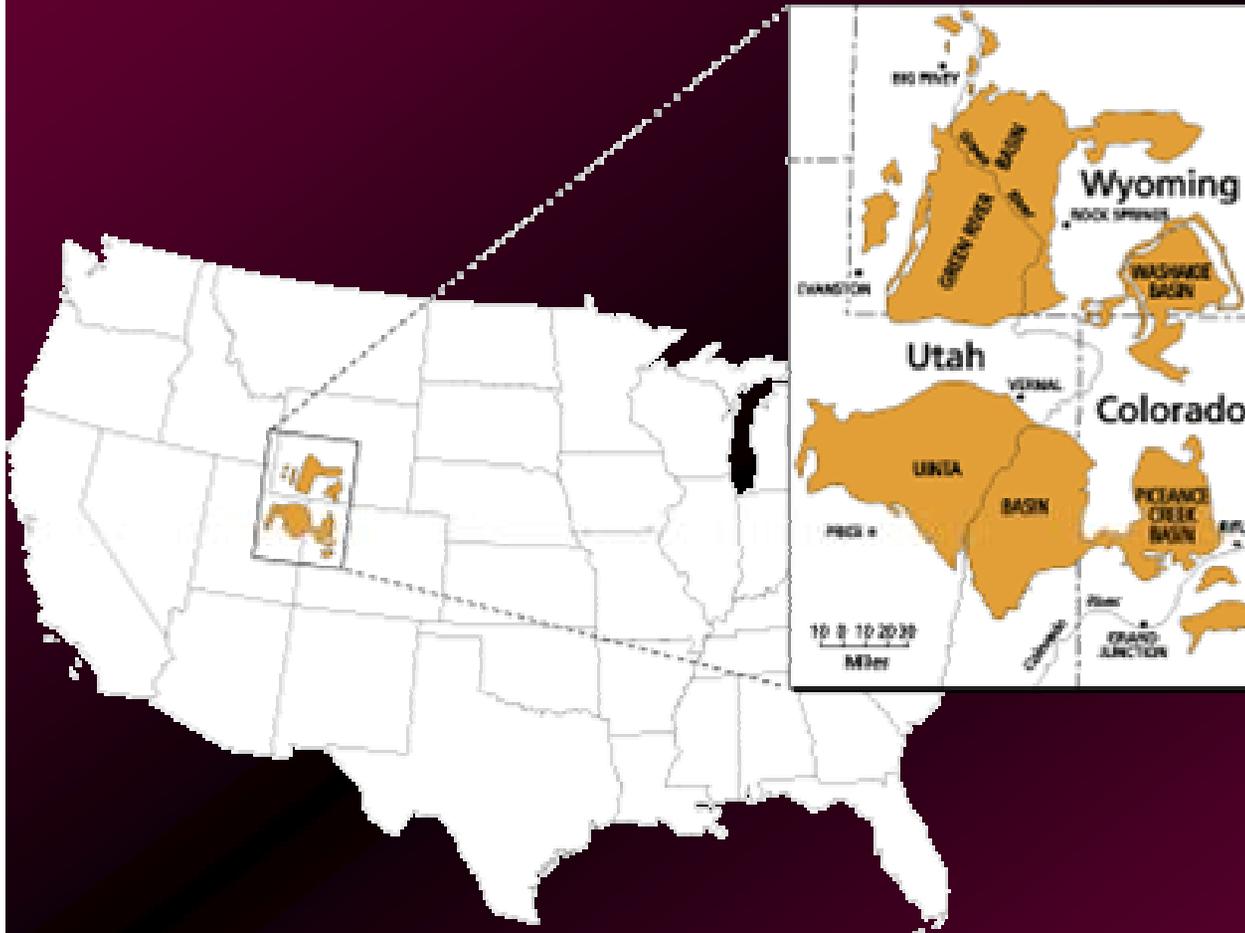
- Istočni delovi Ruske platforme - od Belog mora do Kaspijskog jezera.
- Površina preko 350.000. km²
- Velike sineklize i depresije – morski uslovi sa niskim salinitetom i redukcionim uslovima.
- Česte promene facija i ritmova, gotovo horizontalni slojevi
- Sapropelne gline deminiraju, zatim krečnjak i lapor
- 1-30 slojeva male debljine (0,3 – 3 m, retko 5 m)
- Često jako karbonatni uljni šejlovi (nepovoljno)
- Prognozne rezerve uljnih šejlova su preko 500×10^9 t, a ulja oko 45×10^9 t (9 %)
- TOC 20-40 %

Još i na Severnoj Aljasci (tasmaniti), u Angoli, Brazilu (Alagoas) i Sibiru (Irkutsk)

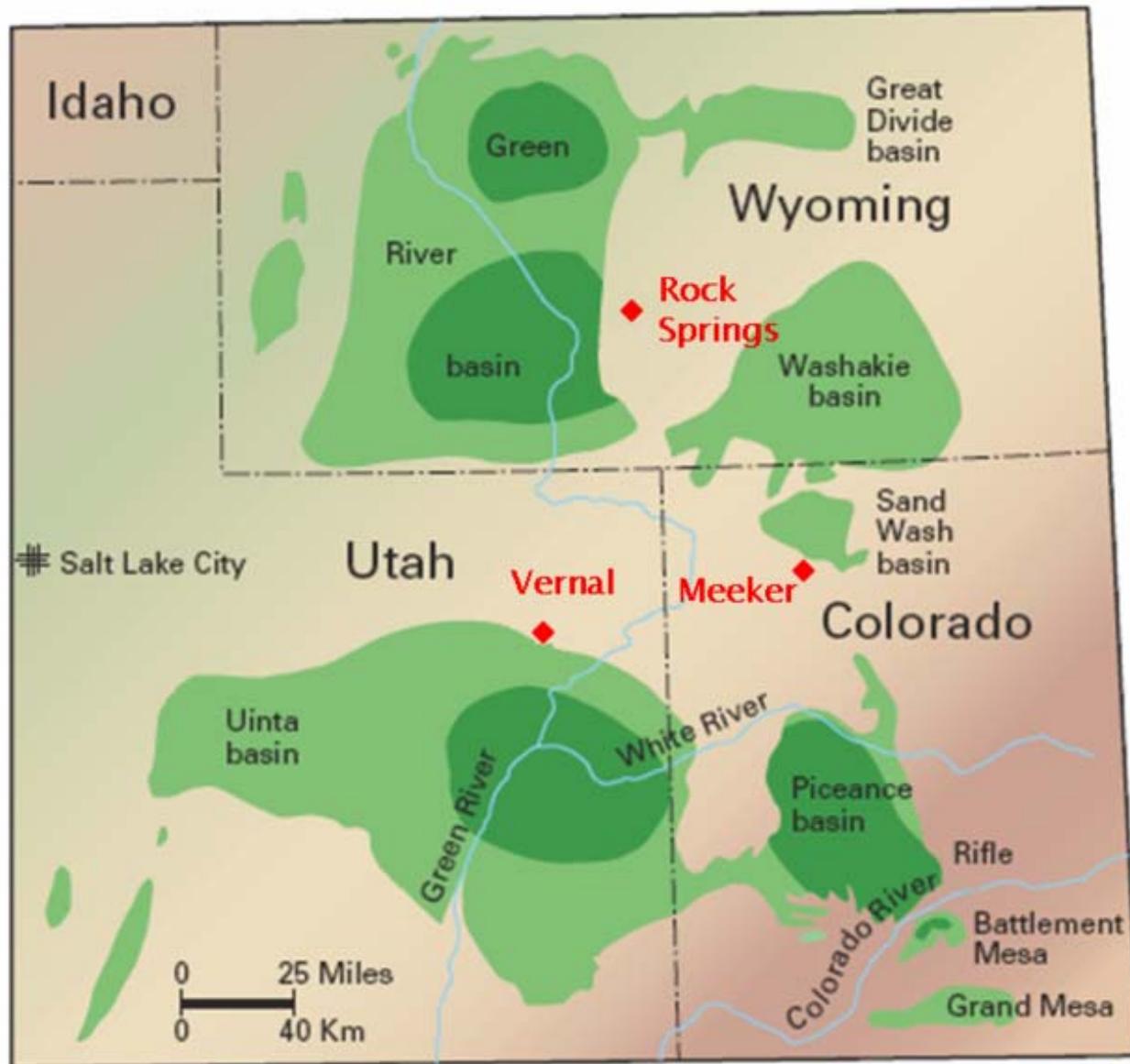
Eocenska «*Green River*» formacija, SAD

- Veliko rasprostranjenje (Vajoming, Juta, Kolorado) - u eksploataciji
- Stvaranje velikih jezera nastupilo je usled značajne regresije mora koja se na većem prostoru SAD odrazila krajem paleocena. Četiri izdvojena basena ukupne površine od oko 42.000. km².
- Sapropelno-humusni tip (lamositni tip šejlova – izražena cepljivost), litološki: cepljivi bituminozni krečnjak poznat po fosilnim ostacima riba.
- TOC 8 – 50 %, ali neravnomeran raspored u mineralnoj osnovi
- Najpoznatiji sloj je izdanjujući Mahogany Ledge (25 m) u kome kerogen potiče od modro-zelenih algi. Daje oko 250-300 l/t.
- Procenjene rezerve šejla 1200×10^9 t (preko 50% bilansnih svetskih rezervi), a ulja oko 213 Bt.
- Prinos ulja 3 – 15 %
- Nešto su otpustili i prirodnim putem (manja ležišta nafte u Uinta basenu, Juta)
- Izrael; Rajnski graben (Messel), Kina (Fušun – blizu granice s Korejom)- u eksploataciji, istočni Kvinslend (*Rundle šejl*), Argentina (Foyel, zapadni Čubut), Južno Ostrvo Novog Zelanda, Francuska (Aix-en-Provence)

Green River shale



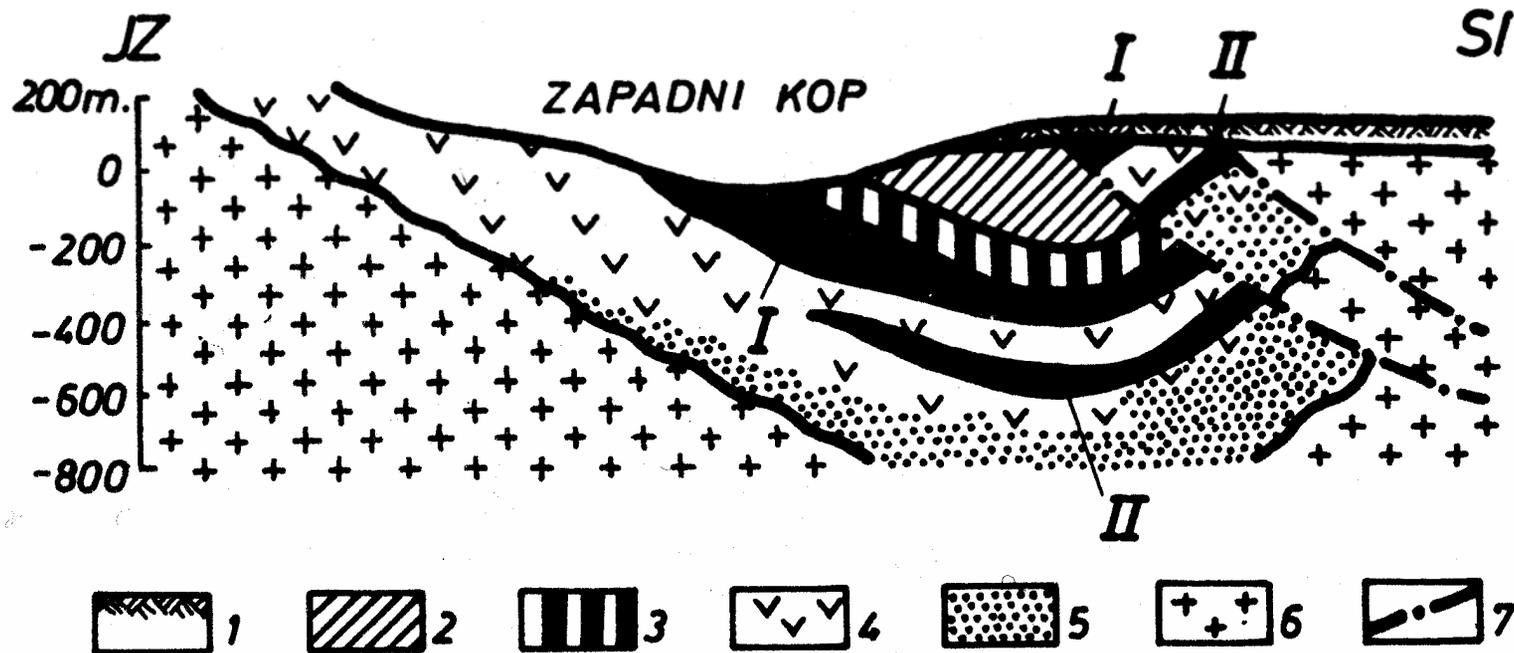
Green River formation (SAD)



 Area underlain by the Green River formation in which the oil shale is unappraised or low grade.

 Area underlain by oil shale more than 10 ft thick, which yields 25 gal or more oil per ton of shale.

Ležište Fušun (Kina)



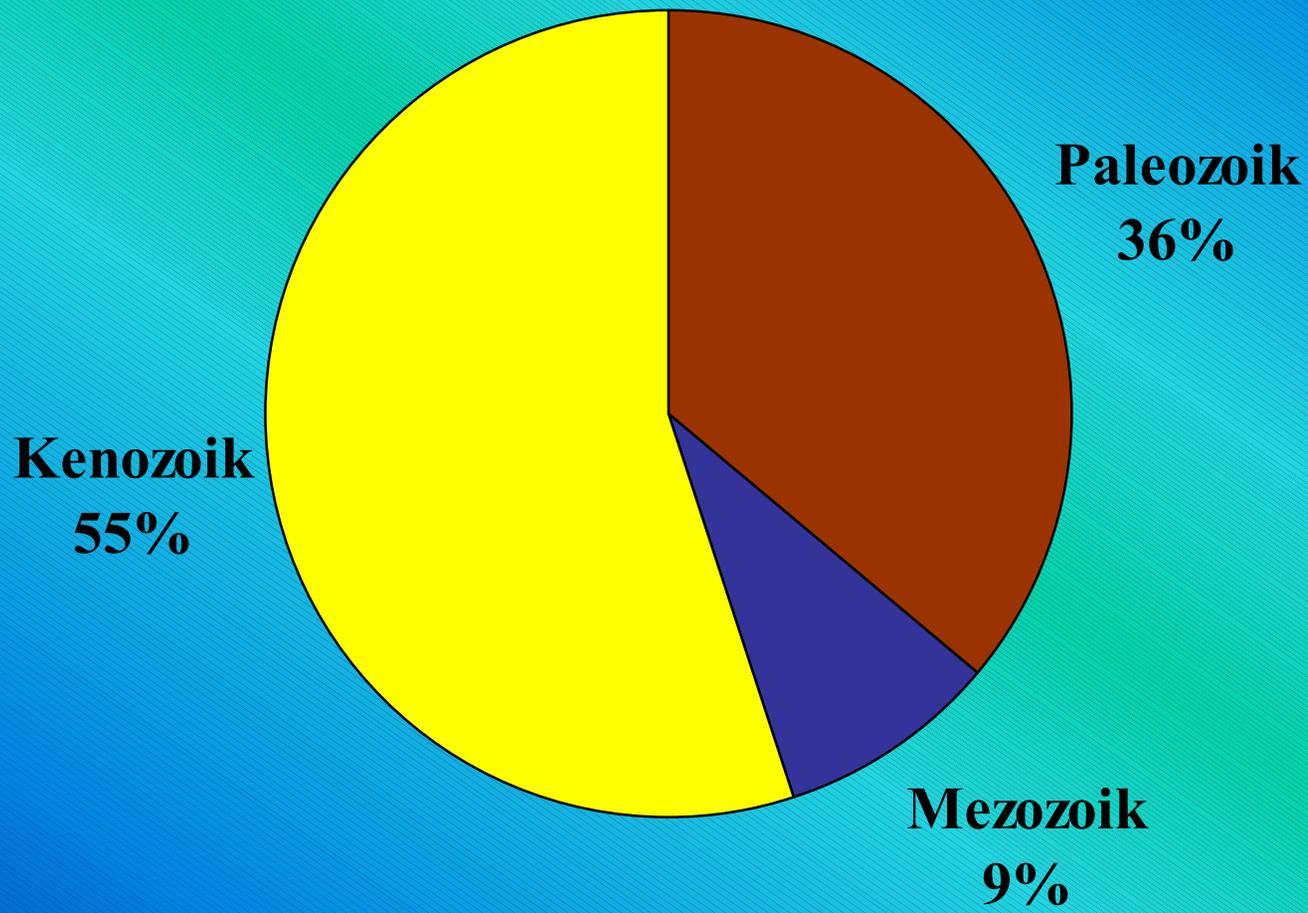
Slika 12. Geološki profil kroz ležište Fušun (Kina; po Baženovu iz Zelenina i Ozerova, 1983).

Legenda: 1. kvartar, 2. zeleni argiliti i laporci, 3. uljni škriljci - donji deo paleogene serije Fušun, 4. tufovi i bazalti, 5. kreda, 6. granit i gnjasevi i 7. rasedi; I i II gornji i donji sloj uglja.

Neogen: Srbija (Aleksinac, Vranje i dr.),
Brazil (Tremembe), Tajland

RESURSI I REZERVE ULJNIH ŠEJLOVA U SVETU I SRBIJI

STRATIGRAFSKA DISTRIBUCIJA ULJNIH ŠEJLOVA U SVETU



Resursi ulja (*in-place shale oil*) – top10 (96 %)

1. SAD – 300 Bt (*preko 70 % !*)
2. Rusija – 35 Bt
3. Kongo – 14 Bt
4. Brazil – 11,5 Bt
5. Italija – 10,5 Bt (*Sicilija 9 Bt*)
6. Maroko – 8 Bt
7. Australija – 4,5 Bt
8. Jordan – 4 Bt
9. Estonija – 2,5 Bt
10. Kina – 2,5 Bt

Izvor: USGS, 2005

Proizvodnja uljnog šejla (Mt) do 2000 (USGS, 2005)

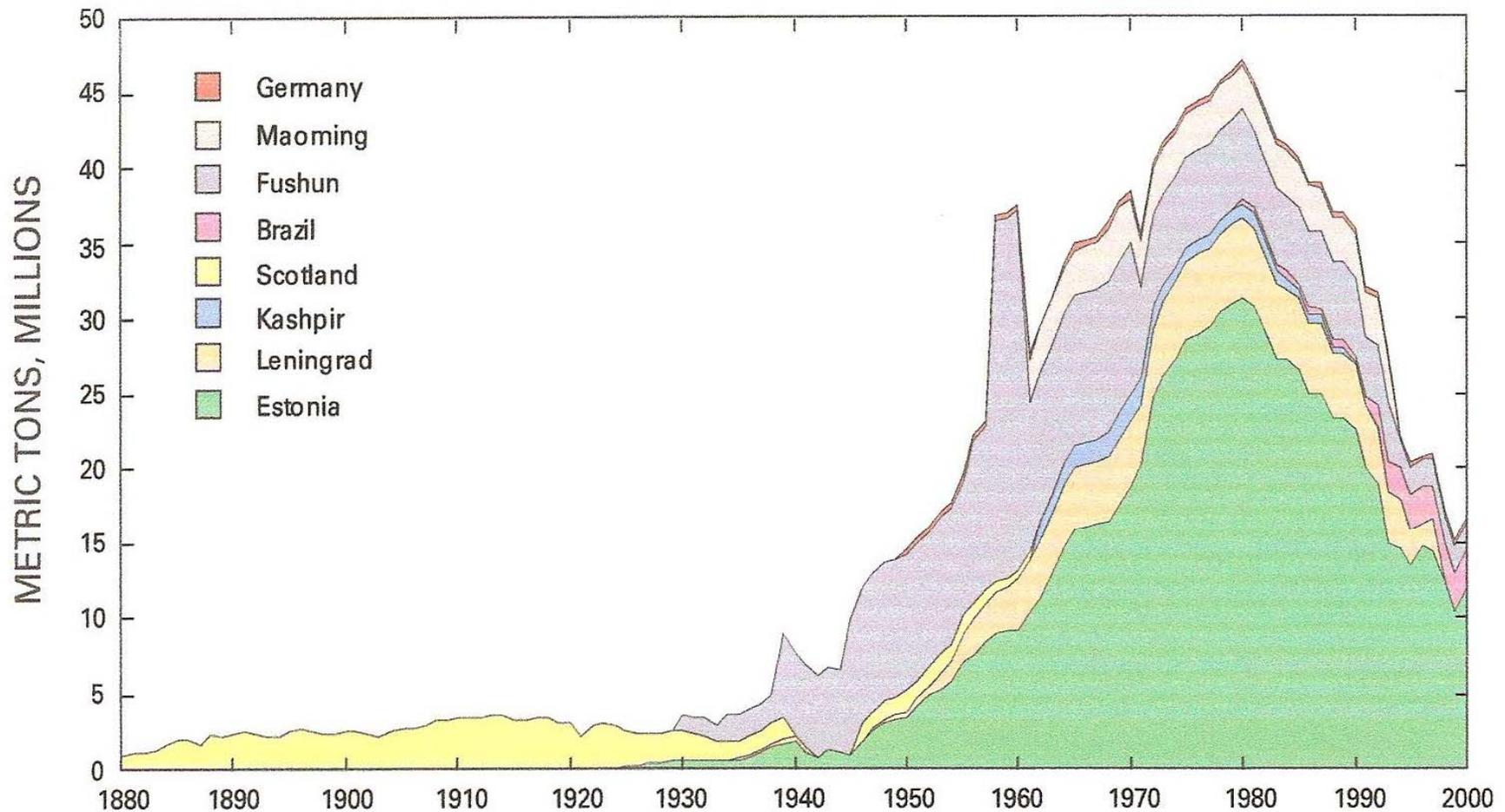
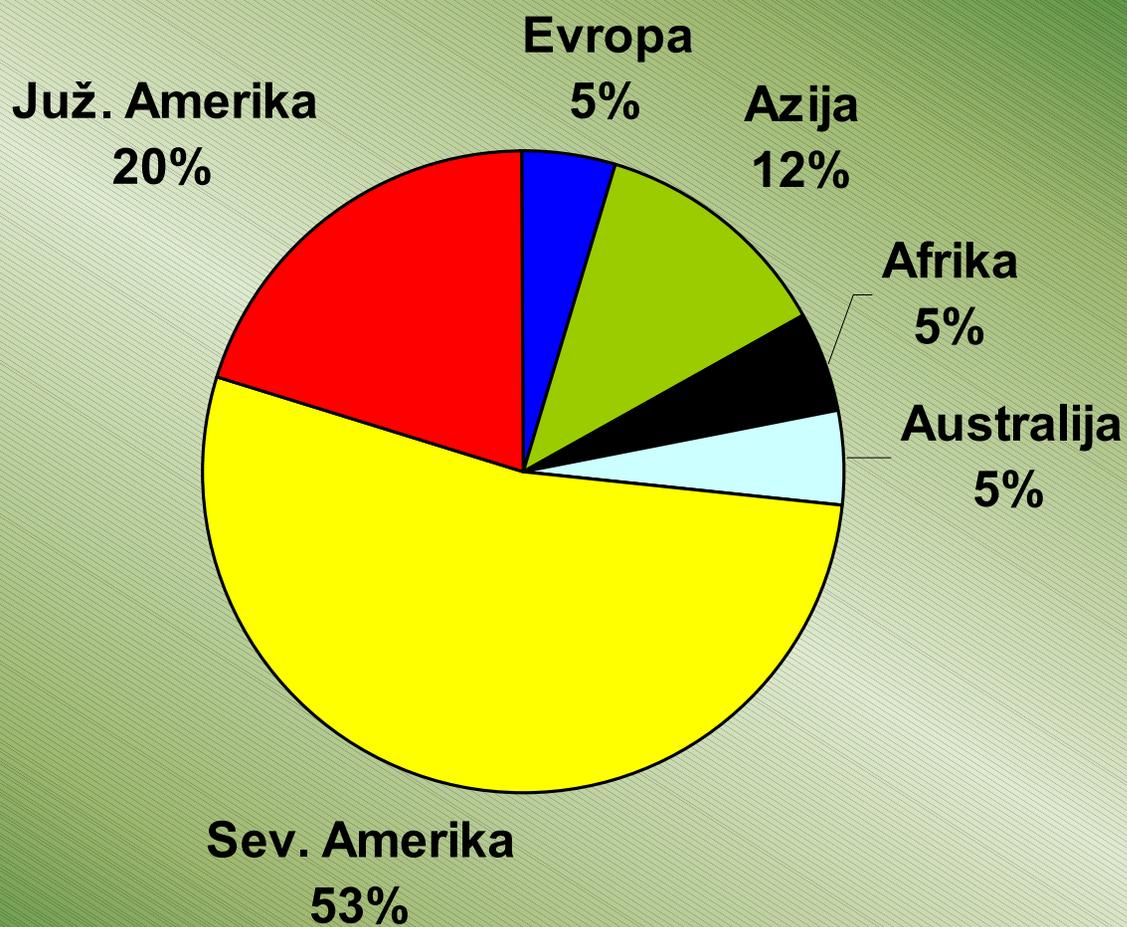


Figure 19. Production of oil shale in millions of metric tons from Estonia (Estonia deposit), Russia (Leningrad and Kashpir deposits), United Kingdom (Scotland, Lothians), Brazil (Iratí Formation), China (Maoming and Fushun deposits), and Germany (Dotternhausen) from 1880 to 2000.

- Smatra se da minimalni sadržaj ulja od **50-60 l/t** obezbeđuje ekonomičnu površinsku eksploataciju.
- U **SAD**-u se za uljne šejlove *Green River* formacije uzima vrednost od oko **120 l/t**; za uljne šejlove *Irati* formacije u **Brazilu** to su vrednosti ispod **100 l/t**, a za *kukerzite* **Estonije** granica ekonomičnosti je pri **100 l/t** ulja.
- Ako se prihvate ove vrednosti za ocenu ekonomičnosti ležišta, svetske rezerve sintetičke nafte iz uljnih šejlova iznose oko **150×10^9 t.**

Distribucija svetskih rezervi ulja



ULJNI ŠEJLOVI SRBIJE

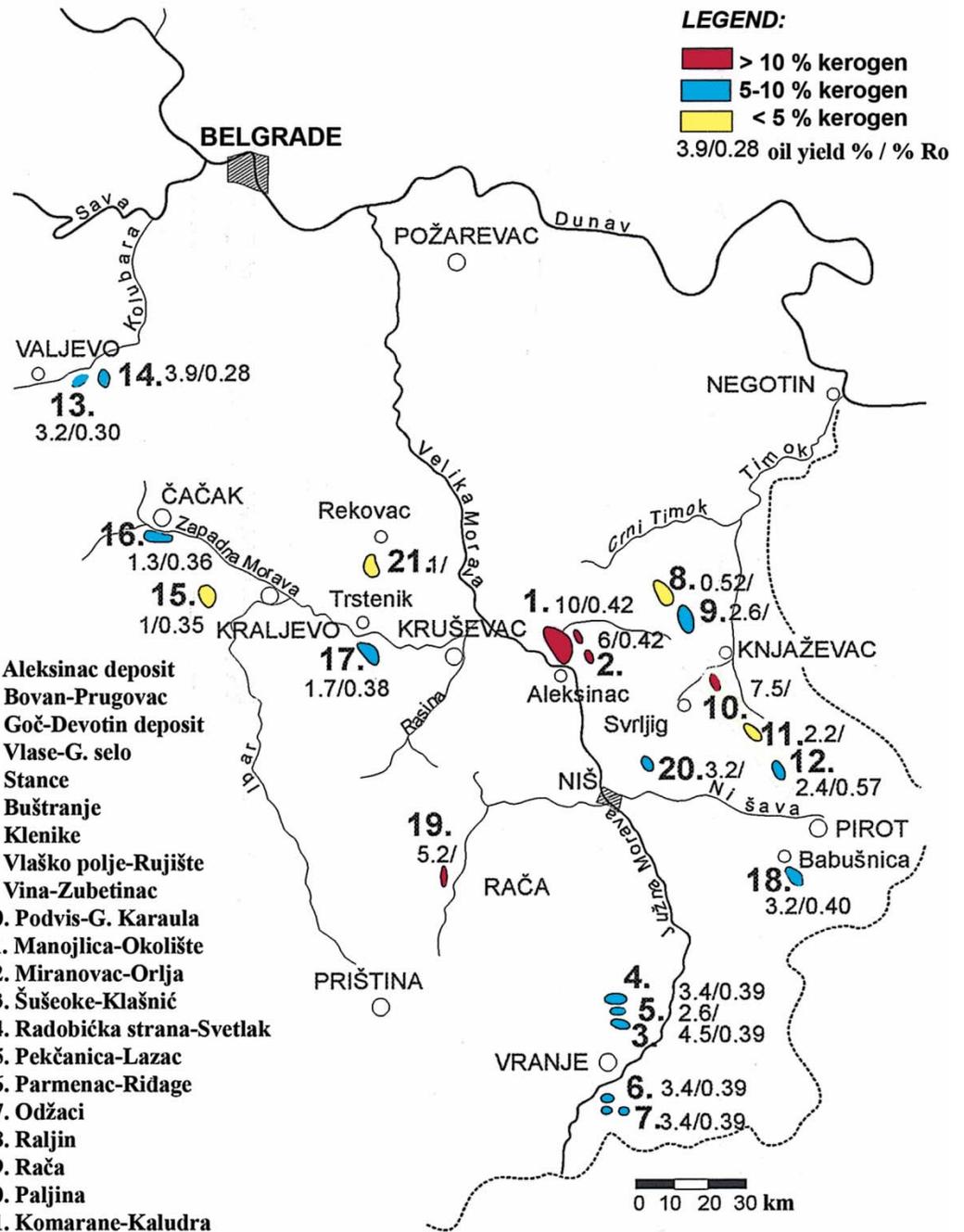
- Značajne pojave, nalazišta i perspektivna ležišta uljnih šejlova nalaze se u niškom, zaječarskom, južnomoravskom, kraljevačkom i podrinjsko-kolubarskom regionu.
- Geneza uljnih šejlova je u vezi sa postojanjem tercijarnih jezerskih depozicionih sredina koje su postojale od paleogena do miocena.
- Resursi uljnih šejlova Srbije iznose oko $5,4 \cdot 10^9$ t, a uz optimalnu tehnologiju retortovanja, ocenjuje se da prognozne rezerve sirovog ulja iznose oko $150 \cdot 10^6$ t.

OIL SHALE DEPOSITS AND OCCURRENCES IN SERBIA

- Tertiary lacustrine oil shale - **lamosite**
- Kerogen: type I and II, mostly **<10 %**
- Maturity: generally **< 0,45 % Rr**
- Oil yield (Fischer assay): mostly **below 5 %**
- Estimated reserves: **~ 5 Bt** of shale

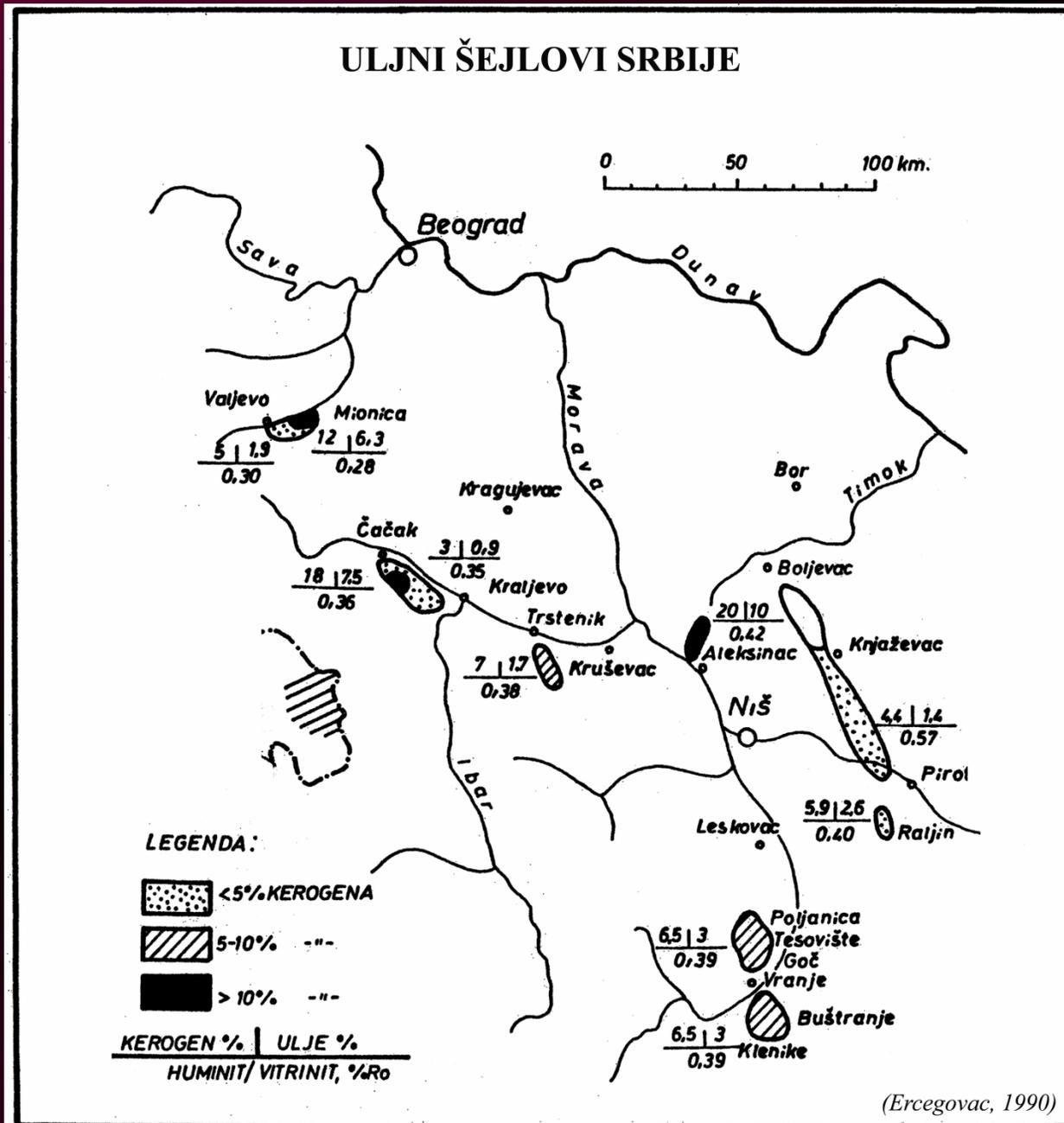
Significant deposit - Aleksinac :

- ☑ Area **20 km²**, 2 layers (**20 and 75 m**)
- ☑ **20 - 25 % kerogen**
- ☑ Oil yield: **10 - 12 %** (90 l / t; 400 m³ of gas / t)
- ☑ Reserves: **2.1 Bt of oil shale**
- ☑ In-place shale oil : **210 Mt**



Najstariji su paleogeni uljni šejlovi Jugoistočne Srbije (uzani pojas **Knjaževac-Pirot**) – gde se nalaze u seriji laporaca, glinaca i peščara u jednom uzanom pojasu dužine oko 20 km i male širine (nekoliko stotina m).

- Nalaze se u neposrednoj povlati ugljenog sloja.
- Promenljivi organogeno-mineralni kompleksi, lošijeg kvaliteta i malog prinosa ulja.

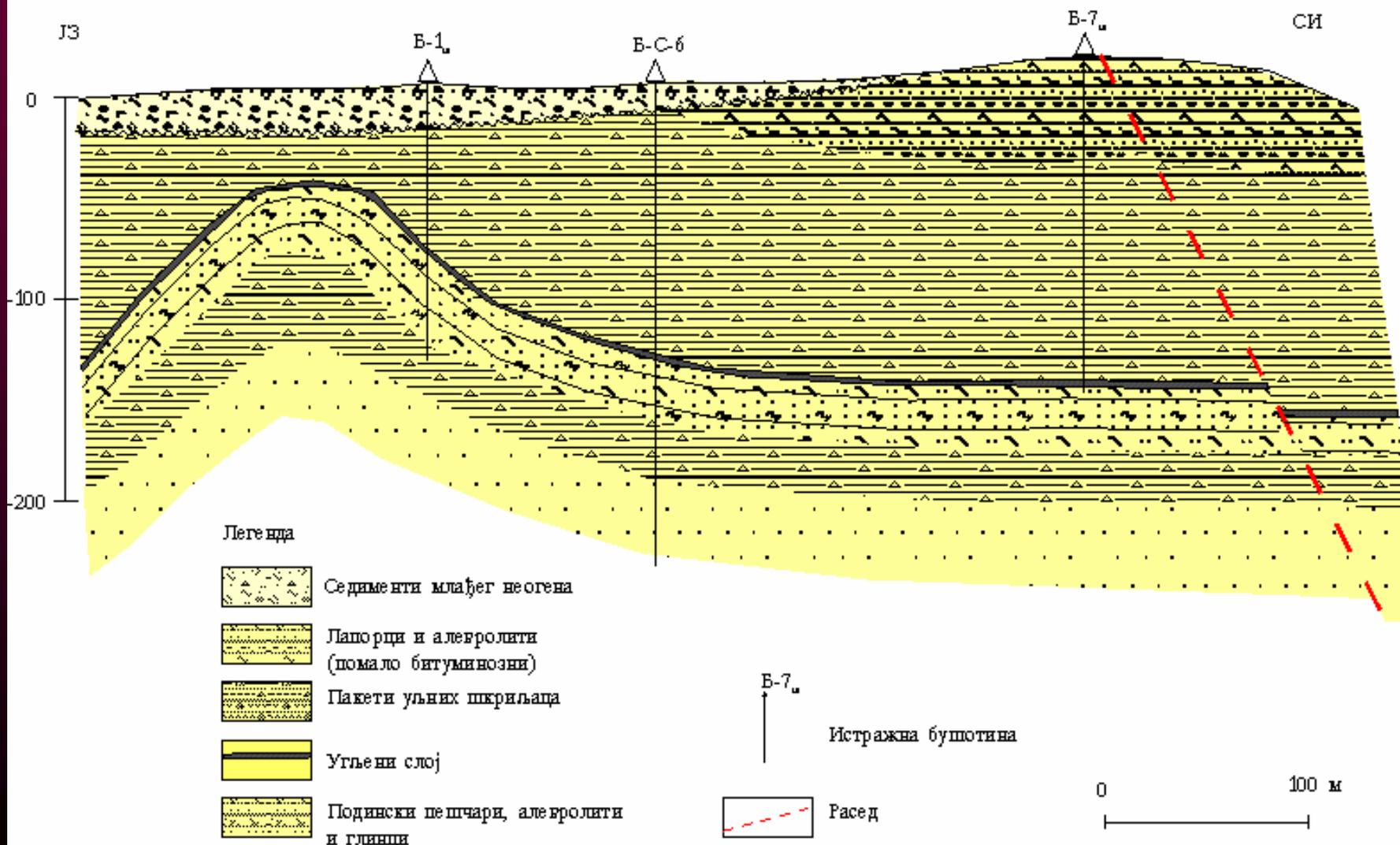


- Uljni šejlovi **Vranjskog basena** su vezani za seriju čija je starost određena kao oligocen-donji miocen. Odlikuju se laminiranom makro- i mikro-teksturom. Tamnije lamine su obično bogatije OM. Sapropelno-algalni kerogen (lamalginit). Lamoziti stvarani u jako redukcionim uslovima jezera, sa mogućnošću određenog morskog uticaja.
- Uljni šejlovi **Čačansko-Kraljevačkog basena** su tanko listasti šejlovi donjeg miocena koji se nalaze u seriji laporovitih krečnjaka i laporaca. Jednorodni šejlovi tamne boje, ali sa karakterističnom trakastom (laminiranom) mikroteksturom.
- Uljni šejlovi **Kruševačkog basena** nalaze se u okviru Trsteničke serije donjeg miocena u čiji sastav ulaze konglomerati, peščari, alevroliti i laporci. Debljina ove serije iznosi oko 200 m. Dominira sapropelna amorfna OS (60 %) koja je intimno srasla sa mineralnom materijom, ali ima i do 30 % humusne OM.
- Uljni šejlovi **Valjevsko-Mioničkog basena** – verovatno sarmatske starosti («belostenska serija»). OS je akumulirana u trakama ili laminama različitih debljina i boja. Karakteristične laminacije ukazuju da su stvarani u jezerskoj sredini i to u njenim srazmerno dubljim i mirnijim delovima. Veliki broj algi je dobro očuvan (u prvom redu *Botryococcus*). OM prisutna i u svetlijim partijama.

- Ležište uljnih šejlova Aleksinac zauzima istočni deo Moravskog tercijarnog basena. Uljni šejlovi se nalaze u okviru donjomiocenske serije debljine preko 800 m, koju izgrađuju glinci, finozrni peščari i slojevi uljnih šejlova, izdvajaju se:
- podinski uljni šejlovi sa tri paketa slojeva ukupne debljine oko 15-20 m
- glavni ugljeni sloj debljine 2-6 m, mestimično i do 15 m, i
- povlatni paket uljnih šejlova debljine 60-100 m
- Uljni šejlovi pripadaju tipu lamozita – tj. dominira sapropelni kerogen (80 %) sa karakterističnom laminiranom mikroteksturom.
- Slični su šejlovima formacije «Green River» (SAD) i tercijarnim šejlovima istočne Australije (ležišta Rundle i Condor). Nastali su u jezerskoj sredini sa manjom cirkulacijom vode i pri jako izraženim redukcionim uslovima. Česte su impregnacije geloznog pirita (framboidalni pirit), kao i rutila i cirkona što sve ukazuje na redukcionu uslove.

Ležište "Aleksinac"

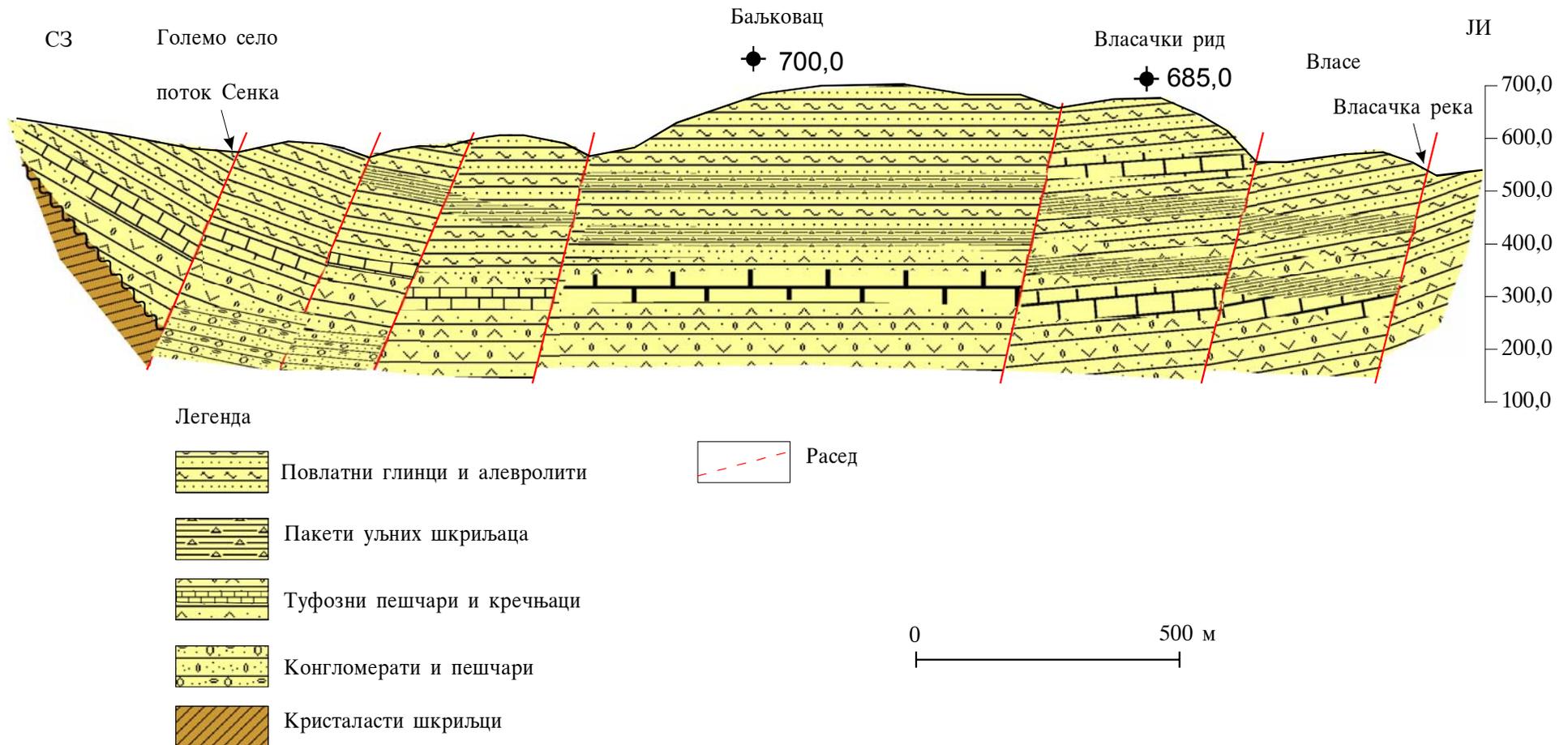
Структурно-геолошки профил по оси бушотина В-1ш - В-С-6 - В-7ш
(по Р. Ристићујевић, 1980)



Vranjski basen

ВРАЊСКИ БАСЕН

Структурни геолошки профил кроз налазиште уљних шкриљаца Пољаница
(по М.Новковићу, 1981)



LOKALNOSTI (raskop-R; jezgro-J)	KEROGEN			TIP KERO- GENA*	ULJE %
	min.%	max.%	sred.%		
1. Aleksinac - povlatni paket, J - podinski paket, J	12,0 16,0	24,0 34,0	18,0 24,0	I, II (III) I, II (III)	8,5 11,0
2. Kruševac, Trstenik, R	4,3	11,0	7,1	I, III	1,7
3. Čačak, Petnica, R	14,0	22,0	18,0	I, II, (III)	7,5
4. Valjevo-Mionica - "belostenska ser.", R - Buš. V10-V30, M1-M9, J	8,0 2,0	16,0 12,0	12,5 5,0	I, (II) I,(II)	6,3 1,5
5. Babušnica, Rajjin, J	2,5	12,0	6,0	I, (III)	2,6
6. Vranje - Poljanica, G.Selo, R - Goč-Devotin, R - Đubrište-Goč, R - Gumerište-Tesovište, R - Buštranje, R - Buštranje, J - Klenike, Brnjare, R - Klenike, J	- 1,5 0,5 3,5 2,8 2,9 2,5 2,2 2,5	- 18,5 8,5 12,0 17,0 13,0 11,7 11,0 12,0	6,5 6,8 3,8 9,6 9,5 8,9 5,3 6,3 5,2	- I, II I, II I, (III) II, III I, III I, II, (III) I, (II) I, II	2,9 2,5 2,7 4,8 3,0 5,0 2,0 3,0 2,6
7. Knjaževac - Pirot - Orešac, R - Okolište, R - Manojlica, R - Miranovac, R - Pajež, R - Orlija, R - Osmakovo, R	- 2,5 2,1 3,0 1,4 2,3 2,0 2,0	- 5,8 11,7 6,4 3,6 10,0 11,9 9,0	4,4 3,6 5,6 4,7 2,6 5,2 4,6 4,5	- II, I, (III) II, I, III II, III II, I II, III II, I, III II, I	1,4 0,2 3,2 1,1 1,5 1,3 1,0 0,8

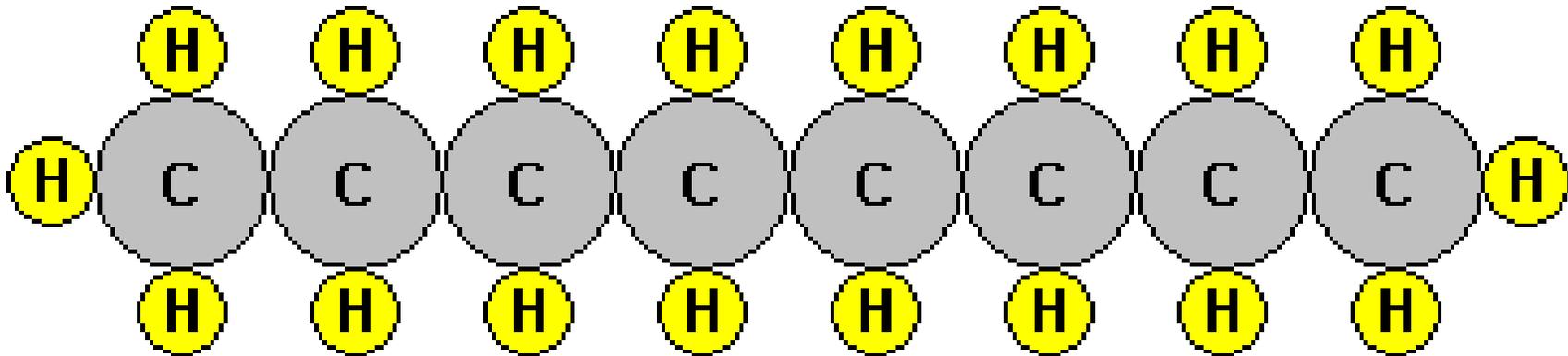
Napomena: * tip kerogena - I sapropelni-amorfni (algalni), II sapropelno-ugljeviti (liptiniti), i III ugljeviti. (Ercegovac, 1990)

5.

OSNOVI GEOLOGIJE NAFTE I GASA

POREKLO NAFTE I GASA

Molekuli ugljovodonika :



- *Koji organizmi ih imaju ?*

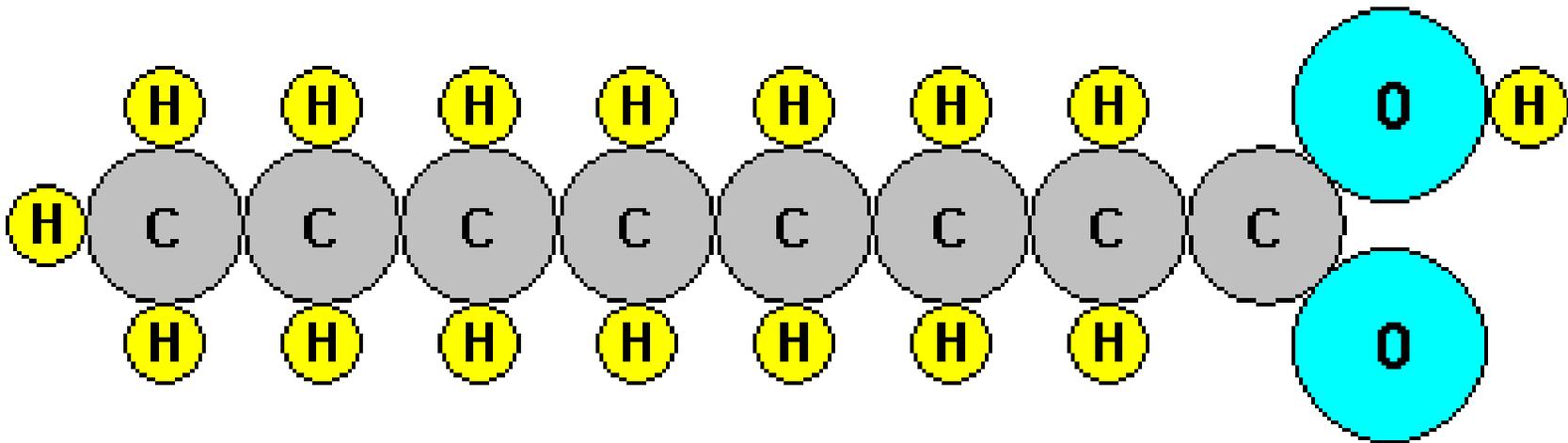
Odgovor: Nijedan !

- Teorije i hipoteze o nastanku nafte -

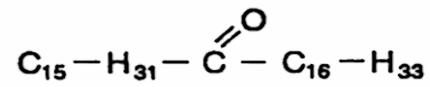
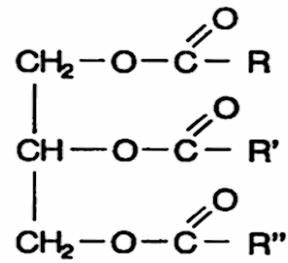
HIPOTEZE O NEORGANSKOM POREKLU NAFTE :

- Hipoteze o mineralnom poreklu (**Berthelot**, 1866; **Mendeljejev**, 1877). *Neorganska sinteza u dubini Zemlje (karbidi metala i voda), te naknadna kondenzacija ugljovodoničnih para u naftu.*
- Hipoteza o kosmičkom poreklu (**Sokolov**, 1890). *Metan u meteoritima i atmosferi Urana, Neptuna i Plutona.*

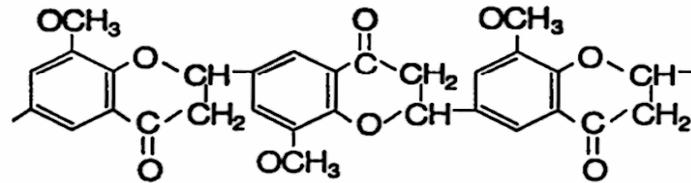
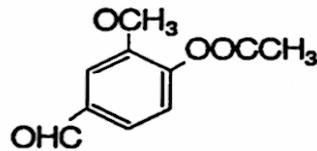
- Mnogi organizmi, međutim, daju ovakve molekule :



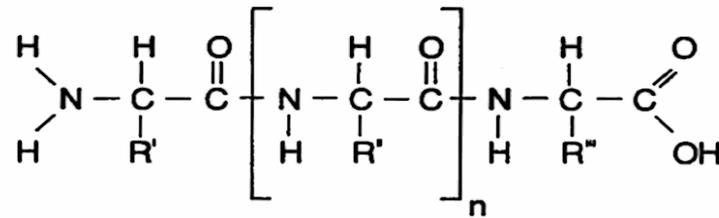
- Masne kiseline
- Dominantni prekursor: morski plankton



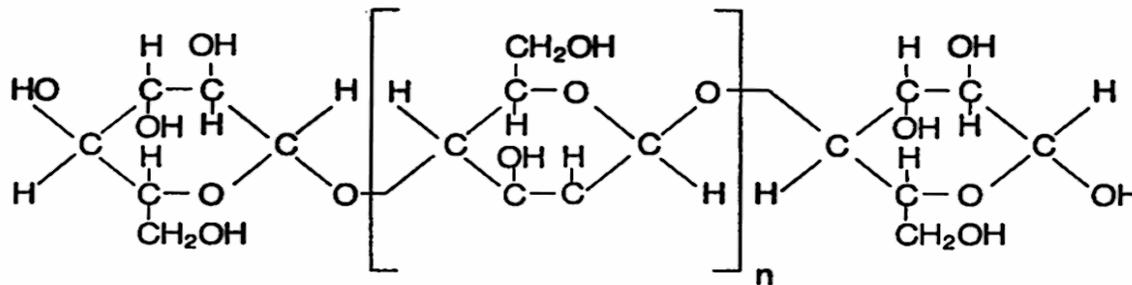
Lipidi



Lignin



Proteini



Ugljeni hidrati

Karakteristični molekuli kod živih organizama (lipidi, lignin, proteini i ugljeni hidrati).

TEORIJE O ORGANSKOM POREKLU NAFTE:

Zoogeno poreklo: ribe, mekušci, foraminiferi, radiolarije i dr.

Fitogeno poreklo: niže biljke (alge)

TEORIJA O ZOOGENOM I FITOGENOM POREKLU

99 % nafte se nalazi u sedimentnim stenama

Vodene sredine su bogate fosforim i azotnim jedinjenjima koja omogućavaju bogatu primarnu bioprodukciju različitih organizama. Ovi organizmi sadrže proteine, ugljene hidrate, lipide i lipoide koji su najznačajniji izvorni materijal za stvaranje nafte.

GLAVNI PREKURSORI:

Fito- i zooplankton, alge, bakterije i ostaci viših biljaka.

Procentualno učešće lipida, proteina, ugljenih hidrata i lignina kod biljaka i morskih organizama (u % bez vlage i pepela; delom po Saxby-u (1980))

	Lipidi %	Proteini %	Ugljeni hidrati %	Lignin %
Kopnene biljke	5	15	45	35
Morski organizmi	20	40	40	—

Glavni geološki dokazi: povezanost sa **sedimentima**, korelativnost sa **periodima maksimalne bioprodukcije**, **temperature** generisanja (preko 60-100 °C)

Glavni geohemijski dokazi: **Porfirini** i **azot**

U nafti se nalaze jedinjenja koja su veoma slična organskim materijama biljnih i životinjskih ćelija. Posebno su karakteristični kompleksi porfirina.

Porfirini se stvaraju od hemoglobina iz krvi životinja ili od hlorofila nižih biljaka (alge). Biljni porfirini su češći u odnosu na porfirine životinjskog porekla, što se verovatno može tumačiti značajnijim učešćem algalnog materijala u genezi nafte.

GLAVNI PREKURSORI UGLJOVODONIKA:

- **Fitoplankton**
- **Zooplankton**
- **Alge**
- **Bakterije**
- **Ostaci viših biljaka**

The Origin of Petroleum



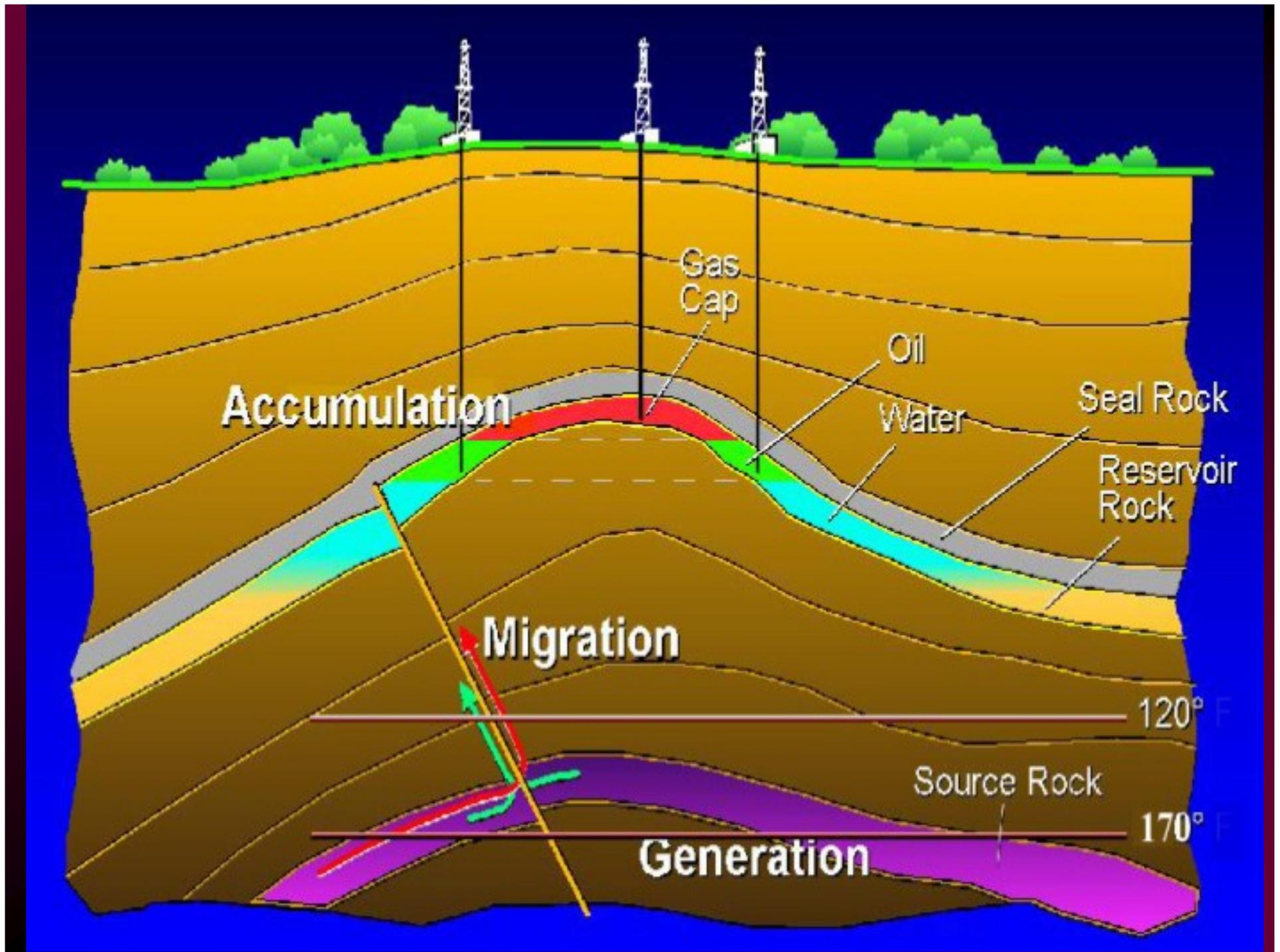
Organic-rich
Source Rock

Thermally Matured
Organic Matter

Oil

OSNOVNI POJMOVI U GEOLOGIJI NAFTE:

- **Kerogen i matične stene**
- *Migracija nafte i gasa*
- **Prirodni rezervoari**
- **Rezervoar stene**
- **Zaštitne stene**
- *Ležišta*
- *Nalazišta i polja*



KEROGEN

Čvrsta disperzna
organska supstanca
sedimenata,
nerastvorana u
organskim rastvaračima.

The Origin of Petroleum



Organic-rich
Source Rock

Thermally Matured
Organic Matter

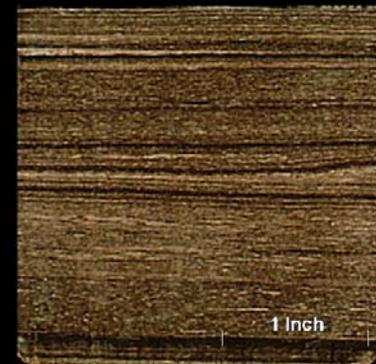
Oil

JMA

Organic-
Rich

Thin
Laminae

Measured Values



Total
Organic
Carbon
3.39

Hydrogen
Index
378

In-Place
Petroleum
S₁
2.24

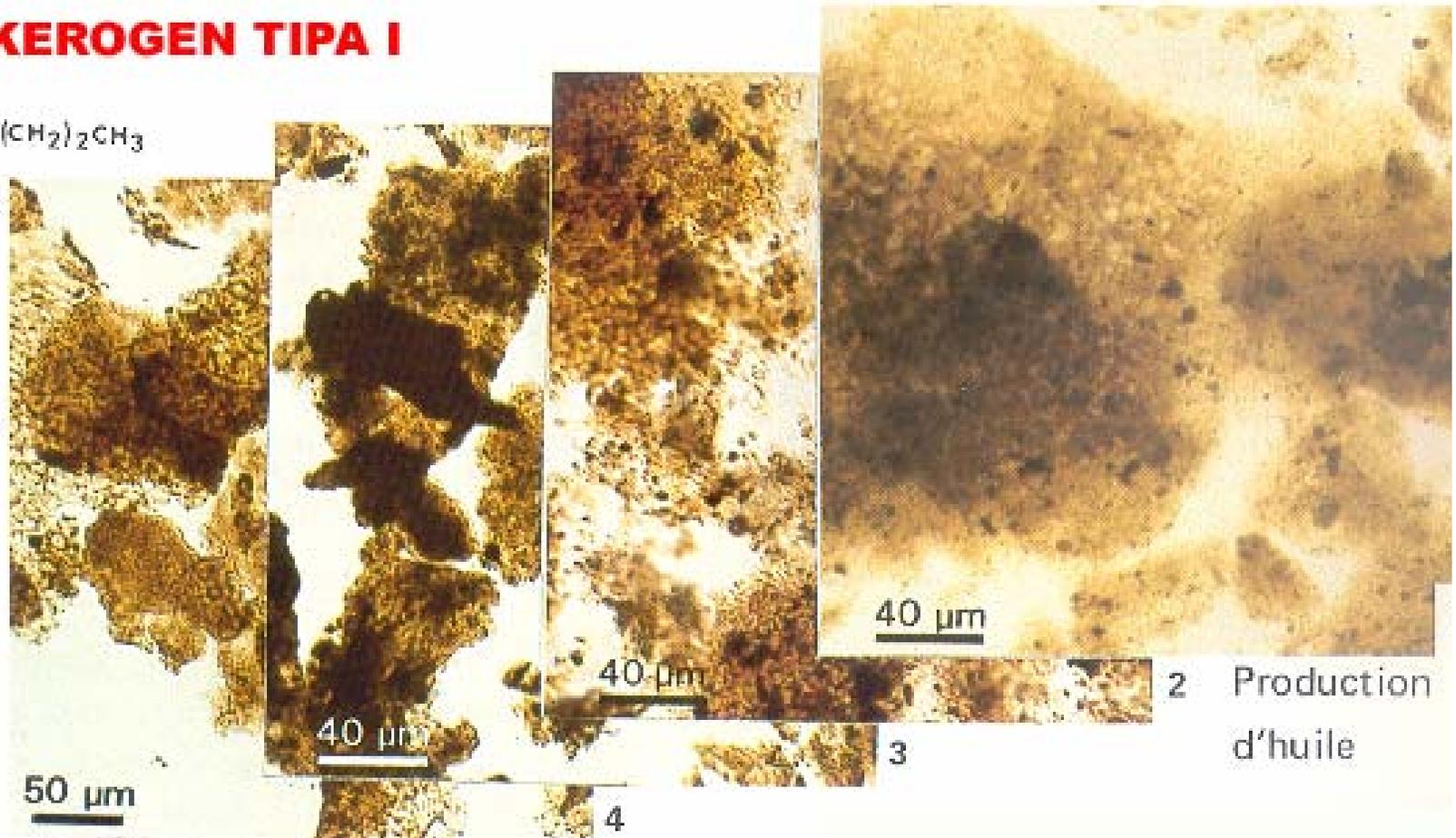
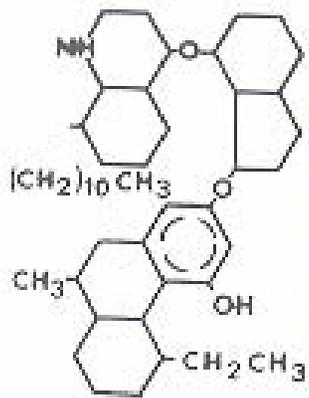
Pyrolytically
Generated
Petroleum
S₂
12.80

LOMPOC Quarry Sample
Monterey Formation, CA

JMA

Planktonski organizmi (niže biljke – alge i protozoe) bogati lipidima i proteinima. Jezerski i morski sedimenti. $H:C > 1,5$, puno azota, $O:C < 0.1$.

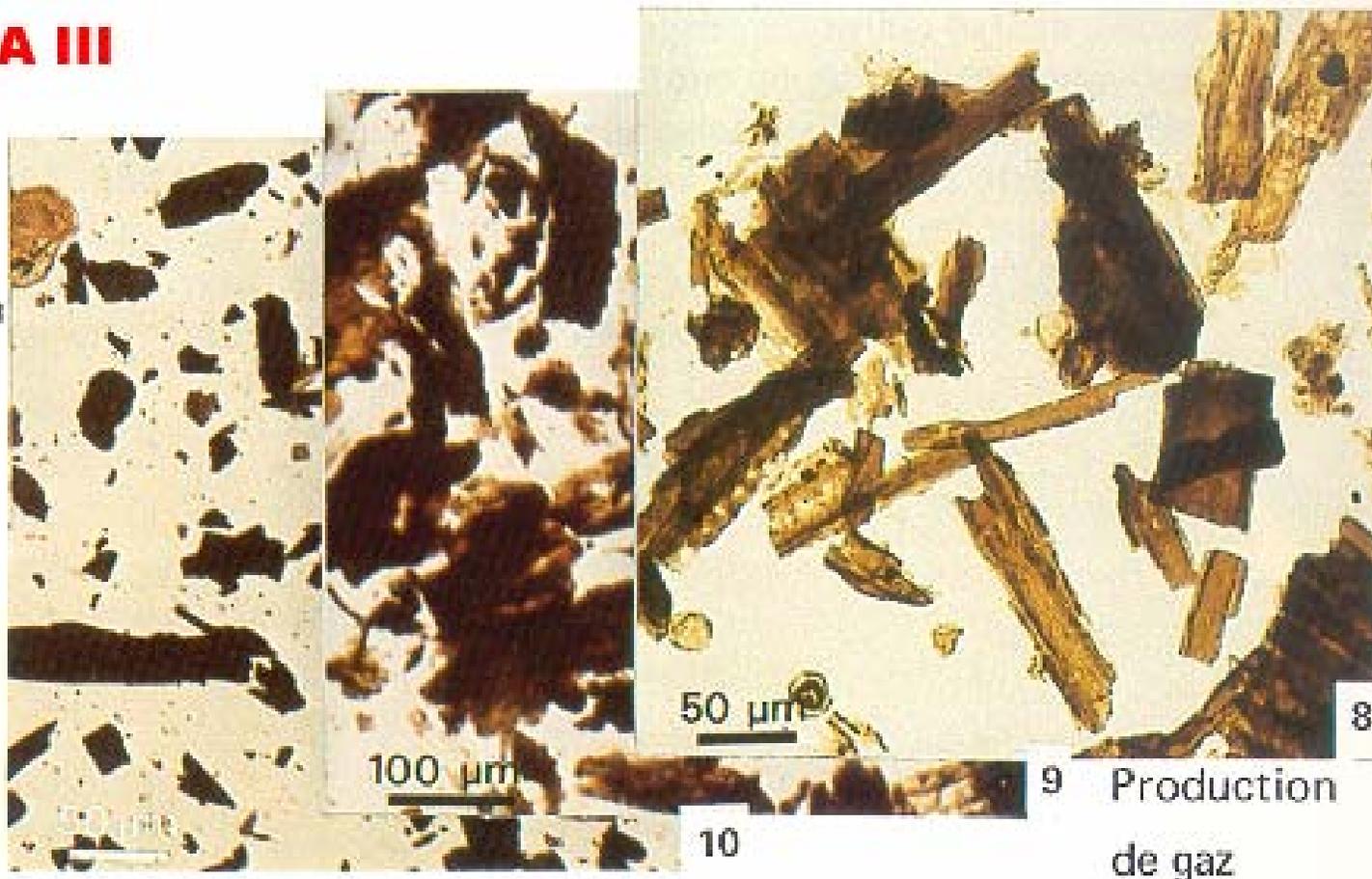
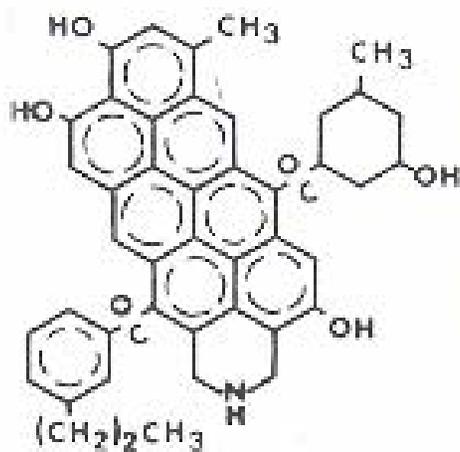
KEROGEN TIP A I



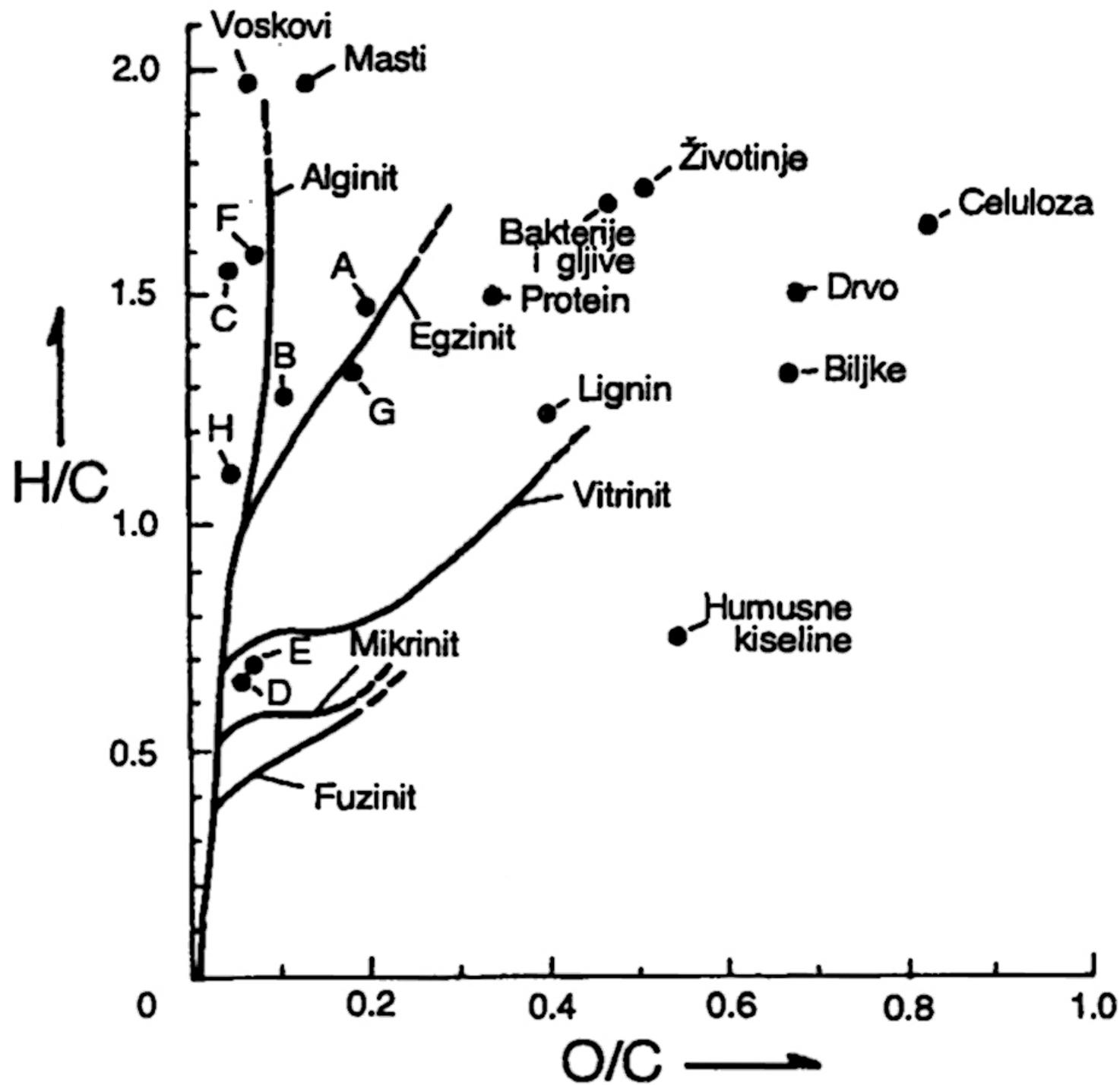
“Naftni kerogen” koji daje oko 90 % nafte i 10 % gasa.

Priobalska sedimentacija (delte, jezera, mora). Ligno-celulozni delovi **viših kopnenih biljaka**. Atomski H:C odnosi uglavnom manji od 1,0 a O:C 0,12 - 0,20.

KEROGEN TIPA III

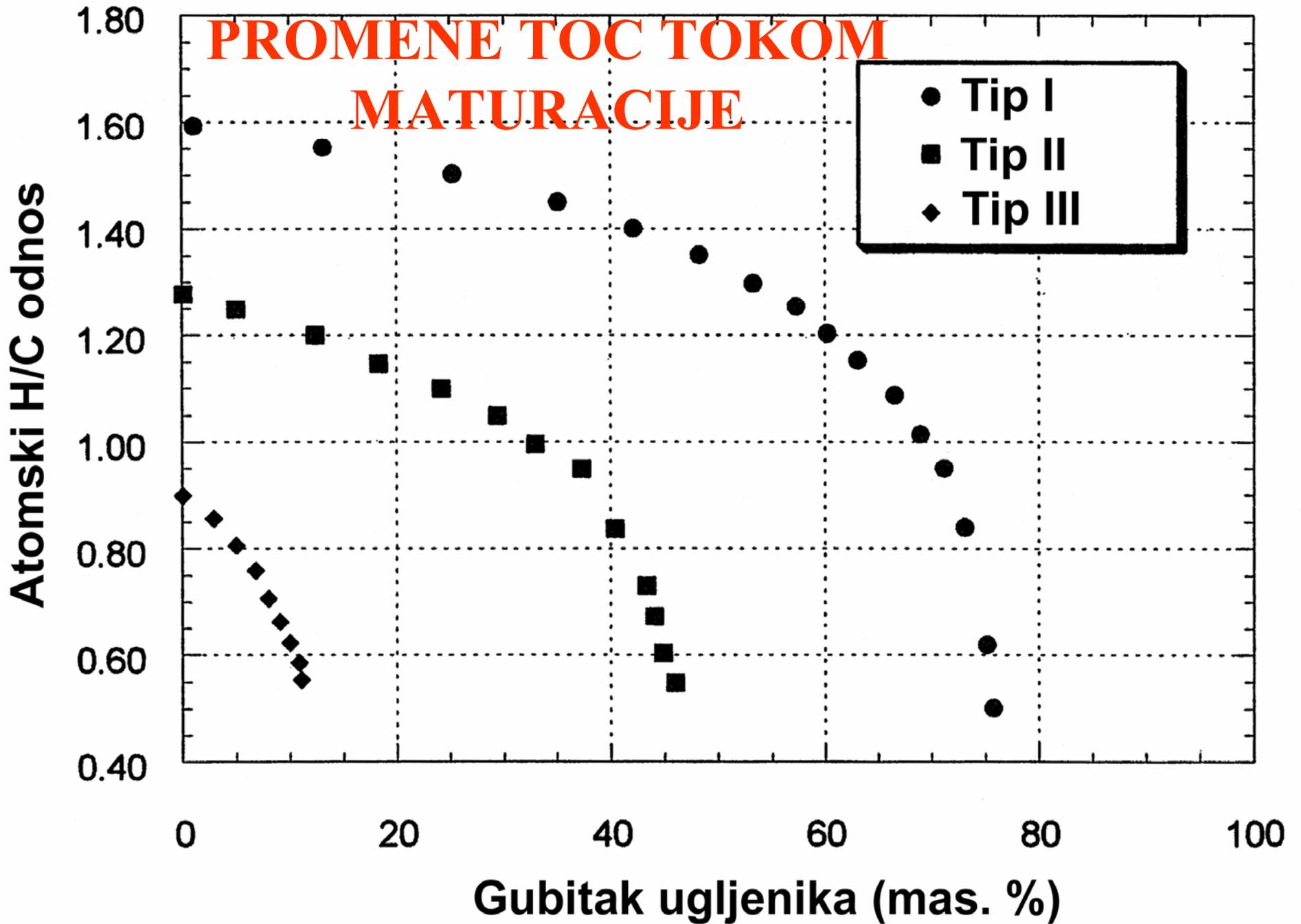


“Gasni tip” – uglavnom **produkuje gas**

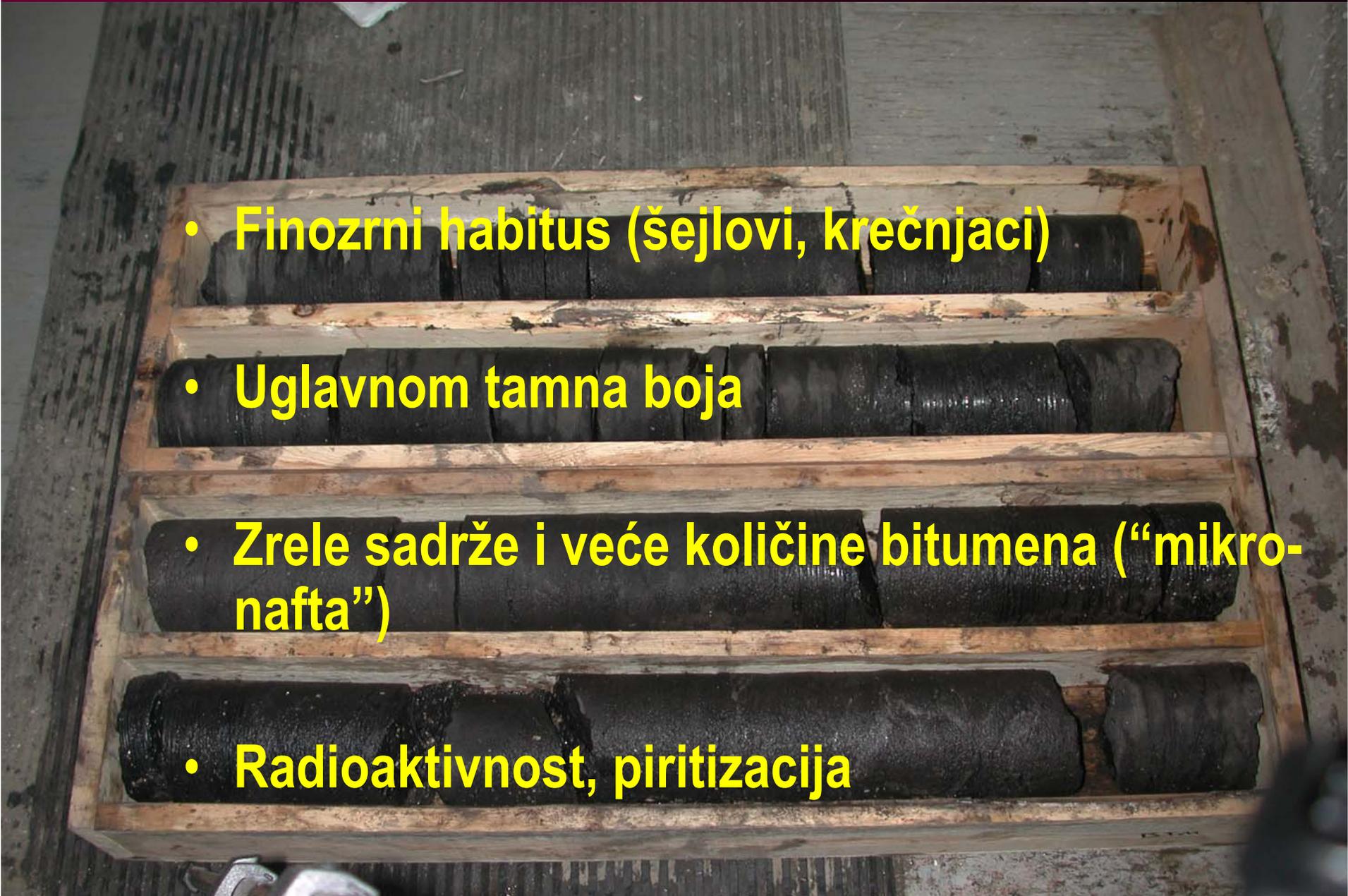


MATIČNE STENE ZA NAFTU I GAS

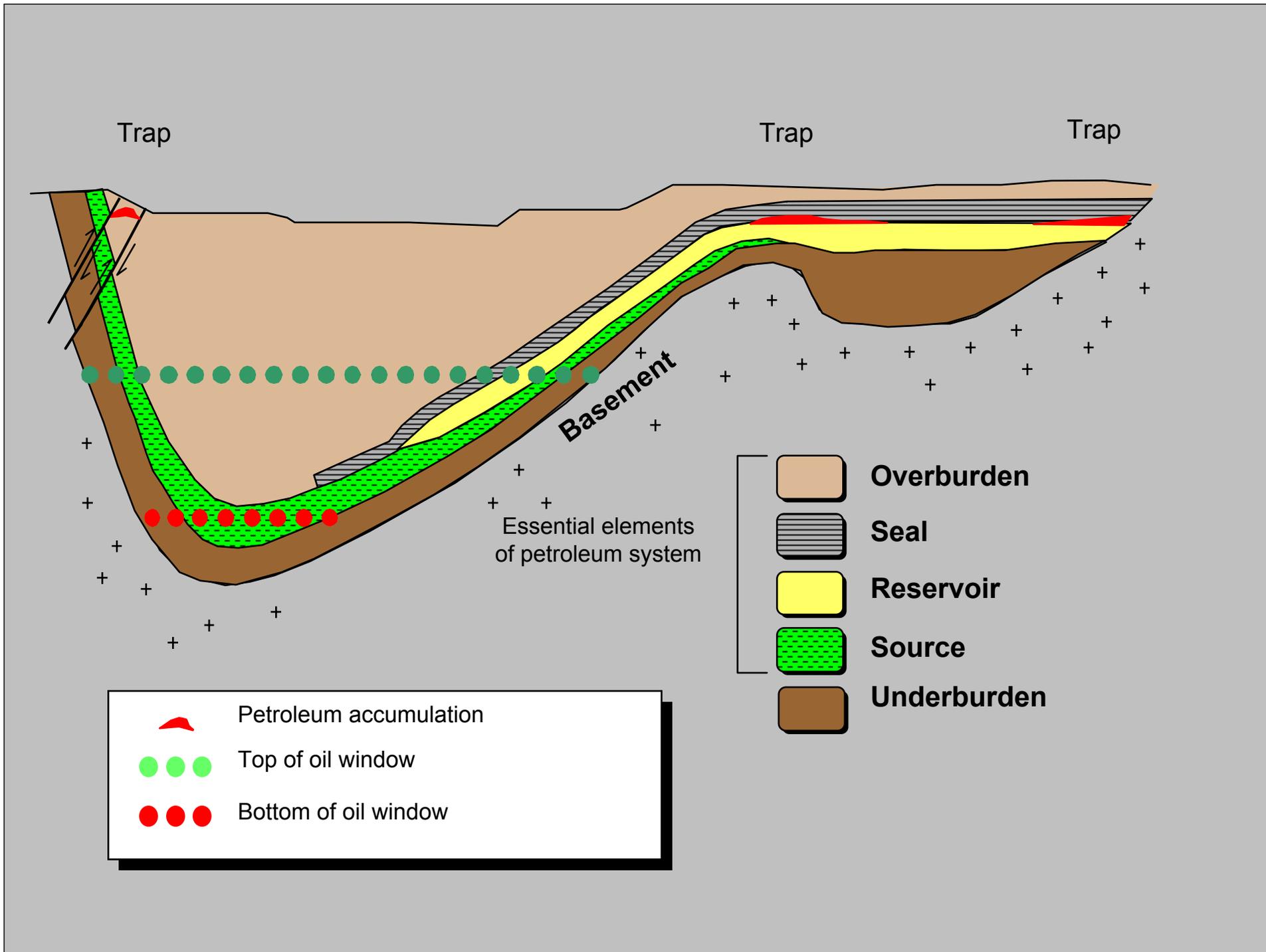
- Glinovito-laporoviti ili krečnjački sedimenti sa povišenim primarnim sadržajem organske supstance (TOC preko 0,5-1,0 mas. %) koji pod povoljnim termičkim uslovima (> 80-120 °C) generišu naftu i gas.



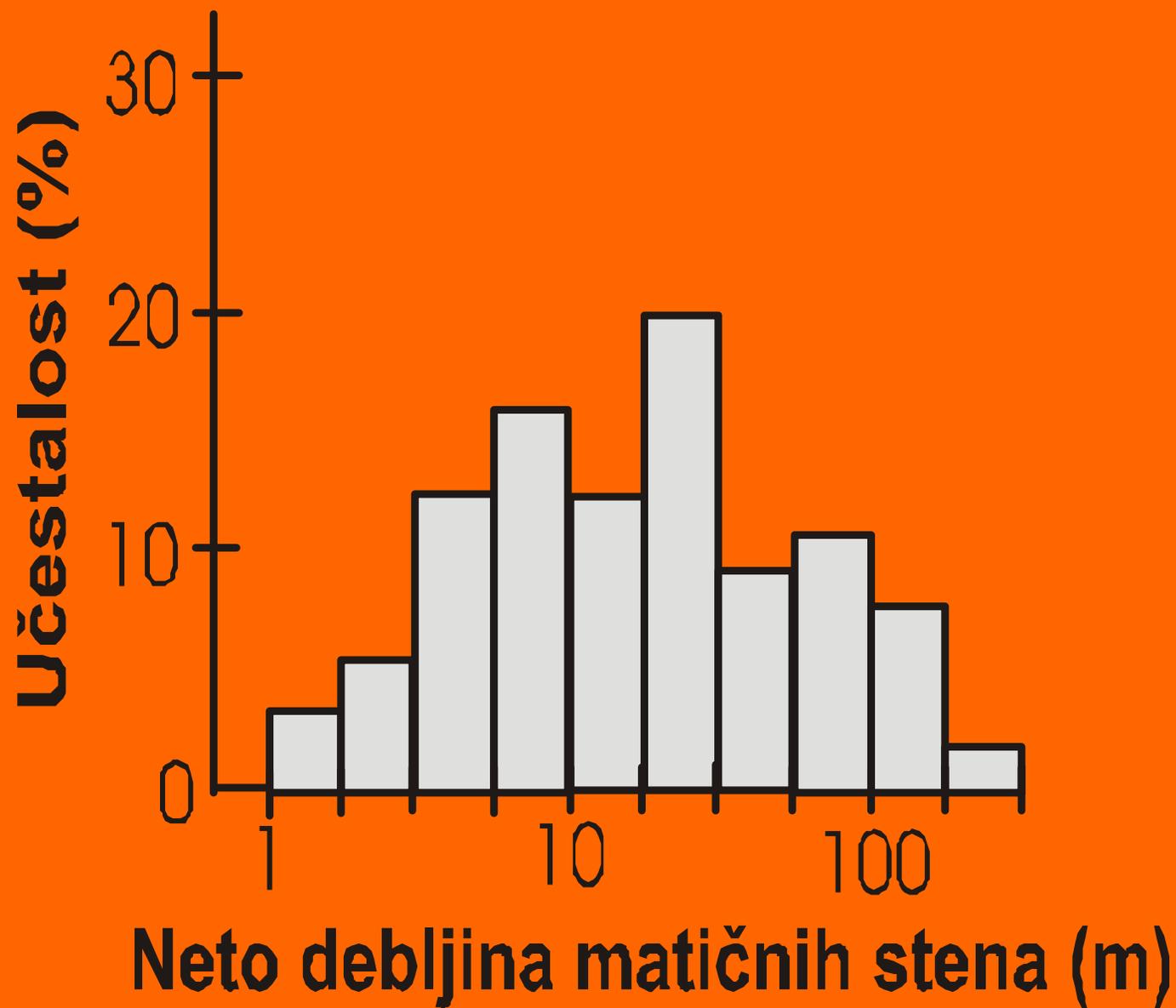
Karakteristike matičnih stena:

- Finozrni habitus (šejlovi, krečnjaci)
 - Uglavnom tamna boja
 - Zrele sadrže i veće količine bitumena ("mikro-nafta")
 - Radioaktivnost, piritizacija
- 

- Potencijalne matične stene: sedimenti sa povoljnim tipom i količinom kerogena koji mogu generisati naftu i/ili gas pri zadovoljavajućoj temperaturi i pritisku.
- Efektivne matične stene: matične stene koje se nalaze na stadijumu katageneze, tj. na stadijumu generisanja ugljovodonika.
- Prezrele matične stene: matične stene koje su prošle stadijum metageneze i zahvaćene su metamorfnim promenama.



Uobičajne debljine matičnih stena



KVALITET POTENCIJALNIH MATIČNIH STENA

- loš (ispod 0,5 mas.% TOC)
- srednji (0,5 - 1,0 mas.% TOC)
- dobar (1,0 - 2,0 mas.% TOC)
- odličan (preko 2,0 mas.% TOC)

Kvalitet MS je određen količinom, tipom i produktivnošću kerogena.

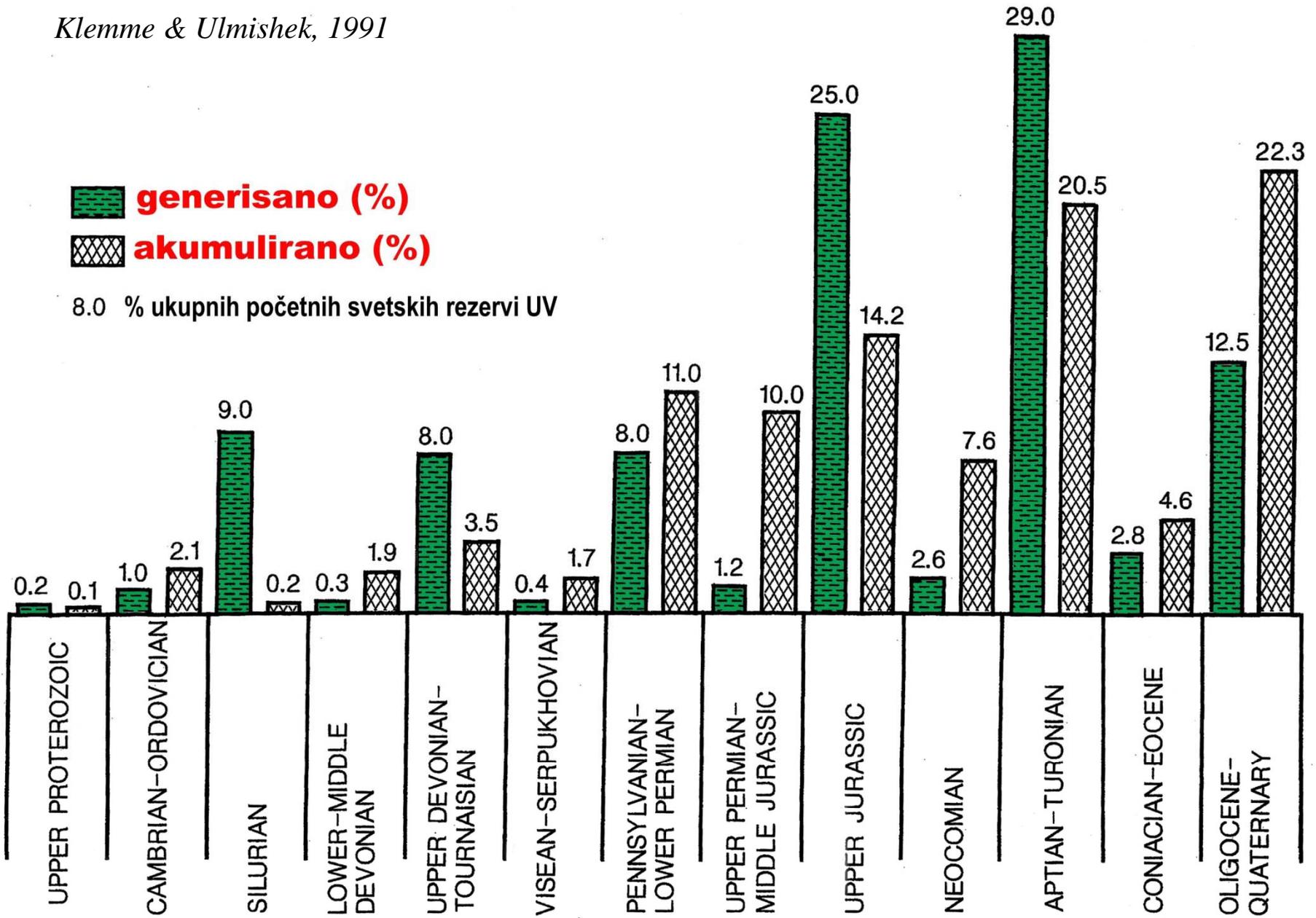
Kvalitetne MS se odlikuju velikim sadržajem **TOC**, kerogenom tipa **I** i **II**, a samo retko tipom **III**.

DISTRIBUCIJA MATIČNIH STENA U VREMENU I PROSTORU

Klemme & Ulmishek, 1991

generisano (%)
akumulirano (%)

8.0 % ukupnih početnih svetskih rezervi UV



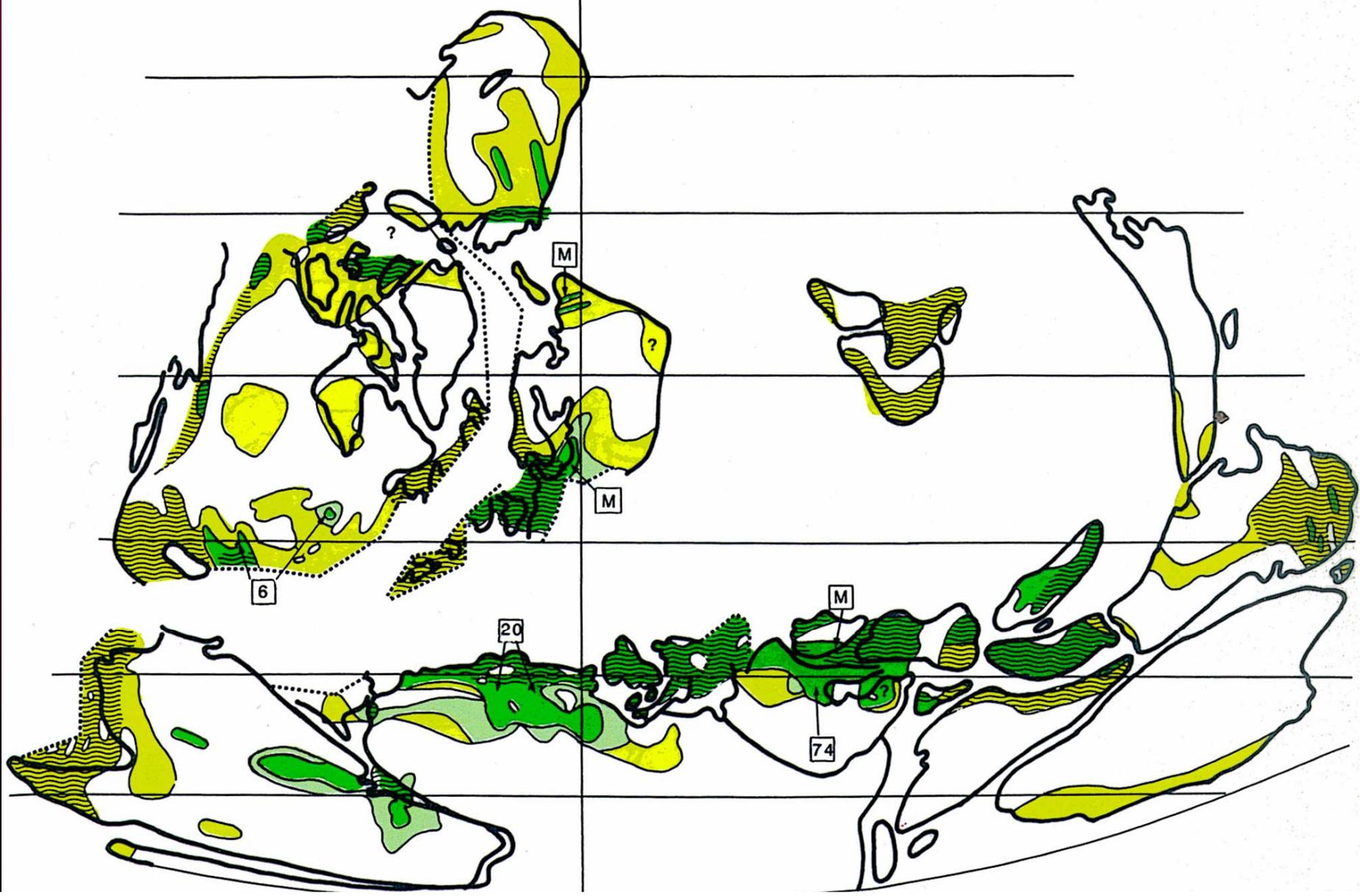
Globalna stratigrafska distribucija generisanih i akumuliranih ugljovodonika (8.0% ukupne početne rezerve)

SILUR

- **Okolo 75 % sedimenata marinskog porekla.**
- **Okolo 40 % sedimenata su MS, prvenstveno taložene na severnom obodu Gondvane.**
- **Skoro 2/3 metamorfisano i deformisane tokom Hercinske orogeneze (C-P).**
- **Graptolitski šejlovi sa kerogenom tipa II.**
- **Usled brzog prezrevanja uglavnom dale gas (85%)**
- **Persijski zaliv, Alžir, USA (Anadarko, Permski, Mičigenski basen).**

silur

Klemme & Ulmishek, 1991



LEGENDA:



Source rock with dominant kerogen types I and II, mature and overmature



Source rock with dominant kerogen types I and II, immature



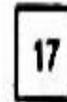
Source rock with dominant kerogen type III and coal, mature and overmature



Source rock with dominant kerogen type III and coal, immature



Nonsource rock



Petroleum reserves generated by a source rock, percent of the total petroleum reserves generated by source rocks of a stratigraphic interval

M

Minor petroleum reserves (less than 1%)



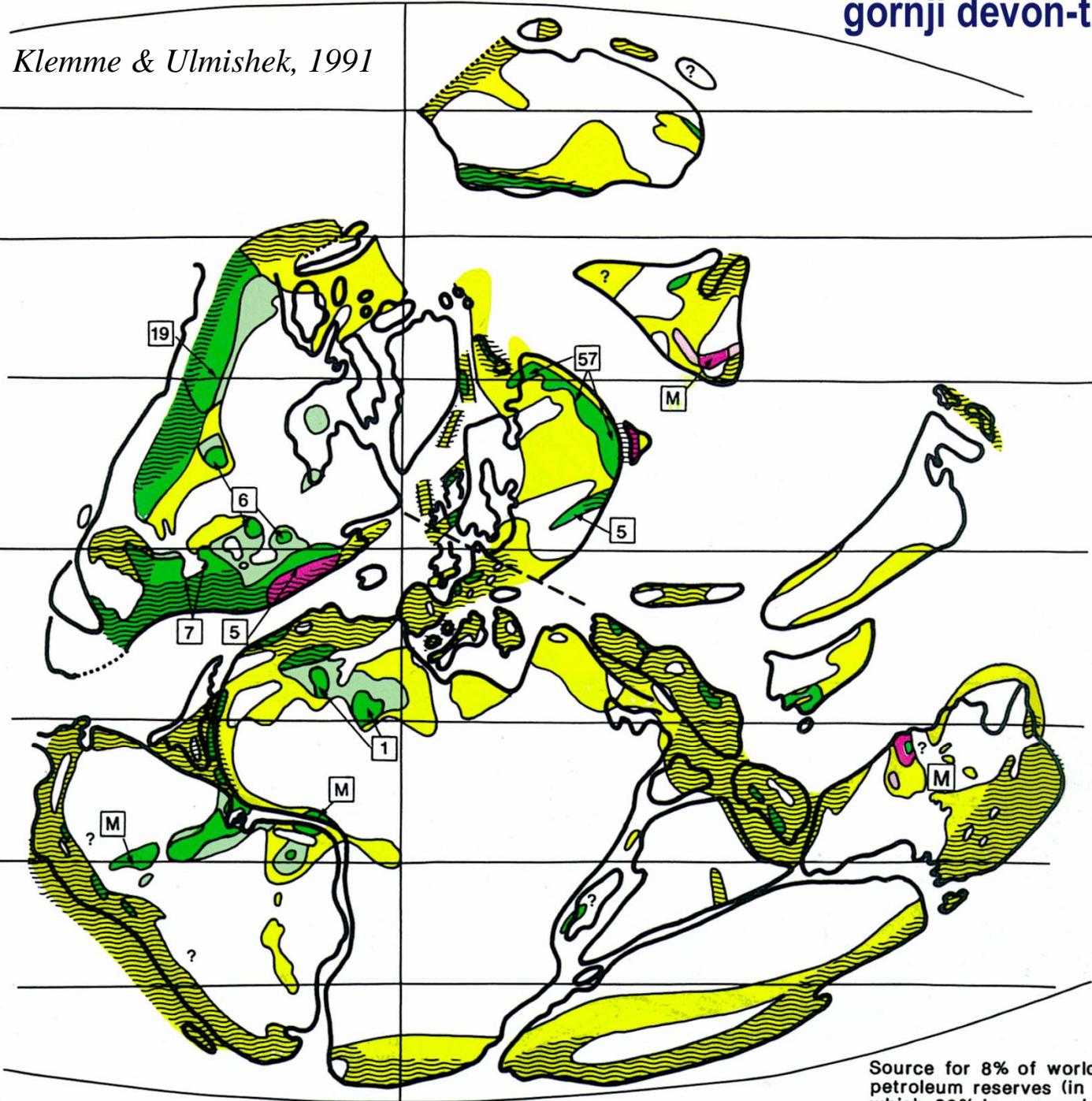
Deformed and metamorphosed rocks

GORNJI DEVON-TURNEJ

- Preko 50 % marinskih sedimenata, a oko 20 % su MS. Metamorfisana 1/3.
- Većina taložena na Severno-američkoj i Ruskoj platformi
- Glinci, laporci i krečnjaci bogati OM, facija “crnih šejlova”, dominacija kerogena tipa II
- Glavni baseni sa UV ovog porekla: Ural-Volga, Alberta (Kanada), Anadarko, Permski, Dnjeparsko-Donski

gornji devon-turnej

Klemme & Ulmishek, 1991



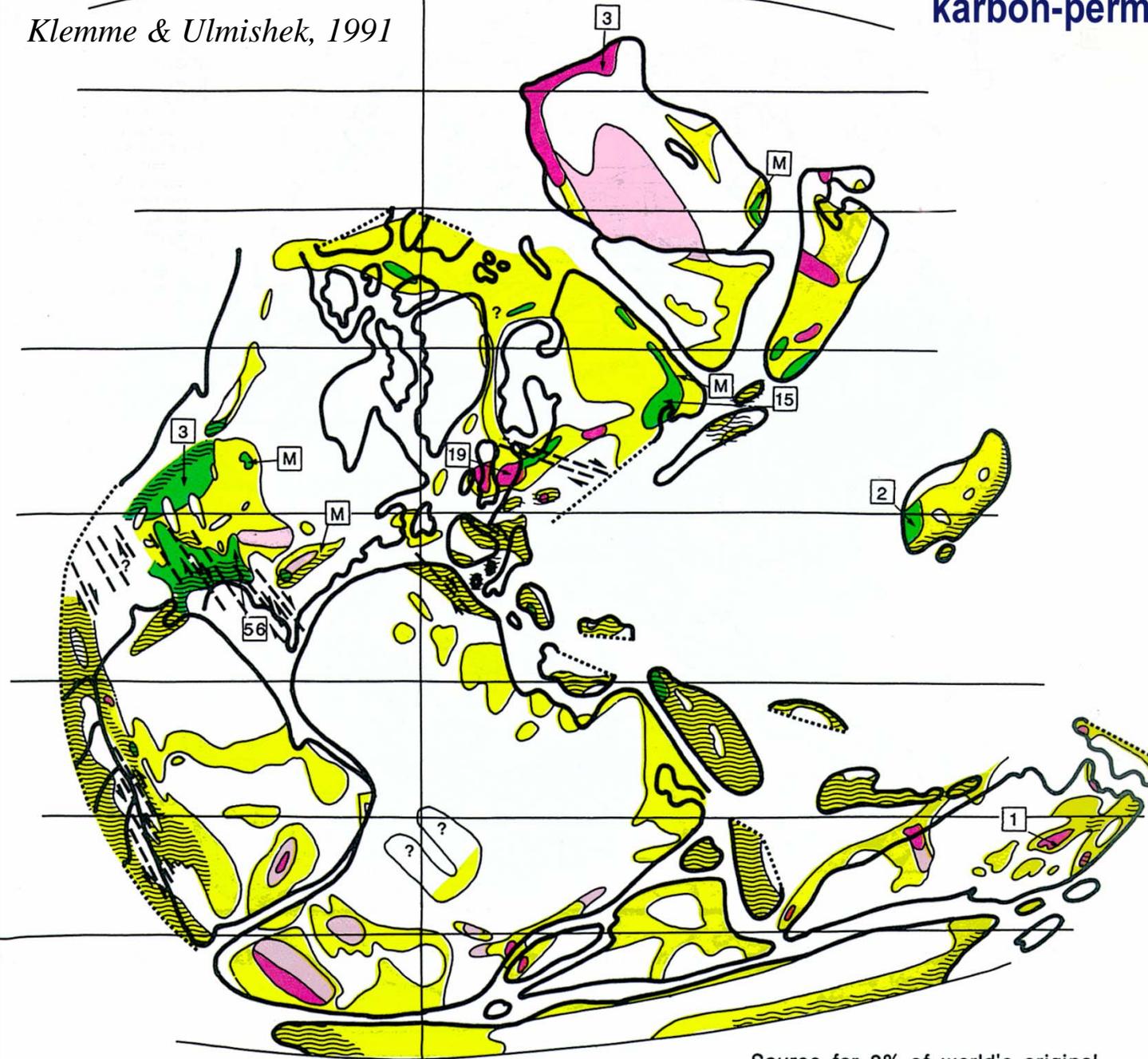
Source for 8% of world's original petroleum reserves (in BOE) of which 20% is gas and 80% is oil

GORNJI KARBON – DONJI PERM

- Izražena regresija mora, sve sredine podjednako zastupljene.
- Platforme više nisu dominantne već riftni i foredeep baseni.
- Kerogen tipa III postaje značajan u genezi UV, a zastupljen sa preko 50 % (ne i zreo svuda). Generisao preko 20 % UV – samo gas. Kerogen tipa II takođe generisao više gasa, što je uzrokovalo dominaciju gasa (2/3). Osim toga, intenzivno evaporitsko razviće u permu zaslužno je za akumulaciju oko 60 % rezervi ovog porekla (ZS).
- Glavni baseni sa UV ovog porekla: Anadarko, Permski, Severnog mora, Kaspijsko jezero.

Klemme & Ulmishek, 1991

karbon-perm

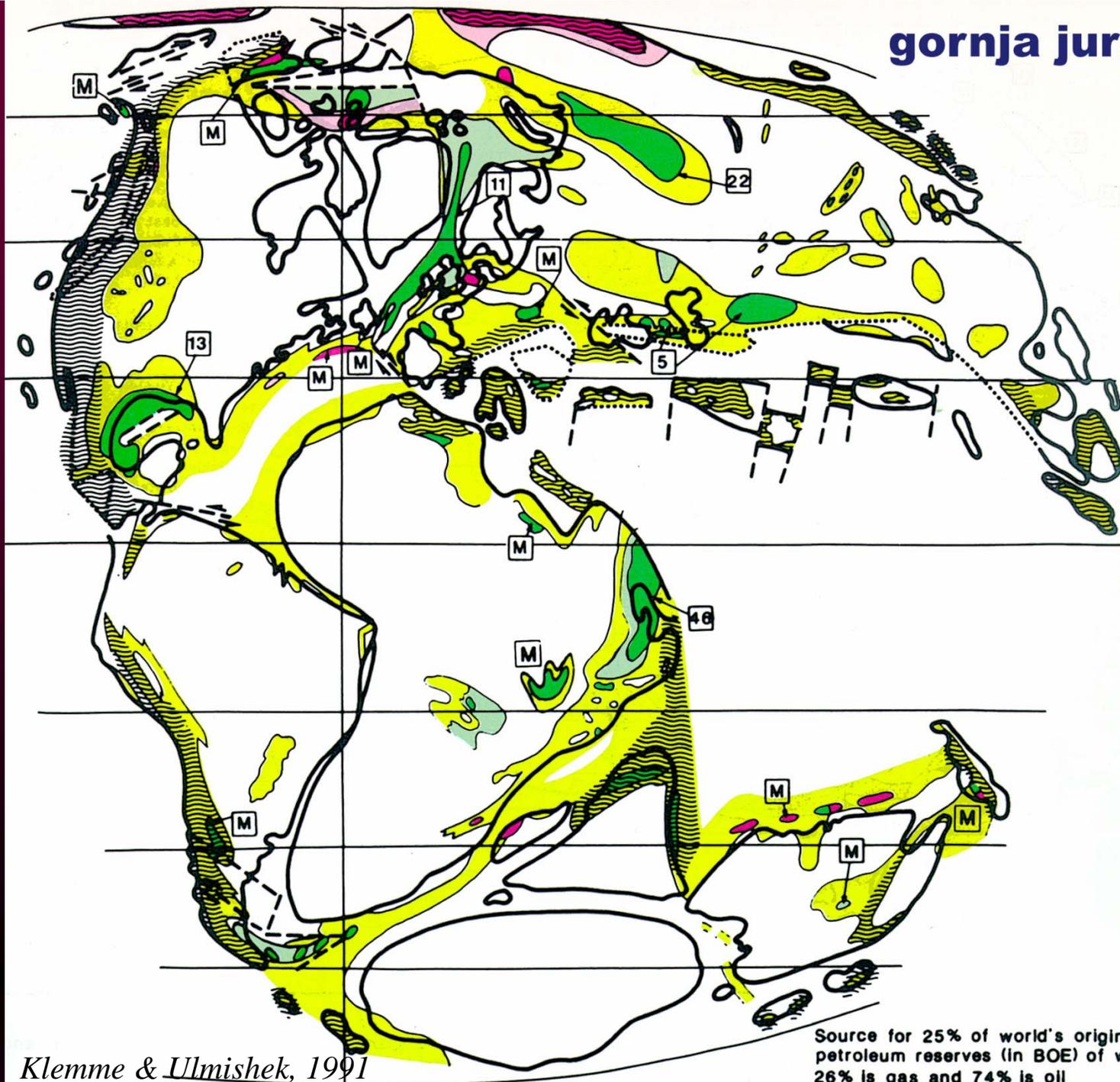


Source for 8% of world's original petroleum reserves (in BOE) of which 65% is gas and 35% is oil

GORNJA JURA

- Velika transgresija, 2/3 marinskih sedimenata.
- MS oko 27 %, taložene u dubokovodnim uslovima, na svim geogr. širinima.
- Preko $\frac{3}{4}$ su matične stene s kerogenom tipa II, a tip III uglavnom samo na severnom polu i većim geogr. širinima. Njihovo odsustvo u ekvator. Području verovatno posledica aridne klime, a na koju ukazuje i razviće evaporita (Sr. Istok, Rocky Mnts., Alpi).
- Persijski zaliv, Zapadno Sibirski, Meksički zaliv, Severno more.

gornja jura



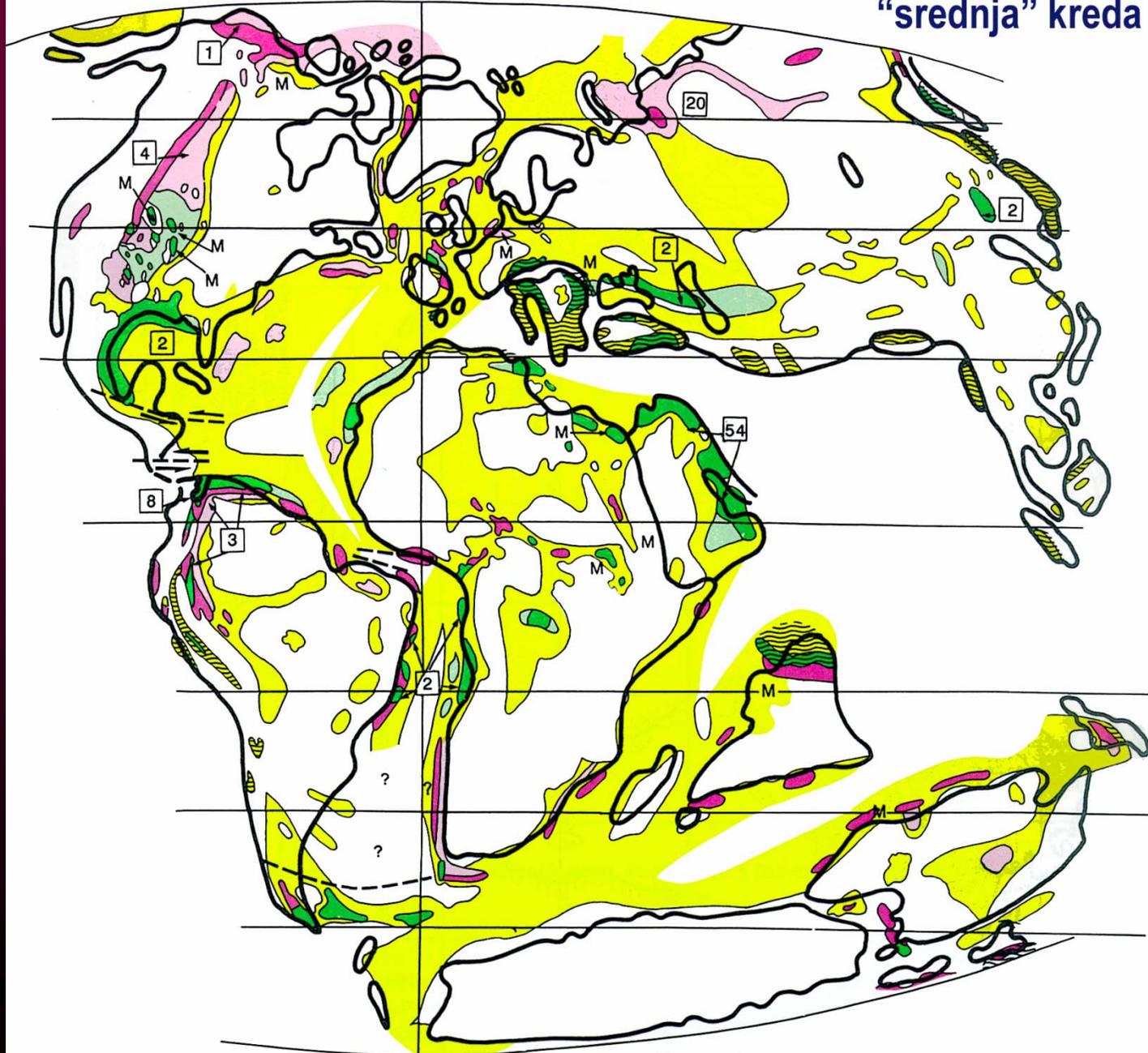
Klemme & Ulmishek, 1991

Source for 25% of world's original petroleum reserves (in BOE) of which 26% is gas and 74% is oil

“SREDNJA” KREDA

- Najznačajniji period. Velika transgresija koja kulminira u tuironu, sa dubokim prodorom mora na kontinente. Dominiraju marinske i prelazne sredine.
- MS na 27 % ovako velike površine sedimentacije.
- Osim kerogena tipa I (Kina) i II (Tetis), tip III zastupljen sa preko 50%, posebno na većim geogr. širinama (Zap. Sibirski i Alberta).
- Glavni baseni sa kerogenom tipa II: Persijski zaliv, Marakaibo, Orinoko, Meksički zaliv

“srednja” kreda



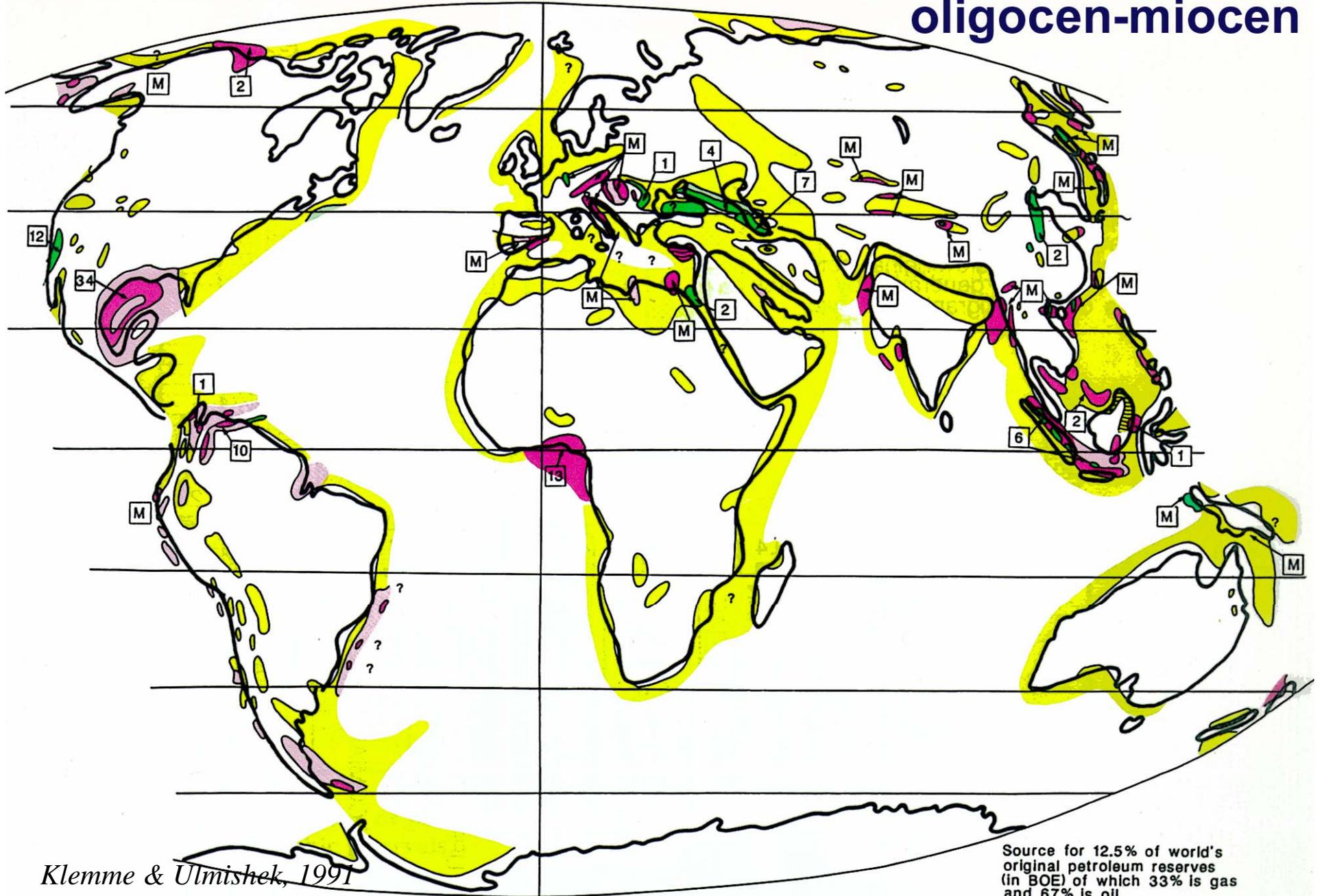
Klemme & Ulmishek, 1991

Source for 29% of world's original petroleum reserves (in BOE) of which 35% is gas and 65% is oil

OLIGOCEN-MIOCEN

- **Period regresije sa malom depozicionom površinom. Marinski sedimenti uglavnom samo na uskim šelfovima i u obodnim morima.**
- **Dominiraju MS sa kerogenom tipa III (84%) obrazovane u deltnim basenima. Tip I u riftnim basenima istočne Kine i izalučnim basenima Indonezije; tip II u nekim foredeep basenima i riftovima na kontinentalnim obodima.**
- **Velika disperzija rezervi u većem broju basena.**
- **Glavni baseni: Misisipi delta i Niger delta**

oligocen-miocen



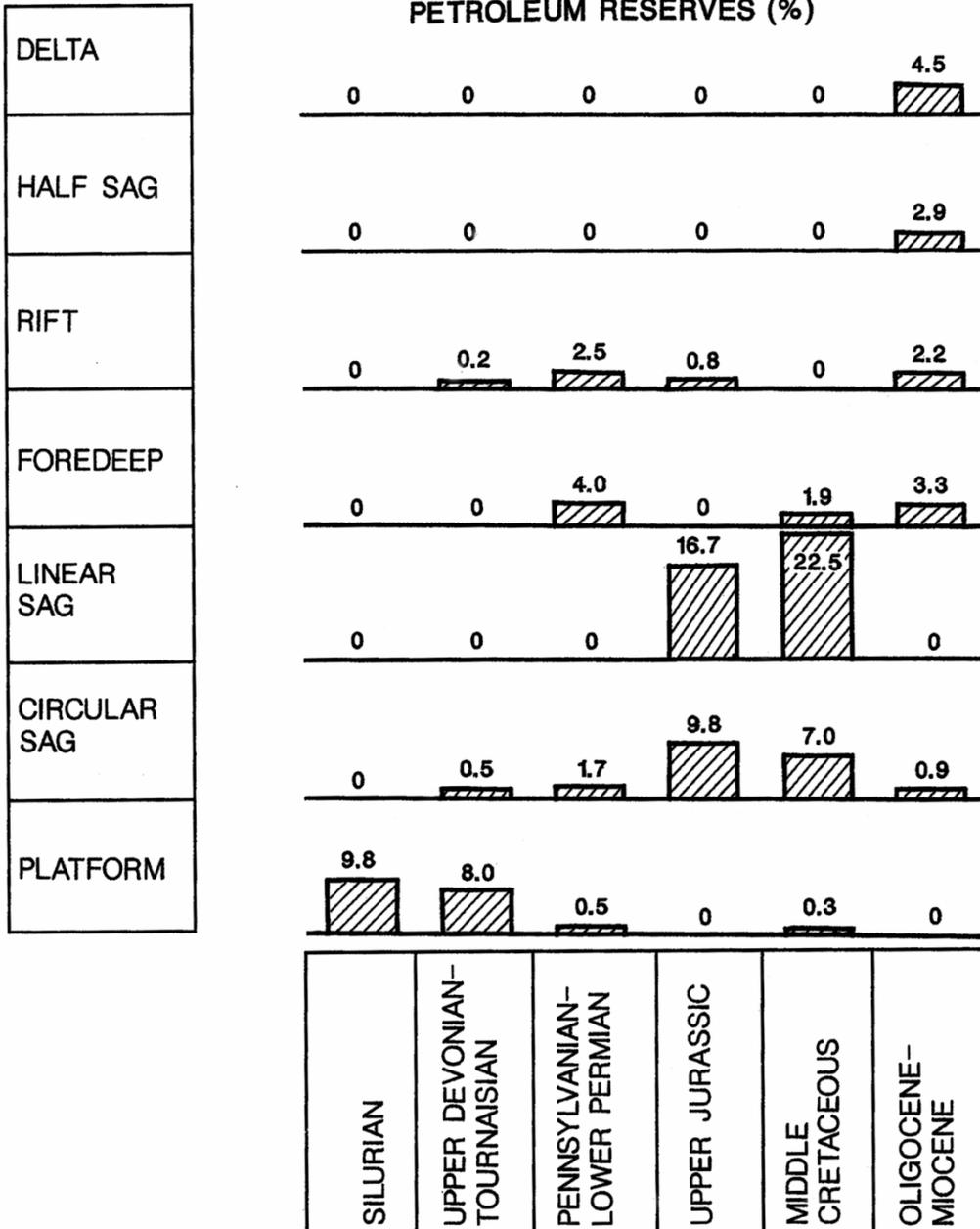
Klemme & Ulmishek, 1991

Source for 12.5% of world's original petroleum reserves (in BOE) of which 33% is gas and 67% is oil

STRUCTURAL FORMS

Klemme & Ulmishek, 1991

PETROLEUM RESERVES (%)

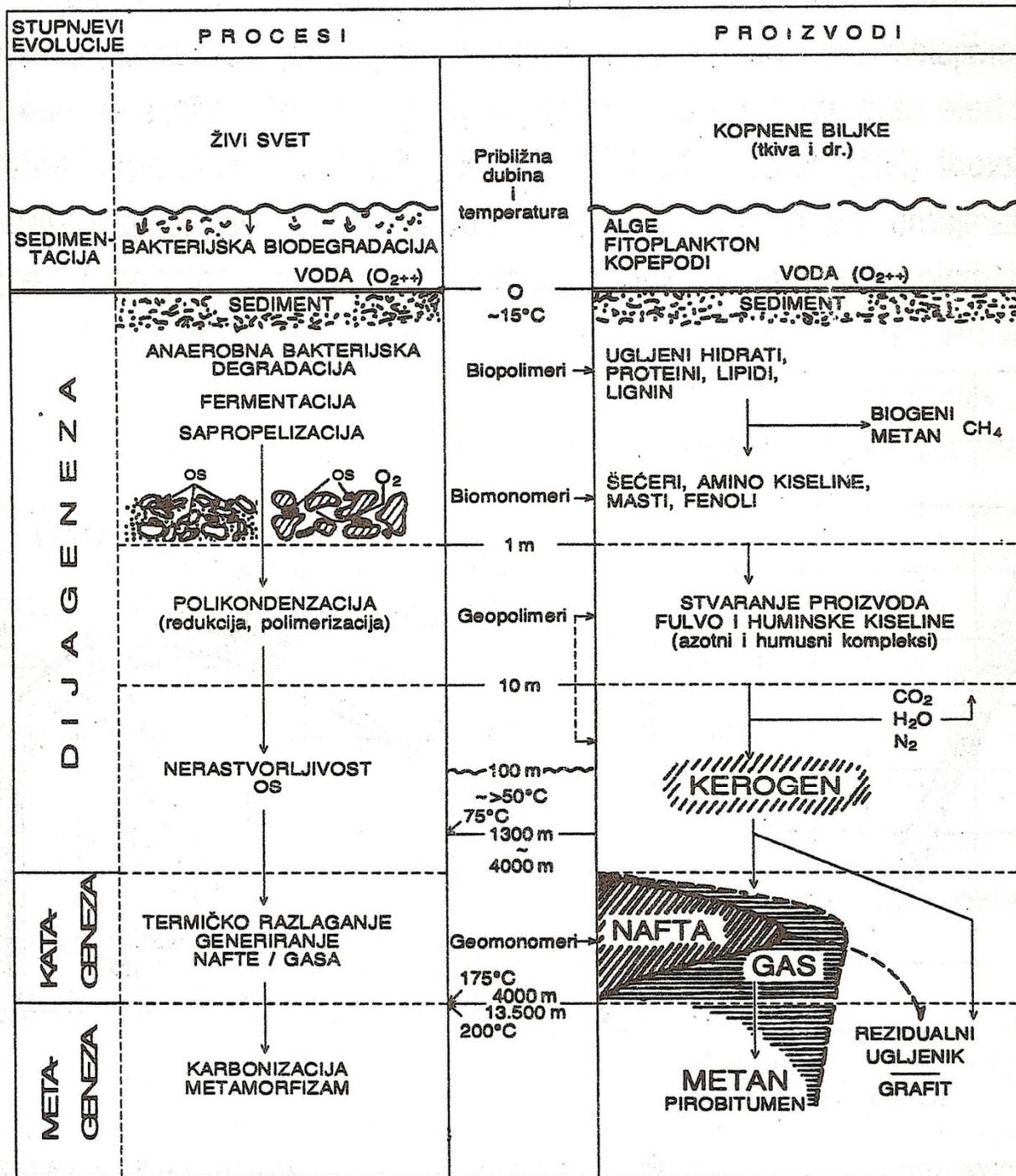


Distribucija rezervi prema tipovima basena

6. GENERISANJE NAFTE I GASA

- Proces transformacije kerogena matičnih stena u tečne i gasovite ugljovodonike usled porasta temperature u odgovarajućem vremenskom periodu.
- Rezultat je velikog broja hemijskih reakcija koje se odvijaju po osnovnim načelima hemijske kinetike u stadijumu katageneze i metageneze organske supstance.

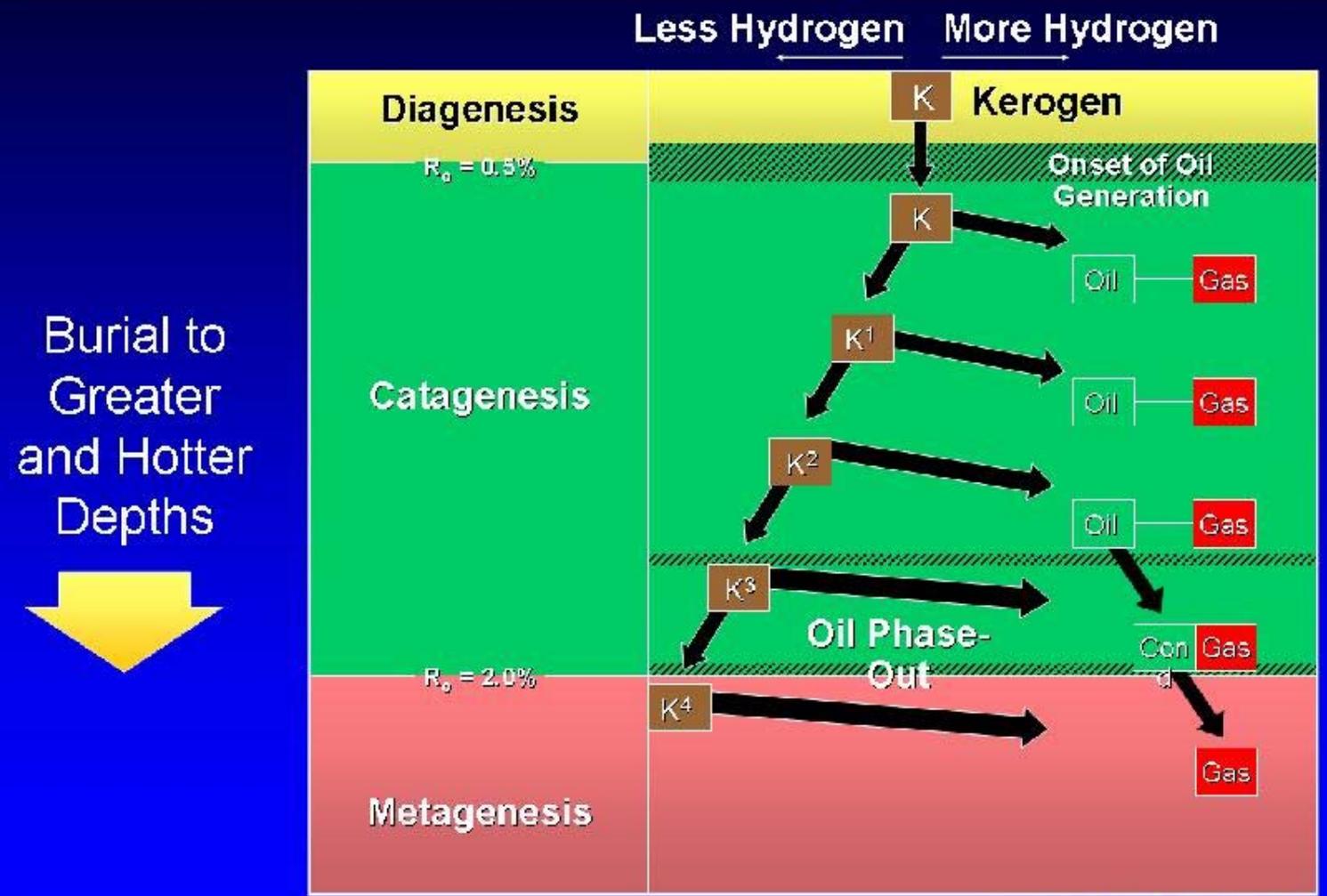
DIJAGENEZA, KATEGENEZA, METAGENEZA



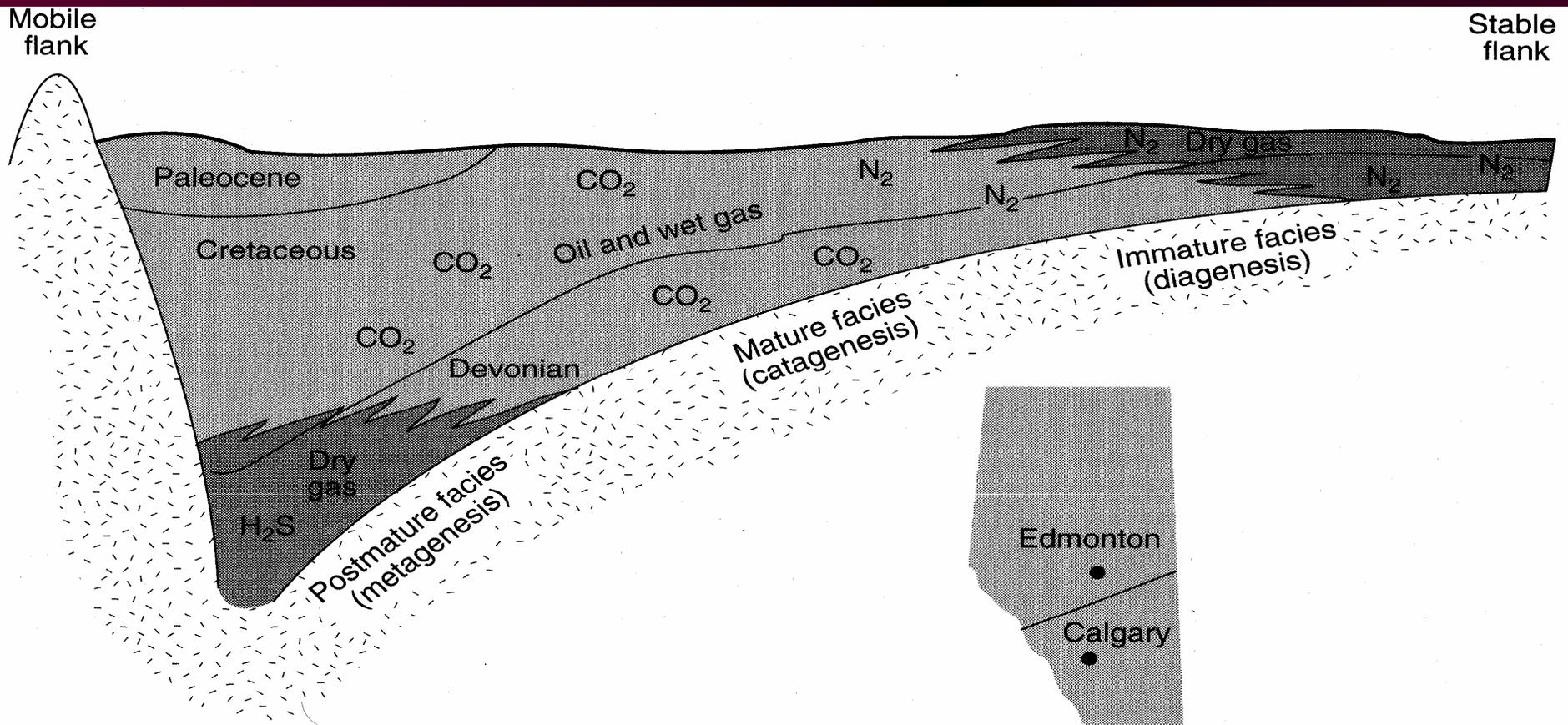
U dijagenezi (do 60-100°C) nastaje kerogen (kasna dijageneza), a od UV se stvara samo bakterijski metan ("dijagenetski metan"). On nastaje pre kerogena - u ranoj dijagenezi pod dejstvom anaerobnih bakterija. U malim količinama stvaraju se C₂-C₁₄.

Mikrobiološko i hemijsko razlaganje OS.

Thermal Maturation History



- U katagenezi (najčešće od 100-120 do 160 °C) termičkom transformacijom kerogena nastaju svi ugljovodonici - C₁-C₄₀. Prvo nastaju teške frakcije nafte, a potom lakše i termogenetski gas. Zona stvaranja nafte - **NAFTNI PROZOR** (“oil window”) i deo “gasnog prozora”.
- U metagenezi se nastavlja “gasni prozor”, a do ~250°C se još stvara i opstaje samo metan.



Arenijusova jednačina hemijske kinetike:

$$k = A \exp^{- (E / RT)}$$

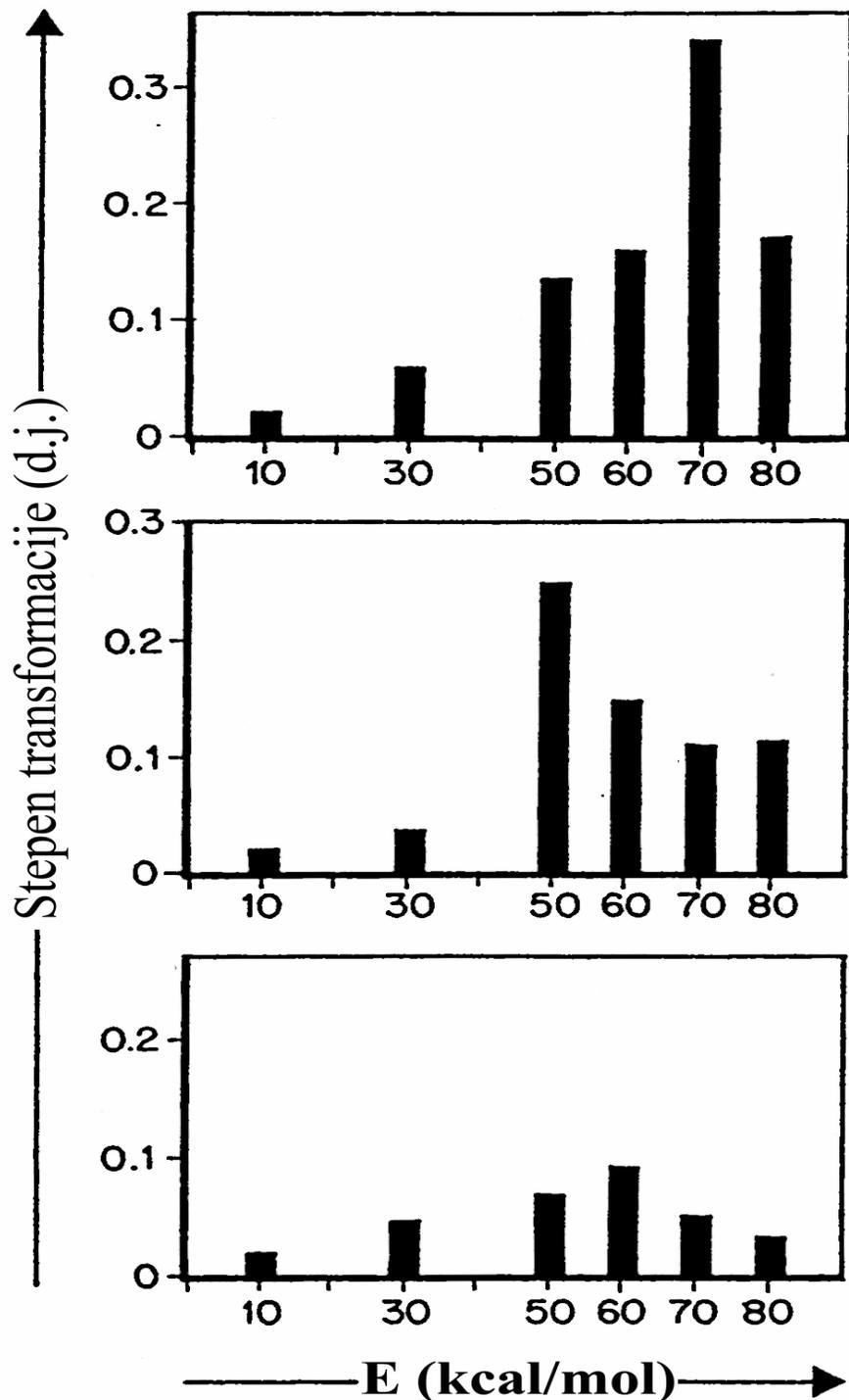
k – konstanta brzine reakcije (1/s)

A – Arenijusov frekventni faktor (1/s)

E – aktivaciona energija (kcal/mol)

R – gasna konstanta ($1,987 \times 10^{-3}$ kcal/mol/°K)

T – temperatura (°K)



Prvobitna
distribucija
aktivacionih
energija
transformacije tri
osnovna tipa
kerogena u
ugljovodonike

(Tissot & Espitalié, 1975).

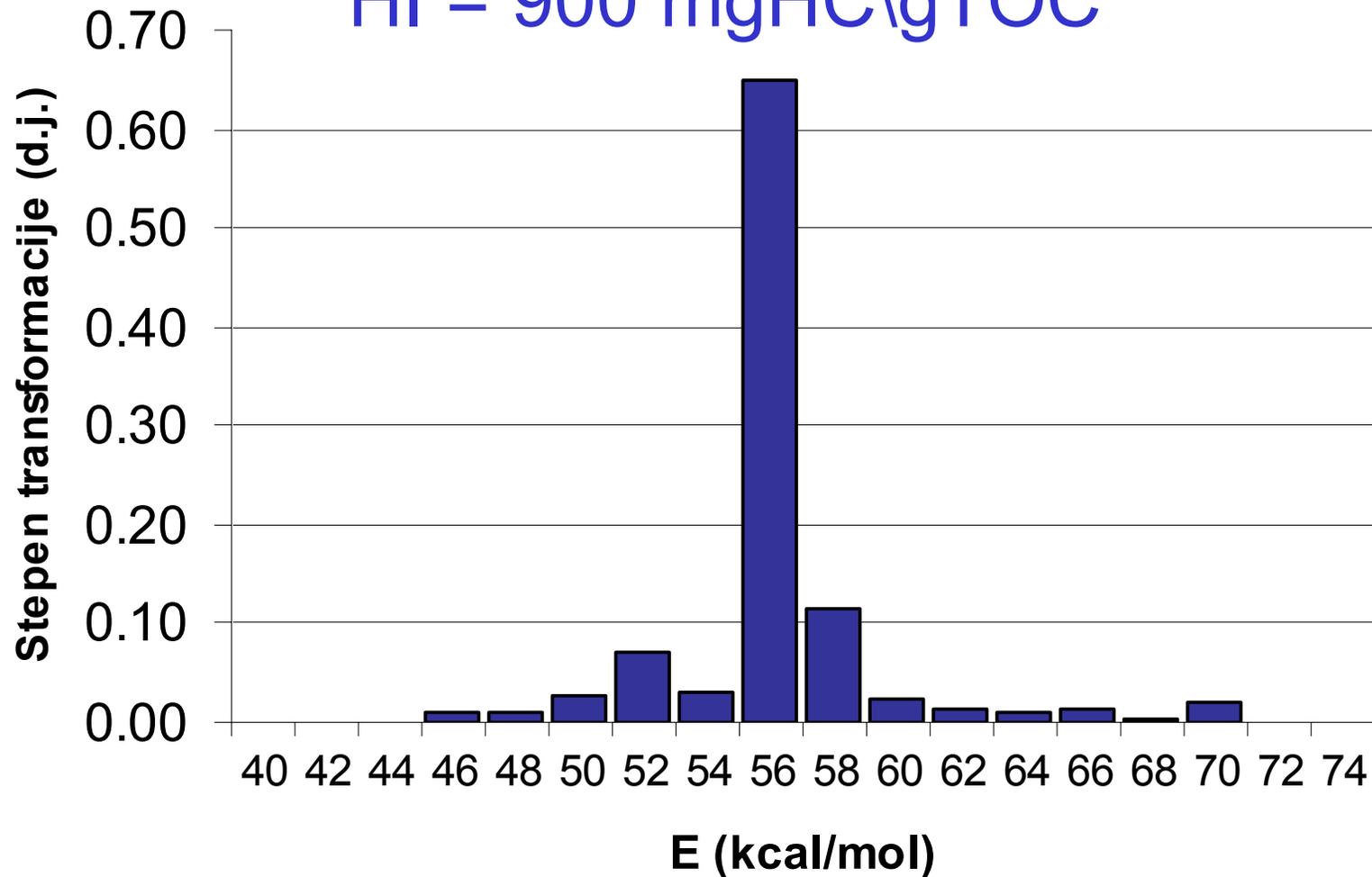
A

Eocen, SAD

Kerogen tipa I (Green River shale)

$$A = 2,7 \times 10^{16} / \text{min}$$

HI = 900 mgHC/gTOC



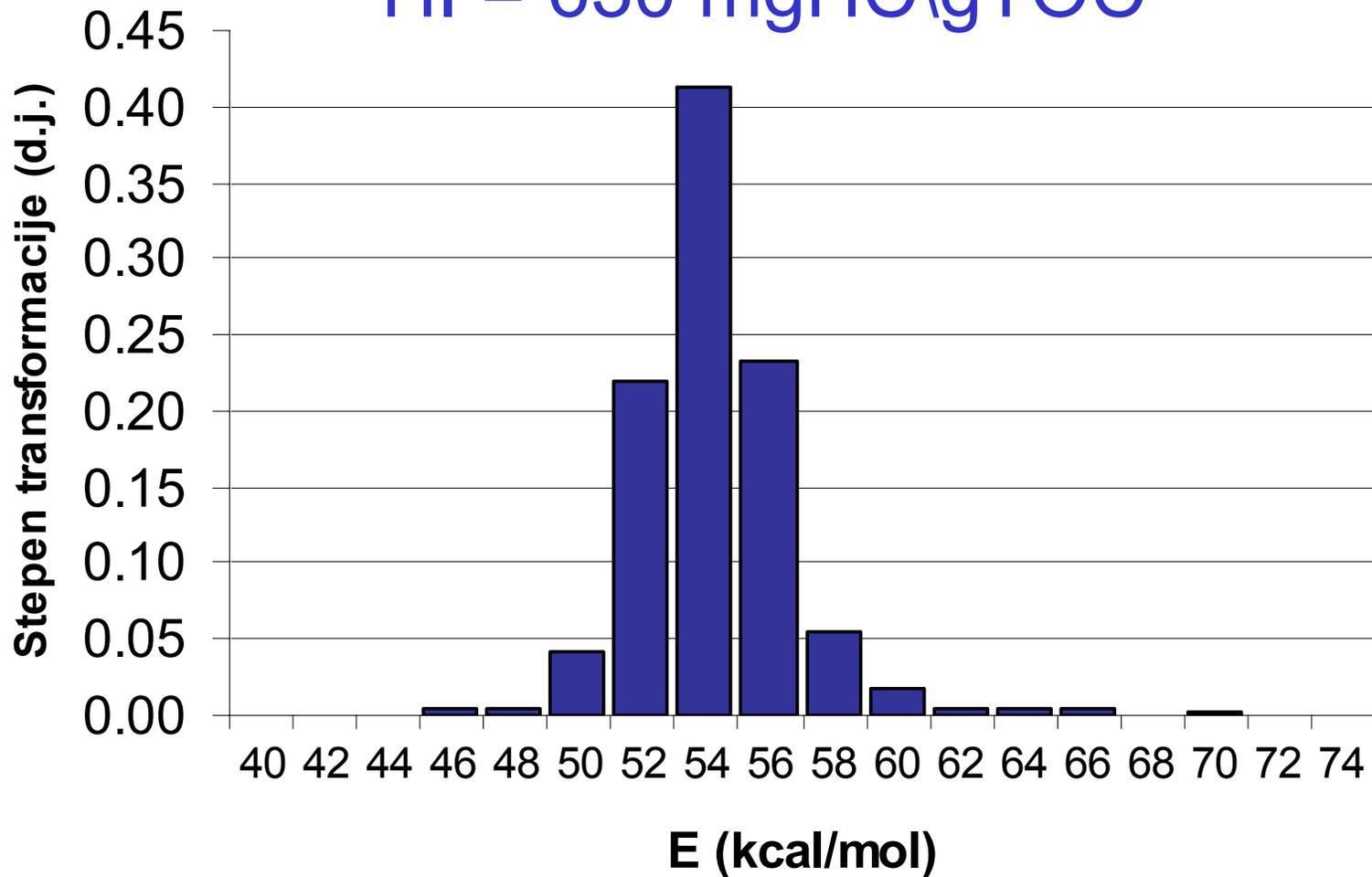
B

Donja jura, Evropa

Kerogen tipa II (Donjotoarski šejl)

$A = 1,1 \times 10^{16}/\text{min}$

HI = 630 mgHC/gTOC



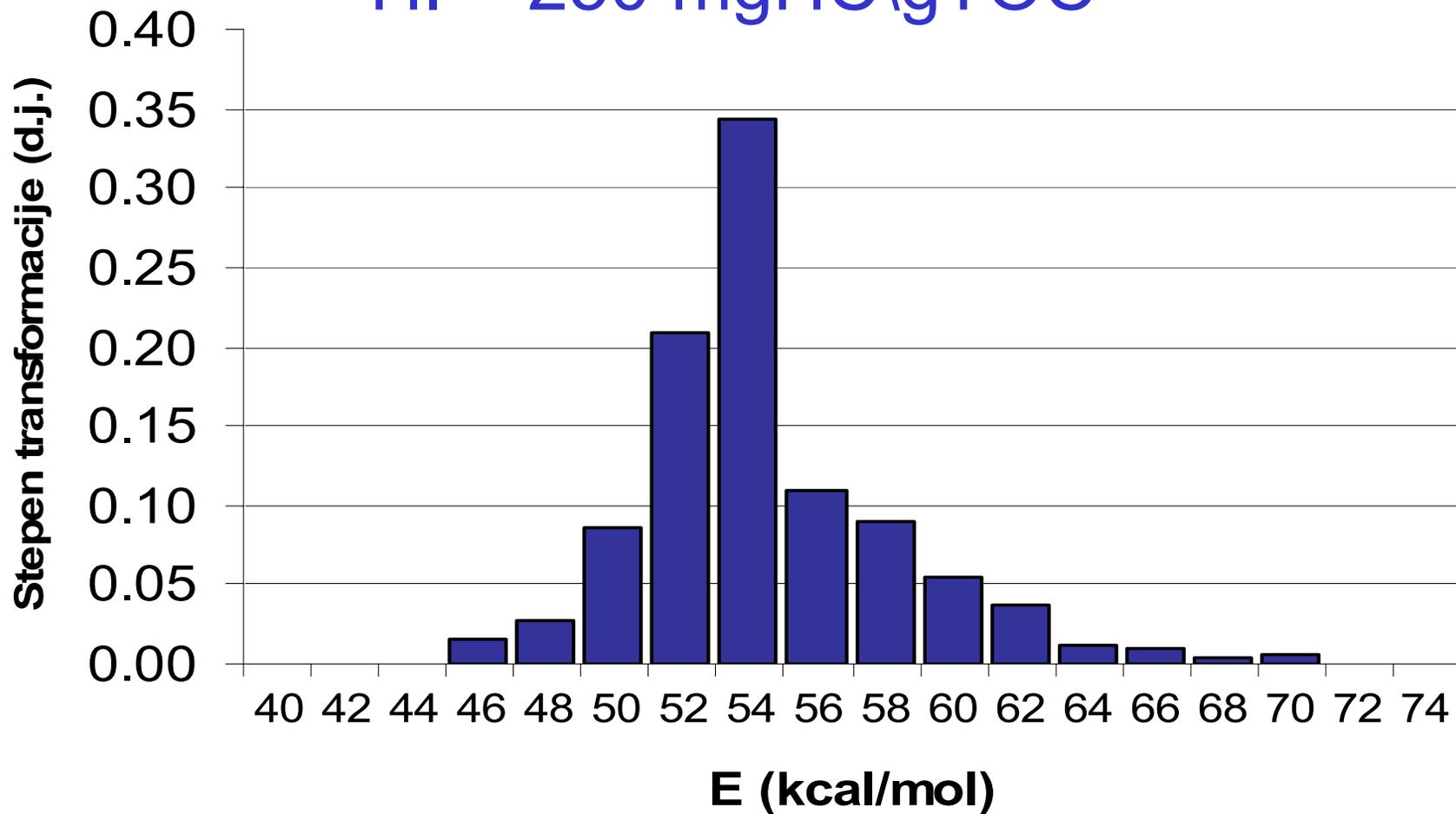
C

Miocen

Kerogen tipa III (Indonezijski ugalj)

$$A = 5,9 \times 10^{15} / \text{min}$$

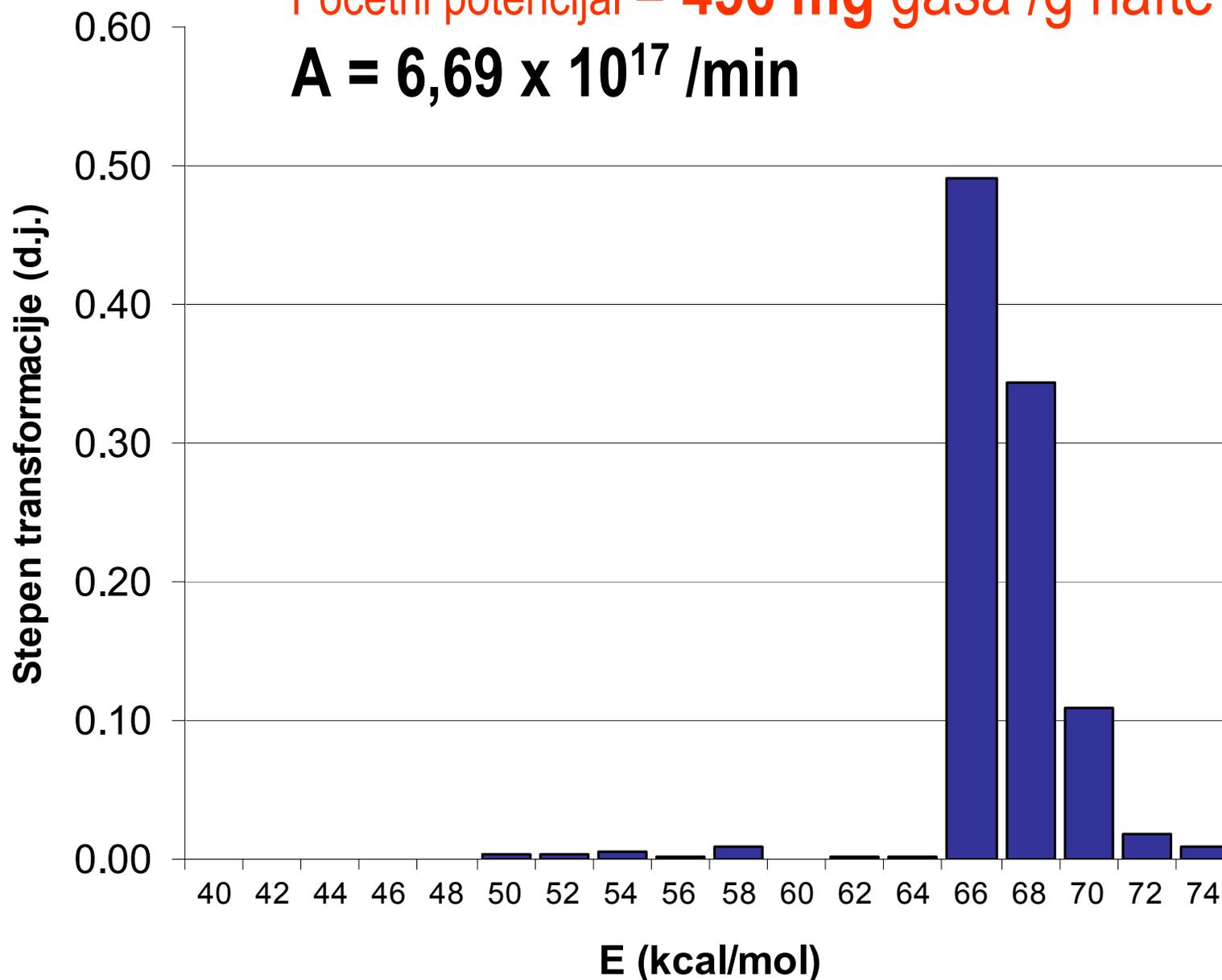
$$HI = 250 \text{ mgHC/gTOC}$$



Krekovanje nafte

Početni potencijal = **456 mg gasa /g nafte**

A = $6,69 \times 10^{17}$ /min

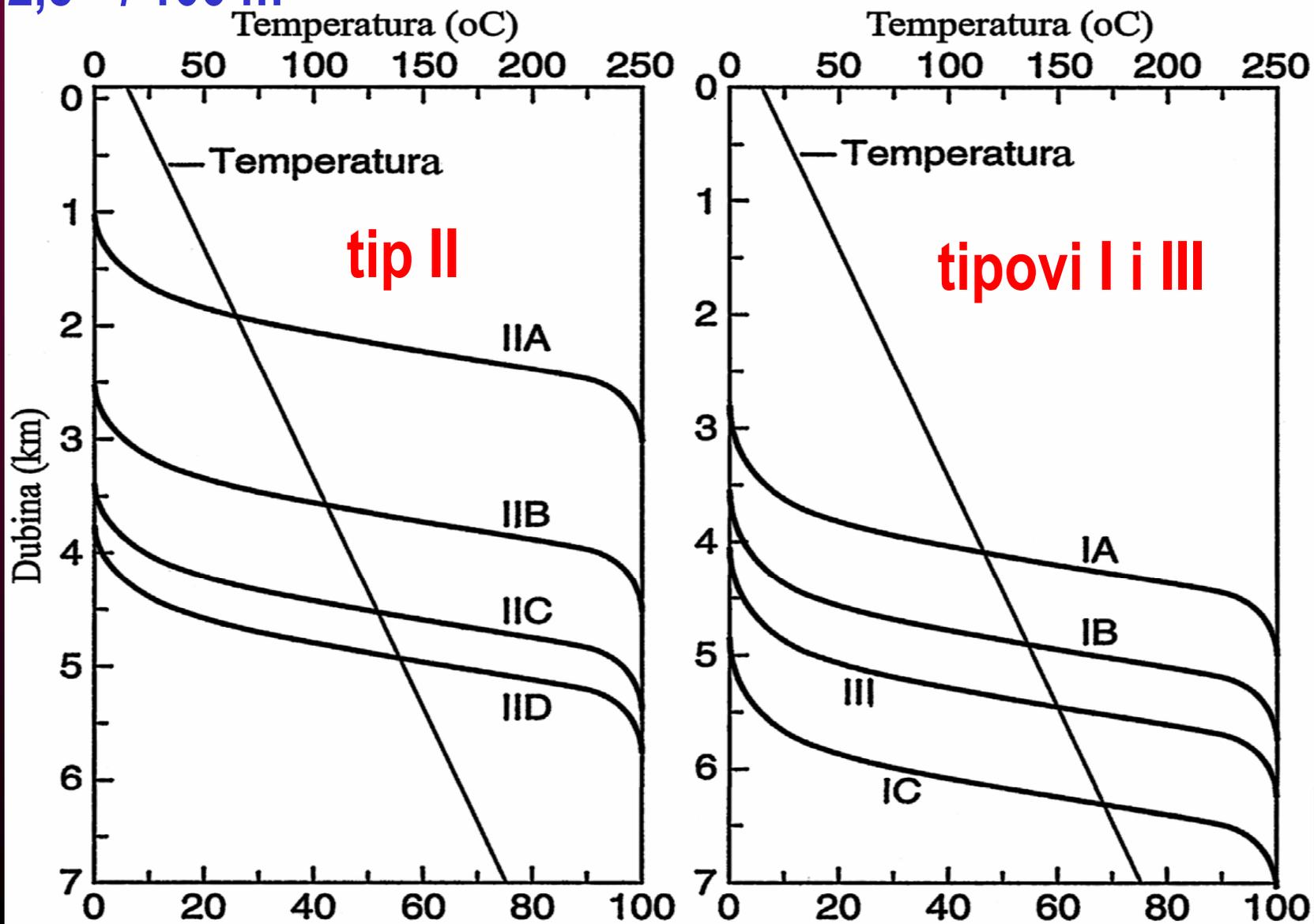


Tip	Reakcija	Primeri	E (kJ/m ol)	E (kcal/m ol)	A (1/Ma)	S _{org} (mas. %)
I A	brza	Grin River, Kolorado	194	46,3	1,010 × 10 ²⁵	2,2
I B	srednja	Grin River, Juta	219	52,3	8,870 × 10 ²⁶	1,3
I C	spora	Grin River, Vajoming	269	64,2	7,480 × 10 ³⁰	1,4
II A	brza	Moterej, Kalifornija	143,5	34,3	7,017 × 10 ²⁰	11
II B	srednja- brza	Fosforija, Vajoming	178,7	42,7	4,223 × 10 ²⁵	9
II C	srednja	Alum, Skandinavija	201,3	48	1,546 × 10 ²⁵	7,4
II D	spora	Vudford, Oklahoma	218,3	52,1	5,656 × 10 ²⁶	5,4
III	srednja	Tent, Kanada	230	54,9	3,980 × 10 ²⁷	-

GENERISANJE NAFTE PRI MALIM BRZINAMA ZAGREVANJA

2,5 ° / 100 m

Kratonski basen

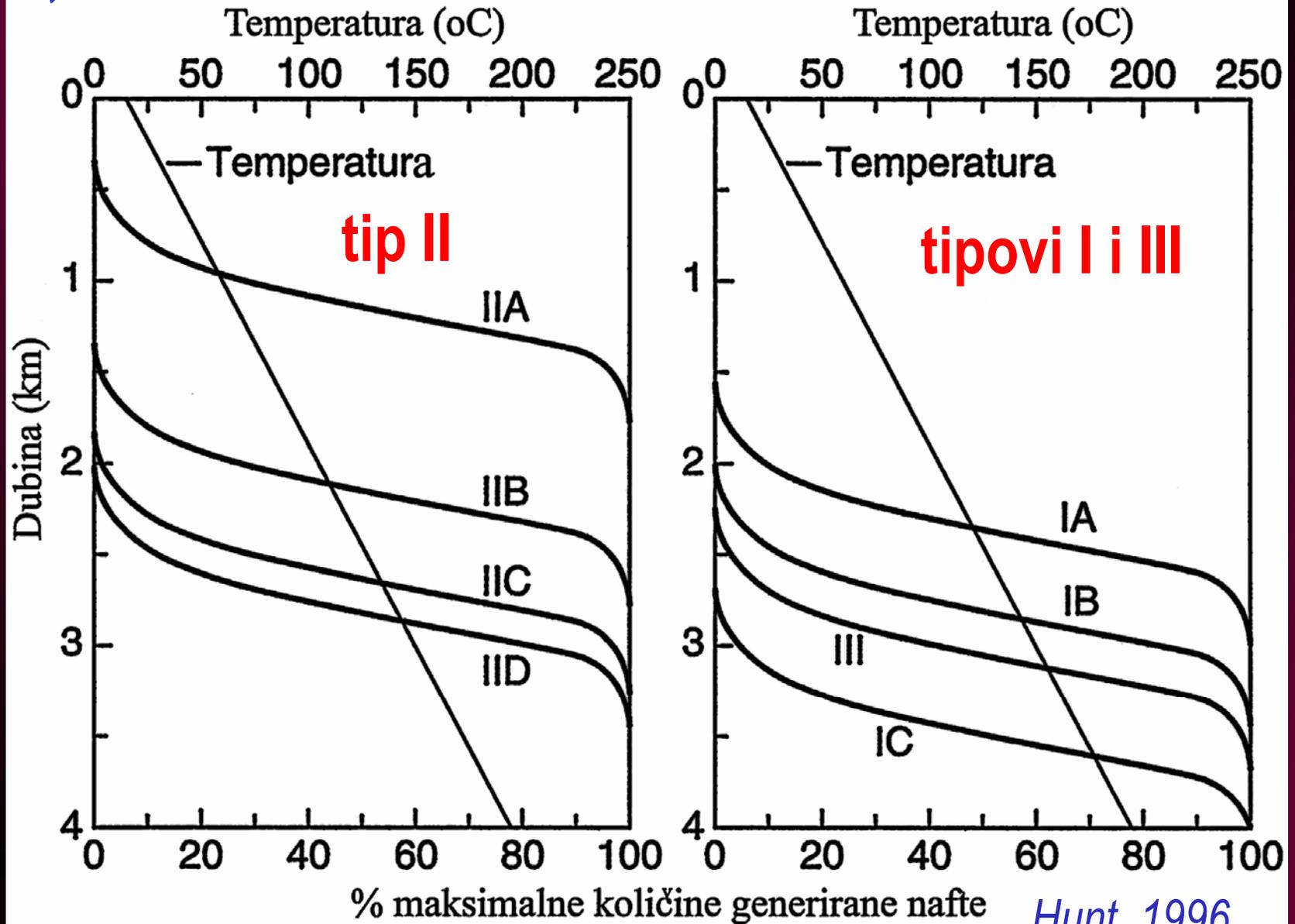


% maksimalne količine generirane nafte *Hunt, 1996*

GENERISANJE NAFTE PRI VELIKIM BRZINAMA ZAGREVANJA

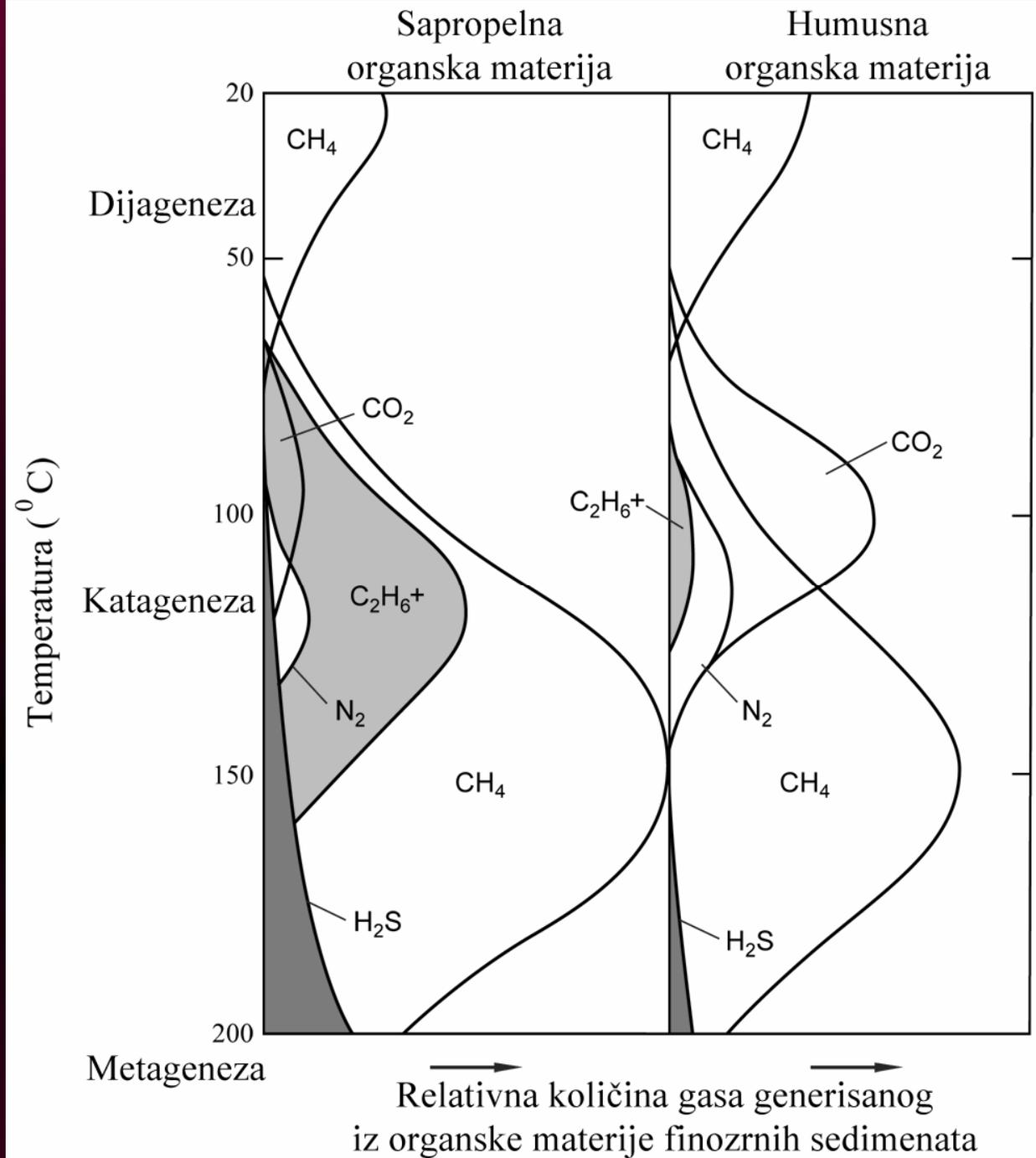
4,5 ° / 100 m

"Pull-apart" basen

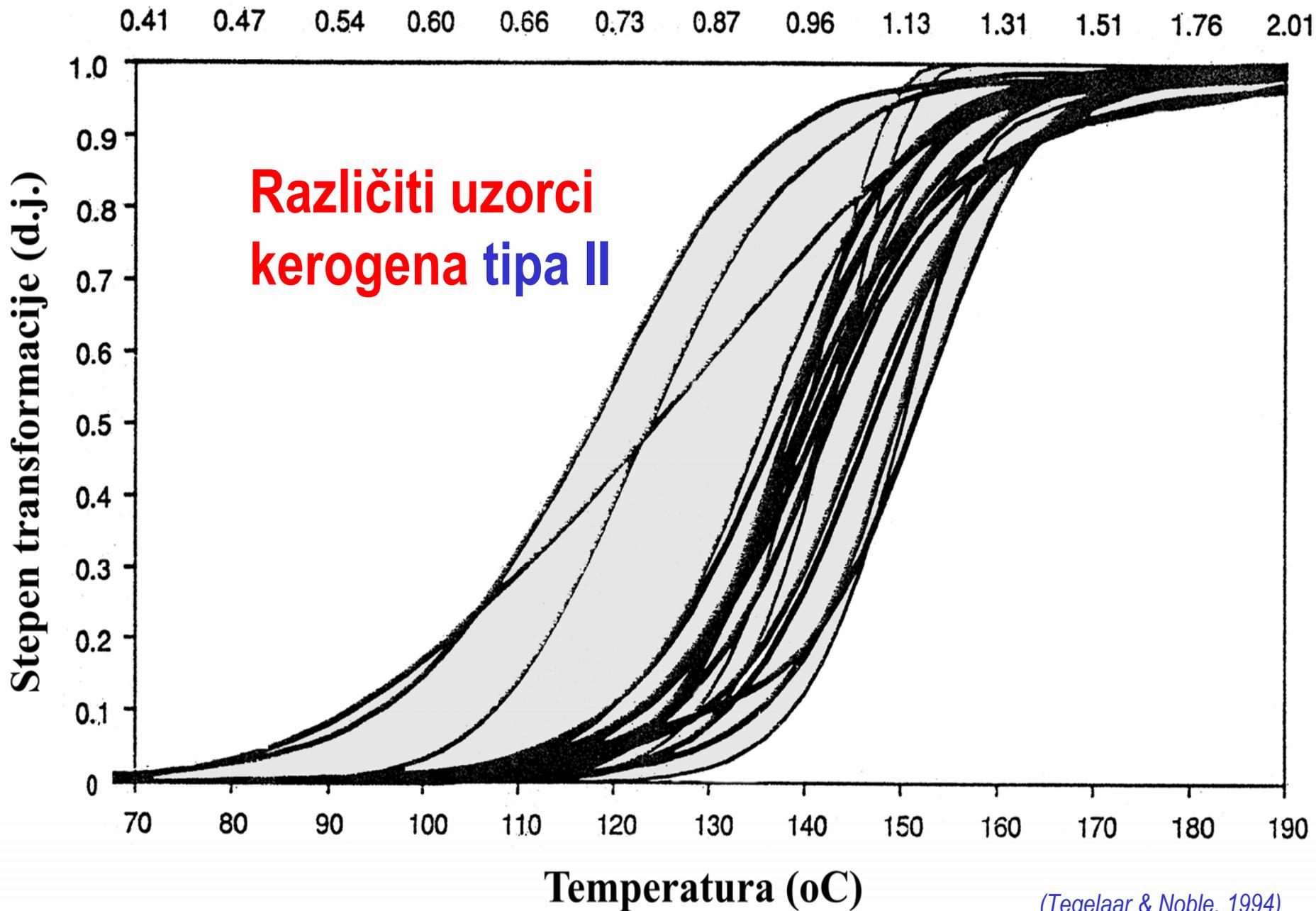


Hunt, 1996

**GENERISANJE
GASOVA s porastom
temperature, u
zavisnosti od tipa OS**

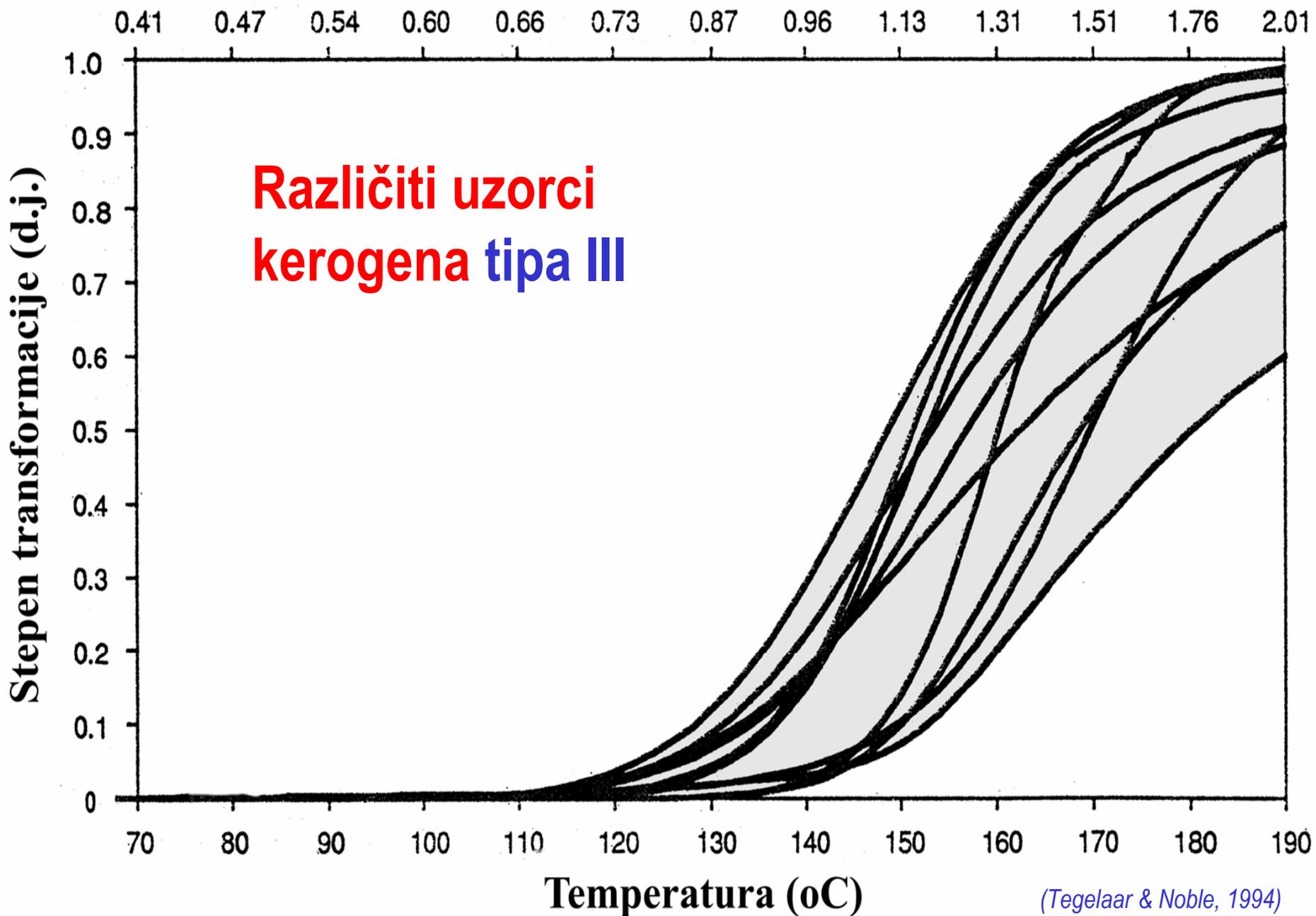


Proracunata refleksija vitrinita (%Rc)

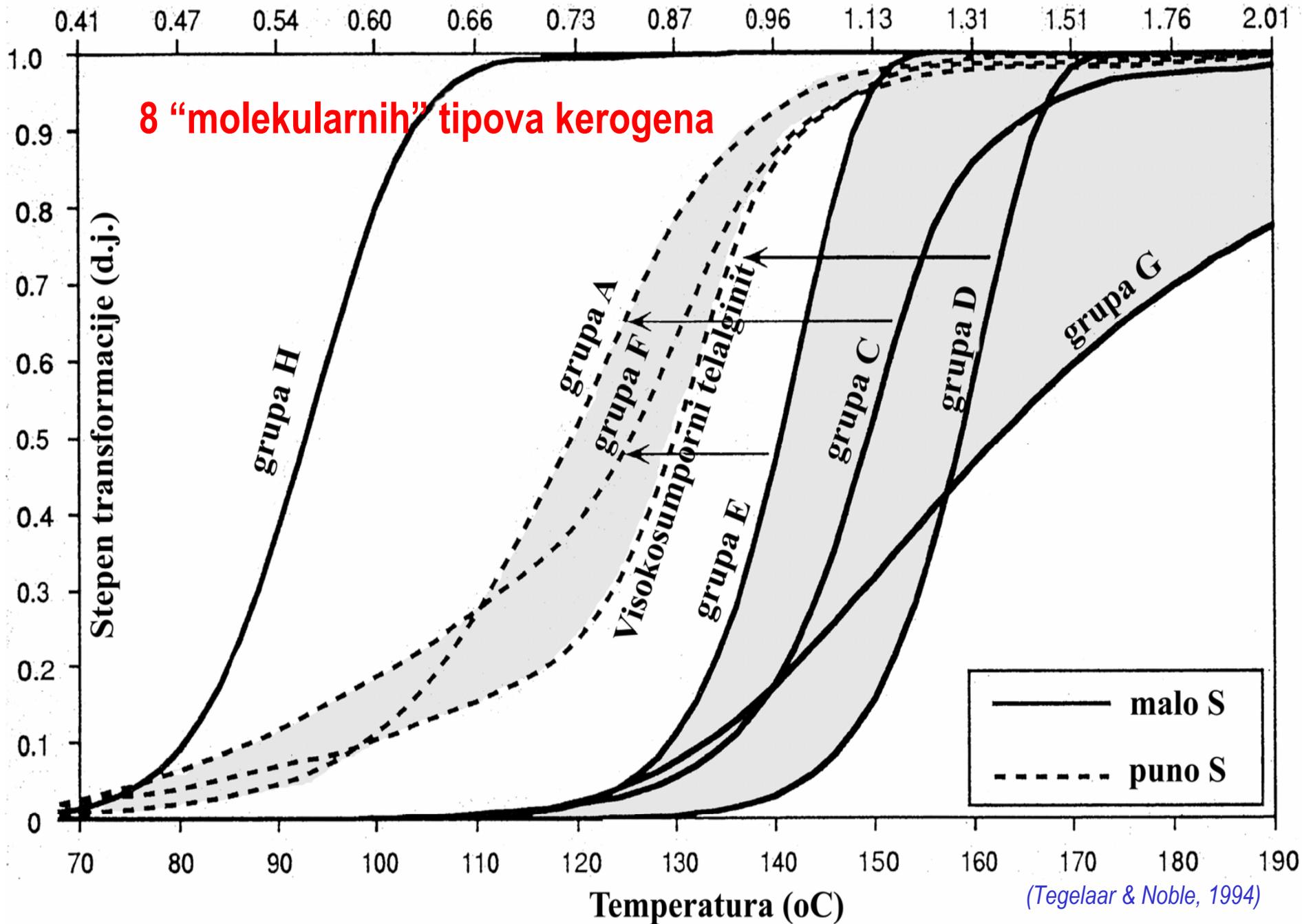


(Tegelaar & Noble, 1994)

Proračunata refleksija vitrinita (%Rc)

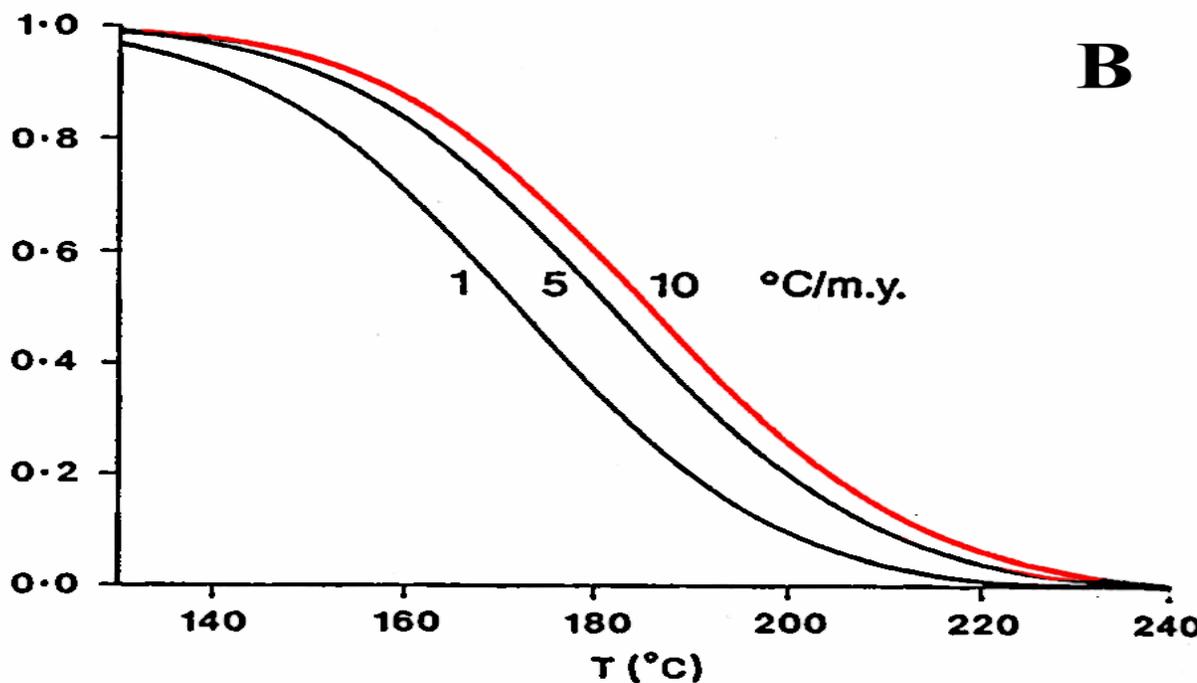
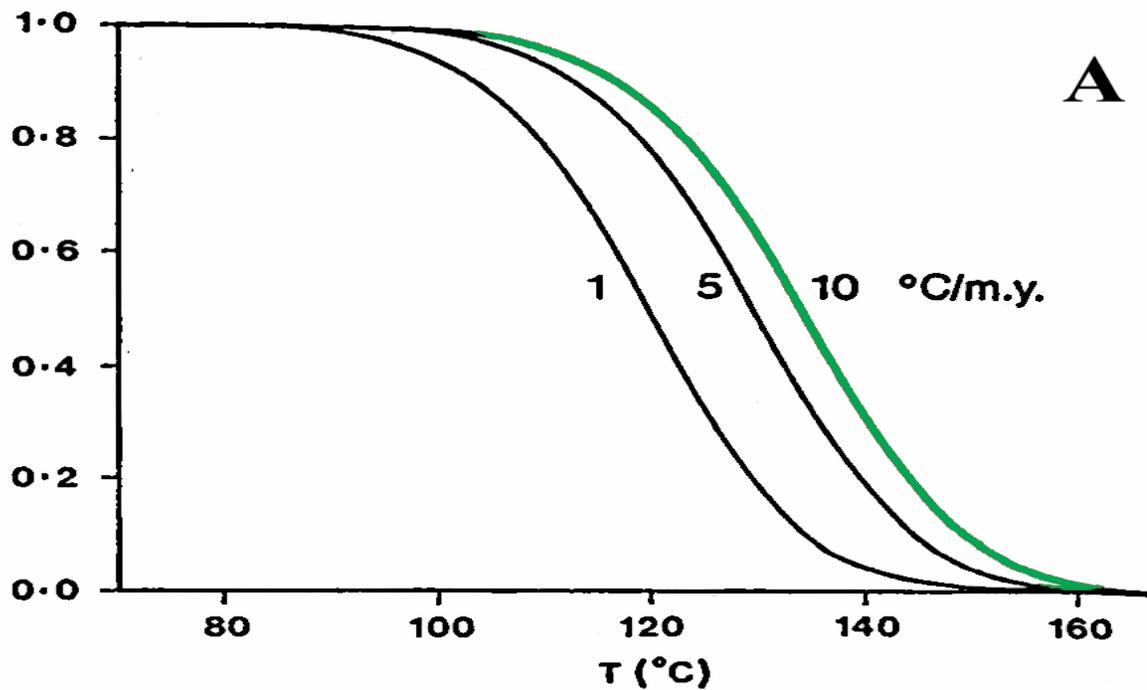


Proracunata refleksija vitrinita (%Rc)

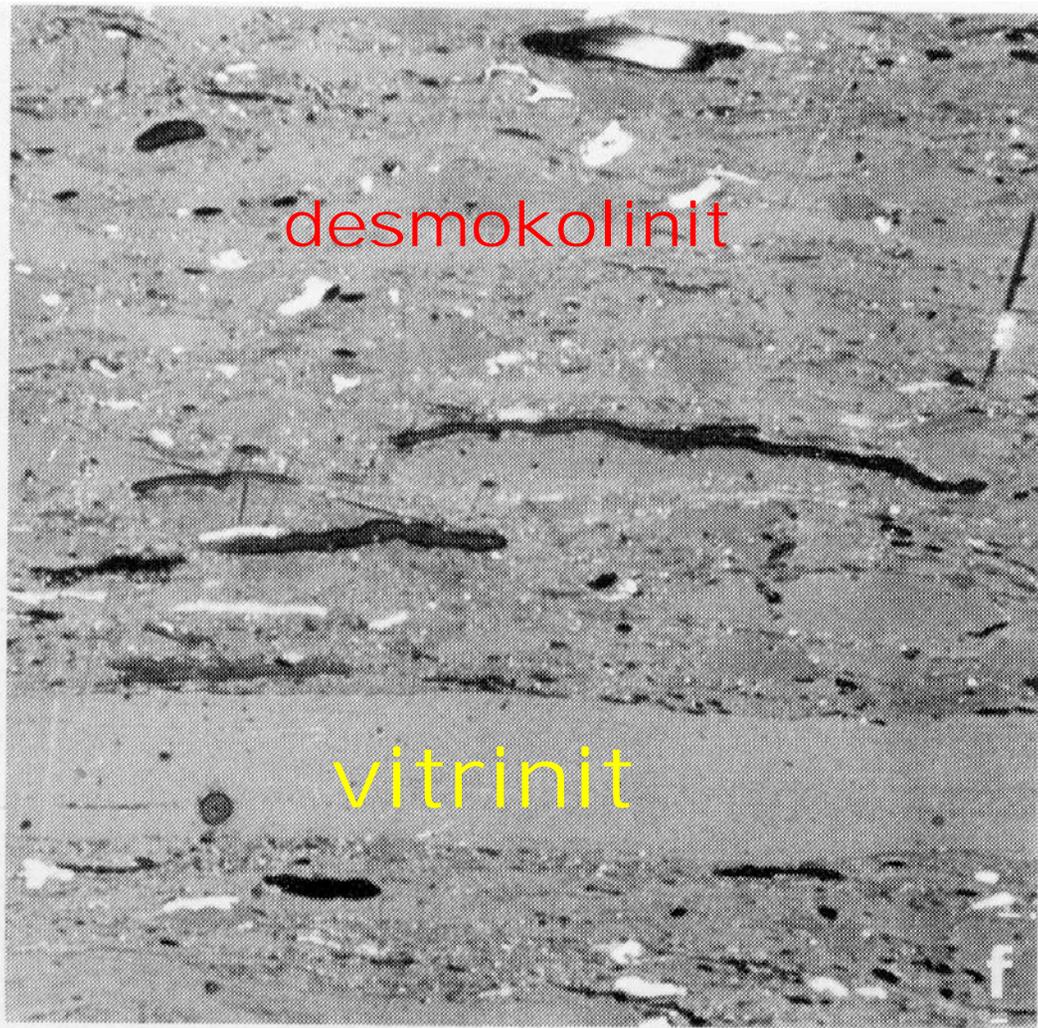


Faktori koji utiču na temperaturu generisanje ugljovodonika

- Priroda kerogena (tip kerogena, molekularna građa)
- Brzina zagrevanja
- Pritisak



**Transformacija
labilnog (A) i
termički
stabilnijeg (B)
kerogena u
ugljovodonike u
zavisnosti od
temperature i
brzine
geološkog
zagrevanja**

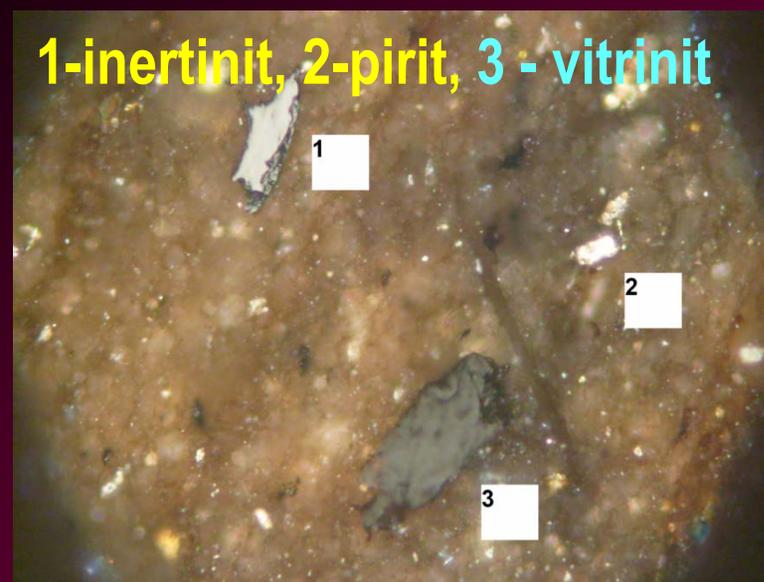


Ugalj

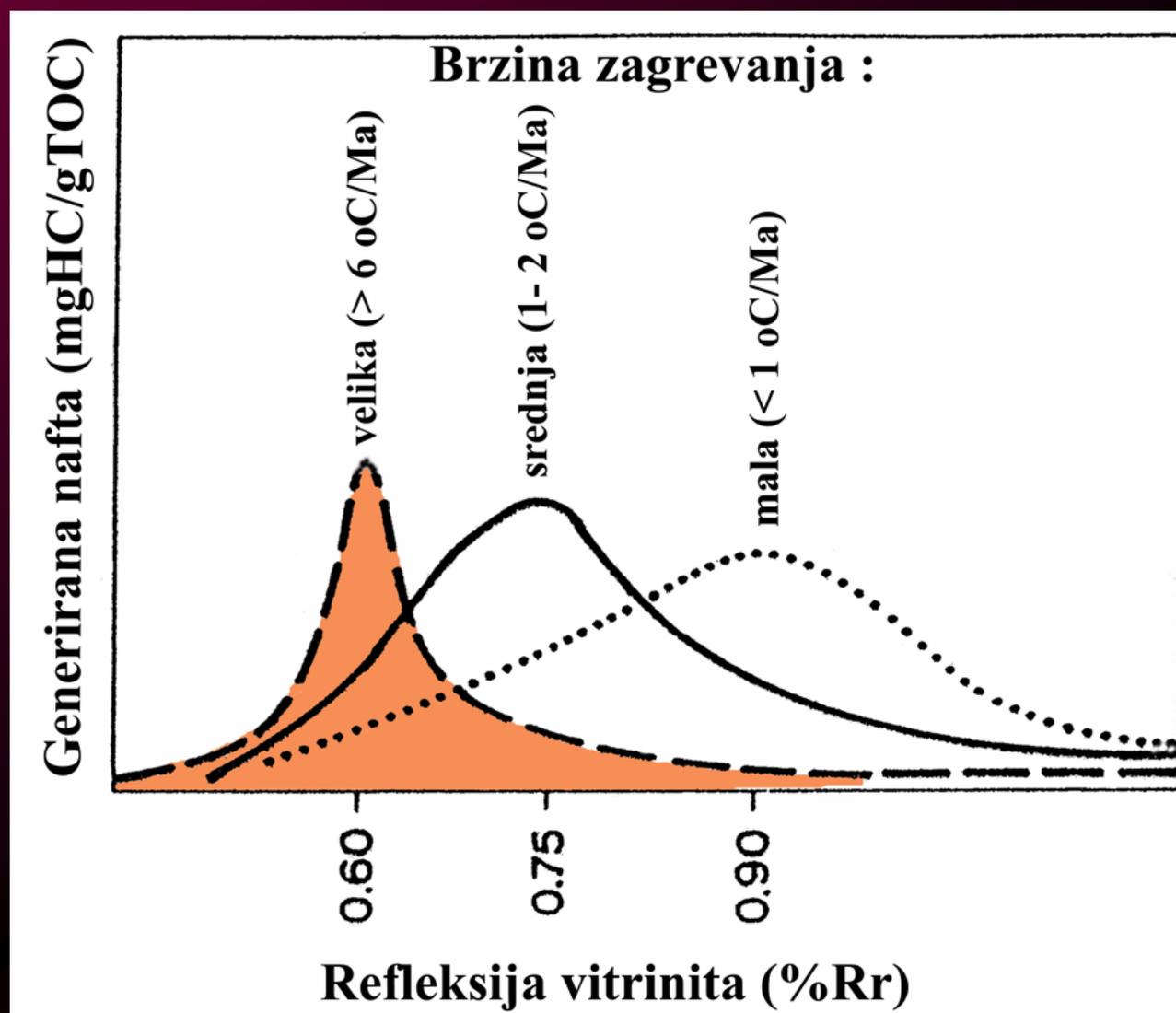
Refleksija vitrinita (% Rr)

Disperzna OS u steni

1-inertinit, 2-pirit, 3 - vitrinit



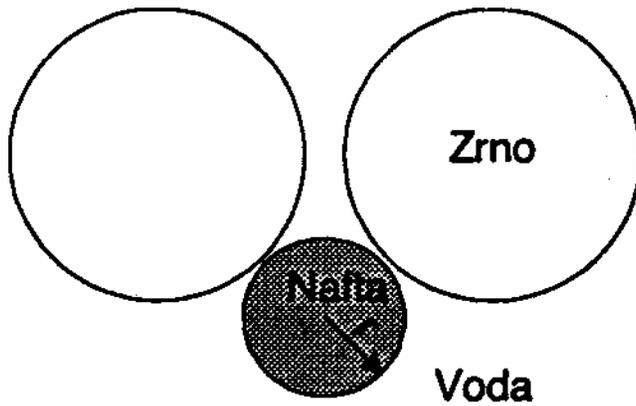
Različiti odnosi generisanja nafte i refleksije vitrinita



Nadpritisци mogu da utiču kako na refleksiju, tako i na generisanje UV

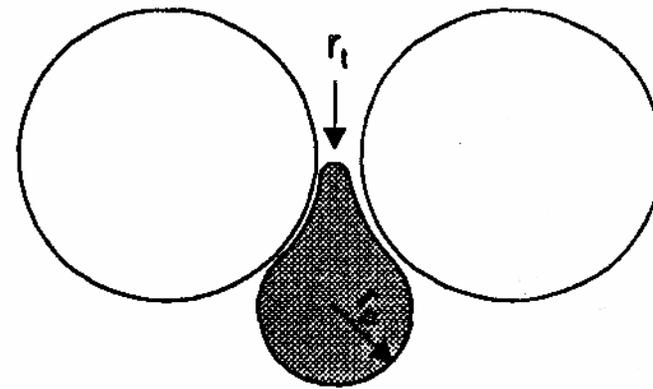
MIGRACIJA I AKUMULACIJA NAFTE I GASA

- **Primarna migracija**
- **Sekundarna migracija**
- **Tercijarna migracija**



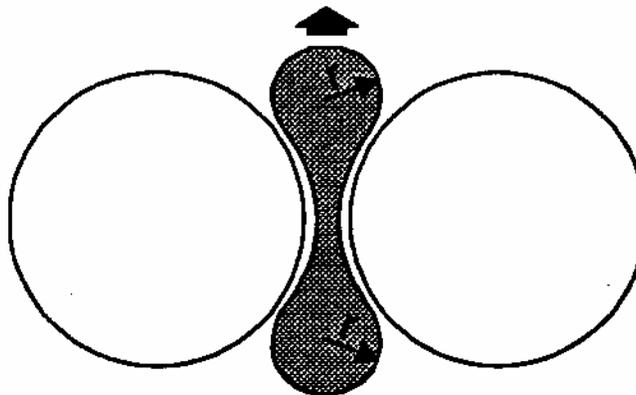
A. Nafta u prostoru pore:

$$P_{CAP} = \frac{2\gamma}{r_i}$$



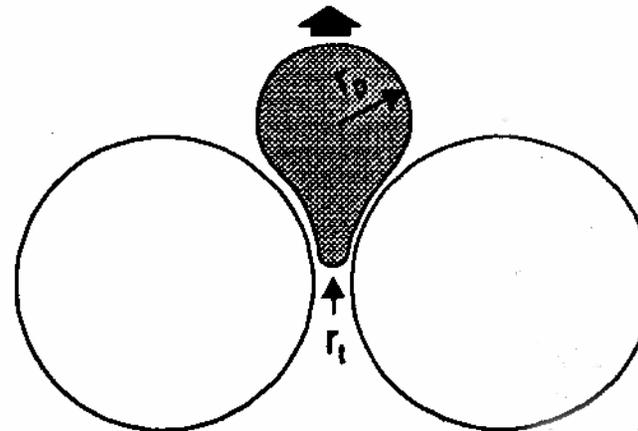
B. Nafta ulazi u suženje pore:

$$\frac{2\gamma}{r_i} > \frac{2\gamma}{r_p}$$



C. Nafta u suženju pore:

$$\frac{2\gamma}{r} = \frac{2\gamma}{r}$$

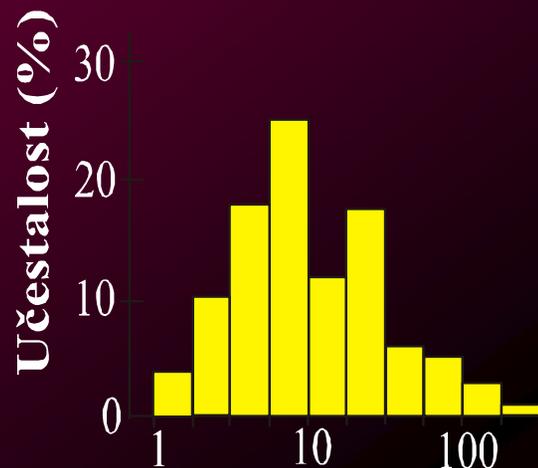


D. Nafta prolazi kroz suženje pore u susednu poru:

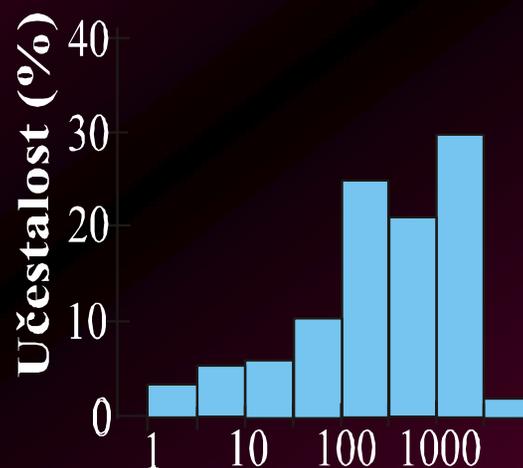
$$\frac{2\gamma}{r_p} < \frac{2\gamma}{r_i}$$

Prosečne dužine migracije i veličina efektivnog drenažnog područja zamki

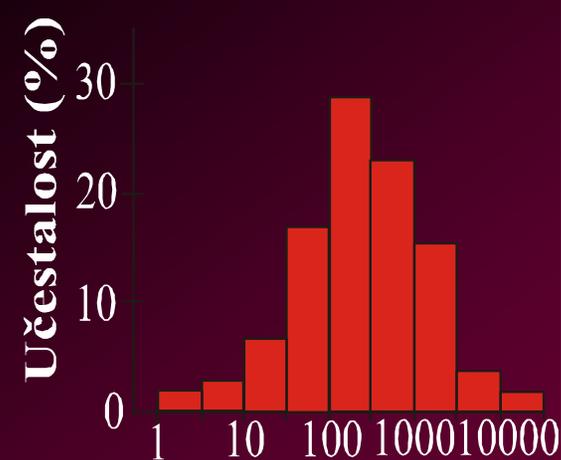
Bočna migracija (km)

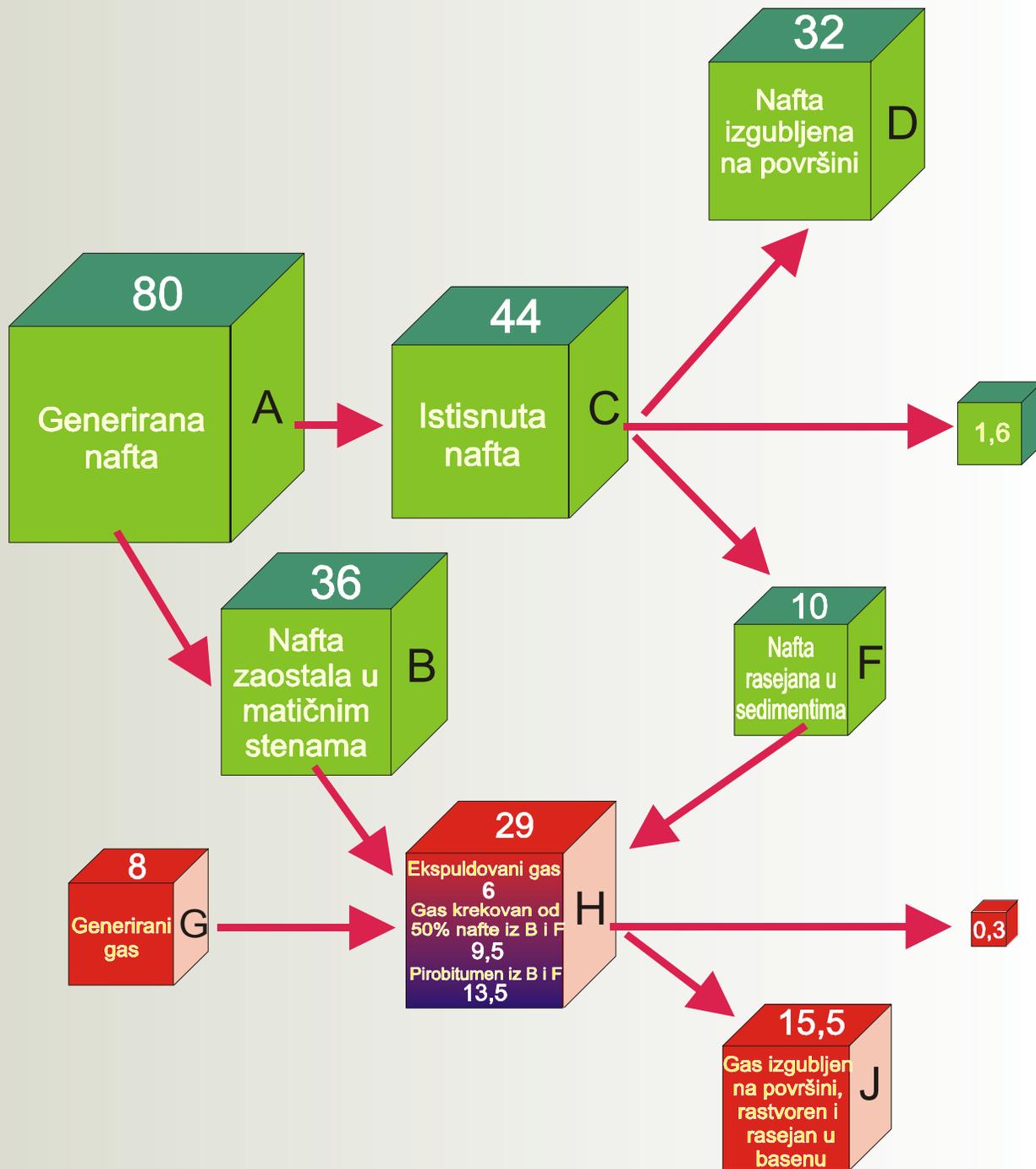


Vertikalna migracija (m)



Efektivno drenažno područje (km²)





Odnos pojedinih količina ugljovodonika od generisanja, do akumuliranja u ležišta

1,8 % za naftu

0,36 % za gas

LEŽIŠTE NAFTE I GASA

Definicija:

Svaka pojedinačna i samostalna akumulacija nafte i gasa u prirodnom rezervoaru, sa jedinstvenim sistemom pritiska.

Osnovne karakteristike:

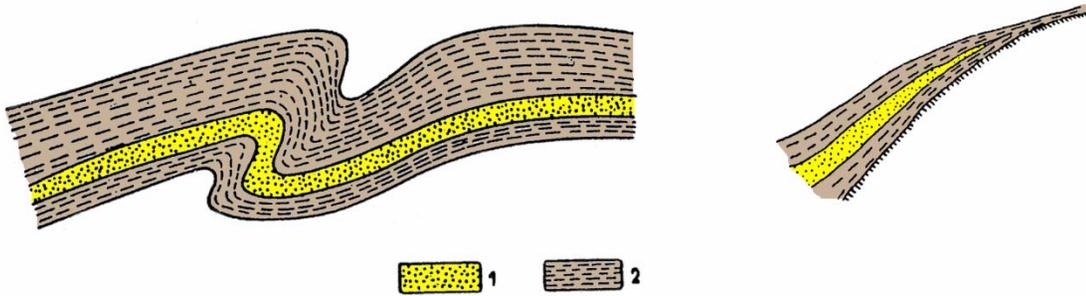
Ležište je sa svih strana ograničeno geološkim barijerama u vidu nepropusnih stena i ležišne vode, a predstavlja hidrodinamičku celinu.

PRIRODNI REZERVOARI

Definicija:

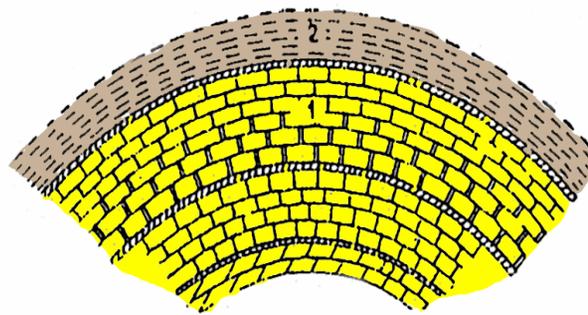
Porozne i propusne stene značajnog rasprostranjenja, u kojima se može vršiti sekundarna migracija i akumulacija potpovršinskih fluida (gasa, nafte i vode).

Slojni prirodni rezervoari

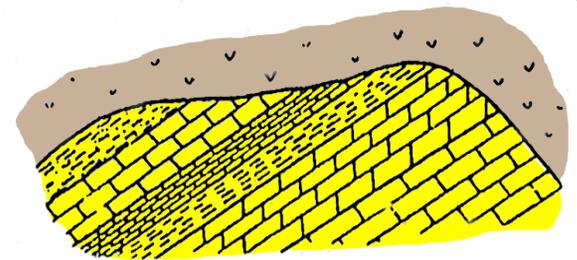


1 - propusni sloj (rezervoar)
2 - zaštitne stene

Masivni prirodni rezervoari

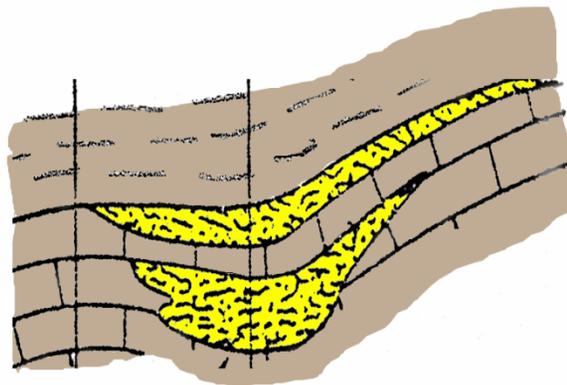
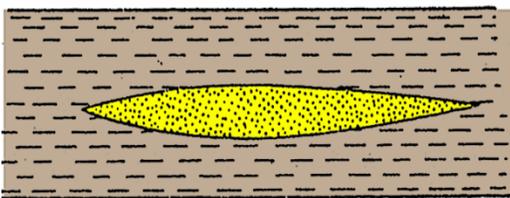


homogeni



heterogeni

Zonarni prirodni rezervoari

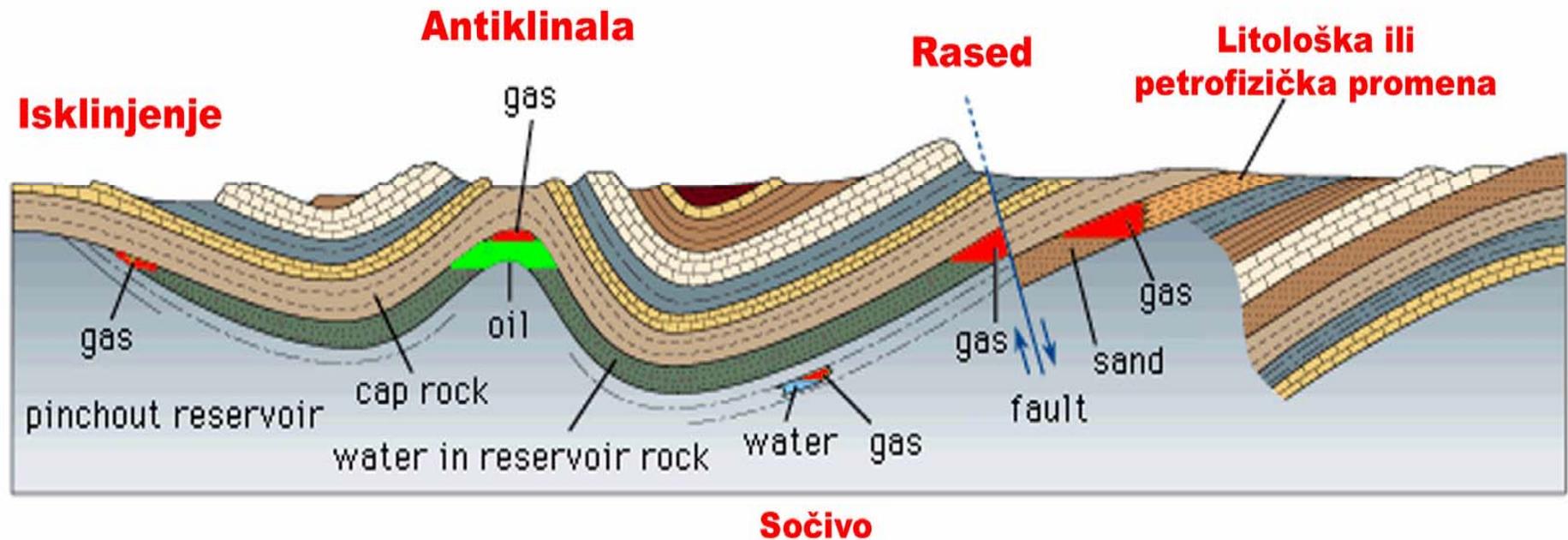


Osnovni elementi ležišta :

- Zamka
- Rezervoar stene
- Zaštitne stene
- Ležišni fluidi (gas, nafta, voda)

Zamka (“trap”)

- Deo prirodnog rezervoara u kome se uspostavlja ravnoteža između sila kretanja fluida i sila otpora njihovom kretanju. Fluidi se nalaze u stanju relativnog mirovanja. Barijera daljem kretanju fluida (naviše) omogućava akumulaciju nafte i gasa u ležišta.
- Zamke mogu biti produktivne i neproduktivne (“sterilne”).



Rezervoar stene (“kolektori”)

- Stene koje su sposobne da u sebe prime i akumuliraju značajne količine UV, kao i da ih delimično oslobode pri eksploataciji.
- Deo su prirodnog rezervoara u kome dolazi do akumuliranja UV, odnosno sastavni su deo ležišta.
- Mogu biti terigene (klastične), karbonatne i magmatske/metamorfne (podloga basena)

ZAŠTITNE STENE

("cap rock", " seal")

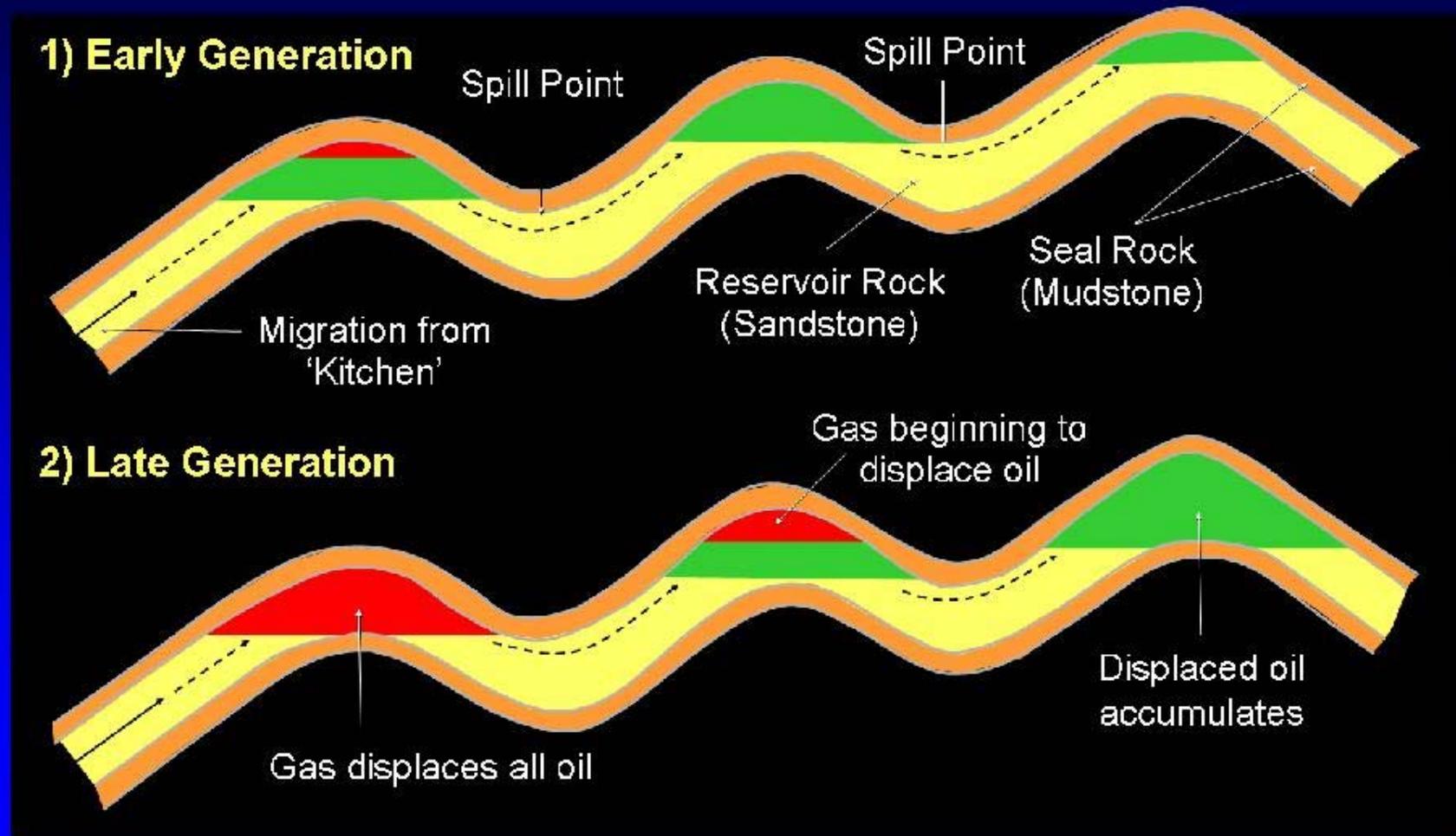
- Npropusne stene koje zaustavljaju migraciju UV i omogućavaju očuvanje njihovih akumulacija u zemljinoj kori.
- **Najčešće šejlovi** (gline, laporci i sl.), a najefikasniji su **evaporiti** (so, anhidrit).
- **Faktori** koji određuju efikasnost zaštitnih stena:
litološki sastav, elastičnost, **debljina**, porni pritisci, **kontinuitet**, dubina (kompakcija), **vreme**.

Klasifikacija ležišta prema vrsti fluida i njihovom odnosu :

- **Gasna ležišta**
- **Gasno-kondenzatna ležišta** (*vlažni gas*)
- **Kondenzatna ležišta**
- **Naftna ležišta sa gasnom kapom** (*“naftno-gasna”*)
- **Naftna ležišta sa mnogo rastvorenog gasa**
- **Naftna ležišta sa malo rastvorenog gasa** (*nezasićena*)

Petroleum System

A Dynamic Entity



Gasovi u ležištima

- **Samostalne akumulacije**
- **Slobodni - iznad nafte (gasna “kapa”)**
- **Rastvoreni u nafti**
- **Rastvoreni u vodi**
- **Kondenzovani (“utečnjen” gas) ~1800m**

Vode naftnih i gasnih ležišta

- U sedimentnim basenima se nalaze dva tipa voda: **slobodna i intersticijalna** (vezana) voda.

Slobodna voda može da se kreće kroz pore usled razlike u pritiscima, dok je **intersticijalna voda** vezana za mineralna zrna u vidu hidroksilnih radikala atomskih rešetki ili je adsorbovana na površinama zrna i u kapilarima.

- U **ležištima** nafte i gasa, voda je uglavnom jako mineralizovana (**preko 10 g/l**). Vezana voda, za razliku od slobodne, ne nepušta ležište pri proizvodnji nafte i gasa, tj. ne dotiče na površinu.

Sulin-ova klasifikacija voda (1946)

- Sulfatno-natrijumske (retko ležišna voda)
- Hidrokarbonatsko-natrijumske (H_2S , J, Br, naftenske kis.)
- Hloridno-magnezijumske (retko ležišna voda)
- Hloridno-kalcijumske (J, Br, Ba, Sr, radioaktivnost)

Types of water (V. A. Sulin)	Ratios of concentrations, expressed as milliequivalent percent		
	$\frac{Na}{Cl}$	$\frac{Na-Cl}{So_4}$	$\frac{Cl-Na}{Mg}$
Meteoric			
Sulfate-sodium	>1	<1	<0
Bicarbonate-sodium	>1	>1	<0
Connate			
Chloride-magnesium	<1	<0	<1
Chloride-calcium	<1	<0	>1

PROMENE UGLJOVODONIKA U LEŽIŠTIMA

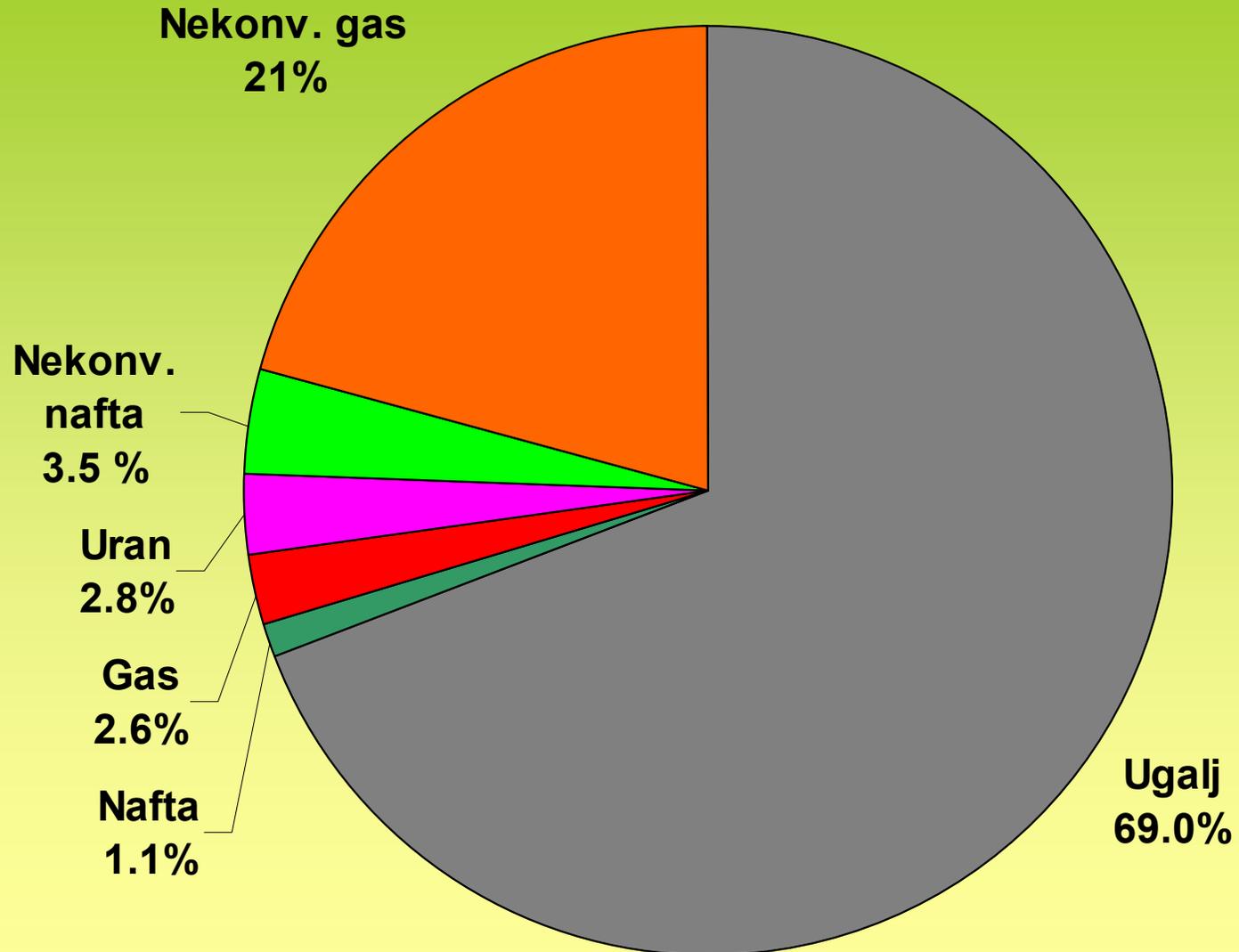
- Termičke promene nafte
- Promene nafte usled ispiranja vodom
- Biodegradacija nafte i gasa
- Difuzija i oksidacija gasova

7.

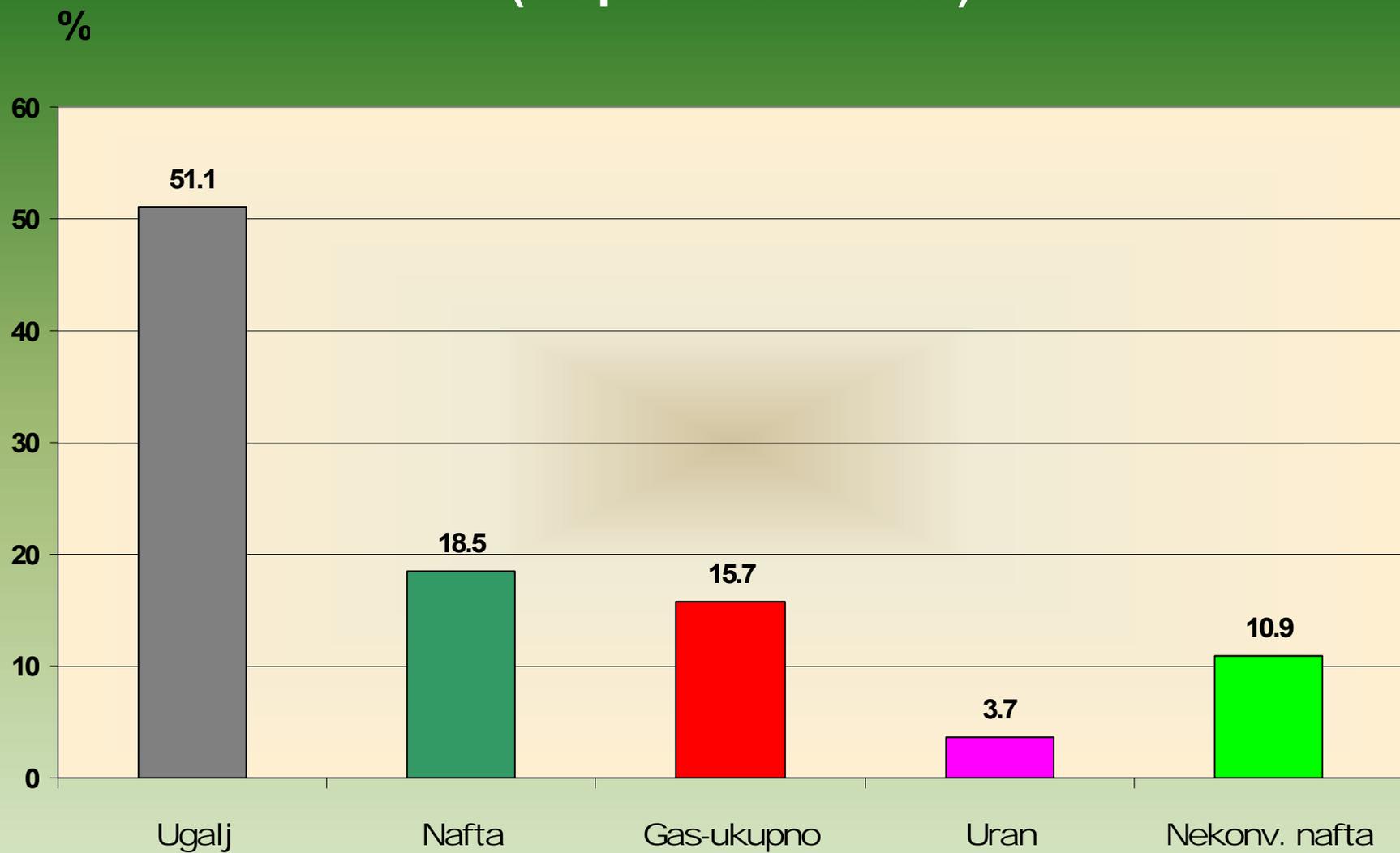
**RESURSI I REZERVE
NAFTE I GASA U SVETU I
KOD NAS**

Svetski resursi energetske sirovine (ukupno 10200×10^9 tce)

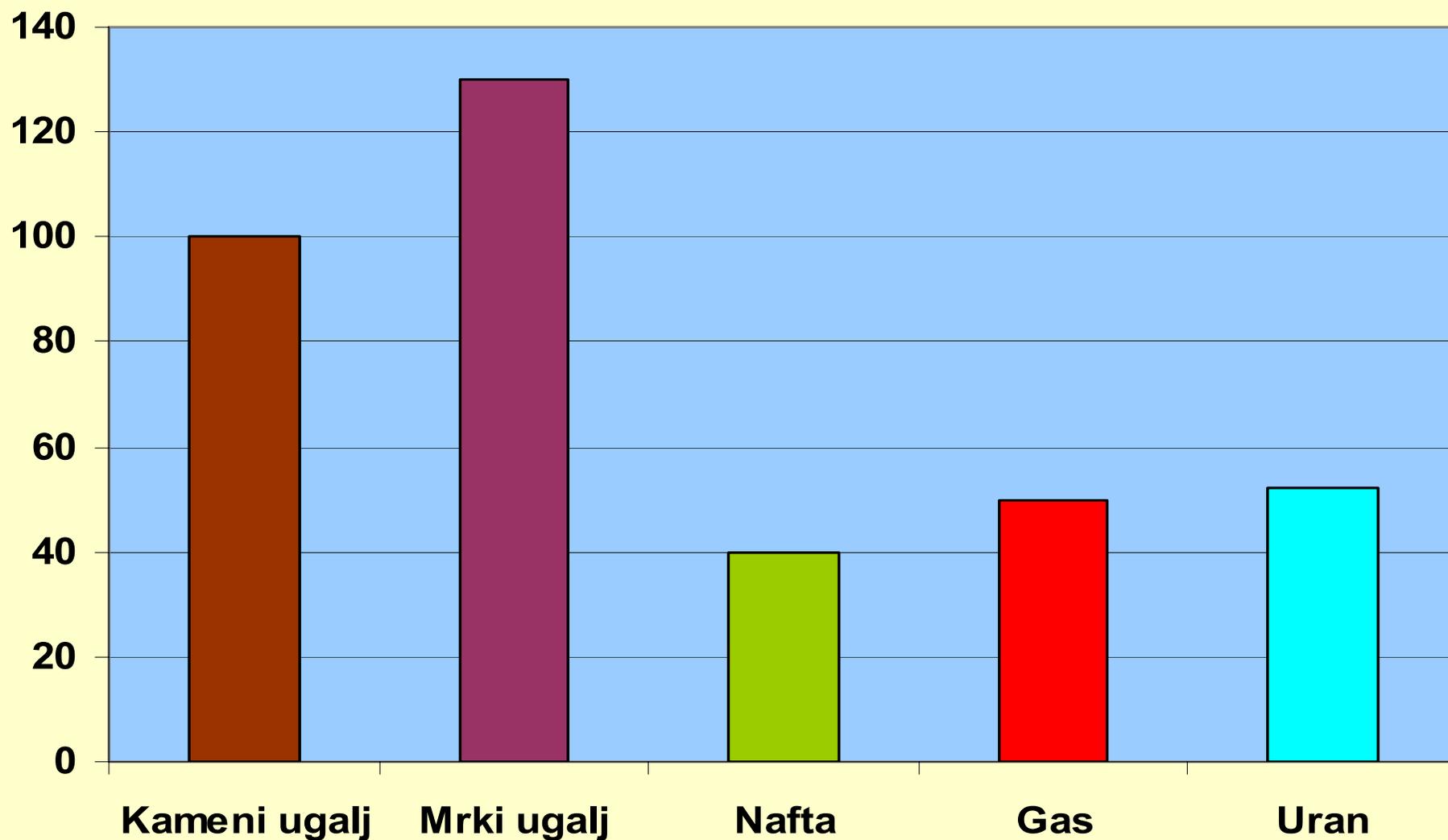
tce - t uglja sa 29260 kJ/kg (7000 kcal/kg)



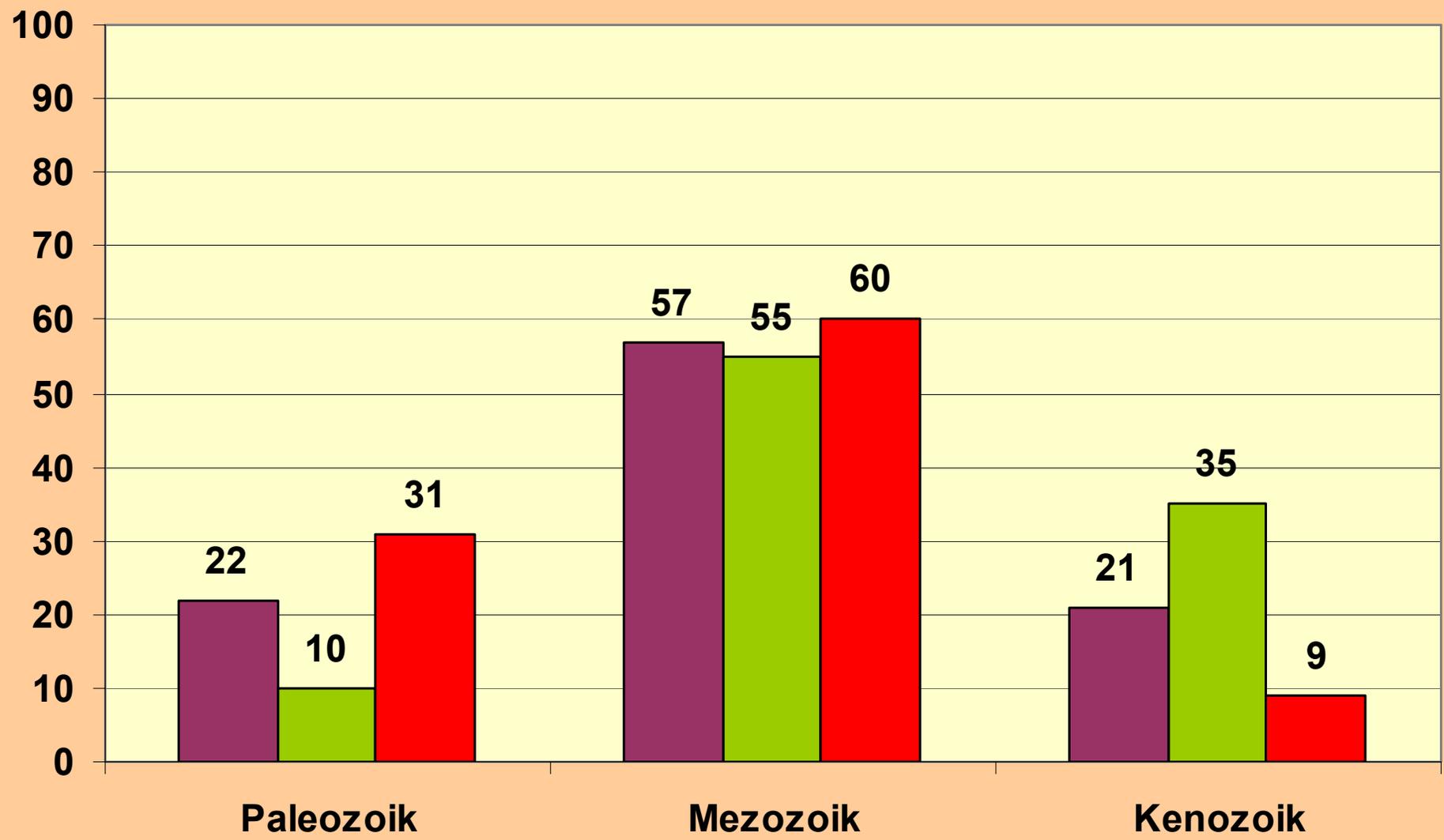
Svetske rezerve energetskih sirovina (ukupno 1106×10^9 tce)



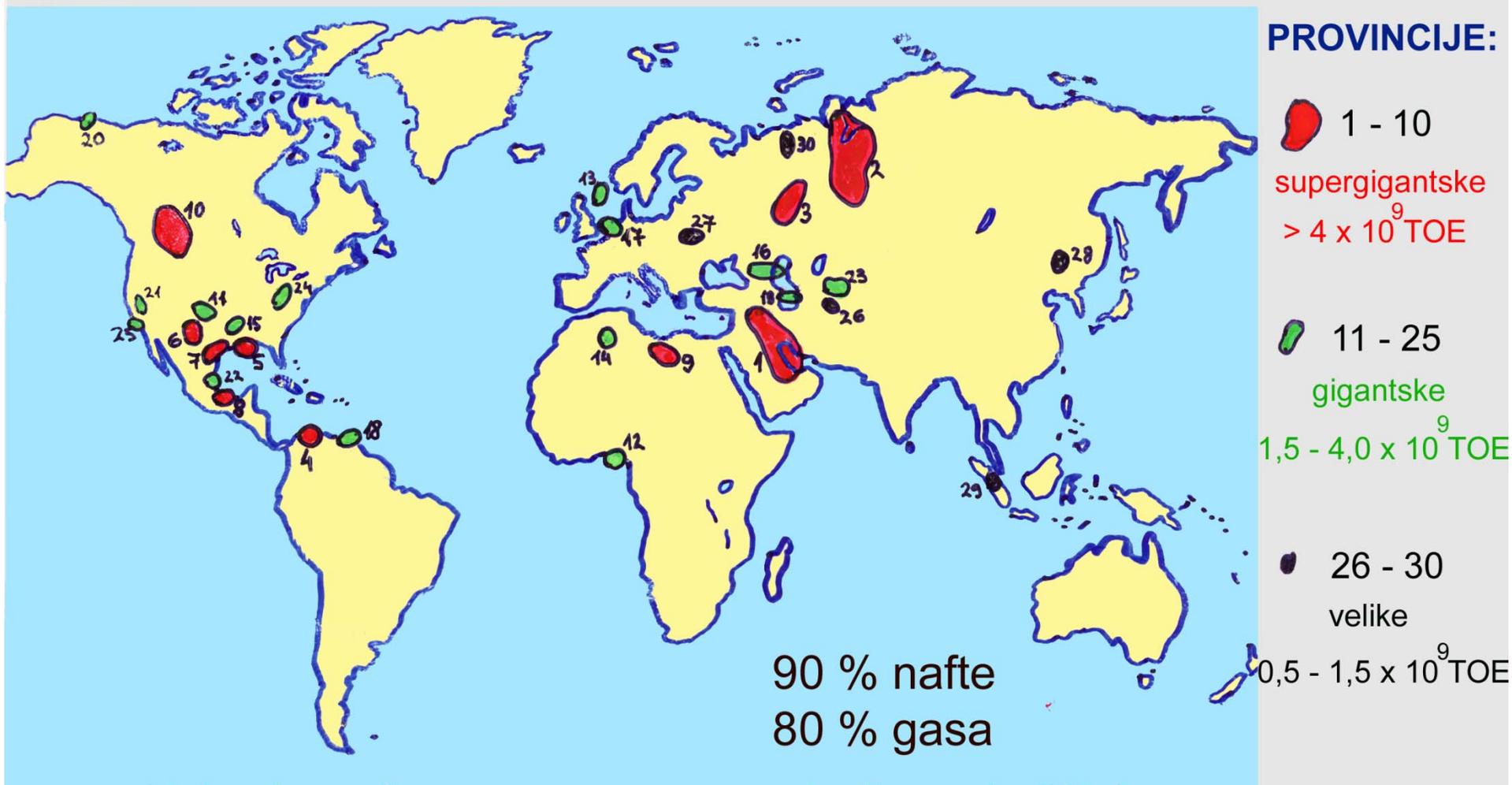
PROCENJENI VEK TRAJANJA ENERGETSKIH SIROVINA U SVETU



STRATIGRAFSKA DISTRIBUCIJA REZERVU NAFTE I GASA U SVETU



■ Uslovna nafta ■ Nafta ■ Gas

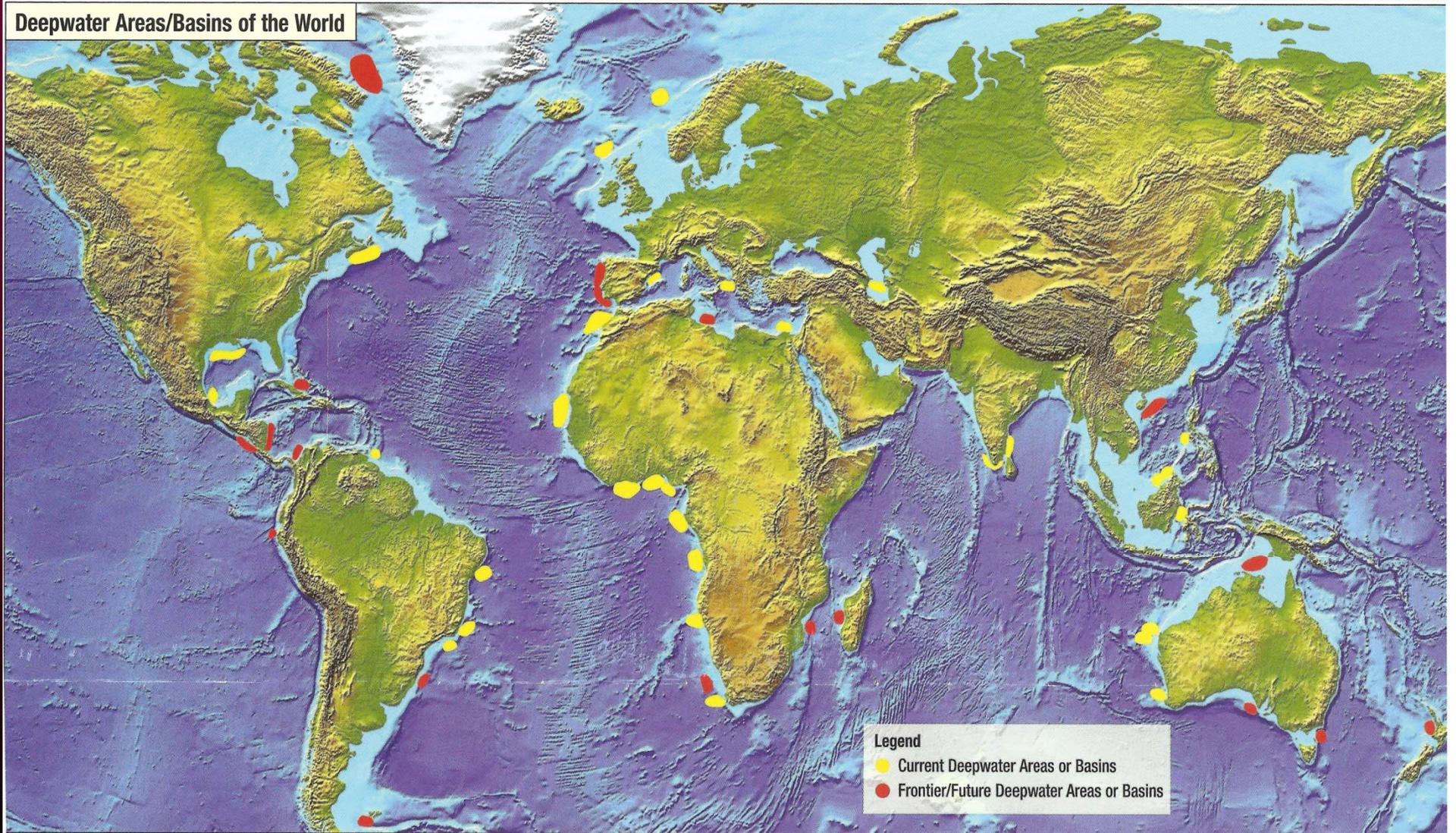


Najveće naftno-gasonosne provincije po količini ukupnih procenjenih rezervi uslovne nafte

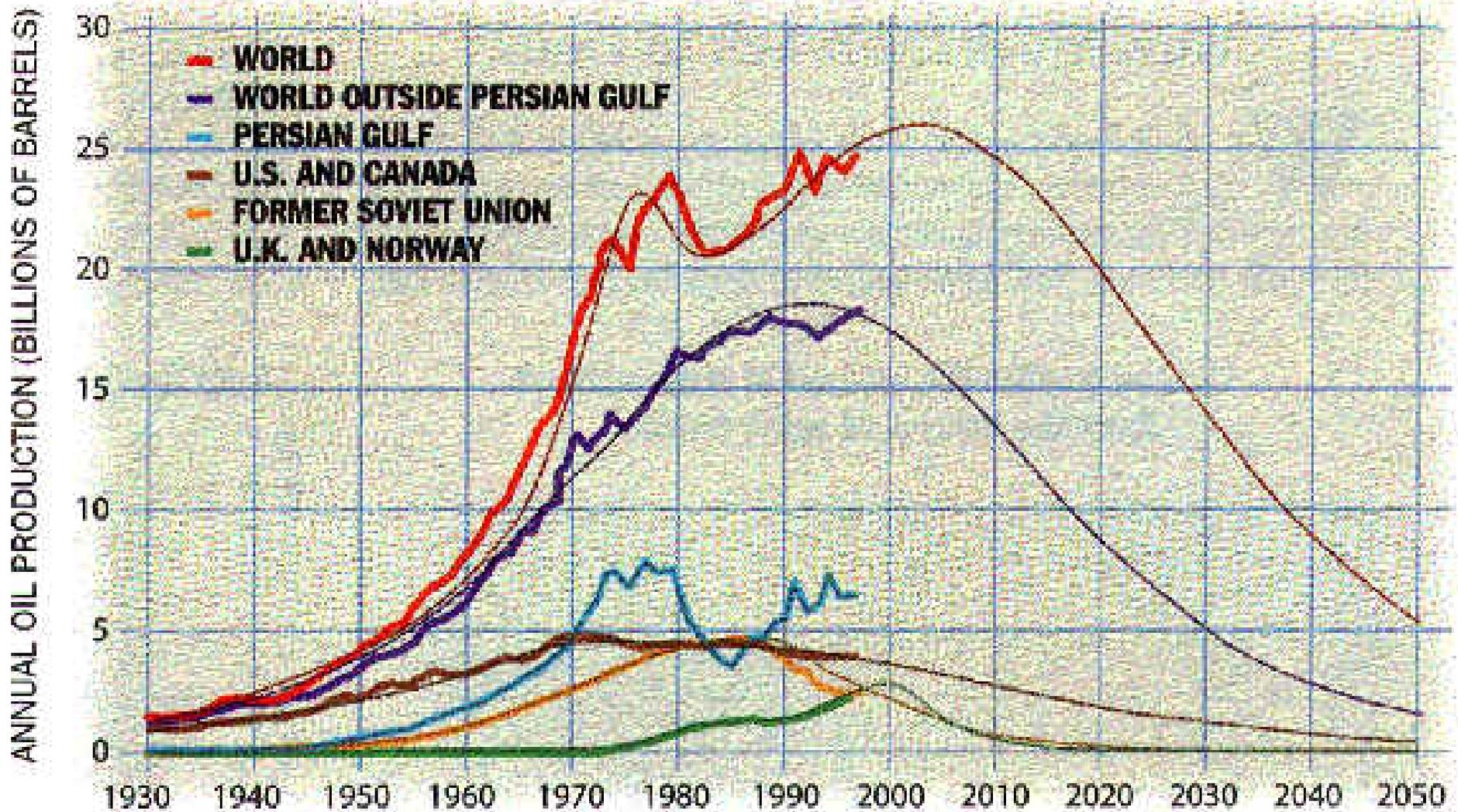
Baseni sa najvećim rezervama nafte i gasa :

1. Basen persijskog zaliva (Srednji Istok)
2. Zapadno-sibirski basen (Rusija)
3. Basen Ural-Volga (Rusija)
4. Marakaibo (Venecuela)
5. Misisipi delta basen (SAD)
6. Permski basen (SAD)
7. Gulf coast – zapadni deo (SAD)
8. Reforma – Kampeš (Meksiko)
9. Sirte (Libija)
10. Zapadno-kanadski basen

Deepwater Areas/Basins of the World

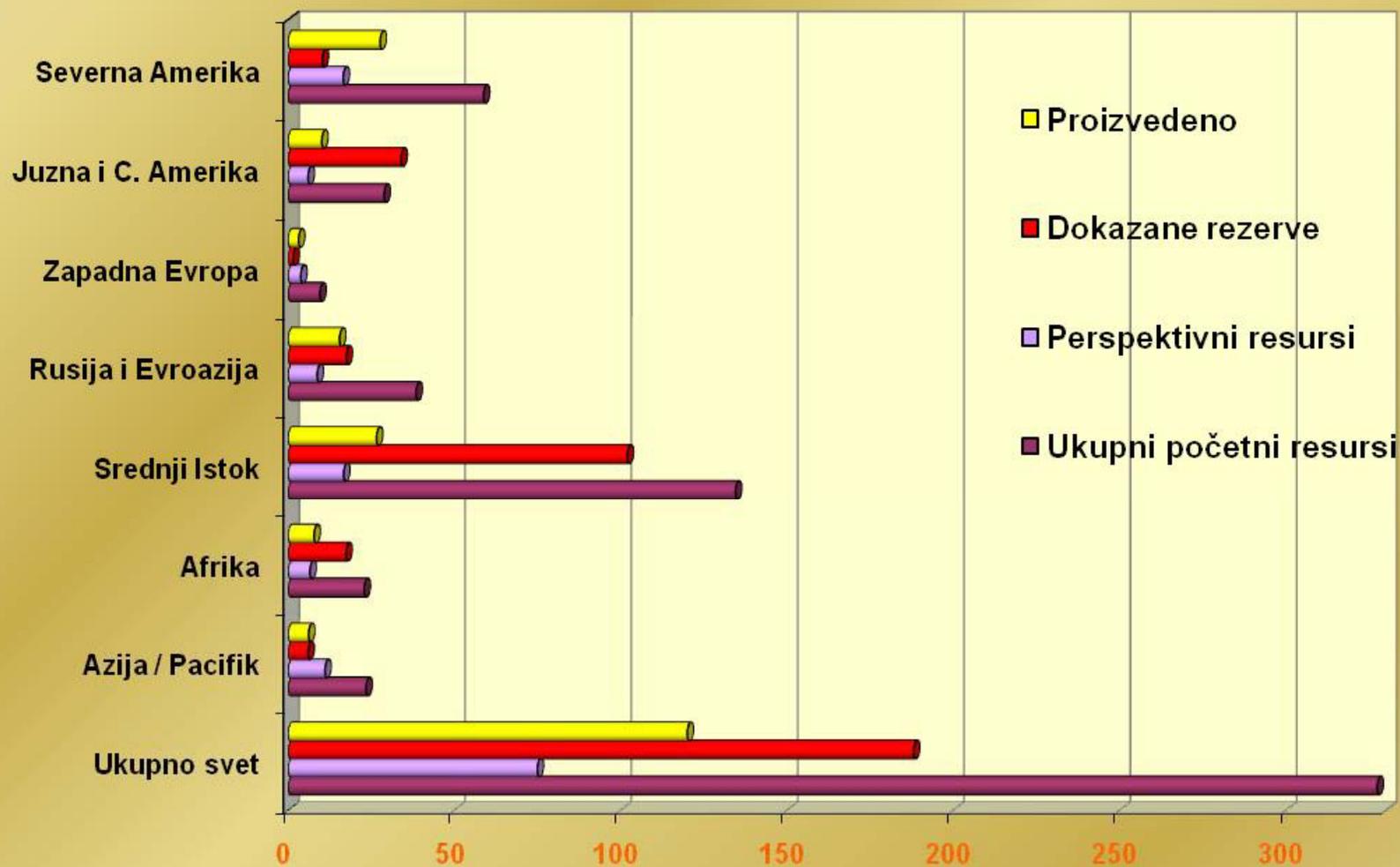


Istorija i projekcija svetske proizvodnje nafte



US Sources, 2001;
Rezerve: 2010 BP

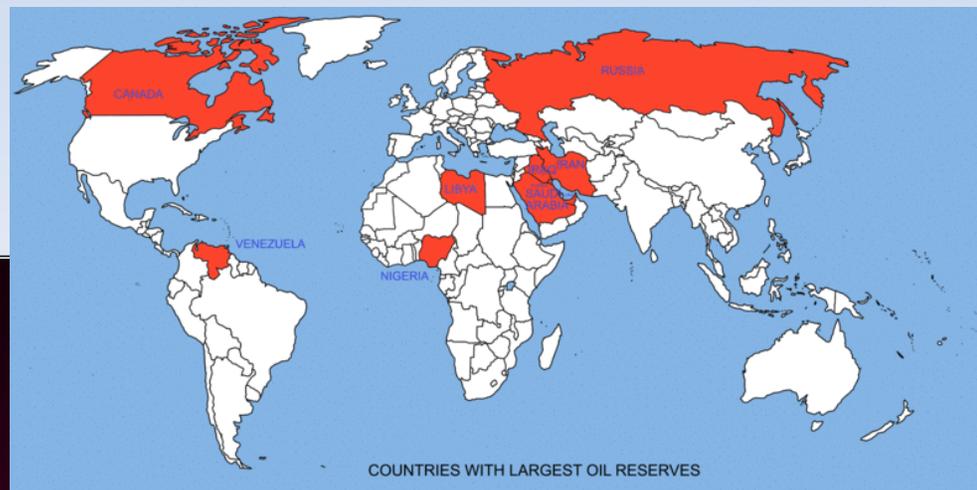
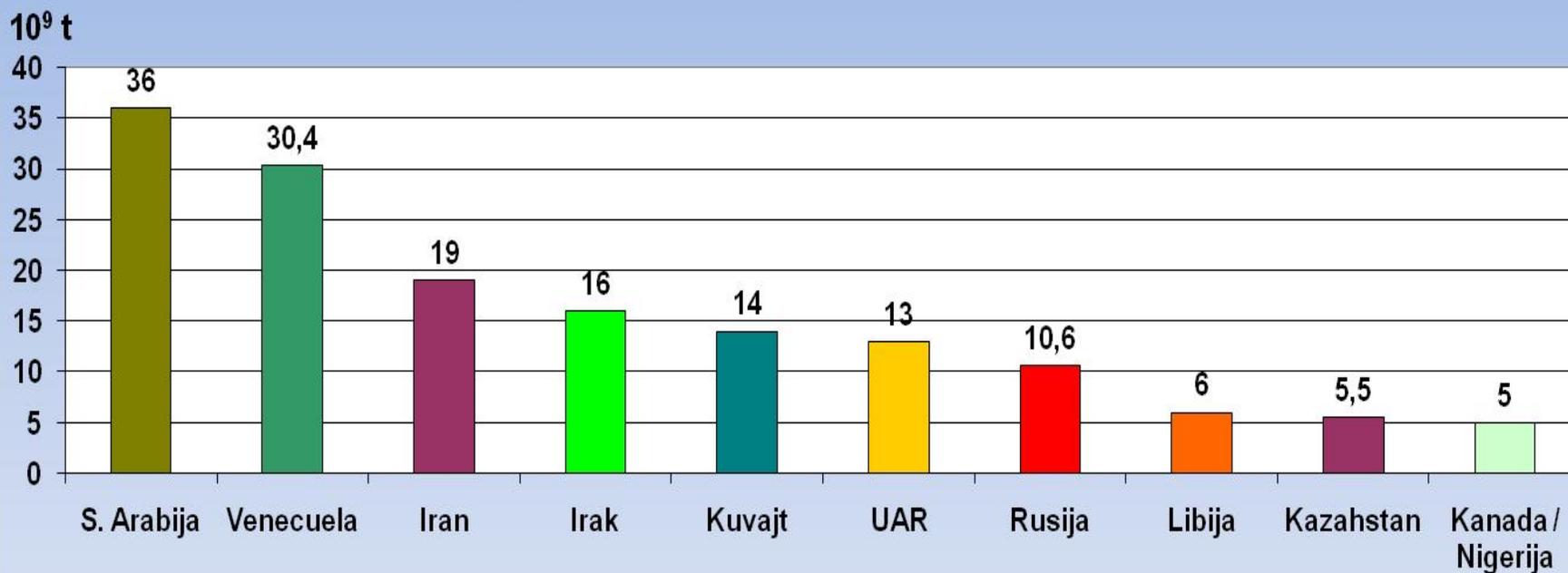
RESURSI I REZERVE NAFTE U SVETU (10⁹ t)



	Ukupno svet	Azija / Pacifik	Afrika	Srednji Istok	Rusija i Evroazija	Zapadna Evropa	Juzna i C. Amerika	Severna Amerika
Proizvedeno	120	6	8	27	15	3	10	28
Dokazane rezerve	188	6	17	102	18	2	34	10
Perspektivni resursi	75	11	7	17	9	4	6	17
Ukupni početni resursi	327	23	23	135	38	10	29	59

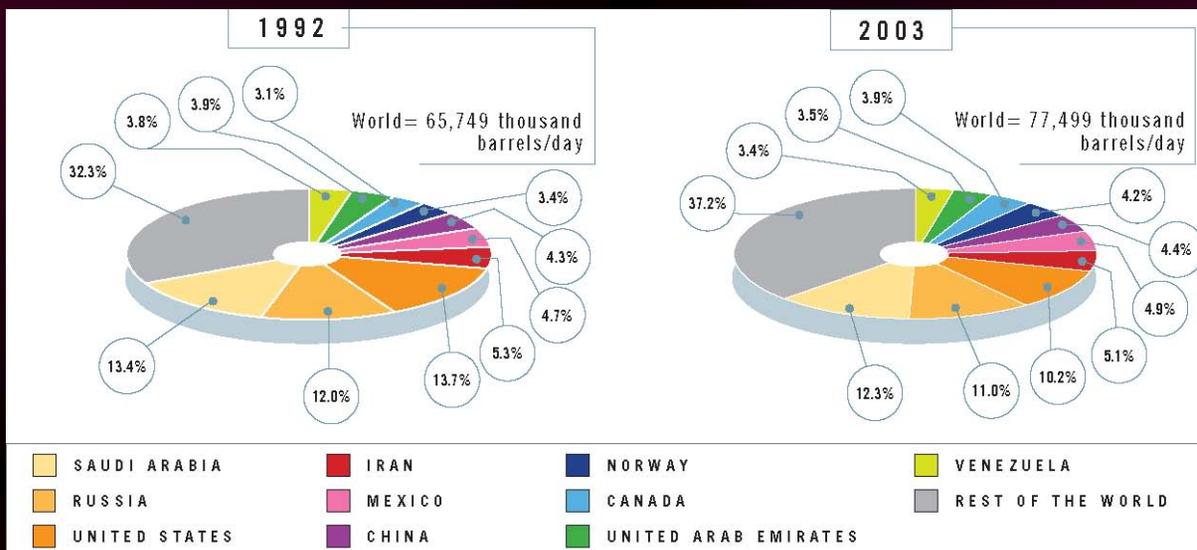
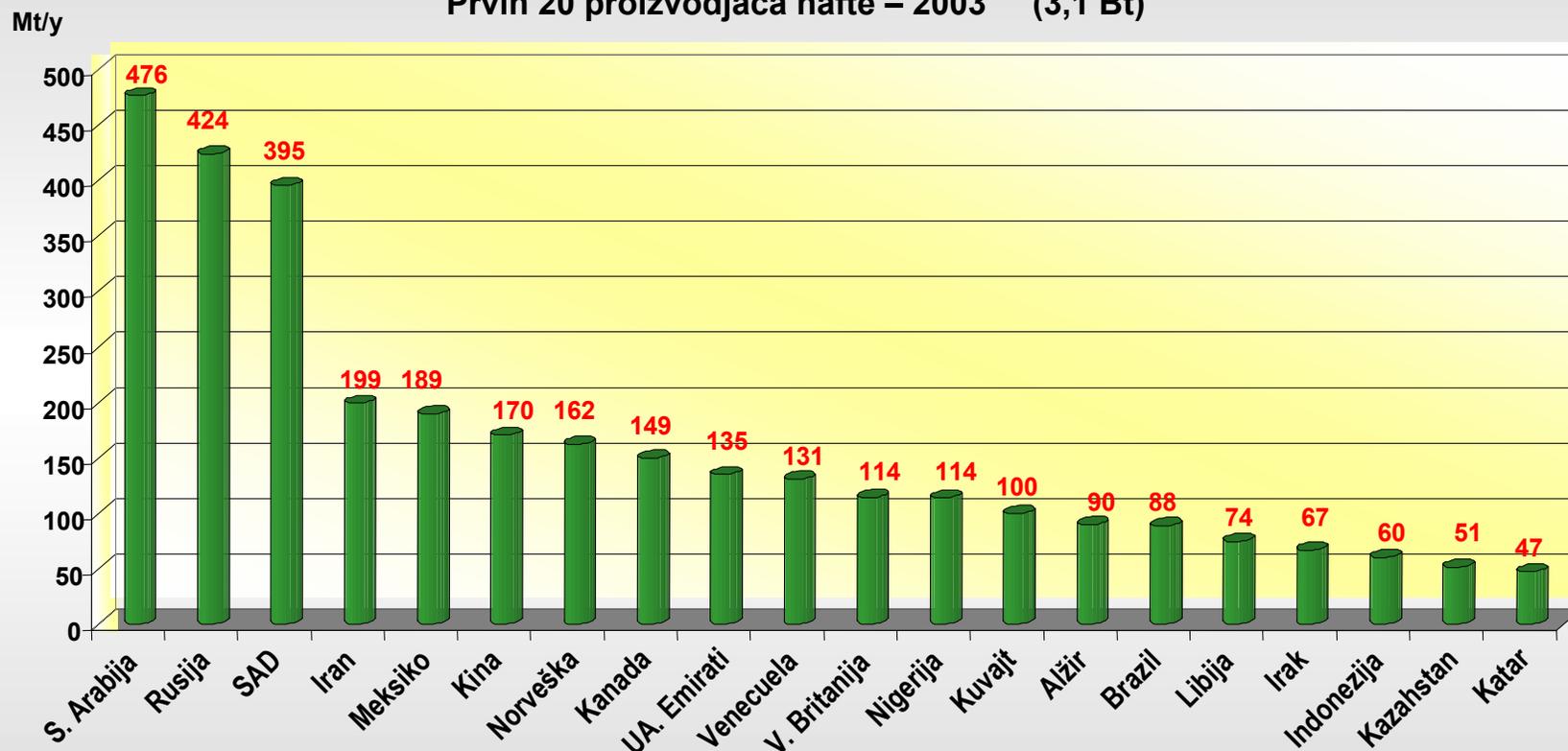
Dokazane svetske rezerve nafte (2010): $190 \times 10^9 \text{t}$

Dokazane rezerve nafte
(prvih deset država = 83 %)



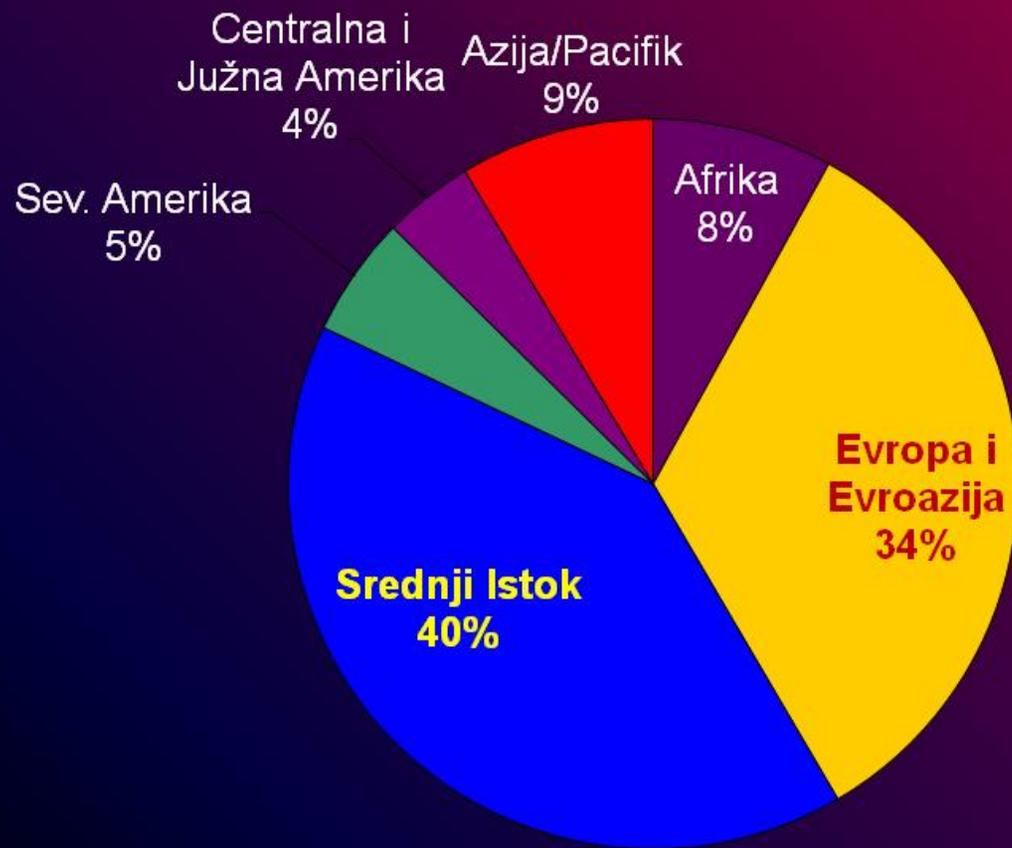
BP Review 2010

Prvih 20 proizvođača nafte – 2003 (3,1 Bt)



Godišnja proizvodnja nafte u svetu ~ 3,5 – 4,0 × 10⁹t

**Dokazane rezerve gasa u svetu
(ukupno $190 \times 10^{12} \text{ Nm}^3$)**

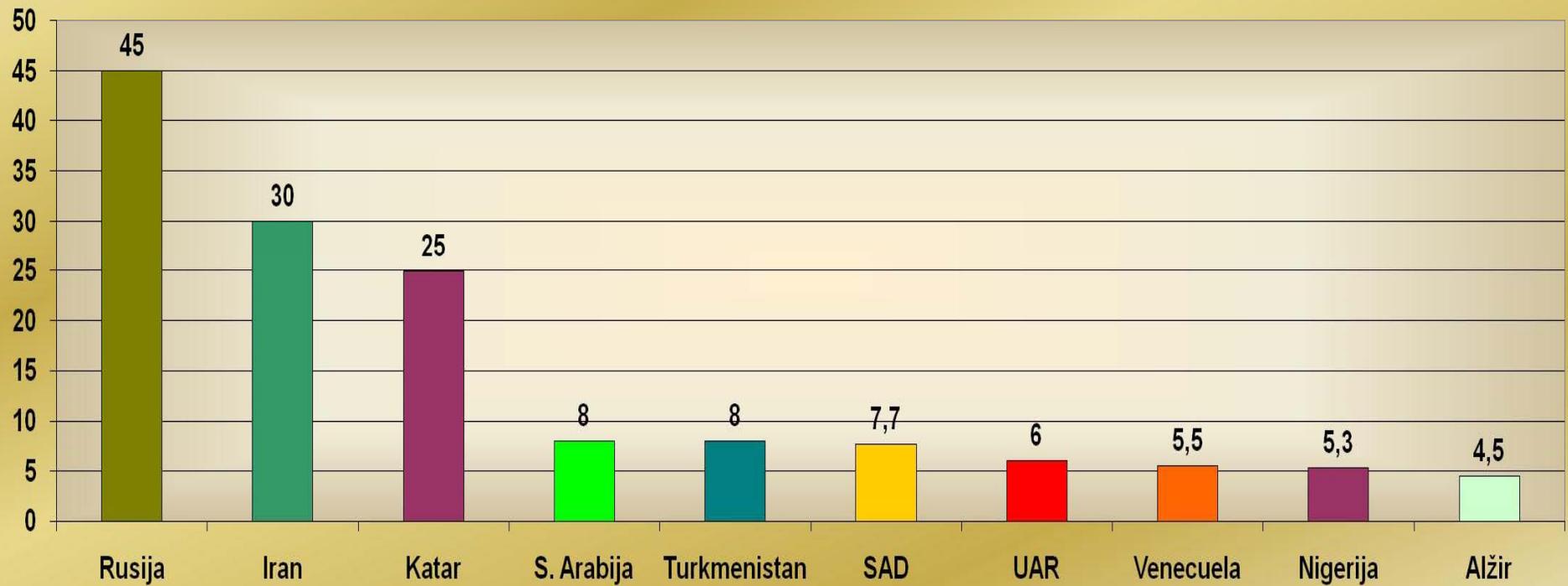


BP Review (2010)

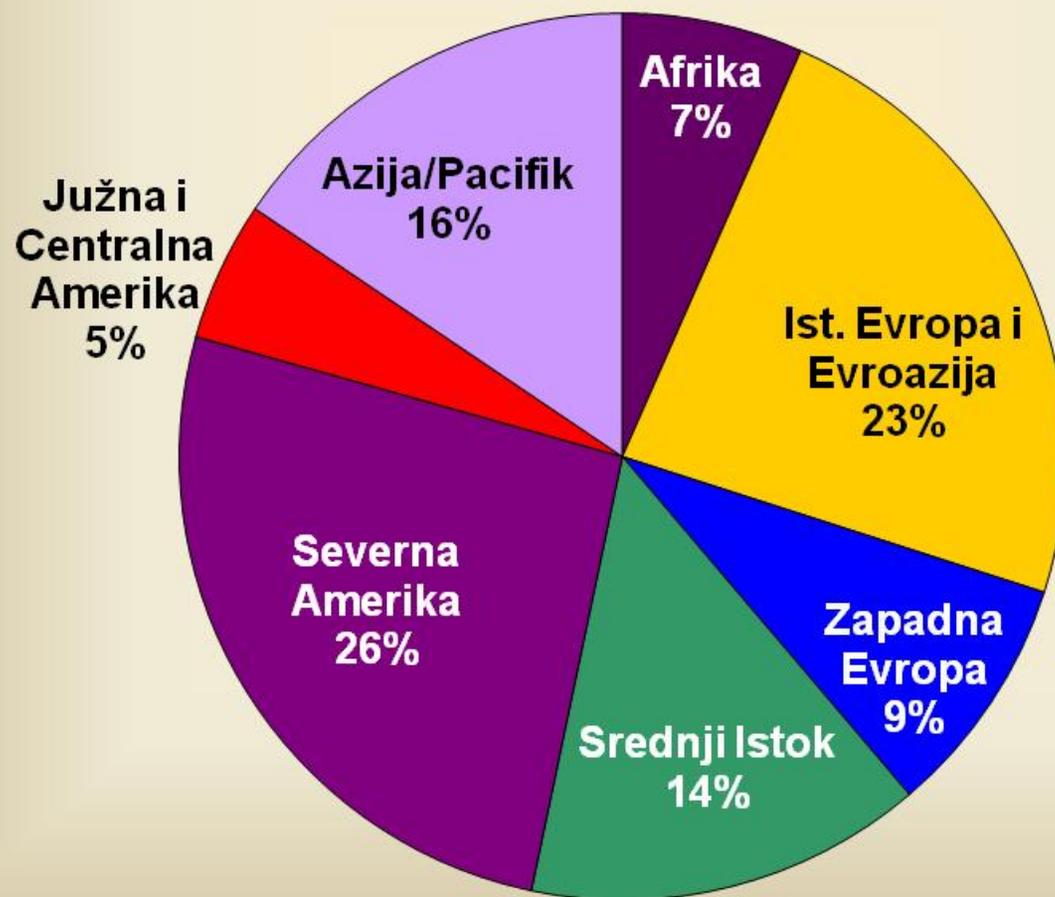
Dokazane rezerve gasa
(prvih deset država = 81 %)

BP - 2010

10^{12} Nm^3

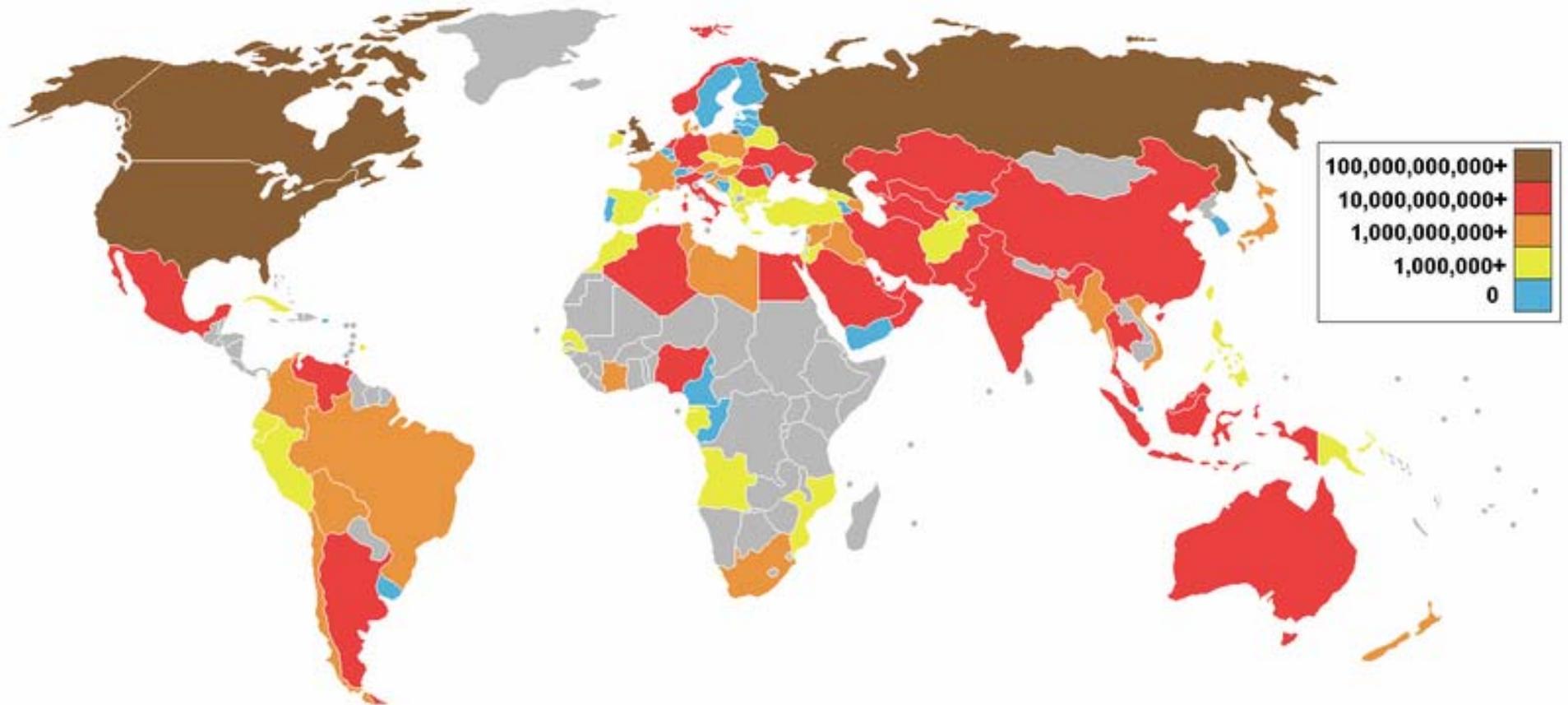


Proizvodnja gasa u svetu
(2010 - ukupno $3,2 \times 10^{12} \text{ Nm}^3$)



Godišnja proizvodnja gasa u svetu

$3,2 \times 10^{12} \text{m}^3$



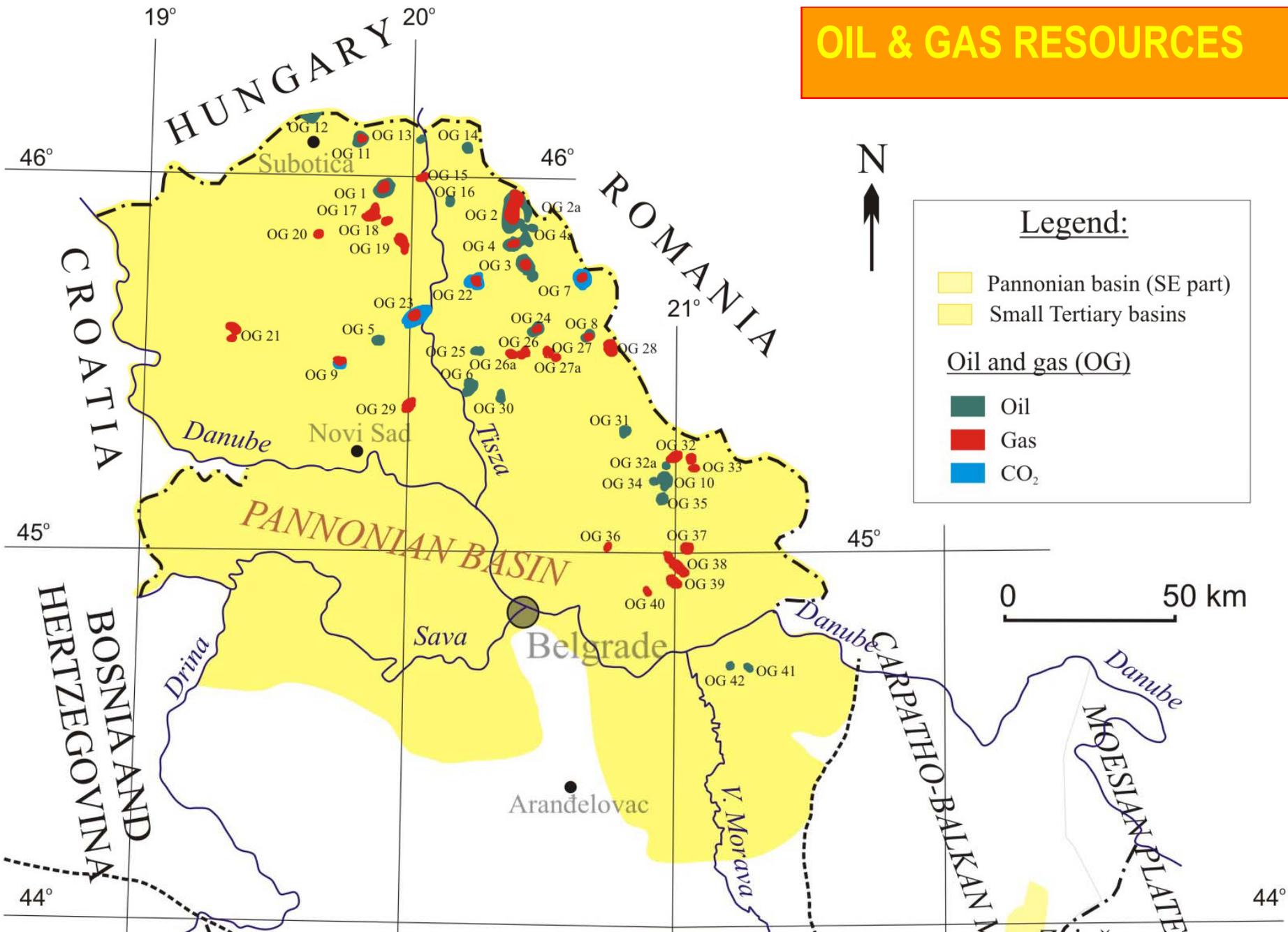
2010

Srbija

Jedino produktivno područje: Panonski basen

- Otkriveno preko **90 nalazišta** sa oko **270 ležišta**
- **50 polja** u proizvodnji
- Najznačajnija su naftno-gasna polja: **Velebit, Kikinda, Mokrin, Kikinda-varoš**, zatim naftna polja **Elemir i Turija sever**.
- Još preko 30 malih polja, sa površinama manjim od 5 km²

OIL & GAS RESOURCES



Cumulative production (since 1952): ~ 42 x 10⁶ t of oil, ~ 31 x 10⁹ m³ of gas

- Najveće rezerve otkrivene do 1970 godine.
- Ukupna proizvodnja (od 1952): ~ **42 × 10⁶ t nafte**,
~ **31 × 10⁹ m³ gasa**

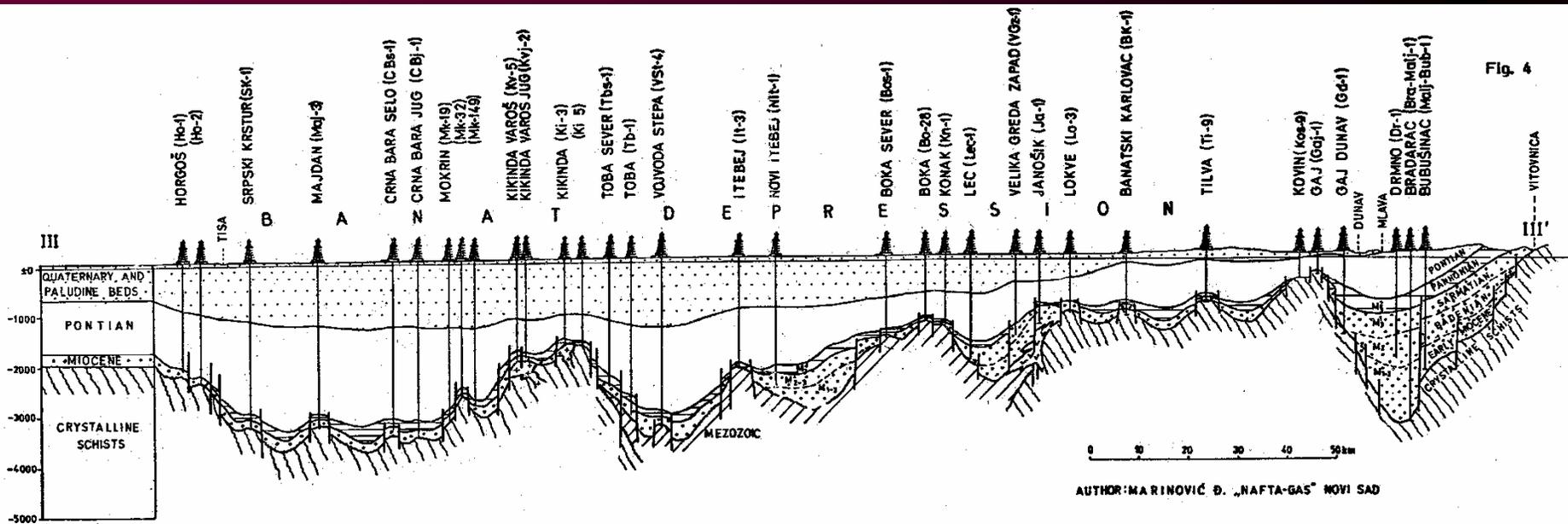
Najveća godišnja proizvodnja nafte: **1,3 × 10⁶ t (1982)**;
posle dužeg pada na **0,6 × 10⁶ t** - poslednjih godina je oko
~ **1,1 × 10⁶ t**

Najveća godišnja proizvodnja gasa: **1,1 × 10⁹ m³ (1979)**;
danas ~ **0.5 × 10⁹ m³**

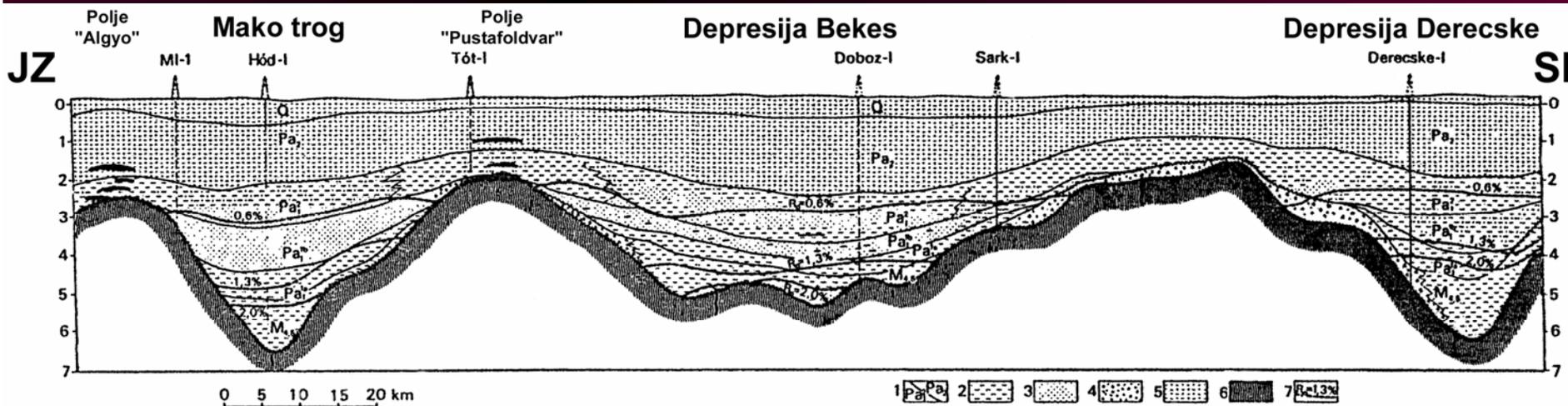
Ležišta:

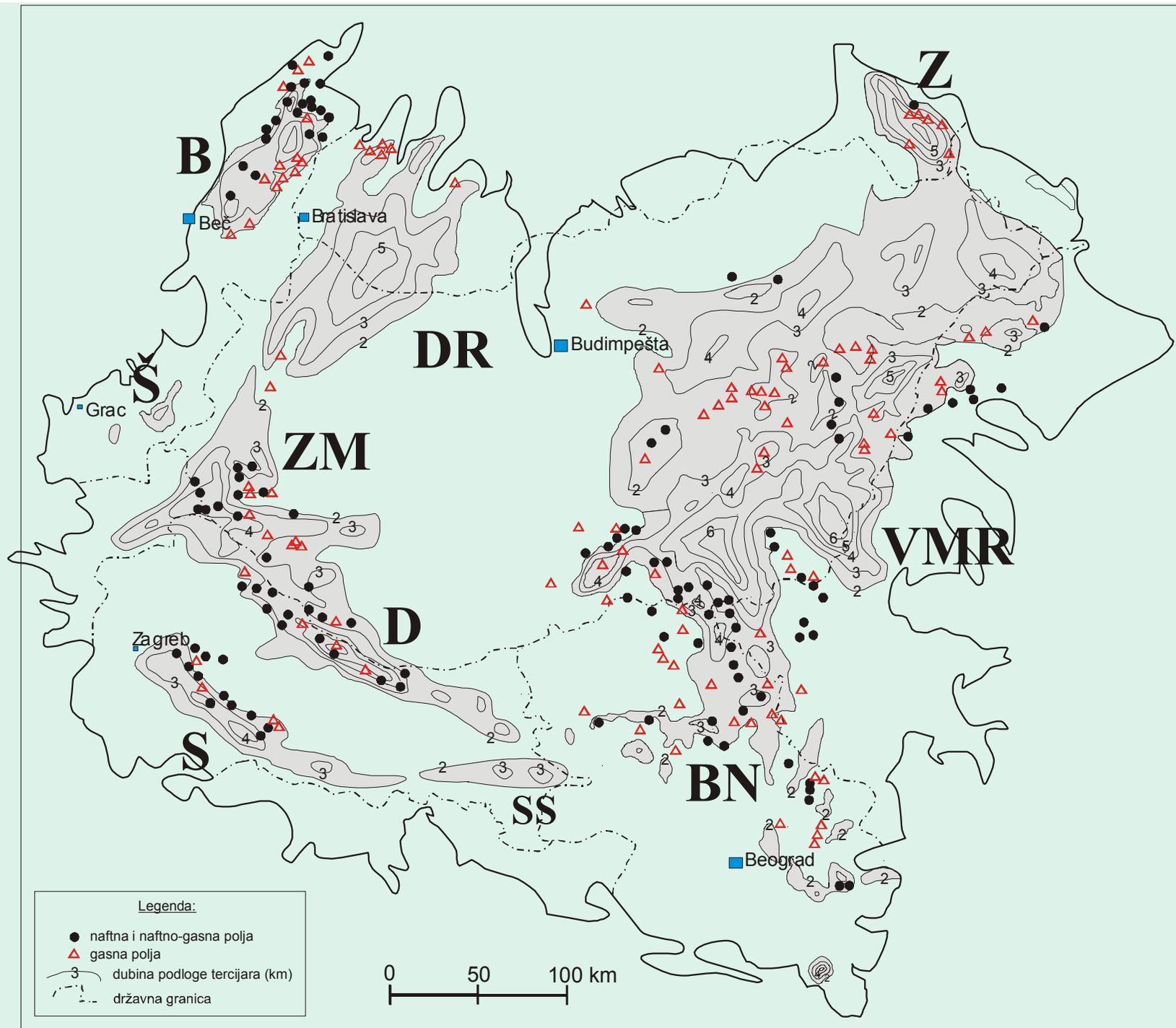
- U **prekrivenim erozionim masivima** (ispucali škriljci podloge basena) i **kompakcionim antiklinalama: konveksne zamke, rasedne zamke, isklinjenja i sočiva** (miocenski peskovi i peščari, ređe krečnjaci)
- Dubine ležišta: 350 - 3500 m, a većinom od 700 do 2700 m

Uzdužni profil Banatske depresije (Mađarska - Pomoravlje)

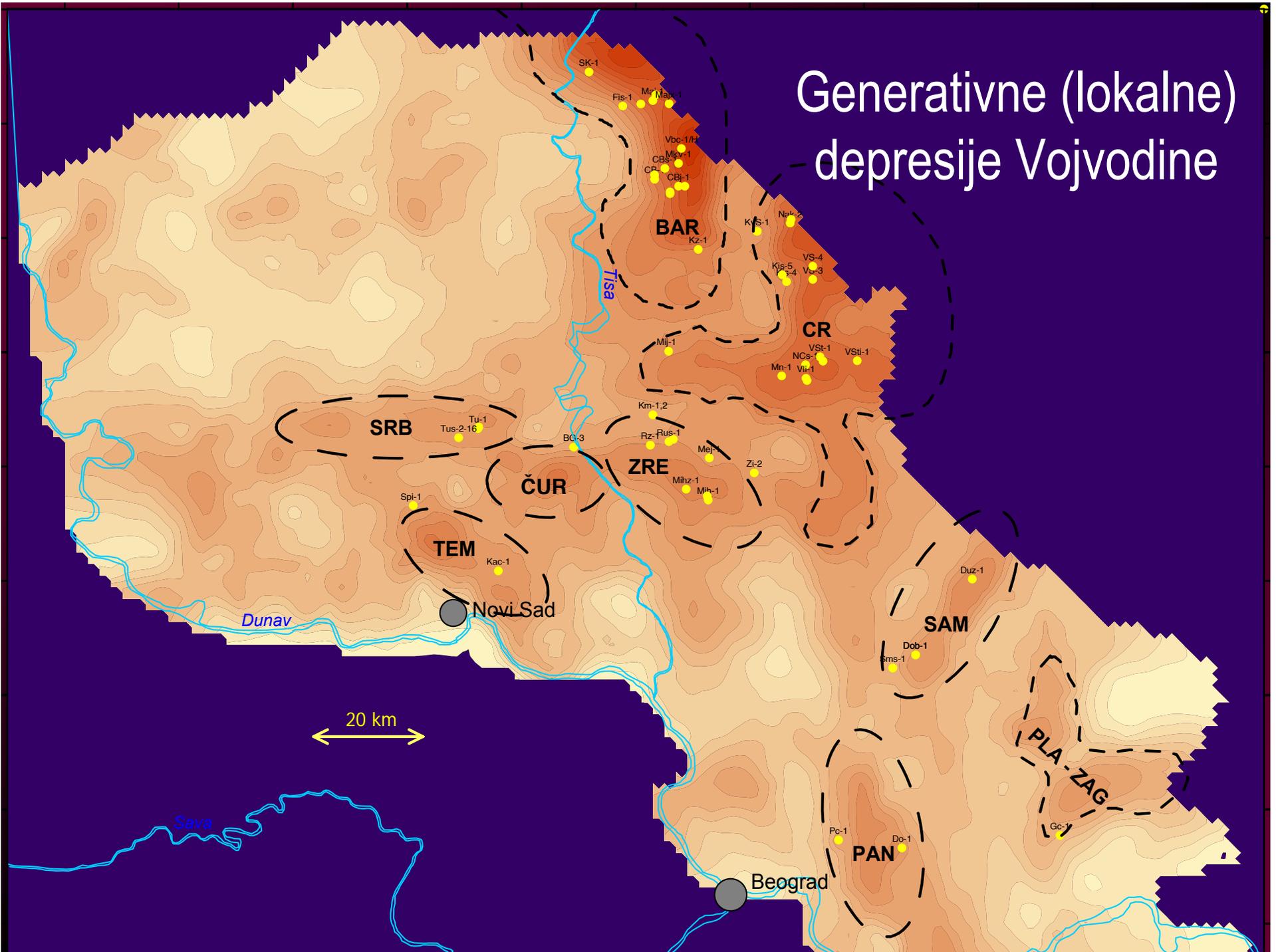


Prifil Mako trog – Bekes depresija - Derecske depresija





Generativne (lokalne) depresije Vojvodine



Назив поља	Врста флуида	Година	
		открића	почетак експлоатације
Велика Греда	гас	1949.	1952.
*Јерменовци	нафта	1952.	1956.
*Локве	нафта	1953.	1957.
*Бока	нафта	1955.	1959.
*Јаношиќ	нафта	1958.	1966.
*Елемир	нафта	1959.	1959.
*Кикинда	нафта-гас	1959.	1963.
Банатско Пландиште	гас	1959.	1962.
*Мокрин	нафта-гас	1961.	1963.
Госпођинци	гас	1962.	1969.
*Кикинда-варош	нафта-гас	1963.	1965.
*Бегејци	гас	1963.	1971.
*Србобран	гас	1963.	1973.
*Палић	нафта-гас	1963.	1976.
*Николинци	гас	1964.	1972.
*Српска Црња	гас	1964.	1978.
*Велебит	нафта-гас	1964.	1968.
*Тилва	гас	1965.	1969.
*Мраморак	гас	1965.	1970.
*Ада	гас	1966.	1977.
*Банатско Милошево	гас	1966.	1984.
*Међа	гас	1966.	1972.
*Нови Кнежевац	гас	1967.	--
*Горњи Брег	гас	1968.	1977.
*Келебија	нафта	1970.	1972.
*Мраморак Село	гас	1970.	--
*Банатско Ново Село	гас	1970.	--
*Бачка Топола	гас	1971.	1986.
*Чантавир	гас	1971.	1977.
*Мајдан	нафта	1972.	1983.
*Руски Крстур	гас	1972.	1986.
*Карађорђево	нафта	1973.	1979.
*Чока	нафта	1975.	1978.
*Банатски Двор	гас	1976.	1978.
*Црна Бара	нафта	1976.	--
*Итебеј	нафта-гас	1978.	1979.
*Мартонош	гас	1980.	1987.
*Банатски Двор-запад	гас	1981.	1986.
*Кикинда варош-север	нафта	1981.	1989.
*Велика Греда - југ	нафта	1981.	1986.
*Мокрин - југ	нафта	1982.	1986.
*Бегејци (Нови)	гас	1983.	1987.
*Зрењанин	нафта	1983.	1988.
*Русанда	нафта	1986.	1990.
*Михајлово	нафта	1988.	--
*Житиште	гас	1988.	--
*Турија - север	нафта	1988.	1993.

	Starost		Rel. dubina (m)	Nalazišta nafte, gasa, kondenzata i CO ₂		
	relativna	Ma		Stratigrafska pripadnost rezervoar stena		
				Proizvodna	Bez proizvodnje	
K e n o z e n	Kvartar		2,0	150	Kikinda varoš sever, Mokrin jug	
	Pliocen	Dak + Roman			PI	Kikinda, Bečej
	Miocen	Danubian	5,3	860	Kikinda, Mokrin, Novo Miloševo,	Bočar, Gornji Breg
					Pont	M ₃ ³
		Sarmat/Panon	Baden	7,3	1600	Velebit, Mokrin, Kikinda varoš, Majdan, Begejci, Žitište, R.Krstur, B.Dvor zapad, Martonoš, Bač. Topola, Karadordevo
	9,0			2600	Mokrin (breče)	Vojvoda Stepa, Hetin,Obiličevo, Aleksandrovo, Bački Vinogradi
	12,0			2870		
	13,0			3200	Mokrin, Kikinda varoš, Elemir, Turija sever, Boka, Kelebija, Čoka, Jermenovci, Zrenjanin, Janošik, V. Gređa jug, Karadordevo, Tilva, Nikolinci, Međa, Ada, Srbobran, Čantavir, Ruski Krstur, Gospodinci, Mramorak, Novo Miloševo, Bečej	Itebej, Majdan duboko, Alibunar, Gornji Breg, Vilovo, Glogonj
	Paleogen	Ornang + Kerpat	16,4	4000	Velebit, Palić, Lokve, Jermenovci, Sirakovo, Bradarac-Maljurevac, Ada, Ban. Plandište	Malj.-Bubušinac, Kurjače selo, Alibunar
			18,3			
Mezozoik	Paleogen		Pg		Kumane	
	Kreda		65			
	Jura		144		Elemir, Palić, Rusanda, Karadordevo, Tilva, Međa, Nikolinci, Gospodinci, Bečej	Melenci, Novi Kneževac, Melenci duboko
	Trijas		206			
Paleozoik	Devon ?		248		Kelebija, Kikinda varoš, Jermenovci, Lokve, Mokrin, Tilva, Velika Gređa, Mramorak, Kikinda	Kikinda istok

STRATIGRAFSKA PRIPADNOST		GRAFIČKI PRIKAZ	DEBLJINA (m)	TEKSTUALNI PRIKAZ				
KENOZOIK	TERCIJAR	PLIOCEN DARUŠKI I ROMANSKI	Pl _{1,2}	< 1500	"Paludinski slojevi" (sive, plavičaste i zelenkaste peskovite i laporovite gline, ugljevite gline i peskovi sa slatkovodnim mekušcima (<i>Vivipara neumayi</i> , <i>V. pannonicus</i> , <i>V. bifurcata</i> , <i>V. striatata</i> i <i>V. ornatus hoernesii</i> , <i>V. zelebori</i> i dr.) i ostrakodama (<i>Scottia browniana</i> , <i>Candona</i> (<i>Neglectandona</i>) <i>neglecta</i> , <i>Paralimnocythere dalmatica</i> i dr.) i dr.			
					GORNJI PIOCEN	2M ₃	100-500	Sivi laporci, sivozelene gline, alevrolitski peščari i peskovi sa mekušcima (<i>Paradacna radiata</i> , <i>P. okruglici</i> , <i>Hydrobia sirmica</i>), ostrakodama (<i>Amplocypris reticulata</i> , <i>Candona</i> (<i>Lineocypris</i>) <i>trapezoida</i> i dr.) i palinomorfama i dr.
		DOJNI PIOCEN	1M ₃	150-1500		Basenski laporci, alevrol. laporci, alevroliti, glinci i peščari Plitkovodni laporci, lapor. krečnjaci i beli peščari sa školjkama (<i>Congeria digitifera</i> , <i>Paradacna abichiformis</i> , <i>Didacna otiohora</i> i dr.), ostrakodama (<i>Leptocythere litica</i> , <i>L. multiberculata</i> , <i>Pontoleberis pontica</i> i dr.), palinomorfama i dr.		
			PANON	M ₃	10-220	Bazalni klastiti i "donjekongerjski slojevi"		
		SARNAK		M ₂	10-450	Konglomerati, peščari, alevroliti i laporci i krečnjaci sa algama, foraminiferama (<i>Articulina sarmatica</i> , <i>Asterigerina planorbis</i>), ostrakodama (<i>Cytheridea hungarica</i> i dr.) i dr.		
			BADEN	M ₂	20-150	Sprudni krečnjaci Bazalni klastiti	Lagunski sivozelene laporci i laporoviti peščari	
		DOJNI PIOCEN		M ₁	20-450	Crvene breče konglomerati, peščari, glinoviti alevroliti, glinci i laporci sa algama (<i>Chara molassica</i> , <i>Ch. notata</i> , <i>Ch. ulmensis</i>) foraminiferama i dr.		
			PALEOGEN		Pg	20-500	Crveni konglomerati, peščari, glinoviti alevroliti i peskoviti glinci sa palinomorfama (<i>Concavisporites</i> , <i>Regulatisporites</i> , <i>Pytisporites</i> i dr.)	
		MEZOZOIK	KREDA	GORNJA KREDA (CENOMAN-PALEOCEN)	K ₂ ¹⁻⁶	20-1230	Vulkanogeno-sedimentne stene (breče, konglomerati, konglom. peščari, vulkanske grauvske i glinovito-laporoviti alevroliti) sa foraminiferama, algama, školjkama (<i>Inoceramus</i> i dr.), palinomorfama, nanofosilima i dr.	
				BAREN-ALB	K ₁ ⁴⁻⁶	20-360	Sprudni krečnjaci sa koralicima, algama, bricozama, foraminiferama (<i>Choffatella decipiens</i> , <i>Pseudochoffatella rugosa</i>) i dr.	Flišne tvorevine
				BEHJA, WALSUND I OTRIV	K ₁ ¹⁻³	100-1000	Breče sa <i>Candosina tenuis</i> , <i>C. fusca</i> , <i>Globochaete alpina</i> i dr.	
			JURA	MALM	J ₃ -K ₁	50-200	Crni glinci i glinoviti peškoviti krečnjaci, laporci i alevroliti sa <i>Calamilla alina</i> , foraminiferama, radiolarijama i dr.	
				DOGER-MALM	J ₂ -J ₃	20-150	Tamnosivi-crni alevroliti i gline sa alevroličnim glincima sa <i>Sporis sp.</i> , <i>Calamispina sp.</i> i prosiojcima peščara i rožnaca	
				LIJAS	J ₁	>150	Tamnosivi-crni alevroliti i glinci i peščari sa palinomorfama	
TRIJAS	LADINSKI-KARNIJSKI KA			T ₂ -T ₃	25-280	Sivoplavičasti dolomitni krečnjaci i dolomiti i tamno-svetlosive dolomitne breče		
PALEOZOIK		Pz		Q-albit-muskovitski i amfibol-biotitsko-hloritski škrljaci				

Stratigrafska pripadnost	Dominantan litološki sastav	Sredina taloženja	Reporna oznaka	Kolektori	Broj ležišta	
KVARTAR	Glina, šljunak, pesak	Kontinentalna	Q	-	-	
TERCIJAR	PLIOCEN	Roman Dak	Pesak, glina	Slatkovodna	PS	-
		Pont G.	Pesk. glina, pesak, ug.	Slatkovodna	Lo-L'	Peskovi, pš.
	Pont D.	Lapori, pesak, peš.	Bočatno jezerska	M-P	Peskovi, peščari	15
	Panon	Lapori, peščari, laporci	Marinska, marinsko-bočatna i terigeno-subakvatična	Tg-M	Peščari, alevroliti, kon.breče, škrljaci	60
	Sarmat	Krečnjaci, peščari, laporci, gline				
	Baden	Organogeni krečnjaci, peščari, glinci, laporci				
	Otnang-karpat	Glinci, alevroliti, peščari, konglobreče				
PALEOGEN	Fliš					
KREDA	Glinci, škrljavi pešari					
JURA						
TRIJAS			Tg-Mz		5	
Devon ?	Kristalasti škrljaci					

RESURSI I REZERVE NAFTNIH PESKOVA

Glavnina rezervi naftnih peskova se nalazi u velikim sedimentnim basenima koji transgresivno prekrivaju prekambrijumske štitove.

Najčešće se javljaju u rečnim i deltnim peskovima, ređe u morskim peskovima ili karbonatima. Na površinu dospevaju ili **erozijom** zaštitnih stena naftnih ležišta (Madagaskar, *trijas*) ili sekundarnom ili tercijarnom **migracijom** iz dubljih ležišta ili matičnih stena (npr. *Athabaska* - Kanada i *La Brea* - Trinidad)

Najveći resursi nafte iz naftnih peskova (*in-place*) su u:

- Kanadi (d. kreda; ležište Athabasca 173 Bbbl (28 Bt) što je 10 % od *in-place* resursa, + susedna ležišta *Peace River* i *Cold Lake*),
- Venecueli (Orinoko basen, oligocen-miocen, 26 Bbbl),
- Madagaskaru (~ 22 Bbbl),
- SAD-u (21 Bbbl: Juta- kreda-oligocen ~ 20 Bbbl; + Kansas, Kalifornija...).



Ležište Athabasca (Alberta, Kanada)

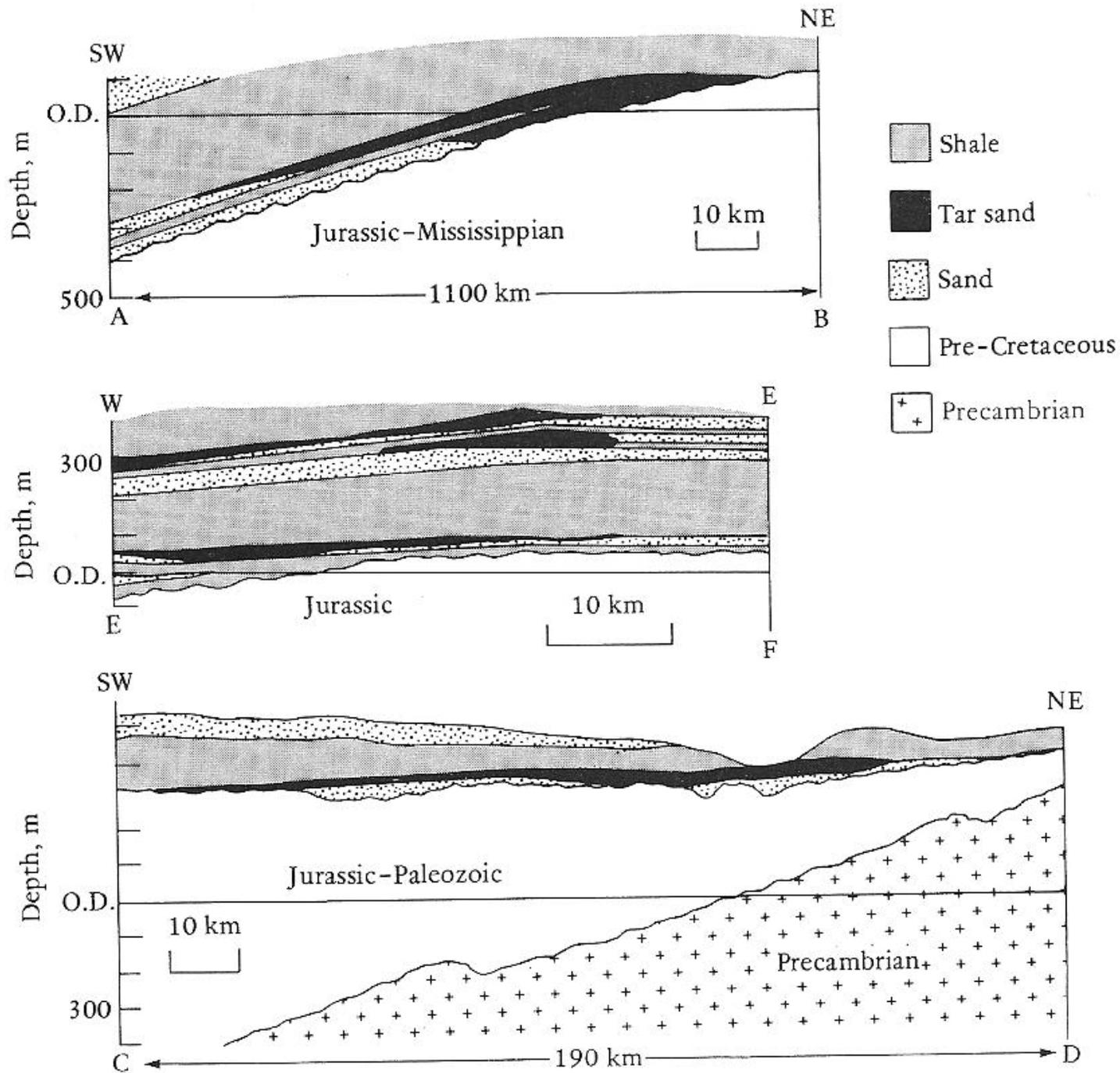
U proizvodnji je od 1967 god.
Danas se iz njega proizvodi preko
200.000 t nafte / dan ! (75 Mt / god.)



tar sands

Površinski kop: mešanje sa vrućom vodom (50-80°C) i separacija.
Iskorišćenje bitumena (teške nafte) je 90-100 % !
U dubljim nivoima: utiskivanje pare i proizvodnja bušotinama.

Profili Athabasca ležišta (Jordine, 1974)





Athabasca (Alberta, Kanada)

- površinski kop -



Large-Scale Commercial Tar Sands Surface Mining Activity North of Fort McMurray, Alberta, Canada (The shovel bucket holds approximately 100 tons of tar sands ore. A tar sands processing plant is visible in the background.) (Image courtesy of Suncor Energy, Inc.)

Proizvodni pogon Suncor Energy Inc. (Fort McMurray), Alberta

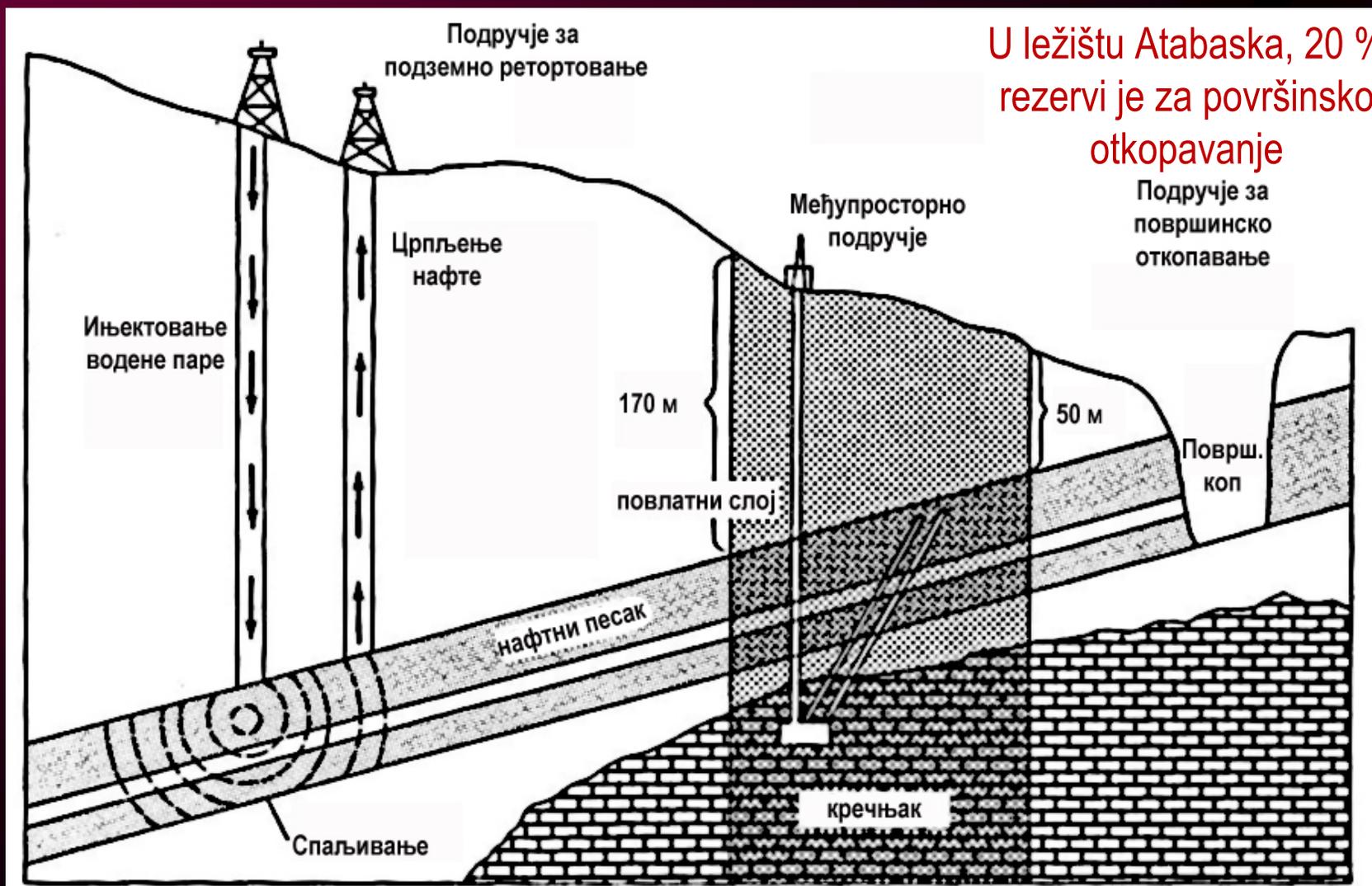


il Tar Sands Processing Plant near Fort McMurray, Alberta, Canada (Image



Close-up View of a Large-Scale Commercial Tar Sands Processing Plant near Fort McMurray, Alberta, Canada (Image courtesy of Suncor Energy, Inc.)

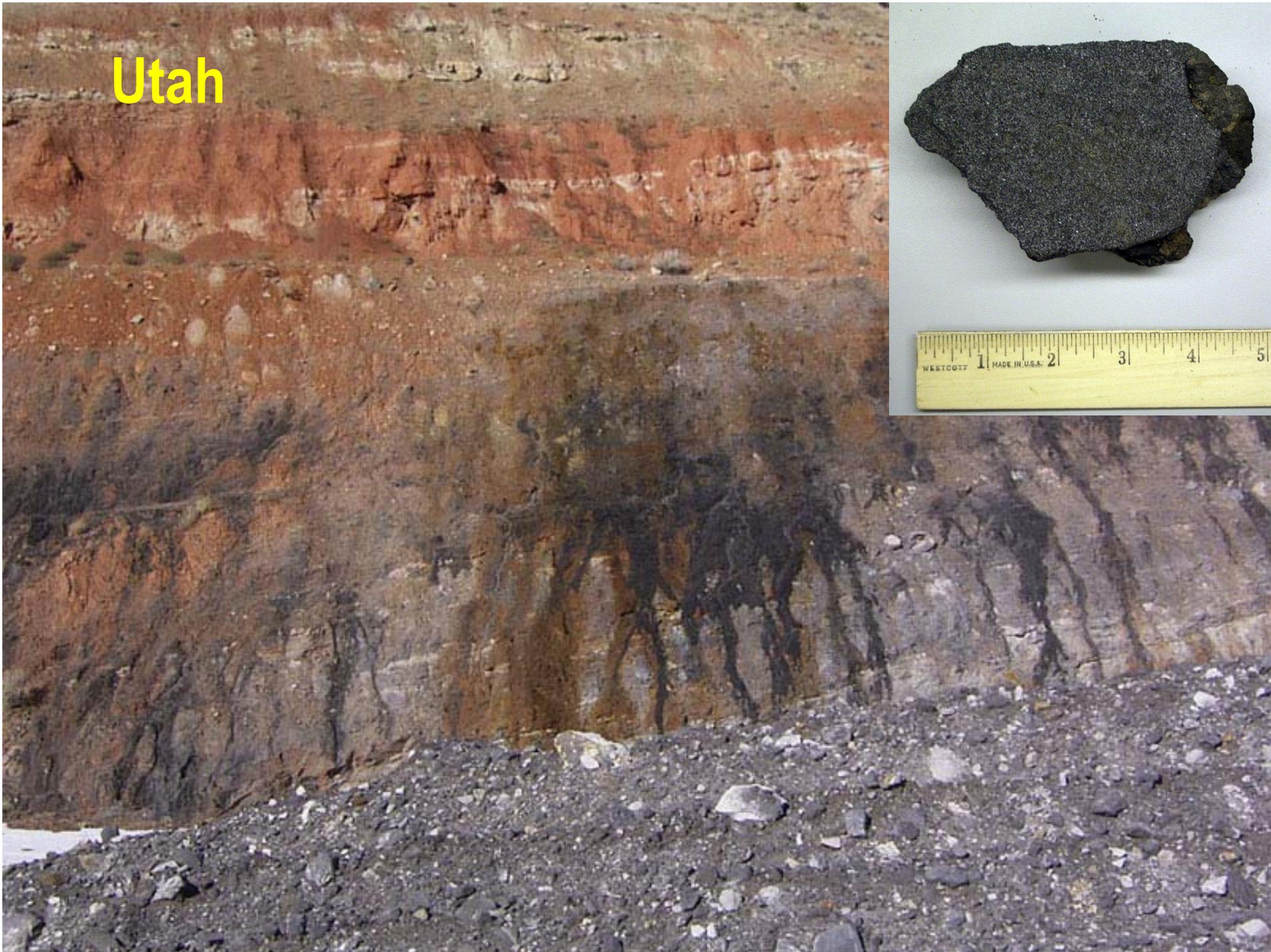
Za dublje delove ležišta - alternativni metodi – in situ (utiskivanje pregrejane pare, sagorevanje in situ ili hemijsko razlaganje) i proizvodnja bušotinama.



U ležištu Atabaska, 20 % rezervi je za površinsko otkopavanje

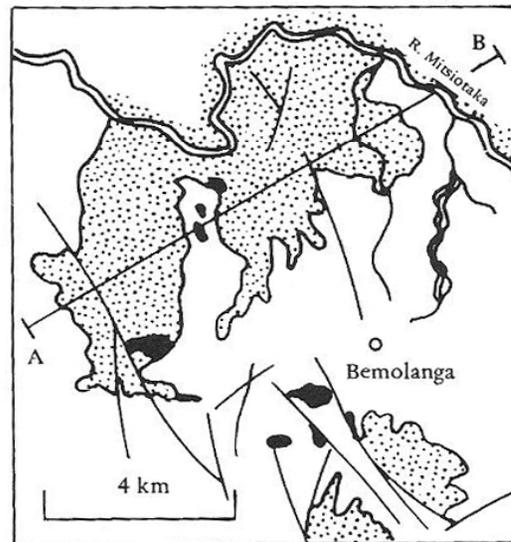
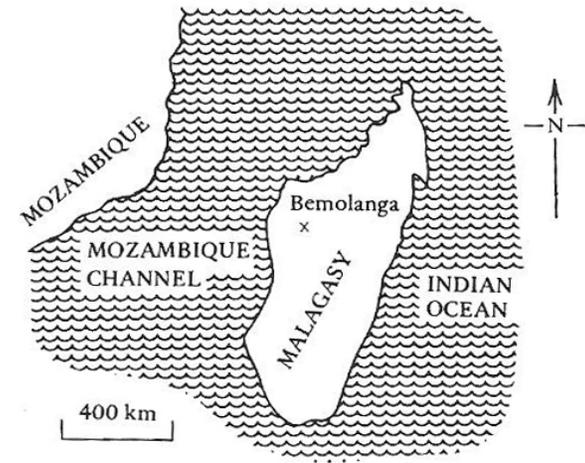
Potrošnja gasa (za vodenu paru) iznosi oko 20-34 m³ / bbl nafte
Potrošnja vode: 2-4,5 puta veća količina od proizvedne nafte

Utah



Madagaskar

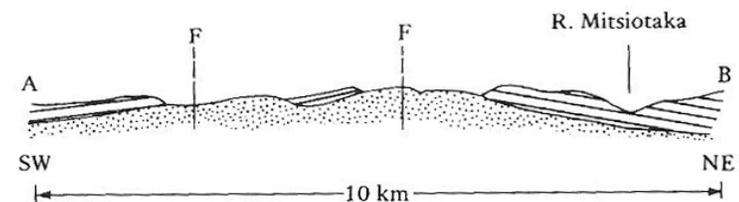
Bemolanga naftni peskovi



Locality map

- Bemolanga clay (cap rock)
- ▨ Bemolanga oil sands
- Bitumen plugs

**EROZIJA
ZAŠTITNIH
STENA**

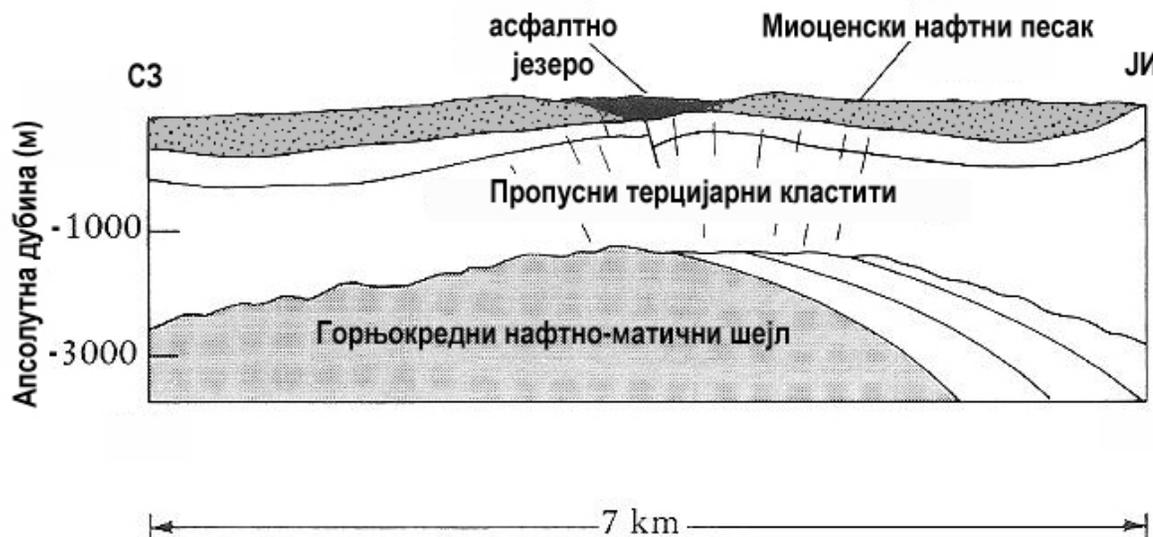
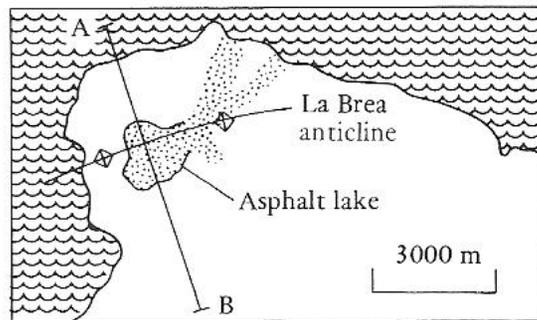
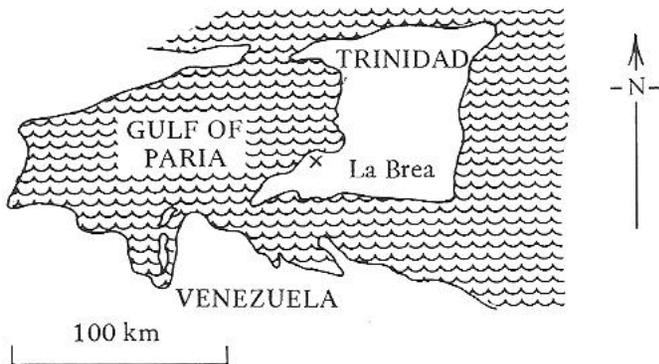


Cross-section along A-B

Naftni peskovi "La Brea"

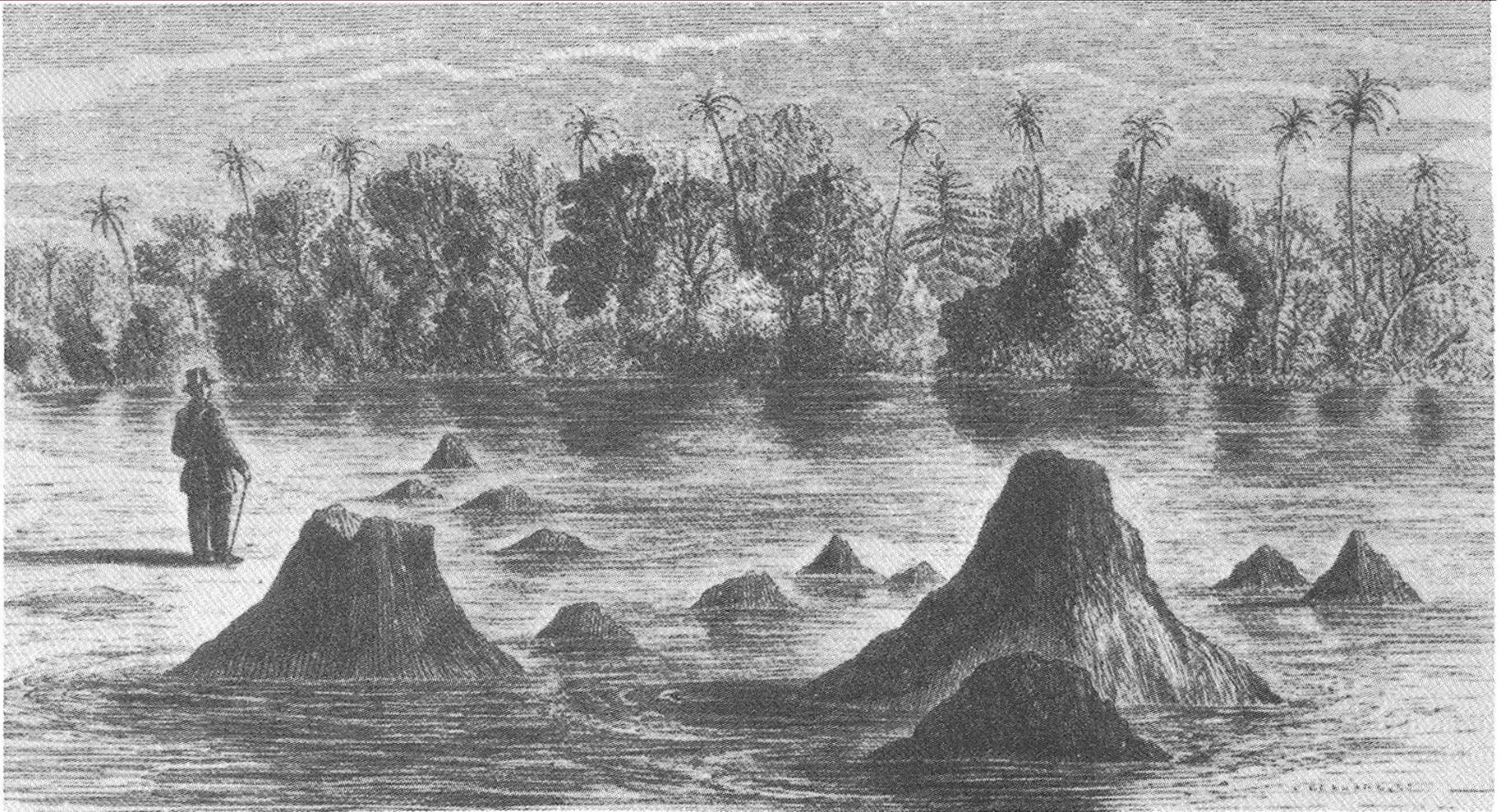
Trinidad i Tobago

- Doticanje izmenjene viskozne nafte (asfaltne) iz prekrivene erozije kredne antiklinale (emigracija iz matičnih stena) i obrazovanje naftnih peskova (miocen) i asfaltnog jezera.

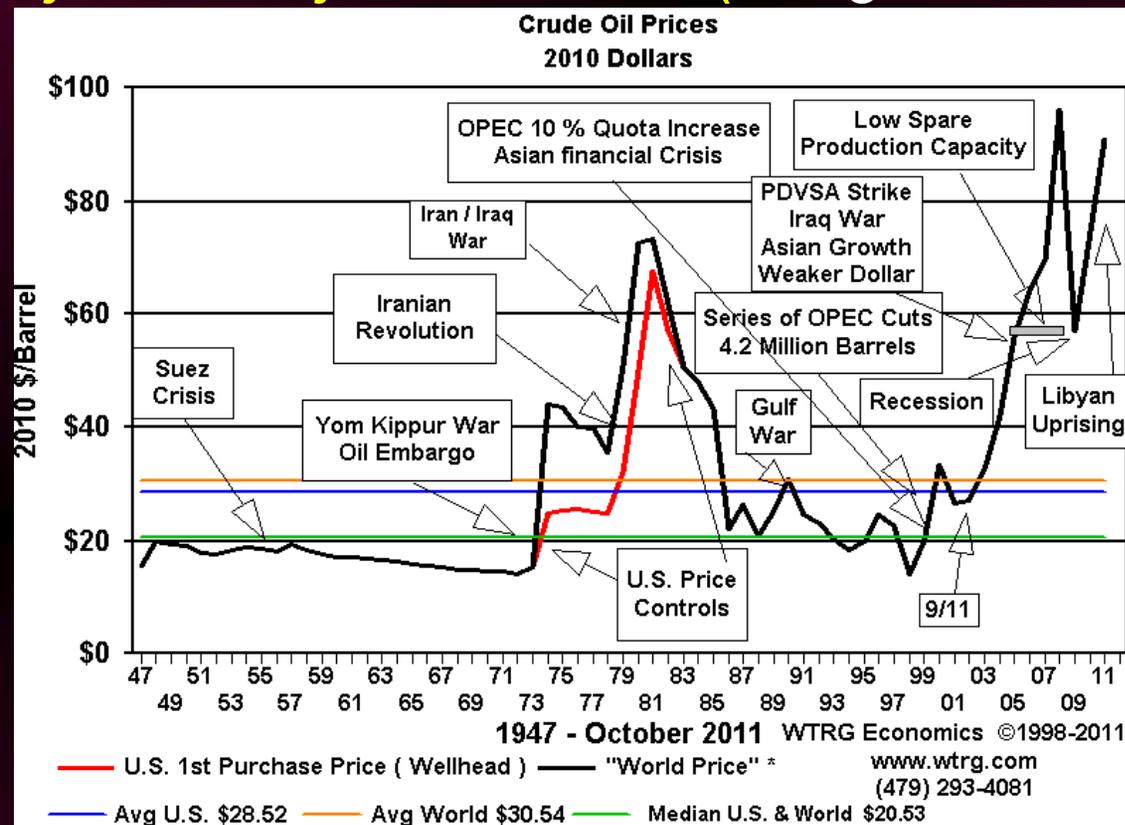


Blatni vulkani sa asfaltom, *Pitch Lake*, Trinidad

Wall & Sawkins, 1860.



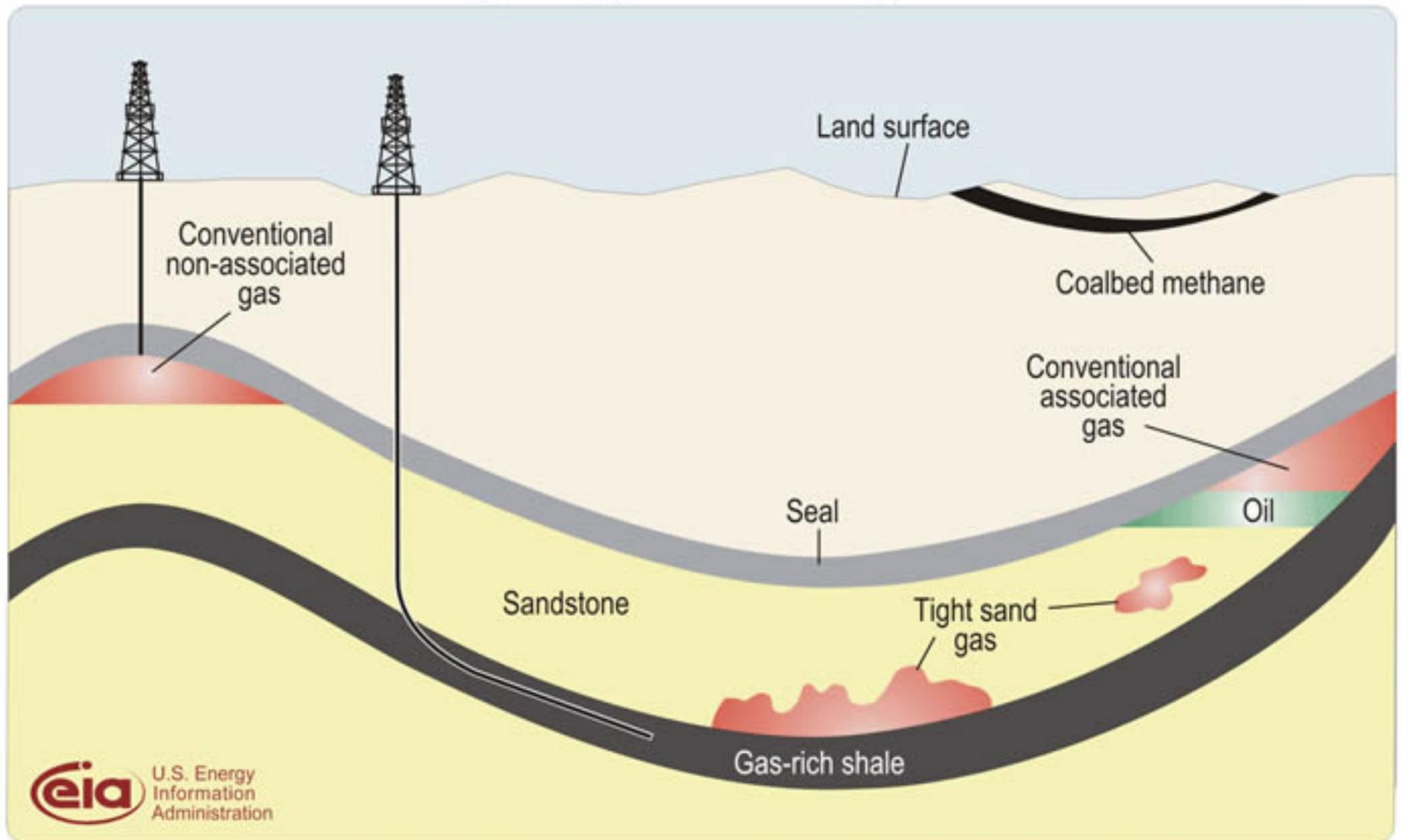
Troškovi dobijanja nekonvencionalne nafte iz naftnih peskova iznose 20-30 \$ / barelu, a iz uljnih šejlova preko 60 \$ (površinski kopovi). Podzemno retortovanje uljnih šejlova (Shell Oil., Chevron) se procenjuje na 20-30 \$/bbl. Srazmerno visoki troškovi proizvodnje i prerade ne umanjuju njihov značaj u bliskoj budućnosti (zbog rasta cena nafte).



- In 2006, the operating cost of a new mining operation in the Athabasca oil sands is C\$9-12 per barrel, while the cost of an in-situ operation (using dual horizontal wells) is C\$10 -14 per barrel. This compares to operating costs for conventional oil wells which can range from less than \$1 / bbl in Iraq and Saudi Arabia to over \$6 in the United States and Canada.
- The capital cost of the equipment required to mine the sands and haul it to processing is a major consideration in starting production. The estimate is that capital costs raise the total cost of production to C\$18-22 / bbl for a new mining operation.
- This does not include the cost of upgrading the crude bitumen to synthetic crude oil, which makes the final costs C\$36-40 /bbl for a new mining operation.

Konvencionalni i nekonvencionalni izvori zemnog gasa

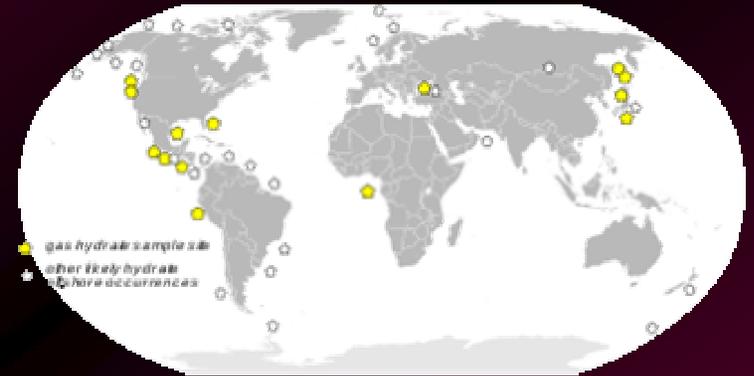
Schematic geology of natural gas resources



Nekonvencionalni izvori dobijanja gasa:

- Gas iz slabopropusnih rezervoara (*tight gas, shale gas*)
- Gas iz matičnih stena (*gas shale; basin-centered gas*)
- Gas iz slojeva uglja (CBM – *coalbed methane*)

➤ Gasni hidrati
(samo u perspektivi)



Gasonosni šejlovi po pravilu sadrže **vlažan** gas, a ugljevi **suvi** gas.



Perspektive za gas shale u Srbiji

