



GEOLOGIJA I GEOKEMIJA UGLJIKOVODIKA (285219) (1)

doc. dr. sc. Katarina Gobo

katarina.gobo@geol.pmf.hr

Što ćete naučiti na ovom kolegiju? ²

O čemu ćemo govoriti

- opće karakteristike ležišta ugljikovodika
- uvjeti i okoliši u kojima nastaju ugljikovodici
- metode istraživanja i crpljenja ugljikovodika
- primjena sekvencijske stratigrafije i biostratigrafije u istraživanju ugljikovodika
- geokemijska svojstva i analize



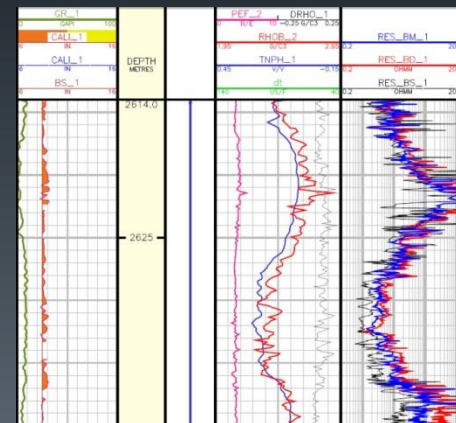
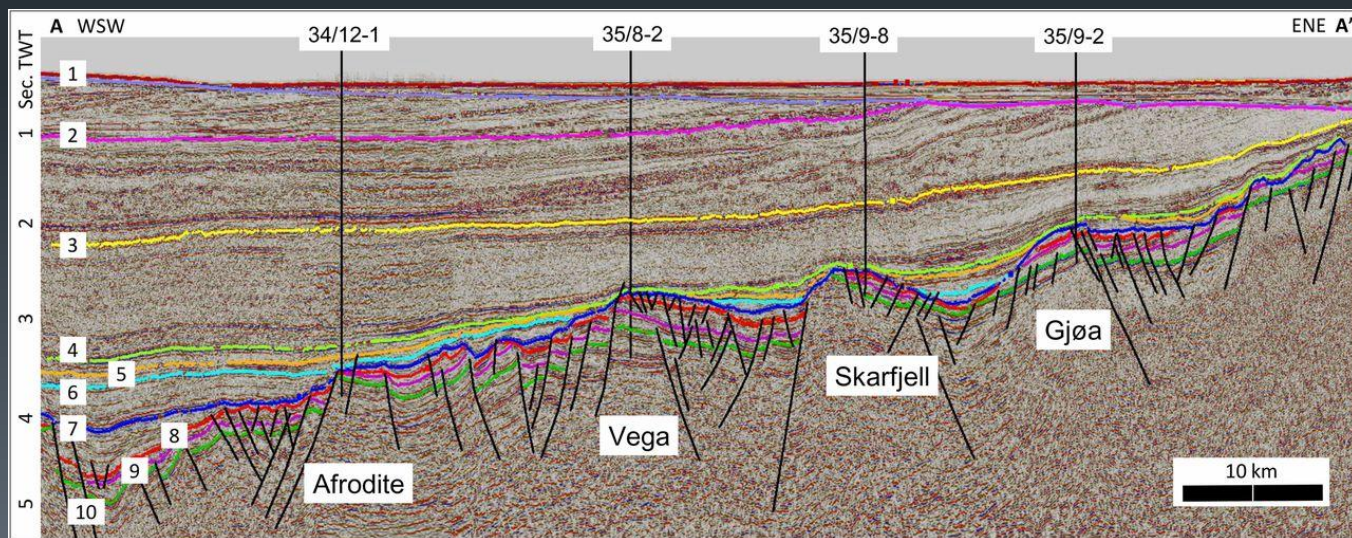
Ishodi učenja

- poznavanje i razumijevanje sedimentologije matičnih i rezervoarnih stijena
- poznavanje procesa nastanka, migracije i nakupljanja ugljikovodika
- definiranje facijesa, paleoekoloških i geokemijskih osobina matičnih i rezervoarnih stijena
- sposobnost geokemijske evaluacije

Teme predavanja (i vježbi)

3

1. Uvod, osnovne definicije, povijest i metode istraživanja ugljikovodika
2. Geneza ugljikovodika i migracija, ugljikovodici u Hrvatskoj
3. Rezervoarne stijene, pokrovne stijene i zamke
4. Biostratigrafija i sekvencijska stratigrafija u istraživanju ležišta ugljikovodika



NASTAVA U ZIMSKOM I LJETNOM SEMESTRU	
ISPITNI ROKOVI / KOLOKVIJI	
NENASTAVNI DANI	DRŽAVNI PRAZNICI I BLAGDANI
DAN I NOĆ NA PMF-U 17. TRAVNJA 2026.	
DAN FAKULTETA 8. LIPNJA 2026.	

4

rujan 2025.						
	P	U	S	Č	P	S
I.	29	30				

listopad 2025.						
	P	U	S	Č	P	S
I.			1	2	3	4
II.	6	7	8	9	10	11
III.	13	14	15	16	17	18
IV.	20	21	22	23	24	25
V.	27	28	29	30	31	

studeni 2025.						
	P	U	S	Č	P	S
V.					1	2
VI.	3	4	5	6	7	8
VII.	10	11	12	13	14	15
VIII.	17	18	19	20	21	22
IX.	24	25	26	27	28	29

prosinac 2025.						
	P	U	S	Č	P	S
X.	1	2	3	4	5	6
XI.	8	9	10	11	12	13
XII.	15	16	17	18	19	20
XIII.	22	23	24	25	26	27
	29	30	31			

siječanj 2026.						
	P	U	S	Č	P	S
				1	2	3
XIII.	5	6	7	8	9	10
XIV.	12	13	14	15	16	17
XV.	19	20	21	22	23	24
I.	26	27	28	29	30	31

veljača 2026.						
	P	U	S	Č	P	S
						1
2.	2	3	4	5	6	7
3.	9	10	11	12	13	14
4.	16	17	18	19	20	21
5.	23	24	25	26	27	28

ožujak 2026.						
	P	U	S	Č	P	S
						1
I.	2	3	4	5	6	7
II.	9	10	11	12	13	14
III.	16	17	18	19	20	21
IV.	23	24	25	26	27	28
V.	30	31				

travanj 2026.						
	P	U	S	Č	P	S
V.			1	2	3	4
VI.	6	7	8	9	10	11
VII.	13	14	15	16	17	18
VIII.	20	21	22	23	24	25
IX.	27	28	29	30		

svibanj 2026.						
	P	U	S	Č	P	S
				1	2	3
X.	4	5	6	7	8	9
XI.	11	12	13	14	15	16
XII.	18	19	20	21	22	23
XIII.	25	26	27	28	29	30

lipanj 2026.						
	P	U	S	Č	P	S
XIV.	1	2	3	4	5	6
XV.	8	9	10	11	12	13
1.	15	16	17	18	19	20
2.	22	23	24	25	26	27
3.	29	30				

srpanj 2026.						
	P	U	S	Č	P	S
3.			1	2	3	4
4.	6	7	8	9	10	11
5.	13	14	15	16	17	18
	20	21	22	23	24	25
	27	28	29	30	31	

kolovoz 2026.						
	P	U	S	Č	P	S
					1	2
	3	4	5	6	7	8
	10	11	12	13	14	15
	17	18	19	20	21	22
1.	24	25	26	27	28	29
2.	31					

rujan 2026.						
	P	U	S	Č	P	S
2.		1	2	3	4	5
3.	7	8	9	10	11	12
4.	14	15	16	17	18	19
	21	22	23	24	25	26
	28	29	30			



Predavanja iz geologije
uglikovodika



Kolokvij iz geologije
uglikovodika

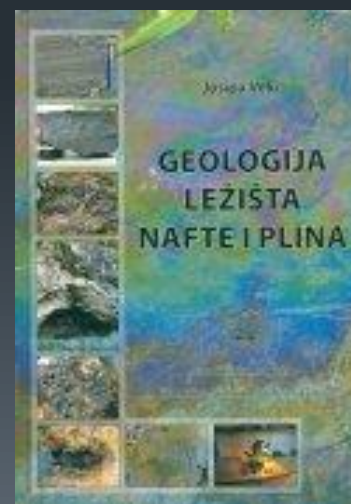
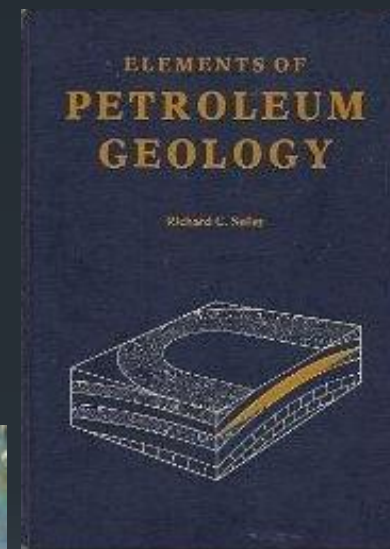
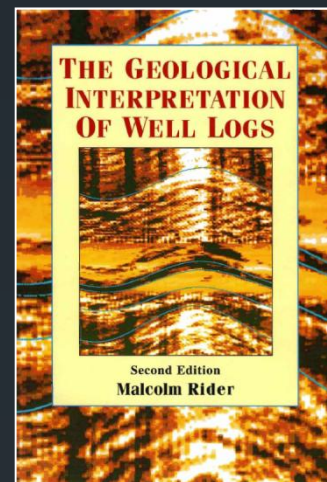
Kako ćete biti ocijenjeni?

K. Gobo	Geologija i geokemija ugljikovodika	285219
Ispitni rokovi: 2. i 4. ponedjeljak u redovitim zimskim i ljetnim ispitnim rokovima, 1. i 3. ponedjeljak u redovitim jesenskim ispitnim rokovima; ponedjeljkom u izvanrednim ispitnim rokovima		
Uvjeti za dobivanje potpisa: redovito pohađanje predavanja, aktivno sudjelovanje u nastavi, riješeni svi zadatci		
Način provjere znanja i polaganja ispita: Jedan pisani kolokvij iz geologije ugljikovodika i četiri pisana kolokvija iz geokemije ugljikovodika (uz mogućnost ponovnog pisanja jednog kolokvija na kraju semestra). Kolokviji iz geologije ugljikovodika sadrži petnaestak pitanja koja se odnose na geološke aspekte istraživanja nafte i plina. Studenti odgovaraju na postavljena pitanja, rješavaju biostratigrafsko koreliranje jezgara, prepoznaju karakteristične potpovršinske strukture, koriste znanja iz sekvencijske stratigrafije, rješavaju zadatke o porozitetu, tlaku i fluidima u ležištu te zamkama. Kolokvij traje 60 minuta. Četiri kolokvija iz geokemije ugljikovodika rješavaju se maksimalno 30 minuta. Studenti imaju u pisanoj formi najmanje pet pitanja oblikovanih kao objašnjenje i/ili definicija zadanog pojma/pojave, navođenje podjela, pridruživanje pojmova značenju/opisu, dopunjavanje tvrdnji/definicija, odabir točnog odgovora među više ponuđenih odgovora i odabir točno/netočno. Za studente koji ne polože kolokvije kontinuiranim radom tijekom semestra, predviđeni su ispitni rokovi na kojima se znanje provjerava pisanim i/ili usmenim ispitom. Ocjena iz kolokvija izračunava se na temelju postignutih bodova u postotcima: ≤ 50 % nedovoljan (1) 51–63 % dovoljan (2) 64–76 % dobar (3) 77–89 % vrlo dobar (4) ≥ 90 % izvrstan (5) Ukupna ocjena iz kolegija je zbroj ocjena kolokvija u omjeru 40 % ocjene iz geologije ugljikovodika + 60 % ocjene iz geokemije ugljikovodika.		

Literatura

6

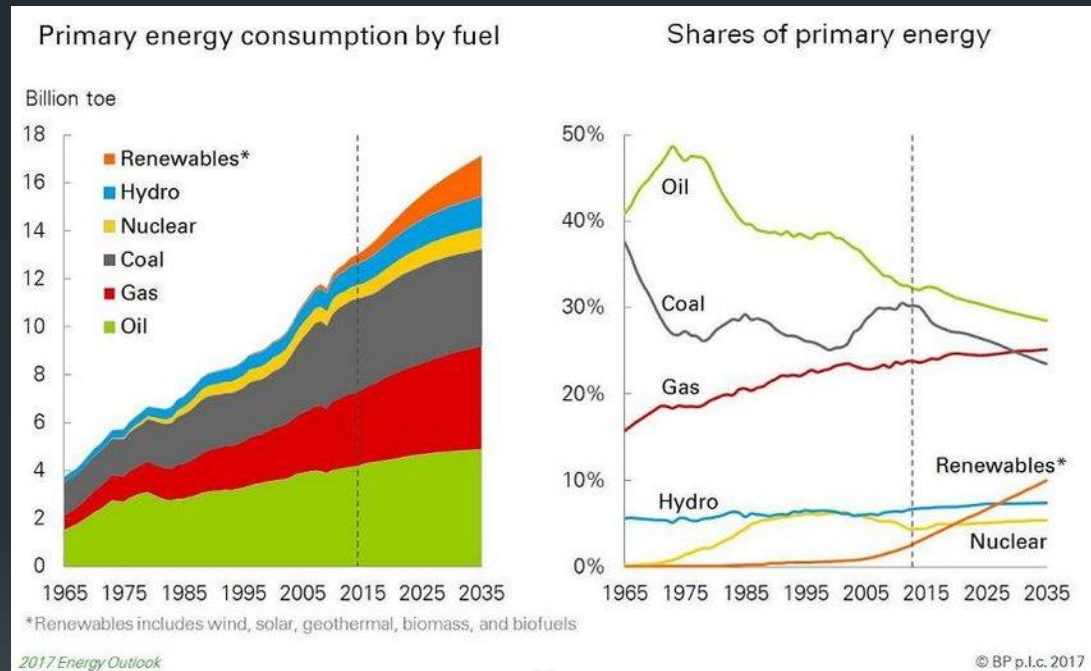
- Ercegovec, M. (2002) Geologija nafte. Rudarsko-geološki fakultet, DIT NIS Naftagas, Beograd, Novi Sad, 463 str.
- Rider, M. (1986) The Geological Interpretation of Well Logs – 2nd edition. Rider French Consulting Limited, 288 str.
- Selley, R.C. (1984) Elements of Petroleum Geology. W.H. Freeman and company, New York, 449 str.
- Velić, J. (2007) Geologija ležišta nafte i plina. RGNF, Zagreb, 342 str.



Što su fosilna goriva?

7

- mineralne sirovine organskog podrijetla
- neobnovljivi izvori energije
- još uvijek okosnica svjetske potrošnje energije
- ugljen, nafta, prirodni plin, naftni šejlovi

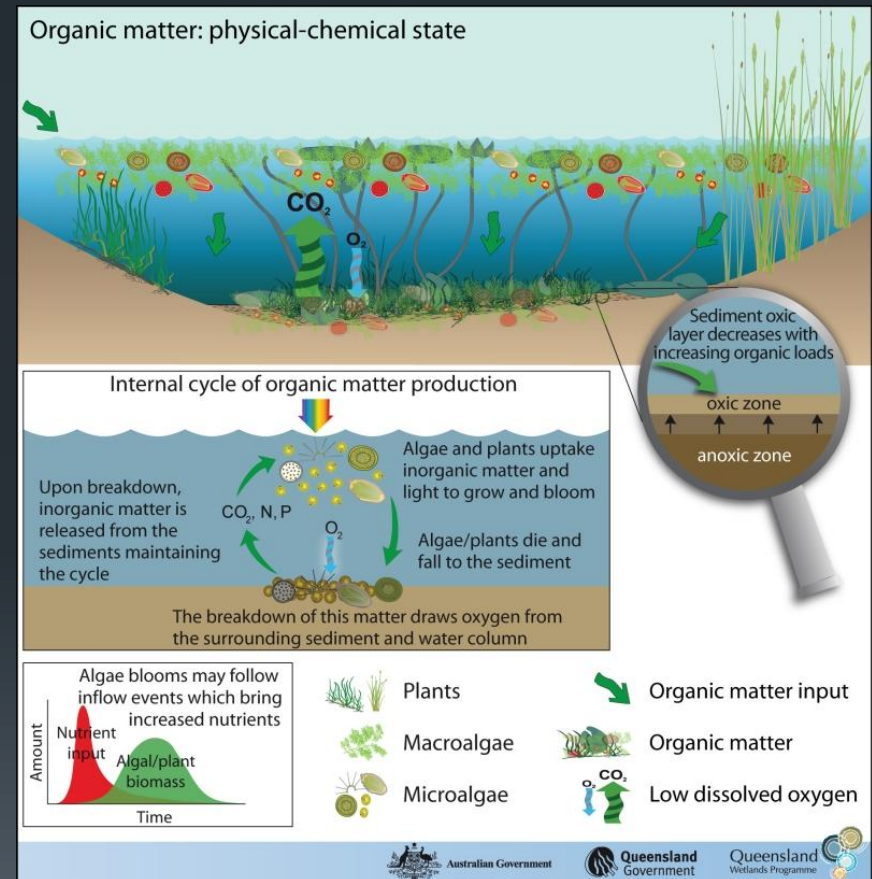


<https://www.researchgate.net/publication/325926433/figure/fig1/AS:640309637685248@1529673122150/Trends-in-worldwide-energy-consumption-from-1965-to-2035-Source-https-wwwogjcom.png>

Zašto su tekuća i kruta fosilna goriva tamne boje?

8

- većina organske tvari koja gradi žive organizme u prisustvu kisika se razgrađuje, raspada (CO_2 , H_2O) i nestaje iz sedimentnih zapisa
- u degradaciju organske tvari uključene su bakterije i drugi mikrobi
- razgradnja organske tvari može se odvijati:
 - **aerobno** → u prisustvu kisika
 - **anaerobno** → **produkcija ugljikovodika i drugih kompleksnih organskih spojeva**
- prirodni okoliši većinom su oksidativni → većina sedimentata sadrži manje od 1 % organske tvari



Što je nafta?

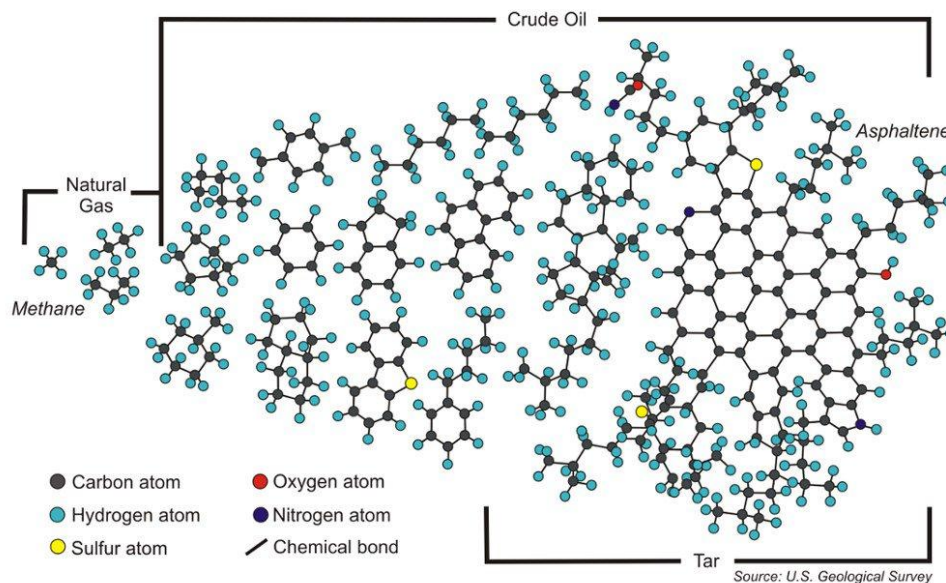
grčki: *naphta* = zemno ulje



9

Nafta je tekuća smjesa ugljikovodika mineralnog porijekla.

Nafta i plin su mješavina različitih ugljikovodika koji tvore velike molekule sastavljene od H atoma koji su vezani na C atome, s manjim primjesama S, N i O atoma.



ASFALT	KONDENZAT
BENZIN	LOŽIVO ULJE
BITUMEN	MAZUT
DIZEL	NAFTA
KATРАН	PAKLINA
KEROZIN/KEROZEN	PETROLEJ

LOŽIVO ULJE

derivat prerade sirove nafte koji se izdvaja na temperaturama od 370 – 420 °C. Koristi se kao gorivo za termoelektrane, toplane cementare i kao gorivo za velike brodске motore.

10



NAFTA

tekuća smjesa ugljikovodika mineralnog porijekla; energetska mineralna sirovina najveće važnosti

KATРАН

teška nafta (bitumen) koja je prodrła do površine Zemlje

KONDENZAT

mješavina laganih ugljikovodika u tekućem stanju

BENZIN

derivat prerade sirove nafte, izdvaja se na temperaturama prerade 70 – 185 °C

ASFALT

Prirodni: smjesa otplinjene nafte (bitumena) i krutih čestica stijene;
Umjetni: smjesa bitumena dobivenog preradom nafte i kamenih mješavina za gradnju cesta

PAKLINA

stari naziv za naftu (bitumen, asfalt) koja je slobodno izlazila na površinu

KEROZIN / KEROZEN

pročišćeni petrolej, destilat nafte dobiven ključanjem od 150-200 °C, (gorivo mlaznih aviona)

MAZUT

teže loživo ulje; koristi se kao gorivo u termoelektranama, toplanama i industriji te kao pogonsko gorivo velikih motora

PETROLEJ

termin za sve ugljikovodike; derivat prerade nafte s početkom i krajem destilacije od 180 – 240 °C, koji se koristi za rasvjetu, grijanje ili za pogon nekih motora s unutrašnjim izgaranjem

DIZEL

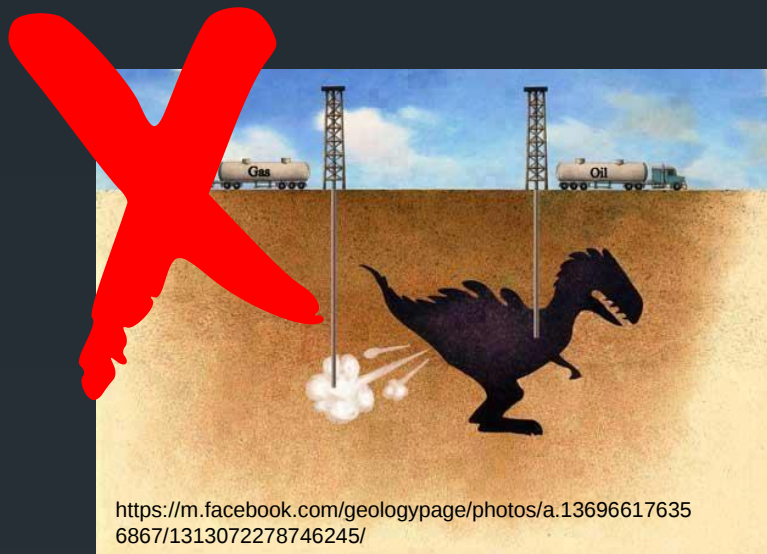
gorivo za motore s unutrašnjim izgaranjem; dobiva se doradom petroleja i lakih plinskih ulja, koji se izdvajaju iz nafte i njenih derivata na temperaturama 190 – 360 °C

BITUMEN

neispareni ostatak nafte u podzemlju ili na površini; najteži derivat kod prerade sirove nafte

Kako nastaju nafta i plin?

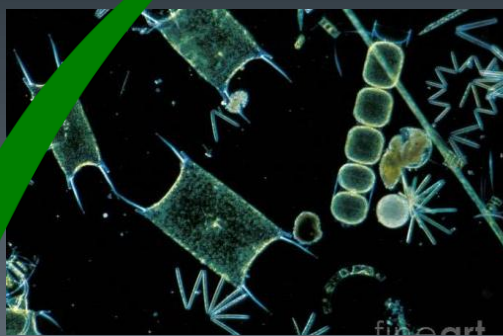
11



- Za nastanak nafte i plina važni su organizmi mikroskopskih i nanodimenzija iz domena Eukaryota, Prokaryota i Archaea, koji su živjeli u morima (a žive i danas!).
- Danas plankton nalazimo u velikim količinama tamo gdje dubokomorska voda, bogata nutrijentima, vertikalnim kruženjem dopiyeva na površinu i omogućuje cvjetanje planktona.

Zooplankton

Fitoplankton



Kako nastaju nafta i plin?

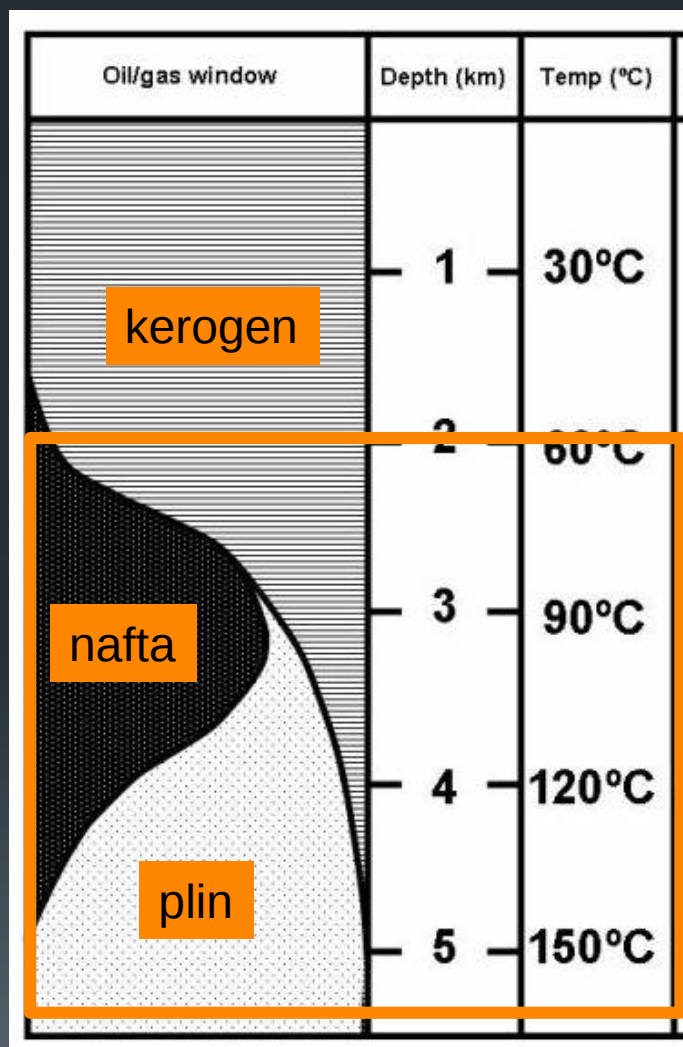
12

- Nakon uginuća, plankton tone (planktonska „kiša”), a na dnu se stvara organska „kaša”.
- Postoje li na dnu živi organizmi, oni će se hraniti „organskim ostacima”.
- Ako je malo otopljenog kisika ili ga nema, nema organizama koji bi preživjeli, pa se organska „kaša” akumulira.
- Kad sitnozrnasti sediment (većinom glina) sadrži više od 5 % organske tvari, s vremenom može stvoriti stijenu poznatu kao **šejl**.



«Kuhanje» ugljikovodika

13



Kako se šejl zatrpava, grije se.

Organska tvar se mijenja porastom temperature u **KEROGEN**, krutu modifikaciju ugljikovodika.

Pri temperaturi od nekih 90°C, mijenja se u tekuću modifikaciju, koju zovemo **NAFTA**.

Pri temperaturi od 150°C, mijenja se u **PLIN**.

Stijena u kojoj su na ovaj način nastali nafta i plin je **MATIČNA STIJENA**.

NAFTNI PROZOR → dubinsko-temperaturni interval (60-160°C) u kojem matična stijena generira najveću količinu naftnih ugljikovodika.

ORGANSKA TVAR

Biljni i životinjski
ostaci



FIZIČKO-KEMIJSKI UVJETI

Vrijeme

Zatrpavanje

Temperatura



STVARANJE NAFTE I PLINA

Molekule nafte i
plina



Preuvjeti za nastanak nafte i plina¹⁵

1. Relativno velika količina organske tvari

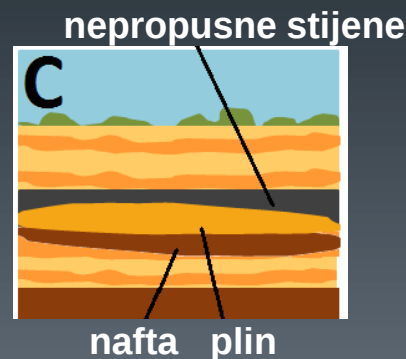
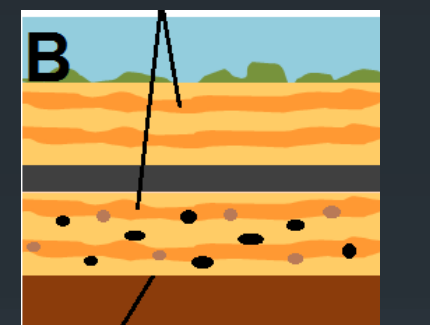
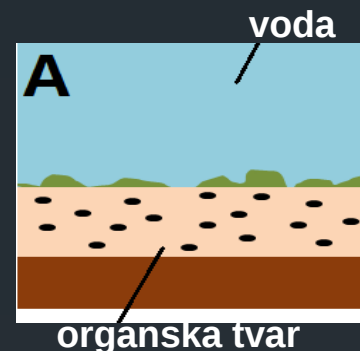
- organska se tvar čuva u reduktivnim okolišima (npr. oceanski bazeni s ograničenom količinom kisika)

2. Brzo zatrpavanje (prije oksidacije organskih ostataka)

- zatrpavanje izaziva porast temperature i tlaka
- plitko i sporo zatrpavanje → aerobni uvjeti i degradacija organske tvari
- duboko zatrpavanje → fermentacija u sedimentu od 100 m dubine

3. Kemijska reakcija $f(p,T)$ koja pretvara organsku tvar u ugljikovodike

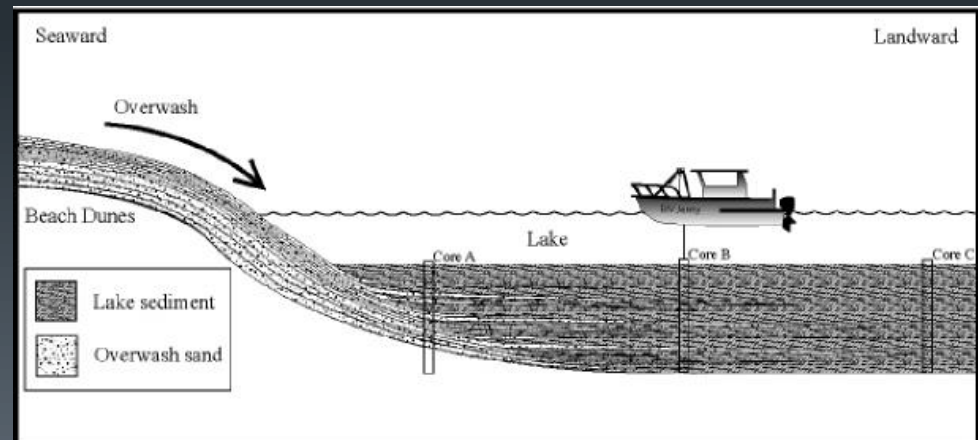
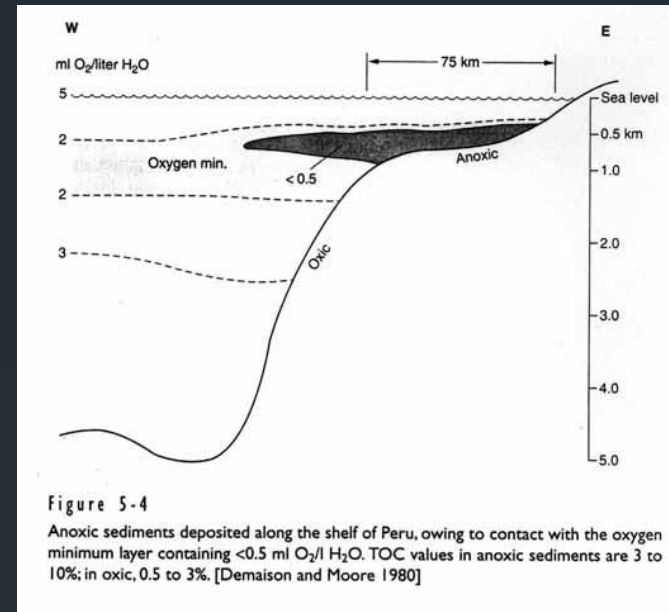
- rezultira sazrijevanjem ugljikovodika u matičnoj stijeni (organska se tvar mijenja u tekuće i plinovite ugljikovodike)
- termičko sazrijevanje (zagrijavanje iznad 50°C) na dubinama od 1-4 km



Gdje nastaju stijene bogate organskom tvari?

16

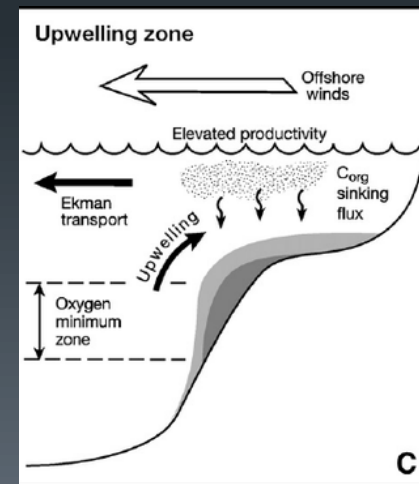
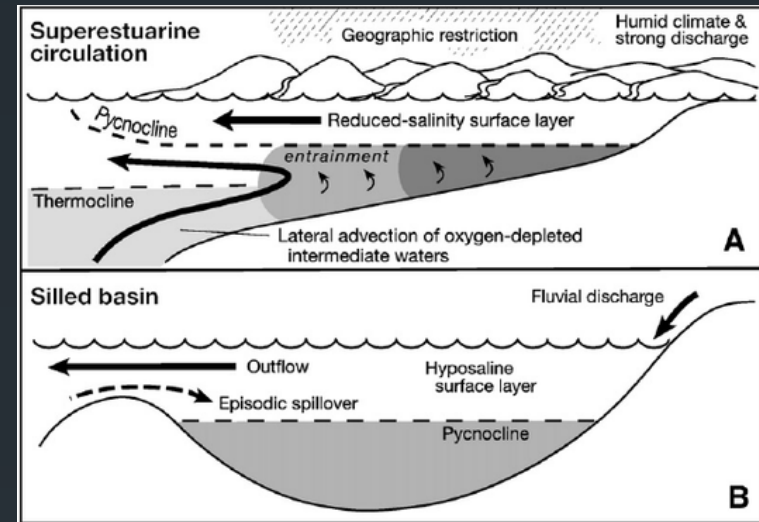
- morski okoliši gdje se talože sitnozrnasti karbonati i siliciklastične stijene
 - kontinentski šelf
 - kontinentska padina i kontinentski rub
 - okoliši gdje je kisik limitirajući parametar → npr. fjordovi
- neki kopneni bazeni:
 - stratificirana jezera s muljevima bogatima organskom tvari (> 0.5 % organske tvari)
- prijelazni okoliši
 - delte



Gdje danas nastaju stijene bogate organskom tvari (Demaision & Moore, 1980)?

17

- Velika anoksična jezera s izraženom stratifikacijom (npr. jezero Tanganjika)
- Zatvoreni bazeni sa stalnim priljevom vode bogatom nutrijentima (npr. Baltičko i Crno more)
- Zone *upwellinga* (npr. zapadna obala Južne Amerike)
- Anoksične zone u otvorenim oceanima (npr. u Indijskom i Tihom oceanu na srednjim dubinama)



Koje su to stijene?

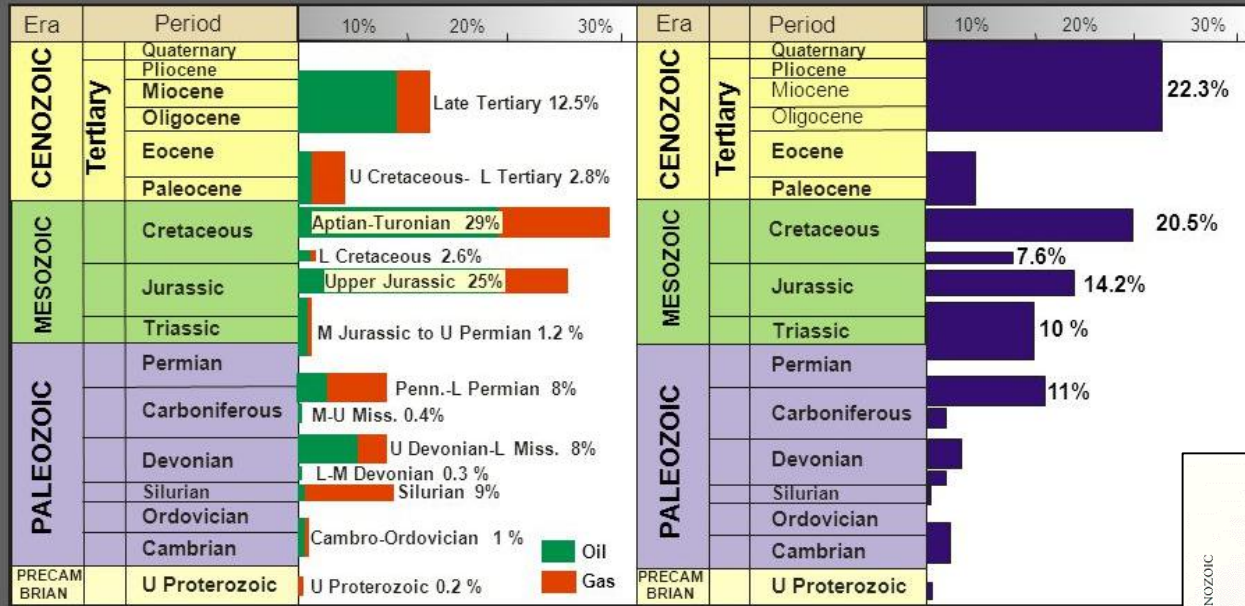
- dubokomorski karbonati
 - imaju malu poroznost i permeabilitet, ali su skloni sekundarnoj poroznosti
 - izuzetak su mikritni sedimenti s raspršenim kućicama planktonskih foraminifera
- dubokomorski šejlovi
- turbiditi



World wide stratigraphic distribution of major source rocks

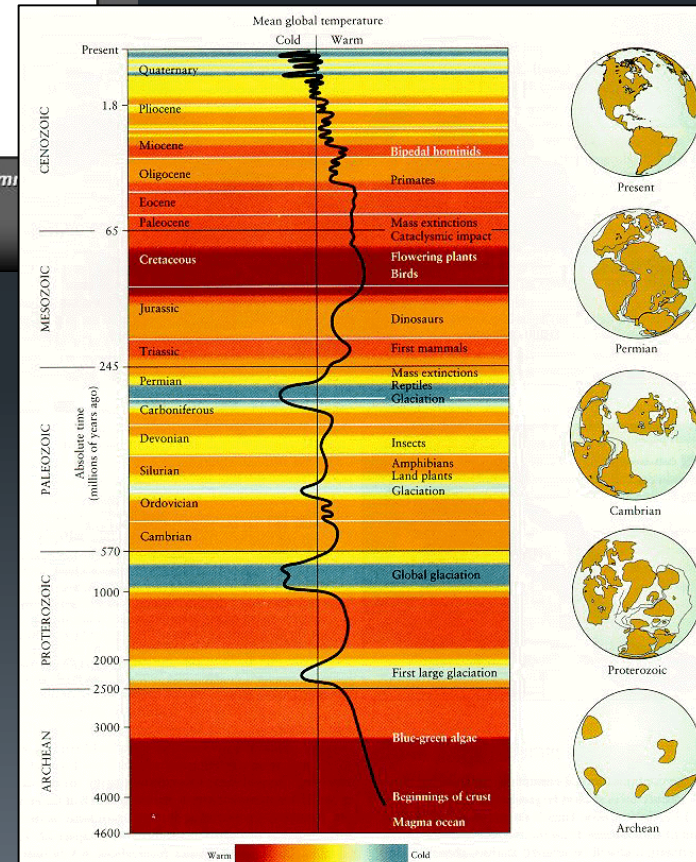
Stratigraphic distribution of the major reservoir rocks world wide

19



(Modified from Ulmashek and Klemm)

Kendall, Chiarenzelli, & Hassan "Sources - World Petroleum"



- Tijekom mezozoika, prije nekih 150 milijuna godina, uvjeti su bili takvi da su se stvarali debeli sljedovi matičnih stijena (šejlova).
- Organska tvar je većinom nastala u toplim, plitkim morima gdje je plankton cvjetao, a pridnena voda bila osiromašena kisikom

<http://www.ruf.rice.edu/~leeman/GeoColumn.gif>

<https://slideplayer.com/slide/4536253/15/images/5/World+s+Source+Rocks+%26+Reservoirs.jpg>

Migracija

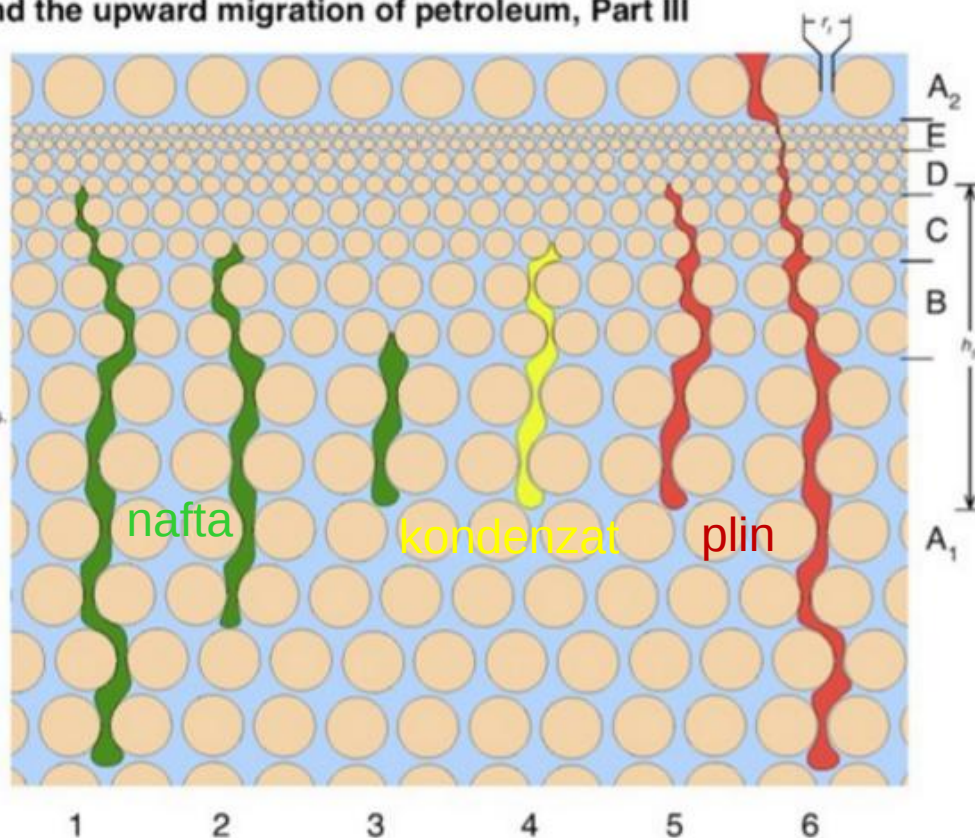
20

Railsback's *Petroleum Geoscience and Subsurface Geology*

Buoyancy, seals, and the upward migration of petroleum, Part III

The very schematic diagram at right portrays columns of oil (green), very light oil or wet gas (yellow), and gas (red) that have risen through water (blue) in the pores of an assemblage of detrital grains (tan). These columns of fluids less dense than water move upward through the water because of their buoyancy, which increases with the vertical extent of the column. However, smaller openings limit the upward movement of these columns because of the interfacial tension between these non-aqueous fluids and water. The result is that materials with small pores can act as seals trapping petroleum accumulations.

The point of this diagram is that a layer of sedimentary rock may act as a seal for one column of hydrocarbons but as a pathway for upward migration of another column. For example, Layer B (perhaps a fine sand) is a seal to Column 3, the short column of oil, but it is a pathway of migration to the longer columns of oil (1 and 2) as well as to the wet gas (4) and gas (5 and 6). Layer C (perhaps a siltstone) is a seal to Columns 2 and 4 but a migration pathway to 1, 5, and 6. Column 6, the long column of gas (so that both the long column and the small density of gas give it great buoyancy) passes through all of the otherwise sealing layers and escapes entirely – neither B, C, D, nor E is a seal for it.



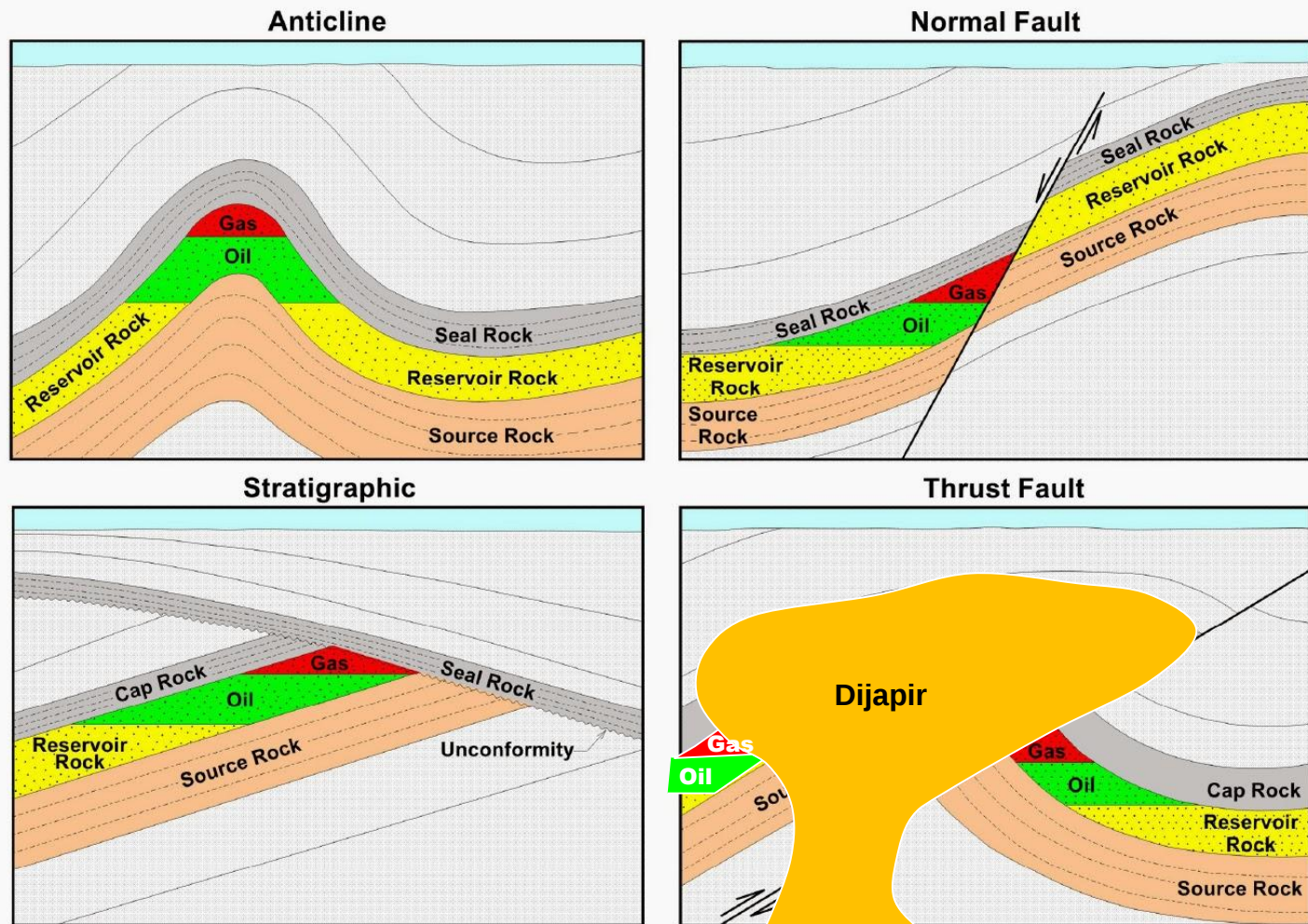
This document is a very generalized presentation of ideas in Berg, R.R., 1975, Capillary pressure in stratigraphic traps: *American Association of Petroleum Geologists Bulletin*, v. 59, p. 939-956.

LIBR Buoyancy&SealsColumns01.odg 9/2011

Ugrijana nafta i plin su rjeđi u odnosu na matičnu stijenu u kojoj se stvaraju.

Stoga, nafta i plin migriraju prema gore, dok ne budu „uhvaćeni” u **REZERVOARNU STIJENU** koja je okružena nepropusnim pokrovnim (izolatorskim) stijenama ili strukturama koje čine **ZAMKU**.

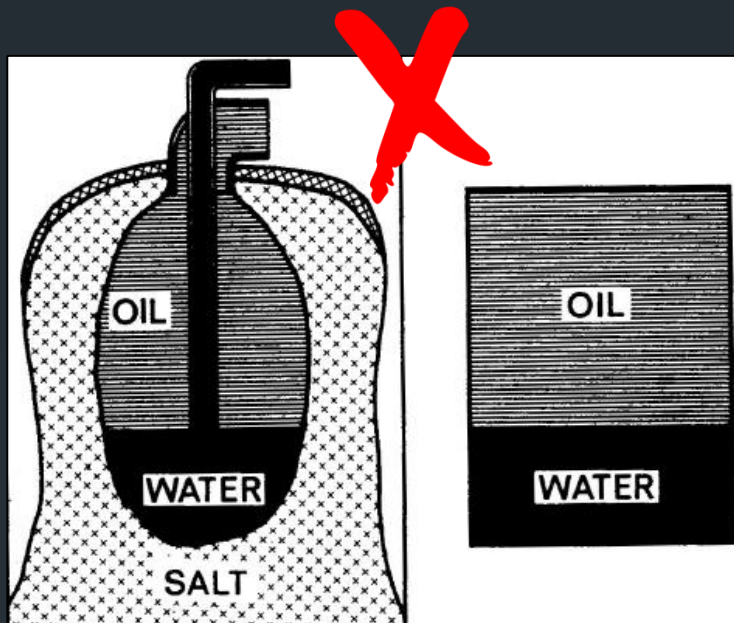
Zamke



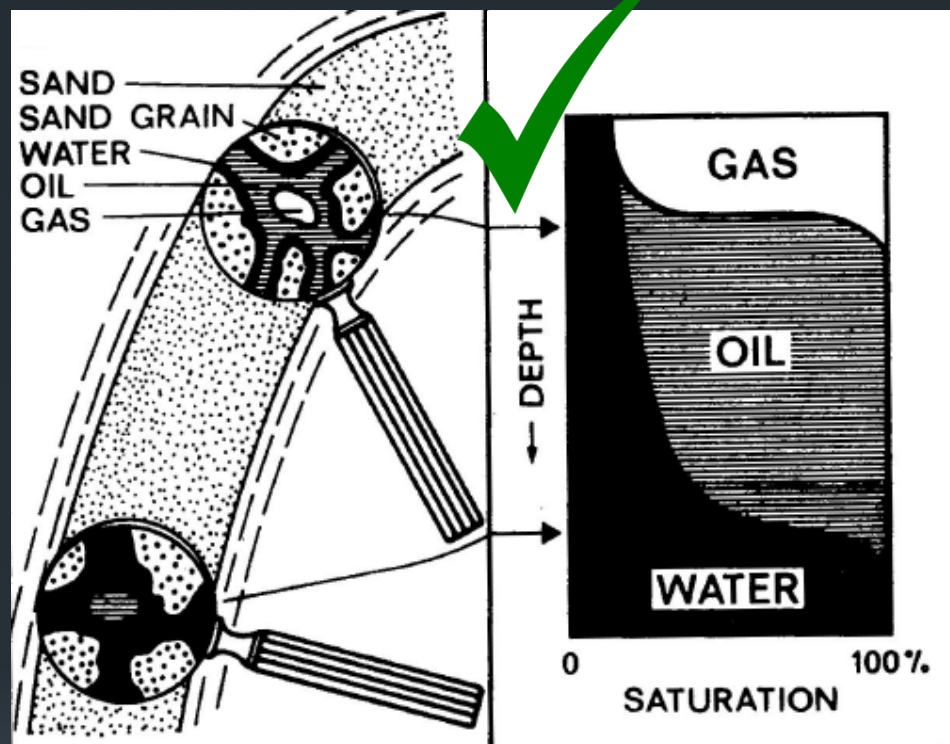
Simplified cartoons showing some common types of hydrocarbon traps recognized in producing oil and gas fields around the world.

Kako su ugljikovodici raspoređeni u ležištu?

22



„nafta u podzemnim špiljama”
→ **ZABLUDA!**



STVARNOST: ugljikovodici se nalaze u poroznim stijenama

- fizički složen sustav
- prisutnost 1, 2 ili 3 fluida
- zasićenost fluidima (vol. %) mijenja se s dubinom
- nema oštih granica među fluidima

Preduvjeti za postojanje ležišta ugljikovodika

23

1. Postojanje matične stijene u kojoj će doći do stvaranja nafte i/ili plina.
2. Matična stijena je bila pod adekvatnim p/t uvjetima za stvaranje nafte i plina.
3. Postojanje rezervoarne stijene koja će prihvatiti ugljikovodike koji su migrirali iz matične stijene. Rezervoarna stijena treba biti porozna i propusna.
4. Rezervoarna stijena treba biti pokrivena nepropusnim stijenama koje će spriječiti daljnju migraciju ugljikovodika prema površini.
5. Postojanje zamke koja će spriječiti daljnju migraciju ugljikovodika prema površini.

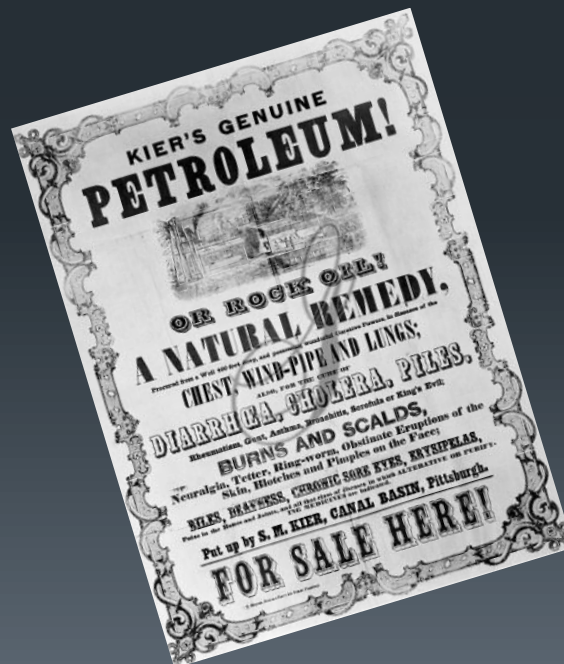
„Povijest” ugljikovodika

24

- Tijekom antike i sve do kraja prvog milenija nakon Krista, nafta i asfalt su se sakupljali iz prirodnih „izvora” diljem svijeta.
- Herodot (450. g. pr. Kr.) je opisao curenje nafte u Kartagi (današnji Tunis) i na grčkom otoku Zachynthus, kao i vađenje bitumena, nafte i soli iz plitkih „bušotina”.
- Tako vađena nafta se uglavnom koristila:
 - u medicinske svrhe (za tretiranje površinskih rana, ali i kao laksativ)
 - za impregnaciju plovila
 - u ratnim sukobima



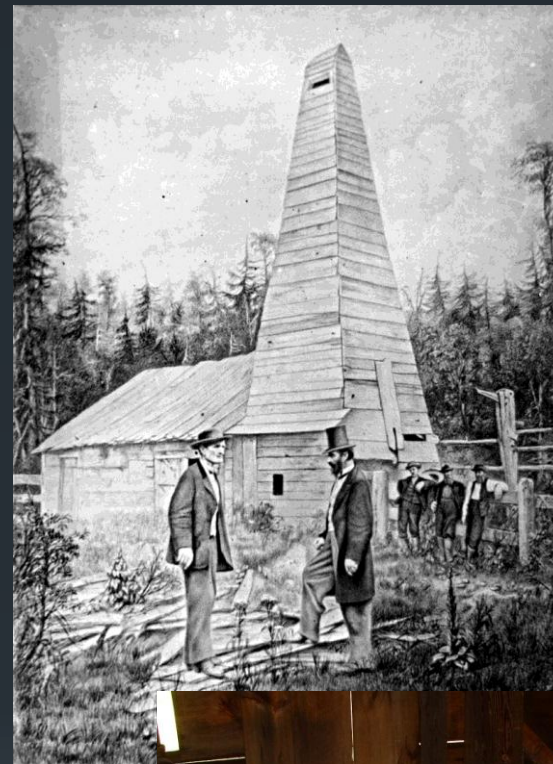
Foto: M. Cvetković



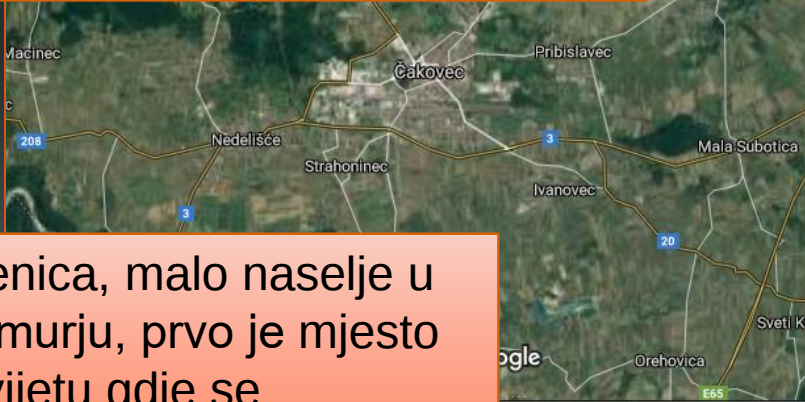
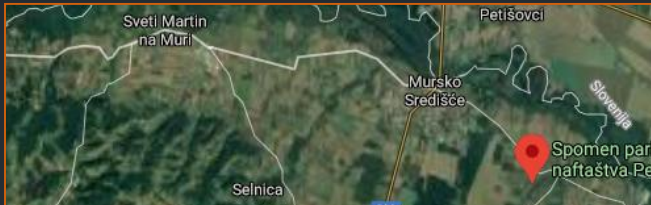
„Povijest” ugljikovodika

25

- Prvo ciljano istražno bušenje bilo je 1745. g. u Francuskoj, nakon čega je uslijedila gradnja rafinerija i bušenje naftnih šejlova u Škotskoj sredinom 19. stoljeća.
- Naftni derivati su u počecima bili korišteni za rasvjetu, a budući da su bili jeftiniji od dotad korištenog kitovog ulja, ubrzo su dobili komercijalnu vrijednost.
- Prva proizvodna bušotina nabušena je 1859. g. u Pennsylvaniji (SAD), što je izazvalo brz razvoj petrokemijske industrije u SAD i drugdje u svijetu, a prateća industrijska revolucija povećala je potražnju za lakšim naftnim derivatima.



Jeste li znali...?



Peklenica, malo naselje u Međimurju, prvo je mjesto na svijetu gdje se organizirano vadila nafta!



„Povijest” ugljikovodika

27

- Do 1920-ih godina, naftnom industrijom dominiralo je „*sedam sestara*”:

- British Petroleum
- Shell
- Exxon
- Gulf
- Texaco
- Mobil
- Socal (Chevron)

} europske tvrtke, s bušotinama na Bliskom istoku i u tadašnjim kolonijama
specijalizirale dug transport nafte morem

} američke tvrtke, od 1920-ih i 1930-ih se šire na Srednju i Južnu
Ameriku i Bliski istok

} specijalizirale kraći transport nafte (kopnom)
uvele barel kao mjernu jedinicu za količinu nafte

1 barel = 159 litara

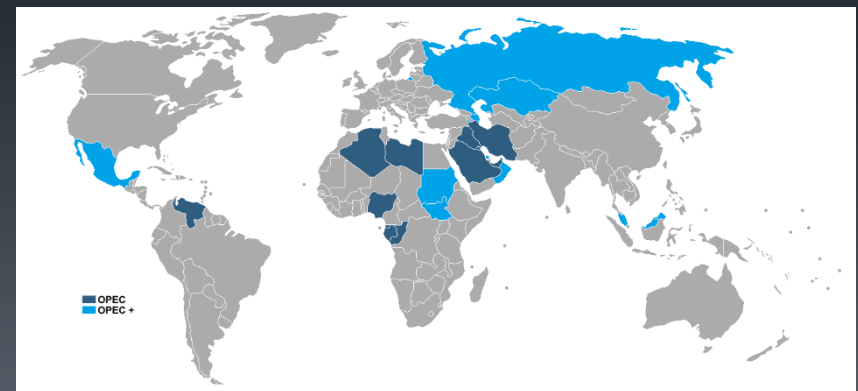
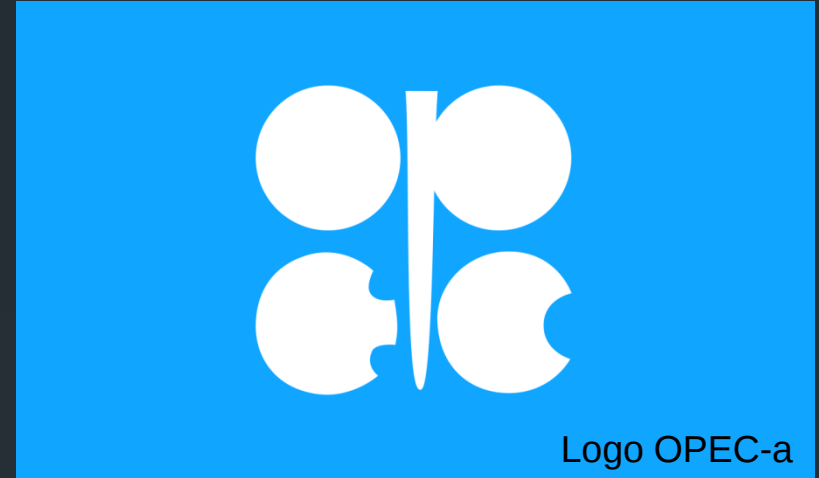
- Nakon Drugog svjetskog rata došlo je do naglog ekonomskog napretka i udruživanja naftnih (i drugih) tvrtki u konzorcije, s ciljem ostvarivanja najveće dobiti.

OPEC

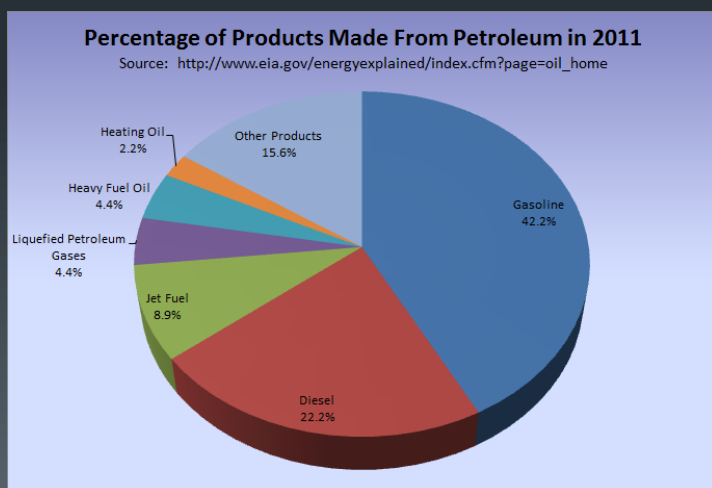
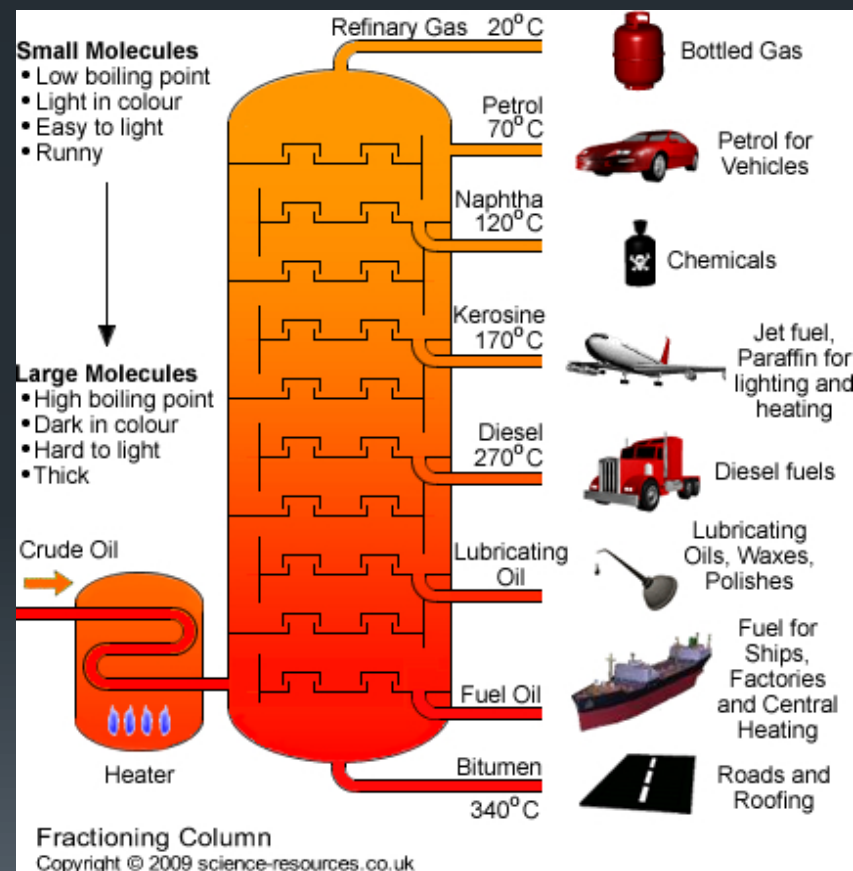
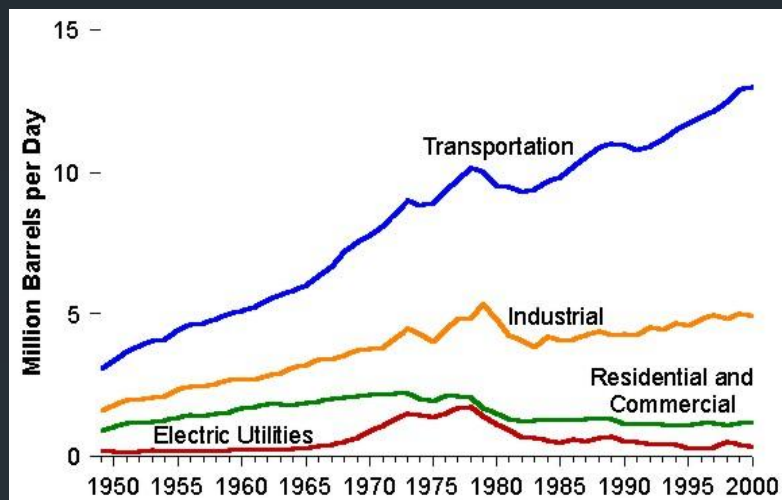
28

(Organization of the Petroleum Exporting Countries)

- Organizacija zemalja izvoznica nafte, osnovana 1960. g. u Bagdadu; od 1965. g. sa sjedištem u Beču
- Ciljevi:
 - koordinacija i ujednačenje naftne politike zemalja članica
 - uspostavljanje najboljih načina da se očuvaju njihovi interesi
 - stabilizacija cijena nafte na međunarodnom tržištu
 - učinkovito, ekonomično i stalno opskrbljivanje naftom zemalja potrošača
- Članice (12):
 - Afrika: Alžir, Ekvatorijalna Gvineja, Gabon, Kongo, Libija, Nigerija
 - Bliski istok: Iran, Irak, Kuvajt, Saudijska Arabija, UAE
 - Južna Amerika: Venezuela



Najčešća primjena nafte



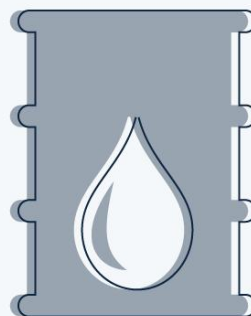
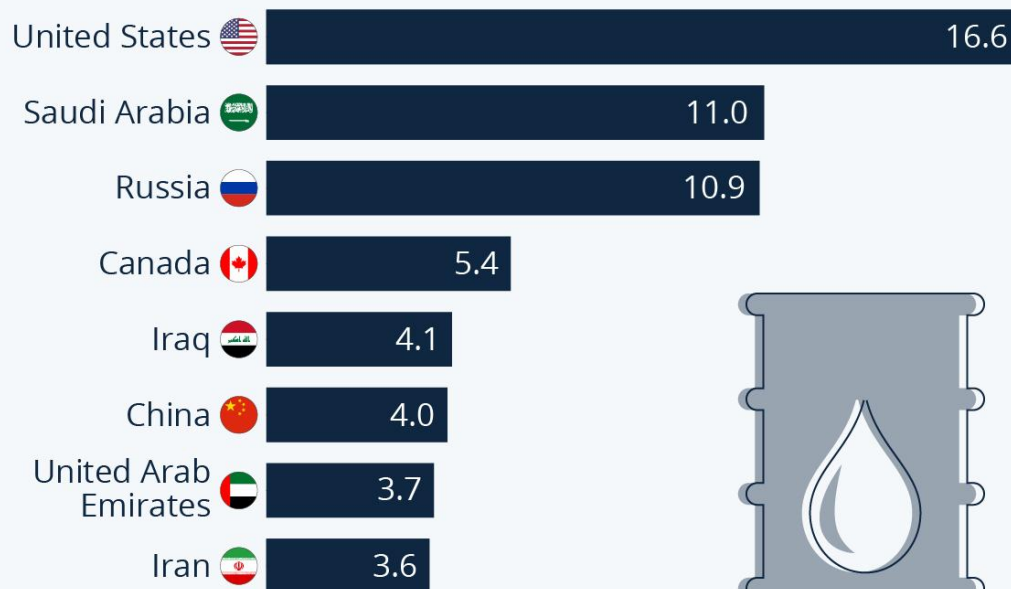


Graphic: Rachel Niebergal, Calgary Herald. Source: ioga.com.

Proizvodnja nafte i plina u svijetu ³¹

The World's Biggest Oil Producers

Oil production by country in 2021 (in million barrels per day)



1 barel = 159 litara

Includes crude oil, shale oil, oil sands, condensates and natural gas liquids.

Source: BP



statista

Kako istražujemo ležišta nafte i plina?

32

▪ geološke (klasične) metode

- terenske i laboratorijske
 - terenske metode: daljinska istraživanja, naftno-geološka prospekcija
 - laboratorijske metode: petrofizičke, sedimentološke i paleontološke
- površinsko kartiranje
- koristi se površinska geometrija kako bi se interpretirali potpovršinski uvjeti

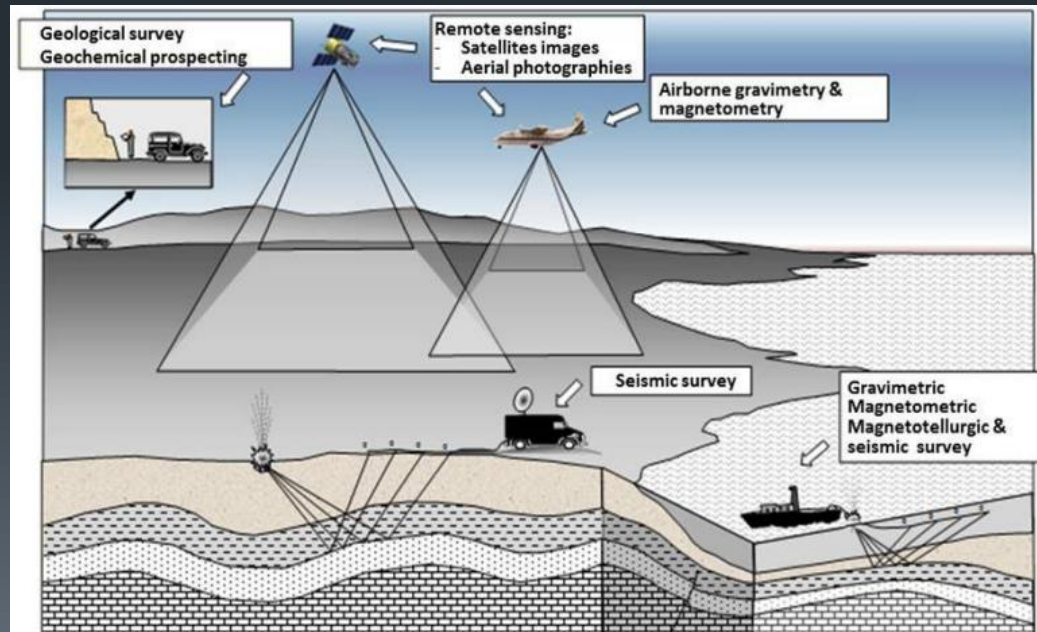
▪ geokemijske metode

▪ geofizičke metode

- seizmička istraživanja → dobivaju se podatci koje se treba interpretirati

▪ istražna bušenja (+ jezgrovanje)

- dobivaju se detaljni podaci, ali za mala područja (promjer jezgre je svega 10-ak cm!)
- vrlo skupo!



Metode istraživanja



rad na terenu

33

- U naftnoj geologiji koristimo izravne (direktne) i neizravne (indirektne) metode istraživanja.
- Izravne metode obuhvaćaju rad na terenu, na uzorcima i na jezgrama.
- Neizravne metode su geofizičke i obuhvaćaju seizmičke i petrofizičke metode.



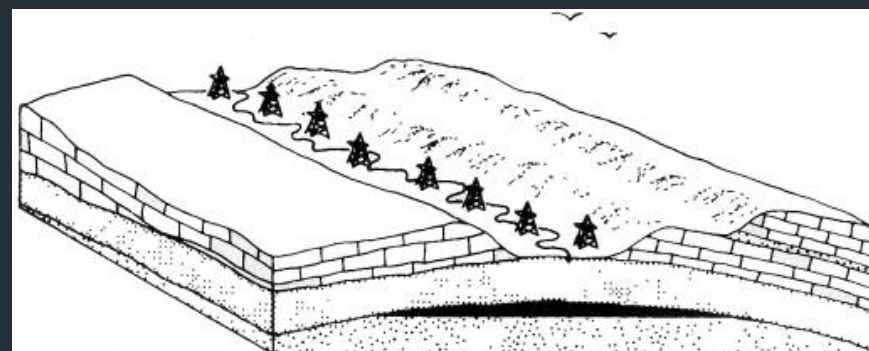
analiza uzoraka



analiza bušotinske jezgre

Razvoj naftnih istraživanja, konceptata i metoda

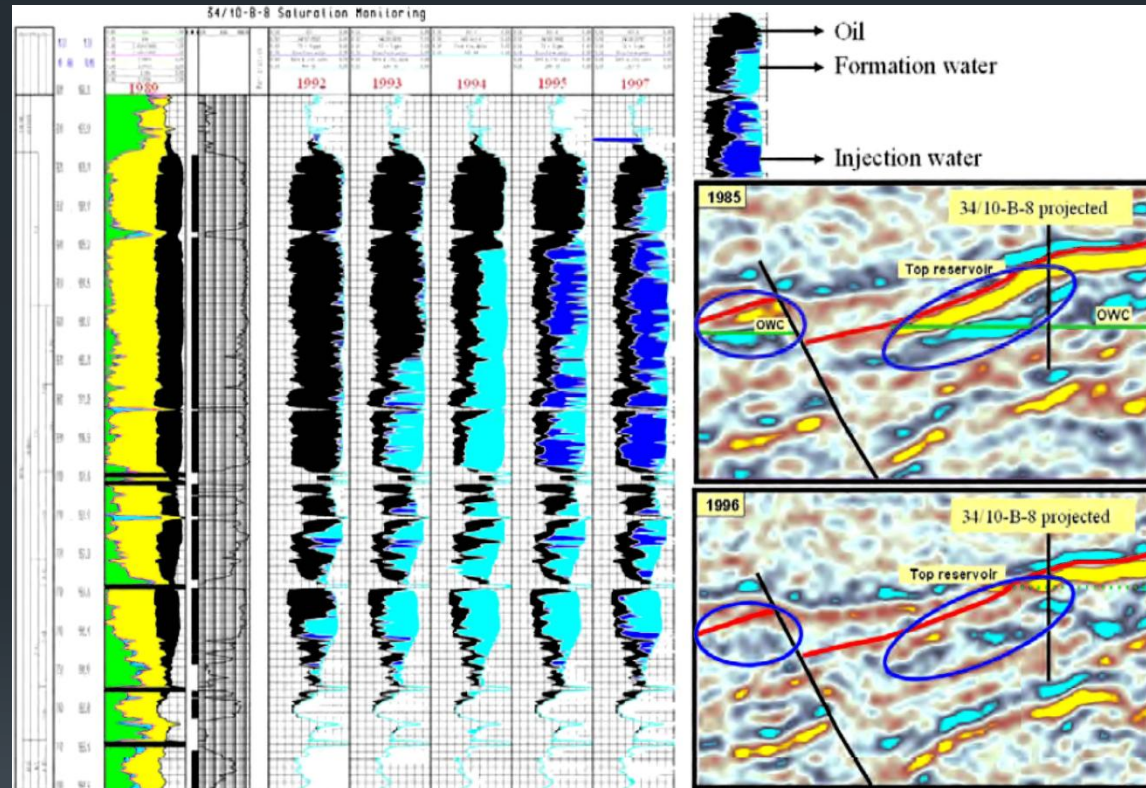
- Počeci: lutanje terenom, bušenje starih indijanskih grobova, „padanje šešira” ...
- *Creekology* – koncept bušenja i pronalaska nafte u riječnim dolinama, nasuprot bušenju izdignutih dijelova terena (19. stoljeće)
- Prepoznavanje postojanja strukturalnih i stratigrafskih zamki u drugoj polovici 19. stoljeća → još uvijek prilično nesigurnosti u kartiranju i interpretaciji podataka



Razvoj naftnih istraživanja, konceptata i metoda

35

- Početak primjene seizmičkih, gravimetrijskih i magnetskih metoda sredinom 1920-ih (seizmika i gravimetrija posebno učinkovite za prepoznavanje dijapirskih zamki), kao i karotažnih mjerenja
- Sve veća važnost geokemijskih, geofizičkih, mikropaleontoloških i sedimentoloških istraživanja (+ primjena sekvencijske stratigrafije)
- Kompjuterizacija i digitalizacija dodatno pospješuju istraživanja
- 3D, 4D seizmika



Monitoring promjena u ležištu uslijed proizvodnje HC (4D seizmika), u kombinaciji s karotažnim mjerenjima uvelike doprinosi razumijevanju ležišta. Primjer polja Gullfaks u Sjevernom moru

Uloga naftnih geologa

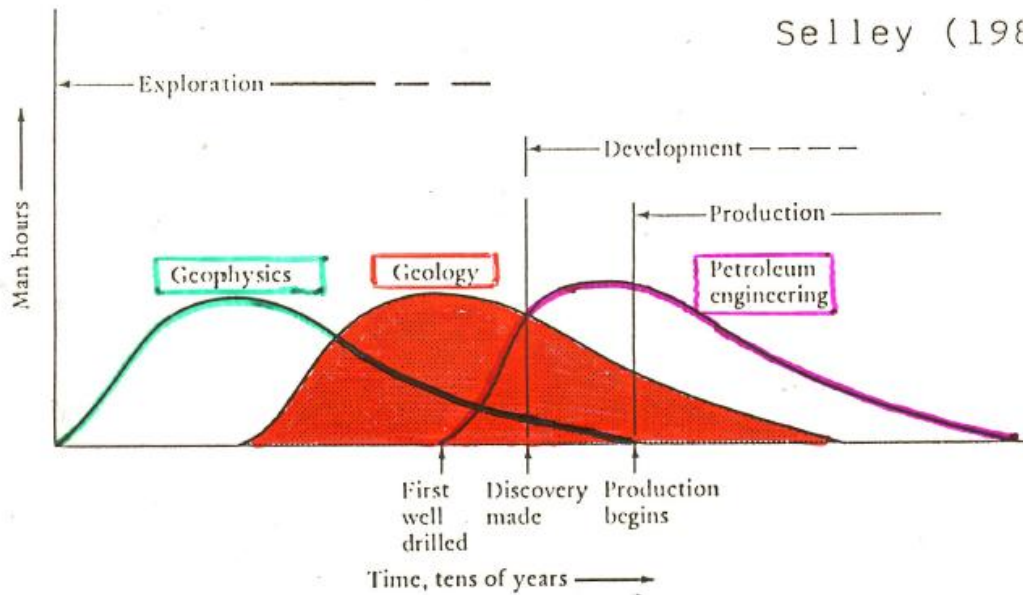
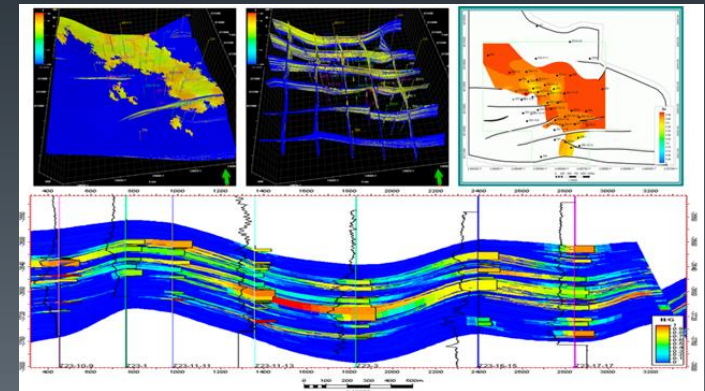
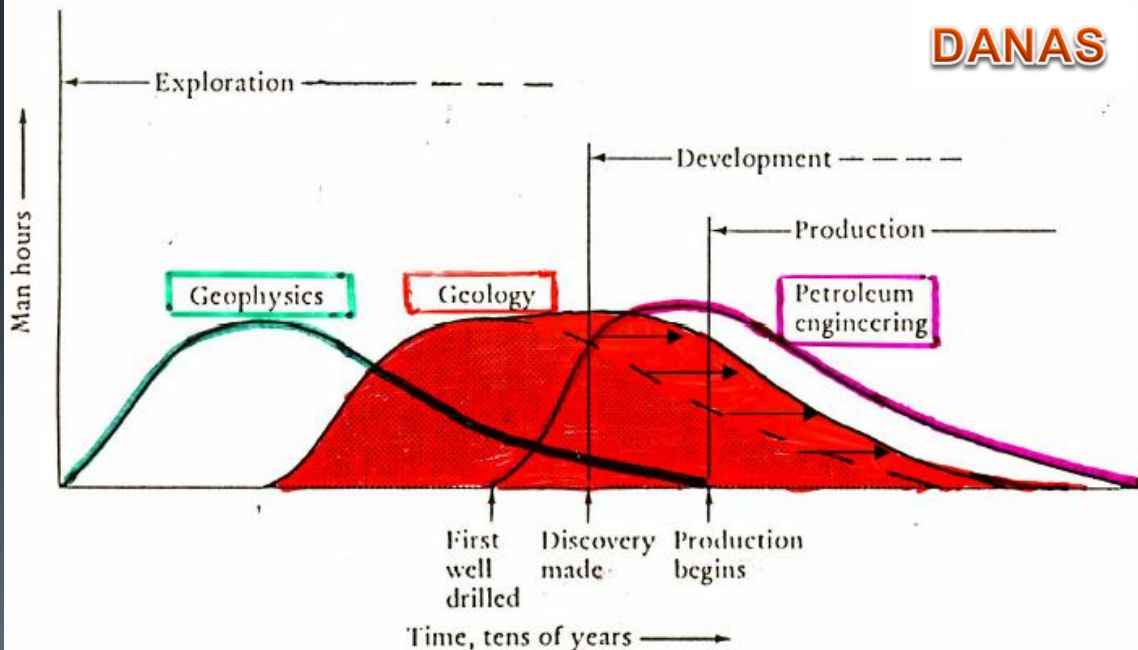


FIGURE 1.4 Graph showing how petroleum geology is part of a continuum of disciplines employed in the exploration and production of oil and gas.



DANAS



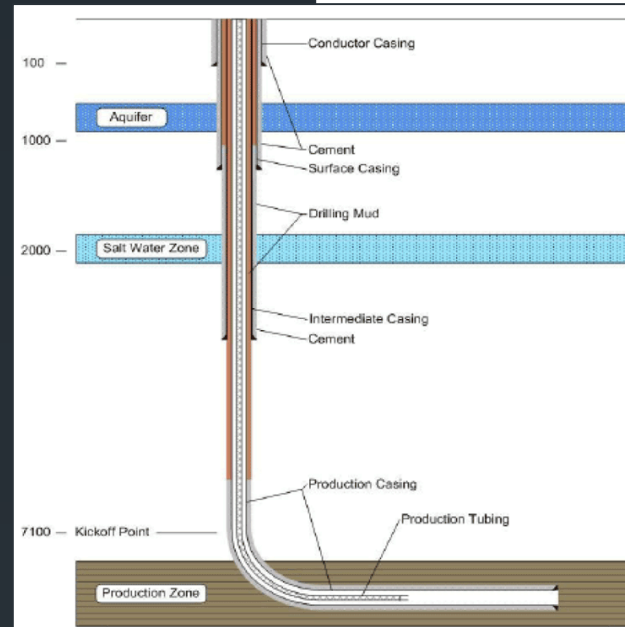
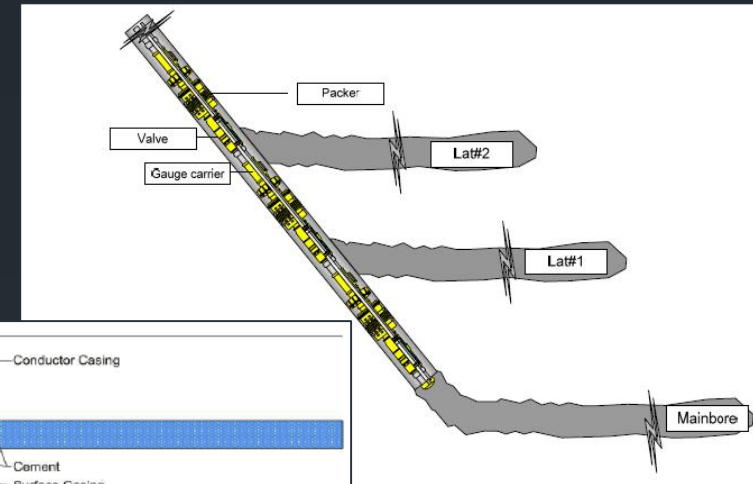
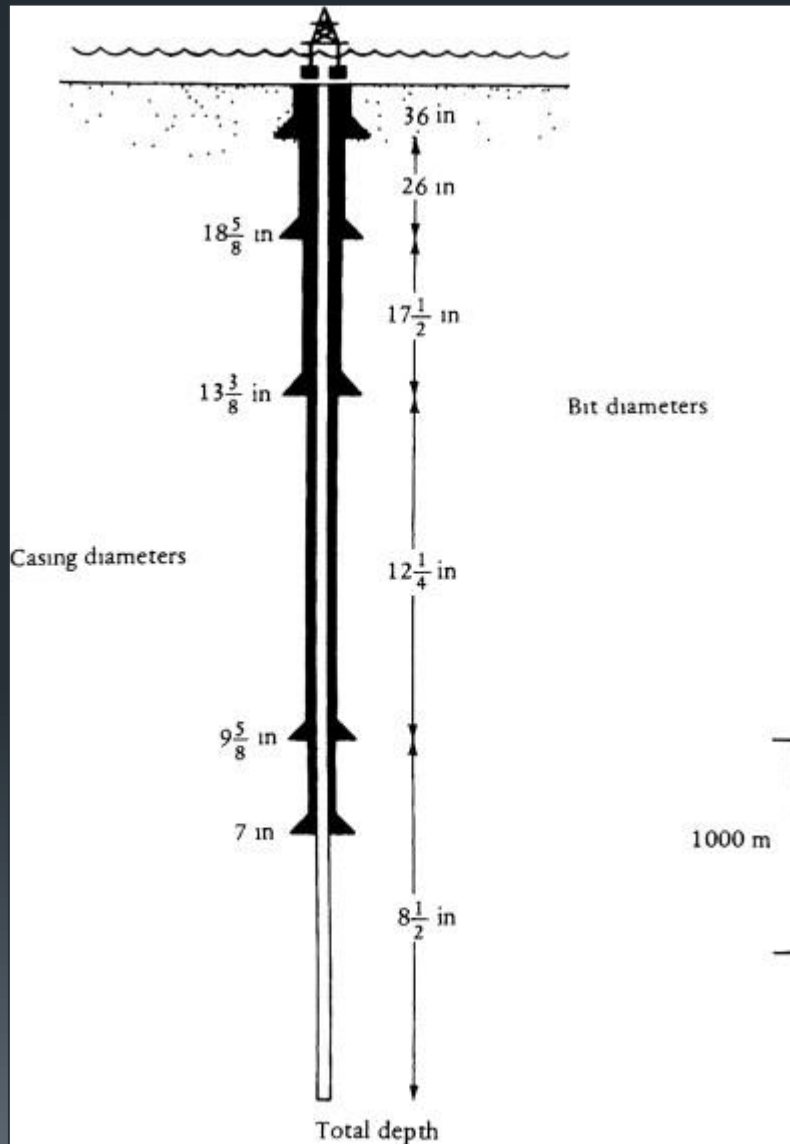
Proces bušenja

37



<https://www.youtube.com/watch?v=2stW8nMqsZ0>

Izgled bušotine



Istražne bušotine (*exploration wells*) najčešće su okomite.

Proizvodne bušotine (*production wells*) buše se pod određenim kutem, a ovisno o ležištu, one mogu biti horizontalne, pa čak i razgranate (*multilateral wells*).

Old Way of Drilling

Jelly Donut

Conventional Drilling
Basic Vertical Penetration
Limited Formation Contact

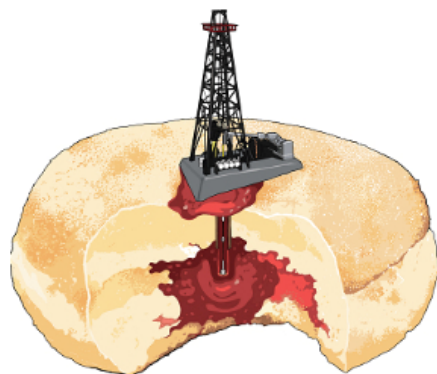


Illustration © James Scherrer 2014

New Way of Drilling

Tiramisu

Unconventional Drilling
More Sophisticated Horizontal Penetration
Extensive Formation Contact

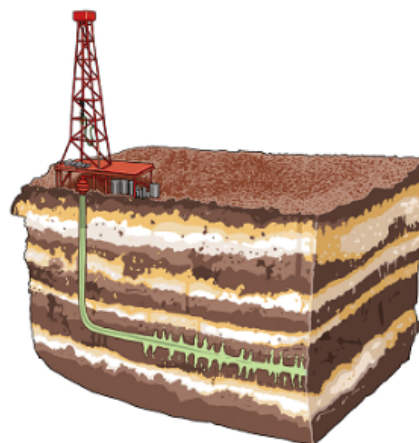
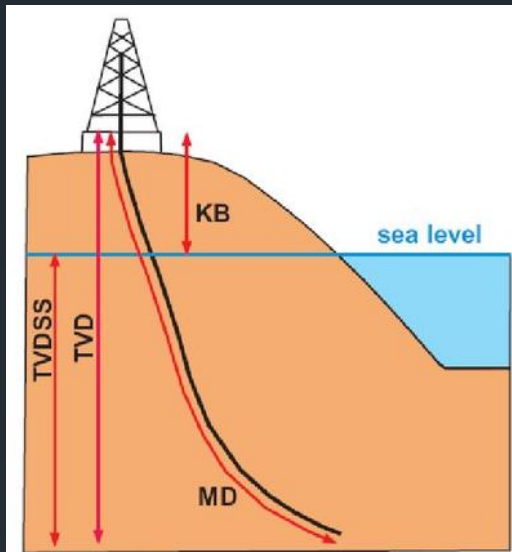


Illustration © James Scherrer 2014

Drilling into conventional sources is like sticking a straw in a jelly donut – the petroleum is trapped in a large single formation that just flows out under pressure. Drilling into unconventional sources like oil and gas shale is quite different, more like tiramisu – the petroleum is in many layers that have to be individually tapped using horizontal drilling and fracking methods to open up the rock. Saudi Arabia has a bunch of really big jelly donuts. The United States has lots of tiramisu, plus some pretty good jelly donuts as well. Source: Jim Scherrer



Izražavanje dubine nabušenih naslaga
 → najčešće u metrima (m), s različitim
 „sufiksima” poput m MD, m TVD, m TVDSS

40

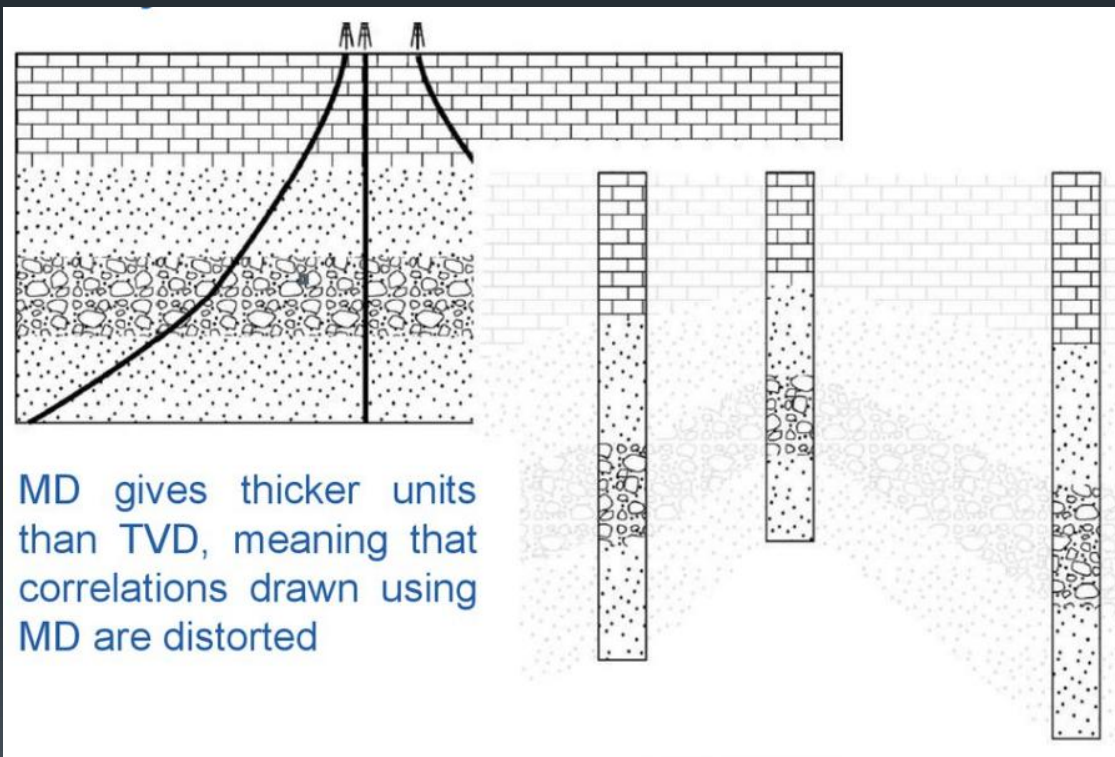
Mjerenje debljine slojeva prema MD daje predebele slojeve!

KB (*Kelly Bushing*) – vertikalna udaljenost od bušače baze do srednje razine mora

MD (*Measured Depth*) – udaljenost od bušače baze do bilo koje dubine bušotine, izraženo u duljini bušotine

TVD (*True Vertical Depth*) – vertikalna udaljenost od bušače baze do bilo koje točke u bošotini

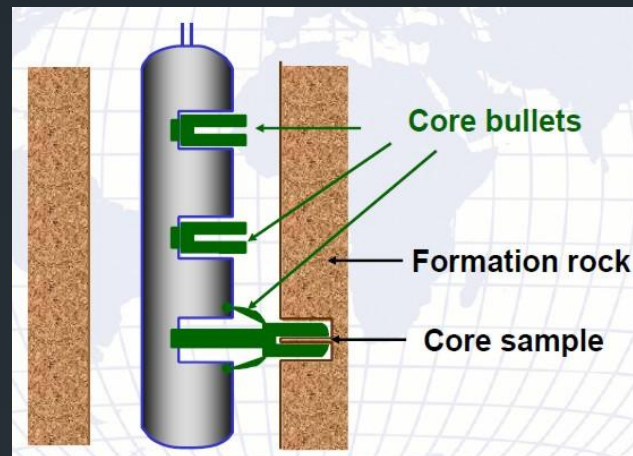
TVDSS (*True Vertical Depth Subsea*) – vertikalna udaljenost od srednje razine mora do bilo koje točke u bošotini



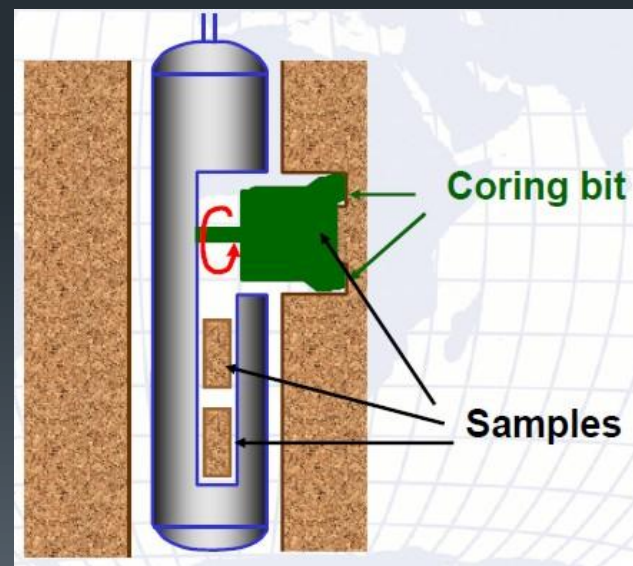
Oprema za bušenje



Uzorkovanje



Oprema za jezgrovanje



Jezgre

42

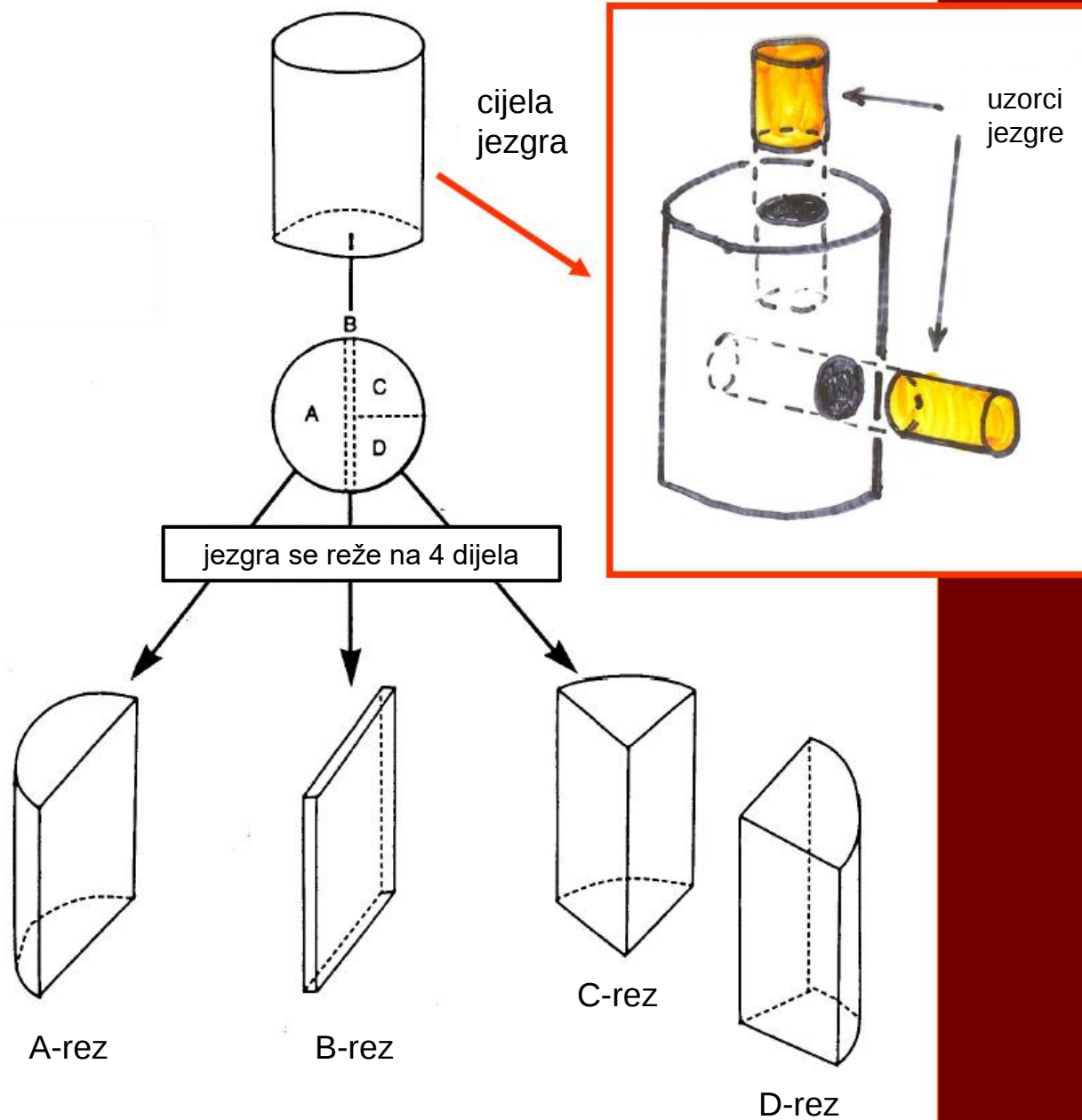
- Promjer jezgre iznosi od nekoliko cm do tek nešto više od 10 cm, ovisno o tipu opreme, dubini i materijalu koji se jezgruje.
- Duljina jezgre ovisi o prethodno dogovorenim planovima jezgrovanja i intervalima od interesa koje treba detaljno istražiti.
- Jezgre se vade iz ekonomski opravdanih intervala (kolektorskih, ali ponekad i iz matičnih/pokrovnih stijena radi provjere mehaničkih svojstava istih), i to ne u svakoj bušotini.
- Jezgre iz istražnih bušotina u načelu obuhvaćaju veći dio ležišta, dok se kod bušenja proizvodnih bušotina rijetko kad jezgruje (i tada se jezgruje kratak interval od nekoliko metara radi provjere svojstava stijena).



Jezgre su vrlo vrijedan materijal i moraju se brižljivo čuvati.

U Norveškoj se jezgre nakon vađenja režu na 4 dijela koji se potom lijepe na ploče. Četvrtina svake jezgre se trajno čuva u Norveškom naftnom direktoratu (NPD), dok ostatak jezgre čuva tvrtka ili tvrtke koje su platile istraživanje.

Dijelovi jezgre koji su najpovoljniji za analizu vertikalnih i horizontalnih svojstava stijene (npr. poroziteta, permeabiliteta...) se ne režu → to su tzv. neporemećeni uzorci (engl. *seal peel*).



NU = neporemećeni uzorak (*seal peel*) – za mjerenja poroznosti/propusnosti

Jezgre

44



Matična stijena → formacija Draupne u Sj. moru

Rezervoarna stijena → grupa Brent u Sj. moru

<http://factpages.npd.no/factpages/>



Osim što se ne jezgruje cijela bušotina, kvaliteta izvađene jezgre može biti vrlo loša za istraživanje svojstava stijene.

→ slike prikazuju dijelove jezgre loše kvalitete iz istraţnih bušotina u Sjevernom moru

Analiza i opisivanje jezgri

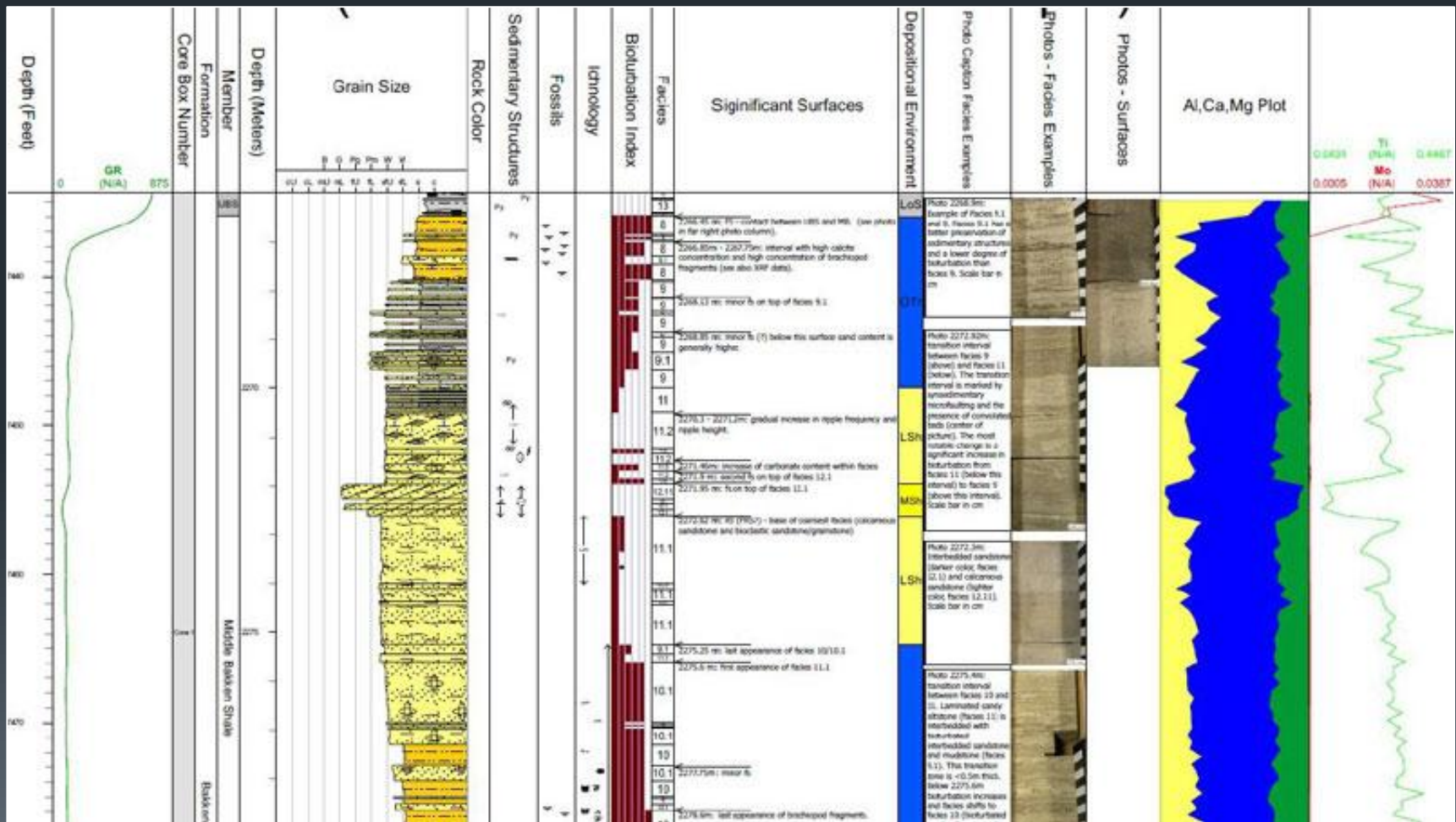


Opis jezgre je najčešće „standardni” sedimentološki stup, ali može biti i skup bilješki s osnovnim opažanjima koja trebaju omogućiti interpretaciju taložnog okoliša, diageneze, petrofizičkih svojstava stijene.

47

Mjerilo se prilagođava potrebama.

Opis se crta ručno, ali u novije vrijeme postoje i namjenski računalni programi.



Neizravne (indirektne) metode istraživanja

48

- Stijene možemo neizravno (indirektno) istraživati pomoću geofizičkih metoda koje se primjenjuju u samoj bušotini nakon što je bušotina izbušena, a u novije vrijeme i tijekom procesa bušenja.
- Geofizički podatci dobiveni instrumentalnim mjerenjima odražavaju fizička svojstva stijena pa se zato govori o njihovim **petrofizičkim** svojstvima.

- Osnovna svojstva stijena koja se mjere u bušotinama:

- Temperatura
- Promjer bušotine (*caliper*)
- Spontani potencijal stijena (*self potential*)
- Električni otpor i vodljivost stijena (*resistivity*)
- Prirodna radioaktivnost stijena (*gamma ray*)
- Brzina prolaza akustičkih valova kroz stiene (*sonic*)
- Ukupna gustoća stijena (*bulk density*)
- Neutronske porozitet stijena (*neutron porosity*)
- Položaj slojeva, tekstura i pukotina (*dipmeter*)

- Geofizički *log* („EK-dijagram”) je kontinuirani zapis geofizičkog parametra koji je mjeran duž bušotine.
- Tradicionalno, *logovi* se nazivaju „električnima” jer su prva mjerenja u bušotinama bila ograničena na električna svojstva stijena. Danas to nije slučaj pa se „električni” u svijetu bušotinske geofizike više ne spominje.

Bušotinska karotaža

Jezgrovanje je skupo!

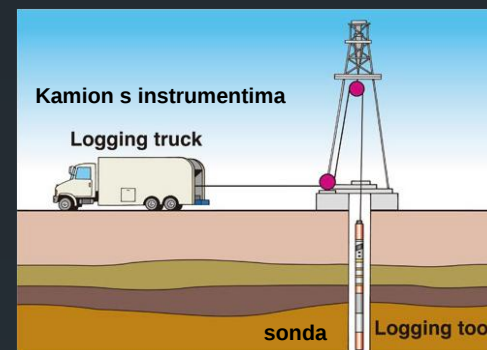
Bušotinskom karotažom mjere se fizička svojstva stijena:

- električna otpornost
- gustoća
- brzina rasprostiranja seizmičkih valova
- prirodna radioaktivnost

Dobiveni karotažni dijagrami se **interpretiraju** i na osnovu interpretacije se određuju parametri ležišta:

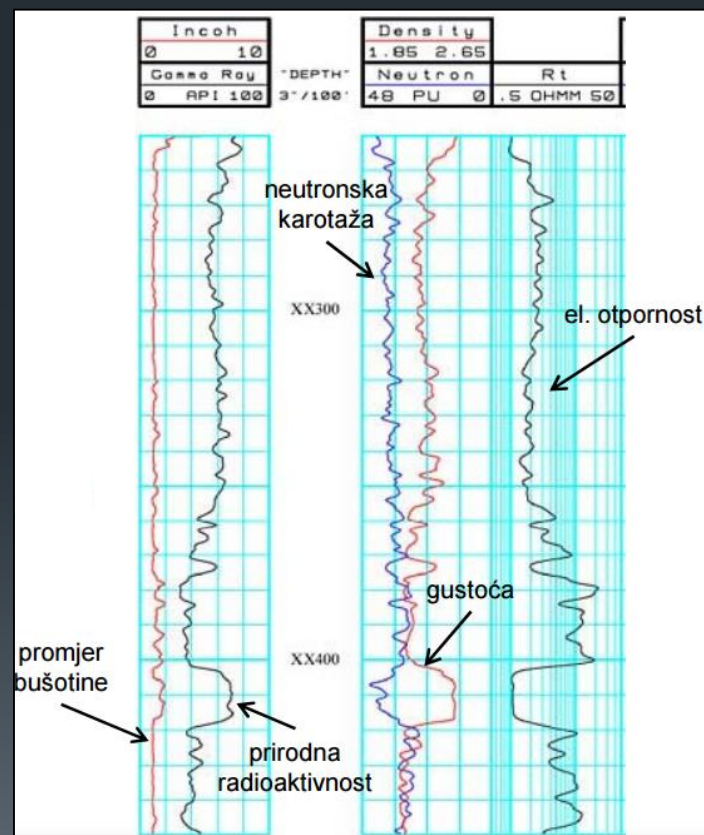
- vrste stijena
- poroznost
- propusnost
- vrsta i volumen fluida
- zasićenje određenim fluidima

Ovi parametri ležišta **NE** mjere se izravno!



49

Mjerenja se izvode pomoću sonde spuštene u bušotinu.



Metode karotažnih mjerenja

50

S obzirom na fizička svojstva koja određuju, razlikujemo:

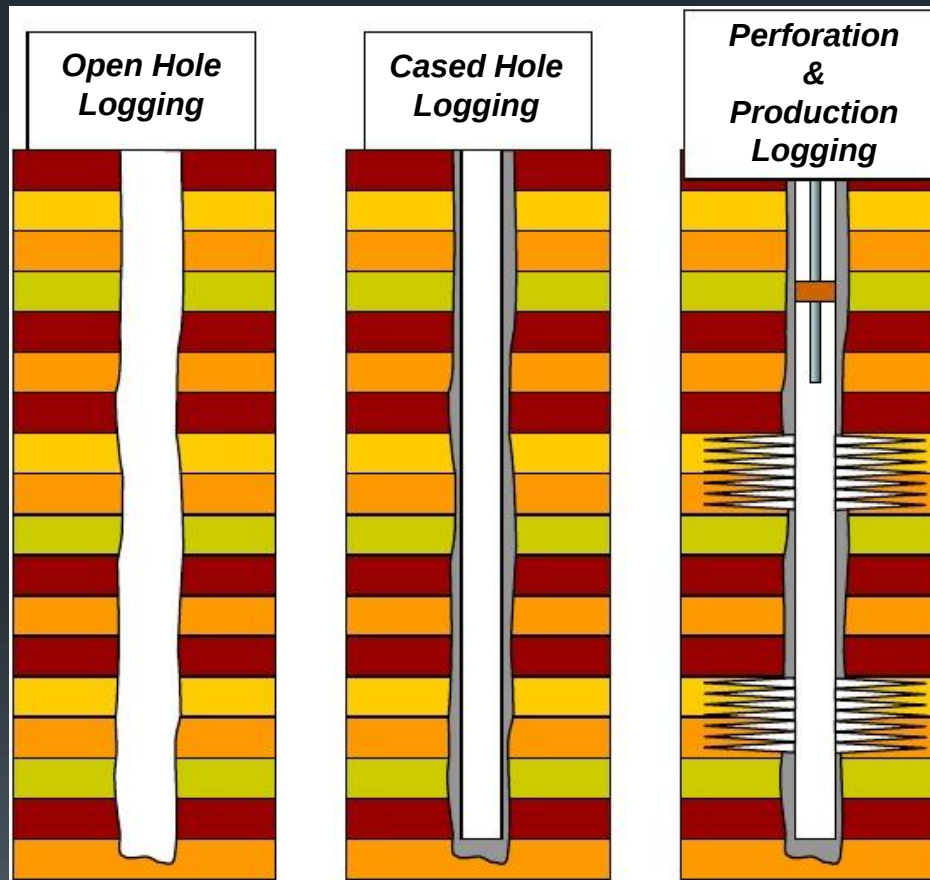
- električne metode (mjerenja električne otpornosti i vodljivosti)
- radioaktivne metode
- akustične (zvučne) metode
- elektromagnetske metode

Osim tih metoda, vrše se i mjerenja:

- promjera bušotine
- snimanje stijenke bušotine
- mjerenje temperature

Mjerenja se mogu izvoditi:

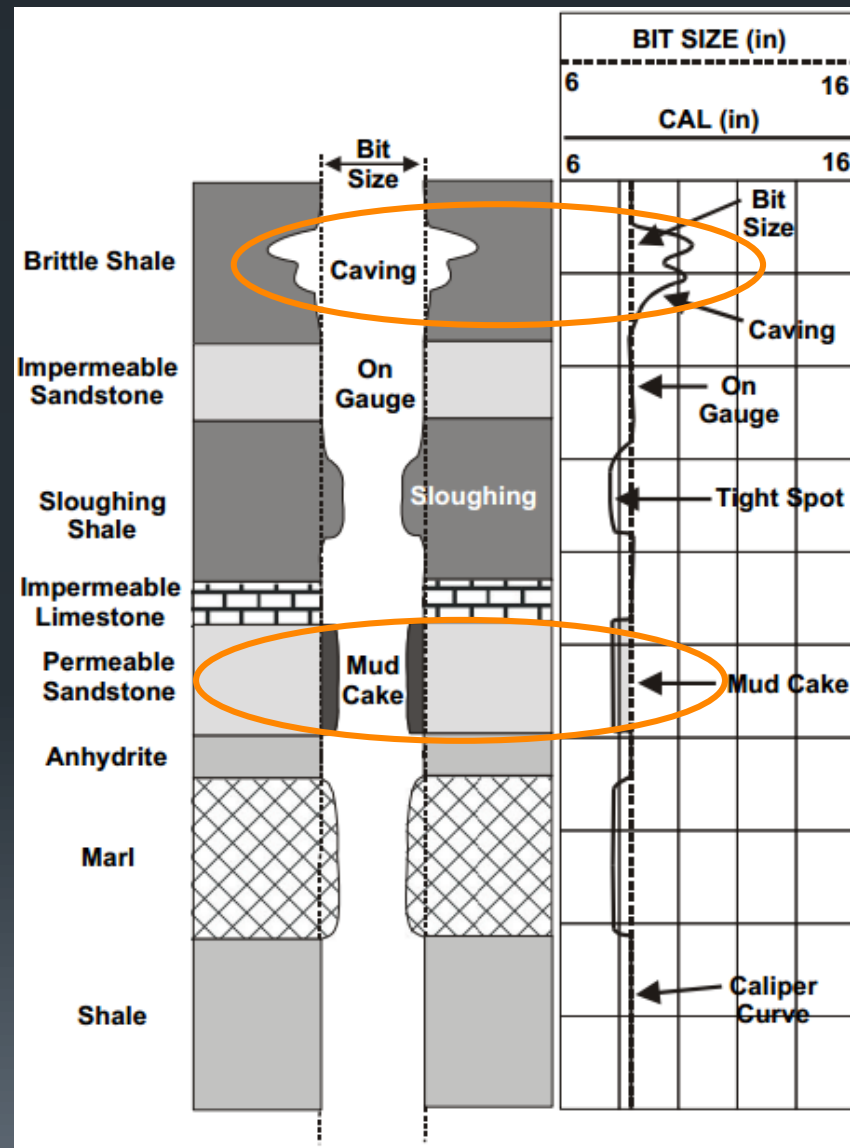
- u nezacijevljenim bušotinama (*Open Hole Logging*)
- u zacijevljenim bušotinama (*Cased Hole Logging*)
- tijekom bušenja (*LWD – Logging While Drilling*)



Caliper log – kavernogram / dijagram kavernometrije / dijagram dijametiranja kanala bušotine

51

- **Caliper** (kaliper) je uređaj koji služi za mjerenje dimenzija i oblika kanala bušotine
- Promjene promjera kanala bušotine u odnosu na promjer svrdla ukazuju na stanje bušotine i vrstu probušenih stijena.
- Isplačni kolač (*mud cake*), ali i urušavanje znatno utječu na mjerenja u bušotini jer povećavaju odmak sonde od stijene. Mjerenja u takvim su intervalima netočna, posebno kod onih alata koji moraju biti priljubljeni uz stijenu, pa se mjerene vrijednosti moraju korigirati.
- Isplačni kolač koristan je indikator permeabilnosti (propusnosti) stijena, tj. moguće kolektorske stijene, jer nastaje na poroznim pješčenjacima. Međutim, smanjenje promjera bušotine može biti posljedica i bujanja smektitske gline koja upija vodu iz isplake.

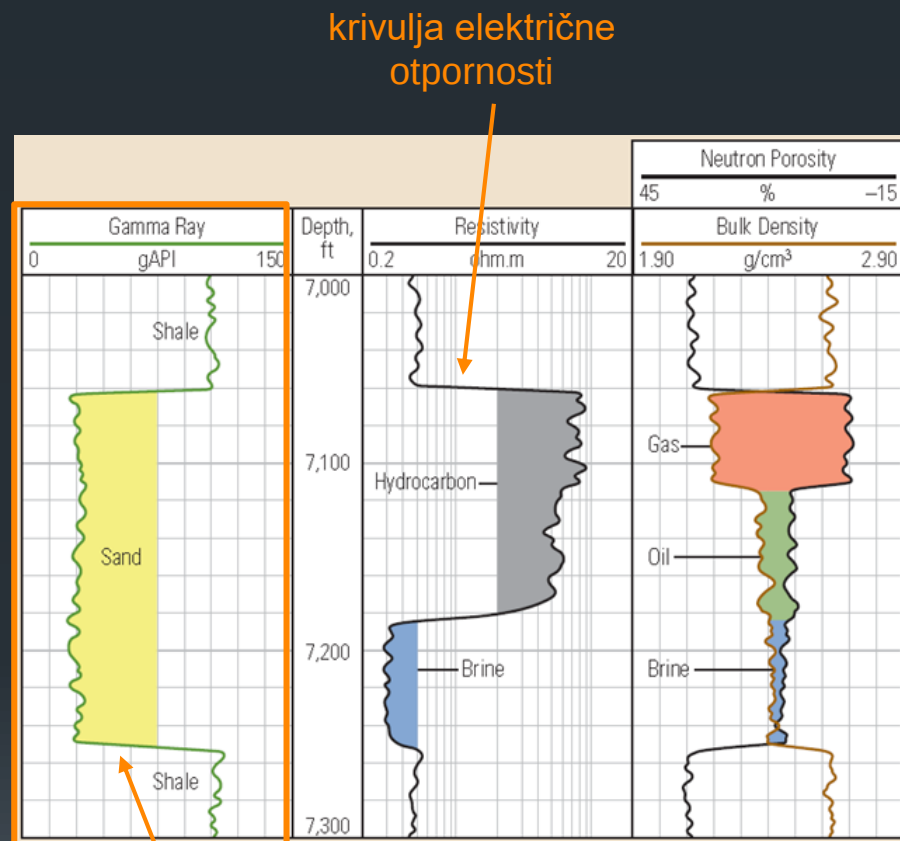


Radioaktivne metode

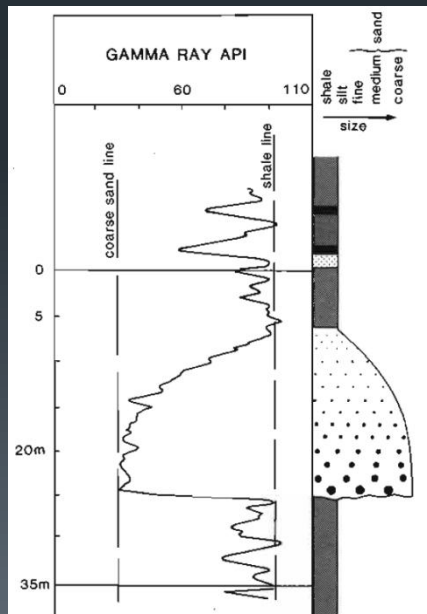
52

Gama-karotaža (Gamma Ray Logging)

- mjeri ukupnu prirodnu radioaktivnost formacija
- ovisi o sadržaju radioaktivnih izotopa urana, torija i kalija
- indikator je litologije
- koristi se pri određivanju granica formacija
- visoke vrijednosti → šejl
- niske vrijednosti → pijesak, karbonati, evaporiti, ugljen
- povišene vrijednosti GR mogu potjecati i od organske tvari i detritičnih minerala zbog udjela U, K ili Th.



- krivulja gama-karotaže se često primjenjuje za procjenu udjela šejla u naslagama.
- Iako se radioaktivnost različitih šejlova razlikuje, u jednom području ili bušotini prirodna radioaktivnost čistog šejla ima konstantnu vrijednost.
- Na krivulji gama-karotaže se prilikom interpretacije crta **linija čistog šejla** (*shale line* – 100 % šejl) kao srednji maksimum loga i **linija pijeska** (*sand line* – 0 % šejla).
- krivulja gama-karotaže se koristi za korelaciju, istraživanje facijesa i slijedova naslaga i litologije.



Rider, 1986.

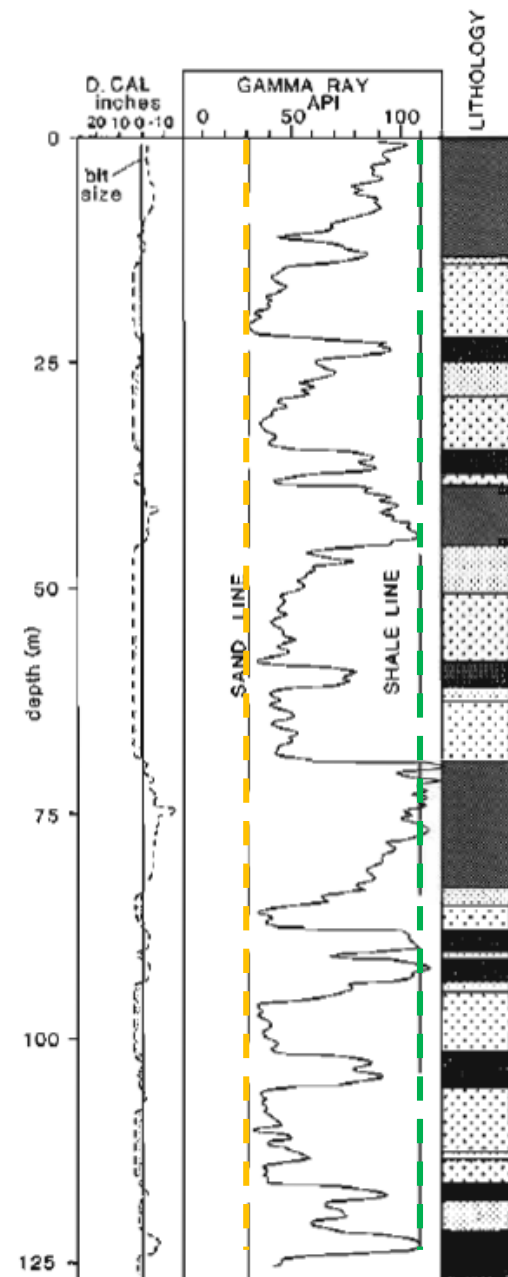


Figure 7.14 Sand line and shale line defined on a gamma ray log. These 'baselines' are for the quantitative use of the log, and may be reasonably constant in any one zone.

ZADATAK 1

Interpretirajte *log*. Na osnovu svojstava krivulje gama karotaže i kavernograma izdvojite slojeve u stupcu LITH.



Radioaktivne metode

55

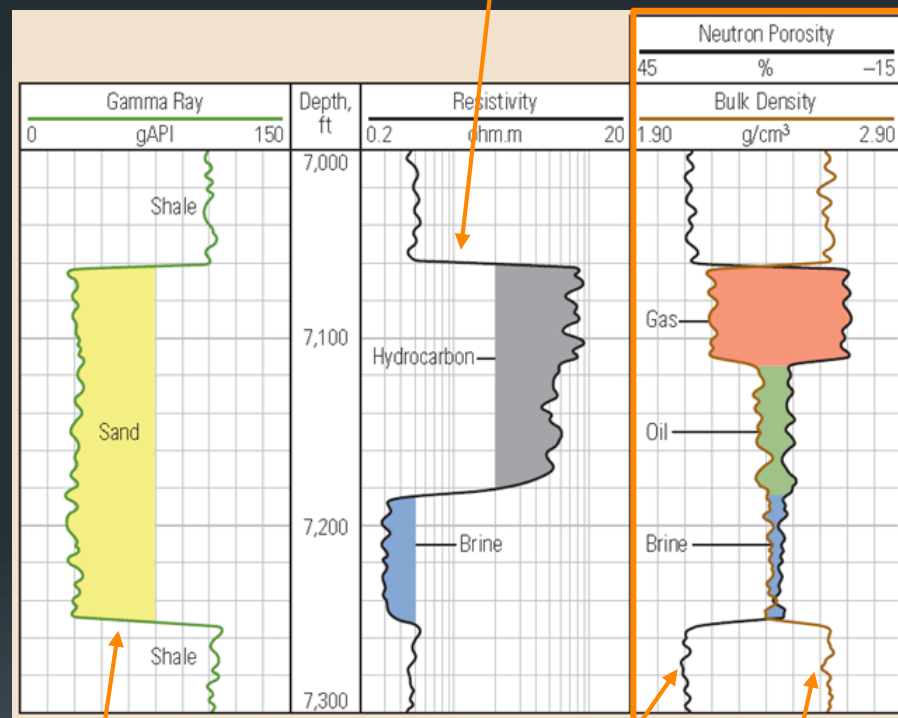
Neutronska karotaža

- mjeri prigušenje neutrona emitiranih iz radioaktivnog izvora
- procjena poroznosti
- indikator plina – zajedno s karotažom gustoće
- utvrđivanje kontakta plina i nafte
- niske vrijednosti → plin

Karotaža gustoće

- mjeri intenzitet gama-zraka emitiranih iz radioaktivnog izvora nakon njihovog prigušenja prolaskom kroz formaciju
- prigušenje gama-zraka ovisi o gustoći elektrona, koja predstavlja gustoću formacije
- određivanje poroznosti, granica formacija
- litološka identifikacija u kombinaciji s krivuljama gama-karotaže, neutronske karotaže ili zvučne karotaže

krivulja električne otpornosti



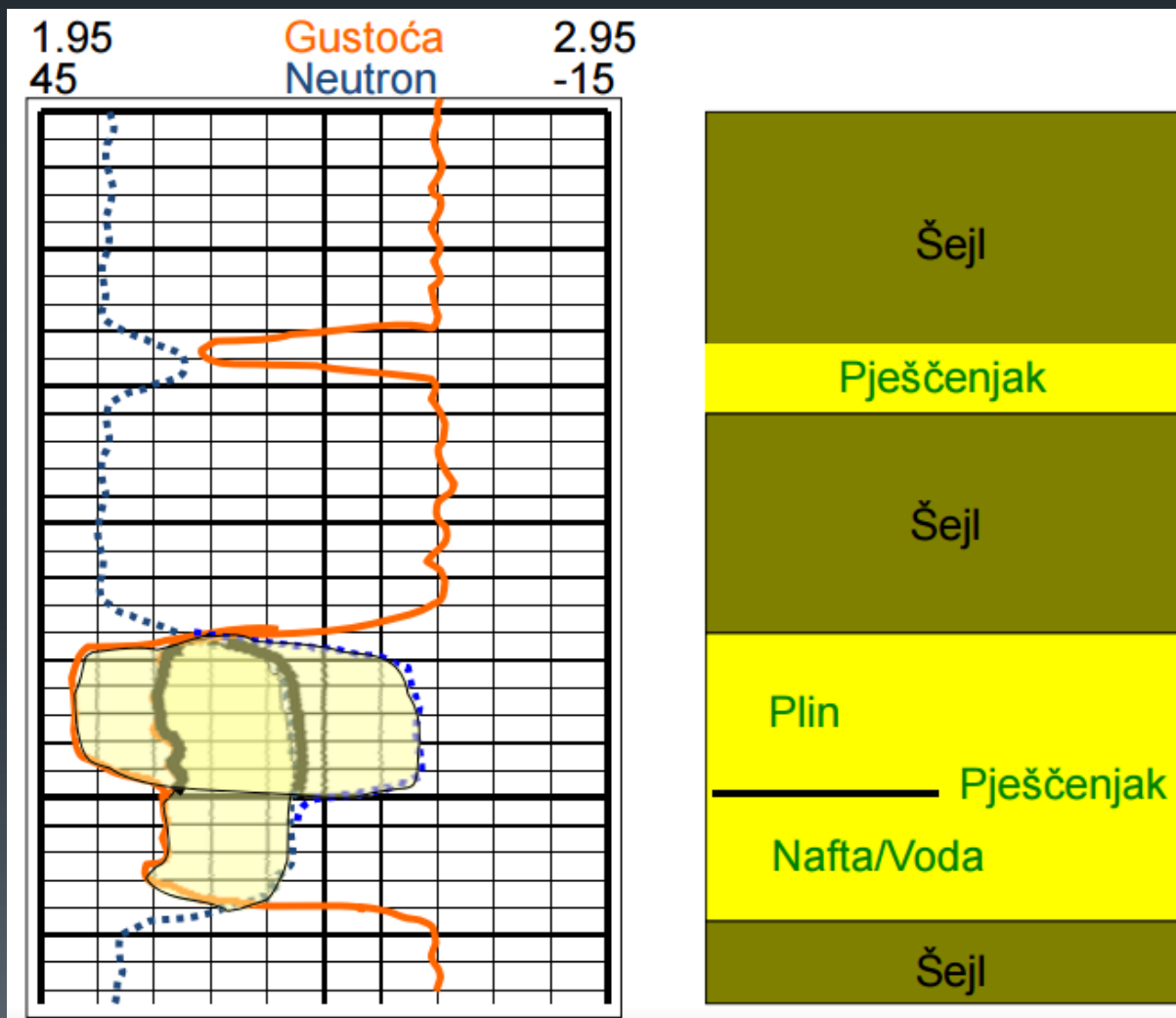
krivulja gama-karotaže

krivulja
neutronske
karotaže

krivulja
karotaže
gustoće

Neutronska karotaža i karotaža gustoće se najčešće koriste zajedno...

56



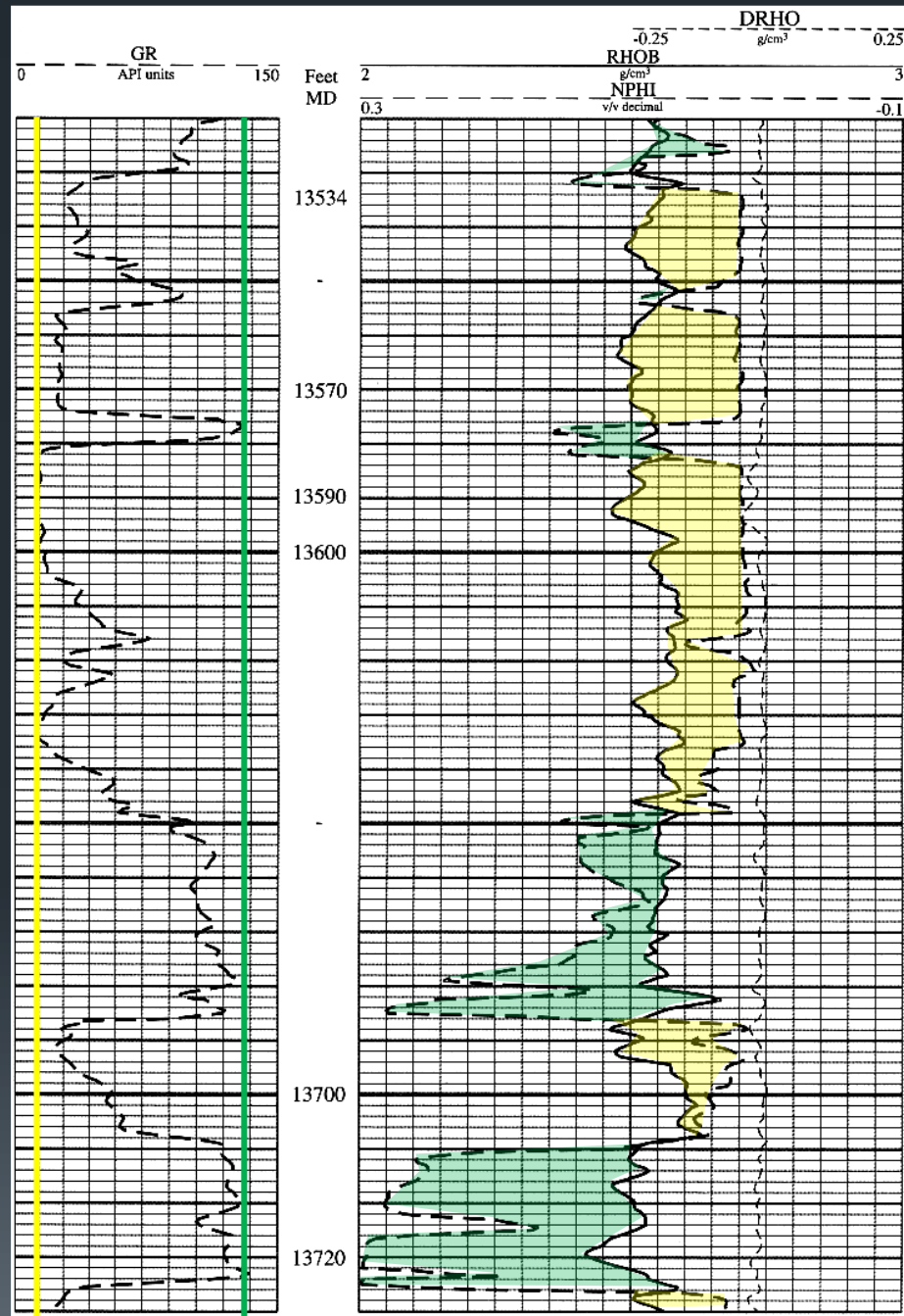
„Separacija”, tj. razmak između krivulja ukazuje na kvalitetu (poroznost) stijene i na prisutni fluid.

„negativna” separacija
→ pješčenjak

„pozitivna” separacija
→ šeja

ZADATAK 2

- Interpretirajte RHOB i NPHI logove. Pronađite „negativnu separaciju” krivulja i obojite žuto.

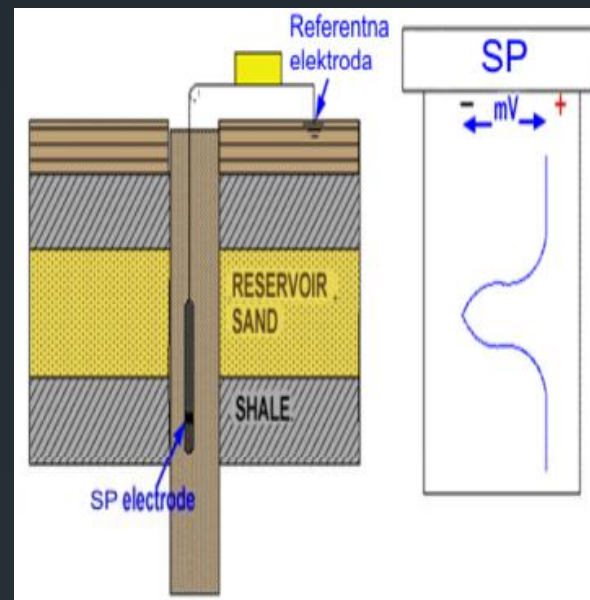


Elektrokarotaža

58

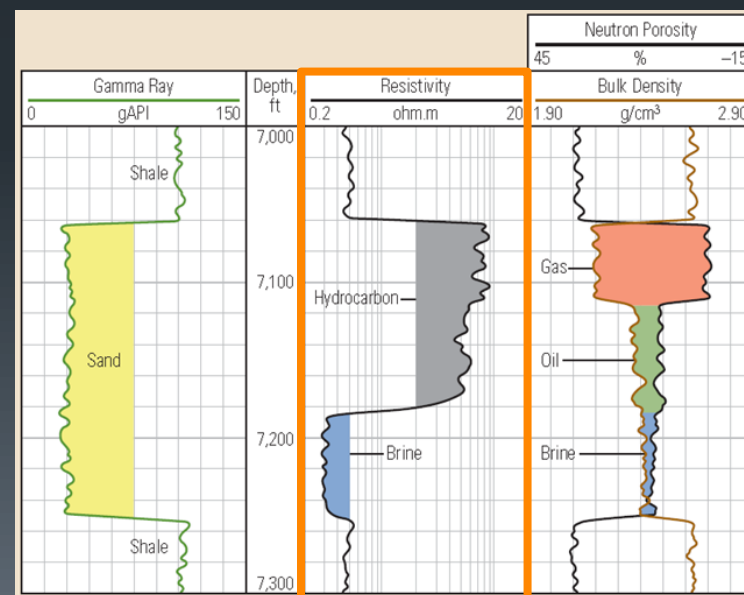
Spontani potencijal (SP)

- mjeri se razlika prirodnog potencijala između površinske elektrode i elektrode u vodljivoj isplaci
- određivanje granica propusnih i nepropusnih slojeva
- određivanje el. otpornosti slojne vode



Električna otpornost

- mjerenje se vrši normalnom i induktivnom sondom
- određivanje kontakta slojne vode i ugljikovodika
- visoke vrijednosti el. otpora ukazuju na prisutnost ugljikovodika!



- Nema karakterističnog otpora za pojedine vrste stijena pa se el. otpor ne može koristiti za njihovo razlikovanje.

59

- Ipak, pojedine vrste stijena možemo razlikovati po karakterističnom el. otporu: sol, anhidrit, gips i ugljen – jer imaju obično visok el. otpor. Visok el. otpor imaju i gusti (cementirani) vapnenci i dolomiti, a niski mogu imati mineralna ležišta metala (npr. pirita).

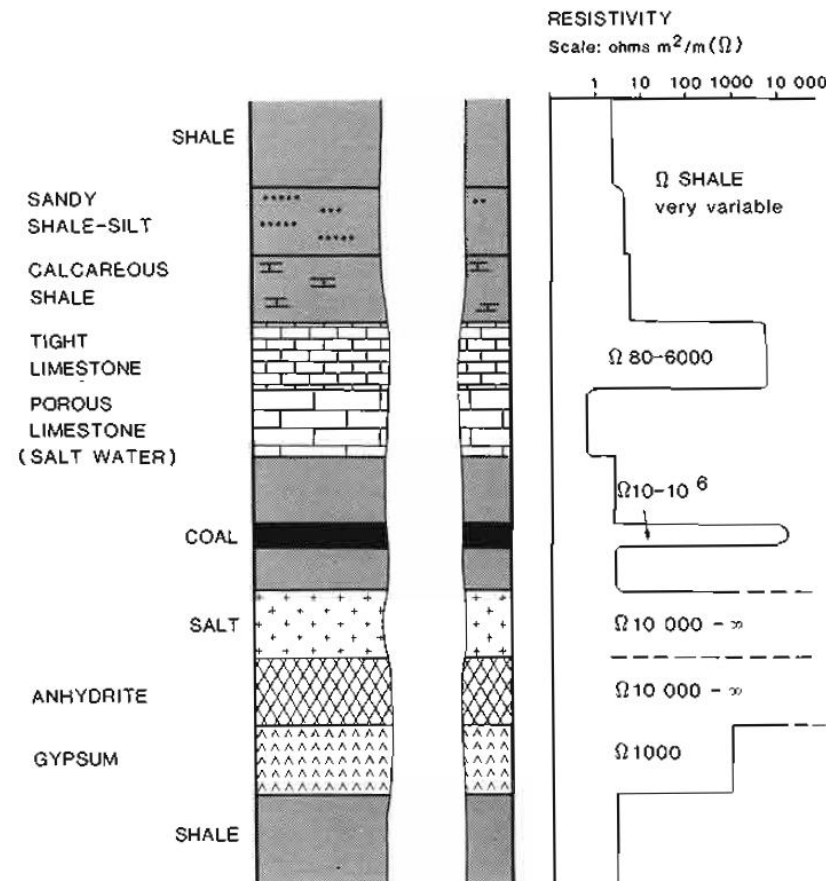
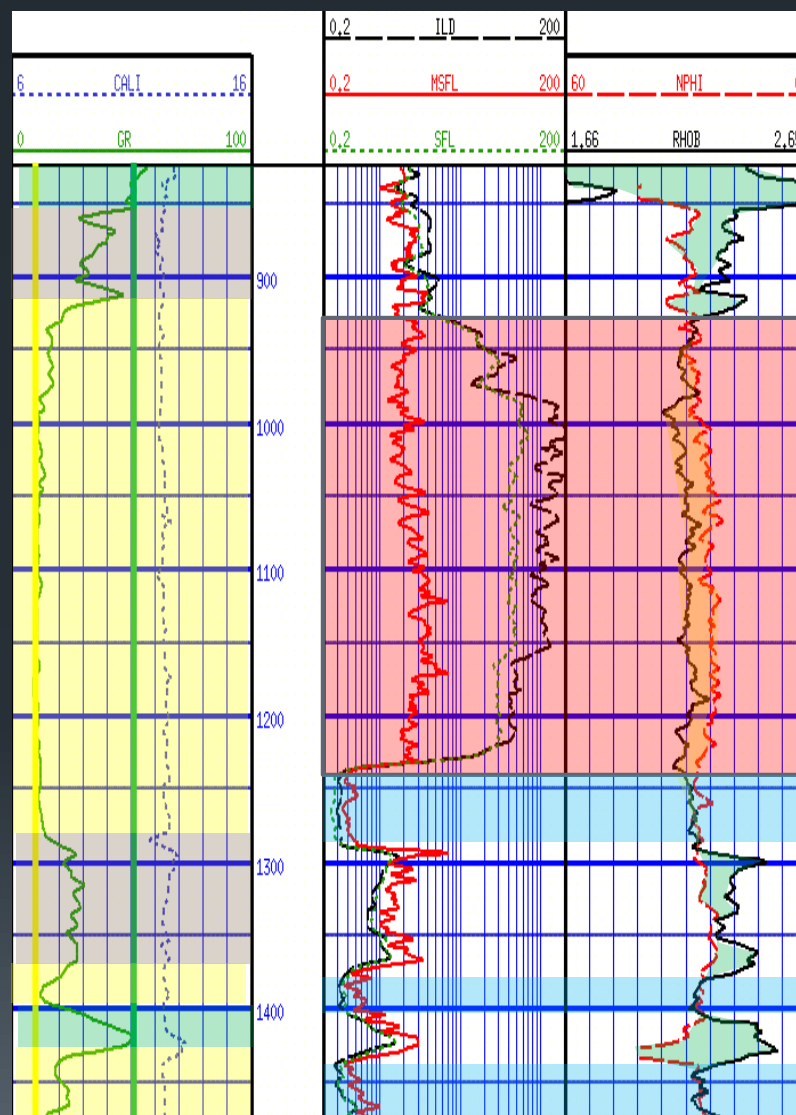
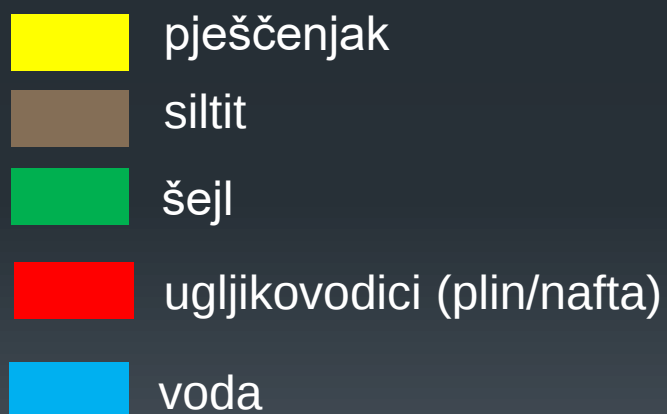


Figure 6.28 Responses on a deep resistivity log of some minerals and some typical, distinctive lithologies. To these mineral values should be added the following fluid values: pure, fresh water (26.7°C) = α , salt-saturated water (26.7°C) = 0.032 Ω , methane = α .

ZADATAK 3

- Na osnovu loga interpretirajte litologiju i fluide prisutne u ležištu.



Zvučne (akustične) metode (*Sonic Logging*)

Zvučna karotaža mjeri vrijeme putovanja zvučnih valova emitiranih iz odašiljača nakon njihovog prolaska kroz formaciju.

Koristi se za:

- određivanje poroznosti
- procjenu litologije
- procjenu sekundarne poroznosti i raspucalosti
- procjenu kvalitete cementacije
- povezivanje seizmičkih podataka s bušotinskim podacima

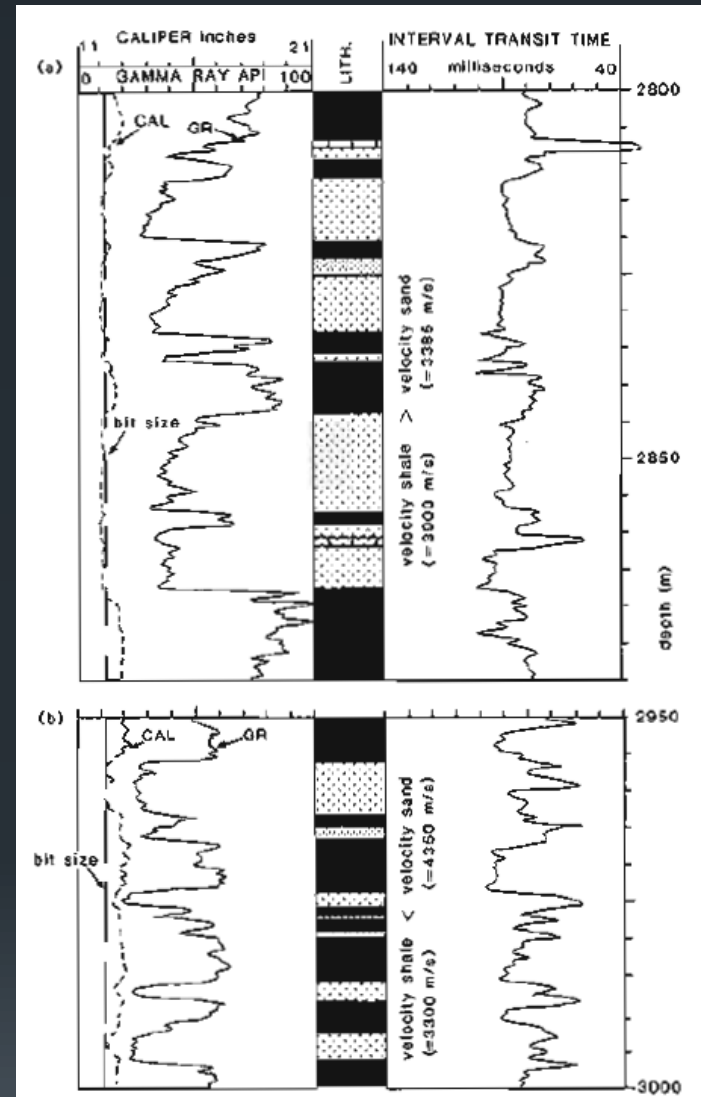
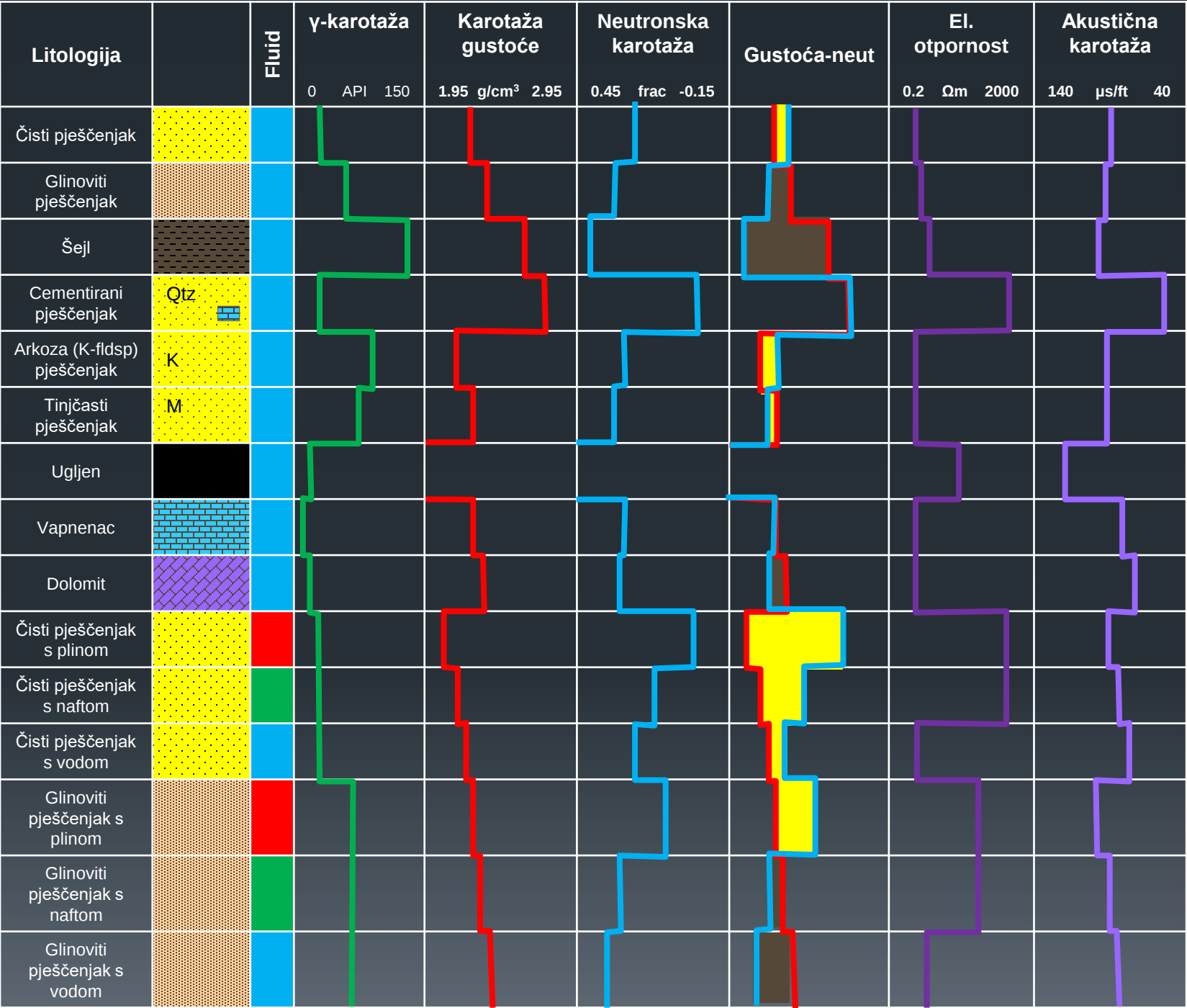
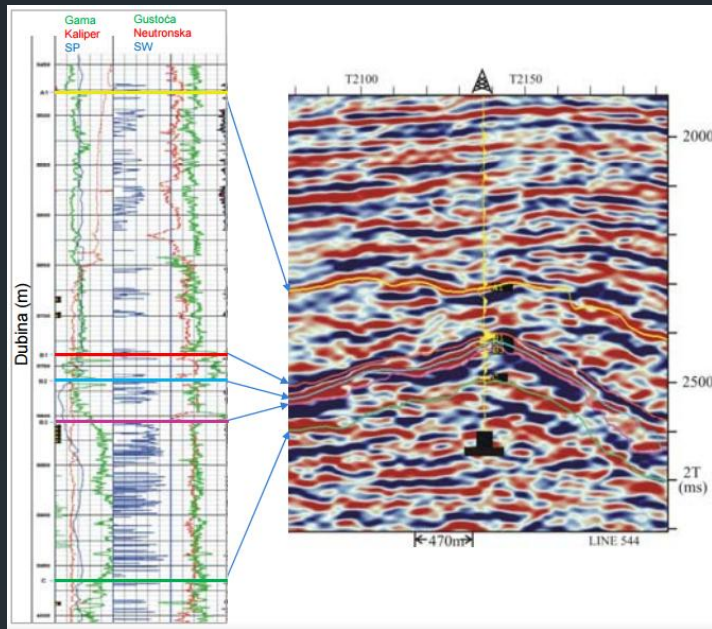


Figure 8.12 Sonic log in sand-shale sequences. (a) The sands have a lower sonic velocity (about 3385m/s) than the shales (3900m/s). (b) The reverse, where the sands have higher velocity (about 4350m/s) than the shales (3300m/s). Sonic velocities are therefore not diagnostic of lithology.





Karotažni dijagrami se također koriste za:

64

- korelacije između bušotina
- povezivanje bušotinskih i seizmičkih podataka
- regionalne strukturne i sedimentološke analize
- modeliranje parametara ležišta i procjenu volumena ugljikovodika u ležištu

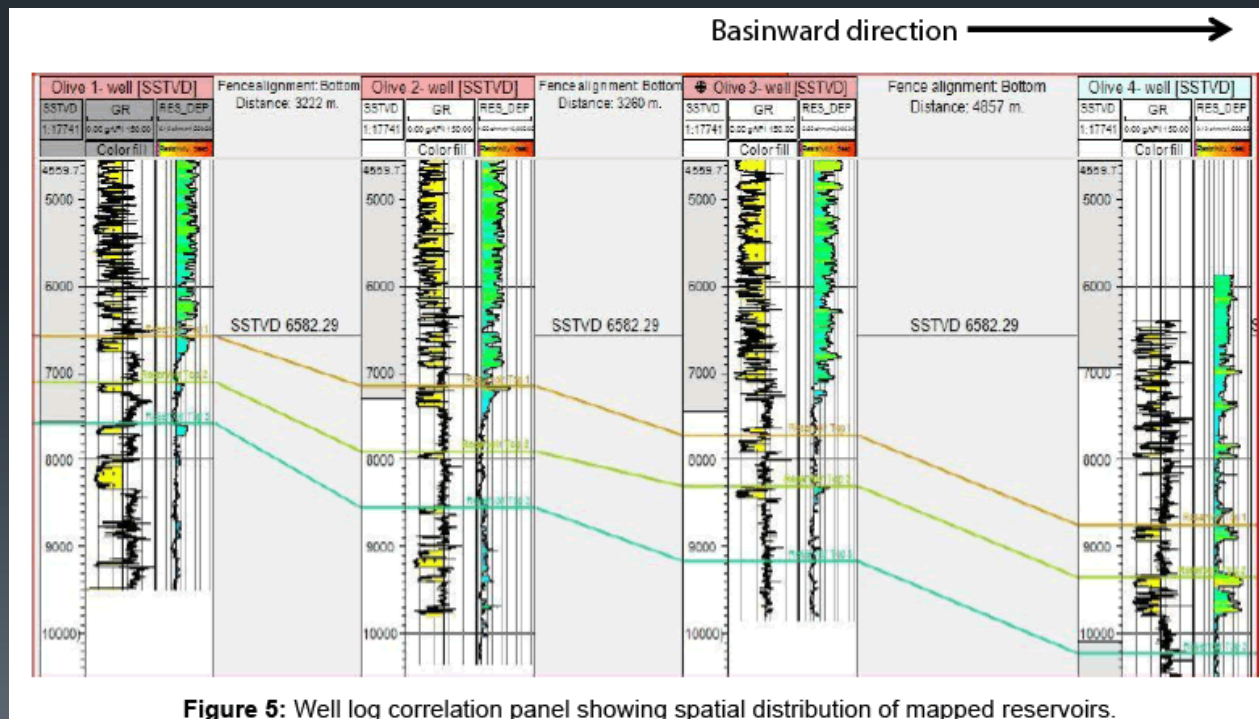
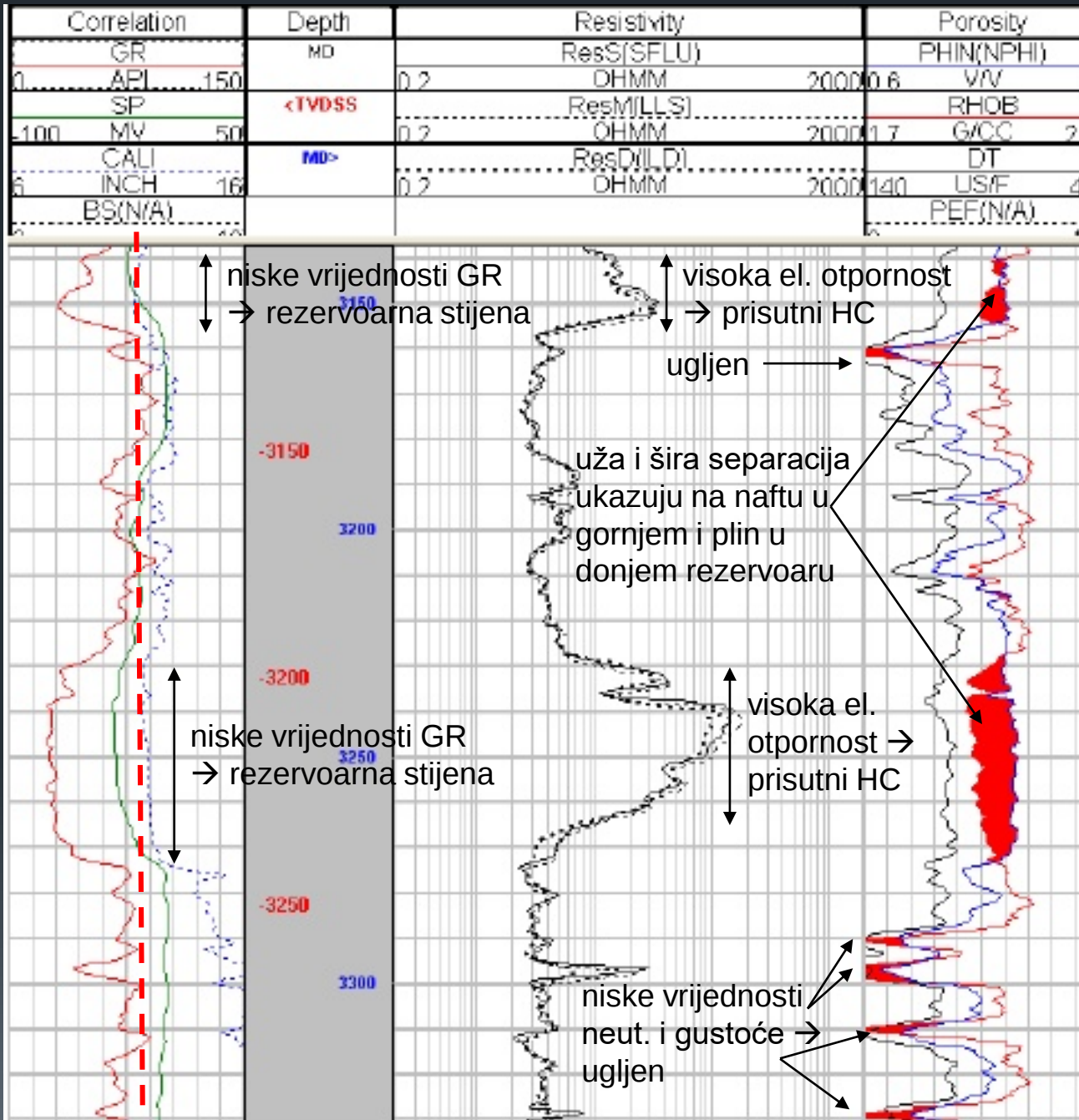


Figure 5: Well log correlation panel showing spatial distribution of mapped reservoirs.

	Litologija	Ugljikovodici	Porozitet	Procjena tlaka	Strukturni i taložni nagib	Ostalo
Spontani potencijal	✓					
El. otpornost	✓	✓		✓		
Gama-karotaža	✓					Izračun količine gline i organske tvari
Neutronska karotaža		✓	✓			Identifikacija litologije kombinacijom dijagrama Kalibracija sa seizmikom
Karotaža gustoće		✓	✓			
Zvučna karotaža	✓	✓	✓	✓		
Dipmetar					✓	



1. Gdje je rezervoarna stijena?

2. Kakva je el. otpornost u rezervoaru i na što ukazuje?

3. Na što ukazuje kombinacija gustoće i neutrona?

4. Je li rezervoar ispunjen samo jednim fluidom?

Rezervoar ispunjen plinom do:
-3242 m TVDSS
3272 m MD

i naftom do:
-3125 m TVDSS
3155m MD