



GEOLOGIJA I GEOKEMIJA UGLJIKOVODIKA (285219) (3)

doc. dr. sc. Katarina Gobo

katarina.gobo@geol.pmf.hr

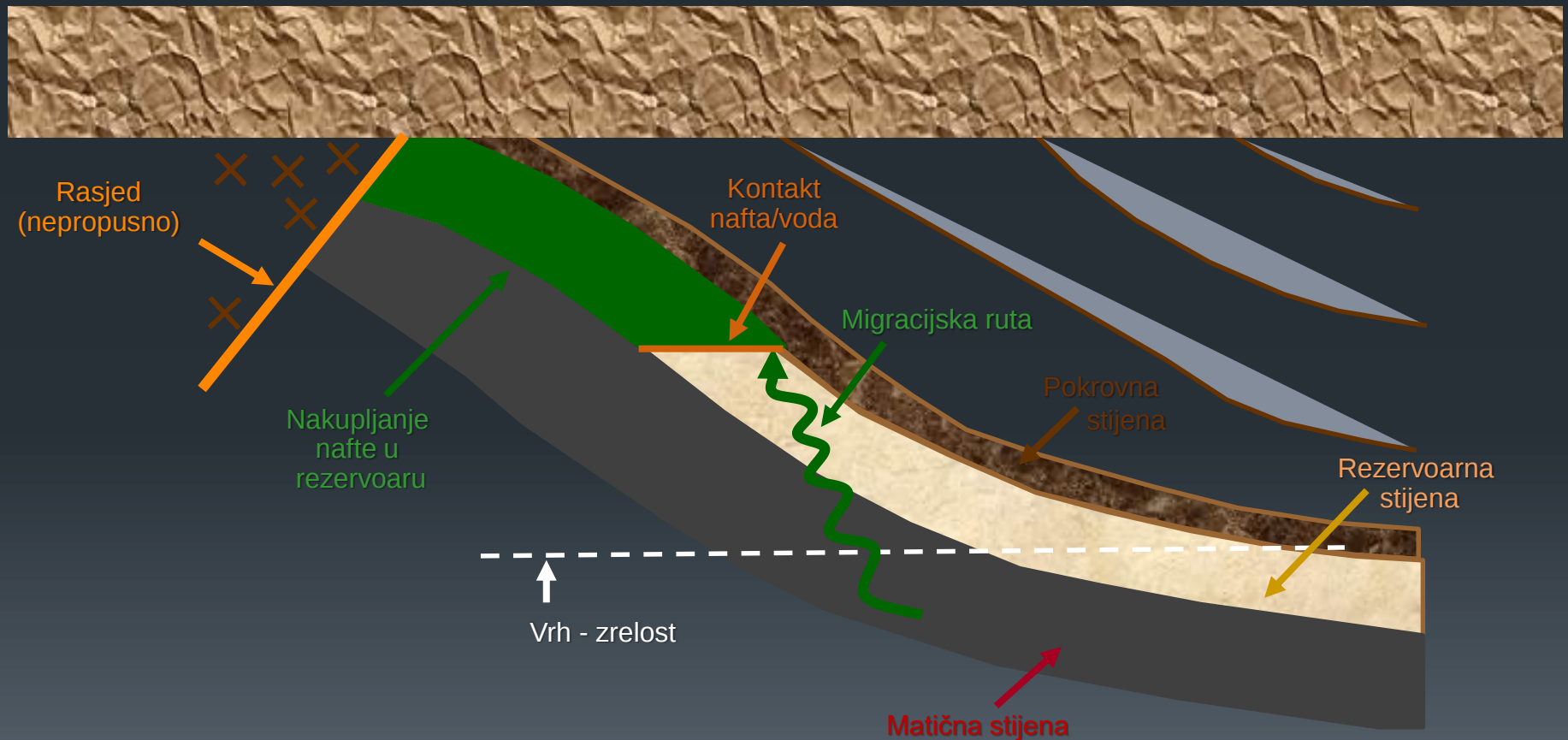
Rezervoarne stijene, pokrovne stijene i zamke

2

- Što su rezervoarne stijene?
- Kako su ugljikovodici dospjeli u rezervoarnu stijenu?
- Koja su svojstva ugljikovodika u rezervoarnoj stijeni?
- Što su pokrovne (izolatorske) stijene?
- Vrste zamki

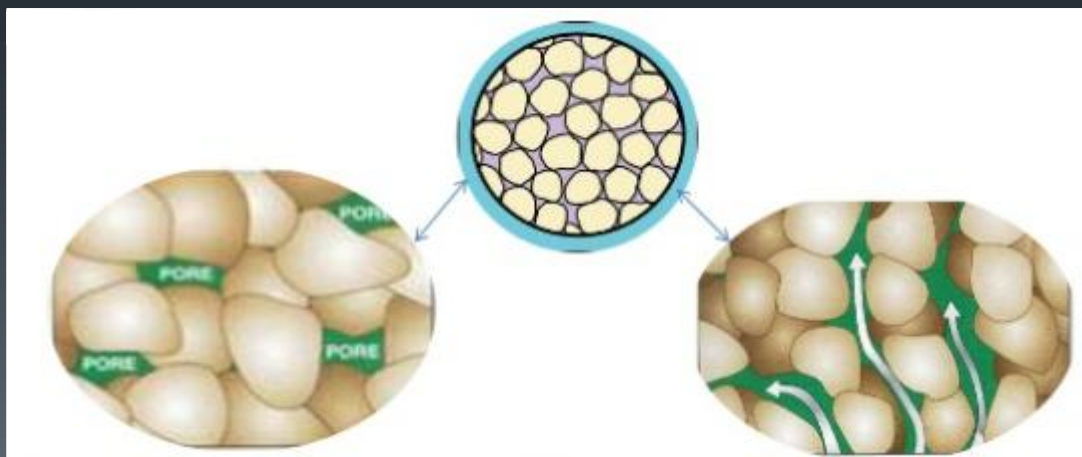
Stvaranje, migracija i nakupljanje ugljikovodika

3



Rezervoarne (kolektorske) stijene ⁴

- Ugljikovodici stvoreni u matičnoj stijeni migriraju u rezervoarne stijene ili naftonosnike odakle ih možemo crpiti
- Pješčenjaci – 60 %
- Karbonati – 39 %
- Raspucane stijene različitog litološkog sastava – 1 %
- visoka poroznost i propusnost!
- Migracija je dugotrajan proces koji traje milijunima godina!



Tipovi ležišta ugljikovodika

5

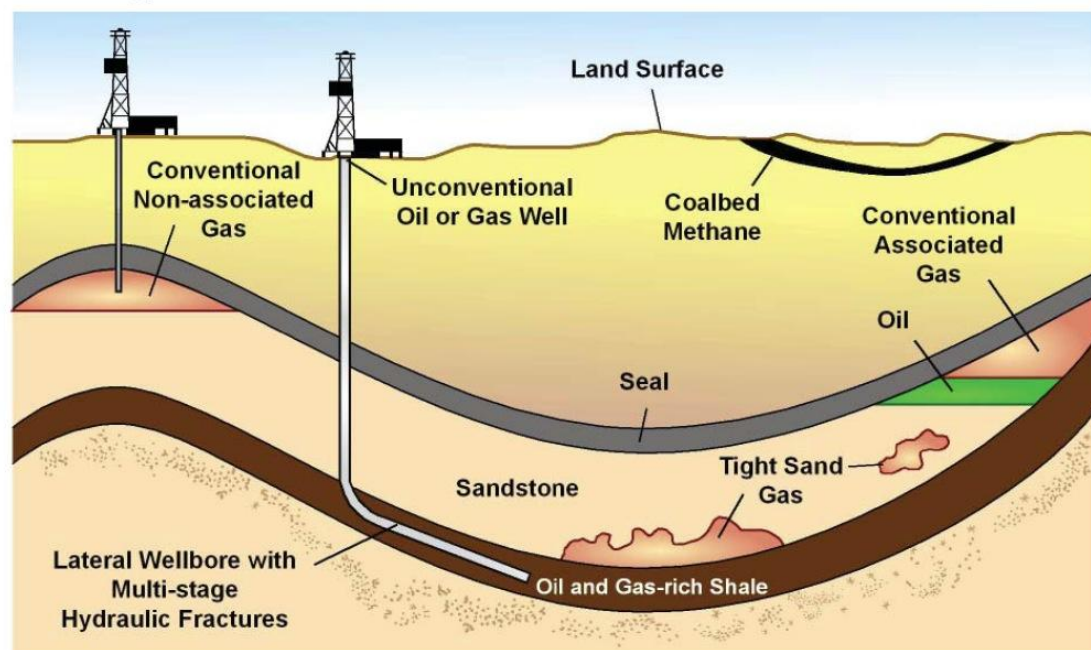
KONVENCIONALNA LEŽIŠTA UGLJIKOVODIKA

- Koriste se klasične metode crpljenja iz kvalitetnih ležišta (zamki)
 - Klastične stijene
 - Karbonatne stijene

NEKONVENCIONALNA LEŽIŠTA UGLJIKOVODIKA

- Koriste se nove metode za crpljenje iz slabo propusnih ležišta (+ matičnih stijena)
 - Nafta i plin iz šejlova
 - Nafta i plin iz slabo propusnih pješčenjaka
 - Plin iz ležišta ugljena

The Geology of Conventional and Unconventional Oil and Gas



Source: EIA

Klastične rezervoarne stijene

6

- Pješčenjaci imaju veću primarnu poroznost nego karbonati (s iznimkom grebenskih vapnenaca).
- Kvaliteta rezervoarne stijene ovisi o izvoru materijala, načinu taloženja i okolišu taloženja.
- visok N/G omjer (*Net to Gross*)

KOPNENI OKOLIŠI

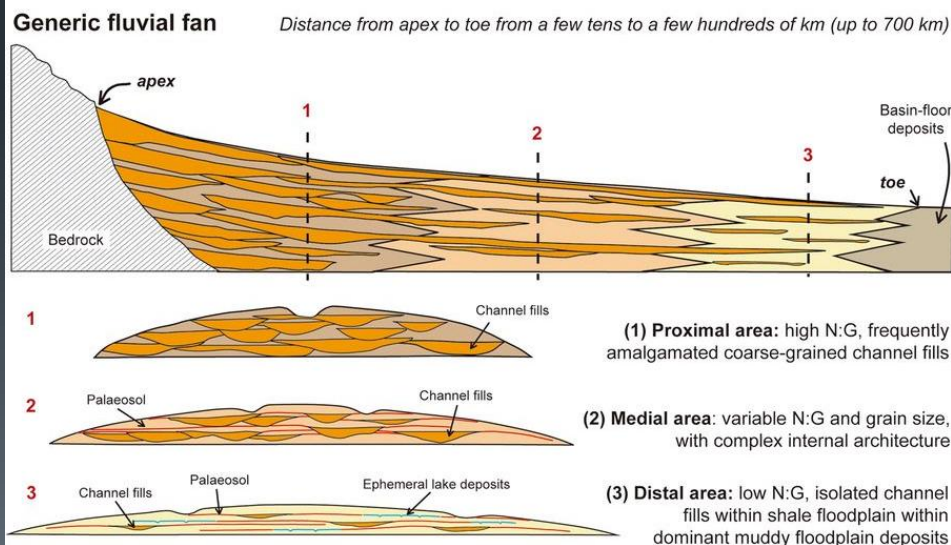
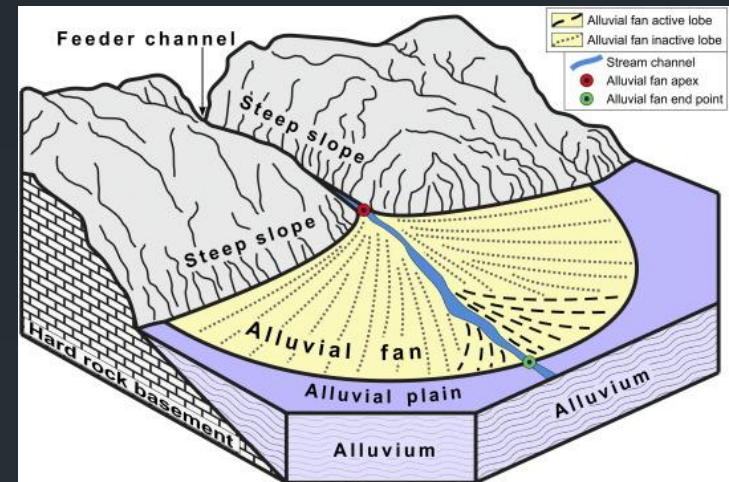
- Aluvijalne lepeze
- Fluvijalni okoliši (okoliši prepletenih i meandrirajućih rijeka)
- Eolski okoliši

MORSKI OKOLIŠI

- Plitkomorski okoliši
- Delte
- Dubokomorske lepeze

Kopneni okoliši – aluvijalne lepeze

7



Kakva je vertikalna i lateralna povezanost pješčanih tijela u različitim dijelovima lepeze?

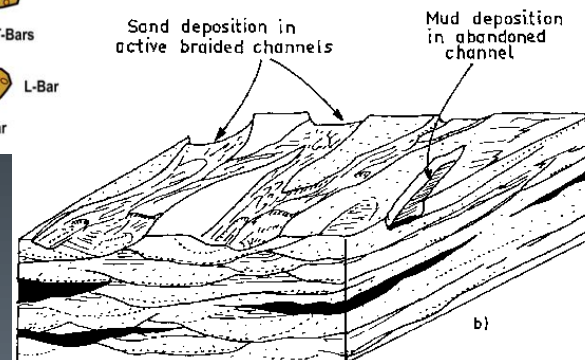
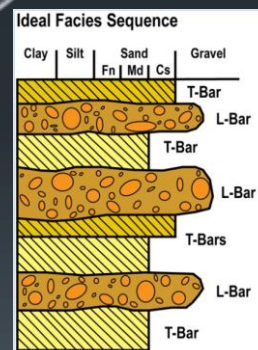
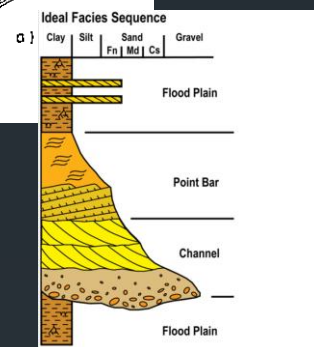
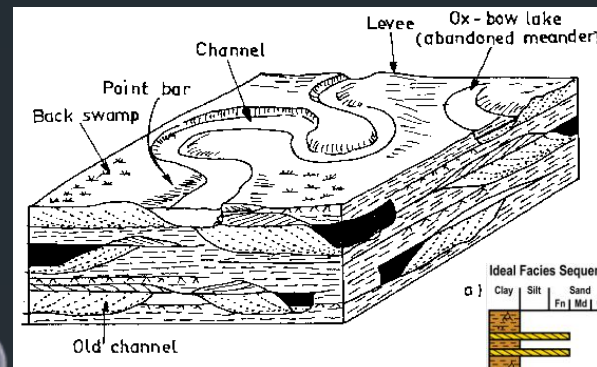


Kopneni okoliši – fluvijalni okoliši



MEANDRIRAJUĆE RIJEKE

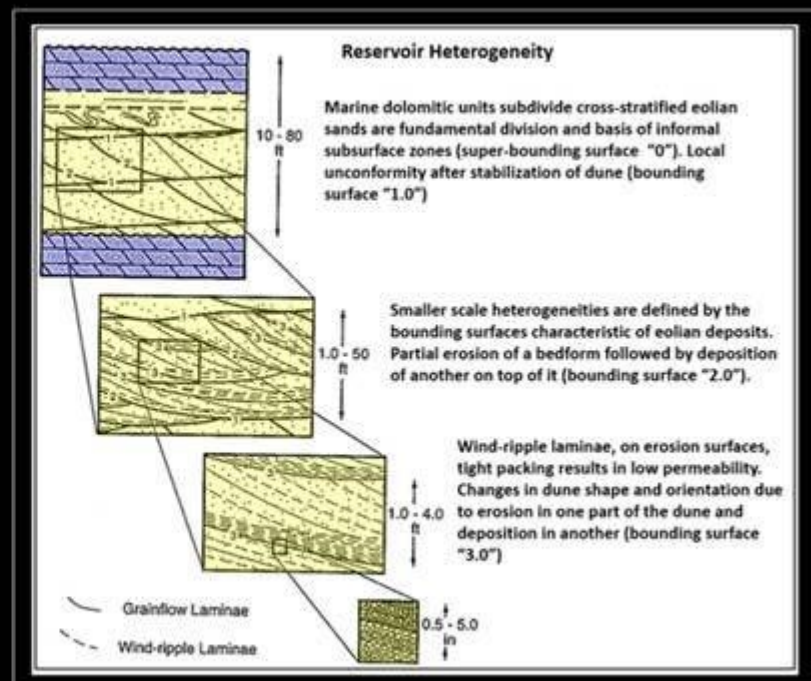
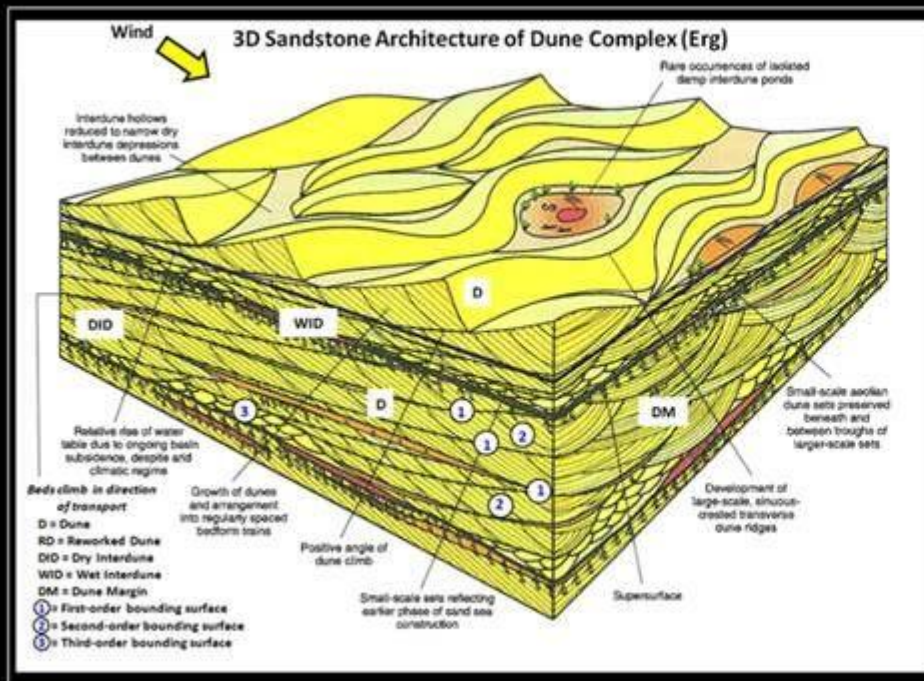
Kakva je vertikalna i lateralna povezanost pješčanih tijela u različitim fluvijalnim okolišima?



PREPLETENE RIJEKE

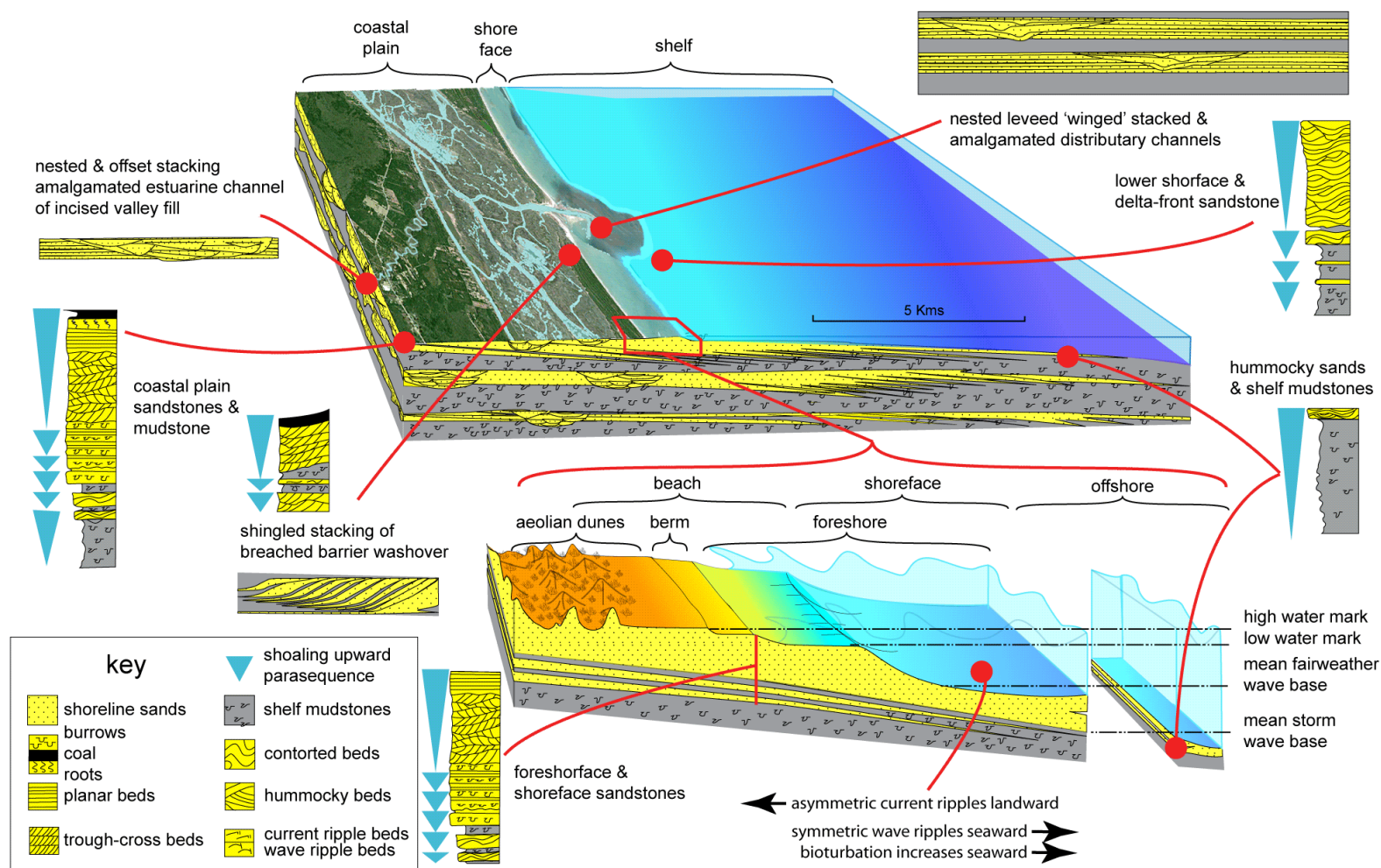


Kopneni okoliši – eolski okoliši 9



Plitkomorski okoliši – delte i obalno lice

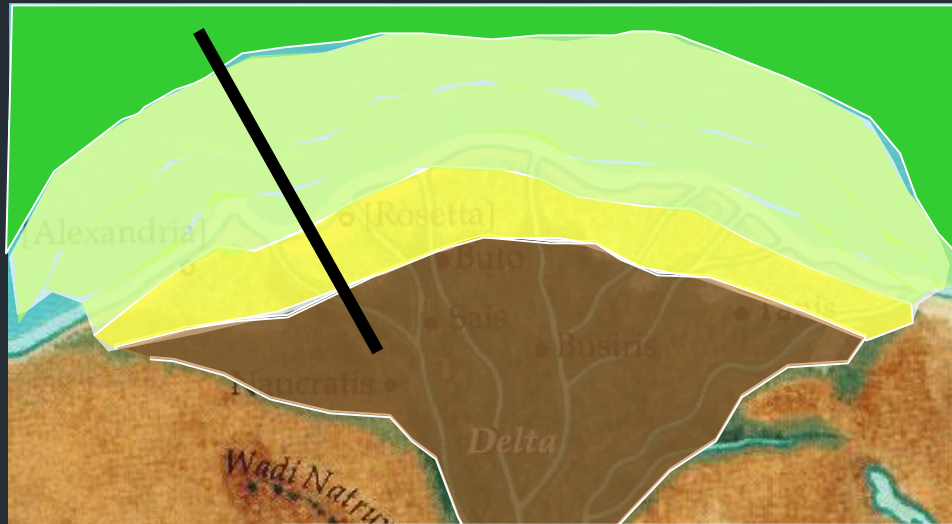
Transgressive channelled clastic barrier island shore



Depositional settings of transgressive channelled barrier island shore change lateral position, as sedimentary facies of adjacent settings succeed one another as vertical parasequences (concept from Middleton, 1973 after Johannes Walther).

Christopher G. St.C. Kendall, 2013

Delte

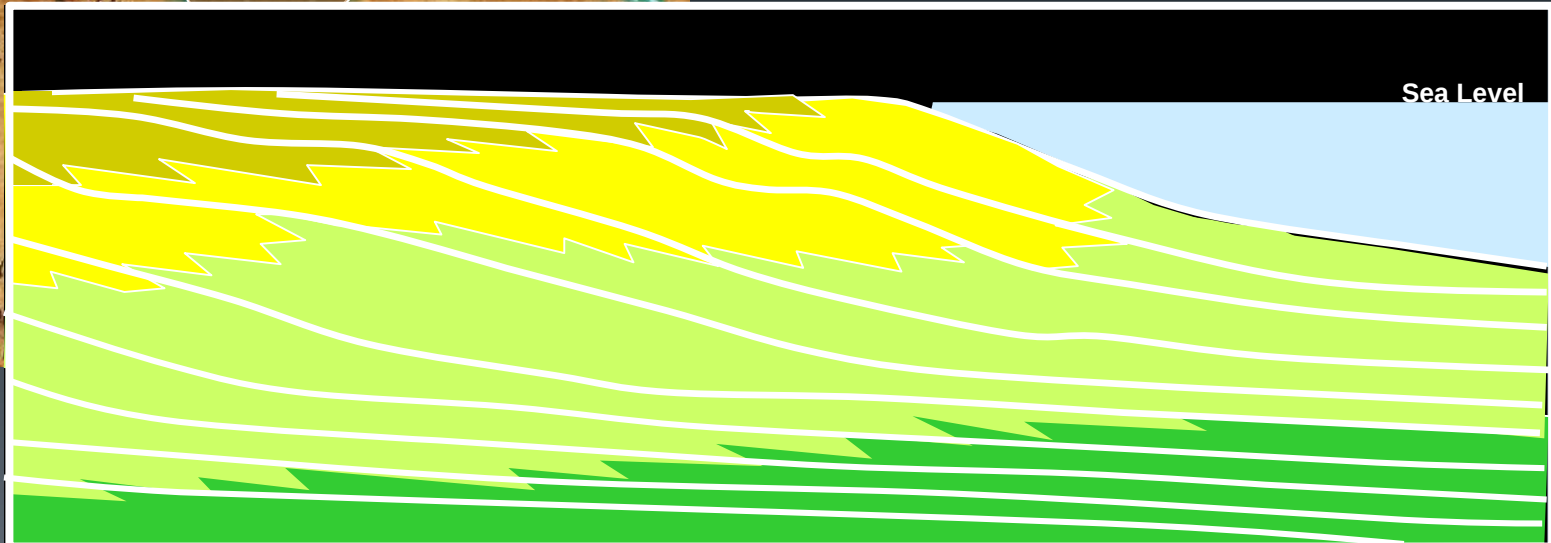


<http://pixshark.com/nile-delta.htm>

-  Deltna zaravan (*delta plain*)
-  Čelo delte (*delta front*)
-  Padina delte (*delta slope*)
-  Prodelta (*prodelta*)

LOWER
EGYPT

The Fa
Lake Mo
(Crocodile



Seizmički profil kroz deltu

12

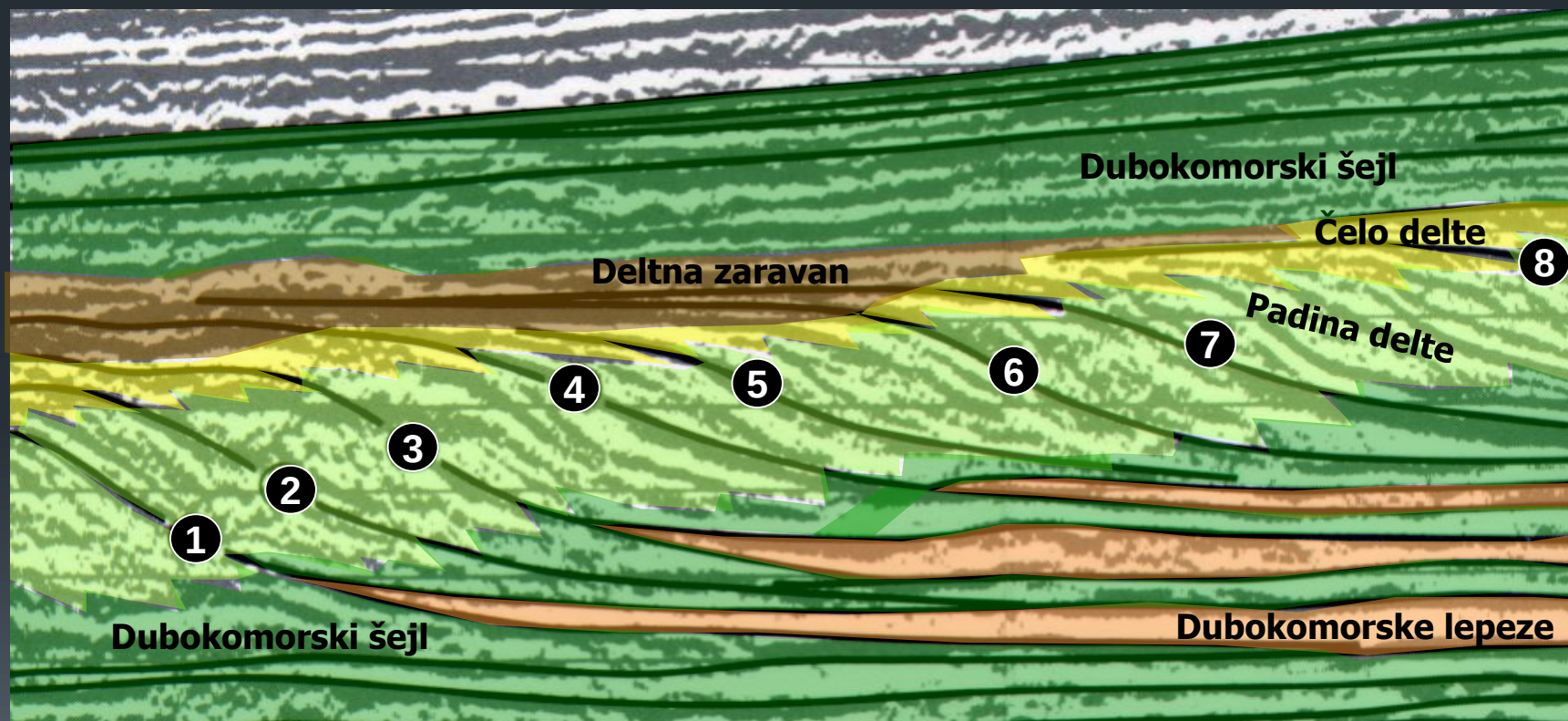
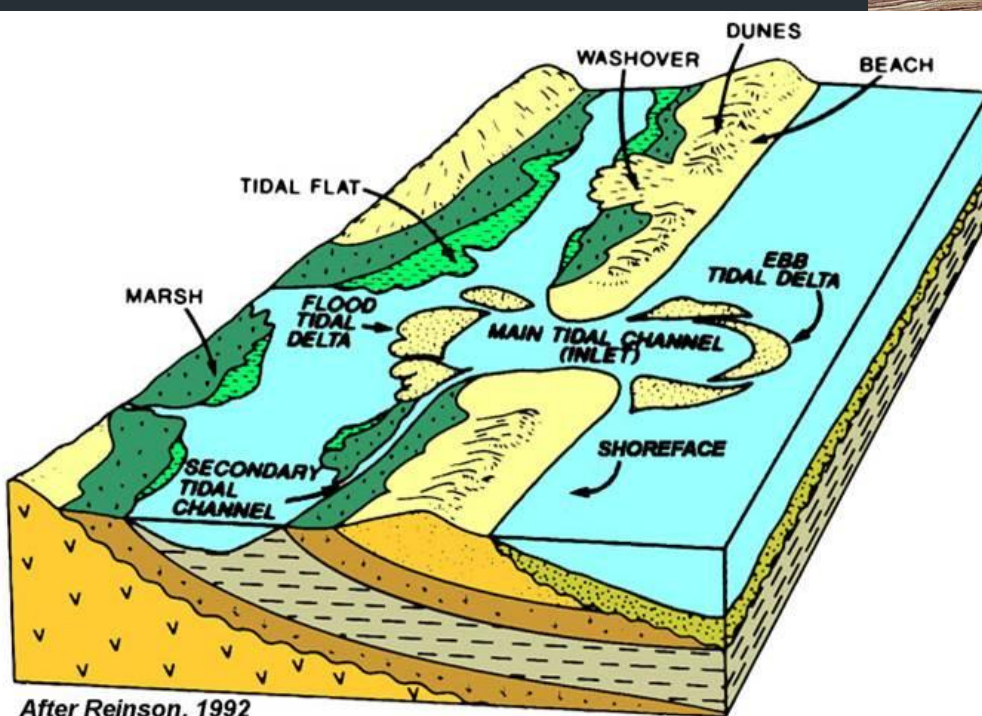


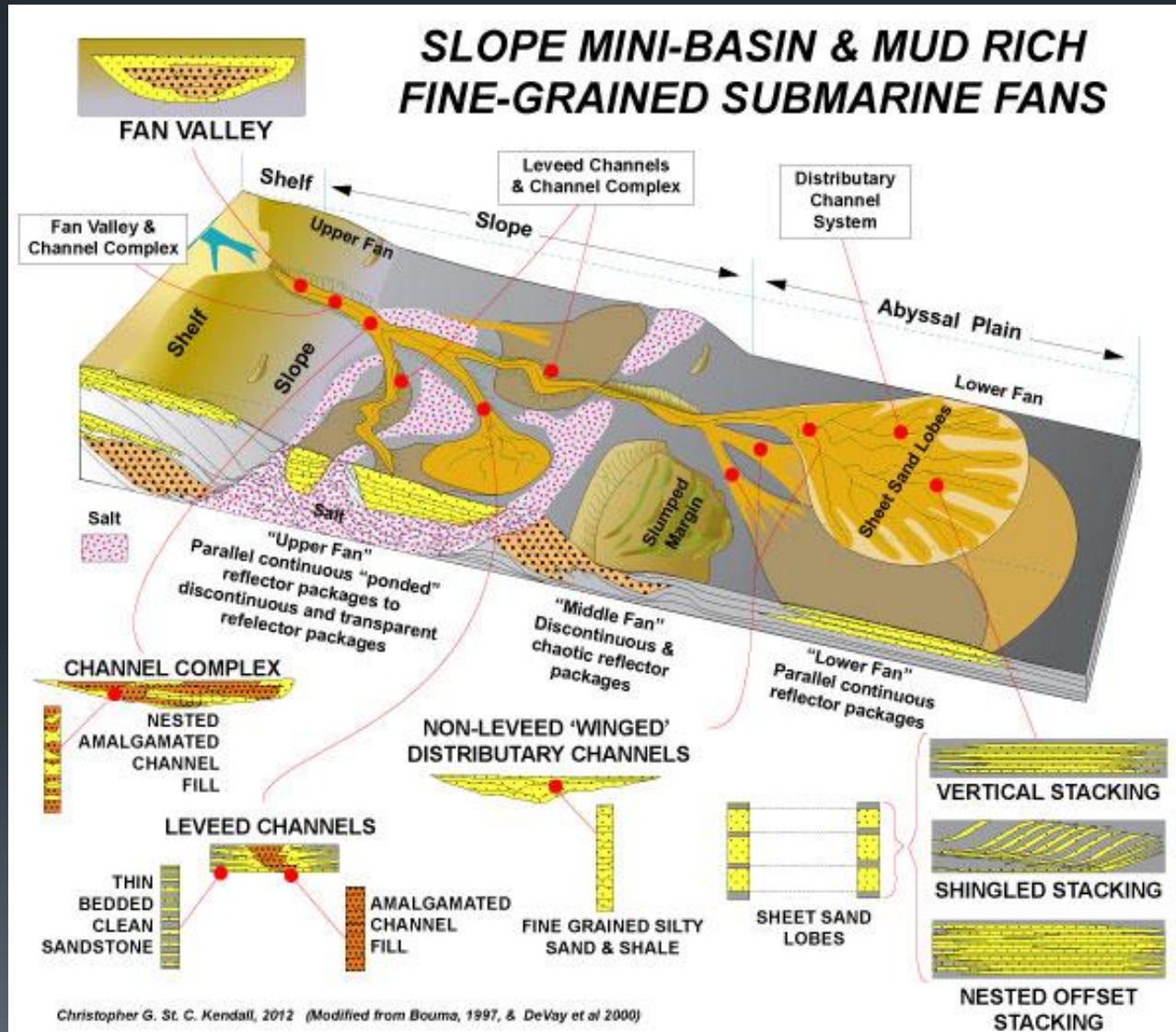
Image Courtesy of ExxonMobil

Plitkomorski plimski okoliši



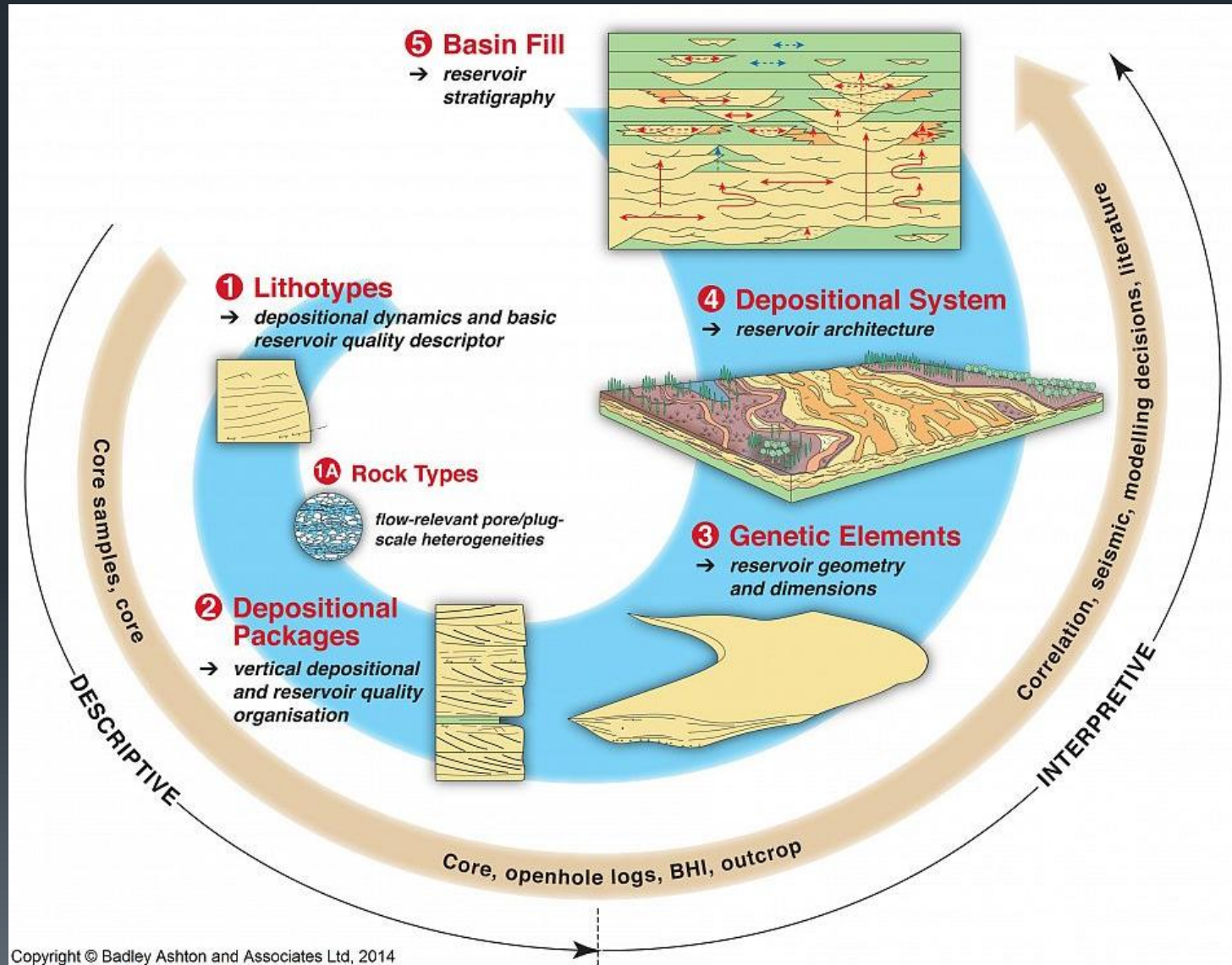
Dubokomorski okoliši

14



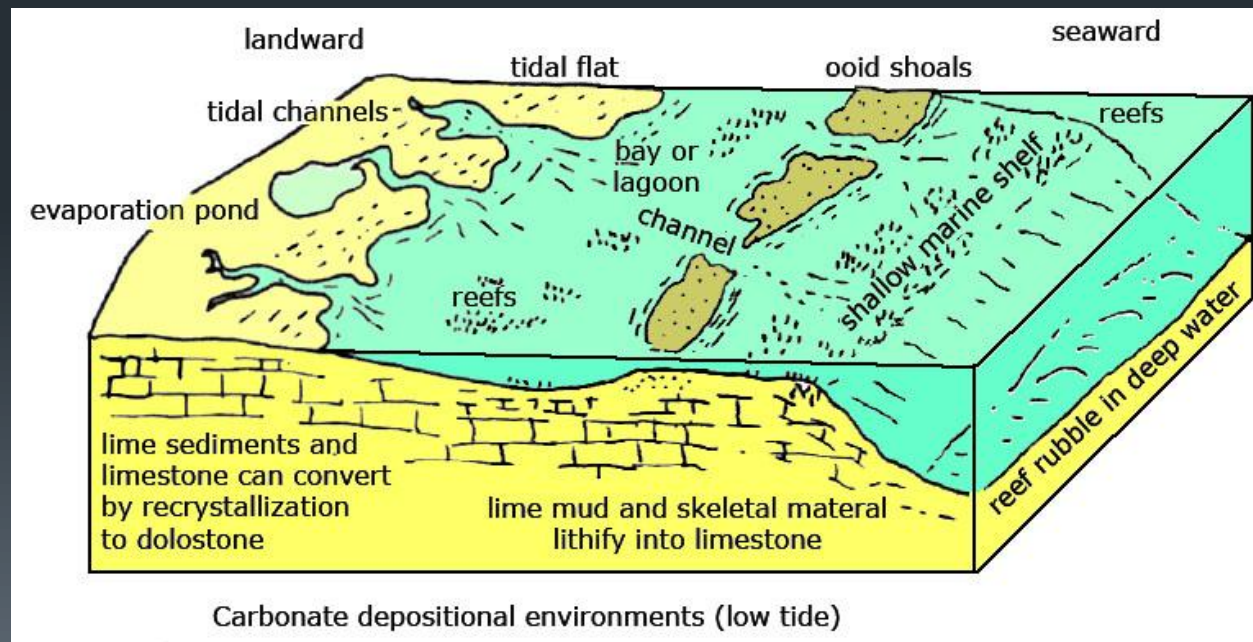
Hijerarhijski pristup karakterizaciji ležišta ugljikovodika u klastičnim stijenama

15



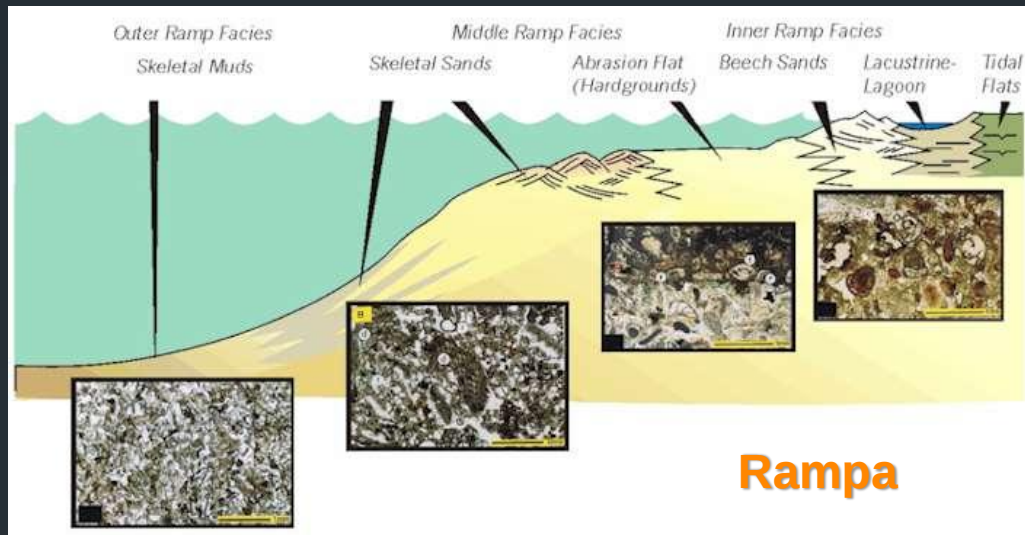
Karbonatne rezervoarne stijene¹⁶

- Vapnence odlikuje visoka sekundarna poroznost jer su lako topivi
- Pukotine i rasjedi pridonose stvaranju pornog prostora, kojeg fluidi pri prolasku kroz njih povećavaju.
- Karbonati su nastali *in situ* (nastali tamo gdje se istalože), a brzina taloženja ovisi o organizmima koji ih stvaraju.

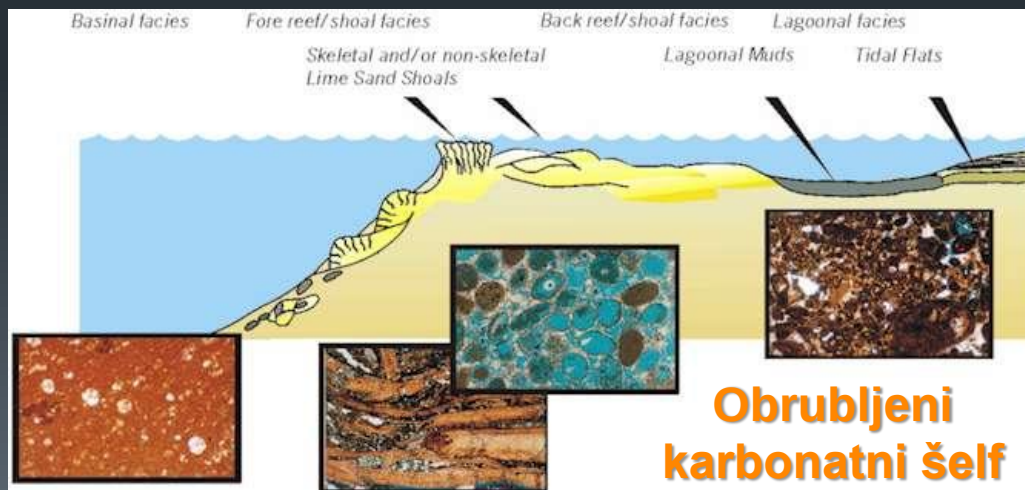


Tvornice karbonata

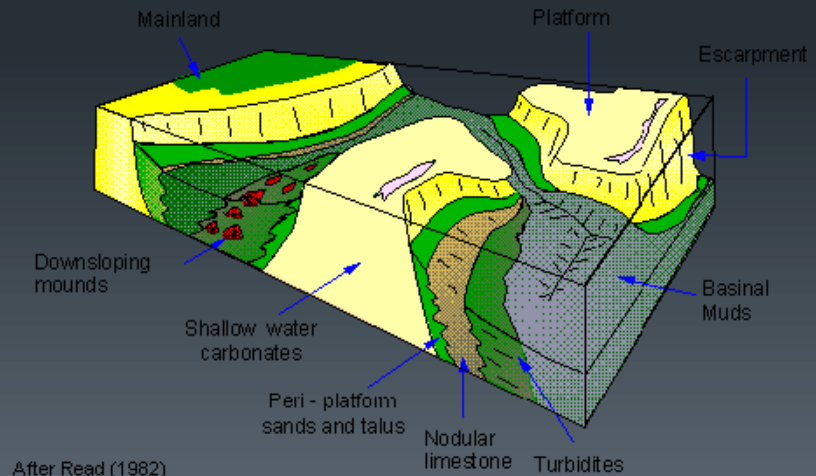
17



Karbonatna platforma

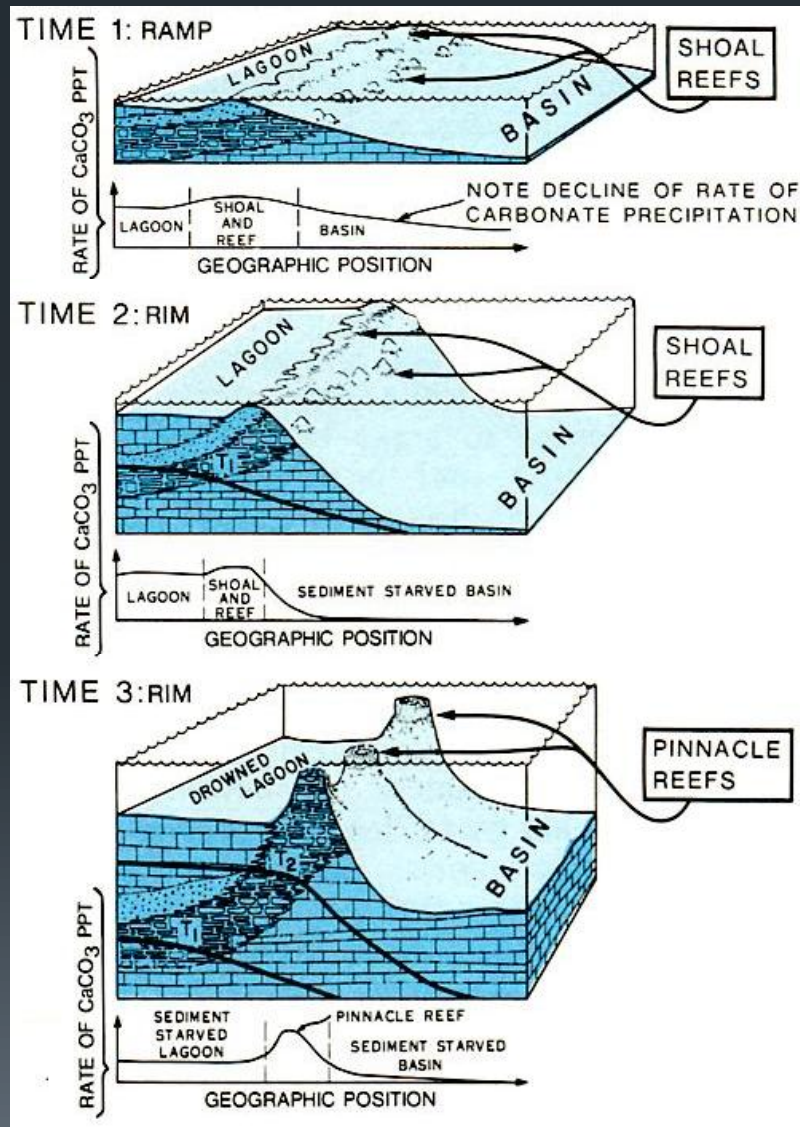


Izolirana platforma



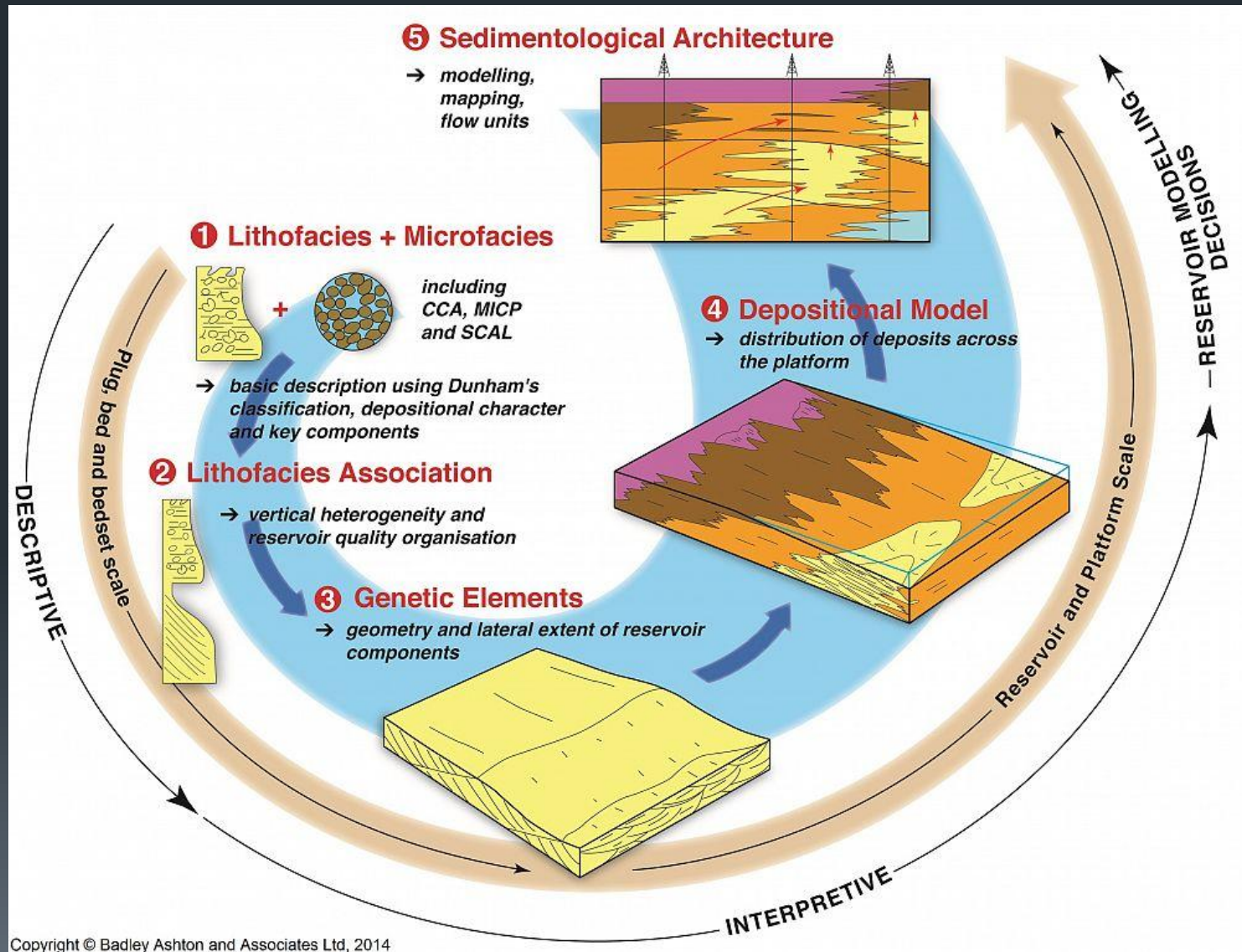
Subsidencija i vrijeme – rezultati?

18



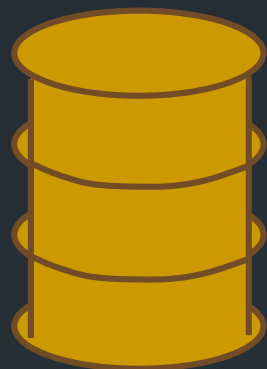
Hijerarhijski pristup karakterizaciji ležišta ugljikovodika u karbonatnim stijenama

19

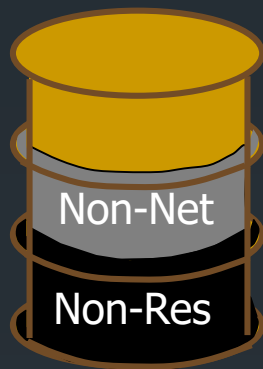


Koliki je volumen ugljikovodika u ležištu / zamci?

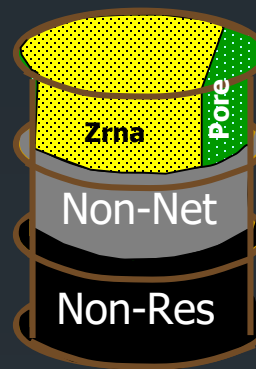
20



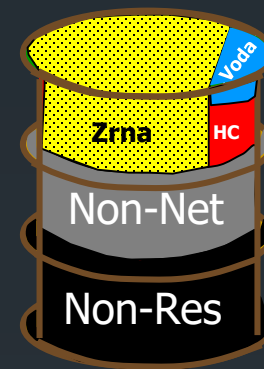
**Ukupni volumen
zamke**



**Volumen
rezervoarne
stijene**

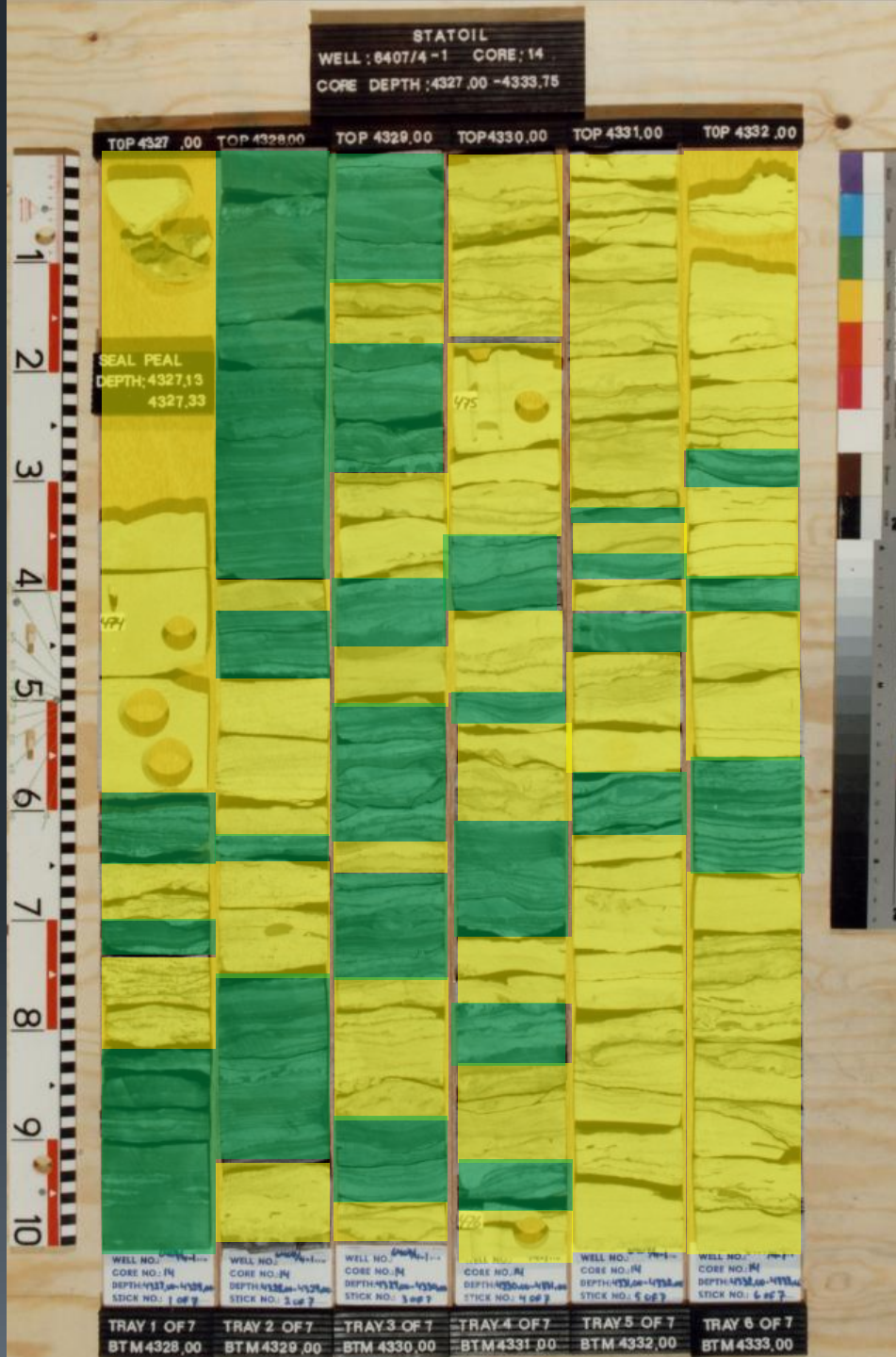


**Volumen
pora**



**Volumen
ugljikovodika**

Dio ugljikovodika uvijek ostaje „zarobljen” u ležištu → ne može se iscrpiti 100%!



Pješčenjak: ~3,8 m
Siltit i muljnjak: ~2,2 m

$N/G = 3,8/6 = 0,63$
(Net to Gross)

Temperatura rezervoarnih stijena

22

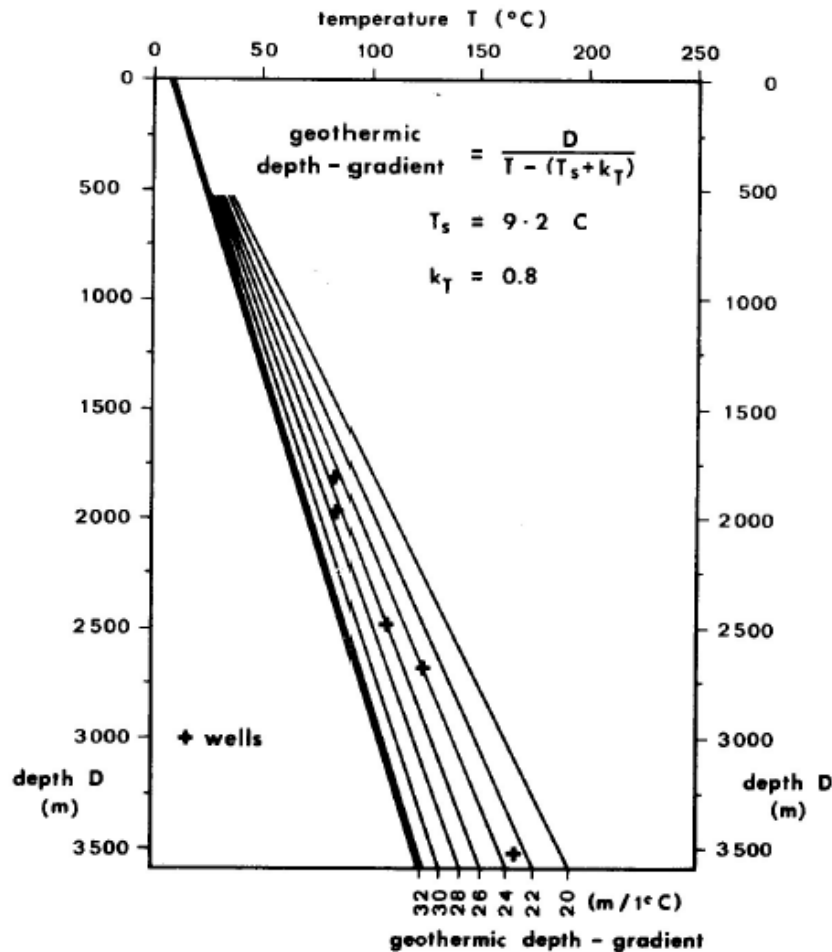


Fig. 79 Temperature in several wells of a German gas-field which is marked by a somewhat reduced geothermic depth gradient. (D = depth in m; T = temperature in $^{\circ}\text{C}$; T_s = average annual surface temperature in $^{\circ}\text{C}$; k_T = geographical constant)

Geotermanlni gradijent:

- u rasponu od $1,8^{\circ}\text{C}$ do $5,5^{\circ}\text{C}$ na svakih 100 m dubine
- prosjek: $\sim 2,6^{\circ}\text{C}/100\text{ m}$

Fluidi i tlakovi u rezervoarnim stijenama

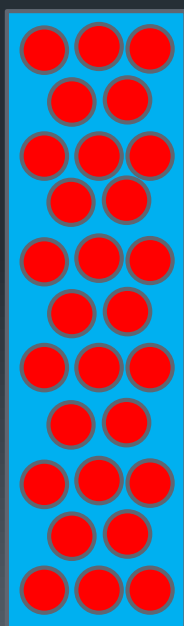
23

Nepokriveno; voda je u kontaktu s površinom

Površinski tlak

P

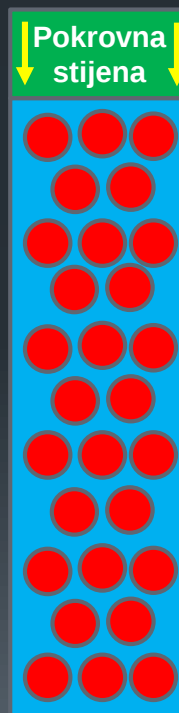
normalan (hidrostatski) tlak



Pokrovnost stijena

P

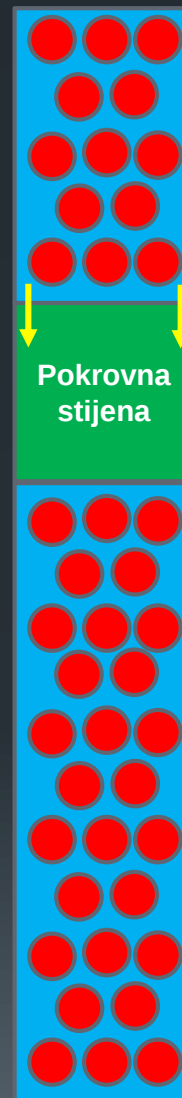
nadtlak



Pokrovnost stijena

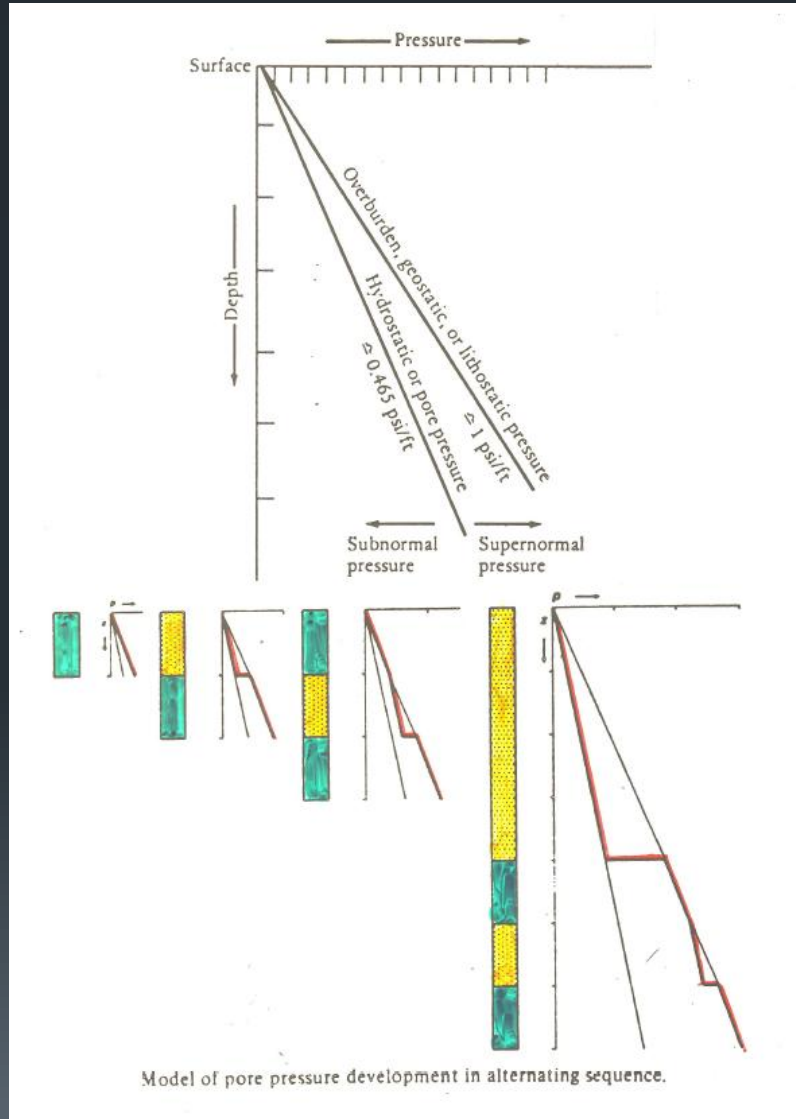
P

još veći nadtlak



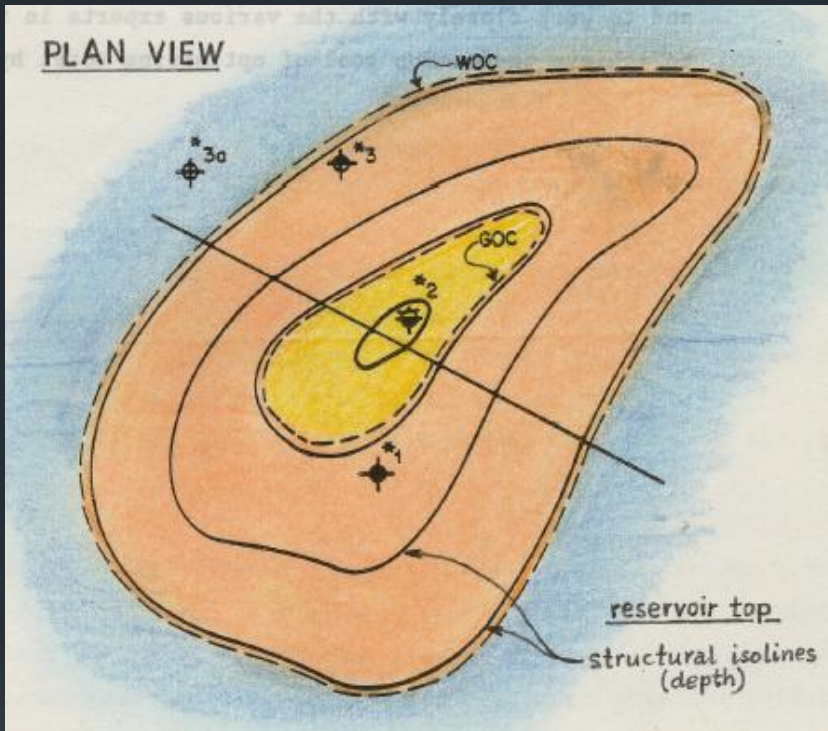
Fluidi i tlakovi u rezervoarnim stijenama

24

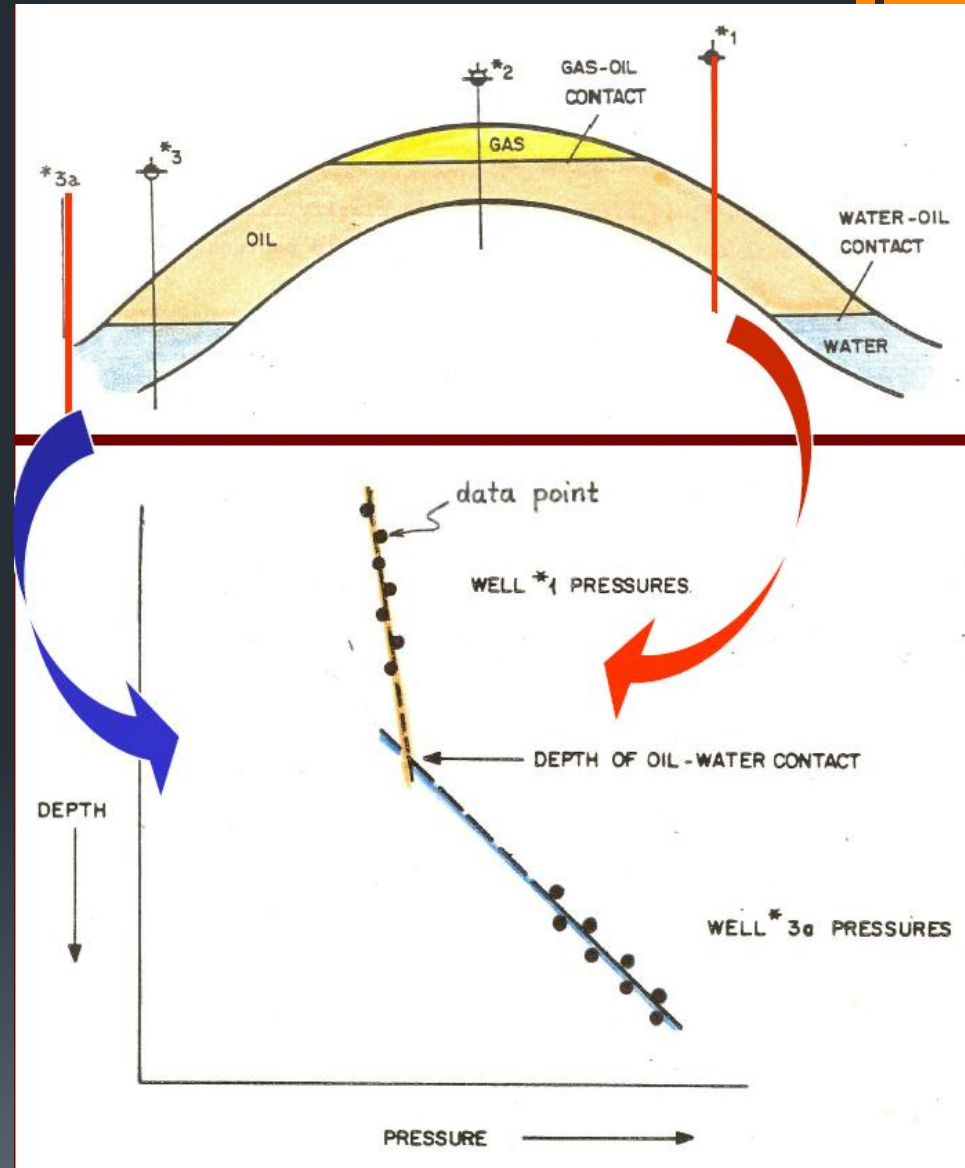


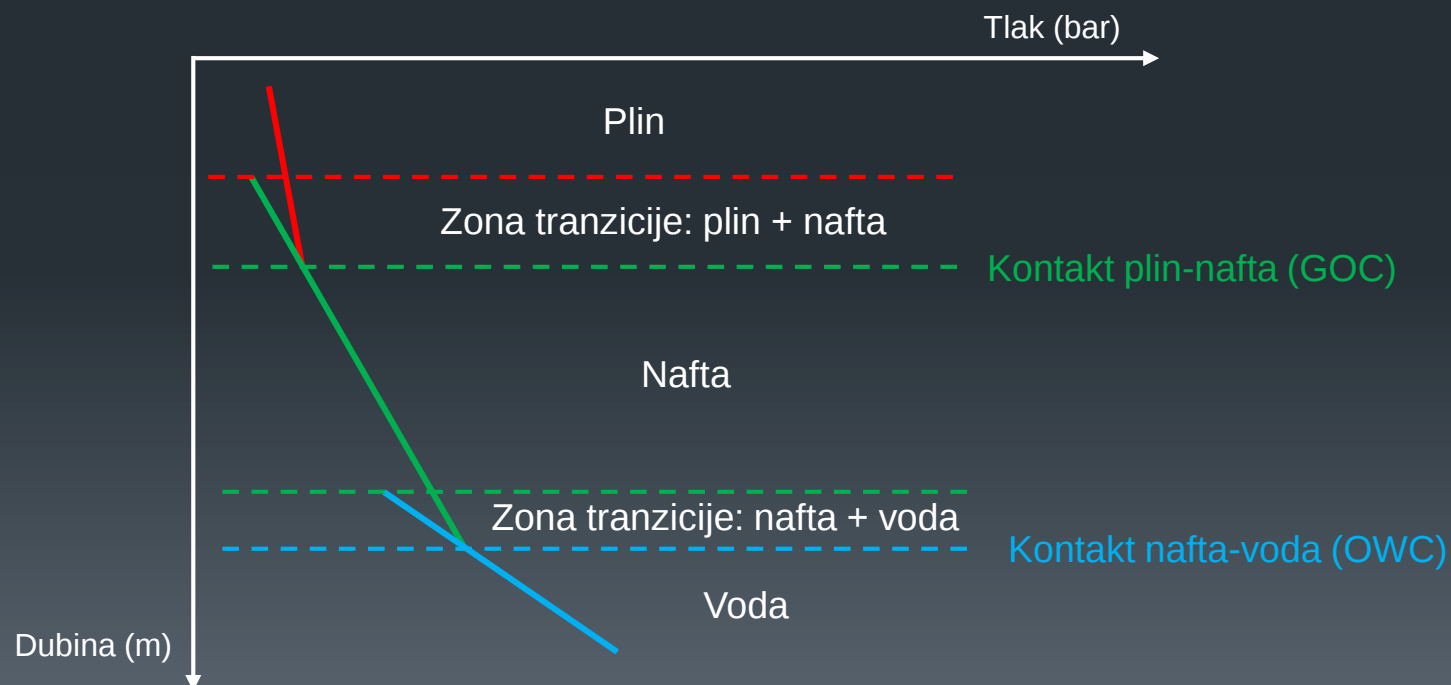
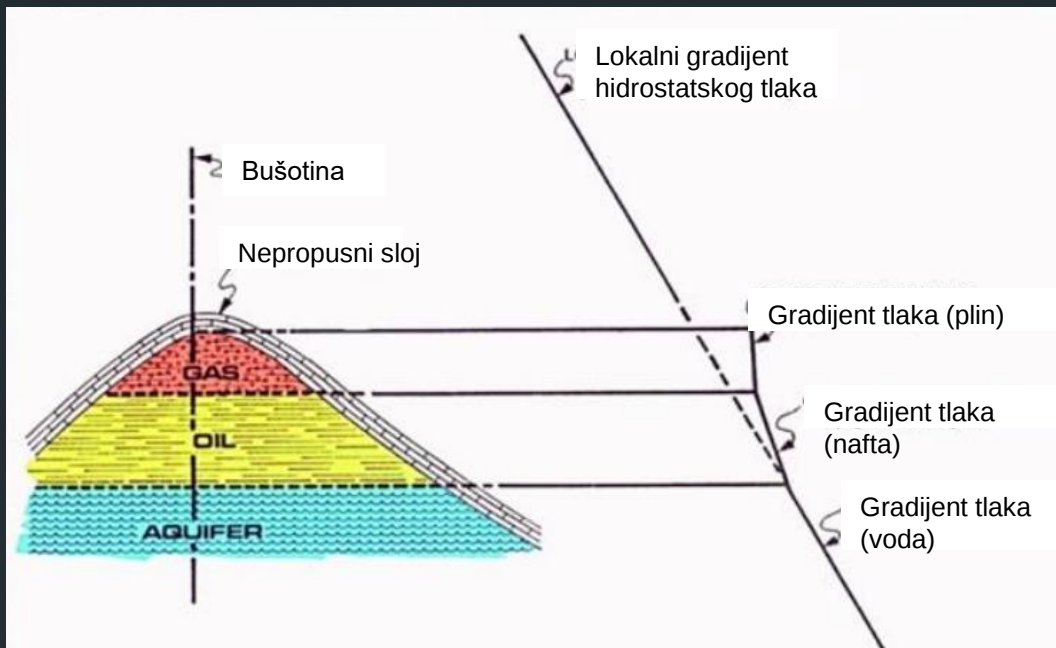
Fluidi i tlakovi u rezervoarnim stijenama

25



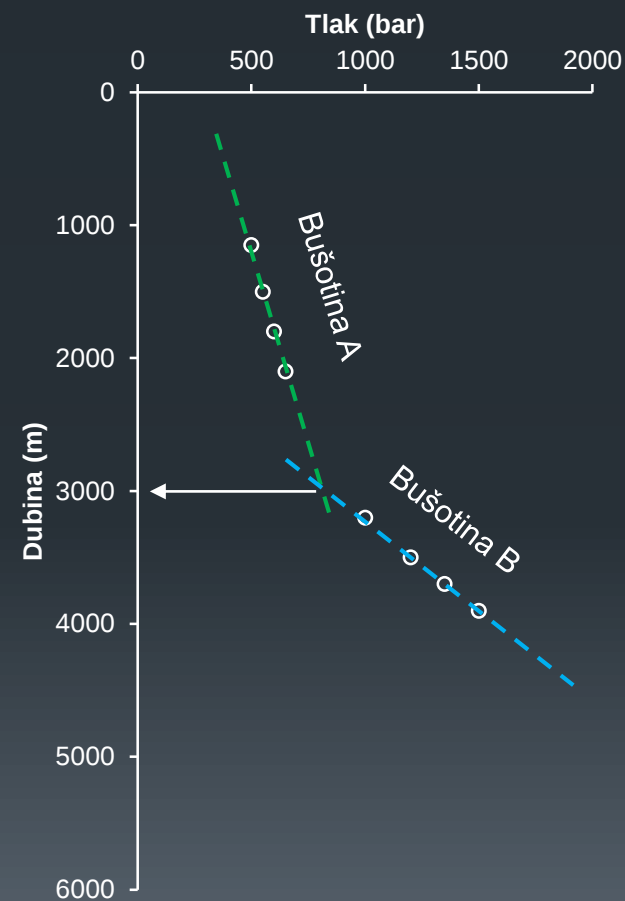
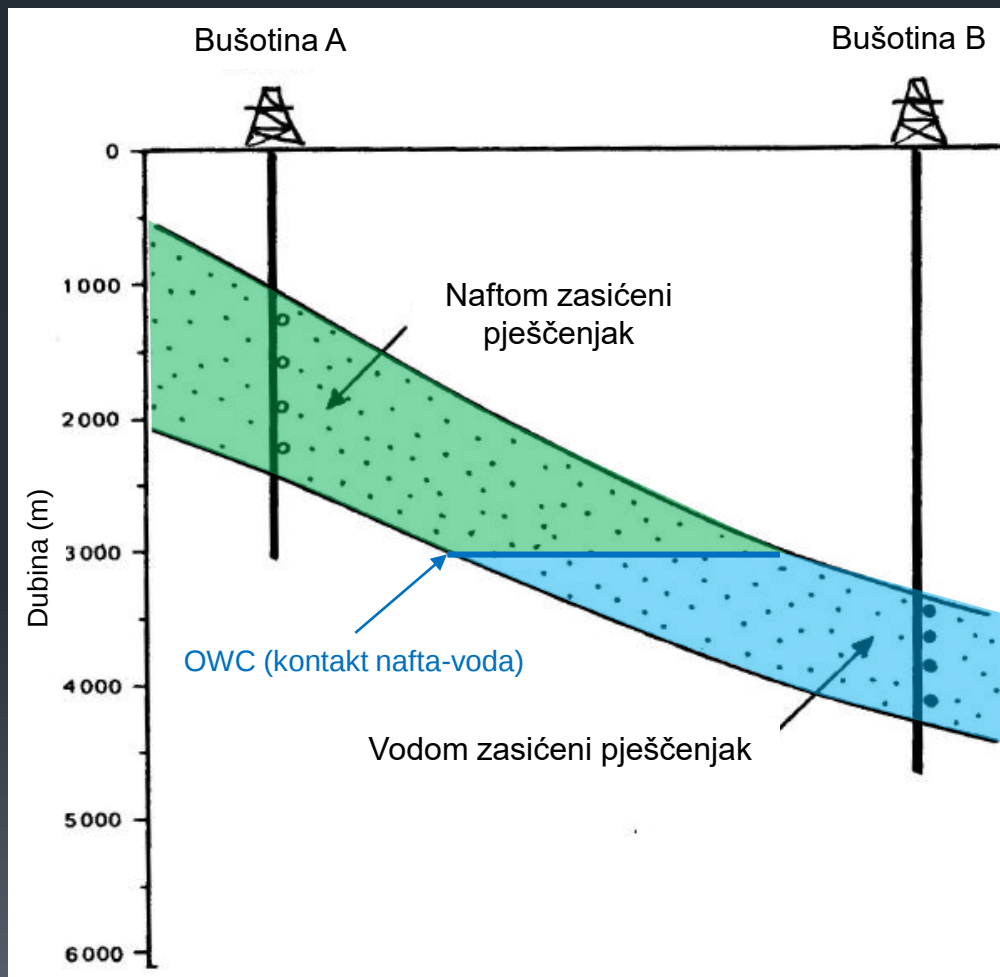
GOC (gas-oil contact) – kontakt plina i nafte
OWC (oil-water contact) – kontakt nafte i vode
GWC (gas-water contact) – kontakt plina i vode





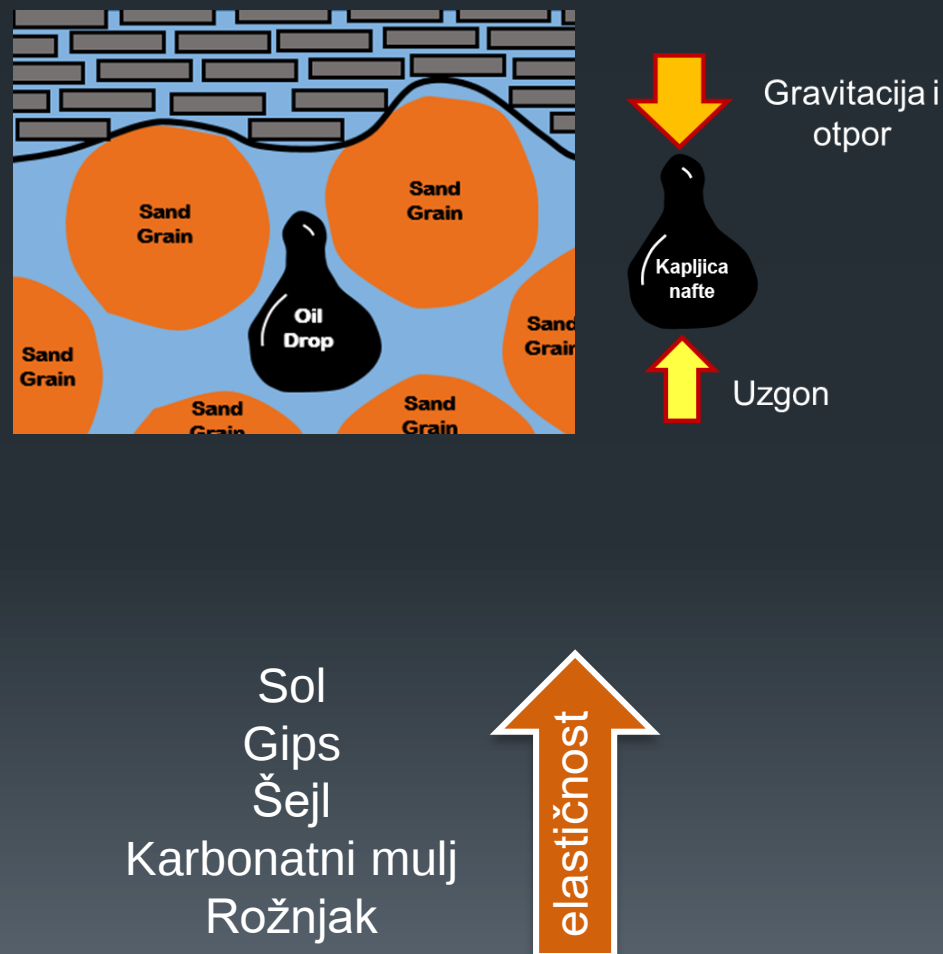


Na kojoj se dubini
nalazi kontakt
nafte i vode?



Pokrovne (izolatorske) stijene

- Engleski: *seals, cap rocks*
- „Poklopci” → onemogućuju daljnju migraciju fluida i njihov gubitak
- Značajke:
 - **nepropusnost**
 - određena je veličinama pora i pornog tlaka koji mora biti veći od pornog tlaka rezervoarne stijene
 - mala propusnost i visok kapilarni tlak
 - **elastičnost**
 - i nakon strukturnih deformacija stijena zadržava iste osobine
 - posljedica je litologije i rasporeda minerala/zrnaca
 - **kontinuitet pružanja**

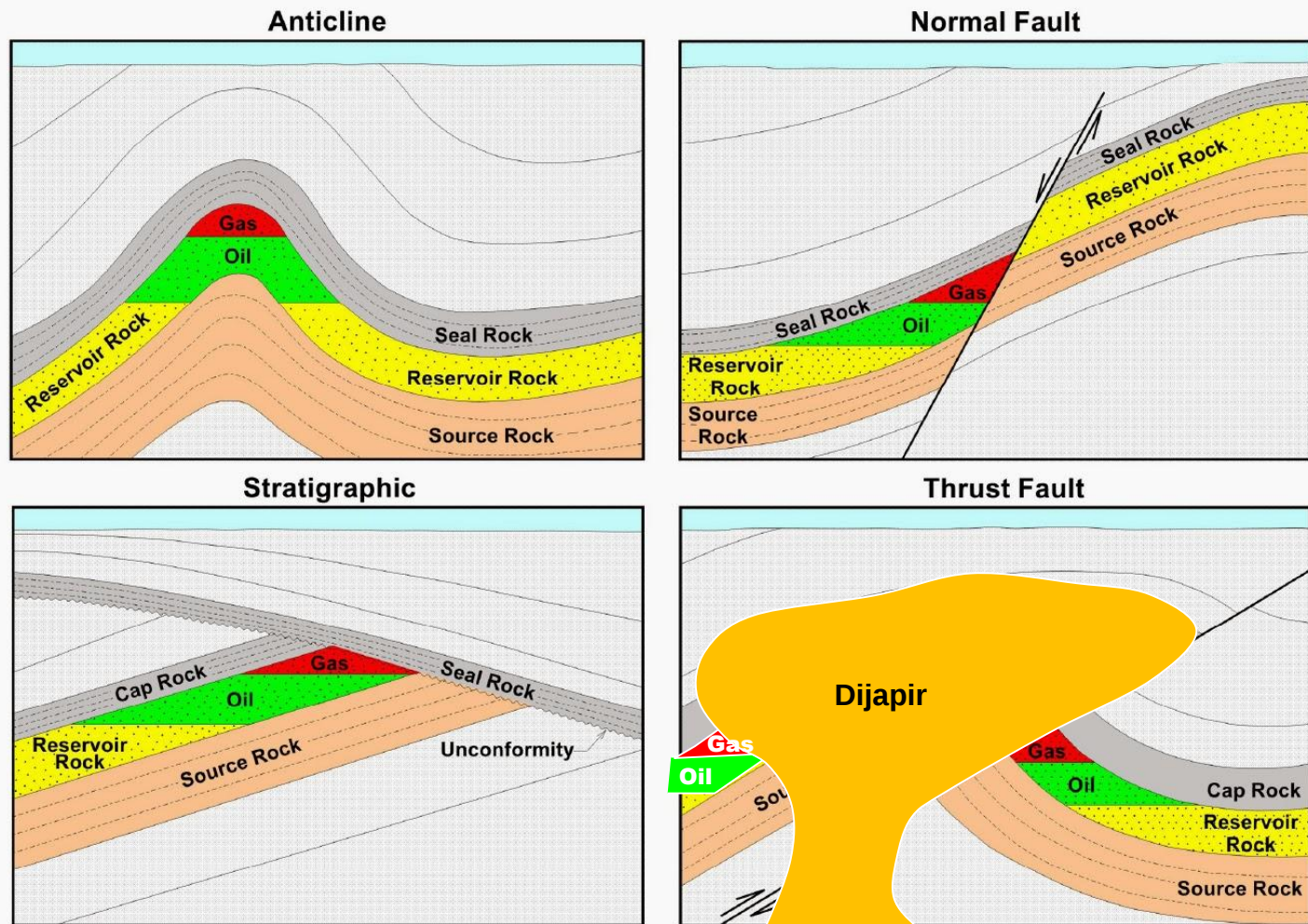


Pokrovne (izolatorske) stijene

30

- Kakav je odnos pritiska na pokrovnu stijenu i količine ugljikovodika u ležištu?
 - Više ugljikovodika → veći pritisak
- Što se događa kad pritisak u ležištu nadmaši izdržljivost pokrovne stijene?
 - Pokrovna stijena puca → curenje/migracija ugljikovodika van ležišta dok se pritisci ne izjednače.
- Što ima veći uzgon, nafta ili plin?
 - Plin ima veći uzgon od nafte jer je manje gustoće.
- Može li pokrovna stijena biti selektivno (ne)propusna?
 - Da, moguće je da je pokrovna stijena propusna za plin, a nepropusna za naftu.

Zamke

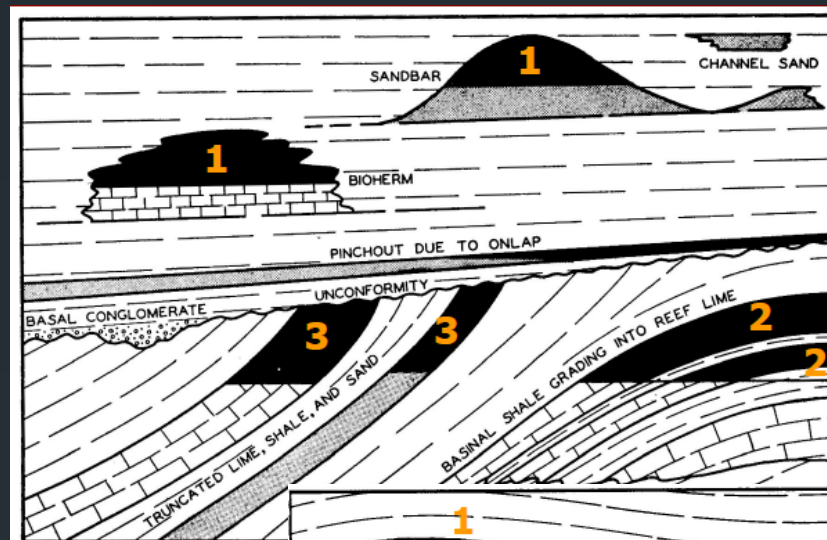


Simplified cartoons showing some common types of hydrocarbon traps recognized in producing oil and gas fields around the world.

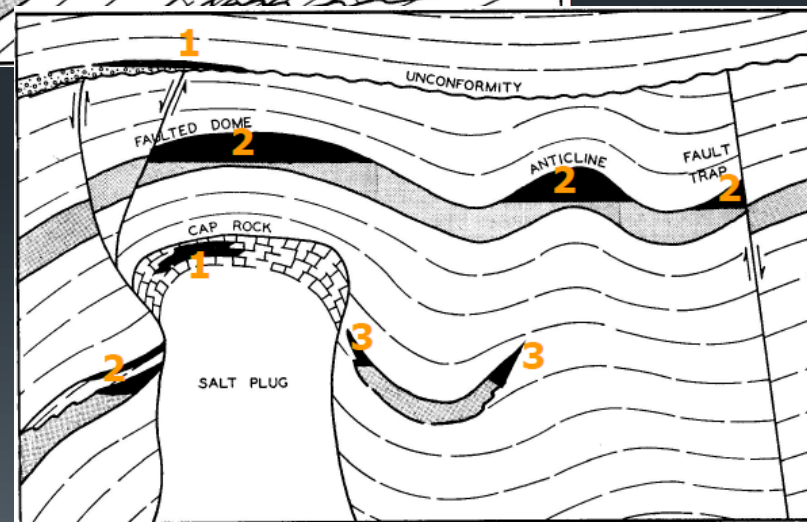
Zamke

32

- Zamke su konfiguracije struktura i/ili slojeva u kojoj su rezervoarne stijene u smjeru uzgona okružene nepropusnim pokrovnim (izolatorskim) stijenama.
- **Bez zamki nema ležišta**
- Vrstke zamki:
 1. **Stratigrafske**
 2. **Tektonske** (strukturne)
 3. **Kombinirane** (strukturno-stratigrafske)
 4. **Hidrodinamičke** (najrjeđe; vezane za kretanje fluida u pukotinama)



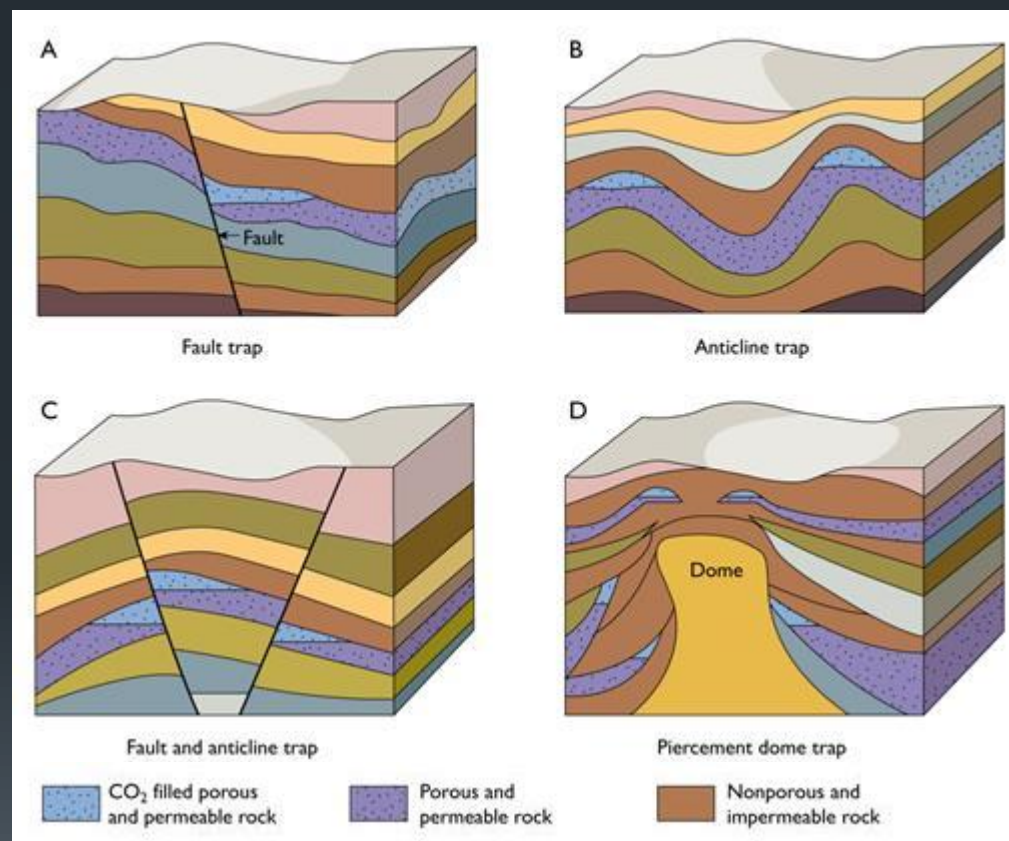
North (1985)



Tektonske (strukturne) zamke

33

- Rezultat su djelovanja endogenih procesa
- Tektonske deformacije stijena mogu biti izazvane:
 - boranjem
 - rasjedanjem (normalnim ili reverznim)
 - tektonskim fragmentiranjem stijena
 - intruzijom evaporita ili eruptiva
 - kombinacijom navedenih načina

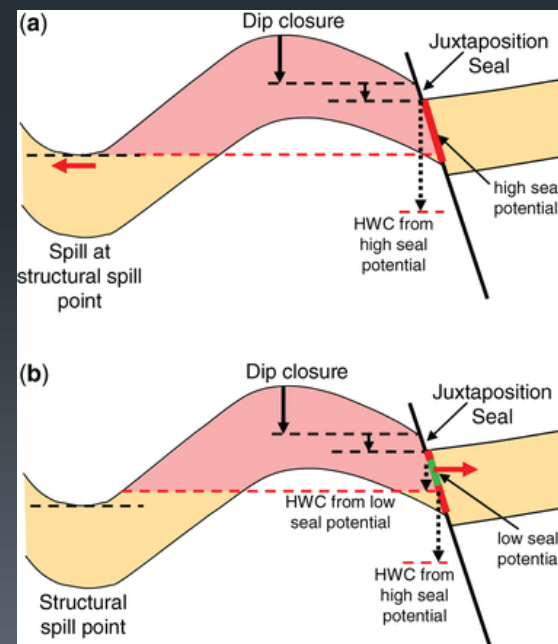
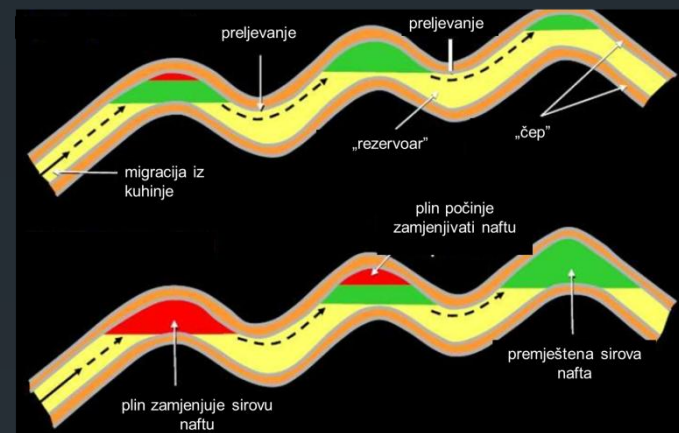


<https://data.geus.dk/nordiccs/resources/images/image006.jpg>

Tektonske (strukturne) zamke

34

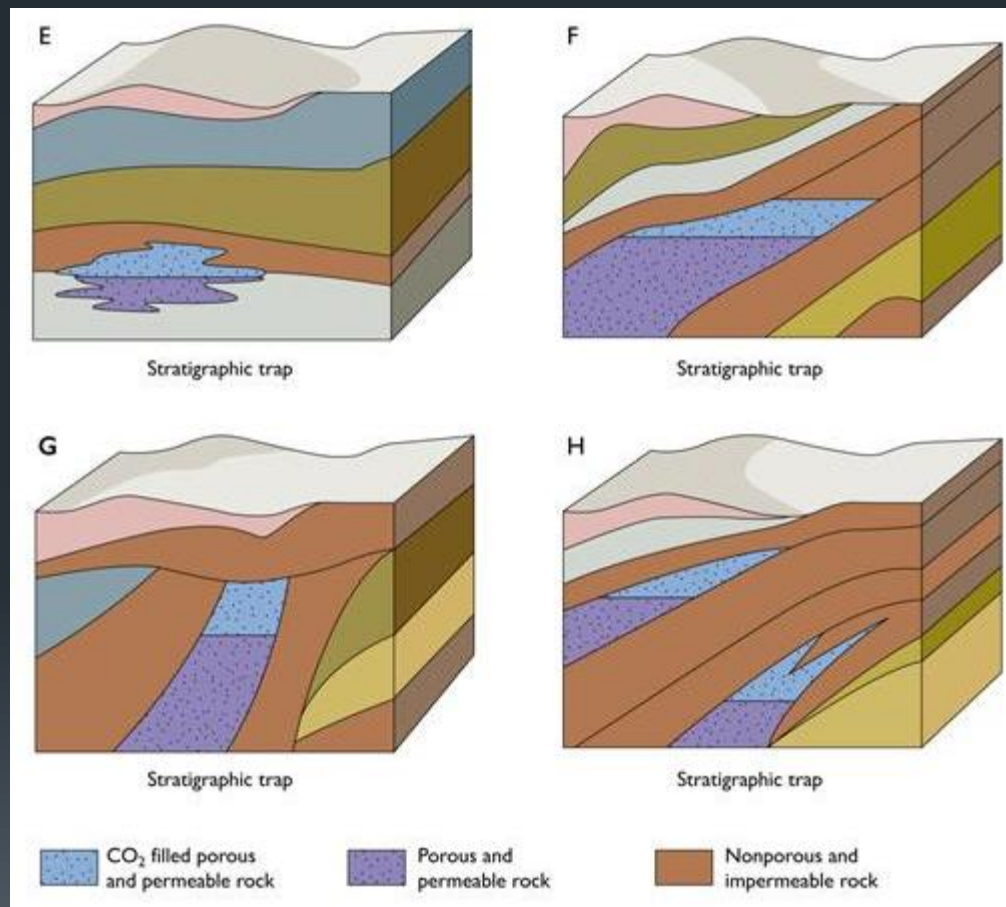
- Klasifikacija:
 1. Tektonske – ekstenzijske i kompresijske (kontrakcijske)
 2. Kompakcijske – antiklinale
 3. Dijapirske – solne dome, kretanje mulja (gline)
 4. Gravitacijske
- Izražena stratifikacija (voda-nafta-plin)
- Ispunjenost ležišta ovisi o porozitetu i položaju točke prelijevanja (*spill point*) → najniže točke u antiklinali do koje se mogu nalaziti ugljikovodici; najniža točka zaštitne stijene.
- Rasjedanje
 - onemogućena migracija zbog „pregrupiranja” kontakata naslaga u krilima
 - rasjedi su često prepreka migraciji zbog slabo propusne rasjedne zone
 - normalni, reversni rasjedi i ljuskave strukture



Litostratigrafske zamke

35

- Posljedica su stratigrafskih i sedimentološko-litoloških procesa → mijenjaju se facijesi ili nastupa prekid taloženja
- Geometrija ovisi o sedimentacijskom prostoru, diskontinuitetu taloženja, ali i diagenezi



Litostratigrafske zamke

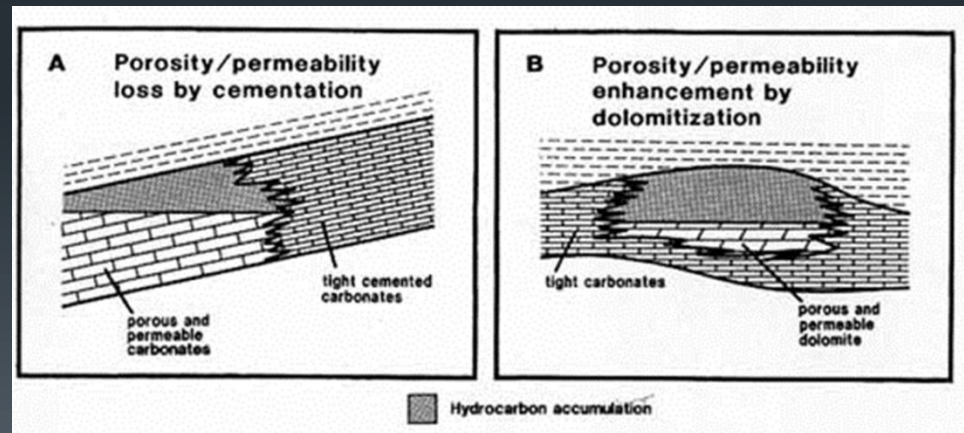
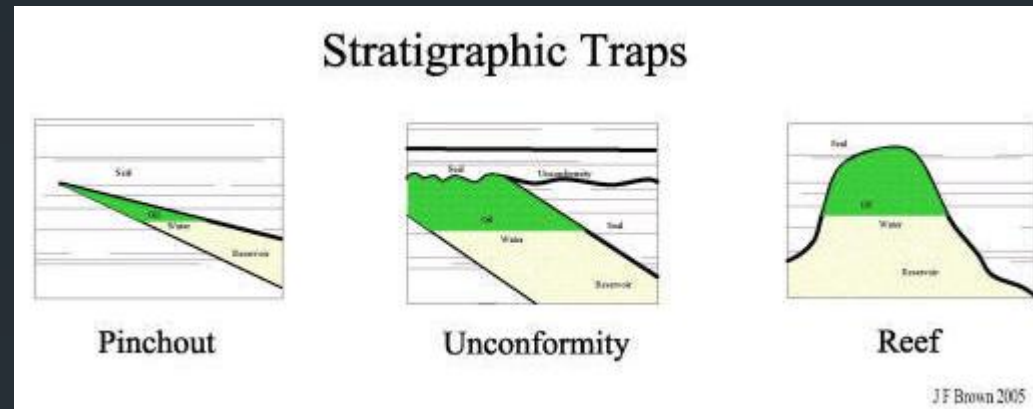
36

- Klasifikacija:

1. Taložne – grebeni, isklinjavanje, kanali i sprudovi („bars“)
2. Diskordancijske
3. Dijagenetske

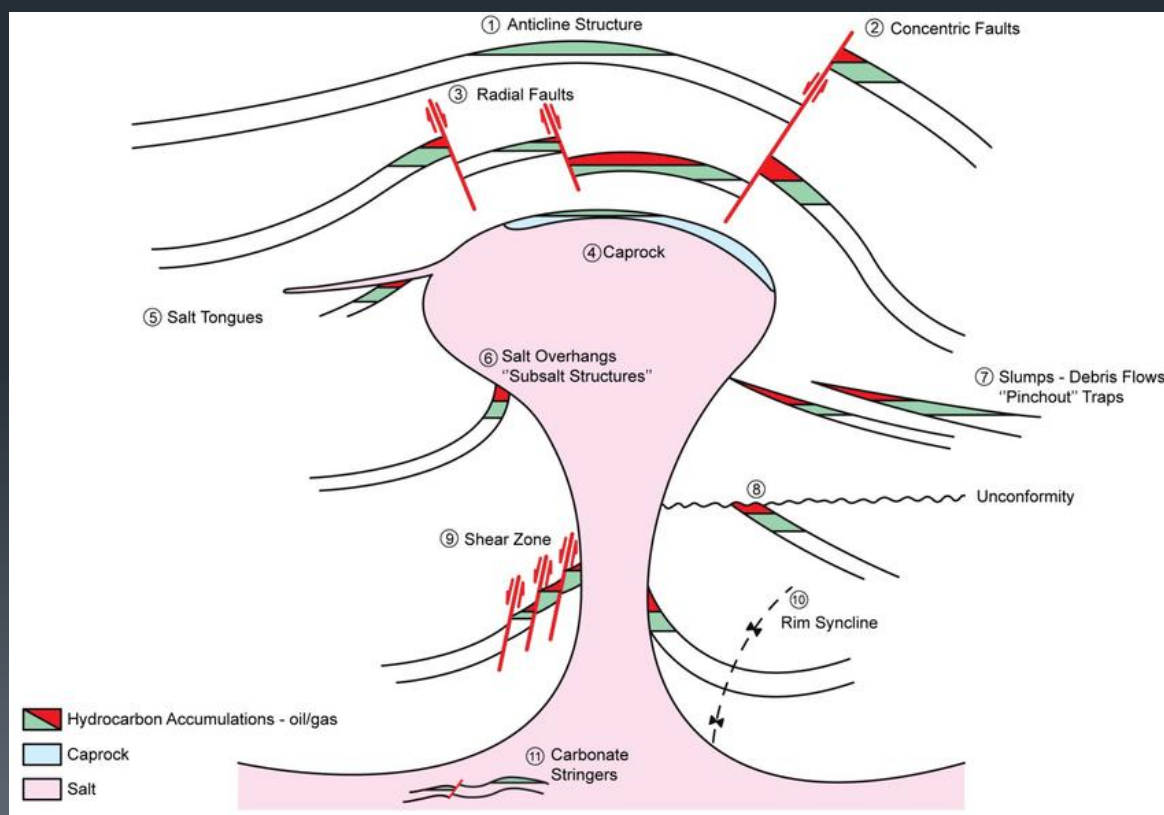
1. PRIMARNE – promjene facijesa
2. SEKUNDARNE – posljedica promjena tijekom dijageneze, katageneze i diskordancija (transgresivno-regresivnih faza u taložnom bazenu)

- Transgresivni sedimenti su prepreka kretanju fluida, dok regresivni sedimenti su krupnozrnastiji i pospješuju migraciju



Dijapirske zamke

- Zamke strukturalnog, litološkog ili kombiniranog tipa
- Proces utiskivanja soli ili gline (manje gustoće!) u mlađe krovinske stijene veće gustoće

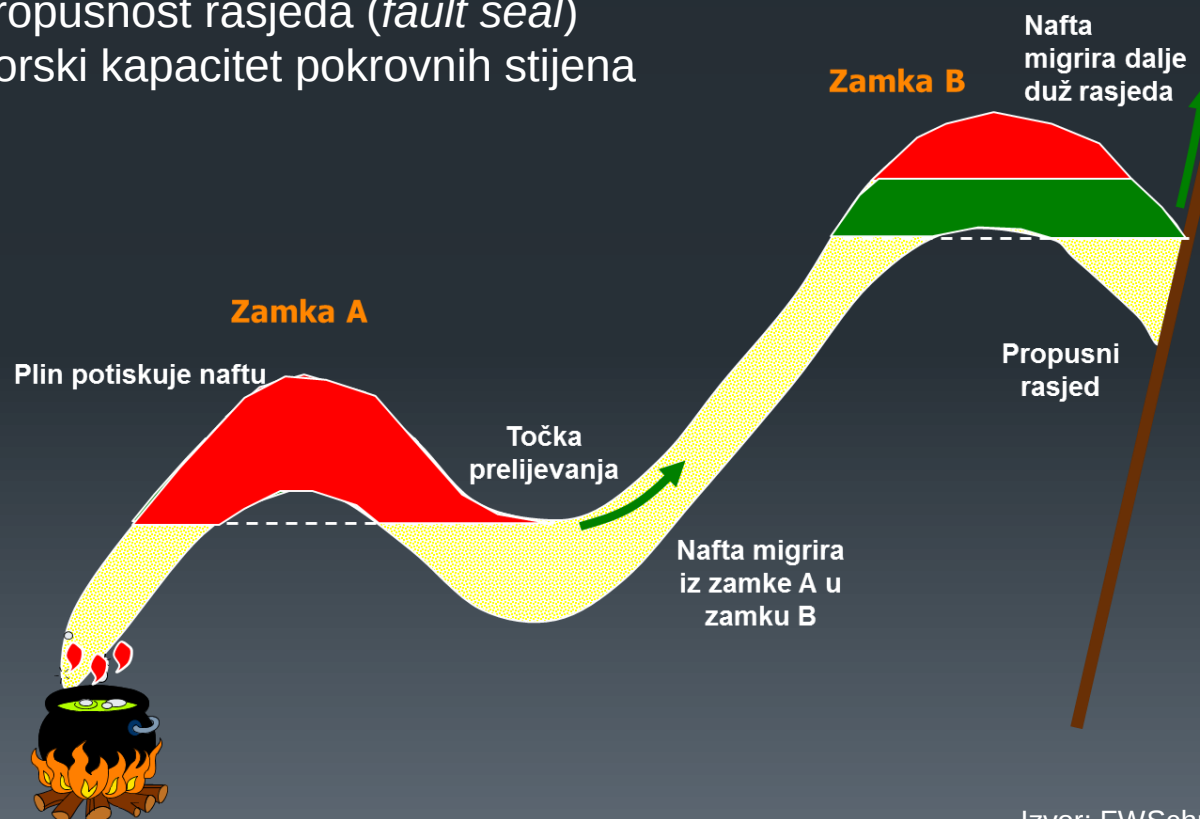


Koliko ugljikovodika može biti uhvaćeno u zamku?

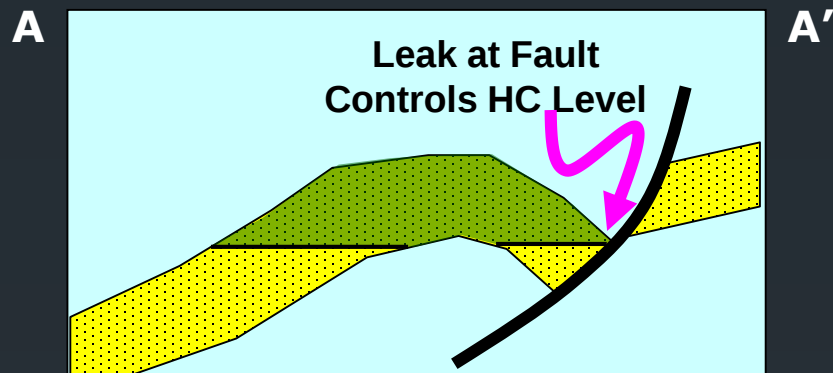
38

Tri su ključna faktora koji kontroliraju količinu „uhvaćenih” ugljikovodika u zamci:

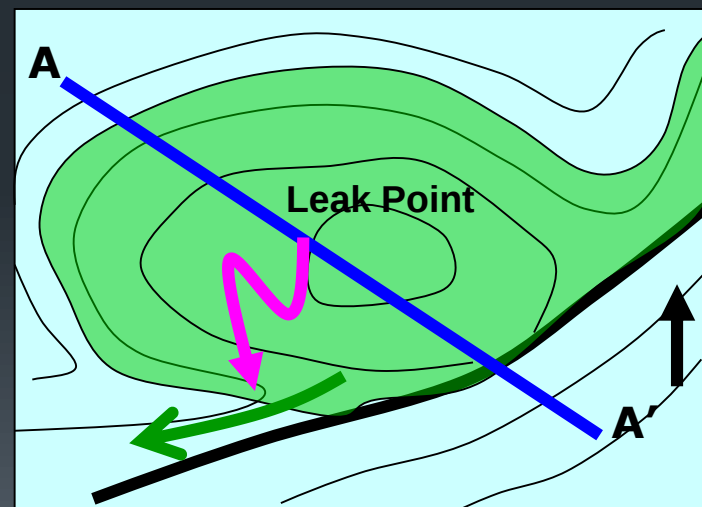
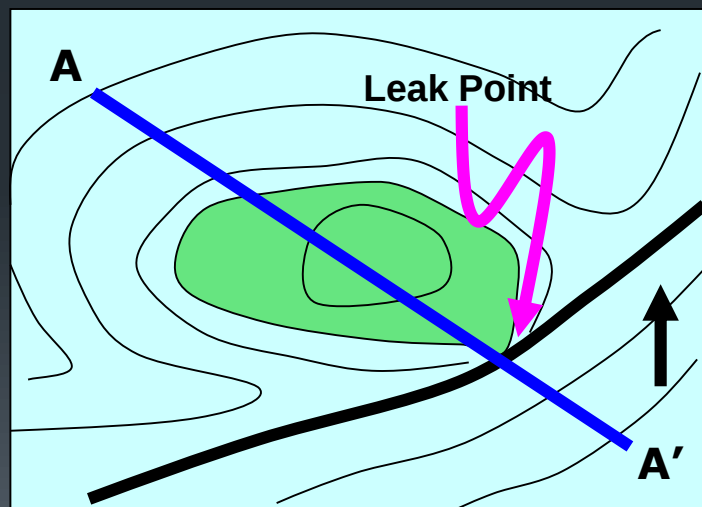
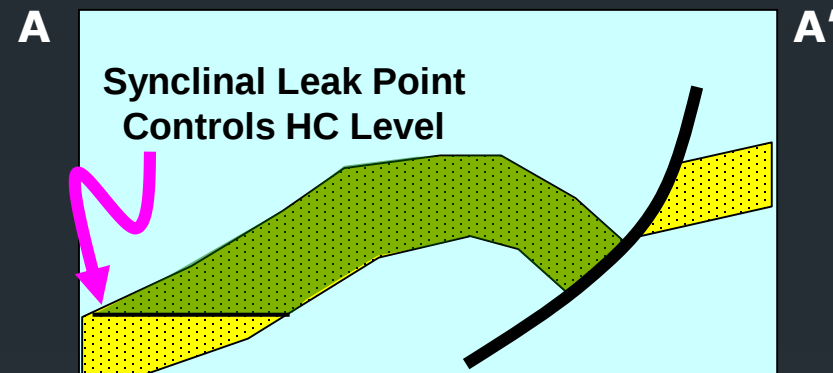
- točka prelijevanja (*spill point*)
 - najniža točka u zamci koja može zadržavati ugljikovodike
- (ne)propusnost rasjeda (*fault seal*)
- izolatorski kapacitet pokrovnih stijena



Primjer: curenje duž propusnog rasjeda

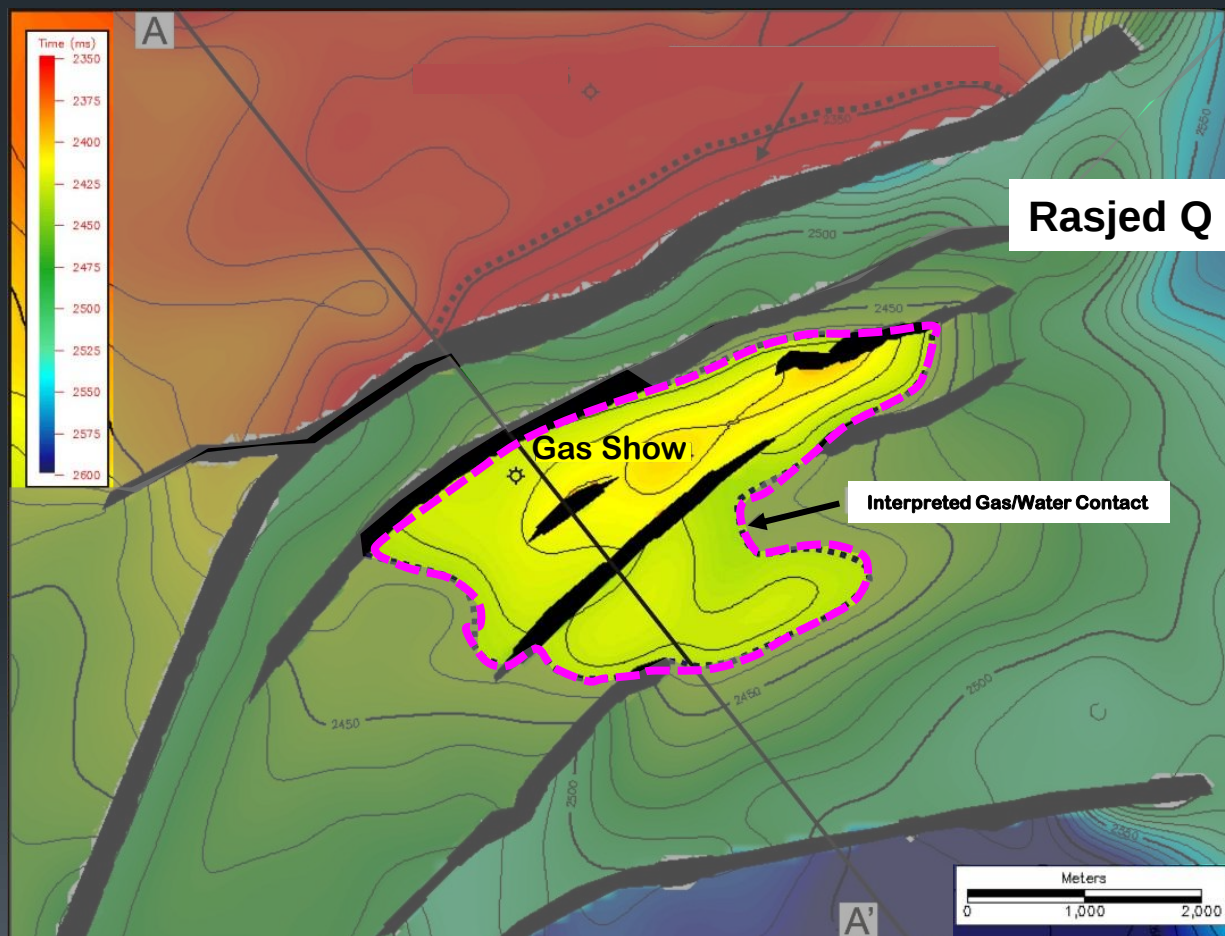


Primjer: nepropusni rasjed zadržava HC u zamci



Je li rasjed Q
propustan ili
nepropustan?

40

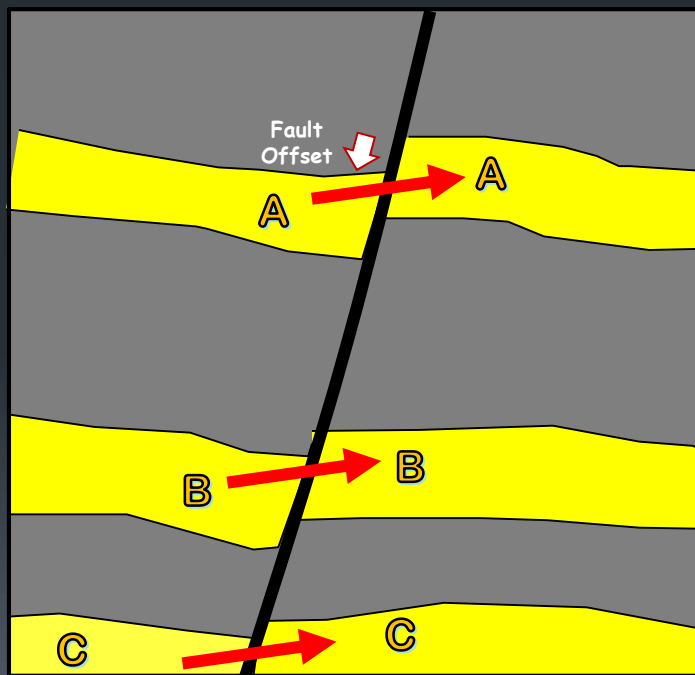


http://www.callforbids.cnsopb.ns.ca/2012/01/sites/default/files/images/inline/figure_44.jpg

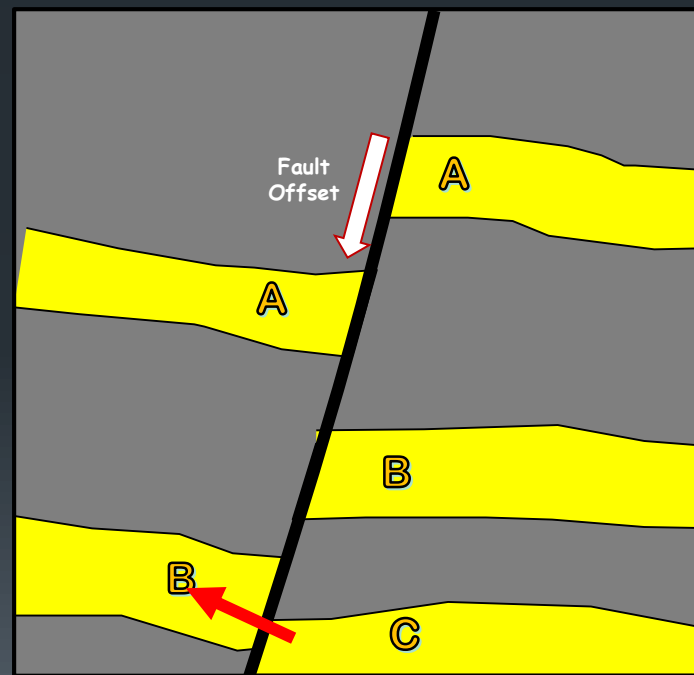
(Ne)propusnost rasjeda (*fault seal*)⁴¹

Ugljikovodici mogu migrirati kroz rasjed ako su rezervoarne stijene u međusobnom kontaktu i ako je rasjedna zona propusna.

Manji pomak duž rasjeda

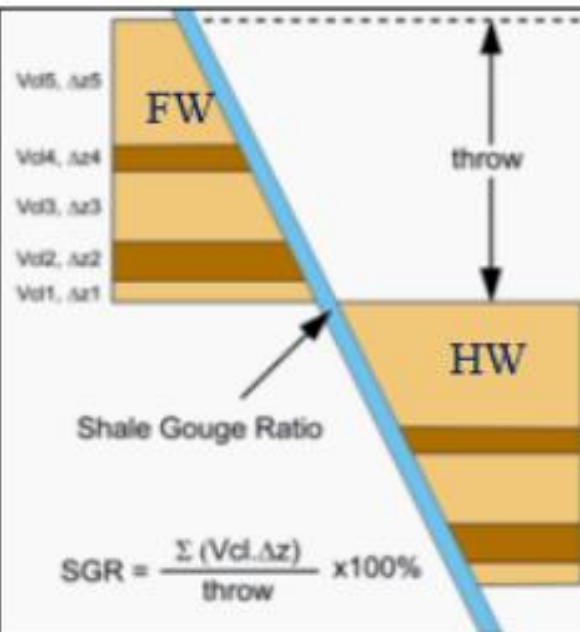


Veći pomak duž rasjeda



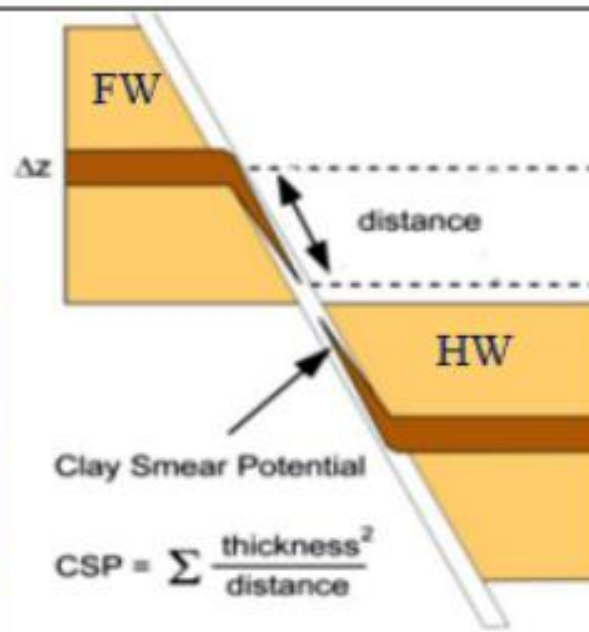
(Ne)propusnost rasjeda (*fault seal*)⁴²

**Shale Gouge Ratio
(SGR)**



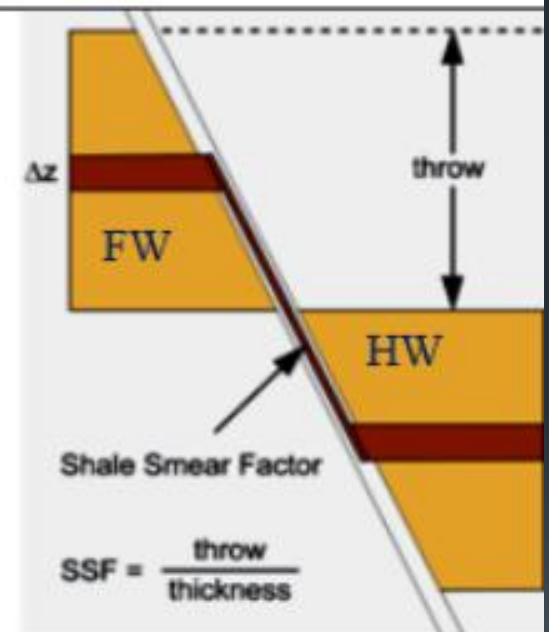
a)

**Clay Smear Potential
(CSP)**



b)

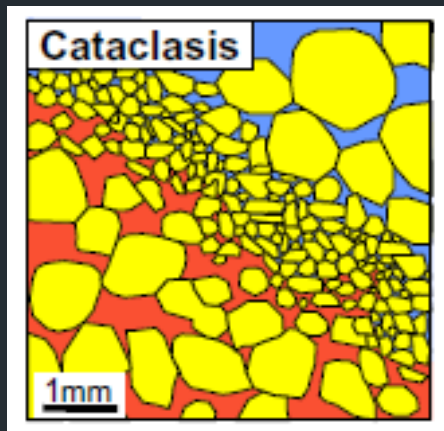
**Shale Smear Factor
(SSF)**



c)

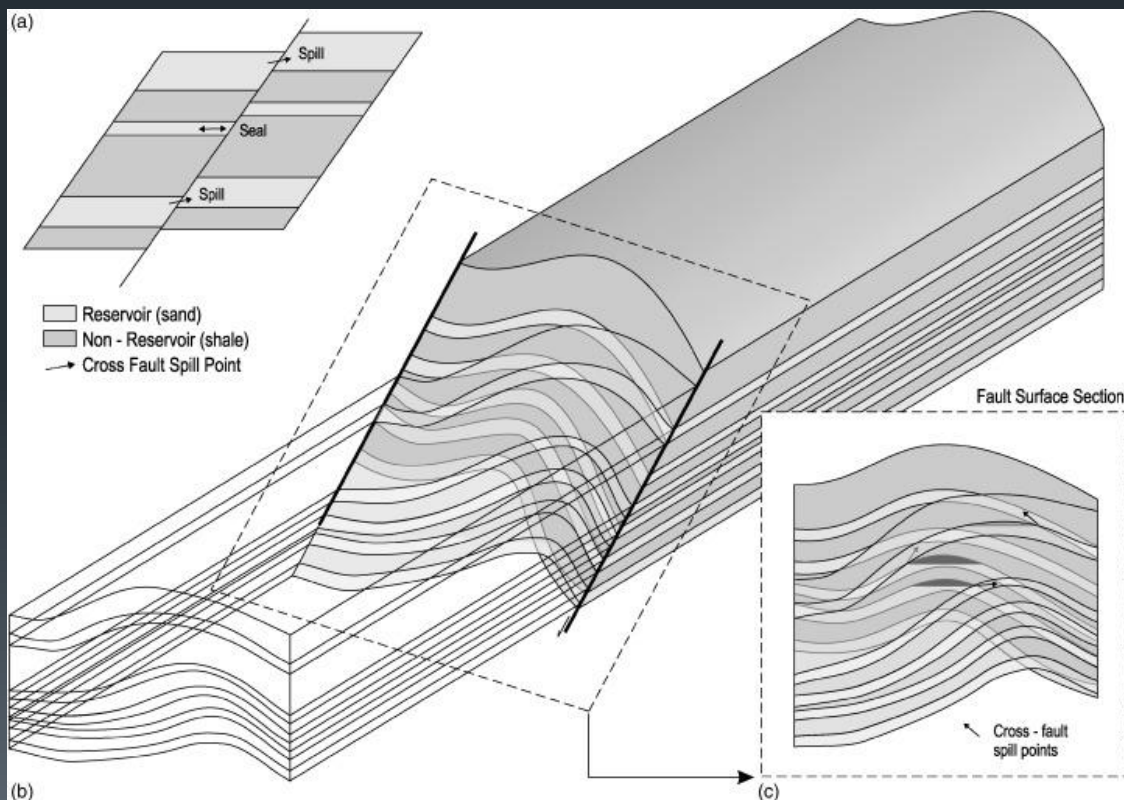
Kataklaza

→ smanjenje pora nastalo uslijed mehaničkog drobljenja stijena u rasjednoj zoni



Ogilvie et al., 2020

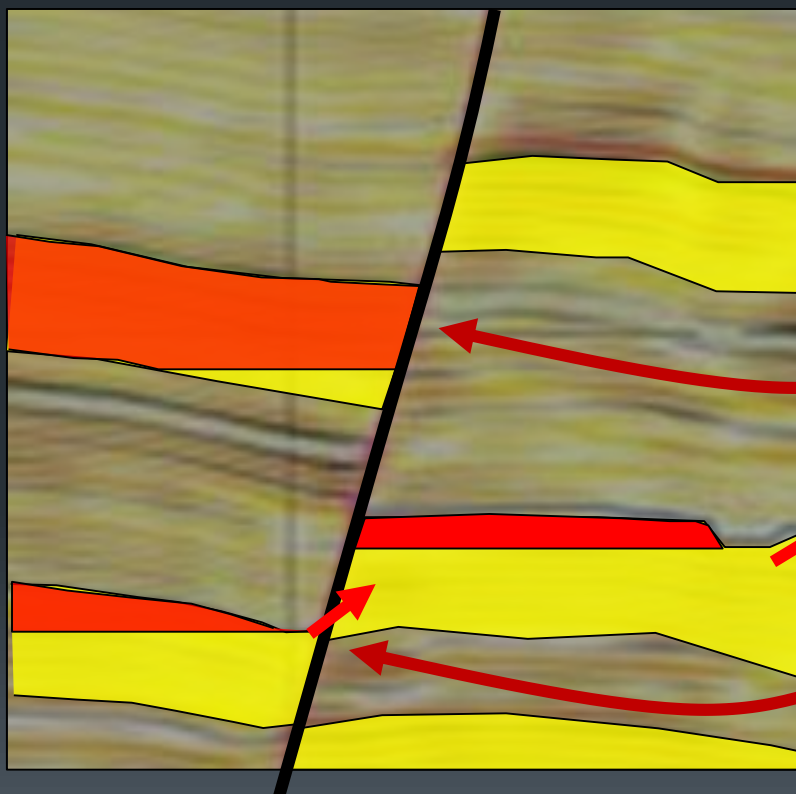
43



(a) Pomaci duž rasjeda mogu izazvati nepropusnost ukoliko propusne jedinice naliježu na nepropusne duž rasjedne plohe. (b) Gledano u tri dimenzije, međusobni odnosi pojedinih litoloških jedinica duž rasjeda mogu biti složeni. (c) Tehnika *Allan mapping* rješava površinu rasjeda u ravninu i kartira položaje pojedinih jedinica na oba rasjedna krila. Tada se zamke i mjesta izlivanja mogu odrediti na temelju uspoređivanja litoloških jedinica.



Ako je smjer
migracije s lijeva na
desno, koji slojevi
sadrže ugljikovodike?



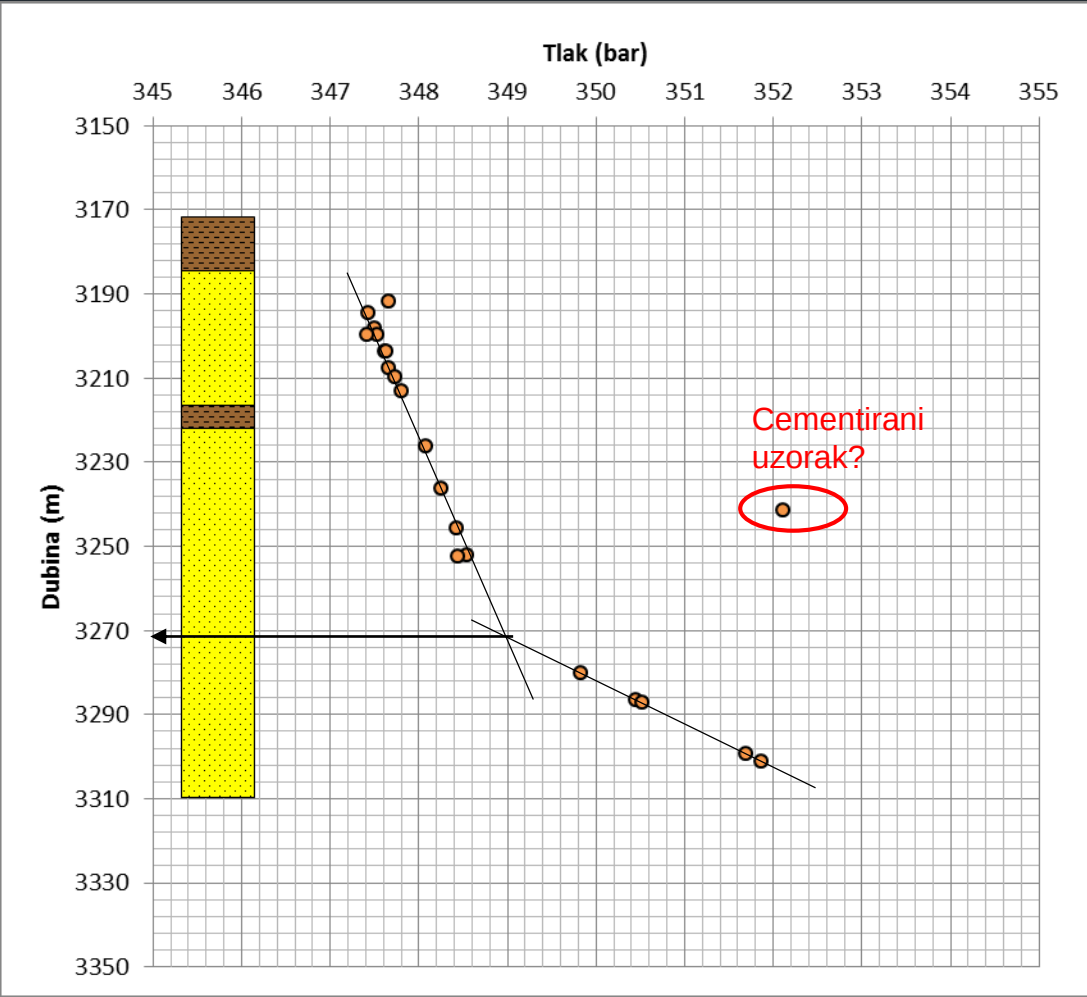
Kontakt pješčenjaka i šejla →
nepropustan rasjed zadržava
ugljikovodike

Mogući kontakt rezervoarnih
stijena preko rasjeda → moguća
migracija kroz rasjed

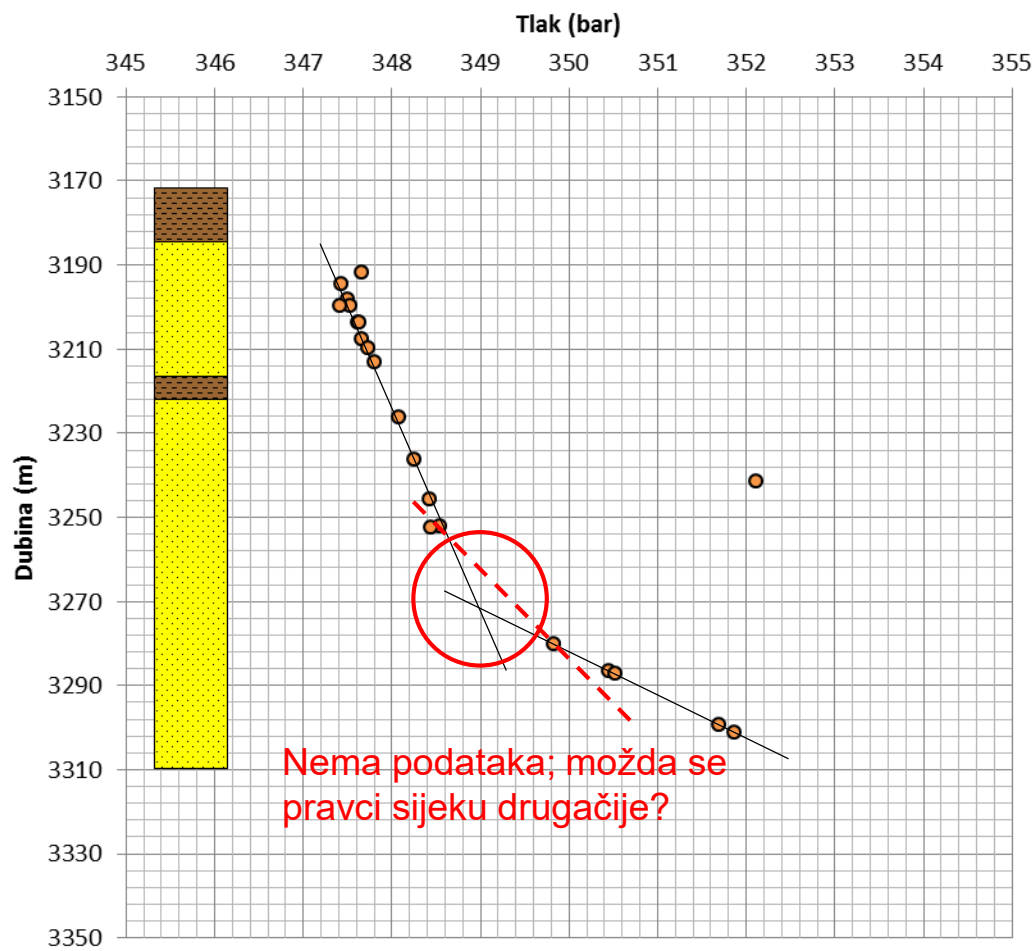
<http://en.allexperts.com/q/Geology-1359/2009/12/Petroleum-Geology-4.htm>



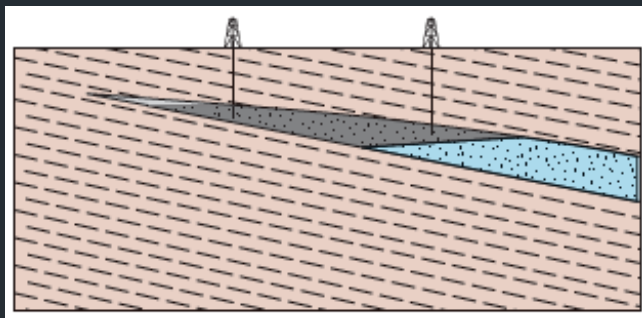
Vježba



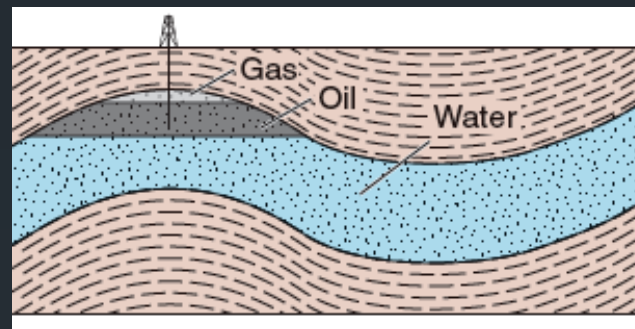
Mogući kontakt na dubini od ~3272 m.



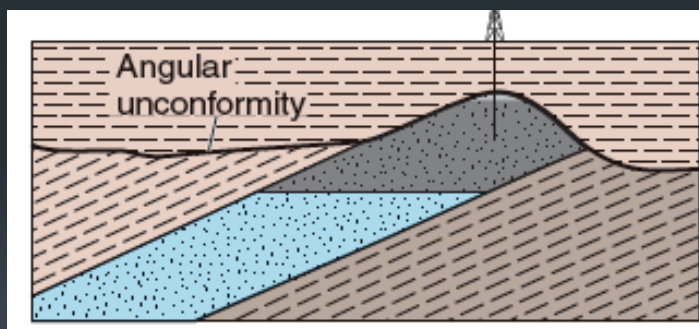
Možda imamo naftu u ležištu!



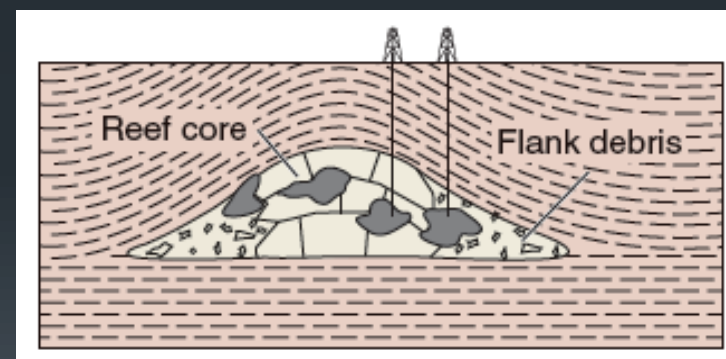
Stratigrafska zamka - isklinjavanje



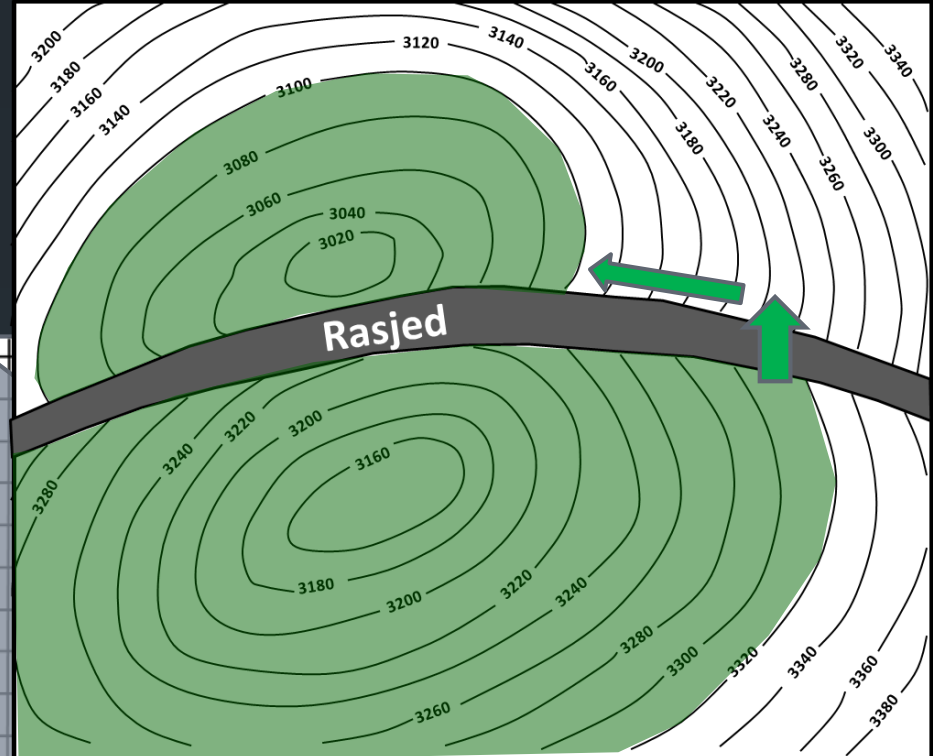
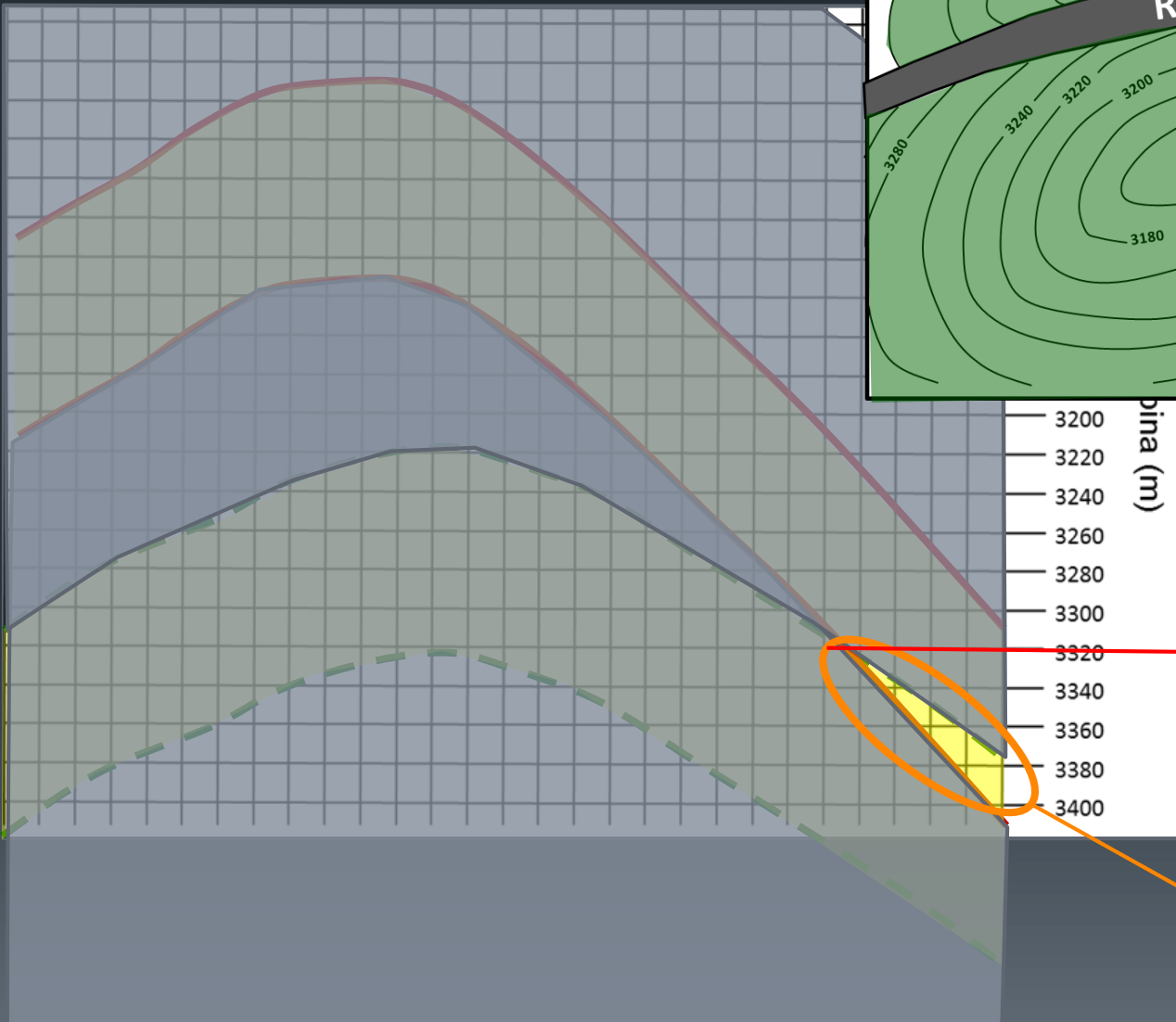
Strukturna zamka - antiklinala



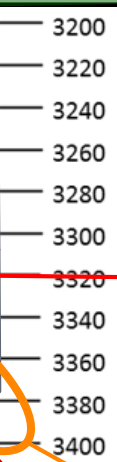
Stratigrafska zamka - diskordancija



Stratigrafska zamka – promjena facijesa



dina (m)



Migracija preko rasjeda je moguća ako je rasjedna zona dovoljno porozna i propusna i ako ugljikovodici dosežu dublje od 3320 m u krovinskom krilu

Rezervoar u podinskom krilu u kontaktu s rezervoarom u krovinskom krilu