

# Sedimentologie

## Literatura:

Kukal, Z.: Základy sedimentologie, Academia Praha, 1986

Hsu, K. J. (2004): Physics of Sedimentology

Tato prezentace, zimní semestr 2006

# Sedimentology, sedimentary geology

## Definitions

- **Sedimentology** = the study of the processes of formation, transport and deposition of material which accumulates as sediment in continental and marine environments and eventually forms sedimentary rocks
- **Stratigraphy** = the study of rocks to determine the order and timing of events in Earth history
- **Sedimentary geology**  $\approx$  sedimentology + stratigraphy

# Úvod

## Sedimenty:

- ▶ 72% povrchu souše (bez kvartéru)
- ▶ 99% povrchu dna moří a oceánů
- ▶ Mohou být užitečné:
  - nejdůležitější nerudní suroviny
  - velmi důležitá rudní surovina (menší koncentrace kovů – obrovské objemy)
  - drtivá většina ložiskových pastí na ropu a zemní plyn
  - obsahují záznam událostí na Zemi
  - záznam vývoje života na Zemi
- ▶ Mohou být i nebezpečné:
  - absorbují polutanty
  - Padají, klouzají, sesouvají se a ničí ...

na souši ...



na ještě sušší souši ...



... i na moři



na horách ...

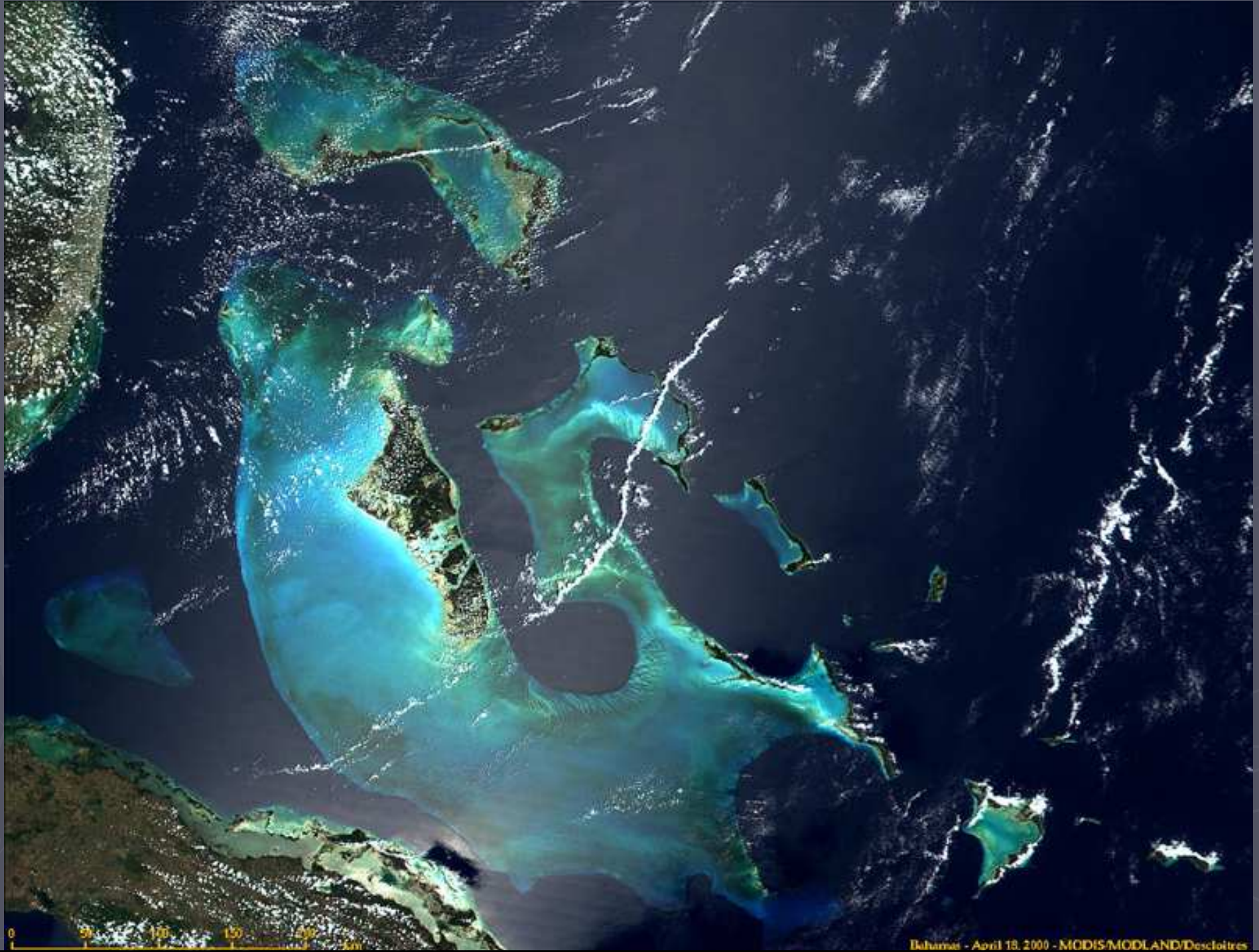


na ještě vyšších horách,





... i pod mořem



... různě staré, ale všudypřítomné



vodorovné, i šikmé ...



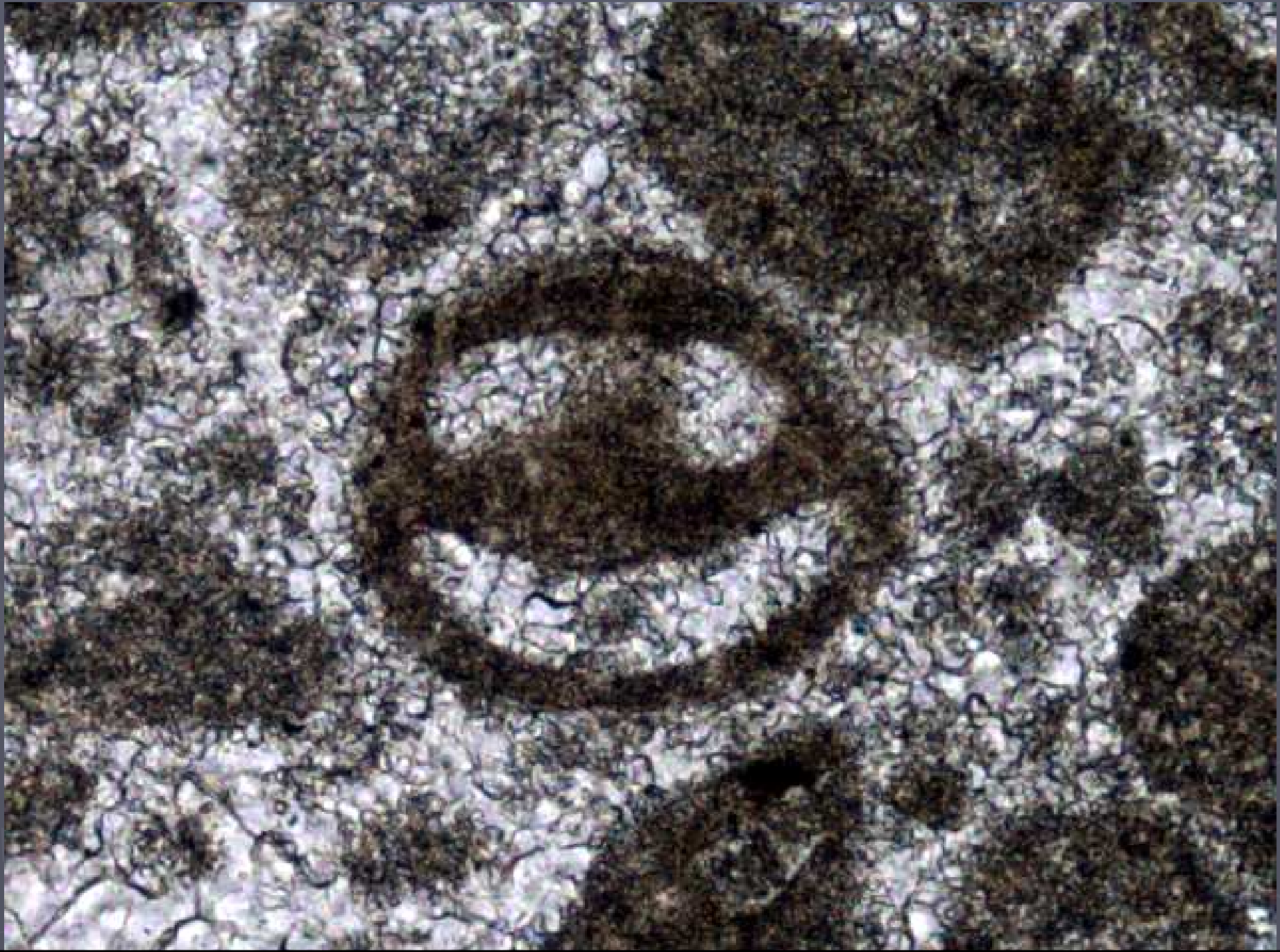
a ještě šikmější ...



dekorativní a barevné ...



a někdy veselé ...

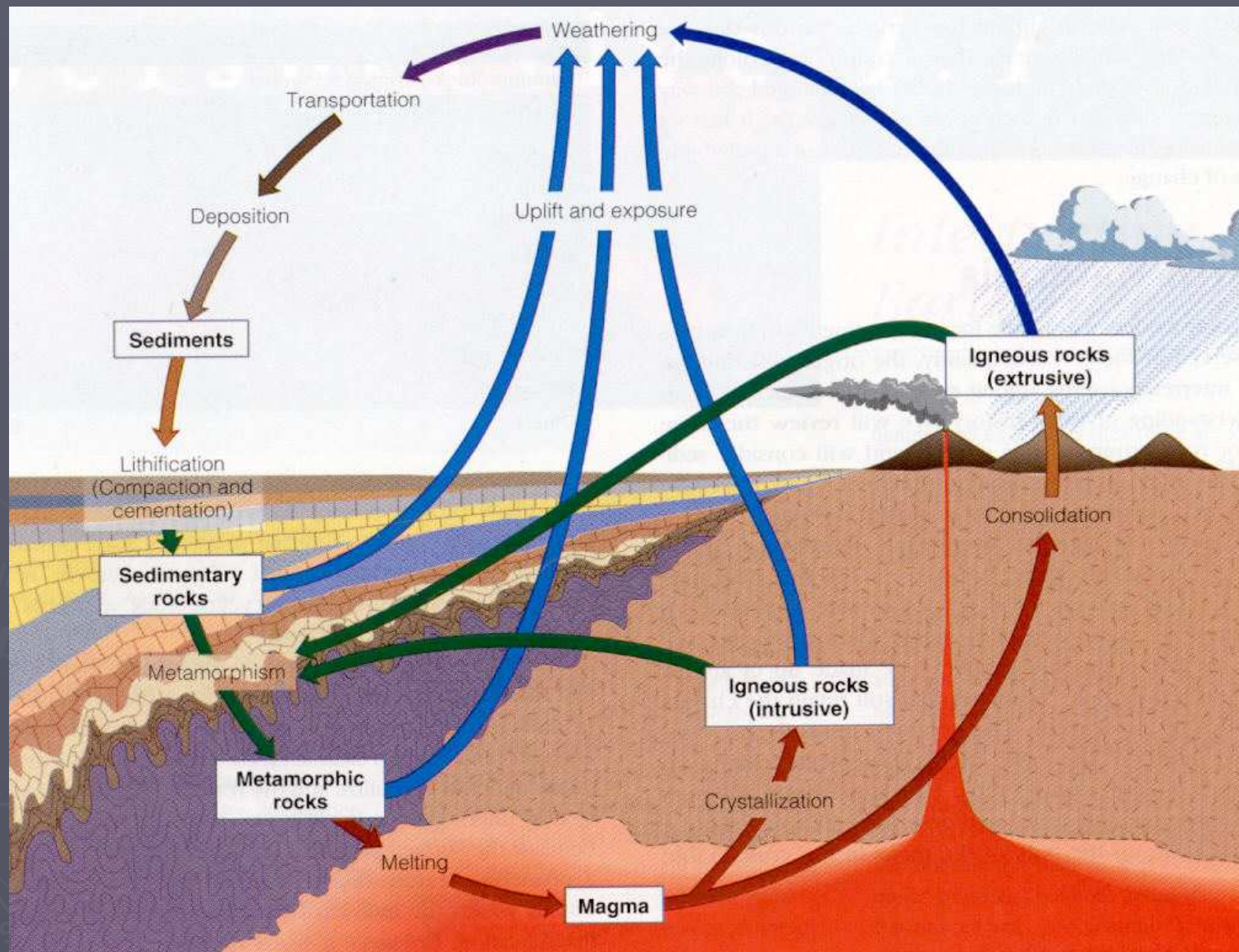


# Úvod

vztah sedimentologie k jiným geologickým disciplínám:

- ▶ ložisková geologie,
- ▶ stratigrafie,
- ▶ paleontologie
- ▶ mořská geologie,
- ▶ geochemie,
- ▶ mineralogie,
- ▶ petrografie(logie)

# Sedimenty v horninovém cyklu



Rock cycle: mountain formation and/or uplift; weathering and erosion; **sediment transport, deposition, and diagenesis**; metamorphism and igneous rock formation; renewed uplift... etc.



# Historical development of sedimentary geology and key concepts

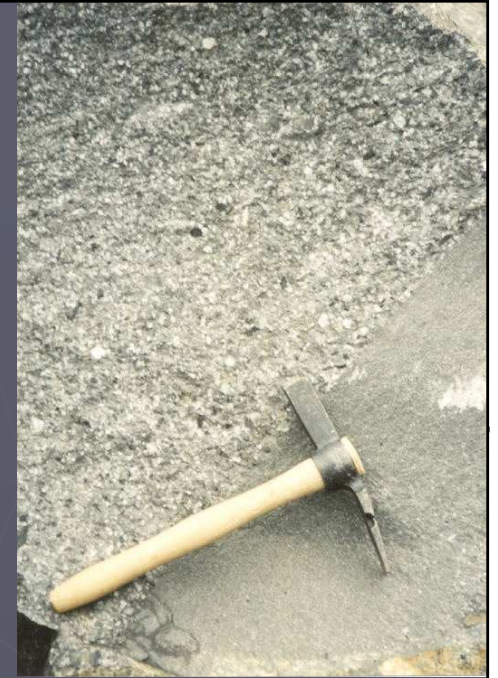
- Principle of **superposition** (Nicolas Steno, 1669)
- Stratigraphy developed already around 1800
- **Uniformitarianism** ("the present is the key to the past") (Charles Lyell, 1830), "modern **processes** constitute the basis for interpreting ancient **products**" (uniformitarianism works in many cases, but not always)
- Principle of **facies**, A. Gressley, pol. 19. století
- Jonathan Walther's law of facies successions
- Late 1980s and 1990s: revival of stratigraphy (sequence stratigraphy)
- ▶ Sedimentology is a relatively new discipline (1960s and 1970s)
- ▶ Poptávka po fosilních palivech - průzkum na ropu a zemní plyn – 50. léta 20. stol.
- ▶ DSDP, ODP – Glomar Challenger, Joides Resolution, od 1968

# Temporal and spatial scales

- Sedimentology focuses primarily on facies and depositional environments (how were sediments/sedimentary rocks formed?)
  - Smaller temporal and spatial scales
- Stratigraphy focuses on the larger scale strata and Earth history (when and where were sediments/sedimentary rocks formed?)
  - Larger temporal and spatial scales
- The stratigraphic record is nearly always very incomplete due to a limited **preservation potential**, that decreases with increasing time scales

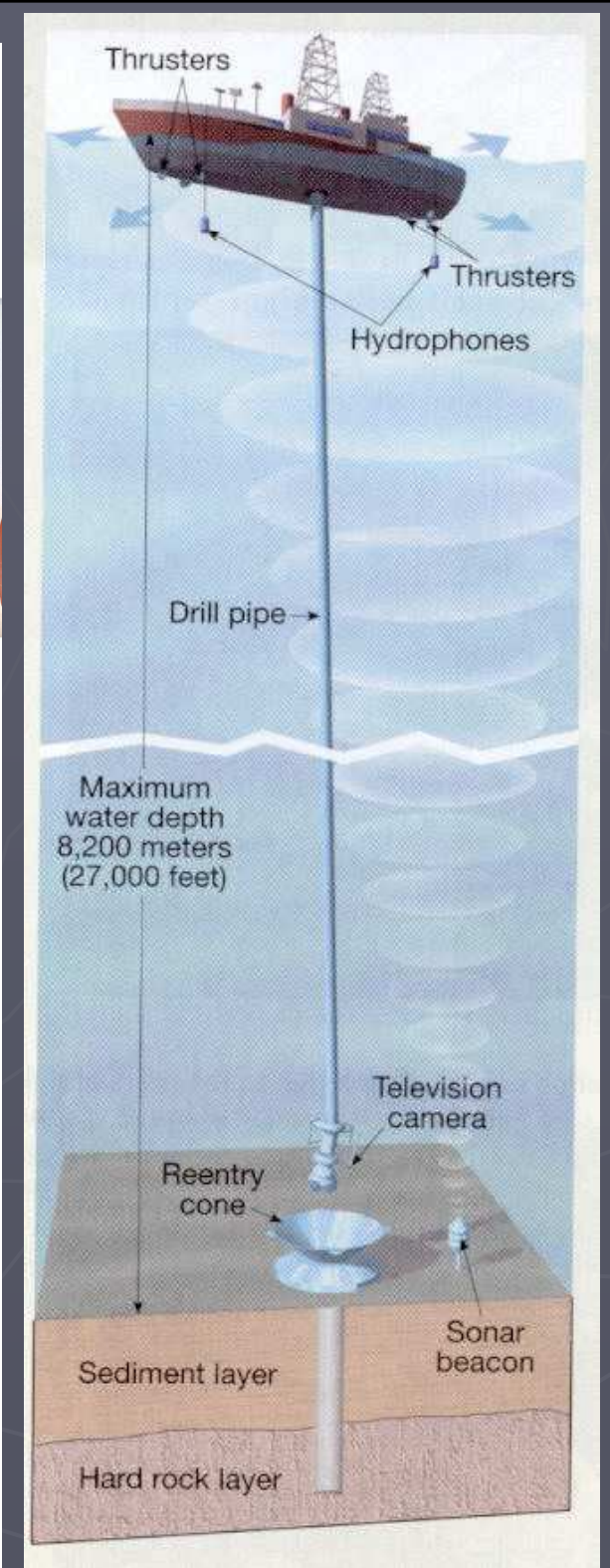
# Primary data sources for sedimentologic/stratigraphic studies

- Outcrops (consolidated vs. unconsolidated sediments)



# Primary data sources for sedimentologic/stratigraphic studies

- Cores (hand-operated vs. power-driven)



# Primary data sources for sedimentologic/stratigraphic studies

- Geophysical data (e.g., wireline logs, seismic, ground-penetrating radar)

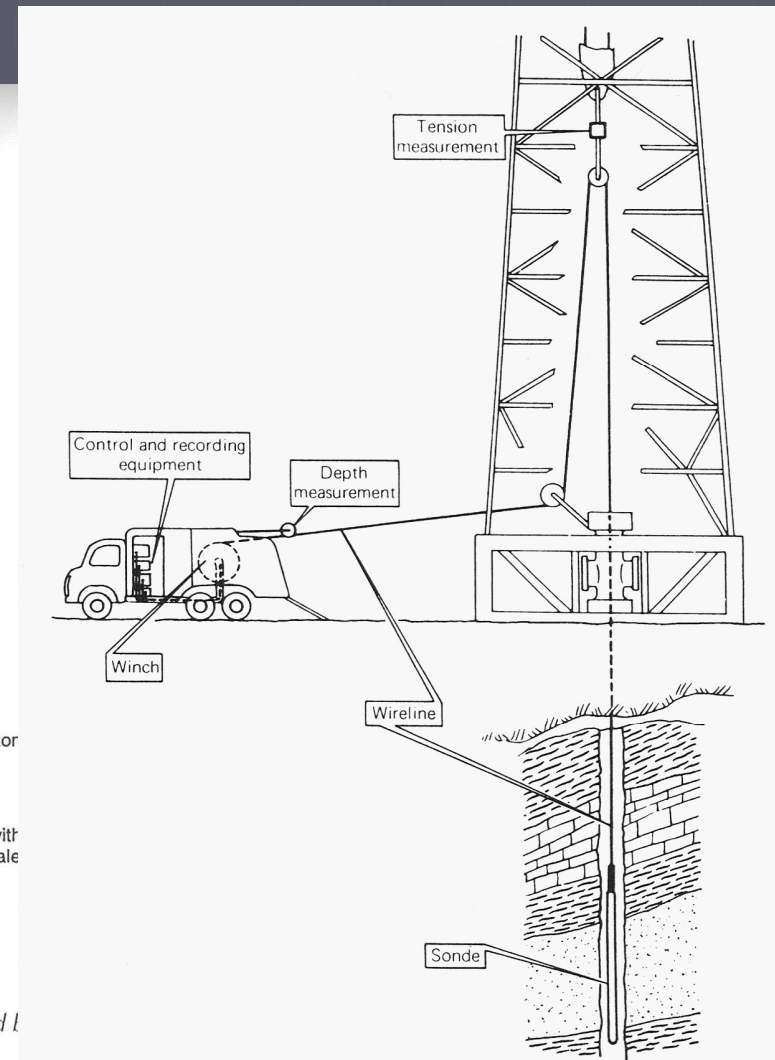
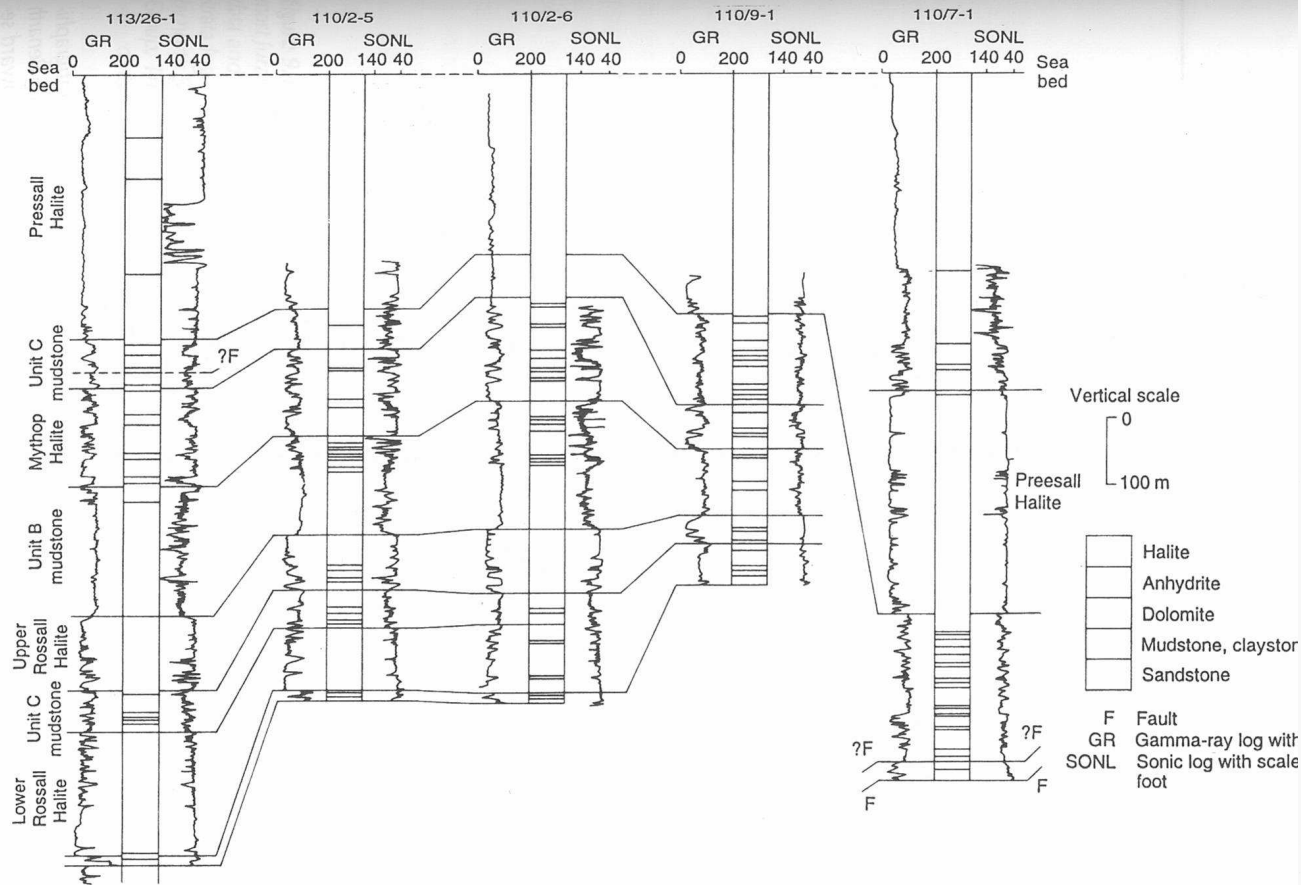


Figure 9.10 Large-scale regional lithostratigraphical and log correlation of the Mercia Mudstone Group (Triassic) in selected East Irish Sea Basin. [Modified from Jackson et al. (1995)]

# Contents

- ▶ Unconsolidated clastic sediments
- ▶ Sedimentary rocks
- ▶ Diagenesis
- ▶ Sediment transport and deposition
- ▶ Sedimentary structures
- ▶ Facies and depositional environments
- ▶ Glacial/eolian/lacustrine environments
- ▶ Fluvial/deltaic/coastal environments
- ▶ Shallow/deep marine environments
- ▶ Stratigraphic principles
- ▶ Sequence stratigraphy
- ▶ Sedimentary basins
- ▶ Models in sedimentary geology
- ▶ Applied sedimentary geology
- ▶ Reflection



# Procesy vzniku sedimentů

- ▶ ZVĚTRÁVÁNÍ
- ▶ UVEDENÍ ČÁSTIC DO VZNOSU A TRANSPORT
- ▶ USAZENÍ



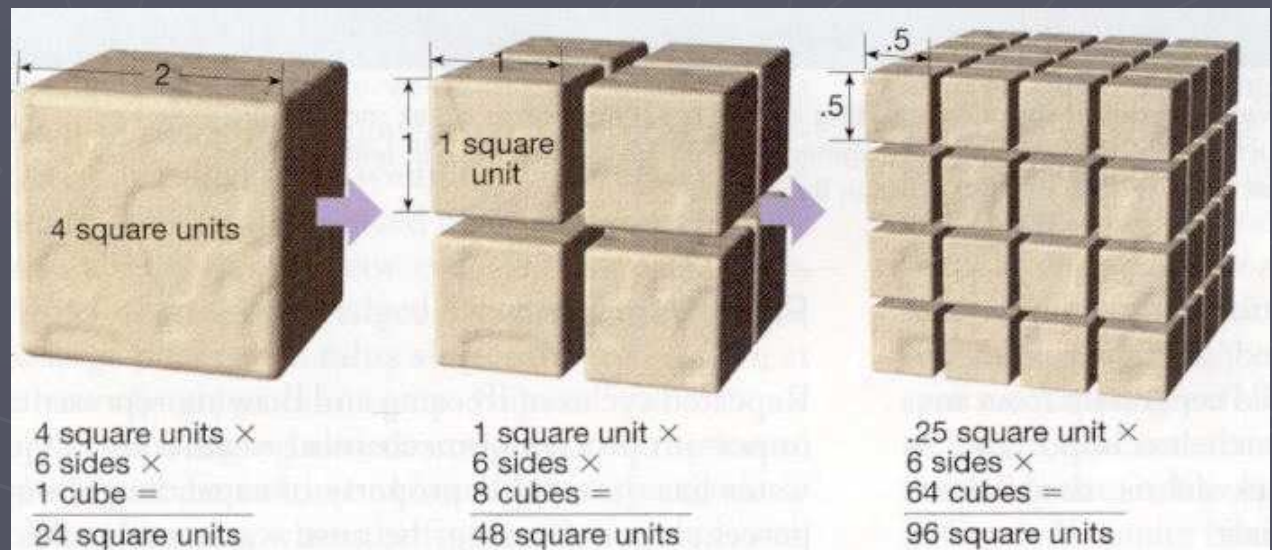
# Zvětrávání

**Chemické** (chemický rozklad hornin)

**Mechanické** (mechanický rozpad hornin při zachování jejich původního chemického složení a snižování velikosti zrna materiálu)

Součinnost mechanického a chemického zvětrávání

**Biologické** (činností živých organismů, živočichů, rostlin)



# CHEMICKÉ ZVĚTRÁVÁNÍ

## Rozpouštění

### rozpustnost ve vodě (halit)

polární molekuly vody - na straně vodíku v H<sub>2</sub>O je kladný náboj, na straně kyslíku v H<sub>2</sub>O je záporný náboj, rozbití iontové vazby -> roztok  
většina minerálů ve vodě nerozpustné

- ▶ **rozpustnost závislá na pH**, čím nižší pH vody, vyšší **kyselost roztoku** (obsah kationtu H<sup>+</sup>), tím **rozpustnější**
- ▶ obsah kyselin ve vodě - rozklad organické hmoty v půdě, obsah CO<sub>2</sub> v atmosféře
- ▶ rozpouštění karbonátů ve slabých kyselých roztocích

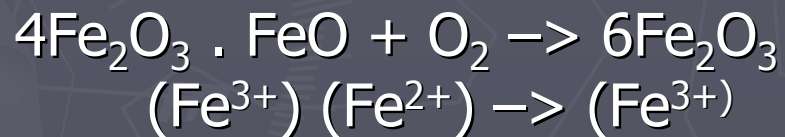
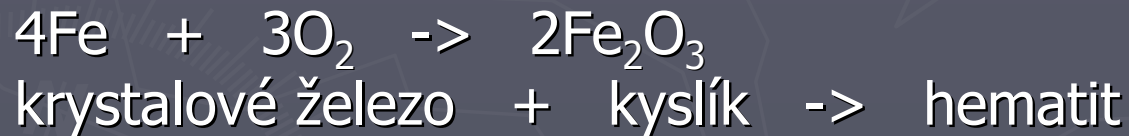


kalцит + vodný roztok kyseliny -> iont vápníku (rozpustný) + oxid uhličitý + voda

# Oxidace a redukce

**OXIDACE:** zvyšování oxidačního čísla /valence/

- ▶ zpravidla **kyslík rozpuštěný ve vodě**, působí společně s hydrolyzou
- ▶ rozklad **minerálů obsahujících železo** - olivín, pyroxen, amfibol
- ▶ konečné produkty - oxidy a hydroxidy železa (hematit, goethit, limonit)



**REDUKCE:** snižování oxidačního čísla /valence/

Např. vznik pyritu redukcí železitého iontu na železnatý ion

# Hydrolýza

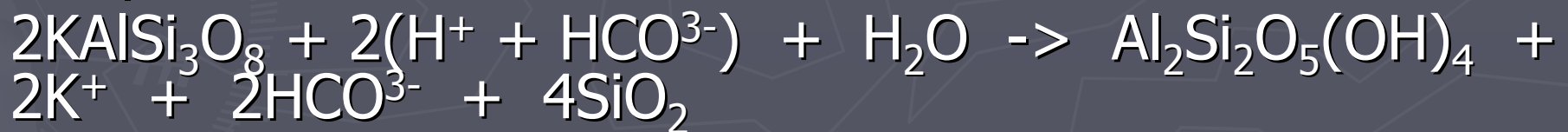
(disociace molekuly + nahrazení kladných iontů v mřížce kladnými produkty disociace)

Disociace kyseliny hydrogenuhličité:



Kys. hydrogenuhličitá  $\rightarrow$  vodíkový kation + hydrogenuhličitanový anion

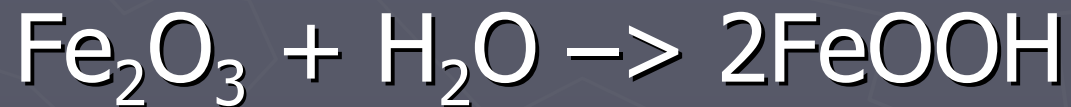
Hydrolýza ortoklasu:



ortoklas + kys. hydrogenuhličitá + voda  $\rightarrow$  kaolinit + draselný kat. + hydrogenuhličitan. an. + křemíkový gel

# Hydratace

Příjem molekuly vody



Hematit + voda  $\rightarrow$  goethit

# Produkty chemického zvětrávání

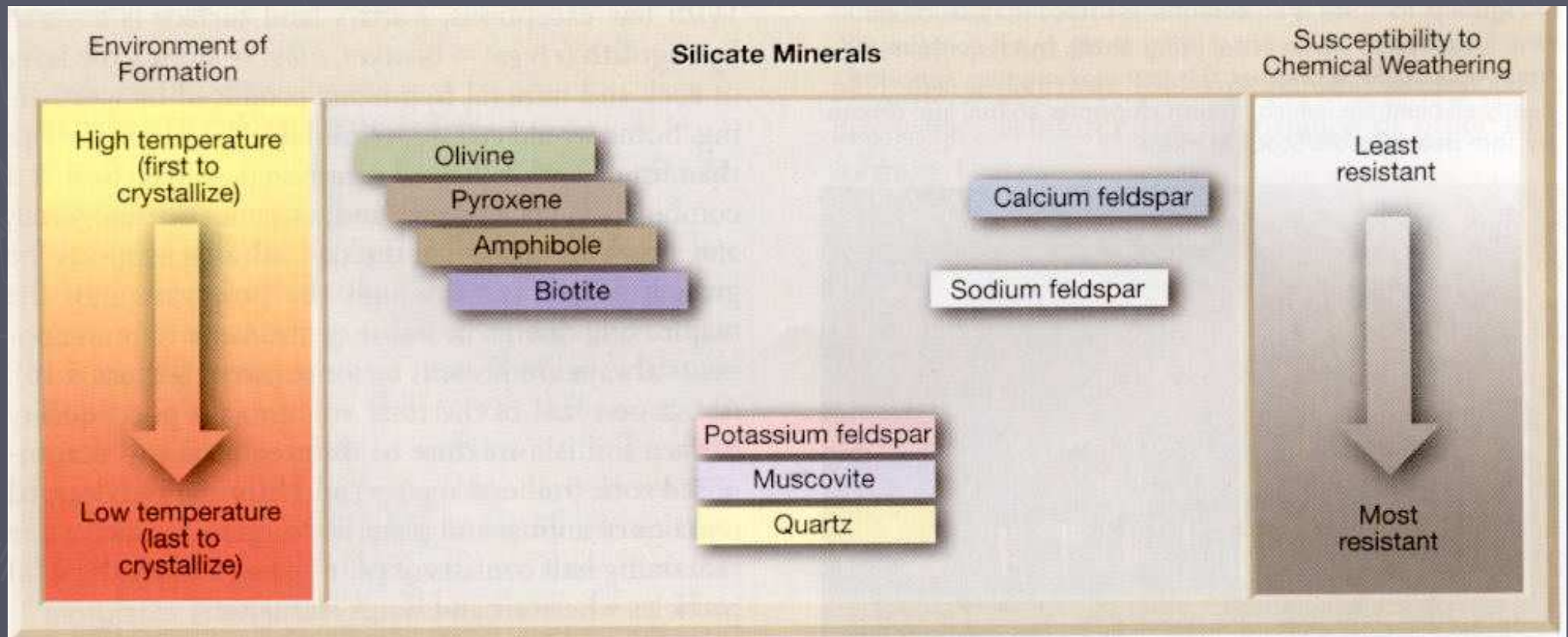
## Minerál podléhající zvětrávání

## Produkty zvětrávání

Křemen	křemen, rozpuštěný křemík (molekula kyseliny křemičité)
Živce	jílové minerály, Ionty Ca, Na, K, rozpuštěný křemík
Muskovit	jílové minerály, Ionty Na, K, rozpuštěný křemík, gipsit
Biotit	jílové minerály, oxidy železa, K, Mg, Fe, rozpuštěný křemík
Amfiboly	oxidy železa, ionty Na, Ca, Fe, Mg, jílové minerály, rozpuštěný křemík
Pyroxeny	oxidy železa, ionty Ca, Fe, Mg, Mn, jílové minerály, rozpuštěný křemík
Olivín	oxidy železa, ionty Fe, Mg, rozpuštěný křemík, jílové minerály
Granáty	ionty Ca, Mg, Fe, oxidy železa, rozpuštěný křemík
Alumosilikáty	jílové minerály, křemík, gipsit
Magnetit	hematit, goethit, limonit
Kalcit	ionty Ca, ionty HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>
Dolomit	ionty Ca a Mg, ionty HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>
Železité karbonáty (siderit, ankerit)	ionty Ca, Mg, Fe, oxidy železa, ionty HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>

# Goldrichovo schéma

*Stabilní minerály (Q, muskovit)*  
*nestabilní minerály (ostatní)*



# MECHANICKÉ ZVĚTRÁVÁNÍ

## Mrazové zvětrávání

- opakovaný cyklus mrznutí (zvětšování objemu o 9%) a tání (snižování objemu) vody

## Teplotní výkyvy

- teplotní výkyvy  $> 30$  stupňů Celsia, bez přítomnosti vody - různé koeficienty tepelné roztažnosti u různých minerálů, problém s laboratorním potvrzením

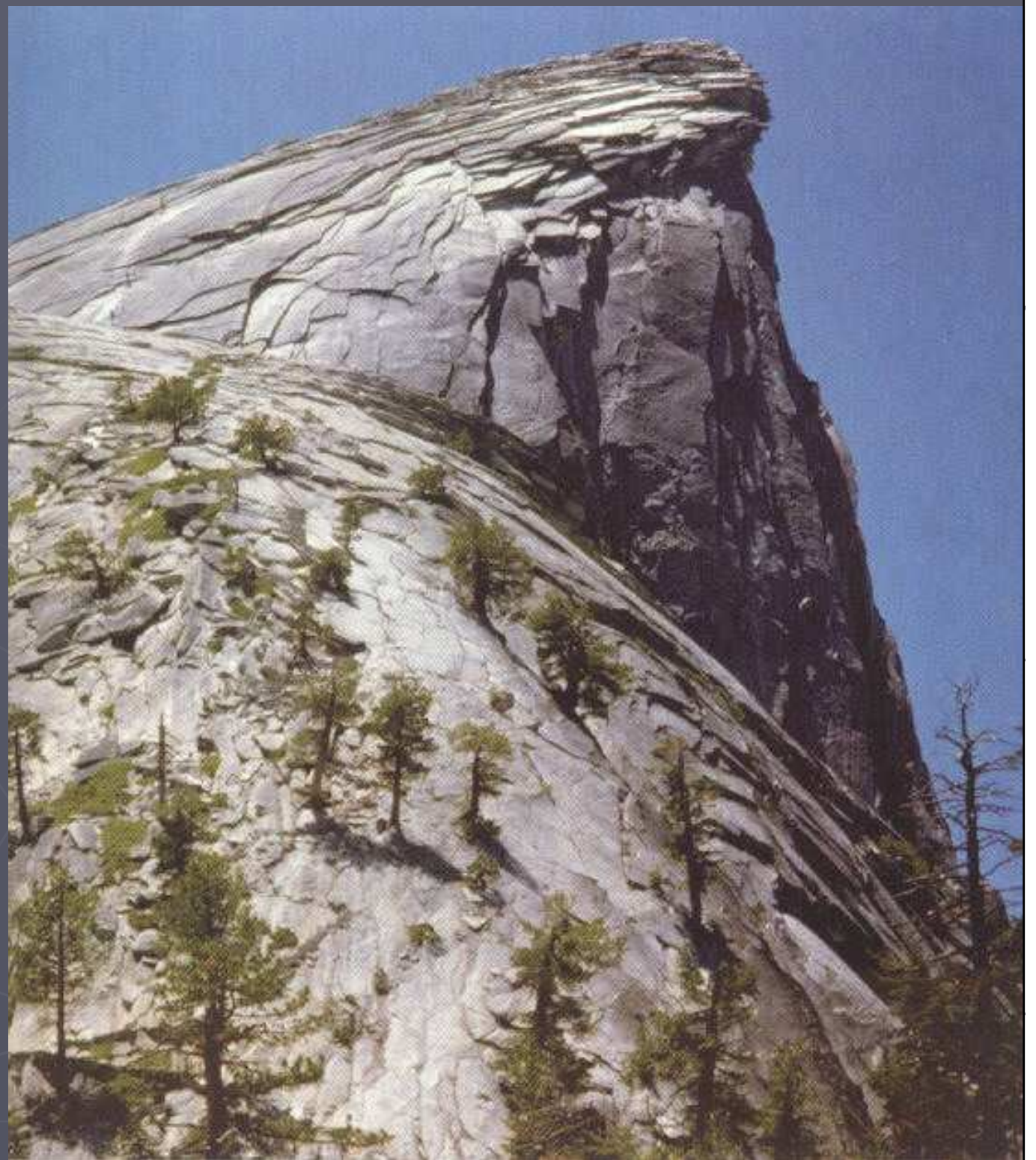
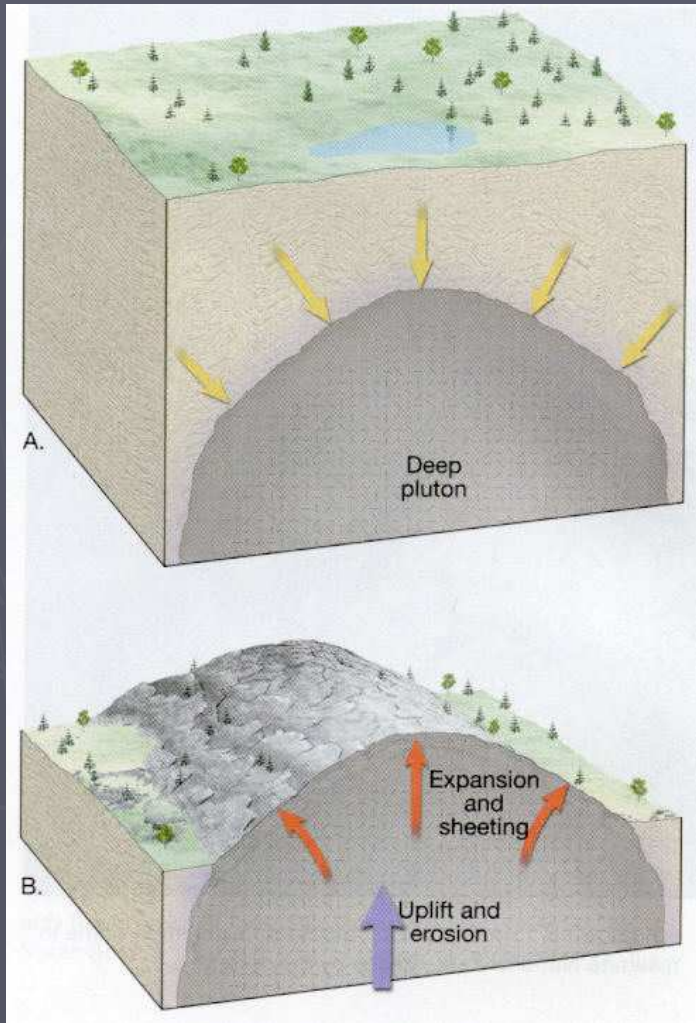
## Odtížení horninových komplexů

- vyvřelé horniny - odstranění tíhy nadloží vede k roztažení horniny a odlučování, viz situace v nově ražených důlních chodbách

## Abraze (koraze, eroze)

- Obrušování hornin dynamikou nějakého média (voda, vzduch, led), které obsahuje pevné částice





# Sedimentární částice (zrna) v přírodě

## Částice mechanicky unášené kapalinami – sedimentární částice:

**Křemen, živce, kalcit, aragonit, jílové minerály:** ( $\rho = 2650 \text{ kg/m}^3$ ) – nejčastější

Další: *slídy, amfibol, pyroxeny, olivín*

## Faktory, které ovlivňují uvedení částice do pohybu:

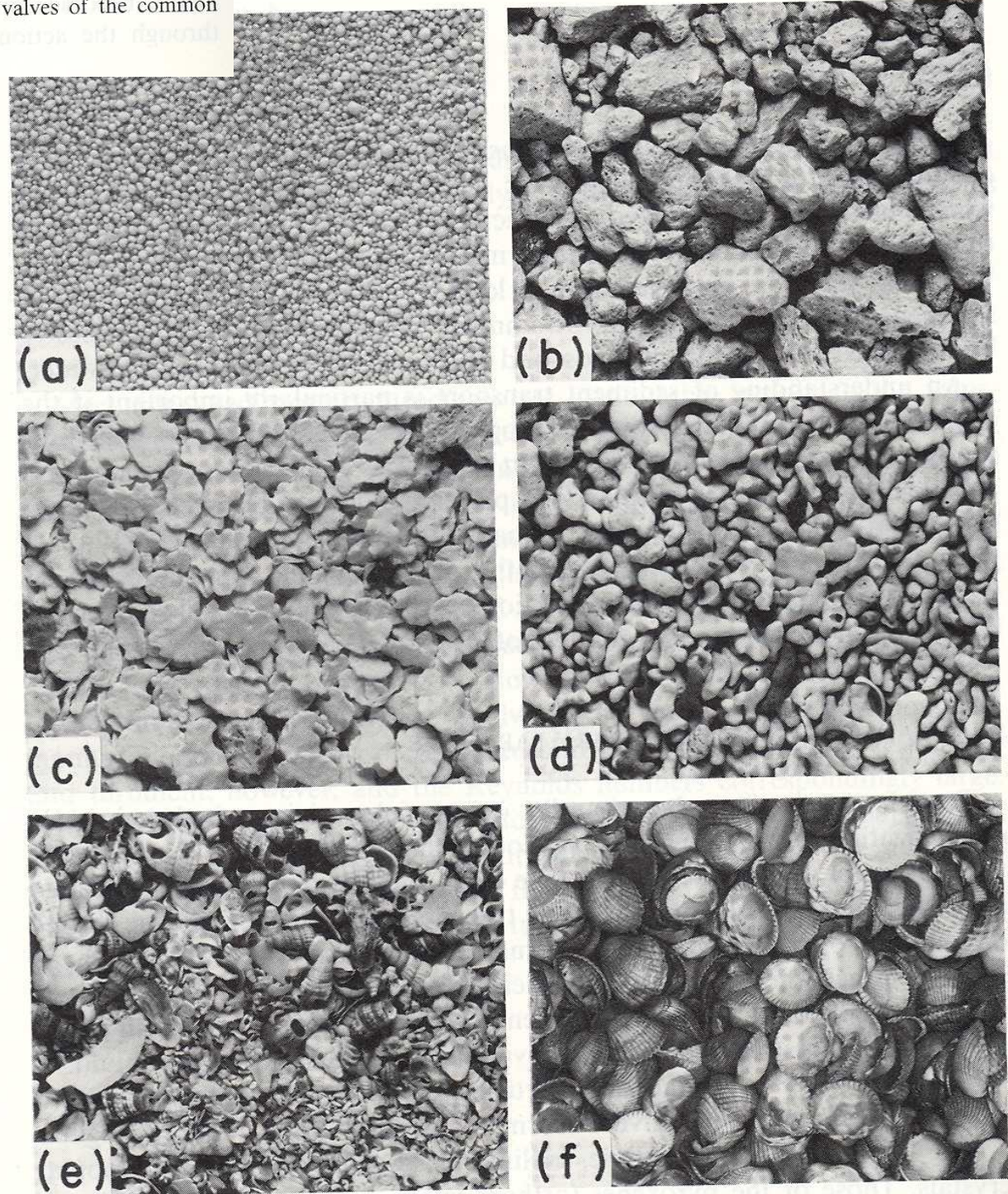
### **Tvar částic určený :**

- Krystalizací z magmatu nebo vodného roztoku (tvar krystalů, tabulkový, sloupcovitý, apod.)
- Vulkanogenní činností (pyroklastika – lapilli, prach, popel, písek, velmi nepravidelný)
- Zvětráváním hornin (nepravidelný tvar – zaoblení, koule, trojosý elipsoid)
- Organickou aktivitou (schránky, ooidy, klacíky, apod. – koule, válec, destičkovitý tvar)

### **Velikost částic**

### **Vytřídění částic**

Fig. 2-1. Some examples of sedimentary particles from recent environments. a. *Cerastoderma edule* oolite shoal ( $\times 3$ ). b. Pumice from the coarse fraction of a pyroclastic fall ( $\times 1.4$ ). c. Fragments of the carbonate-secreting alga *Halimeda* ( $\times 1.4$ ). d. Fragments of the carbonate-secreting alga *Lithothamnium* ( $\times 1.4$ ). e. A sand composed of whole to broken gastropod shells and platy fragments of broken bivalves ( $\times 1.4$ ). f. Separated valves of the common cockle, *Cerastoderma edule* ( $\times 0.4$ ).



# Kapaliny v přírodě

## Kapaliny

Faktory, které ovlivňují uvedení částice do pohybu:  
hustota a dynamická viskozita

**Vzduch** ( $\rho = 12,2 \text{ kg/m}^3$ ), dynamická viskozita ( $\eta$ ) vzrůstá se vzrůstající teplotou

**Voda** ( $\rho = 1000 \text{ kg/m}^3$ ,  $r = 1025 \text{ kg/m}^3$ ), dynamická viskozita ( $\eta$ ) klesá s vzrůstající teplotou

**Magma** ( $\rho = 2700 = 3100 \text{ kg/m}^3$ ), viskozita ( $\eta$ ) závislá na složení, obsahu vody

# Uvedení částic do pohybu

## Mechanismy uvádění částic do vzosu

- ▶ strhávání částic z nesoudržného podloží (nezpevněný písek)
  - smykové napětí na prahu pohybu ( $\tau_{cr}$ ) stoupá se stoupajícím hustotním rozdílem částice a vody, průměrem (velikostí) částice  $D_1$ , poměrem průměrů  $D_0/D_1$  a volnou vzdáleností ( $s$ )
  - stálé (laminární proudění), nestálé turbulentní proudění

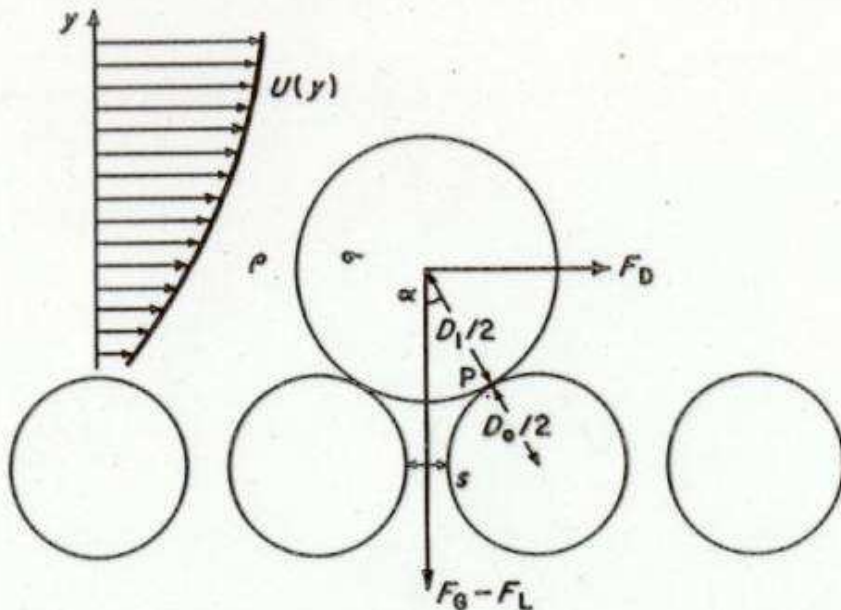


Fig. 2-3. Definition diagram for the entrainment of cohesionless grains from a cohesionless bed acted on by a steady fluid flow.

$F_D$  = síla ve smyku

$F_G$  = tíha částice

$F_L$  = vztlak částice  
ponořené v kapalině

# Uvedení částice do pohybu

## Hjulströмова křivka

Rychlost proudění vody vs. velikost zrna

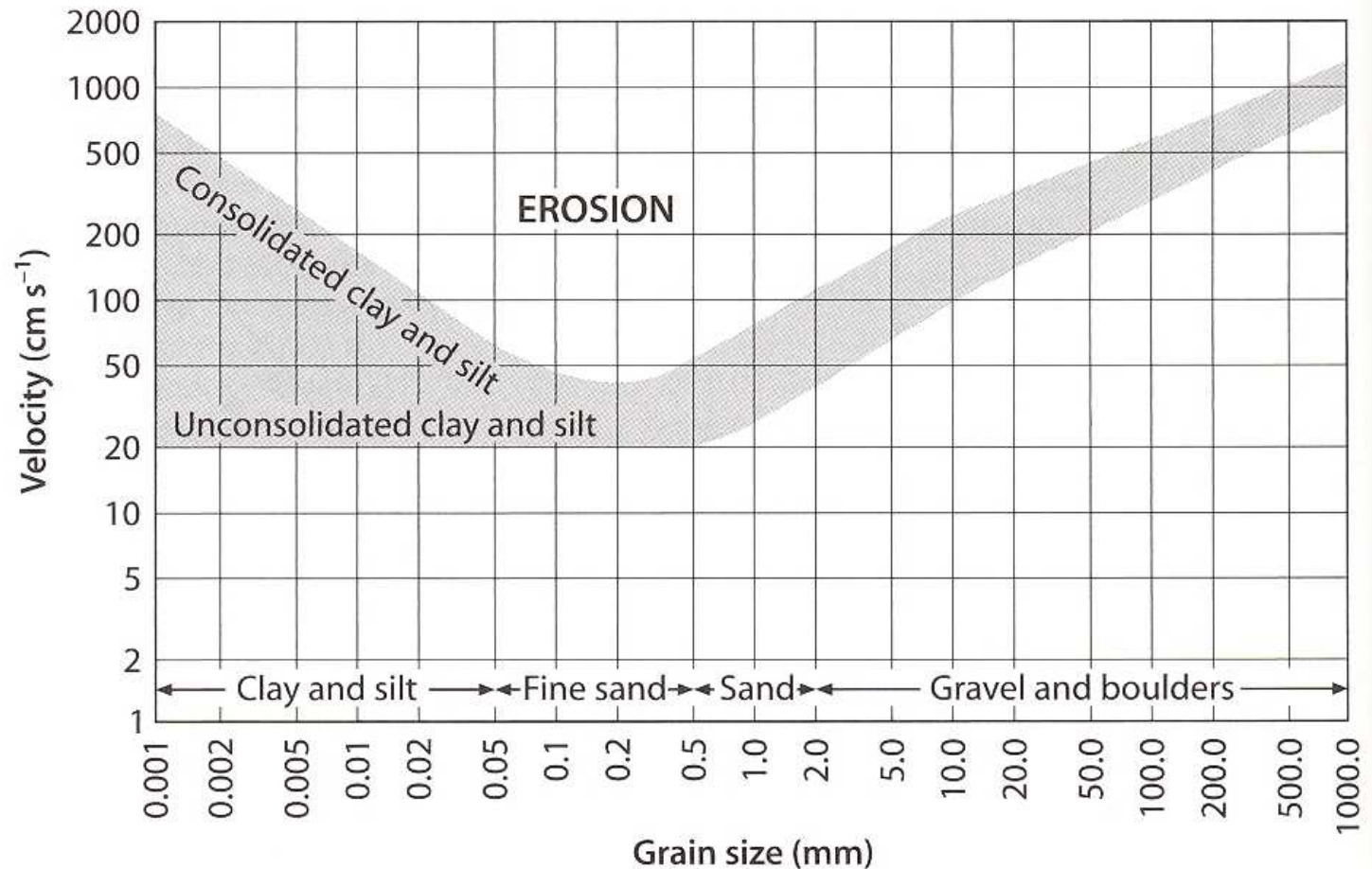


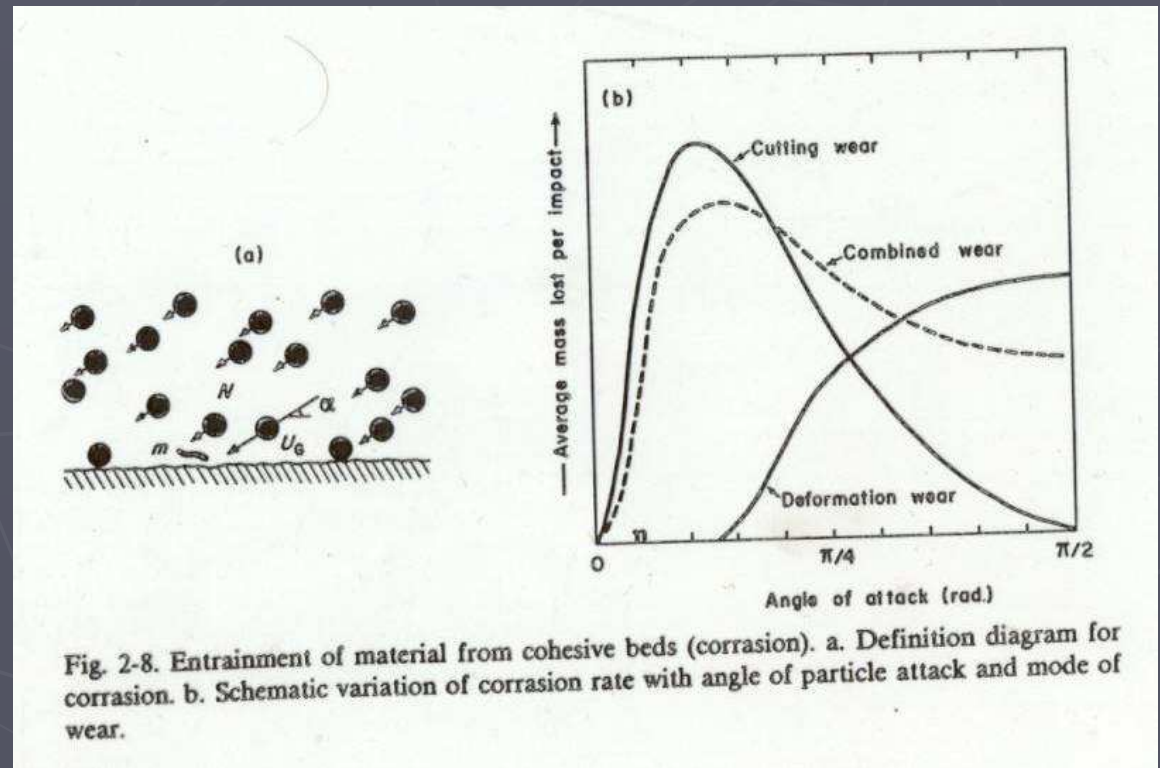
Fig. 4.8. Hjulström's curve (modified after Sundborg 1956). Hjulström determined the critical velocity necessary for moving quartz grains at 1 m water depth in open channels; the shaded area indicates the scatter of experimental data. This graph shows (1) that clay and silt particles are more difficult to erode than predicted, and (2) the average current velocity to move a grain is several times the calculated critical shear velocity

# Uvedení částic do pohybu

## Mechanismy uvádění částic do vznosu

- ▶ strhávání částic ze soudržného (kohezního) podloží (jíl, pevné horniny)  
KORAZE

Laminární proudění  
VS.  
Turbulentní proudění



# Fyzikální principy transportu: laminární proudění mezi 2 paralelními deskami

**Smykové napětí** (smyková síla na jednotku plochy) je lineárně úměrné rychlostnímu gradientu  $dU/dy$  - smykové rychlosti

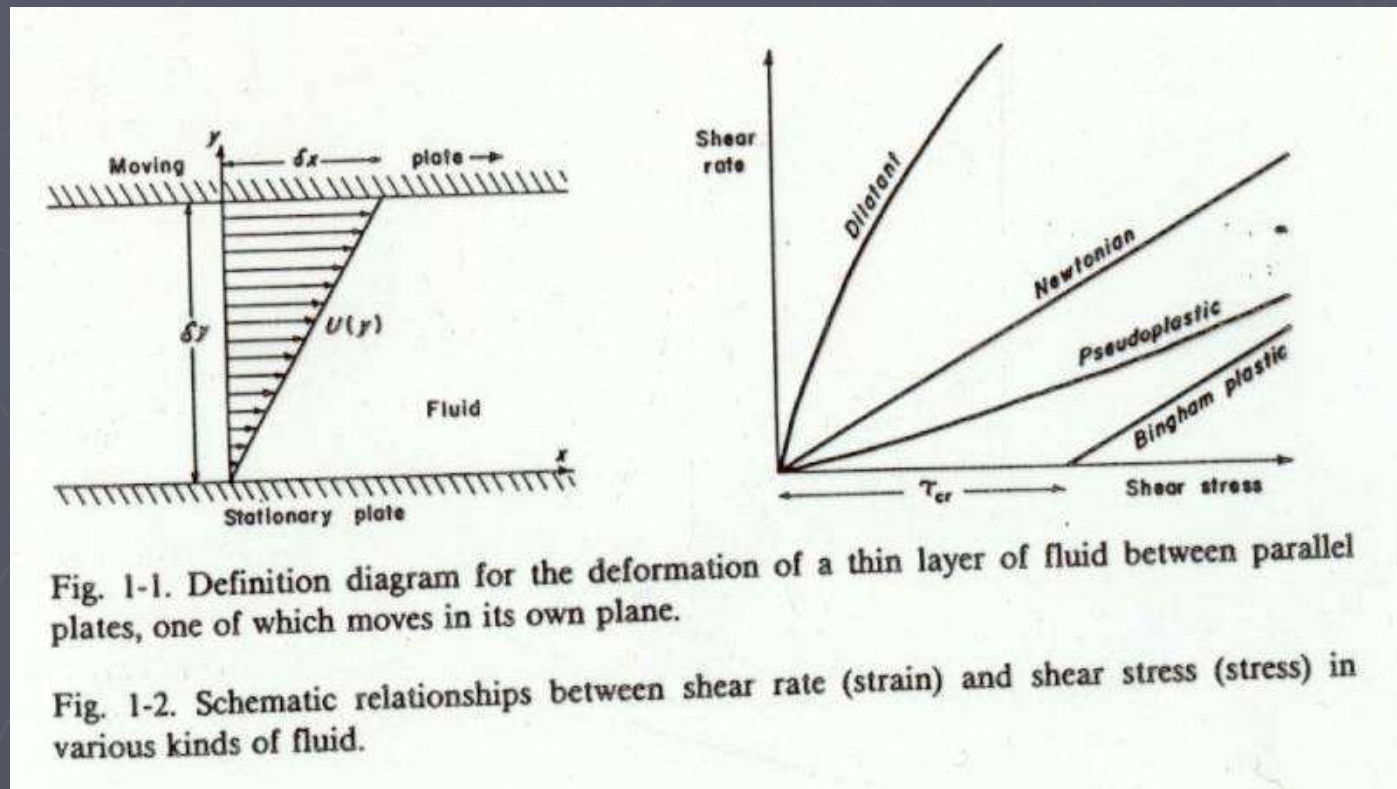
$$\tau = \eta \frac{dU}{dy}$$

kde  $\eta$  = dynamická viskozita  
**newtonovská kapalina**  
 (běžná směs voda-sediment, např. v řekách),

$$\tau = \tau_{cr} + \eta \frac{dU}{dy}$$

kde  $\tau_{cr}$  = mezní (kritické) smykové napětí

**binghamovská plastická látka**  
 (bahnotoky, lahary)





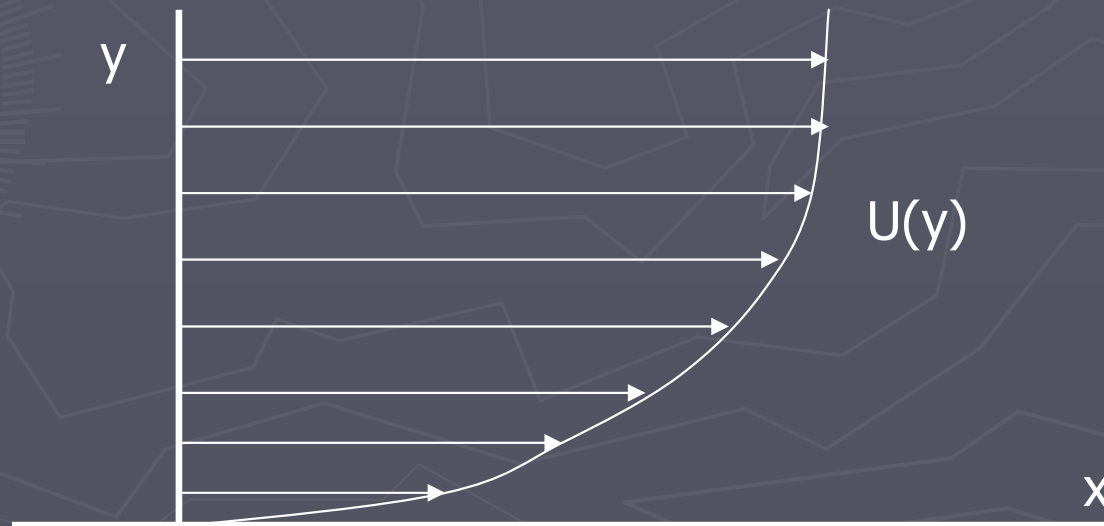
# Fyzikální principy transportu hraniční vrstva (boundary layer)

## HRANIČNÍ VSTVY

*Hraniční vrstva: zóna zpomalení kapaliny v blízkosti kontaktu s pevnou látkou, se kterou je kapalina v relativním pohybu*

### Hraniční vrstvy v newtonovských kapalinách

- - **rotující Země**
- **odstředivá síla:**  $v = mr\omega^2$ ,  $m$  = hmotnost částice,  $r$  = poloměr,  $\omega$  = úhlová rychlost
- **koriolisova síla:**  $F = 2mrU\sin Q$ ,  $U$  = rychlost částice,  $Q$  = zeměpisná šířka (0 na rovníku, max. na pólu)
- - **přímočarý pohyb na rovné desce (laboratorní modelování)**



# Reynoldsovo číslo

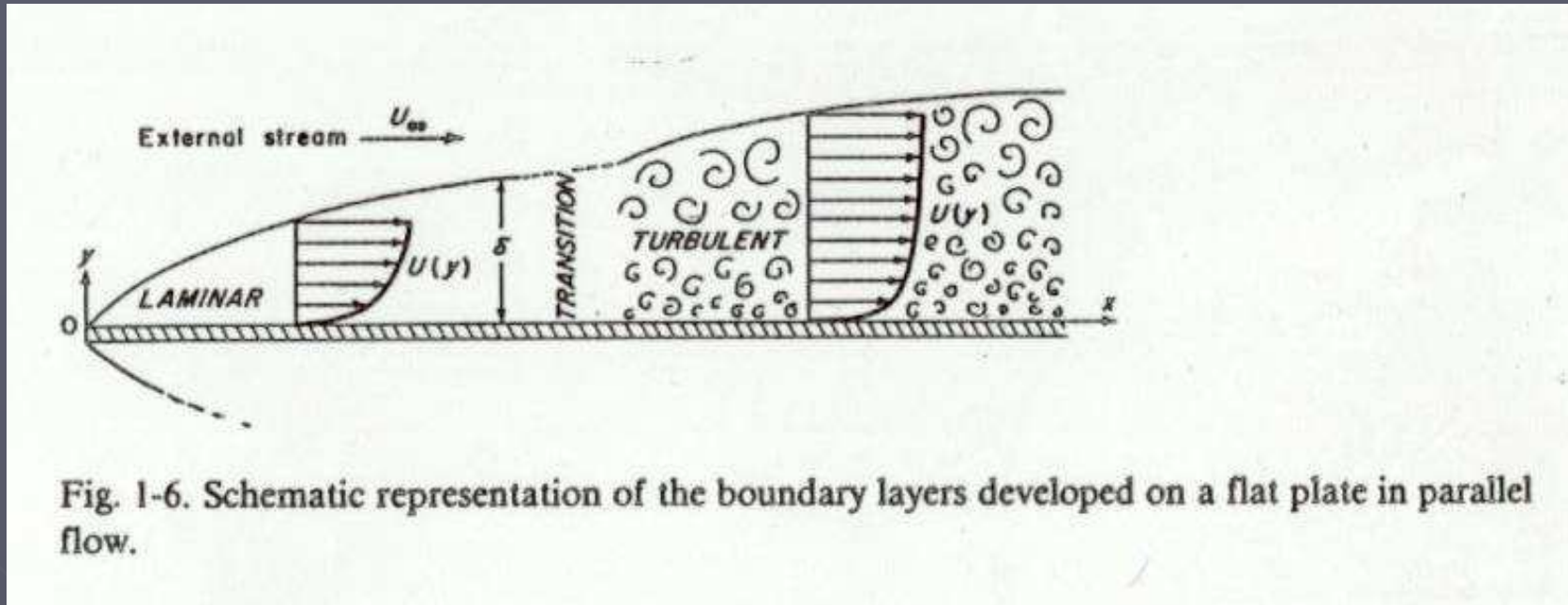


Fig. 1-6. Schematic representation of the boundary layers developed on a flat plate in parallel flow.

- přímočarý pohyb na rovné desce (laboratorní modelování)

smykové napětí hraniční vrstvy:

$$\tau_0 = 0,332 \rho U \left( \frac{\nu}{Ux} \right)^{1/2}$$

kde  $U$  = rychlost,  $x$  = vzdálenost,  
 $\rho$  = hustota,  $\nu$  = kinematická viskozita

$$Re = \frac{\rho U x}{\nu}$$

$Ux / \nu$  **Reynoldsovo číslo (Re)**: poměr inertních sil k viskózním silám v hraniční vrstvě

Přechod od **laminárního k turbulentnímu proudění**,  $Re =$  cca  $10^5$ , v závislosti na vzdálenosti, viskozitě, rychlosti proudění

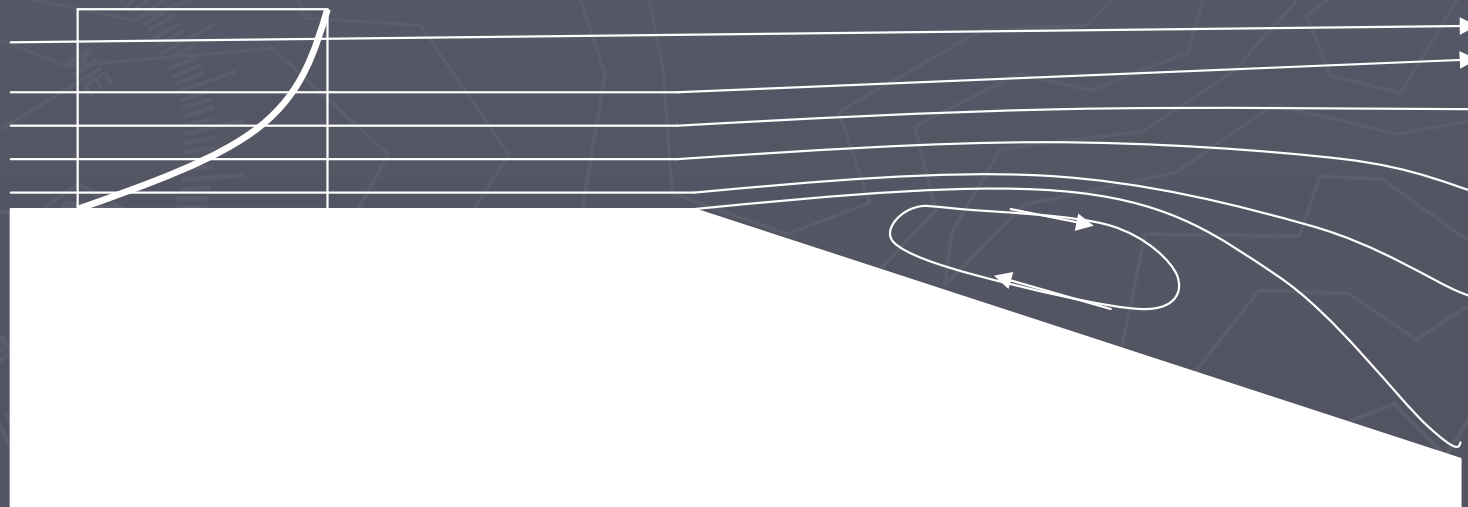
# Separace toku

V hraniční vrstvě **částice kapaliny, které jsou nejbližší podloží** (dnu) nebo přímo na dně, mají **nejnižší kinetickou energii**

Tyto částice budou silně ovlivněny při změně rychlosti toku (zpomalení, zrychlení) nebo v místě změny sklonu dna

**Zpomalení / ohyb dna směrem dolů** -> tyto částice se zastaví nebo se dokonce začnou pohybovat zpět, nahromaděná kapalina nutí hlavní tok téci výše ode dna a vyvine se zpětný proud – **separace proudu**

**Proudnice** se oddělí ode dna



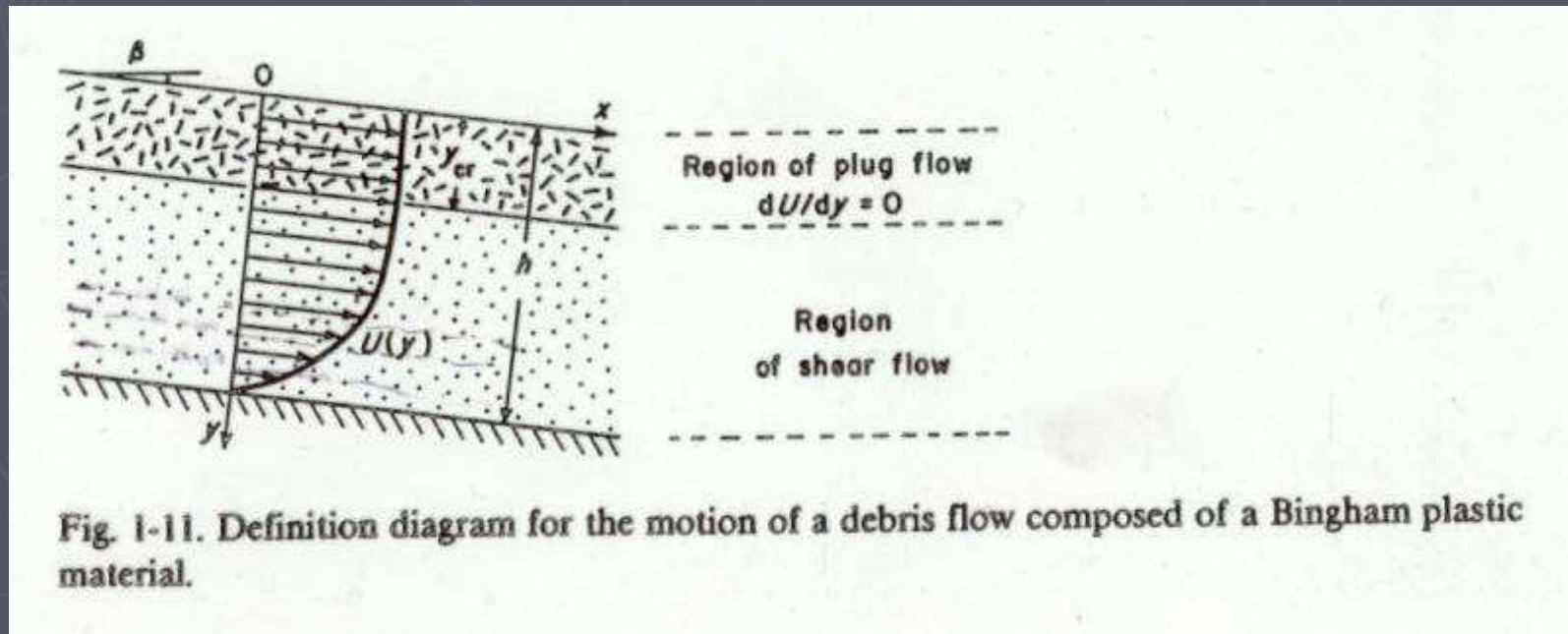
# Hraniční vrstva v binghamovských kapalinách

## Debris flow (úlomkotok):

Smykové napětí na dolní hraniční vrstvě

oblast smykového toku (smykové napětí  $> 0$ )

oblast rigidního toku (smykové napětí  $= 0$ )



# Voda v řekách

V případě zanedbatelné hloubky kanálu vzhledem k šířce

$$\tau_0 = \rho g \left( \frac{hw}{2h + w} \right) \sin\beta$$

kde  $\rho$  = hustota,  $\beta$  = sklon svahu  
 $h$  = hloubka,  $w$  = šířka kanálu

substitucemi -> při výpočtu smykového napětí a rychlosti:

$$U = \left( \frac{8g}{f} r S \right)^{1/2}$$

kde  $f$  = Darcy-Weisbachův koeficient tření,  $S$  = sklon,  $r$  = hydraulický poloměr

$$\frac{U}{\sqrt{gh}}$$

**Froudovo číslo (Fr)**, poměr inerních sil ke gravitačním silám během toku

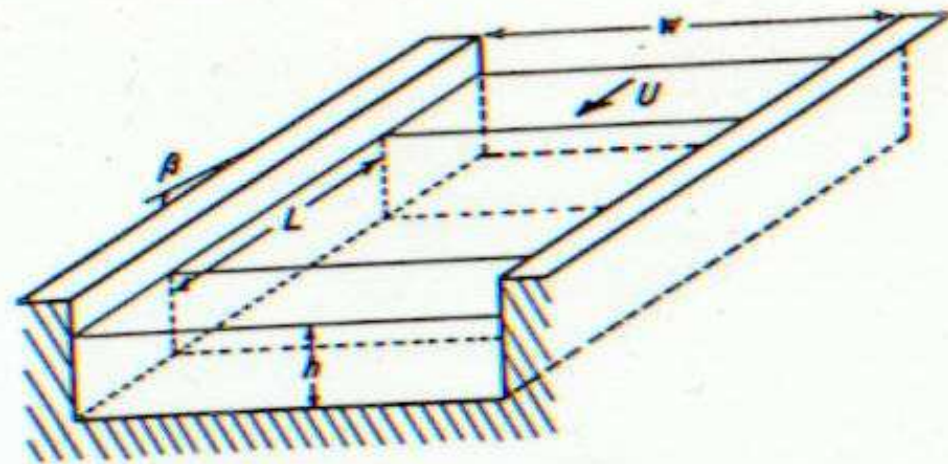


Fig. 1-12. Definition diagram for fluid flow in an open channel.

# Froudovo číslo

$Fr = 1$ ; kritický tok

$Fr < 1$ ; subkritický tok, povrchové vlny mohou cestovat, tlumit se nebo mizet směrem po proudu i proti proudu

$Fr > 1$ ; superkritický tok, příkré, stabilní povrchové vlny o trvalé amplitudě

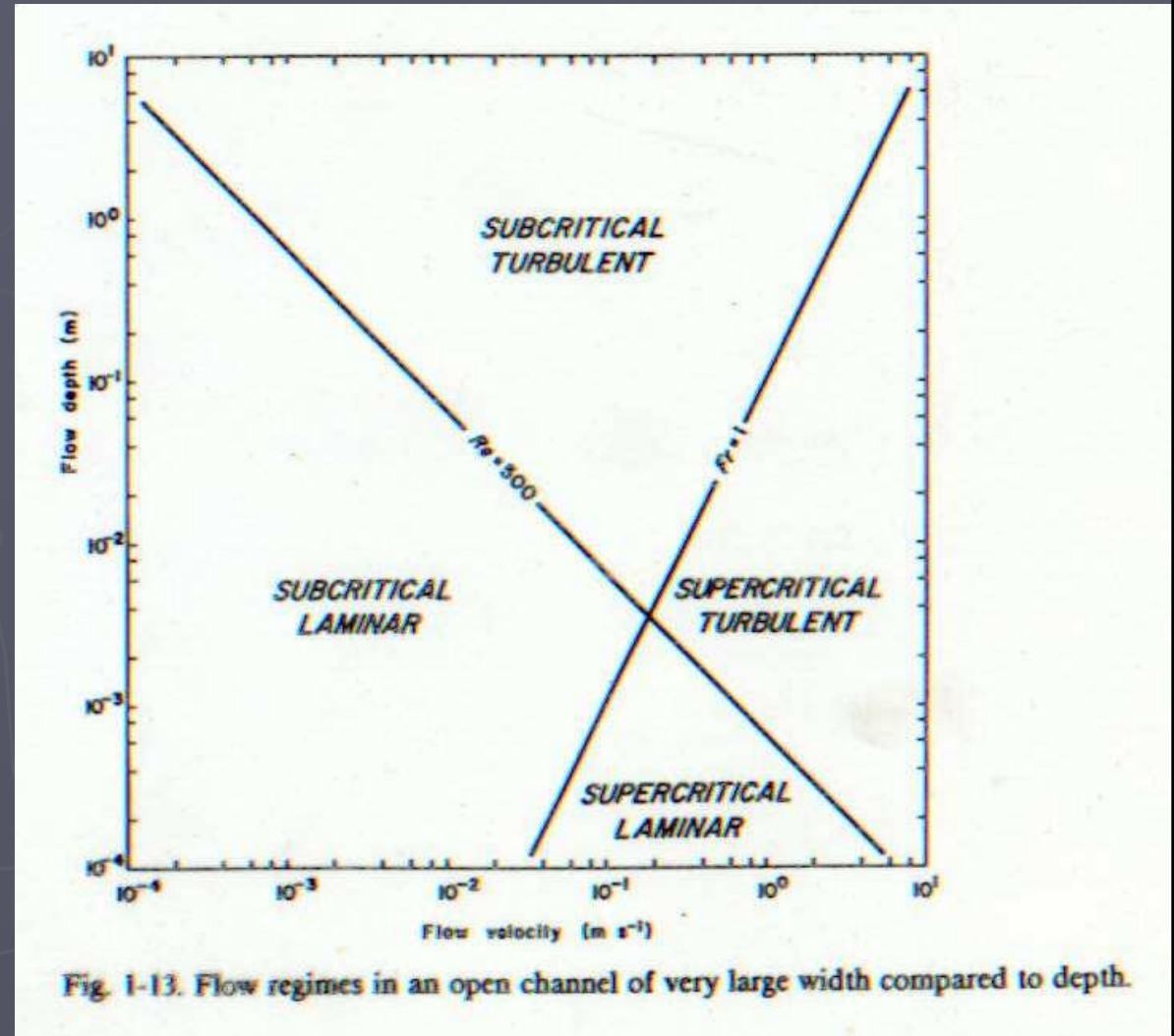
Režim toku s volným povrchem:

subkritický laminární - řeky

subkritický turbulentní – většina řek

superkritický laminární – toky tenkého filmu kapaliny na povrchu pevné látky

superkritický turbulentní



# Sedimentární textury: síla proudění (smykové napětí $\tau_0$ ) vs. velikost zrna

- ▶ DUNY:
  - Čeřiny
  - Megačeřiny

- ▶ LAMINÁRNÍ ZVRSTVENÍ

- ▶ ANTIDUNY

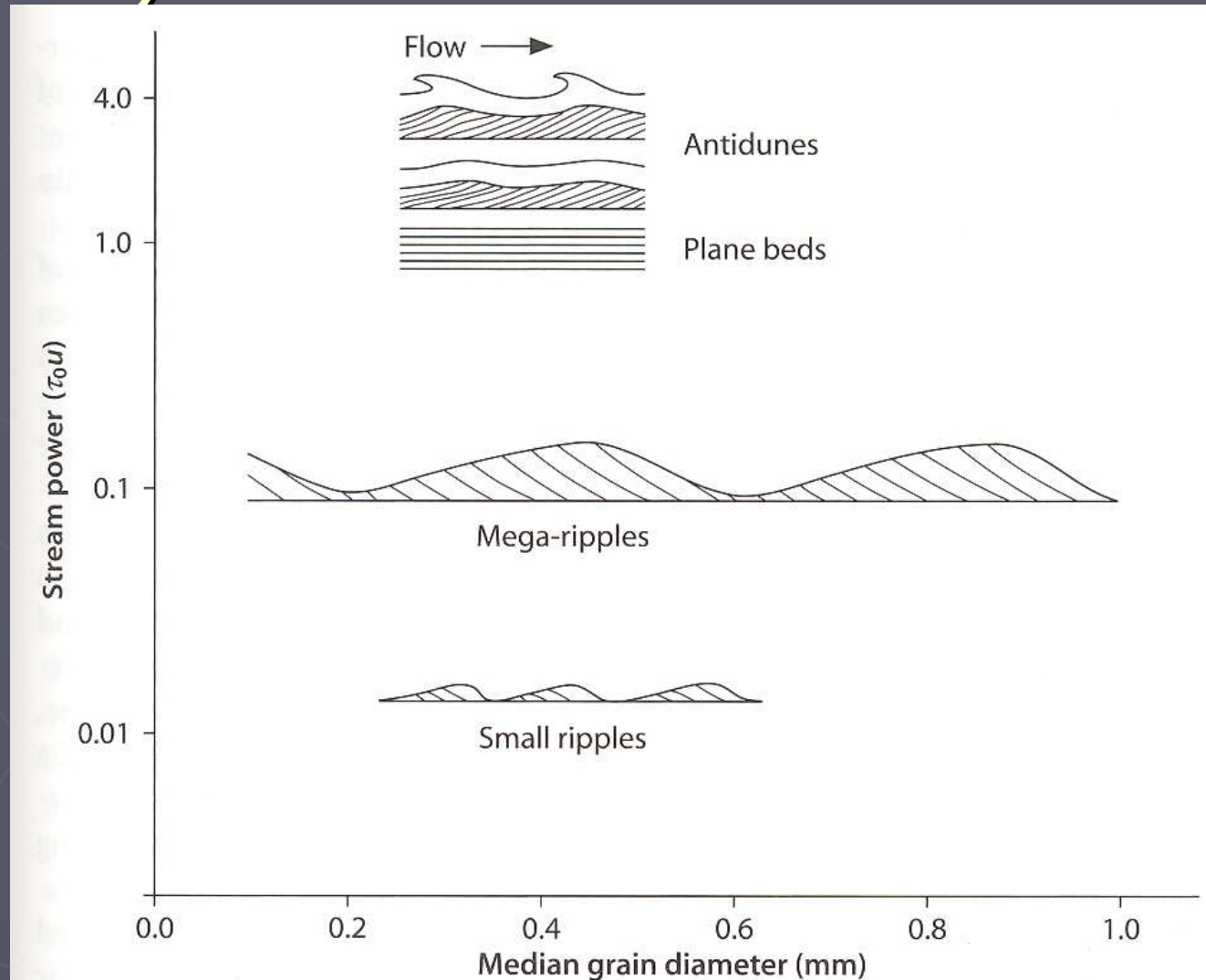
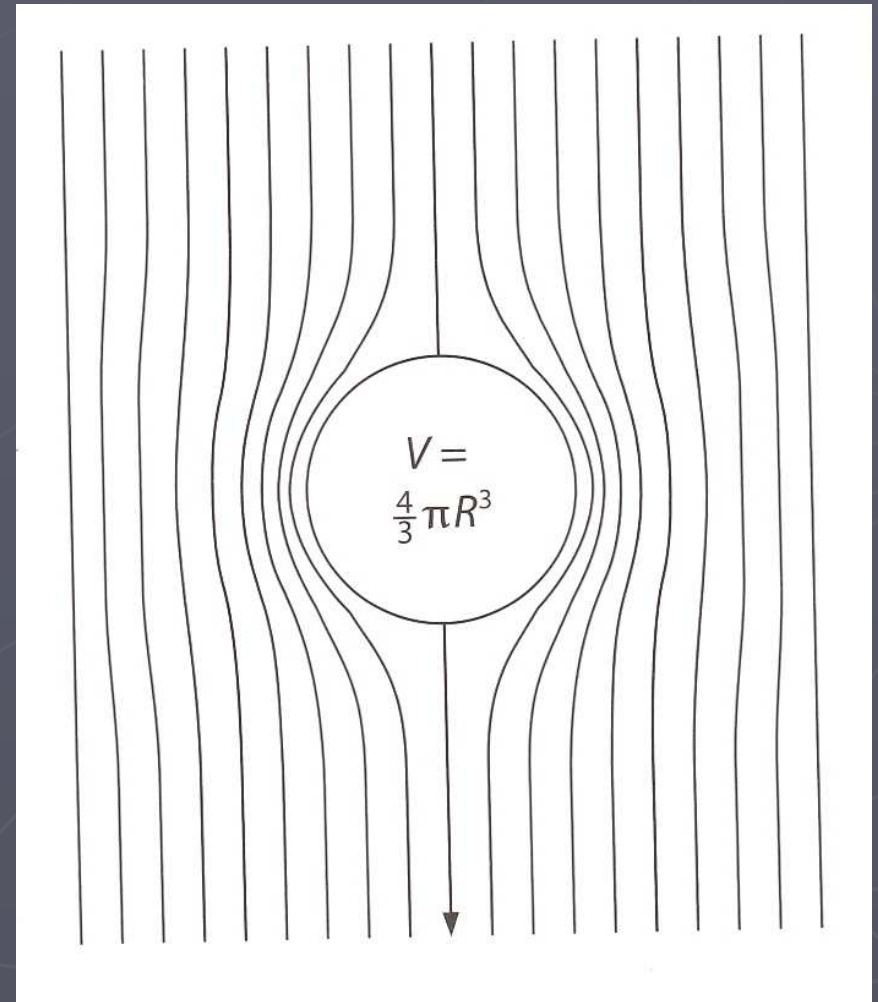


Fig. 7.4. Bedform and stream power (after Allen 1970). With an increase of stream power, the bedform of a stream channel or flume underlain by unconsolidated sediments changes from small ripples to mega-ripples, to plane beds to antidune

# Rychlost částice klesající ke dnu: Stokesův zákon

- ▶ 
$$u = \frac{1}{18} \frac{\rho_s - \rho_f}{\eta} g D^2$$
- ▶  $u$  = rychlost usazování
- ▶  $\rho_s$  = hustota pevné částice
- ▶  $\rho_f$  = hustota kapaliny
- ▶  $g$  = gravitační zrychlení
- ▶  $D$  = průměr částice
- ▶  $\eta$  = kinematická viskozita





# Režim proudění

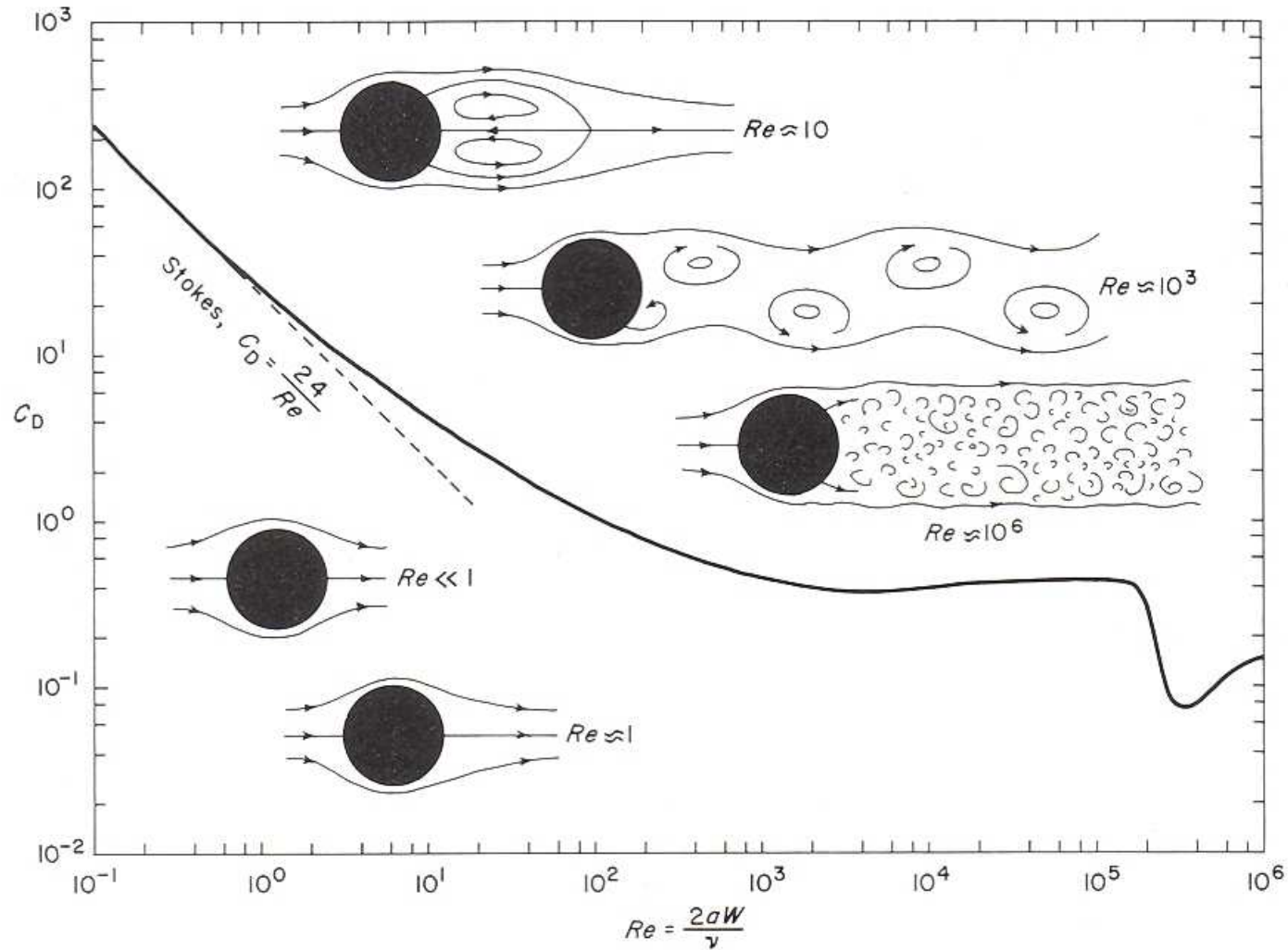


Fig. 2-9. Flow regimes for a spherical particle in relative motion with a fluid, superimposed on a graph for the drag coefficient as a function of particle Reynolds number.

# Vlnění, klasifikace vln

## Povrchové vlny

(hladina kapalin na styku s plynem: voda – vzduch)

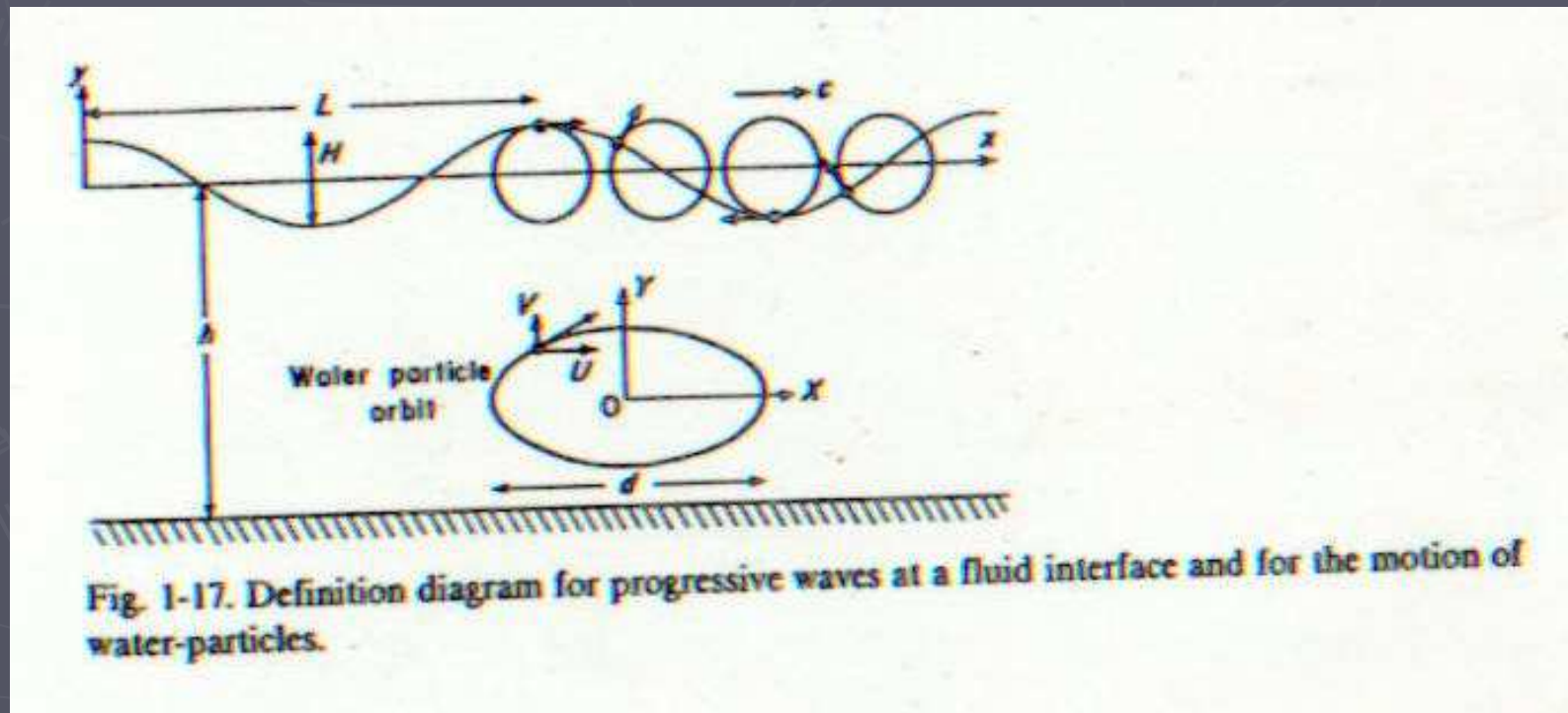
- větrné vlny (perioda do 20 s)
- přílivové vlny (perioda 12 nebo 24 hodin)
- kapilární vlny (perioda 0,1 s)

## poměr $h/L_0$ (hloubka dna / vlnová délka)

- |                              |                     |                |
|------------------------------|---------------------|----------------|
| ▪ krátké (hlubokovodní) vlny | $h/L_0 > 25$        | větrné vlny    |
| ▪ střední vlny               | $0,25 > h/L_0 > 25$ |                |
| ▪ dlouhé (mělkovodní) vlny   | $0,025 > h/L_0$     | přílivová vlna |

## Interní vlny

Vlny na styku dvou kapalin s různou hustotou a viskozitou (termoklina)



# Rychlost větru a výška vln na volném moři

TABLE I-II

Expected wave height in the open sea as a function of Beaufort wind force or wind speed at height of 10 m above the sea surface. After Frost (1966)

Mean wind speed at of 10 m ( $\text{m s}^{-1}$ )	Beaufort wind force	Descriptive term	Probable height of waves in open sea * (m)
0	0	calm	0
1.5	1	light air	0.1
3.3	2	light breeze	0.2
5.3	3	gentle breeze	0.6
7.5	4	moderate breeze	1.0
9.6	5	fresh breeze	2.0
11.9	6	strong breeze	3.0
14.3	7	near gale	4.0
16.7	8	gale	5.5
19.1	9	strong gale	7.0
21.7	10	storm	9.0
24.1	11	violent storm	11.5
26.8	12	hurricane	$\geq 14.0$

\* Heights less than tabulated values in inshore waters.

# Vlny reálné a ideální

## Reálné vlny

Spektra vln o různých vlnových délkách, periodách a výškách – statistické zpracování

- Význačná vlnová výška  $H_{1/3}$
- Význačná vlnová perioda  $T_{1/3}$

Průměrná výška a perioda jedné třetiny všech vln s nejvyšší výškou a periodou

## Ideální vlny

Airyho vlny (sinusoidní profil)



Stokesovy vlny (trochoidní profil)



Solitérní vlny

# Airyho vlny

Rychlost šíření vlny

$$c^2 = \frac{g}{k} \tanh(kh)$$

$h$  = hloubka vody,  $k = 2\pi/L$ ,  $g$  = gravitační zrychlení  
 $L$  = vlnová délka

**Rychlost postupu vln:** roste s hloubkou  $h$  (klesá s klesající hloubkou),  
Maximální horizontální orbitální rychlost

$$U_{\max} = \frac{\pi H}{T \sinh(kh)}$$

kde  $H$  = amplituda vlny,  $h$  = hloubka,  $T$  = perioda,  $k = 2\pi/L$

**Báze vlnění:** orbitální rychlost klesá rychle s hloubkou, při hloubkách  $L/2$  (**báze vlnění**) je zhruba 4% orbitální rychlosti na povrchu

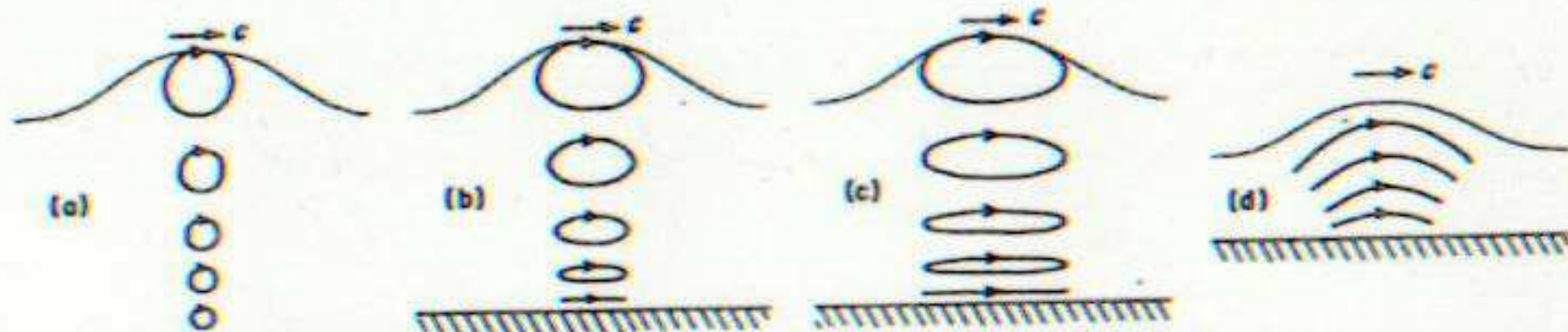


Fig. 1-19. Water-particle orbits beneath progressive surface waves of different types. a. Deep-water waves. b. Waves on water of intermediate depth. c. Shallow-water waves. d. Solitary wave.

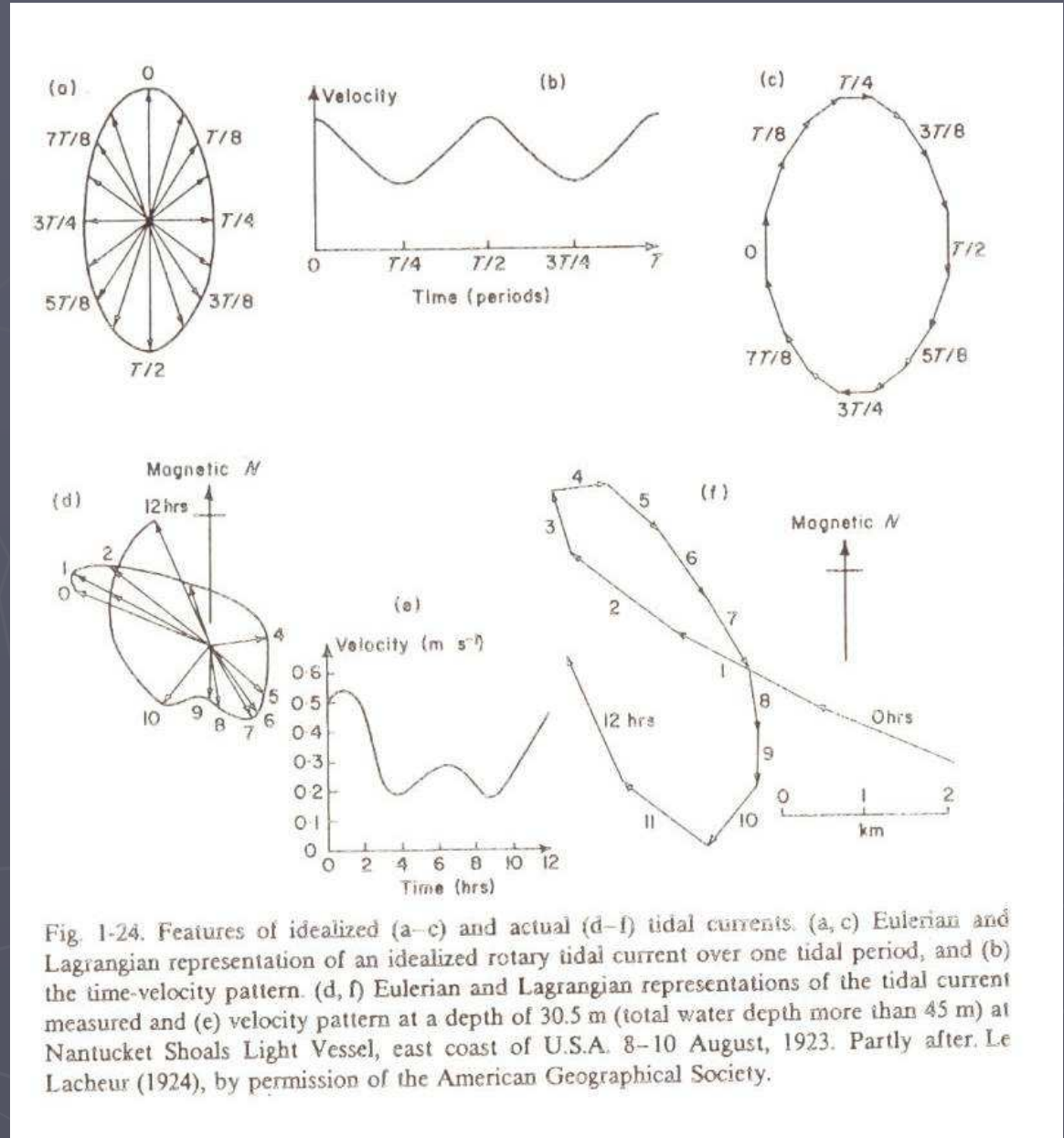
# Příliv a odliv

Denní příliv: mělkovodní vlna  
( $h/L < 0,025$ )

Rychlost:  $c = 0,1 - 0,6$  m/s

Vlnová délka: extrémně velká

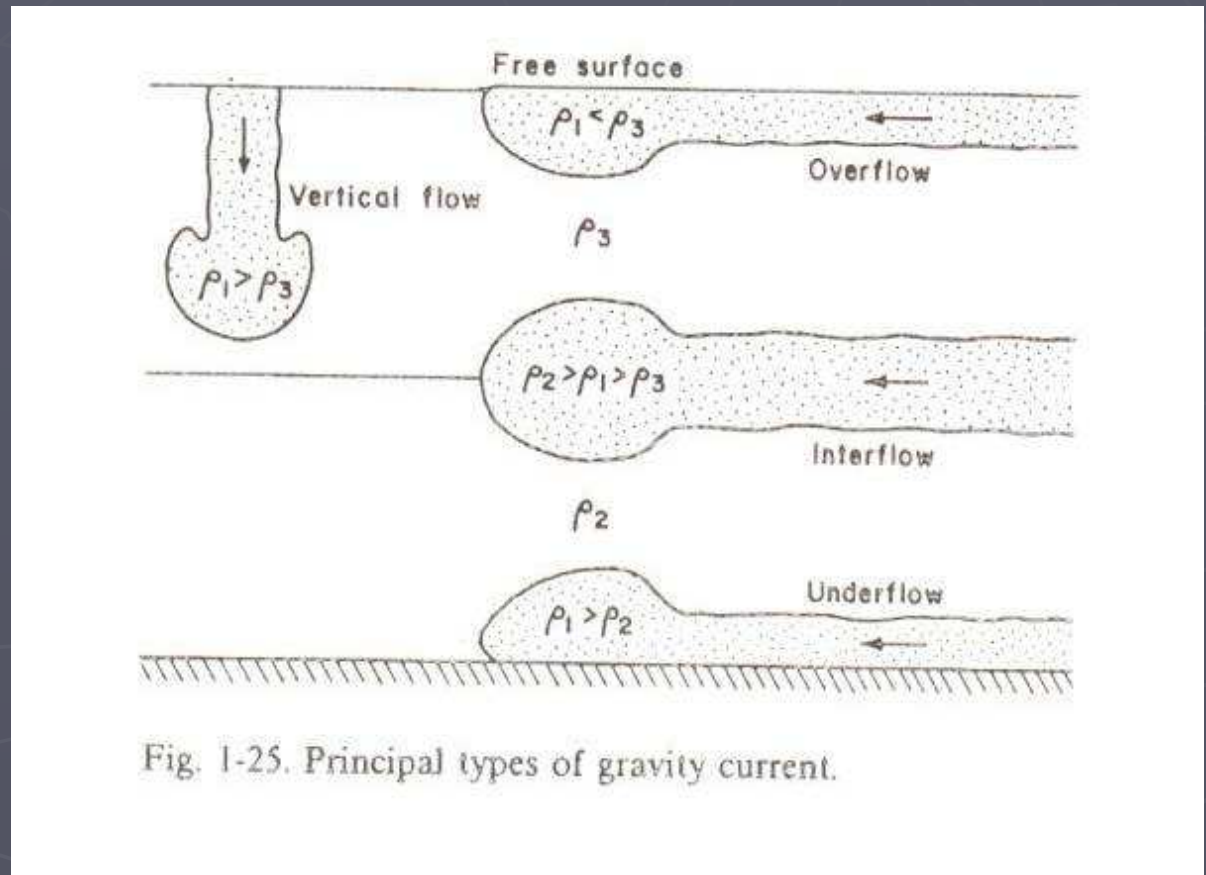
Průměr orbity: cca 10 km, rotační proud



# Hustotní proudy

Vzniká při vtoku kapaliny o určité hustotě do jiné kapaliny o jiné hustotě

- hypopyknický proud ( $\rho_1 > \rho_2$ )
- mesopyknický proud
- hyperpyknický proud ( $\rho_1 < \rho_2$ )

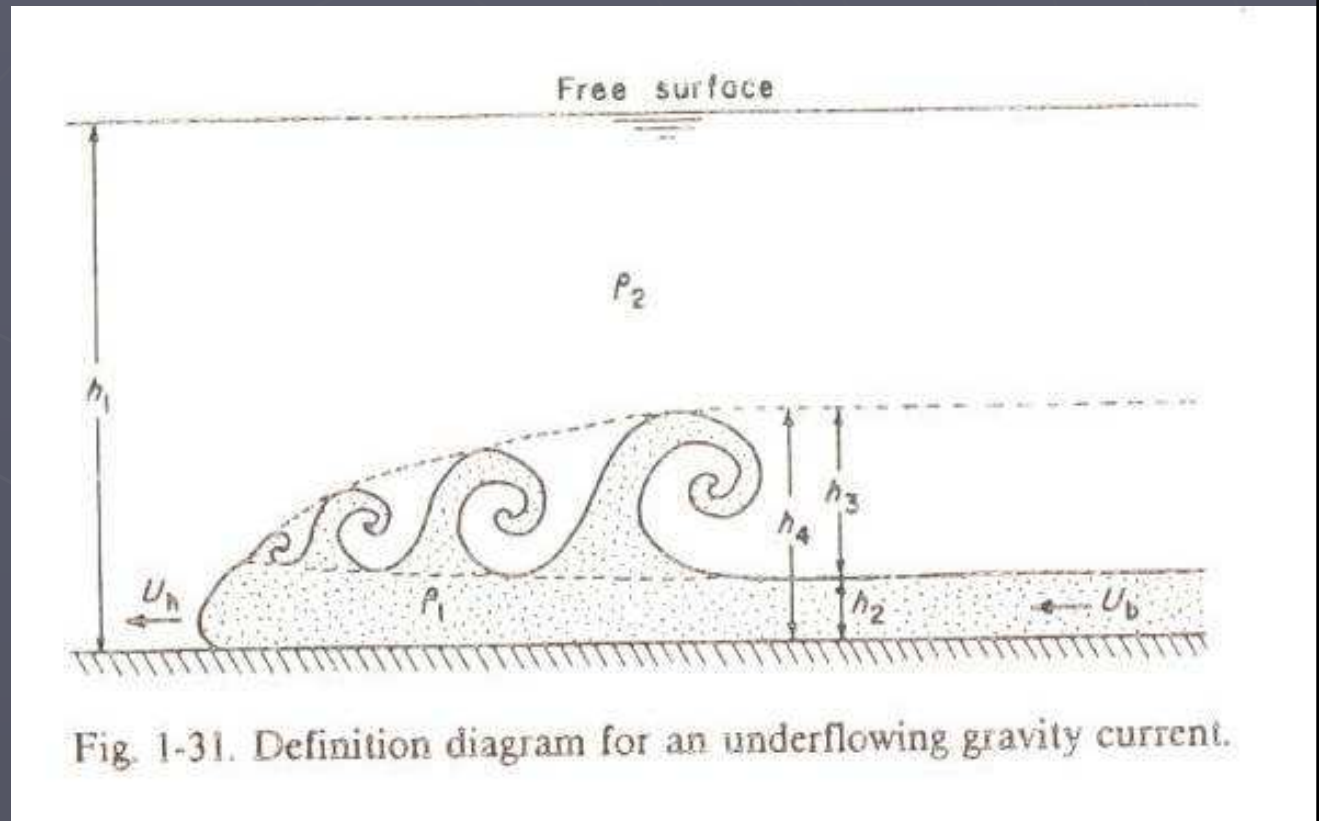


# Hyperpyknické proudy

hlava – tělo – ocas

Rychlost šíření hyperpyknického proudu

$$U_h = k \left| \frac{(\rho_1 - \rho_2)g}{\rho_2} h_2 \right|^{1/2}$$





# TYPY TRANSPORTU

## Gravitační transport

Prostředí: subaerické, submarinní

### **Bahnotoky, úlomkotoky**

Binghamovské plastické látky, soudržné, laminární proudění

**Uvedení do pohybu**: překonání prahového smykového napětí: přetížení svahu, zemětřesení, likvefakce (zkapalnění), sesuvy

**Ukládání**: snížení smykového napětí toku pod kritickou hodnotu (zpomalení toku), zmírnění sklonu svahu

### **Sesuvy, skluzy, kamenné laviny**

Elastické pevné látky, turbulentní proudění

**Uvedení do pohybu**: překonání prahového smykového napětí: přetížení svahu, zemětřesení,

**Ukládání**: snížení smykového napětí toku (zpomalení toku), zmírnění sklonu svahu

### **Zrnotoky**

Elastické pevné látky, nesoudržné, turbulentní proudění

**Uvedení do pohybu**: překonání prahového smykového napětí: přetížení svahu, zemětřesení,

**Ukládání**: snížení smykového napětí toku (zpomalení toku), zmírnění sklonu svahu

### **Turbiditní proudy**

Newtonovské kapaliny, turbulentní proudění

**Uvedení do pohybu**: hustotní rozdíl kapalin: zviření sedimentu ve vodě (zemětřesení, bouřky, podmořské sesuvy), povodně

**Ukládání**: zpomalení toku, zmírnění sklonu svahu

# Glaciální transport

Gravitačně indukovaný tok – led - non-newtonovská pseudoplastická látka, vysoká viskozita, převažuje laminární proudění

**Ukládání:** tavení a sublimace ledu



# Vodní a větrný transport

Newtonovské kapaliny, laminární a turbulentní tok

## Uvedení částic do pohybu:

převážně turbulentním prouděním na hraniční vrstvě (např. separace proudu)

- Transport naložením (bed load)
  - ▶ klouzání
  - ▶ válení
  - ▶ saltace
- Transport ve vzosu (suspension) – „plavání“ částic

Závisí na: hustotě kapaliny, smykovém napětí, rychlosti toku, dynamické viskozitě, Reynoldsově čísle (laminární / turbulentní proudění), Froudově čísle (subkritický / superkritický tok), velikosti a hustotě sedimentárních částic

Ukládání: snížení smykového napětí (zpomalení proudu)

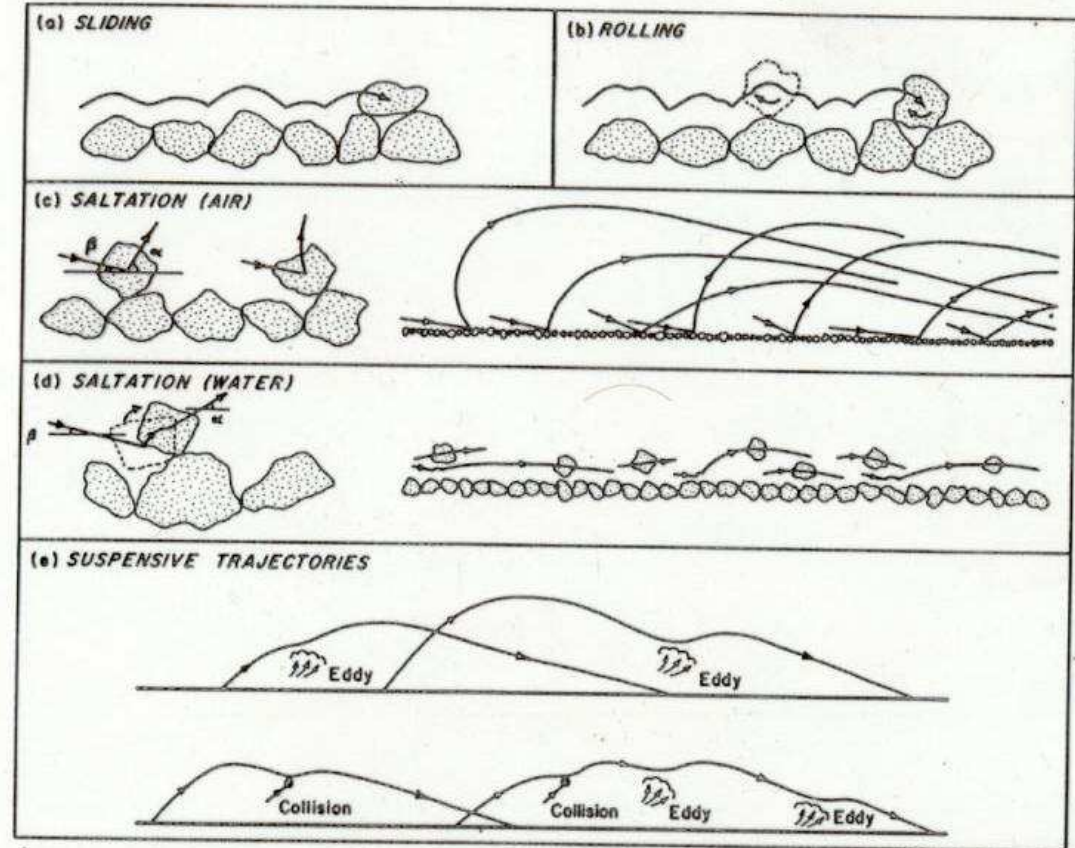


Fig. 2-13. Schematic representation of modes of particle motion during fluid-induced sediment transport.

# SEDIMENTÁRNÍ TEXTURY (Sedimentary structures)

**Struktura** – prostorové vztahy mezi zrny, zpravidla mikroskopické

**Textura** – prostorové uspořádání zrn, zpravidla makroskopické, tvary zpravidla větší než je velikost individuálního zrna

## **Textury:**

- ▶ Vrstevnatost
- ▶ Textury na vrstevních plochách
- ▶ Zvrstvení
- ▶ Ostatní textury

**Vrstvy** – deskovitá nebo čočkovitá tělesa jednotného petrografického složení

**Lamina** – druh vrstvy o malé mocnosti (< 1cm)

**Zvrstvení** – soubor vnitřních texturních znaků vrstev

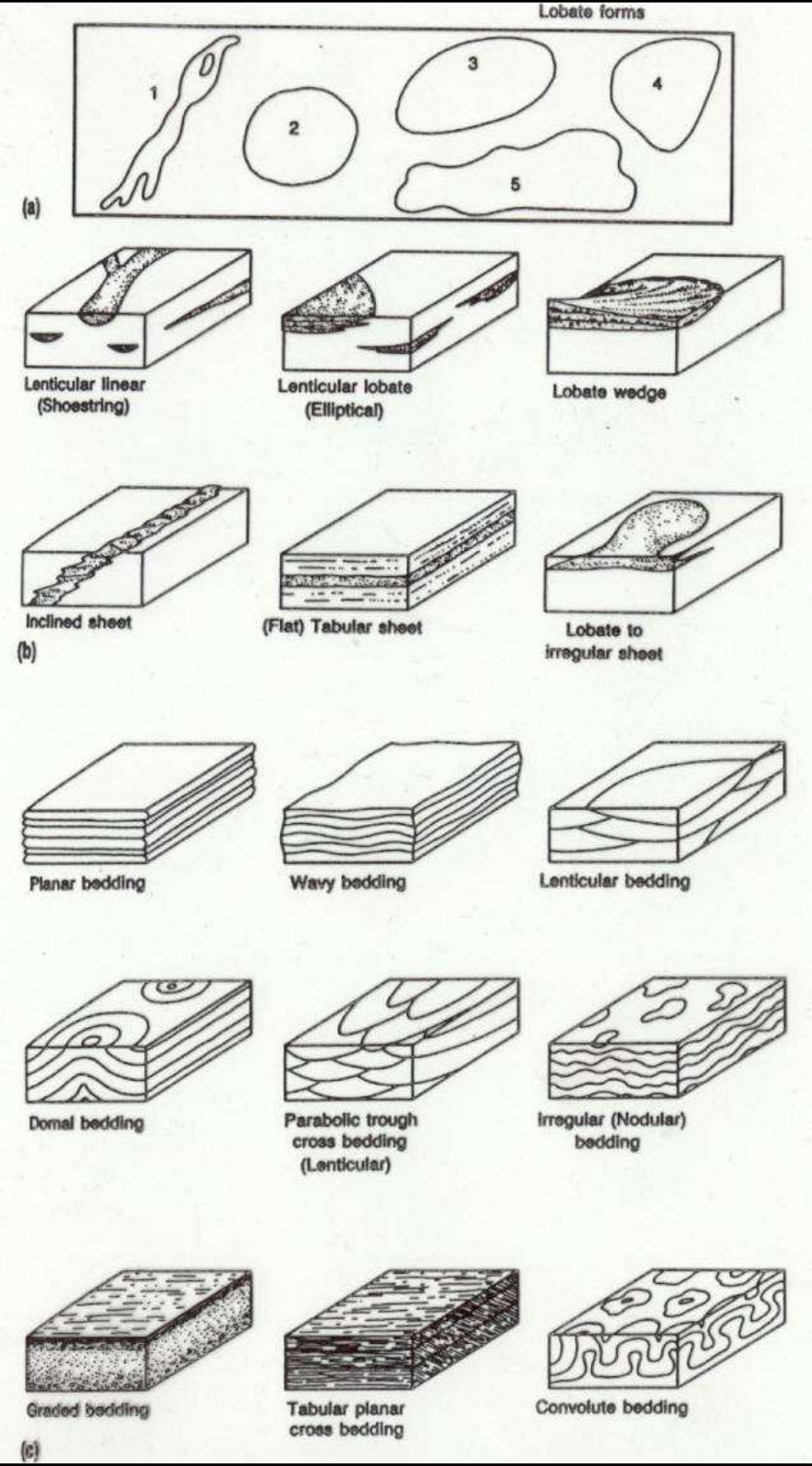
**Laminace** – druh zvrstvení o malé mocnosti

# Vrstevnatost

- ▶ Čočkovitá
- ▶ Tabulární (deskovitá)
- ▶ Lalokovitá

## Zvrstvení

- ▶ Gradační
- ▶ Zvlněné
- ▶ Výmolové šikmé
- ▶ Čočkovité
- ▶ Planární šikmé
- ▶ Nodulární (hlíznaté)
- ▶ Konvolutní





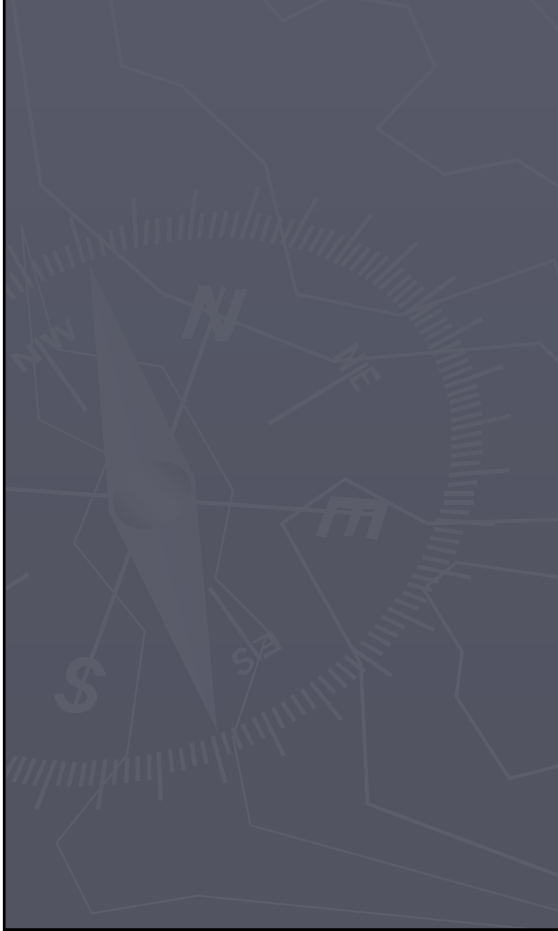
# Laminace

Uspořádání sedimentu do lamin II s vrstevními plochami

Geneze: laminace vzniklá opakováním podmínek sedimentace

- ▶ Sezónní laminace – algální laminity, stromatolity - přílivové plošiny, varvity)
- ▶ Epizodická laminace (událostní sedimentace) – spad pyroklastik
- ▶ Střídání energie proudu (turbidity) např. hranice mezi laminárním a turbulentním prouděním

# Laminace







# Parting lineation

primární proudová lineace na dělicích spárách

V laminovaných sedimentech (písky) – jednosměrné turbulentní proudění

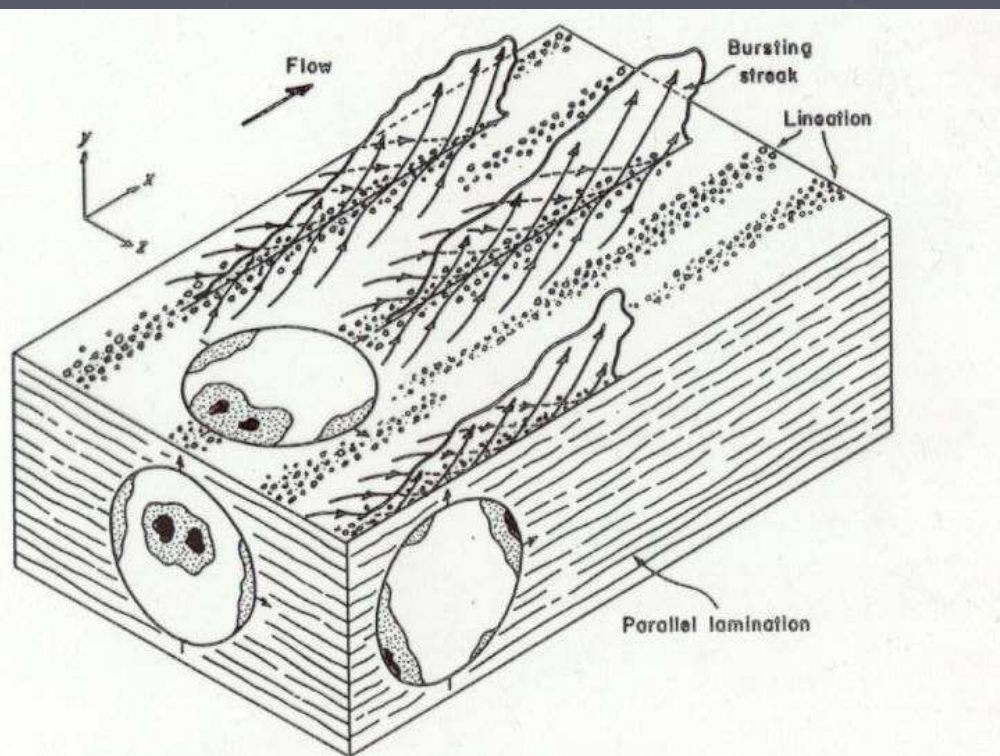


Fig. 6-14. A model for the origin of parting lineations by the action of boundary-layer streaks, in which the macroscopic structure and grain fabric (particle long-axis intersections with lower hemisphere in each plane as viewed) are integrated with the flow configuration (transient zones of flow separation and attachment associated with lifting and bursting streaks and associated inrushes).

# Gradační zvrstvení

- ▶ Zjemňování sedimentu do nadloží
- ▶ Pozitivní (normální) vs. negativní (inverzní)
- ▶ Vertikální gradace, laterální gradace

## Geneze:

- ▶ sedimentace ze suspenze, turbulentní proudění, zpomalování energie toku
- ▶ sedimentace naložením (bedload), zpomalování energie toku
- ▶ sedimentace z non-newtonovských kapalin – debris flows, laminární proudění, rigidní tok

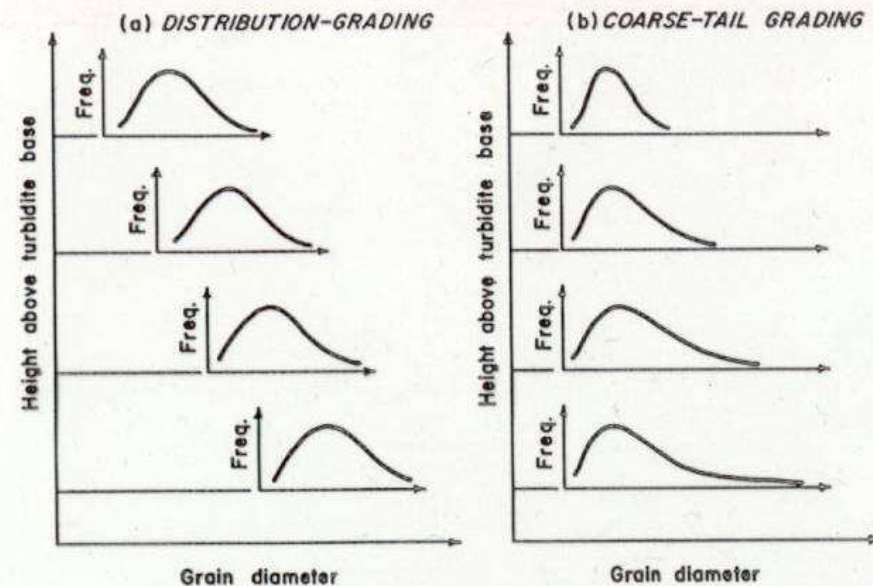
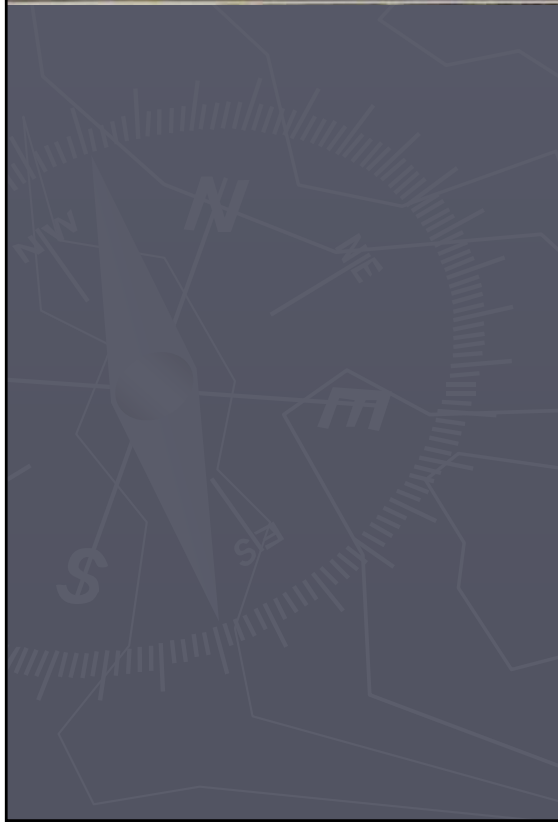


Fig. 10-4. Varieties of normal grading in turbidites, shown by idealized grain size-frequency curves at a series of levels in the bed.



# Šikmé (čeřinové) zvrstvení vrstevní tvary: asymetrické duny (čeřiny)

## Proudové (asymetrické) čeřiny a duny

- ▶ jednosměrné vodní proudění
- ▶ eroze na návětrné straně a sedimentace na závětrné straně
- ▶ migrace po směru proudění
- ▶ čeřiny  $< L=0,6m > =$  duny až několik stovek m

## Eolické duny, barchany, příčné duny

- ▶ jednosměrné větrné proudění
- ▶ eroze na návětrné straně a sedimentace na závětrné straně
- ▶ migrace po směru proudění

## Iniciace:

- ▶ Místní nerovnosti na granulárním povrchu v podmínkách proudění newtonovské kapaliny
- ▶ Zpomalení a separace proudu na závětrné straně

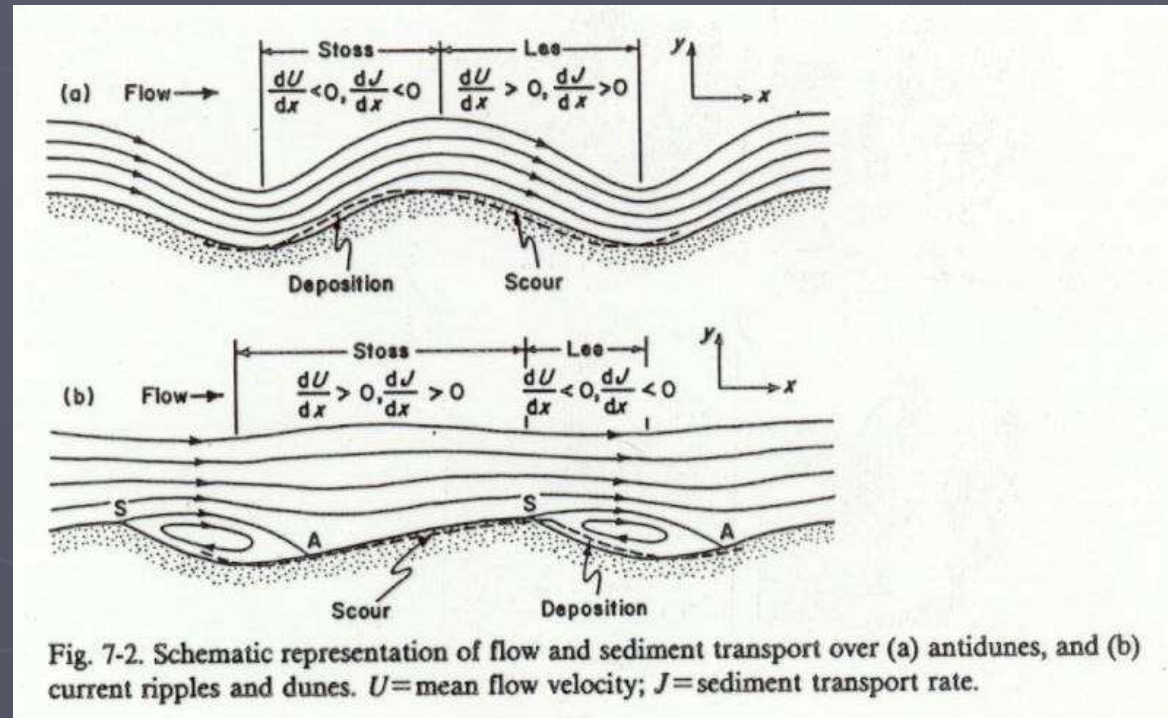
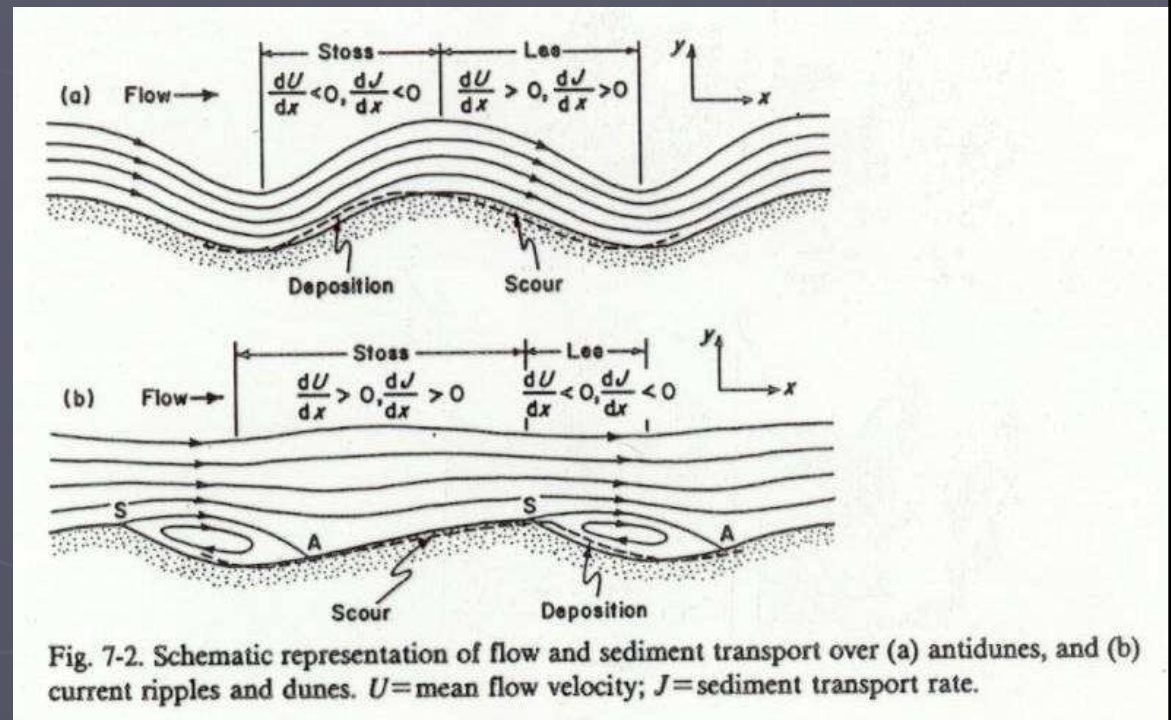


Fig. 7-2. Schematic representation of flow and sediment transport over (a) antidunes, and (b) current ripples and dunes.  $U$ =mean flow velocity;  $J$ =sediment transport rate.

# Antiduny

- ▶ Jednosměrné vodní proudění s volným povrchem – ve fázi s povrchovým prouděním kapaliny
- ▶ Stacionární (nemigrují) nebo migrují proti směru proudění
- ▶ Sedimentace na návětrné straně, eroze na závětrné straně
- ▶  $L \leq 10m$



# Soustavy dun (čeřin)

## Dělení podle úhlu vertikální akrece (rychlosti sedimentace)

- ▶ Superkritické : úhel vertikální akrece (šplhání)  $>$  sklon náběhové hrany
- ▶ Subkritické : úhel vertikální akrece (šplhání)  $<$  sklon náběhové hrany

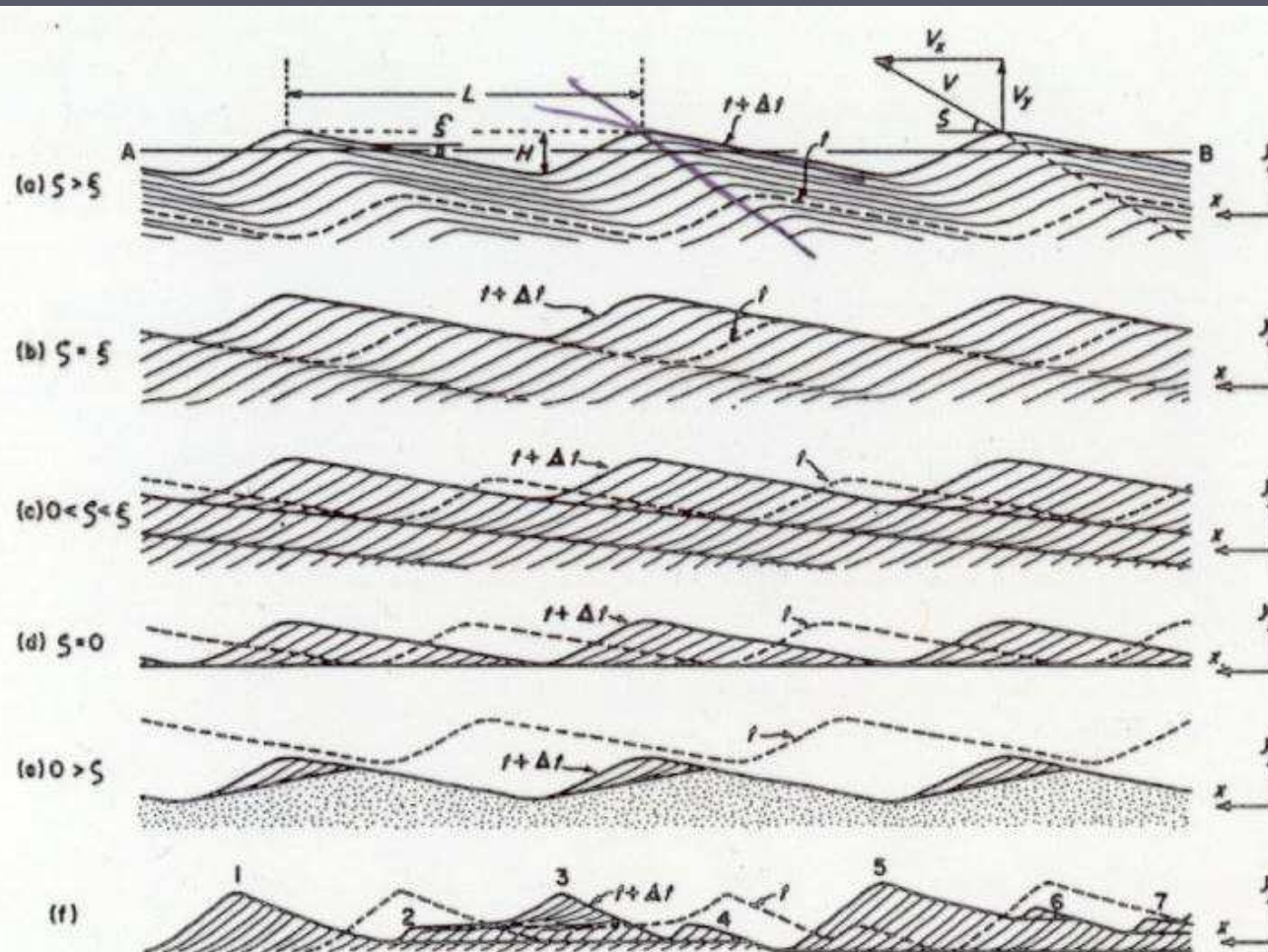


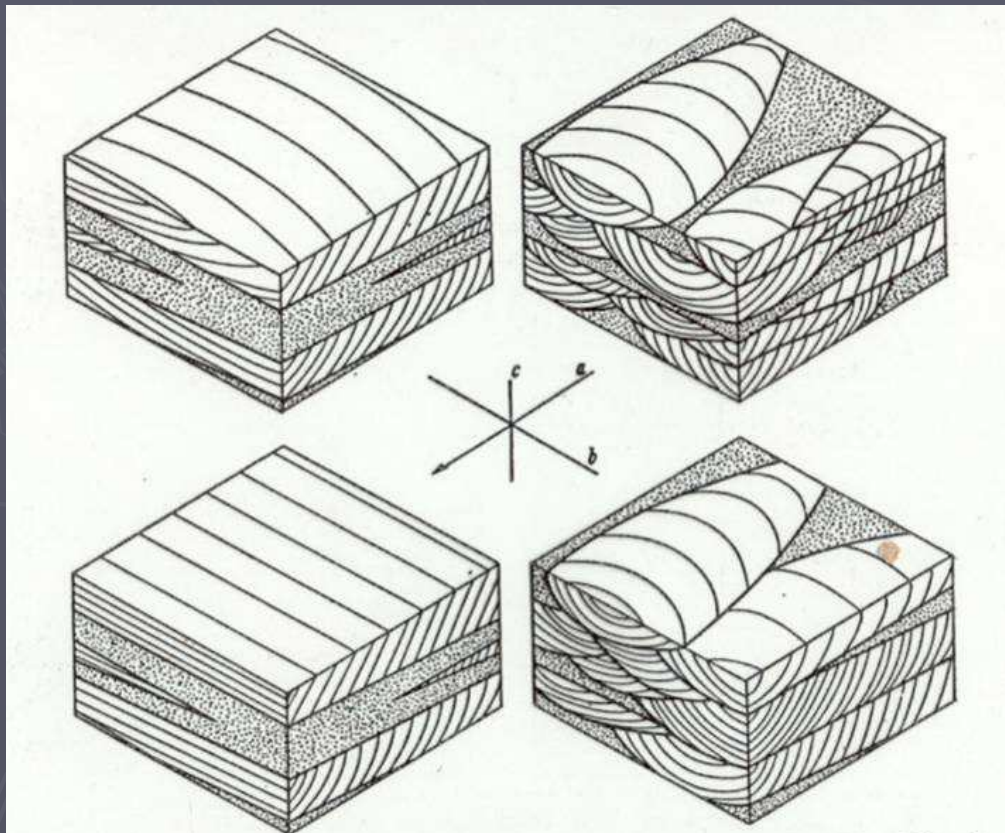
Fig. 9-5. Effect of angle of climb (relative deposition rate) on the steady migration of uniform bedforms.

# Šikmé zvrstvení: soustavy čeřin (dun)

Šikmé zvrstvení: laminy  $\setminus$  k vrstevním plochám

Dělení podle tvaru mateřského vrstevního tvaru (dun, čeřiny)

- ▶ Planární
- ▶ Výmolové



55. Dva hlavní typy šikmého zvrstvení. Vlevo planární zvrstvení, vpravo výmolové. Uprostřed osní kříž, který značí standardní označení os. Podle Pottera a Pettijohna (1963).

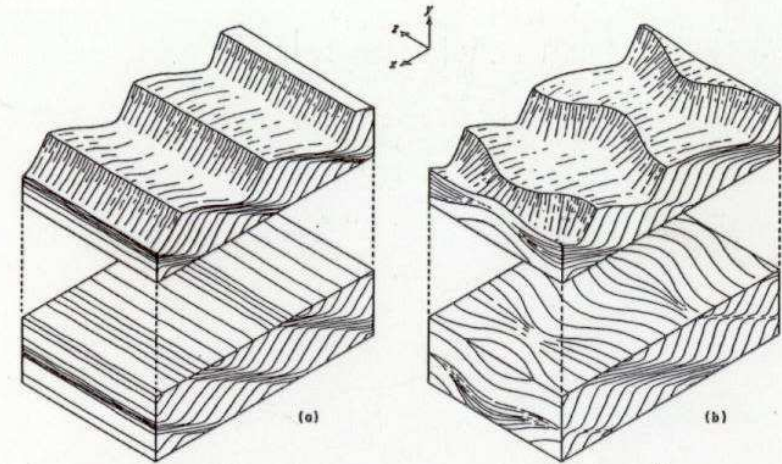


Fig. 9-13. Schematic forms of supercritical cross-stratification in relation to the shape of the parent bedforms.

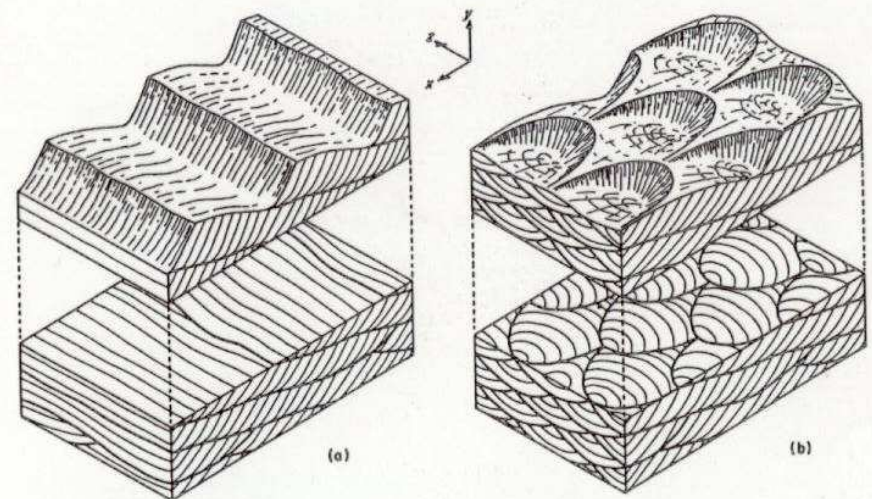


Fig. 9-9. Schematic forms of subcritical cross-stratification in relation to the shape of the parent bedforms.



# Typy šikmého zvrstvení

- ▶ Superkritické výmolové
- ▶ Superkritické planární
- ▶ Subkritické výmolové
- ▶ Subkritické planární
- ▶ Forms sets (zvrstvení zachovávající původní vrstevní tvary)

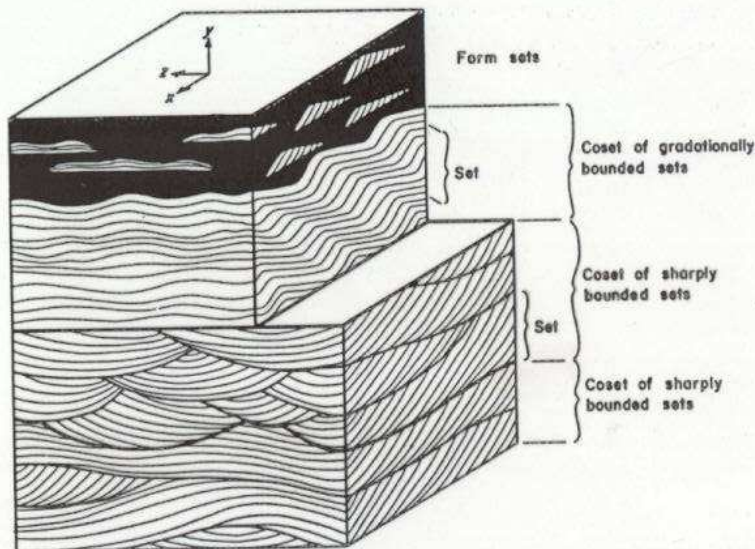


Fig. 9-1. Morphological features of cross-stratification sets.

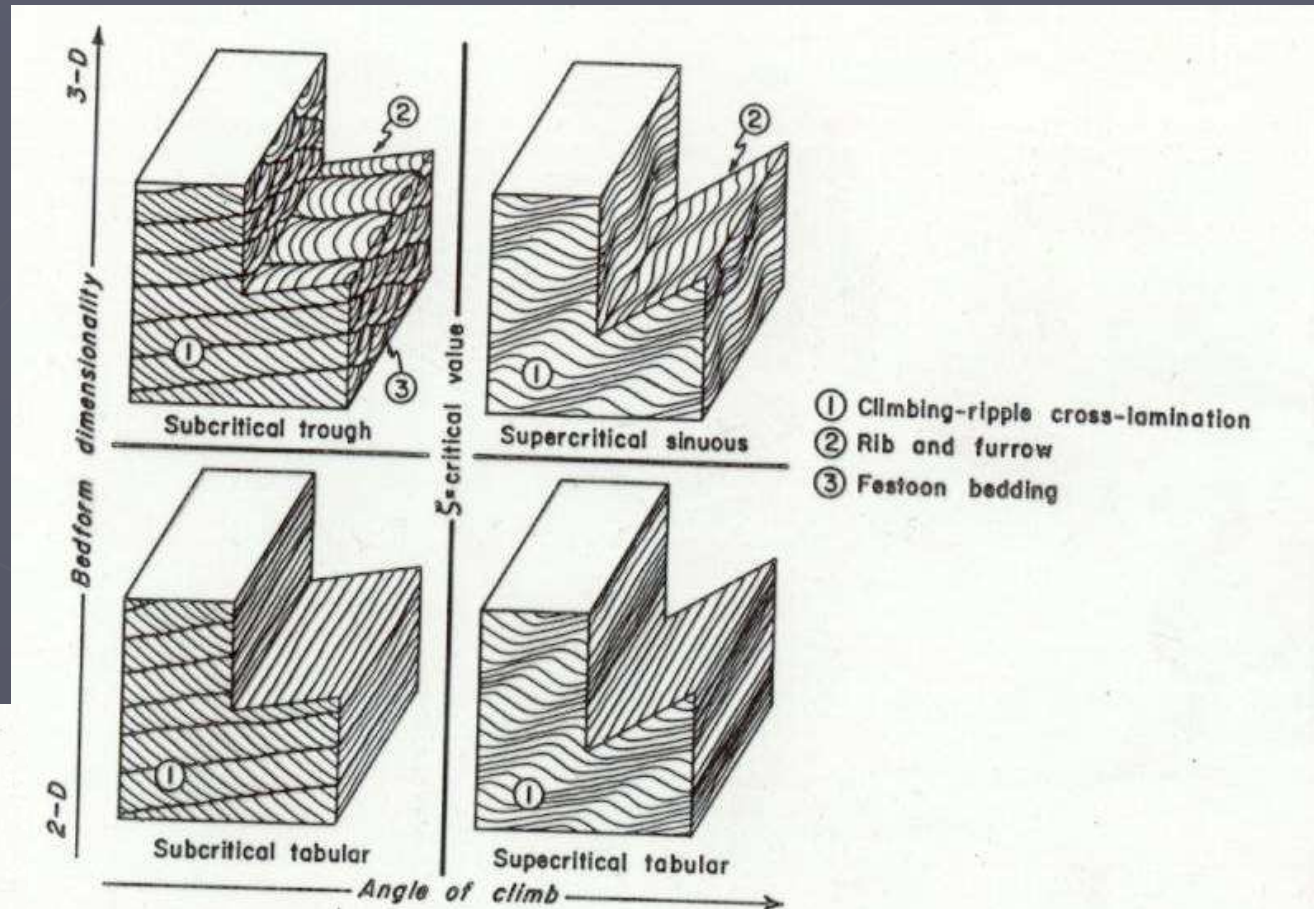
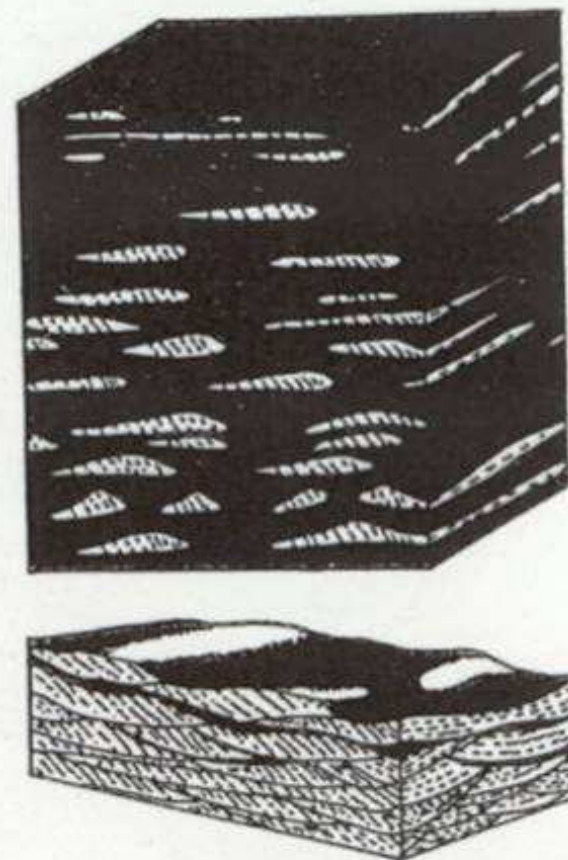


Fig. 9-3. End-member types of grouped cross-stratified sets, depicted in terms of bedform dimensionality and climb (relative deposition rate). The block diagrams depict the structure in vertical planes parallel and normal to flow, and in the plane of climb.

# Další typy šikmého a čerňového zvrstvení

- ▶ Čočkovité zvrstvení
- ▶ Mázdřité zvrstvení



63. Nahore čočkovité zvrstvení (izolované čochky písku v jílu), dole mázdřité zvrstvení (systém čeřin s jílovými povlaky).

# Symetrické (vlnové) čeriny

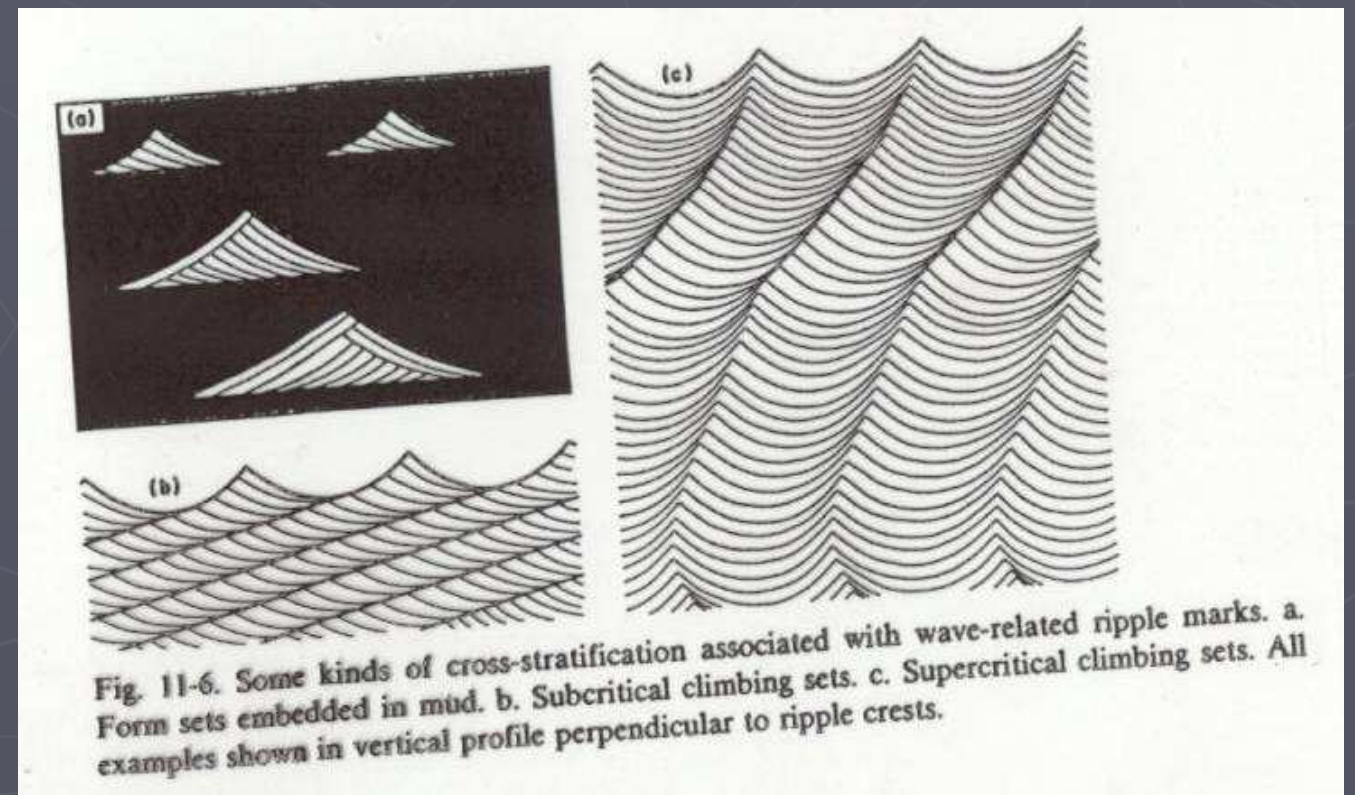
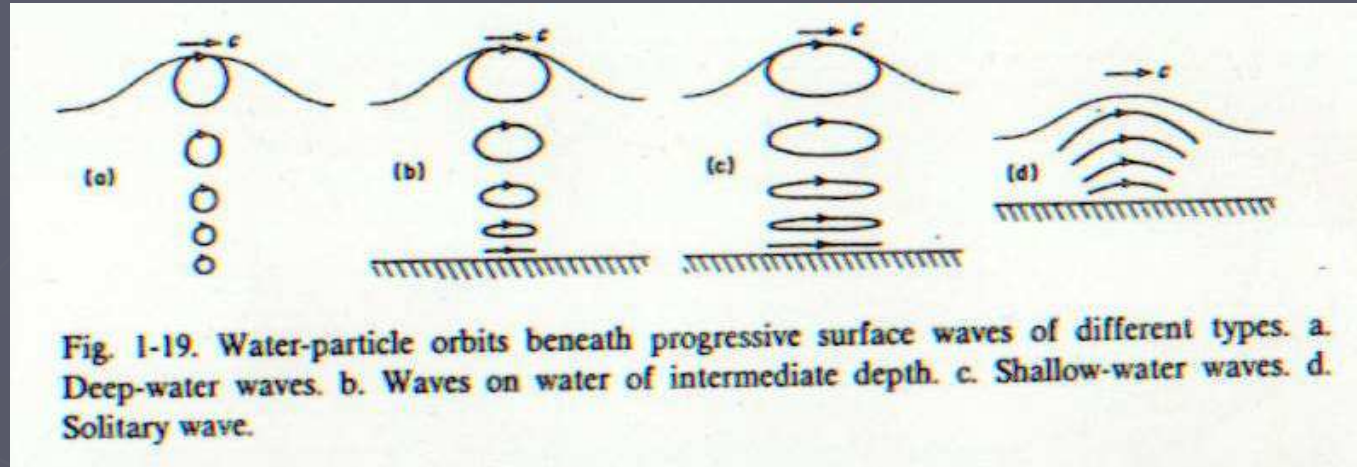
Protisměrná oscilace  
vodních částic

## Soustavy čerín

- ▶ Subkritické
- ▶ Superkritické

## Hřbítkovité zvrstvení

Hummocky cross-  
Stratification (HCS)



# Interpretace depozičního prostředí

**Tabulka 43**

Výskyty jednotlivých typů čefin v různých sedimentačních prostředích (Reineck a Singh 1980)

Prostředí	Proudové mega-čefiny	Malé proudové čefiny	Vlnové čefiny	Šplhavé čefiny	Rhombické čefiny	Antiduny
řeka	+++	+++	+	+++	+	+
jezero	-	+	++	-	-	-
jezerní pláž	-	++	+++	-	+	+
laguny	-	+	++	+	-	-
litorál	++	+++	-	+	-	-
výčasové kanály	+++	+++	-	+	-	-
mořská pláž	++	++	+++	+	++	++
šelf s pískem	++	++	+	-	-	-
pevninský svah a úpatí	-	+	-	-	-	-
oceánské pánve	-	+	?	-	-	-
turbiditové vějíře	+	++	-	++	-	+
podmořské hory	-	++	+	-	-	-

+++ velmi hojně    ++ hojně    + vyskytují se    - nebyly nalezeny



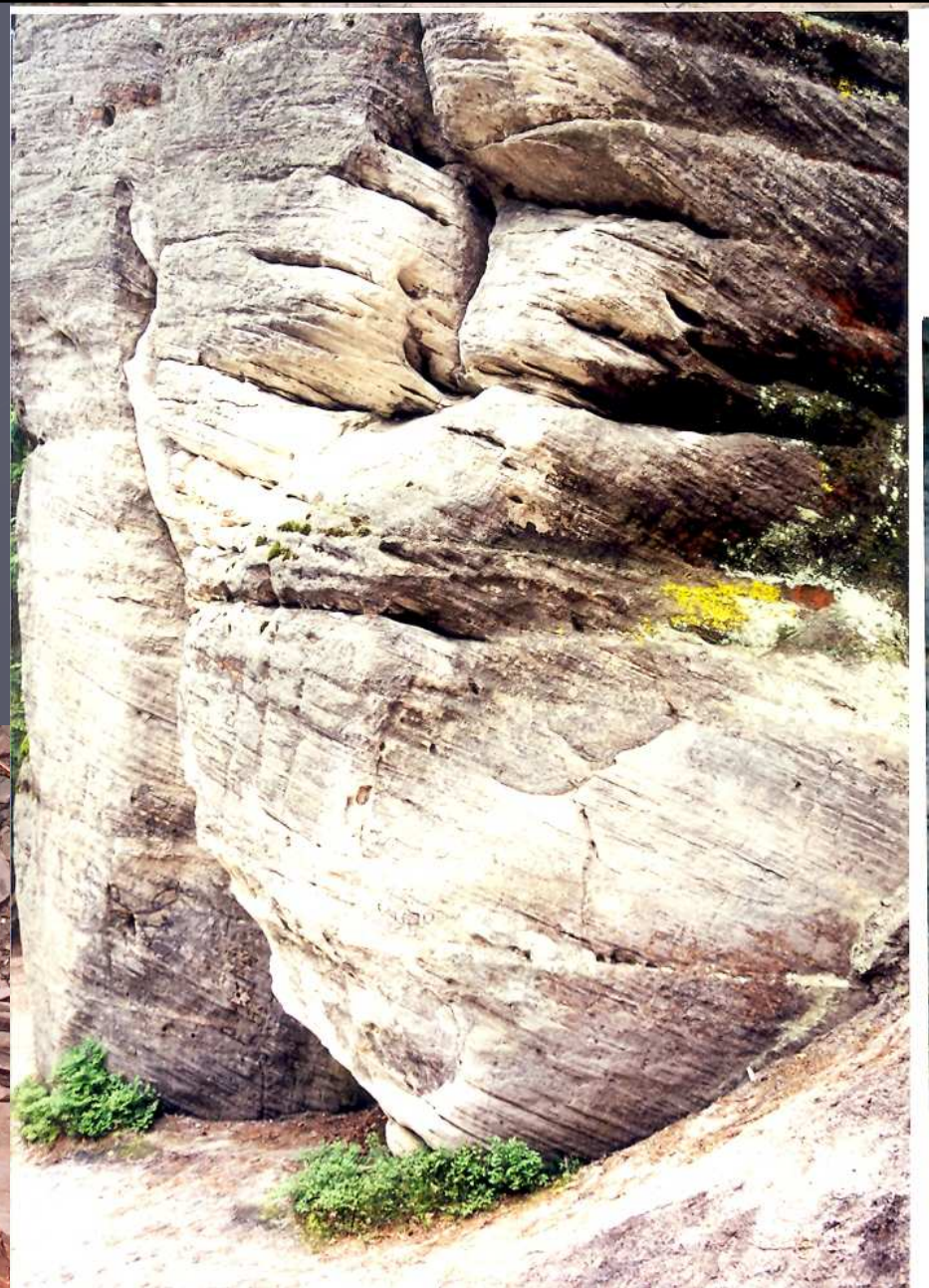




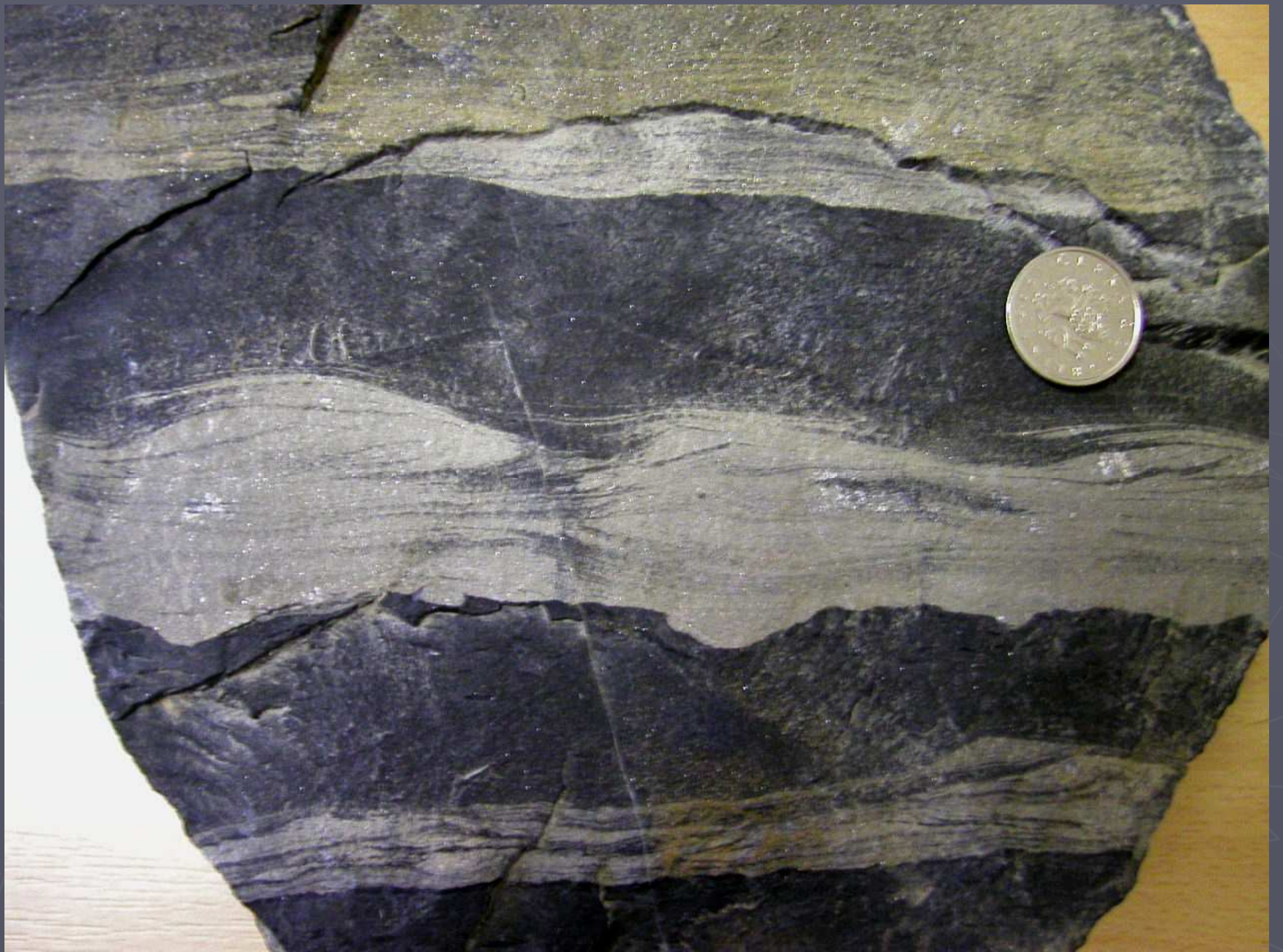


















# Textury na vrstevních plochách

## Proudové textury

Jazykovitý tvar, spodní plochy vrstev, výlitky, smysl proudění  
Turbulentní proudění, eroze nezpevněného podloží, vyplnění nadložním sedimentem

## Rýhování (vlečné rýhy)

Spodní plochy vrstev, výlitky, směr proudění

## Vtisky

Boulovitý tvar, vtiskování hrubozrnnějšího materiálu do jemnozrnnějšího  
vlivem tlaku nadloží

Pseudonodule (ball and pillow)

## Bahenní praskliny

Vysoušení jemnozrnného sedimentu  
rychlé odvodnění sedimentu pod hladinou

## Otisky dešťových kapek

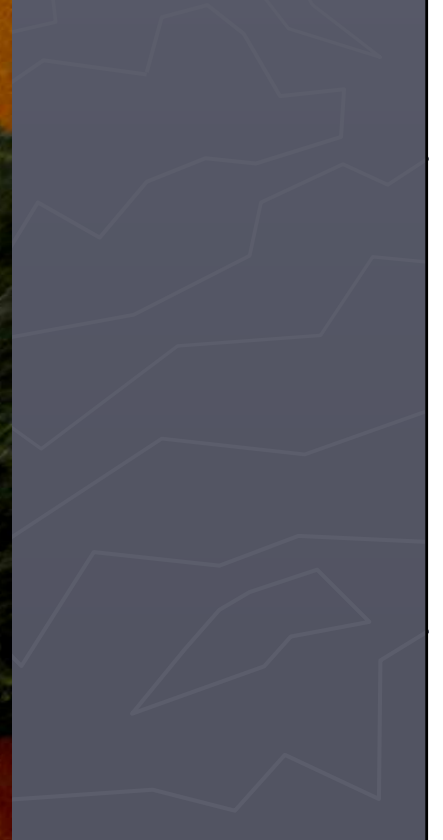




# Proudové stopy, prod marks, bioglyfy



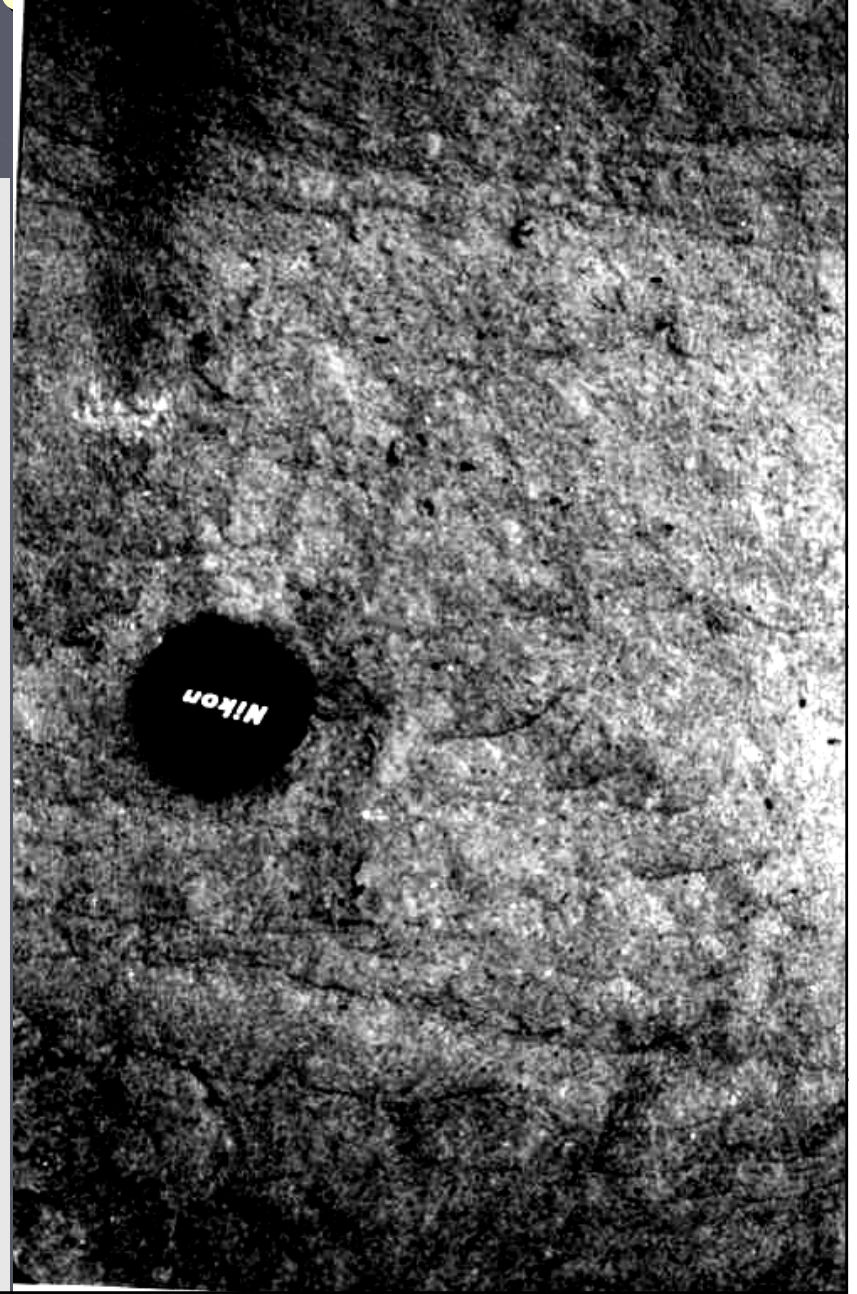
# Prod marks





# Textury vzniklé únikem vody ze sedimentu

- ▶ Miskovité textury
- ▶ Pilířové textury

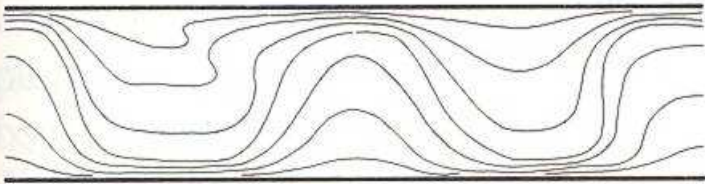


# Tee-pee struktury

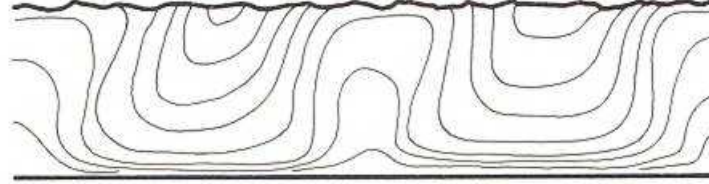


# Konvolutní zvrstvení

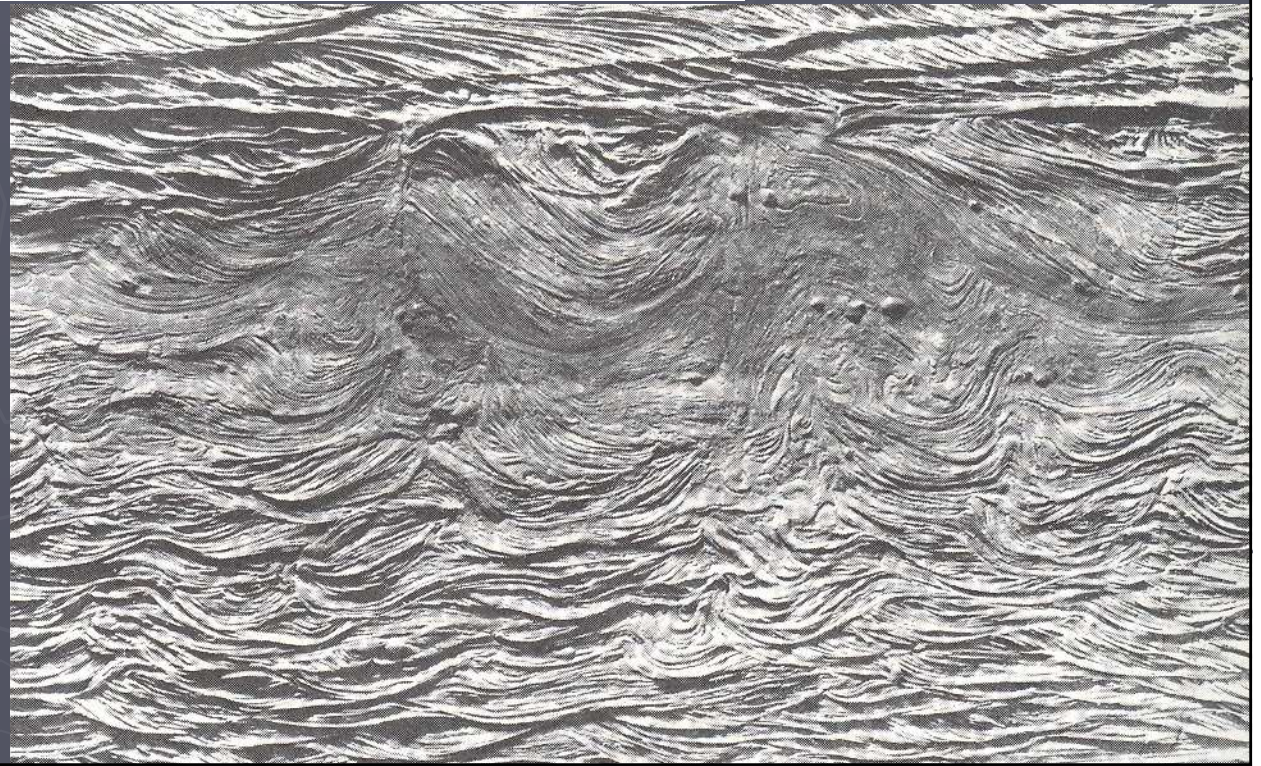
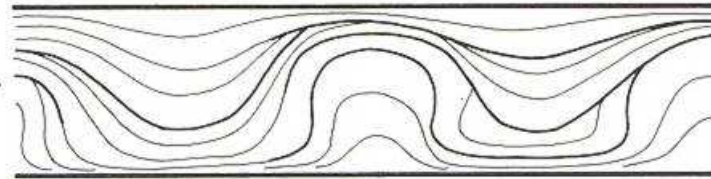
(a) Postdepositional convolute lamination



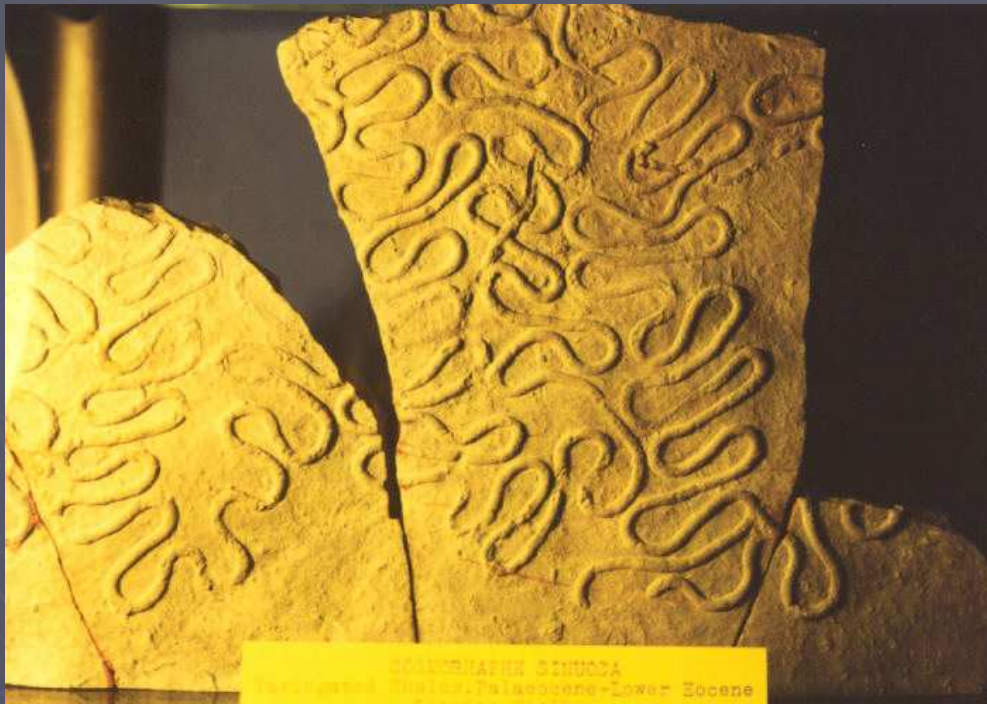
(b) Metadepositional convolute lamination



(c) Syndepositional convolute lamination



# Biogenní textury







# Různé



# Sedimentární petrografie

## sedimentární struktury

**Struktura** – vztahy mezi zrny, zpravidla mikroskopické měřítko

- ▶ **Velikost zrna**
- ▶ **Tvar zrna**
- ▶ **Vytrřídění**
- ▶ **Porozita**
- ▶ **Permeabilita**

# Sedimentární struktury

## velikost zrna (zrnitost)

### Částice mechanicky unášené kapalinami – sedimentární částice:

Křemen, živce, kalcit, aragonit, jílové minerály: ( $r = 2650 \text{ kg/m}^3$ ) – nejčastější

Další: *slídy, amfibol, pyroxeny, olivín*

### Wenworthova zrnitostní klasifikace

$\Phi = -\log_2 d$  ;  $d = \text{průměr zrna v mm}$

#### kontrolována

- ▶ velikostí klastů generovaných během zvětrávání ve zdrojové oblasti
- ▶ unášecí, abrazní a třídící schopností transportního média

balvany  
valouny  
oblázky  
zrnka

velmi hrubozrnný  
hrubozrnný  
středně zrnitý  
jemnozrnný  
velmi jemnozrnný

písek

prach (silt)  
jíl

TABLE 12.2 Wentworth Size Grades and the  $\phi$  Scale

$\phi$	Wentworth Scale	Grain Size Names	Group S Rock Names	Texture
-8	256 mm	Boulders	Gravel Conglomerate, breccia	Epiclastic ruditic
-6	64 mm	Cobbles		
-2	4 mm	Pebbles		
		Granules		
-1	2 mm	Very coarse sand		
0	1 mm	Coarse sand		
1	1/2 mm	Medium sand	Sandstone (arenite, wacke)	Epiclastic arenitic
2	1/4 mm	Fine sand		
3	1/8 mm	Very fine sand		
4	1/16 mm	Silt	Mud Siltstone, shale, mudstone, claystone	Epiclastic lutitic
8	1/256 mm	Clay		

Sources: Modified from C. K. Wentworth (1922), Krumbein (1934), McManus (1963).

# Sedimentární struktury vytřídění

Vytřídění: Míra podobnosti velikostí zrn ve vzorku horniny

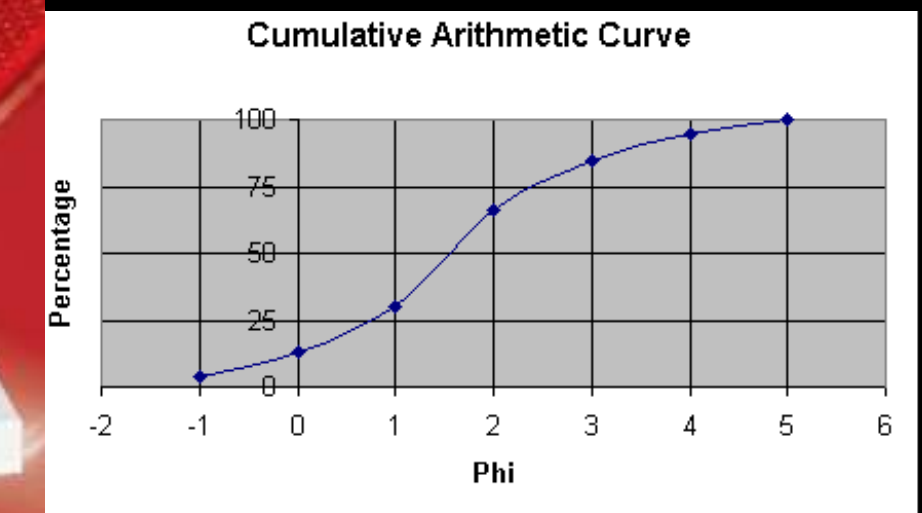
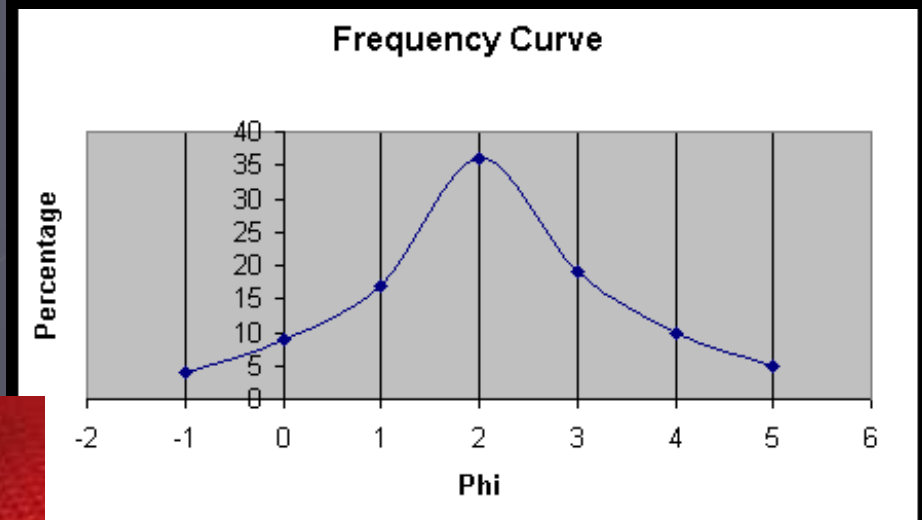
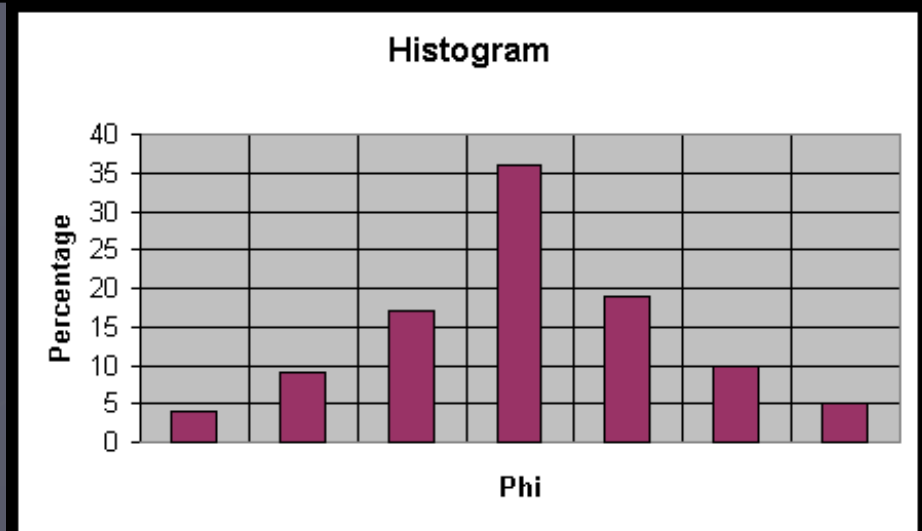
- ▶ Kvalitativní odhad
- ▶ Reciproká hodnota standardní odchylky souboru dat velikostí zrn,  $S_0 = Q_3/Q_1^{1/2}$   
Kde  $S_0$  = třídění,  $Q_3$  = třetí kvartil (75% nejmenších zrn),  
 $Q_1$  = první kvartil (25% nejmenších zrn)

Střední velikost zrn

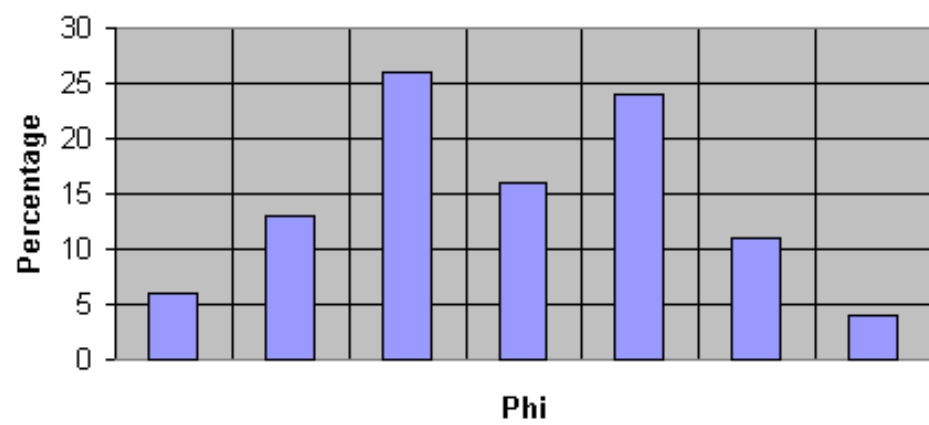
Gaussovy křivky, kumulativní křivky

## Kontrolováno

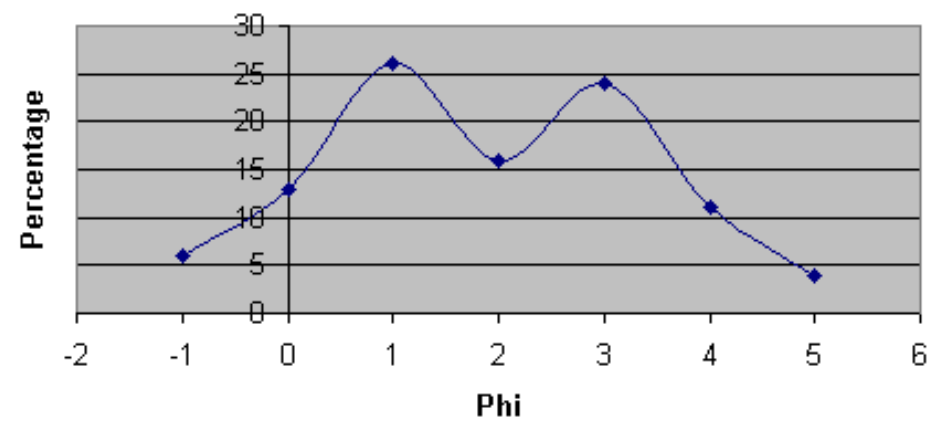
- ▶ vytříděním klastů generovaných během zvětrávání ve zdrojové oblasti
- ▶ abrazní a třídící schopností transportního média (vítr, voda, led)



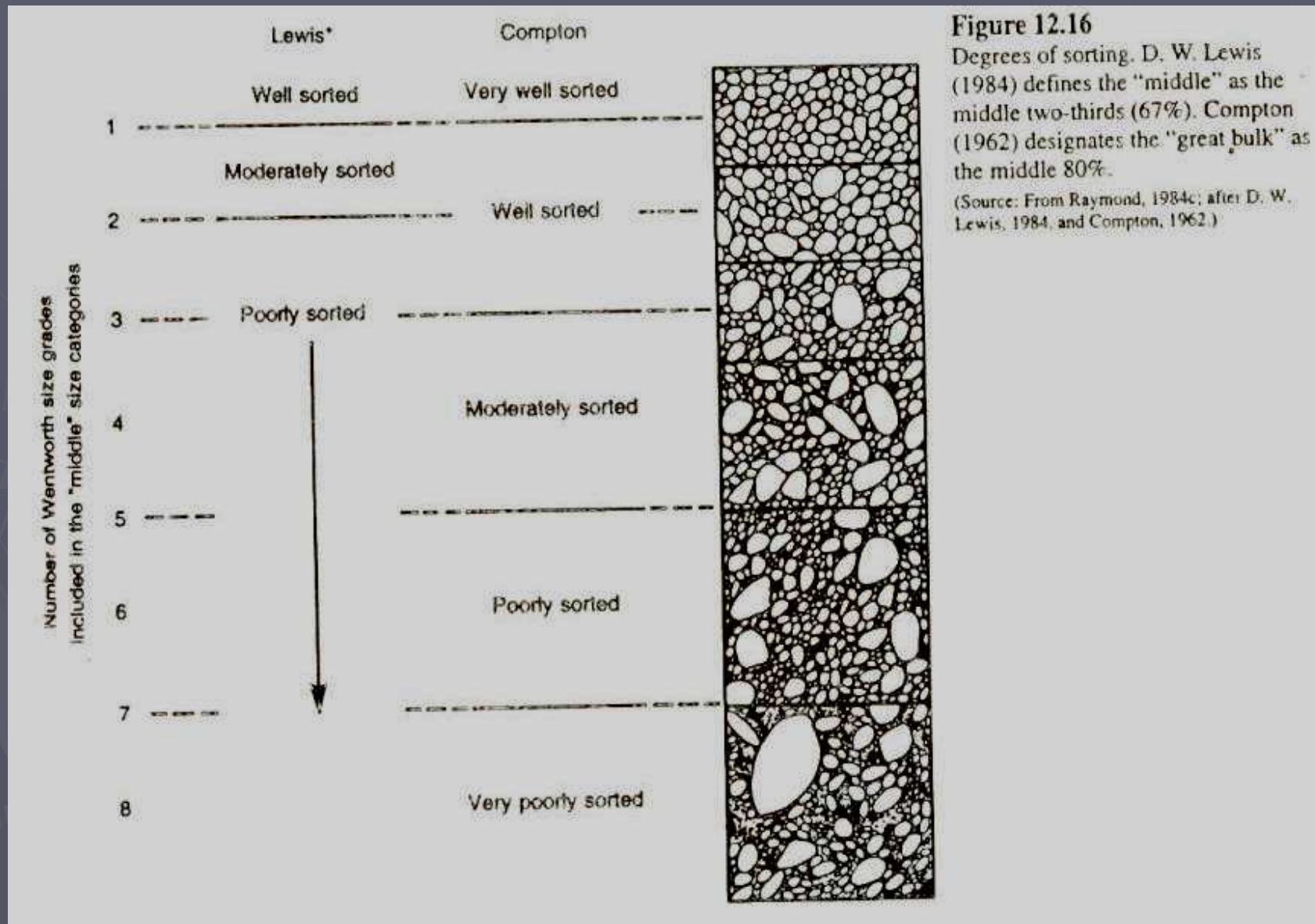
### Bimodal Histogram



### Bimodal Frequency Curve



# Vytrídění: kvalitativní odhad



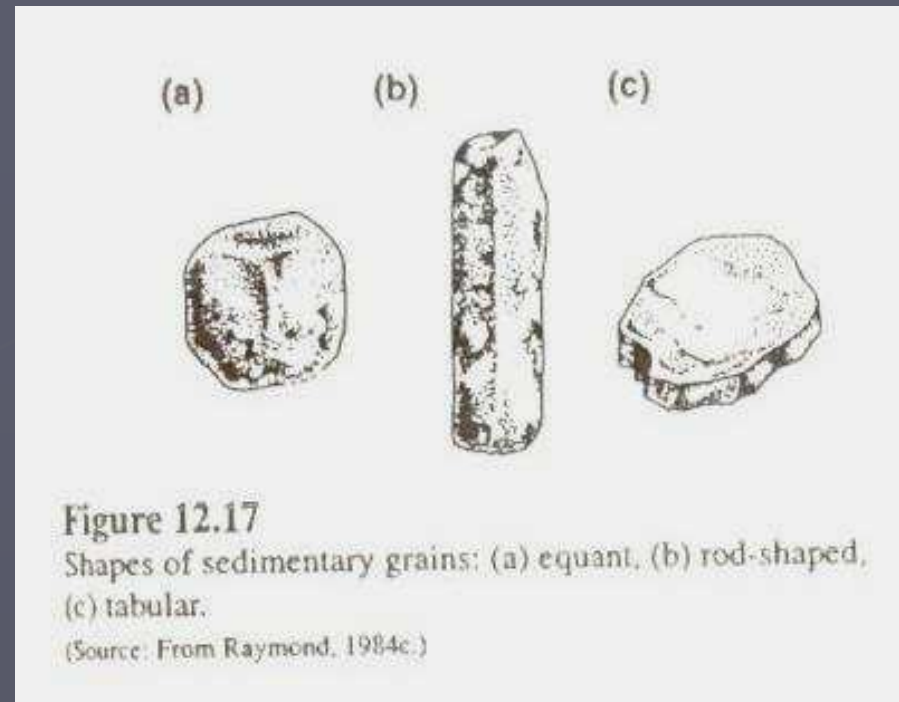
# Sedimentární struktury

## tvár zrna

### ► Tvar zrna

#### Tvar částic určený :

- Krystalizací z magmatu nebo vodného roztoku (tvar krystalů, tabulkový, sloupcovitý, apod.)
- Vulkanogenní činností (pyroklastika – lapilli, prach, popel, písek, velmi nepravidelný)
- Zvětráváním hornin (nepravidelný tvar – zaoblení, koule, trojosý elipsoid)
- Organickou aktivitou (schránky, ooidy, klacíky, apod. – koule, válec, destičkovitý tvar)

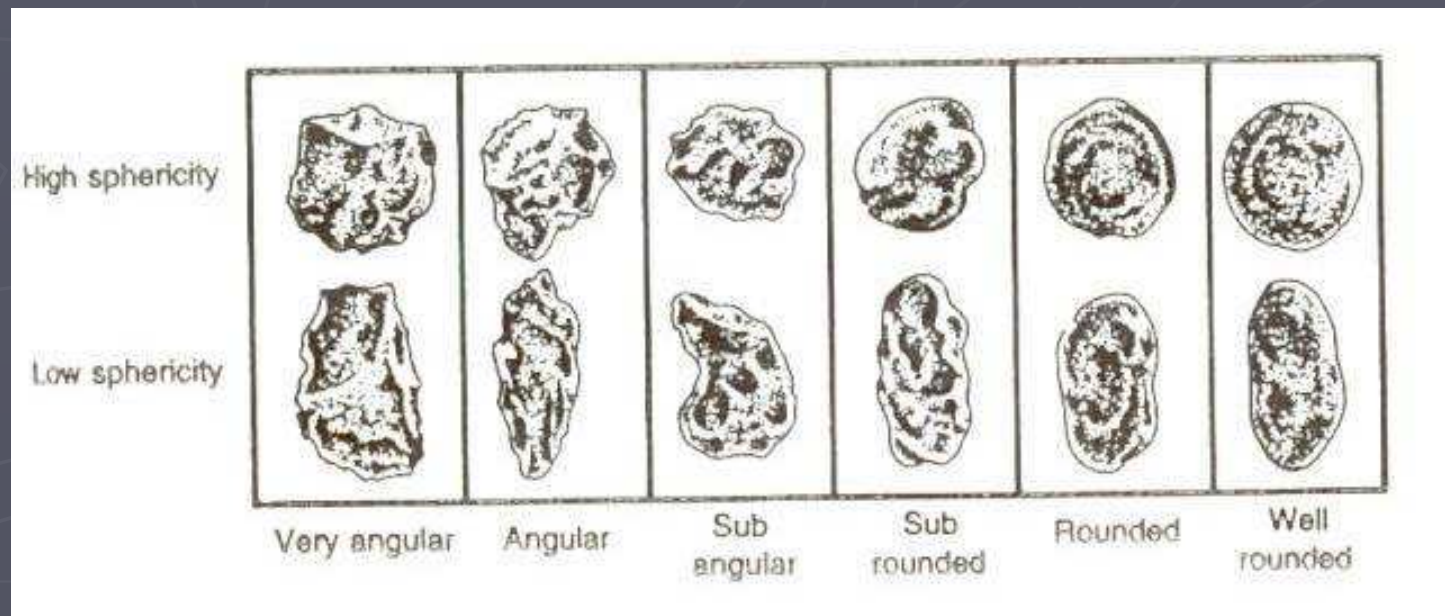


**Forma** – (celkový tvar) –  
izomorfní, tabulkovitý, tyčovitý

**Sféricita** – jak moc se zrna  
tvarově blíží kouli

**Zaoblení** – míra zakřivení hran  
zrna → více = angulární, méně  
= zaoblený  
Vizuální odhad

**Povrchová mikrostruktura**





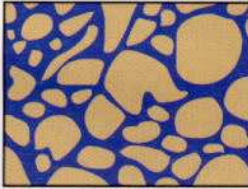
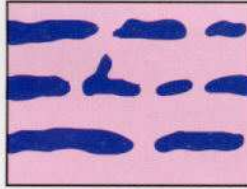
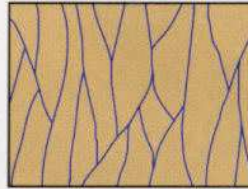
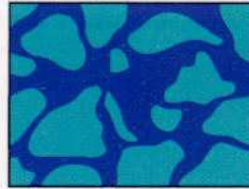
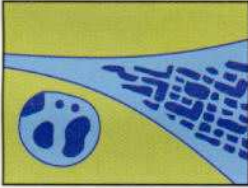
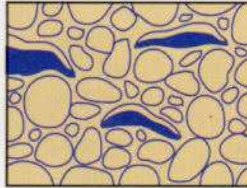
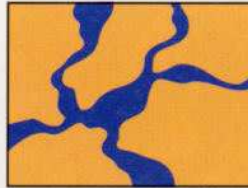
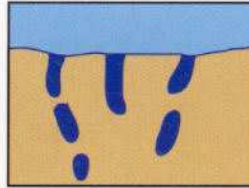
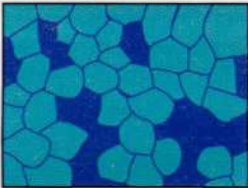
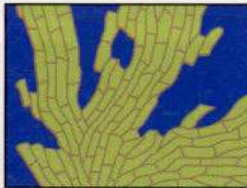
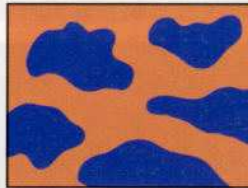
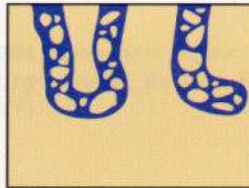
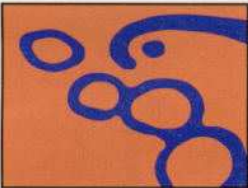
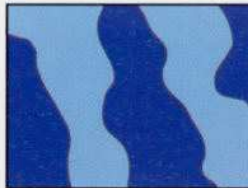
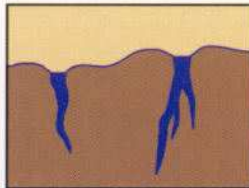
# Sedimentární struktury porozita a permeabilita

## Porozita

- Objem prostor vyplněných plynem nebo kapalinou (pórů) vůči celkovému objemu horniny
- $ps = (V_p/V_T) \times 100$
- $ps =$  porozita,  $V_p =$  objem pórů,  $V_T =$  celkový objem vzorku horniny
- maximální porozita – > 35%

## Permeabilita

- Míra toho, jak rychle může horninou protékat kapalina
- Závisí na porozitě, velikosti pórů a propojení pórů

Fabric-selective		Non-fabric-selective	Fabric-selective or not
 Interparticle	 Fenestral	 Fracture	 Breccia
 Intraparticle	 Shelter	 Channel	 Boring
 Intercrystal	 Growth framework	 Vug*	 Burrow
 Mouldic		 Cavern*	 Shrinkage

\* Cavern applies to human sized or larger pores of channel or vug shapes

# Klasifikace sedimentů

## Typy materiálu sedimentárních horninách

- ▶ **Fragmenty (klasty) převážně silikátových minerálů a hornin (zpravidla derivované z oblastí mimo depoziční pánve)**
  - *Stabilní minerály*  
křemen, jílové minerály – kaolinit, smektit, illit, karbonáty (kalcit, dolomit), chalcedon, zirkon, muskovit, hematit
  - *Nestabilní minerály*  
živce, chlorit, biotit, aragonit, magnetit, ilmenit, granát, titanit, epidot
  - *Litické fragment*  
úlomky jiných hornin
- ▶ **Chemické a biochemické precipitáty, (zpravidla vytvořeny uvnitř sedimentační pánve)**
  - kalcit, aragonit, dolomit, opál, chalcedon, křemen, halit, sádrovec, anhydrit, goethit, apatit
- ▶ **Alochemy – fragmenty (klasty) dříve vytvořených precipitátů, fosílie, ooidy, organický materiál, fragmenty chemických a biochemických precipitátů (zpravidla vytvořeny uvnitř depoziční pánve)**
  - kalcit, aragonit, dolomit, opál, chalcedon, křemen, halit, sádrovec, anhydrit, goethit, apatit

# Klasifikace podle materiálu

Klastické (siliciklastické) (skupina S,  
siliciklastika)

Chemogenní nebo cementační (skupina P,  
precipitáty)

Biogenní nebo organogenní (skupina A,  
alochemické horniny)

**SEDIMENTARY ROCKS**

**Clastic**

**Non-clastic**

**Volcaniclastic**

Tuffs  
Ignimbrites

**Terrigenous clastic**

Mudrocks  
Sandstones  
Conglomerates

**Carbonates**

Limestones

**Others**

Coal  
Ironstones  
Phosphates  
Siliceous deposits

**Evaporites**

**PRINCIPAL  
COMPONENTS**

**Mineral grains**

*Different rocks  
may include:*

Quartz  
Mica  
Feldspar  
Calcite  
etc.

**Lithic fragments**

*Different rocks  
may include  
pieces of:*

Limestone  
Mudrock  
Volcanic rock  
Metamorphic rock  
Chert  
etc.

**Biogenic material**

*Different rocks  
may include:*

Shells  
Skeletal material  
Plant debris  
Algae/Bacteria  
Bone  
etc.

**Chemical precipitates**

*Different rocks  
may include:*

Carbonates  
Chlorides  
Sulphates  
Silica  
etc.

# Klastické sedimenty

Psefity

Psamity

Aleurity

Pelity

# Psefity

## Základní charakteristika

- ▶ > 50% (nezpevněné) / 25% (zpevněné) / 10% (zpevněné) klastů > 2 mm v  $\alpha$ -ose
- ▶ Konglomeráty (zaoblené), brekcie (nezaoblené klasty)

## Řada slepenec – pískovec

- ▶ slepenec -50- písčítý slepenec -25- valounový pískovec -10- pískovec

## Klasifikace podle zpevnění

- ▶ zpevněné – slepenec, brekcie
- ▶ nezpevněné – štěrk

## Klasifikace podle podílu klastů > 2 mm a matrix < 2 mm

- ▶ s podpůrnou strukturou klastů > 50% klastů (> 2 mm)
- ▶ s podpůrnou strukturou matrix > 50% matrix (< 2 mm)

## Klasifikace podle složení klastů > 2 mm

- ▶ monomiktní – (převaha klastů stabilních hornin nebo minerálů > 2 mm – křemen, kvarcit, silicit) – adjektivum „křemenný“
- ▶ polymiktní (= petromiktní) – (> 10% klastů nestabilních materiálů – hornin > 2 mm)

## Klasifikace podle velikosti

- ▶ drobnozrnný (2-10mm)
- ▶ střednozrnný (10-50mm)
- ▶ hrubozrnný (50-250mm)
- ▶ balvanitý (> 250mm)

# Psamity

## Základní charakteristika

- ▶ 0,063 – 2 mm
- ▶ > 50% / 25% / 10% klastů > 0,063 mm v  $\alpha$ -ose

## Řada psamit - pelit

- ▶ pískovec -50%- jílovitý pískovec -25- písčitý jílovec -10- jílovec (jílovitá břidlice)

## Hlavní komponenty:

- ▶ **klasty** (> 0,063 mm), křemen, živce, horninové fragmenty
- ▶ **matrix** (< 0,063 mm),
- ▶ **cement** (precipitát, výplň pórů)

## Klasifikace podle zpevnění

- ▶ zpevněné- pískovce
- ▶ nezpevněné – písky

## Klasifikace podle velikosti zrna

- ▶ jemnozrnné (> 10%: 0,063 – 0,25)
- ▶ středně zrnité (> 10%: 0,25 – 0,5)
- ▶ hrubozrnné (> 10%: 0,5 – 2,0)

# Psamity

## Klasifikace podle složení klastů

- ▶ pískovec
- ▶ arkóza
- ▶ droba

## trojúhelníkový diagram (Petránek 1963)

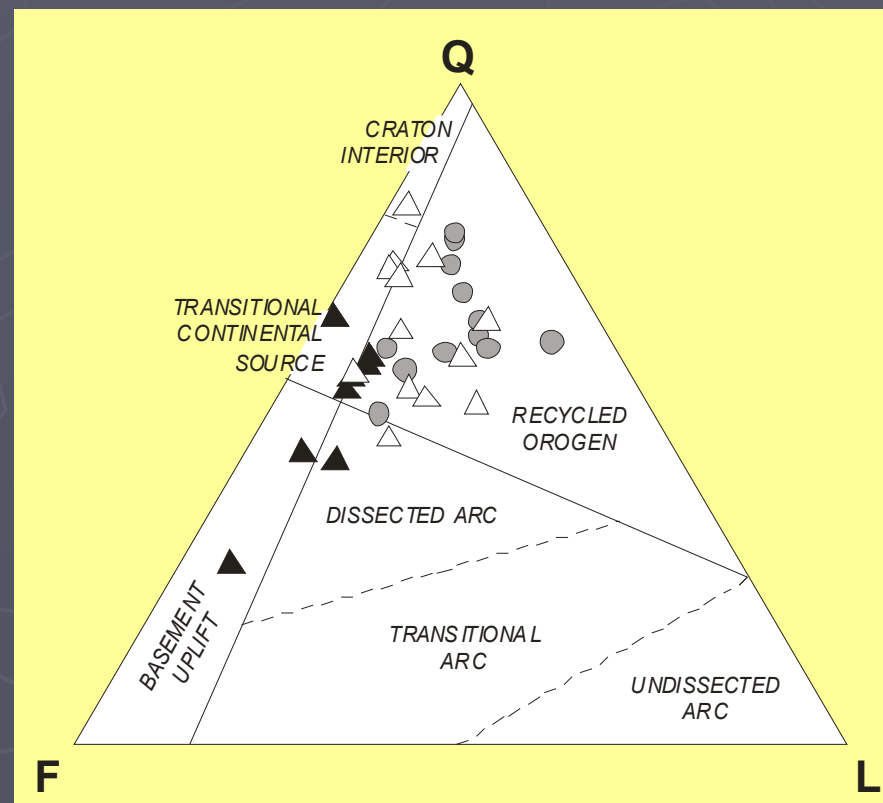
- křemen + stabilní zrna --- živce + nestabilní minerály --- matrix (< 0,063 mm)  
Křemenný pískovec, arkózový pískovec, drobovitý pískovec, arkóza, droba

## trojúhelníkový diagram (matrix je ignorována)

- křemen --- živce --- fragmenty hornin (nestabilní)

## provenience

- ▶ trojúhelníkový diagram QFL  
Tektonické prostředí zdroje,
  - Kraton
  - Přejídný kontinentální zdroj
  - Recyklovaný orogén
  - Magmatický oblouk (arc)
  - rychlý výzdvih (basement uplift)





10



109 Quartz Arenite in plane-polarized light. Locality: New Red Sandstone, Permo-Trias, England (x 47).

11



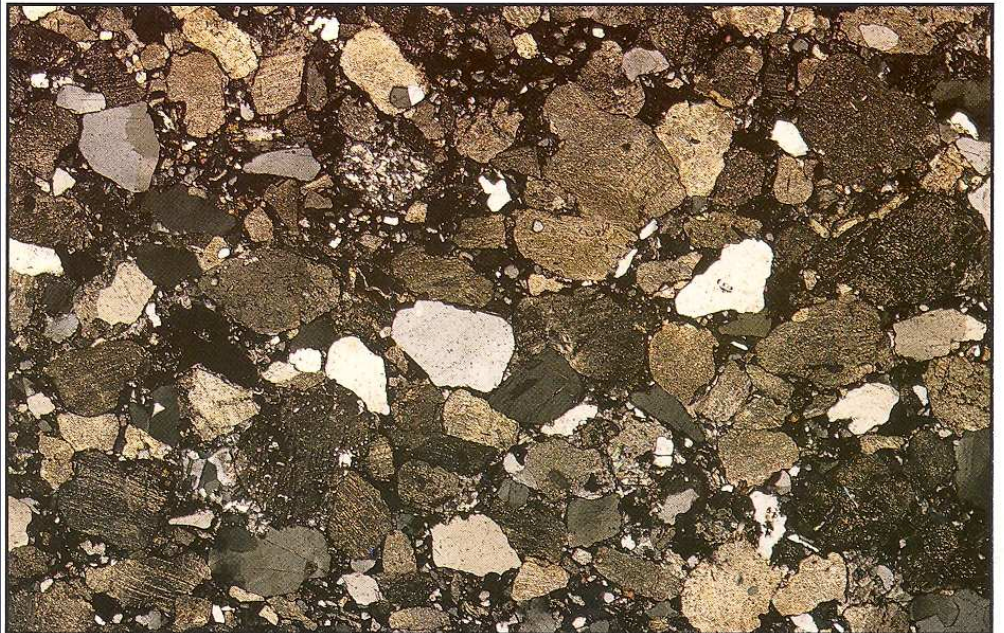
113 Arkose in plane-polarized light. Locality: Torridonian, Precambrian, Scotland (x 13).

11

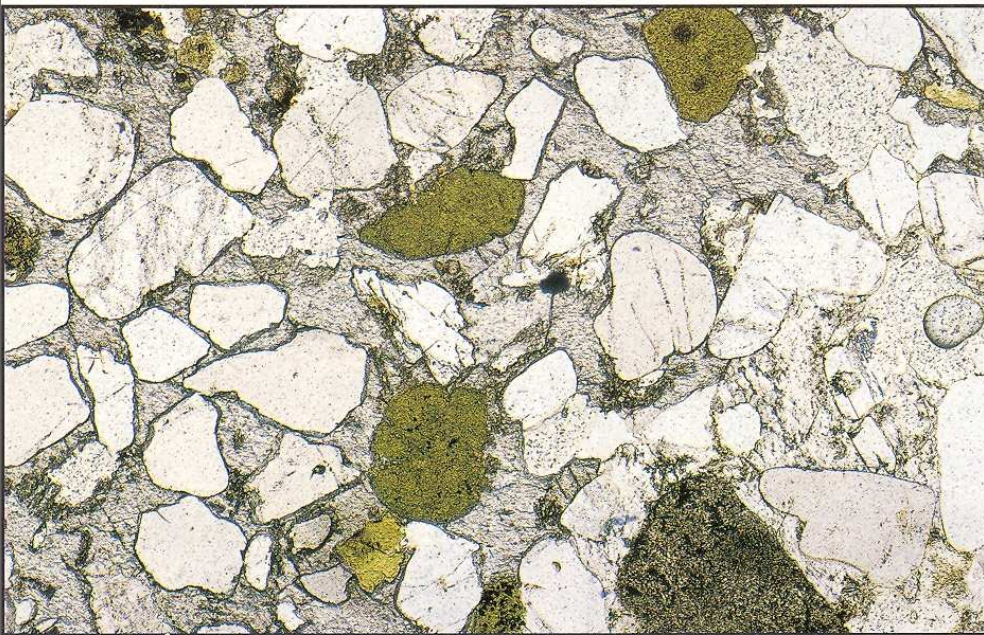


110 Quartz Arenite with crossed polars. Locality: New Red Sandstone, Permo-Trias, England (x 47).

11

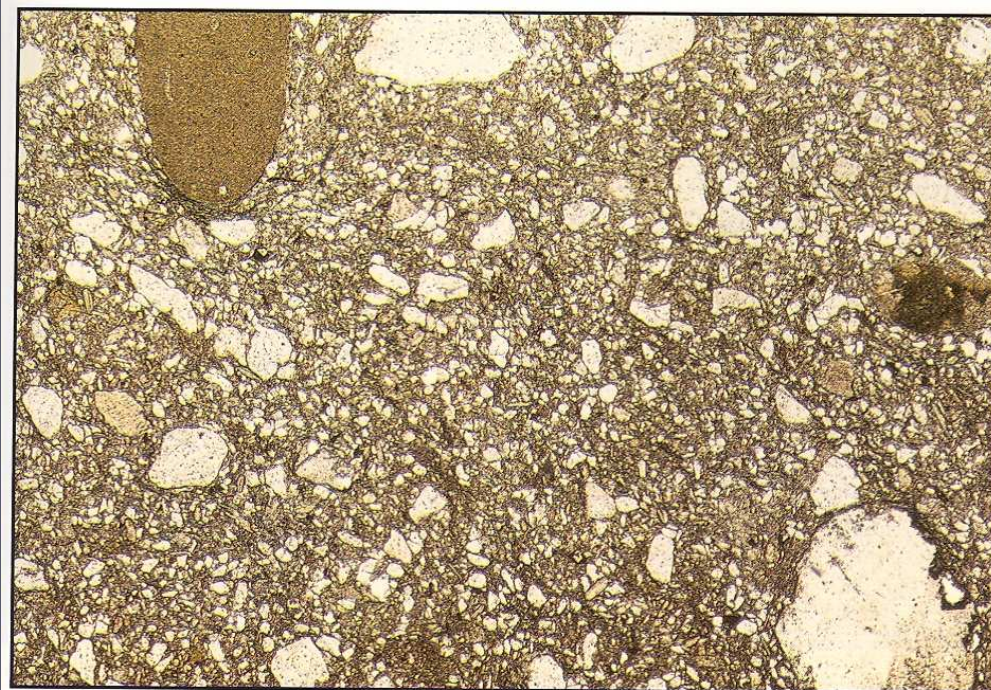


114 Arkose with crossed polars. Locality: Torridonian, Precambrian, Scotland (x 13).



12

121 Glauconitic sandstone in plane-polarized light. Locality: Lower Cretaceous, Southern England (x 27).



1

116 Greywacke in plane-polarized light. Locality: Lower Palaeozoic, West Wales (x 19).



12

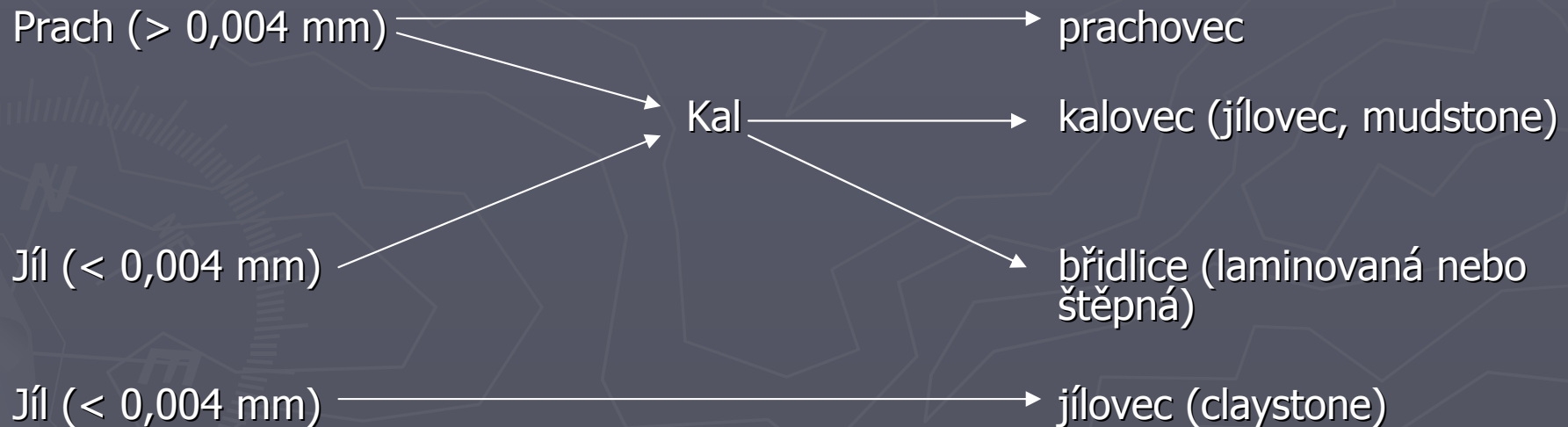
122 Glauconitic sandstone with crossed polars. Locality: Lower Cretaceous, Southern England (x 27).

# Pelity

## Základní charakteristika

> 75% / 90% jílové frakce

- ▶ **Jílovce (claystone)** sedimenty pouze jílové frakce
- ▶ **Kalovce (mudstone)** směs sedimentů jílové a prachové frakce



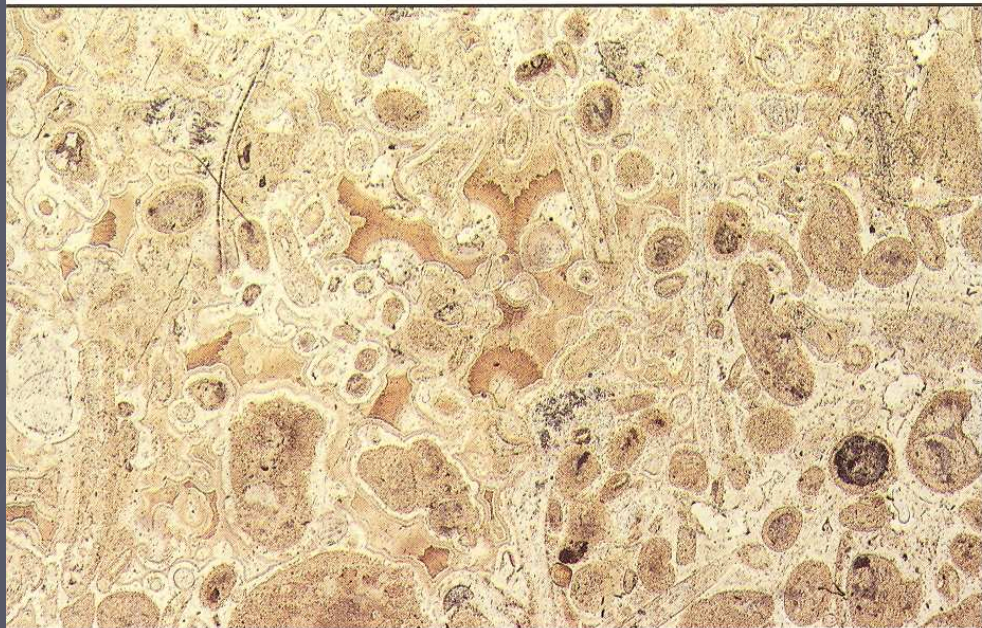
## Složení

- ▶ Jílové minerály (> 50%), křemen (Ø 20%), živce (< 10%), karbonáty (< 10%), oxidy Fe (< 3%), ostatní minerály (< 3%), organické látky (< 1%)

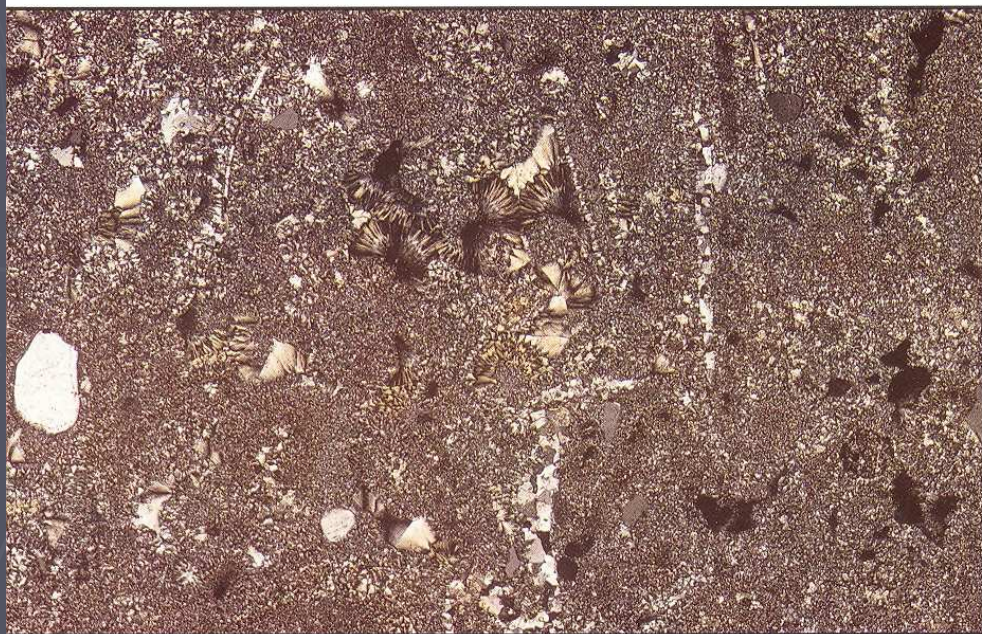
# Klasifikace chemogenních (cementačních) sedimentů

Podle minerálního složení:

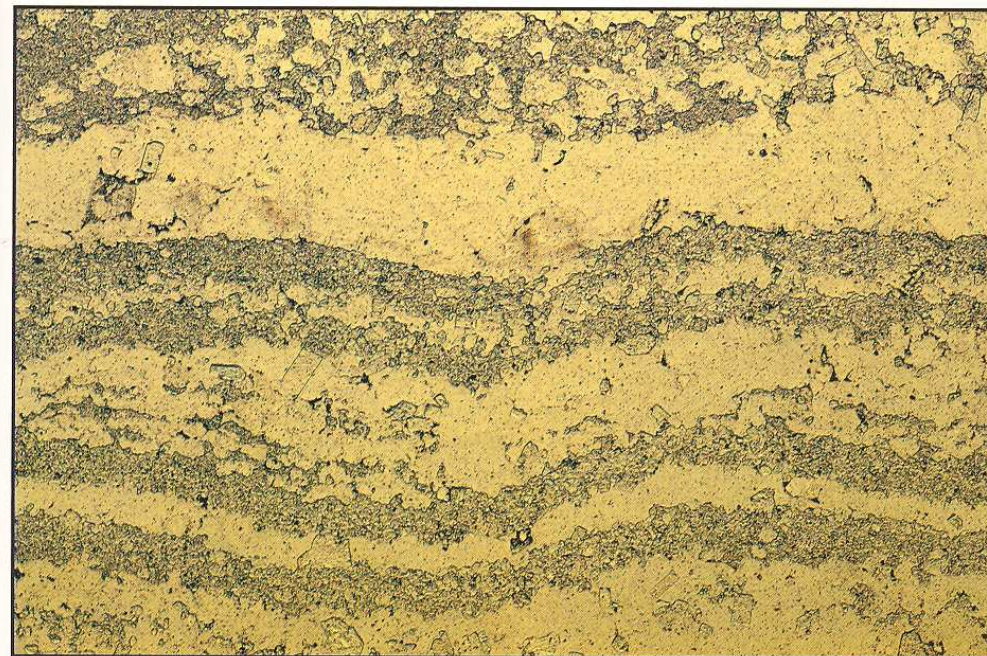
<u>Minerál</u>	<u>hornina</u>
<b>kalcit:</b>	chemogenní vápenec, travertin, pěnovec, kaliče
<b>dolomit:</b>	chemogenní dolomit
<b>evapority</b>	
<b>halit:</b>	kamenná sůl
<b>sádrovec:</b>	sádrovec
<b>anhydrit:</b>	anhydrit
<b>křemen:</b>	rohovec radiolarit diatomit
<b>goethit:</b>	chemogenní seimentární železné rudy
<b>apatit:</b>	fosfority



135 Replacement Chert in plane-polarized light. Locality: Upper Jurassic, southern England (x 13).



136 Chert with crossed polars. Locality: Upper Jurassic, southern England (x 13).



137 Halite and anhydrite in plane-polarized light. Locality: Permian, northeast England (x 12).



138 Halite and anhydrite with crossed polars. Locality: Permian, northeast England (x 12).

# Klasifikace biogenních (alochemických) sedimentů

## Základní komponenty:

### ▶ Alochemy:

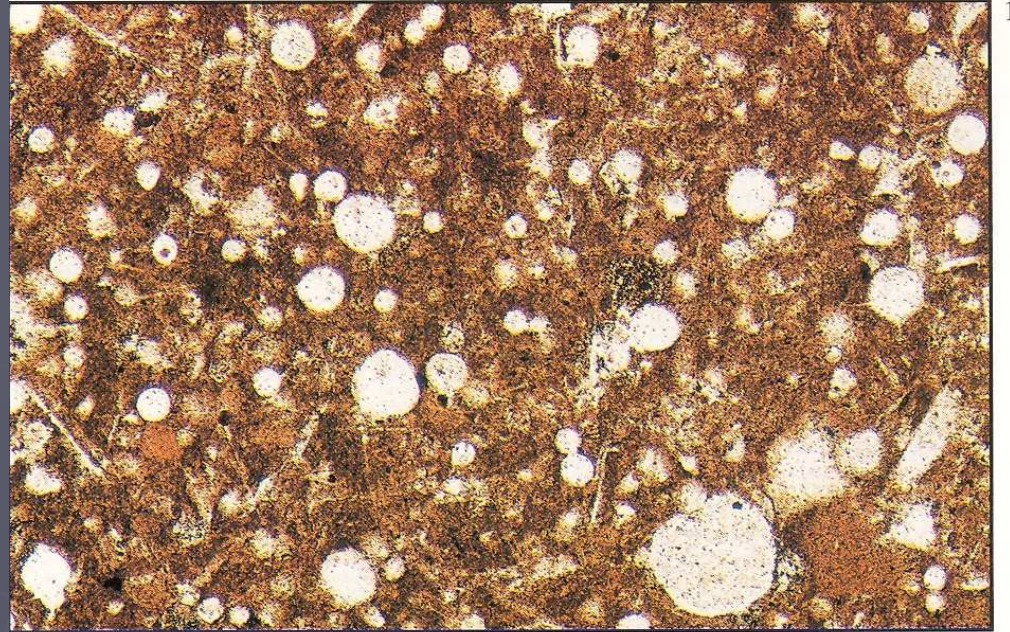
- **skeletální zrna:** vápnité schránky organismů a jejich fragmenty, karbonátové objekty organismy vysrážené (řasy)
- **neskeletální zrna:** chemogenně nebo chemobiogenně vysrážená zrna,
  - ▶ **povlékaná zrna:** ooidy a pisoidy, onkoidy,
  - ▶ **peloidy:** fekální pelety, peloidy,
  - ▶ **polyagregátová zrna:** lumps, grapestones

### ▶ Extraklasty

### ▶ Matrix

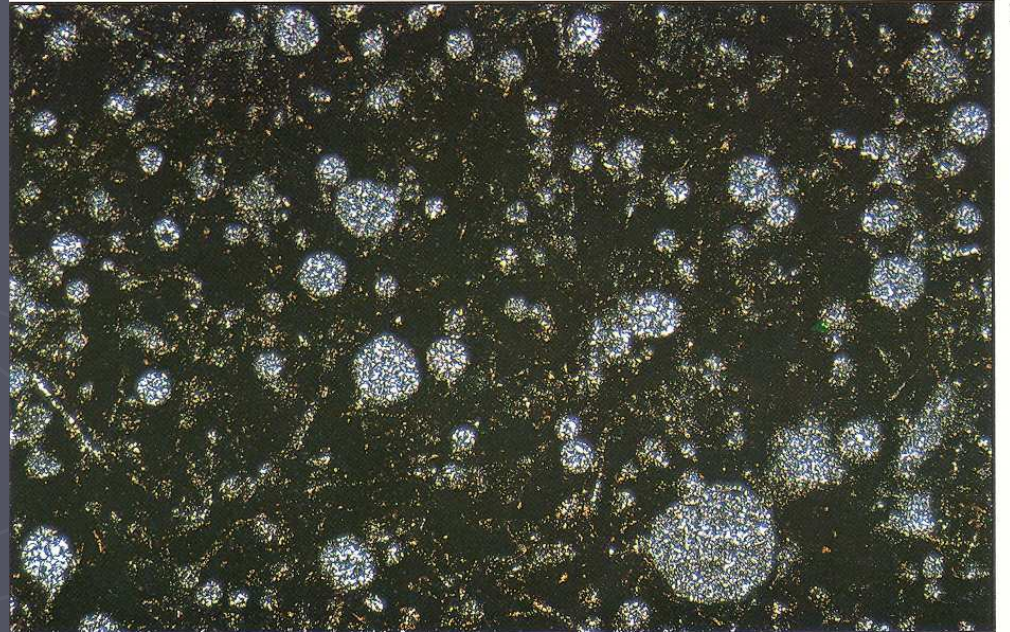
- **mikrit,** menší než 4 mikrony, původ do určité míry zastřený - rozrušování zelených řas, bioeroze karbonátového materiálu převážně rybami, chemogenní srážení

### ▶ Sparit (včetně cementu)



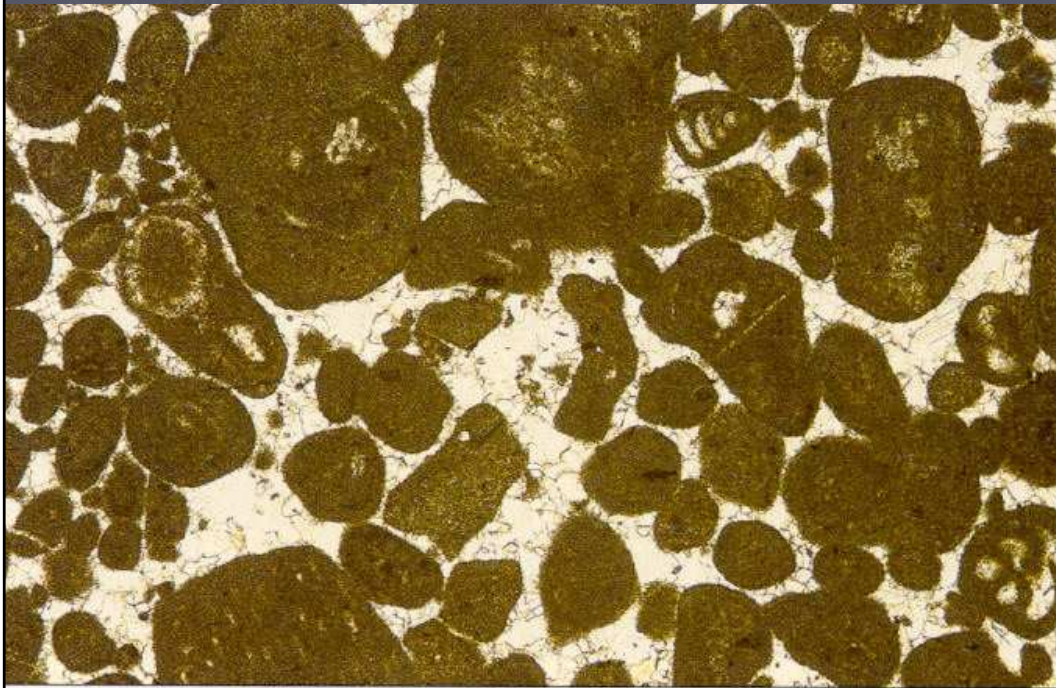
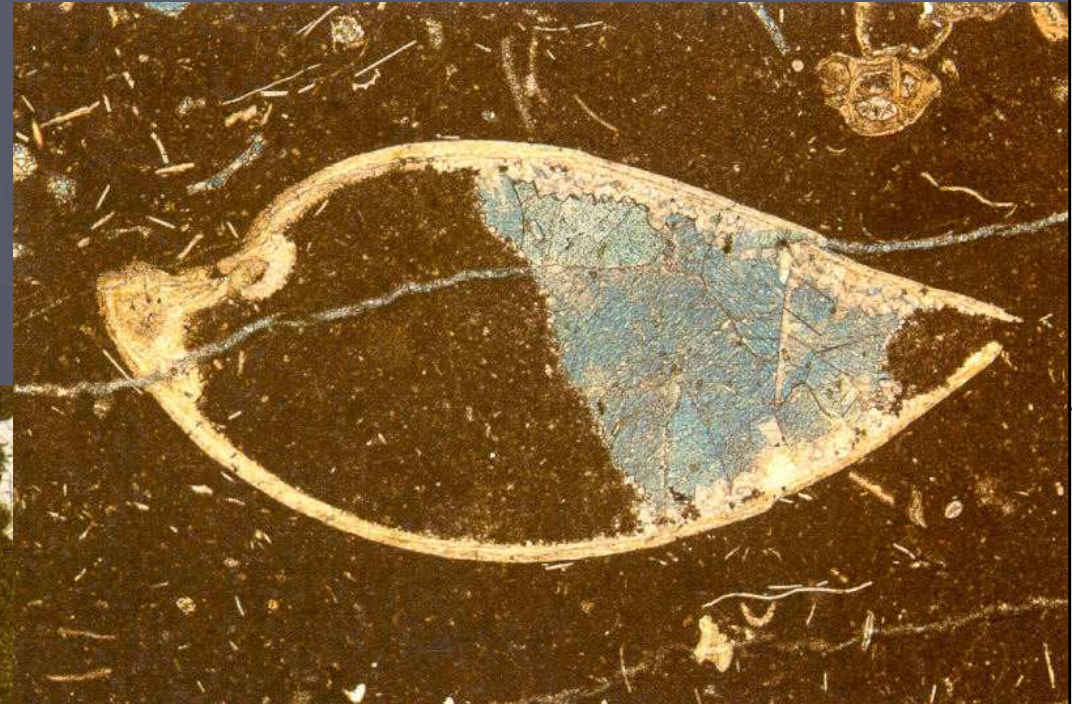
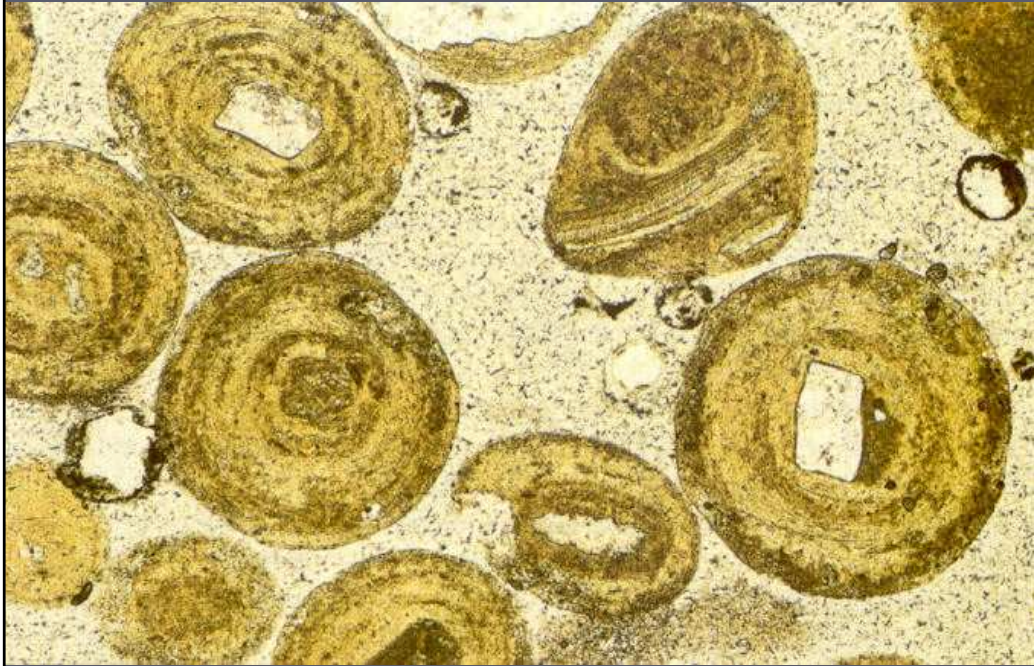
13

133 Radiolarian Chert in plane-polarized light. Locality: Lower Cretaceous, Greece (x 40).

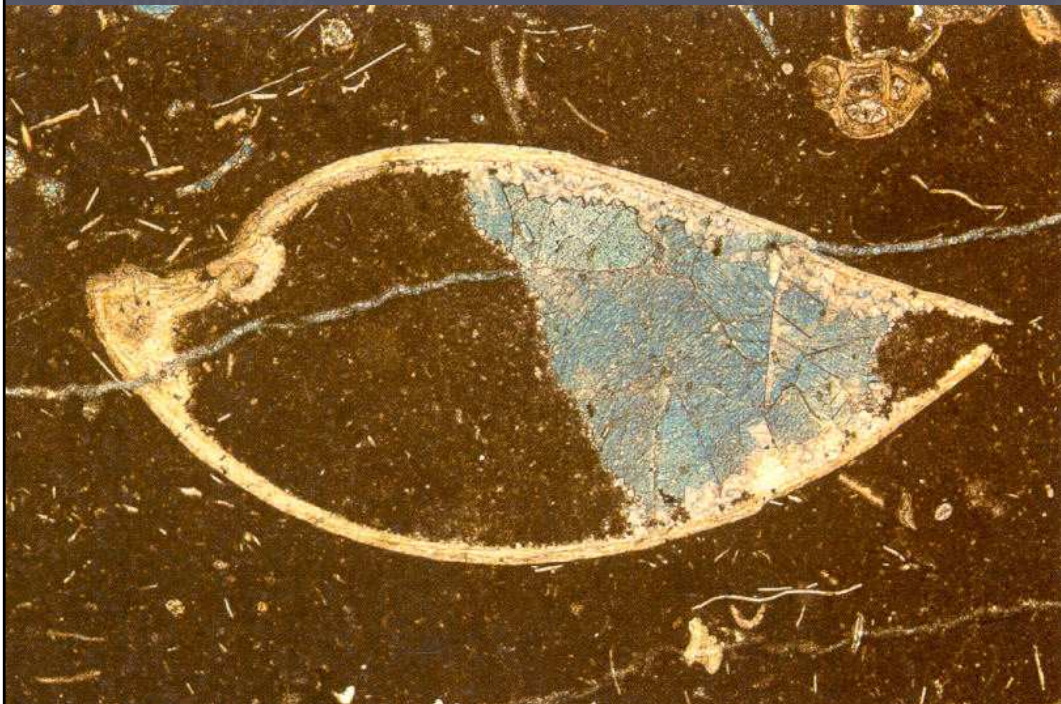


13

134 Radiolarian Chert with crossed polars. Locality: Lower Cretaceous, Greece (x 40).

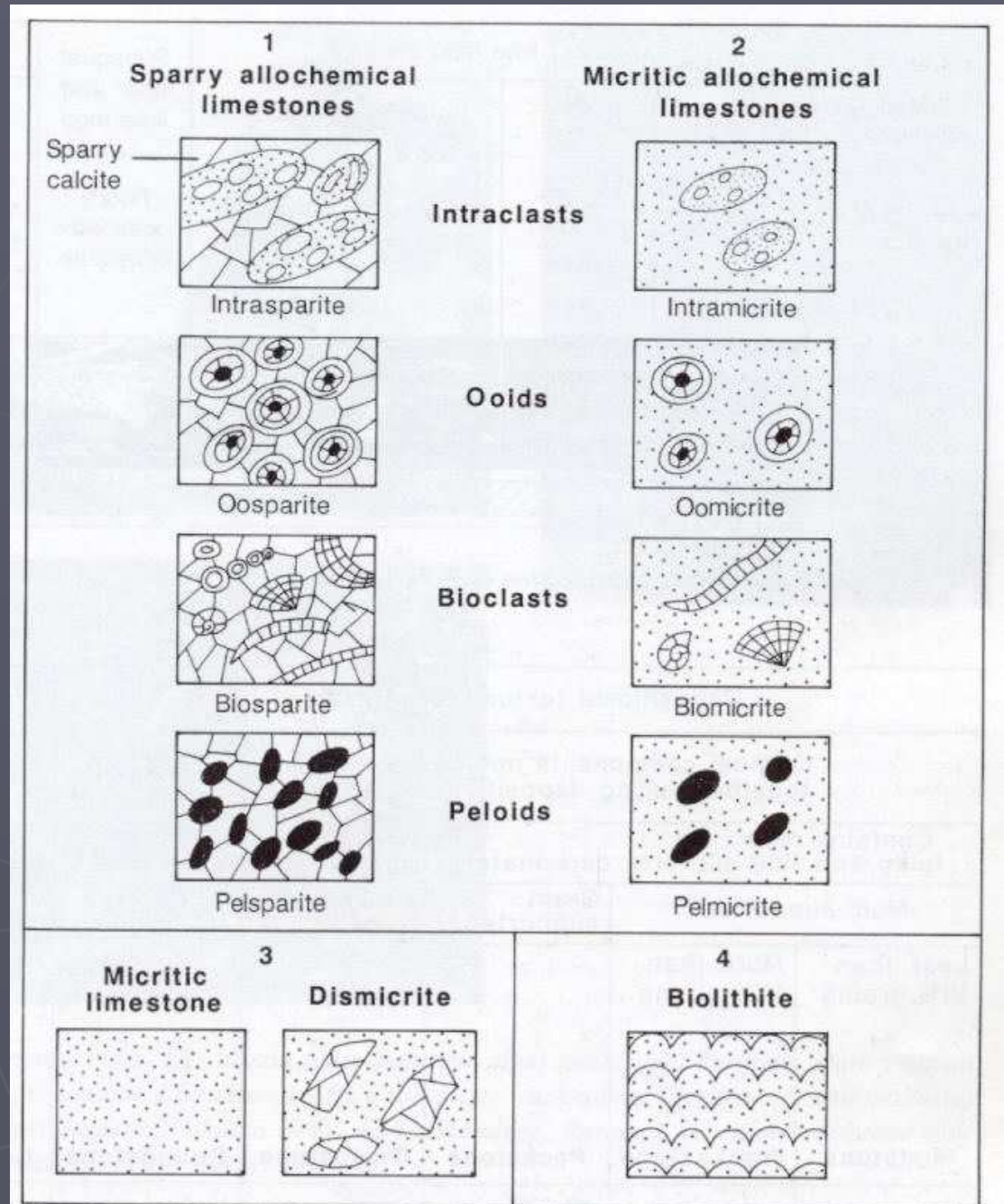






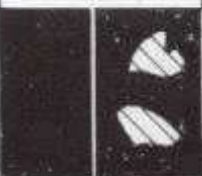









# Folkova klasifikace (Folk, J.R. 1959)

- Sparit / mikrit
- Klasifikace alochemů (+/- prostředí sedimentace)
- **Není zohledněna podpůrná struktura**
- **Není zohledněna velikost zrn**




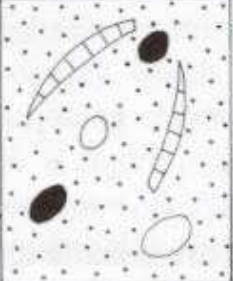
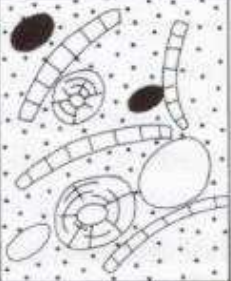



# Folkova klasifikace (Folk, J.R. 1959)

- Sparit / mikrit
- Podpurná struktura (hydrodynamické podmínky)
- Klasifikace alochemů (+/- prostředí sedimentace)
- Třídění (hydrodynamické podmínky)
- **Příliš dlouhé názvy hornin**

Percent allochems	Over 2/3 lime mud matrix				Subequal spar and lime mud	Over 2/3 spar cement		
	0-1%	1-10%	10-50%	Over 50%		Sorting poor	Sorting good	Rounded and abraded
Representative rock terms	Micrite and dismicrite	Fossiliferous micrite	Sparse biomicrite	Packed biomicrite	Poorly washed biosparite	Unsorted biosparite	Sorted biosparite	Rounded biosparite
								
	 Micrite		 Sparry calcite cement					

# Dunhamova klasifikace (Dunham, 1962)

- Sparit / mikrit
- Podpůrná struktura (hydrodynamické podmínky)
- Přehlednost
- **Klasifikace alochemů**

Depositional texture recognizable					Depositional texture not recognizable
Original components not bound together during deposition				Original components were bound together	
Contains mud (clay and fine silt-size carbonate)			Lacks mud and is grain supported		
Mud-supported		Grain-supported			
Less than 10% grains	More than 10% grains				
<b>Mudstone</b>	<b>Wackestone</b>	<b>Packstone</b>	<b>Grainstone</b>	<b>Boundstone</b>	<b>Crystalline</b>
					

# Další klasifikace

## Klasifikace podle zdroje materiálu

- **Extrabazinální sedimenty (siliciklastika)**
- **Intrabazinální sedimenty (karbonáty, evapority, silicity, organolity)**

## Genetické klasifikace

- **Konturity (sedimenty uložené nebo přepracované konturovými proudy)**
- **Turbidity (sedimenty uložené turbiditními proudy)**
- **Tempestity (sedimenty uložené během velkých bouří)**
- **Tidality (sedimenty tvořené v příbřežní zóně ovlivňované slapovými jevy)**
- **Inundity (sedimenty usazované vlivem střídání povodňového a normálního stavu řek)**

# Diagenese

**Soubor fyzikálních, chemických a biologických procesů**, které vedou k přeměně sedimentu na sedimentární horninu

Diagenese může pokračovat i po zpevnění horniny a měnit její strukturu a mineralogické složení

Diagenese vzniká, pokud se minerály sedimentu v důsledku změny podmínek nebo chemismu stanou chemicky nestabilní (hranice mezi zrny a vodou nebo vzduchem – změna chemismu, změna tlaku, změna teploty)

Cílem systému je dosáhnout stabilního ekvilibria

## ► Diagenetické procesy:

- Kompakce
- Rekrystalizace
- Rozpouštění (včetně tlakového)
- Cementace (tmelení)
- Nahrazování (+ neomorfismus)
- Bioturbace

# Diagenetické procesy

## Kompakce

- Zvýšení tlaku nadloží
- Snížení porozity
- Faktory, které ovlivňují možnou míru kompakce - velikost zrna, tvar zrna, zaoblení, třídění, původní porozita, objem fluid v pórech
  - ▶ Mechanická kompakce (necementované horniny)
  - ▶ Chemická kompakce (rozpouštění, cementované horniny)

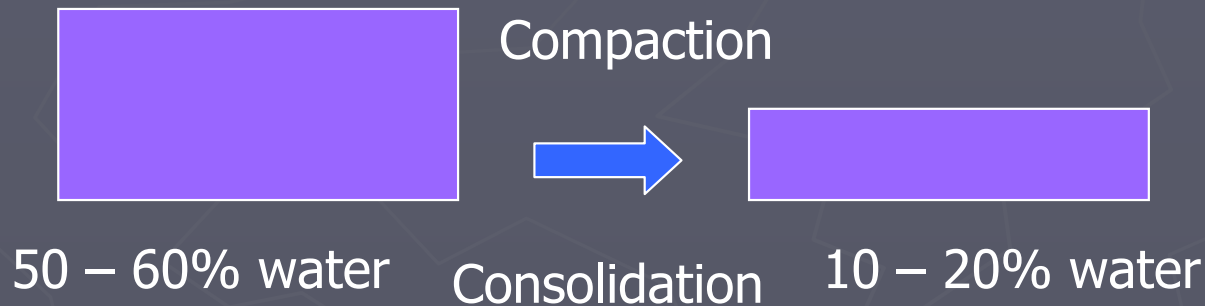
## Rekrystalizace

- Reorientace krystalových mřížek minerálů (chemismus se nemění)
- Tlak, teplota, fluidní fáze
- Obecně zvyšování velikostí zrna – snížení povrchu zrn – snížení povrchové volné energie – ekvilibrium

# Compaction

Pressure squeezes out pore water

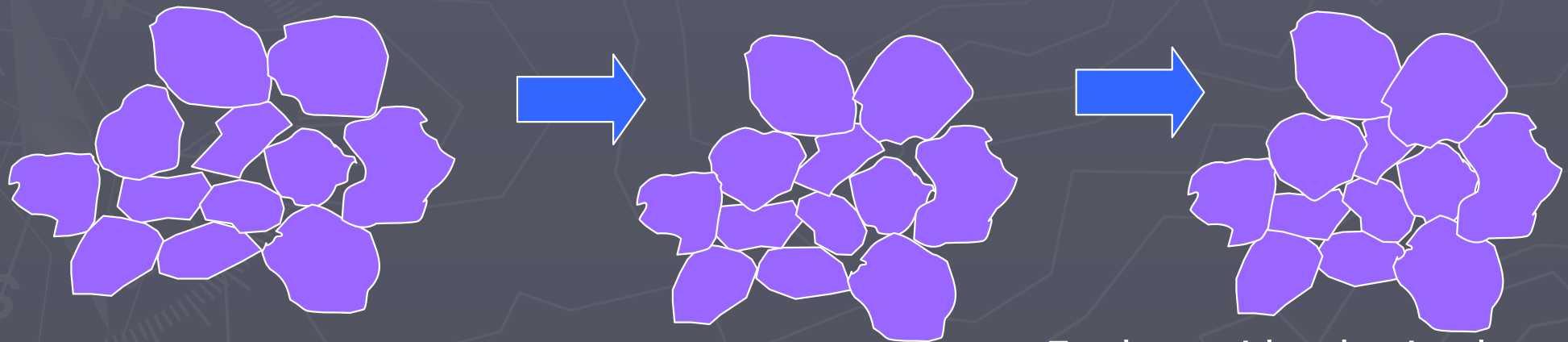
Clay rich sediments



Volume of voids



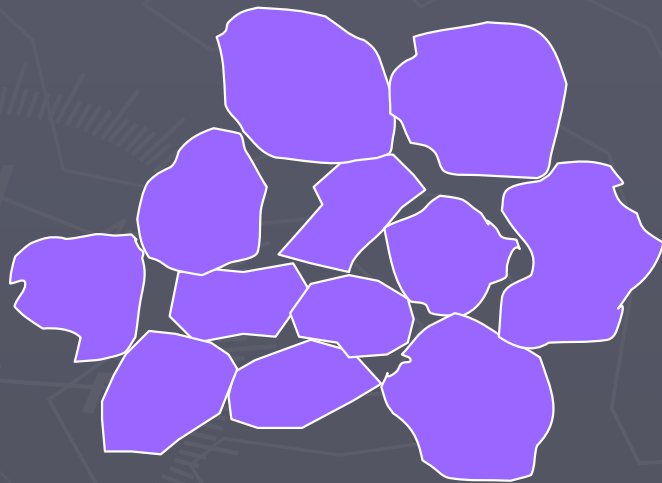
Granular sediments - Sands



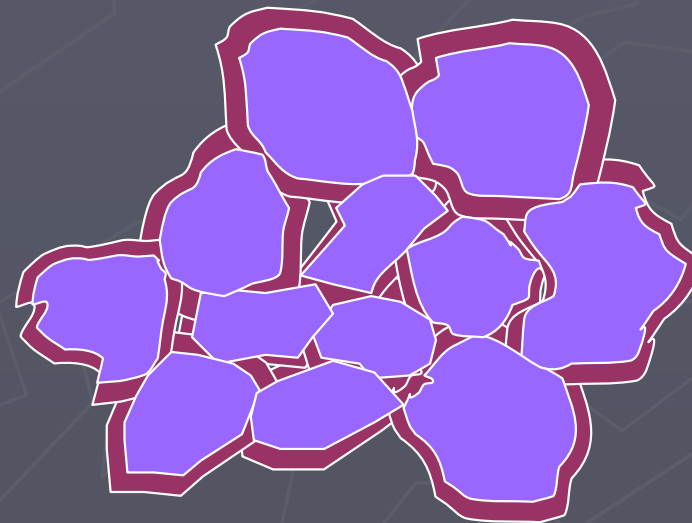


# Recrystallisation

Mineral grains forming sand increase in size due to crystallisation around the grains of the same mineral. For example if mineral grains are quartz then more quartz grows around original grains



Sand



Sandstone e.g. quartzite  
End product has crystalline texture

# Diagenetické procesy

## Rozpouštění

- Podsyčení pórových fluid vzhledem k okolním minerálům, nestabilní minerály
- Zvýšená teplota, tlak
- Tlakové rozpouštění – v místě maximálního kontaktu – krystalizace v místě menšího tlaku

## Cementace

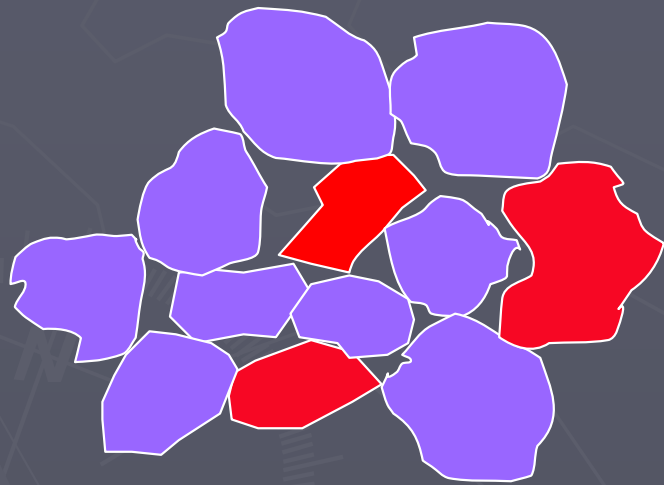
- Krystalizace nových minerálů z roztoků v pórech horniny – křemen, kalcit, hematit, aragonit, sádrovec, dolomit,
  - Snižování porozity, zpevňování
- Podmínky
- Průchod fluid póry, přesycení fluid vůči cementačnímu minerálu
  - Absence kinetických faktorů zabraňujících cementaci

## Autigeneze

- Krystalizace nových minerálů mimo póry v sedimentu – zpravidla nahrazení
- křemen, živce, jíly, zeolity, kalcit, hematit, aragonit, sádrovec, dolomit, fosfáty (apatit)
- Snižování porozity, zpevňování

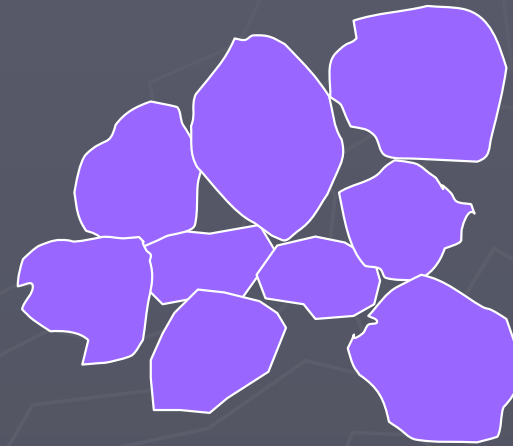


# Dissolution



Mixed carbonate and  
quartz sand

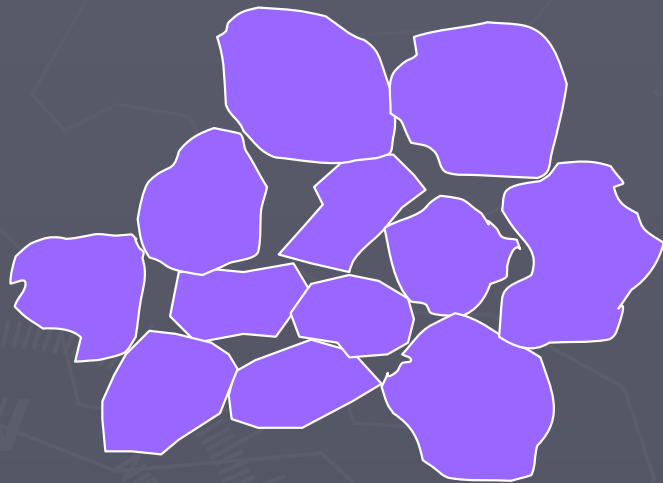
Dissolution of  
carbonate grains



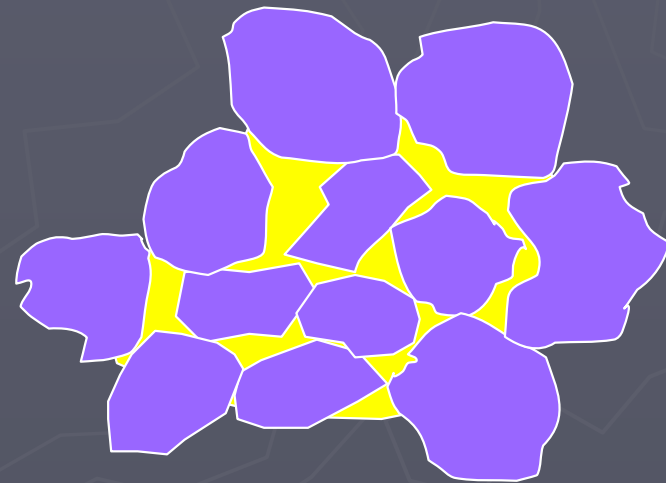
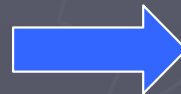
Quartz sand + particle re-  
arrangement

# Cementation

Sand



Cemented sand = sandstone



- Iron oxide
- Calcium Carbonate
- Clay minerals
- Silica

# Diagenetické procesy

## Nahrazování

- Nové minerály krystalizují na místě původních minerálů
- **Neomorfismus** – nové zrno je stejné fáze jako původní (sejný minerál)
- **Pseudomorfismus** – nové zrno napodobuje vnější tvar původního zrna
- **Alomorfismus** – nový minerál o jiném tvaru nahrazuje původní minerál

Dolomit, opál, křemen, illit

## Bioturbace

- Zvíření sedimentu v důsledku činnosti živých organismů
- Při povrchu sedimentu
- Někdy doprovodná cementace

# Fáze diagenese

- ▶ Raná diagenese (eogeneze)
- ▶ Středí fáze diagenese (mesogeneze)
- ▶ Pozdní diagenese (telogeneze)
- ▶ Mělká diagenese (shallow-water)
- ▶ Diagenese pohřbením (burial)

# Fluida při diagenезi

Fluida přítomna v každém sedimentu

## **Funkce fluid**

- Srážení cementů
- Tvorba autigenních a náhražkových minerálů
- Rozpouštění

## **změna složení fluid během diagenéze**

### **Typy fluid**

- syndepoziční (voda)
- meteorická fluida (sladká voda)
- mořská voda
- dehydratační rozklad minerálů – další voda
- metan
- uhlovodíky

# Diageneze psamitických a pefitických klastických sedimentů

**Porozita a kompakce** ekonomické hledisko – ropa a zemní plyn

- snižování porozity, deformace plastických litických zrn (droby), porozita (po uložení cca 40%), po diagenezi mnohem méně, minimum cca 3%

**Bioturbace** – místy hojná

**Rekrystalizace**

**Rozpouštění**

- snižování porozity nebo zvyšování sekundární porozity
- Změna minerálního a chemického složení horniny
- Stabilní minerály (křemen) → nestabilní minerály (živce)

**Autigeneze**

- Fylosilikáty, chlorit, živce, zeolity

**Cementace**

- Křemen, kalcit, živce, dolomit, illit, kaolinit, hematit

**Typy cementu:**

- Vlákňité
- Mikritické
- Izometrické zrnité (equant)



# Diagenese pelitických hornin

## **Minerální složení:**

- Illit, smektit, kaolinit, chlorit, křemen, živce, kalcit

## **Bioturbace:**

- eogeneze, velmi hojná

## **Porozita a kompakce:**

- uspořádání tabulkovitých zrn kolmo k tlaku nadloží, značná kompakce

## **Autigeneze, nahrazování, rozpouštění, rekrystalizace, cementace**

- Nahrazování smektitu illitem („krystalinita illitu“)
- Nahrazování kaolinitu jinými fylosilikáty (dickit)
- Rozpouštění a nahrazování živců
- Rozpouštění a nahrazování kalcitu a dolomitu
- Snížení obsahu organického uhlíku

# Diageneze karbonátů

Procesy směřující k ustanovení chemické rovnováhy:

Nestabilní minerály (aragonit, high-Mg kalcit) -> stabilní minerály (low-Mg kalcit, dolomit)

Procesy:

- Cementace
- mikrobiální mikritizace
- Neomorfismus
- Rozpouštění
- kompakce (+ tlakové rozpouštění)
- dolomitizace

Prostředí diageneze:

- Mořské
- Meteorické
- Hluboké pohřbení (burial)

# Cementace

Výplň pórů minerálními fázemi

Cementační minerály:

- ▶ Běžně: Aragonit, kalcit, dolomit,
- ▶ Méně často: Ankerit, siderit, kaolinit, Q, anhydrit, sádrovec, halit

Původ iontů ve fluidech:

- ▶ z mořské vody
- ▶ z rozpuštěné horniny

Morfologie cementu (tvar krystalových individuí):

Jehlicovitý, izometrický (equant), mikritový

Geometrie cementu (uspořádání krystalů v prostoru):

Izopachový, meniskový, polygonální, syntaxiální

# Mikrobiální mikritizace

Chemické leptání substrátu mikroorganismy  
Výplň leptaných dutin mikritem  
mikritické obálky, úplné nahrazení zrna

Substrát: skeletální alochemy (echinodermata, mollusca), ooidy  
Vrtavé mikroorganismy: (vápnité houby /Cliona/, endolitické řasy, aktérie)

## Neomorfismus

Změna velikosti zrna a změna chemismu zrn

- ▶ Agradace: zvětšování velikosti zrna (mikrit -> mikrosparit)
- ▶ Kalcitizace: nahrazení aragonitu kalcitem

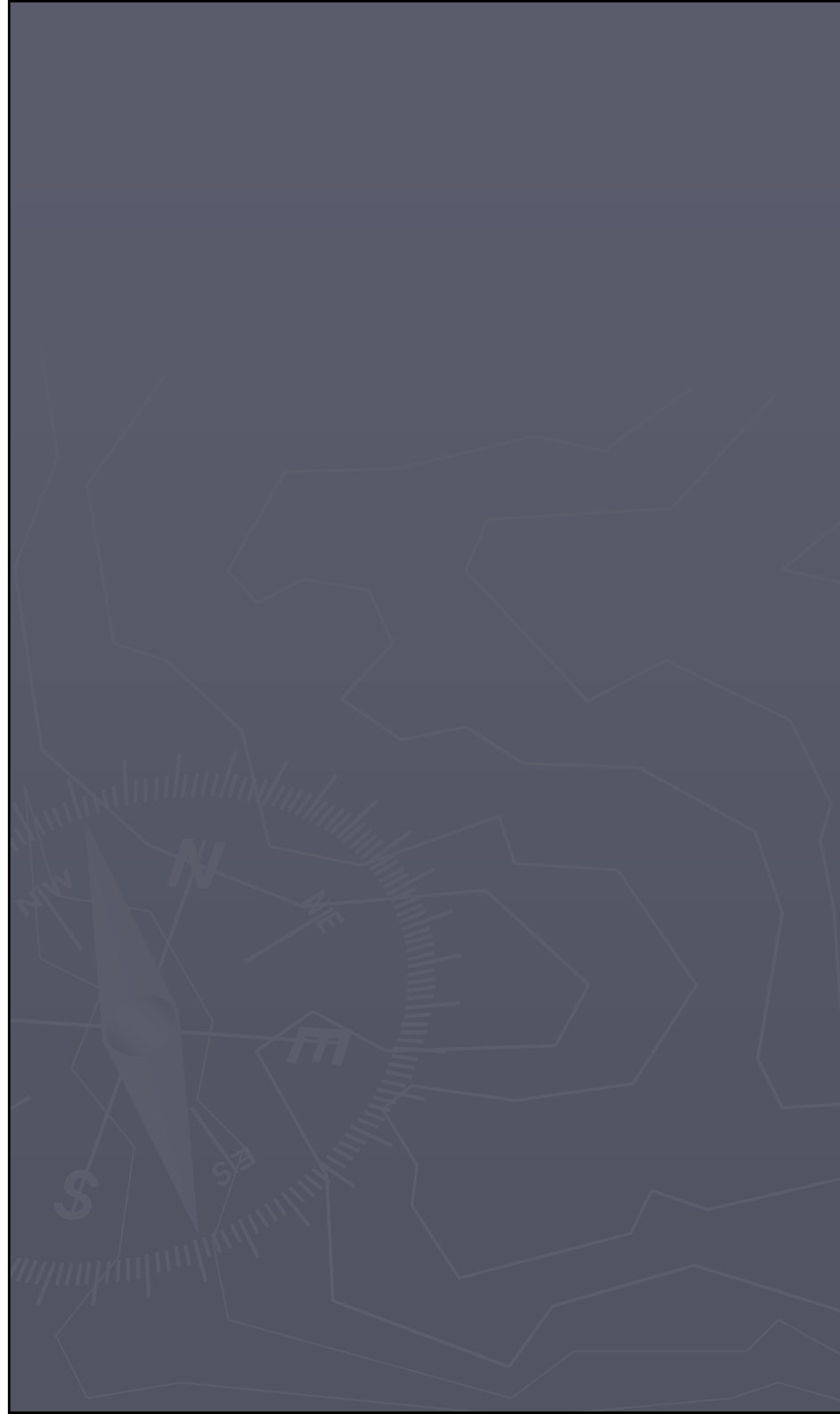
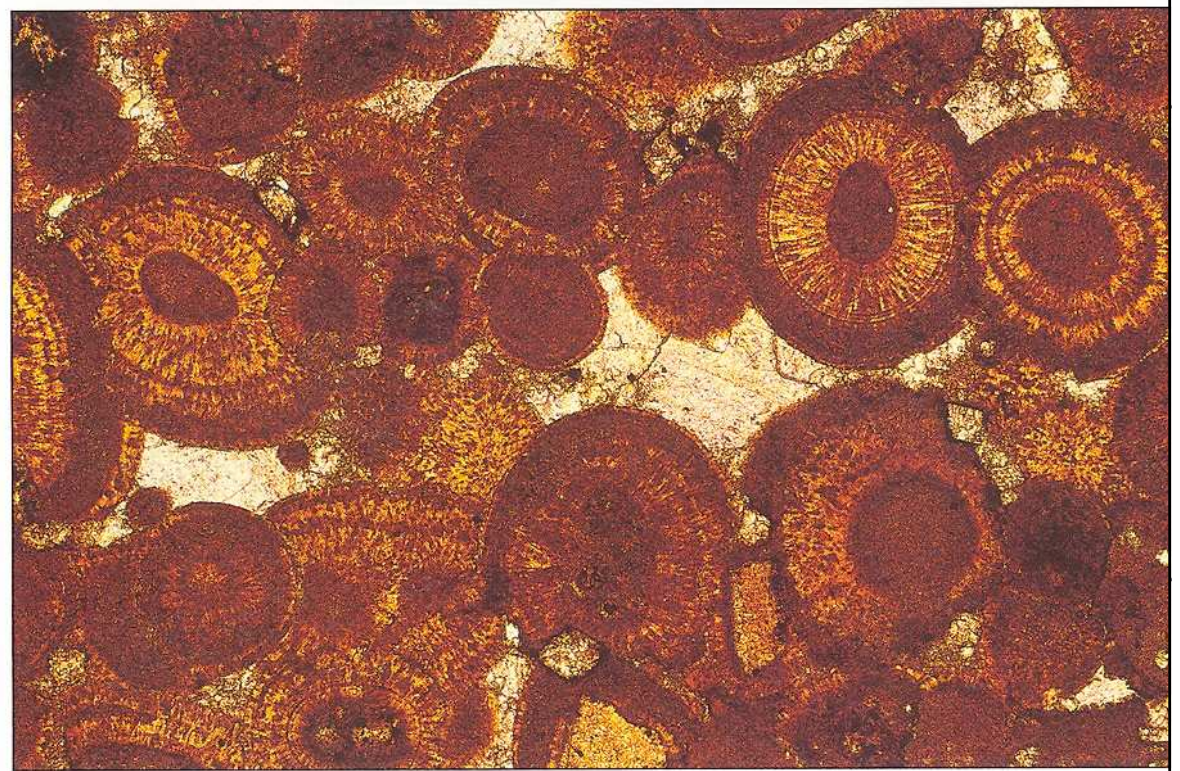
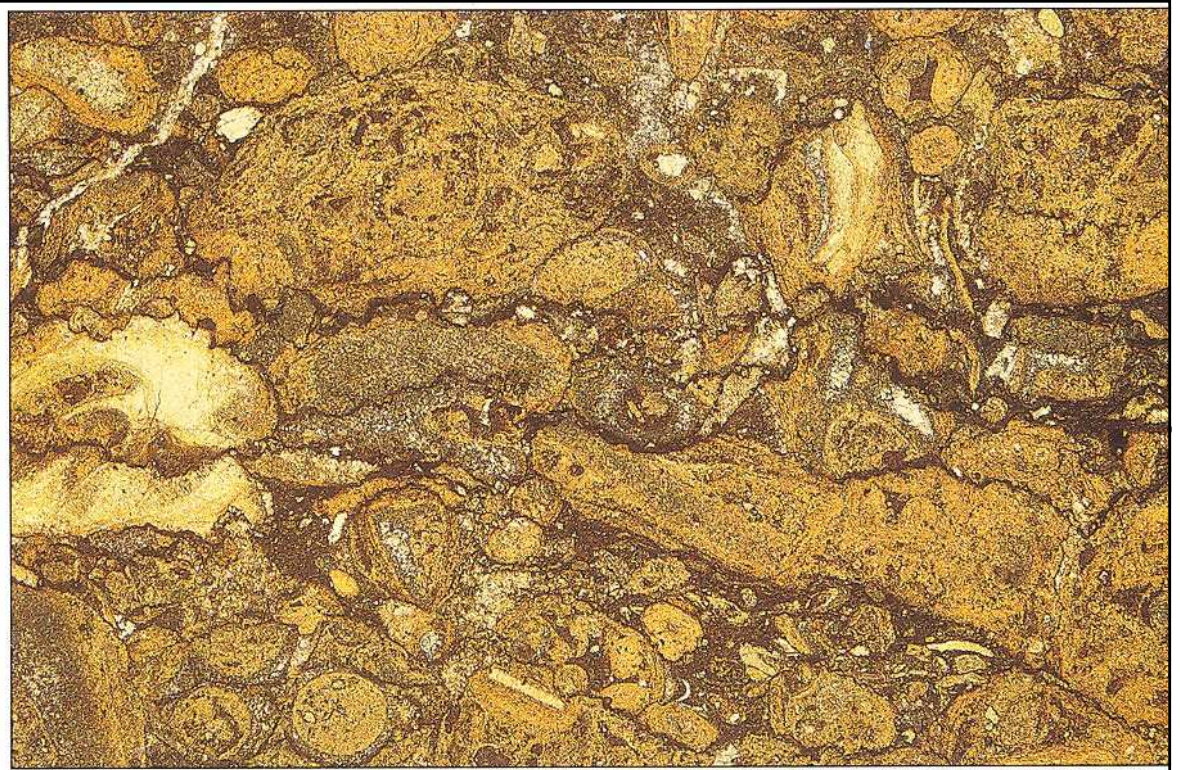
# Rozpouštění

Nestabilní minerály: aragonit, high-Mg kalcit

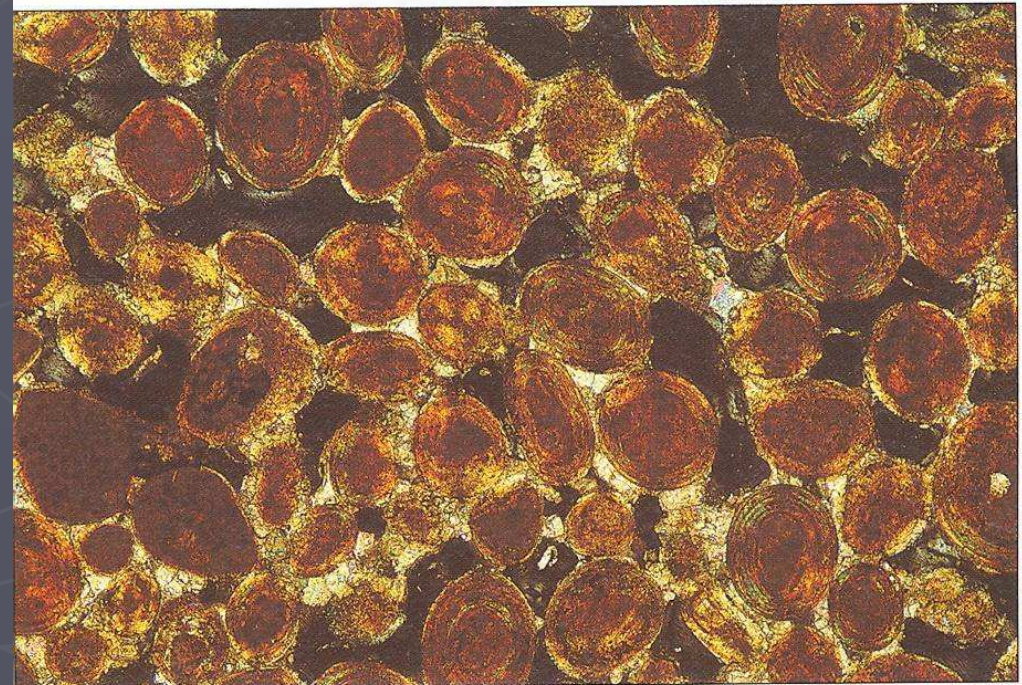
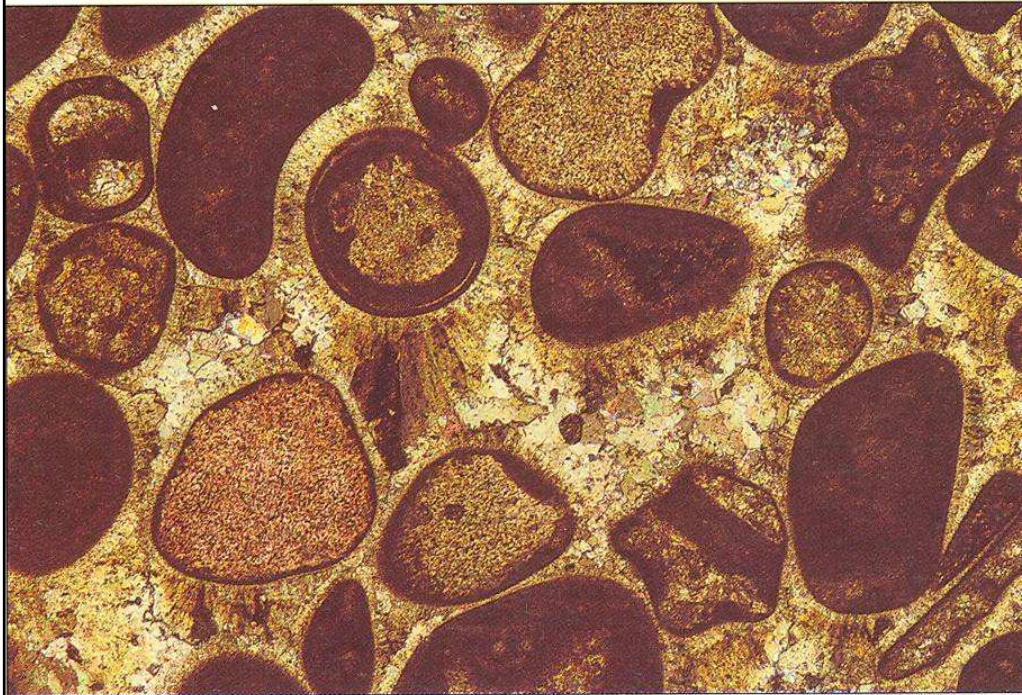
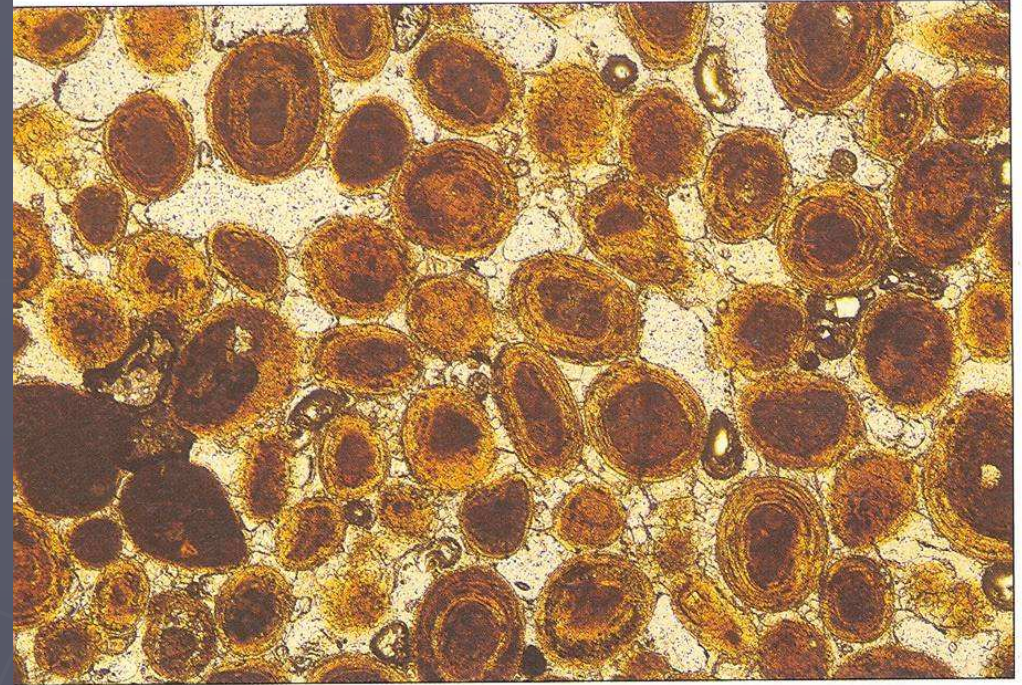
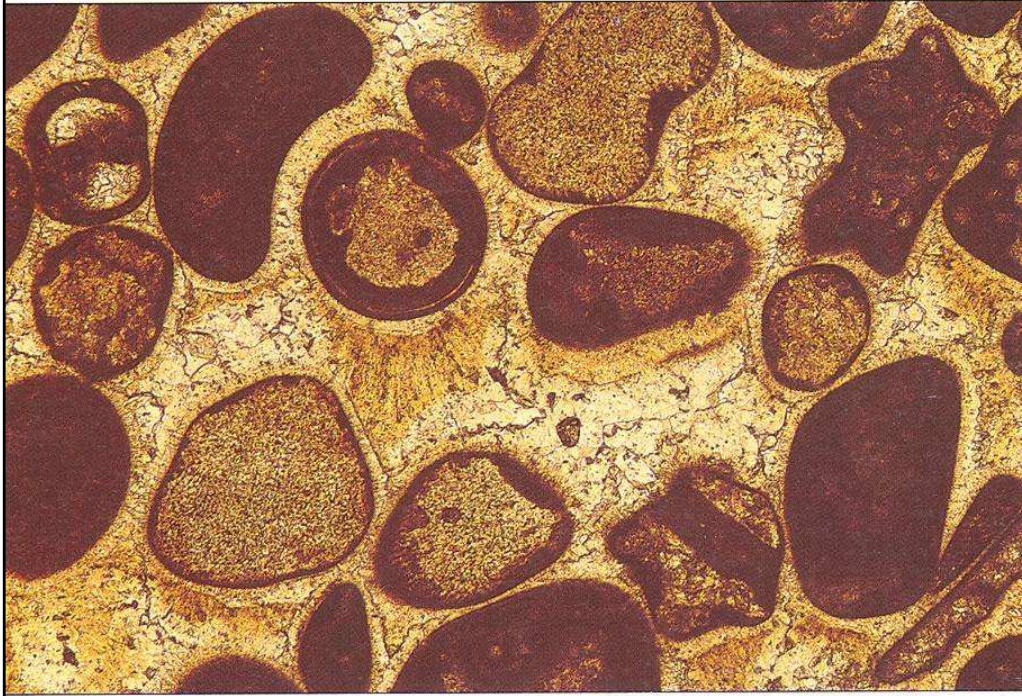
# Kompakce

Snižování celkového objemu horniny (včetně pórů)

- Rozpouštění na kontaktu zrn v necementovaných sedimentech
- Tlakové rozpouštění v cementovaných sedimentech (tlakové švy - stylolity)



# Cementy: izopachový, blokový (vlevo), meniskový (vpravo)



# Syntaxiální cement





# Diagenetická prostředí

## Marinní diagenese

Procesy: cementace, mikritizace,

Typy cementu:

aragonitové (vějířový, jehlicový)

High-Mg kalcit (blokový izometrický)

**Hardground**: zpomalení sedimentace, diagenese v přípovrchové zóně sedimentu, mikritizace, bioturbace

**Beachrock** (peritidální karbonáty): cementované sedimenty pláží, vrtání, mikritické a jehlicovité cementy,

**Nodulární textura** (karbonáty s obsahem mikritu a vyšším obsahem nečistot /pelity/)

# Meteorická diagenese

Procesy: rozpouštění, cementace,

Typy cementu:

Mikritové, low-Mg kalcit, meniskové

Kalkrety:

V půdních horizontech,

Mikritické – mikrosparitické cementy, výplň pórů nebo nahrazování

Různá morfologie

## Diagenese pohřbením

Podmínky: tlak nadloží, zvýšená teplota,  
nízká porozita

Procesy: neomorfismus, chemická a  
mechanická kompakce (stylolitizace)

Typy cementu:

Izometrický, syntaxiální

Hrubozrnný low-Mg kalcit, siderit, ankerit,  
dolomit



# Dolomitizace

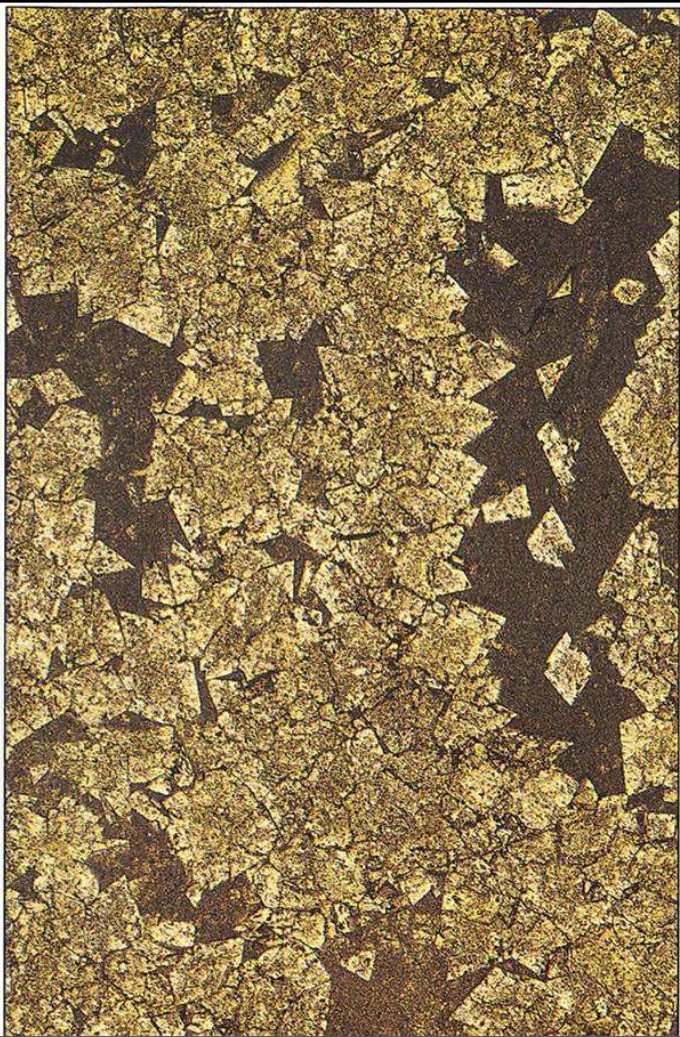
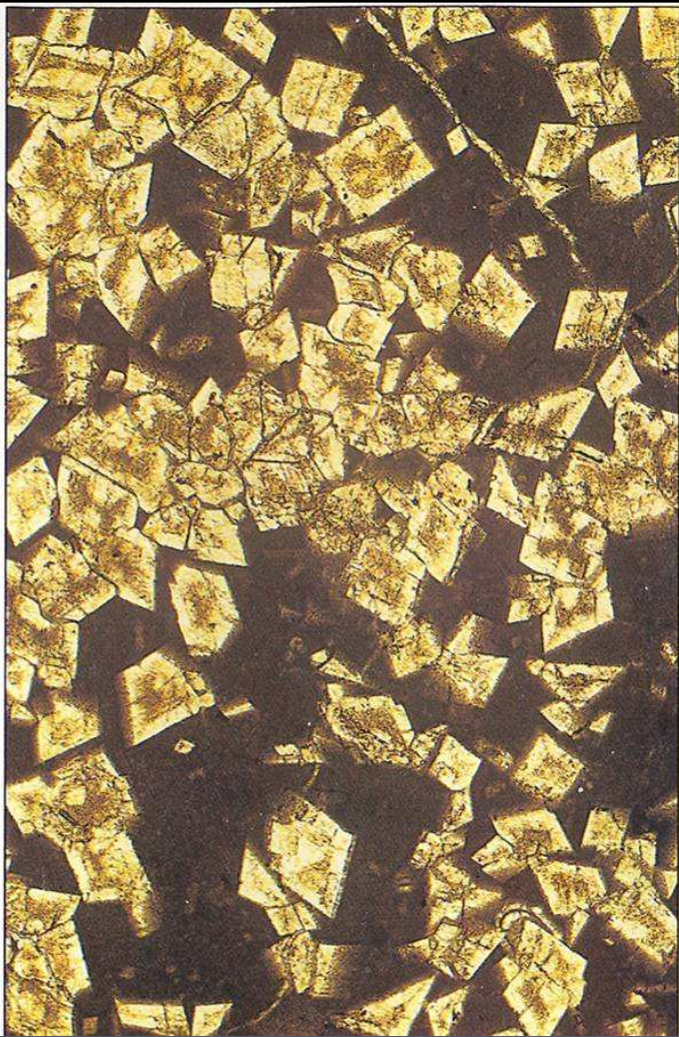
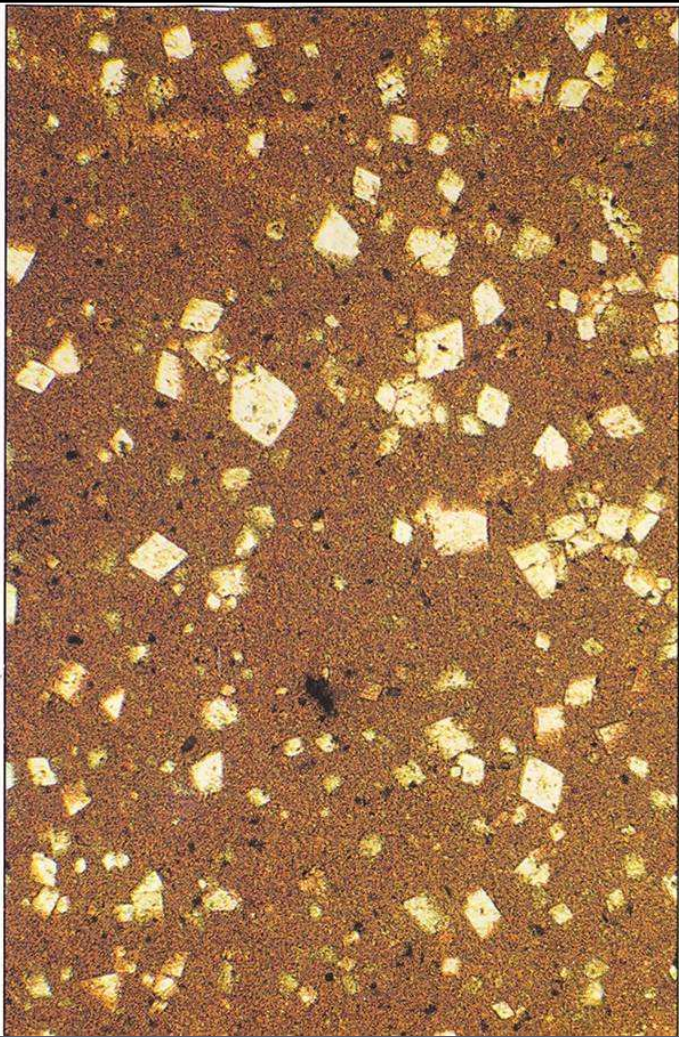
Nahrazování  $\text{CaCO}_3$  dolomitem

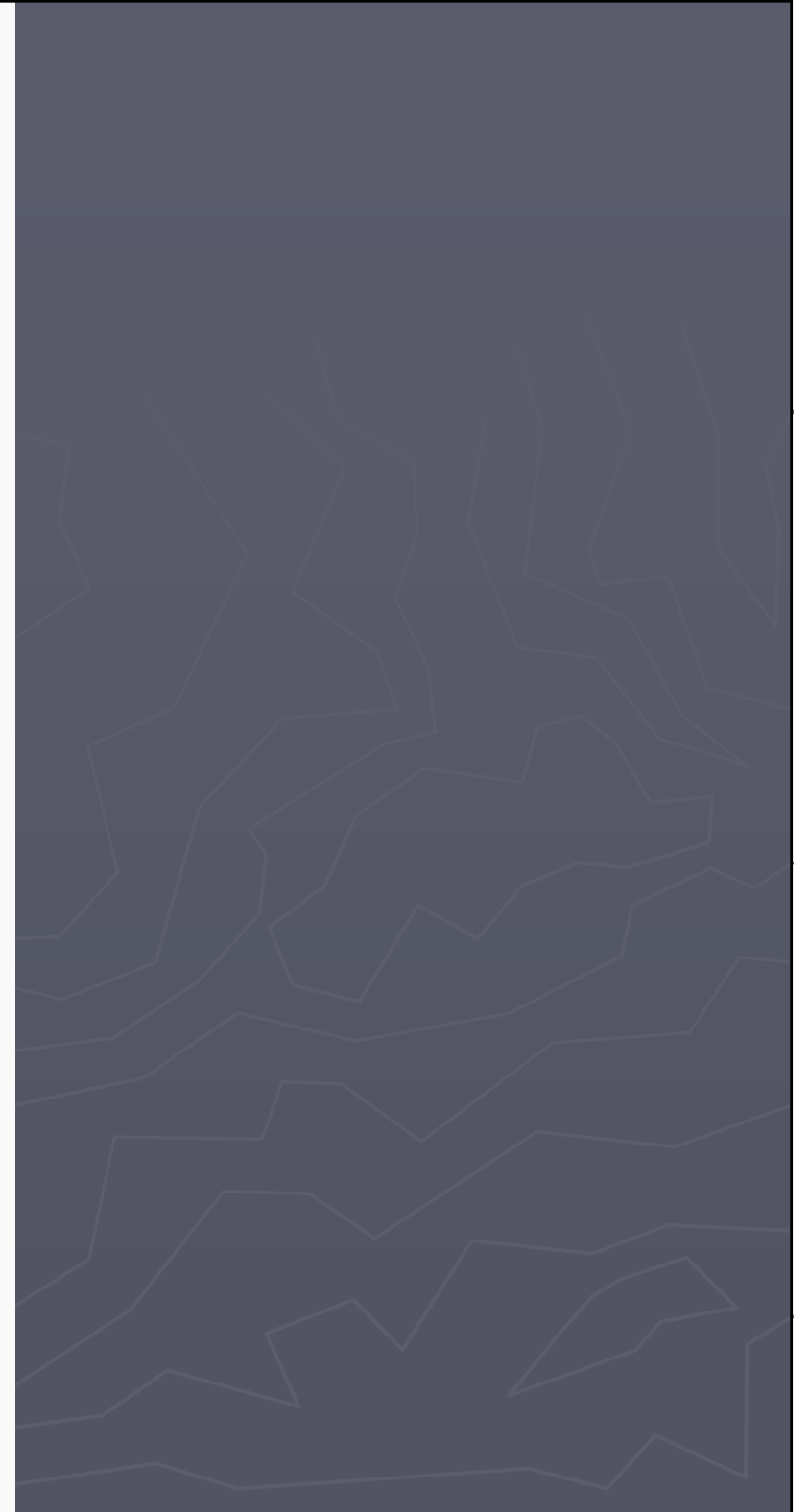


Zdroj  $\text{Mg}^{2+}$ : mořská voda, jíly obohacené o  $\text{Mg}^{2+}$

Procesy dolomitizace:

- Cementace (vzácně)
- Nahrazování





# Modely dolomitizace

## Evaporační dolomitizace

Aridní prostředí (sebchy, solná jezera)

Kapilární vzlínání podzemní vody v důsledku odpařování vody

Míšení mořských a terigenních nasycených vod

## Dolomitizace v zóně míšení

Míšení mořských a terigenních podzemních vod

Mg z mořské vody

Terigenní voda: hybný mechanismus, pumpuje dolomitizující fluida horninou

# Dolomitizace pohřbením

- ▶ Ztráta vody kompakcí z jílových hornin a migrace fluid nasycených Mg
- ▶ Dolomitizace vápenců okraje šelfu

## Dedolomitizace

- ▶ Nahrazování dolomitu low-Mg kalcitem

# Facie a depoziční prostředí

soubor charakteristických znaků sedimentu:

- sedimentární textury (vrstevnatost, zvrstvení, textury na vrstevních plochách) a sedimentární struktury (zrnitost, vytrídění, zaoblení) -> hydrodynamické podmínky ukládání – směr, rychlost proudění, laminární / turbulentní proudění, vlnění, příliv, atd.
- minerální složení sedimentu (zdrojová oblast sedimentu, podmínky diagenese)
- paleontologický obsah a (ekologie, funkční morfologie fosílií)
- tafonomie (podmínky zachování fosílií po odumření)

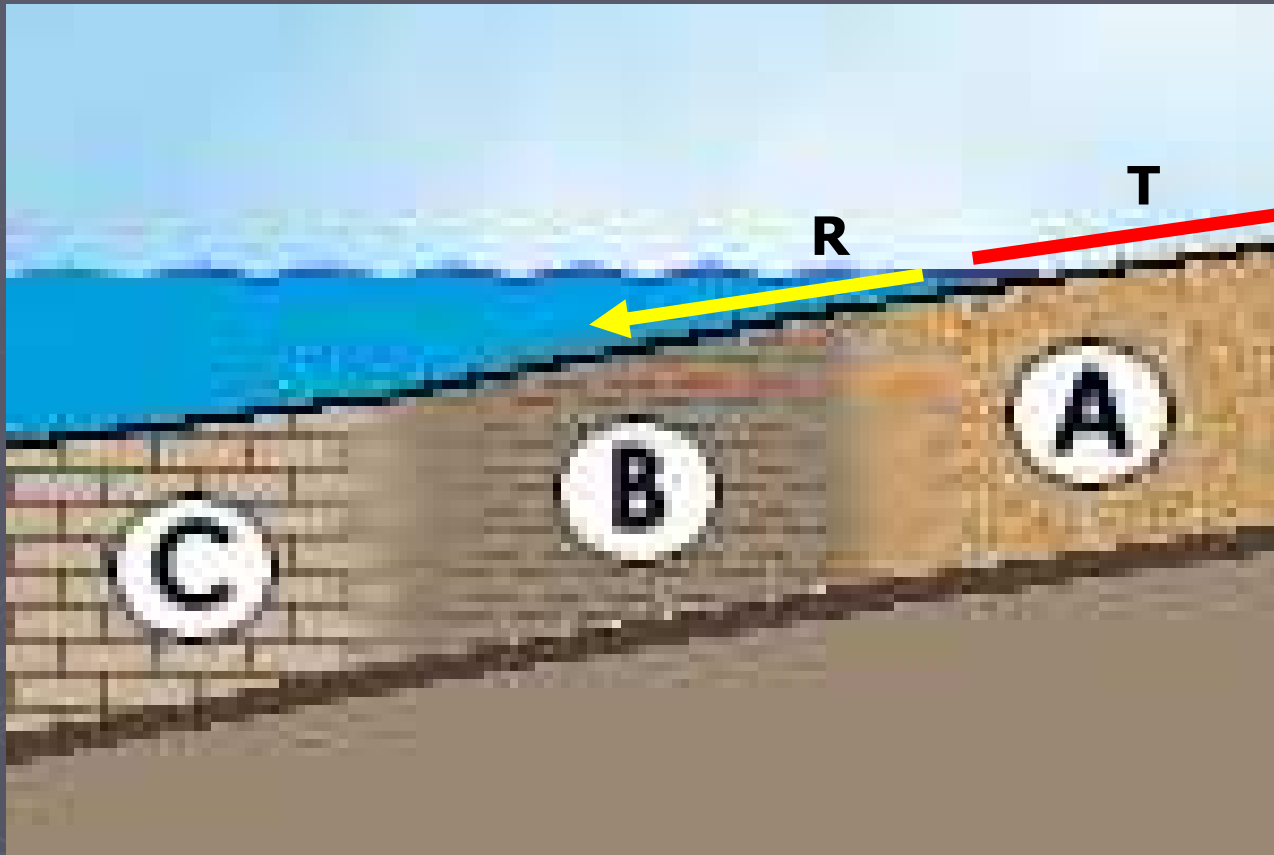
Princip laterální změny facií



# Facie



# Faciální změna, transgrese a regrese



A = Sandstone facies (beach environment)

B = Shale facies (offshore marine environment)

C = Limestone facies (far from sources of terrigenous input)

Each depositional environment grades laterally into other environments. We call this **facies change** when dealing with the rock record

# Waltherův zákon

„facie ležící v daném časovém okamžiku vedle sebe jsou ve vertikálním profilu viditelné nad sebou“.

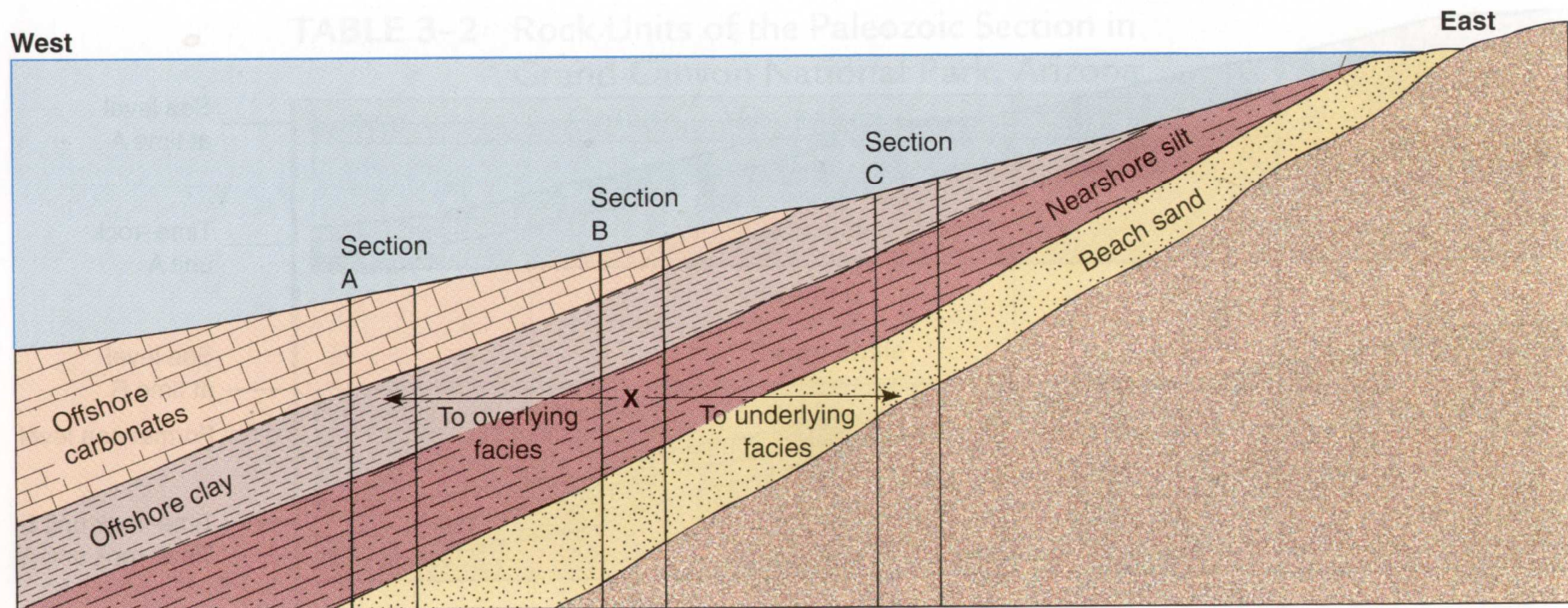
Umožňuje studovat časoprostorové vztahy mezi faciem

Spolupůsobení dvou procesů:

- laterální posun procesů sedimentace (např. rozšiřování říčních meandrů, překládání říčních koryt, posun pouštních dun) které vedou ke vzniku facií,
- nepřerušované vertikální ukládání facií.

## Walther's Law - Facies Successions

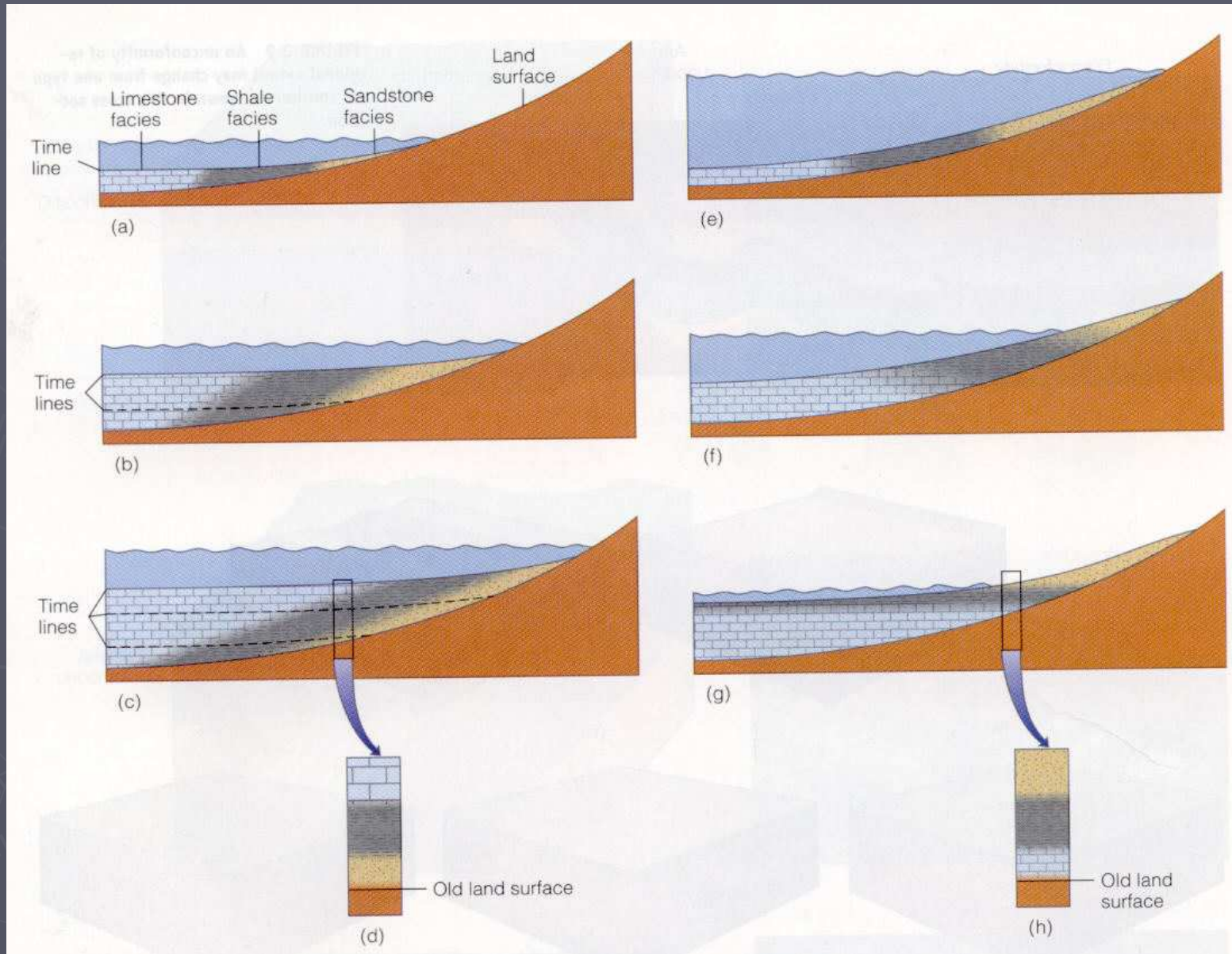
Facies situated in conformable vertical successions of strata are also situated in laterally adjacent environments



**FIGURE 3-41** An illustration of Walther's Principle, which states that vertical facies changes correspond to lateral facies changes. (After Brice, J. C., Levin, H. L., and Smith, M. S. 1993.

Laboratory Studies in Earth History, 5th ed. Dubuque, IA: William C. Brown.)

# Progradace / retrogradace

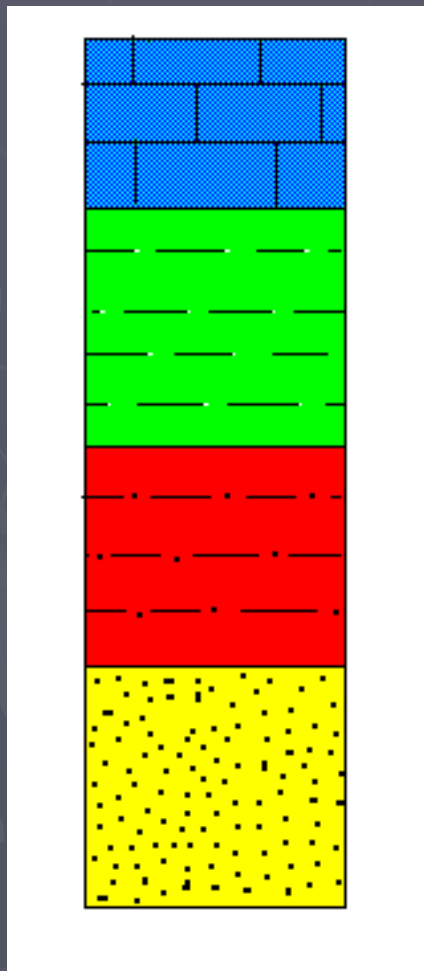


# Transgresivní a regresivní sekvence

- **Transgressive sequence**

- Deeper water facies overlie shallow water facies.

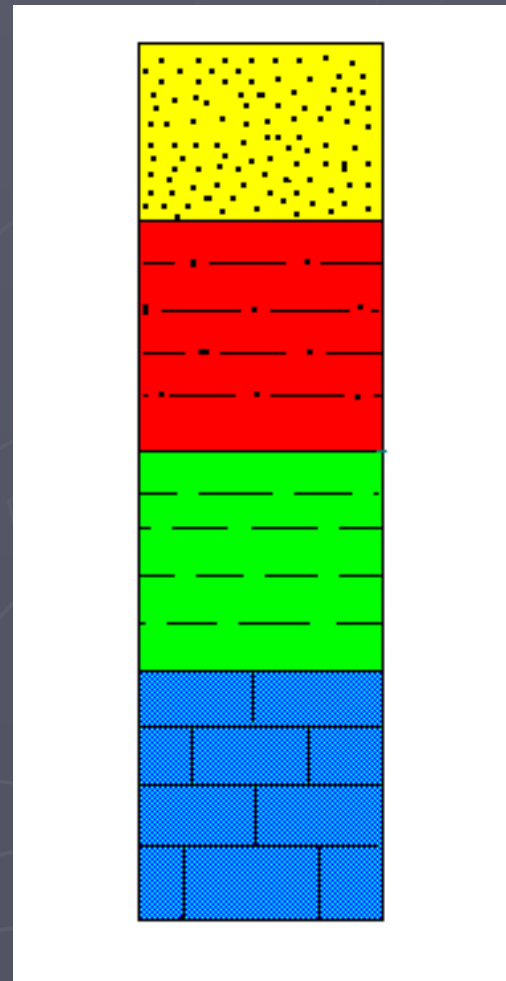
A "deepening upward" sequence.



- **Regressive sequence**

- Shallow water facies overlie deeper water facies.

A "shallowing upward" sequence.



# Sedimentační prostředí

Geografický prostor, který je charakterizován specifickou kombinací geologických procesů

- Reliéf, topografie
- Typ, množství vody, hloubka vody
- Procesy transportu a sedimentace
- Biologická aktivita

Interpretace ze souborů facií

# Sedimentační prostředí

**pobřežní prostředí**

**eolické prostředí**

**Aluviální vějíř**



Beach



Sand dune



Alluvial fans



Glacial deposits

**šelf**



Spit

**pelagické prostředí**

Turbidity current

**podmořský vějíř**

**říční delta**

**bariérové ostrovy**

**přílivové plošiny**

Lake

Estuary

Salt flat

Playa lake

Swamp

**lakustrinní prostředí**



Stream

**fluviální prostředí**

Floodplain

Delta

Lagoon

Reef

Barrier island



prostředí sedimentace		faciální model	charakteristika, typické facie
terestrická	fluviální	aluviální vějíř	klastické sedimenty, hrubozrnná klastika, chaotické štěrky, šikmo zvrstvené písky, málo fosilií, velké mocnosti
		divočící řeka	štěrky, písky, jíly, šikmé zvrstvení v píscích, FU trendy, bez fosilií, laterální akrece sedimentu
		meandrující řeka	štěrky, písky, jíly, imbrikace valounů ve směru proudění, šikmé zvrstvení v píscích, laminované jíly, zbytky rostlin, uhelné slojky, FU trend,
		anastomosing river (vzájemné proplétání řečišť)	písky, jíly, málo štěrku, šikmo zvrstvené písky, zbytky rostlin, agradace
	eolické	erg, duna	písky, pískovce, šikmé zvrstvení různých směrů, šplhavé čeřiny, velmi dobré vytřídění, červená barva (oxidy Fe)
		Spraše	CaCO <sub>3</sub> , aleuritická frakce, terestričtí „sprašovi“ plži
	lakustrinní	otevřené systémy	roční varvy, <b>turbidity</b> , někdy nevrstevnaté sedimenty, sladkovodní organismy, progradace příbřežních klastik
uzavřené systémy		stratifikace vodní masy (O <sub>2</sub> , teplota), častá laminace, černé jílovce bohaté na organickou hmotu (anoxické sedimenty), chemogenní sedimenty (karbonáty a evapority), stenovalentní organismy - brakická a slaná voda	
přechodná	deltaické	wave-dominated	šikmo zvrstvené písky, horizontálně zvrstvené písky, zbytky rostlin, prodelta - jíly
		tide-dominated	sedimenty <b>přílivových plošin</b> , písčité hřbety - šikmé zvrstvení, bioturbace, zbytky rostlin prodelta - jíly
		river-dominated	<b>deltová plošina</b> - jíly, písky, štěrky říčkových koryt, uhelné sloje, rostlinné zbytky <b>čelo delty</b> - jíly, jemnozrnné písky, brakická fauna <b>prodelta</b> - jílovce, marinní fauna celková progradace, CU trendy,
	přílivové plošiny	Siliciklastické	<b>mikro-, meso- makrotidál</b> čočkovité zvrstvení, paralelně laminované jíly, písky s čeřinovým zvrstvením, intraklasty, rezidua výplně kanálů, křížové zvrstvení typu „herringbone“, bioturbace,
		Karbonátové	řasové koberce, tepee struktury, intraklastové brekcie, bahenní praskliny, evapority, stromatolity
marinní	pobřeží a bariérové ostrovy		<b>pobřeží</b> - písky, planární zvrstvení, dobré vytřídění, čeřinové zvrstvení <b>laguna</b> - často hypersalinní nebo naopak brakické prostředí, stenovalentní fauna <b>bariérový ostrov</b> - viz. pobřeží
	klastické šelfy	dominované dmutím domin. bouřkami	Písčité tidální hřbety, tempestity, HCS, šikmo- a křížově zvrstvené pískovce, mělkomořská fauna
	karbonátové šelfy	rampy lemové šelfy izolované lavice atoly	útesy a šelfové sedimenty: viz. faciální klasifikace karbonátů + faciální modely siliciklastických šelfů, útesové a mělkomořské organismy, <b>autoproduktivita !</b>
	svahy a pánve	svah, svahový osyp (apron), podmořský vějíř oceánské dno	<b>turbidity</b> , sedimenty gravitačních toků, <b>konturity</b> , hemipelagické sedimenty s nektonickými a planktonními organismy, „flyš“, nereitové a zoofykové ichnofacie
	pelagické prostředí		sedimenty ze suspenze, rudé jíly, biogenní vápnitá a křemitá bahna, paralelní laminace, detailní zvrstvení, dominuje plankton (a nekton), CCD, nereitové a zoofykové ichnofacie

# Terrestrická sedimentační prostředí

Soubor terrestrických sedimentačních prostředí zahrnuje prostředí sedimentace mimo dosah mořské vody. Jednu kategorii terrestrických prostředí představují prostředí

**subaerická**, kdy sedimentace probíhá na rozhraní vzduch-sediment. Tato kategorie zahrnuje prostředí –

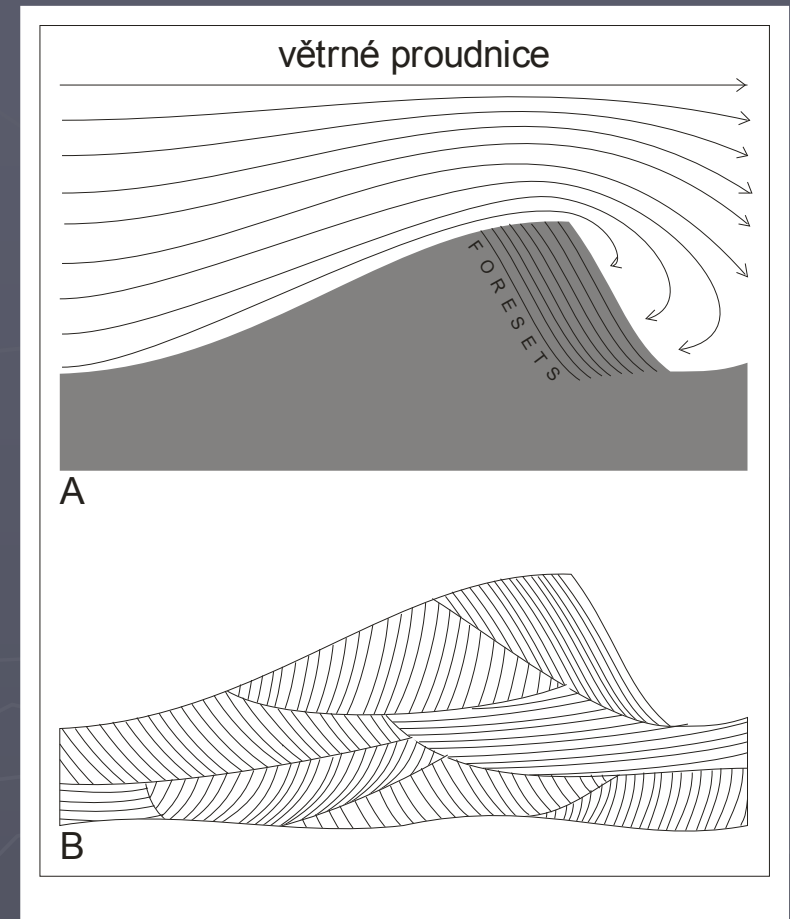
- **eolická**,
- **glaciální**
- **aluviální.**

**subakvatická**, kdy sedimentace probíhá na rozhraní voda-sediment, která zahrnují prostředí

- **říční (fluviální)**
- **jezerní.**

# Eolické prostředí

- ▶ aridní oblasti s nedostatkem srážek a nesouvislým pokryvem vegetace
- ▶ Transportním a ukládajícím médium: **vítr**
- ▶ Duna
  - návětrná strana (eroze písku)
  - závětrná strana. (sedimentace písku)
- ▶ Migrace duny – změny směru
  - výmolové šikmé zvrstvení
- ▶ Systémy dun vytváří rozsáhlá (n x 105 km<sup>2</sup>) tělesa, nazývaná ergy, které migují podobně jako duny.
- ▶ Eolické sedimenty jsou dobře vytríděné a jejich zrna se vyznačují velmi dobrým zaoblením. Málo fosilií – jen stopy a výhraby.



# Glacigenní prostředí

Prostředí sedimentace geneticky vázané na kontinentální nebo horský ledovec.

- ▶ Horské ledovce - eroze.
- ▶ **Kontinentální ledovce.**

Erozní činnost, **erozní rýhy**

Depoziční činnost

- **Subglaciální prostředí:** souvky, till, tillit
- **Proglaciální prostředí:** odtok tavných vod, **zvrstvené štěrky a písky**, špatně odlišitelných od sedimentů divočících řek fluviálního prostředí.
- **Glacilakustrinní prostředí,** sedimentace jedmozrnných paralelně laminovaných sedimentů - **varvity**. Jemná laminace je způsobena sezónním odtáváním ledovce, v zimě jsou ukládány relativně jemnozrnnější laminy s množstvím organického materiálu, v létě sedimentují laminy relativně hrubozrnnějšího materiálu, uvolňovaného při tavení ledovce.
- **Glacimarinní prostředí:** Kry odtržené z ledovce, plovoucí na hladině, uvolňují odtáváním valouny a balvany, které padají ke dnu jezera nebo moře a jsou začleněny do jemnozrnných sedimentů ze suspenze. Tyto valouny se nazývají **dropstony**

# Fluviální prostředí



# ŘÍČNÍ SYSTÉMY PODLE SPÁDU

- ▶ Aluviální systémy
- ▶ Divočící řeky
- ▶ Meandrující řeky
- ▶ Říční delty

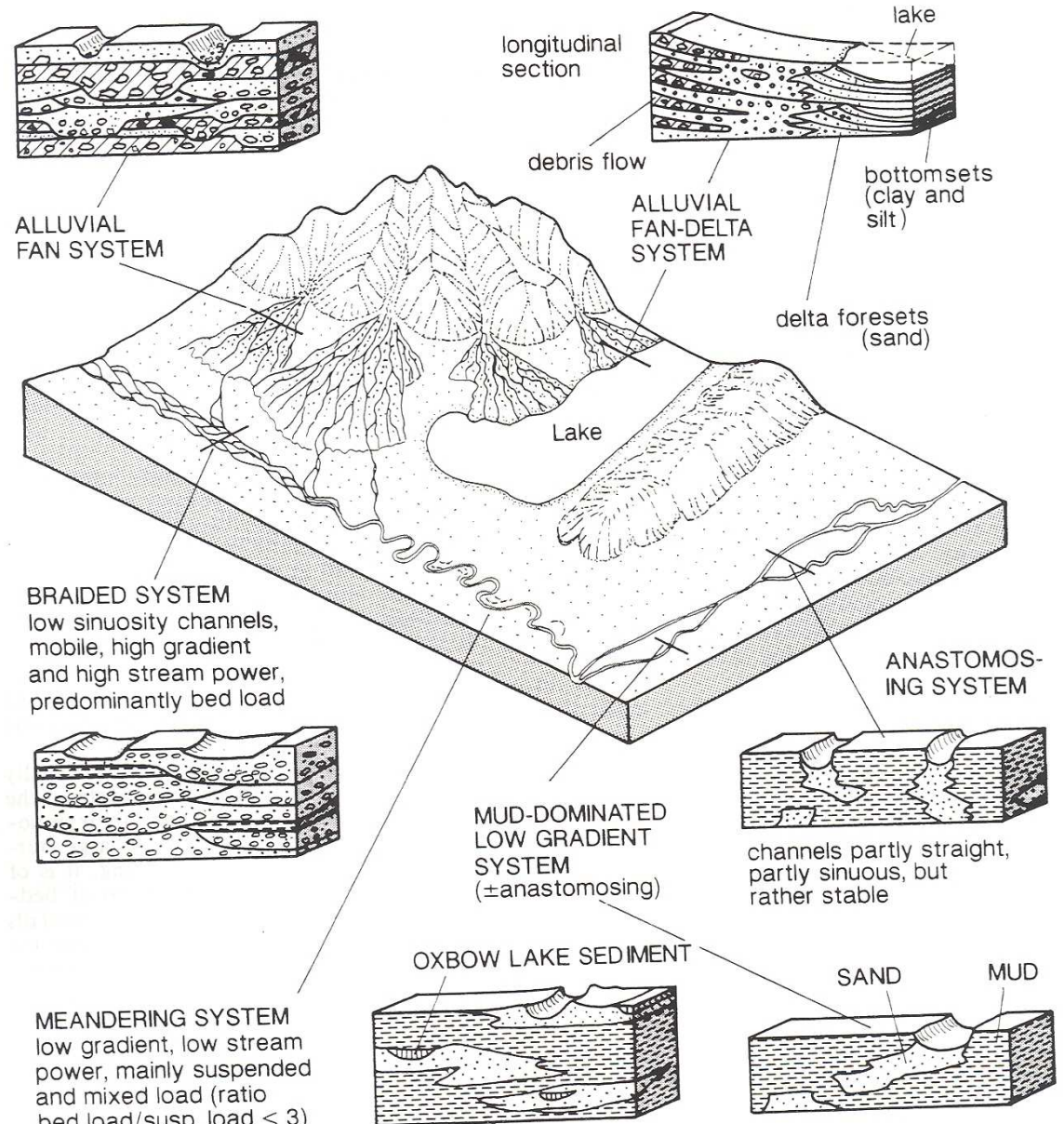
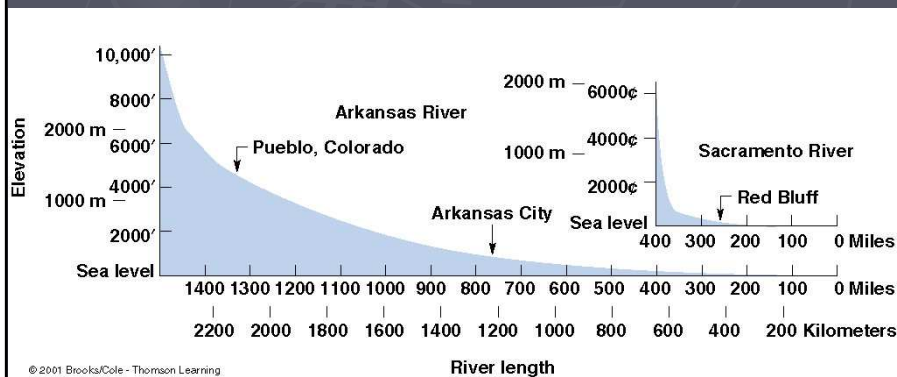
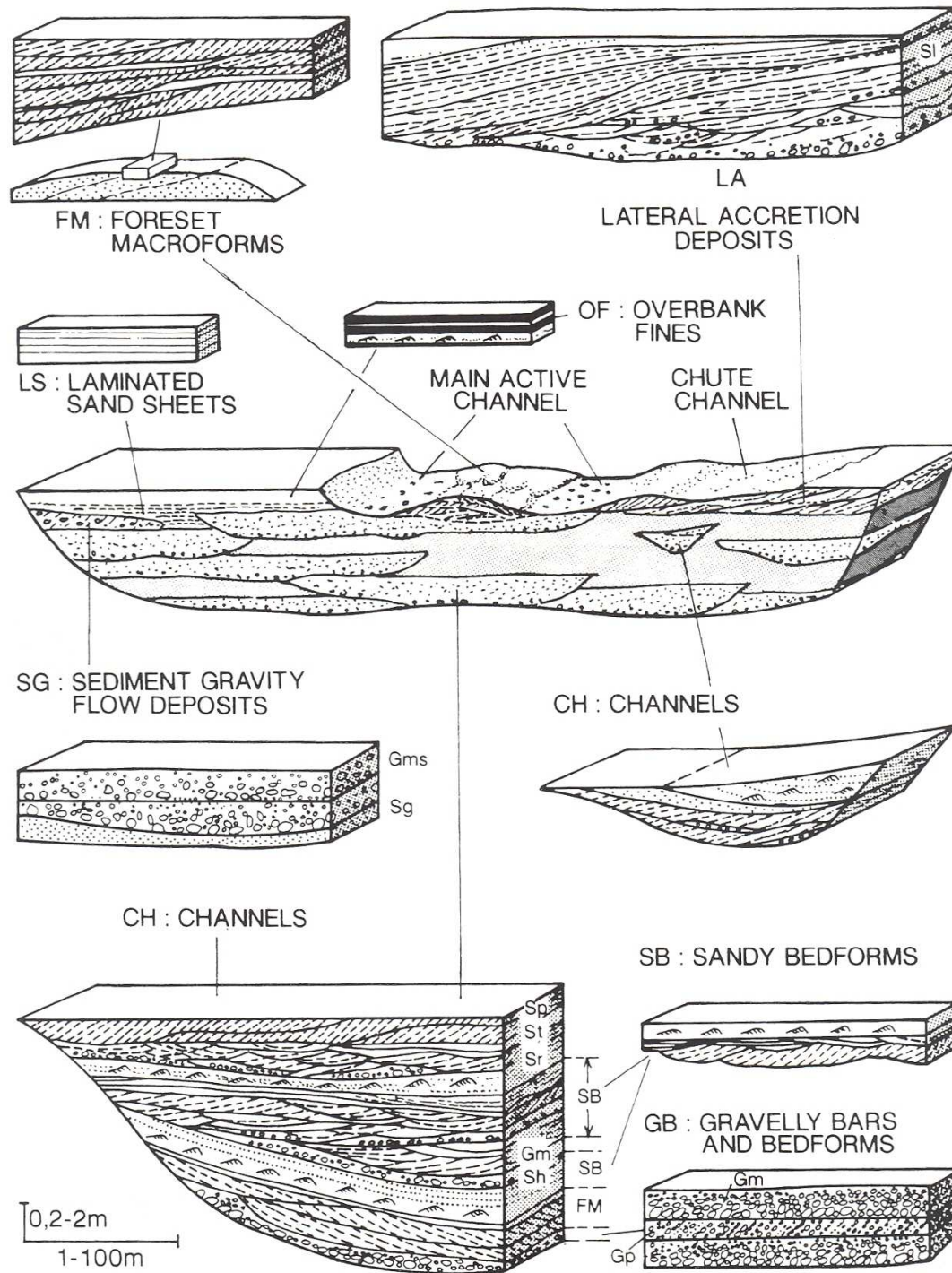


Fig. 2.8. Principal types of fluvial systems and generalized characteristics of their cross sections (vertical scale exaggerated)

# Stavební prvky fluviálních systémů



# Aluviální vějíř

- ▶ Intenzivní akumulace materiálu v subaerickém prostředí probíhá na okrajích horských pásem, v piedmontních (úpatních) oblastech.
- ▶ **Aluviální kužely** jsou vějířovitá tělesa, jejichž povrch má mnohdy značný sklon a je pokryt sítí koryt říčních toků.  
Hrubozrnné, špatně vytríděné a chemicky nezralé klastické sedimenty

## Základní procesy:

- 1) sedimentace z vodních toků,  
První typ sedimentu zahrnuje relativně dobře vytríděné štěrky s **výmolovým šikmým zvrstvením** a písky s **čeřinovým zvrstvením**.
  - 2) sedimentace z gravitačních toků.  
Druhý typ sedimentu je výsledkem gravitací vyvolaných sesuvů a skluzů na ukloněném nestabilním svahu vějíře, a následného pohybu materiálu ve formě **úlomkotoků** a **bahnotoků**. Sedimenty úlomkotoků a bahnotoků vytvářejí vrstvy chaotické **netříděné** směsi balvanů, štěrku, písku a jílu.
- ▶ Aluviální kužely jsou ve své proximální části zpravidla kontrolovány okrajovými poklesovými zlomy horského pásma, a neustálá subsidence podél těchto zlomů vede k akumulaci **obrovských mocností sedimentu** (10 km i více).
  - ▶ Většina aluviálních kuželů přechází ve své distální (vzdálené) části do říčních systémů specifického prostředí divočících řek. Sedimentární produkty obou prostředí jsou tak špatně rozlišitelné.



# Aluviální věžír

- **Lateral accretion** (boční akrece) involves higher-order bounding surfaces dipping perpendicular to paleoflow direction and associated lower-order bounding surfaces; in the case of **downstream accretion** higher-order bounding surfaces dip parallel to paleoflow direction
- Kanály
- Gravitační sedimenty (úlomkotoky)

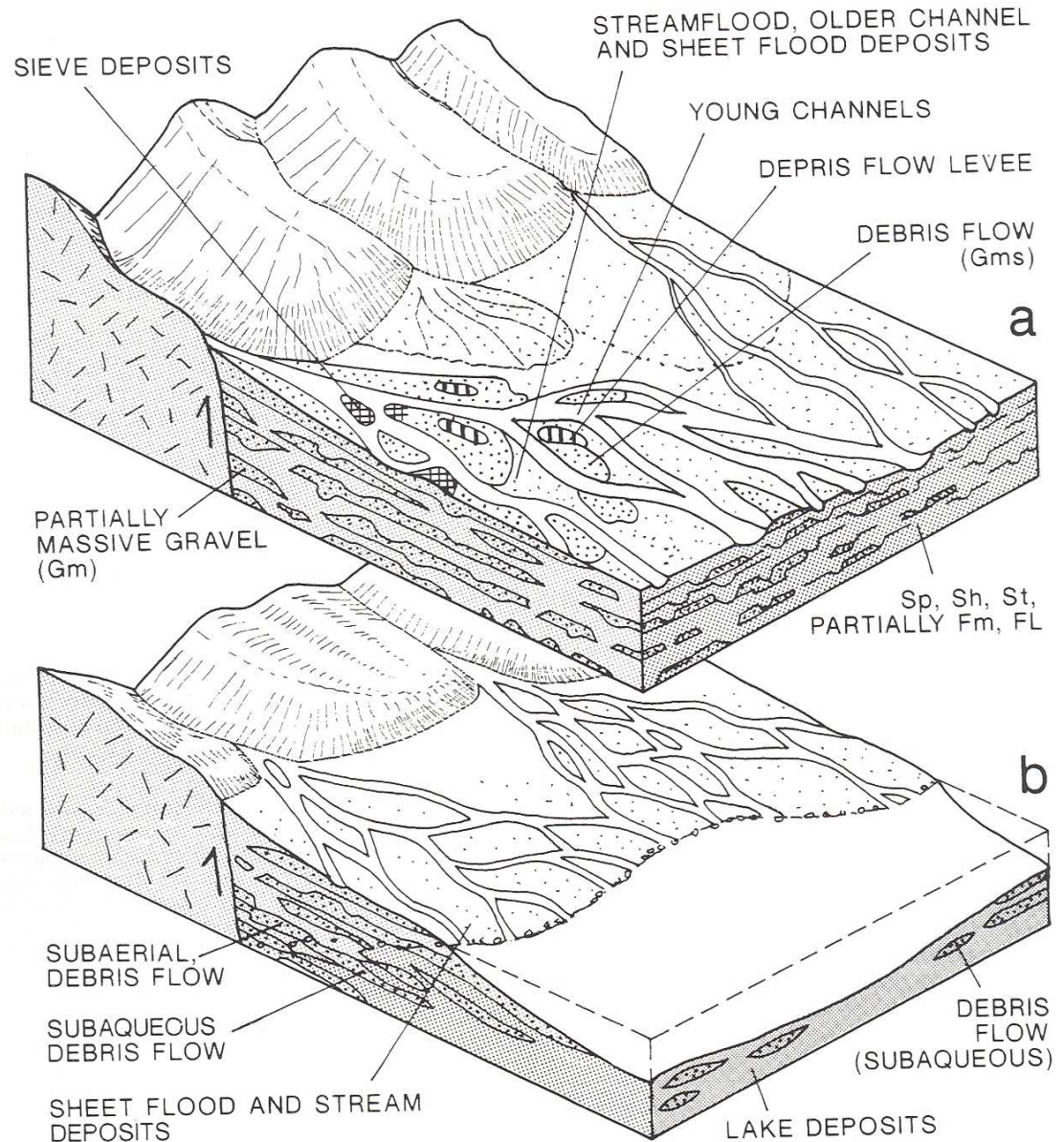
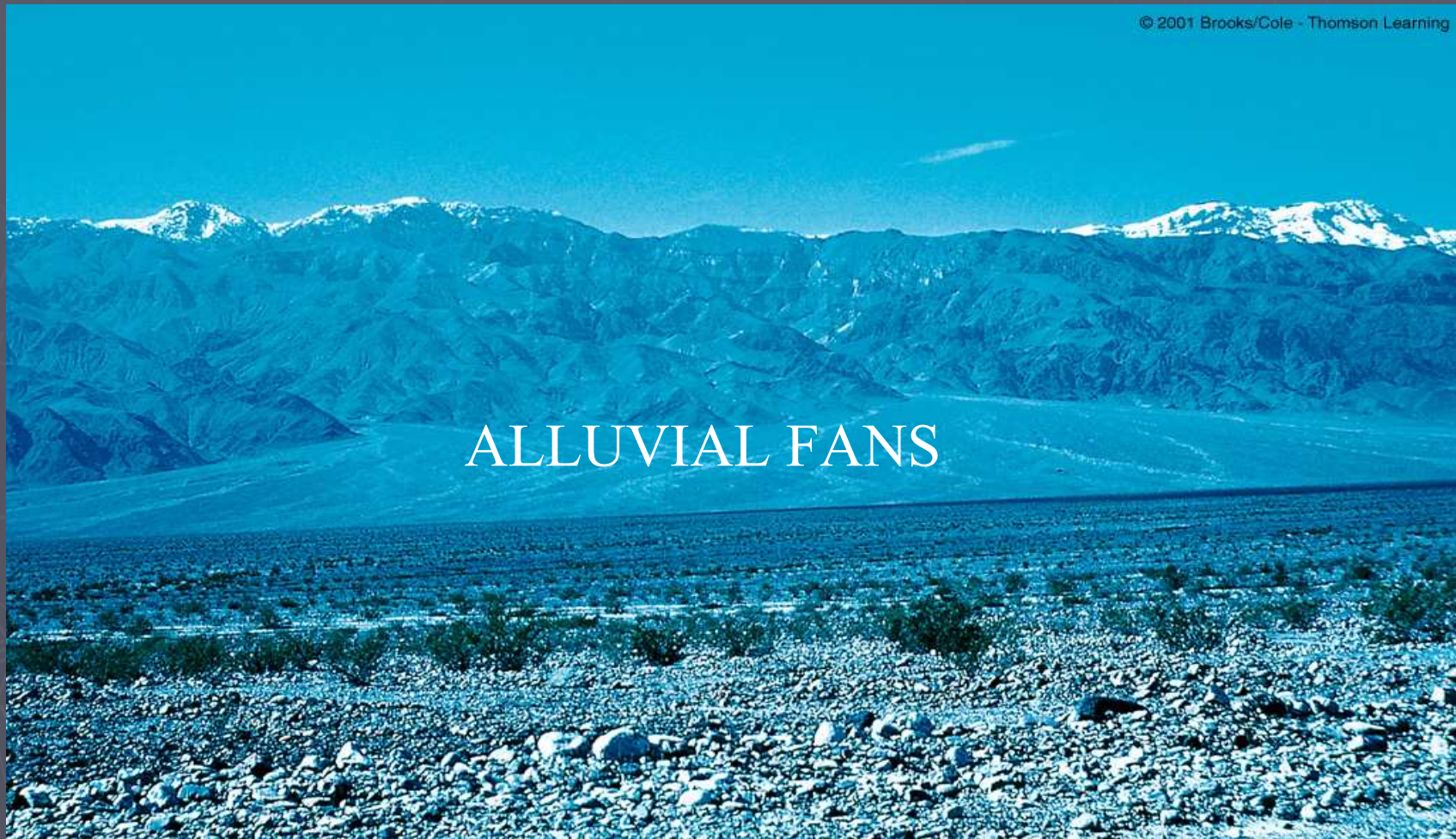


Fig. 2.11. Simplified facies models of **a** alluvial fan (proximal to mid fan region) and **b** fan delta. See Table 2.1 for explanation of symbols

In arid areas, like in the desert mountains next to Death Valley, CA in this photo, streams flow only intermittently after heavy rain storms. After heavy rains, water charges down the canyons as **flash floods**, carrying large amounts of sediment as **debris flows** (recall Chapter 7: Mass Wasting). As the debris flows slow down, this sediment is deposited to form **alluvial fans** -- broad sloping sheets of coarse sediment at the mouths of mountain canyons.



# Divočící řeky

- Braided rivers are characterized by a dominance of braid bars exhibiting both lateral and downstream accretion; meandering rivers primarily contain point bars with lateral accretion; in straight (and most anastomosing) rivers bars are commonly almost absent
- **Bars (valy)** are sandy or gravelly macroforms in channels that are emergent, mostly unvegetated features at low flow stage, and undergo submergence and rapid modification during high discharge

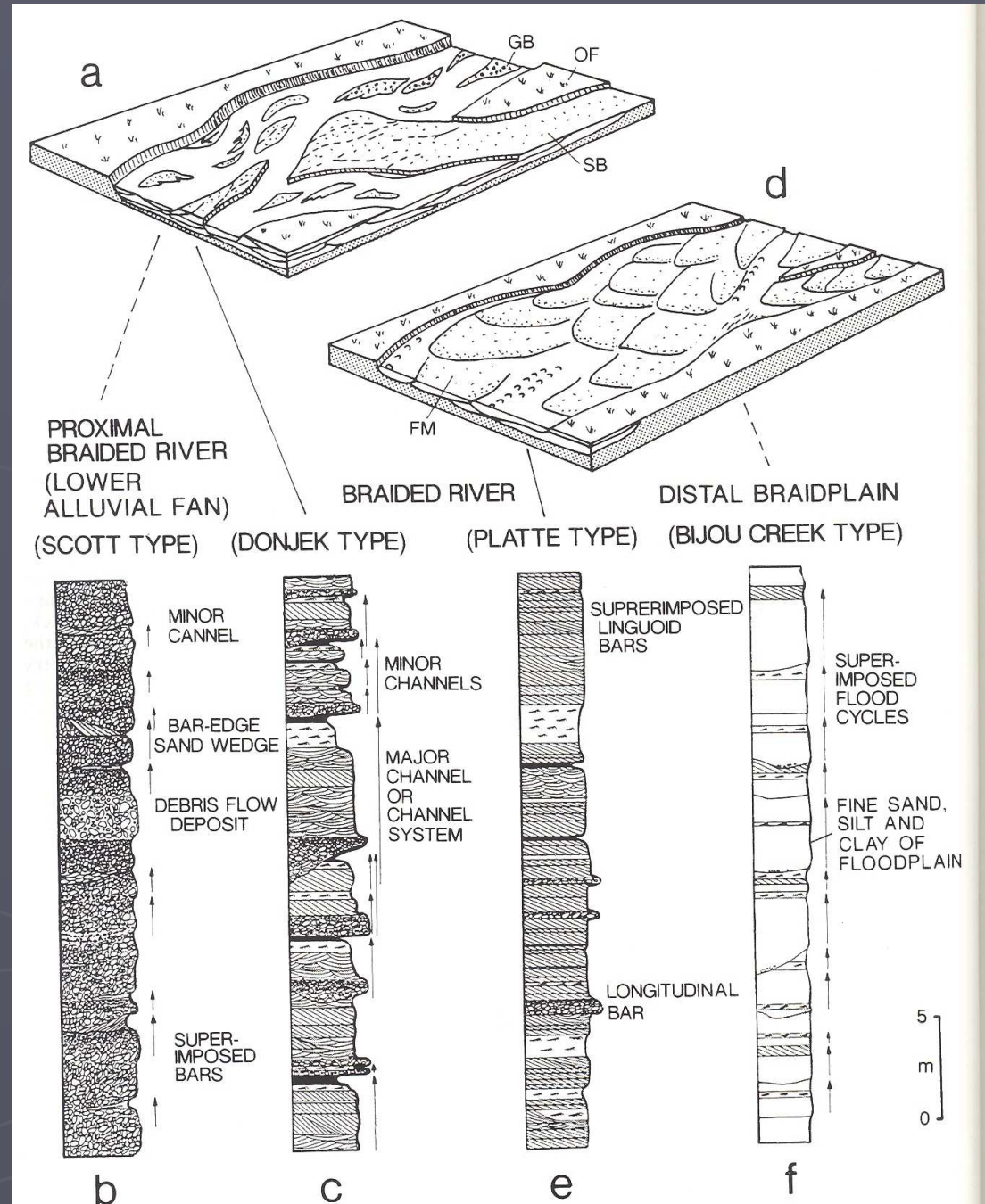


Fig. 2.15a-f. Braided river systems. a-c Proximal to middle reaches, gravel-dominated (b), or sand-dominated (c) with minor proportion of gravel. d-f Distal, sand-dominated system with wide channels and flat, linguoid sand bars (d and e), or wide floodplain rarely inundated by flash floods (f). (After Miall 1985)

ated system with wide channels and flat, linguoid sand bars (d and e), or wide floodplain rarely inundated by flash floods (f). (After Miall 1985)

# Meandrující řeka

- ▶ Na rovinatém území v nížinách jsou říční toky omezené do jediného řečiště, které vytváří zákruty, neboli **meandry**.

Vznik meandrů v původně rovném toku je vysvětlován pomocí odchylojící síly zemské rotace - Coriolisovy síly. Meandry jsou postupně dále rozšiřovány laterální erozí vyvolanou odstředivou silou vody.

- ▶ Meandrující řeka vytváří tři základní geomorfologické tvary s charakteristickými sedimenty.
  - Při vnějších okrajích meandru, kde má voda největší energii, dochází k laterální erozi břehů a na dně **říčního koryta** k ukládání **reziduálních štěrků**, často imbrikovaných, zatímco menší sedimentární částice zůstávají ve vodní suspenzi.
  - Při vnitřních okrajích meandrů voda vlivem odstředivé síly ztrácí energii a ukládá relativně jemnozrnější sedimenty na **jesebním valu**. Sedimenty jesebních valů představují převážně písky s **křížovým zvrstvením**. Sedimentace jesebních valů probíhá mechanismem bočního nárůstu - **laterální akrece**.
  - Širší okolí řeky a vnitřní výplň oblouků tvoří **niva** někdy s vyvinutými močály. Jemnozrné sedimenty nivy jsou produktem záplav a jsou ukládány mechanismem **vertikální akrece**.
- ▶ Migrace meandrů v prostředí meandrující řeky vytváří charakteristické **nahoru zjemňující cykly**. Na bázi cyklu jsou reziduální štěrky koryta řeky, v jejich nadloží křížově zvrstvené sedimenty jesebních valů a cyklus je zakončen sedimenty **nivy a náplavy (organické zbytky, rašelina, otisky kořenů)**.

This air photo of the Missouri River beautifully shows the main **meandering channel** and the adjacent **floodplain** (the band of darker land along the channel).

Farms and fields produce the patchy appearance of the floodplain here. The fertile soil of floodplains is intensively farmed throughout the world. Intensive human use of floodplains is one of the problems we will consider later in this lesson.



© 2001 Brooks/Cole, Thomson Learning

# Meandrující řeky

- **Point bars** (jesešní valy) form on inner banks and typically accrete laterally, commonly resulting in lateral-accretion surfaces; mid-channel or **braid bars** accrete both laterally and downstream
- Kanály, opuštěné kanály
- Přelivové sedimenty
- Povodňové roviny

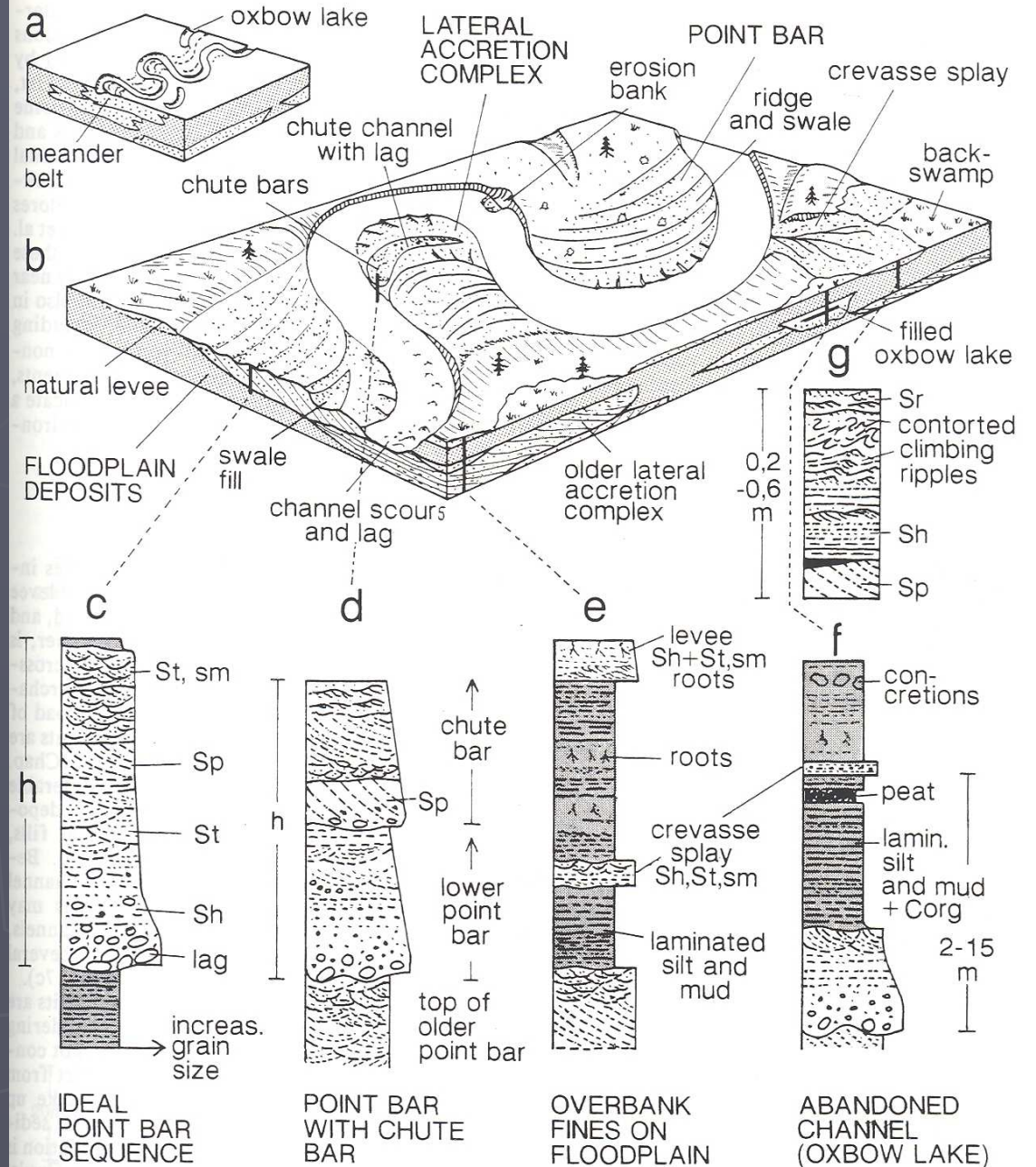
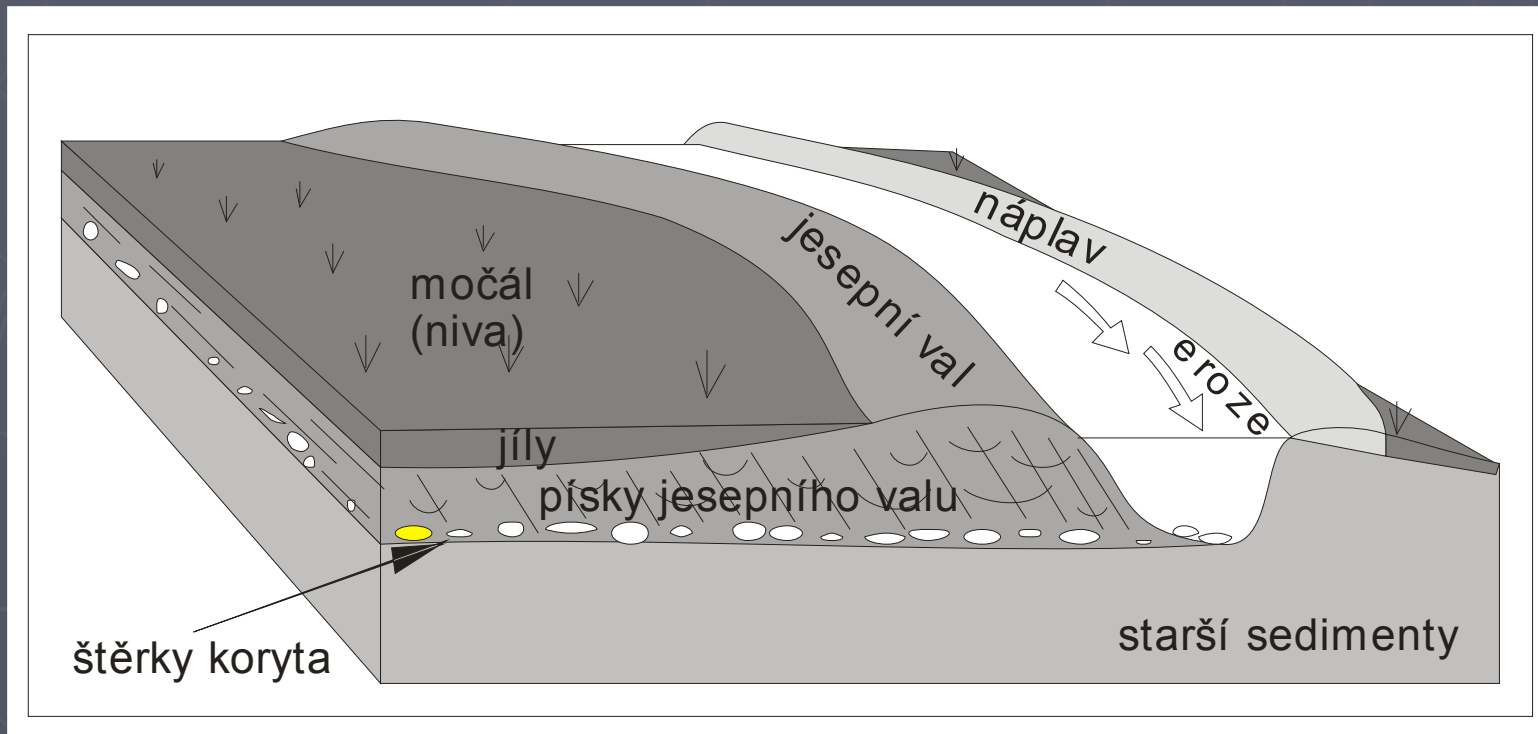


Fig. 2.16a-h. Meandering river system. a Formation of sandy meander belt within a flood basin. b Different sub-environments of meandering channel. c-g Characteristic vertical sections of the youngest sediments of the flood

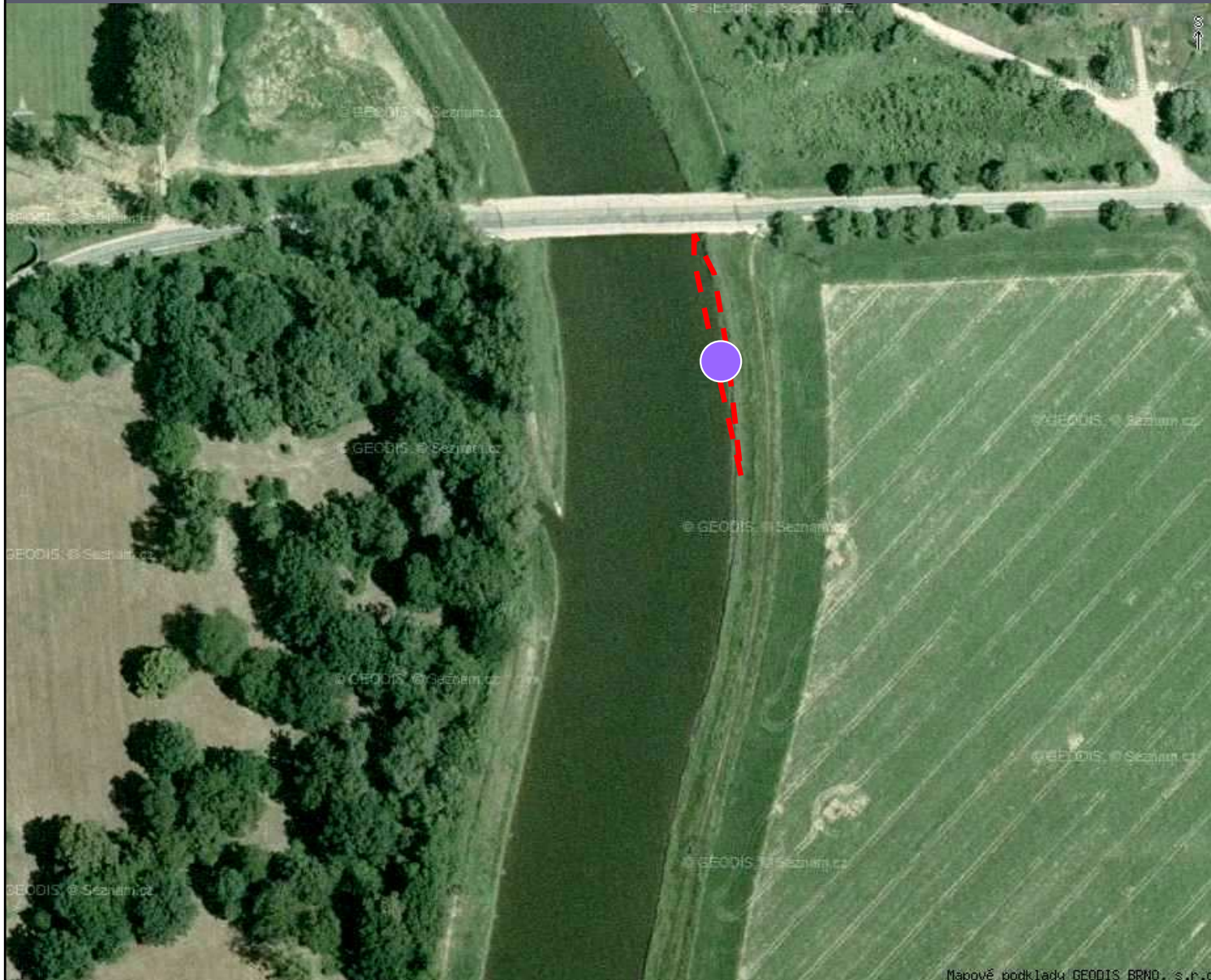
basin. h One fluvial cycle (autocyclic). See Table 2.1 for explanation of symbols; *sm* small-scale. (Based on different sources, e.g., Walker and Cant 1984; Galloway 1985; Miall 1985)

# Meandrující řeka



# River Morava

- Sediment bodies: bars, point bars
- Deposition = erosion on long-term time scale
- Temporary sediment (pollutant) sinks

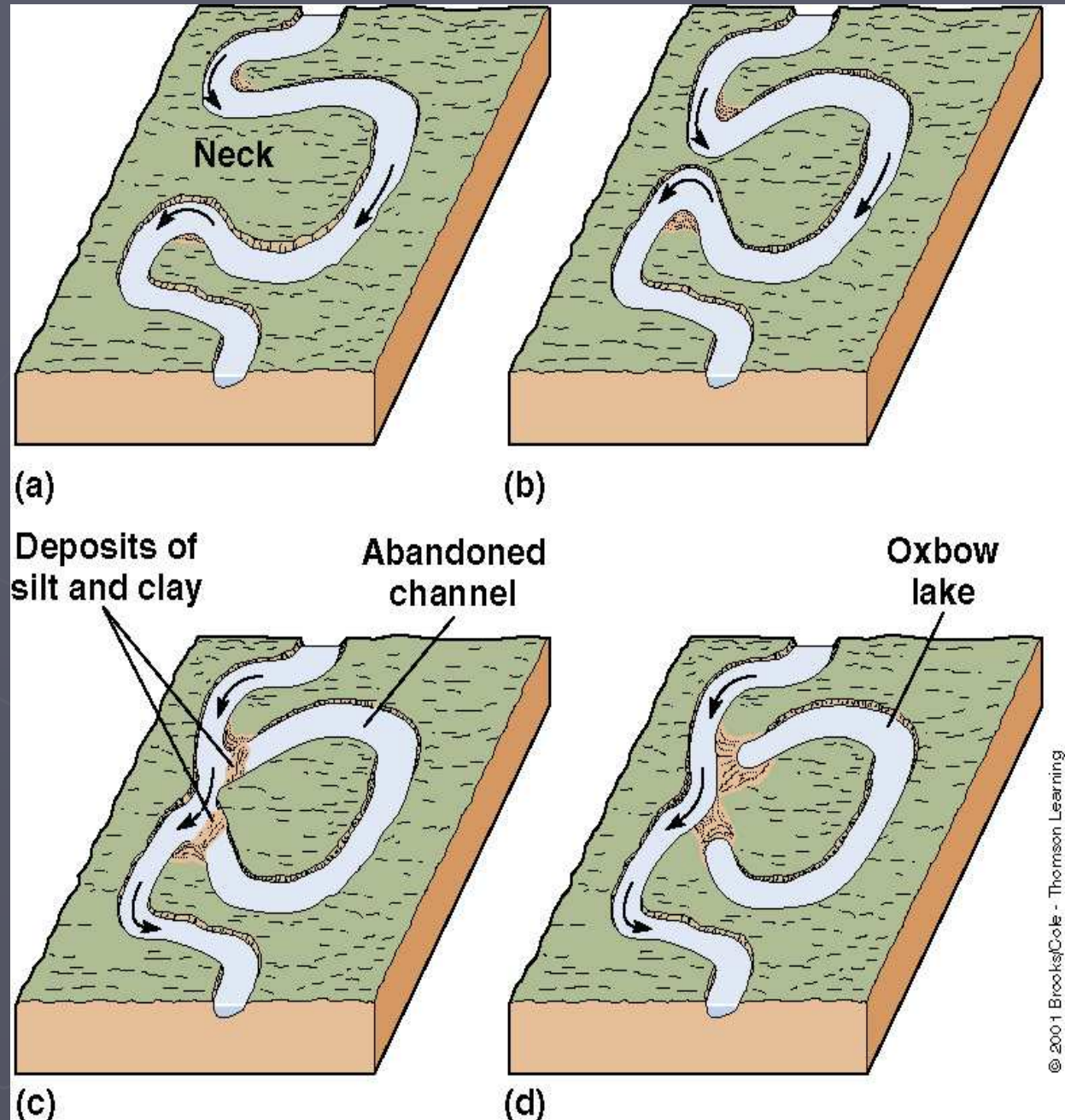




## Mrtvé rameno (Oxbow lake)

A long-term result of erosion of cut banks (outsides of bends) is that a stream may eventually cut through the neck of a tight meander, abandoning part of its channel, and forming a feature called an **oxbow lake**.

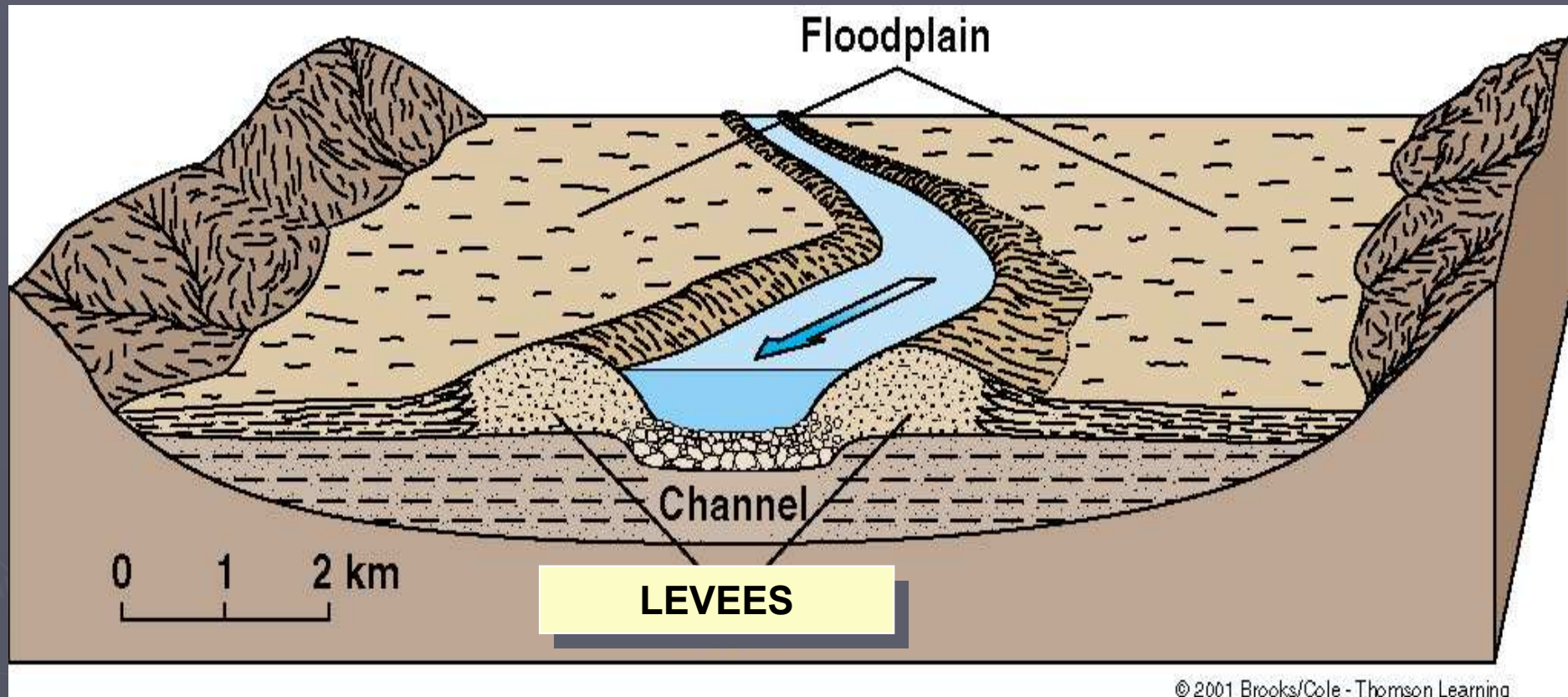
The figure here shows the steps in this process.



This air photo shows an **oxbow lake**. (The main channel is out of view to the right.) The curving “scars” on the land show the progressive migration of the meandering channel over time.



Note on this figure the locations of the levees.



As a stream rises prior to flooding, its increased velocity and discharge allow it to carry more and more sediment. When the stream crests its banks and spills out onto the floodplain, the water slows down, depositing ridges of sediment along the banks called **levees**. The levees are often the highest places on the floodplain.

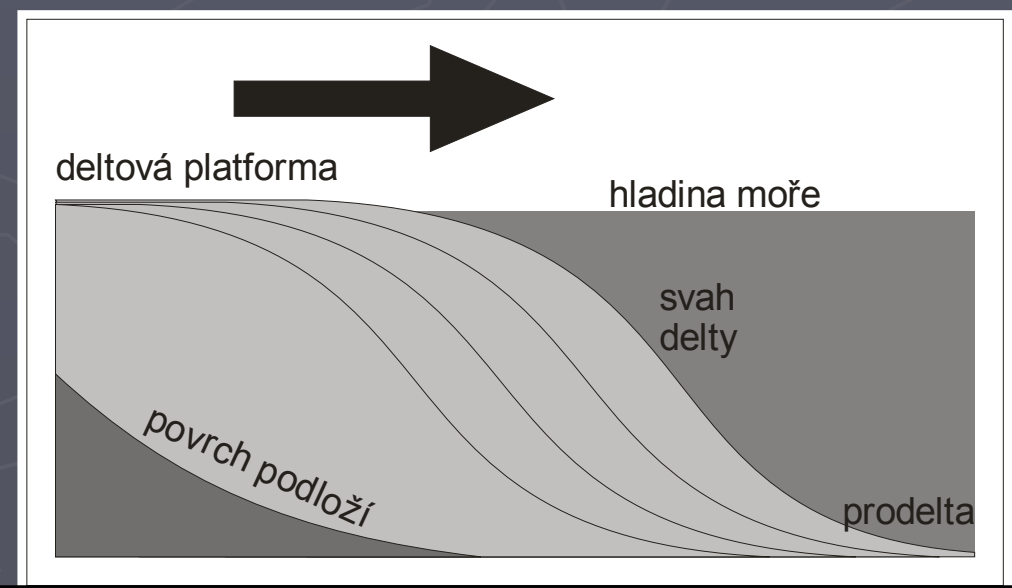
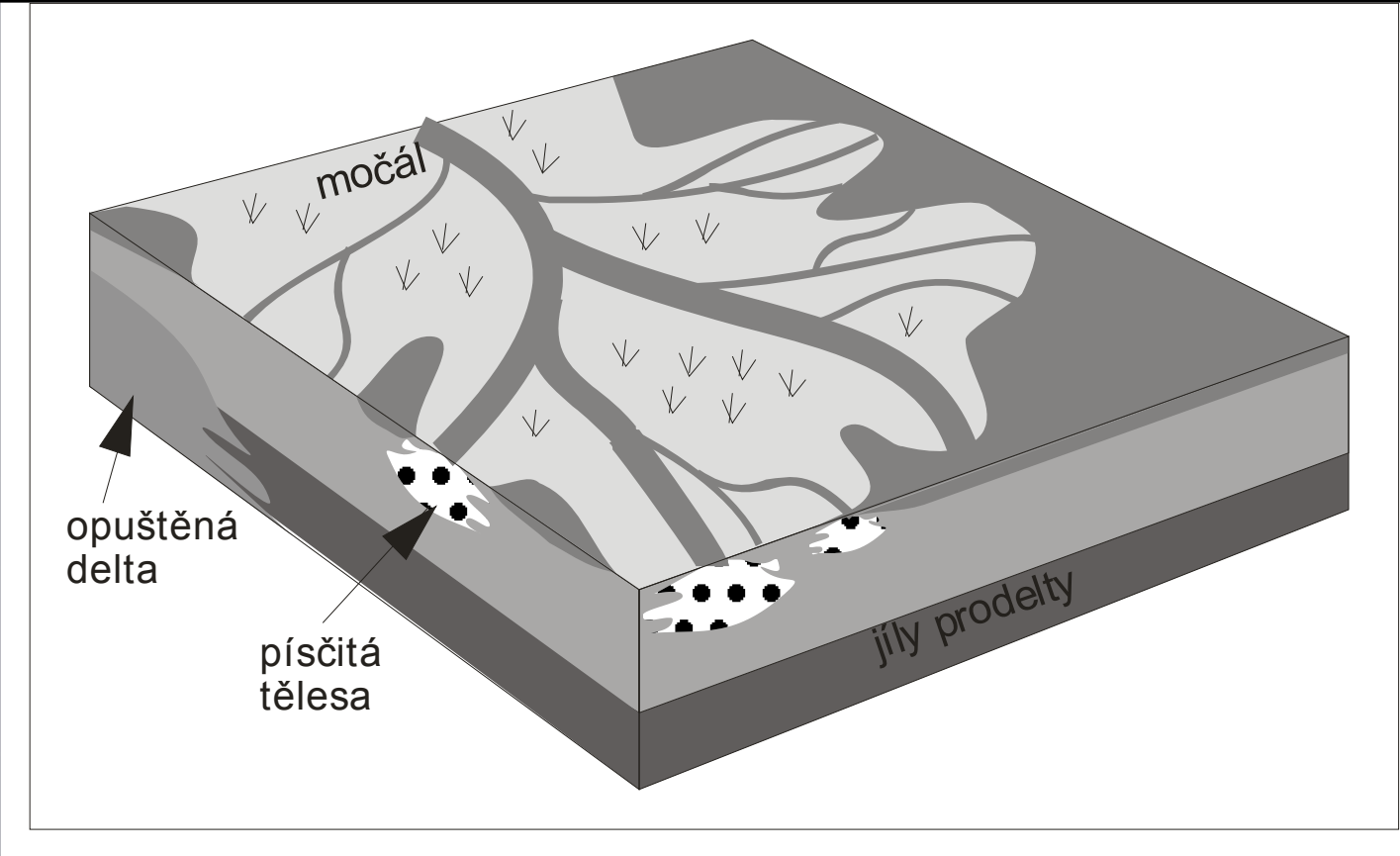


**22. Large scale trough cross bedding** (sandy bedforms)  
*Texture:* sand with pebbles passing into sandy pebble gravel in the upper part of the section  
*Structure:* trough cross bedding  
*Stratigraphy:* Lower Pleistocene terrace of the River Vltava  
*Locality:* Libčice (Praha Západ District)  
*Photo by:* J. Kadlec 1997

# Delty

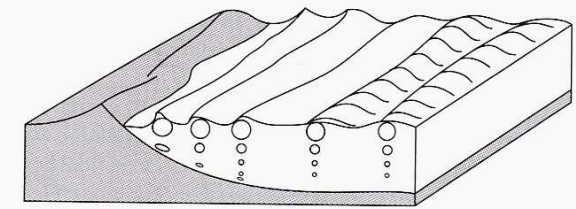
## Morfologie a procesy

- ▶ Při ústí říčních toků, nesoucích značné množství sedimentu, do moře dochází ke zpomalování až úplnému zastavení proudu řek. Ztráta energie vede k vypadávání sedimentárních částic z vodní suspenze a rychlé akumulaci uloženin většinou v tělesech vějířovitého tvaru - **deltách**. Z postupným zpomalováním toku sedimentují nejbliže řečišti hrubozrnná klastika, a dál směrem do otevřeného moře potom jemnozrnné písky, silt a jíly. V podélném průřezu od řečiště do moře dělíme delty na tři části - **deltová platforma (čelo delty), deltový svah a prodelta**.
- ▶ Deltová platforma je budována sítí rozvětvených **říčních kanálů**, vyplněných **pískem a siltem s křížovým zvrstvením**. Písky se také akumulují mimo kanály ve formě valů a plochých písčin na čele delty. Rozsáhlé plošiny mezi kanály jsou však většinou pokryty hustou vegetací, která vede k sedimentaci **uhlonosných uloženin**. Deltový svah se sklání od čela delty směrem do moře. Hloubky dosahují pod bázi vlnění, a proto se ukládají jemnozrnné sedimenty, **silty a jíly**. Na rozdíl od deltové platformy je deltový svah obydlen čistě **marinní faunou**. Navíc sedimenty svahu obsahují hojné úlomky rostlinného původu. Na prodeltě se úklon svahu opět zmenšuje, a dochází k ukládání **jílů**.

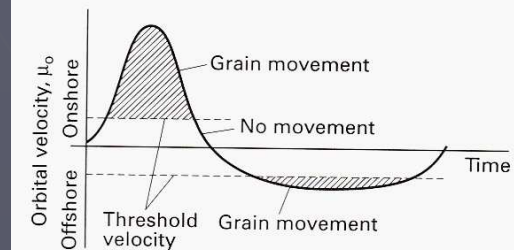


# Pobřežní profil

- ▶ Báze vlnění
- ▶ Báze bouřkového vlnění

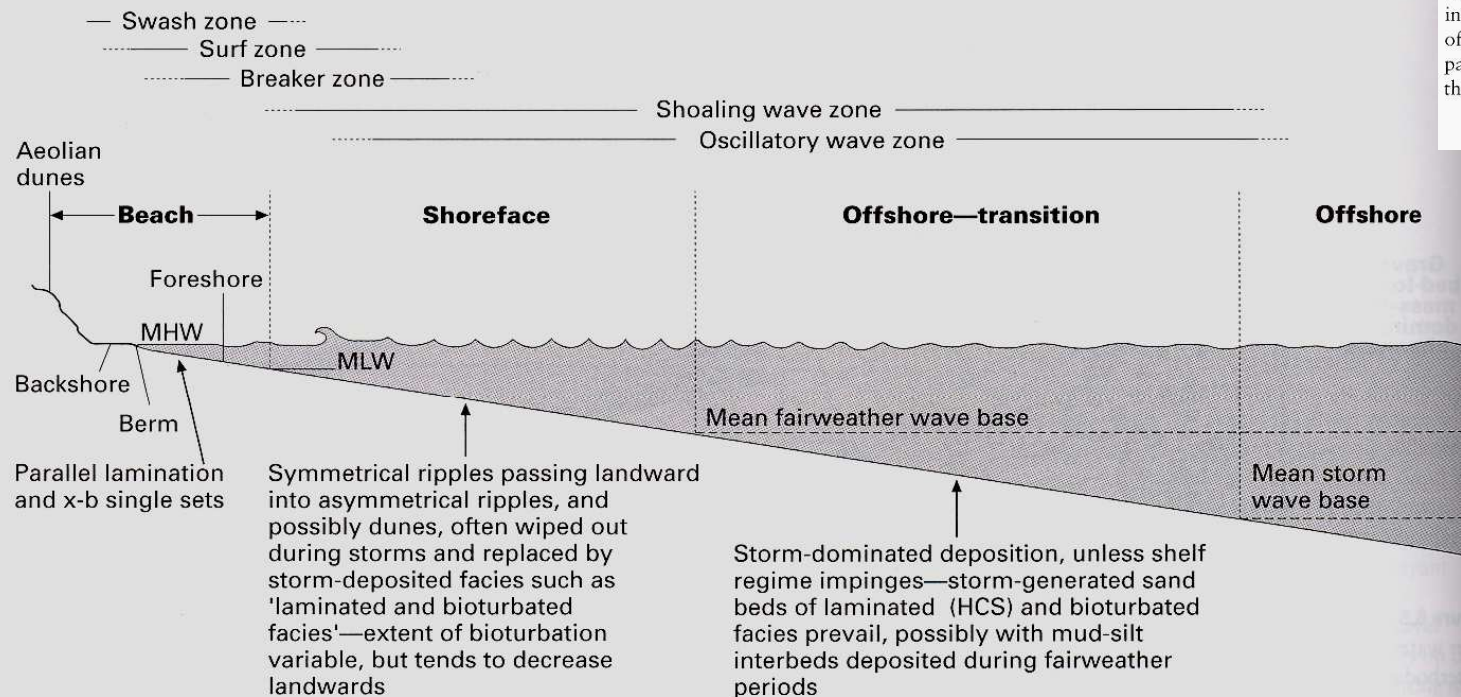


(a)



(b)

**Figure 6.7** The littoral energy fence. (a) Wave transformation as a shoreline is approached. The orbital diameter decreases with depth, moving to-and-fro as it nears the bottom and frictional drag increases. (b) The effects on sediment movement during the passage of a shoaling wave. The onshore stroke of the wave as the crest passes carries more sediment than the offshore stroke associated with the passage of the trough (from Swift & Thorne, 1991).

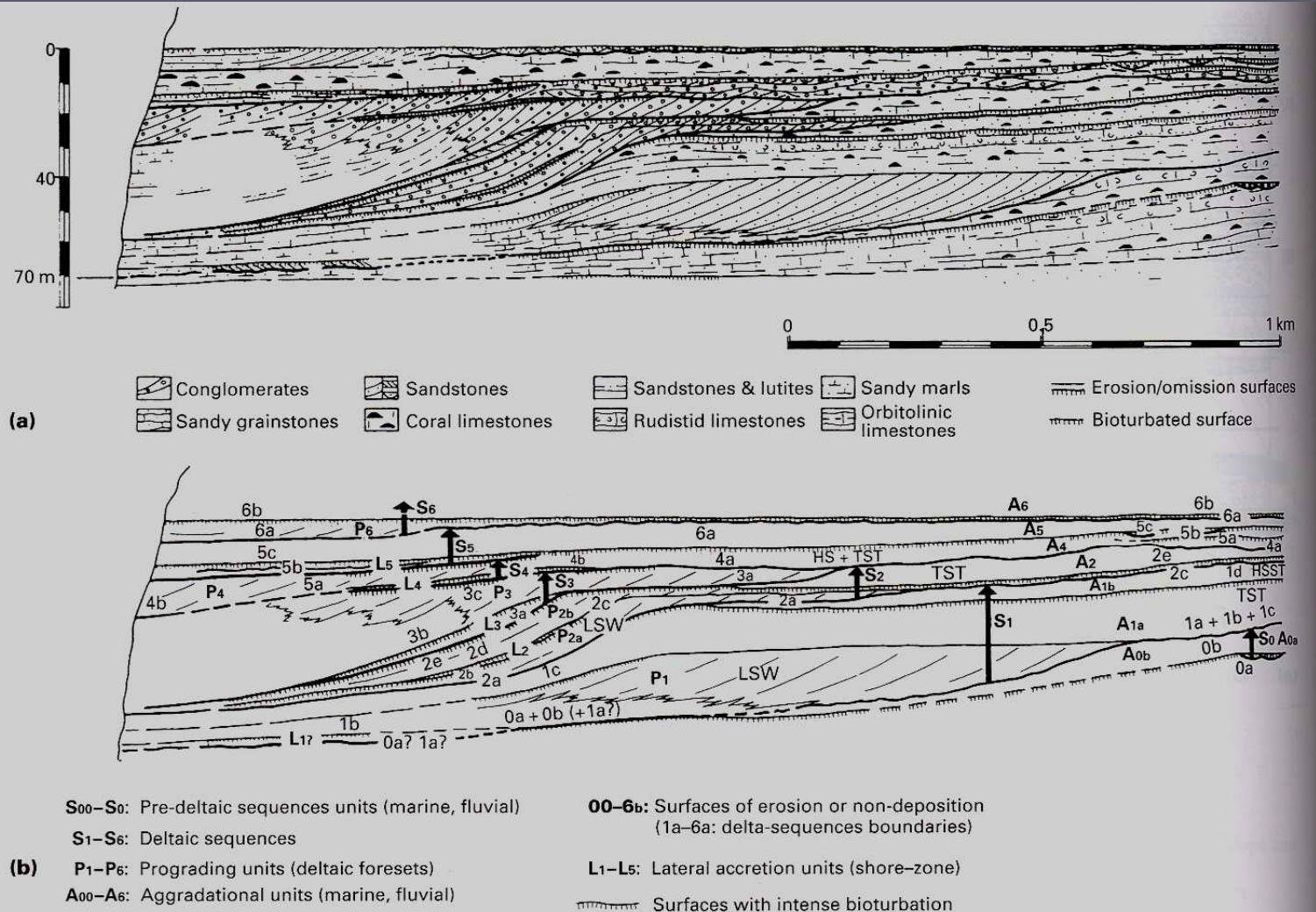


**Figure 6.6** Generalized shoreline profile showing subenvironments, processes and facies.

# Progradující delta

## ▶ PROGRADUJÍCÍ DELTA

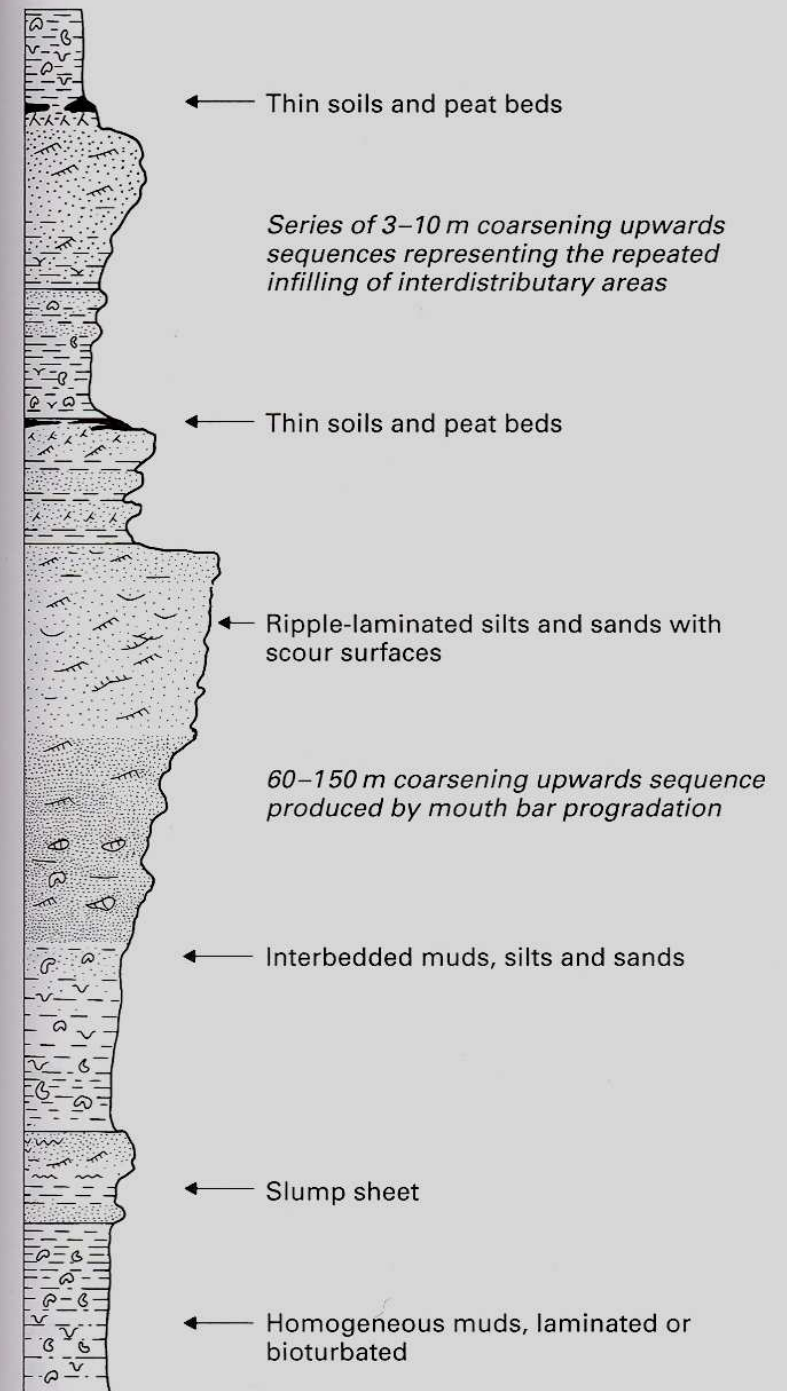
- ▶ V případě, že hladina moře zůstává ve stejné pozici, musí být materiál nepřetržitě přinášeny řekou ukládan stále dále a dále směrem do moře, a delta **prograduje**. Ve vertikálním sledu progradující delty se objevuje **nahoru hrubnoucí sled** od bazálních jílu prodelta, siltů a jílu deltového svahu až k pískům, siltům, jílovcům a uhlonosným sedimentům deltové platformy. Nahoru hrubnoucí cykly se vertikálním průřezu často opakují, což je způsobeno plynulým poklesáváním delty v důsledku přetíženi přinášným sedimentem.



**Figure 6.30** Cross-section through the Albian La Miel Member of northern Spain to show (a) arrangement of facies and (b) interpretation of lateral and vertical sequence in terms of deltaic sequences, aggradational units, prograding units and lateral accretion units (from García-Mondéjar, 1990).



# Vertikální CU trendy na progradující deltě



**Figure 6.44** Composite idealized sequence produced by mouth bar progradation in the Mississippi delta (after Coleman & Wright, 1975).

# Progradační (R) /retrogradační (T) sedimentační systémy na pobřeží

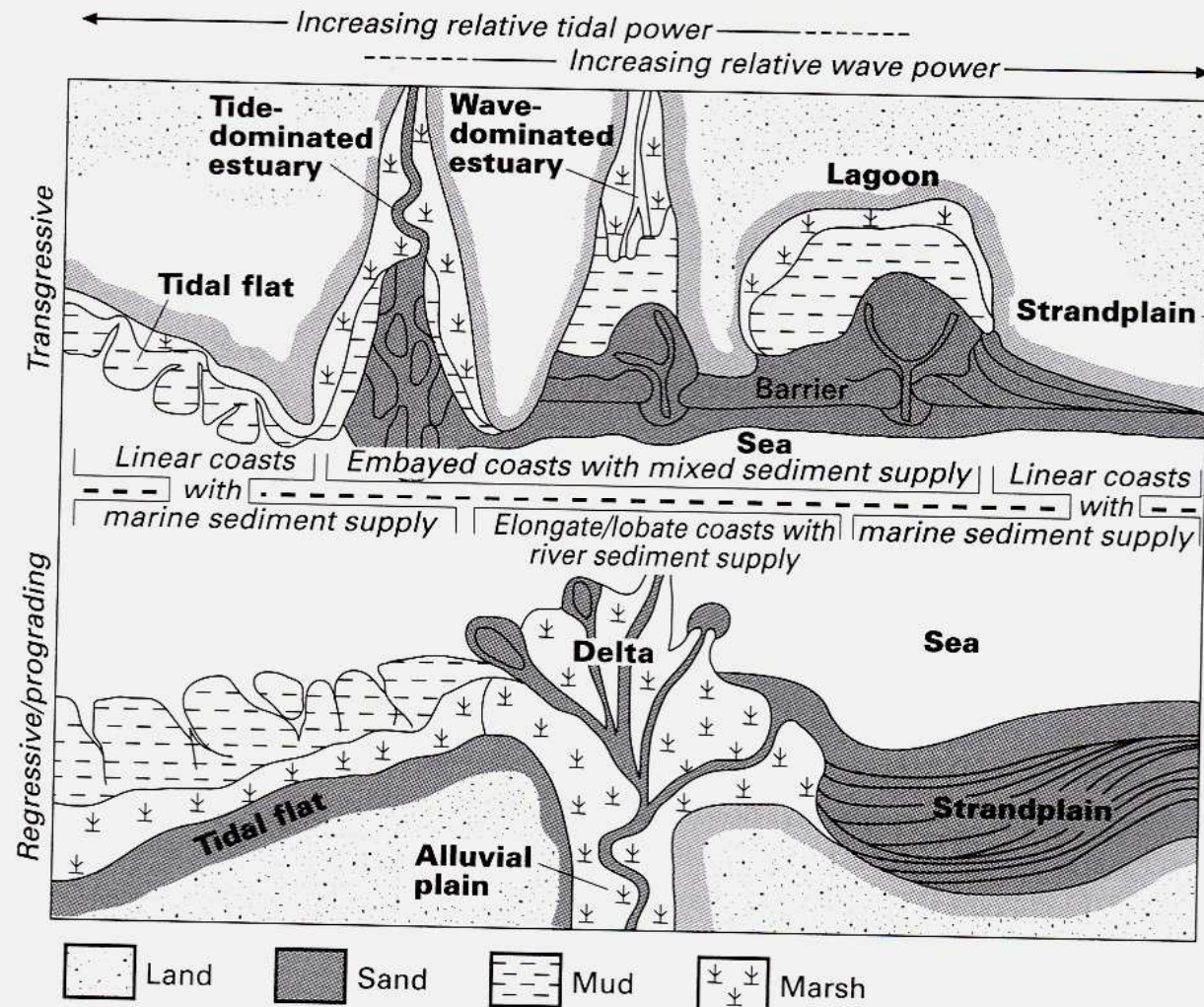


Figure 6.1 Plan views of transgressive and regressive/progradational coasts under varying conditions of tidal power and wave power and of marine or fluvial sediment supply (based on Heward, 1981; Boyd, Dalrymple & Zaitlin, 1992).

# Typy delt

Na tvar delty a faciální charakteristiku sedimentu mají zásadní dopad tři faktory: přísun sedimentu řekou, mořské vlnění a mořské dmutí (příliv a odliv). Podle významu jednoho z nich se delty dělí na :

- delty s **převažujícím vlivem řeky** (například Mississippi, Pád),
- delty s **převažujícím vlivem vlnění** (např. Rhóna) a
- delty s **převažujícím vlivem dmutí** (např. Ganga).

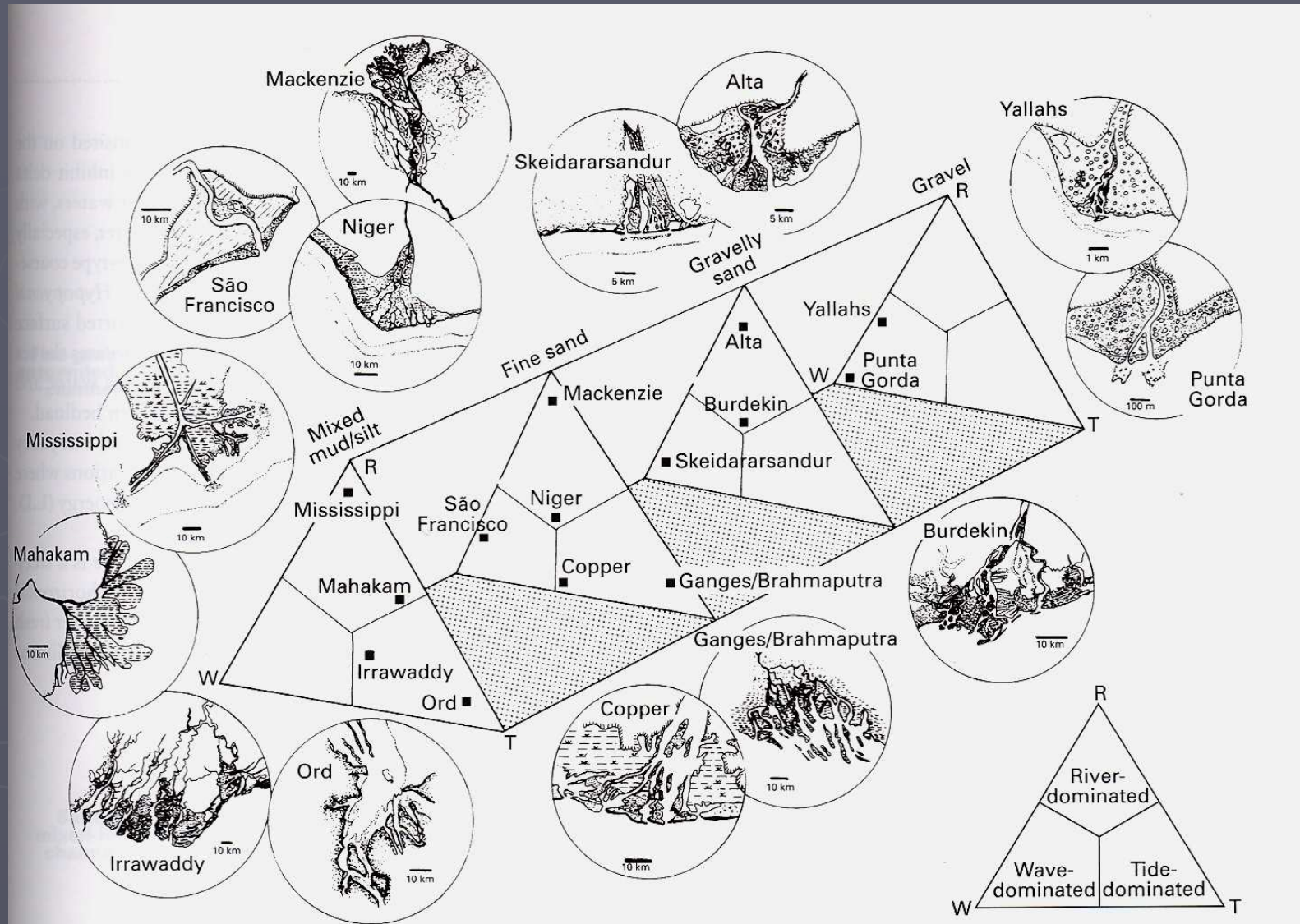


Figure 6.2 Classification of modern deltas based on the dominant process (fluvial, wave or tide) of sediment dispersal at the delta front (after Galloway, 1975) and on the prevailing grain size. Note the differences in scale (from Orton & Reading, 1993).

are nearly always dominant, except where a cratonic granitic



# Bariérové ostrovy

## Morfologie

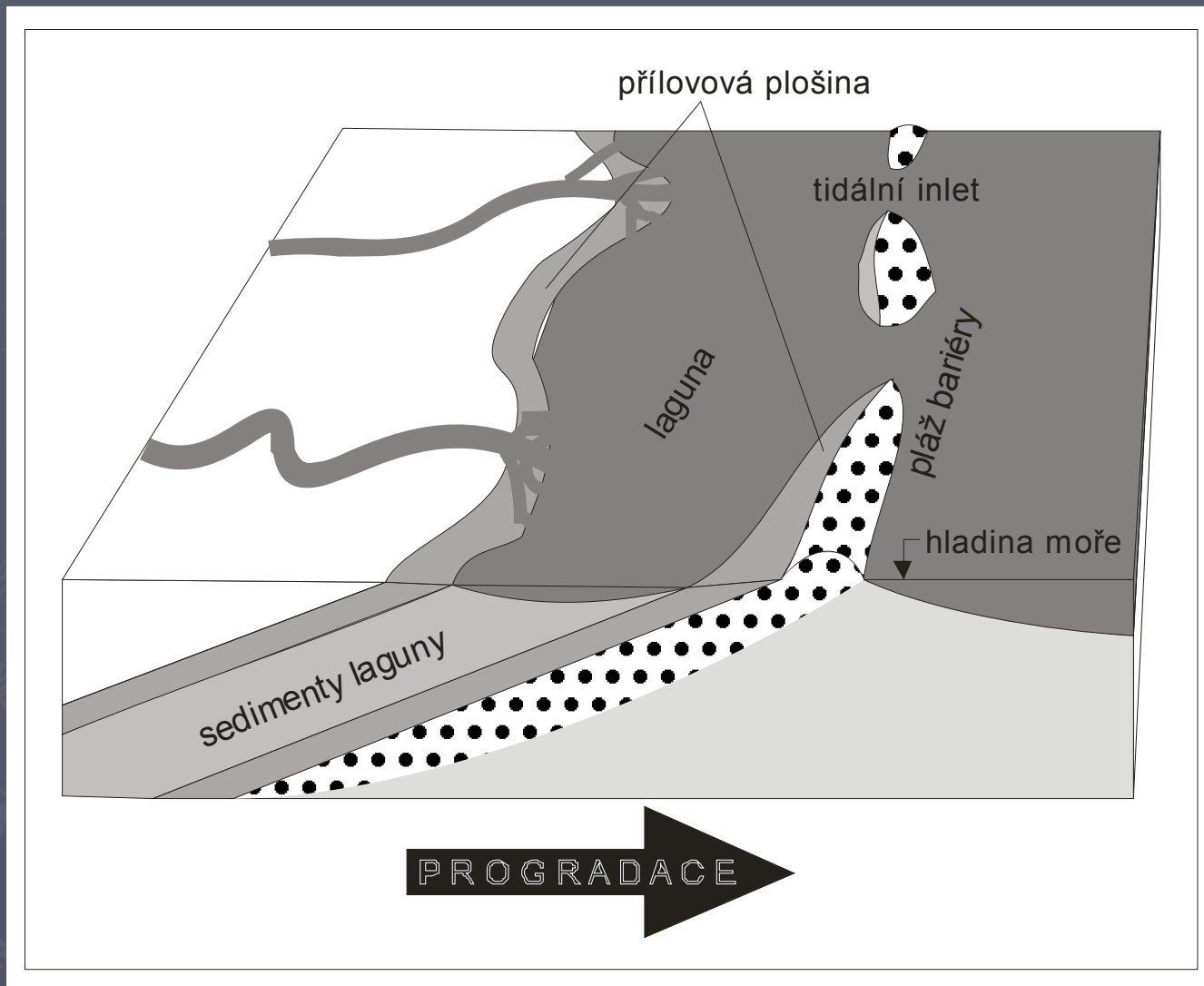
- ▶ Ústí řek tvoří jen menší procento délky pobřeží, větší část pobřeží je lemována komplexem **bariérových ostrovů**. Ty jsou vytvářeny akumulací marinních písků mořskými proudy běžícími podél pobřeží. Směr těchto proudů udává orientaci bariérových ostrovů podél pobřeží. Malá část ostrovů může být také dotována pískovým materiálem z delt s převládajícím vlivem vlnění.
- ▶ Zóna mezi ostrovem a pevninou je zalita vodou a nazývá se **laguna**. Laguny jsou typické nedostatkem hrubozrnnějšího materiálu, protože jsou od vysokoenergetického prostředí pláží chráněny komplexem ostrovů.
- ▶ Břehy lagun jsou většinou ploché a plošně rozsáhlé a jsou okupovány **přilivovými plošinami**

## Facie:

- ▶ Břehy ostrovů sklánějící se k moři jsou charakteristické plážovými **písčitými sedimenty s horizontálním zvrstvením** nebo **šikmým zvrstvením o malém úhlu úklonu**. Směrem do moře je časté **čejňové zvrstvení**. V centrální části ostrova se akumulují **eolické písky** ve formě dun.
- ▶ V lagunách dochází k akumulaci **jílů a písčitých jílů**. Pokud je laguna cílem přínosu většího množství sladké vody z aktivní říční sítě, jsou její vody **brakické** což se odráží v charakteru fauny. V aridním klimatu s nedostatkem přísunu říční vody mají vody laguny tendenci k **hypersalinitě** a srážení **evaporitů**.
- ▶ Na přilivových plošinách (tidal flats) se ukládají písky a jílovité písky s množstvím charakteristických sedimentárních textur (tepee textury, kanály, brekcie, otisky dešťových kapek atd.). Spojení laguny s otevřeným mořem je zajištěno tzv. **přilivovými vtoky (inlets)**, což jsou úžiny mezi jednotlivými ostrovy. Dno vtoků je pokryto písčitými valy běžícími zhruba kolmo ke komplexu ostrovů.

## Sekvence

- ▶ V oblastech s dostatečným přísunem terigenního klastického materiálu komplex bariérových ostrovů s lagunou **prograduje**, což vede k charakteristické vertikální sekvenci (ostrov, laguna, tidální plošina).



# Klastické šelfy

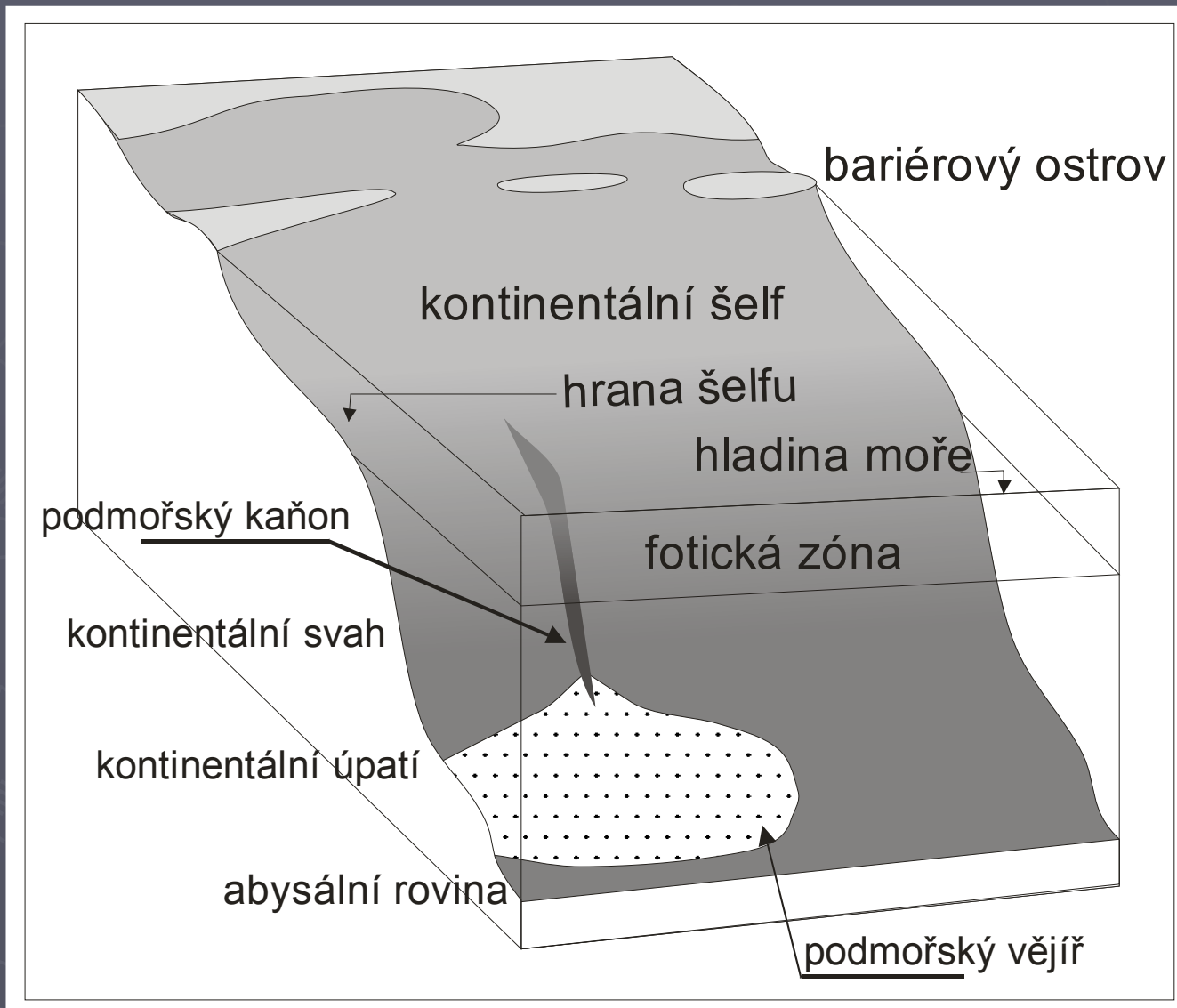
Podle toho, kterými silami je šelf ovlivněn nejvíce lze klastické šelfy rozdělit na

- ▶ **šelfy s převažujícím vlivem dmutí a**

U prvního typu se ve vysokoenergetické zóně vytvářejí **výčasové písčité hřbety** ve směru rovnoběžném s přílivovými a odlivovými proudy. Hřbety jsou budovány dobře tříděnými písky s šikmým zvrstvením; jejich výška dosahuje několika metrů. Dobrým recentním příkladem šelfu s výčasovými písčítými hřbety je Severní moře.

- ▶ **šelfy s převažujícím vlivem bouřkové činnosti.** Druhý typ je charakteristický výskytem bouřkových resedimentovaných vrstev - **tempestitů**. Tempestity se řadí mezi tzv. událoství sedimenty. Jejich vznik je vázán na silné tropické bouře, během kterých voda o vysoké energii eroduje již jednou usazený sediment, zvrhne jej do suspenze a opětovně ukládá. Pro tempestity jsou charakteristické **erozní výmoly** na bázi vrstev, **gradační zvrstvení** a především tzv. **hřbítkovité zvrstvení** neboli **HCS** (hummocky cross stratification). Tempestity se dělí na proximální a distální. Distální tempestity se ukládají v hloubkách 30 až 100 nebo i více metrů.

# Hlubokomořské prostředí





# Procesy resedimentace a facie

Gravitační transport a sedimentace: topografický gradient (např. svah platformy)

Procesy sedimentace a facie

## Bahnotoky, úlomkotoky

**Binghamovské plastické látky**, soudržné

**Uvedení do pohybu:** překonání prahového napětí – přetížení svahu, zemětřesení, likvefakce (zkapalnění),

**Ukládání:** zpomalení toku (snížení kinetické energie toku)

**Facie:** ostré spodní a svrchní hranice vrstev, inverzní gradace, špatné vytrídění, floatstone, rudstone, hojně intraklasty

## Turbiditní proudy

**Newtonovské kapaliny**, vyšší hustota v důsledku nasycení sedimentárními částicemi, převažuje turbulentní proudění,

**Uvedení do pohybu:** zemětřesení, zvržení části v důsledku bouřky, převýšení kritického sklonu svahu

**Ukládání:** zpomalení proudu

**Facie:** ostré spodní a svrchní hranice vrstev, normální gradace, Boumova sekvence, grainstone, packstone, wackestone, lime mudstone, cizorodé alochemy

## Sesuvy, skluzy

Elastické pevné látky, turbulentní pohyb, laminární pohyb

**Ukládání:** zmírnění sklonu svahu

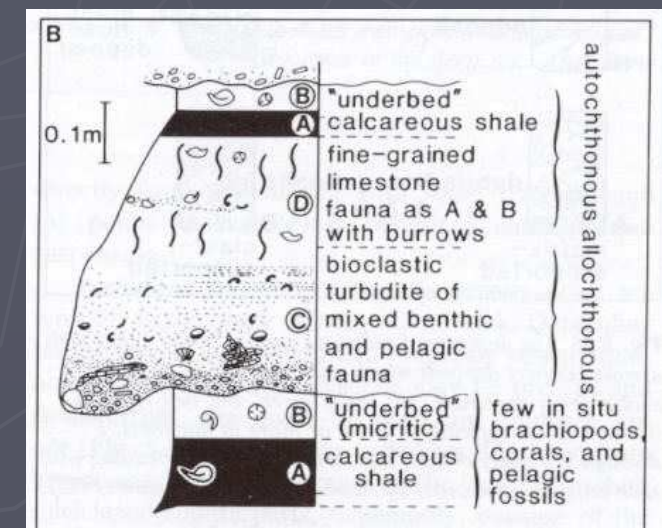
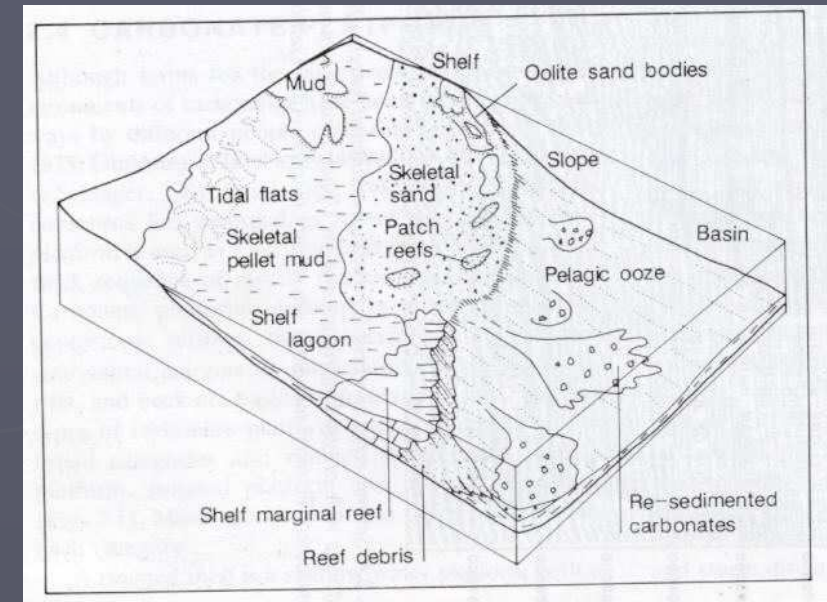
**Facie:** zvrásněné a zprohýbané vrstvy pelagických karbonátů (lime mudstone, wackestone s pelagickou faunou),

## Zrnotoky

Nesoudržné, převýšení prahového sklonu svahu, turbulentní pohyb

**Ukládání:** zmírnění sklonu svahu

**Facie:** inverzní gradace, velmi dobré vytrídění, grainstone



# Podmořský vějíř

Prostředí sedimentace:

## ► Podmořský vějíř

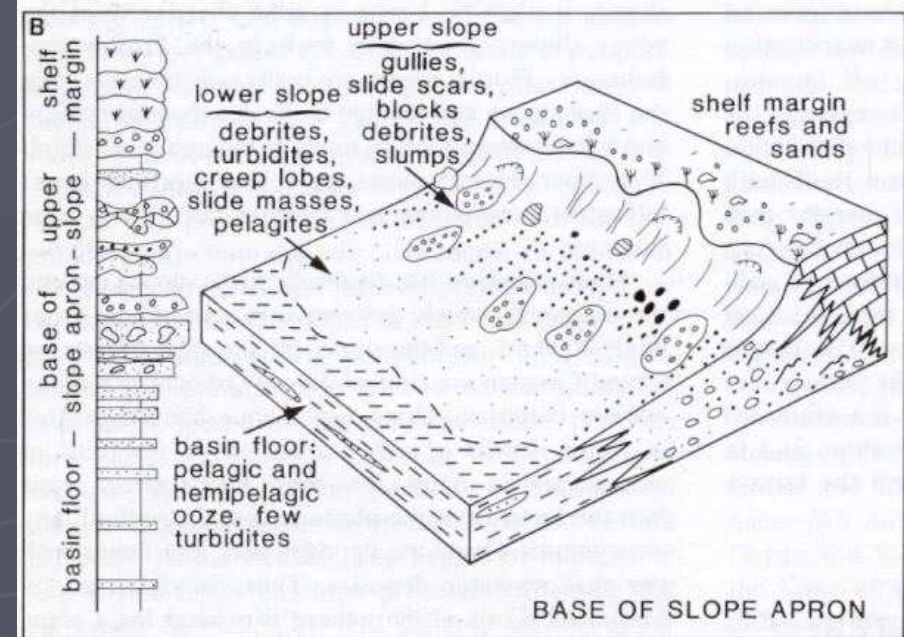
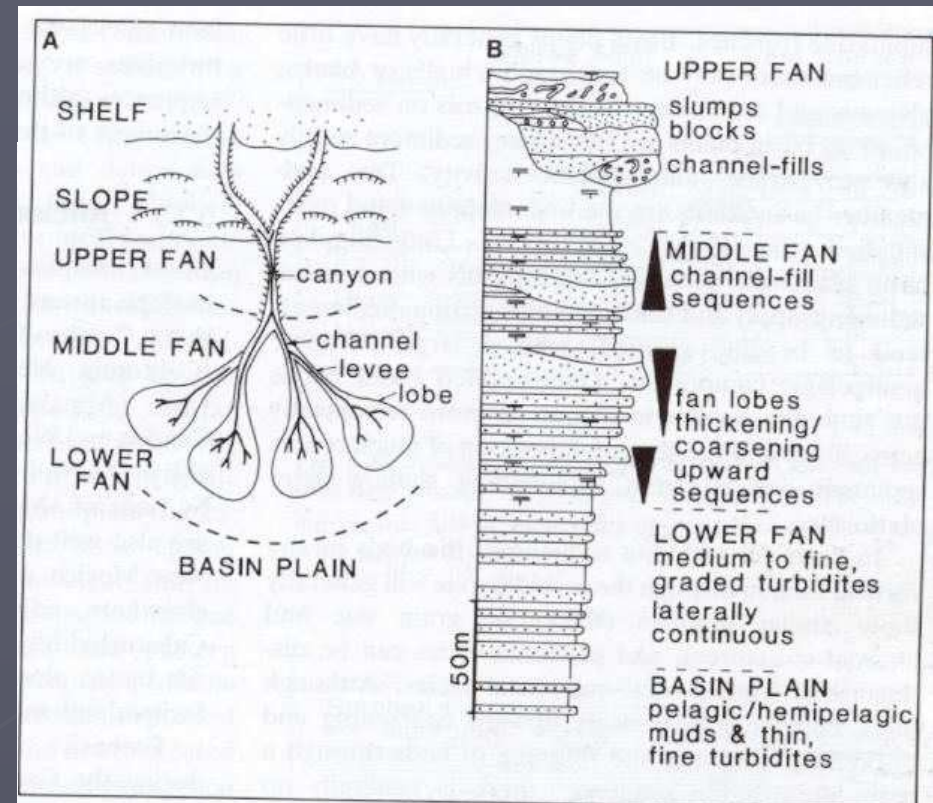
- Vnitřní vějíř (proximální, úlomkotoky, hrubozrnné turbidity, sesuvy, skluzy)
- Střední vějíř
- Vnější vějíř (distální, jemnozrnné turbidity)

Procesy sedimentace: progradace vějíře  
(do nadloží: distální -> proximální)

## ► Svahový osyp

- Svrchní svah (proximální, úlomkotoky, hrubozrnné turbidity, sesuvy, skluzy)
- Spodní svah (distální, jemnozrnné turbidity)

Procesy sedimentace: progradace osypu  
(do nadloží: distální -> proximální)



# Pelagické prostředí

## ▶ Pelagické sedimenty:

- > 95% materiálu ze suspenze (spad z vodního sloupce)
  - ▶ Karbonátový materiál biogenního původu - planktonní a nektonní organismy
  - ▶ Eolický materiál (zrnka Q siltové frakce)
  - ▶ Kosmogenní materiál (kosmický prach)
  - ▶ Vulkanogenní materiál (jílové minerály a zeolity – produkty rozkladu vulkanických hornin oceánské kůry)
- < 5% terigenního materiálu

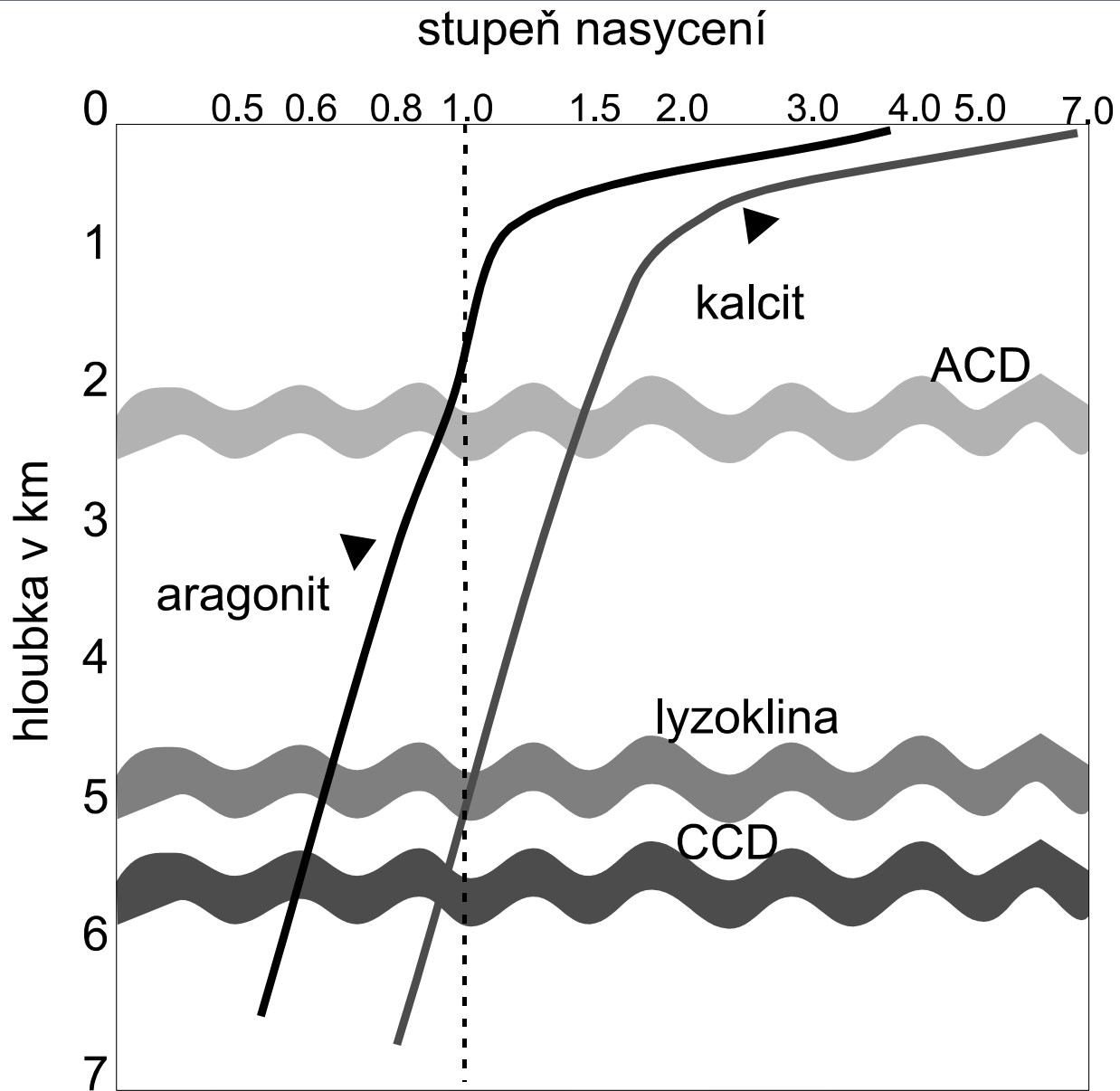
## ▶ Prostředí vzniku pelagických sedimentů:

- Oceánské pánve
- potopené karbonátové platformy a aseismické podmořské hřbety
- šelfy a intrakratonní pánve

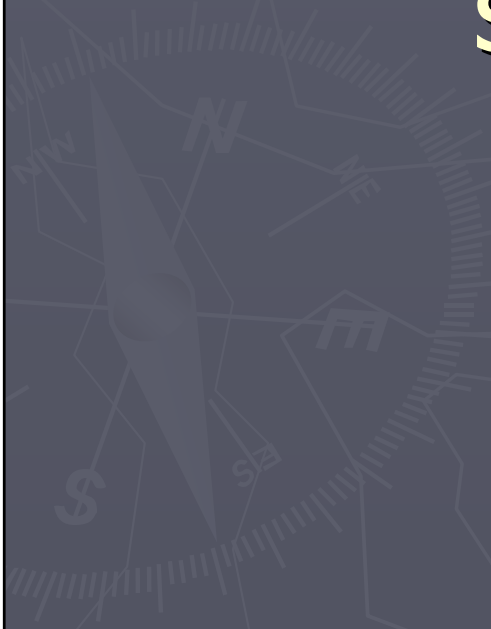
# Faktory limitující pelagickou karbonátovou sedimentací

- ▶ Rozpouštění  $\text{CaCO}_3$  v závislosti na hloubce (CCD, lysoklina, ACD)  
(Obsah  $\text{CO}_2$  ve vodě: závislost na teplotě vody, proudění)
- ▶ Produkce  $\text{CaCO}_3$  v přípovrchové zóně oceánů
  - Klima
  - Biotické krize a vymírání
- ▶ Hydrodynamická energie prostředí u dna (proudění)

# Lyzoklina a CCD



# Karbonátová sedimentační prostředí



# Minerály karbonátových hornin:

## Aragonit:

- biomineralizace, chemické srážení
- chemicky nestabilní -> rekrystalizace na kalcit

## Vysokohořečnatý kalcit:

- > 4 mol%  $\text{MgCO}_3$
- biomineralizace, chemické srážení
- chemicky málo stabilní -> rekrystalizace na kalcit

## Nízkoohořečnatý kalcit:

- < 4 mol%  $\text{MgCO}_3$
- Biomineralizace, chemické srážení
- chemicky stabilní

## Dolomit:

- $\text{Ca,Mg}(\text{CO}_3)_2$
- rekrystalizace, chemicky stabilní

# Biomíneralizace

Minerály: produkty metabolismu organismů:

- Jednobuněční (Protozoa)
- Bezobratlí mnohobuněční
- Nižší rostliny

- ▶ Aragonit
- ▶ Vysoko-Mg kalcit
- ▶ Nízko-Mg kalcit

Mineralogy of Skeletal Organisms			
Taxon	Aragonite	Calcite	Both Aragonite & Calcite
		%Mg 0 5 10 15 20 30 35	
<b>Calcareous Algae:</b>			
Red	R	●-----●	
Green	●		
Coccoliths		●	
<b>Foraminifera:</b>			
Benthic	R	●-----●- - -●	
Planktonic		●●	
<b>Sponges:</b>			
	R	●●	
<b>Coelenterates:</b>			
Stromatoporoids	●	●?	
Milleporoids	●		
Rugose		●?	
Tabulate		●?	
Scleractinian	●		
Alcyonarian	R	●-----●	
<b>Bryozoans:</b>	R	●-----●	R
<b>Brachiopods:</b>			
		●●	
<b>Molluscs:</b>			
Chitons	●		
Bivalves	●	●●	●
Gastropods	●	●●	●
Pteropods	●		
Cephalopods	●		
Belemnoids & Aptychi		●	
<b>Serpulids:</b>	●	●-----●	●
<b>Arthropods:</b>			
Decapods		●●	
Ostracodes		●●	
Barnacles		●●	
Trilobites		●	
<b>Echinoderms:</b>			
		●-----●	

● Common    R Rare



## 2. Hlavní faktory řídící sedimentaci karbonátů

- ▶ Klima
  - Teplota vody
  - Změny hladiny moře (sekvenční stratigrafie)
- ▶ Fyzikálně –chemické parametry prostředí (vody)
  - Zakalení vody
  - Salinita vody
- ▶ Hloubka vody
  - Fotická zóna
  - Kompenzační hloubka karbonátu (CCD)
- ▶ Geotektonické prostředí
  - Přísun klastického materiálu (zakalení vody)
  - Pohyby litosféry v podloží karbonátů

# Klima (teplota) a salinita

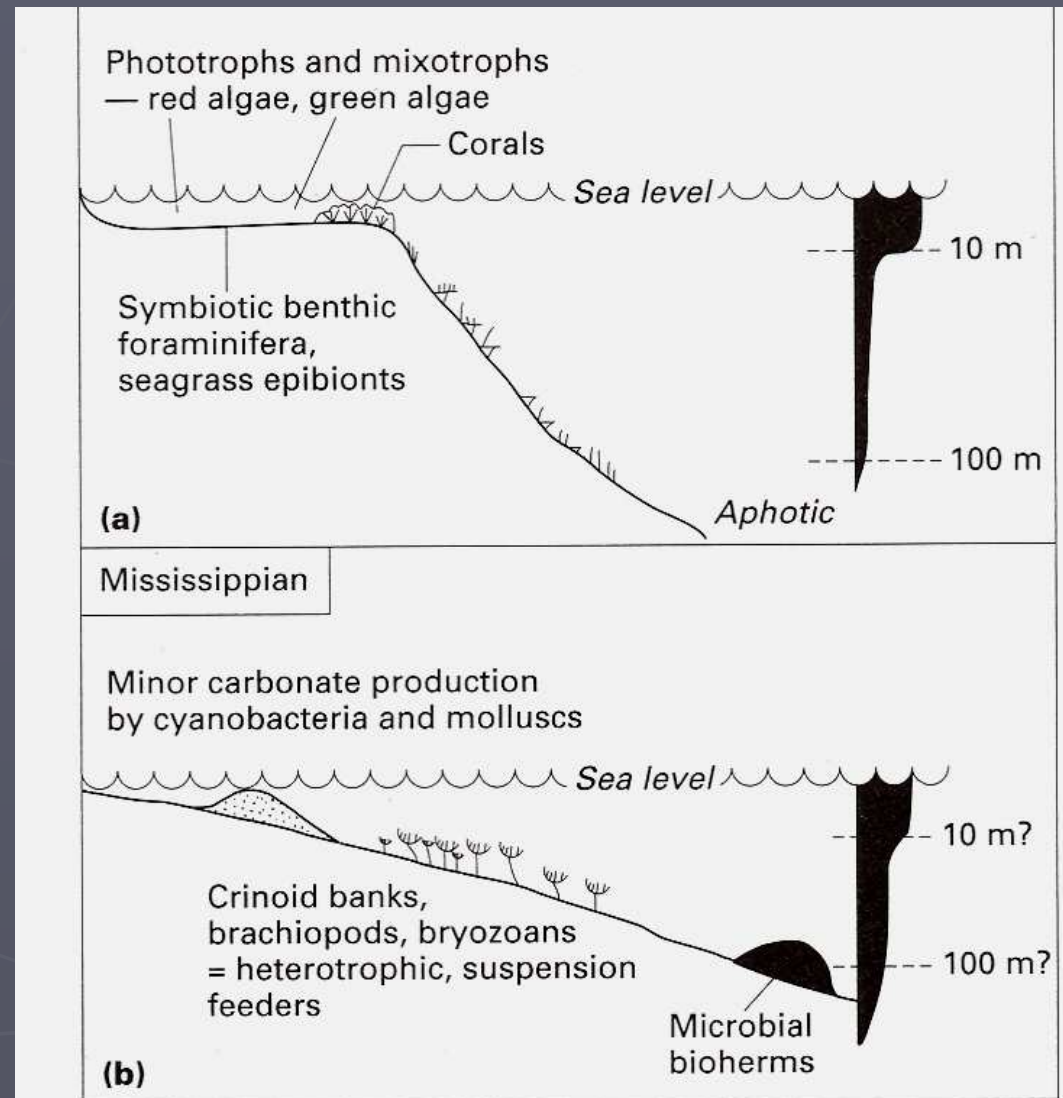
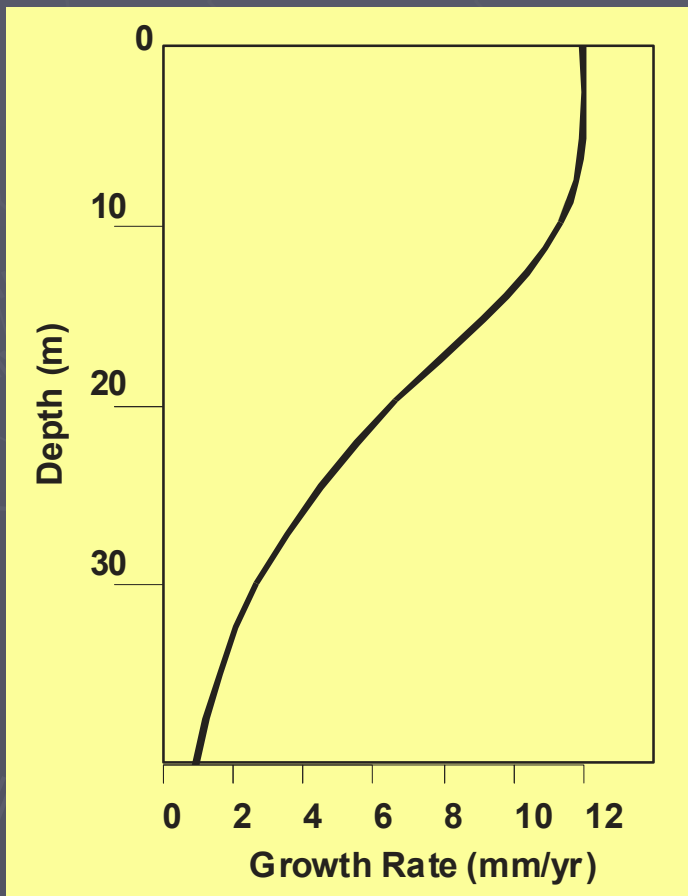
Subtropické pásmo (30 ° s. a j. zem. šířky)

Asociace organismů produkujících CaCO<sub>3</sub>

- ▶ CHLOROZOAN (koráli, zelené vápnité řasy),  $t > 15^{\circ}\text{C}$ , salinita: 32-40‰
- ▶ CHLORALGAL (zelené vápnité řasy)  
 $t > 15^{\circ}\text{C}$ , salinita:  $> 40\text{‰}$ ,  $< 52\text{‰}$
- ▶ FORAMOL (bentické foraminifery, měkkýši)  
 $t: 0-32^{\circ}\text{C}$ , salinita: 25-35‰

# Hloubka moře

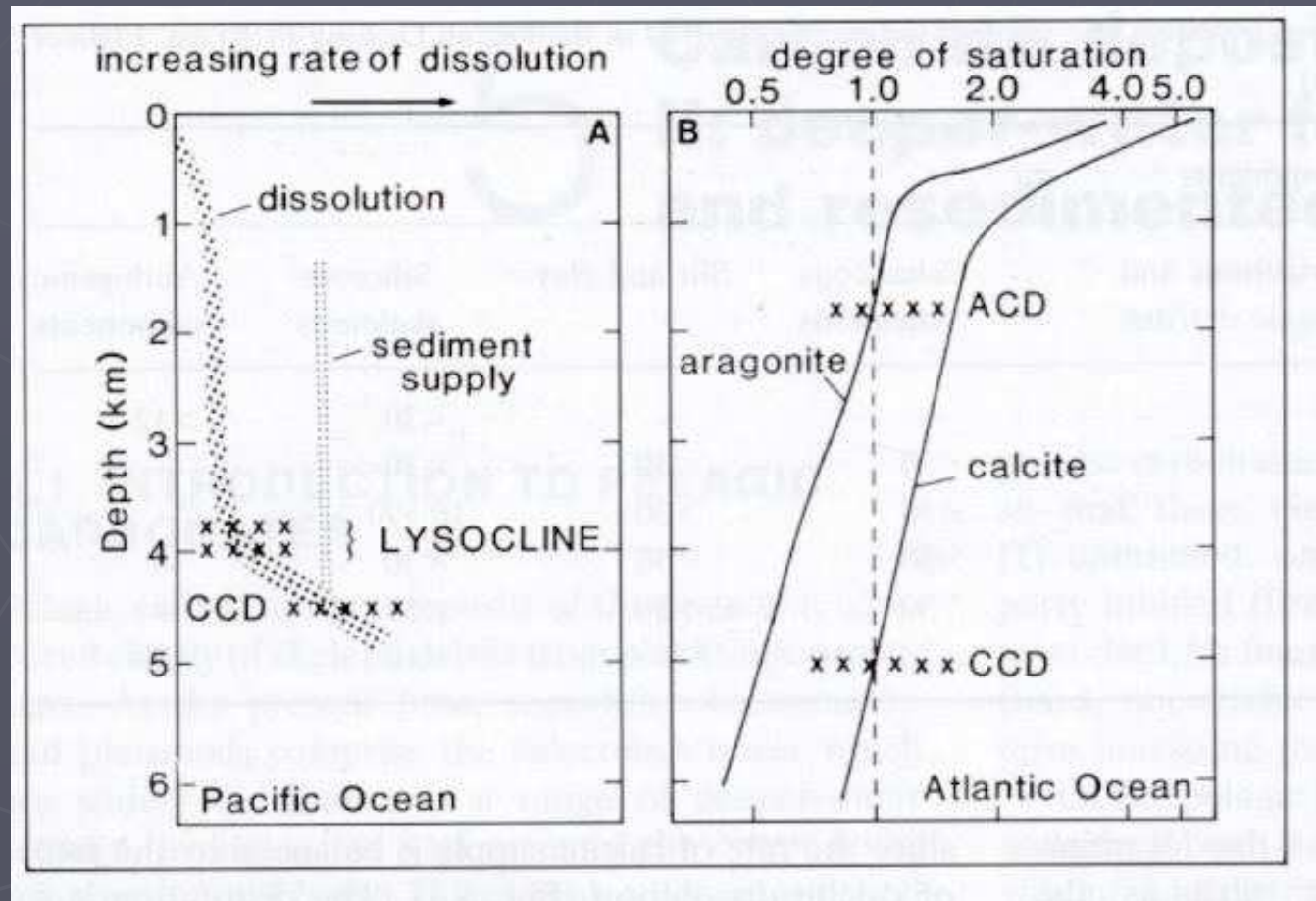
## ► Účinná fotická zóna



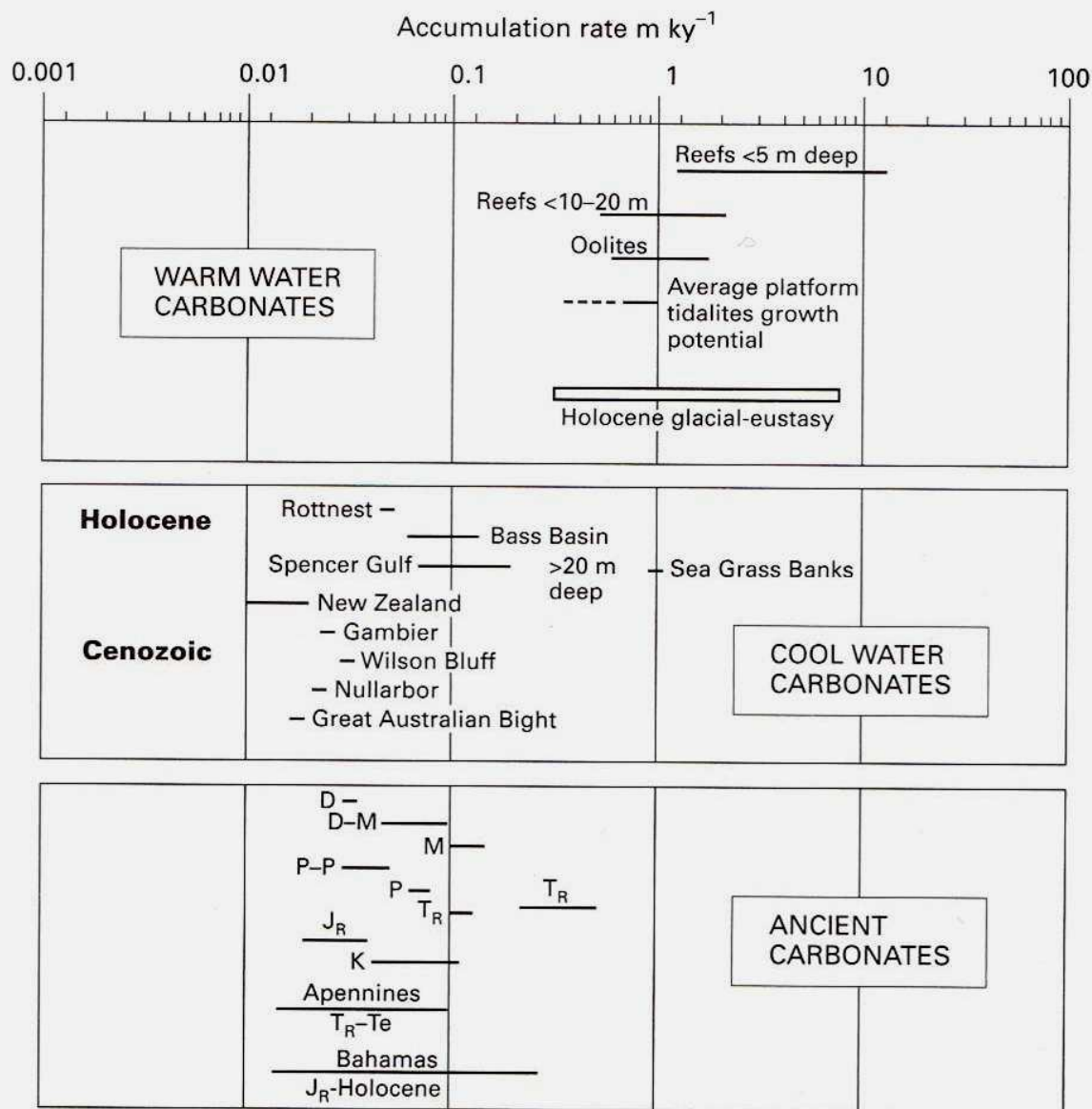
**Figure 9.4** Contrasting locations and contributions made by different organisms in platform development for (a) late Cenozoic systems and (b) Mississippian systems. Predicted depth-productivity profiles on right.

# CCD a lyzoklina

- ▶ CCD (karbonátová kompenzační hloubka)
- ▶ ACD (kompenzační hloubka aragonitu)



# Rychlost akumulace karbonátových systémů



**Figure 9.2** Calculated accumulation rates of modern and ancient carbonate systems (modified from James & Bone, 1991). The warmwater carbonate field refers to short-term rates, calculated by Schlager (1981) for shallow-water systems. The coolwater values include deeper-water settings. The values for ancient carbonates reflect longer-term rates which for all geological phenomena are much lower than for short-term rates. Superficially, the values from ancient systems resemble those of coolwater systems but the data sets are not directly comparable.

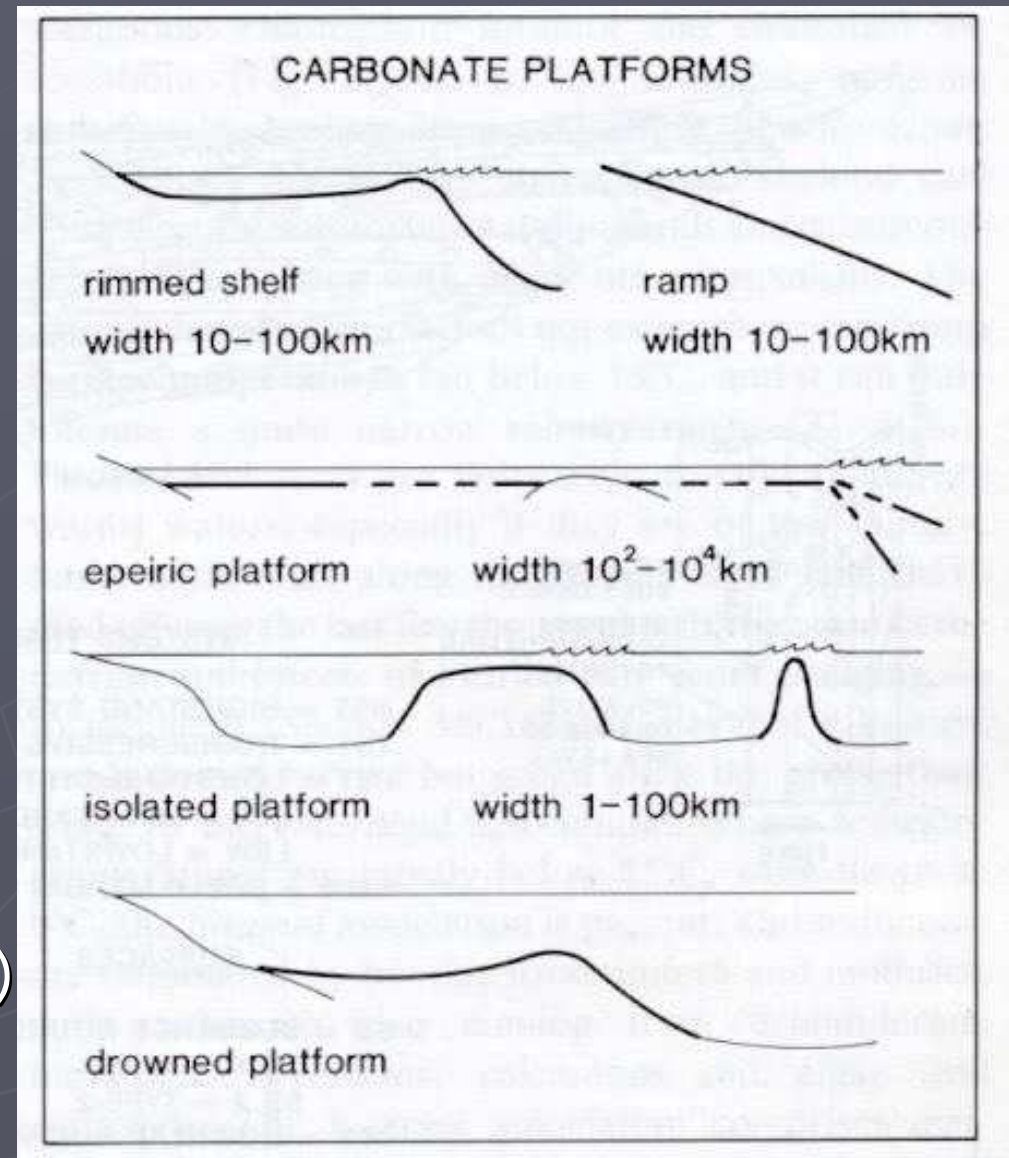
# Tektonický rámec sedimentace

Snížený přísun klastického materiálu –

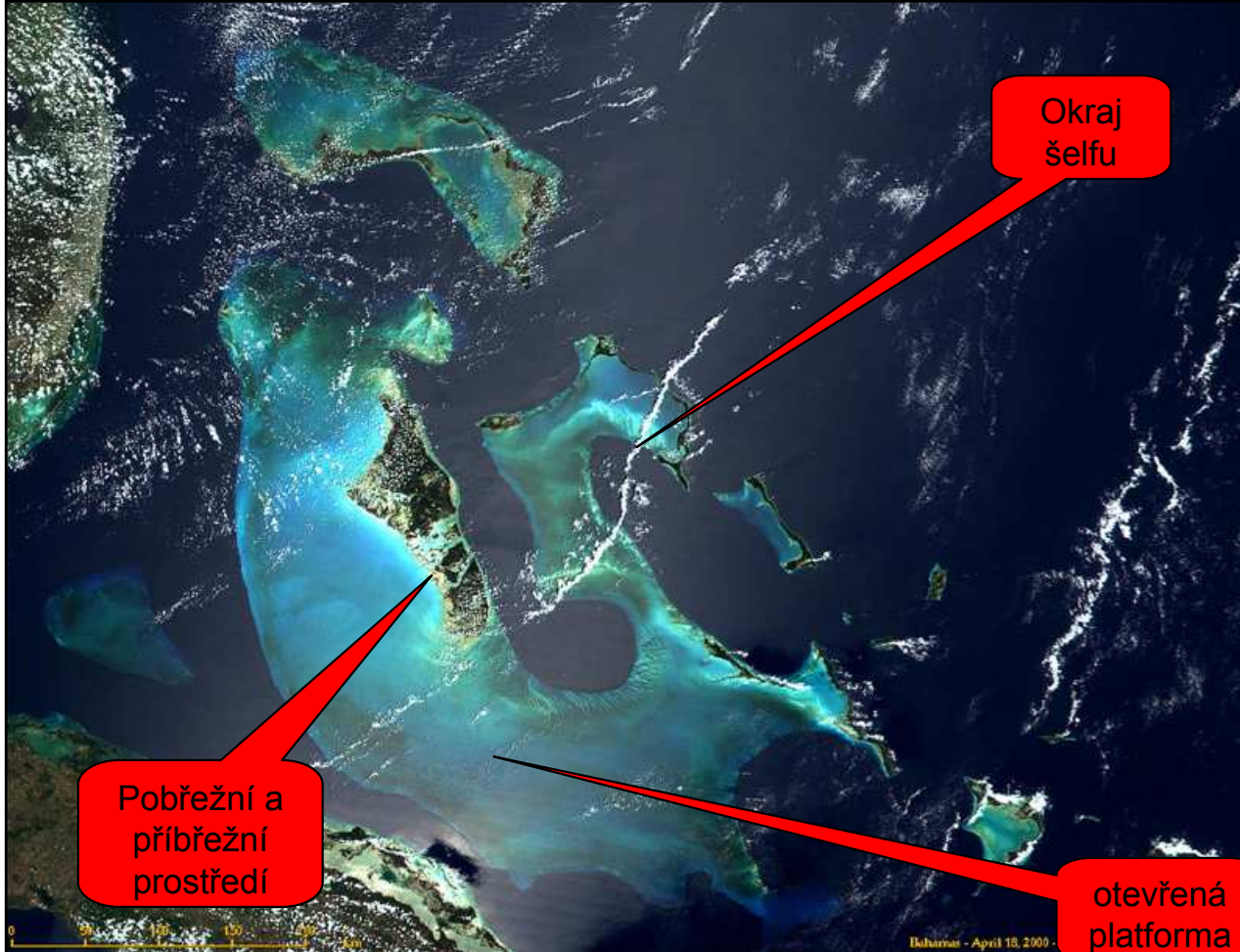
- Velká a malá bahamská lavice
- Velký bariérový útes
- Rudé moře

Morfologie karbonátových těles

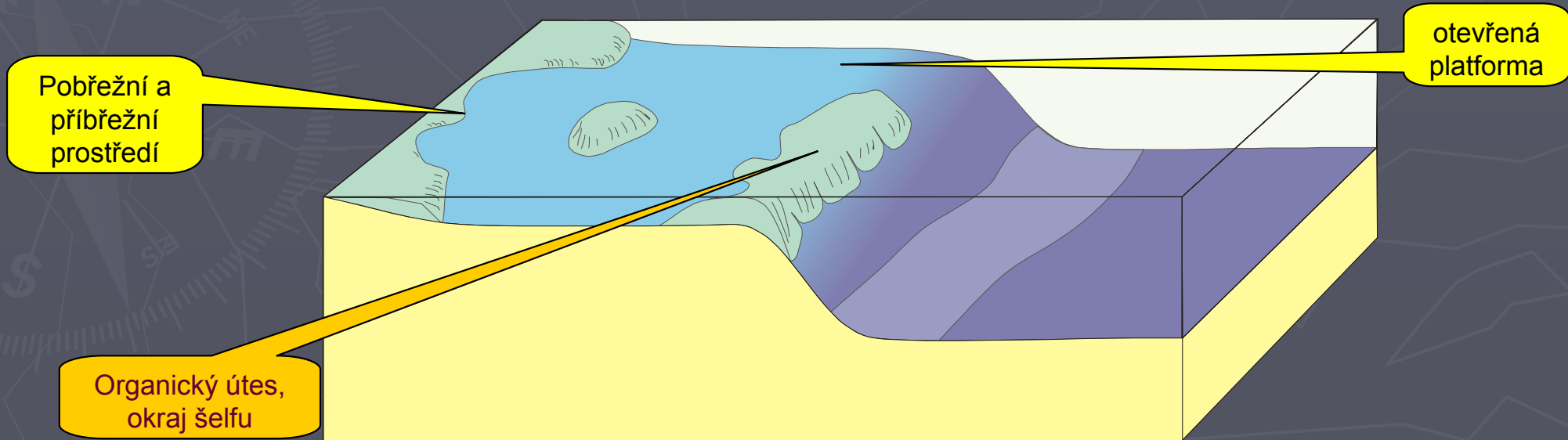
- Lemový šelf (Velký bariérový útes)
- Rampa (Žraločí zátoka, Yucatán)
- Izolovaná lavice (platforma) (Bahamy)
- Epeirická platforma (pouze fosilní příklady, Muschelkalk, Dinant platform)
- Potopená platforma (Blake plateau)



# Mělkomořská depoziční prostředí



- Pobřežní a příbřežní prostředí
- Prostředí okraje šelfu
- Prostředí přílivově-odlivových plošin (peritidální)
- Organické útesy



# Pobřežní a příbřežní prostředí

**Střední až vysoká energie vlnění**

**Zpravidla karbonátové rampy**

- ▶ **Komplex plážové ostrovní bariéry**
- ▶ **Plážová pobřežní plošina**



# Komplex plážové ostrovní bariéry

## Morfologické prvky:

- Plážová ostrovní bariéra
- Přílivové kanály
- Laguna

Výška dmutí > 3m

Vysoká produkce karbonátového písku

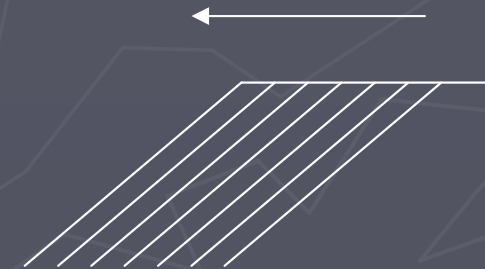
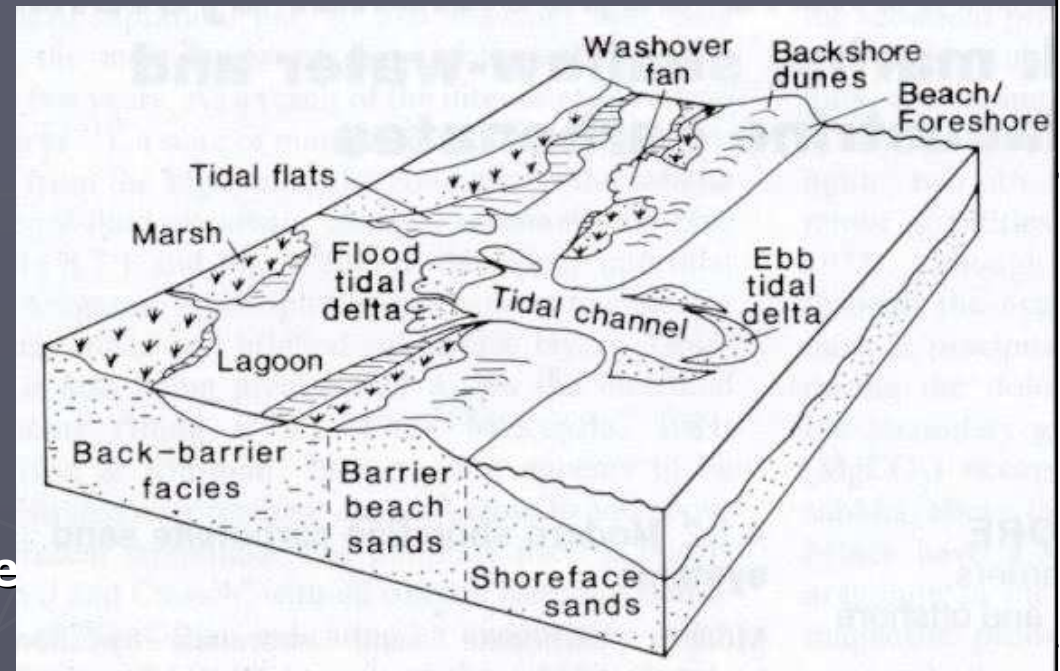
Predispozice topografií podloží

## Procesy sedimentace:

- Podélné pobřežní proudy („longshore currents“),
- Boční akrece písčité těles
- Progradace bariéry (do nadloží: příbřežní písky -> ostrovní bariéra -> sedimenty laguny (evapority, přílivové plošiny))

## Facie:

- Grainstone se skeletálními alochemy (mlži, ježovky, koráli, foraminifery, řasy), ooidy, peloidy, mikritizace alochemů
- Planární šikmé zvrstvení, asymetrické čeřiny,
- Peritidální sedimenty



# Plážová pobřežní plošina

## Morfologické prvky:

- Hřbety dun
- Pláž
- Příbřežní plošina (nad bází normálního vlnění – cca 10-15m)

Výška dmutí < 3m

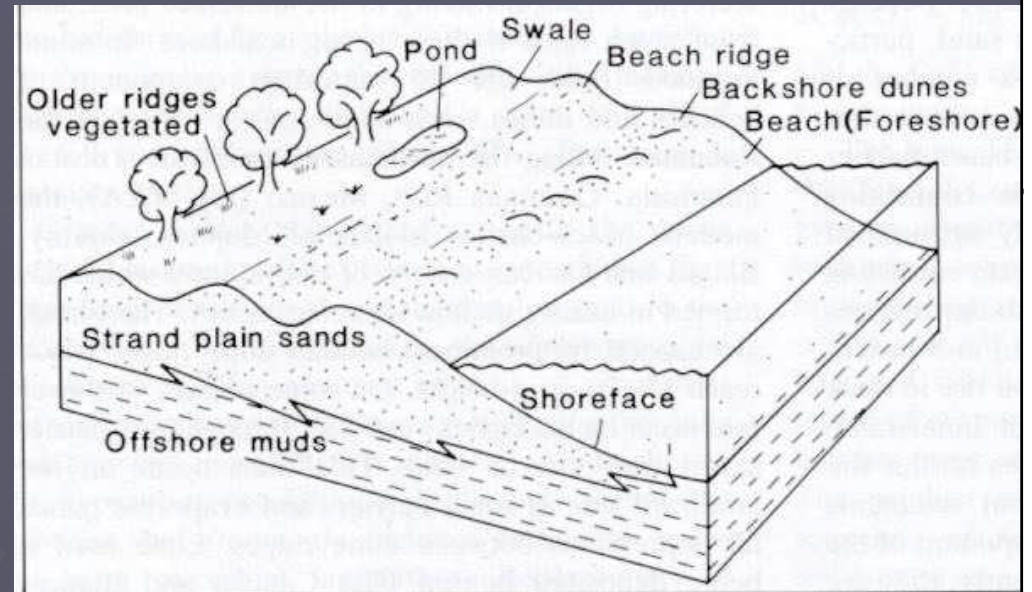
Vysoká produkce karbonátového písku

## Procesy sedimentace:

- Progradace pobřeží (do nadloží: subtidální sedimenty -> příbřežní plošina -> pláž)

## Facie:

- Grainstone se skeletálními alochemy (mlži, ježovky, koráli, foraminifery, řasy), ooidy, peloidy, mikritizace alochemů
- Křížové zvrstvení, horizontální zvrstvení, planární šikmé zvrstvení, primární proudová lineace, asymetrické čeřiny, symetrické čeřiny,
- Raná cementace



# Šelfová sedimentace pod bází normálního vlnění

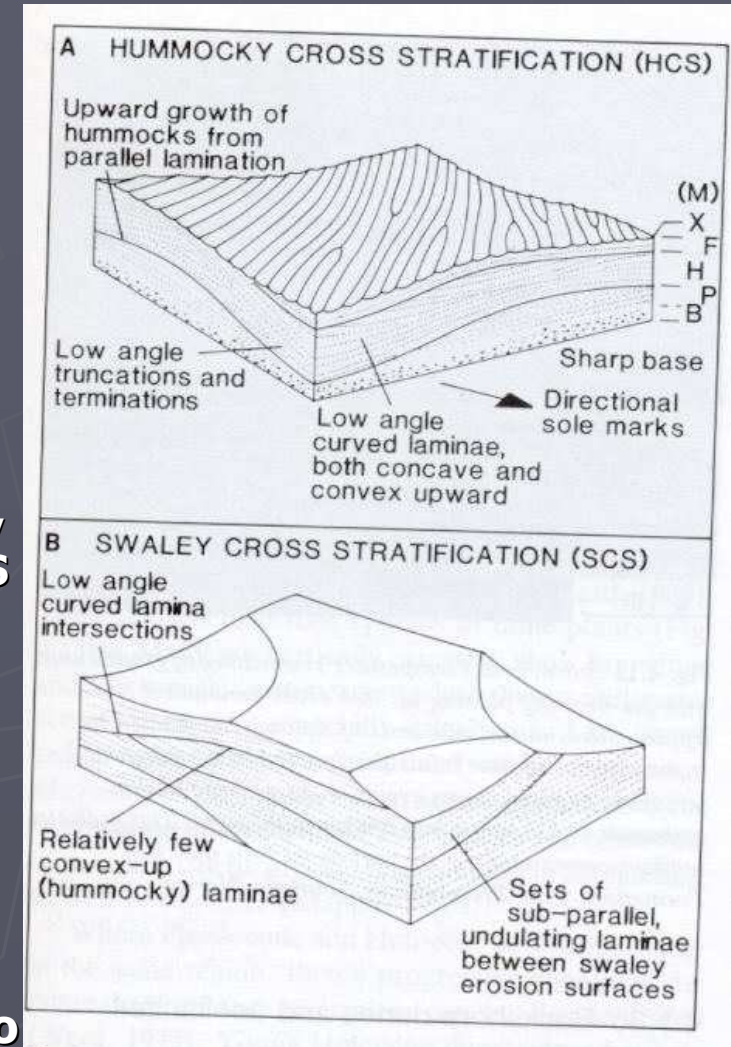
Nízká hydrodynamická energie prostředí  
Občasné bouřky

## Procesy sedimentace:

Vertikální akrece subtidálních sedimentů,

## Facie:

- Vyšší podíl mikritu – packstone, wackestone, lime mudstone
  - Bouřkové sedimenty (tempestity):
  - Ostré bazální hranice vrstev, normální gradace, alochemy obdobné jako v okolních nebouřkových sedimentech, HCS (hřbítkovité zvrstvení)
- Proximální (blíže k pobřeží, méně hluboko pod bází normálního vlnění):  
Více alochemů, větší podíl bouřkových vrstev, vyšší mocnosti bouřkových vrstev, HCS
- Distální (dále od pobřeží, hlouběji pod bází normálního vlnění):  
Více mikritu, menší podíl bouřkových vrstev, nižší mocnosti bouřkových vrstev, bez HCS



# Tempestit, normální gradace, II laminace



# Tempestit, HCS,



# Píščitá tělesa okraje šelfu

## ► Morfologické prvky (Velká Bahamská lavice):

- píščité valy (0,5 – 1,5 x 12 – 20km)
- duny
- přílivové kanály (šířka 1 – 3 km, hloubka < 7m)

## ► Vysoká produkce karbonátového písku

## ► Sedimentace závislá na

- dmutí,
- energii vlnění,
- pozici k převládajícím větrům

## ► Procesy sedimentace:

- Migrace píščitých valů – směrem na platformu (návětrná strana platformy)
- Migrace píščitých valů - směrem do moře (závětrná strana platformy)
- Gravitační resedimentace do hlubokého moře

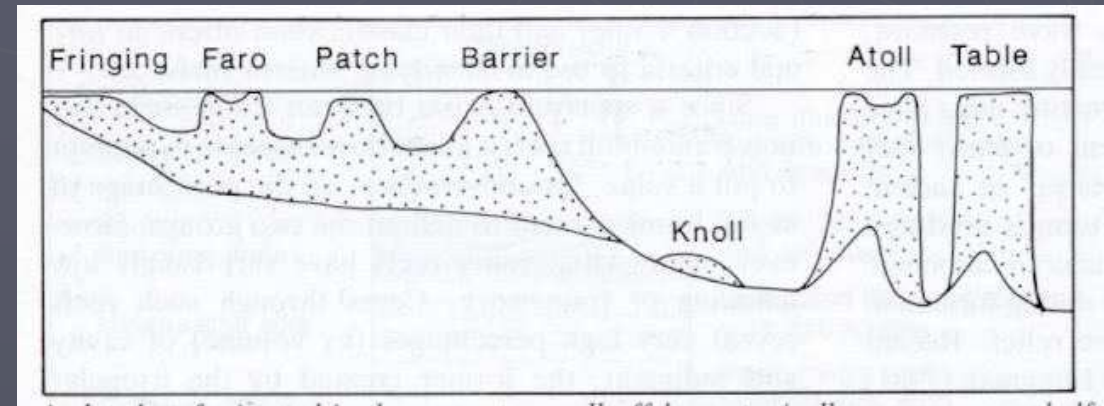
## ► Facie:

- Oolitové písky - grainstone s ooidy, peloidy, agregáty, méně skeletálními alochemy (ježovky, koráli, foraminifery, řasy), ooidy, peloidy, mikritizace alochemů
- Planární šikmé zvrstvení, asymetrické čeřiny, symetrické čeřiny,



# Organické útesy (biohermy)

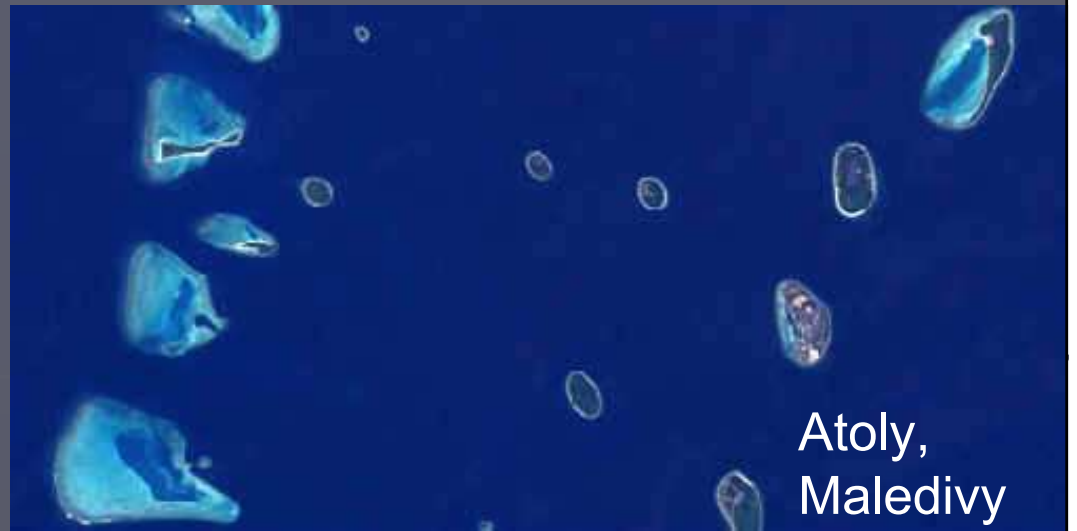
- ▶ Rigidní topografická elevace biogenního původu, rezistentní vůči vlnění
- ▶ Klasifikace podle morfologie :
  - okrajové (fringing)
  - skvrnové (patch)
  - bariérové
  - Hlubokovodní kupy (knoll)
  - atoly



- ▶ Klasifikace podle procesů sedimentace:
  - Skeletální útesy "Frame-Built" (s pevnou vápnitou kostrou ze skeletů organismů)
  - Útesové kupy "Reef Mounds" (bez pevné vápnité kostry, pasivní zachytávání materiálu organismy)



Bariérový útes, Austrálie



Atoly,  
Maledivy



Okrajové útesy  
BoraBora, Pacifik



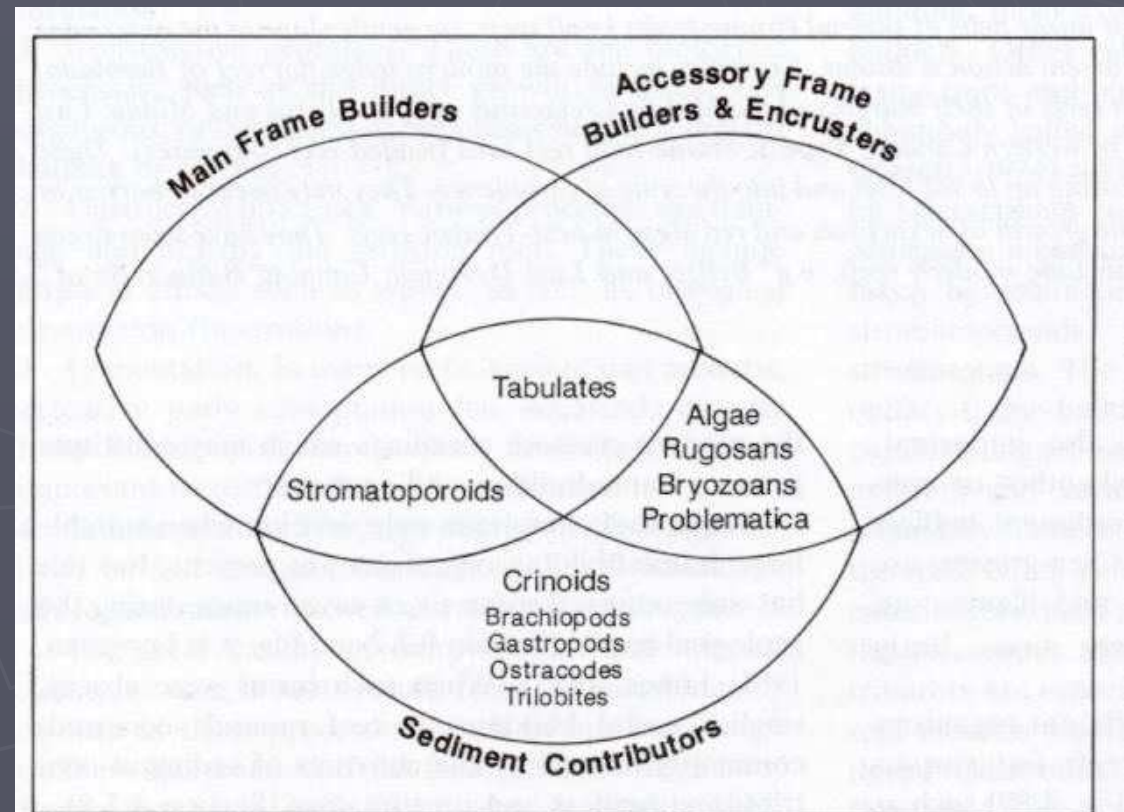
# Procesy ovlivňující růst útesu

- ▶ Konstruktivní procesy: růst organismů
- ▶ Destruktivní procesy: mechanický a biogenní rozpad útesu
- ▶ Cementace: ve fázi rané diagenese
- ▶ Sedimentace: procesy eroze, transportu a sedimentace materiálu útesu

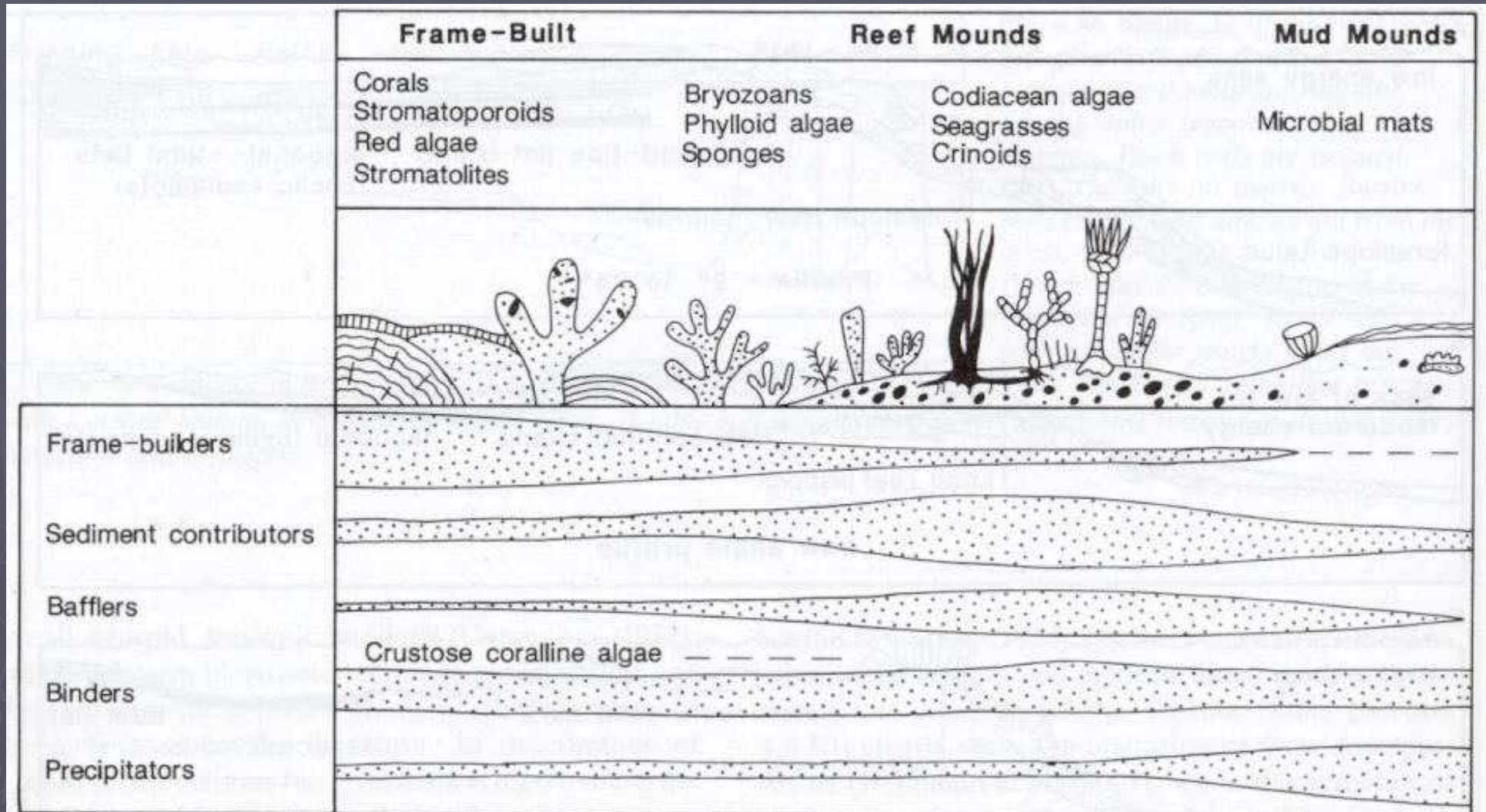
# Konstruktivní procesy

Skupiny organismů podílejících se na stavbě útesu

- ▶ **Stavitelé kostry (frame builders)**
  - Šestičetní koráli, řasy, Hydrozoa (recentní)
  - Šestičetní koráli, Rugosa, Tabulata, Stromatoporoidea, řasy (fossilní)
- ▶ **Povlékači (encrusters)**
  - Řasy, Serpulida, mechovky, koráli
- ▶ **Kontributoři**
  - Řasy (Halimeda)
- ▶ **Ostatní**
  - Cyanobaktérie, řasy



# Konstruktivní procesy



# Destruktivní procesy

- ▶ Vrtavá činnost: řasy, cynobaktérie, Porifera, měkkýši
- ▶ Hrabavá činnost: sesilní bentos, infauna, u útesových kup
- ▶ Oškrabování: Gastropoda, Echinodermata

# Sedimentace

Zdroje sedimentu:

- ▶ Rozrušování vlastního útesu
- ▶ Rozpad schránek organismů žijících na útesu
- ▶ Přínos materiálu zvenčí






# Procesy sedimentace a facie

## Procesy sedimentace:

- Progradace útesu na okraji platformy

## Facie

- ▶ **Převaha destruktivních procesů na konstruktivními: rozpad útesu**
  - Floatstone, rudstone
- ▶ **Převaha konstruktivních procesů nad destruktivními**
  - Bafflestone (zachycování sedimentu, větvnatí koráli, Amphipora)
  - Bindstone (převažuje činnost povlékačů – encrusters – řasy, mechovky)
  - Framestone (převažuje činnost stavitelů kostry – koráli, řasy, stromatoporoidea)

Allochthonous		Autochthonous		
Original components not organically bound during deposition		Original components organically bound during deposition		
>10% grains >2mm				
Matrix supported	Supported by >2mm component	By organisms which act as baffles	By organisms which encrust and bind	By organisms which build a rigid framework
Floatstone	Rudstone	Bafflestone	Bindstone	Framestone
				

# Sedimenty přílivově-odlivových plošin (peritidální sedimenty)

## Přílivově-odlivové plošiny:

- Nízký sklon pobřeží
- Nízkoenergetické prostředí s dominujícím vlivem dmutí

## Zonace podle hloubky:

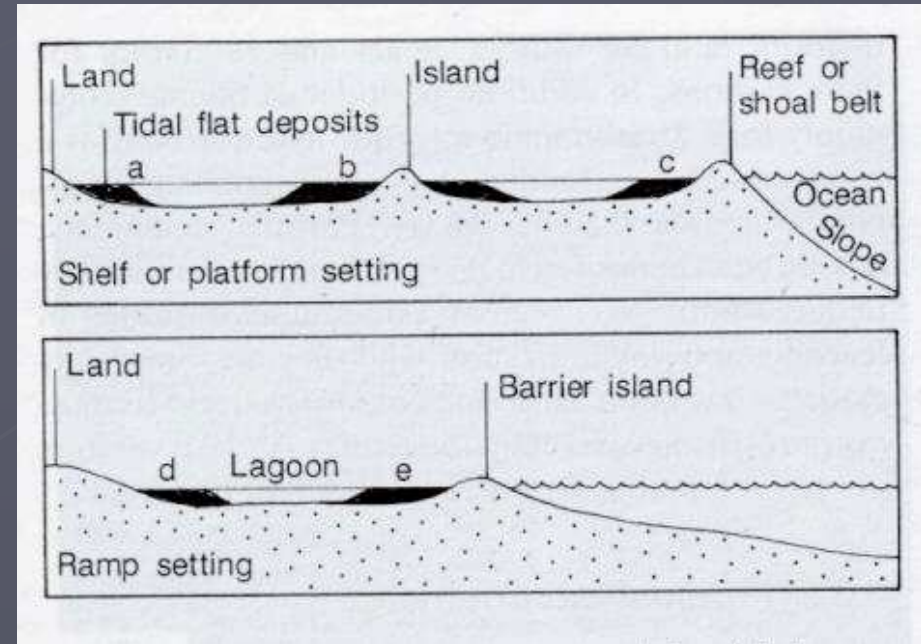
- Subtidální
- Intertidální
- Supratidální

## Morfologické prvky

- Plošiny
- Kanály (cca 3m hloubka, až 100m šířka)

## Procesy sedimentace:

- Progradace přílivových plošin (do nadloží: subtidální -> intertidální -> supratidální sedimenty)

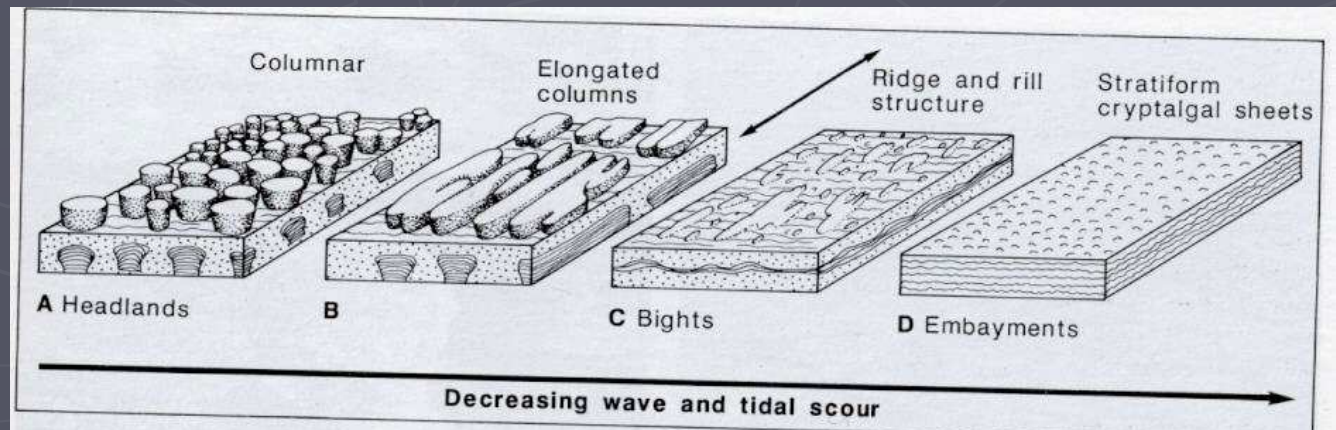


# Facie peritidálních sedimentů

Facie:

Plošiny:

- laminace mikrobiálního původu (řasové koberce), střídání bindstone, packstone a grainstone, hojné peloidy,
- Stromatolity, Tepee texture, fenestrální textury – dutiny v sedimentu
- Evapority (sádrovec, anhydrit)



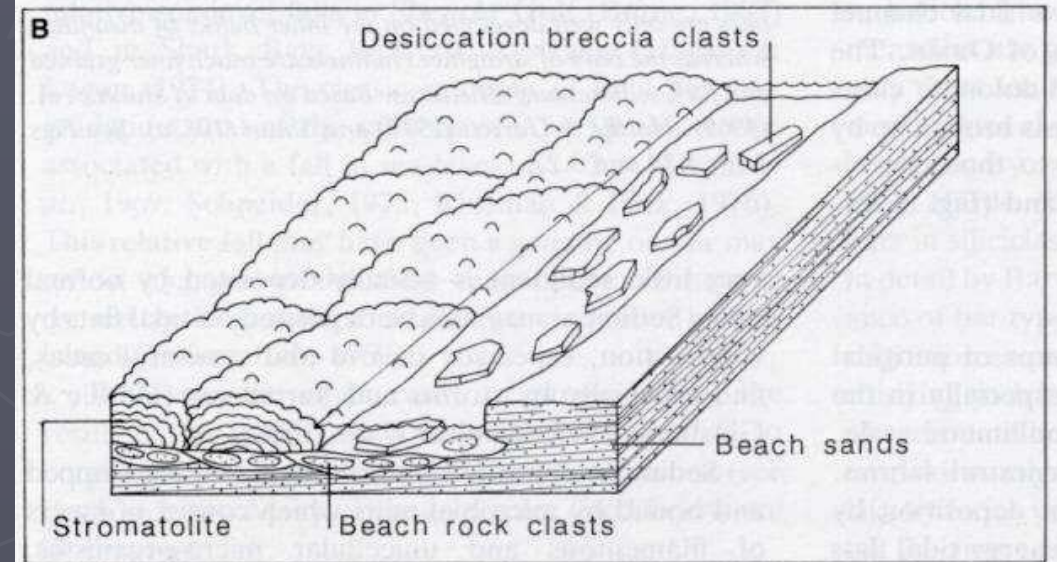
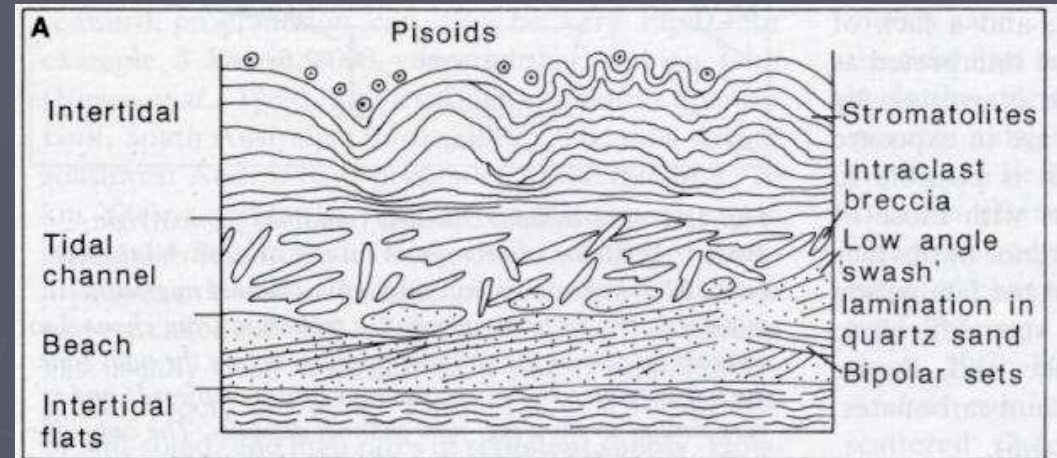


# Facie peritidálních sedimentů

Facie:

Kanály přílivových plošin:

- Rezidua – „intraformační brekcie“ – rudstone s intraklasty
- Bioturbace
- Písčité valy – planární šikmé zvrstvení,



# Hlubokomořská depoziční prostředí

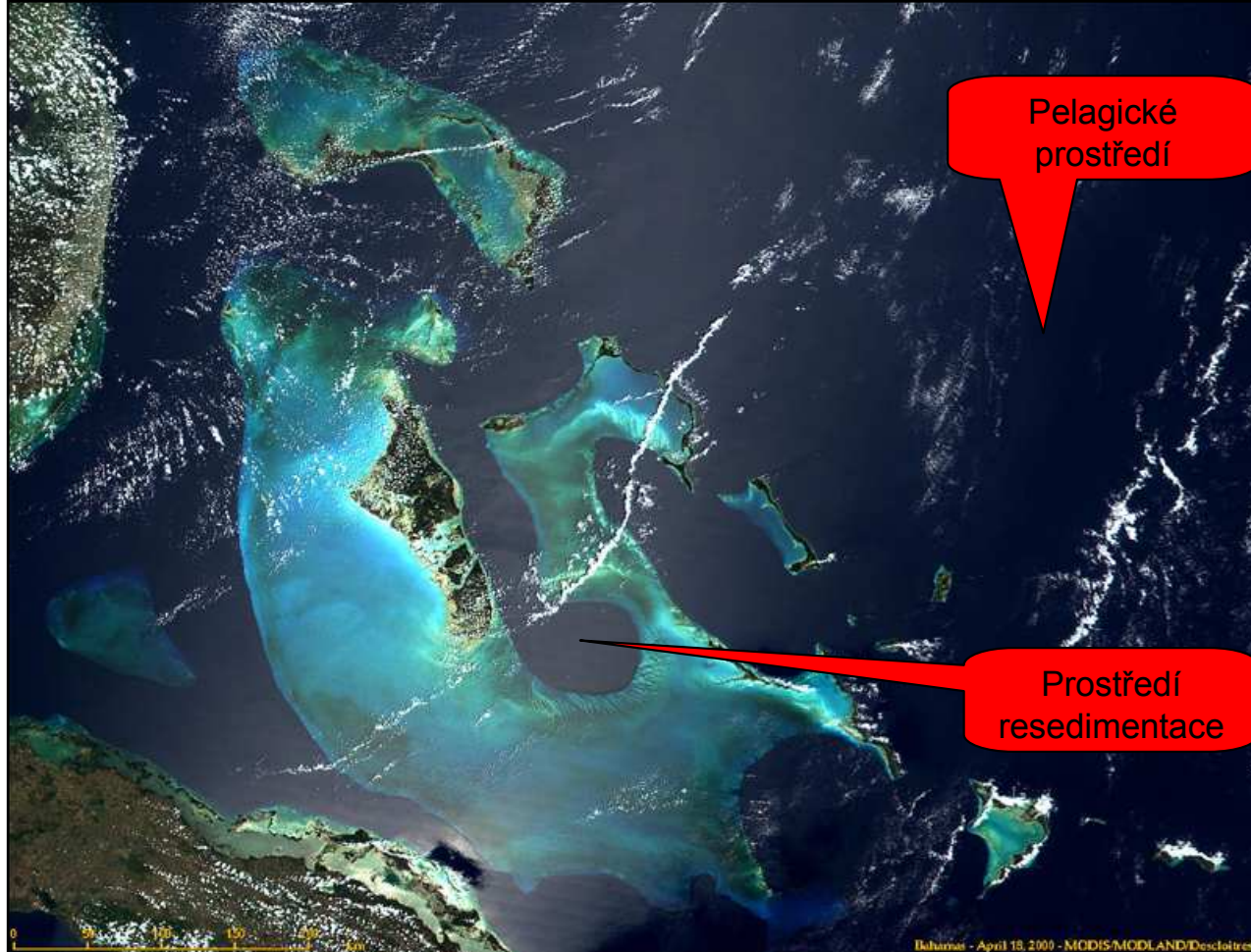
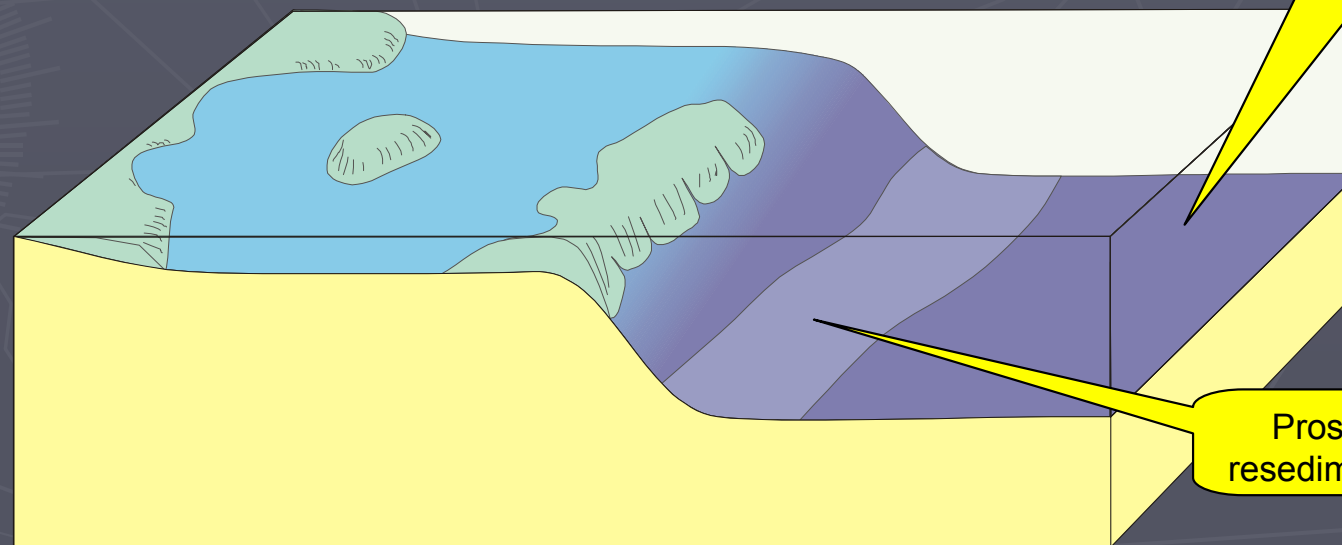
Pelagické  
prostředí

Prostředí  
resedimentace

- Pelagické prostředí
- Prostředí resedimentace
  - ▶ Báze svahu platformy

Pelagické  
prostředí

Prostředí  
resedimentace



# Pelagické prostředí

## ▶ Pelagické karbonáty:

- > 95% materiálu ze suspenze (spad z vodního sloupce)
  - ▶ Karbonátový materiál biogenního původu - planktonní a nektonní organismy
  - ▶ Eolický materiál (zrnka Q siltové frakce)
  - ▶ Kosmogenní materiál (kosmický prach)
  - ▶ Vulkanogenní materiál (jílové minerály a zeolity – produkty rozkladu vulkanických hornin oceánské kůry)
- < 5% terigenního materiálu

## ▶ Prostředí vzniku pelagických karbonátů:

- Oceánské pánve
- potopené karbonátové platformy a aseismické podmořské hřbety
- šelfy a intrakratonní pánve

# Faktory limitující pelagickou karbonátovou sedimentací

- ▶ Rozpouštění  $\text{CaCO}_3$  v závislosti na hloubce (CCD, lysoklina, ACD)  
(Obsah  $\text{CO}_2$  ve vodě: závislost na teplotě vody, proudění)
- ▶ Produkce  $\text{CaCO}_3$  v přípovrchové zóně oceánů
  - Klima
  - Biotické krize a vymírání
- ▶ Hydrodynamická energie prostředí u dna (proudění)

# Pelagické karbonáty

## Procesy sedimentace:

- Sedimentace ze suspenze
- Oceánské proudění
- Gravitační přemístění pelagických sedimentů na svazích

## Facie:

- ▶ Lime mudstone, wackestone, packstone (nižší vs. vyšší energie prostředí) se skeletálními alochemy: planktonní foraminifery (Globigerinaceae), kokolítka, pteropodi (recentní), amoniti, belemniti, někteří mlži (Bositra, Posidonia, Halobia), radiolárie, kalpionely, Nautiloidea, Dacryoconarida, někteří krinoidi (Saccocoma) (fossilní)
- ▶ Nodulární textura (diagenéze), hardgroundy (přerušení sedimentace), bioturbace – Chondrites, Zoophycos

## Příklady:

- ▶ Pterodpodová bahna (recent)
- ▶ Psací křída (křída), Maiolica (jura – křída), Rosso Ammonitico (jura),



# Resedimentované karbonáty

Gravitační transport a sedimentace: topografický gradient (např. svah platformy)

Procesy sedimentace a facie

## Bahnotoky, úlomkotoky

**Binghamovské plastické látky**, soudržné

**Uvedení do pohybu:** překonání prahového napětí – přetížení svahu, zemětřesení, likvefakce (zkapalnění),

**Ukládání:** zpomalení toku (snížení kinetické energie toku)

**Facie:** ostré spodní a svrchní hranice vrstev, inverzní gradace, špatné vytrídění, floatstone, rudstone, hojné intraklasty

## Turbiditní proudy

**Newtonovské kapaliny**, vyšší hustota v důsledku nasycení sedimentárními částicemi, převažuje turbulentní proudění,

**Uvedení do pohybu:** zemětřesení, zviření části v důsledku bouřky, převýšení kritického sklonu svahu

**Ukládání:** zpomalení proudu

**Facie:** ostré spodní a svrchní hranice vrstev, normální gradace, Boumova sekvence, grainstone, packstone, wackestone, lime mudstone, cizorodé alochemy

## Sesuvy, skluzy

Elastické pevné látky, turbulentní pohyb, laminární pohyb

**Ukládání:** zmírnění sklonu svahu

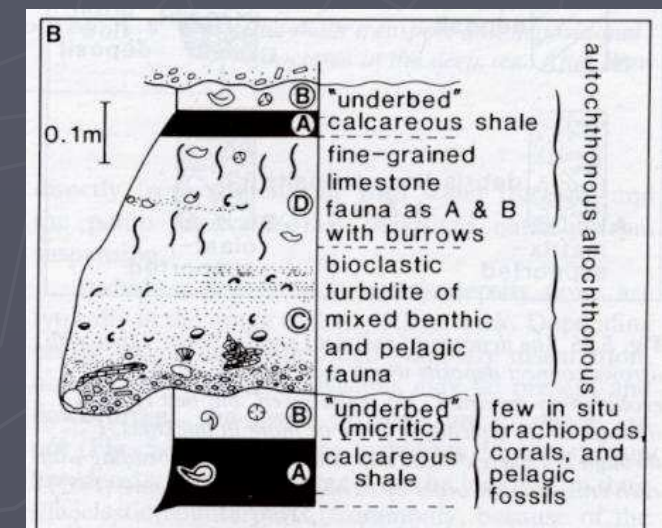
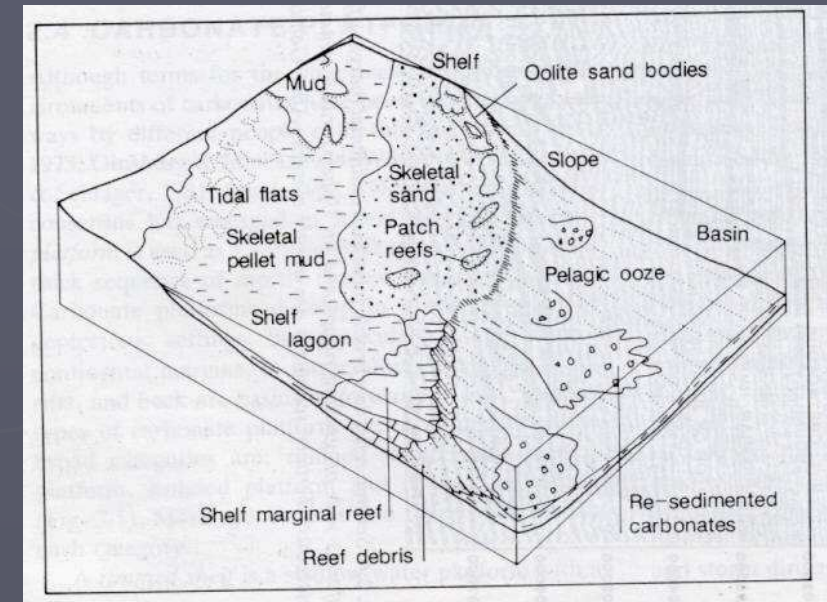
**Facie:** zvrásněné a zprohýbané vrstvy pelagických karbonátů (lime mudstone, wackestone s pelagickou faunou),

## Zrnotoky

Nesoudržné, převýšení prahového sklonu svahu, turbulentní pohyb

**Ukládání:** zmírnění sklonu svahu

**Facie:** inverzní gradace, velmi dobré vytrídění, grainstone



# Turbidity





# Resedimentované karbonáty

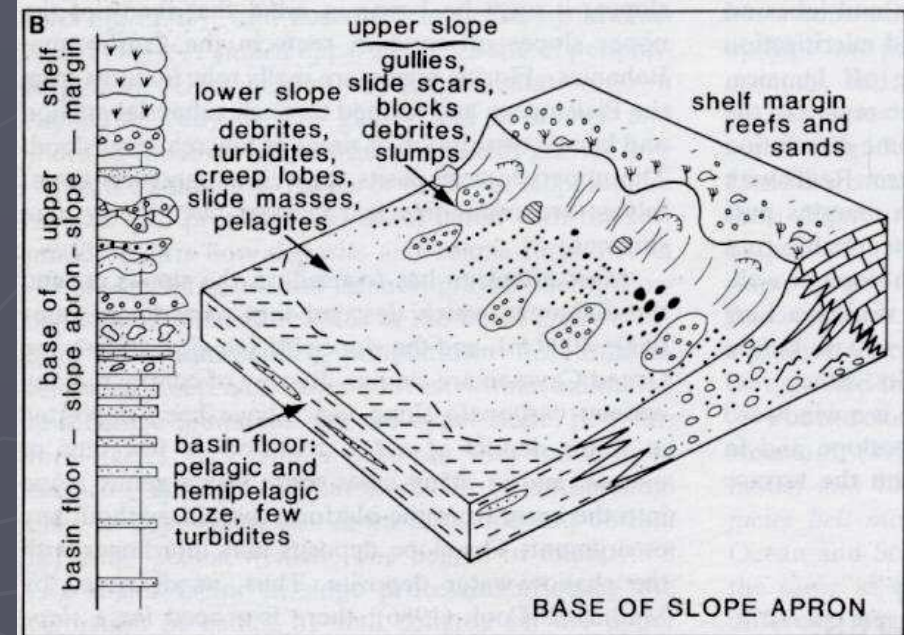
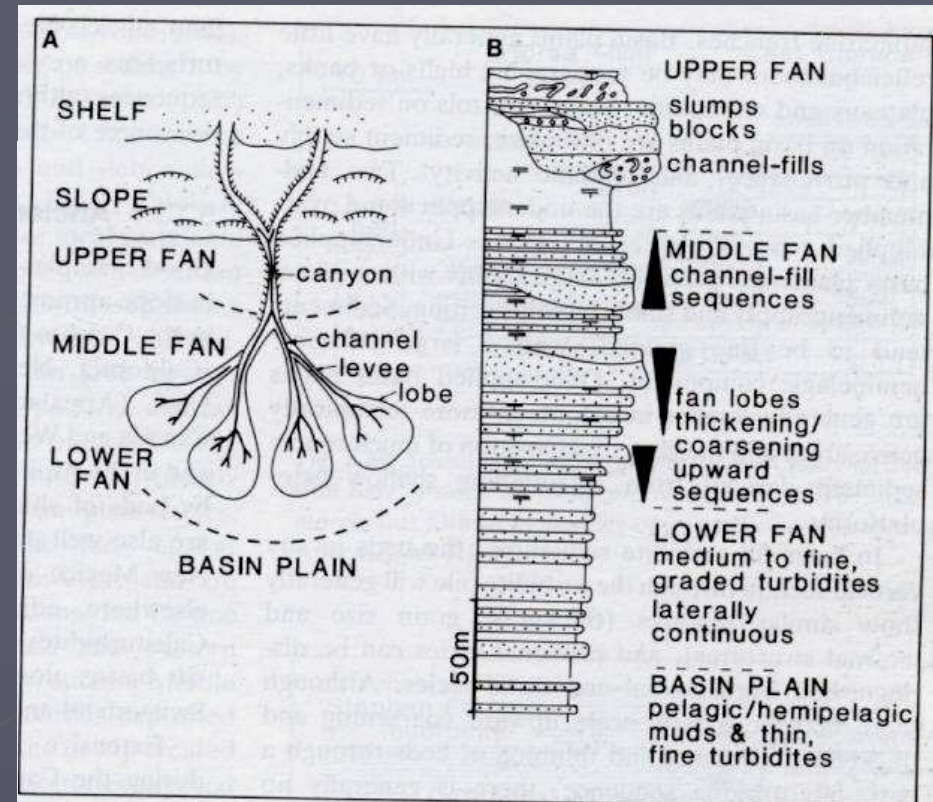
Prostředí sedimentace:

- Podmořský vějíř
  - Vnitřní vějíř (proximální, úlomkotoky, hrubozrnné turbidity, sesuvy, skluzy)
  - Střední vějíř
  - Vnější vějíř (distální, jemnozrnné turbidity)

Procesy sedimentace: progradace vějíře (do nadloží: distální -> proximální)

- Svahový osyp
  - Svrchní svah (proximální, úlomkotoky, hrubozrnné turbidity, sesuvy, skluzy)
  - Spodní svah (distální, jemnozrnné turbidity)

Procesy sedimentace: progradace osypu (do nadloží: distální -> proximální)



# Sedimentační pánve

- ▶ Oblasti, ve kterých se akumuluje sediment a může být zachován po delší časové období
  - Tvar: kruhový, podlouhlý, lineární, nepravidelný
  - Nemusí se jednat o topografické deprese (aluviální vějíř)
- ▶ POSTTEKTONICKÉ (PREDEPOZIČNÍ) PÁNVE (Aralské jezero)
- ▶ SYNTEKTONICKÉ (SYNDEPOZIČNÍ) PÁNVE (Česká křídová pánev)
- ▶ PRETEKTONICKÉ (POSTDEPOZIČNÍ) (Pražská pánev)

## Subsidence vs. přísun sedimentu

- morfologii pánve
- Rychlost denudace ve zdrojové oblasti:
  - ▶ Výpočet objemu přinášeného sedimentu
  - ▶ Výpočet rychlosti sedimentace

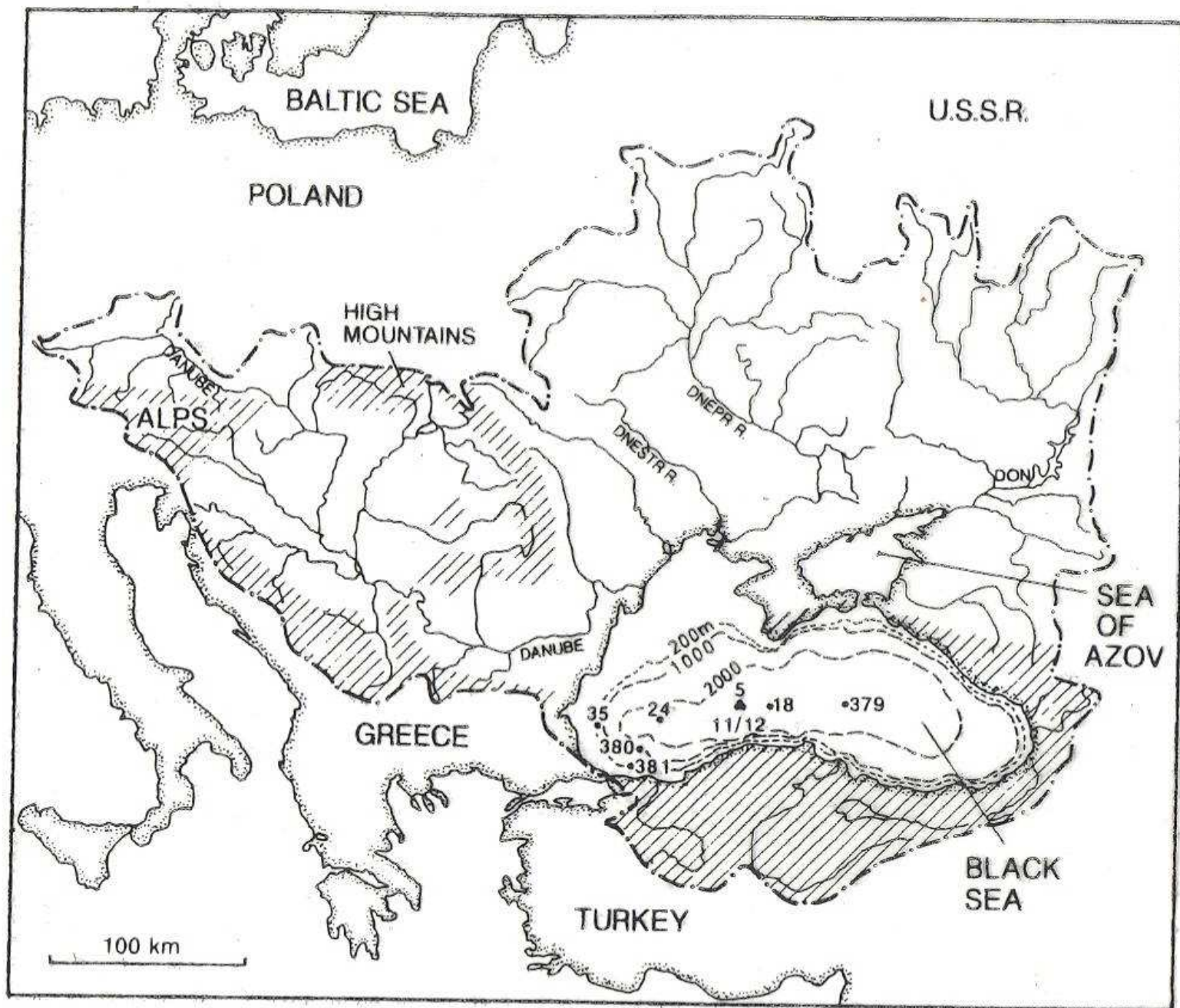


Fig. 9.13. Drainage area of the Black Sea and location of sediment cores and DSDP drilling sites (379 to 381) in the deep basin. (After Degens et al. 1978)

# Subsidence: teorie izostáze

## Teorie izostáze

elevace povrchu krustálního (litosférického) bloku je funkcí mocnosti bloku a hustoty jednotlivých vrstev (vodní vrstva, vrstva sedimentů, vrstva kůry, vrstva nejsvrchnějšího pláště)

báze litosféry - teplotní izograda 1350°C

**litosféra:** vodní vrstva, vrstva sedimentu, vrstva krustální litosféry, vrstvy plášťové litosféry  
**astenosféra**

hustota plášťové litosféry je vyšší než hustota krustální litosféry

- suma hmotností všech sfér (voda, sediment, krustální litosféra, plášťová litosféra, astenosféra) nad určitou referenční linií v plášti je konstantní, avšak může se měnit poměr mocností sfér

$$\Delta(\rho_w h_w) + \Delta(\rho_s h_s) + \Delta(\rho_c h_c) + \Delta(\rho_m h_m) + \Delta(\rho_a h_a) = 0$$

- suma mocností všech sfér včetně atmosféry je konstantní

$$\Delta h_g + \Delta h_w + \Delta h_s + \Delta h_c + \Delta h_m + \Delta h_a = 0$$

podmínky:

- platnost jen pokud se krustální blok chová absolutně nezávisle na okolních blocích
- rovnovážné podmínky nastávají s časovým zpožděním, rychlé změny vedou k nerovnovážnému stavu a izostáze nefunguje

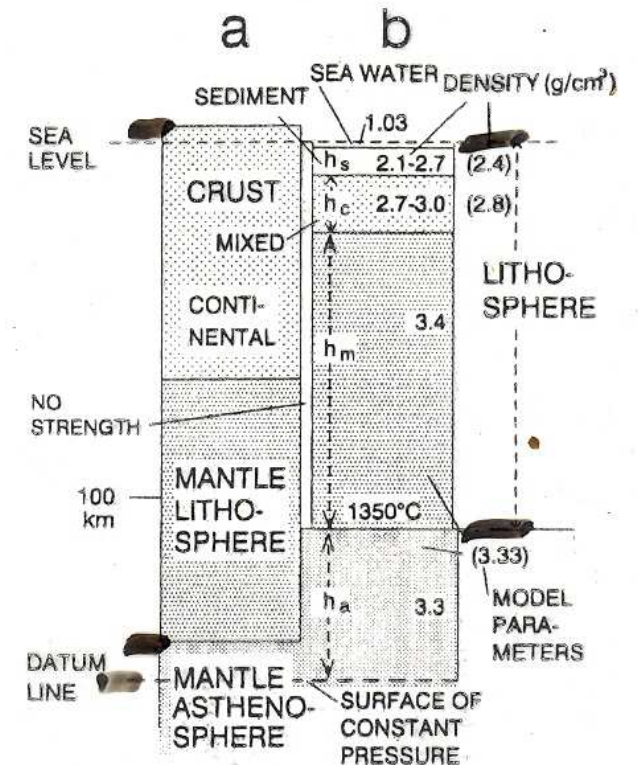


Fig. 8.1a-d. Principle of isostasy demonstrated by two crustal columns (a high plateau; b continental shelf) consisting of layers of different thickness and density on top of a surface of constant pressure. Values in parenthesis are used in the lithosphere extended

# Mechanismy subsidence

## Mechanismy subsidence

### Krustální ztenčení

ztenčení litosféry v důsledku extenzní tektoniky, rychlé eroze nebo natavení litosféry astenosférou, vzrůst teplotní izogrady 1350°C

### Termální subsidence

rychlé zahřívání litosféry (plášťový hřib) - hmotnost zůstává konstantní, narůstá objem, koeficient teplotního rozpínání  $\alpha = 3,4 \times 10^{-5}/^{\circ}\text{C}$ , relativní výzdvih

**později - chládnutí** a zvyšování mocnosti **plášťové litosféry** na úkor korové litosféry - izostatický pokles - termální subsidence

### Zvýšení hustoty kůry

změna teplotně-tlakových podmínek kůry, intruze tavenin s vysokou hustotou do kůry s nižší hustotou

### Flexurní průhyb v důsledku zatížení litosféry

zatížení

**sedimentem nebo vulkanity** (pasivní okraje, podmořské hory)

**tektonické** (nasunuté příkrovy, předpolní pánve)

**subkrustální** (podsunutí hustější (plášťové) litosféry)

elastický model reakce litosféry, pevná rigidní deska, její báze je tvořena izotermou 450°C

pevnost v ohybu

$$D = \frac{E h_e^3}{12 (1 - \sigma^2)}$$

kde

$E$  = Youngův modul pružnosti,  $\sigma$  = Poissonův koeficient,  $h_e$  = **mocnost elastické litosféry**

pevnost v ohybu  $D$  může velmi kolísat, funkcí stáří desky a doby zatížení (mladá oceánská kůra je málo rigidní, stará kontinentální kůra je hodně rigidní)

další faktory: nadlehčování astenosférou, zatížení vodou a sedimentem

# Termální subsidence

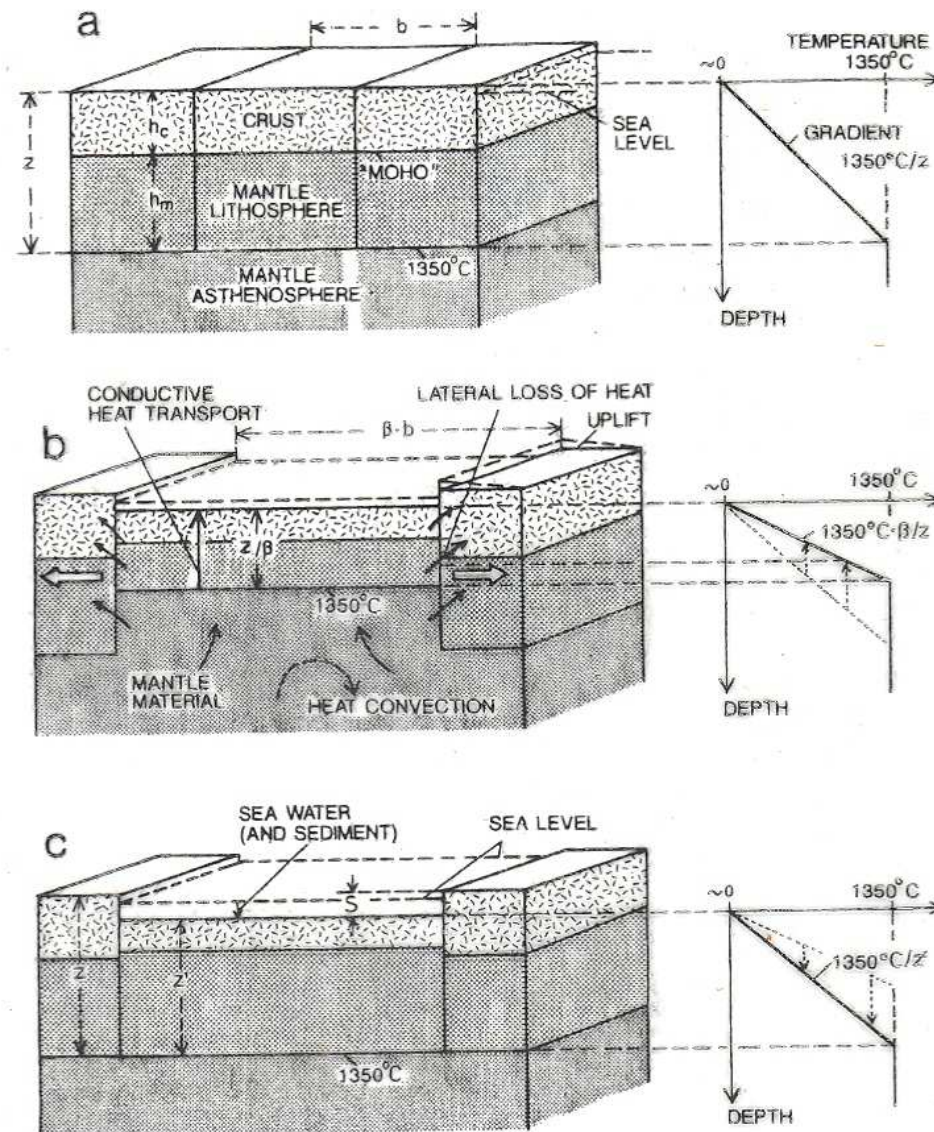


Fig. 8.2a-c. Finite-length extensional rift basin model. a Prior to rifting. b Initial subsidence due to isostatic adjustment at the end of short rifting event, buildup of high geothermal gradient. c Thermal subsidence due to slowly

cooling lithosphere, geothermal gradient approximately reduced to original state. See text for explanation. (After McKenzie 1978)

# Flexurální subsidence

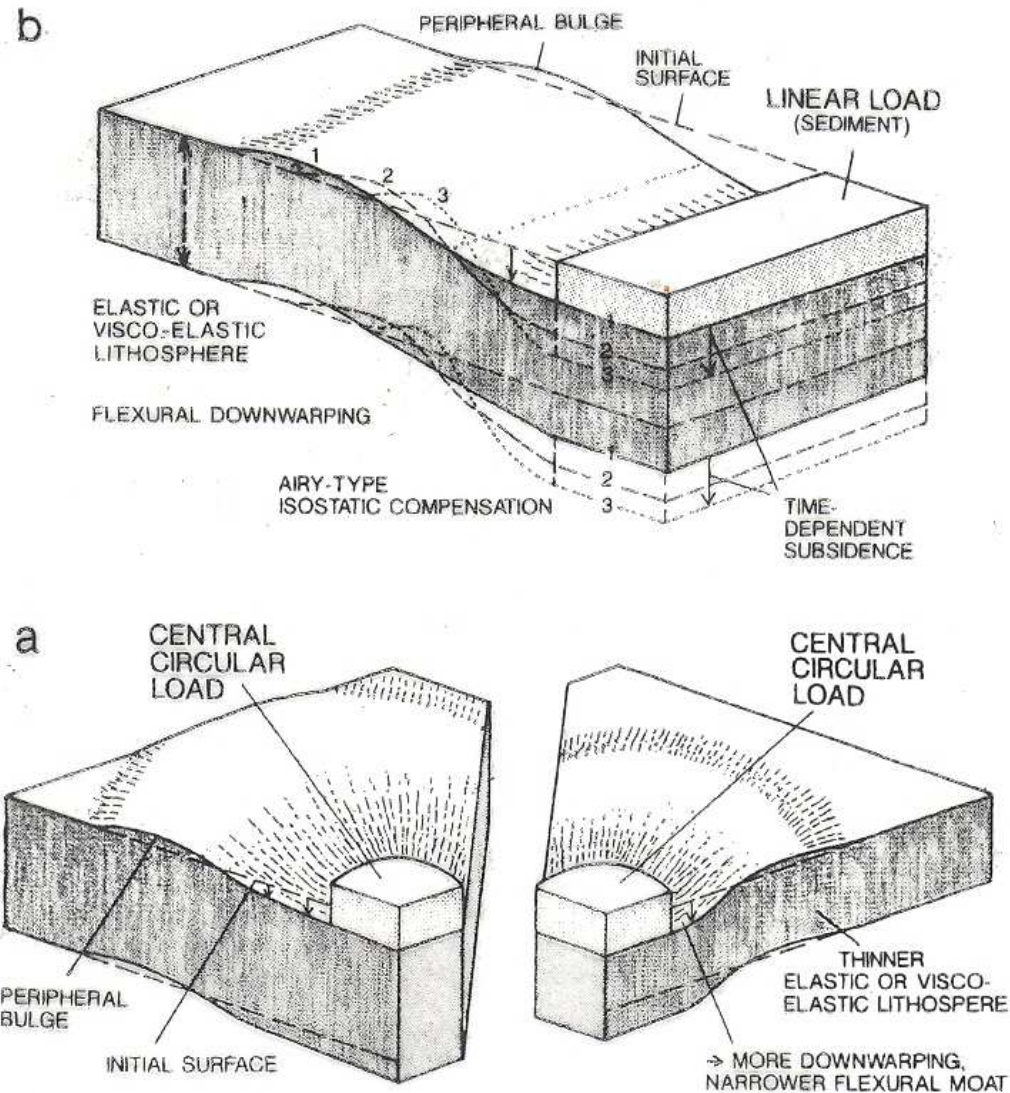


Fig. 8.4a,b. Flexural response of lithosphere adjacent to (a) local small or (b) large, wide linear load, not to scale. a A load on top of relatively young, thin lithosphere creates a deeper, narrower flexural moat than a load on thick, old lithosphere. b Under a long-persisting load, rapid

initial subsidence (1) may be followed by further slow subsidence (2) until the load is ultimately compensated by local isostasy (3). Simultaneously, the peripheral bulge migrates toward the load. (Partially based on Quinlan and Beaumont 1984).

## Subsidenční historie pánve

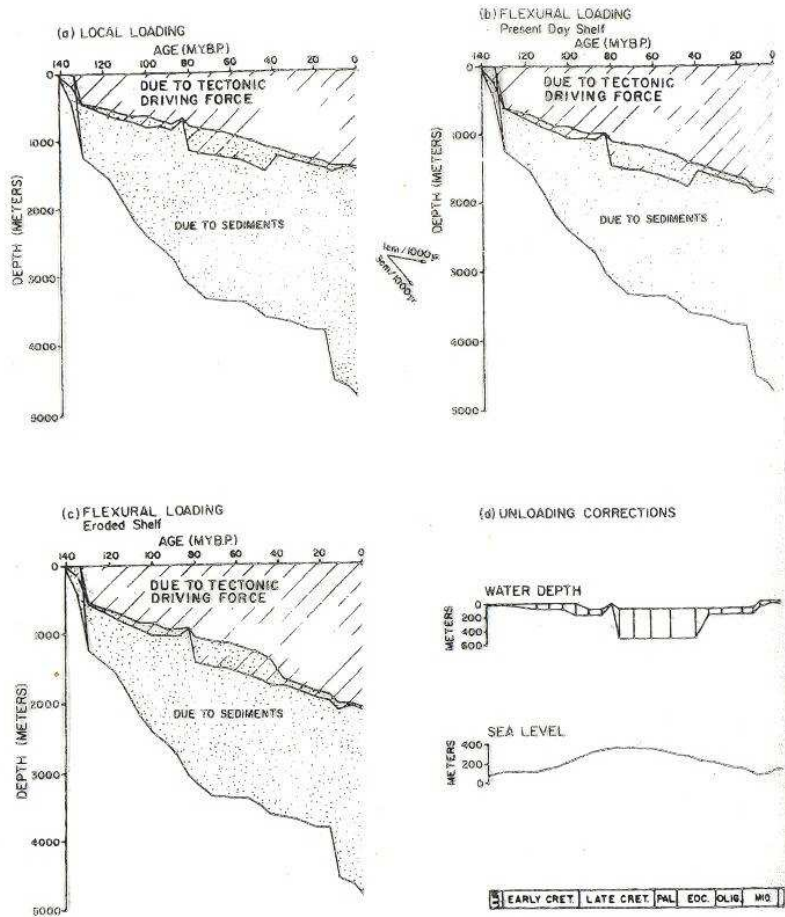
### subsidenční křivky

hloubka subsidence vs. čas

- termálně - tektonická subsidence, řízená procesy v kůře a plášťové litosféře, nezátížená efekty výplně pánve vodou, sedimentem, změnami hloubky dna a vodní hladiny
- subsidence vyvolaná zatížením vodou
- subsidence vyvolaná zatížením sedimentem

další faktory

- hloubka vody - poměr zatížení voda - sediment
- eroze - odlehčení
- eustatické změny vodní hladiny - časově omezené zatížení vodou a dalším sedimentem
- kompakce



## Metody výpočtu subsidence

**Backstripping** („zpětné odstrojování, odlupování“)

výpočet rychlostí sedimentace z chronostratigrafických dat a mocností sedimentu

korekce na

- kompakci (dekompakce)

$$h_{s1} = \frac{1 - n_p}{1 - n_1} \cdot h_{sp}$$

$h_{s1}$  = původní mocnost

$n_1$  = původní průměrná porozita

$h_{sp}$  = současná mocnost

$n_{sp}$  = současná průměrná porozita

- paleobatymetrii
- změny mořské hladiny

celková termálně - tektonická subsidence

$$T = h_{s1} \cdot \frac{\rho_m - \rho_s}{\rho_m - \rho_w} + WD + \frac{\rho_m}{\rho_m - \rho_w} EU$$

$h_{s1}$  = mocnost sedimentu po dekompakci



# Dekompakce

Fig. 7.7. Porosity–depth data for the COST B-2 well. The smooth curve through the data is the curve used in the backstripping calculations (Watts, 1981. Reprinted by permission of the American Association of Petroleum Geologists).

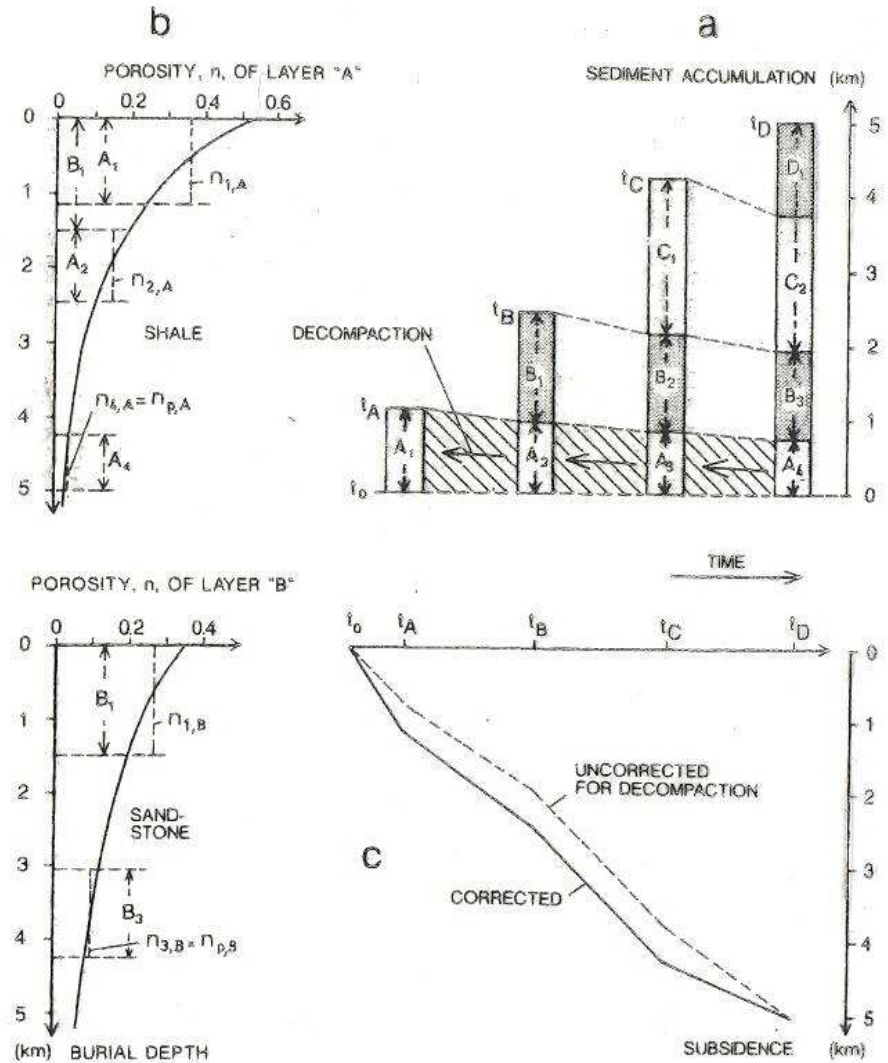
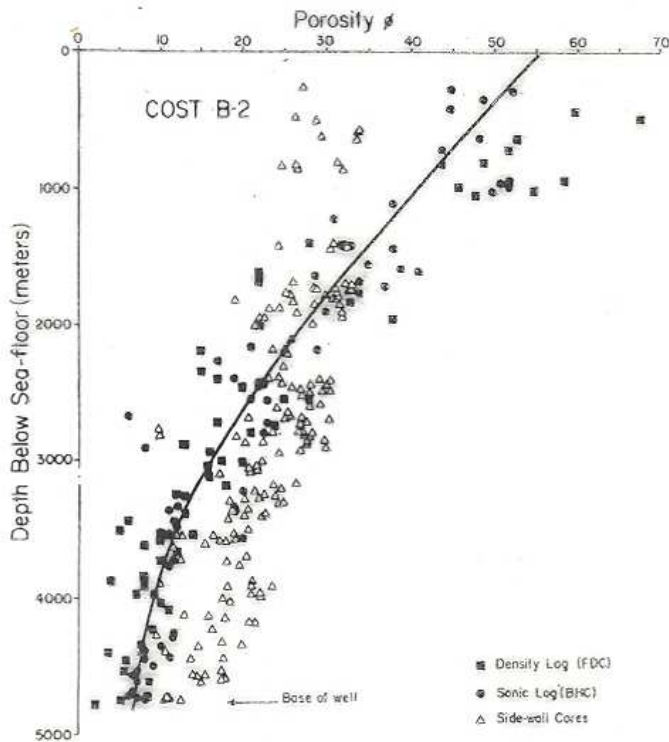


Fig. 8.6a-c. Graphical method for decompacting present sediment thicknesses of units A<sub>4</sub>, B<sub>3</sub>, C<sub>2</sub> to their original thicknesses (A<sub>1</sub>, B<sub>1</sub>, C<sub>1</sub>). a Growth of sedimentary column with time,  $t$ , and progressive compaction of buried units. b Two examples of porosity–depth curves for different

sediments demonstrating decompaction of units A and B (A<sub>4</sub> to A<sub>1</sub> or A<sub>2</sub>, respectively, and B<sub>3</sub> to B<sub>1</sub>) using Eq. (8.12) in text. c Resulting corrected subsidence curve in comparison to uncorrected curve; no changes in paleo-water depth and eustatic sea level

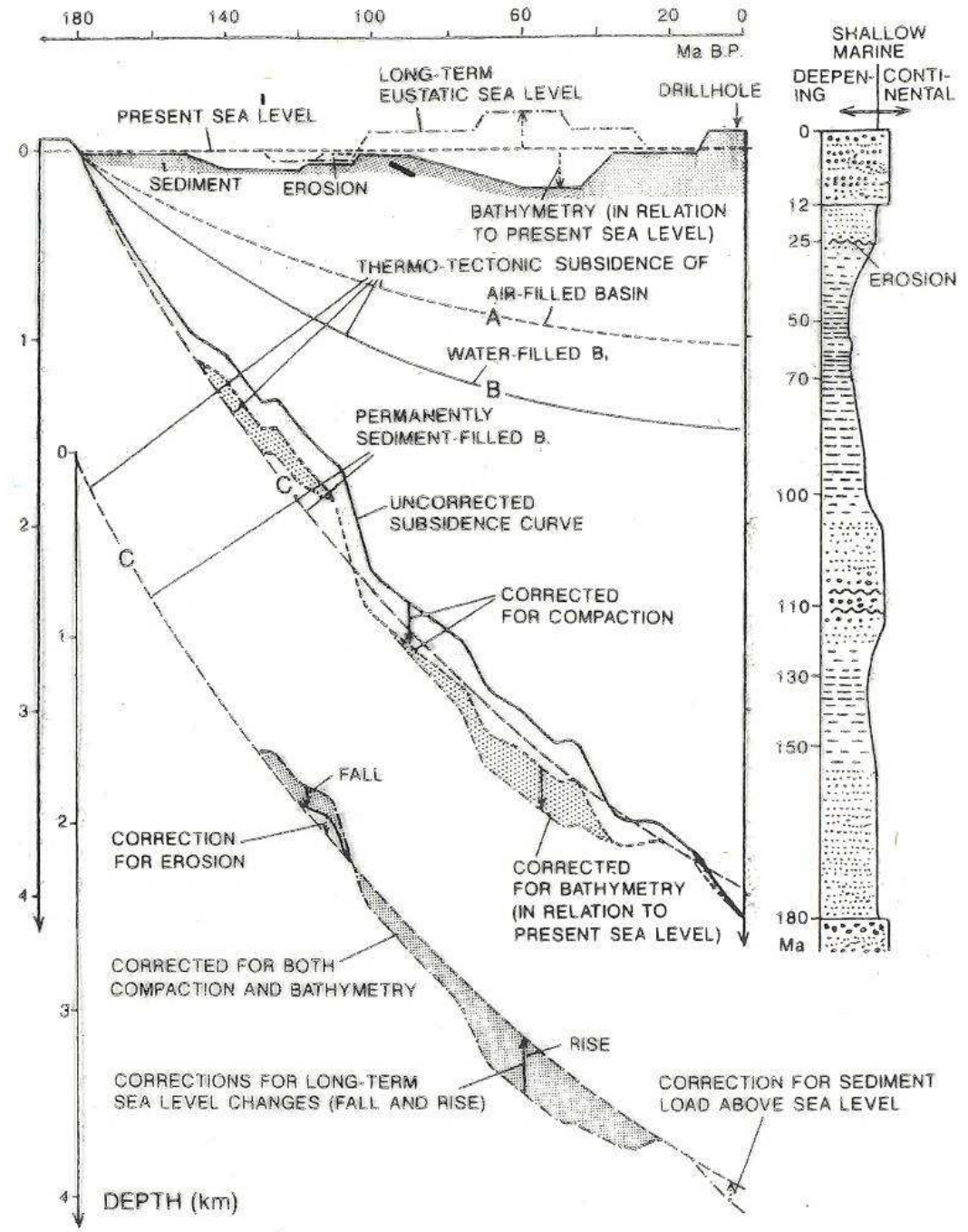


Fig. 8.5. Synthetic, semi-quantitative example showing drilled vertical sediment succession and derived, uncorrected subsidence curve at a given location within a basin. Purely thermo-tectonic subsidence in an air-filled basin (Curve A) is magnified by a water load (B, related to present sea level) and the load of a permanently sediment-

filled basin (C) up to the present sea level. Curve C is modified by sediment compaction, a reduced sediment load (increasing paleo-water depth or bathymetry), and eustatic sea level changes. In addition, erosion can diminish subsidence, or a sediment load above sea level can enhance subsidence

# Tektonická klasifikace pánví

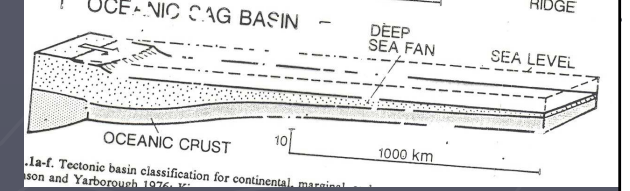
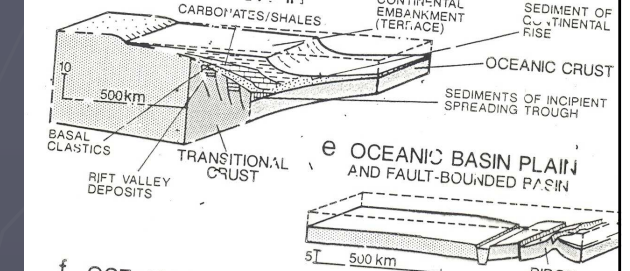
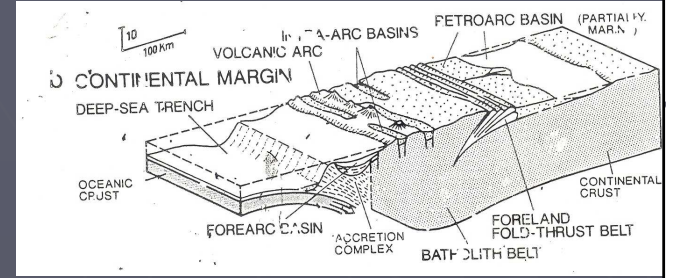
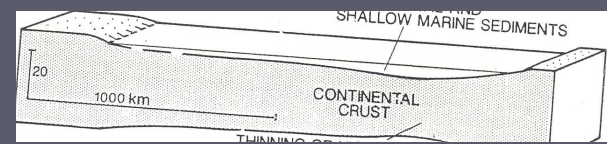
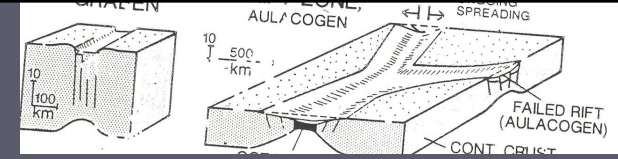


Fig. 1.2a-f. Tectonic basin classification for continents, margins, and oceans (after Wilson and Yarbrough 1976).

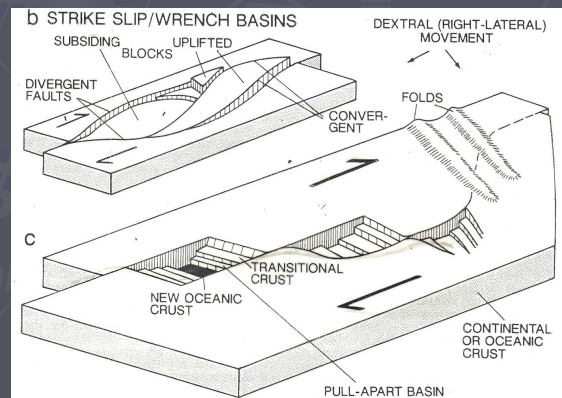
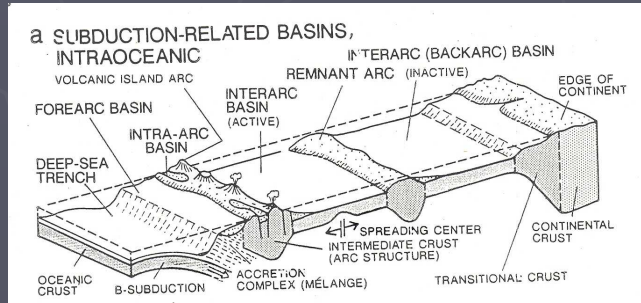


Fig. 1.3a-c. Tectonic basin classification (Fig. 1.2 continued). Collision-related basins and strike-slip/wrench basins. See text for explanation.

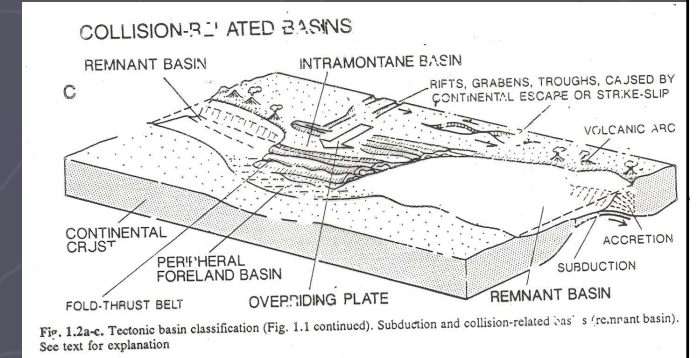
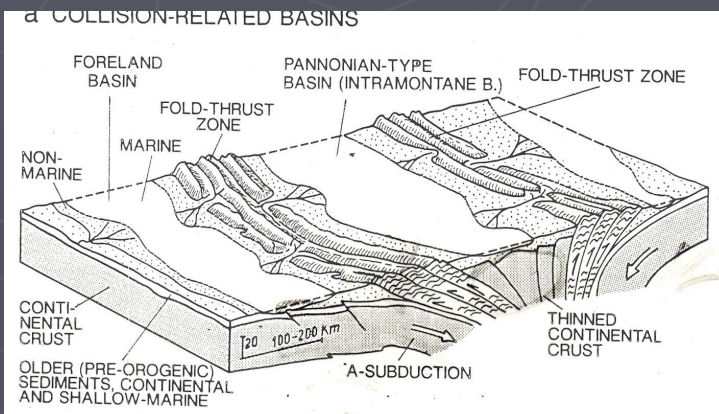
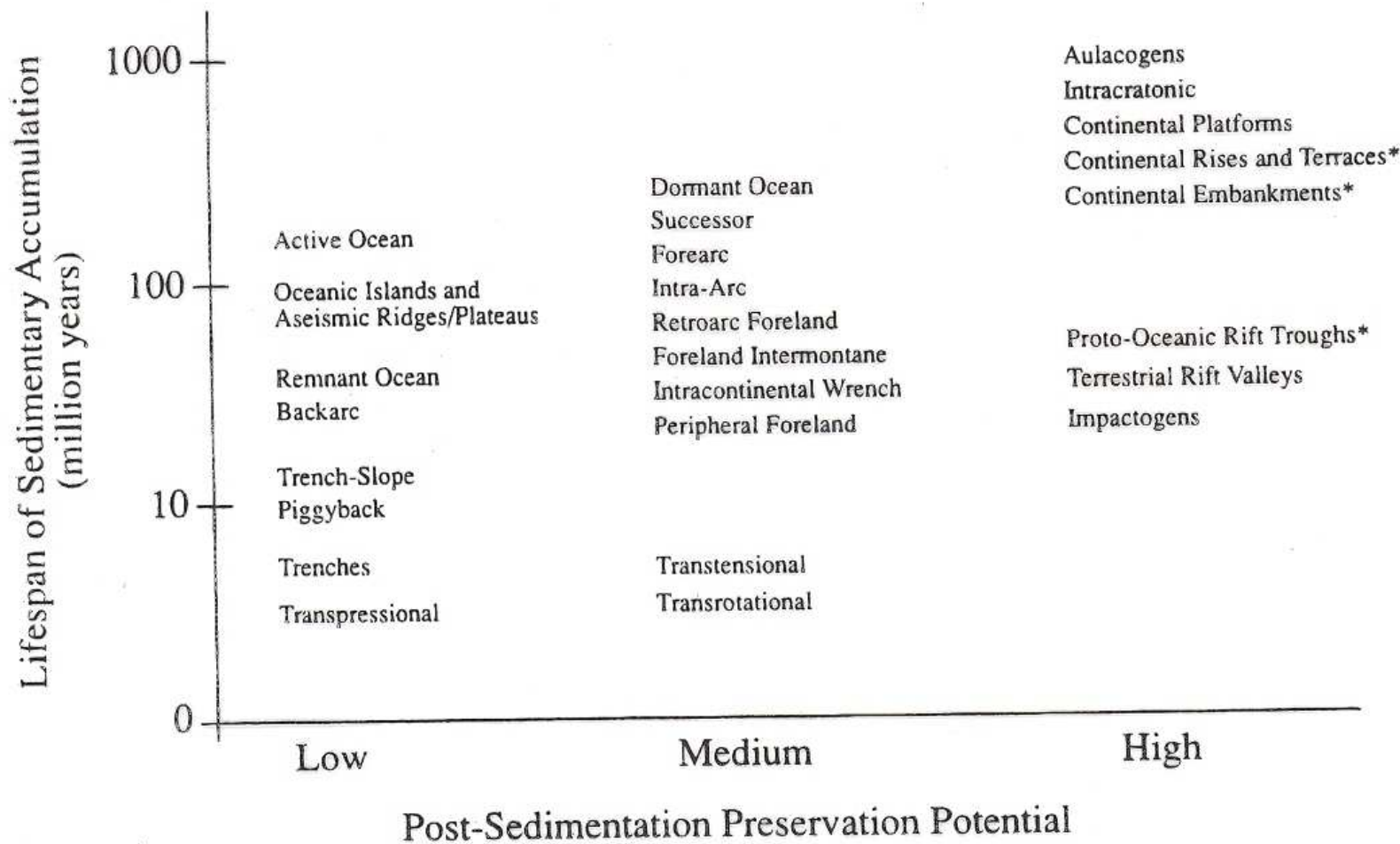
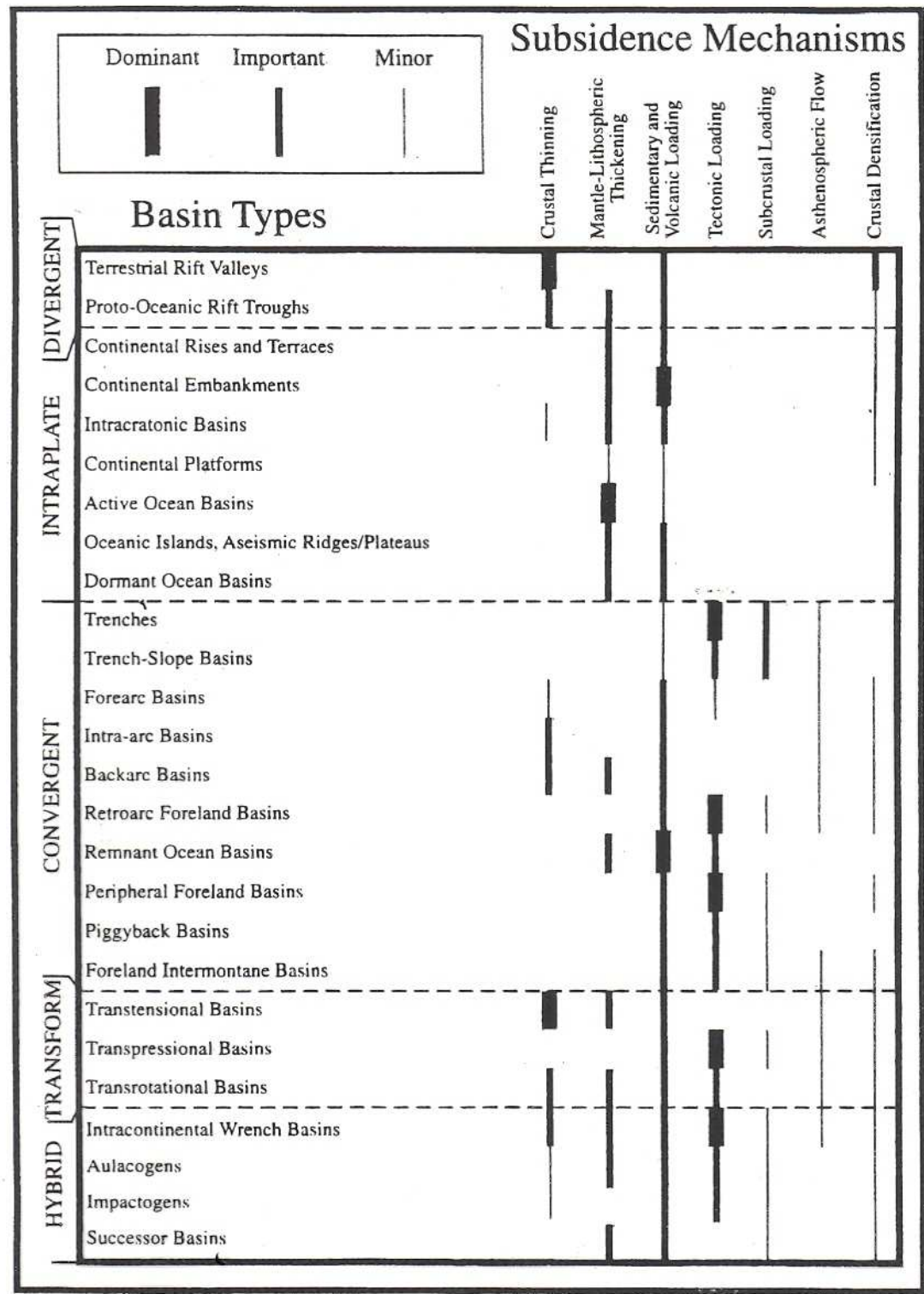


Fig. 1.2a-c. Tectonic basin classification (Fig. 1.1 continued). Subduction and collision-related basins (remnant basin). See text for explanation.



**Figure 1.2** Typical life spans for sedimentary basins versus their post-sedimentation preservation potential. "Preservation potential" refers to average amount of time during which basins will not be uplifted and eroded, or be tectonically destroyed during and following sedimentation. Sedimentary or volcanic fill may be preserved as accretionary complexes during and after basin destruction (true of all strata deposited on oceanic crust). Basins with asterisks (intraplate continental margins) are "preserved" in the sense of retaining their basement, but they are likely to be subcreted beneath or within suture belts, and are difficult to recognize in the ancient record in such settings.



**Figure 1.1** Suggested subsidence mechanisms for all types of sedimentary basins. See text for discussion.

## KONTINENTÁLNÍ RIFTING

### Geometrická klasifikace riftů

- solitérní rifty
- riftové hvězdy (trojné body)
- riftové řetězce
- shluky riftů

### Kinematická klasifikace riftů

- vnitrodeskové rifty (vzácné, solitérní)
- rifty na divergentním rozhraní (hojné, mohou nebo nemusí být předcházeny fází vyklenutí - aktivní vs. pasivní), východoafrický rift
- rifty na konzervativním rozhraní (transtezní pánve, pull-apart pánve), např. suezský záliv.
- rifty na konvergentním rozhraní (impaktogény - rýnský prolom), v důsledku extenzních sil vyvolaných kolizí
- rifty na trojných bodech (riftы vznikající v důsledku rozkladu napětí na trojných bodech spojených se subdukcí)

### Dynamická klasifikace riftů

podle sil, které vyvolávají rifting

**aktivní rifting** - vzestup plášťové hmoty (horké skvrny v plášti), následná extenze je vyvolána termálním vyklenutím a ztenčením litosféry

**problém:** bez následné extenze není aktivní rifting schopen déletrvající činnosti  
extenze může být vyvolána: střížným napětím v plášťovém chocholu  
nebo okolními geometrickými podmínkami, nejčastěji série aktivních riftů v linii a vhodná deskově-tektonická konfigurace v okolí - východoafrický rift - separace kontinentů

**pasivní rifting** - plášť v podloží riftu hraje pasivní roli, rifting je vyvolán dvourozměrným pohybem litosféry, bez termálního vyklenutí

### Model subsidence

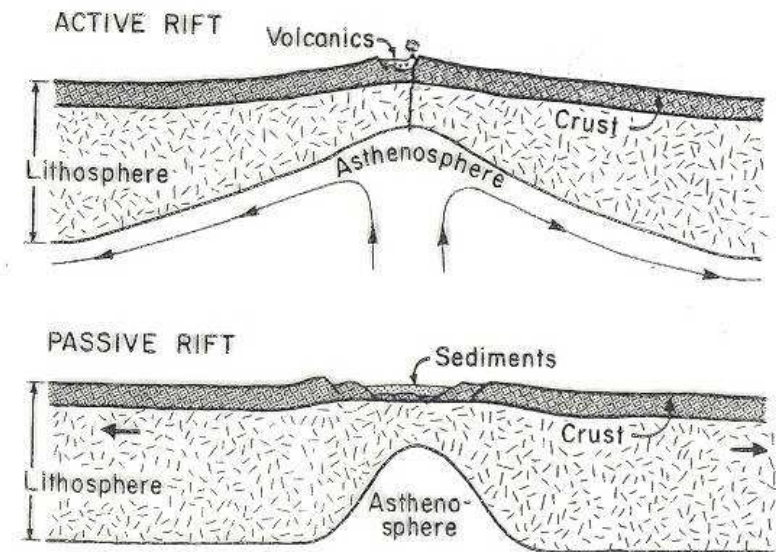
- krátká fáze horizontálního natahování - extenze + izostatické vyrovnání
- prohřátí + laterální výměna tepla - uplift na rameni riftu
- termální subsidence centra riftu - zvýšení mocnosti plášťové litosféry
- flexurální průhyb v důsledku zatížení sedimentem

### Model sedimentární výplně

- **pure shear** - lokalizace spreadingového centra leží v místě dřívějšího riftingu (rýnský prolom), graben
  - **simple shear** (atlantický typ) - klouzání po intrakrustální zóně odlepení (detachment), half graben
- vulkanická činnost - závislá na termálních podmínkách astenosféry

### sedimentace na half grabenu

klastická sedimentace, fault-bounded, asymetrické výplně, aluviální kužely, fluviální systémy, fan delty, marinní systémy - turbidity, podmořské věžičky



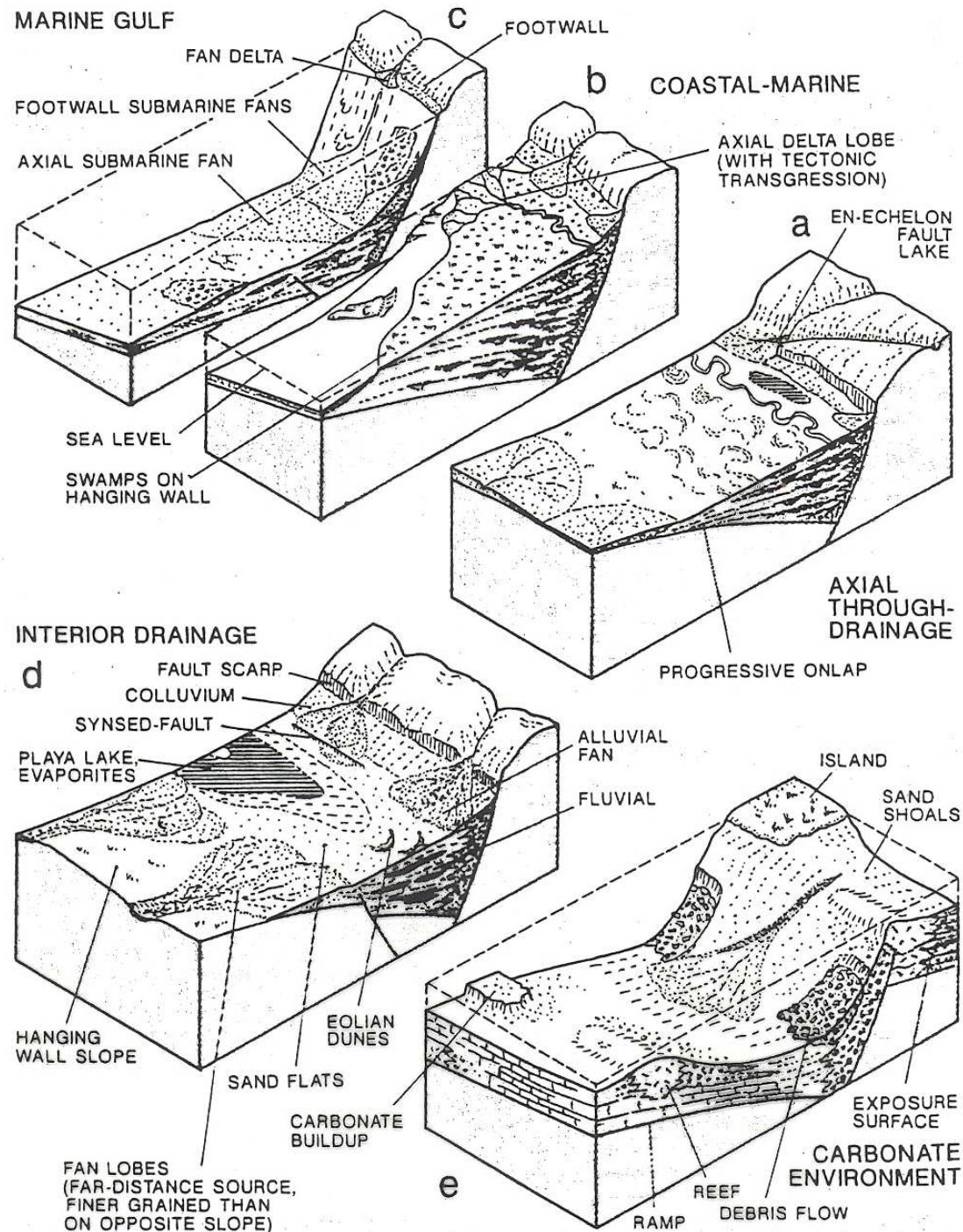
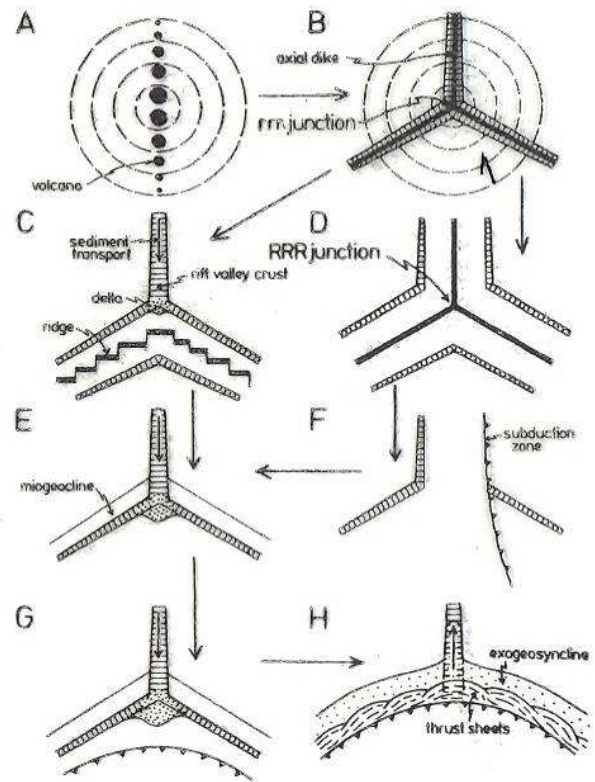
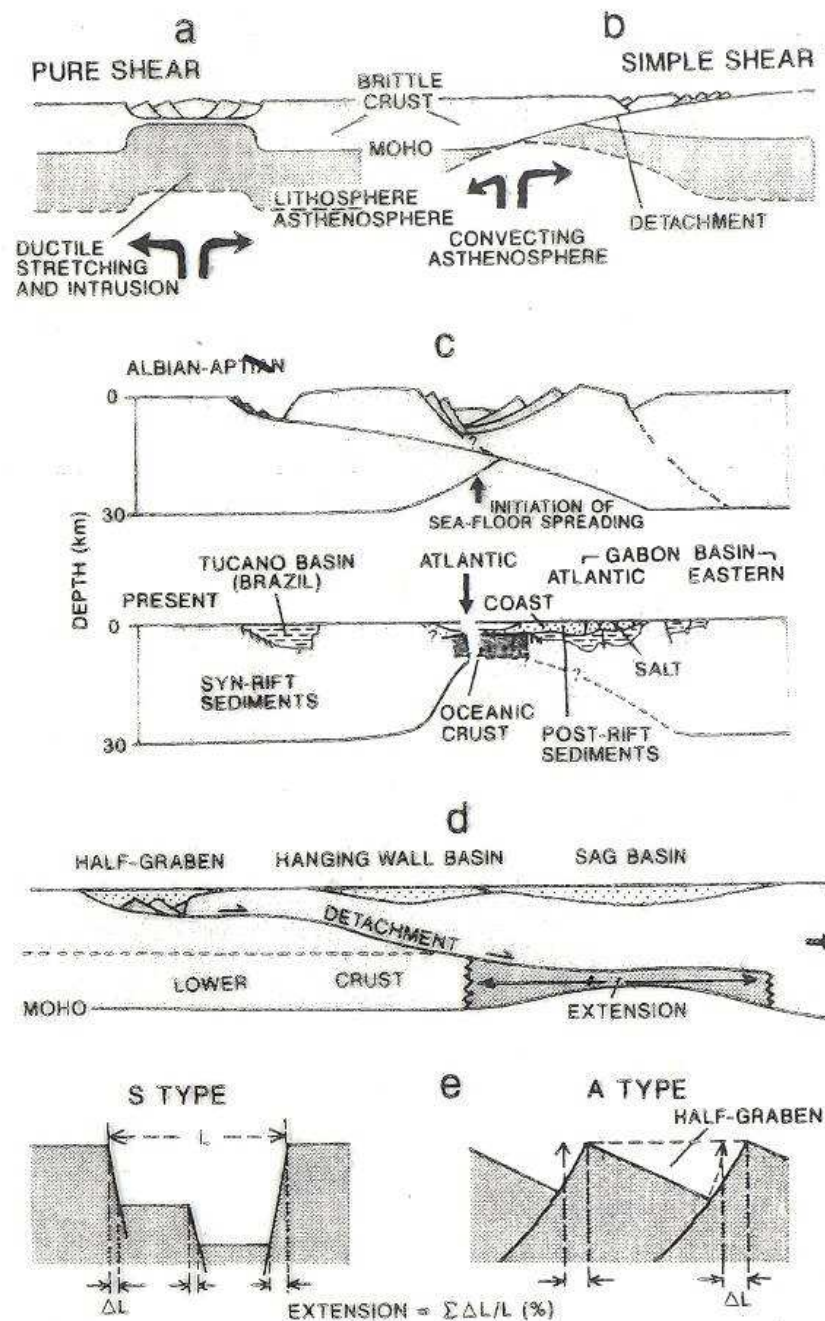


Fig. 12.5a-e. Simplified facies models of half-graben fill under continental (a and d) and coastal/marine conditions (b, c, and e). Note that the tectonic structure of the basins may be more complicated and that more syndimentary faults occur. Lakes and the axial river tend to shift toward

the boundary fault. e Half-graben morphology in shallow-marine carbonate environment may be modified by reef buildups and abundant reef detritus on both sides. Full discussion in text. (After Leeder and Gawthorpe 1987)



**Figure 2.12** Schematic origin and evolution of mantle-plume-generated triple junctions, leading to doming-rifting-drifting sequence creating oceans and aulacogens (from Burke and Dewey, 1973, Fig. 2, reproduced with permission). **A.** Uplift develops over plume with central alkalic volcanoes; **B.** Three rift valleys develop at an RR (rift-rift-rift) junction (e.g., Nakuru; see Fig. 2.6A); **C.** Two rift arms develop into a single plate margin (ridge) and continental separation ensues, leaving third rift arm as an aulacogen, down which a major river may flow and at the mouth of which a major delta may develop (e.g., Limpopo; see Fig. 2.2); **D.** Three rift arms develop into spreading centers meeting at an RRR (ridge-ridge-ridge) junction (e.g., Red Sea-Gulf of Aden-Wonji fault belt in Ethiopian rift system; Mohr, 1971; also see Burke and Dewey, 1973, Fig. 3A); **E.** Atlantic-type continental margin evolves with growth of delta at mouth of aulacogen and continental shelves (e.g., Mississippi; see Fig. 2.2); **F.** One arm of RRR system begins to close by subduction. If ocean is sufficiently wide (>1000 km), a magmatic arc will develop along its margin and any sediments in closing arm will be deformed (e.g., Lower Benue Trough); **G.** Atlantic-type continental margin with continental shelves and aulacogens approaches a subduction zone (e.g., present Sirte rift approaching the Hellenic subduction zone); **H.** Continental margin collides with subduction zone, collisional orogeny ensues, sediment transport in the aulacogen reverses polarity, and aulacogen may become tectonically rejuvenated (e.g., Athapuscow; Fig. 2.2)



**Fig. 12.1a-c.** Pure shear (a) and simple shear (b) as alternative models for crustal extension and formation of rift basins (from Tankard and Welsink 1988). **c** Schematic section across lower Cretaceous basins of the south Atlantic continental margins and adjacent Tucano basin (Brazil) and eastern Gabon basin (Africa). All basins are assumed to result from one major extensional detachment zone. Note

the lateral separation of the rift boundary fault from continental breakup. (Kuszniir et al. 1987). **d** Different styles of sedimentary basins developed from extension at various crustal levels. (Blundell et al. 1989). **e** S-type (lateral extension) and A-type shear causing large extension (modified from Artyushkov and Baer 1989)



## PASIVNÍ OKRAJ

**synriftová fáze** - izostatická subsidence, half-grabeny, sedimentární klíny, vhodné klima - evapority (mexický záliv, východoafrický rift)

### diskordance

**raná postriftová fáze** - termální subsidence, klastická sedimentace na ramenech dřívějšího riftu

**pozdní postriftová fáze** - termální subsidence plus flexurální subsidence, velké mocnosti sedimentu - klastika, karbonáty

### model subsidence

- pokračování riftingu, opakování riftingu
- termální subsidence
- flexurální průhyb v důsledku zatížení sedimentem
- příklady subsidenčních křivek

### typy kontinentálních okrajů a sedimenty

**upbuilding** - agradace

**outbuilding** - progradace - posun depocentra směrem do oceánu

### postriftové sedimenty

- facie příbřežních plošin
- příbřežní facie (přílivové plošiny, bariérové ostrovy)
- šelfové facie (tidální šelfy, bouřkové šelfy, zaříznutá údolí, kondenzační horizonty, říční delty)
- karbonátové systémy (lemové a izolované platformy)
- svahové facie (skluzy, úlomkotoky, svahový osyp, podmořské kaňony), karbonátové svahy - osypy, mud mounds
- facie úpatí (turbidity, podmořské vějíře - největší systémy Amazon, Mississippi, Rhóna, konturity), karbonátové systémy - osypy, malé vějíře, pelagické karbonáty

kontinentální terasy - Blake Plateau

jílové diapiry (mud diapirs)

solná tektonika

citlivě reagují na změny mořské hladiny

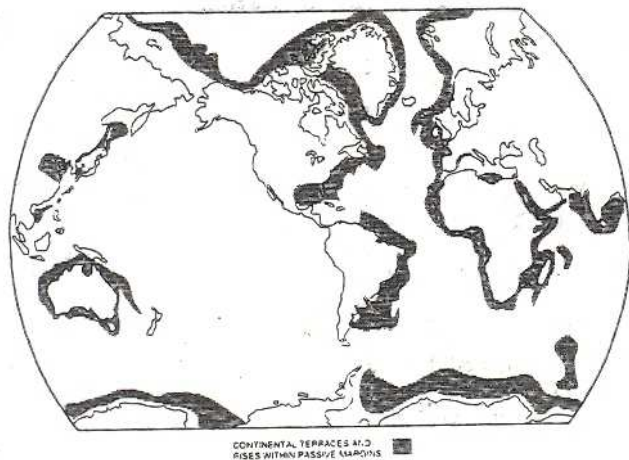


Fig. 4.3 Distribution of continental terraces and rises, showing mainly those that face orthogonally opening ocean basins and that formed during breakup of Pangea (from Bally, 1979; Jolivet et al., 1989; Channell et al., 1991). Large segments of Cenozoic-Mesozoic (CZ-MZ) active margins also contain continental terraces and rises, especially in the western Pacific and in the Mediterranean. A system of continental terraces and rises also occurs in the obliquely opening Gulf of California.

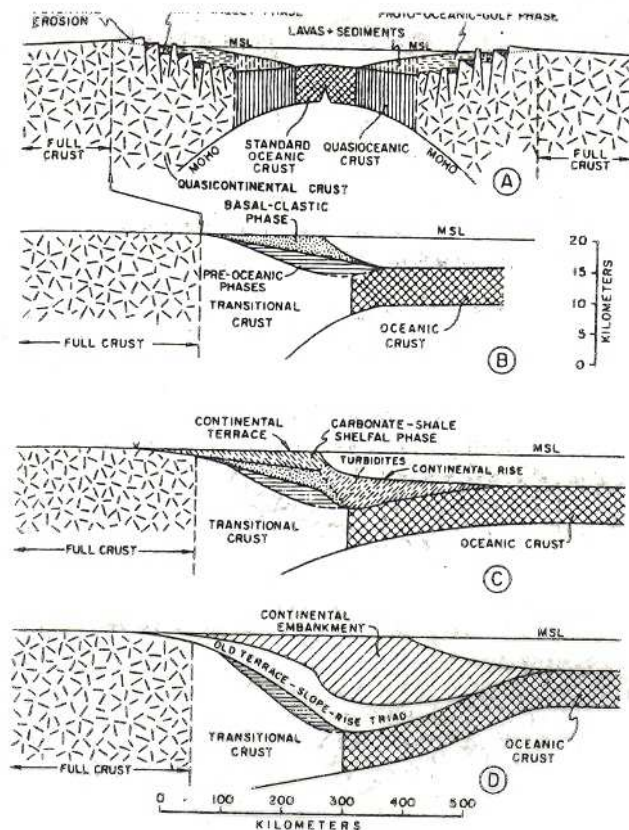
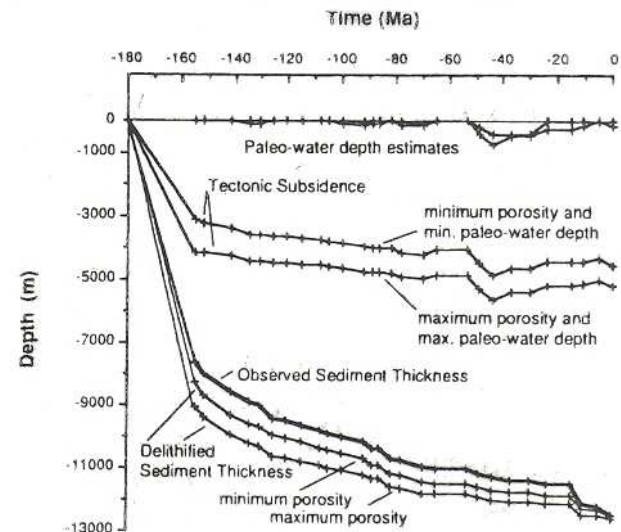


Fig. 4.2 Diagram showing evolution of a passive continental margin facing an orthogonally opening ocean basin (from Ingersoll, 1988b, modified from Dickinson, 1976a vertical exaggeration 10x). (Rift-valley stage not shown; see Chapters 1 and 3.) A) Proto-oceanic stage with syn-rift sediments overlying modified continental crust. During this stage, thermally controlled subsidence is beginning and new ocean floor has begun to form. B) Early post-rift stage when deposition of basal clastic wedge occurs as elevated rift shoulders are eroded. C) Formation of mature continental terrace and rise as thermally controlled subsidence continues and increased rigidity causes flexural bending of the unrifted continental crust and young oceanic crust. D) Continental embankment stage, reached only where major deltaic progradation occurs (see Chapter 1).



The equation for obtaining tectonic subsidence from a sedimentary basin:

$$T.S. = S^* \left( \frac{\rho_a - \rho_s^*}{\rho_a - \rho_w} \right) - \Delta SL \left( \frac{\rho_a}{\rho_a - \rho_w} \right) + WD$$

where:

- $S^*$  = the decompacted sediment thickness
- $\rho$  = density
- $a$  = asthenosphere
- $w$  = water
- $\Delta SL$  = change in sea-level
- $WD$  = paleo-water depth of the sediments
- $T.S.$  = tectonic subsidence, or the subsidence of the basin floor beneath water, without any sediment load. No sea-level correction has been made.

Fig. 4.12 Main components of subsidence in a continental terrace, revealed by backstripping the COST B2 well in the Baltimore Canyon trough off the coast of New Jersey. Observed sediment thickness is cumulative stratigraphic thickness measured in the well (data from Steckler and Watts, 1978a). One subsidence component is sediment compaction, which is the difference between observed and delithified curves. Delithified thickness curves are produced after removing effects of compaction. Values are from maximum and minimum estimates of porosity as a function of depth and lithology (Bond and Kominz, 1984). Another subsidence component is sediment loading, which is depression of the crust by weight of sediment. Magnitude of this component is given by difference between delithified curves and tectonic subsidence curves (without paleo-water-depth corrections). Third component is the tectonic or driving force, which is approximated by tectonic-sub-sidence curve. For passive margins, this component is produced by cooling and increase in density of lithosphere that begins at onset of sea-floor spreading. Other factors, paleo-water depths and eustatic sea level, must also be estimated to accurately isolate tectonic subsidence (see equation below).



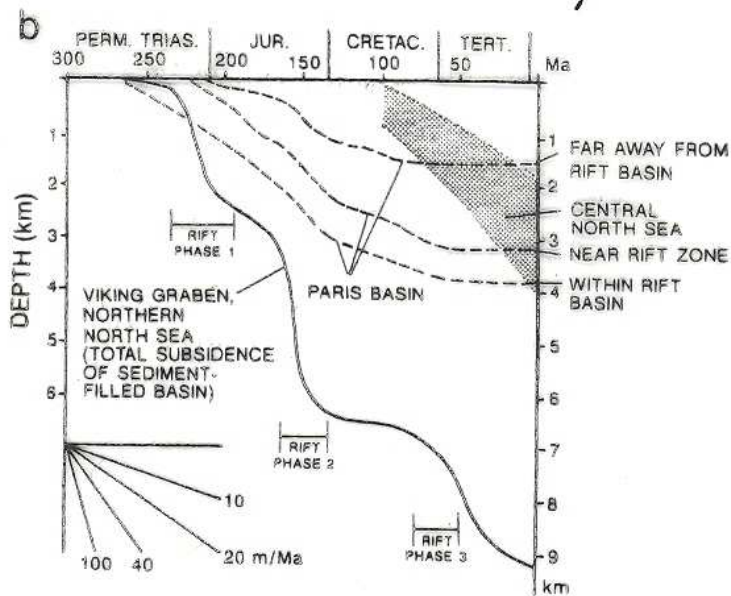
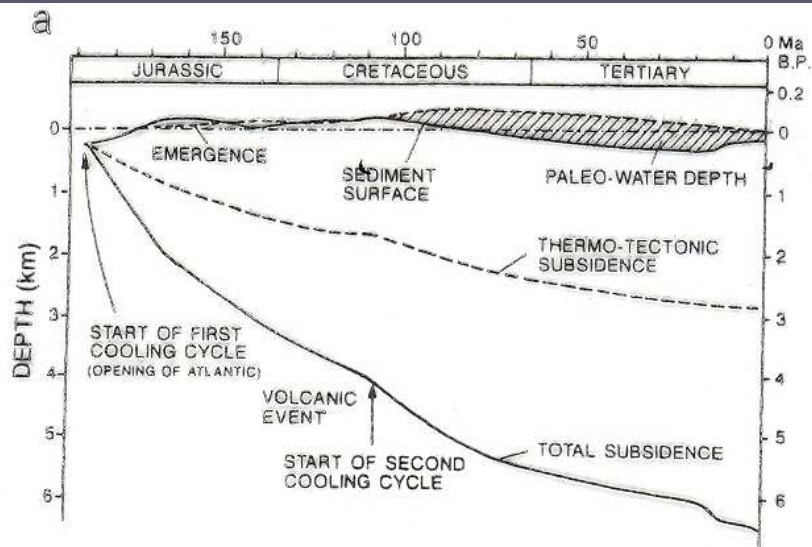
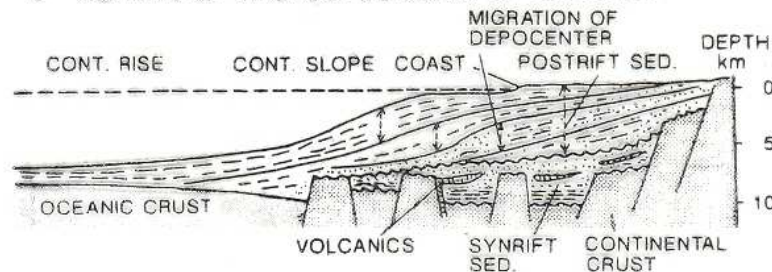


Fig. 8.13. a Total and thermo-tectonic Jurassic to Neogene subsidence at well C.O.S.T. B-2 on U.S. Atlantic continental margin, as affected by long-term sea level changes, variations in bathymetry (including periods of emergence), and volcanism (initiation of second cooling cycle). (After

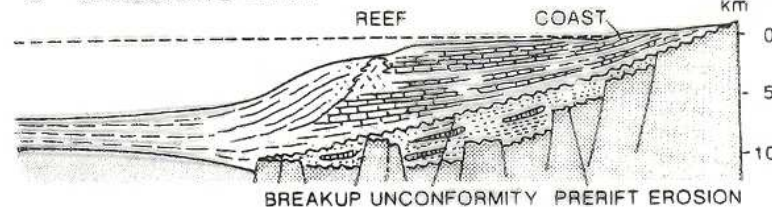
Greenlee et al. 1985). b Total subsidence determined from wells in central and marginal parts of Paris basin (Cochran 1983b) and general trend of subsidence in North Sea basin (curve NN from Beach et al. 1987; trend CN from Slater and Christie 1980). See text for explanation

ing. Other factors, paleo-water depths and eustatic sea level, must also be estimated to accurately isolate tectonic subsidence (see equation below).

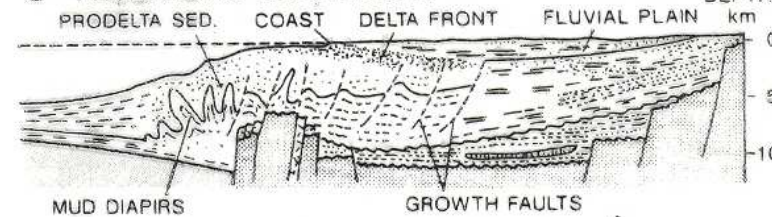
### a NORMAL UP AND OUTBUILDING OF CLASTICS



### b CARBONATE BANK



### c PROGRADING MAJOR DELTA



### d SALT TECTONICS

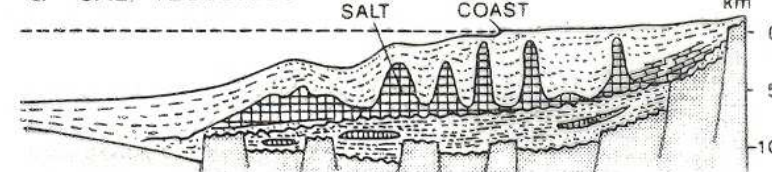


Fig. 12.11a-d. Generalized architecture and sediment successions of Atlantic-type passive continental margins (end-members).

Syn-rift sediments are predominantly continental, postrift sediments marine. (After Kingston et al. 1983). See text for explanation

## HLUBOKOMOŘSKÉ PŘÍKOPY A PÁNVE NA JEJICH SVAZÍCH

### modely subsidence

flexurální subsidence  
termální subsidence

subsidence je často nulová v důsledku balance mezi zatížením a subdukcí

### zdroj sedimentu:

- z magmatického oblouku
- osní transport
- přínos pelagického materiálu z oceánské desky
- usazování pelagických a hemipelagických sedimentů

### přísun sedimentu

v důsledku depozičních systémů , proximální vs. distální, laterální změny  
v důsledku zachycování sedimentu v předobloukové pánvi nebo v pánvích na svazích trenče

### rychlost sedimentace vs. rychlost konvergence

**akrece a dékolement** - zóna odlepení

- **přesycené trenče** - široké, dekolament v zóně sedimentů, akreční klín je budován výhradně trenčovými sedimenty
- **podsyčené (hladovějící) trenče** - úzké, dekolament často ve svrchní zóně oceánské litosféry, seškrabování bazaltů
- **tektonická eroze** - seškrabování a subdukce sedimentu z akrečního klínu

### sedimenty:

- **mélange** - idealizovaná stratigrafie - oceánský bazalt, pelagické sedimenty, hemipelagické sedimenty, turbidity (výplň trenče)
- **turbiditní systémy** - svahové osypy, axiální kanály, špatně vyvinuté, malé podmořské vějíře, relativně malé podmořské kaňony, „ponding“ (utopení)

## ZAUBLUKOVÉ PÁNVE

**kontinentální okraje** - extenze vázaná na subdukční systémy (Altiplano v Bolívii)

**ostrovní oblouky** - extenze se spreadingovým centrem (Andamanské moře, tyrhénské moře)

### extenze vyvolaná:

- výstup astenosféry
- injekce plášťovým chocholem
- ústup desky v týlu subdukční zóny
- tok astenosféry - zpětné odtlačování

### modely subsidence

synrift - postrift fáze

- izostatický pokles
- zatížení sedimentem
- termální subsidence

### opakované fáze zaobloukové extenze

aktivní a neaktivní oblouky

### sedimentace

oceánská sedimentace

pelagity

vulkanoklastika

## ZBYTKOVÉ A PŘEDPOLNÍ PÁNVE

### modely subsidence

#### zbytková pánev

- počáteční hloubka oceánského dna je funkcí stáří oceánské litosféry
- termální subsidence
- zatížení sedimentem
- subsidenční křivky jsou v podstatě nesetrajitelné, subdukce, pohlcení, tektonika

flyš,

časová polarita sedimentace - zmlazování směrem k předpolí

#### sedimentace

flyšové systémy

- švýcarské flyšové pánev
- pohoří Marathon - Quachita
- kulum ?

svahové osypy, turbiditní vějíře, malé nebo velké, osní distribuce sedimentu

typická sukcese sedimentace

oceánské sedimenty a vulkanity - černé břidlice - pelagity - distální flyš - proximální flyš - molasa

#### předpolní pánev plus nesené „piggy-back“ pánev

- reologický stav prohýbané litosféry - elastický model, viskózně-elastický model
- naložení předpolních pánví na bývalé pasivní okraje - progresivní zatěžování stále rigidnější litosféry
- subsidenční křivky -
- předmolasová fáze - křivka se podobá křivkám typických pasivních okrajů,
- molasová fáze - zrychlení subsidence (až 300 m/Ma celkové subsidence)
- desková kolize - ukončení konvergence a rychlé zpomalení subsidence

#### sedimentace

**raná fáze:** - podsouvání distálního pasivního okraje  
hlubokovodní sedimentace (podsycení)  
turbidity, flyš

**pozdí fáze** - podsouvání proximálního pasivního okraje  
mělkomořská a terestrická sedimentace (přesycení), klastika, méně často karbonáty - na podsouvané desce  
nahoru změlčující sekvence,  
forebulge - eroze

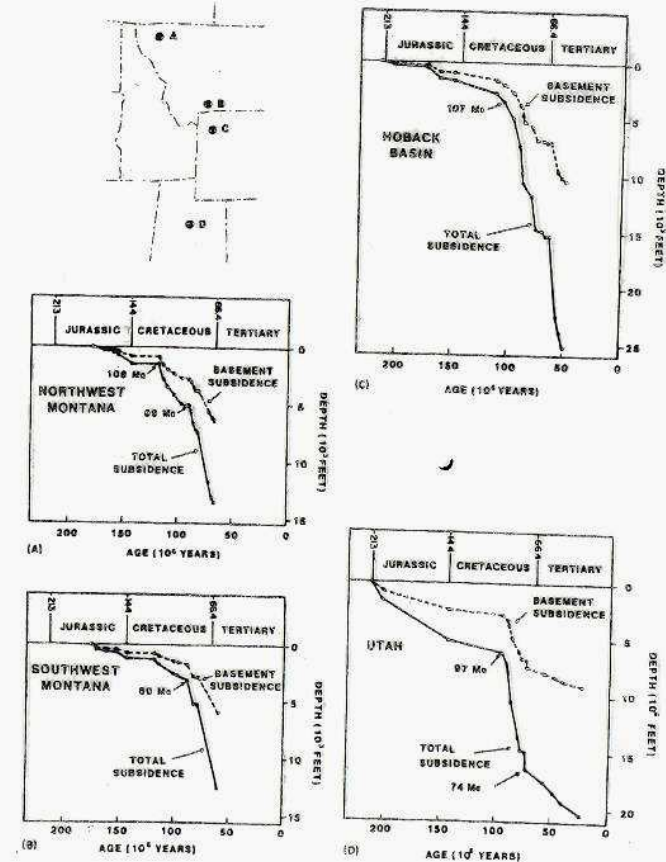


Fig. 7.26. Geohistory plots for four locations in the Mesozoic Sevier foreland basin of the western United States (Cross, 1986).

# Strike-slip (transtenzní a transpresní pánve)

