

# Petrologie sedimentárních hornin

## Literatura:

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

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

Tato prezentace, letní semestr 2008/2009

# Úvod

## Sedimenty:

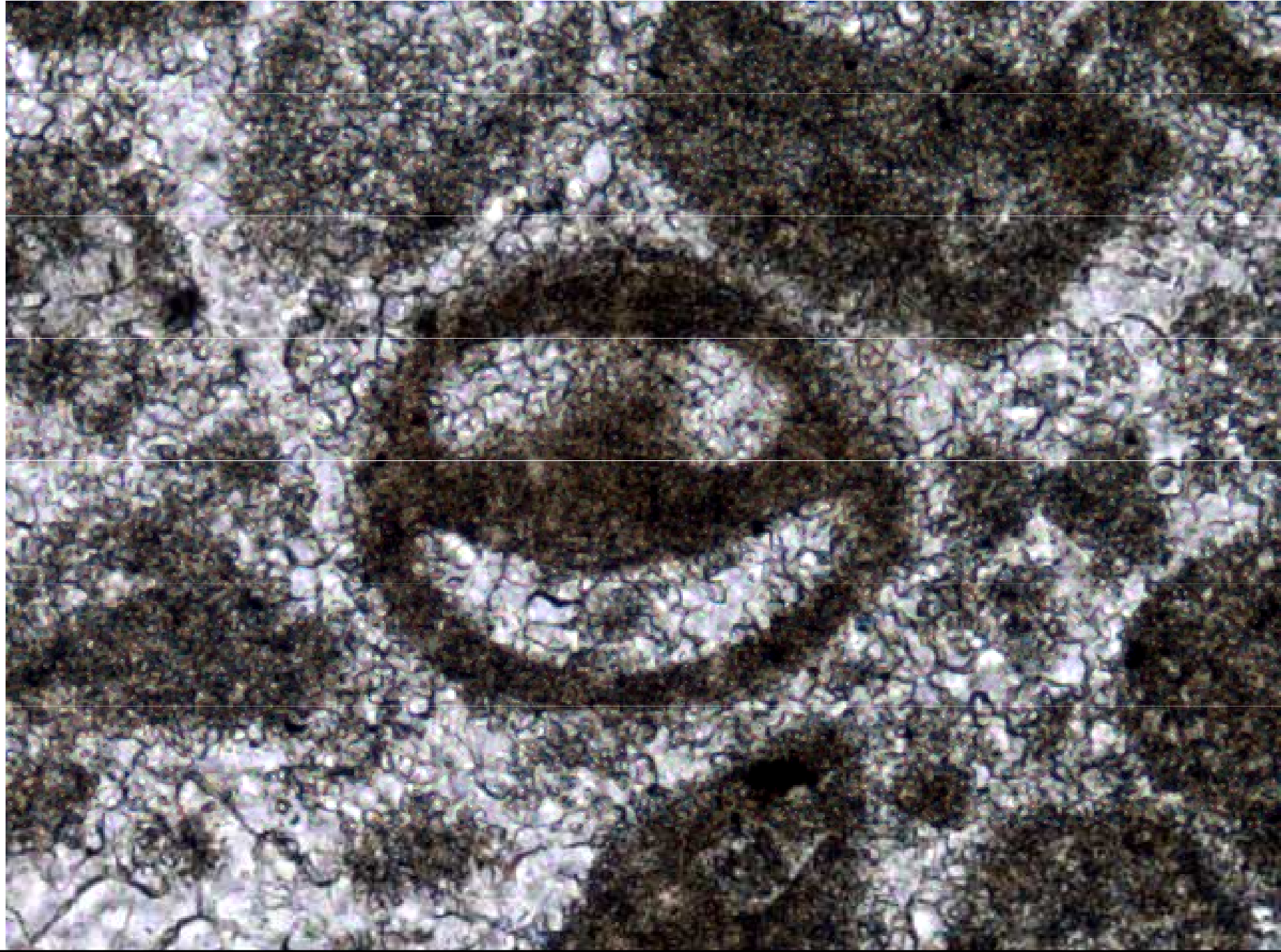
- 72% povrchu souše (bez kvartéru)
- 99% povrchu dna moří a oceánů
- Mohou být užitečné:
  - nejdůležitější nerudní suroviny
  - velmi důležitá rudní surovina (menší koncentrace kovů – obrovské objemy)
  - drtivá většina ložiskových pastí na ropu a zemní plyn
  - obsahují záznam událostí na Zemi
  -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



na souši ...









# Úvod

vztah sedimentologie k jiným geologickým disciplínám:

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

# Sedimentologie

Studuje procesy, které erodují, transportují a ukládají sedimenty

# Sedimentární petrologie

Studuje charakteristiku a původ sedimentárních hornin

# Stratigrafie

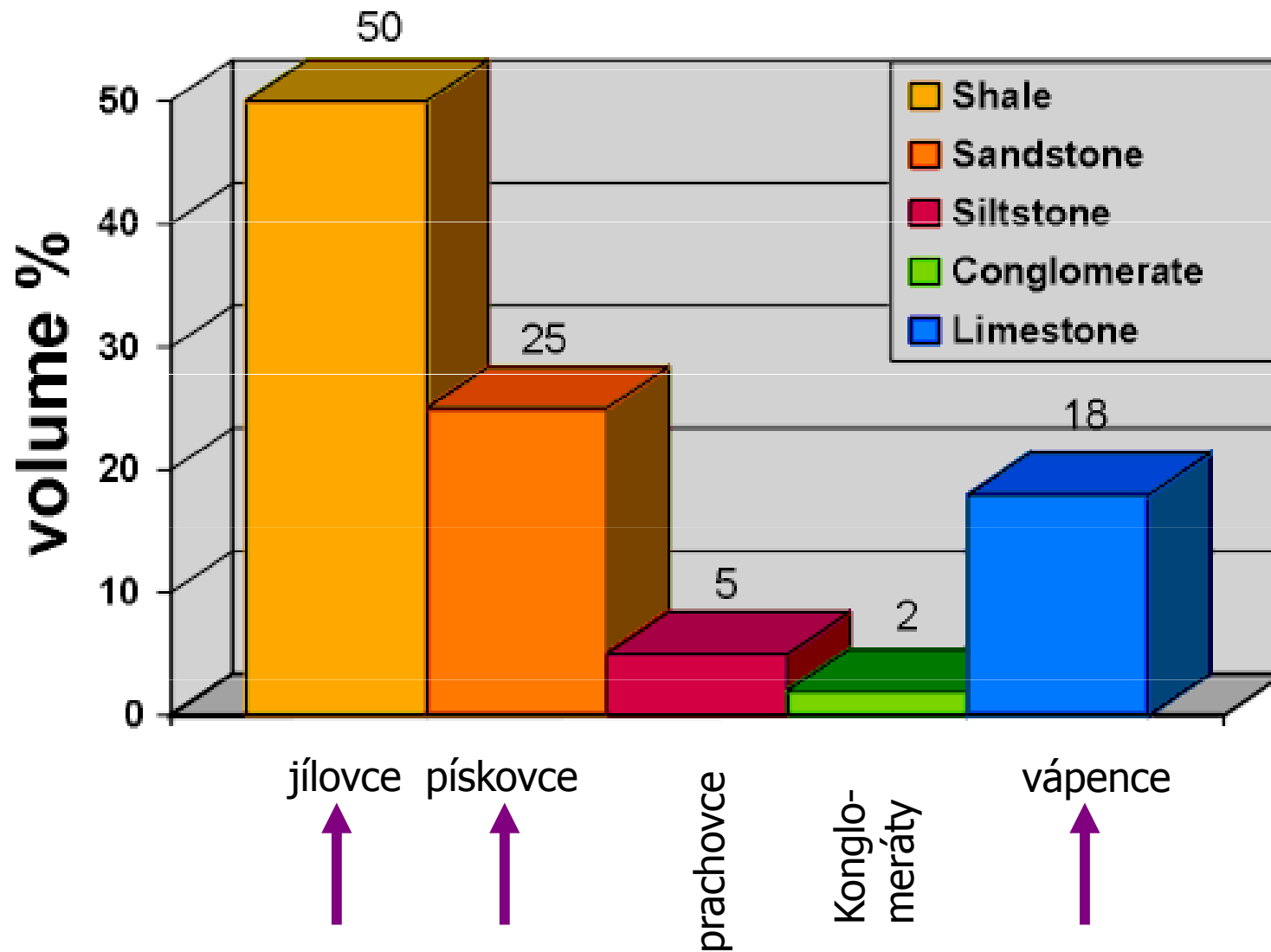
Studuje původ, vztahy a rozsah horninových poloh (vrstev), Studuje vrstvy s cílem stanovit pořadí a časový sled událostí v historii Země

# Časové a prostorové měřítko

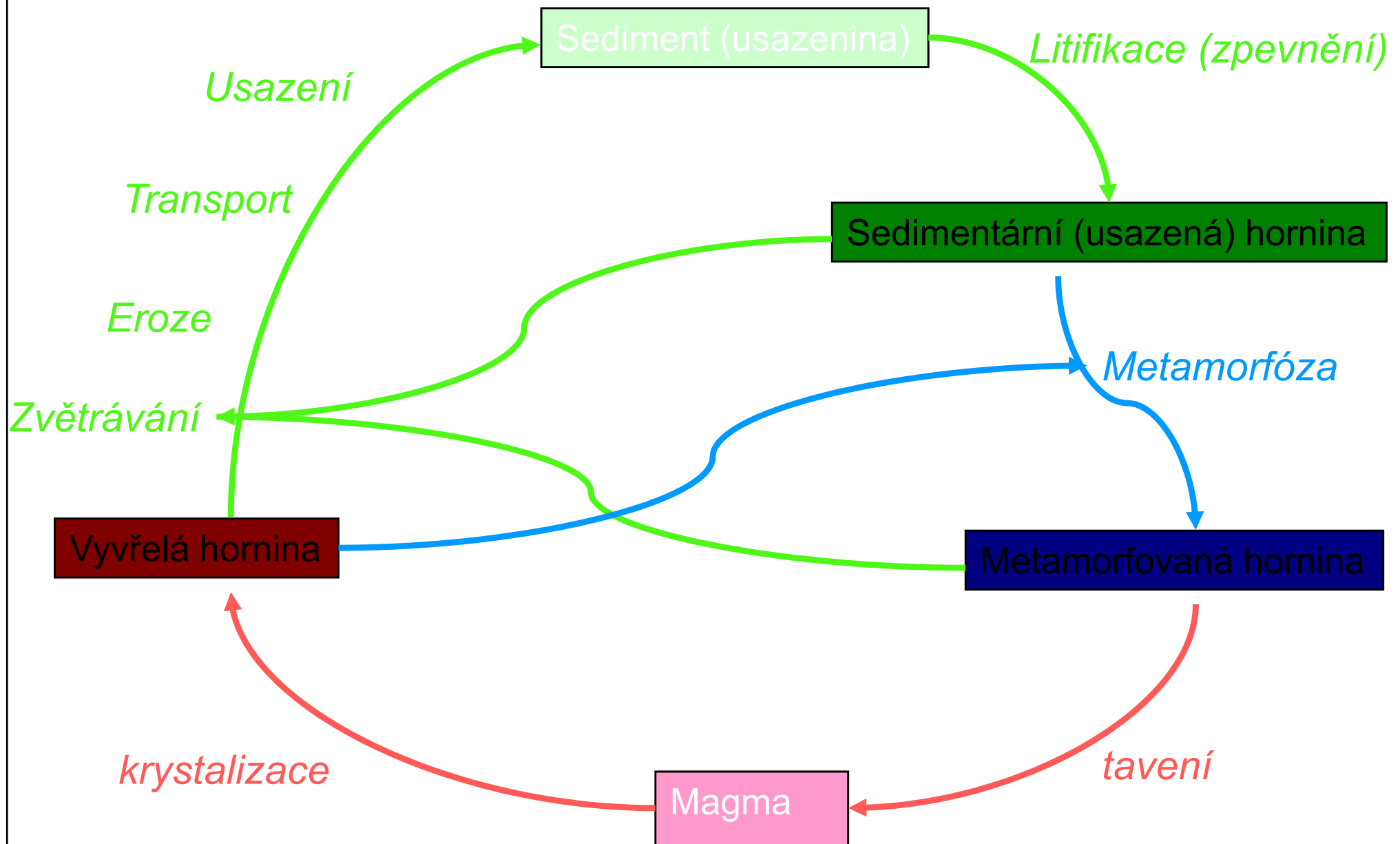
- **Sedimentologie** se soustředí na procesy → menší prostorové a kratší časové měřítko
- **Stratigrafie** se soustředí na interpretaci toho kde a kdy sedimentární horniny vznikaly → větší prostorové a delší časové měřítko
- **Stratigrafický záznam** je téměř vždy neúplný v důsledku omezeného potenciálu zachování, který s prodlužujícím se časovým měřítkem klesá



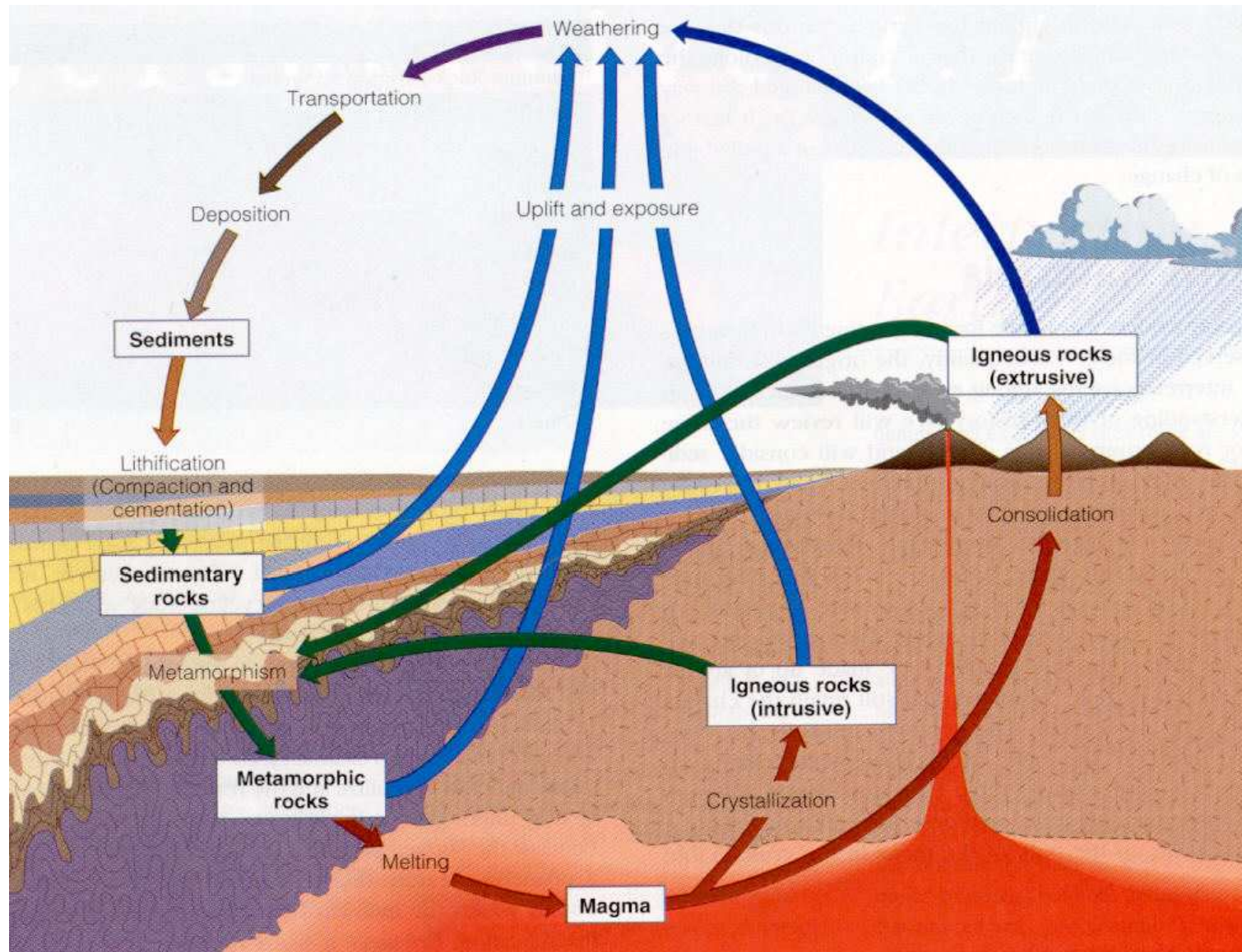
# Rozšíření usazených hornin na Zemi



# Co usazené horniny zaznamenávají?



# horninový cyklus



Horninový cyklus: horotvorná činnost nebo výzdvih; zvětrávání a eroze; **transport, ukládání a diagenese sedimentů**; metamorfóza, tavení a tvorba vyvřelých hornin; opětovný výzdvih... atd.



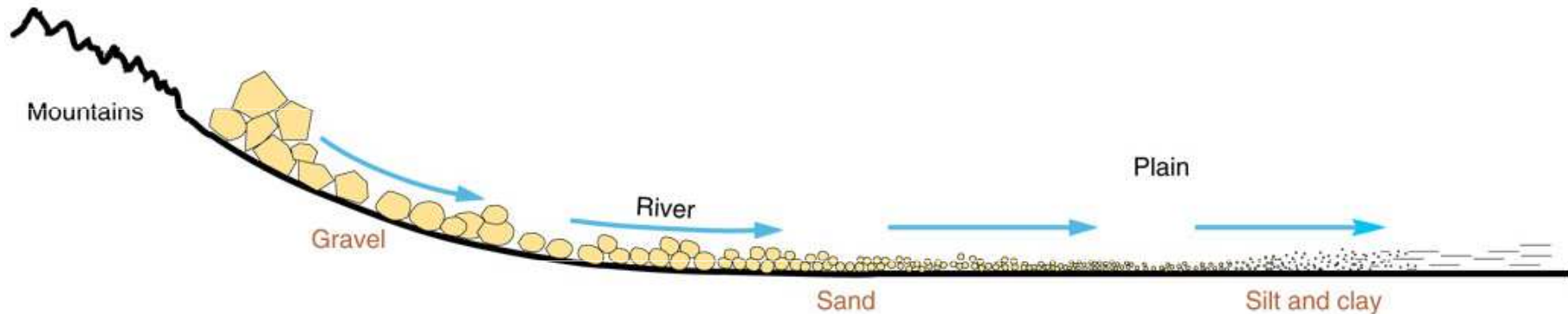
# Co usazené horniny zaznamenávají?

- zdroj (provenienci) sedimentu
- faktory působící při erozi a transportu
- prostředí sedimentace
- Paleogeografii / tektonické prostředí
- diagenezi (co se dělo po ukládání)

# Sediment → sedimentární hornina

- **Transport**

Copyright © McGraw-Hill Companies, Inc. Permission required for reproduction or display.



- **Zaoblení:** – vzrůstá se vzdáleností od zdroje
- **Vytrídění:** - vzrůstá se vzdáleností od zdroje
- **Velikost zrna:** - klesá se vzdáleností od zdroje

# Klíčové okamžiky v dějinách sedimentární geologie

- Zákon superpozice (Nicolas Steno, 1669)
- Rozvoj „klasické“ stratigrafie okolo 1800 (lito-, chrono-)
- **Uniformitarianismus** (“přítomnost je klíčem k minulosti”) (Charles Lyell, 1830), “dnešní procesy jsou základem k interpretaci fosilních produktů” (uniformitarianismus funguje v mnoha případech, ale ne vždy)
- Princip **facií**, A. Gressley, pol. 19. století
- Zákon faciálních sukcesí Jonathana Walthera (Waltherův zákon)
- „hlad“ po ropě, 1/2 20. století – mikropaleontologie, sed. petrologie
- 80. a 90. léta 20. stol., stratigrafické „obrození“ (sekvenční stratigrafie)
- DSDP, ODP projekty – Glomar Challenger, Joides Resolution, od 1968





# Metody výzkumu usazených hornin, zdroje dat

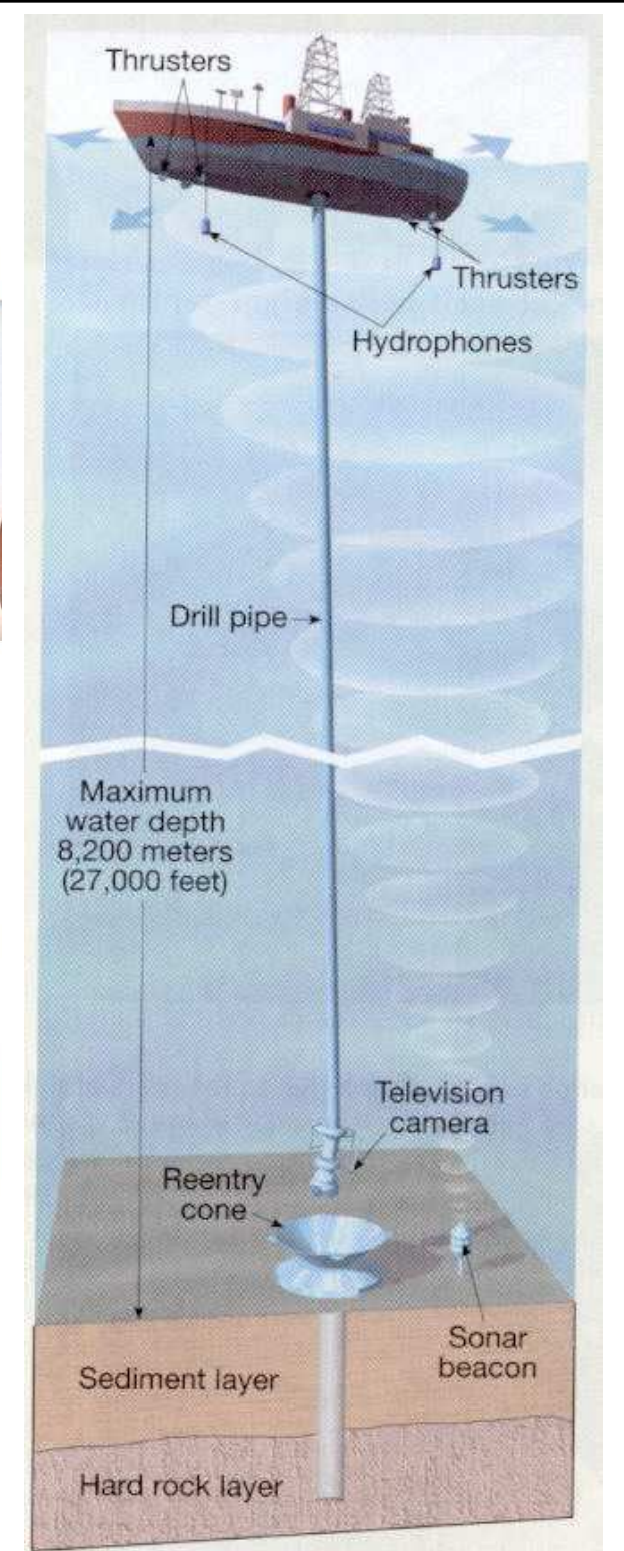
- Výchozy (zpevněné vs. nezpevněné sedimenty)





# Metody výzkumu usazených hornin, zdroje dat

- Vrtná jádra (ruční vs. strojová)



# Metody výzkumu usazených hornin, zdroje dat

- Karotážní data (např. odporová karotáž, gamakarotáž, neutronová karotáž, spontánní potenciál, dipmetr)

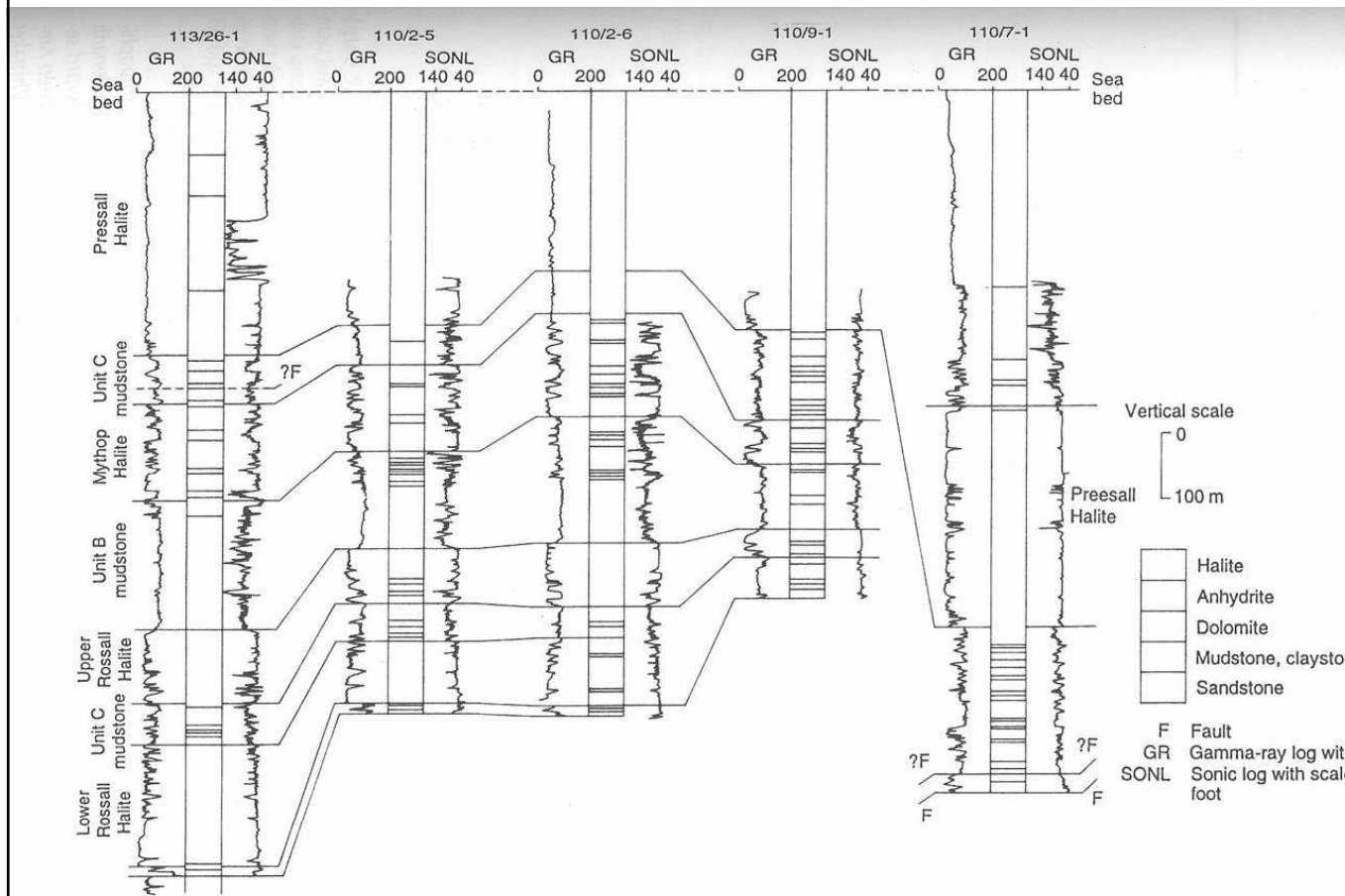
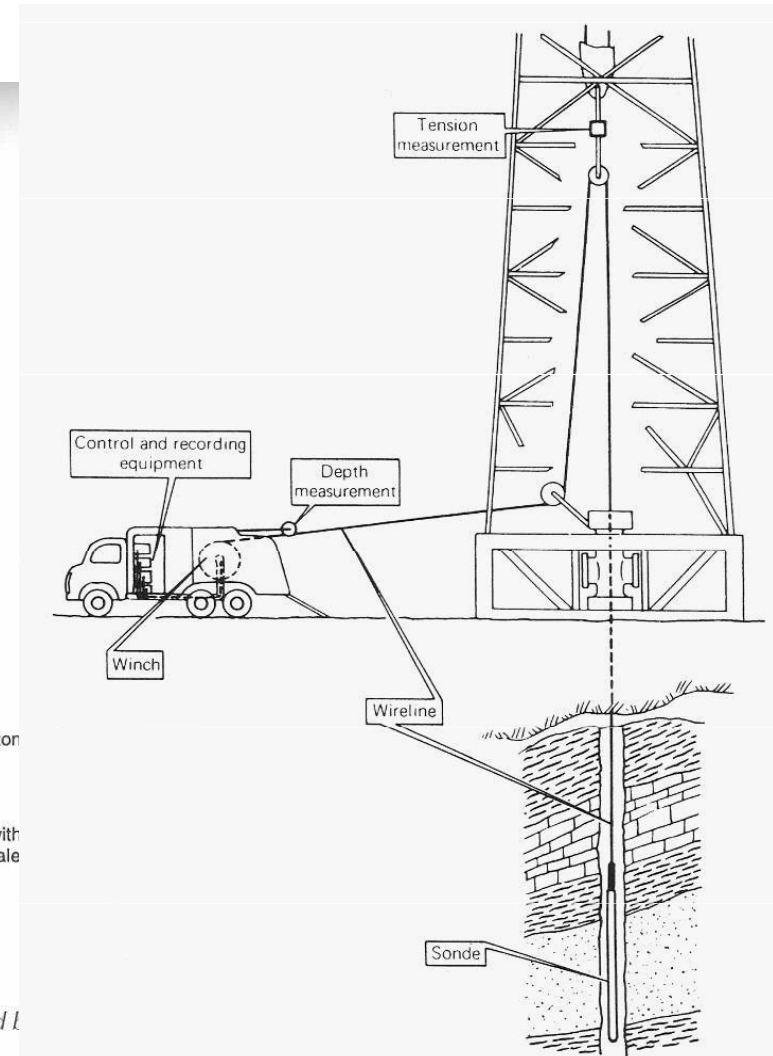


Figure 9.10 Large-scale regional lithostratigraphical and log correlation of the Mercia Mudstone Group (Triassic) in selected East Irish Sea Basin. [Modified from Jackson et al. (1995)]





# Metody výzkumu usazených hornin, zdroje dat

- Geofyzikální profily (např. reflexní seismické profilování, georadar)

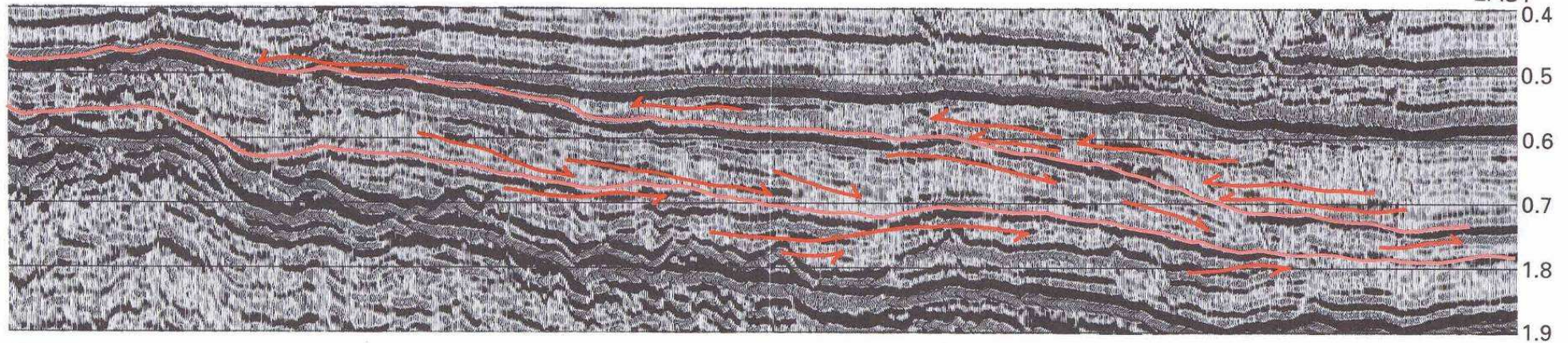








WEST

EAST



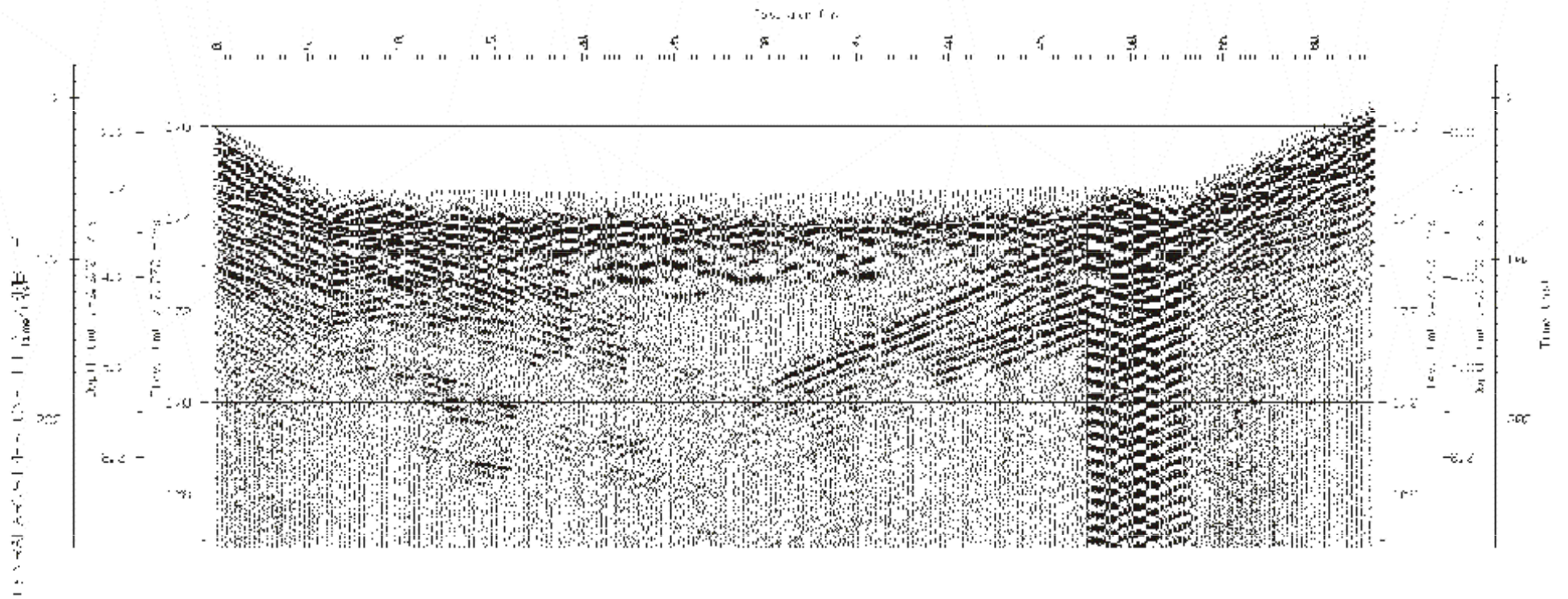
Seconds TWT

Key:

-  Seismic surface
-  Reflection termination

Scale:

1 km



# Laboratorní metody výzkumu usazených hornin

## MIKROSKOPICKÉ TECHNIKY (výbrusy, leštěné nábrusy)

- Optická mikroskopie (polarizační mikroskop)
- Katodoluminiscenční mikroskopie (CL mikroskop)
- Fluorescenční mikroskopie
- Rastrovací elektronová mikroskopie (SEM)
- Digitální analýza obrazu

## MINERÁLNÍ SLOŽENÍ

- RTG difraktometrie
- EDX, WDX analýza

## GRANULOMETRIE

- Laboratorní vibrační síťová analýza (za sucha / za mokra)
- Laserová granulometrie
- Mikroskopické techniky

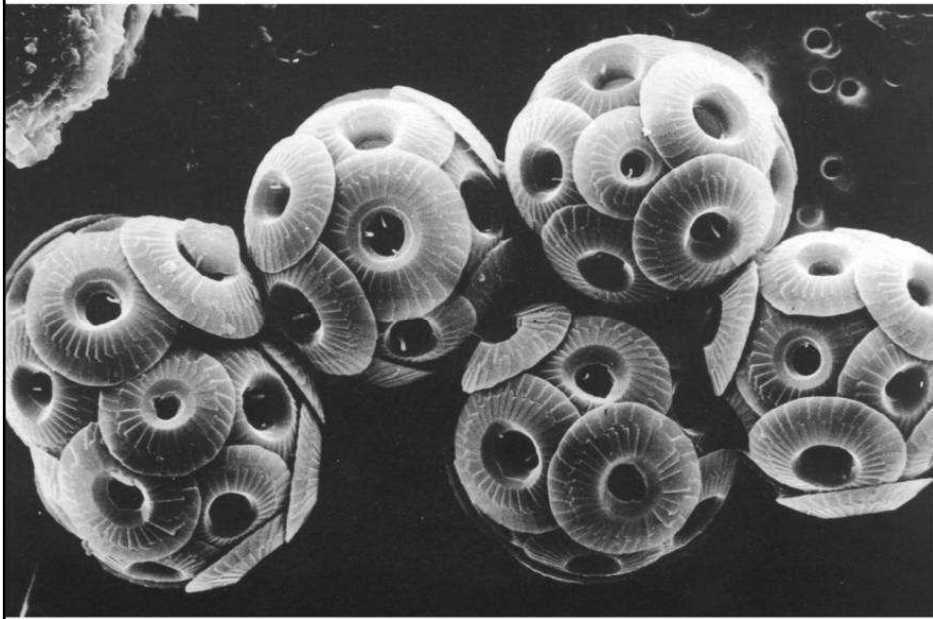
## CHEMICKÉ SLOŽENÍ

- EDX a WDX analýza (elektronová mikrosonda)
- Hmotnostní spektrometrie (MS) (např. s laserovou ablací LA ICP MS)
- RTG fluorescence
- Ramanská spektroskopie
- a mnoho dalších



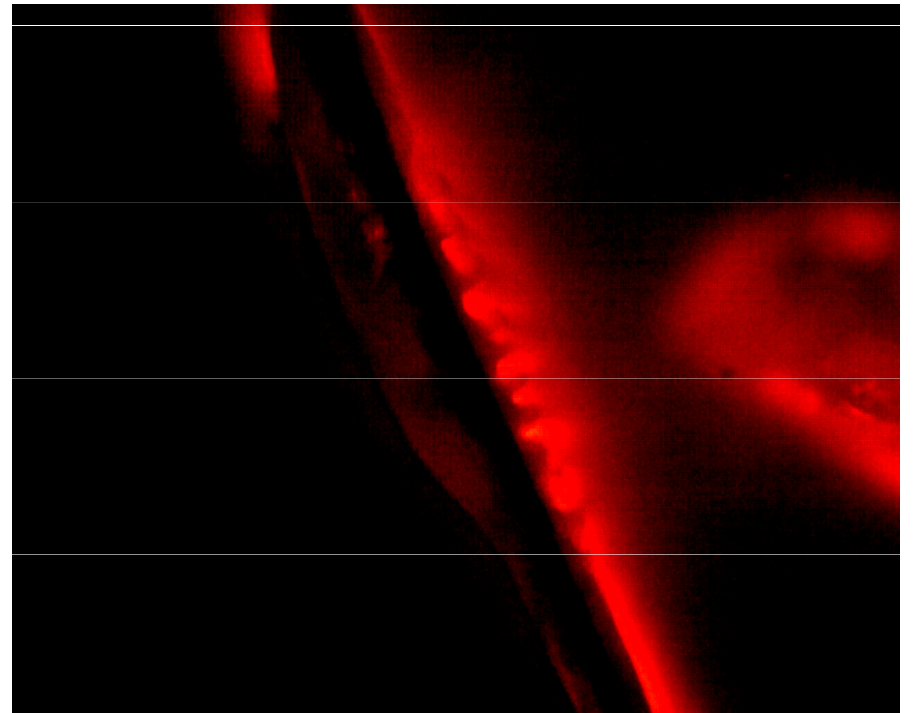
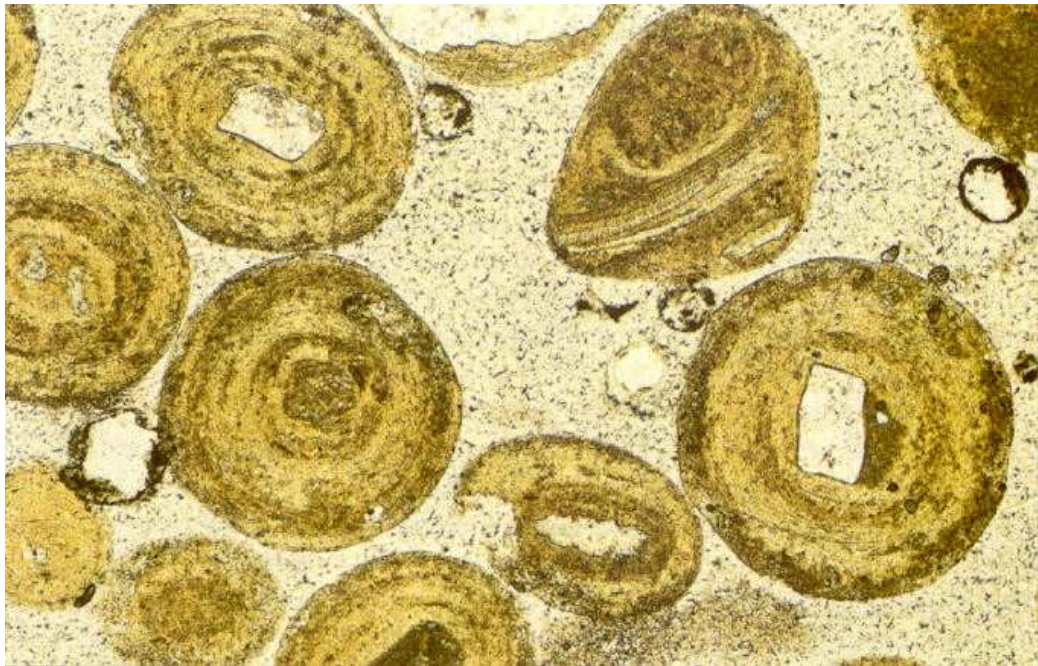
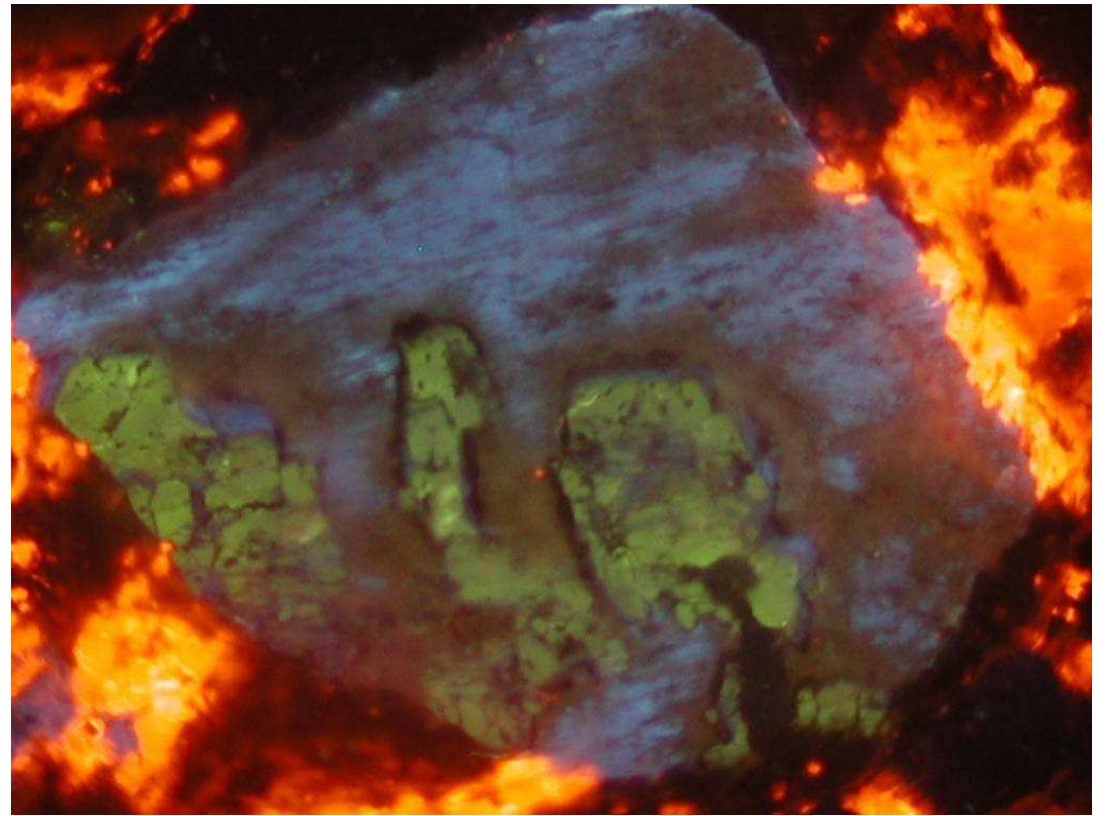






(a)

Copyright © 2005 Pearson Prentice Hall, Inc.

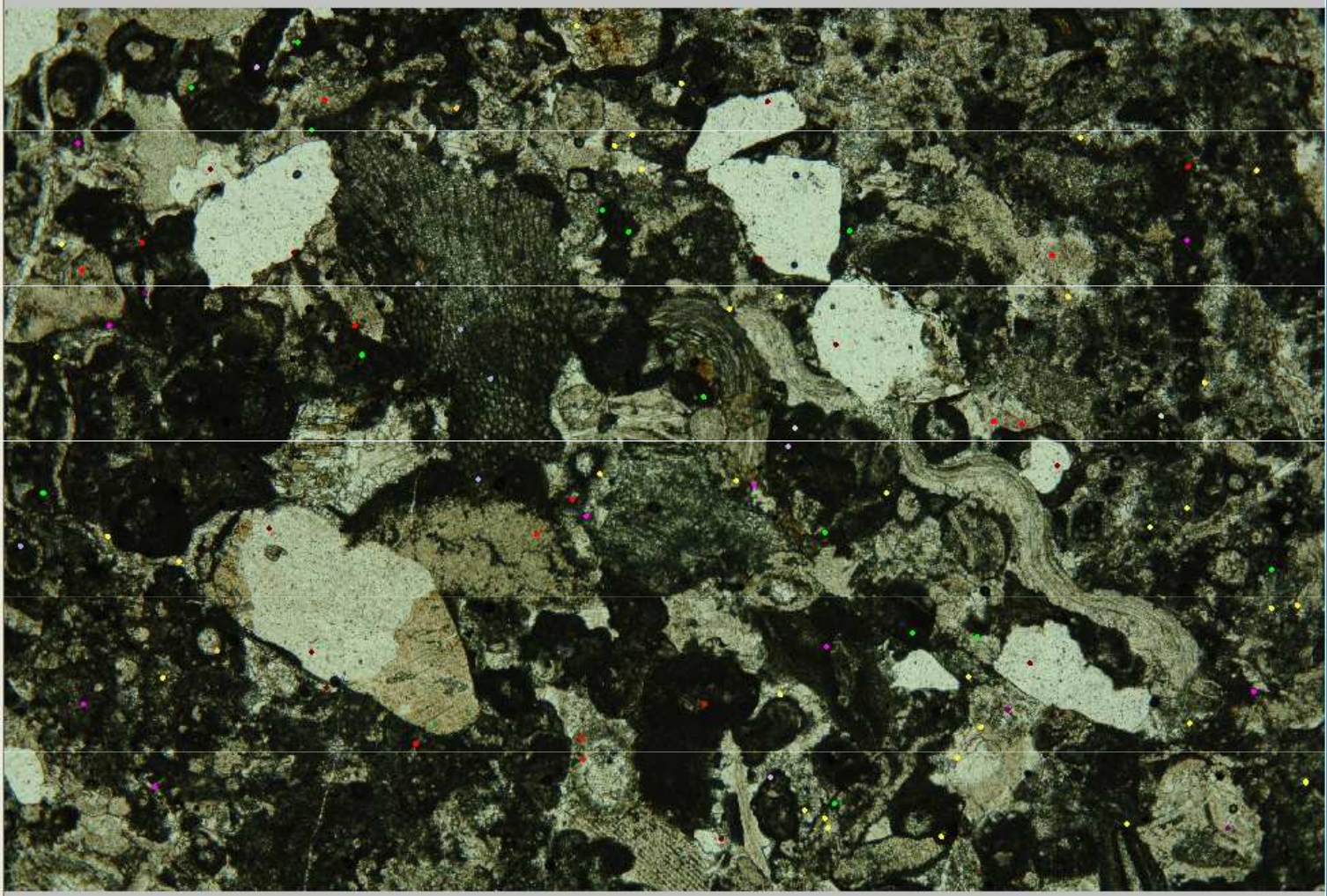




Display Lens MultiView

Zoom: 30,3%

- Main Image
- Thumbnail
- Lens
- Scale (Calibration)
- Drawings
  - Note
  - 1D Measurement
  - 2D Measurement



General Description

Property

- General Description
- Spatial Calibration
- Note
- 1D Measurement
- 2D Measurement
- Object Extraction
- Background
- Point Counting
- Profile
- Image Factory

Description Editor

# Thermal Ionization Mass Spectrometer (TIMS)



From: [http://www.es.ucsc.edu/images/vgms\\_c.jpg](http://www.es.ucsc.edu/images/vgms_c.jpg)

# Pojmy k osvojení

## Procesy vzniku sedimentárních hornin

- Zvětrávání
  - Eroze
  - Transport
  - Ukládání
- 
- Sedimentární textury
  - Sedimentární struktury
  - Klasifikace sedimentů
- 
- Bioturbace, diagenese
  - Prostředí sedimentace,



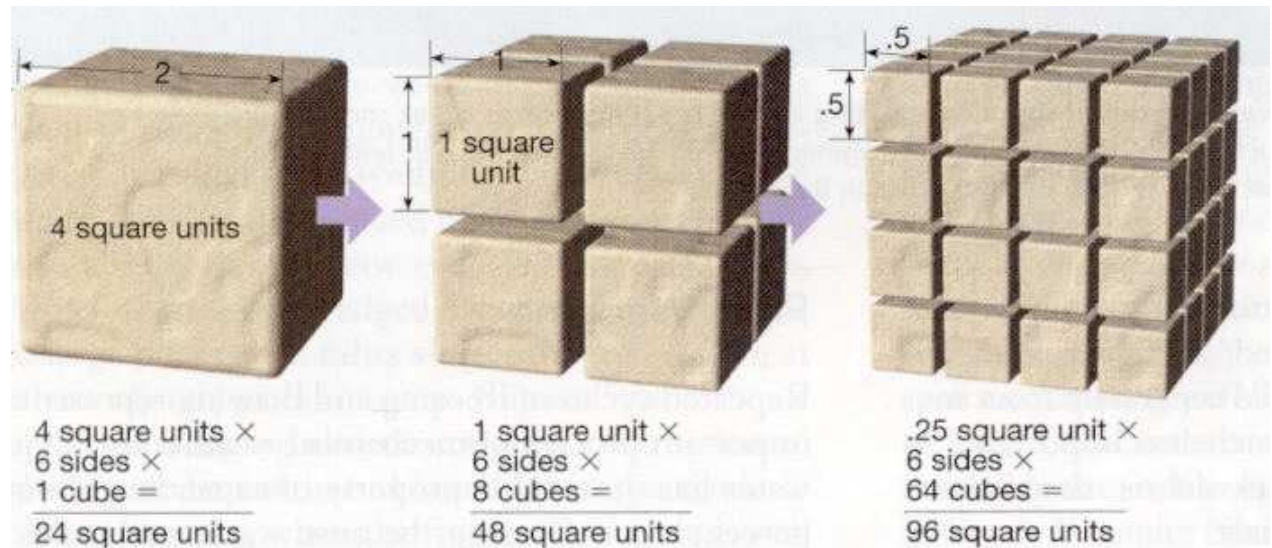
# Zvětrávání

**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**

**OXIDACE / REDUKCE**

**HYDROLÝZA**

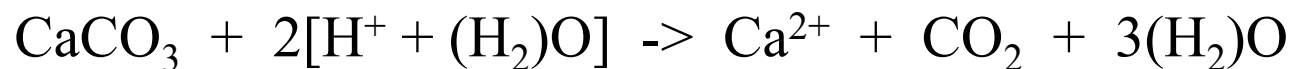
**HYDRATACE**

# 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

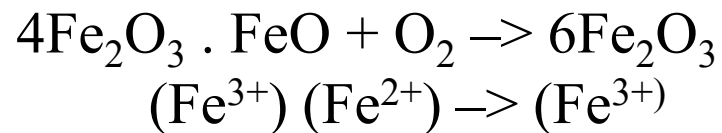
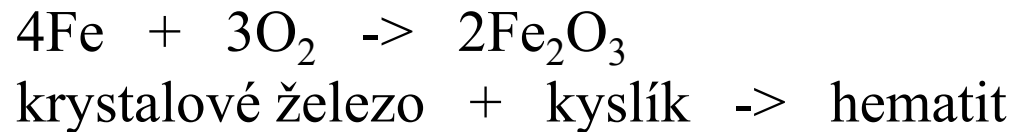


kalcit + vodný roztok kyseliny -> iont vápníku (rozpustný) + oxid uhličitý + voda

# 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

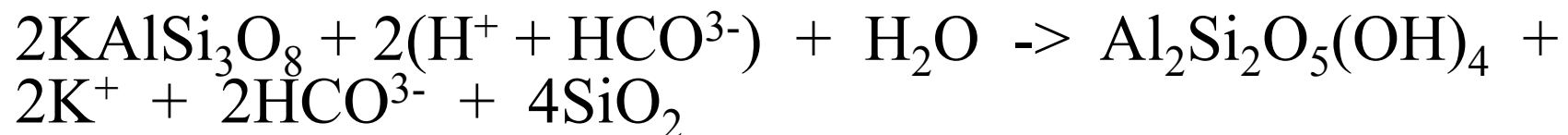
(disociace molekuly + nahrazení kladných iontů v mřížce kladnými produkty disociace)

## **Disociace kyseliny hydrogenuhličitě:**



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

## **Hydrolýza ortoklasu:**

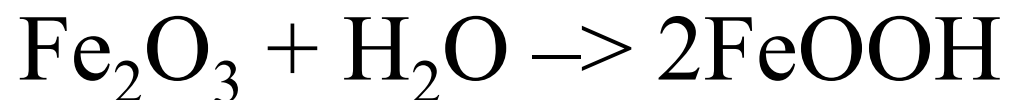


ortoklas + kys. hydrogenuhličitá + voda  $\rightarrow$  kaolinit + draselný kat. + hydrogenuhličitan. an. + křemíkový gel



# Hydratace

Přijem molekuly vody



Hematit + voda  $\rightarrow$  goethit

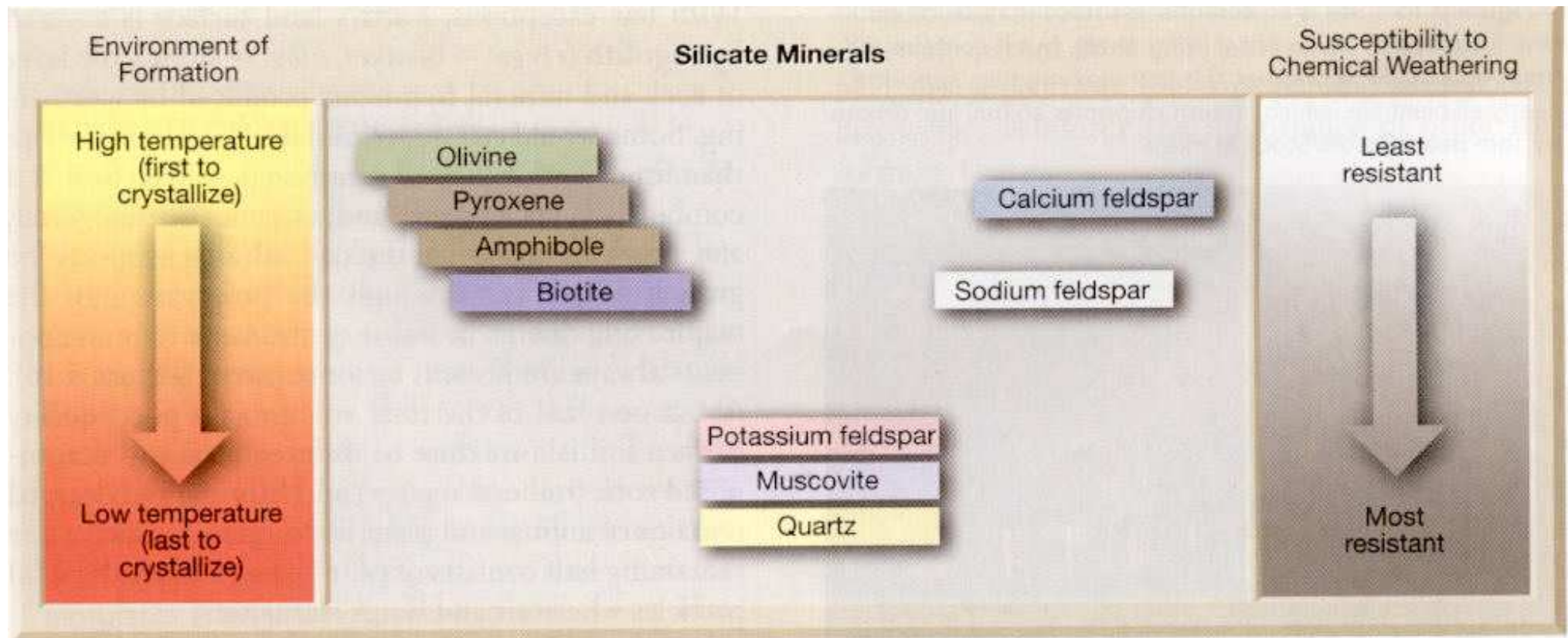
# Produkty chemického zvětrávání

<u>Minerál podléhající zvětrávání</u>	<u>Produkty zvětrávání</u>
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> -
Dolomit	ionty Ca a Mg, ionty HCO <sub>3</sub> -
<u>Železité karbonáty (siderit, ankerit)</u>	<u>ionty Ca, Mg, Fe, oxidy železa, ionty HCO<sub>3</sub>-</u>

# Goldrichovo schéma

*Chemicky nestabilní minerály (ostatní)*

*Chemicky stabilní minerály (křemen, muskovit)*





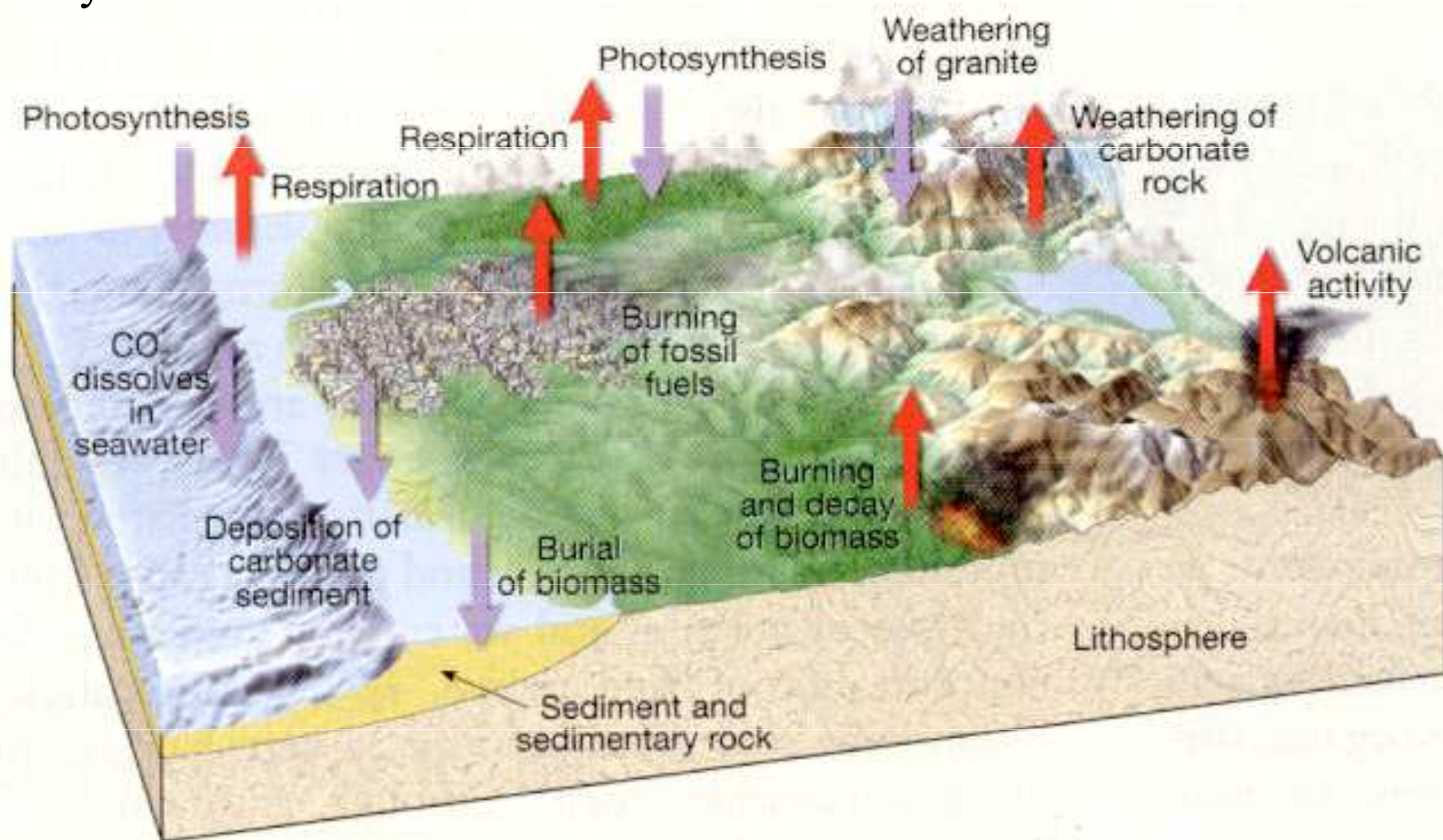
# Chemické zvětrávání: uhlíkový cyklus

- **Produkce:**

odplynění pláště, zvětrávání karbonátů, dýchání, spalování fosilních paliv, spalování a rozklad biomasy

- **Spotřeba:**

Sedimentace karbonátů, fotosyntéza, dýchání, pohřbení biomasy, zvětrávání granitu, rozpouštění  $\text{CO}_2$  v mořské vodě



# Globální ochlazení?



... nebo oteplení ??



18.  
století

1900

1950

1970

1980

1990

# 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 (EXFOLIACE)

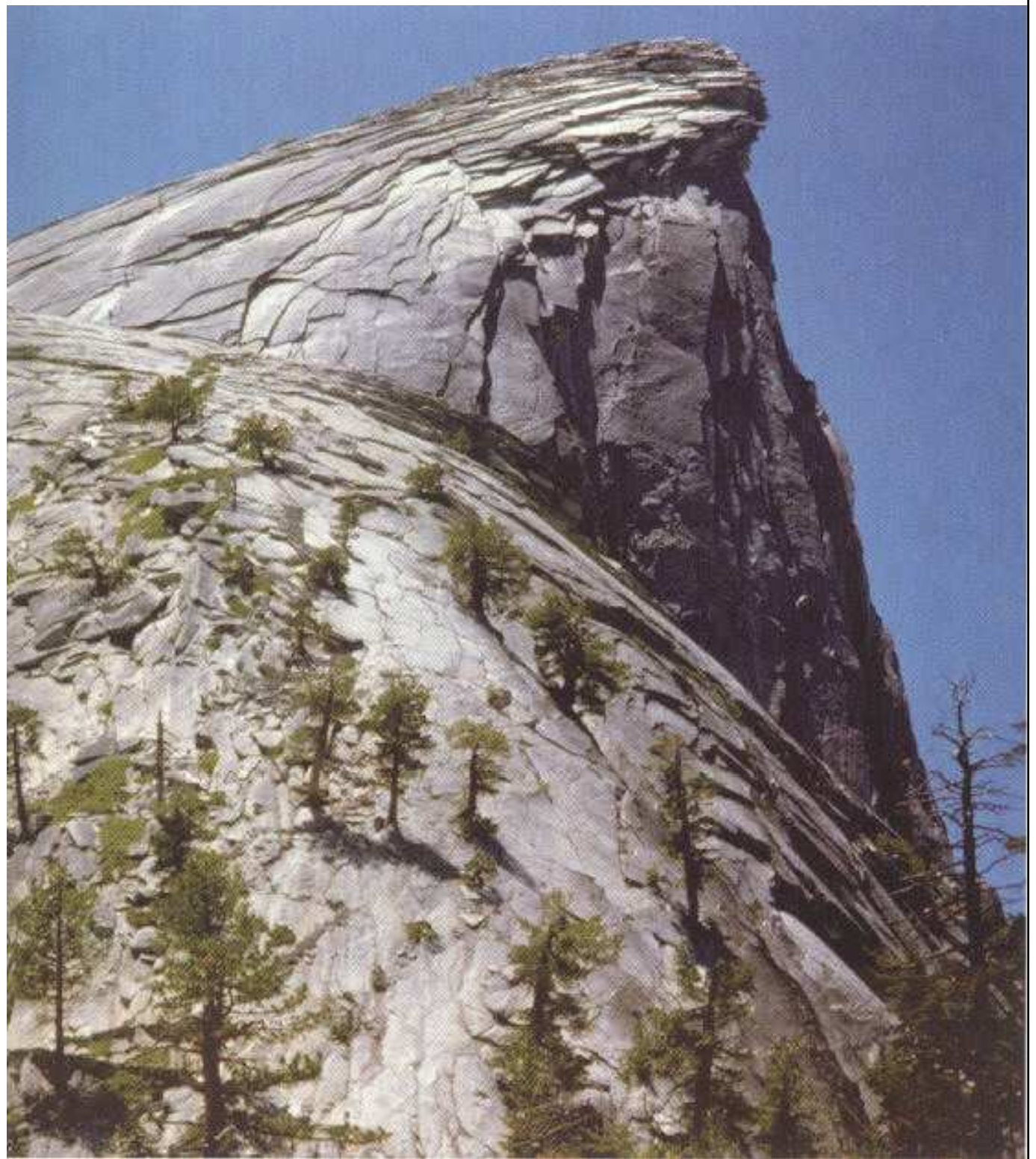
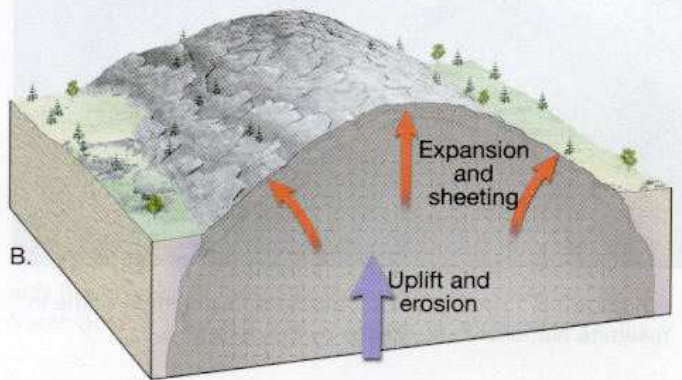
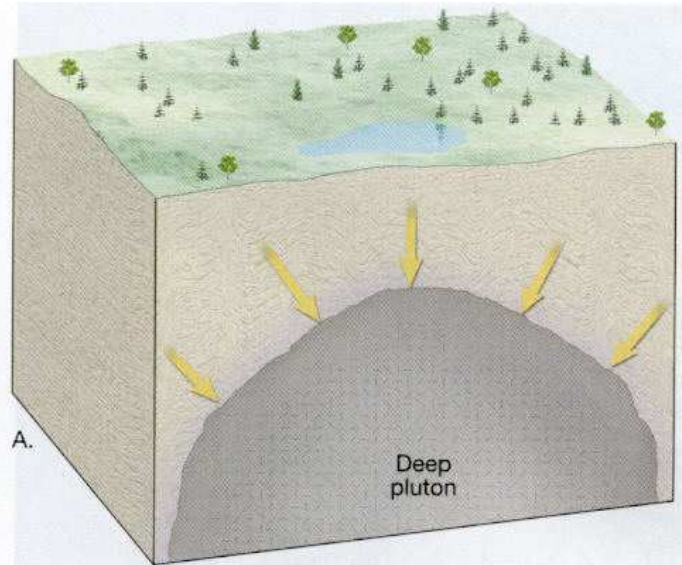
- vyvřelé horniny - odstranění tíhy nadloží vede k roztažení horniny a odlučování, viz situace v nově ražených důlních chodbách

## Abraze (koraze, eroze)

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



# Exfoliace







# Mechanické zvětrávání





# Produkty mechanického a chemického zvětrávání

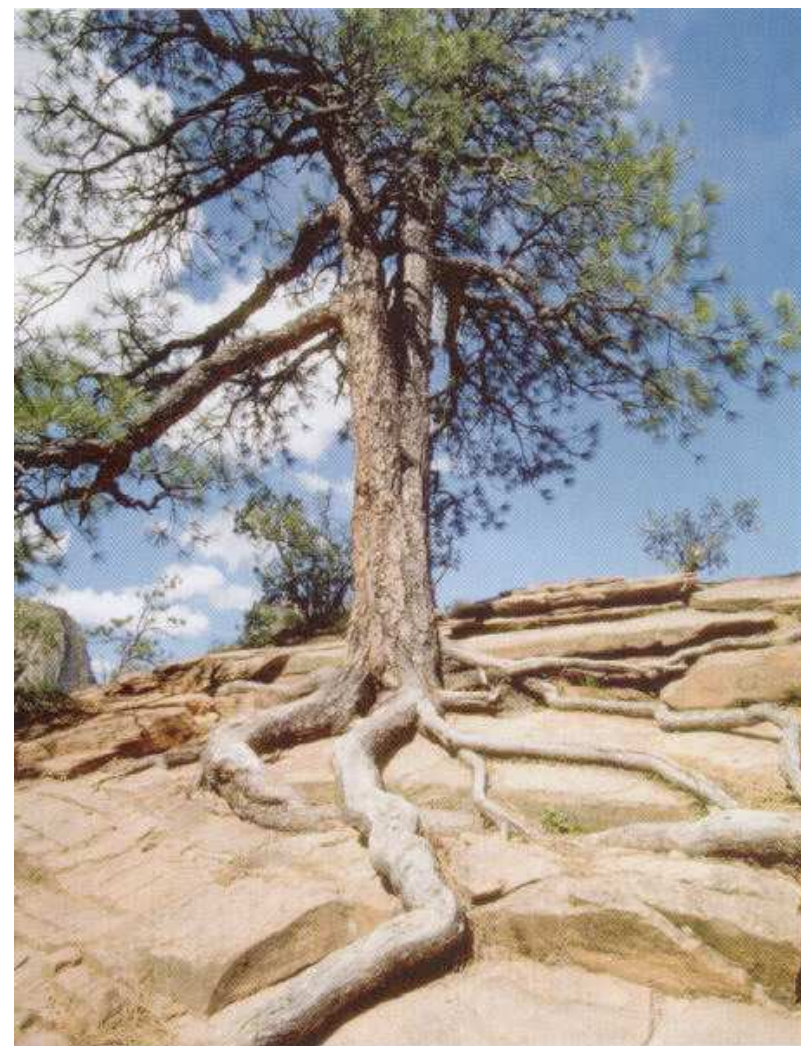


- **Litické (horninové) fragmenty**  
(granit, bazalt, rula, atd.)
- **Rozpuštěné ionty**  
(vápník, draslík, sodík, atd.)
- **Sekundární minerály** (hematit, goethit, atd.)
- **Jílové minerály**  
(illit, kaolinit, montmorillonit, atd.)
- **Reziduální minerály**  
(křemen, *ortoklas*, *muskovit*, atd.)



# Biologické zvětrávání

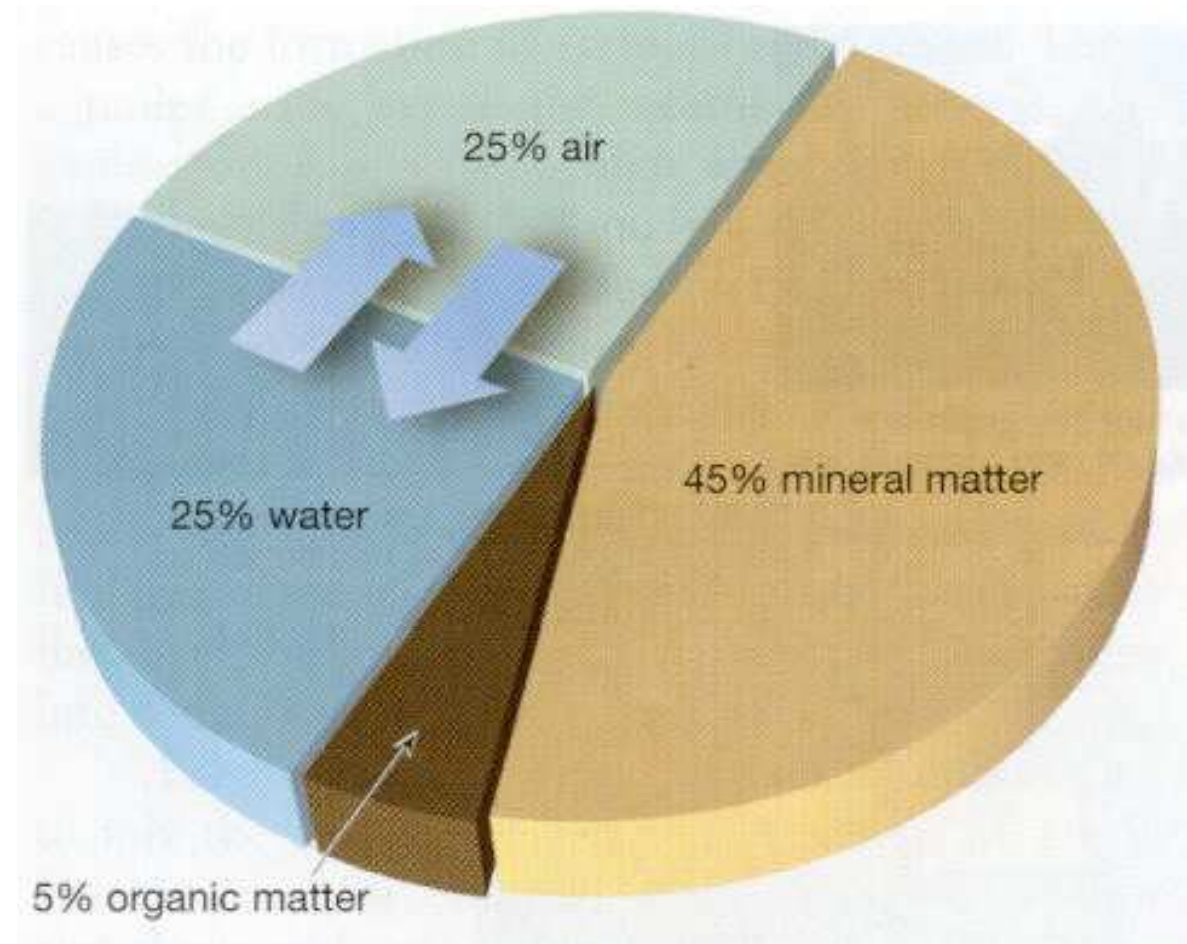
- kořeny rostlin,
- vrtavá a hrabavá činnost živočichů,
- rozklad odumřelých těl - chemické reakce za vzniku kyselých roztoků,
- činnost člověka





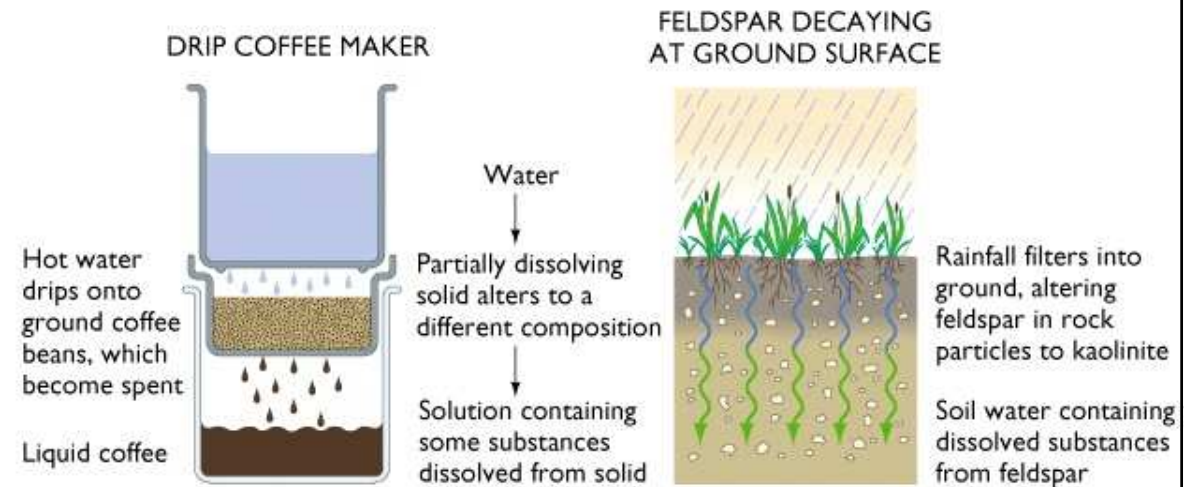
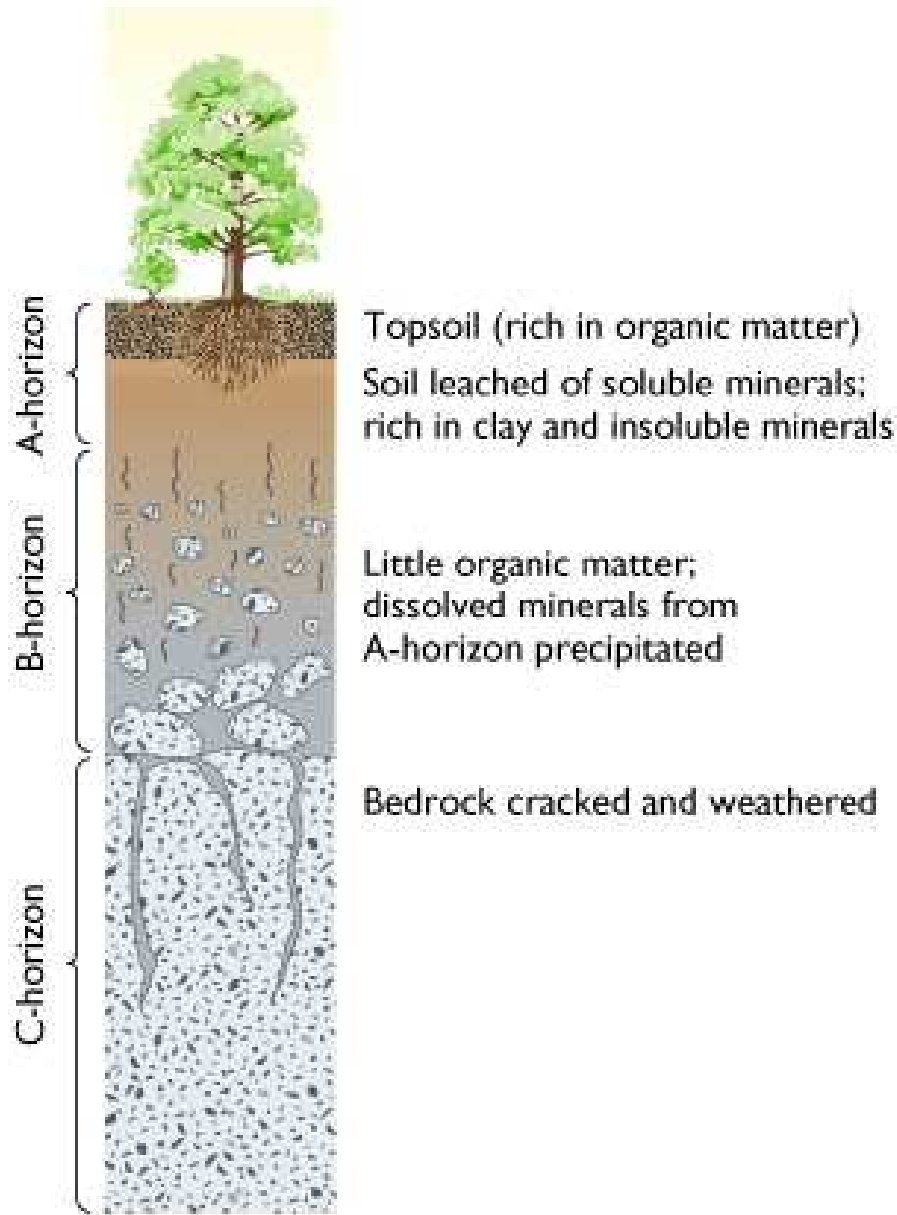
# Regolit, půda

- půda - pokryv litosféry, který umožňuje růst rostlin
- složení - úlomky hornin a minerálů, organická hmota (humus), voda, vzduch
- průměrné složení dobré úrodné půdy:



# Tvorba půd

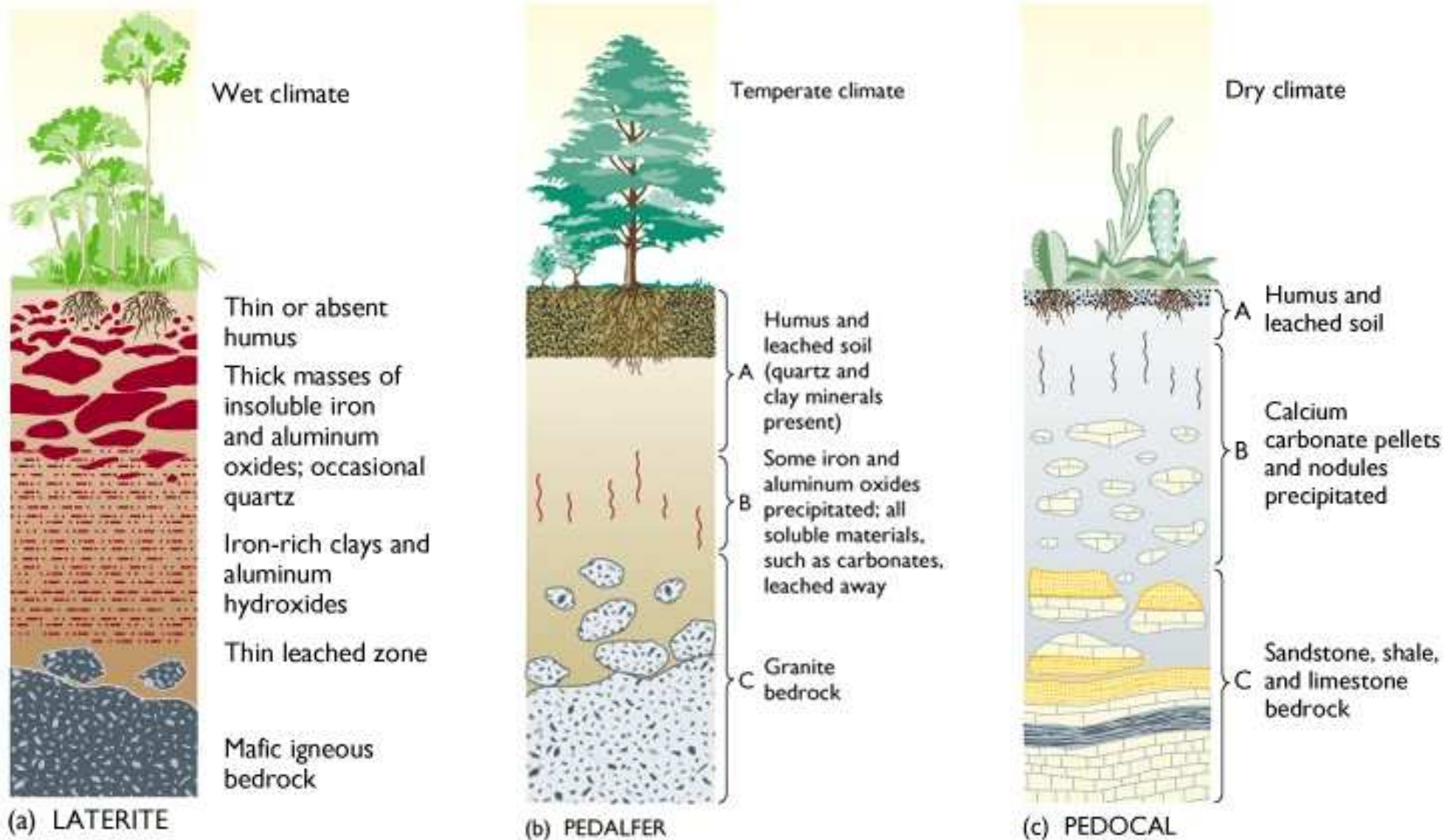
- ◆ Chemicky a mechanicky zvětralá hornina, která nebyla oderodována nebo odnesena pryč a zůstává na místě se stává *půdou*



- **Povrch zvětrávání: vrstevnatá struktura:**
  - Celistvé horniny úplně dole
  - Maximálně zvětralé horniny úplně nahoře
  - Vyluhované ionty putují dolů s pohybem podzemní vody
  - Znovu se srážejí: voda směřuje k chemickému ekvilibriu
- **Půdní profil.**

# Tvorba půd

- Mineralogie a mocnost půdních vrstev je závislá na zdrojových horninách, klimatu (teplota a srážky), a stáří.
- Kterou z následujících půd byste obdělávali nejraději ? (žádnou !)



# Eroze:

mechanické odstraňování materiálů  
prostřednictvím nějakého hybného média

Hybná média:

*Gravitace*

*Dešťová a skapová voda*

*Tekoucí voda*

*Led(ovec)*

*Vítr*

*Moře*



# Eroze a transport vlivem gravitace,

## Gravitace

- gradient (sklon) svahu, horské oblasti x nížiny, podmořské oblasti











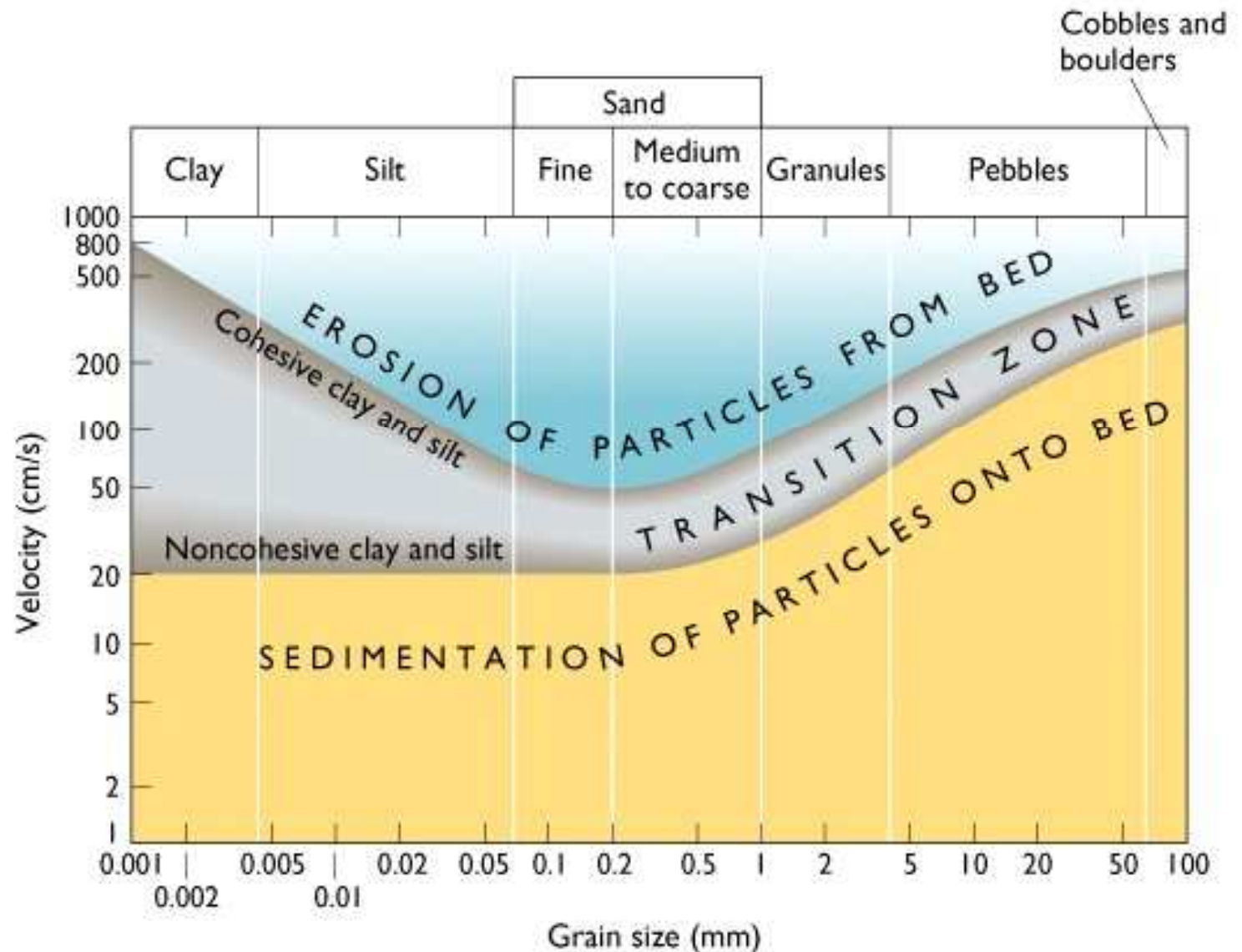


# Eroze a transport tekoucí vodou, Hjustromova křivka

Proudění o dané rychlosti může nést všechny nesoudržné částice menší než kritická velikost;

Rychlost proudění klesá s klesajícím sklonem svahu od pohoří k nížinám,

sedimenty se proto vyvíjejí od špatně vytríděných, hrubozrnných sedimentů k dobře vytríděným a jemnozrnným sedimentům s rostoucí vzdáleností od zdroje.



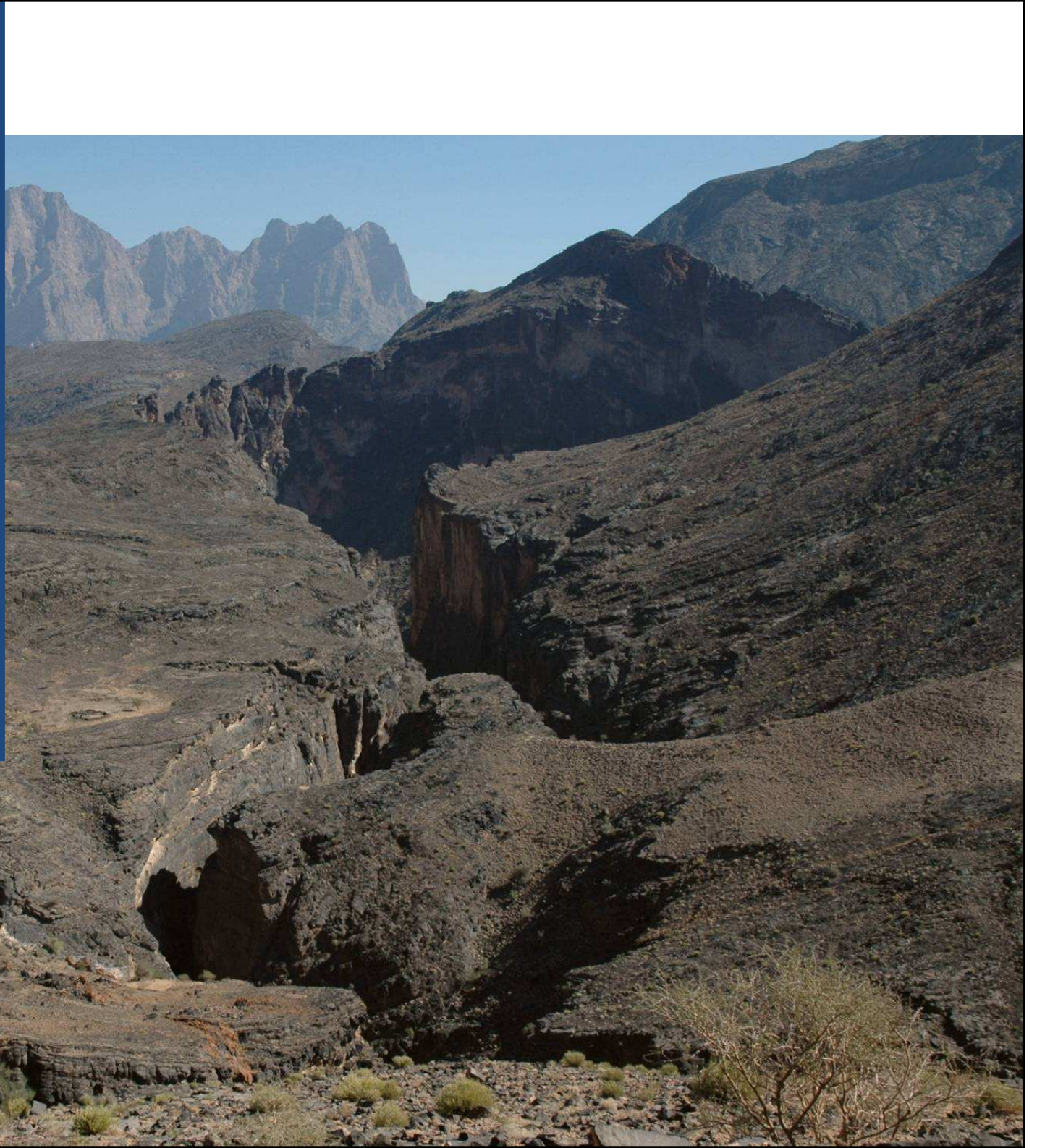


# Eroze a transport tekoucí vodou

## *Tekoucí voda*

- hloubková eroze
- zpětná eroze
- plošná eroze
- evorze
  
- **vliv sklonu svahu**
- **geomorfologické tvary:** obří hrnce, říční údolí, meandry







# Eroze a transport dešťovou a skapovou vodou

## *Dešťová a skapová voda*

- **geomorfologické tvary:** zemní pyramidy, skalní hříby, ronové rýhy

## *Tekoucí voda*

- hloubková eroze, zpětná eroze, plošná eroze, evorze
- vliv **sklonu svahu**
- **geomorfologické tvary:** obří hrnce, říční údolí, meandry

# Eroze a transport ledem

## Led(ovec)

- geomorfologické tvary:
- kontinentální ledovce
- erozní činnost - glaciální rýhy
- horské ledovce
- ledovcový kar, ledovcový splaz
- údolí tvaru U, fjord, glaciální rýhy







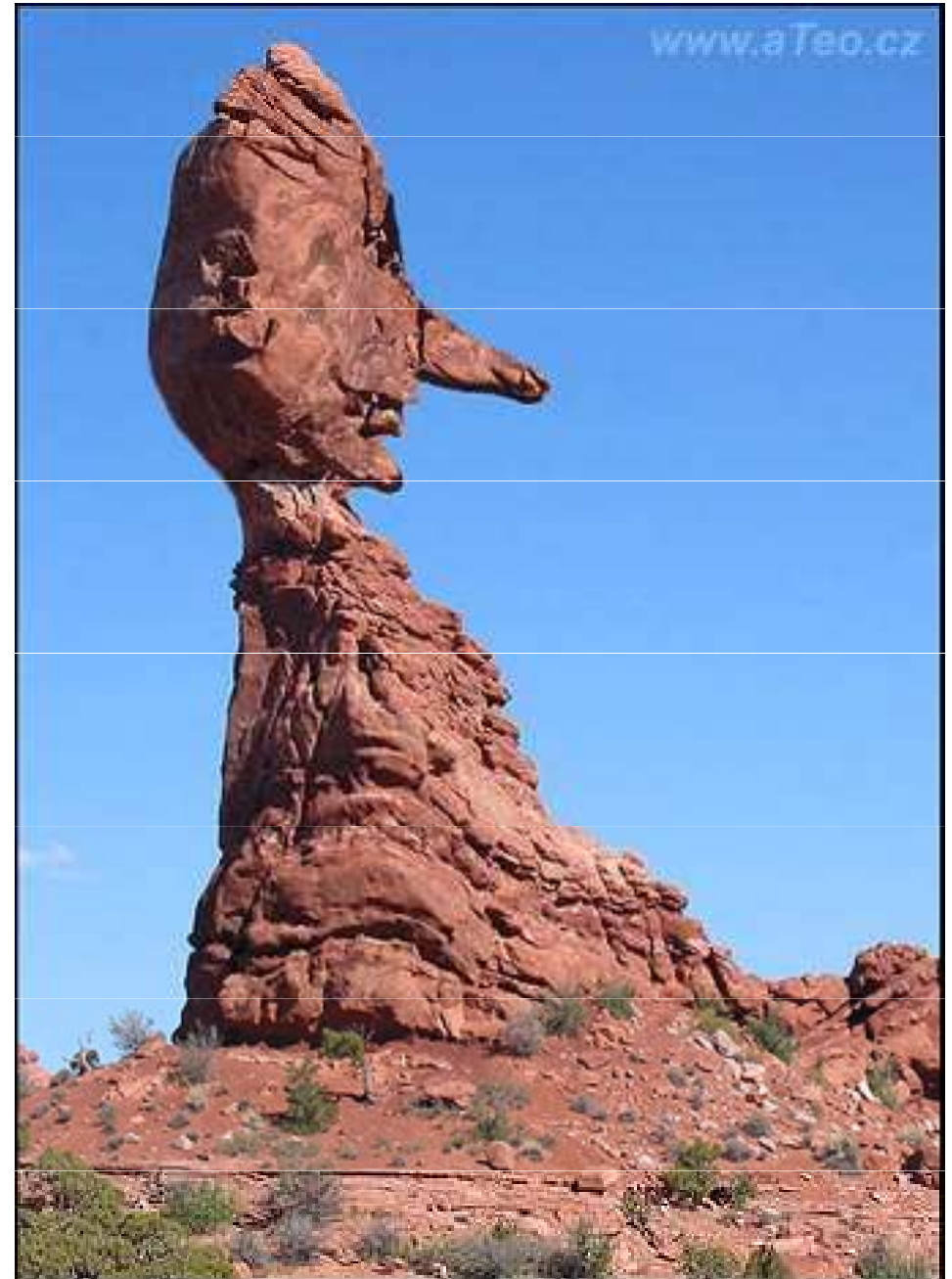




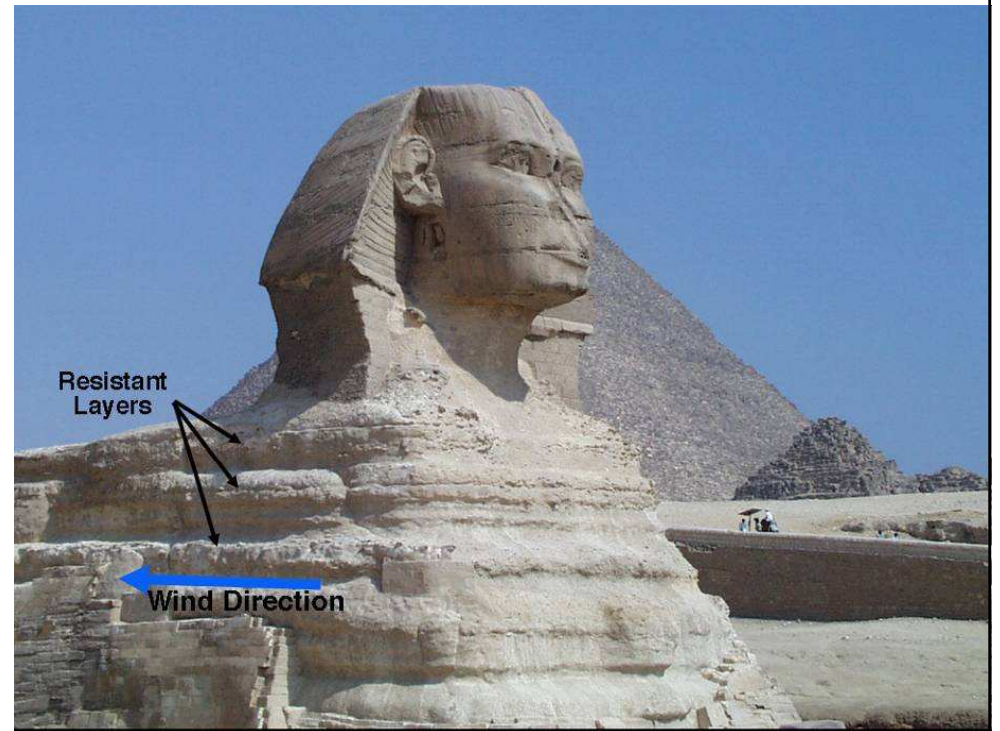
# Eroze větrem

## Vítr

- větrná eroze - koraze (obrušování), deflace (odnos)
- větrné proudnice - duny, návětrná strana, závětrná strana
- geomorfologické pojmy: hrance











# Eroze činností moře

## Mořská eroze

- abraze - činnost příboje
- transgrese, regrese - eroze podložních hornin
- geomorfologické pojmy: abrazní plošina,









# 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)

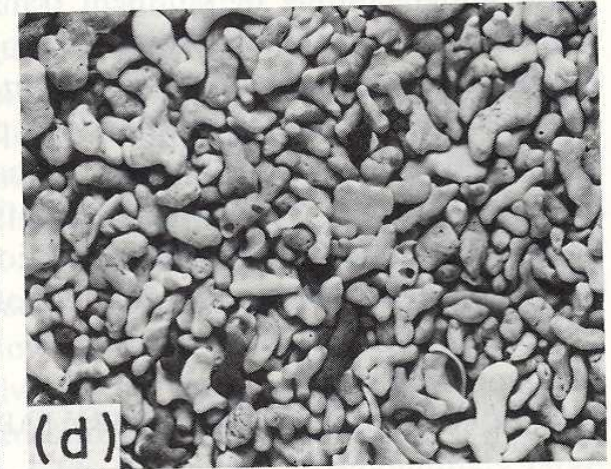
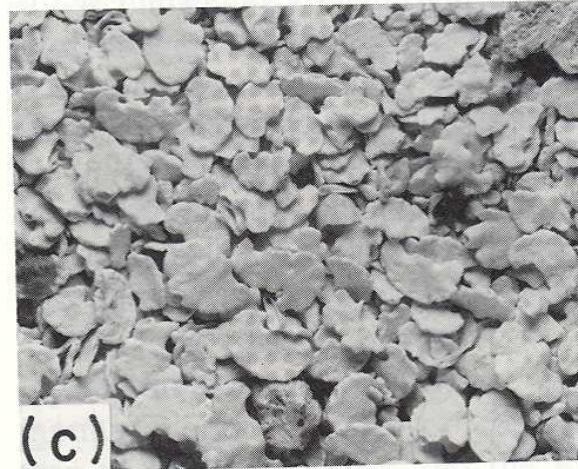
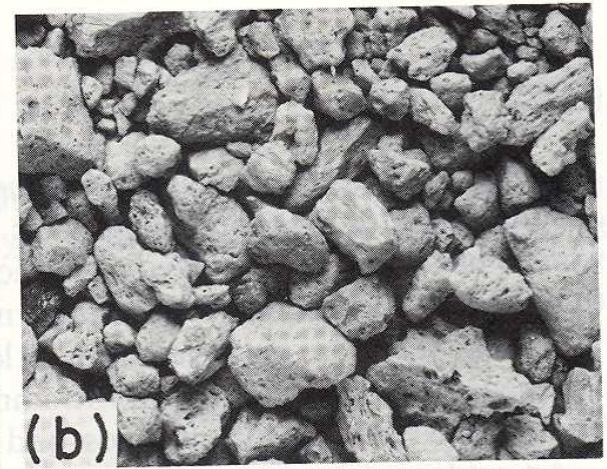
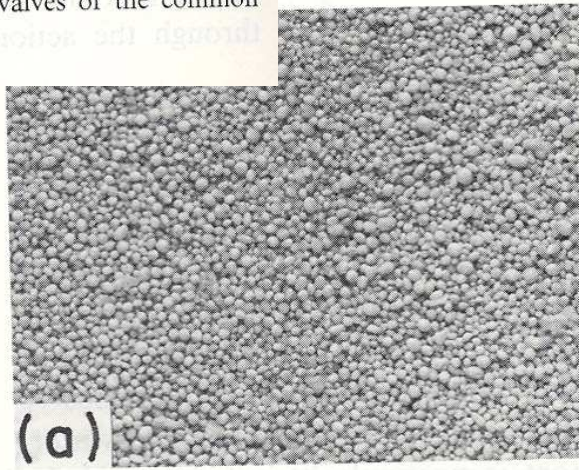
### **Velikost částic**

### **Vytrídění částic**



Fig. 2-1. Some examples of sedimentary particles from recent environments. a. Ooid from an 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* ( $\times 0.4$ ).

- a) Ooidy ( $\text{CaCO}_3$ )
- b) B) částice pemzy (pyroklastika)
- c) Fragmenty vápnité řasy rodu *Halimeda*
- d) Fragmenty vápnité řasy rodu *Lithothamnium*
- e) Drcené schránky plžů a mlžů
- f) Vytříděné schránky mlže rodu *Cerastoderma*





# Transportní média

## Kapaliny v přírodě

Faktory, které ovlivňují uvedení částice do pohybu:

**Hustota:** ovlivňuje množství a velikost transportovaných částic a rychlost, jakou se částice usazují

**Dynamická viskozita:** schopnost látky téci / rezistence látky na změnu jejího tvaru

Kapaliny v přírodě:

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

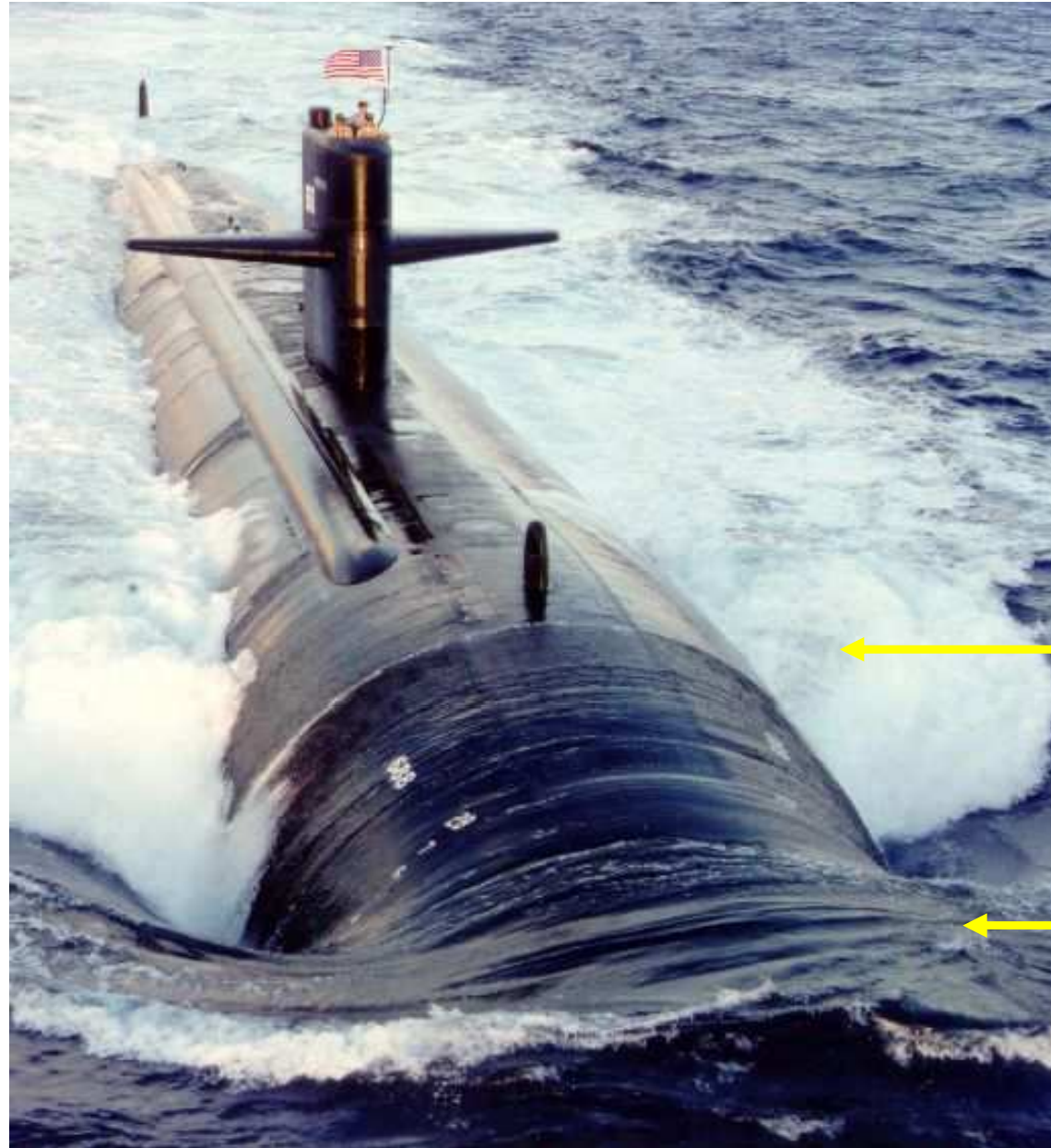
**Voda** ( $\rho = 1000 \text{ kg/m}^3$ ,  $r = 1025 \text{ kg/m}^3$ ), dynamická viskozita ( $\eta$ ) klesá s vzrůstající teplotou

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



# laminární vs. turbulentní proudění

určeno Reynoldsovým číslem



Turbulentní  
proudění

Laminární  
proudění

# TYPY TRANSPORTU

## Gravitační transport

Prostředí: subaerické, submarinní

### Bahnotoky, úlomkotoky

soudržné (kohezní), laminární proudění

Uvedení do pohybu: přetížení svahu, zemětřesení, likvefakce (zkapalnění), sesuvy

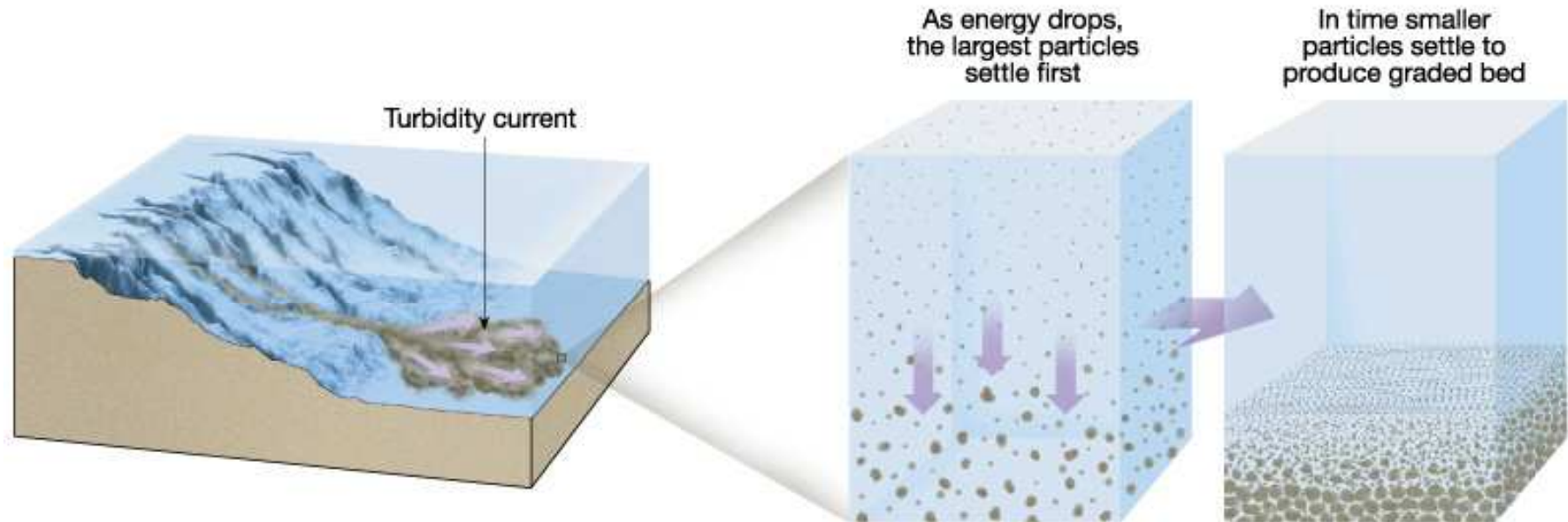
Ukládání: zpomalení toku, zmírnění sklonu svahu

### Turbiditní proudy

kapaliny, turbulentní a laminární proudění

Uvedení do pohybu: zvržení 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

kapaliny (voda, vzduch), laminární a turbulentní proudění

## Uvedení částic do pohybu:

převážně turbulentním prouděním

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

Závisí na:

- hustotě kapaliny
- rychlosti toku
- dynamické viskozitě
- Reynoldsově číslu (laminární / turbulentní proudění)
- velikosti a hustotě sedimentárních částic
- a dalších faktorech

Ukládání: zpomalení proudu

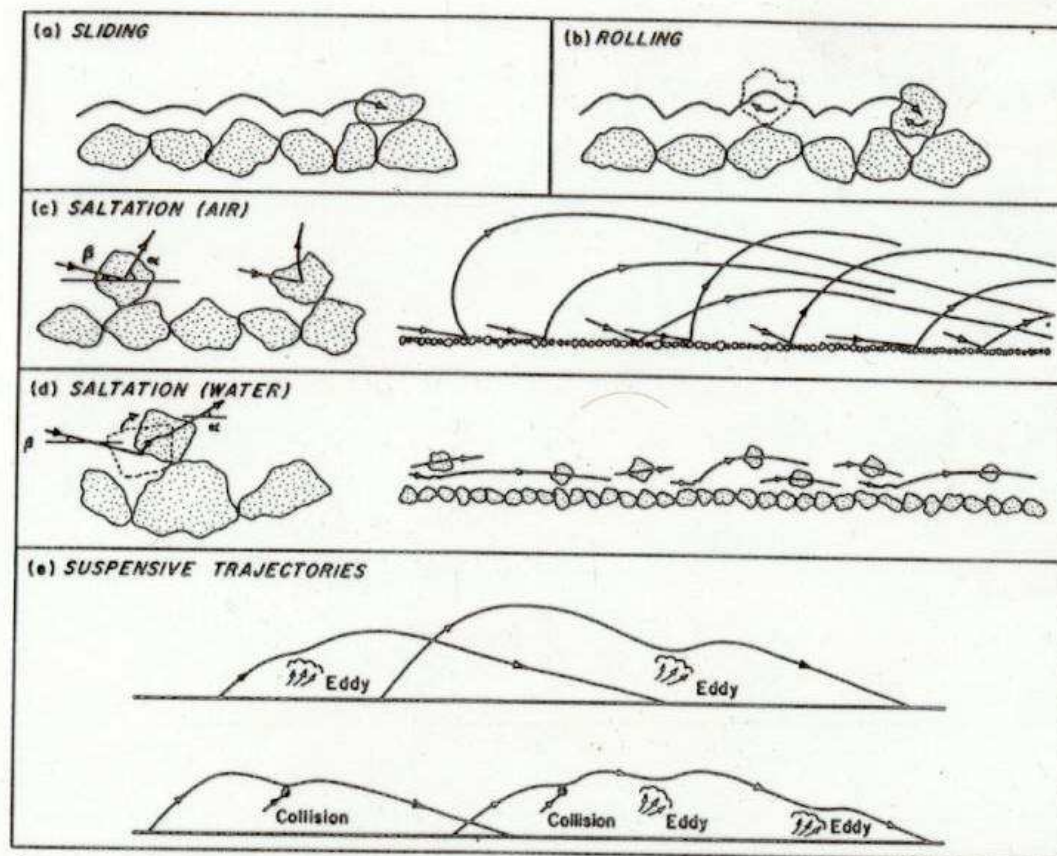
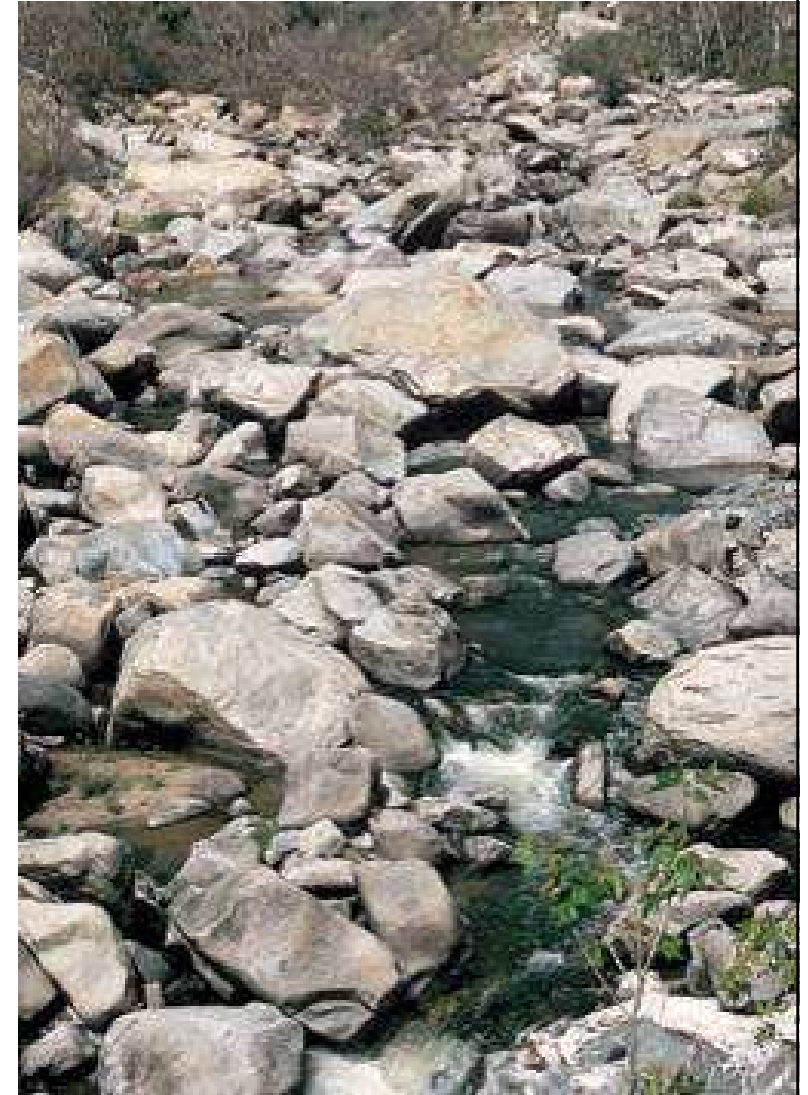


Fig. 2-13. Schematic representation of modes of particle motion during fluid-induced sediment transport.



# 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

**Laminy** – druh vrstev o malé mocnosti (< 1 cm)

**Zvrstvení** – soubor texturních znaků uvnitř vrstev

**Laminace** – druh zvrstvení o malé mocnosti

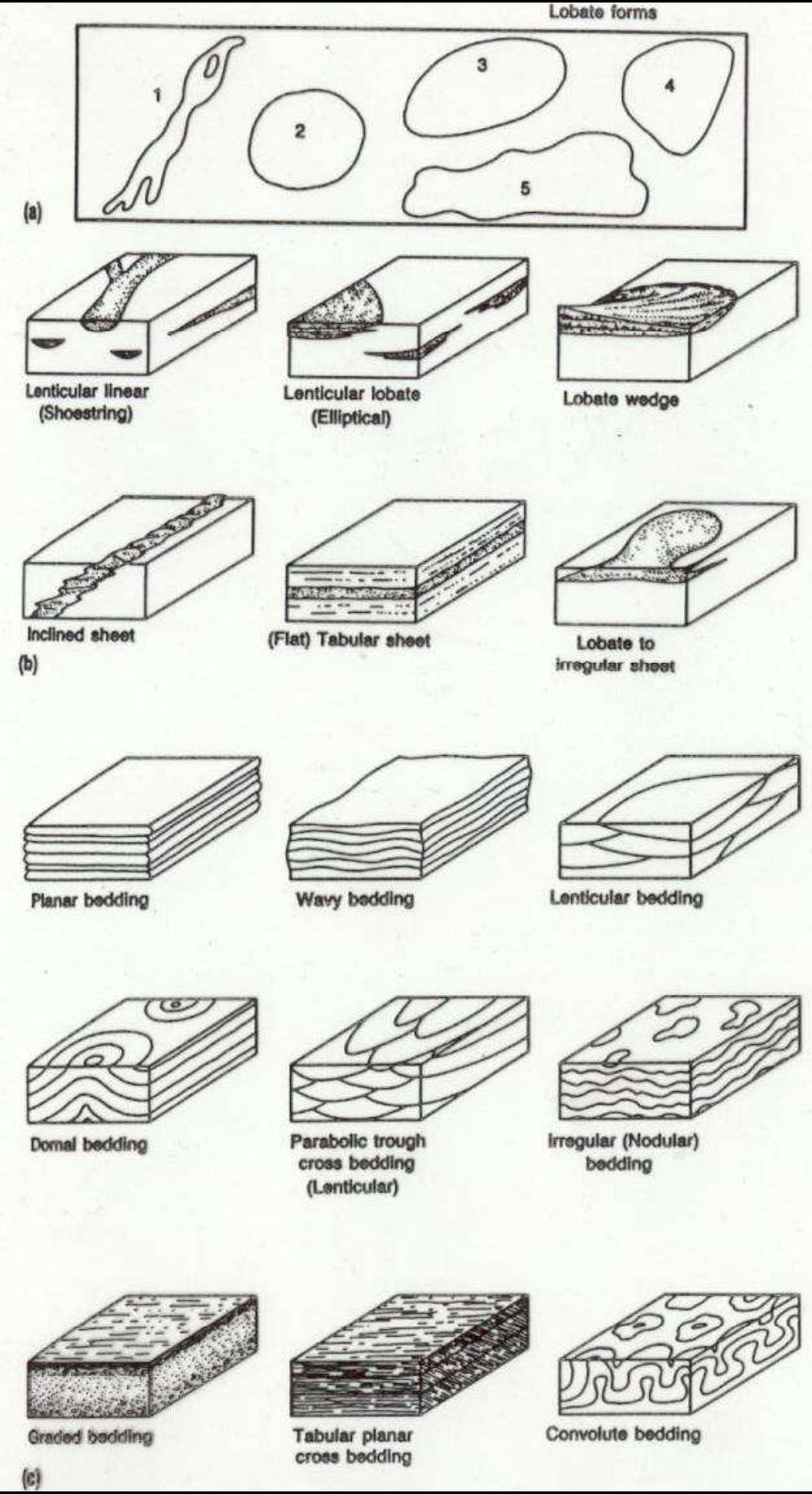


# Vrstevnatost

- Čočkovitá
- Deskovitá (tabulární)
- Lalokovitá

## Zvrstvení

- Gradační
- Horizontální (planární)
- Zvlněné
- Šikmé - výmolové
- Šikmé - planární
- Nodulární (hlíznaté)
- Konvolutní









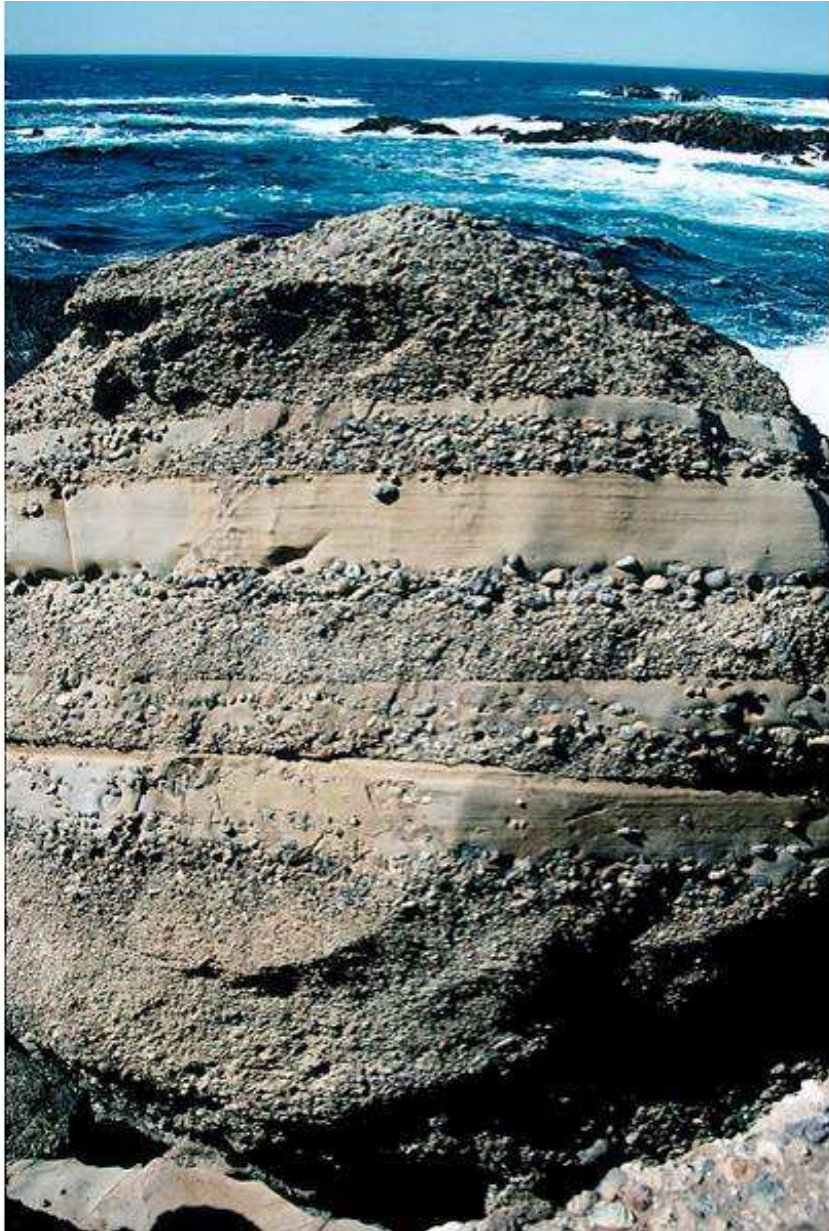


Photo by David McGeary



# 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







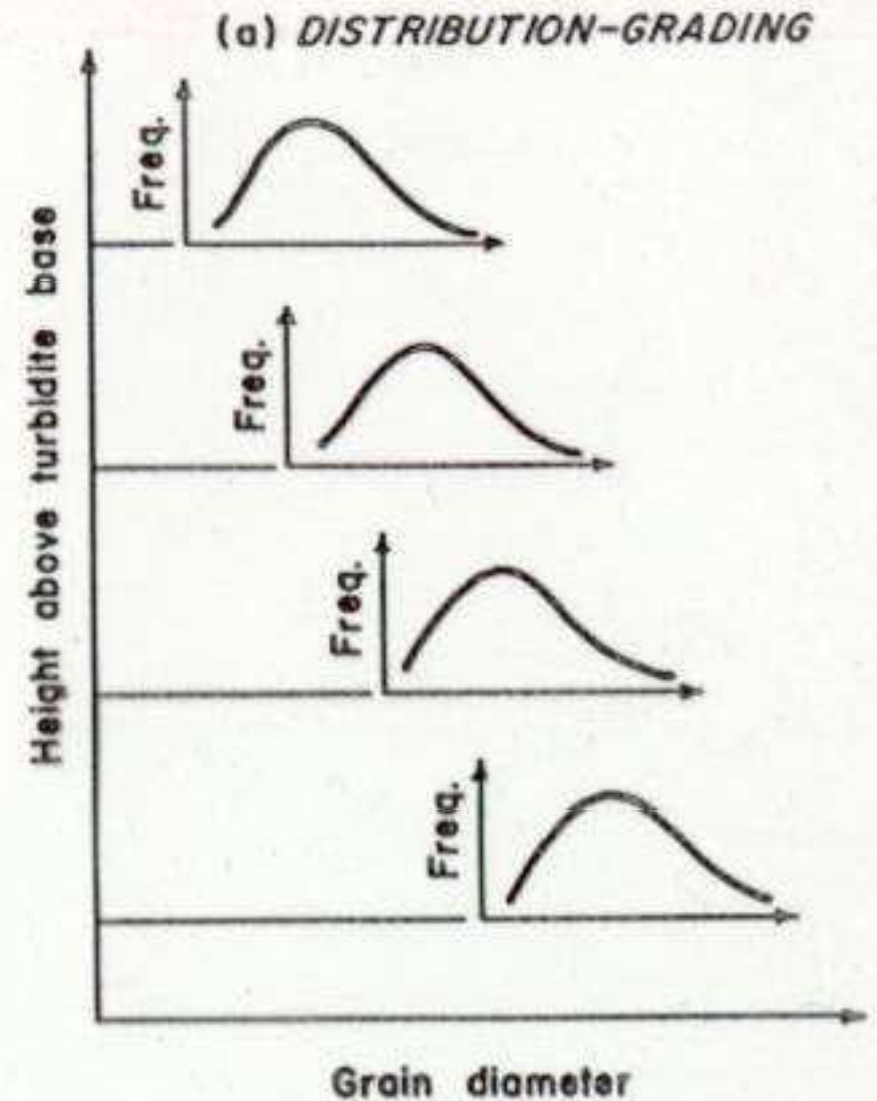


# Gradační zvrstvení

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

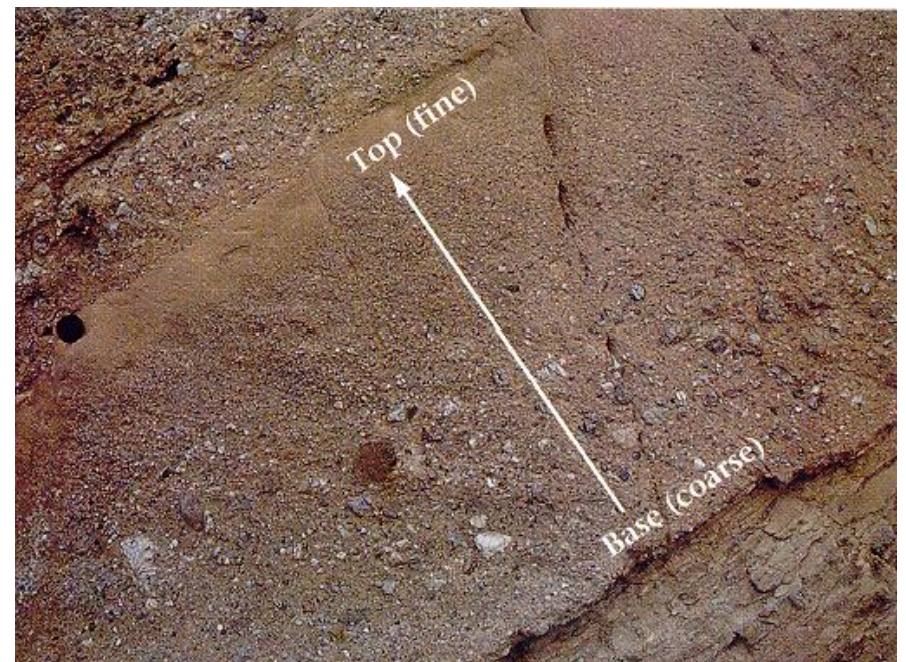
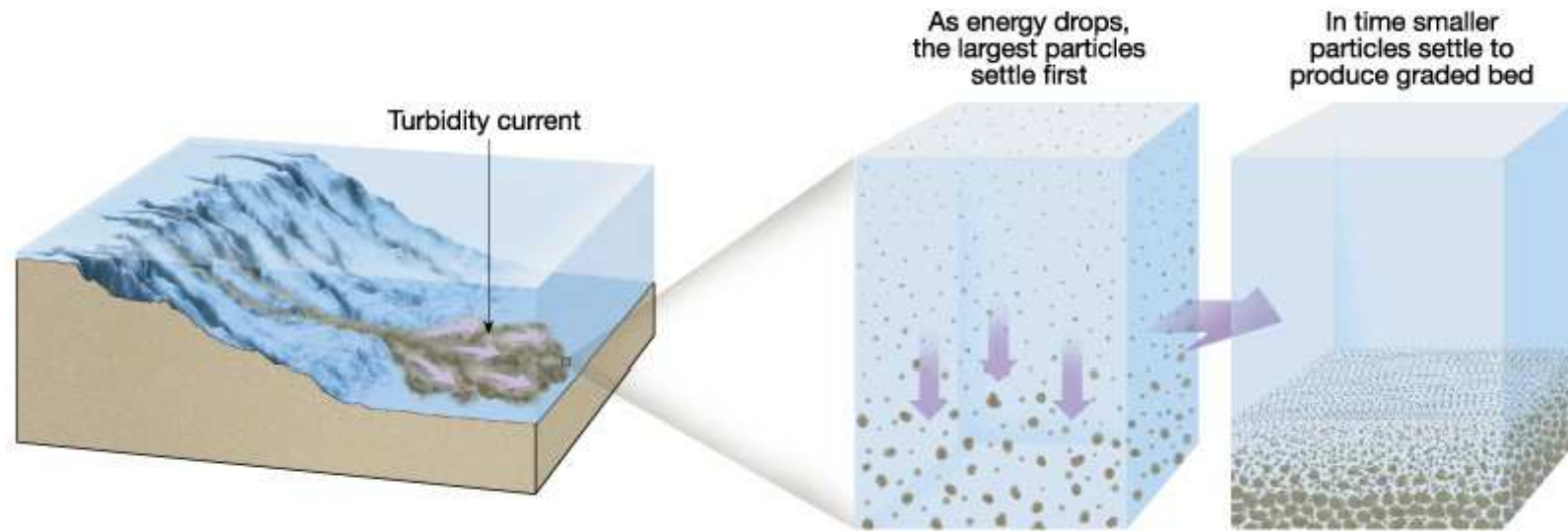
## Geneze:

- zpomalování energie toku





# Gradační zvrstvení

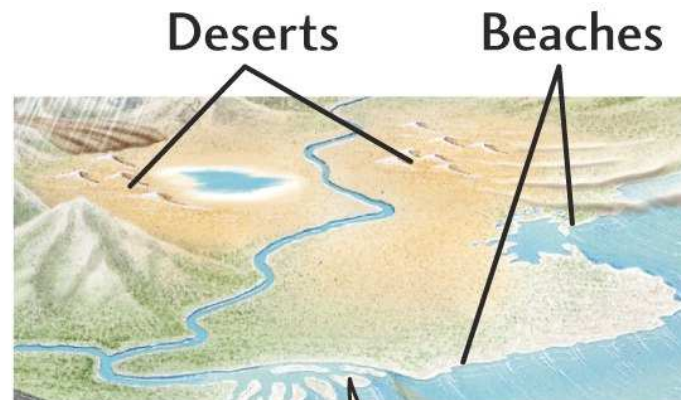








# Šikmé (čeřinové) zvrstvení vrstevní tvary: proudové duny (čeřiny)

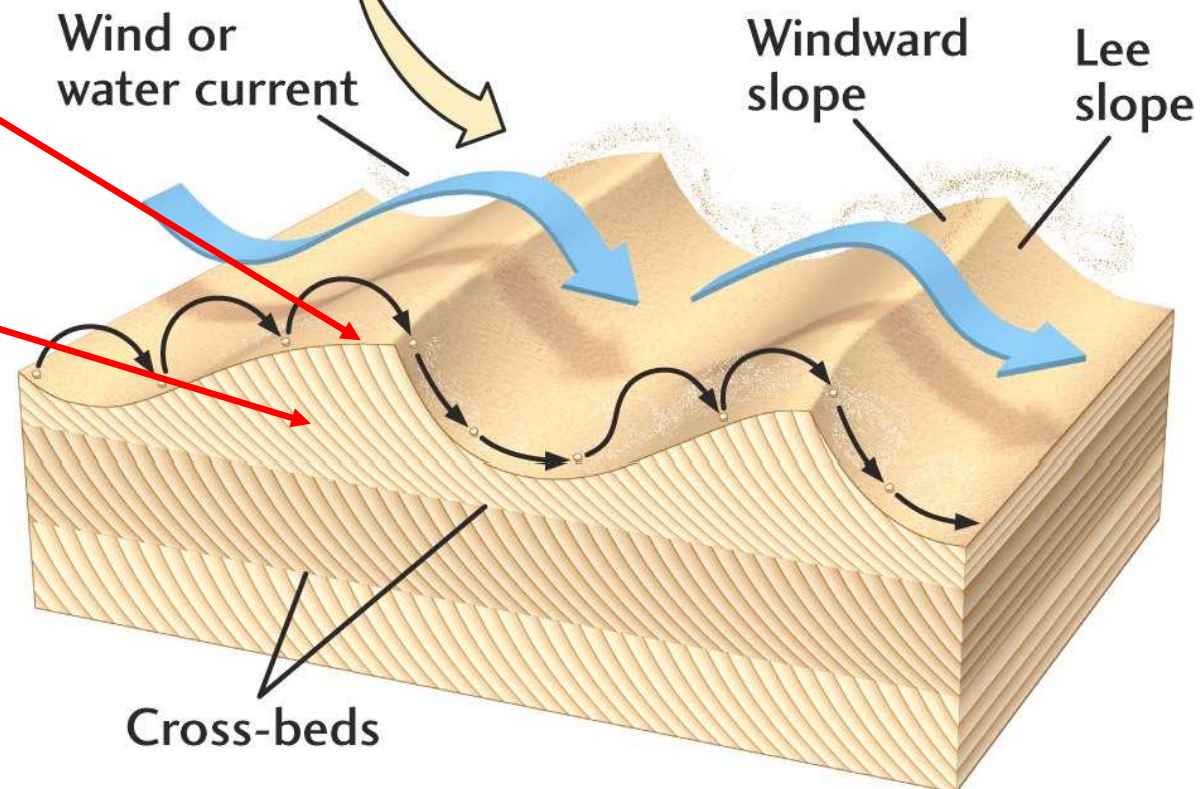


## Vrstevní tvar:

- Morfologie dna – rozhraní sediment/kapalina

## Zvrstvení:

- soubor texturních znaků uvnitř vrstev



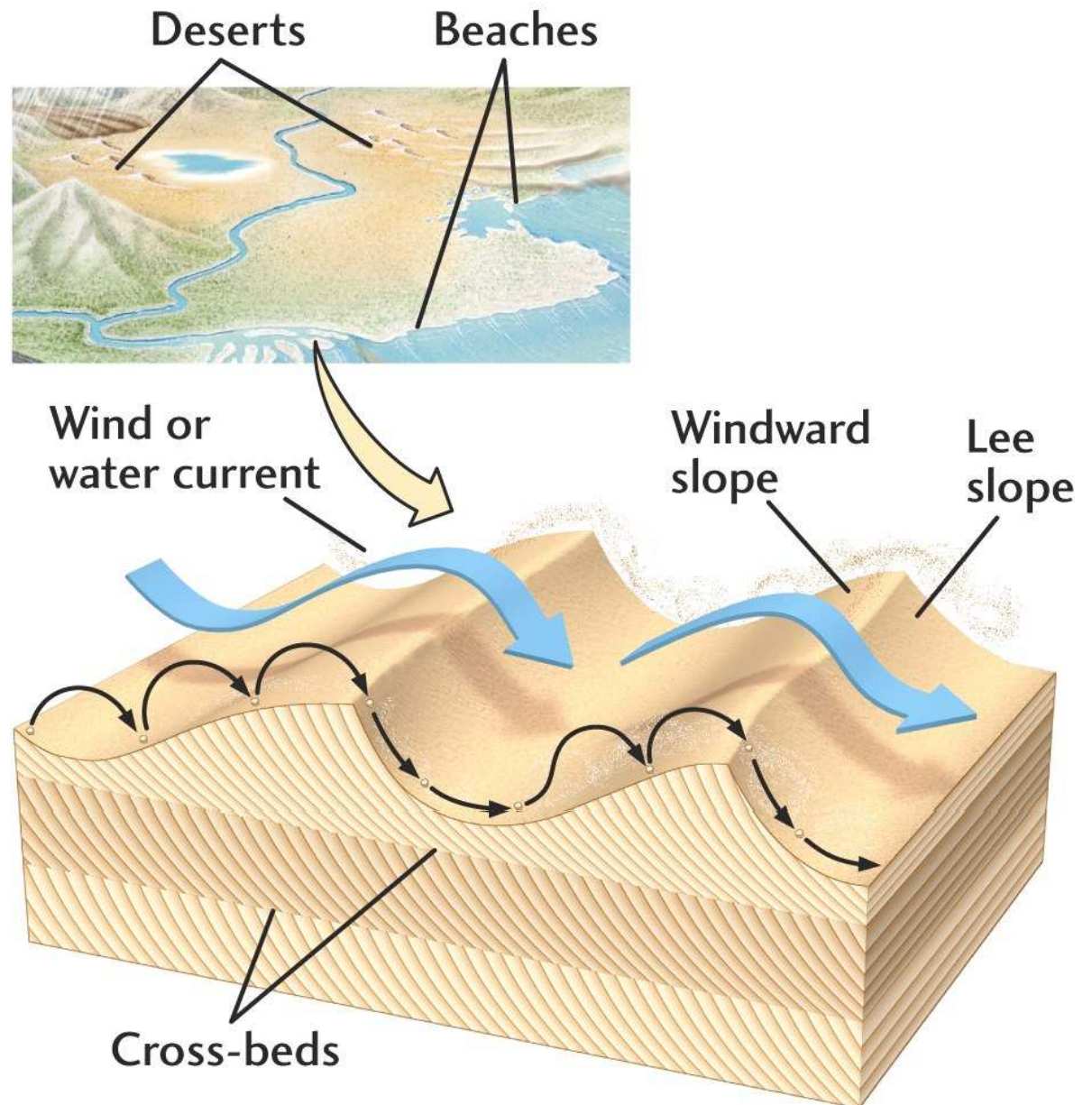
# Šikmé (čeřinové) zvrstvení vrstevní tvary: proudové duny (čeřiny)

## duny, barchany, příčné duny, čeřiny

- jednosměrné větrné/vodní proudění
- **eroze** na návětrné straně
- **sedimentace** na závětrné straně
- pohyb po směru proudění

## původ:

- Místní nerovnosti na povrchu nesoudržného sedimentu v podmínkách proudění normální (newtonovské) kapaliny
- Zpomalení a separace proudu na závětrné straně

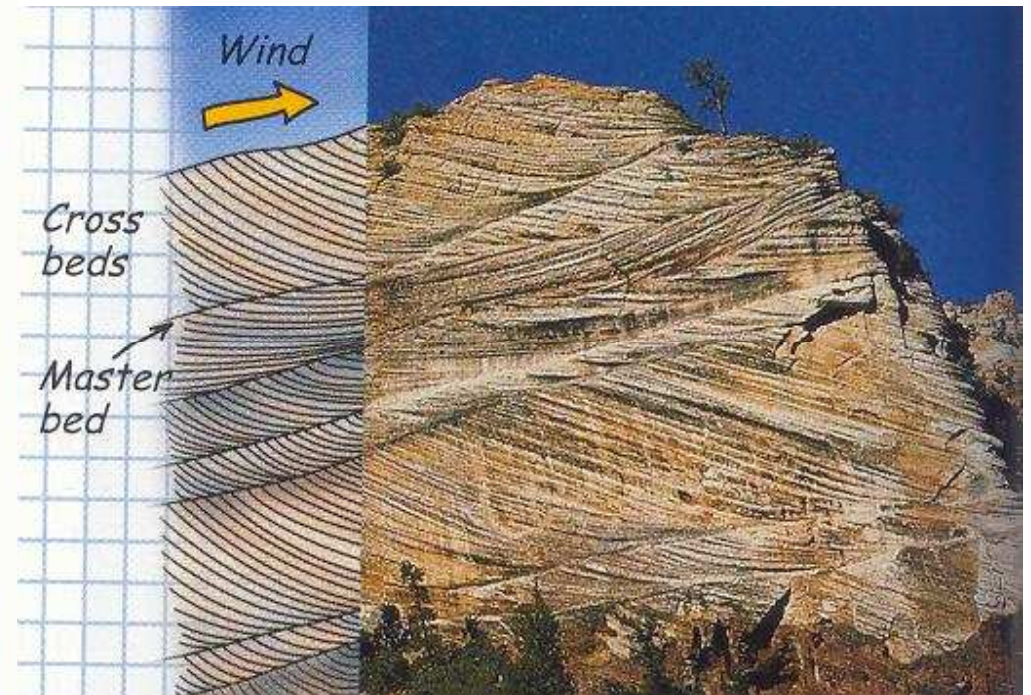
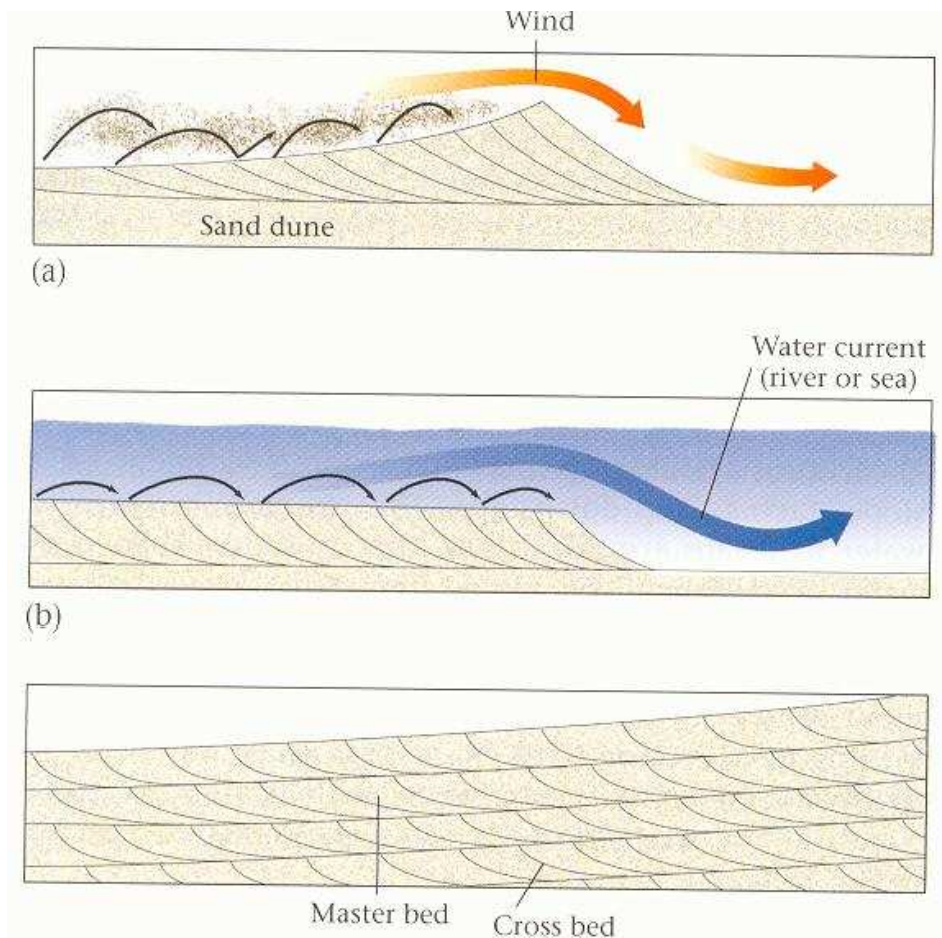








# Šikmé zvrstvení: geneze







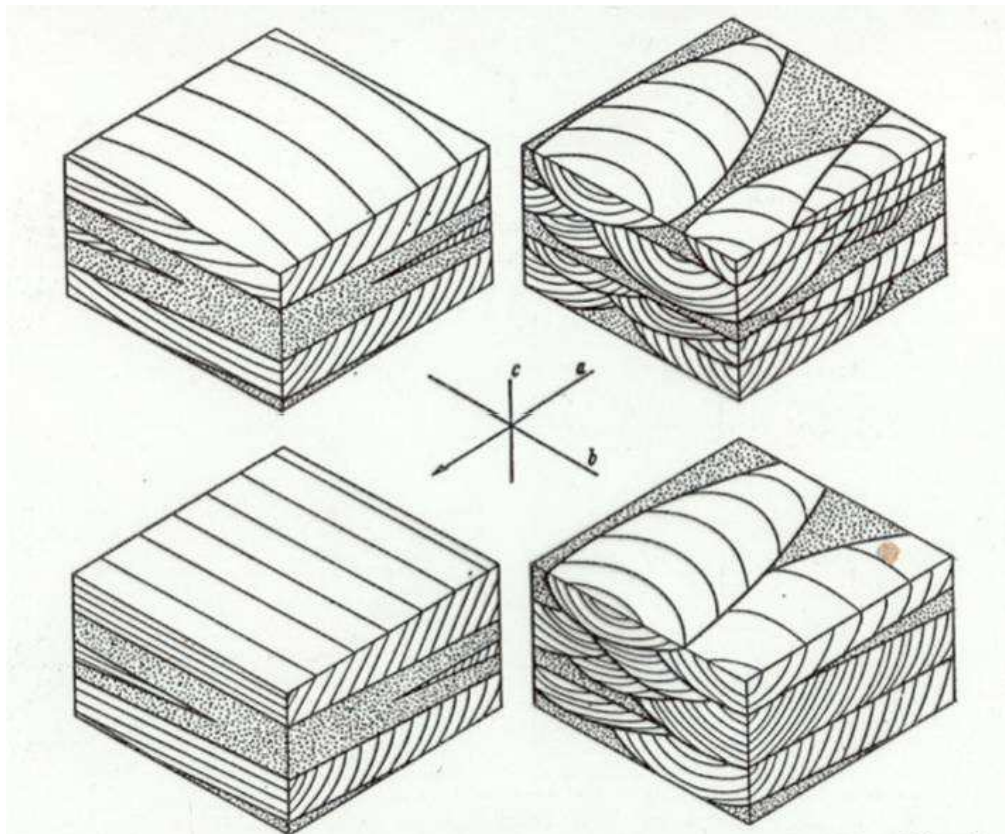


# Šikmé zvrstvení: soustavy čeřin (dun)

Šikmé zvrstvení: laminy  $\wedge$  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).

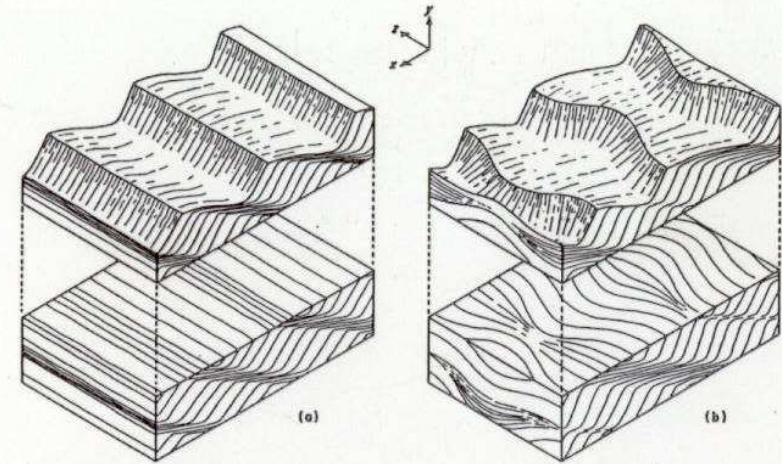


Fig. 9-13. Schematic forms of supercritical cross-stratification in relation to the shape of the parent bedforms.

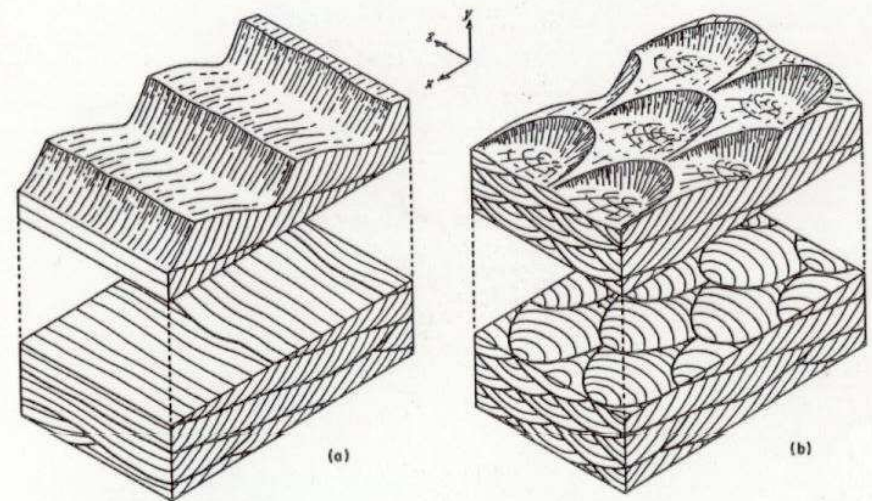


Fig. 9-9. Schematic forms of subcritical cross-stratification in relation to the shape of the parent bedforms.



# Symetrické (vlnové) čeriny

Protisměrná oscilace vodních částicek v důsledku vlnění na hladině

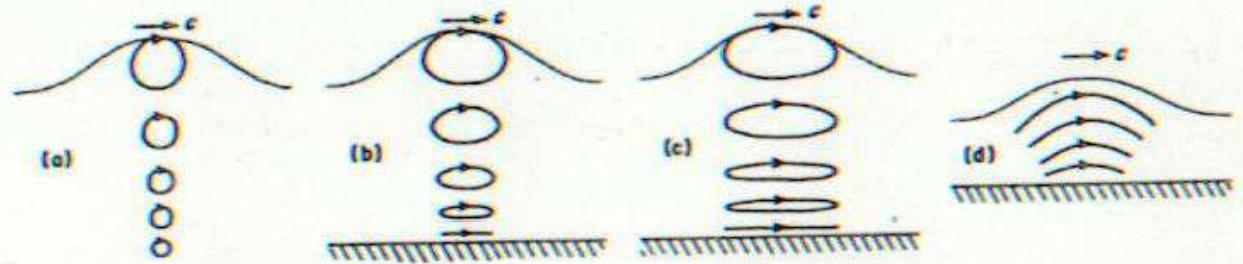


Fig. 1-19. Water-particle orbits beneath progressive surface waves of different types. a. Deep-water waves. b. Waves on water of intermediate depth. c. Shallow-water waves. d. Solitary wave.

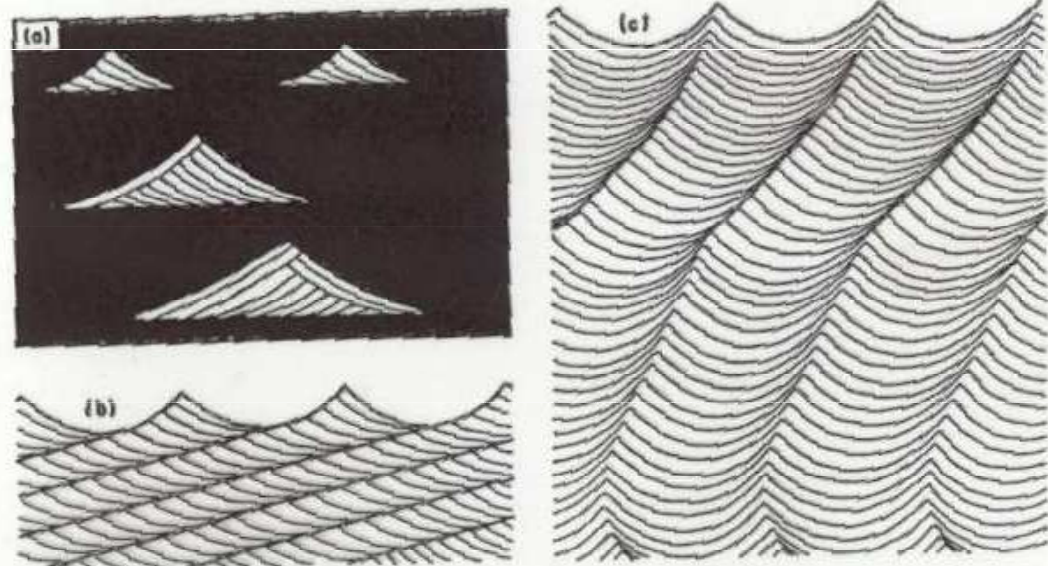
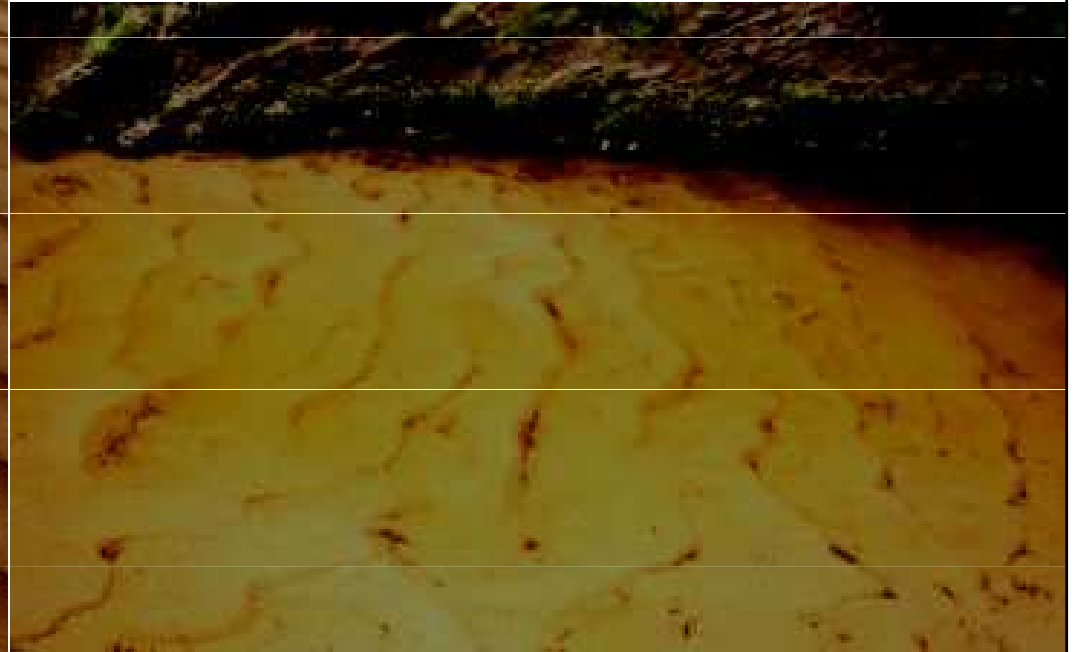
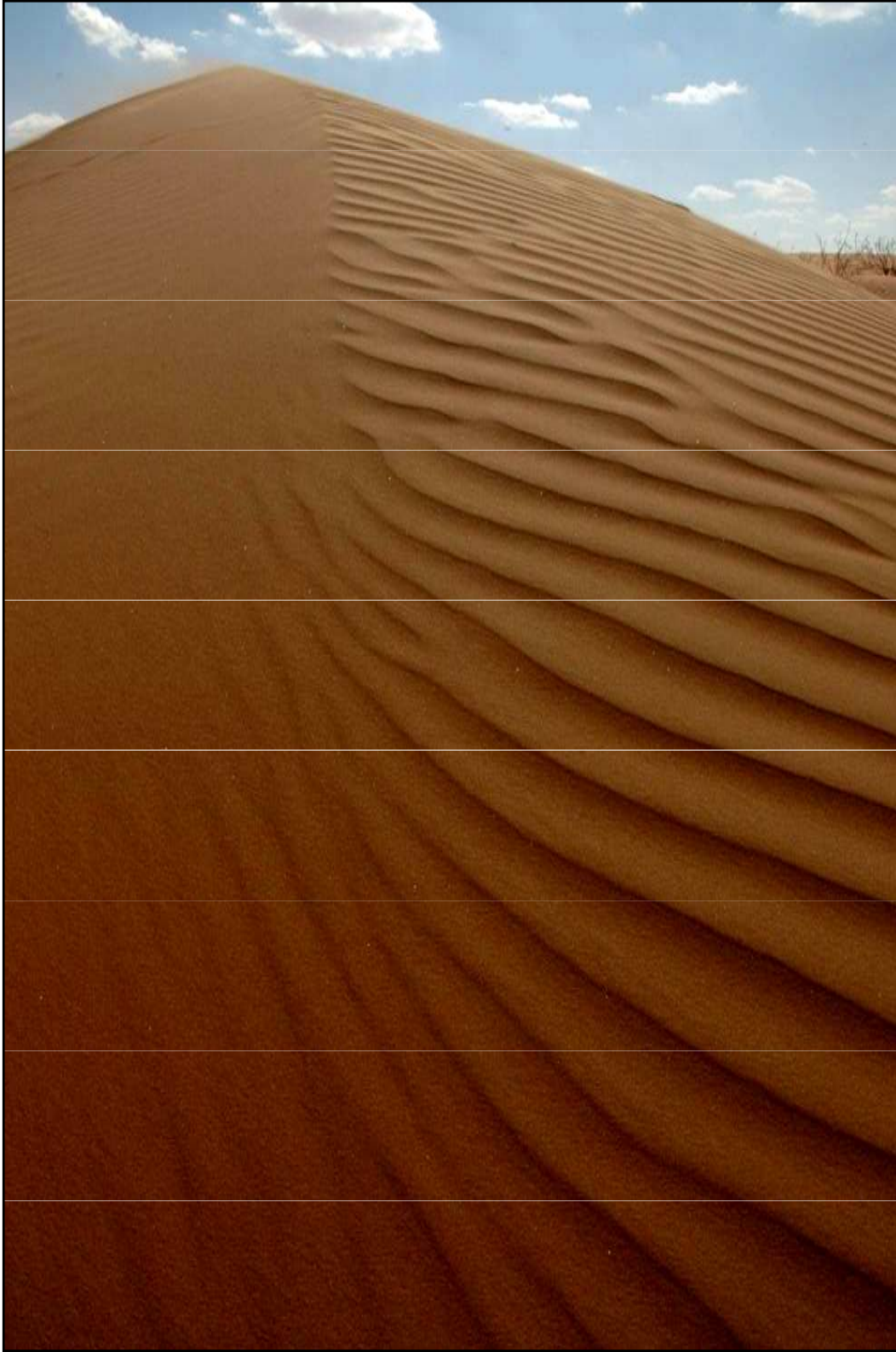


Fig. 11-6. Some kinds of cross-stratification associated with wave-related ripple marks. a. Form sets embedded in mud. b. Subcritical climbing sets. c. Supercritical climbing sets. All examples shown in vertical profile perpendicular to ripple crests.

# Proudové čeřiny





# Vlnové čeřiny







© 2001 Dawn Sumner, UC Davis

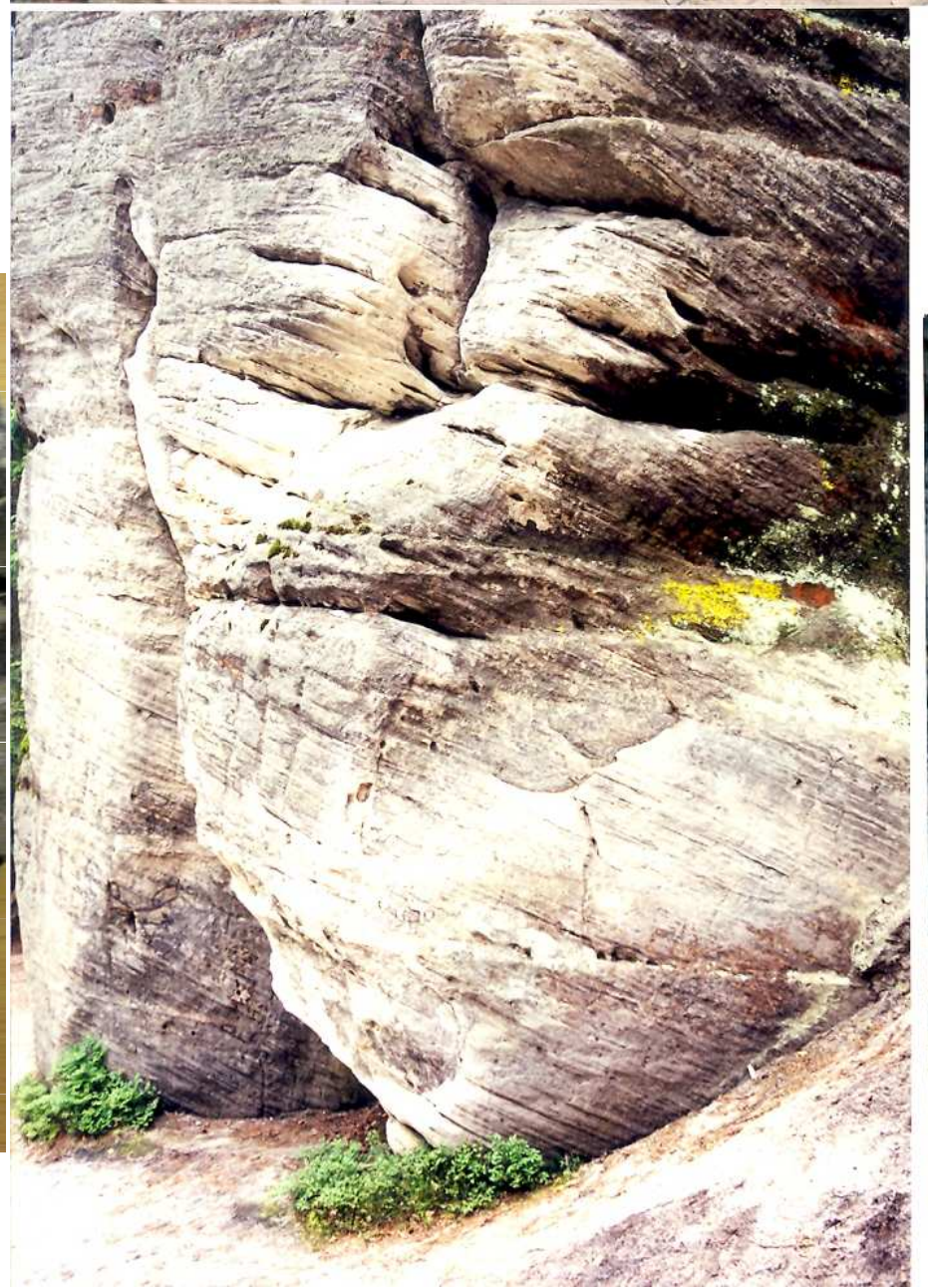
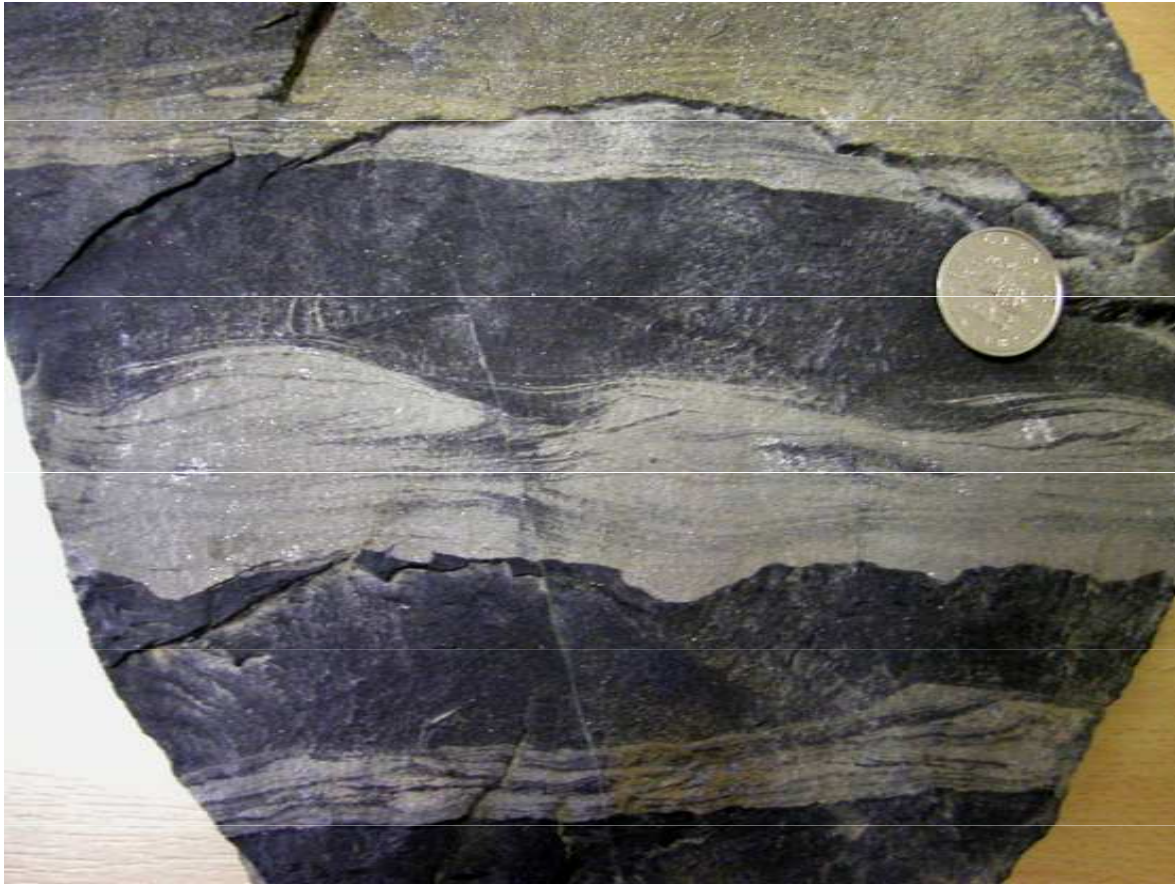


















Storm cross stratification: a mix of hummocky cross stratification and wave ripples, Belt Supergroup, Canada



©2005 DYSumner, UCDavis









# Textury na vrstevních plochách

## zachovalé vrstevní tvary

čeřiny

## proudové textury

Jazykovitý tvar, spodní plochy vrstev, výlitky, směr proudění

Turbulentní proudění, eroze nezpevněného podloží, vyplnění nadložním sedimentem

## vlečné rýhy

Spodní plochy vrstev, výlitky, směr proudění

## bahenní praskliny

Vysoušení jemnozrnného sedimentu

rychlé odvodnění sedimentu pod hladinou

## otisky dešťových kapek

## Biogenní textury (bioglyfy)



# Čeřiny (*ripple marks*)

Nesoudržný sediment



Zpevněná hornina





# Proudové stopy





# Vlečné rýhy





# Prod marks („rýpance“)









# Bahenní praskliny





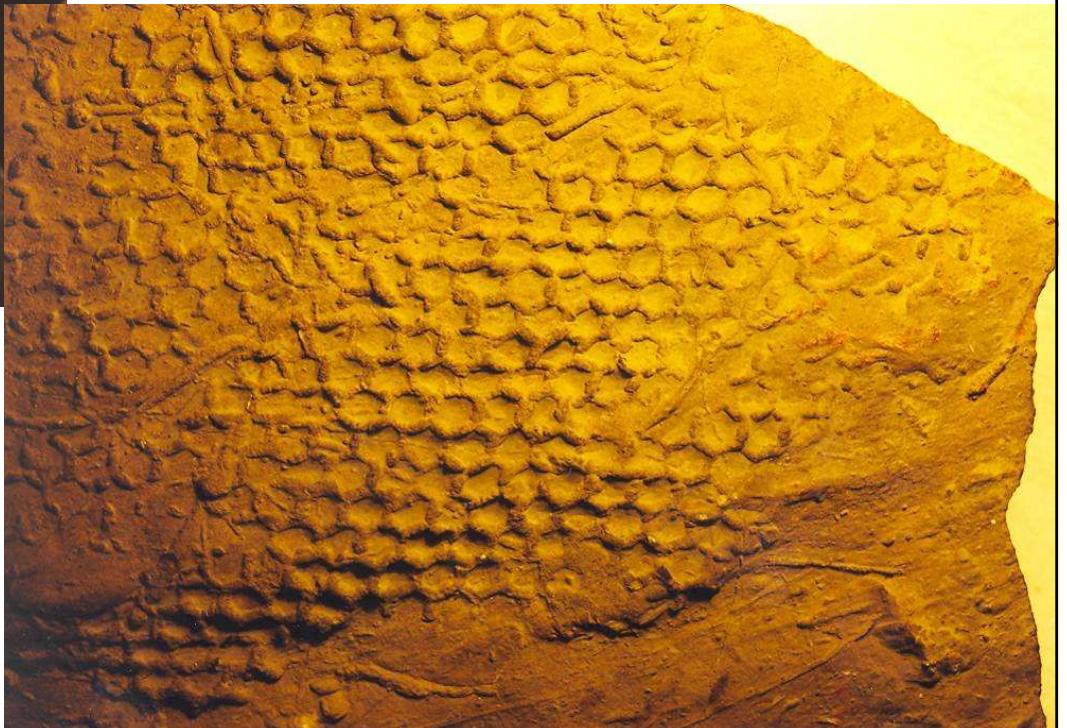
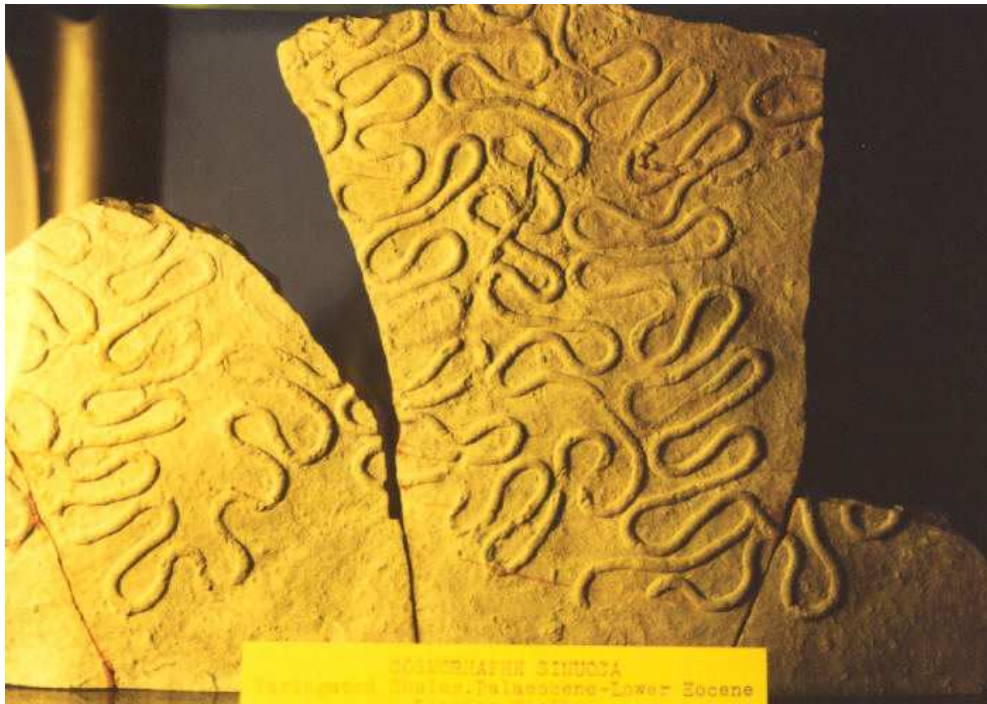




Mudcracked surface of a Neoproterozoic mudstone



# Biogenní textury





# Biogenní textury





# Dinosaur footprint in limestone





# Různé





# Sedimentární petrografie

## sedimentární struktury

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

- **Velikost zrna**
- **Tvar zrna**
- **Vytrídění**
- **Porozita**
- **Permeabilita**

# Velikost zrna (zrnitost)

## Wenworthova zrnitostní klasifikace

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

- Velikost a hustota 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			
-1	2 mm	Granules			
0	1 mm	Very coarse sand	Sandstone (arenite, wacke)	Epiclastic arenitic	
1	1/2 mm	Coarse sand			
2	1/4 mm	Medium sand			
3	1/8 mm	Fine sand			
4	1/16 mm	Very fine sand			
8	1/256 mm	Silt Clay	Mud	Siltstone, shale, mudstone, claystone	Epiclastic lutitic

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



# Zjednodušená Wenworthova klasifikace

oblázky

zrnka

písek

prach (silt)

jíl

**velmi hrubozrnný**

**hrubozrnný**

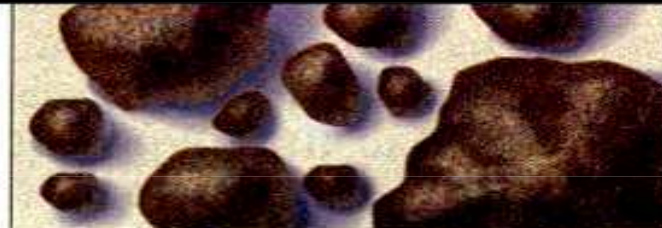
**středně zrnitý**

**jemnozrnný**

**velmi jemnozrnný**

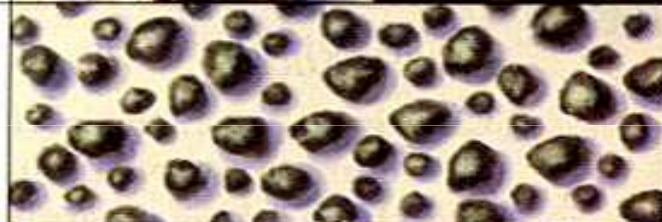
Pebbles

4–64 mm



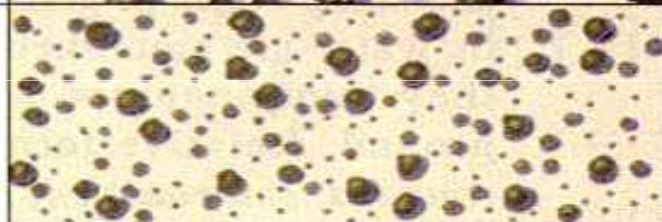
Granules

2–4 mm



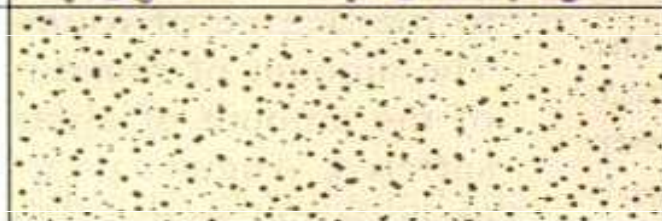
Coarse sand

0.5–2 mm



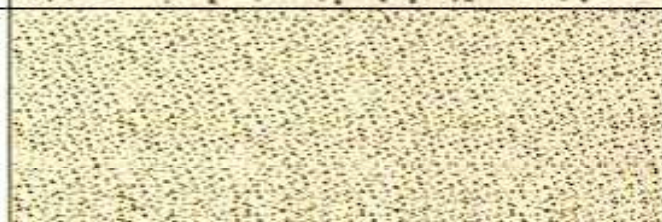
Medium sand

0.25–0.5 mm



Fine sand

0.06–0.25 mm



Silt

0.004–0.06 mm



Clay

< 0.004 mm

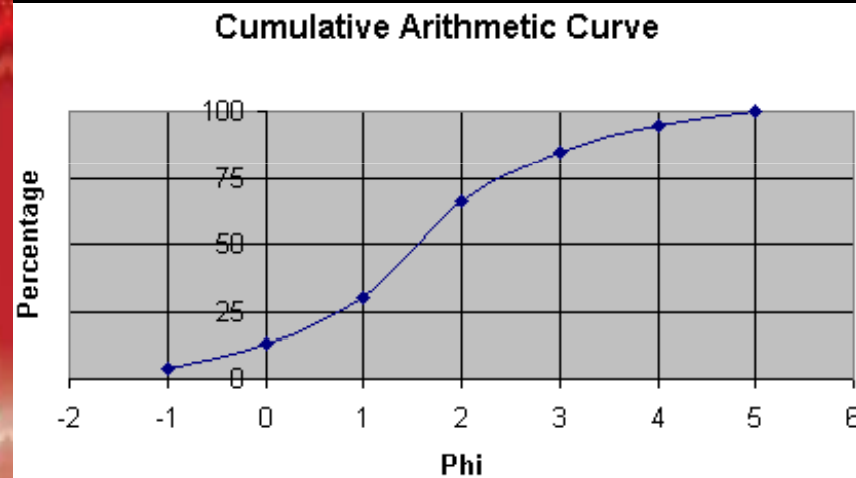
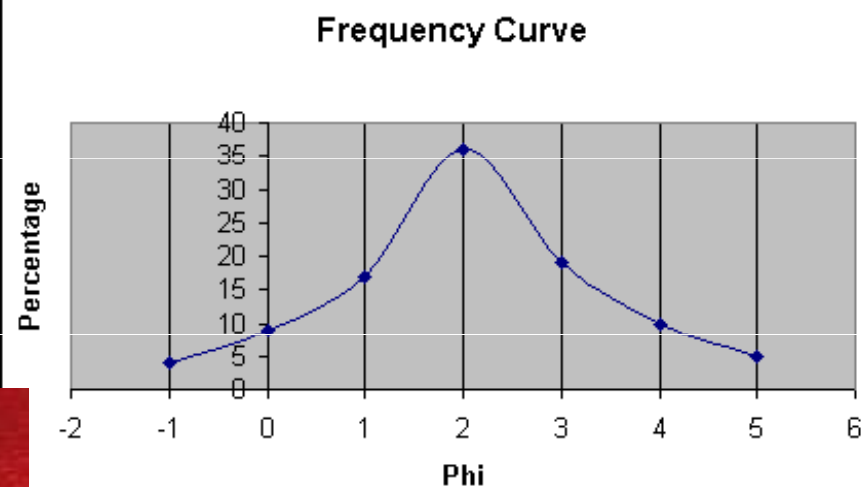
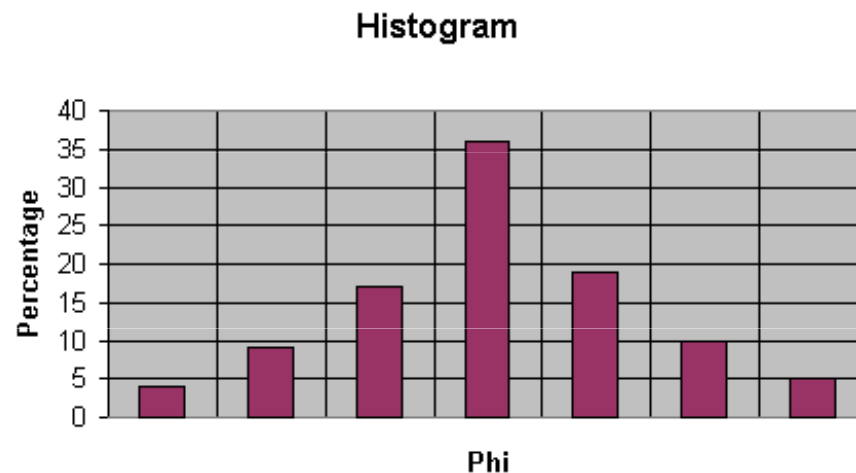


# Vytřídění

- Kvalitativní odhad

Gaussovy křivky, kumulativní křivky

- vytřídění a velikost klastů generovaných během zvětrávání ve zdrojové oblasti
- abrazní a třídící schopnosti transportního média (vítr, voda, led)





## (2) Stupeň vytrídění



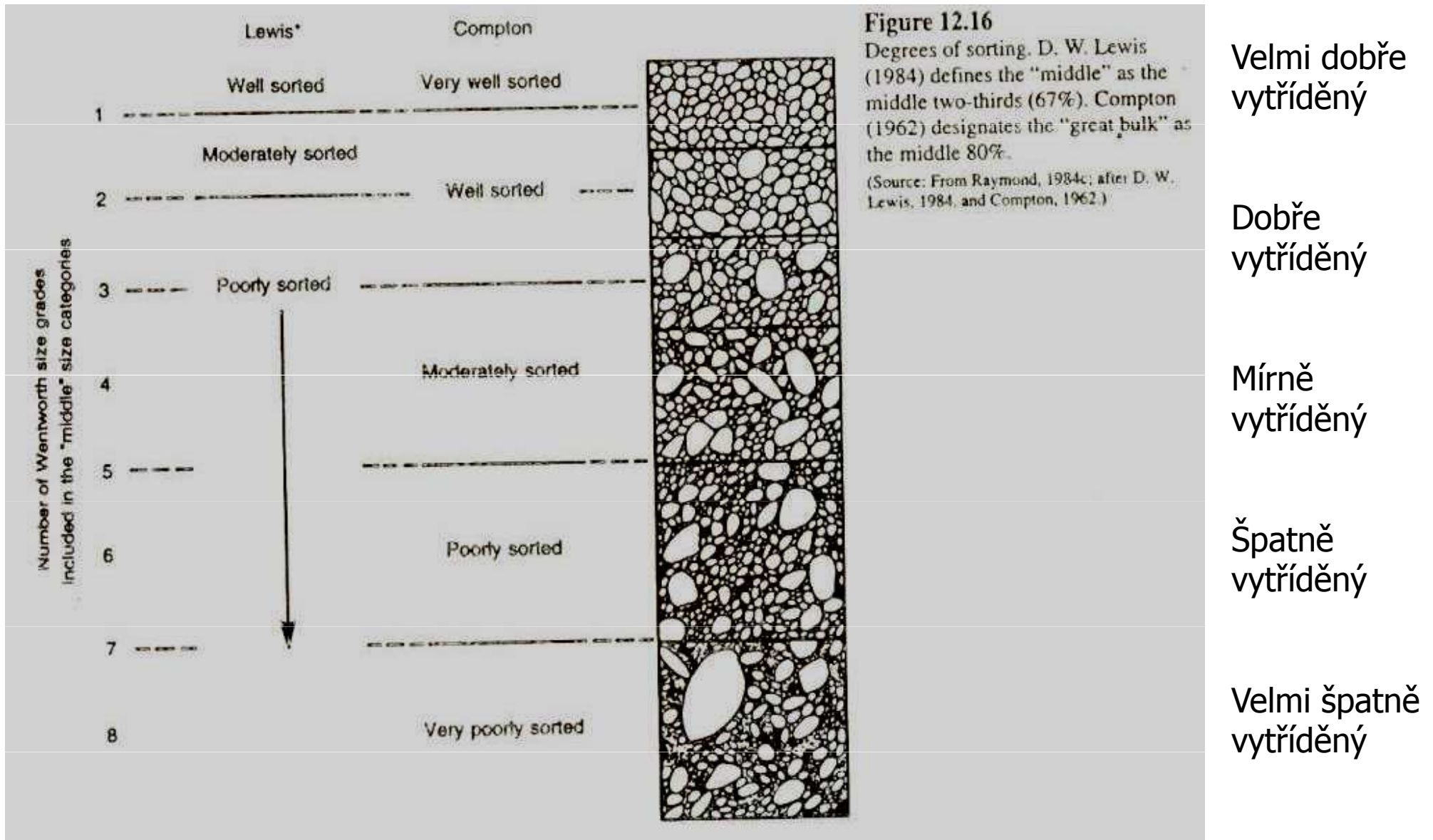
Well-sorted sand



Poorly sorted sand

Vytrídění: Míra podobnosti velikostí zrn ve vzorku horniny

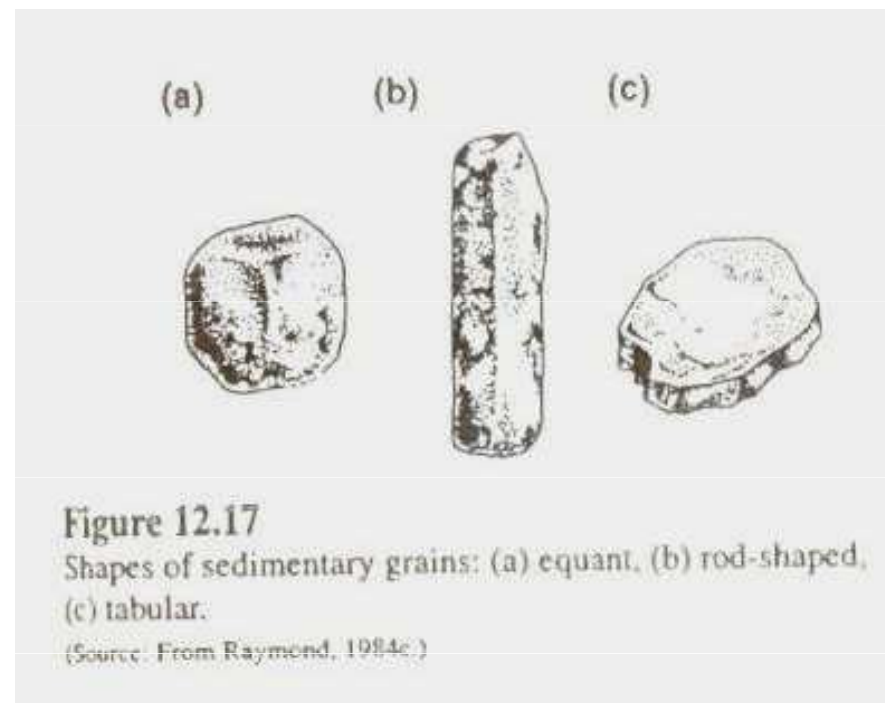
# Vytrídění: kvalitativní odhad





# Tvar zrna

- **Tvar zrna je 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)

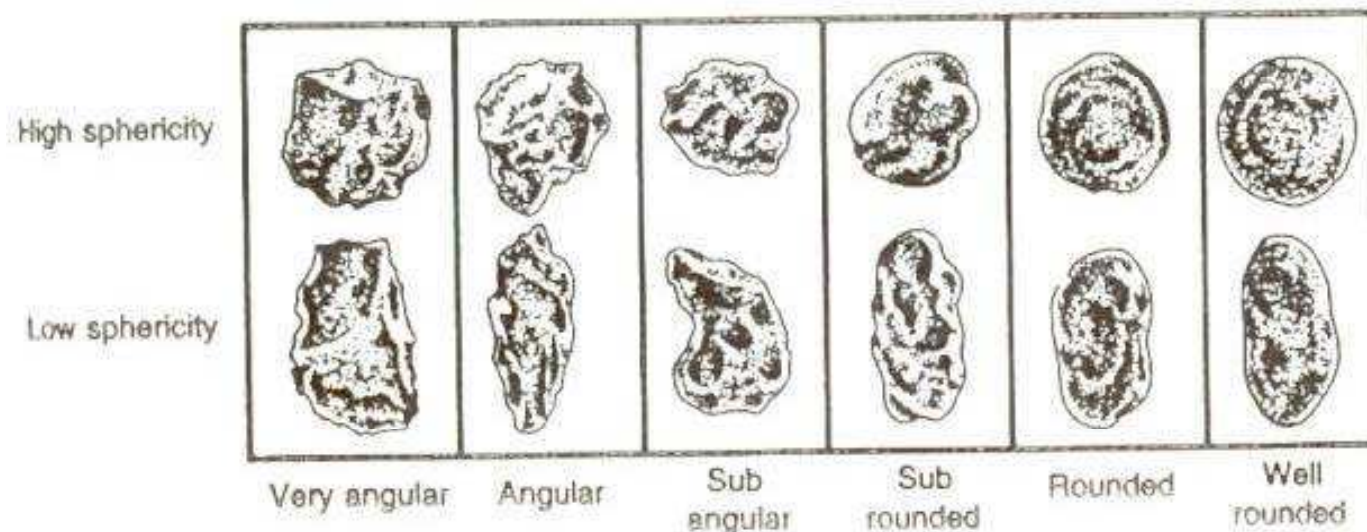


**Forma** – (celkový tvar) –  
izomorfní, tabulkovitý, tyčovitý

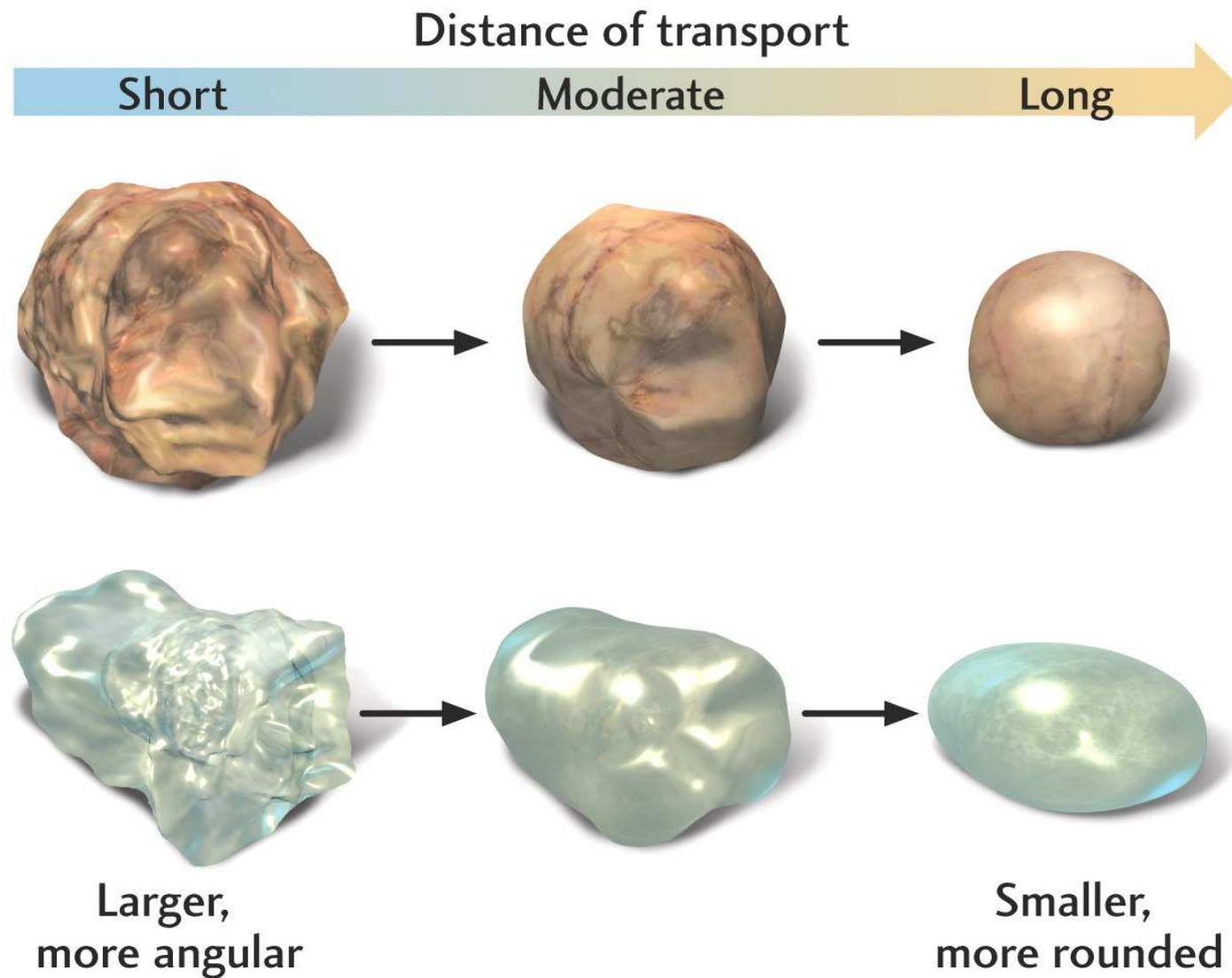
**Sféricita** – jak moc se zrna  
tvarově blíží kouli

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

**Povrchová mikrostruktura**



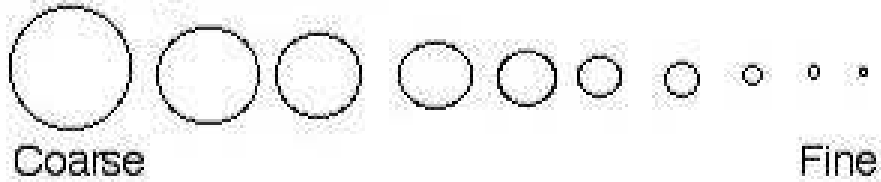
(3) Zaoblení nebo ostrohrannost je funkcí délky transportu



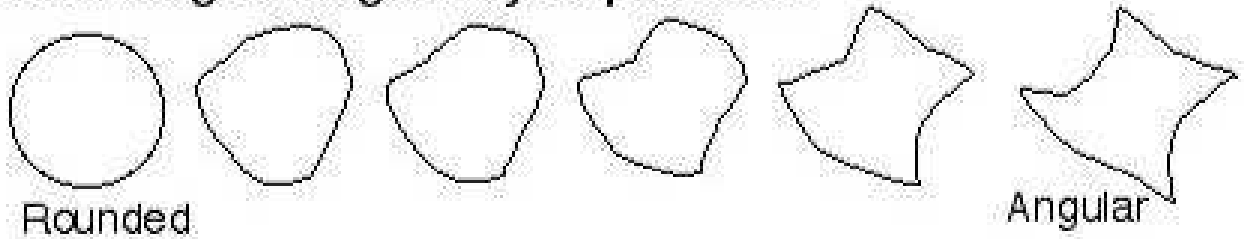


# Struktury sedimentu

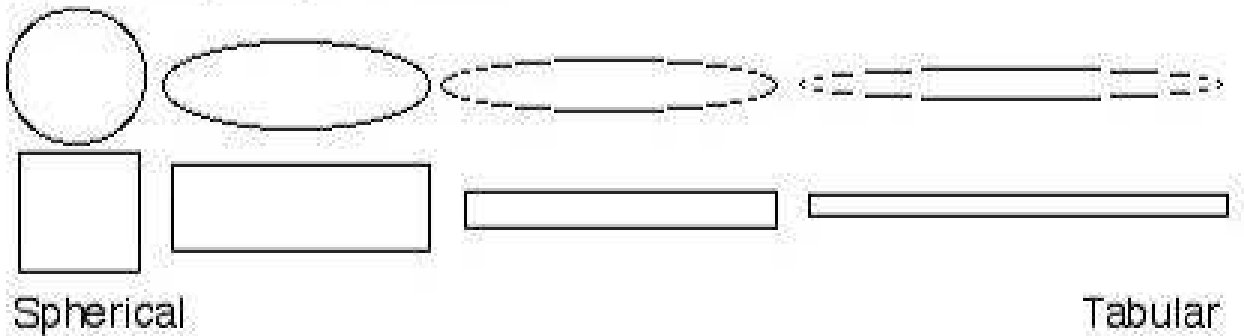
## Size of particles



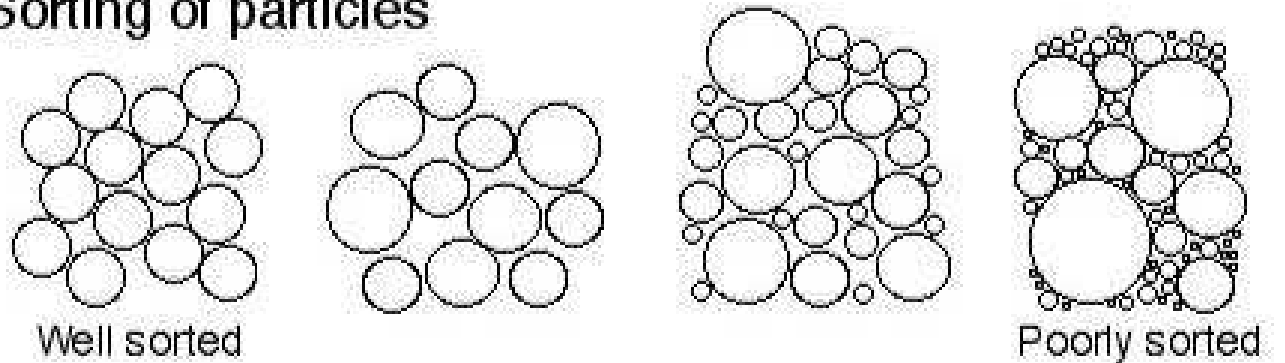
## Rounding or angularity of particles



## Sphericity of particles



## Sorting of particles



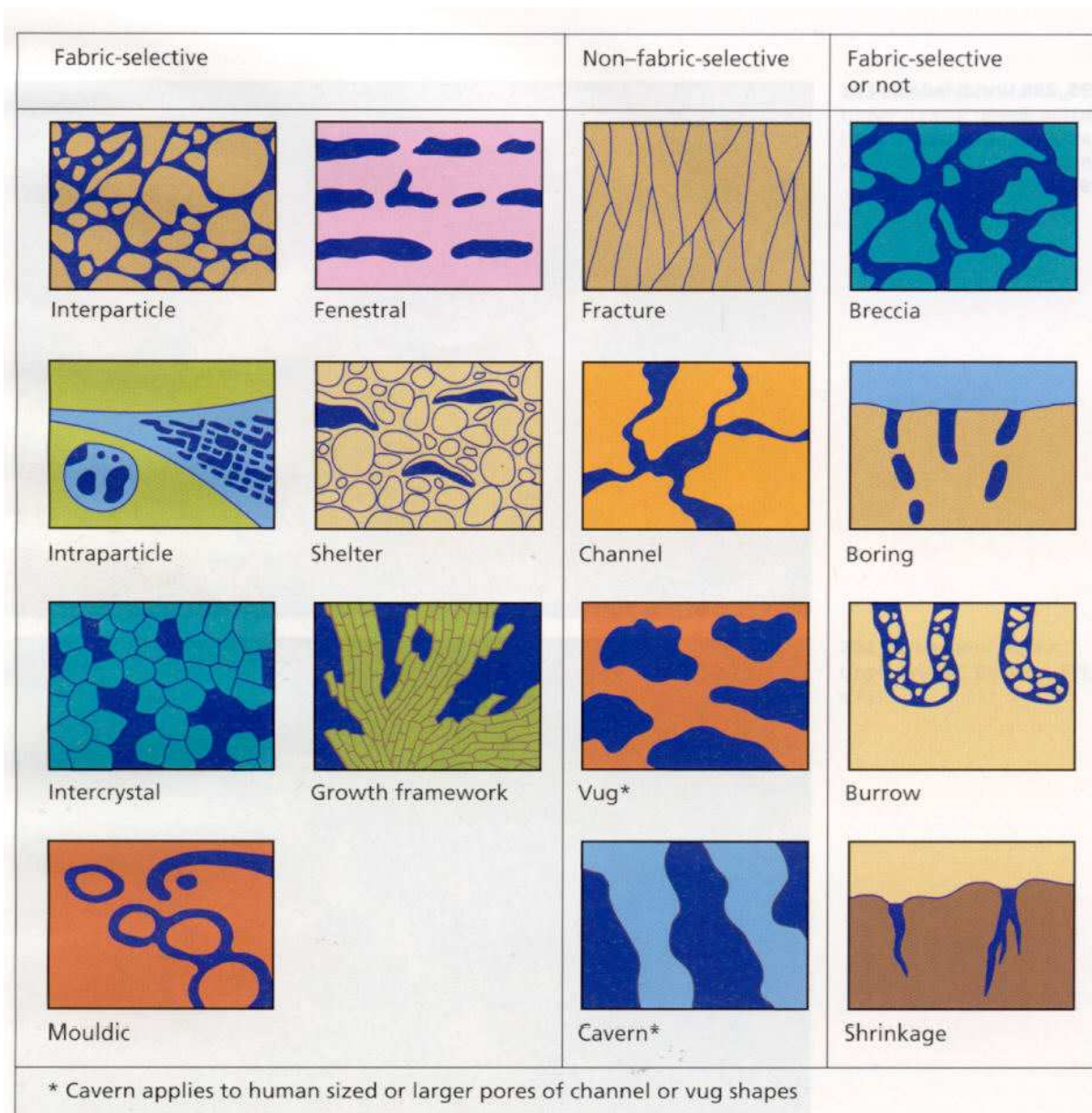
# Porozita a permeabilita

## Porozita

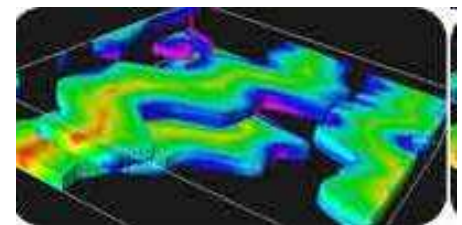
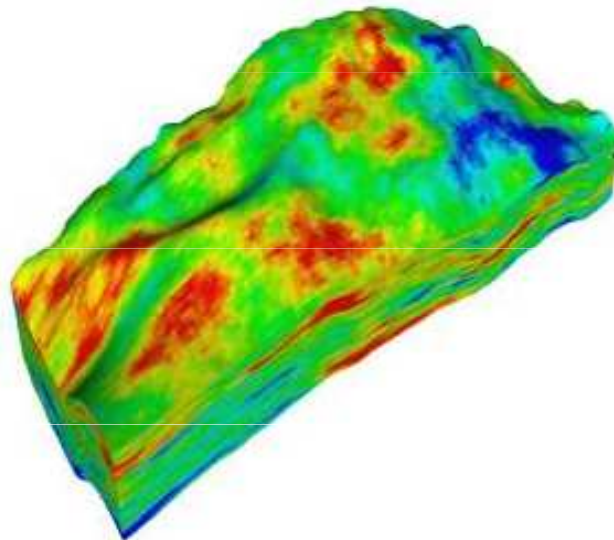
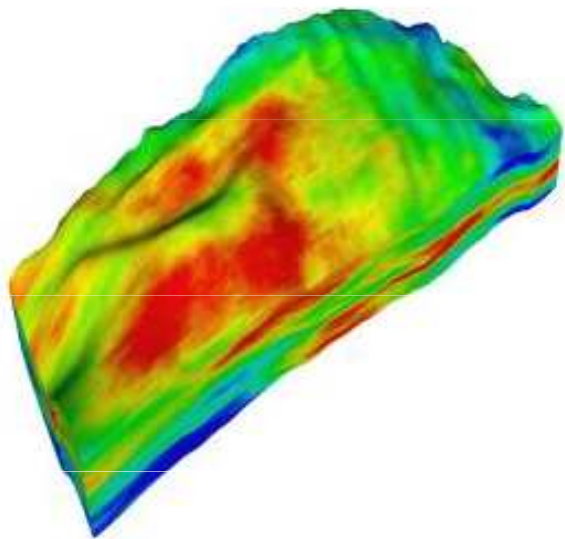
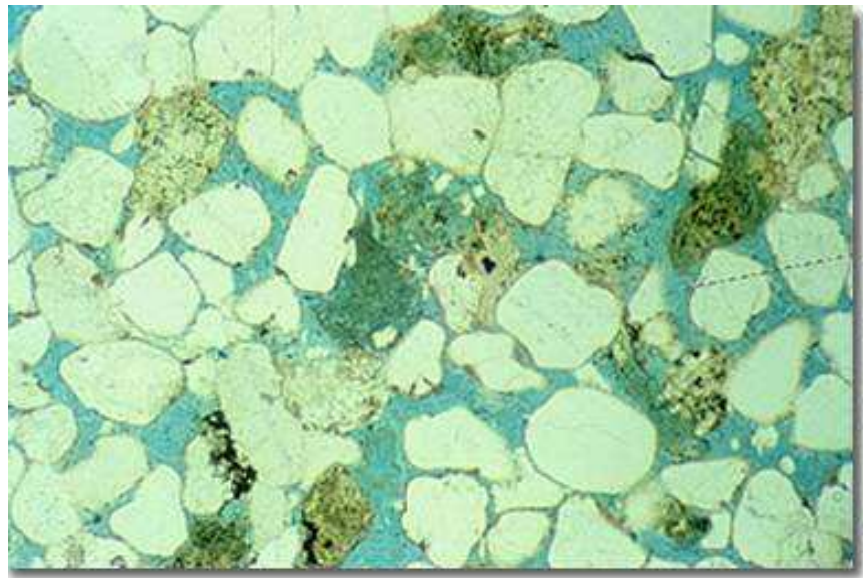
- Objem prostor vyplněných plynem nebo kapalinou (pórů) vůči celkovému objemu horniny
- **Intergranulární**
- **intragranulární**
- **puklinová**
- **Kavernózní**
- **Moldická**
- **interkrystalinní**
- **Brekciovitá**
- **atd.**

## Permeabilita

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







# Klasifikace sedimentů

## Typy materiálu v 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 sedimentů podle materiálu

## Klastické

- siliciklastické (skupina S, siliciklastika)
- vulkanoklastické

## Chemogenní nebo cementační (skupina P, precipitáty)

## Biogenní nebo organogenní

- skupina A, alochemické horniny
- kaustobiolity





# Klastické sedimenty

**Psefity**

**Psamity**

**Aleurity**

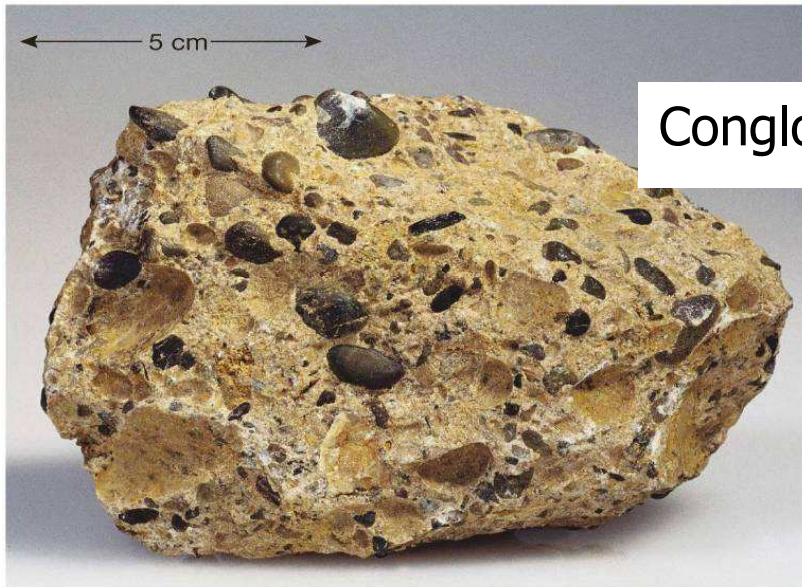
**Pelity**

# Klasifikace klastických sedimentů podle převládající velikosti částic

Velikost částic	Petrografické označení			Vulkanoklastika		Vápence	Reziduální horniny
	latinské	řecké	české				
Nad 256 mm	psefit	rudit	štěrk	balvanitý	vulkanické balvany a bloky, blokové a balvanové tufy,	kalcirudit	úlomková rezidua
64-256				hrubozrnný	vulkanické kameny a aglomerátové tufy		
8-64				střednozrnný	lapilli, lapiltové tufy		štěrková rezidua
2-8				drobnozrnný	lapilli, lapiltové tufy		
1-2 mm	psamit	arenit	písek	velmi hrubozrnný	pískový tuf, vulkanický písek	kalciarenit	písková rezidua
0,5-1				hrubozrnný			
0,25-0,5				střednozrnný			
0,125-0,25				jemnozrnný			
0,062-0,125				velmi jemnozrnný			
0,004-0,062	alenrit	lutit	prach		vulkanický popel, popelový tuf, sopečný prach	kalcilutit	jílová rezidua
> 0,004				pelit			



# Detrital sedimentary rocks- classified by grain size differences



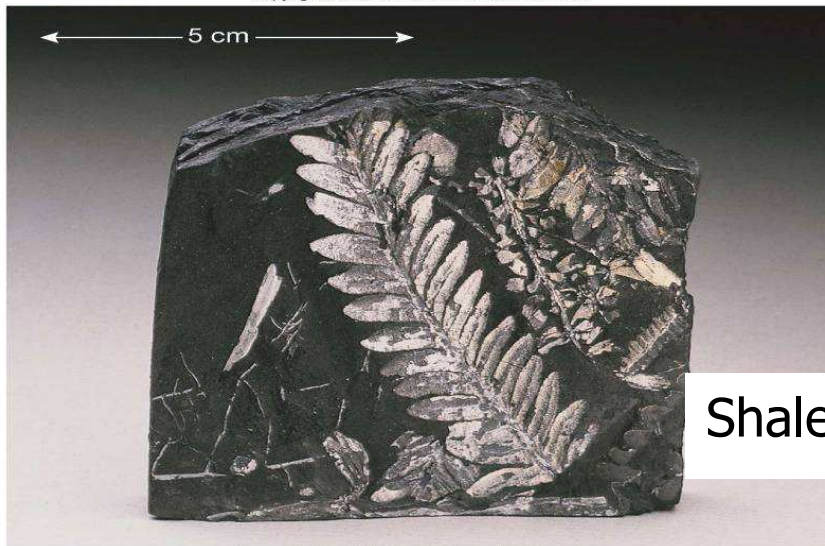
Conglomerate

Copyright © 2005 Pearson Prentice Hall, Inc.



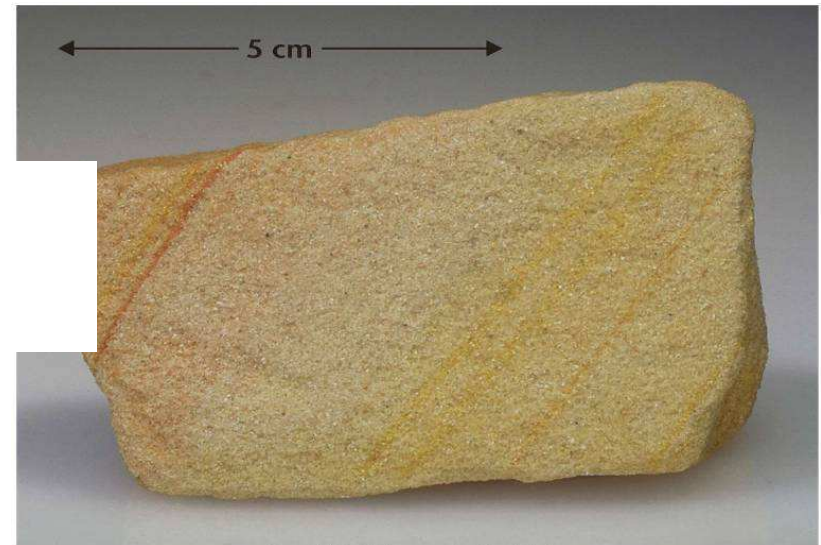
Breccia

Copyright © 2005 Pearson Prentice Hall, Inc.



Shale

Copyright © 2005 Pearson Prentice Hall, Inc.



Sandstone

Copyright © 2005 Pearson Prentice Hall, Inc.

All these rocks have *clastic* textures – the rocks are composed of particles (fragments) that are cemented together

# Psefity

## Základní charakteristika

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

## 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)



# Brekcie

- *Brekcie* jsou zpevněné horniny ze skupiny *psefitových sedimentů*. Velikost úlomků (klastů) je větší než 2 mm. Valouny, z nichž zpevněním (diagenezí) brekcie vznikaly, neprodělaly žádný nebo jen minimální transport, a proto jsou *ostrohranné*.
- Brekcie lze rozdělit podle geneze na endogenní a exogenní.
  - *endogenní brekcie* : *vulkanické* (také lávové nebo intruzivní) brekcie a *dislokační*, vznikající při tektonických procesech.
  - *Exogenní brekcie* se dále dělí podle vzniku do čtyř skupin:
    - vzniklé mechanickými procesy na souši – brekcie vytvářejí zpevněné skalní sutě, pouštní rezidua apod.;
    - vzniklé mechanickými procesy ve vodním prostředí např. při podmořské erozi, skluzu, příboji apod.;
    - vzniklé fyzikálně-mechanickými procesy např. v krasových oblastech nebo při rozpouštění na solných ložiskách;
    - vzniklé biogenními procesy, při nichž se brekcie vytvářejí např. stmelením úlomků kostí.
- Podle *mineralogického složení klastů*
  - *Monomiktní brekcie* je tvořena úlomky pouze jediného minerálu nebo horniny a lze ji v tomto případě přesněji pojmenovat – např. vápencová nebo dolomitová brekcie.
  - *Oligomiktní brekcie*: skládá se ze dvou sobě blízkých typů klastů (např. křemen a křemenem bohaté horniny)
  - *Polymiktní (petromiktní)* - tvořena rozmanitými úlomky minerálů a hornin (3, 4 i více typů klastů)
- Podle podílu klastů nad 2 mm
  - *s valounovou podpůrnou strukturou*
  - *s podpůrnou strukturou matrix*

# Brekcie





*Obr. 3.1.2 Brekcie vulkanická, Děče u Křivoklátu*



# Konglomeráty (slepence)

Konglomeráty: úlomky prodělaly delší transport, a tak jsou subangulární až oválné.

Řada slepenec – pískovec

**ŠTĚRK** : slepenec **-50-** písčítý slepenec **-25-** valounový pískovec **-10-** pískovec : **PÍSEK**

**Základní hmota** (matrix) konglomerátů mohou tvořit také psamitické, aleuritické i pelitické součásti. Matrix má nejčastěji povahu pískovců, arkóz a drob, ale může obsahovat také tmel (např. křemičitý, karbonátový aj.).

Dělení podle mineralogického složení **klastů**

- *Monomiktní*
- *oligomiktní*
- *Polymiktní (petromiktní)*

**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)

Značný význam ve stratigrafii mají tzv. **bazální slepence**, spočívající na bázi transgresivní sedimentární série a jsou podkladem série dalších sedimentů. Pomocí nich je možné určit relativní stáří hornin.









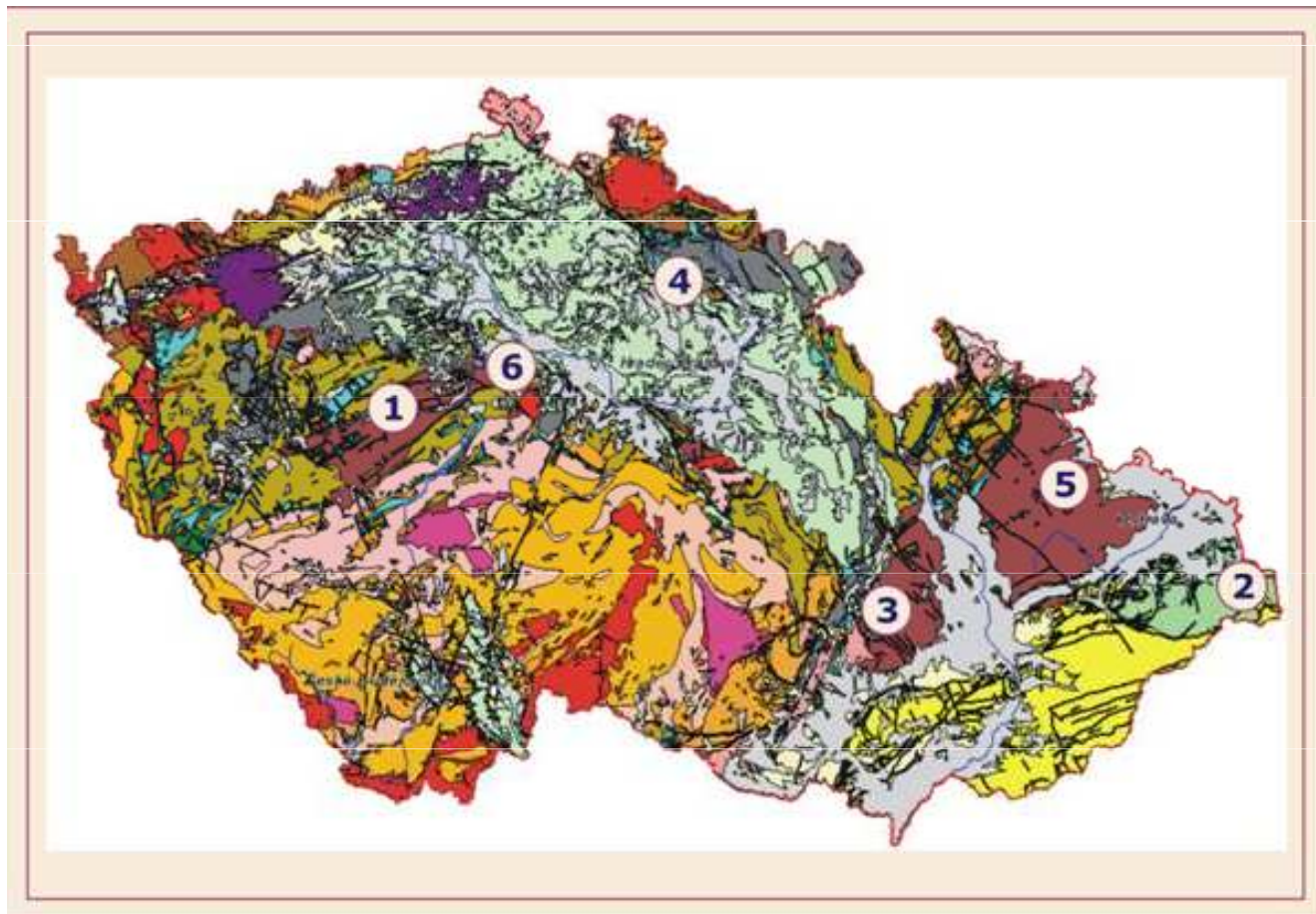
Close up





# Regionální rozšíření

- Konglomeráty se nacházejí např. v brdském a příbramském kambriu, namuru ostravsko-karvinského revíru, bazálních polohách moravského devonu, v barrandienském kambriu a ordoviku, v Podkrkonoší, u českého Brodu, v moravském kulmu.



# Psamity

## Základní charakteristika

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

## Řada psamit - pelit

**PÍSEK** : pískovec **-50%-** jílovitý pískovec **-25-** písčitý jílovec **-10-** jílovec (jílovitá břidlice) : **JÍL**

## 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 (Kukal 1985)*

- křemen + stabilní zrna
- živce + nestabilní minerály
- matrix (< 0,063 mm)

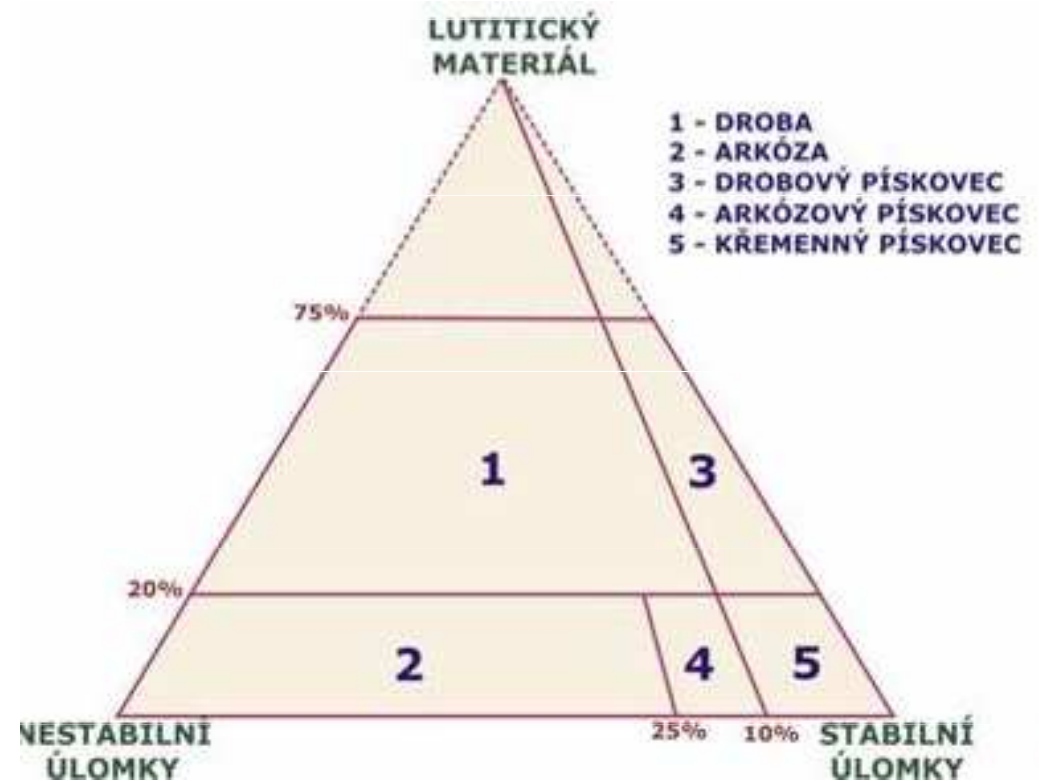
Křemenný pískovec

arkózový pískovec

drobovitý pískovec

arkóza

droba



# Pískovec

- ***Pískovec***
- *zpevněný psamitický sediment.*
- > 80% stabilních klastů v psamitické frakci
  - Křemen
  - Úlomky stabilních hornin (rohovce, silicity, křemenné žíly)
- < 20% nestabilních úlomků v psamitické frakci
  - Živce
  - Biotit
  - Muskovit
  - chlorit
  - těžké minerály
  - úlomky nestabilních hornin
- do 20% aleuropelitického materiálu (lutitu)
  - jílové minerály
  - Chlorit
  - sericit
  - prachová příměs křemene a živcových zrn
- Cement (tmel)
  - Křemitý
  - Karbonátový
  - železitý



*Obr. 3.1.9 Pískovec křemenný, Kralupy nad Vltavou*





Obr. 3.1.10 Pískovec, ždánická jednotka, Ježov u Kyjova





Obr. 3.1.12 *Pískovec glaukonitický, Šance - Řečice*

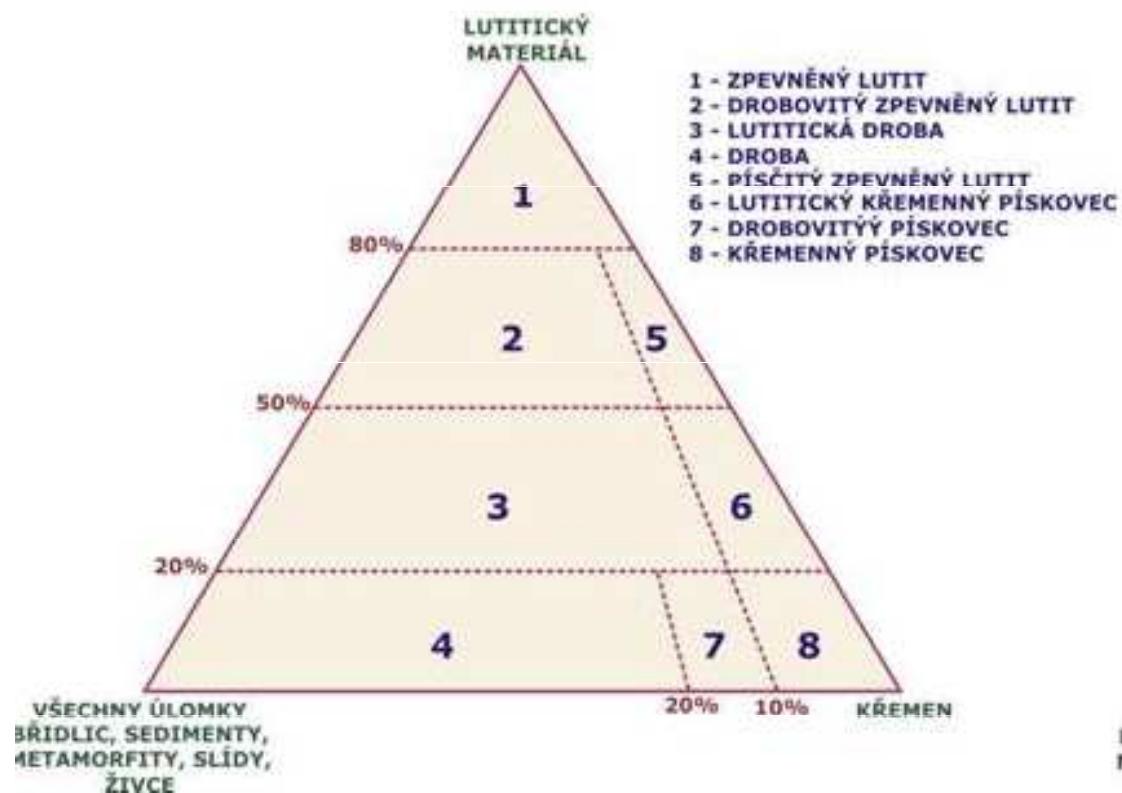




# Droba

- **Droba**
- *zpevněný psamitický sediment.*
- > 20% nestabilních úlomků v psamitické frakci
  - Sedimenty
  - Metamorfika
  - Magmatity
  - Živce
  - Biotit
  - Muskovit
  - chlorit
  - těžké minerály.
- do 20% aleuropelitického materiálu (lutitu)
  - jílové minerály
  - Chlorit
  - sericit
  - prachová příměs křemene a živcových zrn

Obr. 3.1.13 Klasifikační schéma klastických sedimentárních hornin droba - pískovec (upraveno podle Konty, 1972)







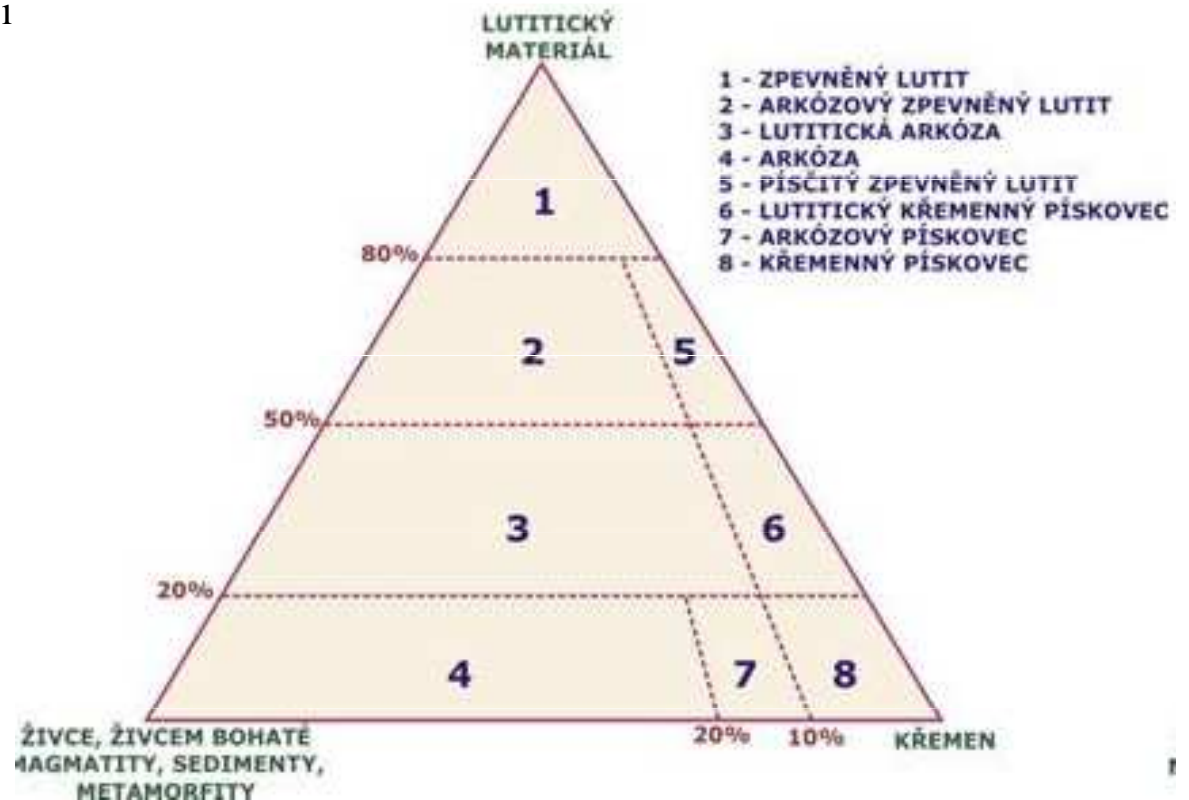
droby



# Arkóza

- *Arkóza*
- *zpevněný psamitický sediment.*
- > 20% nestabilních úlomků v psamitické frakci
  - živce
  - Kydelé magmatity
  - ruly
  - chlorit
  - muskovit
  - Muskovit
  - biotit
  - těžké minerály.
- do 10 % psefitické frakce
- do 20% aleuropelitického materiálu (lutitu)
  - jílové minerály
  - Chlorit
  - sericit
  - prachová příměs křemene a živcových zrn
- Cement (tmel)
  - Křemen
  - Karbonáty
  - Oxy/hydroxidy Fe

Obr. 3.1.18 Klasifikační schéma klastických sedimentárních hornin arkóza - pískovec (upraveno podle Konty, 1972)



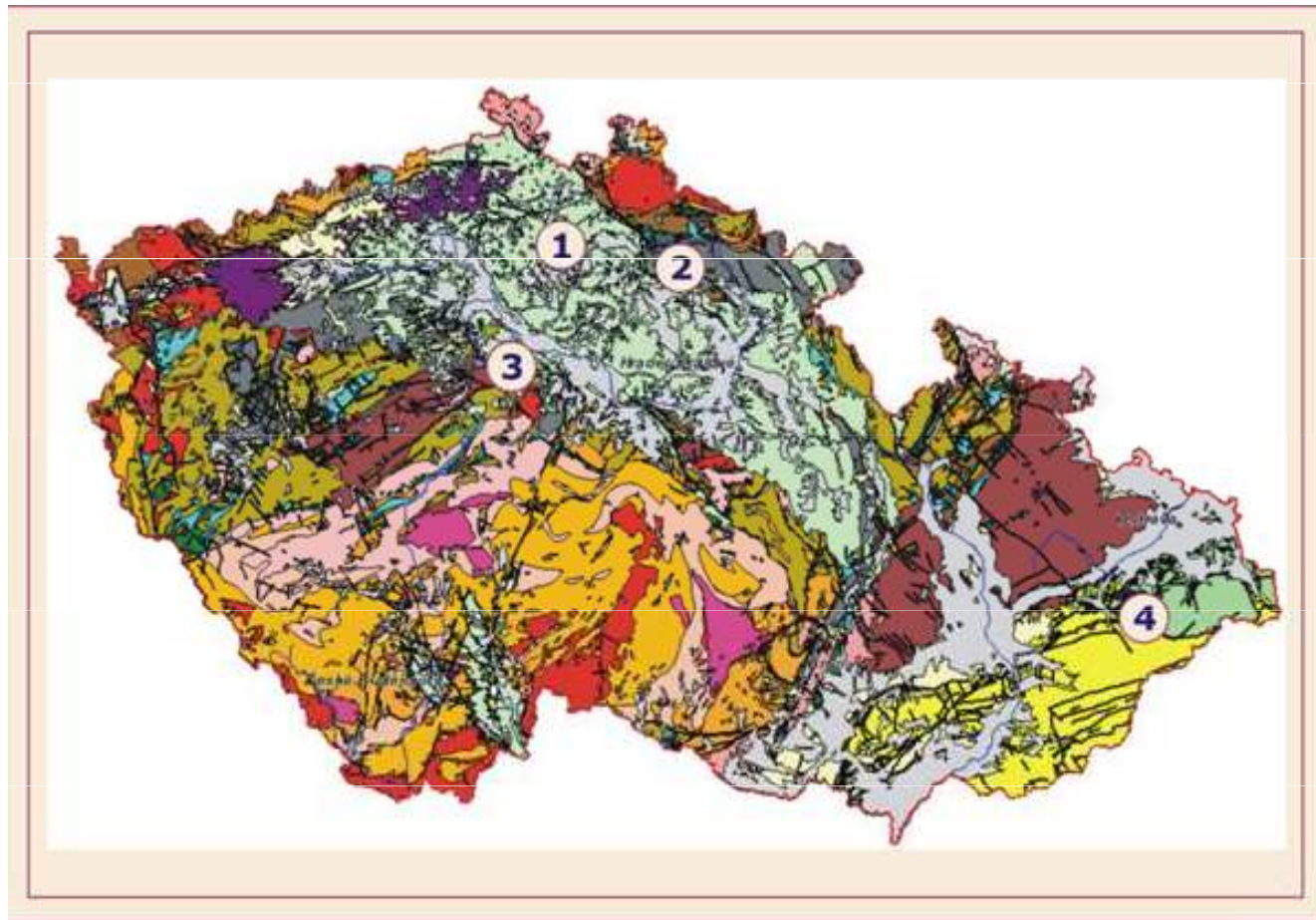




# Regionální rozšíření pískovců

Pískovce jsou v České republice běžnou sedimentární horninou. Rozšířené jsou v české křídě – např. v Českosaském Švýcarsku, Českém Ráji, Teplických a Adršpašských skalách, kde vytváří známá skalní města. Tyto pískovce jsou charakteristické dobrou vytřídností a přítomností kaolinitu v matrix. Pokud obsahují navíc glaukonit, získává hornina zelenou barvu (s rostoucím množstvím je zelená sytější).

V podkrkonošském a českobrodském permokarbonu jsou pískovce často hnědočerveně zbarveny hematitem. Pískovce karpatského flyše mají barvu světle šedou nebo slabě nazelenalou.





# Psamity: provenience

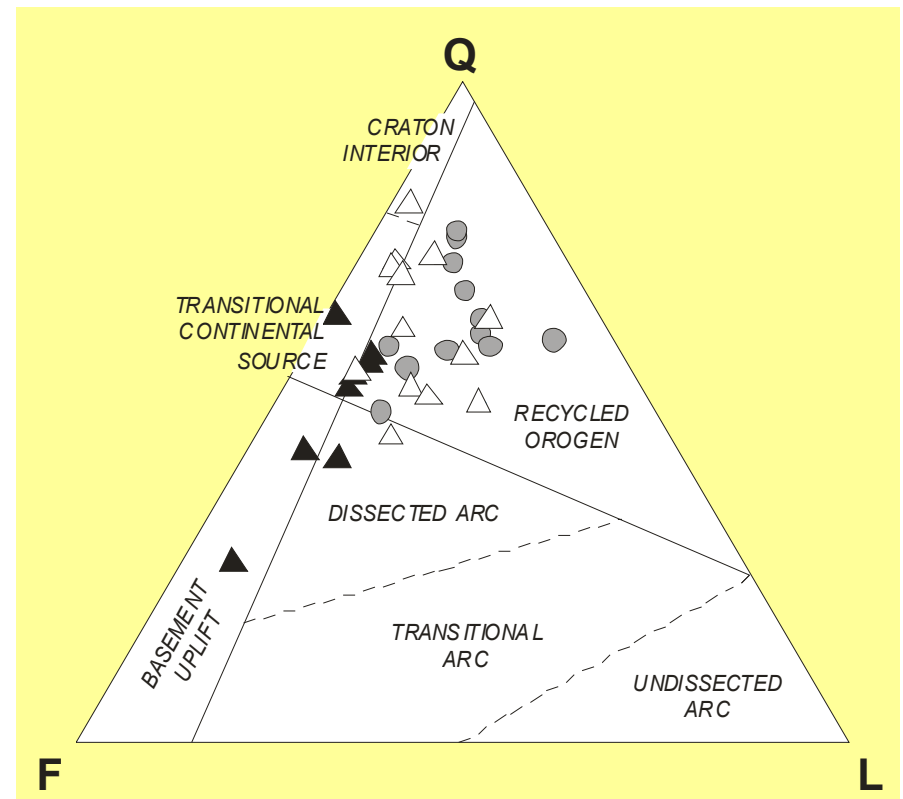
## Klasifikace podle složení klastů

*trojúhelníkový diagram (matrix je ignorována)*

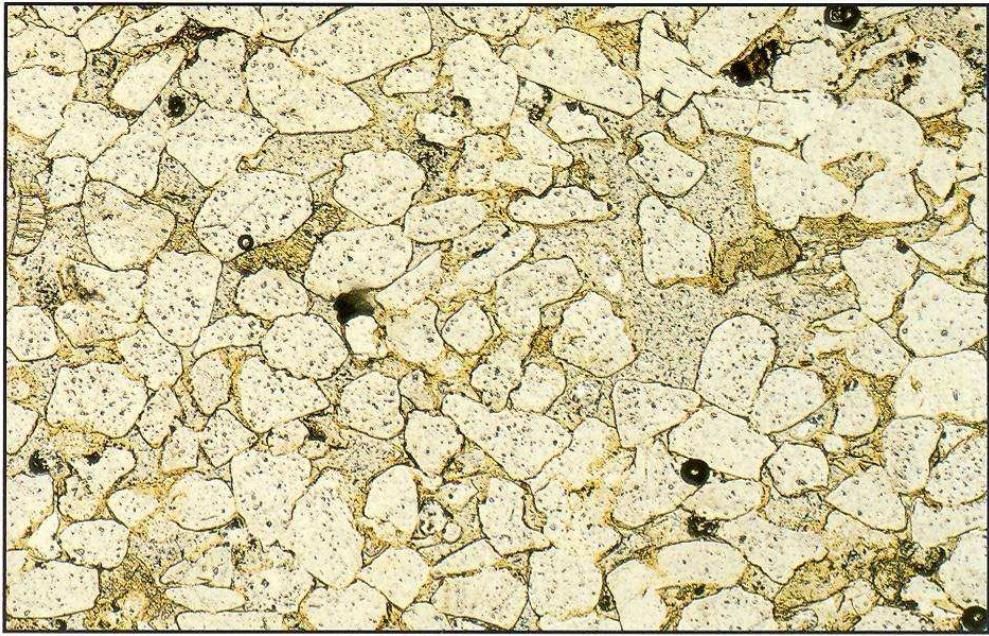
- Křemen (Q) --- živce (F) --- fragmenty nestabilních hornin (L)

## 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).



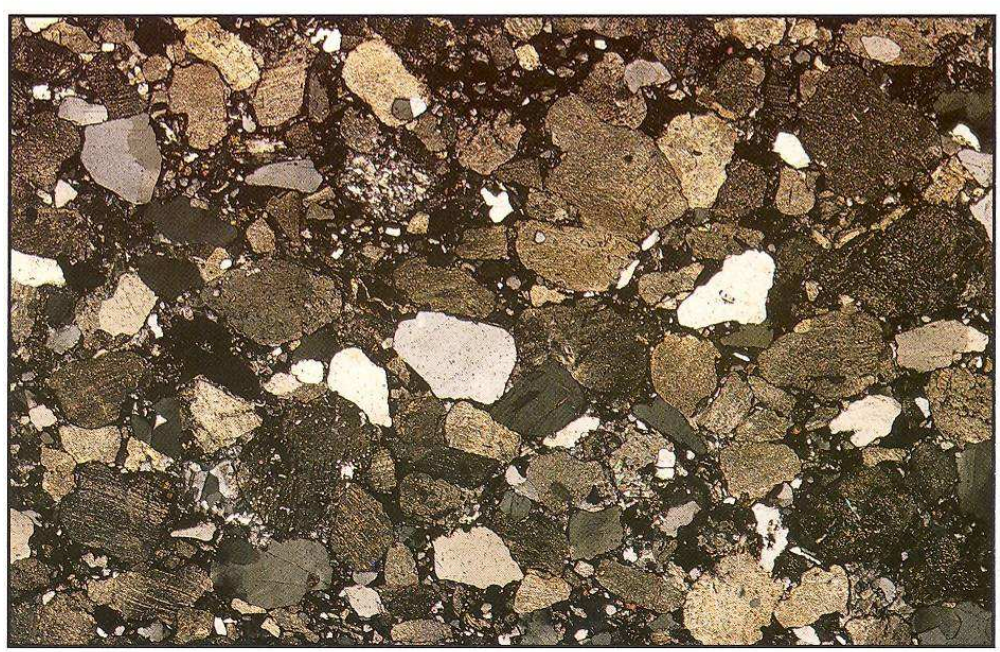
11

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



11

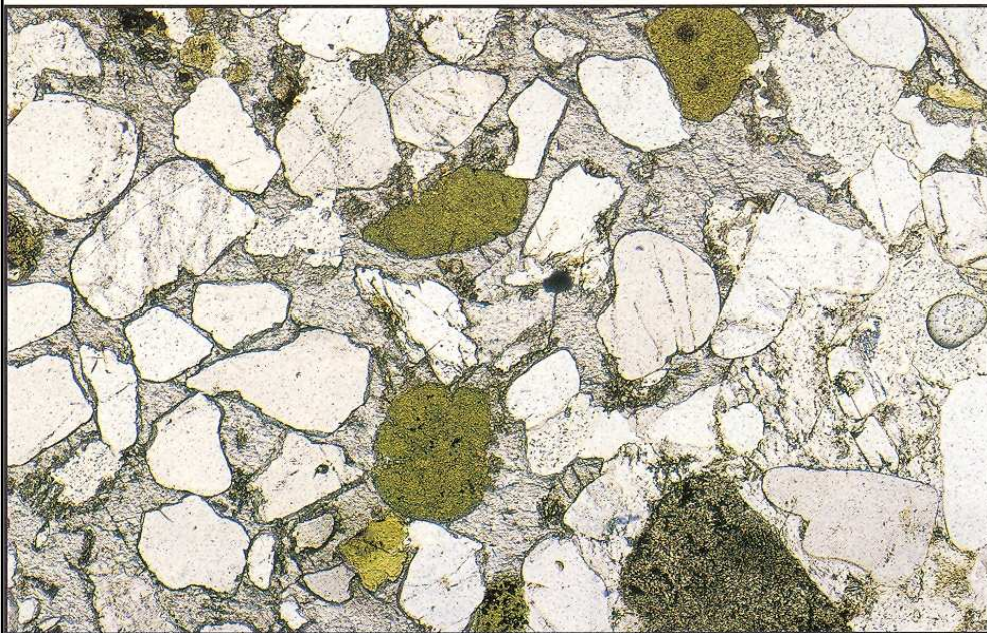
110 Quartz Arenite with crossed polars. Locality: New Red Sandstone, Permo-Trias, England (x 47).



11

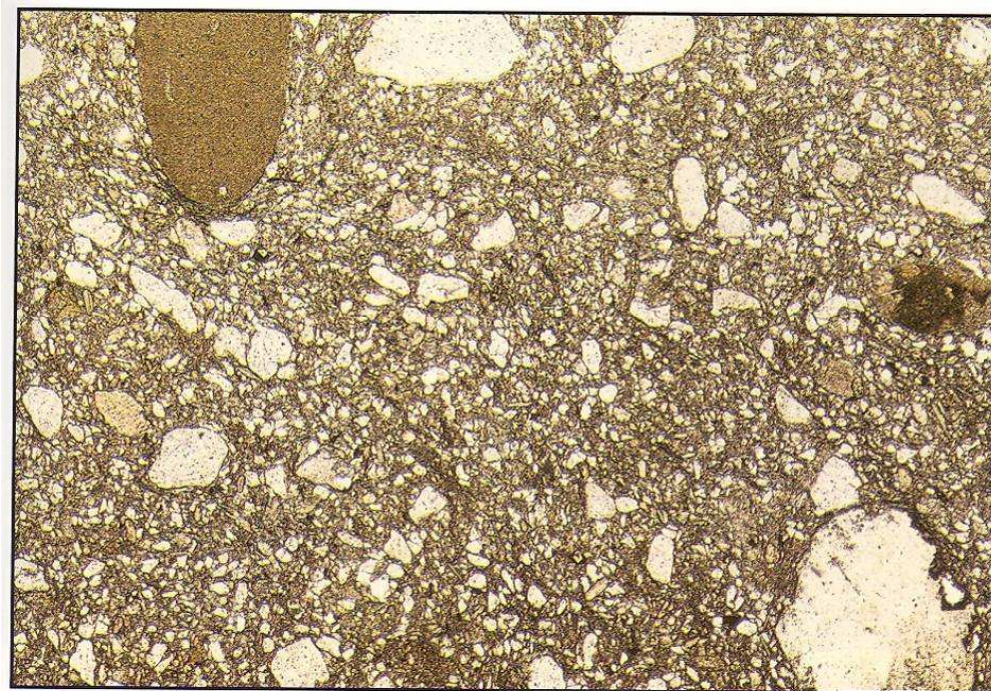
114 Arkose with crossed polars. Locality: Torridonian, Precambrian, Scotland (x 13).





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).

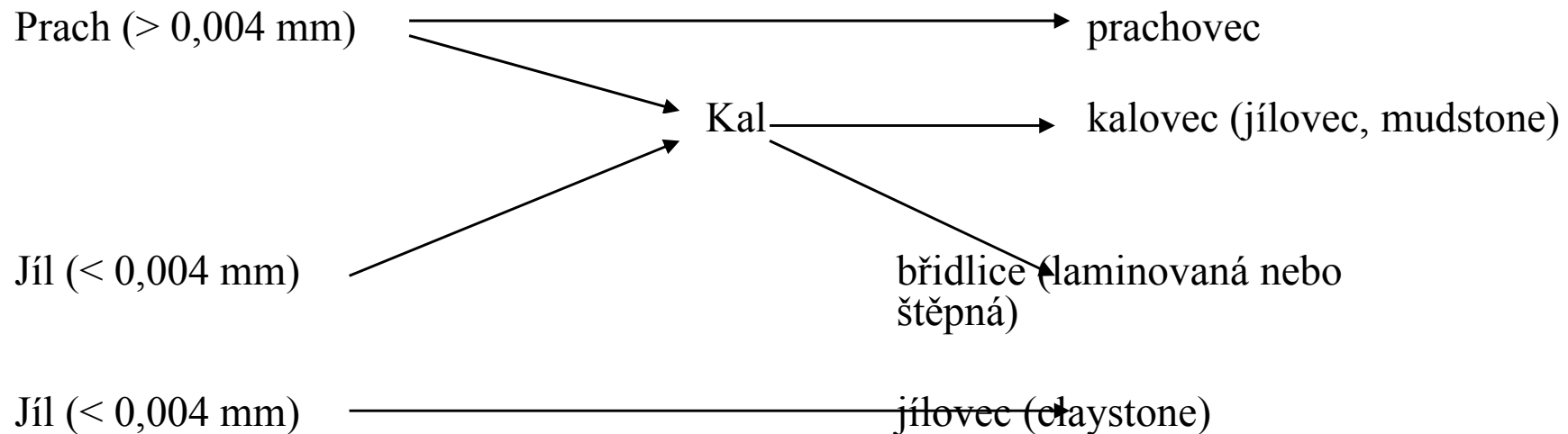


# Pelity

## Základní charakteristika

> 75% / 90% jílové frakce

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



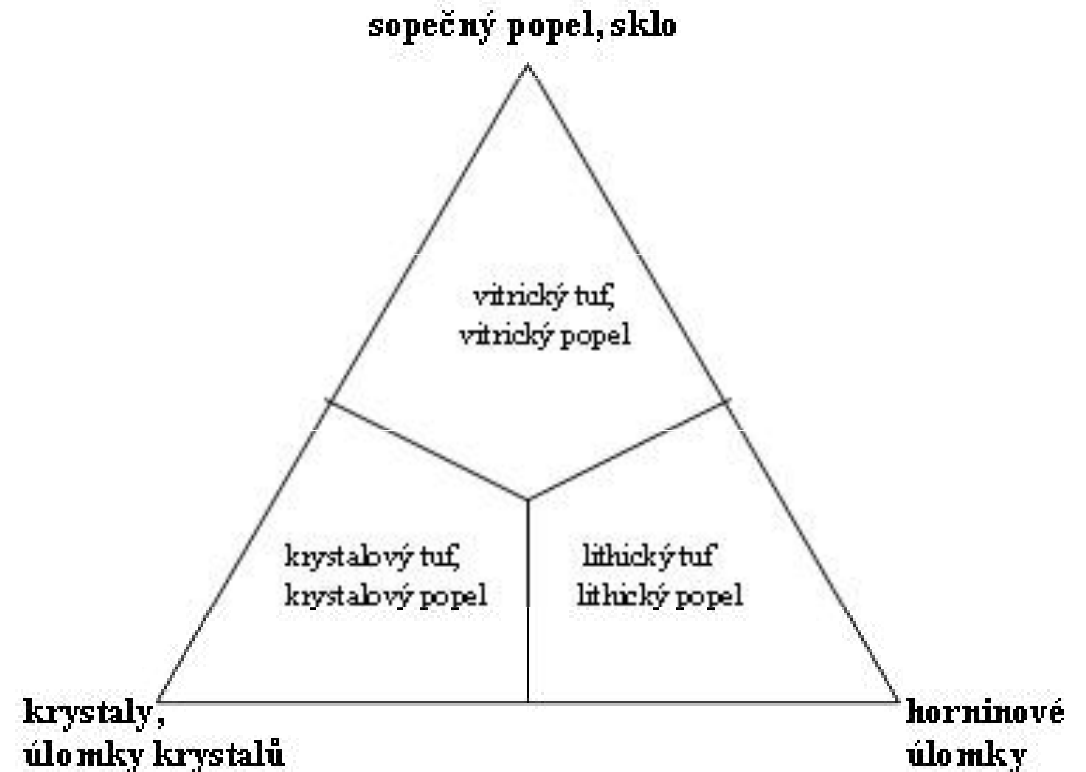
## Složení

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



# Vulkanoklastické horniny

- **vulkanoklastika (tefra)** jsou tvořena vulkanickými usazeninami, které se dělí:
  - podle složení (ryolitová, bazaltová, andezitová apod. tefra),
  - podle zrnitosti, jak je uvedeno v tabulce.



# Klasifikace vulkanoklastických sedimentů podle převládající velikosti částic

Velikost částic	Petrografické označení			Vulkanoklastika		Vápence	Reziduální horniny
	latinské	řecké	české				
Nad 256 mm	psefit	rudit	štěrk	balvanitý	vulkanické balvany a bloky, blokové a balvanové tufy,	kalcirudit	úlomková rezidua
64-256				hrubozrnný	vulkanické kameny a aglomerátové tufy		
8-64				střednozrnný	lapilli, lapiltové tufy		štěrková rezidua
2-8				drobnozrnný	lapilli, lapiltové tufy		
1-2 mm	psamit	arenit	písek	velmi hrubozrnný	pískový tuf, vulkanický písek	kalciarenit	písková rezidua
0,5-1				hrubozrnný			
0,25-0,5				střednozrnný			
0,125-0,25				jemnozrnný			
0,062-0,125				velmi jemnozrnný			
0,004-0,062	alenrit	lutit	prach		vulkanický popel, popelový tuf, sopečný prach	kalcilutit	jílová rezidua
> 0,004				pelit	jíl		



## Vulkanické (pyroklastické) horniny podle ČSN 12670

<b>Průměrná velikost klastů v mm</b>	<b>Pyroklasty</b>	<b>Tufity (smíšený pyroklastický a epiklastický materiál)</b>	<b>Epiklasty (vulkanického nebo jiného původu)</b>
64	sopečný aglomerát, aglutinát, pyroklastická brekcie.	tufitický slepenec, tufitická brekcie	slepenec, brekcie
2	lapillový tuf		
1/16 1/256	hrubý popelový tuf jemný	tufitický pískovec tufitický prachovec	pískovec (s tufovou příměsí) prachovec (s tuf. příměsí)
		tufitický jílovec, tufitická břidlice	jílovec, břidlice
Množství pyroklastického materiálu	75 až 100 %	25 až 75 %	0 až 25 %

# Chemogenní (cementační) sedimenty

**Horniny vytvořené převážně vysrážením  
z roztoků.**



# Klasifikace chemogenních (cementačních) sedimentů

**Ality** - přemístěné laterity. Mají podstatný obsah **hydroxidů aluminia** (**böhmit**, **diaspor**, **gibbsit** a **kaolinit**, **goethit**, **hematit**). Častý je vysoký obsah železa a niklu,

**Manganolity** jsou tvořeny **oxidy manganu** (**pyroluzit**, **psilomelan**, hydroxidy (**manganit**) a karbonáty (**oligonit**). Mangan podle redoxpotenciálu může být v oxidované formě  $Mn^{4+}$ . Manganolity vznikají v současných mořích (tzv. **manganové konkrece**, obsahující významnou příměs dalších kovů (Fe, V).

**Ferolity** jsou tvořeny minerály železa oxidy (**magnetit**), hydroxidy (**limonit**, **hematit**, **goethit**), silikáty (**chamozit**, **thuringit**, **glaukonit**), karbonáty (**siderit**) a sulfidy (**pyrit**, **markazit**, **melnikovit**). Vznikají jednak vysrážením z vody v jezerech a mořích (železo pochází ze zvětralin z pevniny nebo z podmořského zvětrávání – halmyrolyzy). Typické jsou **ooidy** a **fosfátové konkrece**, jednak z podmořské vulkanické aktivity (typ Lahn-Dill). Podle minerálů se rozlišují:

- **ferolity hydroxidů a oxidů železa**. V ordoviku barrandienu vznikaly v mělkovodních podmínkách při podmořském bazickém vulkanismu. Označují se lokálními názvy jako skleněnka nebo lotrinská mineta.
- **ferolity sideritové** v souvislých polohách s příměsí jílu (barrandien) nebo jako čočky v beskydské křídě (tzv. pelosiderity)
- **ferolity jaspilitové**, vznikaly v důsledku odlišných podmínek (hlavně atmosférických) v prekambriických formacích. Střídají se v nich vrstvičky hematitu a magnetitu s vrstvičkami křemene (tzv. formace BIF).

**Fosfority** obsahují zvýšený obsah fosforu zpravidla ve formě **apatitu**. Vznik:

- vysrážením z mořské vody: v hlubinné studené vodě může být rozpuštěno až 3x více fosforu než v teplé vodě šelfů, kde se za pomoci bakterií vysráží buď jako konkrece nebo i souvislé polohy
- akumulací **guána** (ptačího trusu, zejména v jeskyních).
- vyluhováním do podložních sedimentů z ploch různého původu.

# Klasifikace chemogenních (cementačních) sedimentů

**Silicity** jsou tvořeny převážně minerály  $\text{SiO}_2$  (křemen, cristobalit, chalcedon, opál). Vznikají:

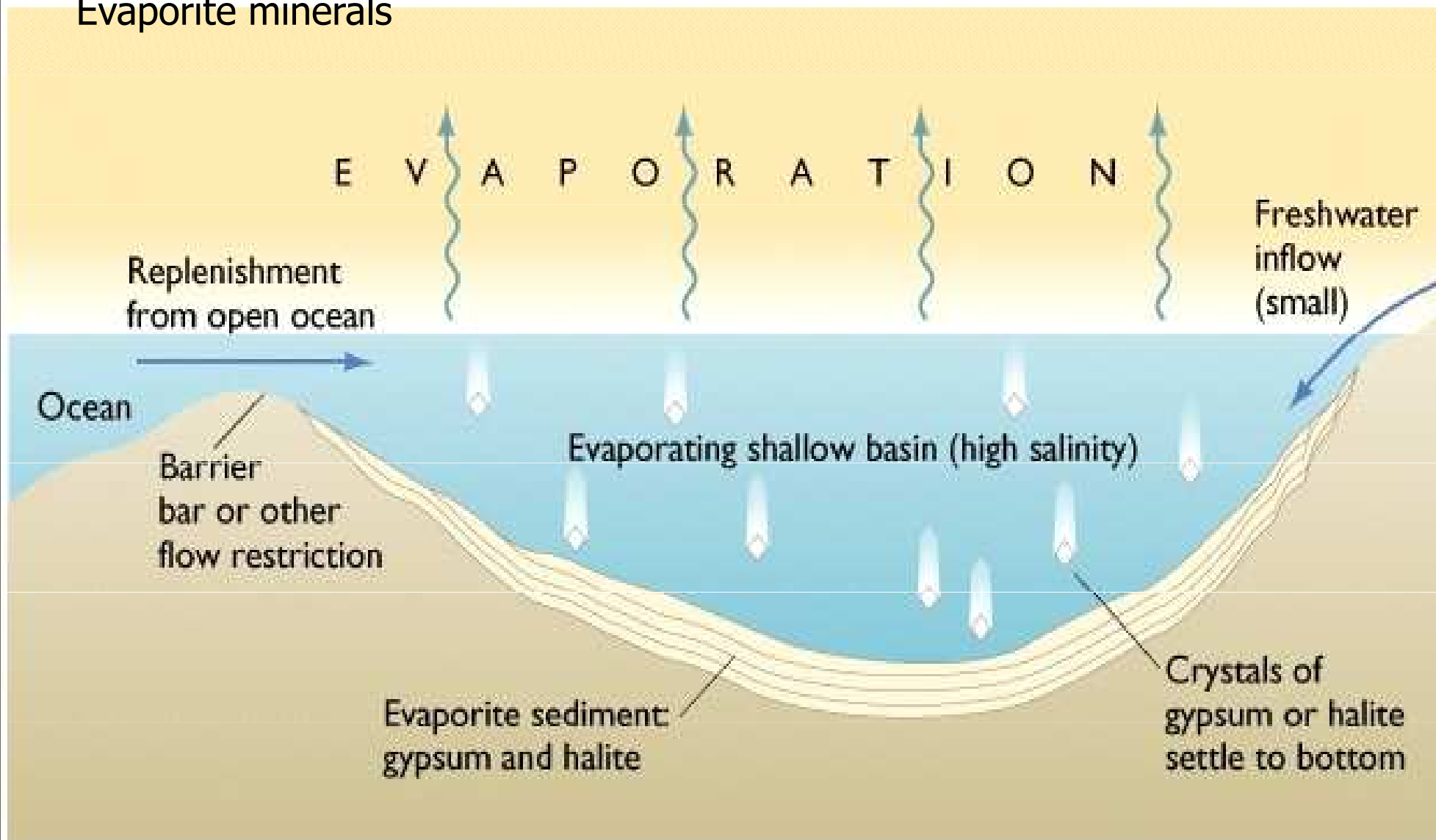
- nahromaděním schránek a jiných částí živočichů a rostlin (organogenní) rozsivek (**diatomity**, **křemelina**), radiolarií (**radiolarity**) nebo hub (**spongility**), smíšené (např. **spongodiatomity**)
- chemicky vysrážené: z horkých roztoků - **geyzirit** a **stiriolit** (z vodních kapek rozstříkovaných kolem gejzírů), **jaspilit** vysrážený z podmořských horkých pramenů tzv. kuřáků (černé břidlice), ze studených vod se vysráží **limnokvarcit**
- vzniklé z relativního přebytku  $\text{SiO}_2$  při diagenézi: **rohovec** (hornstone, flint, chert) tvořící hlízy a čočky nejčastěji v karbonátech
- neurčitého původu jsou siliciem bohaté horniny, v nichž jsou jak radiolarie tak i známky vysrážení při vulkanické činnosti (souvislost se spility): **bulžníky** (s radiolariemi), **menilitové rohovce** (s radiolariemi a diatomaceami).

**Evapority** vznikají chemickým vysrážením při odpařování mořské nebo jezerní vody a mají zákonitý sled:

- 1 fáze: vypadává **dolomit** a **aragonit**
- 2 fáze: vypadávají sulfáty vápníku (**anhydrit**, **sádrovec**) při koncentraci zvýšené 3,35x.
- 3 fáze: vypadává **halit** (koncentrace zvýšená 10 - 60r) – hornina je označována jako **sůl kamenná** (obr. 6.12.).
- vypadávají chloridy a sulfáty K, Mg (**sylvín**, **karnalit**) při koncentraci 60x více než v původní mořské vodě
- Podle složení vody mohou se vysrážet při odpařování i další evapority:
  - – Glauberova sůl  $\text{Na}_2\text{SO}_4 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$
  - – natrit  $\text{Na}_2\text{CO}_3$
  - – chilský ledek (dusičnan sodný  $\text{Na}_2\text{NO}_3$ )
  - – síra – chemickou redukcí síranů bakteriemi



## Evaporite minerals



Mělkomořská pánev s vysokou rychlostí odparu (evaporace) – Mexický záliv, Perský záliv, terciární Středozevní moře, Rudé moře  
Sekvence srážení minerálů při vzrůstajícím odparu: kalcit, sádrovec, halit

# Evapority



(b)

Sádrovec



Copyright © 2005 Pearson Prentice Hall, Inc.

Halit

Evaporace mořské vody:

- 1) kalcit
- 2) sádrovec
- 3) anhydrit
- 4) halit (95% odpar)
- 5) sylvín
- 6) Další vzácné minerály

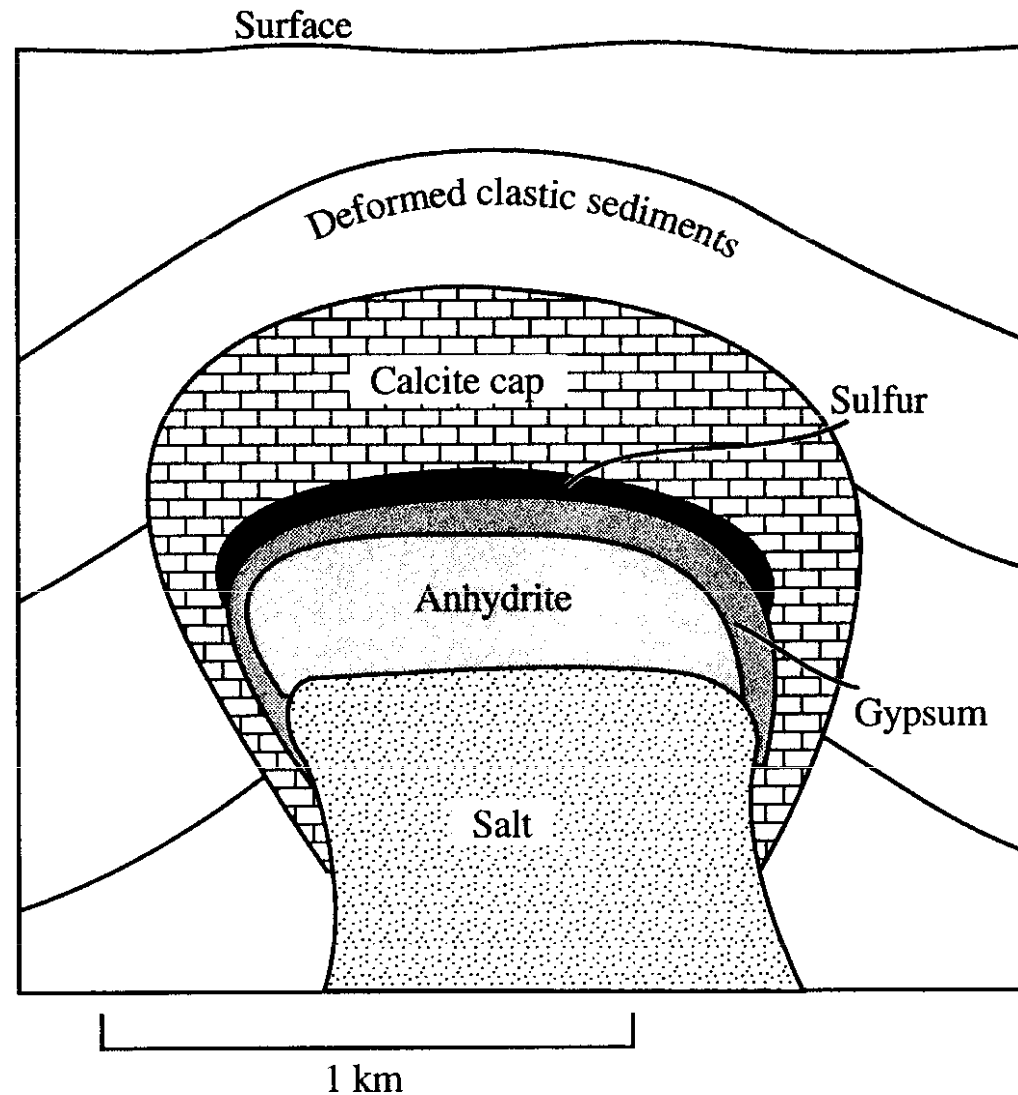
Dolomit se tvoří sekundárně  
reakcí  $Mg^{+2}$  s kalcitem

Evaporace vody v kontinentálním prostředí:  
Borax & boráty  
Nitráty



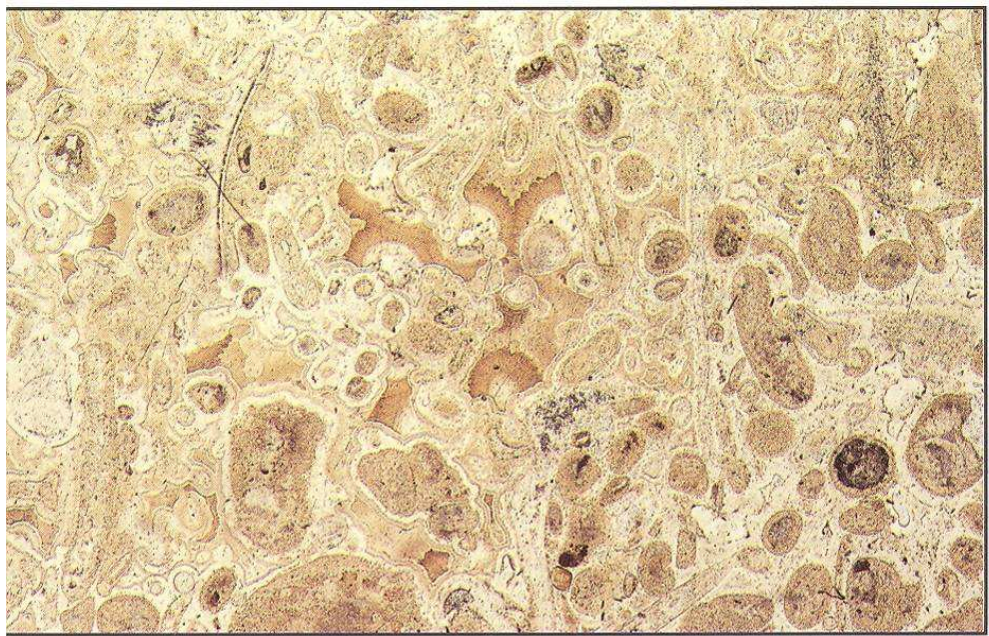
# Solný diapir

Síra:  
produced by  
sulfate  
reducing  
bacteria which  
consume the  
oxygen in  
gypsum or  
anhydrite



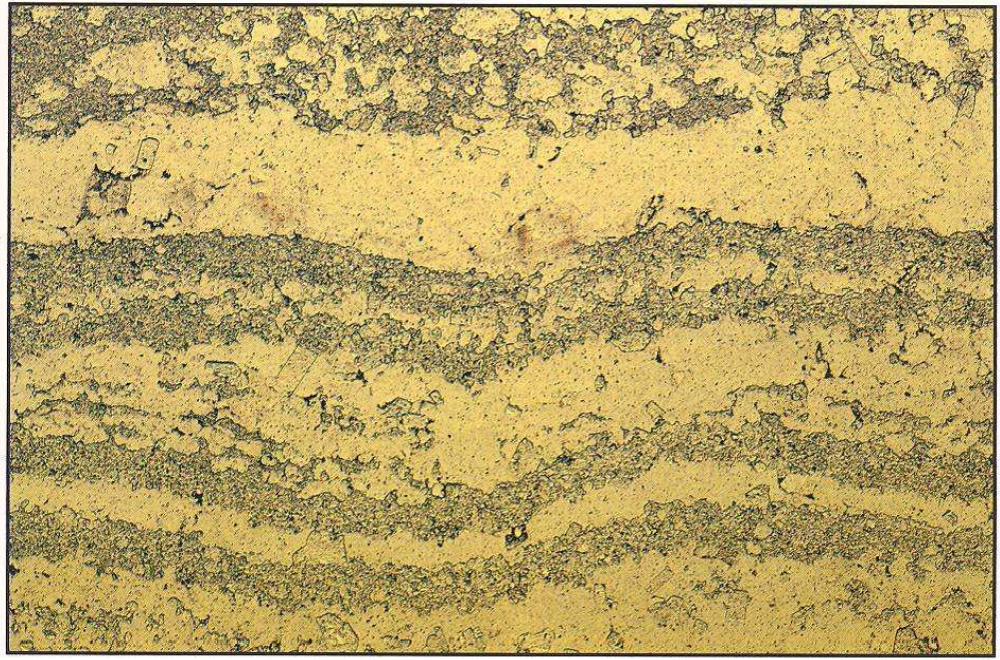
**Figure 20.3** Schematic cross section through a salt dome showing idealized sequence of cap rock lithologies and location of native sulfur concentrations.



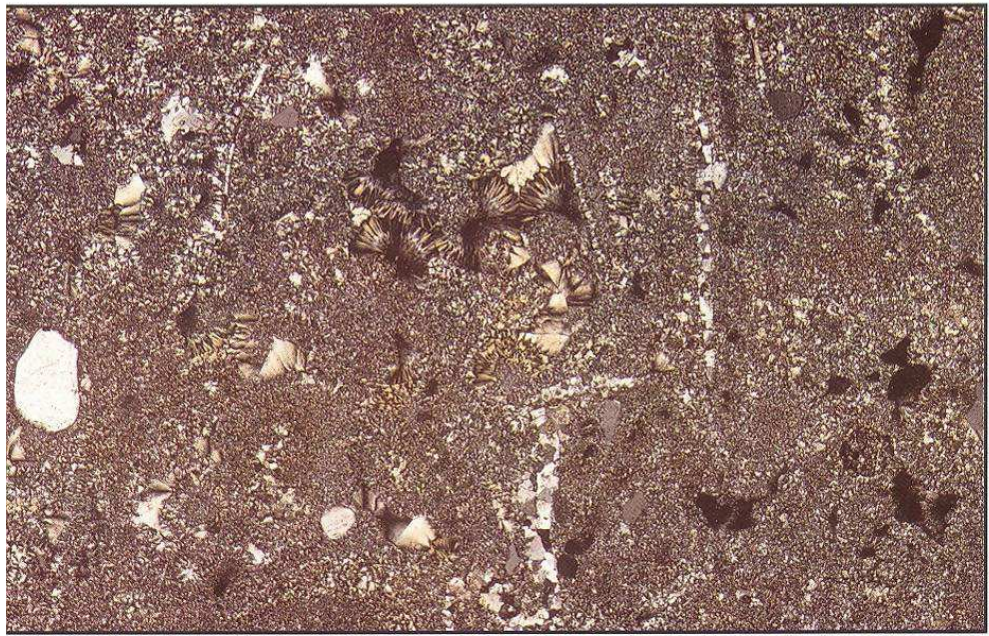


1.

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

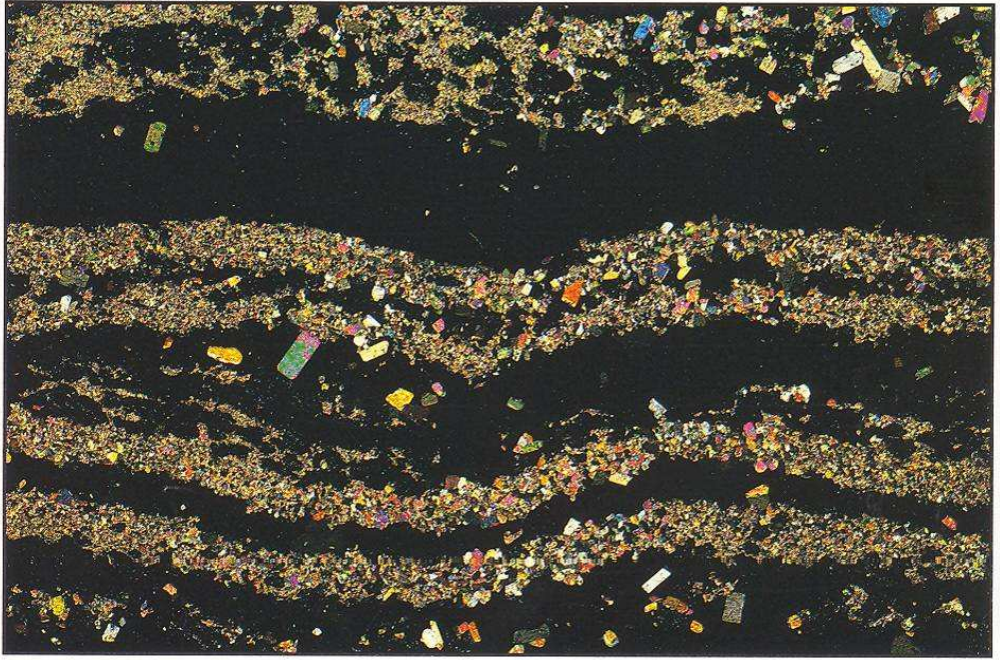


137 Halite and anhydrite in plane-polarized light. Locality: Permian, northeast England (x 12).



1.

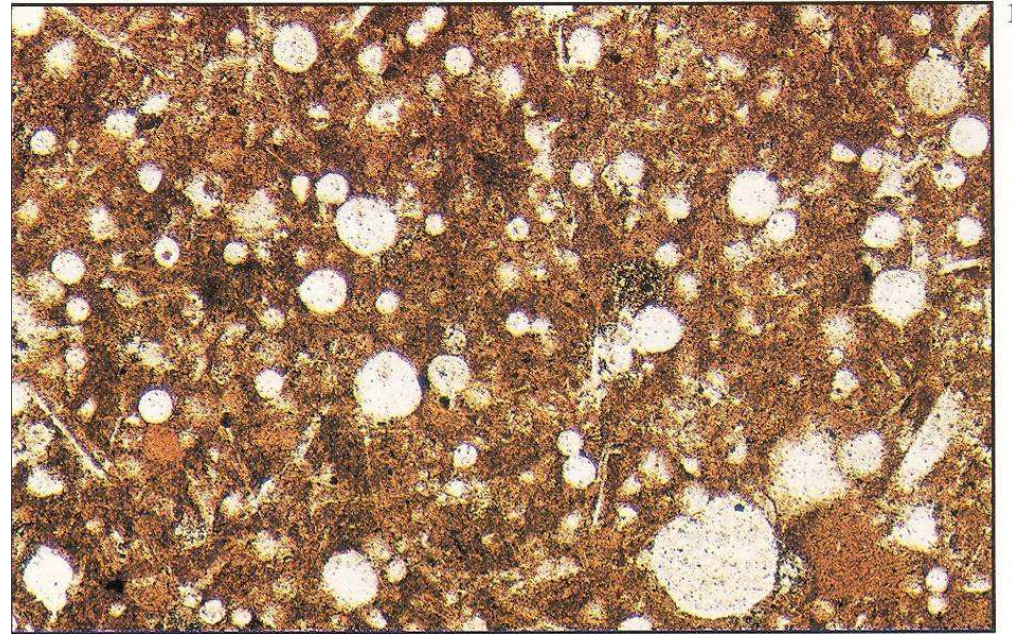
136 Chert with crossed polars. Locality: Upper Jurassic, southern England (x 13).



13

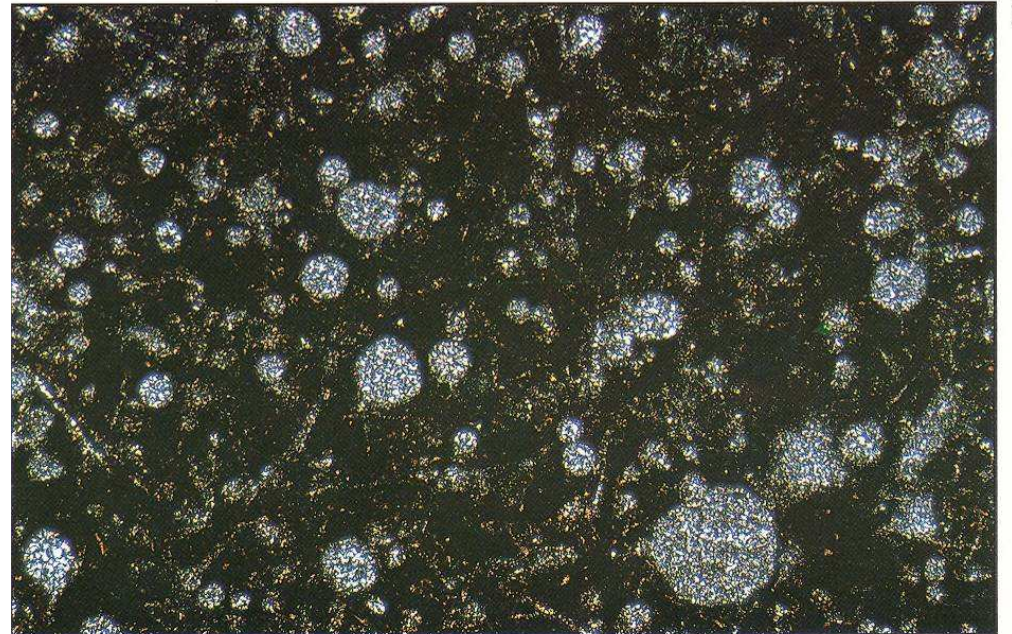
138 Halite and anhydrite with crossed polars. Locality: Permian, northeast England (x 12).





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).

# Biogenní (organogenní, alochemické) sedimenty

## 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)





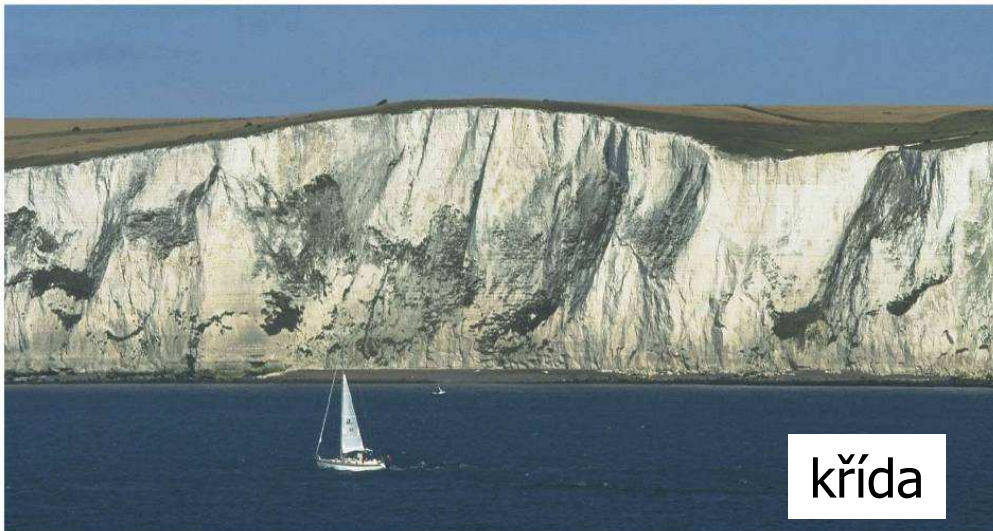
(a)

Travertin



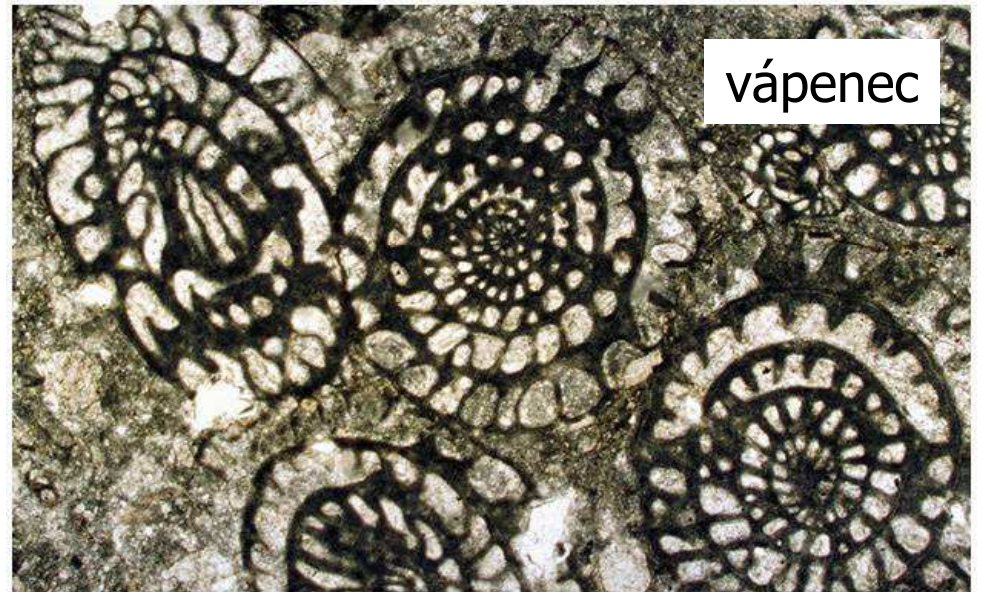
Copyright © 2005 Pearson Prentice Hall, Inc.

Coquina



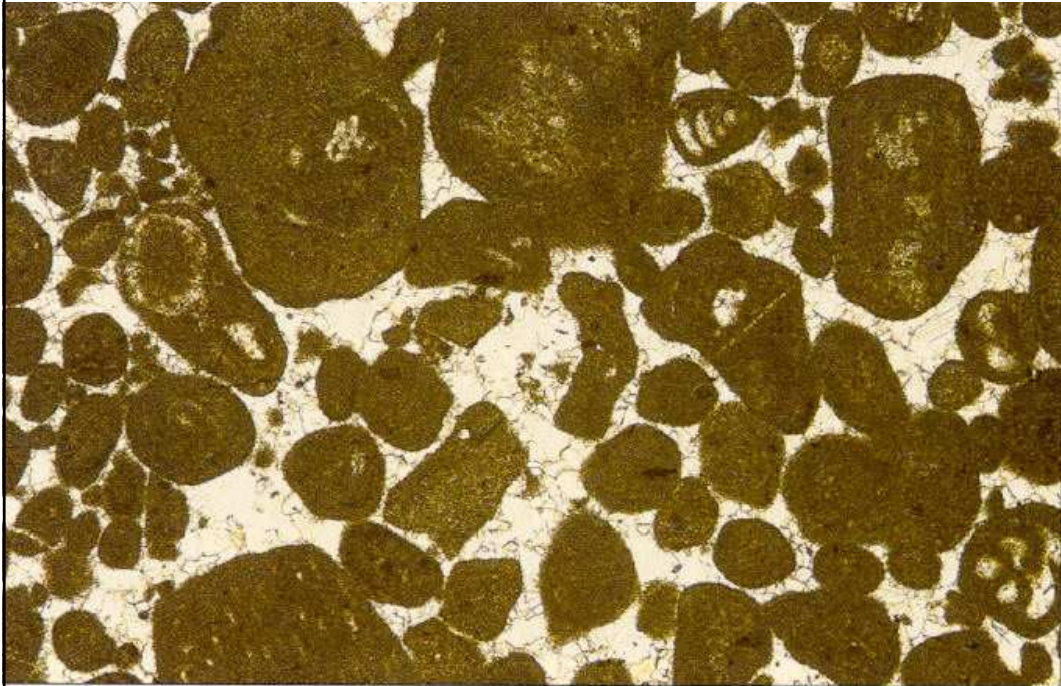
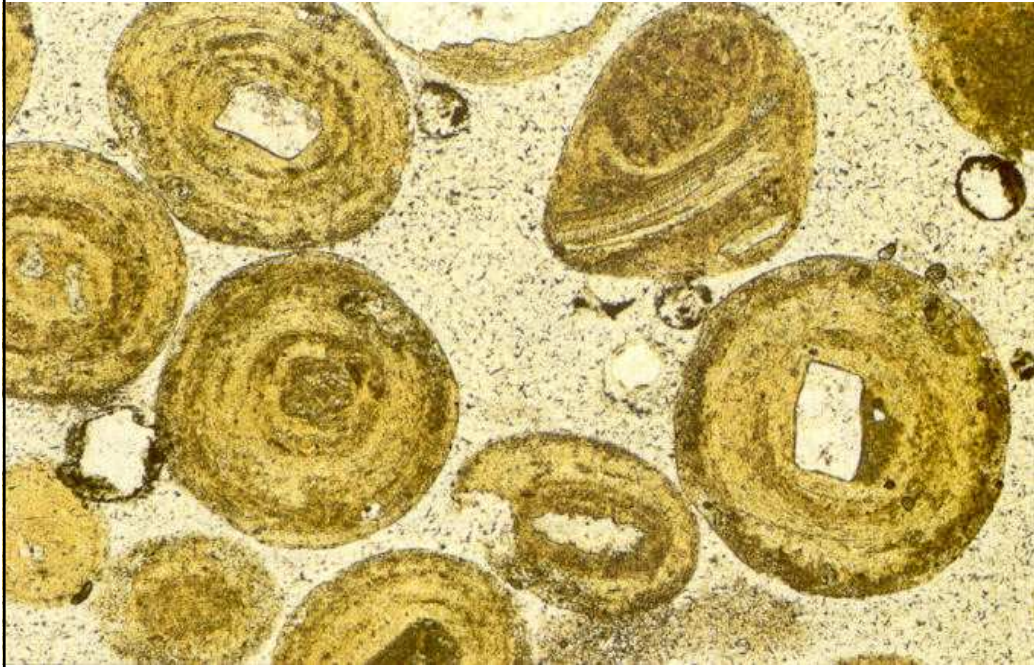
křída

Copyright © 2005 Pearson Prentice Hall, Inc.

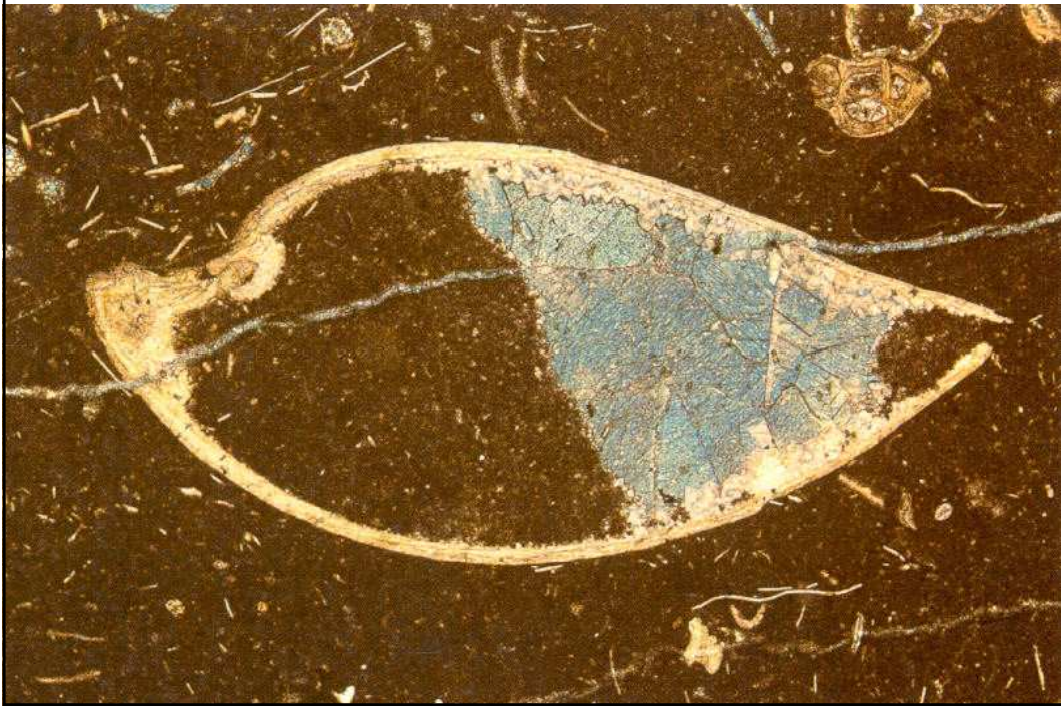


vápenec





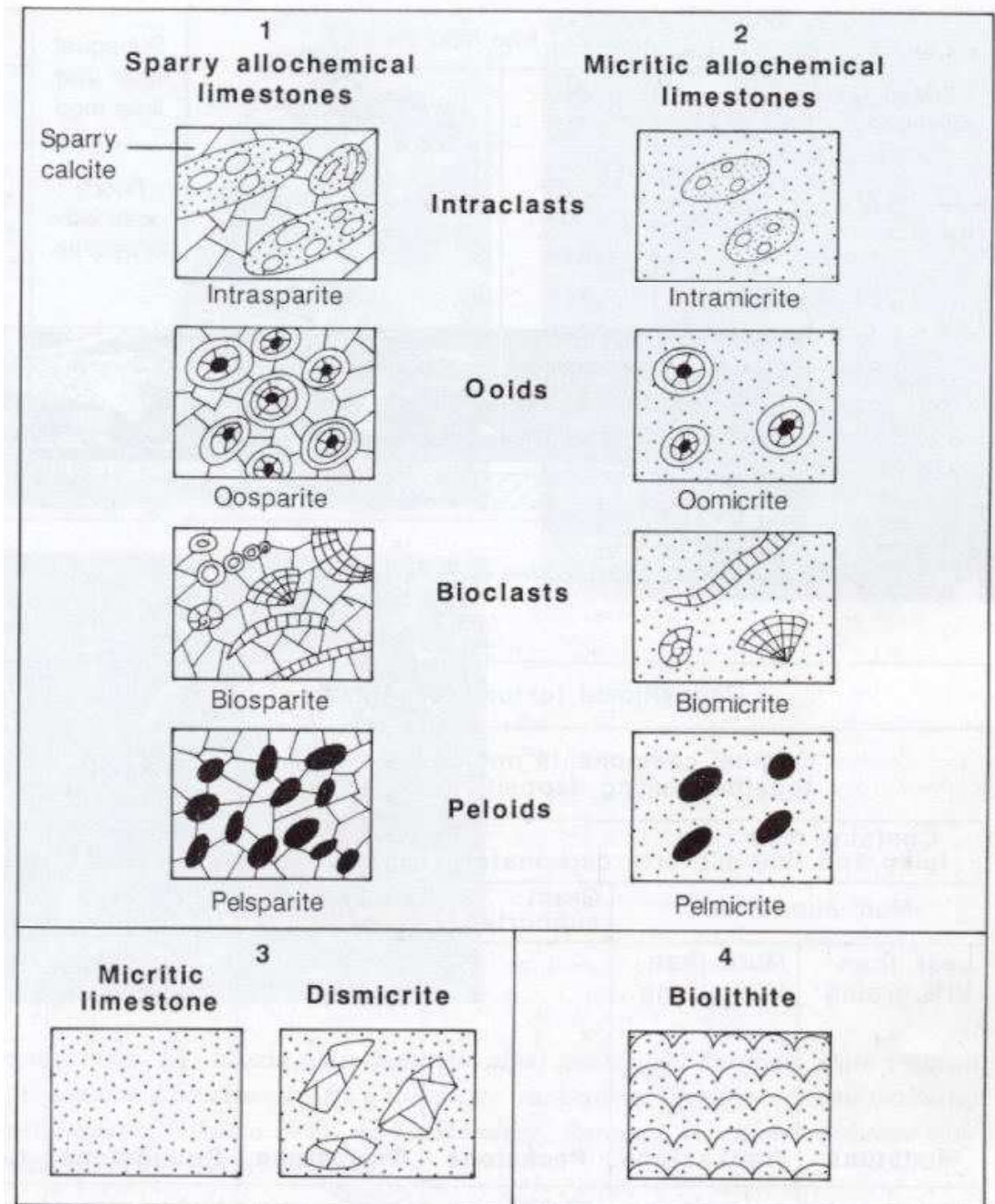






# Folkova klasifikace (Folk, J.R. 1959)

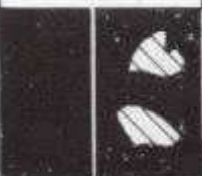









- Sparit / mikrit
- Klasifikace alochemů (+/- prostředí sedimentace)
- **Není zohledněna podpůrná struktura**
- **Není zohledněna velikost zrn**





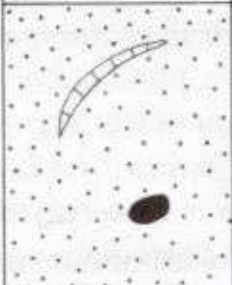
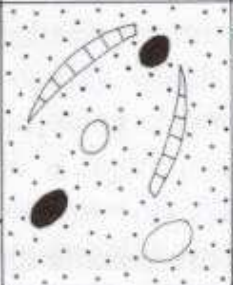
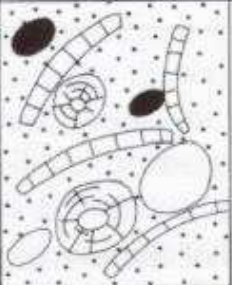
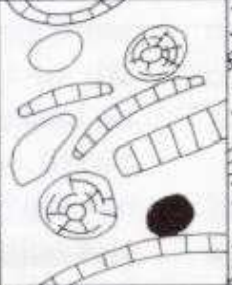


# Folkova klasifikace (Folk, J.R. 1959)

- Sparit / mikrit
- Podpůrná 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>
					



# karbonátové horniny kontinentální

- travertin – vzniká vysrážením z horkých pramenů (též vřídlovec a hrachovec)
- jezerní křída – vzniká vysrážením ze stojatých vod
- pěnovec – vzniká vysrážením na potocích

# Klasifikace karbonátů podle převládající velikosti částic

Velikost částic	Petrografické označení			Vulkanoklastika		Vápence	Reziduální horniny
	latinské	řecké	české				
Nad 256 mm	psefit	rudit	štěrk	balvanitý	vulkanické balvany a bloky, blokové a balvanové tufy,	kalcirudit	úlomková rezidua
64-256				hrubozrnný	vulkanické kameny a aglomerátové tufy		
8-64				středozrnný	lapilli, lapiltové tufy		štěrková rezidua
2-8				drobnozrnný	lapilli, lapiltové tufy		
1-2 mm	psamit	arenit	písek	velmi hrubozrnný	pískový tuf, vulkanický písek	kalciarenit	písková rezidua
0,5-1				hrubozrnný			
0,25-0,5				středozrnný			
0,125-0,25				jemnozrnný			
0,062-0,125				velmi jemnozrnný			
0,004-0,062	alenrit	lutit	prach		vulkanický popel, popelový tuf, sopečný prach	kalcilutit	jílová rezidua
> 0,004				pelit			



# Kaustobiolity

- **Kaustobiolity** jsou usazeniny tvořené organickými sloučeninami, které vznikají z rostlin (fytogenní) – humózní či uhelná řada, nebo ze živočichů (zoogenní) – bituminózní (živočišná řada).
- **Kaustobiolity uhelné řady**
  - Nahromadění uhlíku závislé na rozšíření rostlin v určitých geologických obdobích (karbon, terciér) a na vodním režimu. **Rašeliny** vznikají v místech rozšíření mechu rašeliníku za přínosu spodní vody buď jako vrchovištní (s výrazným klenutím v centrální části, většinou v horských podmínkách – Krušné Hory), nebo jako slatinná (jižní Čechy). Z bílkovin vzniká kvašením hnilokal (sapropel), zpevněný sapropel je **sapropelit**. Sapropelity s jílovou příměsí jsou hořlavé břidlice.

**Hnědé uhlí** má vyšší obsah uhlíku, vzniká v redukčním prostředí. Je-li tvořeno listy, pletivem apod. označuje se jako **liptobiotit**, jsou-li materiálem cévné rostliny jde o humit. Takové hnědé uhlí se označuje jako **lignit**. Hnědé uhlí vzniklo hlavně ze smrků.

**Černé uhlí** má vysoký obsah uhlíku, odlišné stopové prvky, protože vzniklo z pralesů obrovitých **přesliček a plavuní**, většinou v tropickém klimatu.

Při zvýšeném prouhelnění a zpevnění vzniká z černého uhlí **antracit**. Dalšími odrůdami jsou svíčková uhlí (**kenel**), která vznikla z akumulací spór, **boghed** z řas a **šungit**, nejstarší známé uhlí z proterozoika baltického štítu. Z jantaru vzniká **kukersit**.

# Kaustobiolity

## Kaustobiolity bitumenové (živičné) řady

- Bituminózní řadu tvoří **živice**, které vznikly převážně ze živočichů. Nelze vyloučit anorganický původ některých živic (např. jako relikty metanového obalu Země, který existoval v ranných stádiích jejího vývoje), ale organický původ je doložen např. při ústí Orinoka, kde vznikají bitumeny z organického materiálu přinášeného řekou v mělkém silně protepleném moři.

Rozlišují se živice:

- a) plynné – **zemní plyn**
- b) kapalné – **ropa**. Ropa je směs kapalných, plynných a pevných uhlovodíků. Velmi lehká ropa je bohatá lehkými uhlovodíky (benzinem), v lehké ropě převládají parafinové uhlovodíky, v těžké naftenické a ve velmi těžké aromatické uhlovodíky.
- c) pevné – **zemní vosk, ozokerit, asfalt a pevný asfaltit**



# 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 turbidními 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)**

# Genetická klasifikace sedimentů

Název	Definice	Mechanismus sedimentace	Prostředí	Hlavní diagnostické znaky
<b>Gravity (debrity)</b>	Sled sedimentů usazených převážně jakýmkoli gravitačními proudy	Sedimentace z gravitačních proudů se střídá s pomalou sedimentací ze suspenze	Obvykle hlubší pánve	
<b>Homogenity</b>	Homogenní vrstvy sedimentů uložené jediným sedimentačním pochodem	Uložení gravitačním proudem vyvolaným tsunami	Hlubší deprese	Homogenní vrstva vápenatého kalu ostře oddělená od podloží a nadloží
<b>Inundity</b>	Sledy sedimentů, usazení vlivem střídání povodňového a normálního stavu řek	Povodně zanášejí do pánve hrubší detrit	Menší hloubky, v okruhu vlivu ústí řek	Pozvolné přechody mezi vrstvami hrubozrnnějších sedimentů, diaturbace
<b>Konturity</b>	Sledy sedimentů uložené nebo přepracované konturovými proudy	Uložení konturovými proudy nebo přepracování původních turbiditů	Nejčastější hloubky 1000-3000 m, pevninské úpatí	Malá mocnost vrstev, dobře vytríděné jemnozrnné pískovce, laminy těžkých minerálů
<b>Periodity</b>	Rytmicky se střídající druhy sedimentů, vertikální změny vázány na stejné časové úseky	Střídání podmíněno pravidelnými oscilacemi klimatu	Mělké moře i hluboké pánve s pravidelnou pomalejší sedimentací	Pravidelnost ve střídání sedimentů
<b>Tempestity</b>	Sledy sedimentů uložené pod vlivem anomálních katastrofických událostí jako hurikánů	Zvířené masy sedimentů, uložení suspenze na místě nebo níže po svahu	Nejčastěji v hloubkách 30-100 m	Hřbítkové zvrstvení, ostrá spodní hranice vrstev pískovců, bioturbovaná svrchní část
<b>Tidality</b>	Sedimentární sledy tvořící se v okruhu působnosti přílivového a odlivového proudu	Působení výčasných proudů, periodické vysychání dna	Přílivová plošina, supralitorál, litorál i sublitorál	Mázdřité zvrstvení, protisměrné šikmé zvrstvení, jílovité útržky
<b>Turbidity</b>	Sled sedimentů usazených převážně turbidními proudy	Sedimentace z turbidních proudů se střídá s pomalou sedimentací ze suspenze	Většinou hlubší pánve, pevninské úpatí i abysální rovina, někdy i mělké pánve i jezera	Gradace, ostrá spodní hranice, Boumova sekvence



# Diageneze

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

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

Diageneze 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 (metasomatické změny)
  - 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 (rozpuštění, cementované horniny)

## Rekrystalizace

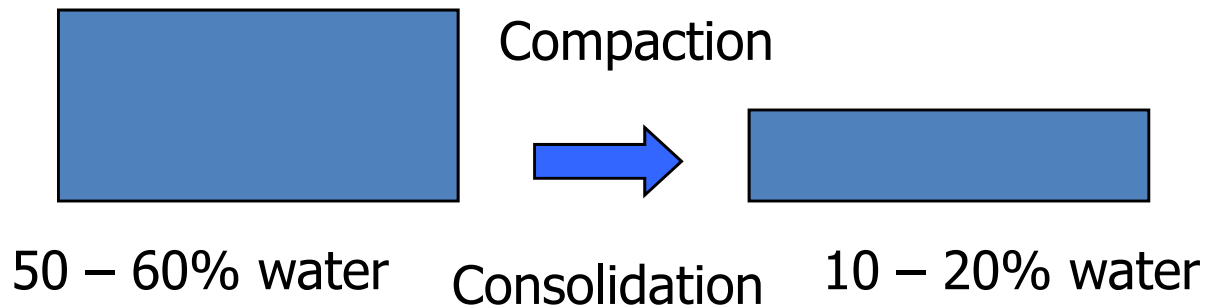
- Reorientace krystalových mřížek minerálů (chemismus se nemění)
- Tlak, teplota, fluidní fáze
- Obecně zvyšování velikostí zrna – snížení povrchu zrn – snížení povrchové volné energie – ekvilibrium



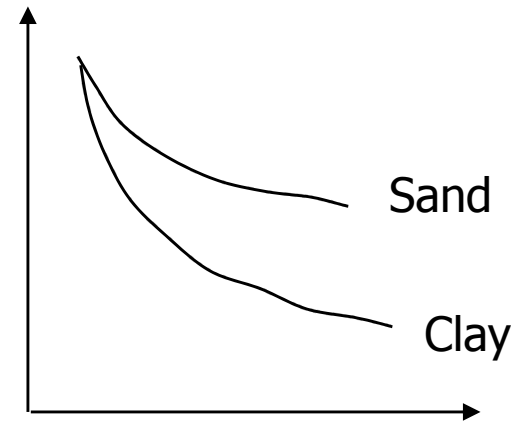
# Kompakce

Pressure squeezes out pore water

Clay rich sediments

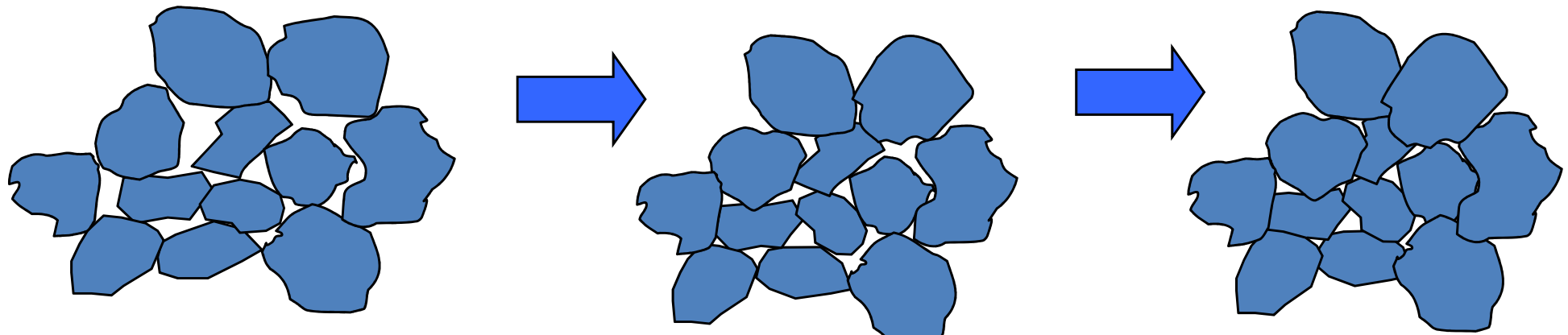


Volume of voids



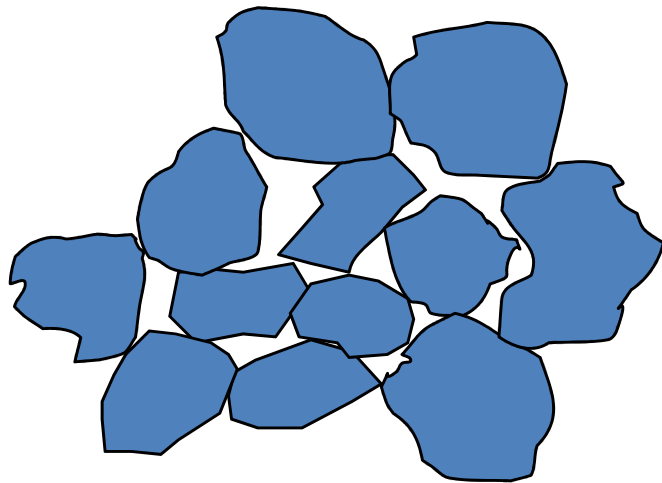
Vertical stress

Granular sediments - Sands

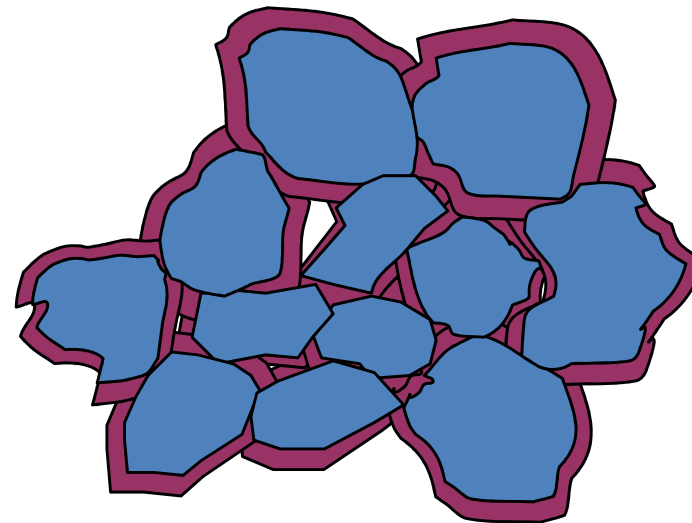
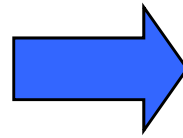


# Rekrystalizace

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

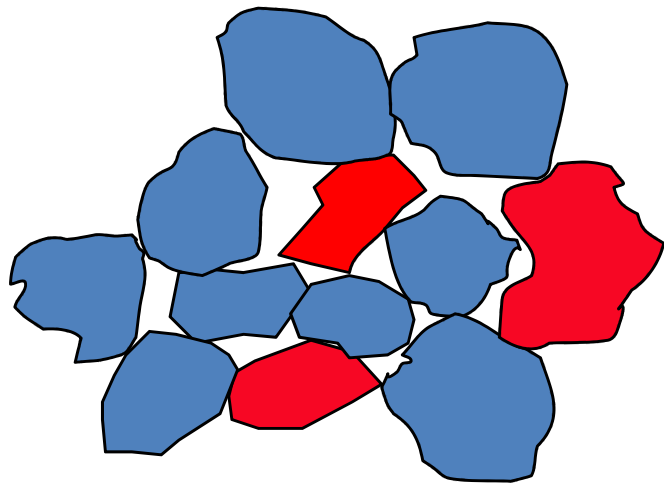
- Průchod fluid póry, přesycení fluid vůči cementačnímu minerálu
- Absence kinetických faktorů zabraňujících cementaci

## Autigeneze

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

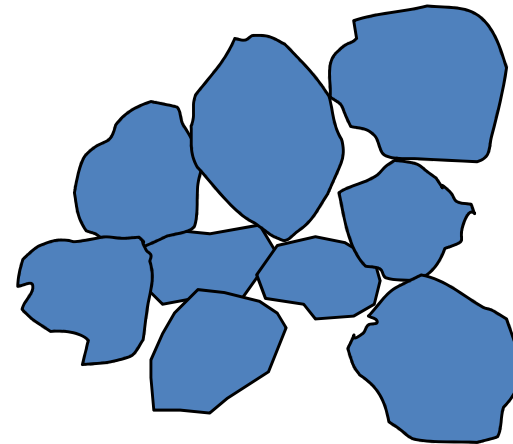
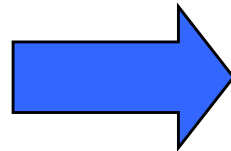


# Rozpouštění



Mixed carbonate and quartz sand

Dissolution of carbonate grains

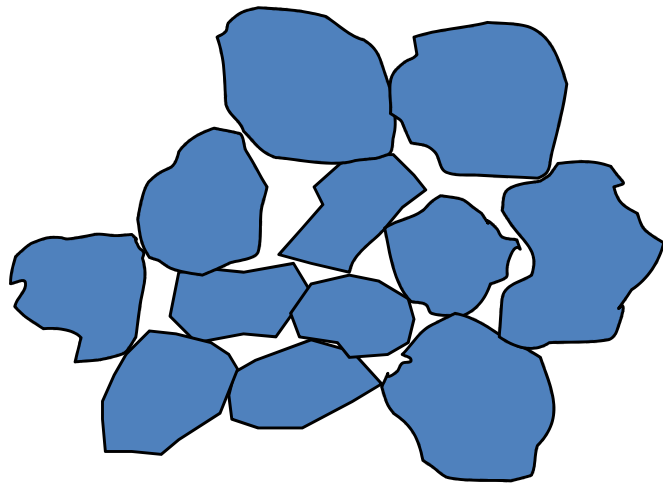


Quartz sand + particle rearrangement

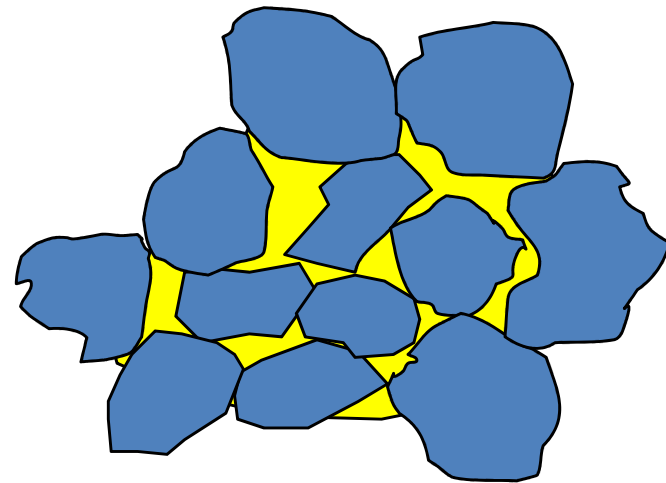


# Cementation

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

dolomitizace v karbonátech,  
silifikace v lutitech,  
fosfatizace,  
sideritizace.

Látková migrace se uplatňuje i při fosilizaci zkamenělin, která je významnou součástí litifikačních procesů.

## Bioturbace

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



# Diagenetické procesy

## Prouhelnění (karbonifikace)

Postup prouhelnění se zpravidla dělí na několik stádií, které jsou však samostatné, vzhledem k tomu, že jsou závislé i na výchozím materiálu:

- ***Stádium tlení, trouchnivění a hnití***
- ***Stádium rašelinění*** při němž bílkoviny kvasí na hnílokal (sapropel). Důležitými podmínkami jsou tlak nadloží, teplota a dostatek vody
- ***Stádium hnědouhelné*** probíhá v redukčním prostředí a je charakterizováno relativním zvyšováním obsahu uhlíku v důsledku ochuzení o kyslík a vodík
- ***Stádium černého uhlí*** s dalším zvýšením obsahu uhlíku.

V dalších stádiích se podílejí metamorfní podmínky. Vzniká **antracit** a **grafit**, tvořený čistým uhlíkem. Zatím není jasné, zda i v podmínkách litosféry vzniká nejvyšší stádium – diamant, spíše však jde o proces probíhající v přírodě jen v plášti.

Při prouhelnění dochází v organických akumulacích ke **vzniku huminových kyselin**. **Klesá obsah vody, kyslíku a dusíku** (uvolňovaných z uhlovodíku) a proto se zvyšuje podíl uhlíku. Výrazná je **frakcionace izotopů H, C, N, O, S**, při čemž se **lehčí izotopy výrazně koncentrují**. Např. poměr  $^{12}\text{C}/^{13}\text{C}$  se proti atmosférickému poměru zvyšuje o 1 – 2 % a opakováním může dosáhnout až 90 %.

# 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 psefitických 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)



# Diageneze 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 závislá na teplotě („krystalinita illitu“) – „termometr“
- 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):

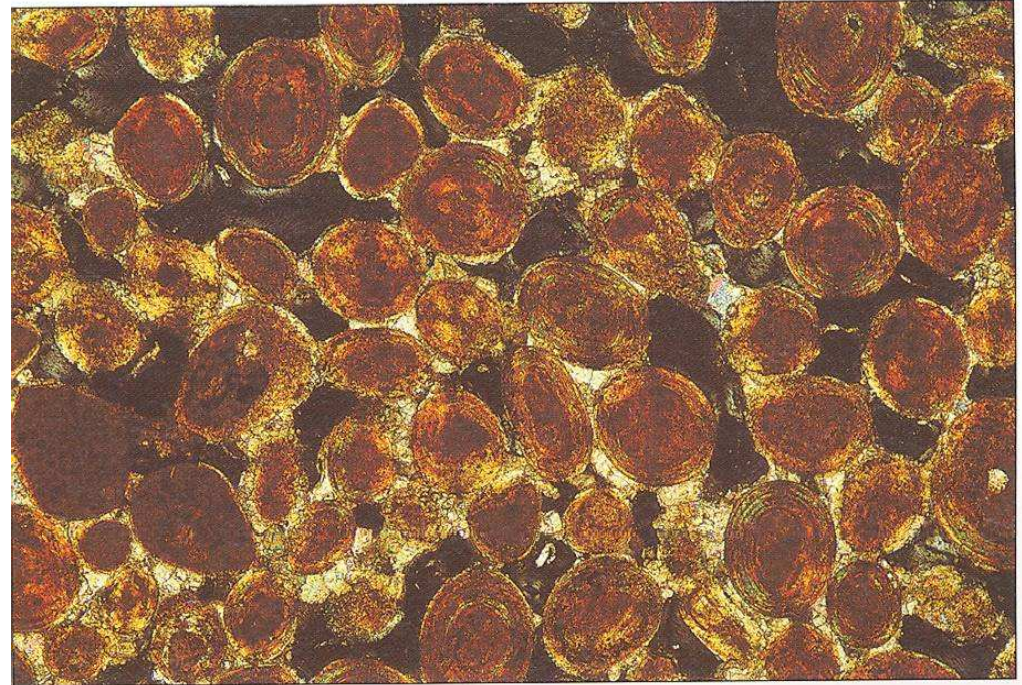
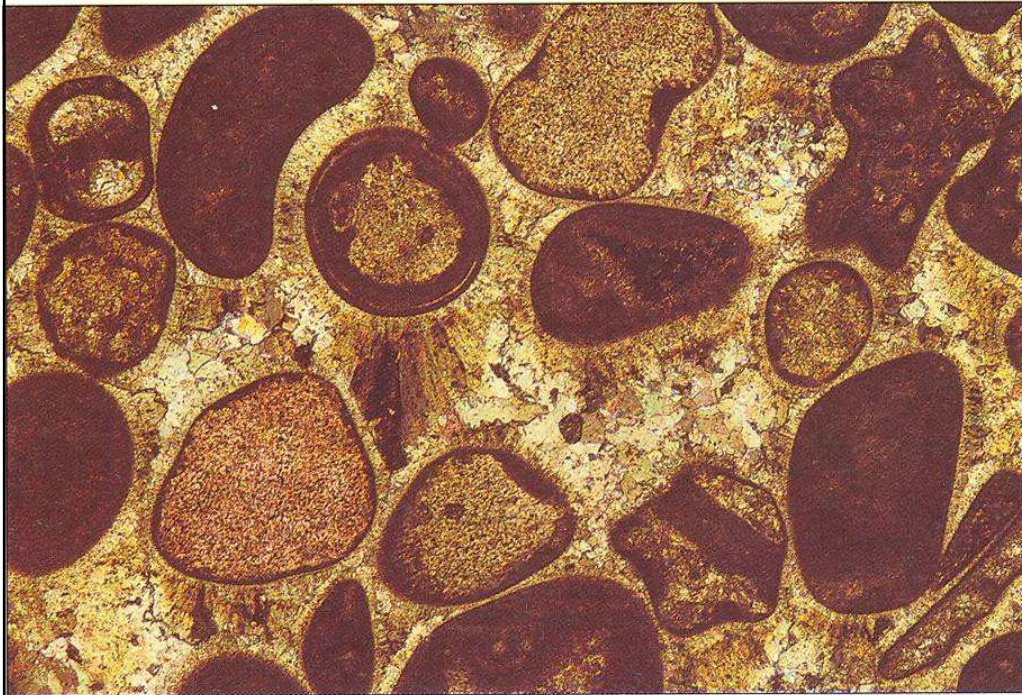
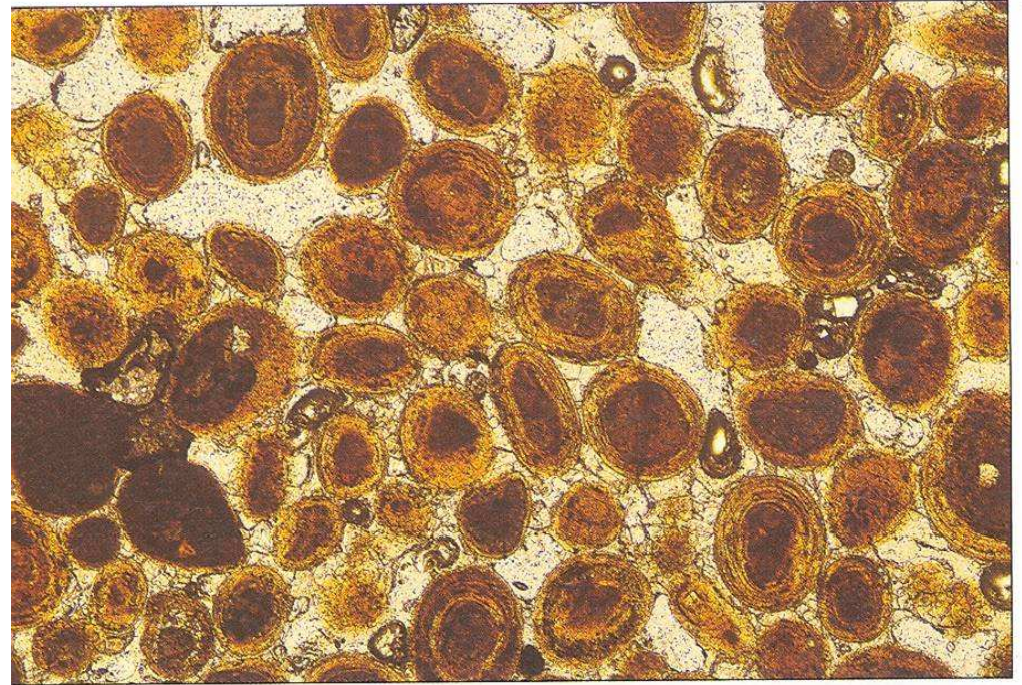
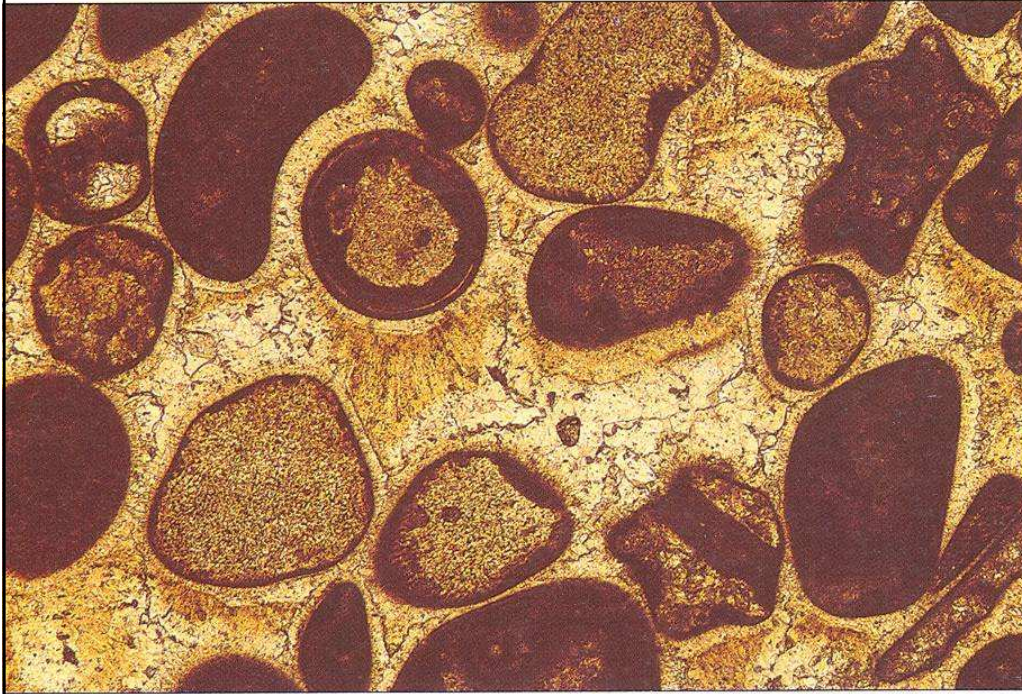
Jehlicovitý, izometrický (equant), mikritový

Geometrie cementu (uspořádání krystalů v prostoru):

Izopachový, meniskový, polygonální, syntaxiální



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





# Syntaxiální cement





# 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

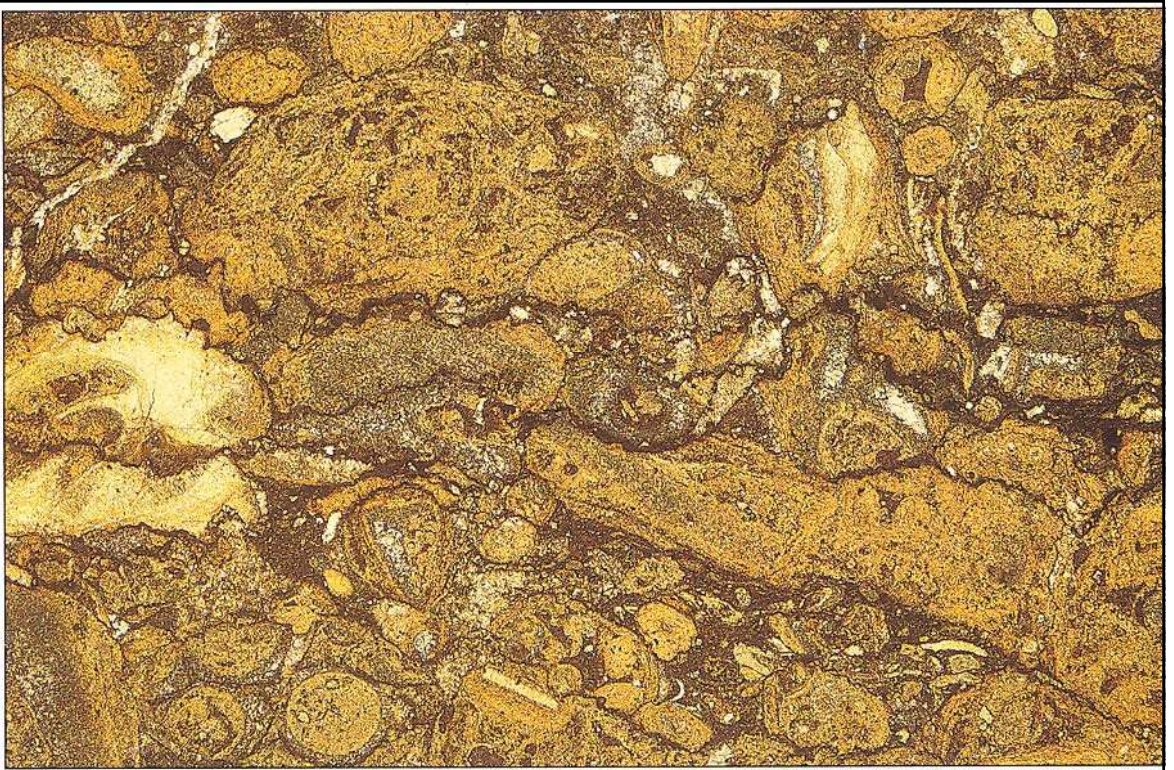
Nestabilní minerály: aragonit, high-Mg kalcit

# Kompakce

Snižování celkového objemu horniny (včetně pórů)

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

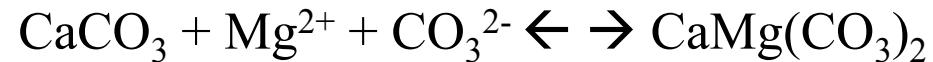






# Dolomitizace a dedolomitizace

Nahrazování  $\text{CaCO}_3$  dolomitem

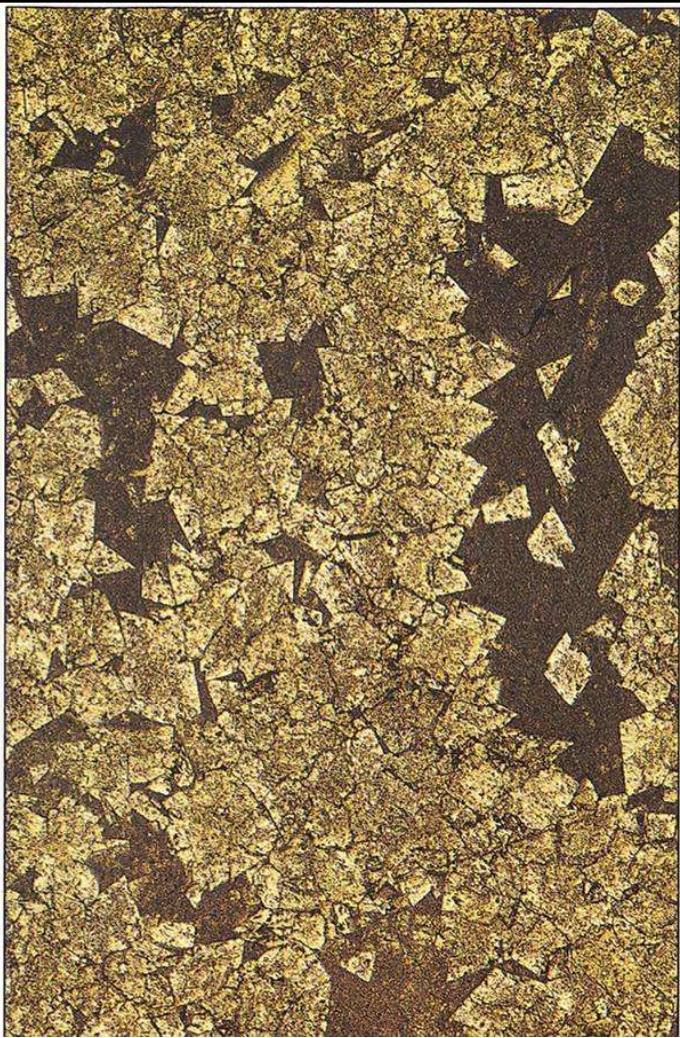
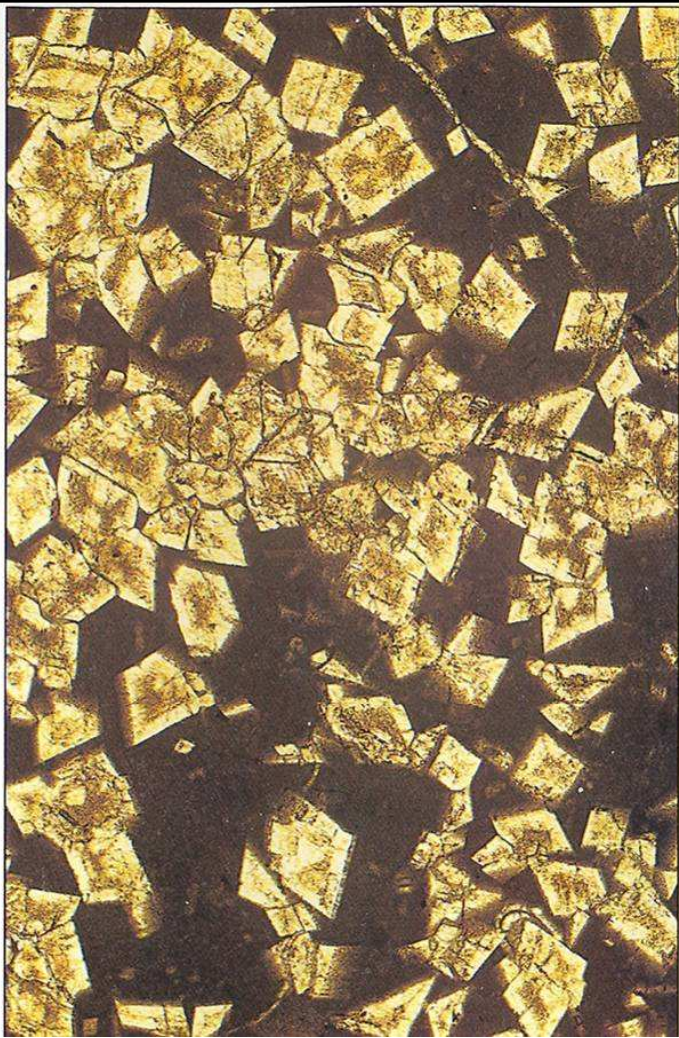
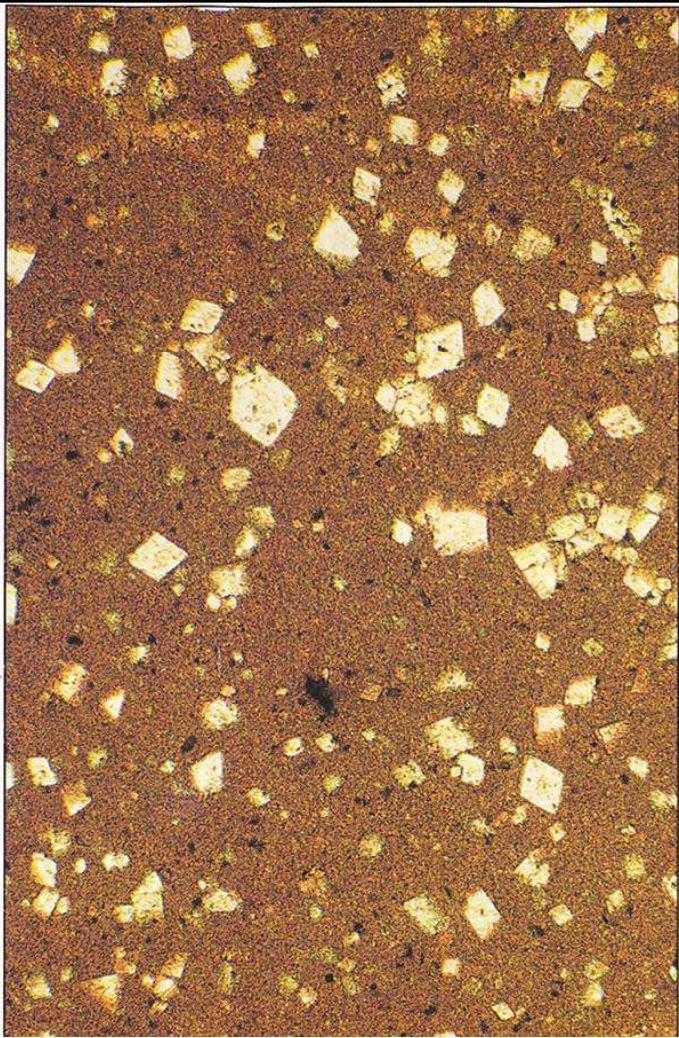


Zdroj  $\text{Mg}^{2+}$ : mořská voda, jíly obohacené o  $\text{Mg}^{2+}$

Procesy dolomitizace:

- Cementace (vzácně)
- Nahrazování









# Procesy 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 sladkých podzemních vod

Mořská voda: zdroj Mg

Sladká voda umožňuje pohyb směsi, pumpuje fluida horninou

## Dolomitizace v důsledku pohřbení

Ztráta vody kompakcí z jílových hornin a migrace fluid nasycených Mg

Dolomitizace vápenců okraje šelfu



# Facie a depoziční prostředí

FACIE: 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)

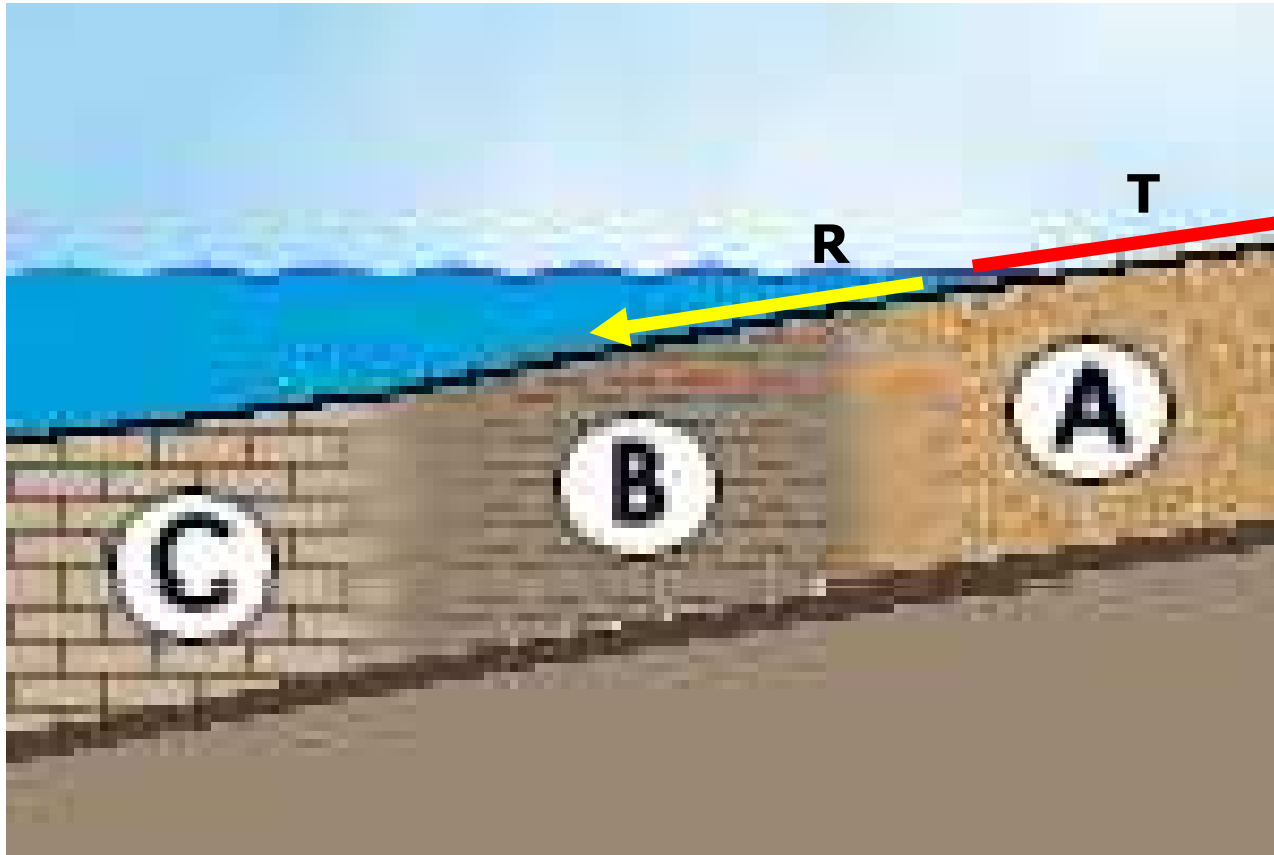


# Facie





# Faciální změna, transgrese a regrese



A = facie písků (plážové prostředí)

B = facie jílu (hlubší mořské prostředí)

C = facie vápenců (mořské prostředí mimo dosah klastického materiálu z kontinentu)

Depoziční prostředí přecházejí jedno do druhého a totéž dělají i facie. V horninovém záznamu mluvíme o **faciální změně**

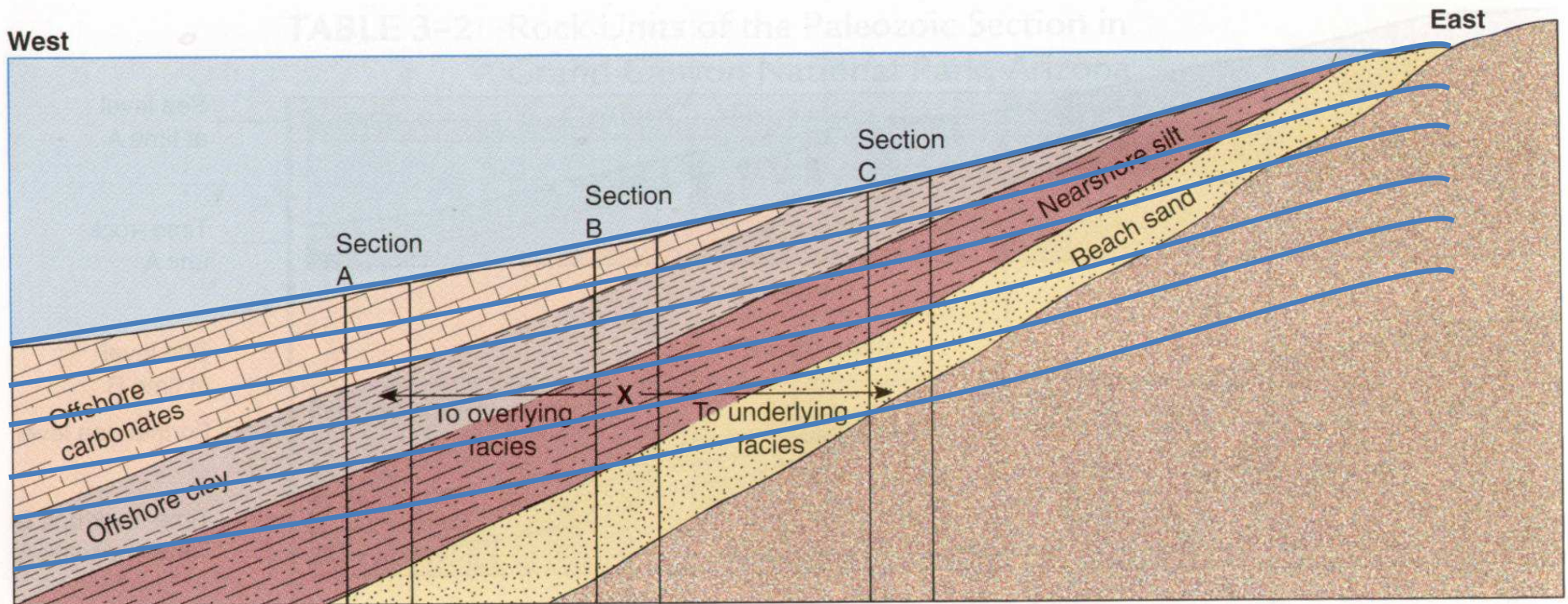
# Waltherův zákon faciální sukcese

„facie, které vznikají v daném časovém okamžiku vedle sebe, jsou ve vertikálním profilu viditelné nad sebou“

Umožňuje studovat časoprostorové vztahy mezi faciemi

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.

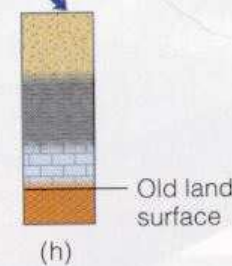
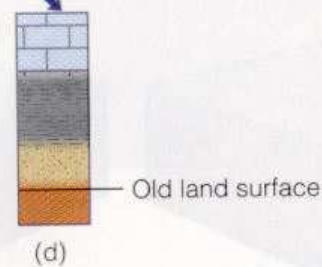
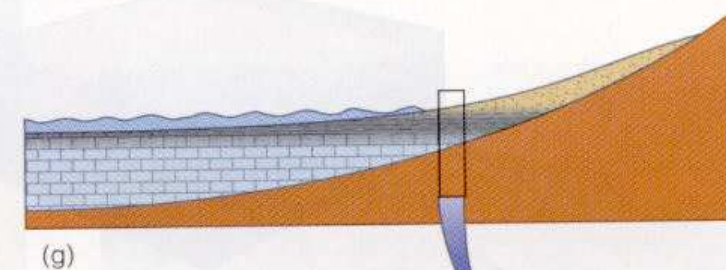
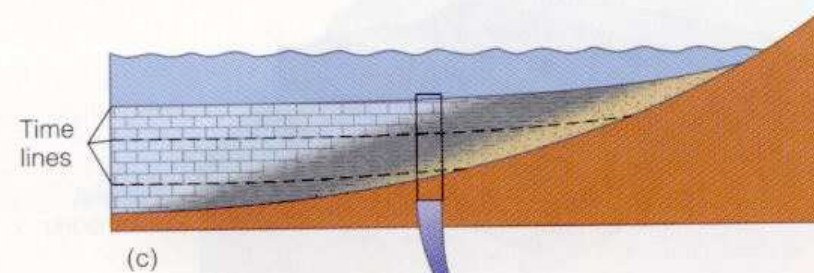
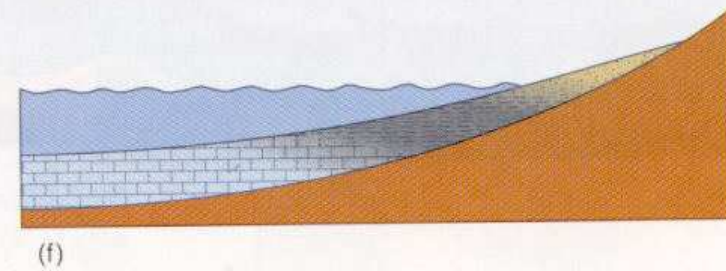
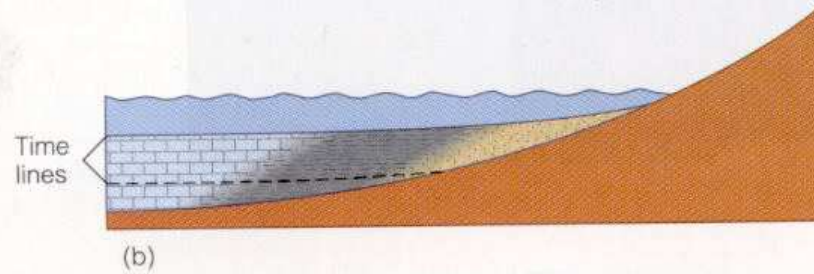
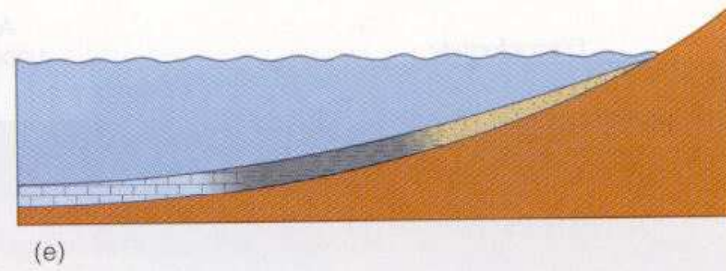
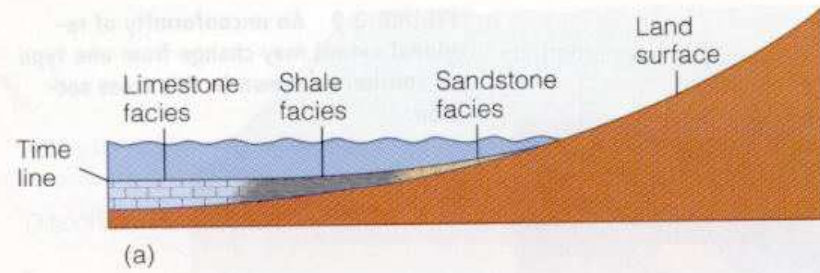


**FIGURE 3-41** An illustration of Walther's Principle, which states that vertical facies changes correspond to lateral facies changes. (After Brice, J. C., Levin, H. L., and Smith, M. S. 1993.

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



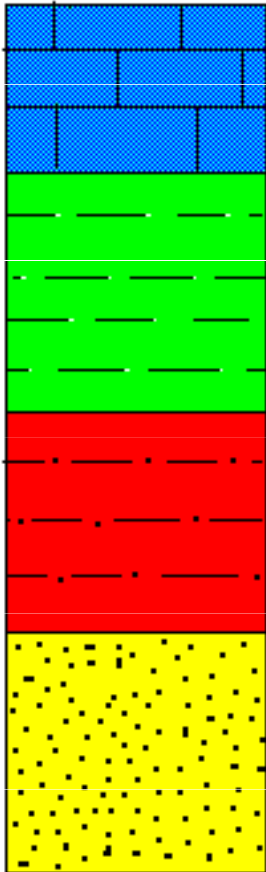
# Retrogradace / progradace (ústup facií) (postup facií)



# Transgresivní a regresivní sekvence

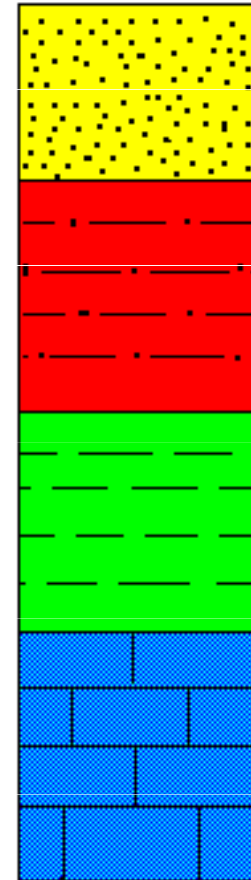
## Transgresivní sekvence

Hlubokovodnější facie  
v nadloží mělkovodnějších facií.



## Regresivní sekvence

Mělkovodní facie  
v nadloží hlubokovodnějších facií





# Sedimentační prostředí

Geografický prostor, který je charakterizován specifickou kombinací exogenních geologických procesů

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

Interpretace ze souborů facií

# Sedimentační prostředí

**pobřežní prostředí**



Beach

**eolické prostředí**



Sand dune

**Aluviální vějíř**



Alluvial fan



Glacial deposits

**šelf**



Spit

**pelagické prostředí**

Turbidity current

**podmořský vějíř**

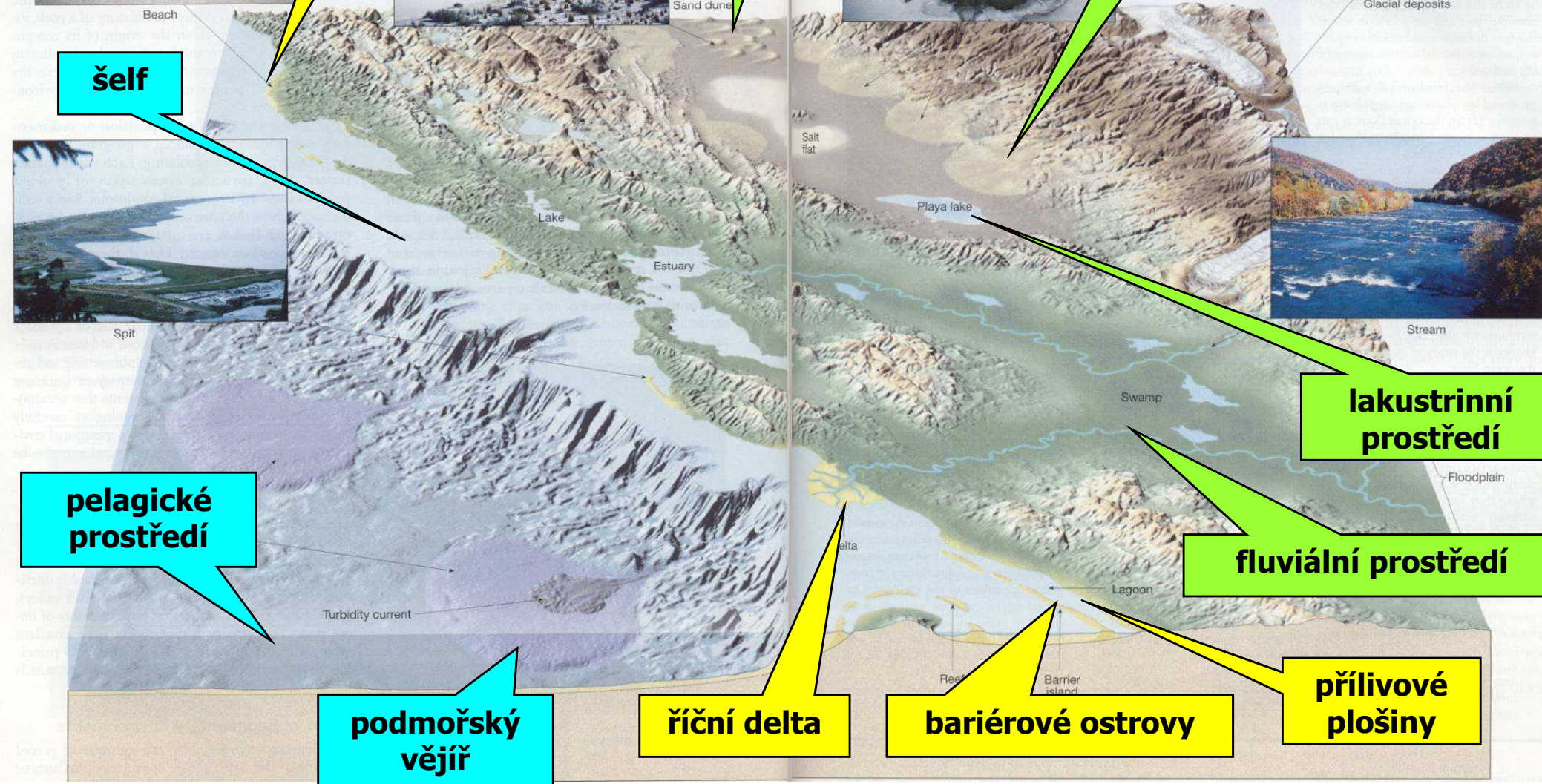
**říční delta**

**bariérové ostrovy**

**přílivové plošiny**

**lakustrinní prostředí**

**fluviální prostředí**





# Kontinentální prostředí

fluviální (říční)

meandrující řeka

divočící řeka

aluviální vějíř

eolické

aluviální vějíř

erg

sprašové

glaciální

subglaciální

englaciální

pro- (peri-)glaciální

glacilakustrinní/glacimarinní

lakustrinní

otevřené systémy

uzavřené systémy

sesuvná (sesuvy)

jeskynní

# Fluviální prostředí: dělení podle spádové křivky

- Aluviální vějíře
- Divočící řeky
- Meandrující řeky
- Říční delty

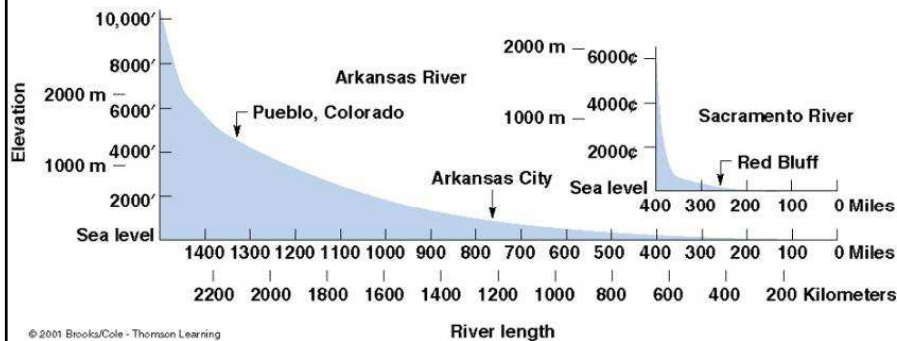
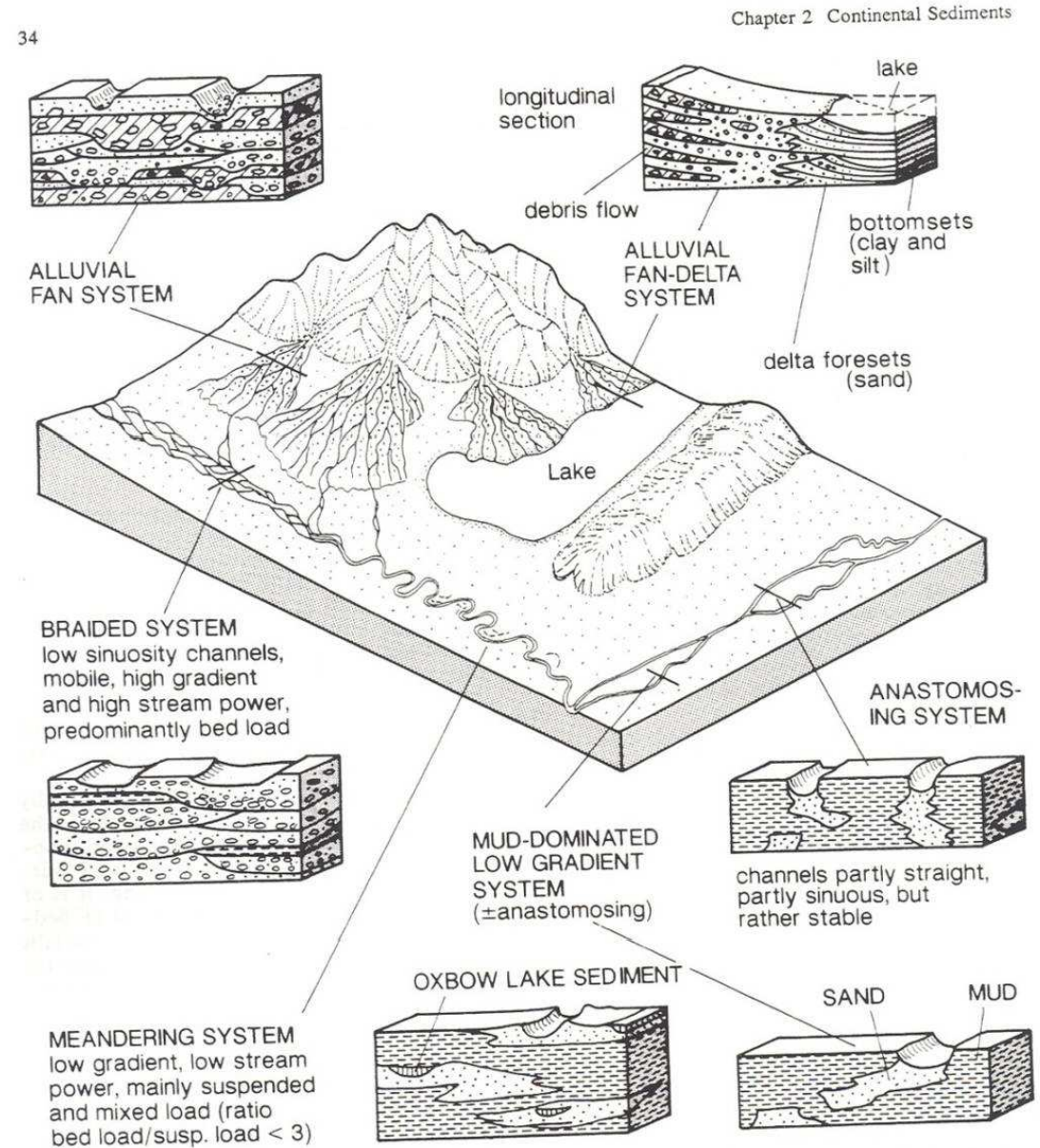


Fig. 2.8. Principal types of fluvial systems and generalized characteristics of their cross sections (vertical scale exaggerated)



# Aluviální vějíř

38

Chapter 2 Continental Sediments

- úpatí horských pásem
- **Aluviální kužely**
- značný sklon povrchu
- povrch pokryt sítí koryt říčních toků
- hrubozrnné, špatně vytríděné a chemicky nezralé klastické sedimenty

## sedimentace z vodních toků

- dobře vytríděné štěrky a písky
- **výmolové šikmé zvrstvení**
- **čeřinovým zvrstvením**

## sedimentace z gravitačních toků

- **úlomkotoky** a **bahnotoky**
- **netříděné** směsi balvanů, štěrku, písku a jílu
- okrajové poklesové zlomy
- **obrovské mocnosti sedimentu** (10 km více).

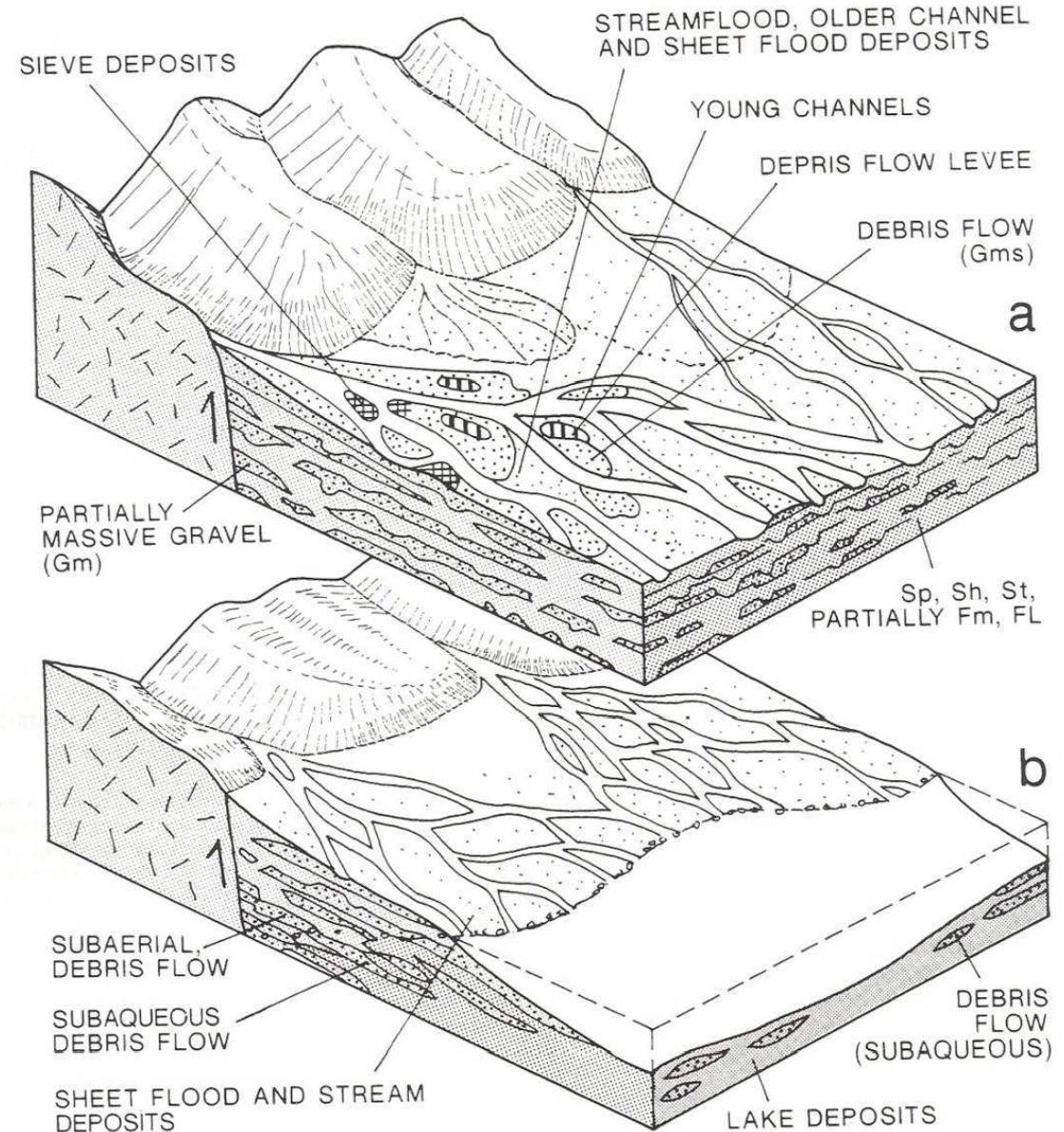


Fig. 2.11. Simplified facies models of a alluvial fan (proximal to mid fan region) and b fan delta. See Table 2.1 for explanation of symbols





## ALLUVIAL FANS



# Meandrující řeka

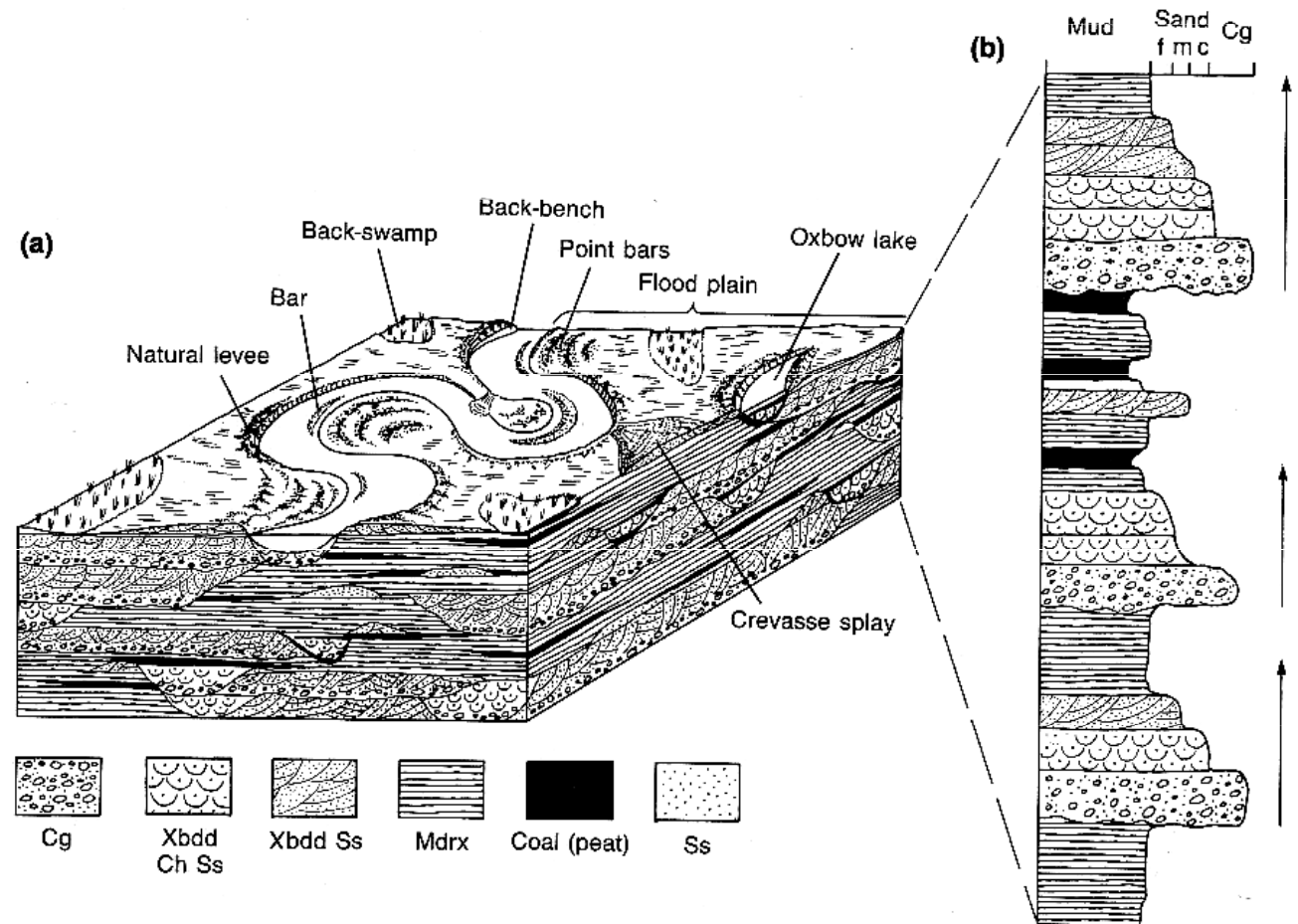
- Zákruty (**meandry**)
- odchylovací síla zemské rotace - Coriolisova síla
- rozšiřovány boční erozí - odstředivou silou vody

morfolgické tvary a facie

- **říční koryto** - ukládání reziduálních štěrků
- **jesepní val** - písky s šikmým zvrstvením – laterální akrece
- **niva** někdy s močály silt, jílu, organické zbytky (záplavy vertikální akrece).

## Migrace meandrů

- nahoru zjemňující cykly

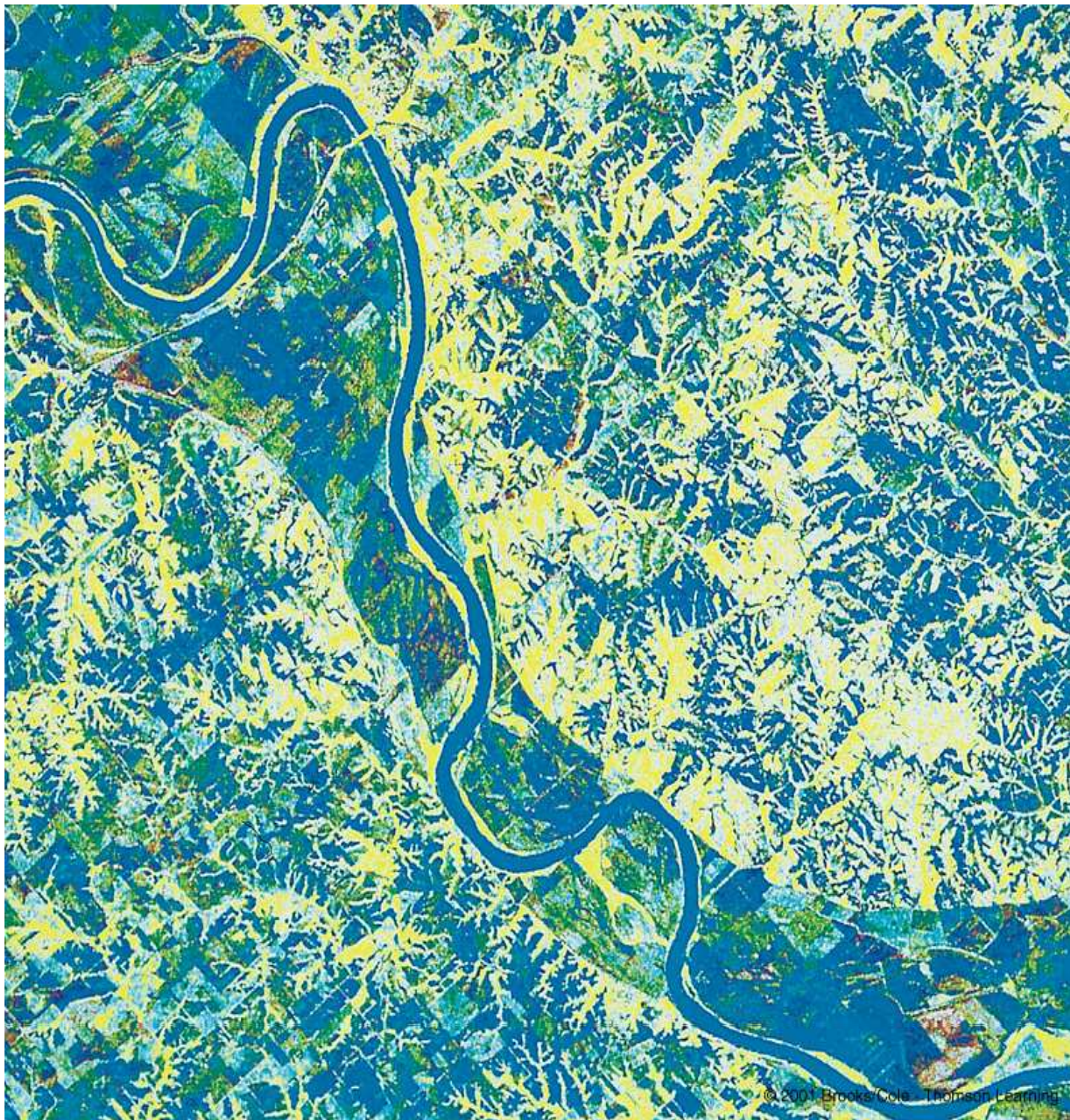


**Figure 15.1**

Simplified sketch of a meandering stream environment and cross section. (a) Block diagram showing various subenvironments and the stratigraphy developed in them. Cg = conglomerate, Xbdd = cross-bedded, Ss = sandstone, Xbdd Ch Ss = cross-bedded channel sandstone, Mdrx = mudrocks. (b) Columnar section showing stratigraphy of a meandering stream environment. Note fining upward sequences indicated by arrows. f = fine sand, m = medium sand, c = coarse sand, cg = conglomerate.

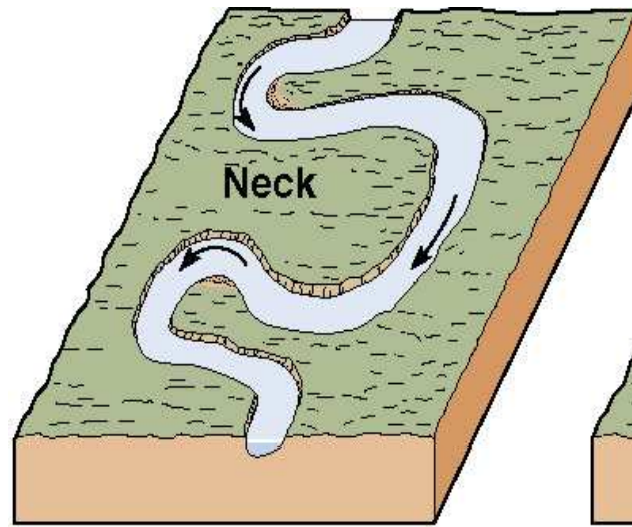
(Source: Based in part on Selley, 1976, and R. G. Walker and Cant, 1984.)



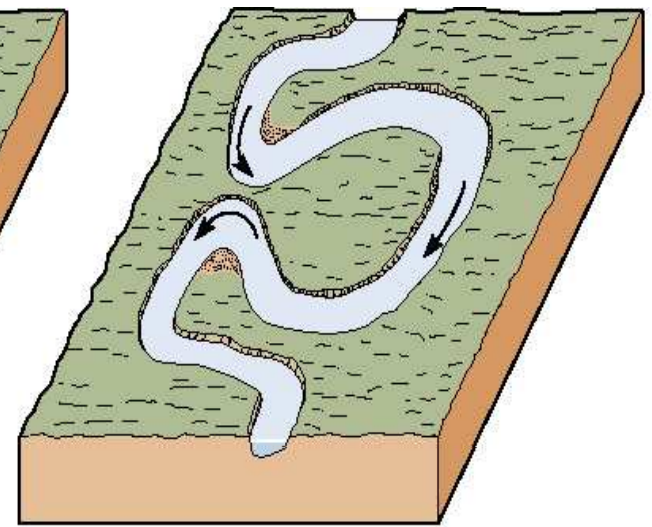




# Mrtvé rameno (Oxbow lake)



(a)

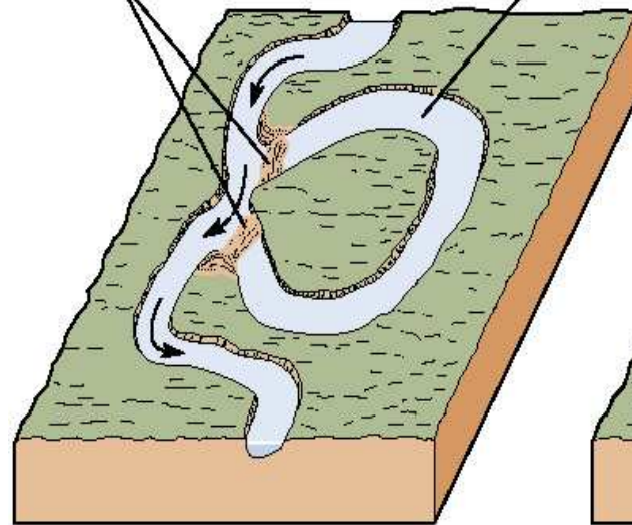


(b)

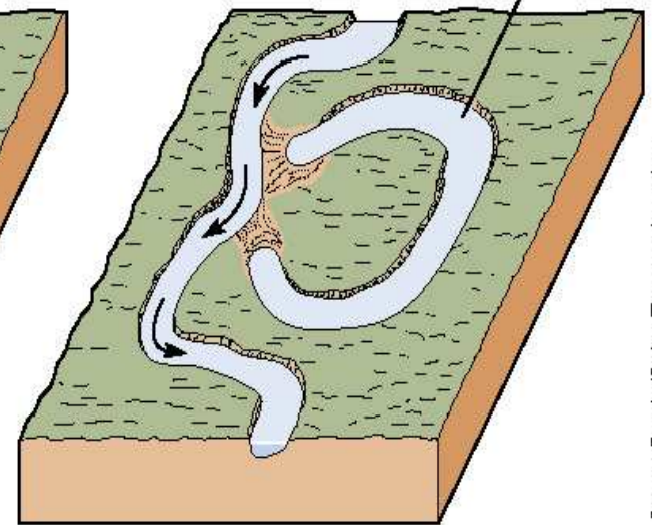
Deposits of  
silt and clay

Abandoned  
channel

Oxbow  
lake



(c)



(d)



# Mrtvá ramena





# Glacigenní prostředí

**Horské ledovce – eroze**  
**Kontinentální ledovce.**

**Subglaciální prostředí:**

bazální moréna  
boční moréna  
terminální moréna  
**souvky** (eratika), **till** (sedimenty morén), **tillity** – zpevněné tilly

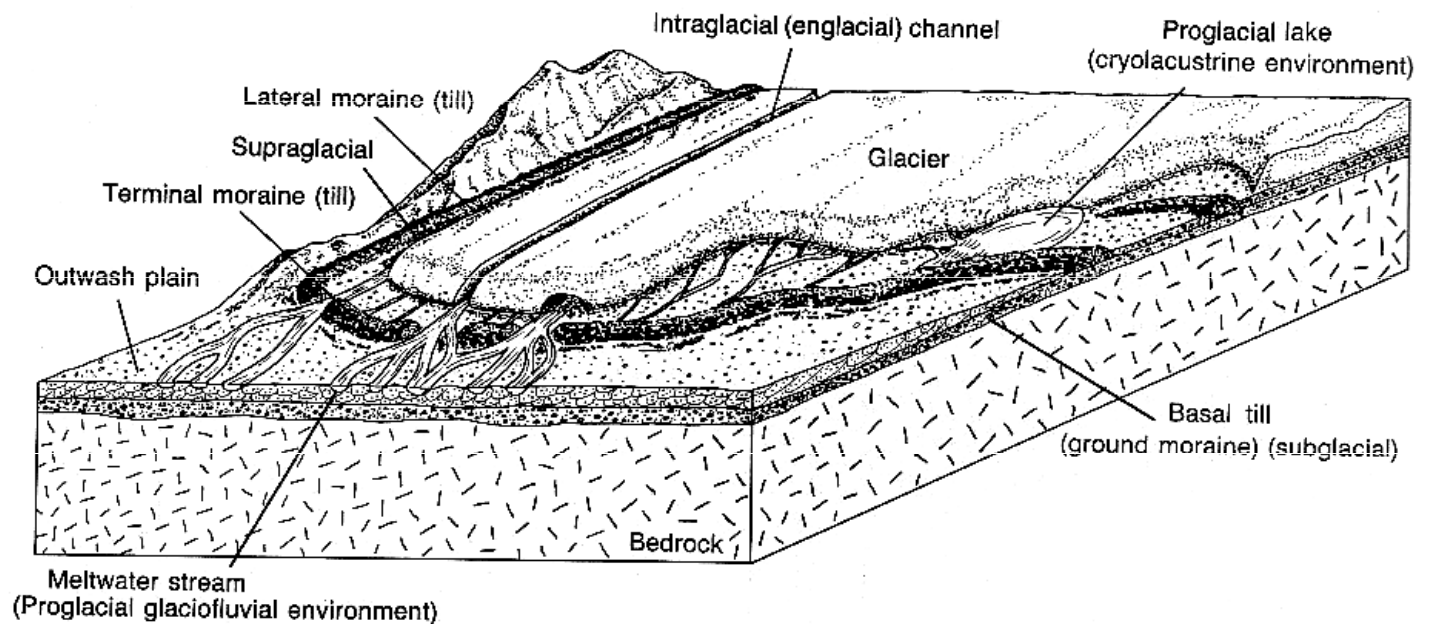
**Proglaciální prostředí:**

odtok tavných vod  
zvrstvené štěrky a písky

**Glacilakustrinní prostředí**

jedmozrné sezónně laminované sedimentů – **varvity**  
sezónní odtávání ledovce  
v zimě: jemnozrnější laminy s množstvím organického materiálu  
v létě: laminy hrubozrnějšího materiálu uvolňovaného při tavení ledovce

**Glacimarinní prostředí:** Kry odtržené z ledovce, plovoucí na hladině, uvolňují odtáváním valouny a balvany, které padají ke dnu - **dropstony**



**Figure 15.4**  
Sketch showing various glacial subenvironments surrounding a mass of glacial ice.

# Přechodná prostředí

pobřežní deltaické

delta

estuarinní

estuárie

laguna

solné marše

Litorální – plážové

plážové

peritidální (přílivové plošiny)

ostrovní bariéry



# Delta

## Procesy

- zpomalení až zastavení proudu řek
- akumulace sedimentu

## Morfologie

- Deltová platforma  
Hrubozrnná klastika, štěrky – písky, šikmé zvrstvení, meandrující řeka, organické zbytky, močály
- Svah delty  
Silt, jíly, marinní – brakická fauna
- prodelta  
Jíly, marinní fauna, turbidity
- **Progradace delty:**  
**Regresivní sekvence**

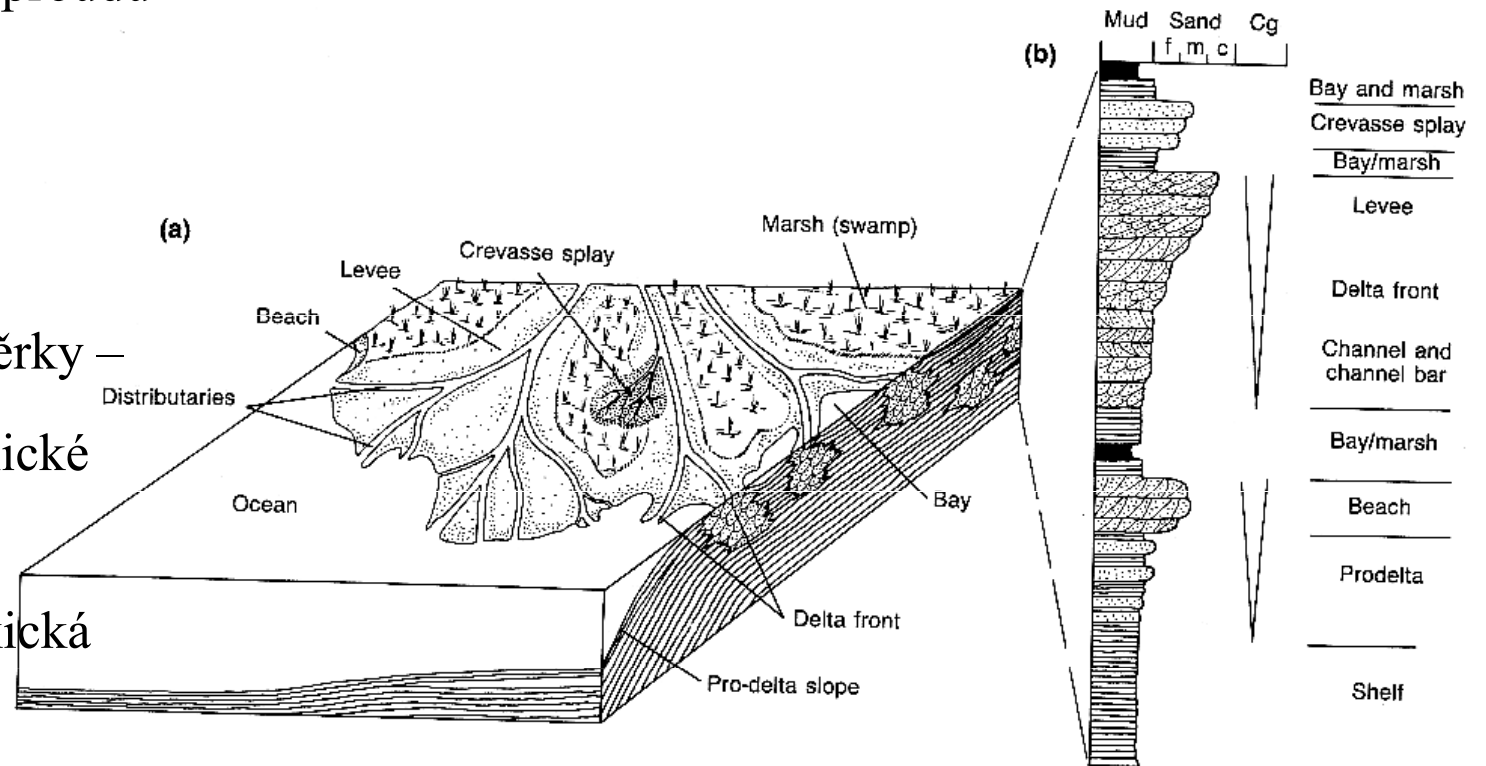


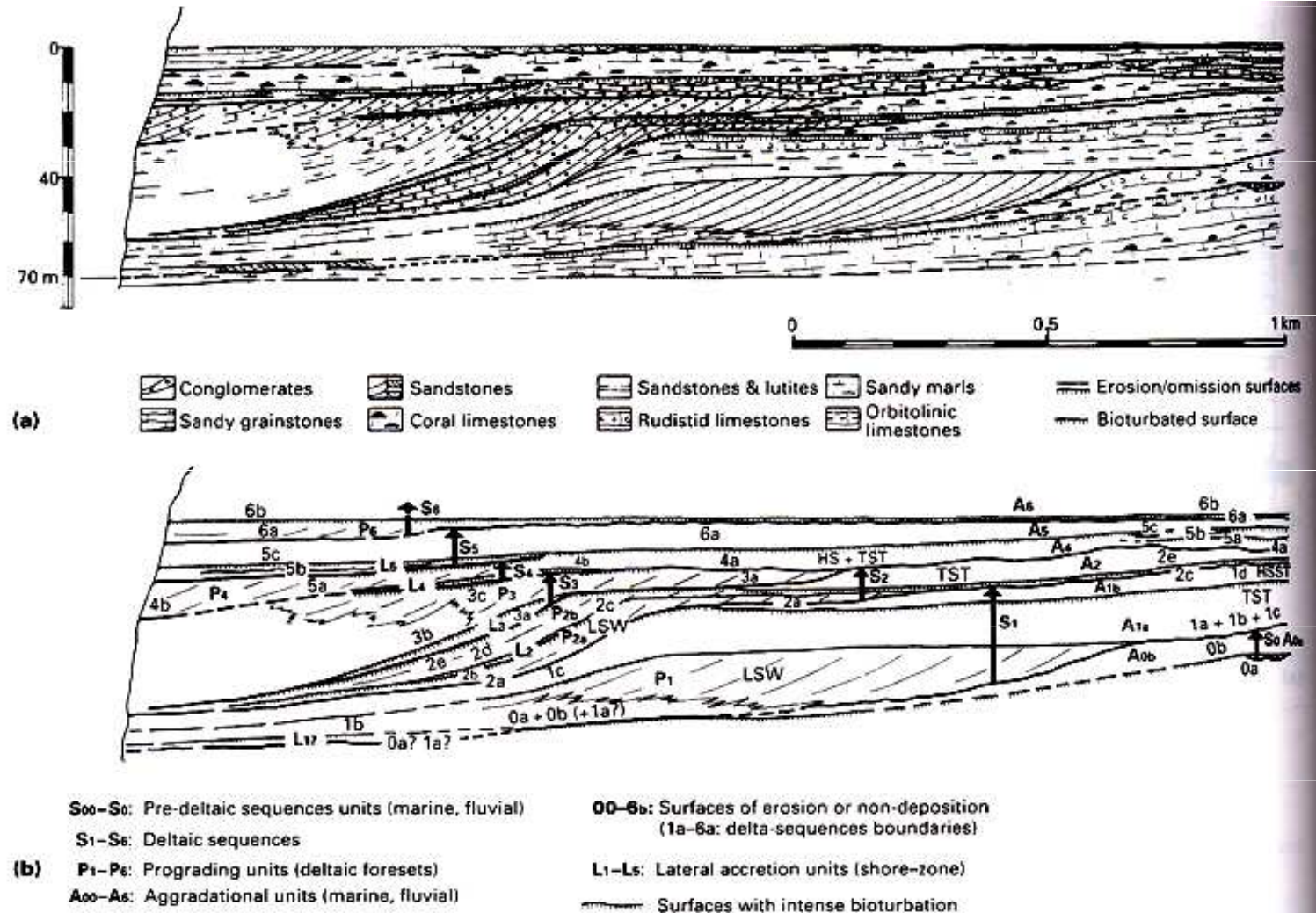
Figure 15.6

Sketch showing simple deltaic environment (a) and columnar section (b). Note crevasse splay, distributaries, delta front, and prodelta slope. In (b), large Vs show coarsening upward sequences.

# 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 prodelt, 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 přetížení přinášeným 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).





# Pobřeží

- Báze vlnění
- Báze bouřkového vlnění

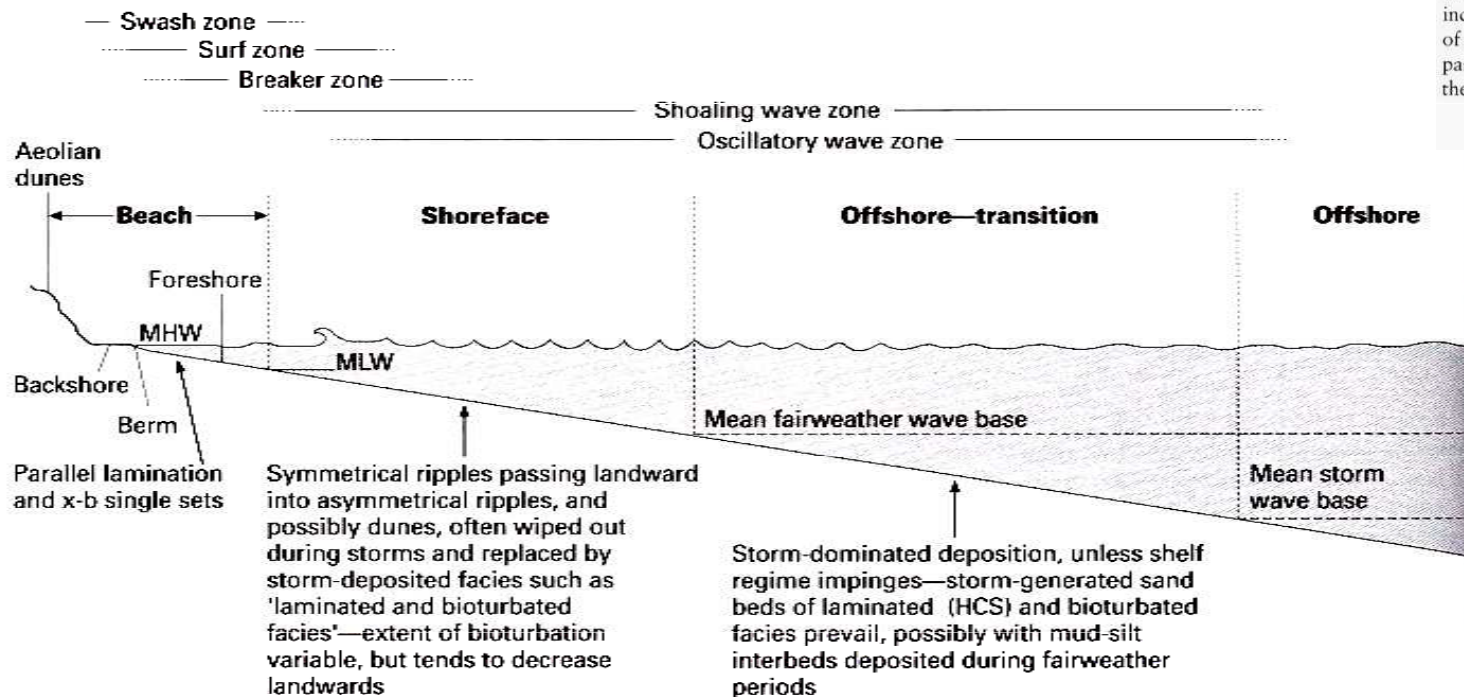
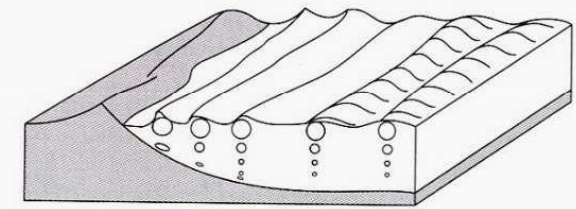
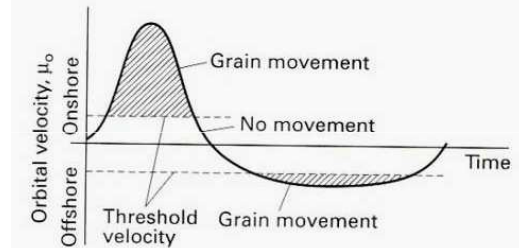


Figure 6.6 Generalized shoreline profile showing subenvironments, processes and facies.



(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).



# Bariérové ostrovy

## Morfologie

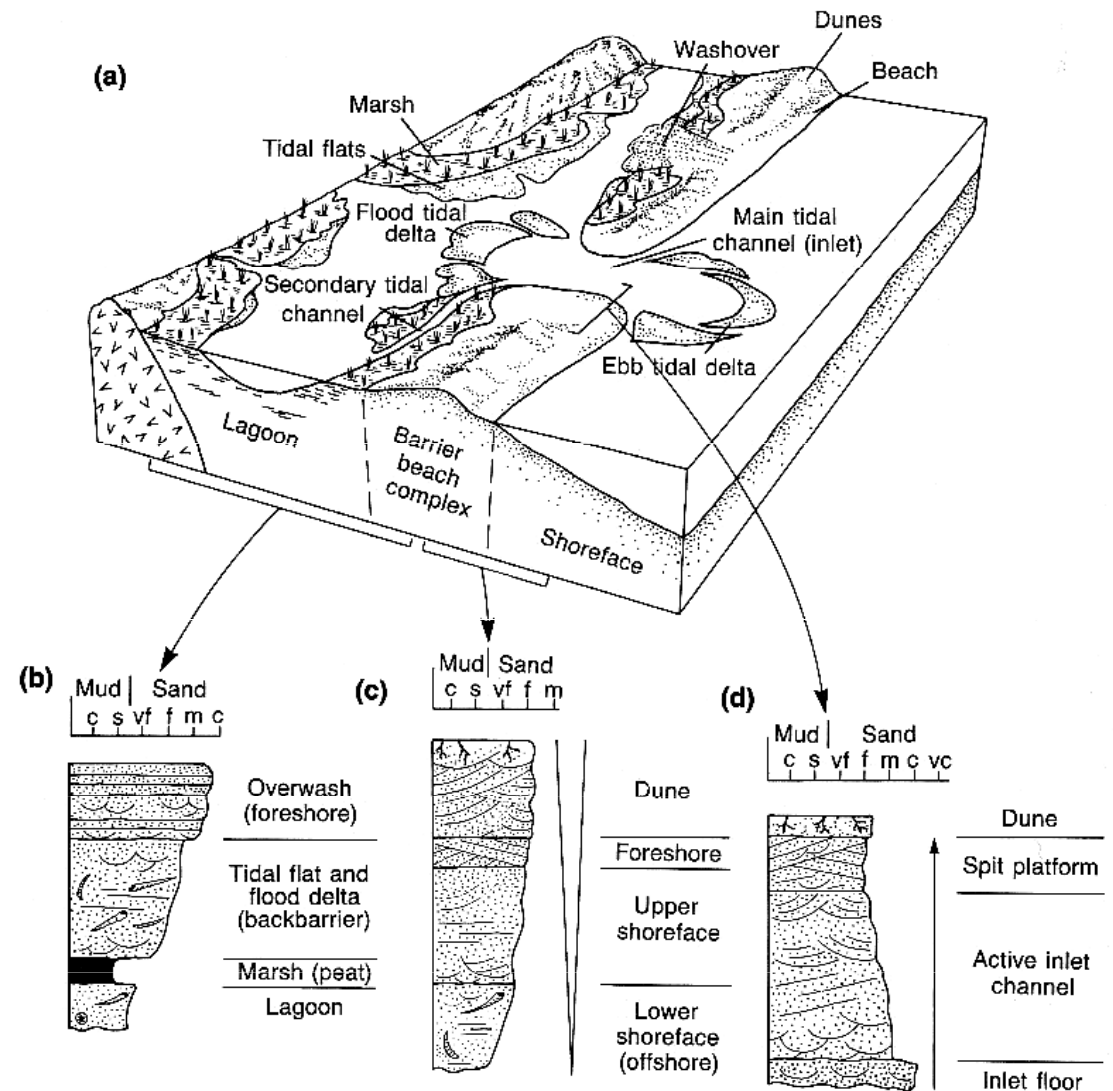
- Ostrov: vzniká akumulací písků mořskými proudy běžícími podél pobřeží
- Zóna mezi ostrovem a pevninou je zalita vodou : **laguna**  
jemnozrnný materiál: jsou od vysokoenergetického prostředí pláží chráněny komplexem ostrovů.

## Facie:

- Břehy ostrovů : **písčité sedimenty, šikmé zvrstvení, čeřinové zvrstvení**
- V centrální části ostrova : **eolické písky (duny).**
- Laguny : **jíly a písčité jíly brakické, nebo hypersalinní -> evapority.**

## Progradace ostrovní bariéry:

## Regresivní sekvence



**Figure 15.7**

Sketch showing littoral and related environments, and representative stratigraphic sections of a coastline with a barrier beach complex. (a) Block diagram showing various subenvironments (modified from Reinson, 1984). (b) Stratigraphic section of the back-barrier region. (c) Stratigraphic section of dune-foreshore-shoreface area. (d) Stratigraphic section of the tidal inlet area.

(Source: [(b)–(d) from Heron et al., 1984.]

# Marinní prostředí

šelf

s převahou bouřkové činnosti

s převahou přílivo-odlivové činnosti

karbonátový útes

útes

předútesové prostředí

zaútesové prostředí

kontinentální svah a úpatí

podmořský vějíř

kontinentální svah

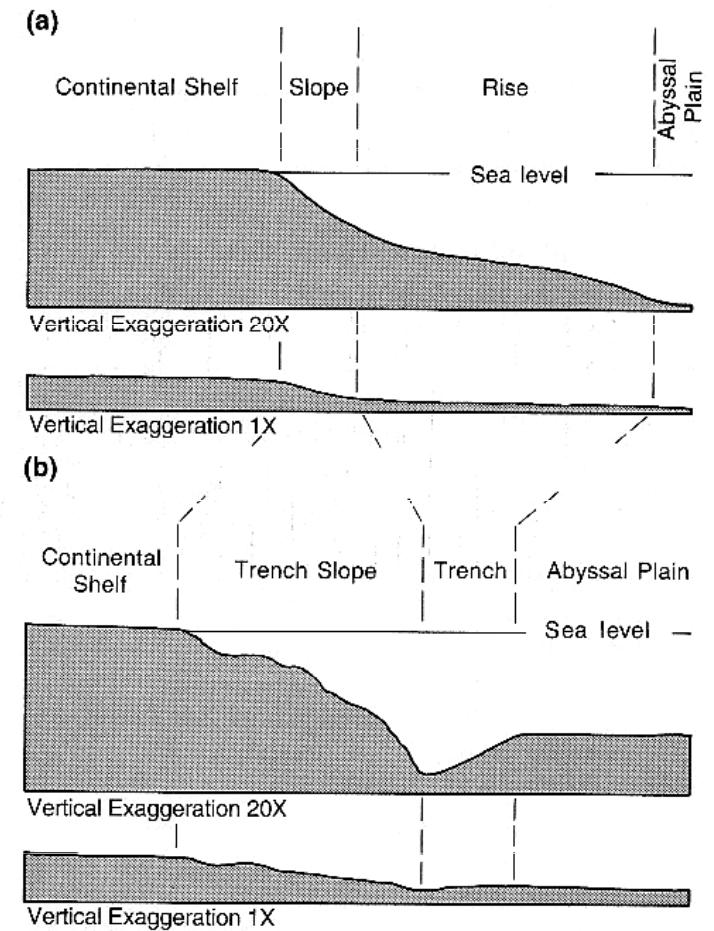
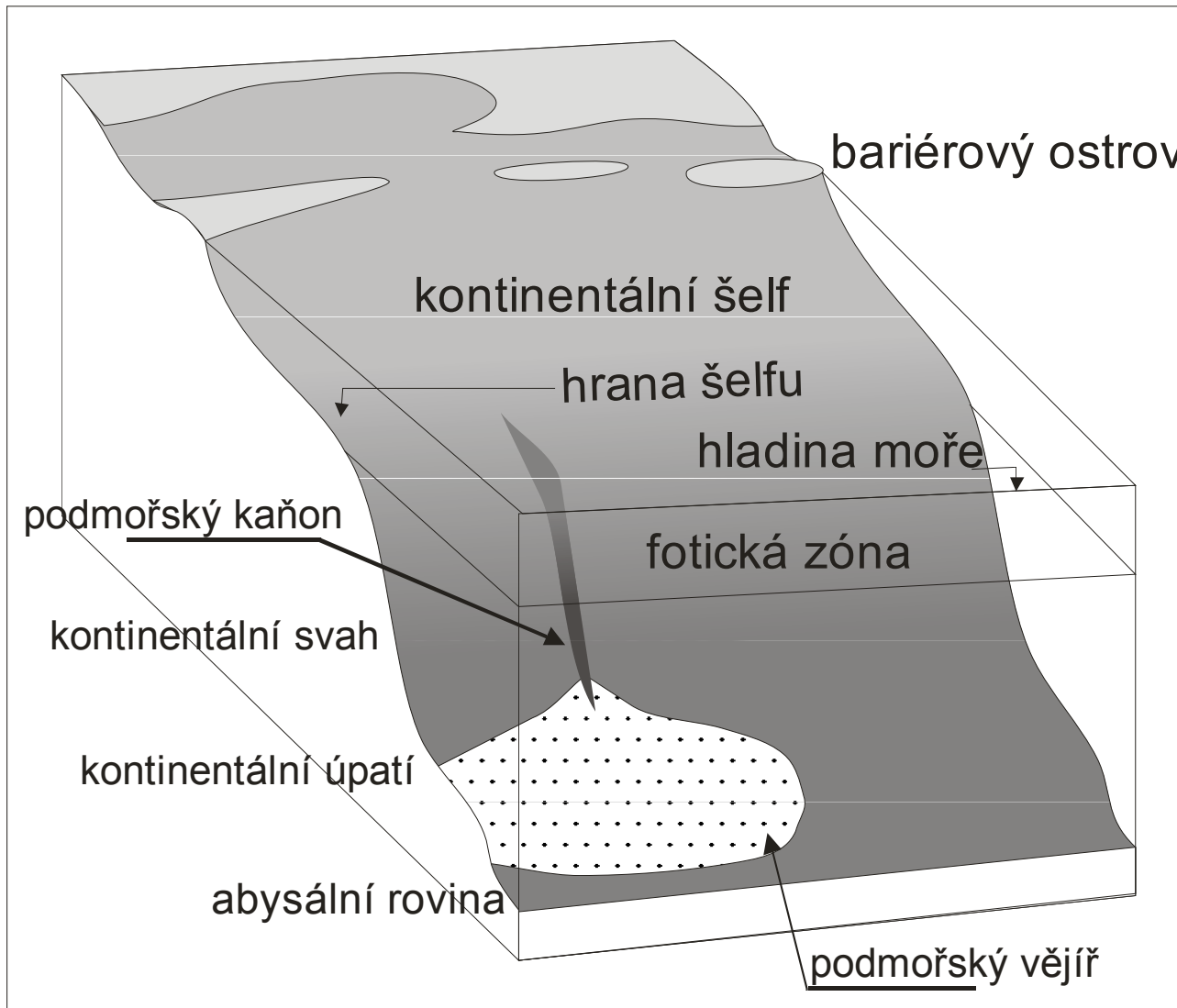
Pelagické prostředí

abysální rovina / dno pánve

podmořské plató



# Marinní prostředí



**Figure 15.8**

Generalized profiles of major marine environments of deposition. (a) Passive margin (modified from C. L. Drake and Burk, 1974; Cook, Field, and Gardner et al., 1982). (b) Active margin.

# Šelfy

## šelfy s převažujícím vlivem dmutí (Severní moře)

**píscité hřbety** - rovnoběžně s přílivovými a odlivovými proudy  
tříděné písky, šikmé zvrstvení

## šelfy s převažujícím vlivem bouřkové činnosti.

bouřkové resedimentované vrstvy – **tempestity**

silné tropické bouře,  
voda o vysoké energii eroduje již jednou usazený sediment, zvirí jej do suspenze a opětovně ukládá.

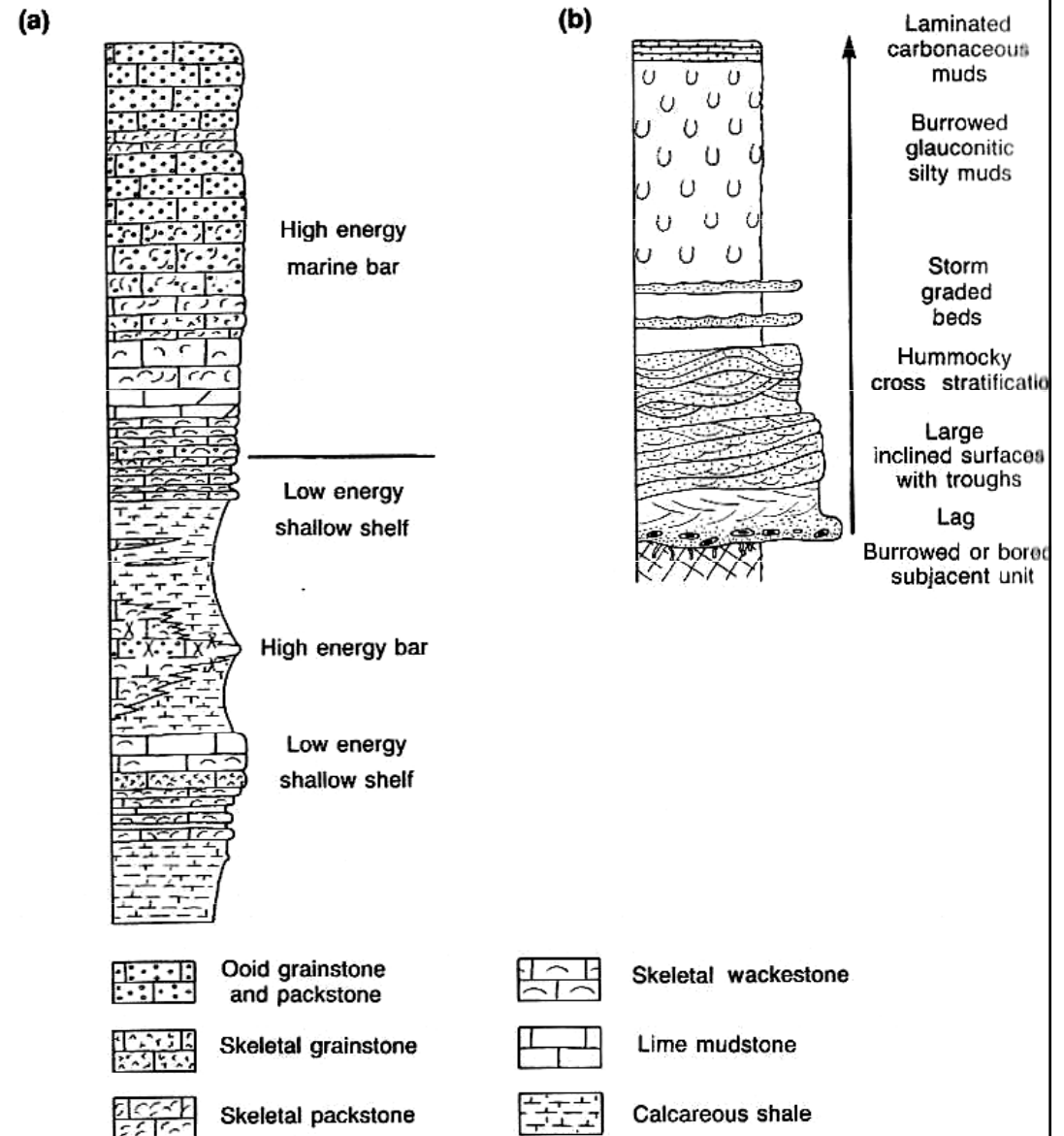
**erozní výmoly** na bázi vrstev

**gradační zvrstvení**

**hřbítkovité zvrstvení** neboli **HCS**

(hummocky cross stratification – speciální typ vlnových čeřin)

Tempestity se dělí na proximální a distální. Distální tempestity se ukládají v hloubkách 30 až 100 nebo i více metrů.





# Podmořský vějíř

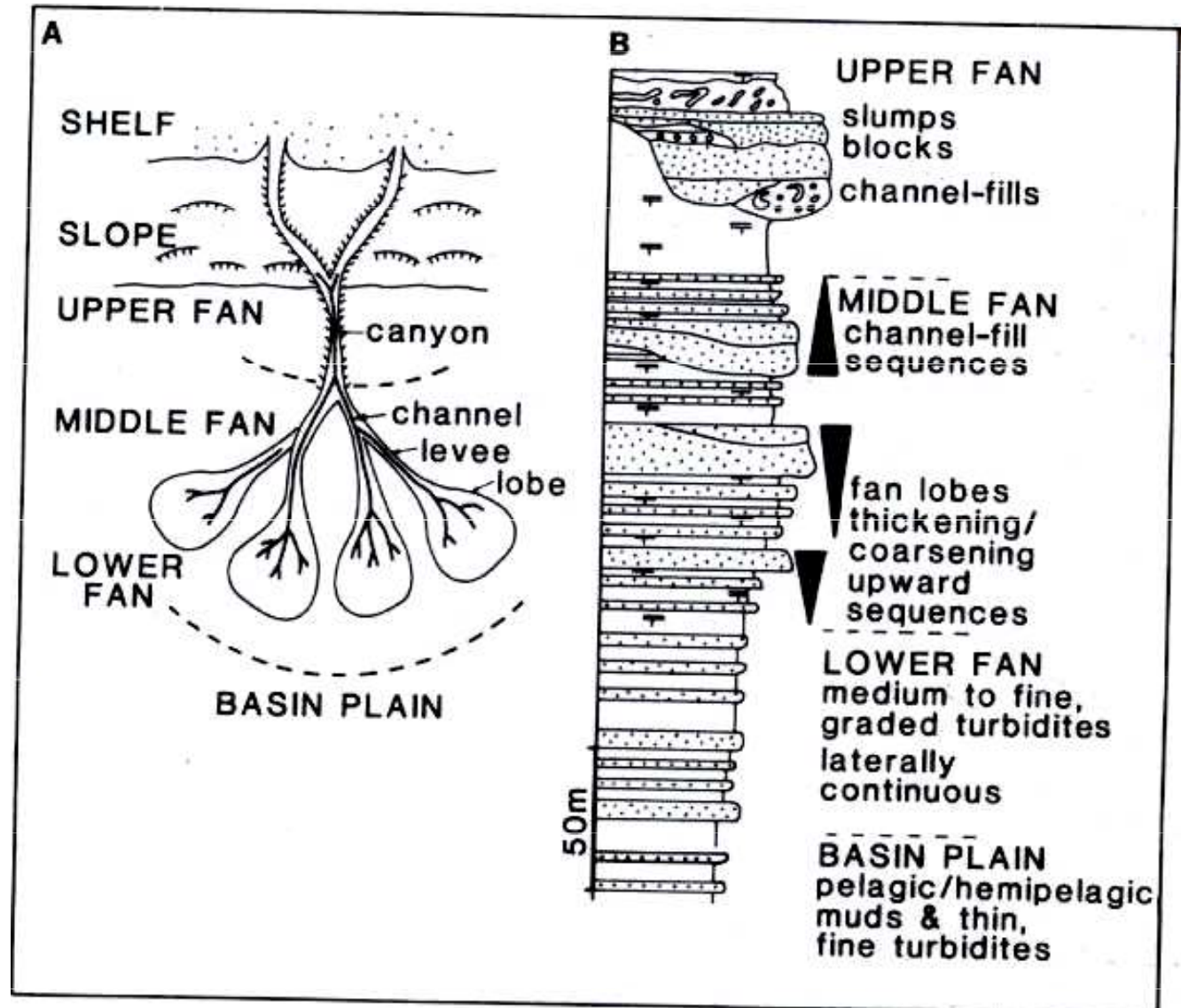
Prostředí sedimentace:

- 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)

Turbidity: Boumová sekvence



# 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
  - Podmořské plató a aseismické podmořské hřbety
  - šelfy a intrakratonní pánve
- Rozpouštění  $\text{CaCO}_3$  v závislosti na hloubce (CCD, lysoklina, ACD)  
(Obsah  $\text{CO}_2$  ve vodě: závislost na teplotě vody, proudění)
- Hydrodynamická energie prostředí u dna (proudění)



# Lyzoklina a CCD

stupeň nasycení

