

# Sedimentologie

## Literatura:

Leeder, MR (1982) Sedimentology, Process and Product. George Allen and Unwin. London

Tucker ME, Wright VP (1990) Carbonate Sedimentology. Blackwell Science

Miall AD (2016) Stratigraphy. A Modern Synthesis. Springer

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

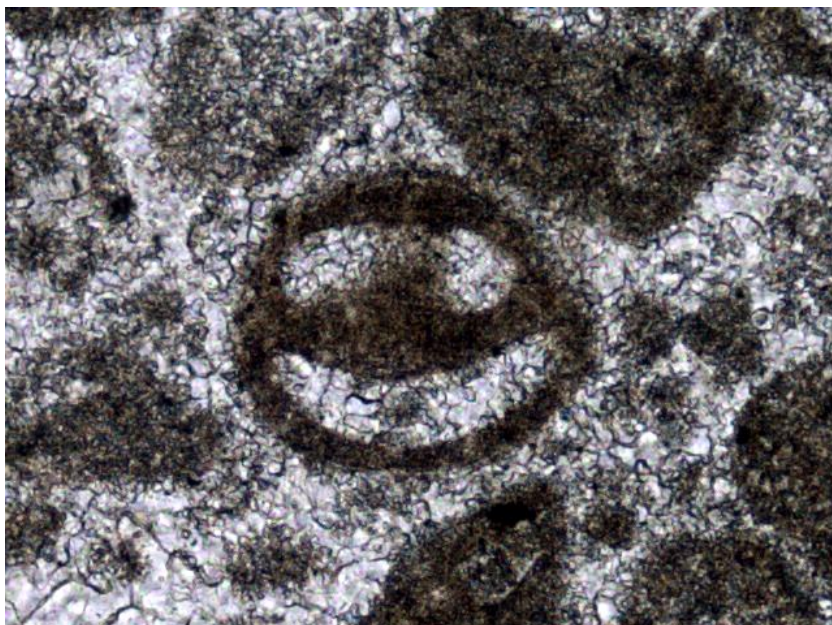
Tato prezentace, zimní semestr 2018/2019

## 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

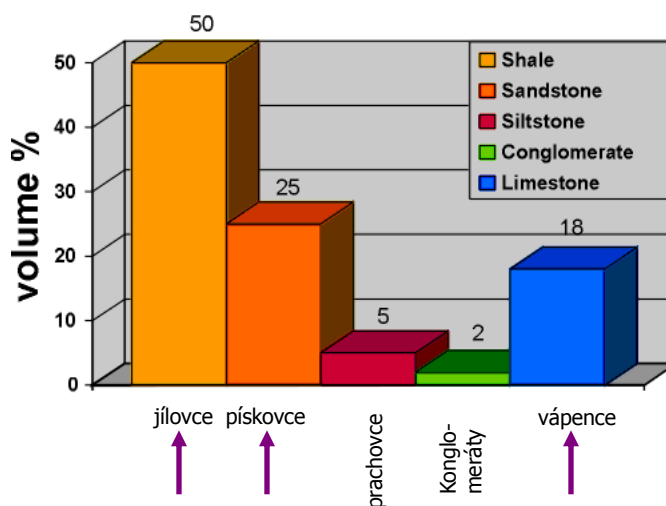
## Stratigrafie

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

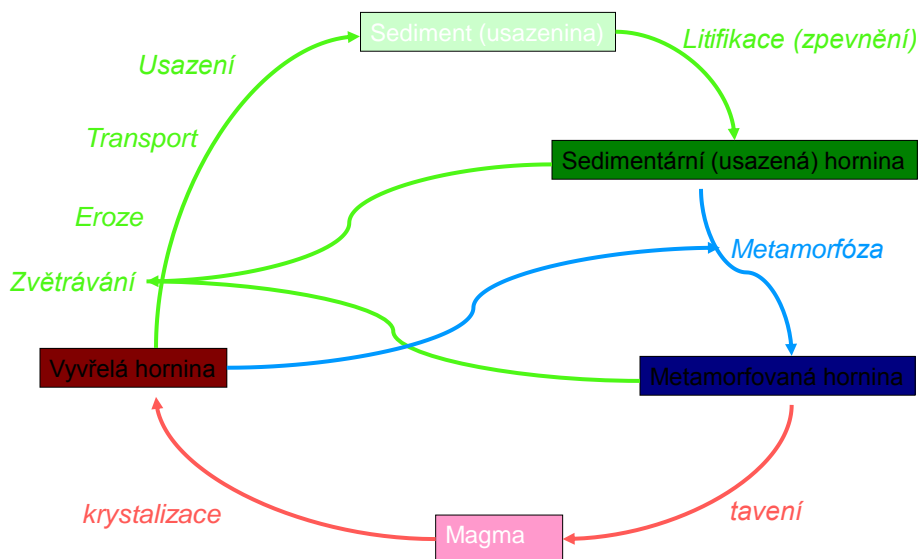
## Časové a prostorové měřítko

- **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

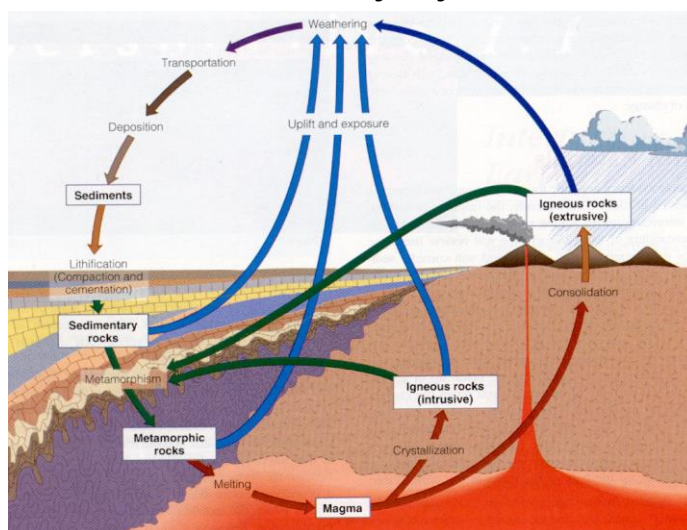
## Rozšíření usazených hornin na Zemi



## Co usazené horniny zaznamenávají?



## horninový cyklus



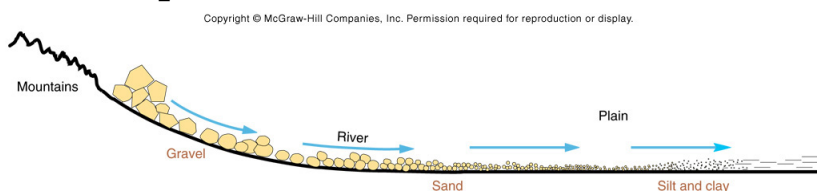
Horninový cyklus: horotvorná činnost nebo výzdvih; zvětrávání a eroze; **transport, ukládání a diagenese sedimentů**; metamorfóza, tavení a tvorba vyřelých hornin; opětovný výzdvih... atd.

## 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**



- **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)
- „hled“ 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



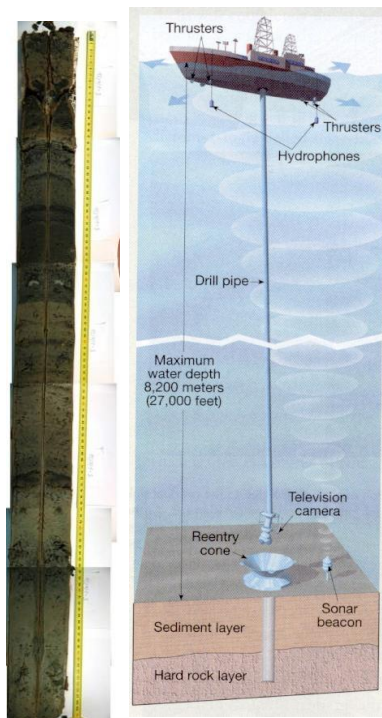
## Metody výzkumu usazených hornin, zdroje dat

- 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)

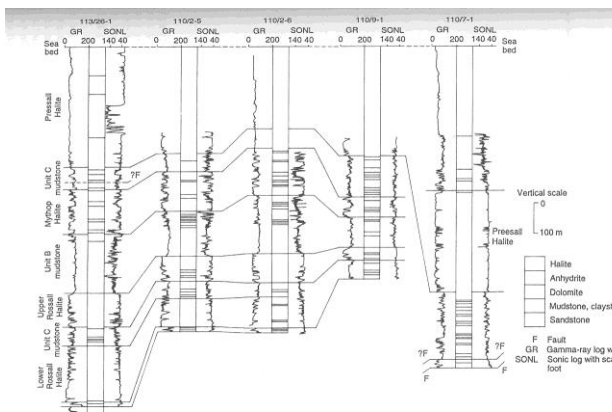
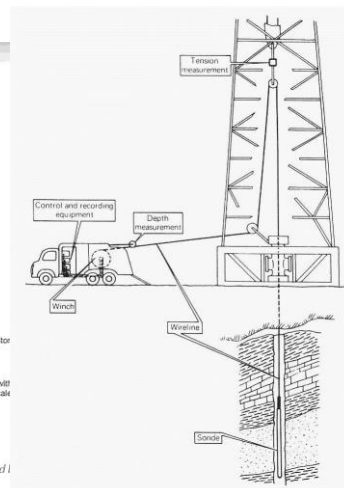


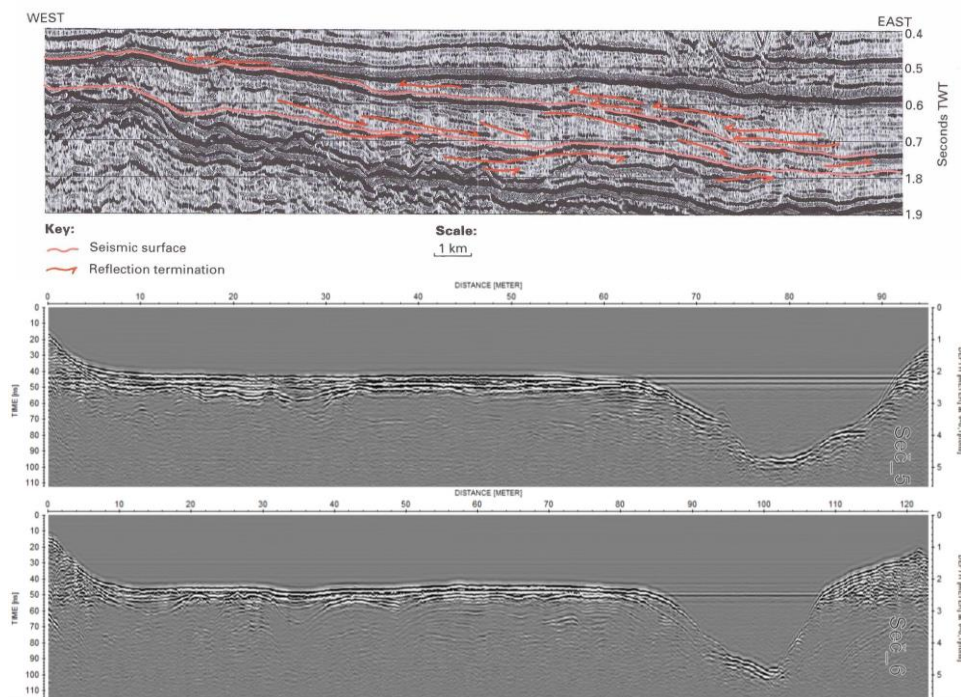
Figure 9.10 Large-scale regional lithostratigraphical and log correlation of the Mercia Mudstone Group (Triassic) in selected East Irish Sea Basin. [Modified from Jackson et al. (1995)]



## Metody výzkumu usazených hornin, zdroje dat

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





## 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

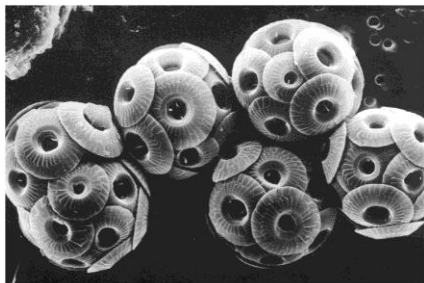
- RTG difraktometrie
- EDX, WDX analýza

### GRANULOMETRIE

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

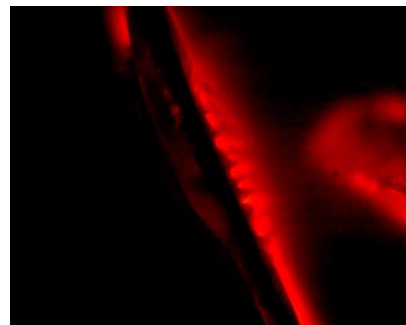
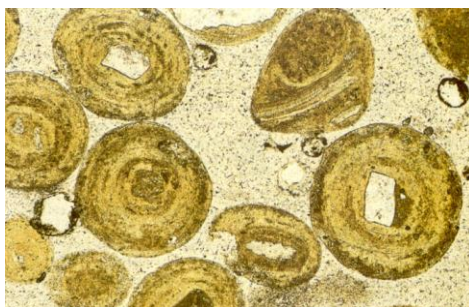
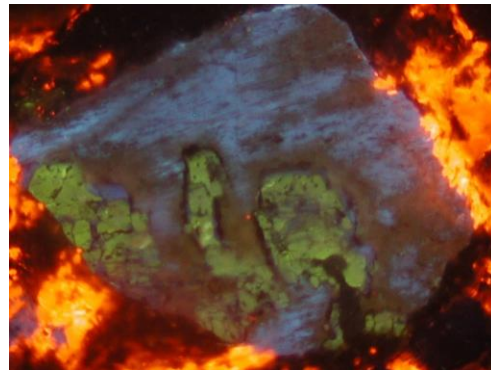
### CHEMICKÉ SLOŽENÍ

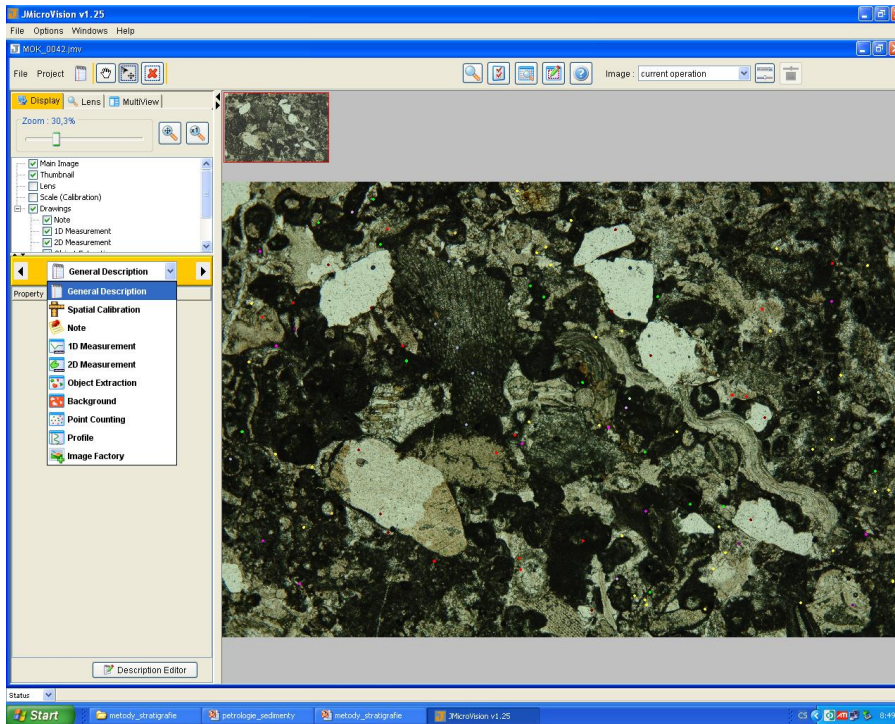
- EDX a WDX analýza (elektronová mikrosonda)
- Hmotnostní spektrometrie (MS) (např. s laserovou ablací LA ICP MS)
- RTG fluorescence
- Ramanská spektroskopie
- a mnoho dalších



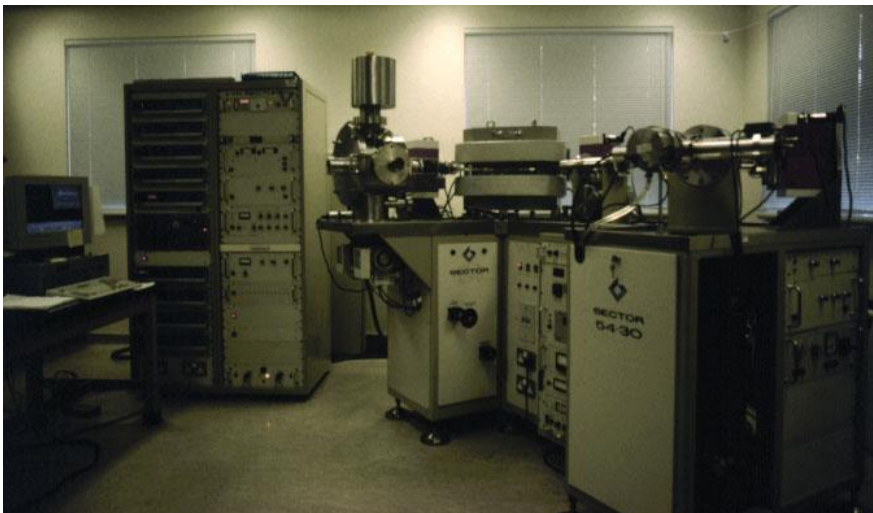
(a)

Copyright © 2005 Pearson Prentice Hall, Inc.





## 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,

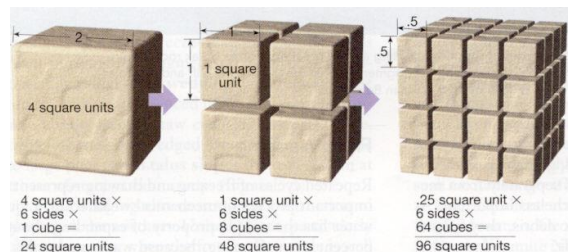
## Zvětrávání

**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** (činnosti živých organismů, živočichů, rostlin)



# CHEMICKÉ ZVĚTRÁVÁNÍ

## ROZPOUŠTĚNÍ

## OXIDACE / REDUKCE

## HYDROLÝZA

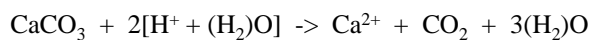
## HYDRATACE

## Rozpouštění

### rozpustnost ve vodě (halit)

polární molekuly vody - na straně vodíku v  $H_2O$  je kladný náboj, na straně kyslíku v  $H_2O$  je záporný náboj, rozbití iontové vazby ( $Na^+ + Cl^-$ ) -> roztok  
většina minerálů ve vodě nerozpustné

- **rozpustnost závislá na pH**, čím nižší pH vody, vyšší **kyselost roztoku** (obsah kationtu  $H^+$ ), tím **rozpustnější**
- obsah kyselin ve vodě - rozklad organické hmoty v půdě, obsah  $CO_2$  v atmosféře
- rozpouštění karbonátů ve slabých kyselých roztocích

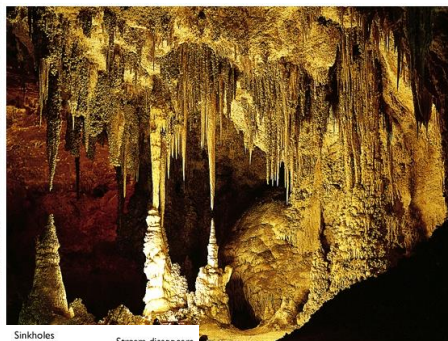


kalcit + vodný roztok kyseliny -> iont vápníku (rozpustný) + oxid uhličitý + voda

- Některé minerály jsou rozpustné v kyselé vodě, aniž by po sobě zachovávaly nerozpustný zbytek
  - Nejhojnějším z nich je kalcit:  $\text{CaCO}_3 + \text{H}_2\text{CO}_3 = \text{Ca}^{2+} + 2\text{HCO}_3^-$
  - Účinky rozpouštění (a srážení) kalcitu mohou být dramatické.

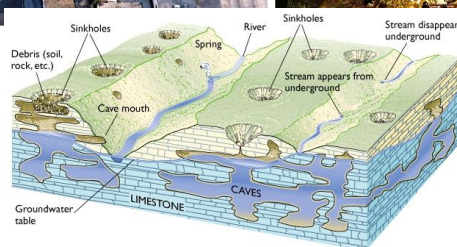


Závrt



Speleotémy

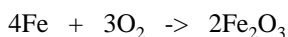
Krasový terén



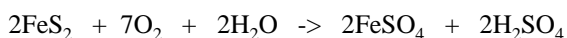
## Oxidace a redukce

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

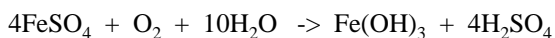
- zpravidla **kyslík rozpuštěný ve vodě**, působí společně s hydrolyzou
- rozklad **minerálů obsahujících železo** - olivín, pyroxen, amfibol
- konečné produkty - oxidy a hydroxidy železa (hematit, goethit, limonit)



krystalové železo + kyslík → hematit



pyrit + kyslík + voda → síran železnatý + kyselina sírová



síran železnatý + kyslík + voda → hydroxid železitý + kyselina sírová

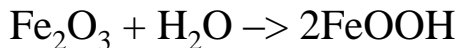
**REDUKCE:** snižování oxidačního čísla /valence/

Např. vznik pyritu redukcí železitého iontu na železnatý ion



# Hydratace

Příjem molekuly vody



Hematit + voda  $\rightarrow$  goethit

## Hydrolyza – zvětrávání silikátů

Disociace molekuly vody a kyselin



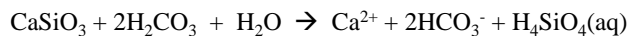
vodíkový kation nahrazuje pozitivně nabitě ionty v krystalové struktuře



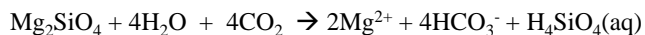
(kyselina uhličitá)  $\rightarrow$  vodíkový kation + hydrogenuhličitanový /bikarbonátový/ anion

### Hydrolyza ortoklasu

$2\text{KAlSi}_3\text{O}_8 + 2(\text{H}^+ + \text{HCO}_3^-) + \text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{Al}_2\text{Si}_2\text{O}_5(\text{OH})_4 + 2\text{K}^+ + 2\text{HCO}_3^- + 4\text{SiO}_2$   
 ortoklas + kys. uhličitá + voda  $\rightarrow$  kaolinit + draselný kat. + bikarbonátový an. + křemíkový gel (amorfni  $\text{SiO}_2$ )



wollastonit + kys. uhličitá + voda  $\rightarrow$  Ca kation + bikarbonátový an. + kys. ortokřemičitá



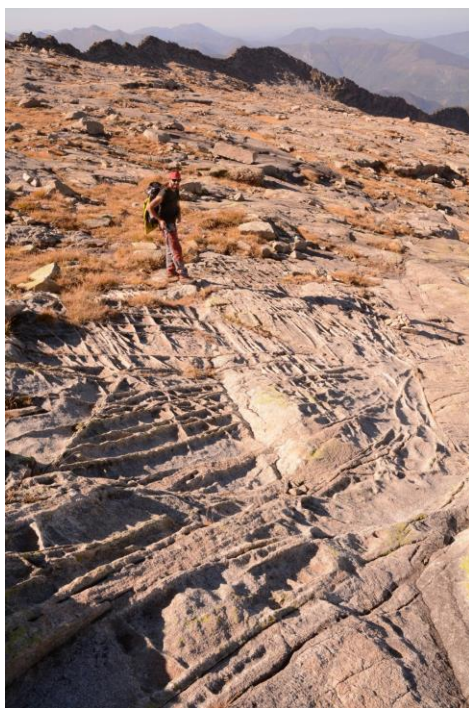
forsterit + voda + oxid uhličitý  $\rightarrow$  Mg kation + bikarbonátový an. + kys. ortokřemičitá

## Rychlost zvětrávání silikátů

- Absolutní rychlosti zvětrávání hlavních silikátových minerálů
- Rozpouštění kuličky o průměru 1mm v roztoku o pH=5

**Table 9.1** Weathering rates of common rock-forming minerals assuming hypothetical 1-mm sphere of each mineral in a dilute solution of pH = 5. Data compiled from Chou et al. (1989), Lasaga et al. (1994), Drever (1997), Brantley (2005), Buss et al. (2008) and numerous sources cited therein. Variation in rates between time (yr) versus dissolution rate and log dissolution rate reflects different approaches to measuring rates. See Brantley (2005) for details. The composition of hornblende is  $(K,Na)_{0-1}(Ca,Na,Fe,Mg)_2(Mg,Fe,Al)_7(Si,Al)_8O_{22}(OH)_2$ .

Mineral	Composition	Time (yr)	Dissol. rate (mol/m <sup>2</sup> /s)	Log dissol. rate (mol/m <sup>2</sup> /s)
Quartz	SiO <sub>2</sub>	34 × 10 <sup>6</sup>	4.1 × 10 <sup>-14</sup>	-13.4
Kaolinite	Al <sub>2</sub> Si <sub>2</sub> O <sub>5</sub> (OH) <sub>4</sub>	6 × 10 <sup>6</sup>	1 × 10 <sup>-13</sup>	-13
K-feldspar	KAlSi <sub>3</sub> O <sub>8</sub>	740 × 10 <sup>3</sup>	5.0 × 10 <sup>-13</sup>	-12.4
Muscovite	KAl <sub>3</sub> Si <sub>3</sub> AlO <sub>10</sub> (OH) <sub>2</sub>	720 × 10 <sup>3</sup>	3.2 × 10 <sup>-14</sup>	-12.5
Phlogopite	KMg <sub>3</sub> Si <sub>3</sub> AlO <sub>10</sub> (OH) <sub>2</sub>	670 × 10 <sup>3</sup>	3.2 × 10 <sup>-14</sup>	-12.5
Albite	NaAlSi <sub>3</sub> O <sub>8</sub>	500 × 10 <sup>3</sup>	6.3 × 10 <sup>-13</sup>	-12.2
Hornblende	see caption	500 × 10 <sup>3</sup>	6.3 × 10 <sup>-13</sup>	-12.2
Diopside	CaMgSi <sub>2</sub> O <sub>6</sub>	140 × 10 <sup>3</sup>	3.6 × 10 <sup>-12</sup>	-11.4
Anorthite	CaAl <sub>2</sub> Si <sub>2</sub> O <sub>8</sub>	80 × 10 <sup>3</sup>	4.0 × 10 <sup>-12</sup>	-11.4
Enstatite	MgSiO <sub>3</sub>	16 × 10 <sup>3</sup>	3.2 × 10 <sup>-11</sup>	-10.5
Tremolite	Ca <sub>2</sub> Mg <sub>5</sub> Si <sub>8</sub> O <sub>22</sub> (OH) <sub>2</sub>	10 × 10 <sup>3</sup>	1.1 × 10 <sup>-11</sup>	-11
Forsterite	Mg <sub>2</sub> SiO <sub>4</sub>	2 × 10 <sup>3</sup>	3.6 × 10 <sup>-10</sup>	-9.4
Dolomite	CaMg(CO <sub>3</sub> ) <sub>2</sub>	1.6	3 × 10 <sup>-7</sup>	-6.5
Calcite	CaCO <sub>3</sub>	0.1	1 × 10 <sup>-6</sup>	-6



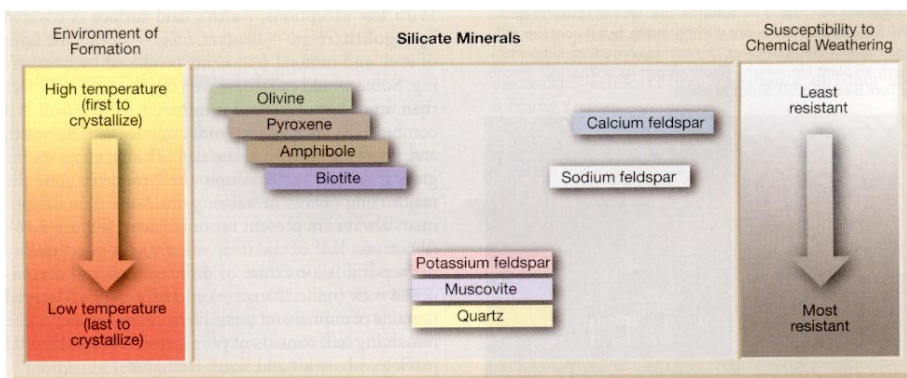
# Produkty chemického zvětrávání

<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> <sup>-</sup>
Dolomit	ionty Ca a Mg, ionty HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>
Železitě karbonáty (siderit, ankerit)	ionty Ca, Mg, Fe, oxidy železa, ionty HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>

## Goldichovo schéma

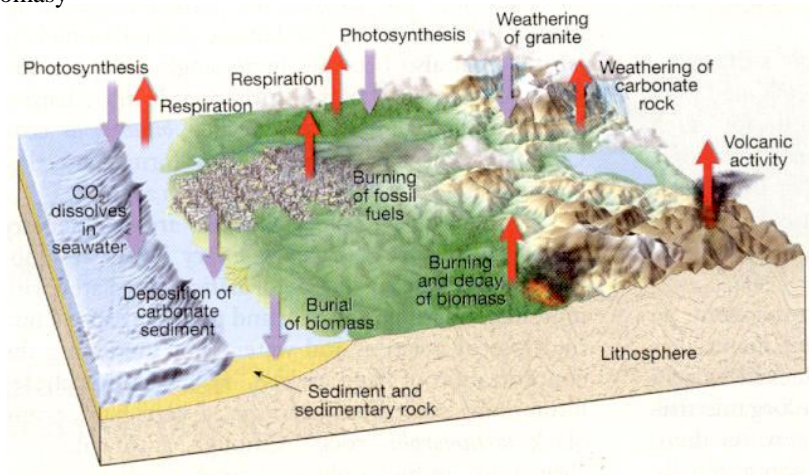
*Chemicky nestabilní minerály (ostatní)*

*Chemicky stabilní minerály (křemen, muskovit)*



## Chemické zvětrávání: uhlíkový cyklus

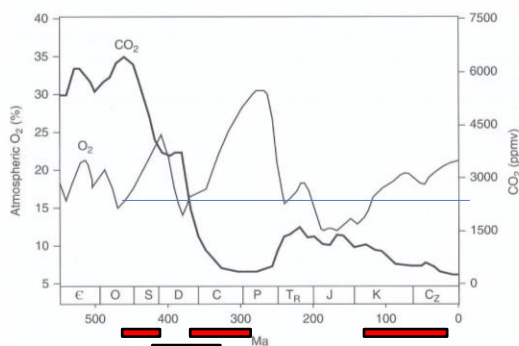
- **Produkce:**  
odplynění pláště, zvětrávání karbonátů, dýchání, spalování fosilních paliv, spalování a rozklad biomasy
- **Spotřeba:**  
Sedimentace karbonátů, fotosyntéza, dýchání, pohřbení biomasy, zvětrávání granitu, rozpouštění CO<sub>2</sub> v mořské vodě



## pCO<sub>2</sub> atmosféry v geologické minulosti kambrium - recent

Souhra

- vulkanická činnost (produkce oceánské kůry, platóbazalty)
- rychlostí a množství zvětrávání silikátů
- Vegetačního pokryvu kontinentů → pohřbívání organického C
  - Kolonizace souše vyššími rostlinami (silur – devon)
- Produkce uhlíčitanu vápenatého
- **Hlavní orogeneze**
  - kaledonská
  - variská
  - alpinská



**Fig. 7.2** Estimations of atmospheric O<sub>2</sub> and CO<sub>2</sub> during Phanerozoic time. Drawn from models in Berner and Berner (1996) and Berner (2006). Uncertainty in CO<sub>2</sub> values is  $\pm 30\%$  of plotted value, meaning that at the Cambrian – Ordovician boundary, CO<sub>2</sub> was  $6000 \pm 1800$  ppmv. From left to right and oldest to youngest, geological periods are Cambrian (C), Ordovician (O), Silurian (S), Devonian (D), Carboniferous (C), Permian (P), Triassic (T<sub>R</sub>), Jurassic (J), Cretaceous (K) and Cenozoic (C<sub>Z</sub>).

# MECHANICKÉ ZVĚTRÁVÁNÍ

## Mrazové zvětrávání

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

## Teplotní výkyvy

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

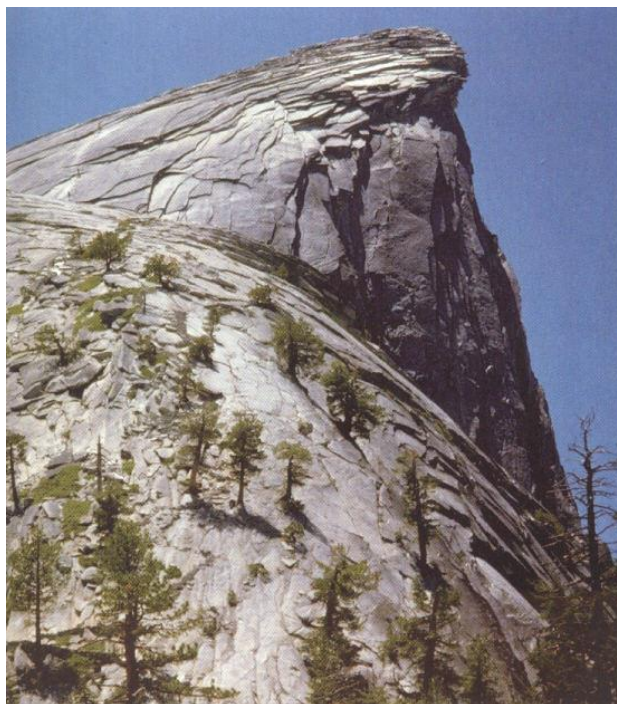
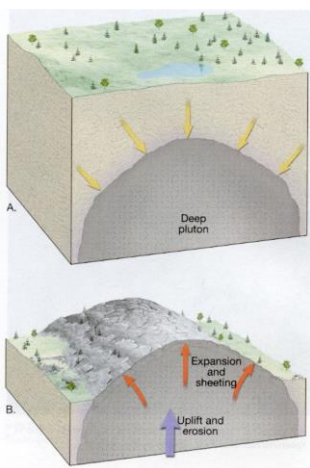
## Odtížení horninových komplexů (EXFOLIACE)

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

## Abráze (koráze, eroze)

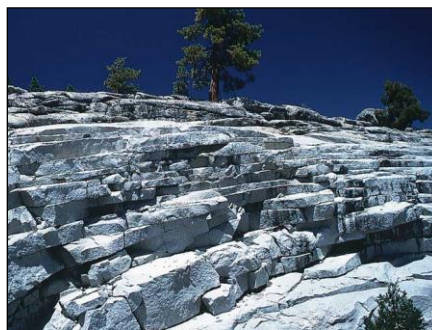
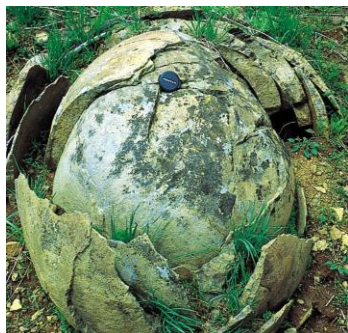
- Obrušování hornin dynamikou nějakého média (voda, vzduch, led), které obsahuje pevné částice

## Exfoliace





## Mechanické zvětrávání

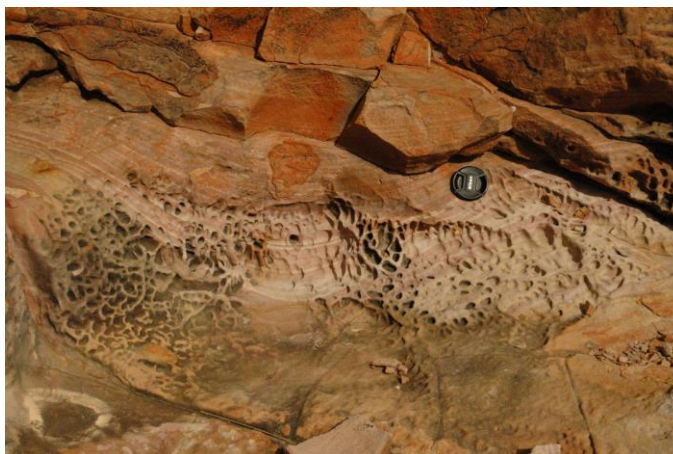


## Solné zvětrávání

evaporace a srážení solí na povrchu a těsně pod povrchem porézních hornin (pískovce)

morfologické tvary:

- Voštiny
- tafoni



Voštiny  
Pískovce, svrchní  
karbon  
Canning Basin  
Západní Austrálie



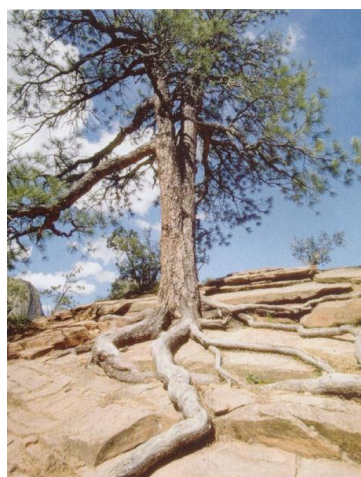
## Produkty mechanického a chemického zvětrávání

- **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.)



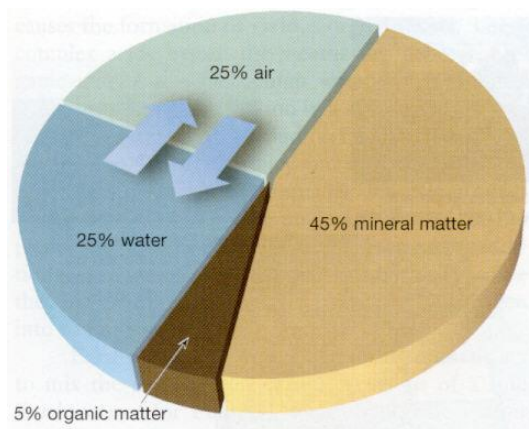
## Biologické zvětrávání

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



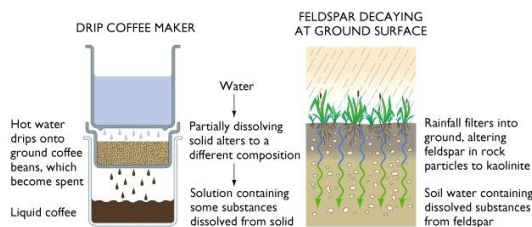
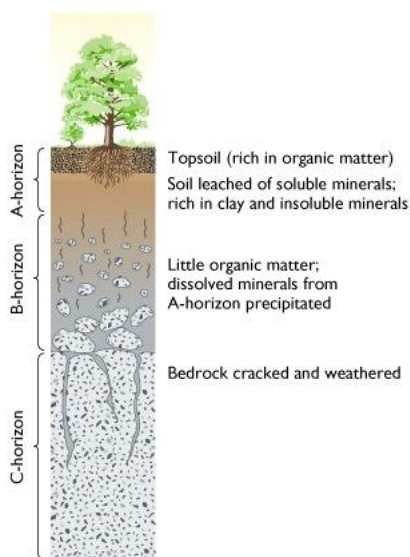
# Regolit, půda

- 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.**



## Holocenní černozem, oblast Kursk, Rusko



**Eroze:** mechanické odstraňování materiálů  
prostřednictvím nějakého hybného média

Hybná média:

*Gravitace*

*Dešťová a skapová voda*

*Tekoucí voda*

*Led(ovec)*

*Vítr*

*Moře*

**SELEKTIVNÍ EROZE**

## Eroze a transport vlivem gravitace,

### Gravitace

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

### **Morfologické tvary**

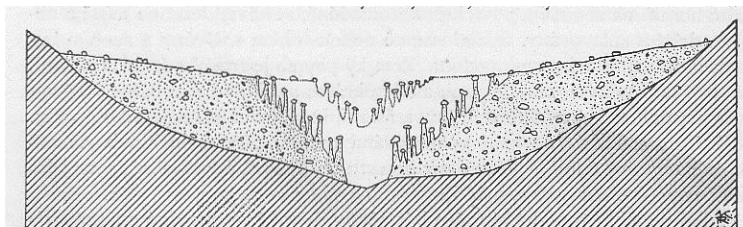
- **Svahové osypy a sut'ové (dejekční) kužele**
- **Sesuvy**
- **Skluzy**
- **Rotace bloků**
- **Hákování vrstev**

## Eroze a transport vlivem skapové vody,

### Dešťové srážky, měkké materiály, půdní eroze (antropogenní monokultury)

### **Morfologické tvary**

- **Zemní pyramidy**
- **Skalní hříby**
- **Ronové rýhy**



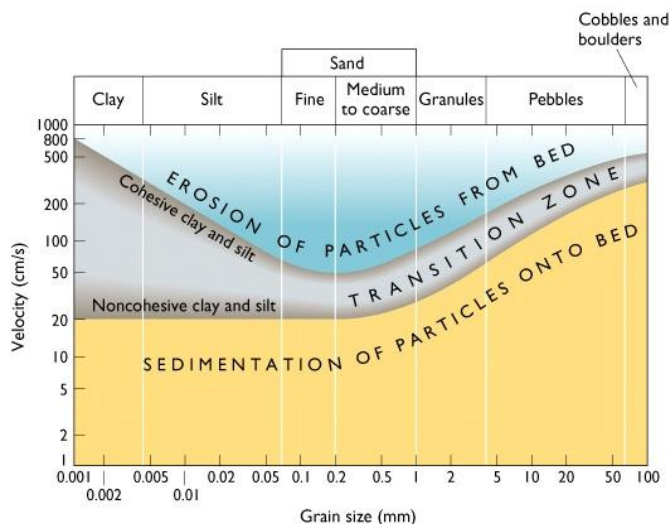
Obr. 45. Vznik zemních pyramid v sypkých uloženinách (morénách, ssuti a pod.) působením stékající vody za dešťových přívalů. (Podle G. WAGNERA.)

## Eroze a transport tekoucí vodou, Hjustrumova 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 vytříděných, hrubozrnných sedimentů k dobře vytříděným a jemnozrnným sedimentům s rostoucí vzdáleností od zdroje.



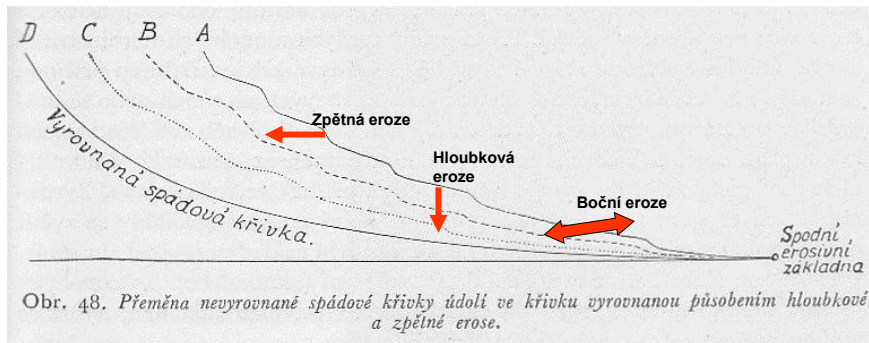
## Eroze a transport tekoucí vodou (říční eroze)

**Tekoucí voda, erozní energie závislá na sklonu podloží (spád), spádová křivka a množství a velikosti transportovaného sedimentu (sediment load)**

Typy eroze a morfologické tvary

- hloubková eroze (říční terasy, údolí typu V)
- zpětná eroze (vodopády, údolí typu V)
- boční eroze (meandry, říční terasy)
- Evorze (obří hrnce)

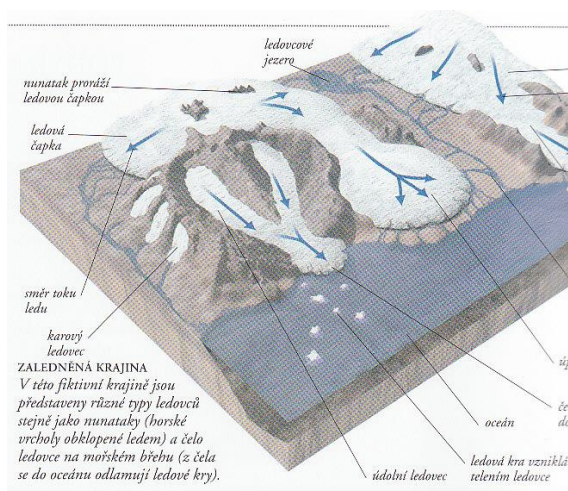
## Spádová křivka řeky



## Eroze a transport ledem

### Led(ovec)

- Kontinentální ledovce
- Horské (údolní) ledovce
- Úpatní (piedmontní) ledovce
- Morfologické erozní tvary:
  - glaciální rýhy
  - ledovcový kar
  - údolí tvaru U
  - horn
  - Fjord
- Depoziční tvary: morény



## Eroze větrem

### Větr

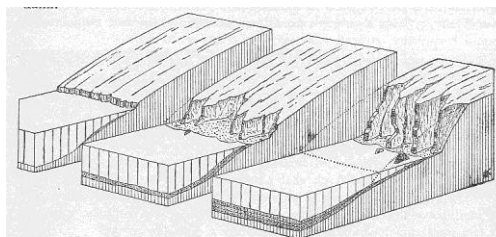
- větrná eroze - koraze (obrušování), deflace (odnos)
- Častá selektivní eroze
- morfologické tvary:
  - hrance
  - viklany
  - pouštní dlažba
- Depoziční tvary:
  - Čejfny, duny, ergy



## Eroze činností moře

### Mořská eroze

- abraze - činnost příboje
- transgrese, regrese - eroze podložních hornin
- morfologické tvary:
  - abrazní srub
  - abrazní plošina
- Depoziční tvary:
  - Kosy, kosinky
  - liman



Obr. 289. Postupující a selektivní působení mořské eroze. (Podle W. M. DAVISE.)

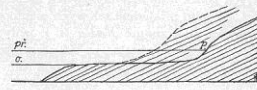
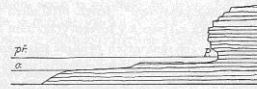
Postupuje-li vymílání skalních břehů příbojem dále, vznikají ve strmých přímořských srážech *jeskyně a brány* (srv. obr. 288, 293 a 317). Takové jsou známy na př. na ostrově Capri u zálivu Neapolského, na Helgolandu a j. Proslulá je Fingalova jeskyně na ostrově Staffa (ve vnitřních Hebridách při záp. pobřeží Skotska), vymletá příbojovými vlnami ve sloupovité se odvětvující čediči. Zříceninám stropů těchto jeskyní a bran

Obr. 290. Vliv způsobu uložení vrstev na postup eroze podmořské mořským příbojem.

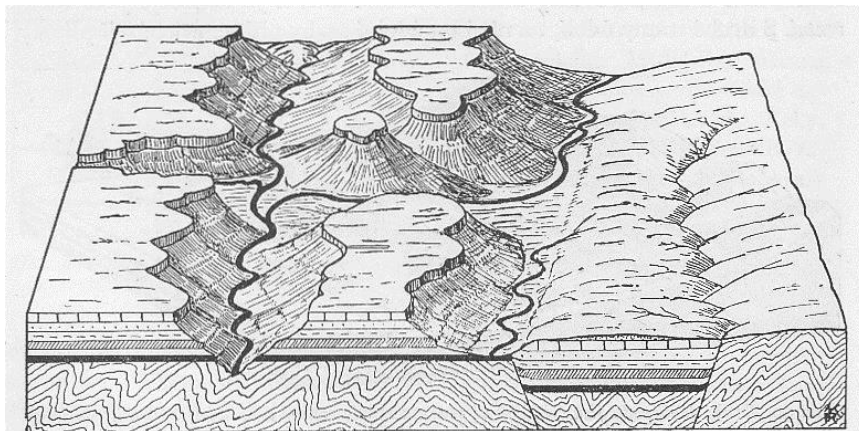
a) Zepadají-li vrstvy do pevniny, je rychlá činnost vln největší a v podmořském srubu vzniká nápadný výžlabek.  
b) Ve vodorovných vrstvách tvoří se při vzniku pobřežní terasy stupínky, na nichž se síla nardžejících vln zesiluje; výžlabek ve srubu se tvoří.

c) Při sklonu vrstev do moře je účinek eroze nejmenší, přímořský srub není srázný, výžlabek se skládá souhlasně s vrstvením do moře a výžlabek se při tom nevytváří.

př. = hladina mořská při přílivu, o = hladina mořská pro odliv; P = přímořský srub.



# SELEKTIVNÍ EROZE



Obr. 91. Vznik tabulových hor a svědeckých kopců erosi ve vodorovně uložených vrstvách.

## Sedimentární částice (zrna) v přírodě

### Částice mechanicky unášené kapalinami– sedimentární částice:

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

Další: *slídy, amfibol, pyroxeny, olivín*

### Faktory, které ovlivňují uvedení částice do pohybu:

#### Tvar částic určený :

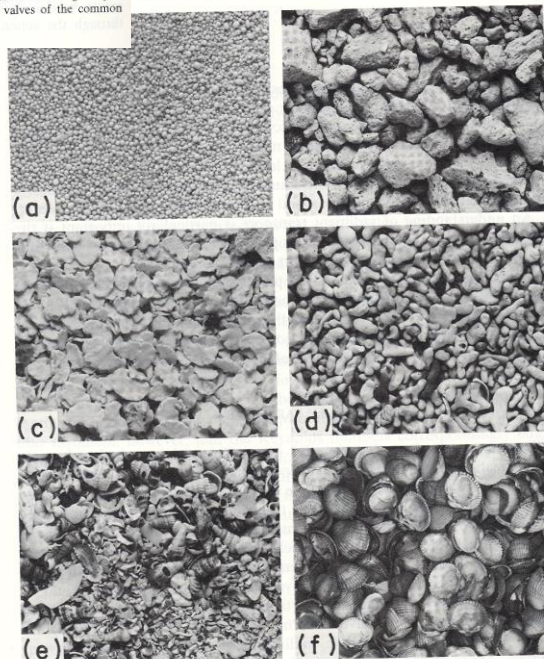
- Krystalizací z magmatu nebo vodného roztoku (tvar krystalů, tabulkový, sloupcovitý, apod.)
- Vulkanogenní činností (pyroklastika – lapilli, prach, popel, písek, velmi nepravidelný)
- Zvětváváním hornin (nepravidelný tvar – zaoblení, koule, trojosý elipsoid)
- Organickou aktivitou (schránky, ooidy,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

#### Velikost částic

#### Vytřídění částic

Fig. 2-1. Some examples of sedimentary particles from recent environments. a. Ooides 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) Částice pemzy (pyroklastika)
- c) Fragменты vápnité řasy rodu *Halimeda*
- d) Fragменты 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 ( $\rho$ ):** ovlivňuje množství a velikost transportovaných částic a rychlost, jakou se částice usazují

**Dynamická viskozita ( $\mu$ ) ( $N \cdot s/m^2$ ):** schopnost látky téci / rezistence látky na změnu jejího tvaru

Kapaliny v přírodě:

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

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

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

## Vlastnosti kapalin

- **HUSTOTA**  $\rho = m / v$

vzduch	= $1.3 \text{ kg / m}^3$
voda	= $1000 \text{ kg / m}^3$ ( $1 \text{ g / cm}^3$ )

- Fluid Density affects amount and size of particles transported and the rate at which they settle out.

- **DYNAMICKÁ VISKOZITA**  $\mu = \tau / du/dy$  ( $N \cdot s/m^2$ )

ratio of shear stress ( $\tau$  = stress per unit area) to the rate of deformation caused by the shear stress ( $du/dy$ ) (= Dynamic Viscosity)  
measure of substance's ability to flow or its resistance to changing its shape.

- **KINEMATICKÁ VISKOZITA**  $\nu = \mu / \rho$  ( $m^2/s$ )

poměr dynamické viskozity k hustotě kapaliny ( $m^2/s$ )



## Teplotní závislost viskozity vody:

Temperature - t - (°C)	<u>Dynamic Viscosity</u> - μ - (N s/m <sup>2</sup> ) x 10 <sup>-3</sup>	<u>Kinematic Viscosity</u> - ν - (m <sup>2</sup> /s) x 10 <sup>-6</sup>
0	1.787	1.787
5	1.519	1.519
10	1.307	1.307
20	1.002	1.004
30	0.798	0.801
40	0.653	0.658
50	0.547	0.553
60	0.467	0.475
70	0.404	0.413
80	0.355	0.365
90	0.315	0.326
100	0.282	0.294

## Fyzikální principy transportu: laminární proudění mezi 2 paralelními deskami

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

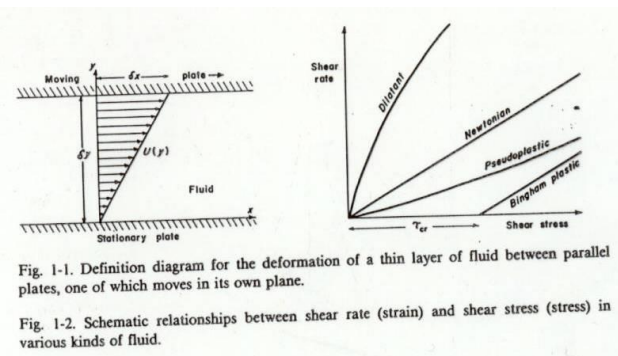
$$\tau = \mu \frac{dU}{dy}$$

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

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

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

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







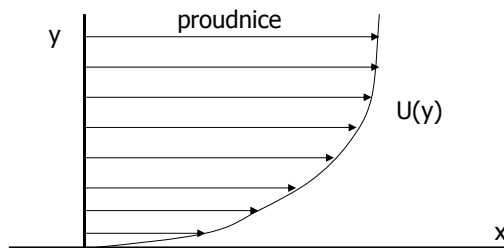
## Fyzikální principy transportu hraniční vrstva (boundary layer)

### HRANIČNÍ VSTVY

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

#### Hraniční vrstvy v newtonovských kapalinách

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



# Reynoldsovo číslo: laminární vs. turbulentní proudění

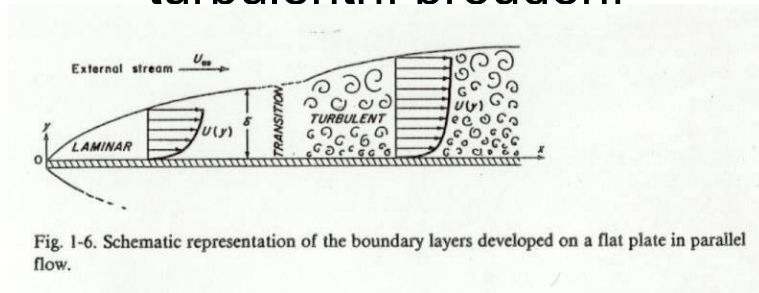


Fig. 1-6. Schematic representation of the boundary layers developed on a flat plate in parallel flow.

- přímočarý pohyb na rovné desce (laboratorní modelování)

smykové napětí hraniční vrstvy:

$$\tau_0 = 0,332 \rho U \frac{v}{\sqrt{Ux}}$$

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

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

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

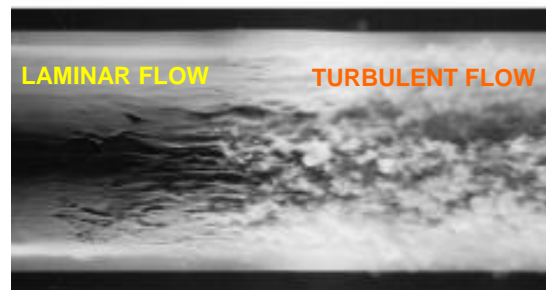
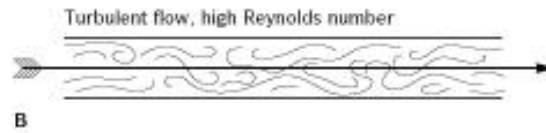
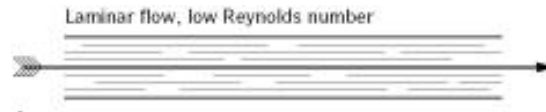
Přechod od **laminárního k turbulentnímu proudění**,  $Re$  = cca  $10^5$ ,  
 v závislosti na vzdálenosti, viskozitě, rychlosti proudění



Turbulentní proudění

Laminární proudění

# Laminární vs. turbulentní tok



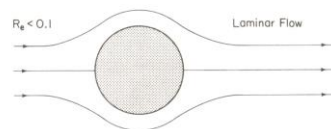
P&amp;S, Fig. 3.1





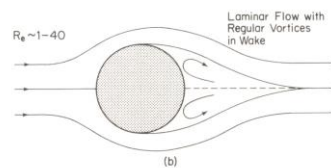
## REYNOLDSOVO Č.

**Laminární tok,  $Re < 0.1$**

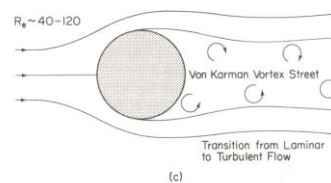


**Particle moving through Fluid:**

**Laminární tok s  
drobnými víry,  $Re \sim 1-40$**



**Přechod laminární /  
turbulentní tok,  $Re \sim 40$   
- 120**



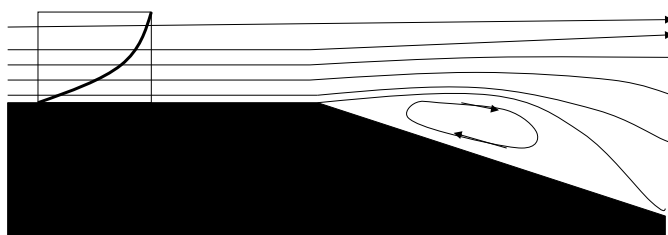
# Separace toku

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

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

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

**Proudnice** se oddělí ode dna



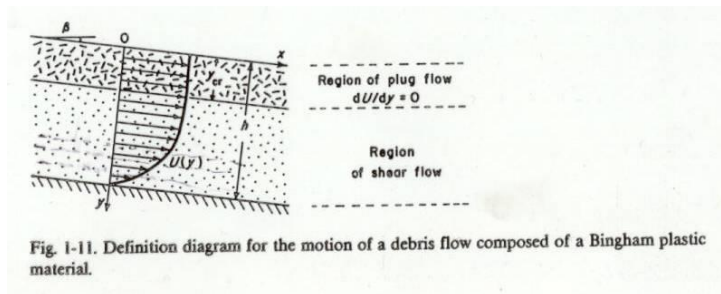
# Hraniční vrstva v binghamovských kapalinách

## Debris flow (úlomkotok):

Smykové napětí na dolní hraniční vrstvě

oblast smykového toku (smykové napětí  $> 0$ )

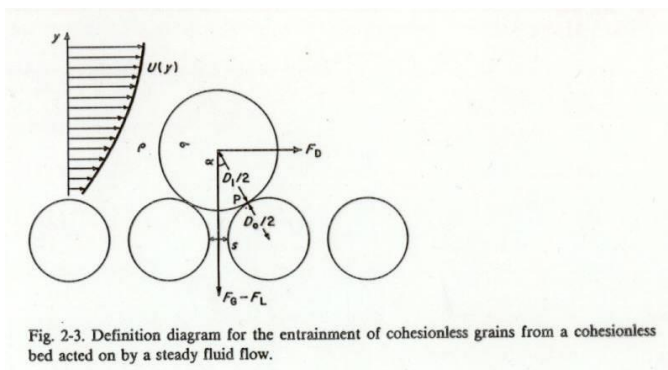
oblast rigidního toku (smykové napětí  $= 0$ )



## Uvedení částic do pohybu

### Mechanismy uvádění částic do vznosu

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



$$F_D \cos \alpha = (F_G - F_L) \sin \alpha$$

$F_D$  = síla ve smyku

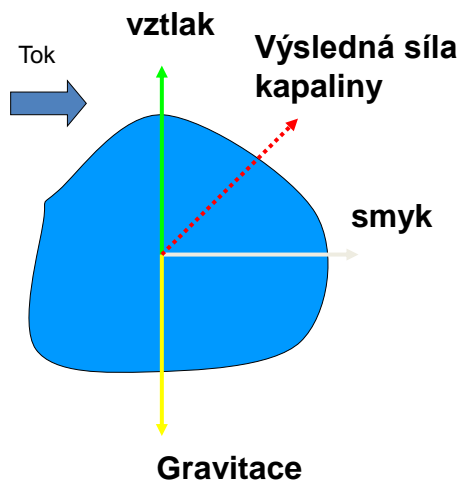
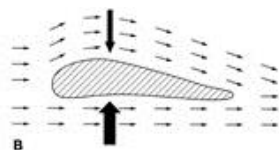
$F_G$  = tíha částice

$F_L$  = vztlak částice ponořené v kapalině



## vztlaková a smyková síla

- **Smyk** acts parallel to bed = shear stress on grain
- **Vztlak** Bernoulli effect of flow over projecting grains, causes pressure decrease above grain (as for plane wing)



- Particle motion when:  
**Lift + Drag > Gravity**
- When lifted into fluid, flow becomes symmetrical around grain, and lift component is eliminated

## Uvedení částice do pohybu Hjulströмова křivka

Rychlost proudění vody vs. velikost zrna

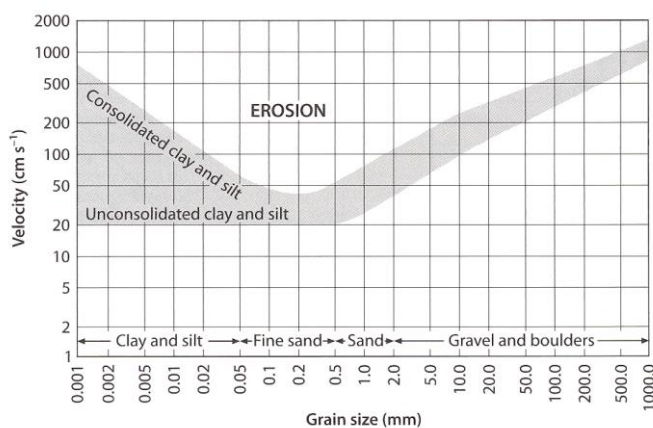


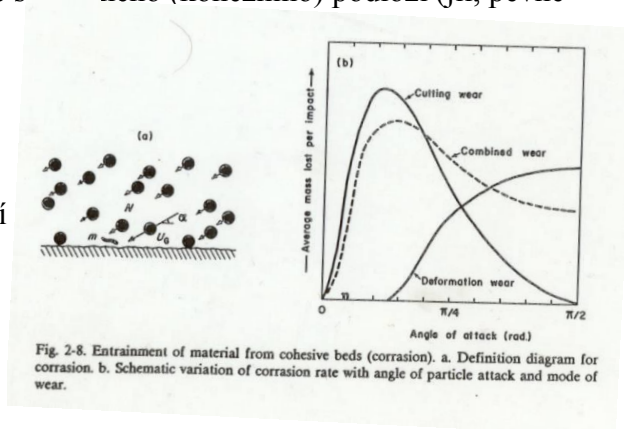
Fig. 4.8. Hjulström's curve (modified after Sundborg 1956). Hjulström determined the critical velocity necessary for moving quartz grains at 1 m water depth in open channels; the shaded area indicates the scatter of experimental data. This graph shows (1) that clay and silt particles are more difficult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

## Uvedení částic do pohybu - koraze

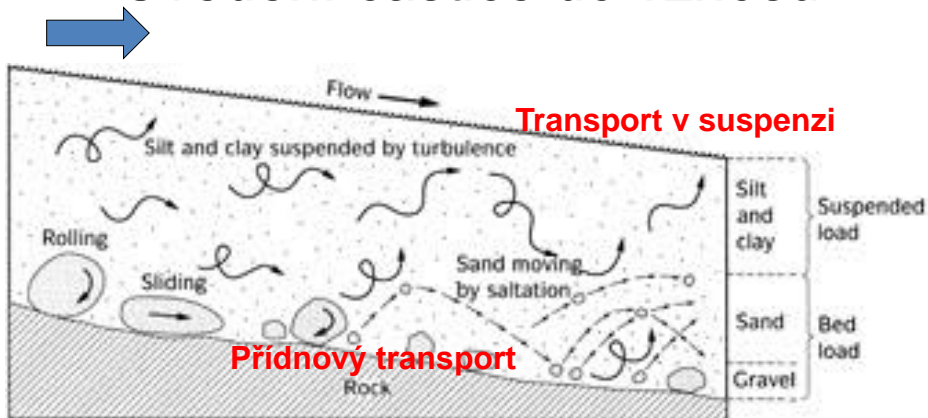
### Mechanismy uvádění částic do vznosu

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

Laminární proudění  
vs.  
Turbulentní proudění



## Uvedení částice do vznosu



P&S, Fig. 3.3

## Voda v otevřených kanálech: Froudovo číslo

V případě zanedbatelné hloubky kanálu vzhledem k šířce

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

kde  $\rho$  = hustota,  $\beta$  = sklon svahu

$h$  = hloubka,  $w$  = šířka kanálu

substitucemi -> při výpočtu smykového napětí a rychlosti:

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

kde  $f$  = Darcy-Weisbachův koeficient

tření,  $S$  = sklon,  $r$  = hydraulický poloměr

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

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

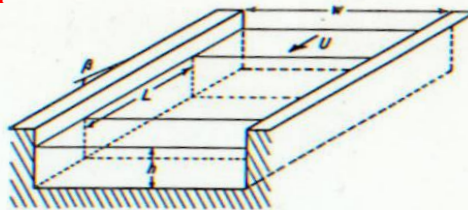


Fig. 1-12. Definition diagram for fluid flow in an open channel.

## Froudovo číslo

$Fr = 1$ ; **kritický tok (hydraulický skok)**

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

$Fr > 1$ ; **superkritický tok**, přikrý, stabilní povrchové vlny o trvalé amplitudě, rychlost proudění je vyšší než rychlost vln

Režim toku s volným povrchem:

subkritický laminární - řeky

subkritický turbulentní - většina řek

superkritický laminární - toky tenkého filmu kapaliny na povrchu pevné látky

superkritický turbulentní

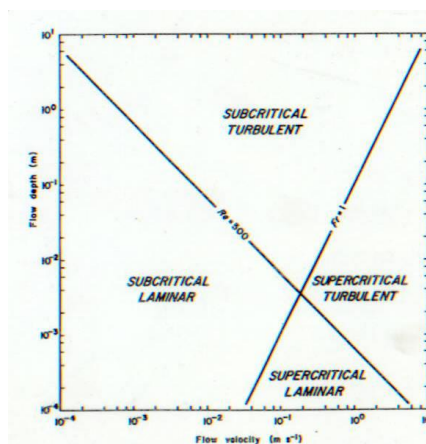


Fig. 1-13. Flow regimes in an open channel of very large width compared to depth.

## Superkritický tok



## Klidný vs. rychlý tok

**Spodní proudový režim**  
 $Fr < 1.0$ , subkritický tok



**Svrchní proudový režim**  
 $Fr > 1.0$ , superkritický tok



## Sedimentární struktury: rychlost proudění ( $\tau \cdot U$ ) vs. velikost zrna

- ANTIDUNY
- LAMINÁRNÍ ZVRSTVENÍ
- DUNY:
  - megačeřiny
  - čeřiny

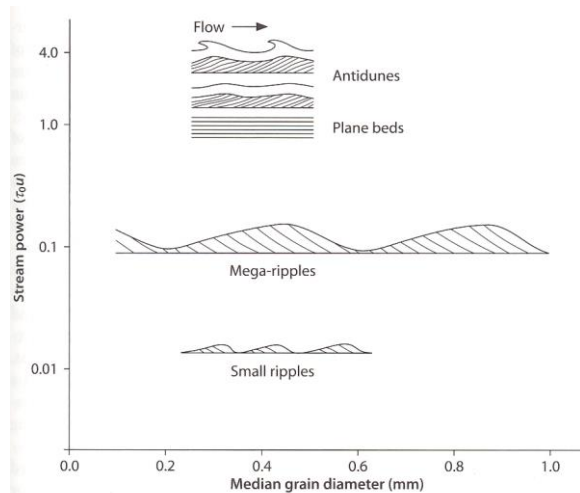
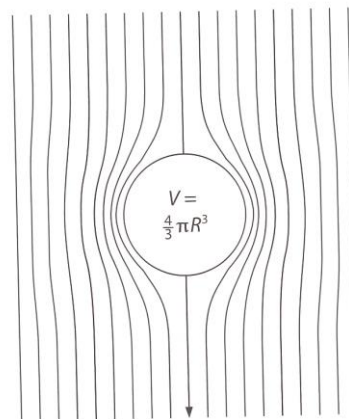


Fig. 7.4. Bedform and stream power (after Allen 1970). With an increase of stream power, the bedform of a stream channel or flume underlain by unconsolidated sediments changes from small ripples to mega-ripples, to plane beds to antidune

## Rychlost částice klesající ke dnu: Stokesův zákon

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

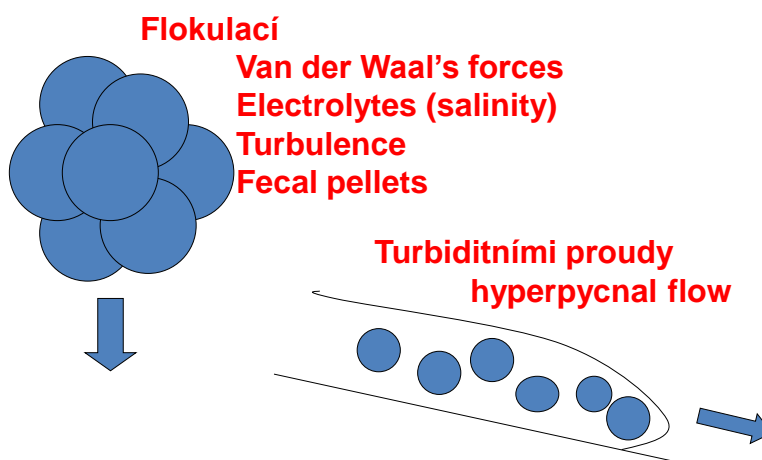


# STOKESŮV ZÁKON

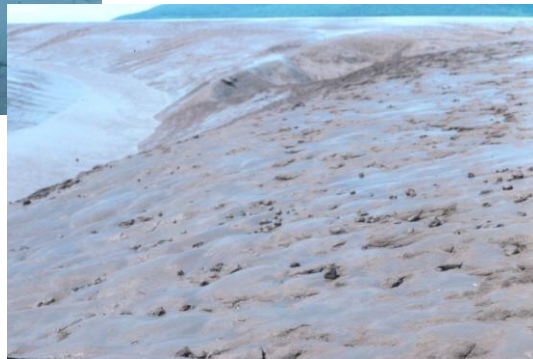
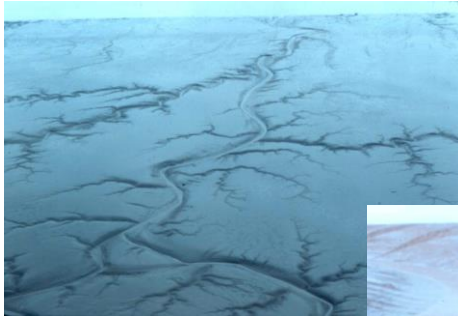
Průměr zrna ( $\mu$ )	Čas (pád 1 m)	V (cm/sec)
60	5 mins	0.223
30	30 mins	0.0558
8	7 hrs, 48 mins	0.00349
2	5 days, 6 hrs	0.000217
0.5	89 days	0.000013

**PROBLÉM:** jak dosáhnou jílová zrna dna oceánu

## Jak se usazují jíly ?



# FLOCCULATION



## Varvity

### Stokesův zákon

$$u = \frac{1}{18} \frac{\rho_s - \rho_f}{\mu} g D^2$$

- $u$  = rychlost usazování  
 $D$  = průměr částice  
 $\rho_s$  = hustota pevné částice  
 $\rho_f$  = hustota kapaliny  
 $\nu$  = kinematická viskozita  
 $g$  = gravitační zrychlení



# Vlnění, klasifikace vln

## Povrchové vlny

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

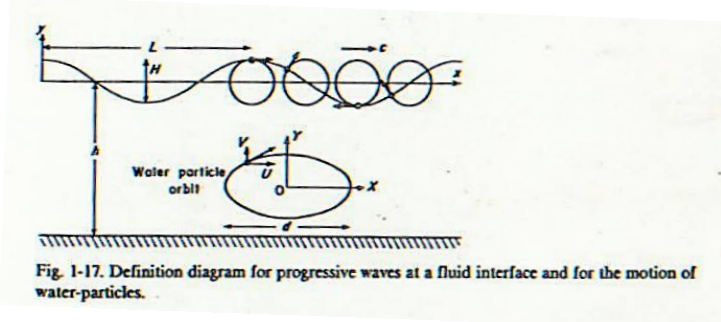
- větrné vlny (perioda do 20 s)
- přílivové vlny (perioda 12 nebo 24 hodin)
- kapilární vlny (perioda 0,1 s)

## poměr $h/L0$ (hloubka dna / vlnová délka)

- |                              |                    |                |
|------------------------------|--------------------|----------------|
| - krátké (hlubokovodní) vlny | $h/L0 > 25$        | větrné vlny    |
| - střední vlny               | $0,25 > h/L0 > 25$ |                |
| - dlouhé (mělkovodní) vlny   | $0,025 > h/L0$     | přílivová vlna |

## Interní vlny

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



## Rychlost větru a výška vln na volném moři

TABLE 1-II

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

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

\* Heights less than tabulated values in inshore waters.



# Vlny reálné a ideální

## Reálné vlny

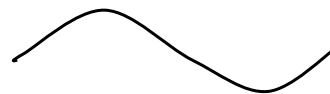
Spektra vlna o různých vlnových délkách, periodách a výškách – statistické zpracování

- Význačná vlnová výška  $H1/3$
- Význačná vlnová perioda  $T1/3$

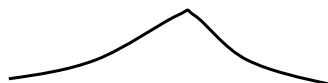
Průměrná výška a perioda jedné třetiny všech vln s nejvyšší výškou a periodou

## Ideální vlny

Airyho vlny (sinusoidní profil)



Stokesovy vlny (trochoidní profil)



Solitérní vlny

## Airyho vlny

Rychlost šíření vlny

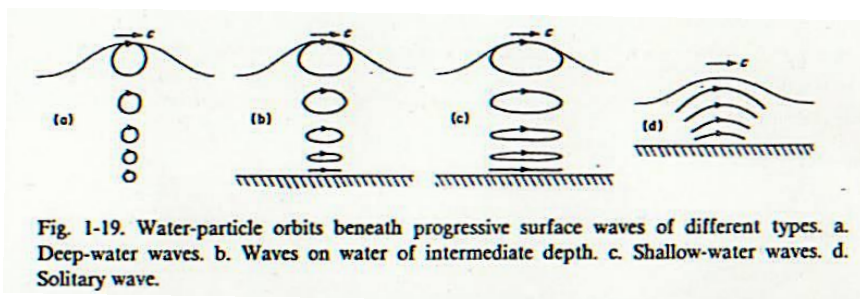
$$c^2 = \frac{g}{k} \tanh(kh) \quad \begin{array}{l} h = \text{hloubka vody, } k = 2\pi/L, \text{ } g = \text{gravitační zrychlení} \\ L = \text{vlnová délka} \end{array}$$

**Rychlost postupu vln:** roste s hloubkou  $h$  (klesá s klesající hloubkou),

Maximální horizontální orbitální rychlost

$$U_{\max} = \frac{\pi H}{T \sinh(kh)} \quad \text{kde } H = \text{amplituda vlny, } h = \text{hloubka, } T = \text{perioda, } k = 2\pi/L$$

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





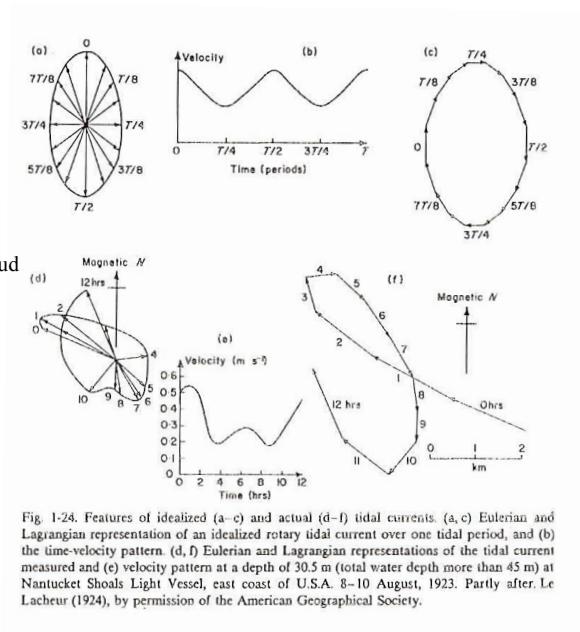
## Příliv a odliv

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

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

Vlnová délka: extrémně velká

Průměr orbity: cca 10 km, rotační proud



# Hustotní proudy

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

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

$\rho_1$  = hustota vtékající proudící masy (hustotního proudu)  
 $\rho_2$  = hustota stojící vodní masy

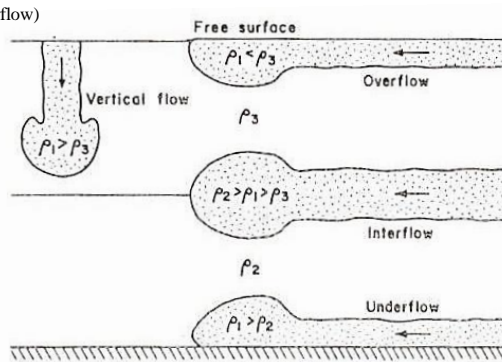


Fig. 1-25. Principal types of gravity current.

# Hyperpyknické proudy

hlava – tělo – ocas

Rychlost šíření hyperpyknického proudu

$$U_h = k \sqrt{\frac{(\rho_1 - \rho_2)g}{\rho_2} h_2}$$

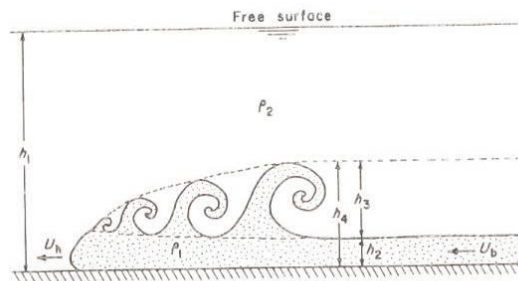


Fig. 1-31. Definition diagram for an underflowing gravity current.

# TYPY TRANSPORTU

## Gravitační transport

Prostředí: subaerické, submarinní

### Bahnotoky, úlomkotoky

Binghamovské plastické látky, soudržné, laminární proudění

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

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

### Sesuvy, skluzy, kamenné laviny

Elastické pevné látky, turbulentní proudění

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

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

### Zrnotoky

Elastické pevné látky, nesoudržné, turbulentní proudění

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

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

### Turbiditní proudy

Newtonovské kapaliny, turbulentní proudění

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

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

## Procesy a klasifikace mechanického transportu

- Suspenze
- Turbiditní proudy
- Příkladový transport
- Zrnotoky
- Úlomkotoky, bahnotoky
- Sesuvy, skluzy

Transport process	Physical character of mix		Transport mechanism	Sediment character
Suspension transportation	Newtonian fluid	Low density	Incohesive (= non-cohesive = cohesionless)	Suspension
Turbidity current	Newtonian to Non-Newtonian fluid			
Bed-load transportation	Non-Newtonian fluid to Bingham plastic	Low viscosity	Laminar flow	Temporary suspension, rolling and saltation
Grain flow ( <i>sensu lato</i> )				Sediment supported by dispersive pressure
Landslide ( <i>sensu lato</i> )	Mass flow (debris flow, mudflow, olistotromal flow)	High density	Cohesive	Laminated, crossed to structureless beds of well to moderately sorted sediment
	Landslide ( <i>sensu stricto</i> ) (slump, debris slide, rock slide)			Laminated to structureless, thin to massive beds of well sorted sand with dish structure and pebbles
	Bingham plastic to pseudo-plastic	High viscosity	Turbulent flow	Flow with shear on penetrative surfaces
	Elastic/brittle			Rotation and/or sliding with shear on spaced planes and surfaces
				Medium to massive beds of diamictite
				Thick to massive beds; typically matrix-poor; commonly with slickensided clasts

Figure 14.2

Summary of mechanical transportation processes, mechanisms, and sediment types.

(Source: Modified from Nardin et al., 1979; and based in part on Lowe, 1976; Postma, 1986.)

# TYPY TRANSPORTU

## Gravitační transport

Prostředí: subaerické, submarinní

### Bahnokoky, úlomkotoky

Binghamovské plastické látky, soudržné, laminární proudění

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

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

### Sesuvy, skluzy, kamenné laviny

Elastické pevné látky, turbulentní proudění

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

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

### Zrnotoky

Elastické pevné látky, nesoudržné, turbulentní proudění

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

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

### Turbiditní proudy

Newtonovské kapaliny, turbulentní proudění

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

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

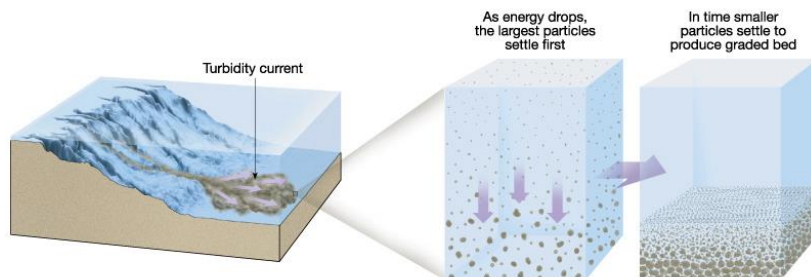
## Turbiditní proud

### Turbiditní proudy

kapaliny, turbulentní a laminární proudění

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

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





## Glaciální transport

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

**Ukládání:** tavení a sublimace ledu



# Vodní a větrný transport

kapaliny (voda, vzduch), laminární a turbulentní proudění

## Uvedení částic do pohybu:

převážně turbulentním prouděním

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

Závisí na:

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

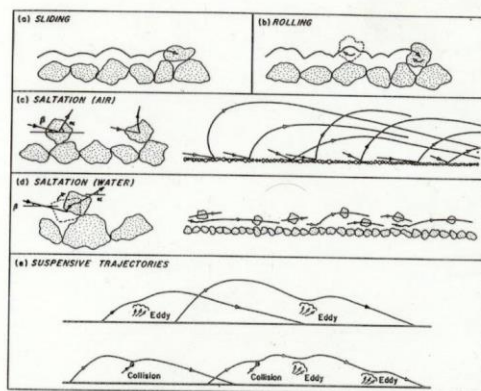


Fig. 2-13. Schematic representation of modes of particle motion during fluid-induced sediment transport.



## Procesy a klasifikace mechanického transportu

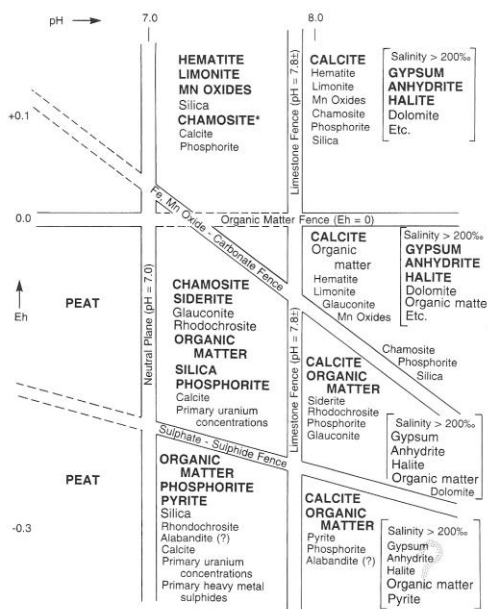
Transport process		Physical character of mix				Transport mechanism	Sediment character		
Suspension transportation	Newtonian fluid	Low viscosity	Low density	Icohesive (= non-cohesive = cohesionless)	Turbulent flow	Suspension	Massive to bedded and laminated sediments		
	Turbidity current						Newtonian to Non-Newtonian fluid	Bouma sequences with laminated, cross laminated, and graded strata	
Bed-load transportation	Non-Newtonian fluid to Bingham plastic		High density			Cohesive	Laminar flow	Temporary suspension, rolling and saltation	Laminated, crossed to structureless beds of well to moderately sorted sediment
Grain flow ( <i>sensu lato</i> )	Non-Newtonian fluid to Bingham plastic							Sediment supported by dispersive pressure	Laminated to structureless, thin to massive beds of well sorted sand with dish structure and pebbles
Landslide ( <i>sensu lato</i> )	Mass flow (debris flow, mudflow, olistostromal flow)	High viscosity	High density	Cohesive	Laminar flow	Flow with shear on penetrative surfaces	Medium to massive beds of diamictite		
	Landslide ( <i>sensu stricto</i> ) (slump, debris slide, rock slide)						Elastic/brittle	Rotation and/or sliding with shear on spaced planes and surfaces	Thick to massive beds; typically matrix poor, commonly with slickensided clasts

Figure 14.2

Summary of mechanical transportation processes, mechanisms, and sediment types.  
(Source: Modified from Nardin et al., 1979, and based in part on Lowe, 1976; Postma, 1986.)

## Chemický transport a depozice (precipitace)

- závislost na pH a Eh
- Pole stability minerálních fází



\*Chamosite as used here is representative of the sedimentary iron silicates.

Figure 14.5

Eh-pH fence diagram showing generalized stability fields of various minerals.  
(Source: After Krumbain and Garrels, 1956.)



# SEDIMENTÁRNÍ STRUKTURY (Sedimentary structures)

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

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

**Struktury:**

- Vrstevnatost
- Struktury 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

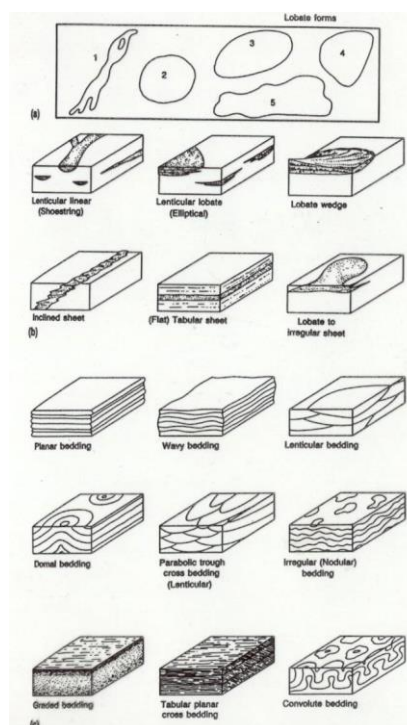
**Laminace** – druh zvrstvení o malé mocnosti

## Vrstevnatost

- Čočkovitá
- Deskovitá (tabulární)
- Lalokovitá

## Zvrstvení

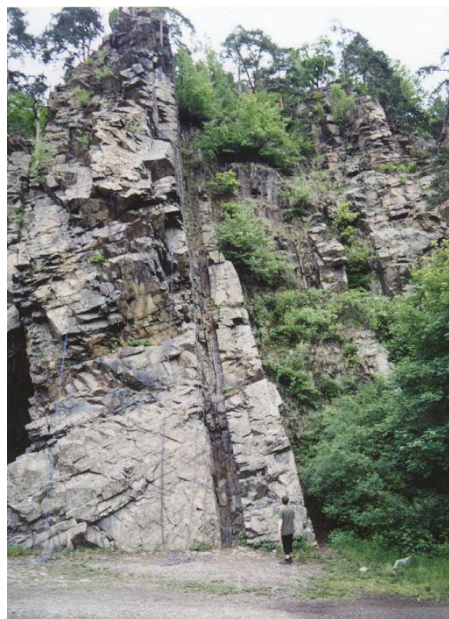
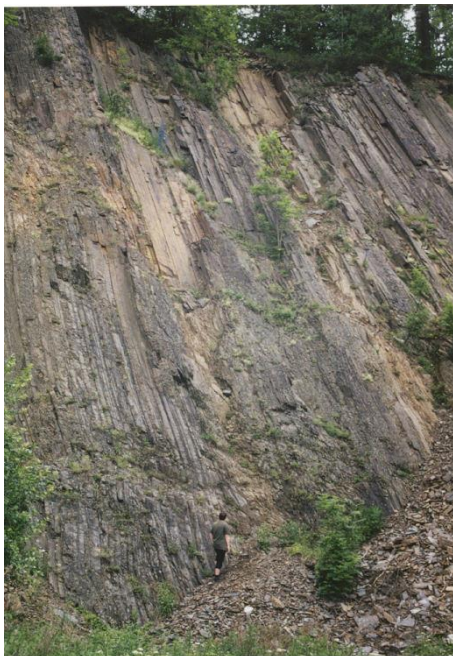
- Gradační
- Horizontální (planární)
- Zvlněné
- Šikmé - výmolové
- Šikmé - planární
- Nodulární (hlíznaté)
- Konvolutní



## Klasifikace vrstevnatosti

TABLE 12.1 Classification of Stratification		
Stratum Thickness	Names	Vrstevnatost
Bed		
> 300 cm (> 3 m)	Massive	masivní
100–300 cm	Very thickly bedded	lavcovitá
30–100 cm	Thickly bedded	
10–30 cm	Mediumly bedded	
3–10 cm	Thinly bedded	deskovitá
1–3 cm	Very thinly bedded	
Lamina		
0.3–1 cm	Thickly laminated	laminovitá
< 0.3 (< 3 mm)	Thinly laminated	

Source: From R. L. Ingram, "Terminology for the Thickness of Stratification and Parting Units in Sedimentary Rocks" in *Geological Society of America Bulletin*, 65:937–38, 1954. Copyright © 1954 Geological Society of America. Reprinted by permission of the author.



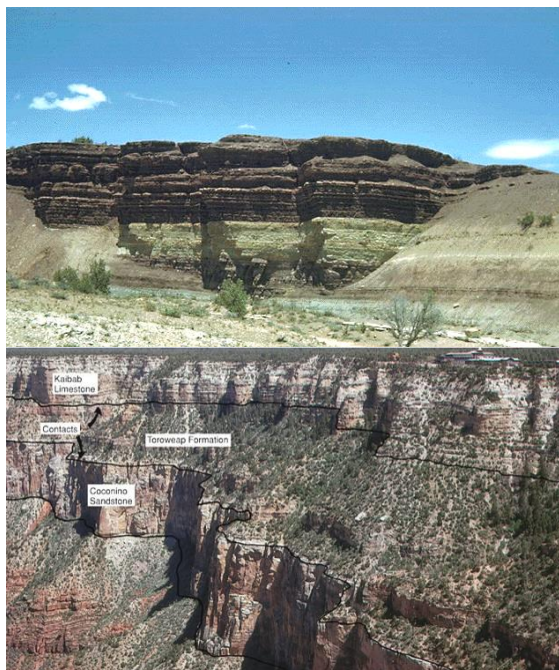
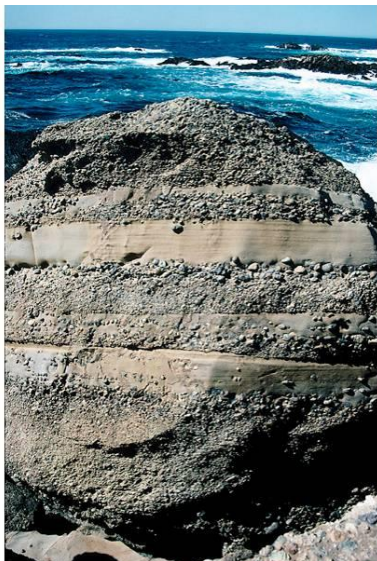


Photo by David McGeary

## 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

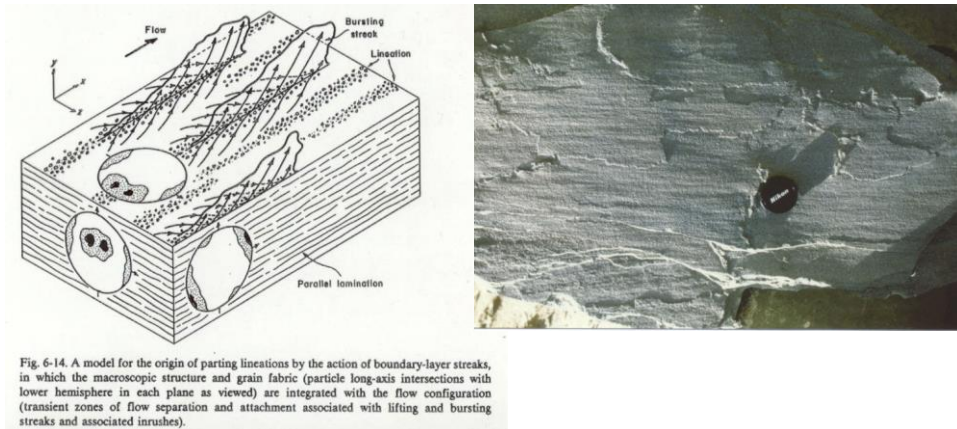
# Laminace



# Parting lineation

## primární proudová lineace na dělicích spárách

V laminovaných sedimentech (písky) – jednosměrné turbulentní proudění

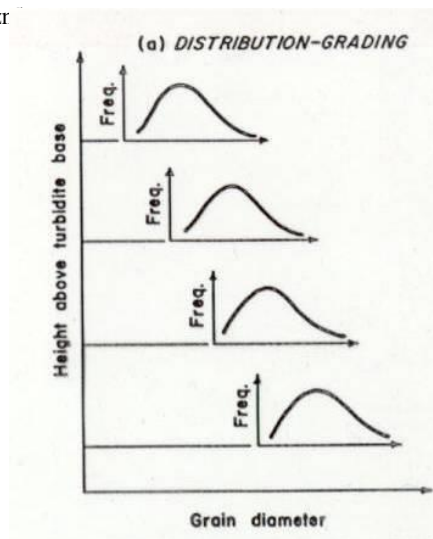
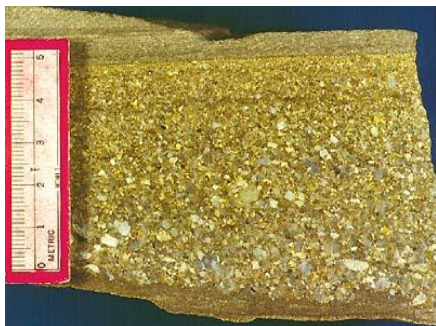


# Gradační zvrstvení

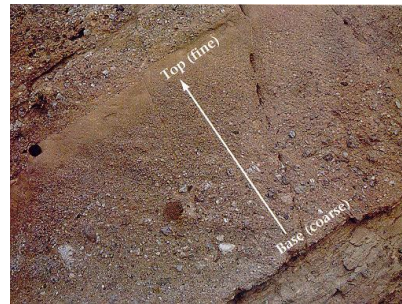
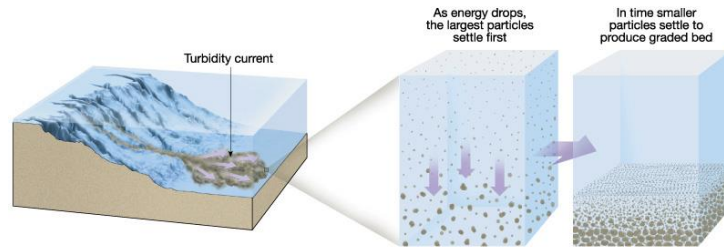
- Zjemňování sedimentu do nadloží
  - Pozitivní (normální) vs. negativní (inverzní)
  - Vertikální gradace vs. laterální gradace

### Geneze:

- zpomalování energie toku



# Gradační zvrstvení



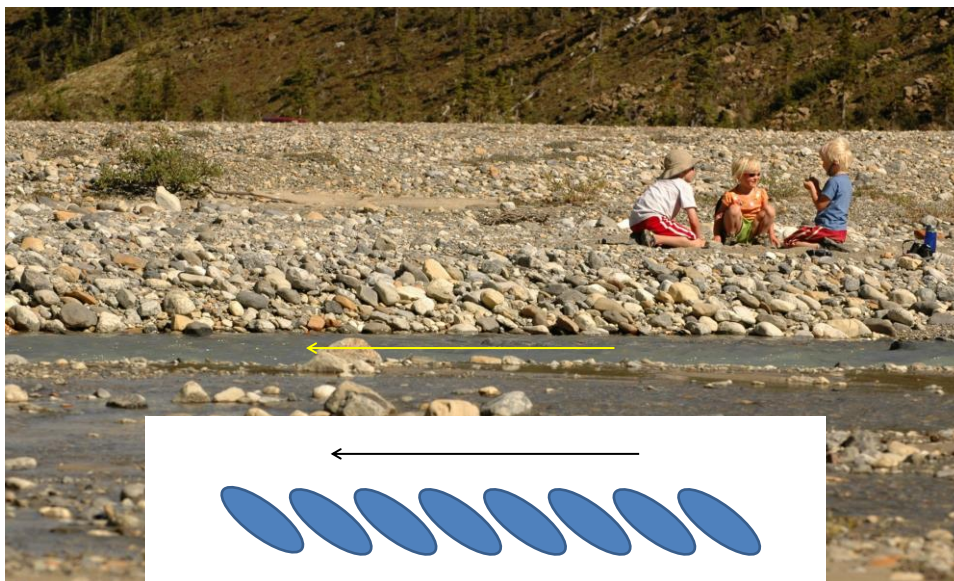
## Laterální gradace



## Inverzní gradace



## Imbrikace (doškovité uspořádání) klastů



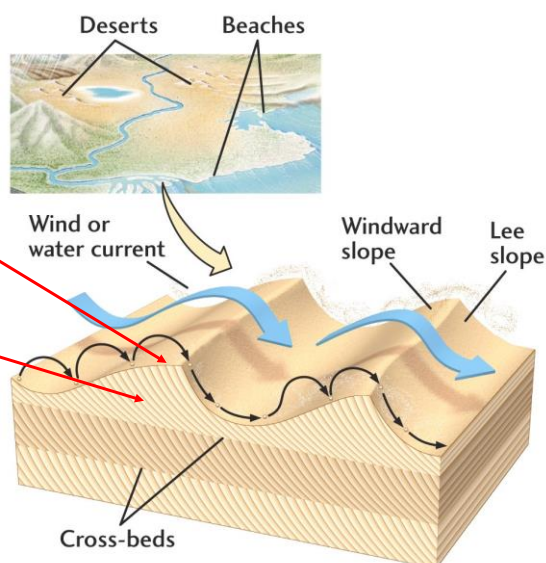
## Šikmé (čeřinové) zvrstvení vrstevní tvary: proudové duny (čeřiny)

### Vrstevní tvar:

- Morfologie dna – rozhraní sediment/kapalina

### Zvrstvení:

- soubor texturních znaků uvnitř vrstev





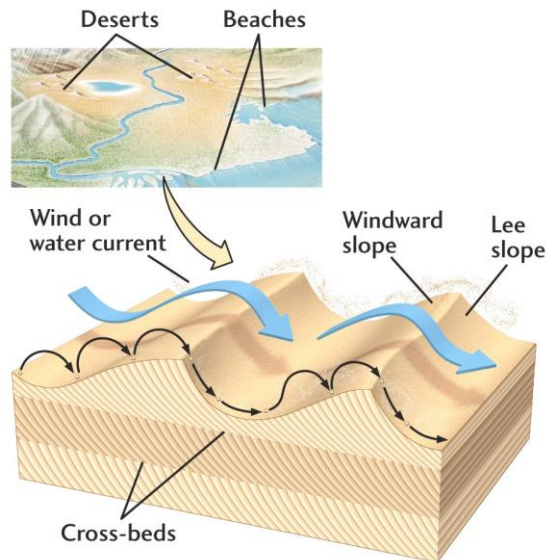
## Šikmé (čeřinové) zvrstvení vrstevní tvary: proudové duny (čeřiny)

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

### Proudové (asymetrické) čeřiny a duny

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

### Eolické duny, barchany, příčné duny

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

### Iniciace:

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

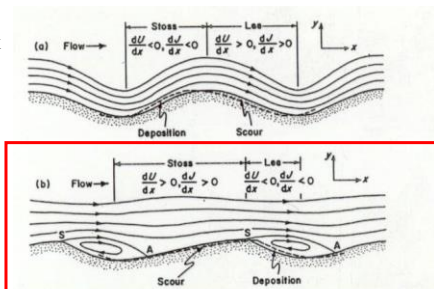


Fig. 7-2. Schematic representation of flow and sediment transport over (a) antidunes, and (b) current ripples and dunes.  $U$  = mean flow velocity;  $J$  = sediment transport rate.

# Antiduny

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

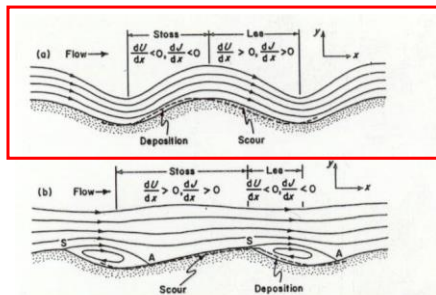


Fig. 7-2. Schematic representation of flow and sediment transport over (a) antidunes, and (b) current ripples and dunes.  $U$  = mean flow velocity;  $J$  = sediment transport rate.

# Soustavy dun (čeřin)

## Dělení podle úhlu vertikální akrece (rychlosti sedimentace)

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

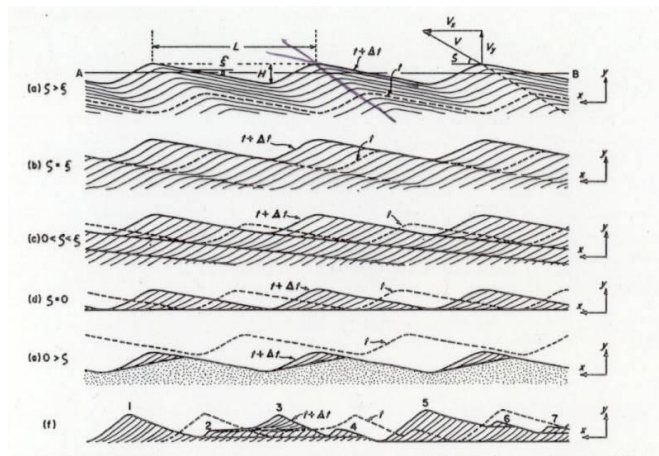


Fig. 9-5. Effect of angle of climb (relative deposition rate) on the steady migration of uniform bedforms.

## Šikmé zvrstvení: soustavy čeřin (dun)

Šikmé zvrstvení: laminy  $\wedge$  k vrstevním plochám

Dělení podle tvaru mateřského vrstevního tvaru (dun, čeřiny)

- Planární
- Výmolové

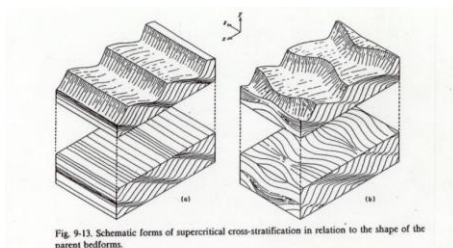
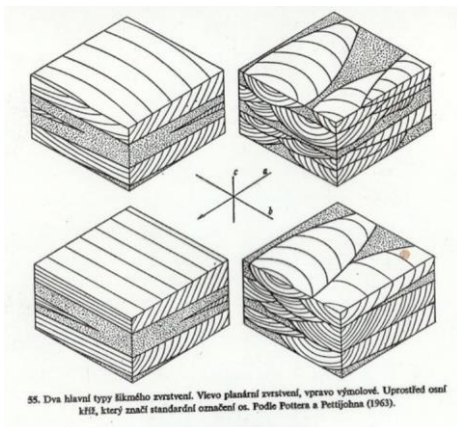


Fig. 9-13. Schematic forms of supercritical cross-stratification in relation to the shape of the parent bedforms.

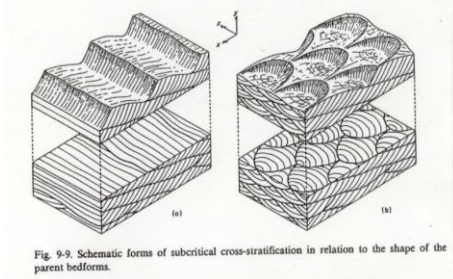


Fig. 9-9. Schematic forms of subcritical cross-stratification in relation to the shape of the parent bedforms.

## Symetrické (vlnové) čeřiny

Protisměrná oscilace vodních částíček v důsledku vlnění na hladině

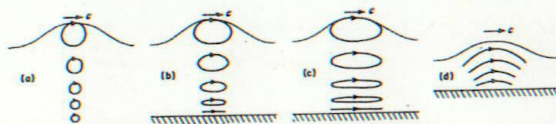


Fig. 1-19. Water-particle orbits beneath progressive surface waves of different types. a. Deep-water waves. b. Waves on water of intermediate depth. c. Shallow-water waves. d. Solitary wave.

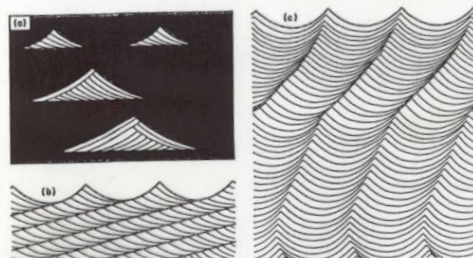
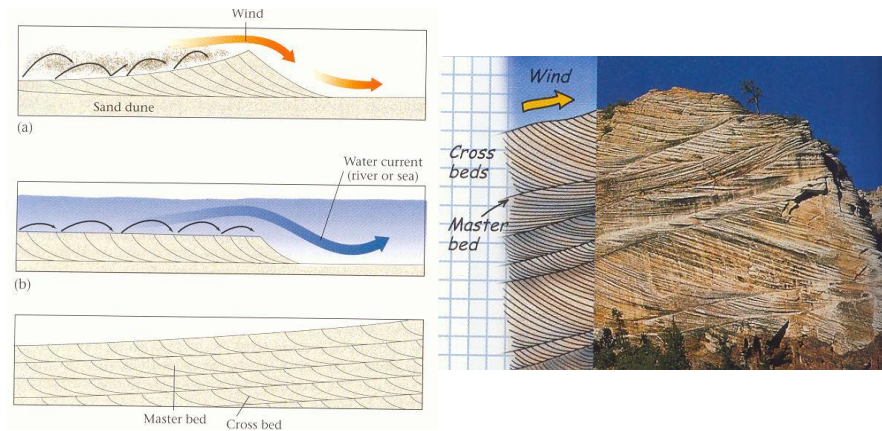


Fig. 11-6. Some kinds of cross-stratification associated with wave-related ripple marks. a. Form sets embedded in mud. b. Subcritical climbing sets. c. Supercritical climbing sets. All examples shown in vertical profile perpendicular to ripple crests.

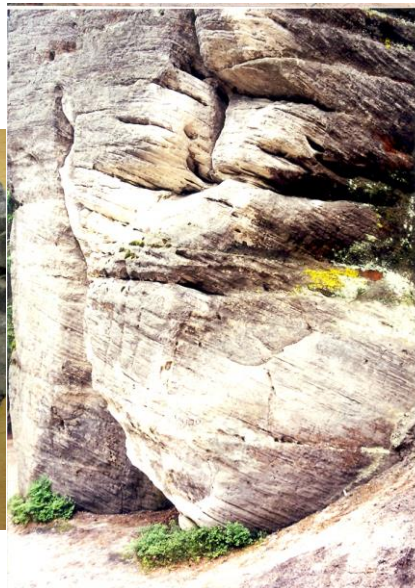
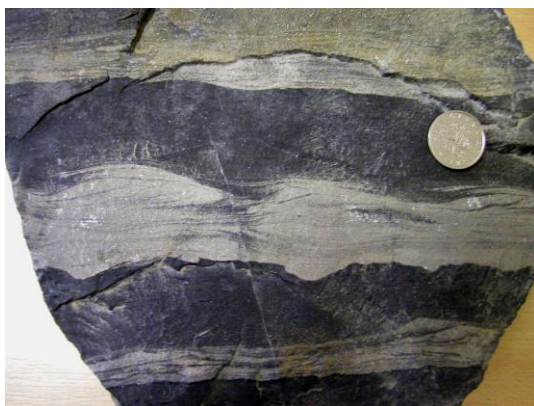
# Šikmé zvrstvení: geneze



## Proudové čeřiny







## Vlnové čeřiny









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





## Struktury 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*)

Nesoudržený sediment

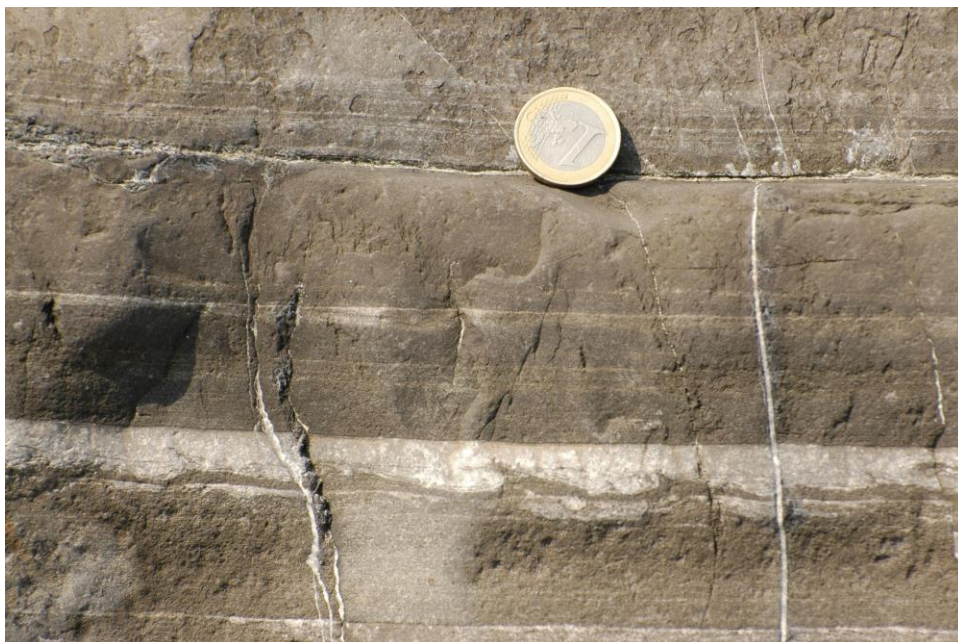


Zpevněná hornina



## Proudové stopy





Vlečné rýhy



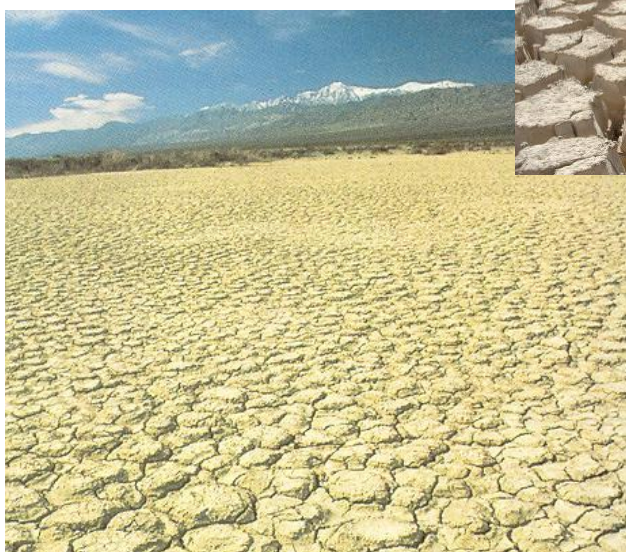


# Prod marks („rýpance“)





# Bahenní praskliny

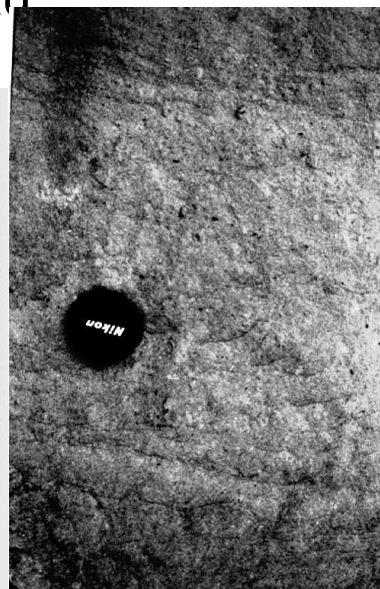




Mudcracked surface of a Neoproterozoic mudstone

## Struktury vzniklé únikem vody ze sedimentu

- Miskovité struktury
- Pilířové struktury
- Píscitě vulkány
- Tepee struktury

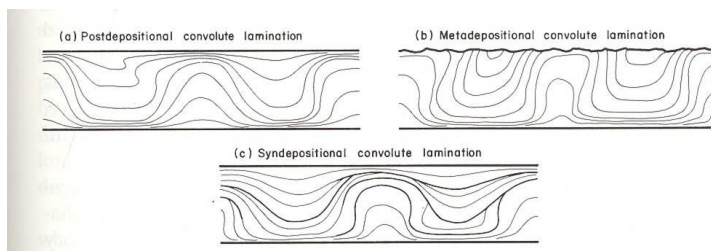




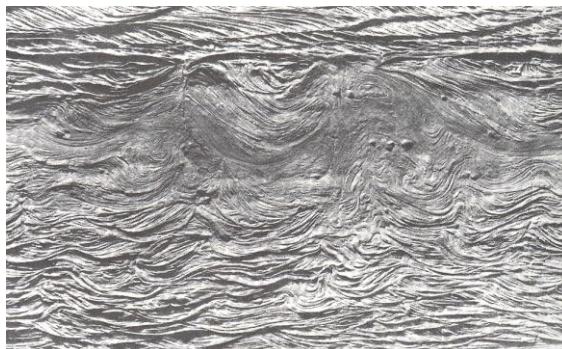
## Tee-pee struktury



## Konvolutní zvrstvení

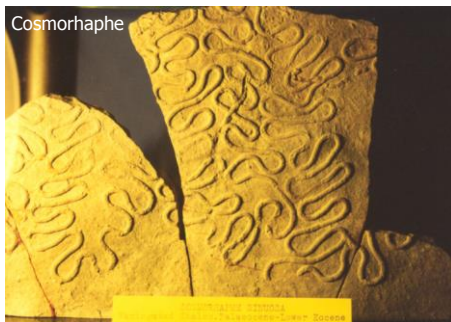


- Plastická deformace jemnozrnných granulárních směsí vlivem smykového napětí kapaliny proudící nad vrstvou (nejčastěji hyperpyknický turbiditní proud)
  - postdepoziční
  - syndepoziční





## Biogenní struktury



## Biogenní textury



## Dinosaur footprint in limestone



## Různé



## Sedimentární textury

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

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

## Velikost zrna (zrnitost)

### Wenworthova zrnitostní klasifikace

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

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

balvany  
valouny  
obláčky  
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 rudite
-6	64 mm	Cobbles		
-2	4 mm	Pebbles		
-1	2 mm	Granules		
0	1 mm	Very coarse sand	Sandstone (arenite, wacke)	Epiclastic arenite
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	Mud Siltstone, shale, mudstone, claystone	Epiclastic lutite
8	1/256 mm	Silt		
		Clay		

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

### Zjednodušená Wenworthova klasifikace

obláčky

zrnka

velmi hrubozrnný

hrubozrnný

písek

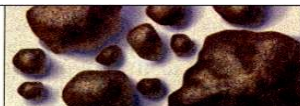
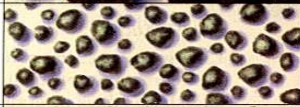
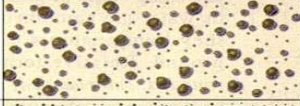
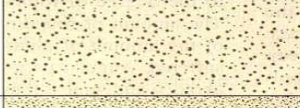



středně zrnitý

jemnozrnný

velmi jemnozrnný

prach (silt)

jíl

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	



## Vytrřídění

- Kvalitativní odhad

Reciproká hodnota standardní odchylky souboru dat velikostí zrn,

$$S_0 = \sqrt{Q_3/Q_1}$$

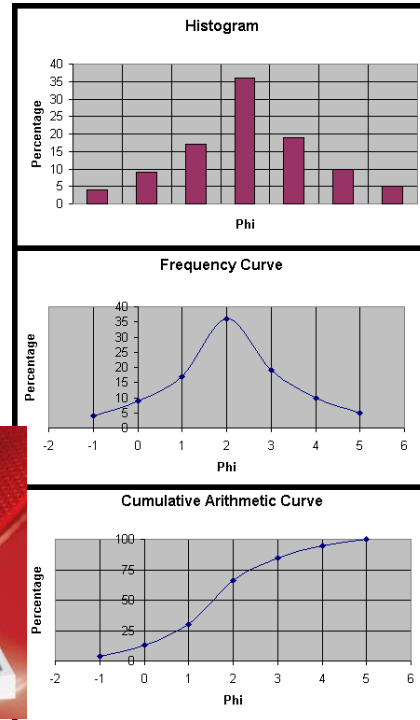
Kde  $S_0$  = třídění,  $Q_3$  = třetí kvartil (75% nejmenších zrn),  $Q_1$  = první kvartil (25% nejmenších zrn)

Střední velikost zrn

Gaussovy křivky, kumulativní křivky

### Kontrolováno

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

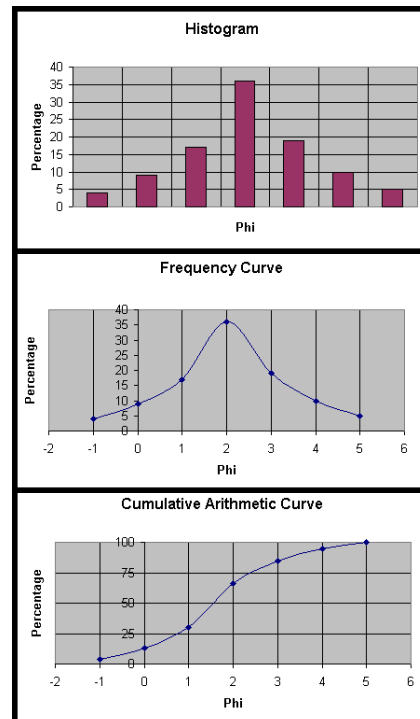


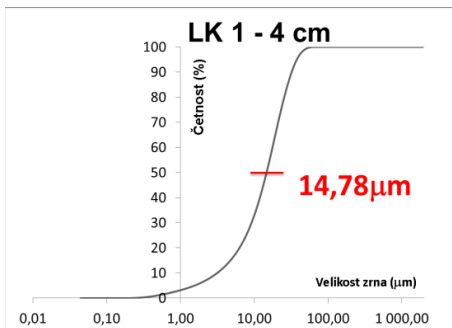
## Vytrřídění

$$S_0 = \sqrt{Q_3/Q_1}$$

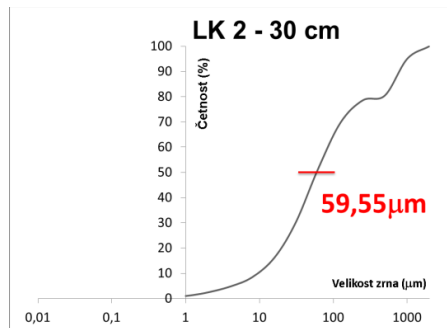
Kde  $S_0$  = třídění,  $Q_3$  = třetí kvartil (75% nejmenších zrn),  $Q_1$  = první kvartil (25% nejmenších zrn)

- Friedman (1962) (grain-size in millimeters)
  - 1–1.17 = very well sorted
  - 1.17–1.20 = well sorted;
  - 1.20–1.35 = moderately well sorted
  - 1.35–1.87 = moderately sorted
  - 1.78–2.75 = poorly sorted
  - 2.75–... = very poorly sorted

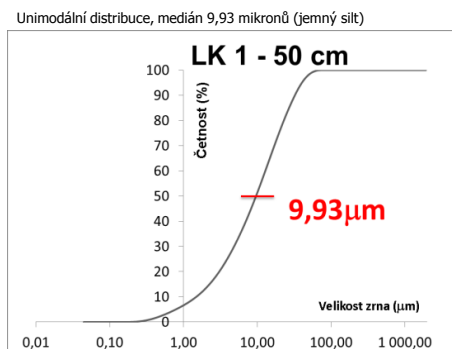




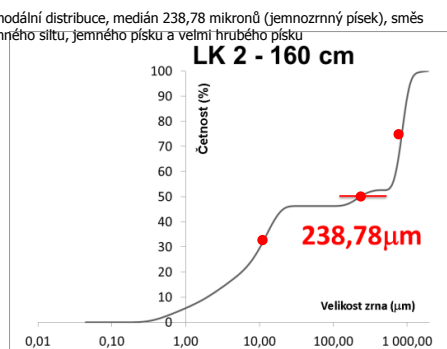
Unimodální distribuce, medián 14,78 mikronů (jemný silt)



Bimodální distribuce, medián 59,55 mikronů (hrubý silt), směs siltu a písku



Unimodální distribuce, medián 9,93 mikronů (jemný silt)



Bimodální distribuce, medián 238,78 mikronů (jemnozrnný písk), směs jemného siltu, jemného písku a velmi hrubého písku

## (2) Stupeň vytrřídění



Well-sorted sand



Poorly sorted sand

Vytrřídění: Míra podobnosti velikostí zrn ve vzorku horniny

# Vytřídění: kvalitativní odhad

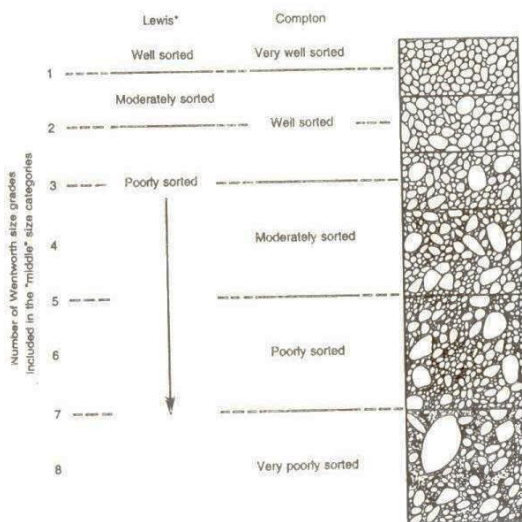


Figure 12.16  
Degrees of sorting. D. W. Lewis (1984) defines the "middle" as the middle two-thirds (67%). Compton (1962) designates the "great bulk" as the middle 80%.  
(Source: From Raymond, 1984c; after D. W. Lewis, 1984, and Compton, 1962.)

Velmi dobře  
vytříděný

Dobře  
vytříděný

Mírně  
vytříděný

Špatně  
vytříděný

Velmi špatně  
vytříděný

## 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, klaciky, apod. – koule, válec, destičkovitý tvar)

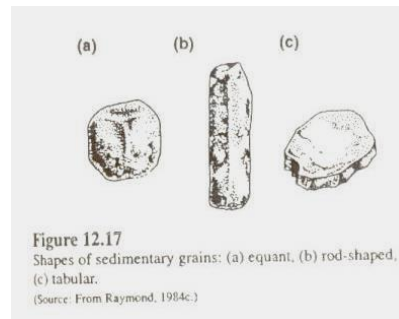
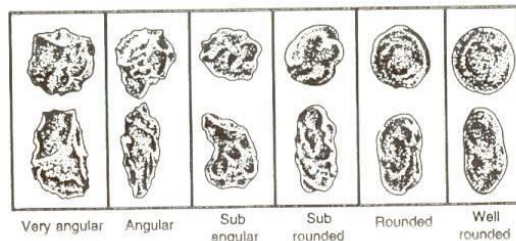


Figure 12.17  
Shapes of sedimentary grains: (a) equant, (b) rod-shaped, (c) tabular.  
(Source: From Raymond, 1984c.)

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

**Sféricita** – jak moc se zrna tvarově blíží kouli: prizmatický – sférický – diskovitý

**Zaoblení** – míra zakřivení hran zrna → více = velmi ostrohranný – ostrohranný – poloostrohranný – polozaoblený – zaoblený – dobře zaoblený  
Vizuální odhad



**Povrchová mikrostruktura**

# Komparativní tabulky: zaoblení

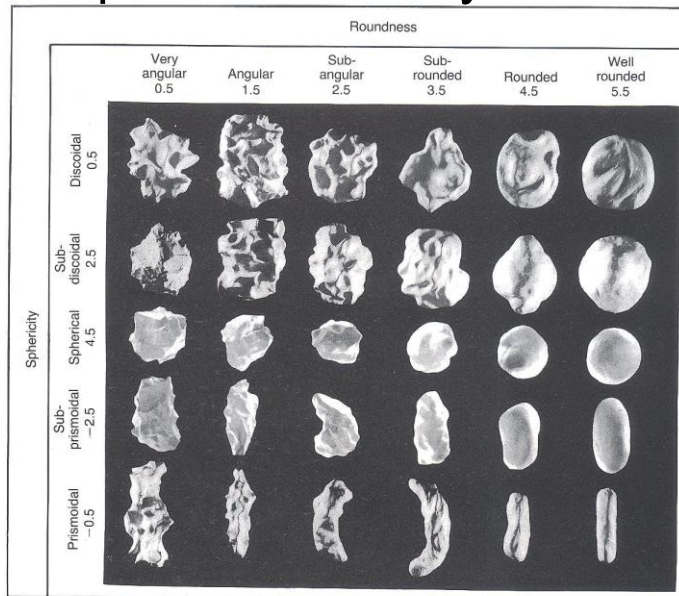
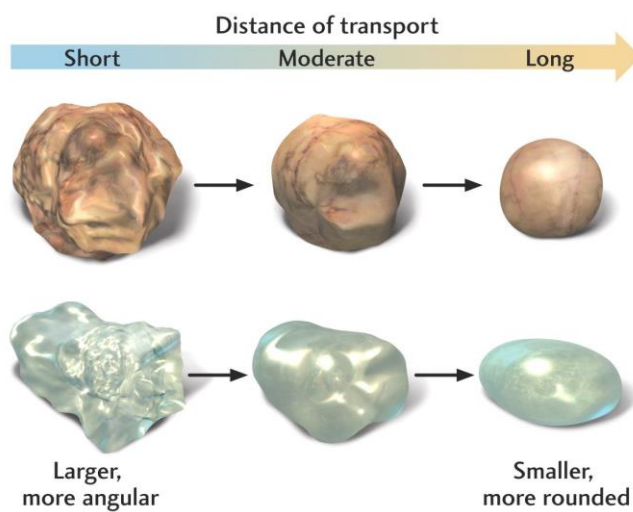


Fig. 2.8. Visual comparison chart for estimating roundness and sphericity (from Powers, 1982). (Reproduced by permission of the American Geological Institute.)

(3) Zaoblení nebo ostrohrannost je funkcí délky transportu



# Typologie zirkonu

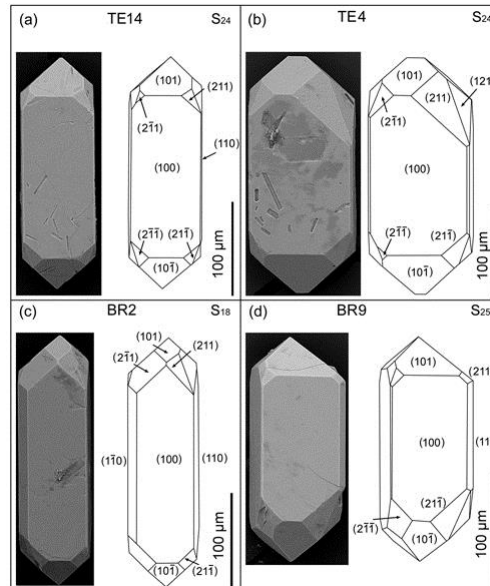
$ZrSiO_4$   
tetragonální

- Tetragonální dipyramida (proto-, deuter-)
- Tetragonální prisma (proto-, deuter-)

Pupinova (1980) klasifikace

Tvar zrna určený podmínkami krystalizace

- Index A – poměr Al/alkálie
- Index T – teplota krystalizace



Köksal et al., 2008, Mineralogy and Petrology, 93:185-211.

# Typologie zirkonu

Pupinova (1980) klasifikace

Tvar zrna určený podmínkami krystalizace

- Index A – poměr Al/alkálie
- Index T – teplota krystalizace

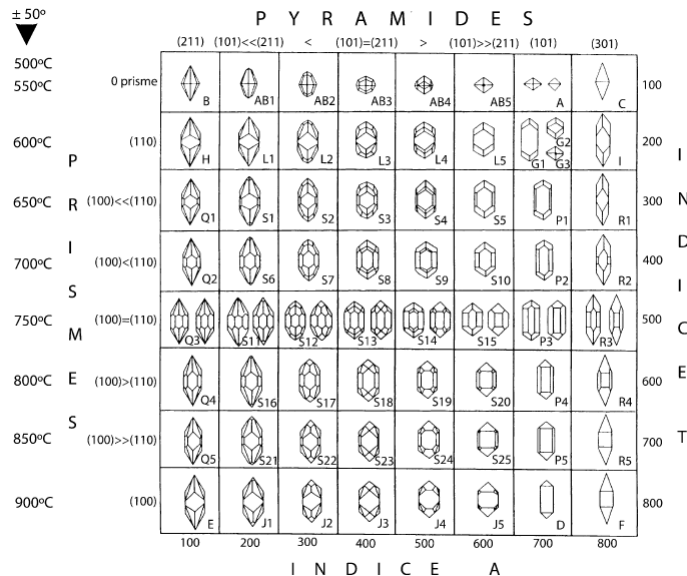


Fig. 2. Zircon typological classification proposed by Pupin (1980). Index A reflects the Al/alkali ratio, controlling the development of zircon pyramids, whereas temperature affects the development of different zircon prisms.

## Typologie zirkonu

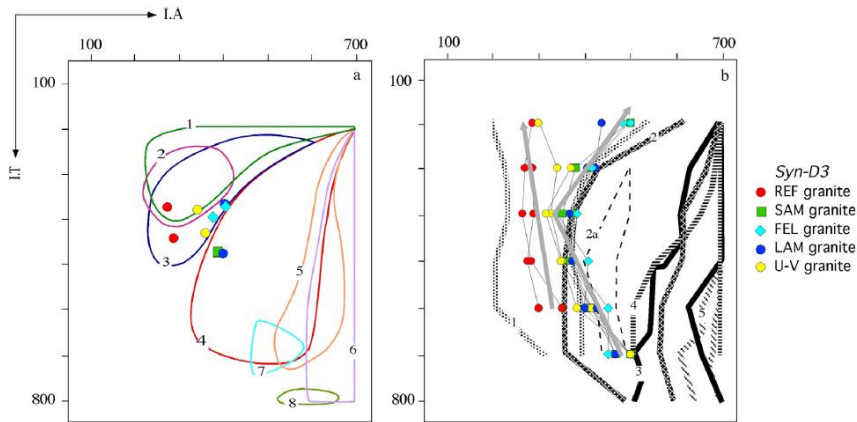


Fig. 3. (Color online.) Morphological signatures of zircon populations from syn-D<sub>3</sub> granites in the (A, T) morphological diagram (Pupin, 1988). a. Distribution of the mean point; granitic domains: (1) aluminous leucogranites; (2) (sub) autochthonous anatectic granites; (3) intrusive aluminous monzogranites–granodiorites; (4) calc-alkaline and K-calc-alkaline series; (5) sub-alkaline series; (6) alkaline series; (7) continental tholeiitic series; (8) oceanic plagiogranites. b. (TET) Typological evolutionary trends; Granitic domains: (1) crustal or mainly crustal origin; (2) calc-alkaline granites; (2a) K-calc-alkaline granites; (3) sub-alkaline granites; (4) alkaline subsolvus granites; (5) alkaline hypersolvus granites. The arrows indicate the typological evolution's direction.

## Porozita

### Porozita

Objem prostor vyplněných plynem nebo kapalinou (pórů) vůči celkovému objemu horniny

$$\Phi = V_{(p)} / V_{(b)}$$

$V_{(p)}$  = objem pórů

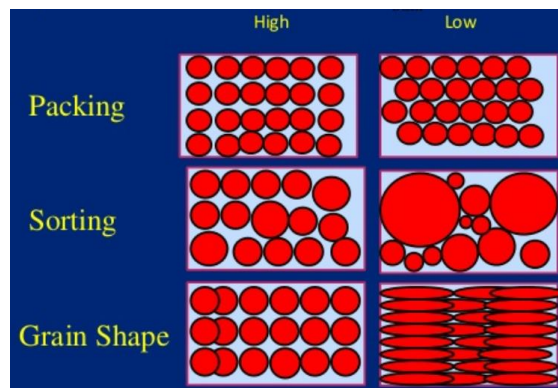
$V_{(b)}$  = celkový objem horniny

### Definovaná

- prostorovým uspořádáním zrn
- Vytříděním
- Tvarem zrn

### Porozita

- Efektivní (umožňuje průtok fluid)
- Neefektivní (neumožňuje průtok fluid)
- Celková (součet obou)



## Porozita

### Porozita

Objem prostor vyplněných plynem nebo kapalinou (pórů) vůči celkovému objemu horniny

$$\Phi = V_{(p)} / V_{(b)}$$

$V_{(p)}$  = objem pórů

$V_{(b)}$  = celkový objem horniny

- **Definovaná**

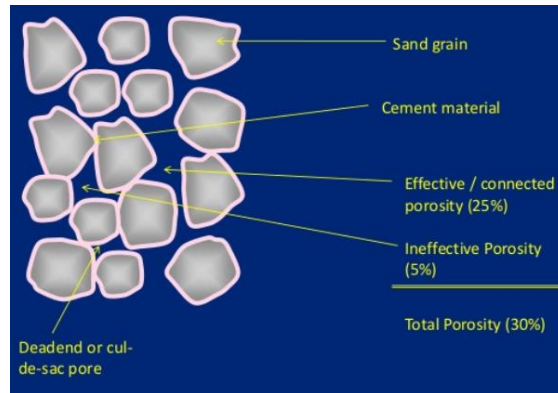
- prostorovým uspořádáním zrn
- Vytříděním
- Tvarem zrn
- Cementací / rozpouštěním

### Porozita

–Efektivní (umožňuje průtok fluid)

–Neefektivní (neumožňuje průtok fluid)

–Celková (součet obou)



## Porozita

### Porozita

Objem prostor vyplněných plynem nebo kapalinou (pórů) vůči celkovému objemu horniny

$$\Phi = V_{(p)} / V_{(b)}$$

$V_{(p)}$  = objem pórů

$V_{(b)}$  = celkový objem horniny

- **Definovaná**

- prostorovým uspořádáním zrn
- Vytříděním
- Tvarem zrn
- Cementací / rozpouštěním

### Porozita

–Efektivní (umožňuje průtok fluid)

–Neefektivní (neumožňuje průtok fluid)

–Celková (součet obou)

➤ **Evaluating formation**

Porosity %	25~20	20~15	15~10	10~5	5~0
Grade	Very good	good	moderate	poor	no value

Reservoir Rocks & Fluid Properties

# Porozita a permeabilita

## Porozita

### primární

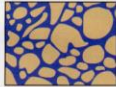




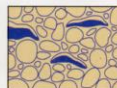









- Intergranulární
- intragranulární
- interkrytalinní
- Moldická
- Stříškovitá (shelter)

### sekundární

- puklinová
- Kavernózní
- Brekciovitá
- atd.

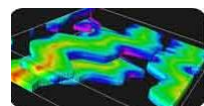
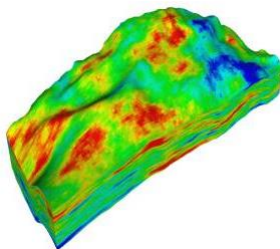
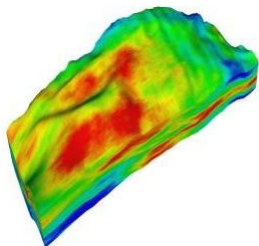
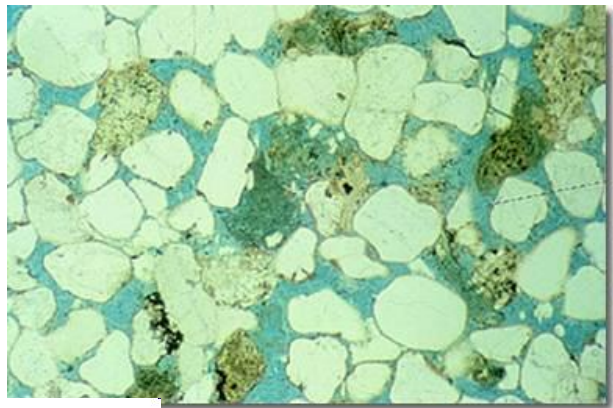
## Permeabilita

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

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

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

297 Classification of porosity in carbonate sediments according to Choquette and Pray (1970). Porosity is dark blue.





# Komponenty sedimentárních hornin

## 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, fosilie, ooidy, organický materiál, fragmenty chemických a biochemických precipitátů (zpravidla vytvořeny uvnitř depoziční pánve)**
  - kalcit, aragonit, dolomit, opál, chalcedon, křemen, halit, sádrovec, anhydrit, goethit, apatit

## Jílové minerály

### KLASIFIKACE

#### Amorfní jílové minerály

- Alofán  $\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot (\text{SiO}_2)_{1,3-2} \cdot (2,5-3)\text{H}_2\text{O}$

#### Skupina kaolinitu

- kaolinit  $\text{Al}_4\text{Si}_4\text{O}_{10}(\text{OH})_8$
- Dickit, nakrit, halloysit

#### Skupina smektitu

- montmorillonit  $(\text{Na}, \text{Ca})_{0,33}(\text{Al}, \text{Mg})_2(\text{Si}_4\text{O}_{10})(\text{OH})_2 \cdot n\text{H}_2\text{O}$
- nontronit, beidellit, saponit

#### Skupina illitu („jílové slídy“)

- illit  $(\text{K}, \text{H}_3\text{O})(\text{Al}, \text{Mg}, \text{Fe})_2(\text{Si}, \text{Al})_4\text{O}_{10}[(\text{OH})_2, (\text{H}_2\text{O})]$
- glaukonit  $(\text{K}, \text{Na})(\text{Fe}^{3+}, \text{Al}, \text{Mg})_2(\text{Si}, \text{Al})_4\text{O}_{10}(\text{OH})_2$
- seladonit, vermikulit

#### Skupina chloritu

- Klinochlor  $(\text{Mg}_5\text{Al})(\text{AlSi}_3)\text{O}_{10}(\text{OH})_8$
- Chamosit  $(\text{Fe}_5\text{Al})(\text{AlSi}_3)\text{O}_{10}(\text{OH})_8$
- Nimit, pennantit

Výměnná kapacita kationtů

# Minerály SiO<sub>2</sub>

**Křemen**                    **SiO<sub>2</sub>**  
 chirální (levo-, pravotočivý)  
 – α-křemen  
 – β - křemen  
 – α, β – tridymit, α, β – cristobalit

**Chalcedon**                **SiO<sub>2</sub>**  
 – Kryptokrystalická forma křemene, směs křemene (trigonální) a moganitu (monoklinický)  
 – achát, chryzopras, onyx

**Opál**                        **SiO<sub>2</sub>.nH<sub>2</sub>O**  
 – Amorfní, obsah vody 3 – 21%

## Těžké minerály

Minerály s hustotou > 2,9 g/cm<sup>3</sup>, běžná součást siliciklastických hornin, indikátory provenience

Minerál	Hustota (g/cm <sup>3</sup> )	Stabilita při zvětrávání	Stabilita při diagenézi	Provenience
<b>Amfibol</b>	3.02...3.50	Nízká	Nízká	Vyvřelé a metamorfované h.
<b>Apatit</b>	3.10...3.35	Nízká	Střední	Vyvřelé a metamorfované h.
<b>Chromit</b>	4.43...5.09		Vysoká	Mafické a ultramafické vyvřelé h.
<b>Klinopyroxen</b>	2.96...3.52	Nízká	Nízká	Vyvřelé a metamorfované h.
<b>Epidot</b>	3.12...3.52	Nízká	Nízká	Převážně metamorfované, méně vyvřelé h.
<b>Granáty</b>	3.59...4.32	Střední	Střední	Převážně metamorfované, méně vyvřelé h.
<b>Ilmenit</b>	4.70...4.79			Vyvřelé a metamorfované h., méně hydrotermální žily
<b>Kyanit</b>	3.53...3.65	Vysoká	Střední	Metamorfované h., vzácně vyvřelé h.
<b>Magnetit</b>	5.17...5.20		Vysoká	Vyvřelé a metamorfované h., hydrotermální žily
<b>Monazit</b>	5.00...5.30	Vysoká	Vysoká	Vyvřelé a metamorfované h.
<b>Olivín</b>	3.22...4.39	Nízká	Nízká	Mafické a ultramafické vyvřelé horniny, méně metamorfované h..
<b>Rutil</b>	4.23...5.50	Vysoká	Vysoká	Vyvřelé a metamorfované h.
<b>Sillimanit</b>	3.23...3.27	Vysoká	Nízká	Metamorfované h., občas granit.
<b>Staurolit</b>	3.74...3.83	Vysoká	Střední	Metamorfované h.
<b>Titanit</b>	3.45...3.55	Střední	Střední	Vyvřelé a metamorfované h.
<b>Turmalín</b>	3.03...3.10	Vysoká	Vysoká	Granitové pegmatity, některé metamorfované h.
<b>Xenotim</b>	4.25...5.10	Vysoká	Vysoká	Vyvřelé a metamorfované h.
<b>Zirkon</b>	4.60...4.70	vysoká	vysoká	Vyvřelé a metamorfované h.

# Karbonátové minerály

## KLASIFIKACE

### Skupina kalcitu (trigonální)

- kalcit  $\text{CaCO}_3$
- magnezit  $\text{MgCO}_3$
- rhodochrosit  $\text{MnCO}_3$
- siderit  $\text{FeCO}_3$
- smithsonit  $\text{ZnCO}_3$

### Skupina aragonitu (rombické)

- aragonit  $\text{CaCO}_3$
- cerusit  $\text{PbCO}_3$
- stroncianit  $\text{SrCO}_3$
- witherit  $\text{BaCO}_3$

### Karbonáty se složeným vzorcem

- ankerit  $\text{CaFe}(\text{CO}_3)_2$
- dolomit  $\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2$

### Karbonáty s hydroxylovou skupinou nebo halogeny

- azurit  $\text{Cu}_3(\text{CO}_3)_2(\text{OH})_2$
- malachit  $\text{Cu}_2\text{CO}_3(\text{OH})_2$

### Hydratované karbonáty

- ikait  $\text{CaCO}_3 \cdot 5(\text{H}_2\text{O})$

# Minerály evaporitů

TABLE 20.2 Selected Evaporite and Associated Minerals and Their Formulas	
<b>Carbonates and Bicarbonates</b>	
Nahcolite	$\text{NaHCO}_3$
<b>Aragonite</b> <sup>1</sup>	$\text{CaCO}_3$
<b>Calcite</b>	$\text{CaCO}_3$
<b>Magnesite</b>	$\text{MgCO}_3$
<b>Dolomite</b>	$\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2$
Ankerite	$(\text{Ca,Mg,Fe})\text{CO}_3$
Trona	$\text{Na}_2\text{CO}_3 \cdot (\text{HCO}_3)_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$
Prissonite	$\text{CaCO}_3 \cdot \text{Na}_2\text{CO}_3 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$
Davsonite	$\text{Na}_2\text{AlCO}_3(\text{OH})_2$
<b>Chlorides</b>	
<b>Sylvite</b>	KCl
<b>Halite</b>	NaCl
Bischoffite	$\text{MgCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$
<b>Carnallite</b>	$\text{KMgCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$
Tachyhydrite	$\text{CaMg}_2\text{Cl}_6 \cdot 12\text{H}_2\text{O}$
<b>Sulfates</b>	
Picromerite	$\text{K}_2\text{SO}_4 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$
Thenardite	$\text{Na}_2\text{SO}_4$
Mirabilite	$\text{Na}_2\text{SO}_4 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$
Glauberite	$\text{Na}_2\text{SO}_4 \cdot \text{CaSO}_4$
<b>Anhydrite</b>	$\text{CaSO}_4$
<b>Gypsum</b>	$\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$
<b>Kieserite</b>	$\text{MgSO}_4 \cdot \text{H}_2\text{O}$
Hexahydrite	$\text{MgSO}_4 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$
Epsomite	$\text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$
Celestine	$\text{SrSO}_4$
Aphthalite	$\text{K}_2\text{Na}(\text{SO}_4)_2$
Glauberite	$\text{Na}_2\text{Ca}(\text{SO}_4)_2$
Bigotite	$\text{Na}_2\text{Mg}(\text{SO}_4)_2$
Schoenite	$\text{K}_2\text{Mg}(\text{SO}_4)_2$
<b>Langbeinite</b>	$\text{K}_2\text{Mg}_2(\text{SO}_4)_3$
<b>Sulfates (continued)</b>	
<b>Polyhalite</b>	$\text{K}_2\text{MgCa}_2(\text{SO}_4)_6 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$
<b>Kainite</b>	$\text{KMg}(\text{SO}_4)_2 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$
<b>Borates</b>	
Kernite	$\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$
Tincalconite	$\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$
Borax	$\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$
Colemanite	$\text{Ca}_2\text{B}_6\text{O}_{11} \cdot 5\text{H}_2\text{O}$
Ulexite	$\text{NaCaB}_5\text{O}_{10} \cdot 8\text{H}_2\text{O}$
<b>Others (including those with combinations of anions)</b>	
Burkeite	$2\text{Na}_2\text{SO}_4 \cdot \text{Na}_2\text{CO}_3$
Gaiteite	$\text{Na}_2\text{SO}_4 \cdot \text{Na}(\text{F,Cl})$
Hanksite	$9\text{Na}_2\text{SO}_4 \cdot 2\text{Na}_2\text{CO}_3 \cdot \text{KCl}$
Northupite	$\text{Na}_2\text{CO}_3 \cdot \text{MgCO}_3 \cdot \text{NaCl}$
Teepelite	$\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7 \cdot 2\text{NaCl} \cdot 4\text{H}_2\text{O}$
Pyrite	$\text{FeS}_2$
Realgar	$\text{As}_2\text{S}_3$
Orpiment	$\text{As}_2\text{S}_3$
<b>Associated Silicates of Authigenic Origin</b>	
Quartz	$\text{SiO}_2$
Adularia	$\text{KAlSi}_3\text{O}_8$
Albite	$\text{NaAlSi}_3\text{O}_8$
Analcite	$\text{Na}_4\text{Al}_3\text{Si}_3\text{O}_{10} \cdot \text{H}_2\text{O}$
Scarfesite	$\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7 \cdot \text{H}_2\text{O}$
Magadiite	$\text{Na}_2\text{Si}_2\text{O}_7(\text{OH})_2 \cdot 3\text{H}_2\text{O}$
Phillipsite	$\text{KCaAl}_3\text{Si}_6\text{O}_{20} \cdot 6\text{H}_2\text{O}$
Heulandite	$\text{CaAl}_2\text{Si}_8\text{O}_{22} \cdot 5\text{H}_2\text{O}$
Illite	$\text{KAl}_2\text{Fe}_4\text{Mg}_{10}(\text{Si,Al})_4\text{O}_{20}(\text{OH})_2$
Smectites	$(\text{K,Na,Ca,Mg}_{0.33}\text{Al}_2\text{Si}_4\text{O}_{10}(\text{OH})_2) \cdot n\text{H}_2\text{O}$

Sources: Many sources, including Gale (1915), J. E. Adams (1944), Scruton, (1953), Murdoch and Webb (1956, 1960), G. I. Smith (1962, 1979), F. H. Stewart (1963), Borchert and Muir (1964), G. I. Smith and Haines (1964), V. Morgan and Erd (1969), Hosterman and Danyi (1972), Roehrer (1972), Danyi (1976), Holser (1979), G. I. Smith et al. (1983), Donahoe and Lou (1984), Sheppard and Gude (1986), and observations by the author. For lists of additional minerals see Borchert and Muir (1964), Sonnenfeld (1984), and Penhault (1989).

<sup>1</sup>Major evaporite minerals are shown in boldface.

## Klasifikace sedimentů podle materiálu

### Klastické

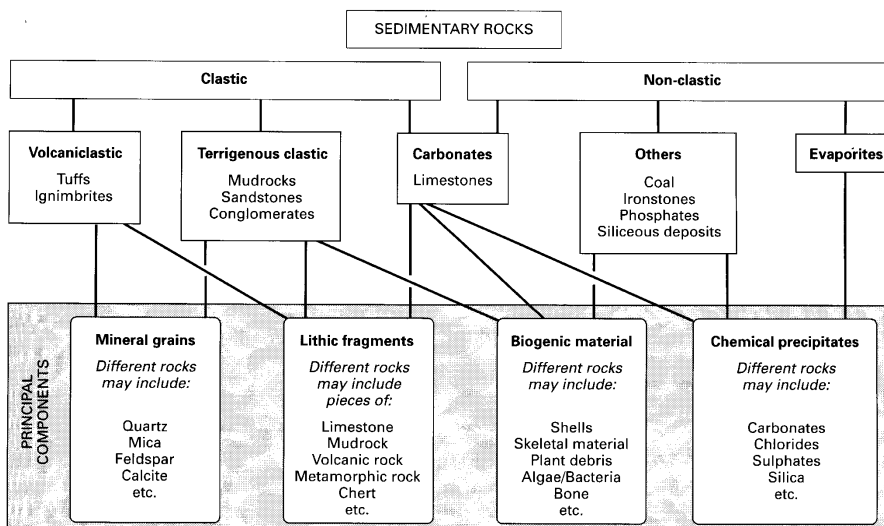
- siliciklastické (skupina S, siliciklastika)
- vulkanoklastické

### Chemogenní nebo cementační (skupina P, precipitáty)

### Biogenní nebo organogenní

- skupina A, alochemické horniny
- kaustobiolity

## Rozšířená klasifikace sedimentárních hornin



## Klastické sedimenty: základní zrnitostní klasifikace

### Psefity

### Psamity

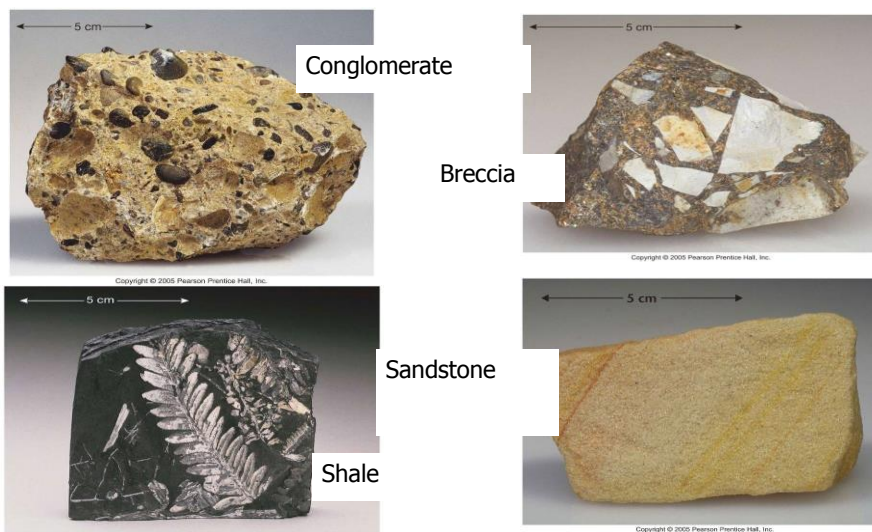
### Aleurity

### Pelity

Alternativní názvy frakcí zrnitostní klasifikace klastických sedimentů

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
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	aleurit	lutit	prach		vulkanický popel, popelový tuf, sopečný prach	kalcielit	jílová rezidua	
> 0,004	pelit		jíl		velmi jemný vulkanický popel, sopečný jíl			

## Detrital sedimentary rocks- classified by grain size differences



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 – štěrky

### 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)

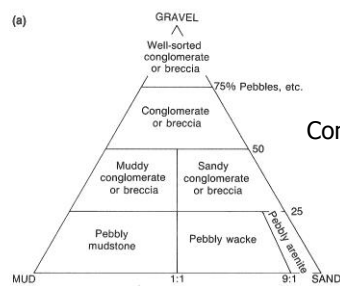
### Klasifikace podle složení klastů > 2 mm

- **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

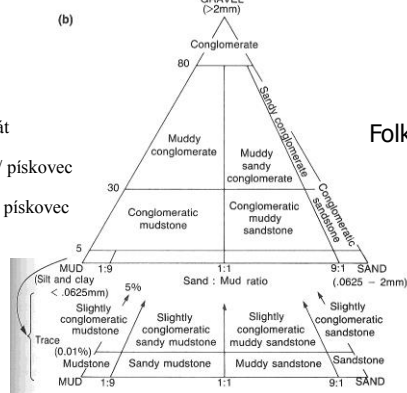
- drobnozrný (2-10mm)
- středozrný (10-50mm)
- hrubozrný (50-250mm)
- balvanitý (> 250mm)

- a)
- Dobře vytříděný konglomerát/brekcie 75%
  - Konglomerát/brekcie 50 %
  - Jílovitý/písčitý konglomerát/brekcie 25%
  - Valounový jílovec / droba / pískovec



Compton, 1962

- b)
- Konglomerát 80%
  - Jílový / jílovito-písčitý / písčitý konglomerát 30%
  - Konglomeratický jílovec / jílový pískovec / pískovec 5%
  - Jílovec / písčitý jílovec / jílovitý pískovec / pískovec



Folk, 1974

## 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. stmelěním úlomků kosti.
- Podle *mineralogického složení klastů*
  - *Monomiktní brekcie* je tvořená 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)* - tvořená 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 (Compton 1962, Folk, 1974) případně:

**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**

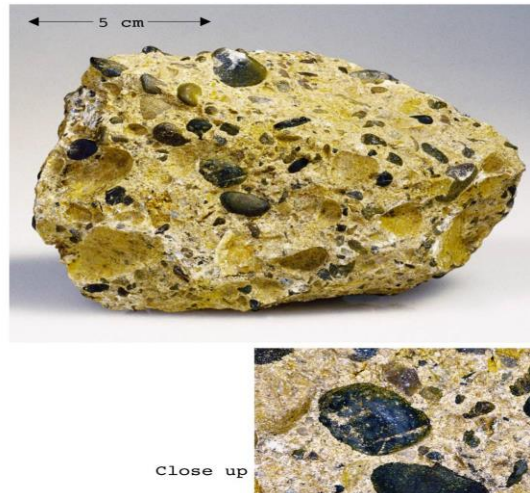
- *Monomiktní*
- *oligomiktní*
- *Polymiktní (petromiktní)*

**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.





## Valounové analýzy konglomerátů

**TABLE 18.3 Clast Counts of Selected Conglomerates and Related Materials**

	1	2	3	4	5	6	7
<b>Igneous</b>							
Felsic plutonic	26 <sup>a</sup>	2	0	1	0	0	0
Mafic plutonic	12	0	1	0	0	0	0
Felsic volcanic	11	23	0	3	0	0	0
Mafic volcanic	21	1	1	1	0	0	0
<b>Sedimentary</b>							
Conglomerate	0	0	0	0	tr	0	0
Sandstone and siltstone	20	7	32	< 1	1	12	0
Shale and mudstone	0	15	0	50	0	0	0
Limestone	0	2	0	0	0	78	< 1
Dolostone	0	0	0	0	0	1	61
Chert	3	41	64	38	2	3	38
Fossils	0	0	0	0	0	0	tr
<b>Metamorphic</b>							
Metaquartzite	0	1	0	< 1	tr	4	0
Slate and argillite	6	0	0	2	1	0	0
Serpentine	0	0	2	0	0	0	0
Quartz	0	6	0	3	92	2	0
Feldspar	0	0	0	0	3	0	0
Unknown and miscellaneous	0	2	0	< 1	tr	0	0
<b>Number of pebbles counted</b>	<b>422</b>	<b>494</b>	<b>102</b>	<b>213</b>	<b>564</b>	<b>848</b>	<b>600</b>

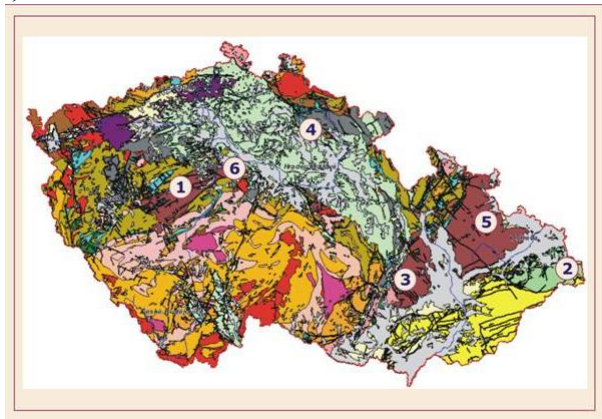
**Source:**

1. Polymict conglomerate, Herring Head Formation, Toogood Sequence (Silurian), Herring Neck Canal, New World Island, Newfoundland (Helwig and Sarpi, 1969).
2. Polymict conglomerate, sample 39, Franciscan Complex (Jurassic/Cretaceous), Pickett Peak Quadrangle, northern California (Seiders and Blome, 1988).
3. Poorly consolidated, polymict conglomerate, sample C51c (Miocene), Carbonsa Quadrangle (Raymond, 1969).
4. Polymict shale chip, granule breccia, Franciscan Complex (Jurassic/Cretaceous), Mount Oso area, northeastern Diablo Range, California (unpublished data, L. A. Raymond).
5. Quartz conglomerate, Citico Conglomerate of the Wilhite Formation (Proterozoic), Chithowee Dam, Little Tennessee River, Tennessee (unpublished data, L. A. Raymond).
6. Polymict conglomerate, Pellico Sandstone (Formation), Ordovician, Cisco, Georgia (Kellberg and Grant, 1956).
7. Chert-dolostone breccia, Roanoke Limestone (Formation), Ordovician, Rich Valley, near Saltville, Virginia (unpublished data, L. A. Raymond).

<sup>a</sup>Values in percent.  
tr = trace.

## 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%**- písčité 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 – pisky

### Klasifikace podle velikosti zrna

- jemnozrné (> 10%: 0,063 – 0,25)
- středně zrnité (> 10%: 0,25 – 0,5)
- hrubozrné (> 10%: 0,5 – 2,0)

# Psamity

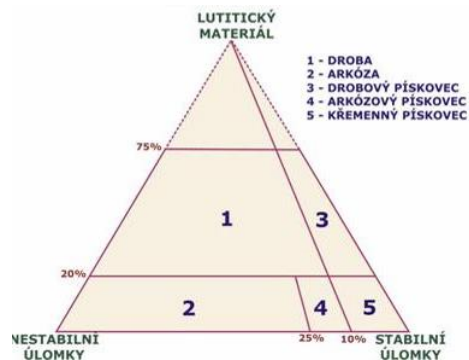
## Klasifikace podle složení klastů

- pískovec
- arkóza
- droba

## trojúhelníkový diagram (Kukal 1985)

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

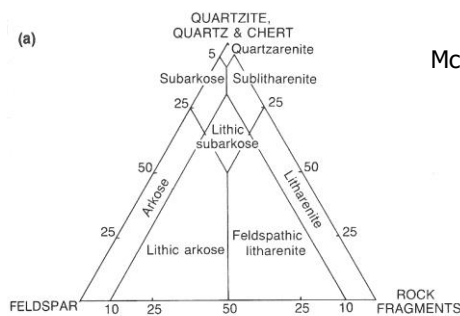
Křemenný pískovec  
arkózový pískovec  
drobovité pískovec  
arkóza  
droba



## QFL klasifikace

a) McBride, 1963

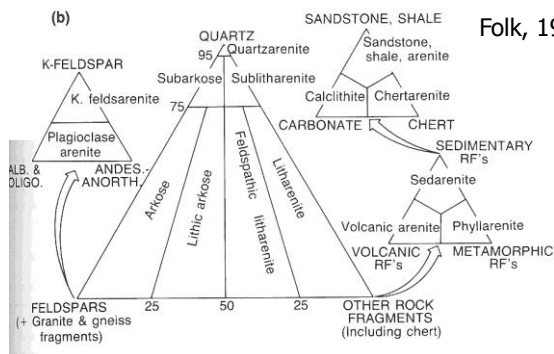
- křemenný arenit / pískovec
- poloarkóza
- litická poloarkóza
- arkóza
- litická arkóza
- litický arenit / pískovec (droba)
- živcový litický arenit / pískovec (droba)



McBride, 1963

b) Folk, 1974

- Křemenný pískovec (quartzarenite) 95%
- Poloarkóza (subarkose) 75%
- Polodroba (sublitharenite) 75%
- Arkóza
- Litická arkóza
- Živcová droba
- Droba (litharenite – mezinárodní význam)



Folk, 1974

# Pískovec (český význam)

- **Pískovec**
- *zpevněný psamitický sediment.*
- > 80% stabilních klastů v psamitické frakci
  - Křemen
  - Úlomky stabilních hornin (rohovce, silicity, křemenné žíly)
- < 20% nestabilních úlomků v psamitické frakci
  - Živec
  - 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)
  - Křemíty
  - Karbonátový
  - železitý

Obr. 3.1.9 Pískovec křemenný, Kralupy nad Vltavou



Obr. 3.1.10 Pískovec, ždánická jednotka, Ježov u Kyjova



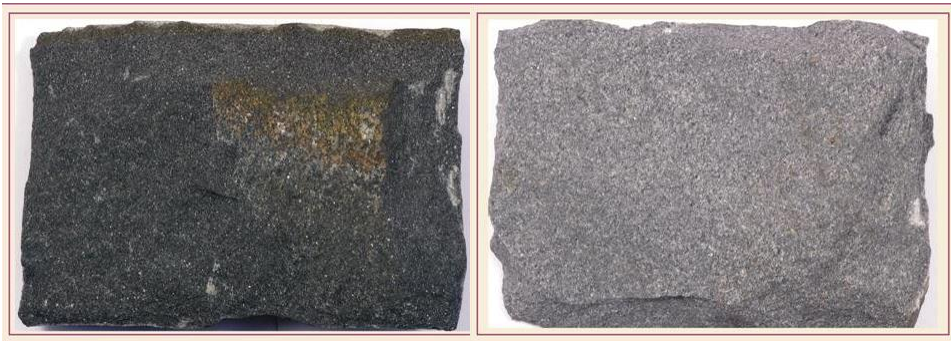
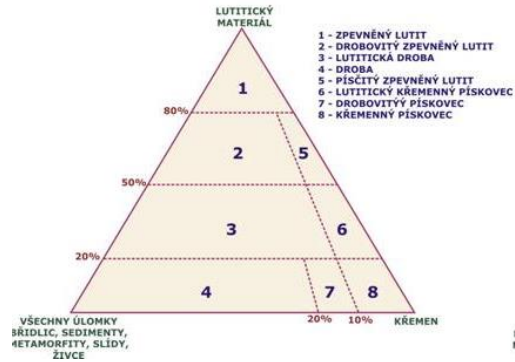
Obr. 3.1.12 Pískovec glaukonitický, Šance - Řečice



# Droba (český význam)

- **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)



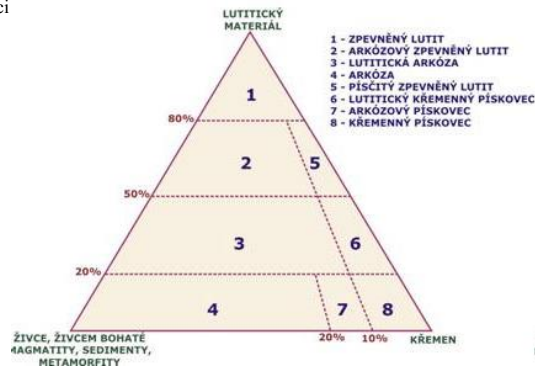
droby



# Arkóza (český význam)

- **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)





1. Křemenný pískovec
3. Arkóza
6. Litická droba

## Chemické složení psamitů

	1	2	3	4	5	6
SiO <sub>2</sub>	98.91 <sup>a</sup>	88.7	76.6	67.3	65.0	60.9
TiO <sub>2</sub>	0.05	0.21	0.6	0.6	—	0.6
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0.62	5.03	12.4	15.5	9.57	16.4
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0.09	—	0.7	0.4	1.59	1.4
FeO <sup>a,b</sup>	—	3.60	—	—	—	—
FeO	—	—	0.2	3.8	1.08	4.4
MnO	—	0.04	—	0.1	—	0.1
MgO	0.02	0.29	0.3	1.9	0.4	3.1
CaO	—	0.43	0.4	0.6	10.1	3.9
Na <sub>2</sub> O	0.01	1.14	0.3	4.2	2.14	4.2
K <sub>2</sub> O	0.02	0.92	3.8	3.2	1.43	0.6
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	—	0.03	—	0.1	—	0.1
H <sub>2</sub> O <sup>+</sup>	—	—	2.7	1.8	0.82	3.7
H <sub>2</sub> O <sup>-</sup>	—	—	—	0.2	0.23	0.5
CO <sub>2</sub>	—	—	—	—	6.9	0.1
LOI	0.27	1.02	—	—	—	—
Other	—	tr	—	—	0.31	—
Total	99.99	99.60	100.6	99.7	99.54	100.0

Sources:

1. Quartz arenite, St. Peter Sandstone (Ordovician), Mendota, Minnesota. Analyst: A. William (Thiel, 1935).
2. Quartz wacke, metamorphosed, Pinal Schist (Paleoproterozoic), near Globe, Arizona (Condie and DeMalas, 1985).
3. Arkose (Oligocene), Auvergne, France (Huckenholz, 1963).
4. Feldspathic wacke, Franciscan Complex (Jurassic-Cretaceous), San Bruno Mountain, San Francisco Peninsula, California (E. H. Bailey, Irwin, and Jones, 1964).
5. Calcareous lithic arenite, "Frio" (Oligocene), Texas, composite of 10 samples from Wells and Kleberg counties (Nanz, 1954).
6. Lithic (volcanic) wacke, Franciscan Complex (Jurassic-Cretaceous), San Francisco, California (E. H. Bailey, Irwin, and Jones 1964).

<sup>a</sup>Values in weight percent.

<sup>b</sup>Total iron as Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>.

1. Křemenný pískovec
3. Žilcový arenit (arkóza)
6. Litická droba

## Modální složení psamitů

Grain Type	1	2	3	4	5	6
Quartz	(90) <sup>a</sup>	(88)	(40)	42	51	(2)
Monocrystalline	89	81	39	—	—	1
Polycrystalline	tr	7	1	—	—	1
Alkali feldspar	tr	1	4	5	< 1	4
Plagioclase	—	4	6	7	< 1	22
Biotite	—	—	tr	—	—	—
Muscovite	—	—	6	—	—	—
Other minerals	tr	—	6	—	—	12
Rock fragments	—	—	6	—	—	—
Chert/metachert	tr	1	2	6	—	—
Sedimentary	—	tr	—	—	6	—
Felsic volcanic	—	—	1	—	—	38
Mafic volcanic	—	—	tr	—	—	6
Metamorphic	tr	tr	1	—	3	tr
Other/undiff.	—	—	—	8	—	tr
Cement	—	—	33	—	30	tr
Calcite	—	—	—	—	—	—
Other <sup>b</sup>	7	—	1	1	4	—
Matrix <sup>c</sup>	2	5	1	31	5	16
Total	100	100	100	100	100	100
Number of points counted	400	650	300	500	400	600
QL	100:0:0	95:5:0	77:19:4	68:19:13	84:1:15	3:36:61

Sources:

1. Quartz arenite, Clinch Formation (Silurian), Clinch Mountain in Clinch Mountain Wildlife Management Area, Virginia (L. A. Raymond, unpublished data).
2. Quartz arenite, Navajo Sandstone (Lower Jurassic), east entrance to Zion National Park, Utah (L. A. Raymond, unpublished data).
3. Feldspathic arenite, sample C1, Panoche Formation (Upper Cretaceous), Caribou Quadrangle, California (L. A. Raymond, unpublished data).
4. Feldspathic wacke, sample 430.1 of 30-1 Anderson core, Eagle Sandstone (Upper Cretaceous), Bearpaw Mountains, Montana (Gäostier, 1981, table 3).
5. Lithic arenite, sample C4A, Trivoli Sandstone (Pennsylvanian), Wayne County, Illinois (Andresen, 1961, table 2).
6. Lithic wacke, sample 10 (Archer), Vermilion District, Minnesota (Ojakangas, 1972, table 2).

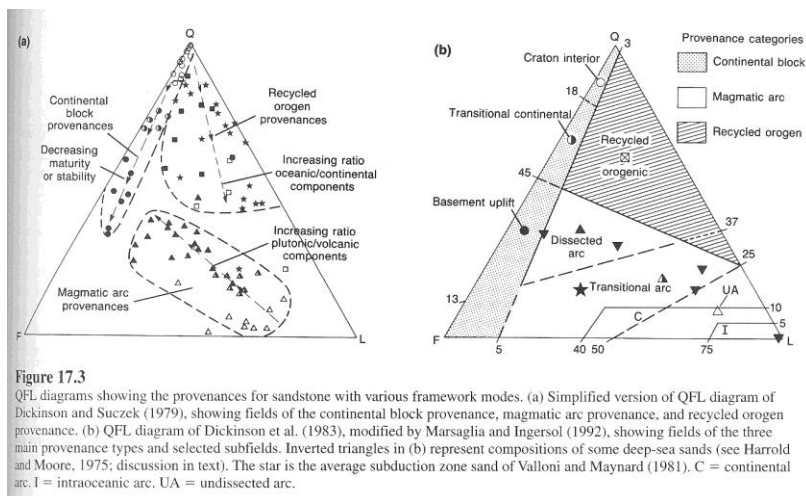
<sup>a</sup>Volume percents based on number of points counted, as indicated.

<sup>b</sup>Components other than calcite include manganese oxides (column 1), iron carbonates, silica, and clays.

<sup>c</sup>Matrix materials may include clays, chertite, and silt- to clay-size quartz, feldspar, or other minerals.

tr = trace.

## Geotektonická provenience pískovců



## Chemické složení drob

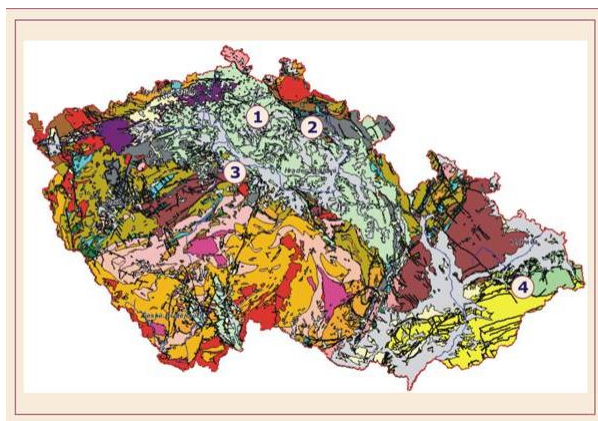
	Franciscan Wackes			Average "Graywackes"		
	1	2	3	4	5	6
SiO <sub>2</sub>	58.4 <sup>a</sup>	67.3	71.72	57.2	69.0	85.0
TiO <sub>2</sub>	0.5	1.8	0.35	1.0	0.6	0.3
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	14.2	12.4	13.23	16.0	11.7	7.2
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	2.4	0.6	0.30	—	—	—
FeO <sup>b</sup>	—	—	—	8.8	6.2	4.2
FeO	1.4	4.0	3.58	—	—	—
MnO	0.2	0.1	—	0.1	tr	tr
MgO	1.2	2.3	1.81	3.4	nr	0.1
CaO	8.2	3.3	1.80	5.4	2.6	0.1
Na <sub>2</sub> O	3.3	3.0	2.72	5.0	2.0	0.8
K <sub>2</sub> O	2.0	1.2	1.29	0.7	1.5	1.7
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0.1	0.1	0.09	0.2	nr	tr
H <sub>2</sub> O <sup>c</sup>	—	2.5	2.53	—	—	nr
H <sub>2</sub> O <sup>d</sup>	3.1	0.3	0.15	—	nr	—
CO <sub>2</sub>	4.8	0.6	0.32	—	nr	—
LOI	—	—	—	2.0	tr	1.0
Other	—	—	0.04	—	tr	—
Total	100	99.5 <sup>e</sup>	99.93	99.8	93.6	100.4

### Sources:

- "Graywacke," Franciscan Complex (Cretaceous?), about 2 km north of Reese Gap, Sonoma County, California. Analysts: P. L. D. Elmore, I. H. Barlow, S. D. Bott, and G. Chloé (E. H. Bailey, Irwin, and Jones, 1964, table 1, analysis 11).
  - "Graywacke," Franciscan Complex (Jurassic-Cretaceous), New Almaden District, Santa Clara County, California. Analyst: A. C. Vlisidis (E. H. Bailey, Irwin, and Jones, 1964, table 1, analysis 2).
  - "Sandstone" (metawacke), Franciscan Complex (Jurassic?), junction of Buckeye Gulch and Hospital Canyon, Carobus Quadrangle, California. Analyst: Herdman Laboratory, Glasgow (Taliaferro, 1943, table 3, analysis 3, p. 136).
  - Graywackes, average of 10 analyses, Sierra Madre Mountains, Wyoming (J. R. Reed and Candie, 1987, table 2).
  - Graywackes, average of 6 analyses, Gazelle Formation (Silurian), near Yreka, California (Condie and Srinivasan, 1971, table 2, columns 2 and 3).
  - High-quartz graywackes, average of 2 analyses (Precambrian), Mazatzal Mountains, Arizona (J. R. Reed and Coe, 1987, table 2).
- <sup>a</sup>Values in weight percent.  
<sup>b</sup>Total iron as Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>.  
<sup>c</sup>Original analysis, reported to hundredths place, totalled 99.41.  
 nr = not reported.  
 tr = trace.

# 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

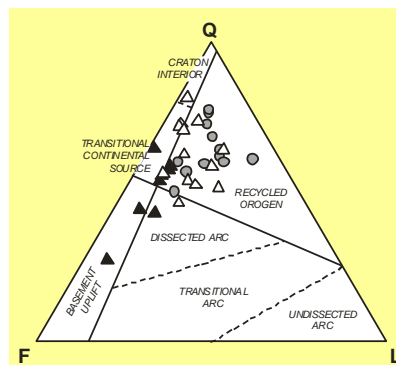
### Klasifikace podle složení klastů

trojúhelníkový diagram (matrix je ignorována)

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

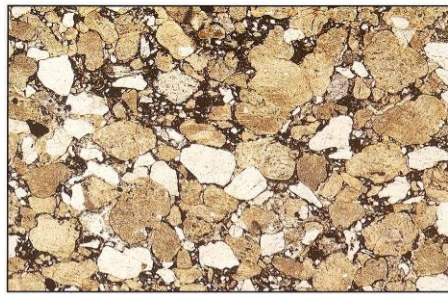
### provenience

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





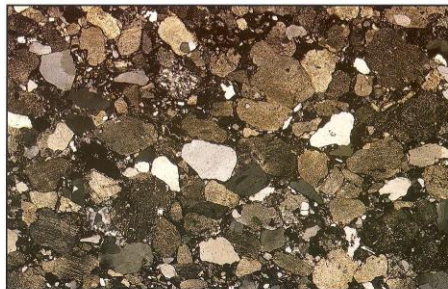
109 Quartz Arenite in plane-polarized light. Locality: New Red Sandstone, Permo-Trias, England (x 47).



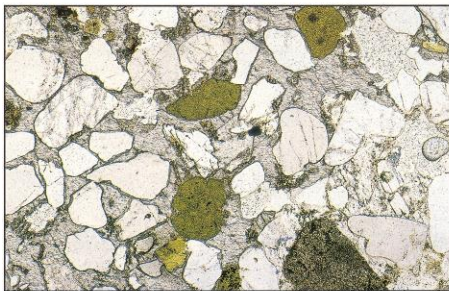
113 Arkose in plane-polarized light. Locality: Torridonian, Precambrian, Scotland (x 13).



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



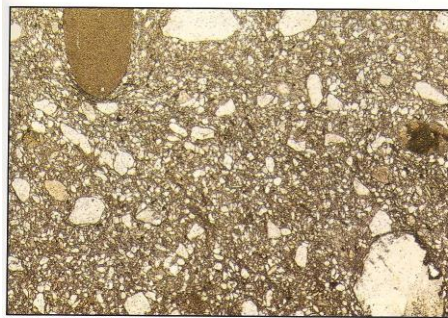
114 Arkose with crossed polars. Locality: Torridonian, Precambrian, Scotland (x 13).



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



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



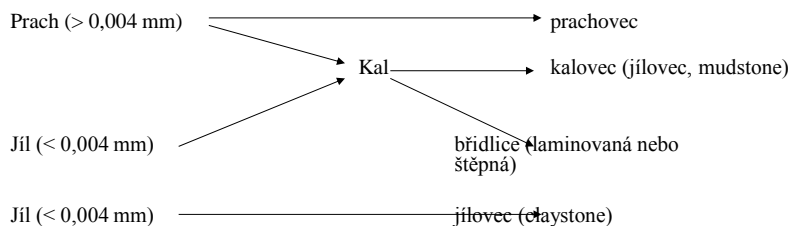
116 Greywacke in plane-polarized light. Locality: Lower Palaeozoic, West Wales (x 19).

# 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%)

## Minerální složení jílů a jílovců

	1	2	3	4	5
Quartz	70–80*	26–35	4	—	—
Alkali feldspar	—	—	tr	—	—
Feldspars	—	26–35	5	—	—
Kaolinites	—	11–15	1	18	15
Montmorillonite	—	11–15	4	—	70
Mixed-layer phyllosilicates	—	—	—	61*	—
Illite	—	2–5	—	21	10
Micas	—	—	3	—	—
Chlorite	—	6–10	tr	—	5
Palygorskite	—	—	tr	—	—
Clinoptilolite	—	—	tr	—	—
Phillipsite	—	—	1	—	—
Calcite	5–10	6–10	—	—	—
Gypsum	—	—	—	—	p
Lincolnite	—	—	—	—	p
Goethite	—	—	—	p	—
Hematite	—	—	—	p	—
Pyrite	1–3	—	—	—	—
Microfossils	—	—	—	—	p
Other organic debris	5–10	—	—	—	p
Amorphous materials <sup>a</sup>	—	—	81	—	—
Other	tr	—	tr	—	—
Total	100	100	100	100	100

Sources:

1. Siliceous "siltite" (siltstone) (Permian), Dollarhide Formation, Idaho (Wavra, Isaacson, and Hall, 1986).

2. Calcareous, sandy, clayey siltstone (Mio-Pliocene), New Zealand, sample 33401 (Ballance et al., 1984).

3. Volcanic glass-rich mud (Plio-Pleistocene), Peru Basin, Pacific Ocean (Zemmelis and Cook, 1976).

4. Shale (Pliocene), Scaglia Rossa, Gubbio, Italy. Pelagic marine shale, interbedded with limestone, sample 347S (Johnson and Reynolds, 1986).

5. Clay shale (Cretaceous), Moreno Shale, Diablo Range, California. Shelf shale, with locally interbedded arenites (L. A. Raymond, unpublished analysis).

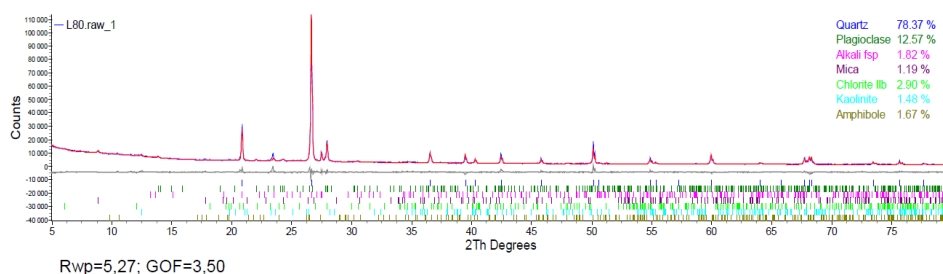
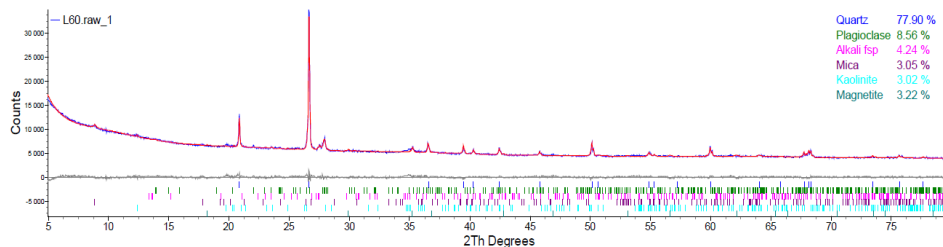
\*Percentages estimated from XRD analysis or petrographic observations.

<sup>a</sup>illite-smectite.

<sup>b</sup>includes volcanic glass, allophane, biogenic silica, and organic material.

<sup>c</sup>p = present, but not included in the quantitative analysis.

## RTG difraktometrické analýzy holocenní sedimenty nivy Moravy



## Chemické složení jílu a jílovců

	1	2	3	4	5	6	7	8	9
SiO <sub>2</sub>	40.1 <sup>a</sup>	46.30	58.32	60.0	61.84	61.99	66.00	74.8	76.44
TiO <sub>2</sub>	0.76	0.48	0.48	0.73	0.83	0.89	0.11	0.38	0.63
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	10.9	16.11	8.59	18.1	13.40	22.25	1.30	9.1	11.25
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	—	—	2.04	1.3	3.83	1.25	—	2.6	—
FeO	27.6 <sup>b</sup>	6.33 <sup>c</sup>	—	—	—	—	0.65 <sup>b</sup>	—	4.45 <sup>c</sup>
MnO	—	0.06	0.07	0.11	0.05	0.01	0.01	nr	0.04
MgO	3.5	3.01	3.65	2.9	2.69	1.34	2.60	1.2	0.99
CaO	0.53	16.20	8.45	1.1	2.68	0.02	16.00	1.4	3.03
Na <sub>2</sub> O	0.12	0.35	0.72	1.8	0.97	0.10	0.20	0.34	0.24
K <sub>2</sub> O	4.5	1.25	2.71	3.2	2.8	6.32	0.70	1.4	1.14
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0.14	0.50	0.05	0.17	0.44	0.03	0.16	0.5	0.14
LOI <sup>d</sup>	—	—	—	—	—	—	11.20	—	—
H <sub>2</sub> O <sup>e</sup>	2.2	—	0.52	0.64	2.45	0.10	nr	3.8	—
H <sub>2</sub> O <sup>f</sup>	4.8	0.58 <sup>g</sup>	1.40	4.4	3.85	4.57	nr	3.0	0.45 <sup>h</sup>
CO <sub>2</sub>	0.08	7.55	12.08	0.10	2.55	0.45	nr	nr	2.11
Other	1.37	1.44	0.43	0.34	1.05	0.25	tr	0.60	0.00
Total	100.0	100.16	99.69	99.4	100.44	100.00	98.93	99.52	100.89

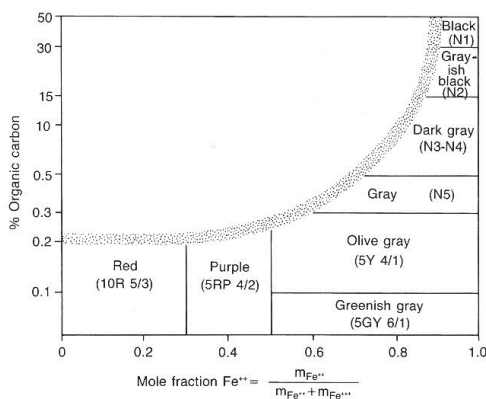
Sources:

1. Red shale interlayered with chert, Franciscan Complex (Jurassic-Cretaceous), California (E. H. Bailey, Irwin, and Jones, 1964). Analysts: P. L. D. Elmore, S. D. Bos, I. H. Barlow, and G. Chloce. Deep sea.
2. Shale, Ezeaku Formation (Cretaceous), Nigeria, sample 8 (Amajor, 1987). Passive margin shelf or slope.
3. Red sandy shale, Spearfish Formation (Triassic), South Dakota (G. B. Richardson, 1903). Transitional to shallow epicontinental sea (?).
4. Shale accompanying graywacke, Franciscan Complex (Jurassic-Cretaceous), California, sample SF-2126 (E. H. Bailey, Irwin, and Jones, 1964). Active margin slope or trench.
5. Shale, Cody Shale (Cretaceous), Wyoming, sample Sco-1 (L. G. Schultz, Tortolero, and Flanagan, 1976). Analyst: S. M. Berthold. Epicontinental marine sea floor.
6. Mudrock, Cookman Suite (Silurian-Devonian), Australia, sample MK55 (Biafia, 1983a). Passive margin.
7. Carbonaceous, carbonaceous, siliceous siltite, Delarhde Formation (Permian), Idaho, sample Ex-1 (Wavra, Isaacson, and Hall, 1986). Active margin slope (?).
8. Siliceous shale or claystone, Pierre Shale (Cretaceous), Potter County, South Dakota, sample 259536 (L. G. Schultz et al., 1980). Epicontinental marine sea floor.
9. Shale, Asa River Group (Cretaceous), Nigeria, sample 2 (Amajor, 1987). Passive margin shelf or slope.

<sup>a</sup>Values in weight percent.<sup>b</sup>Total iron as Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>.<sup>c</sup>Sum of FeO + Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>.<sup>d</sup>Loss on ignition.<sup>e</sup>Total water reported only.

nr = not reported.

## Vztah mezi barvou, obsahem organických látek a oxidačním stavem železa v jílovcích



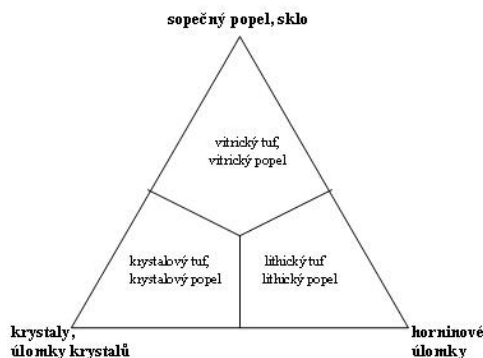
**Figure 16.3**

Diagram showing the relationship between color, organic content, and oxidation state of iron in mudrocks.

(Source: From P. E. Potter, Maynard, and Pryor, 1980.)

## 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	alenit	lutit	prach		vulkanický popel, popelový tuf, sopečný prach	kalciutit	jílová rezidua
> 0,004	pelit			jíl			

## Vulkanické (pyroklastické) horniny podle ČSN 12670

Průměrná velikost klastů v mm	Pyroklasty	Tufity (smíšený pyroklastický a epiklastický materiál)	Epiklasty (vulkanického nebo jiného původu)
64	sopečný aglomerát, aglutinát, pyroklastická brekie.	tufitický slepenec, tufitická brekie	slepenec, brekie
2	lapilový 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 alumina** (**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**, **hematit**), hydroxidy (**limonit**, **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 **oidy** a **fosfátové konkrece**., jednak z podmořské vulkanické aktivity (typ Lahn-Diil). 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.

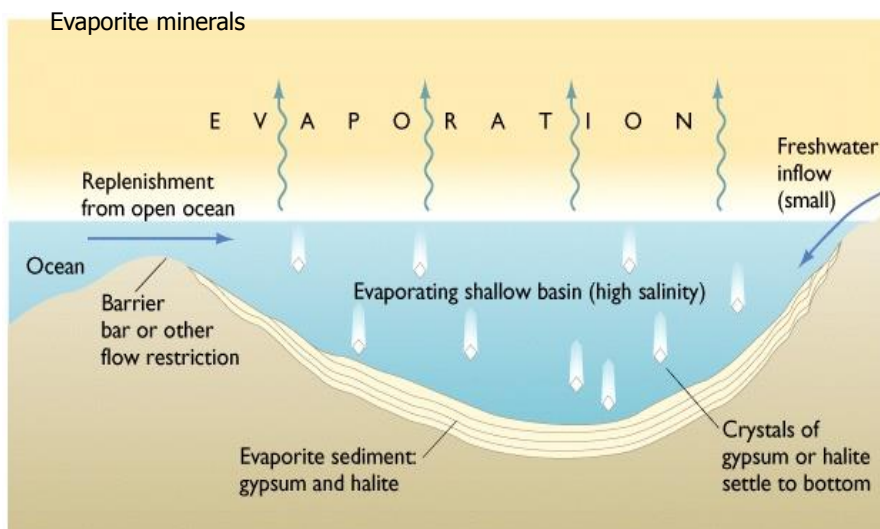
## Klasifikace chemogenních (cementačních) sedimentů

**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**), radiolarii (**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 silicemi 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



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

## Evaporit



(b)

Sádrovec



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

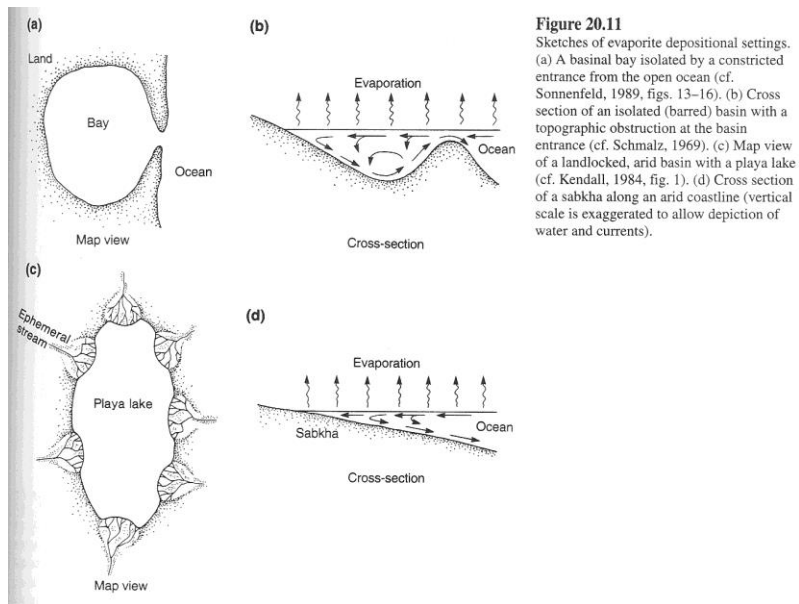
## Minerály evaporitických hornin

TABLE 20.2 Selected Evaporite and Associated Minerals and Their Formulas	
<b>Carbonates and Bicarbonates</b>	
Nahcolite	$NaHCO_3$
<b>Aragonite</b>	$CaCO_3$
<b>Calcite</b>	$CaCO_3$
<b>Magnesite</b>	$MgCO_3$
<b>Dolomite</b>	$CaMg(CO_3)_2$
Askerite	$(Ca,Mg,Fe)CO_3$
Trona	$Na_2CO_3 \cdot HCO_3 \cdot 2H_2O$
Prissonite	$CaCO_3 \cdot Na_2CO_3 \cdot 2H_2O$
Davsonite	$Na_2AlCO_3(OH)_2$
<b>Chlorides</b>	
<b>Sylvite</b>	KCl
<b>Halite</b>	NaCl
Bischoffite	$MgCl_2 \cdot 6H_2O$
<b>Carnallite</b>	$KMgCl_3 \cdot 6H_2O$
Tachyhydrite	$CaMg_2Cl_6 \cdot 12H_2O$
<b>Sulfates</b>	
Picromerite	$K_2SO_4 \cdot 6H_2O$
Thenardite	$Na_2SO_4$
Mirabilite	$Na_2SO_4 \cdot 10H_2O$
Glauberite	$Na_2SO_4 \cdot CaSO_4$
<b>Anhydrite</b>	$CaSO_4$
<b>Gypsum</b>	$CaSO_4 \cdot 2H_2O$
<b>Kieserite</b>	$MgSO_4 \cdot H_2O$
Hexahydrite	$MgSO_4 \cdot 6H_2O$
Epsomite	$MgSO_4 \cdot 7H_2O$
Celestine	$SrSO_4$
Aphthalite	$K_2Na(SO_4)_2$
Glauberite	$Na_2Ca(SO_4)_2$
Bigotite	$Na_2Mg(SO_4)_2$
Schoenite	$K_2Mg(SO_4)_2$
<b>Langbeinite</b>	$K_2Mg_2(SO_4)_3$
<b>Sulfates (continued)</b>	
<b>Polyhalite</b>	$K_2MgCa_2(SO_4)_6 \cdot 2H_2O$
<b>Kainite</b>	$KMg(SO_4)Cl \cdot 5H_2O$
<b>Borates</b>	
Kernite	$Na_2B_4O_7 \cdot 4H_2O$
Tincalconite	$Na_2B_4O_7 \cdot 5H_2O$
Borax	$Na_2B_4O_7 \cdot 10H_2O$
Colemanite	$Ca_2B_6O_{11} \cdot 5H_2O$
Ulexite	$NaCaB_4O_9 \cdot 8H_2O$
<b>Others (including those with combinations of anions)</b>	
Burkeite	$2Na_2SO_4 \cdot Na_2CO_3$
Gaiteite	$Na_2SO_4 \cdot Na(F,Cl)$
Hanksite	$9Na_2SO_4 \cdot 2Na_2CO_3 \cdot KCl$
Northupite	$Na_2CO_3 \cdot MgCO_3 \cdot NaCl$
Teepelite	$Na_2B_4O_7 \cdot 2NaCl \cdot 4H_2O$
Pyrite	$FeS_2$
Realgar	$As_2S_3$
Orpiment	$As_2S_3$
<b>Associated Silicates of Authigenic Origin</b>	
Quartz	$SiO_2$
Adularia	$KAlSi_3O_8$
Albite	$NaAlSi_3O_8$
Analcite	$Na_4Al_3Si_3O_{10} \cdot H_2O$
Searlesite	$NaB_3Si_3O_{10} \cdot H_2O$
Magadiite	$Na_2Si_2O_7(OH)_2 \cdot 3H_2O$
Phillipsite	$KCaAl_3Si_6O_{20} \cdot 6H_2O$
Heulandite	$CaAl_2Si_8O_{22} \cdot 5H_2O$
Illite	$KAl_2Fe_4Mg_{10}(Si,Al)_4O_{20}(OH)_2$
Smectites	$(K,Na,Ca,Mg)_{0.33}Al_2Si_4O_{10}(OH)_2 \cdot nH_2O$

Sources: Many sources, including Gale (1915), J. E. Adams (1944), Scruton, (1953), Murdoch and Webb (1956, 1960), G. I. Smith (1962, 1979), F. H. Stewart (1963), Borchert and Muir (1964), G. I. Smith and Haines (1964), V. Morgan and Erd (1969), Hosterman and Dyni (1972), Roehrer (1972), Dyni (1976), Holser (1979), G. I. Smith et al. (1983), Donahoe and Lou (1984), Sheppard and Gude (1986), and observations by the author. For lists of additional minerals see Borchert and Muir (1964), Sonnenfeld (1984), and Penhaisot (1989).

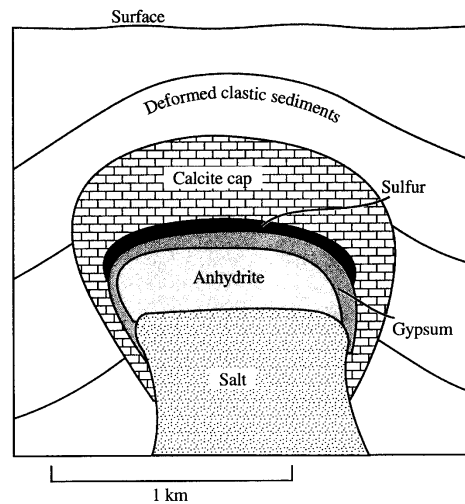
Major evaporite minerals are shown in boldface.

## Prostředí vzniku evaporitů

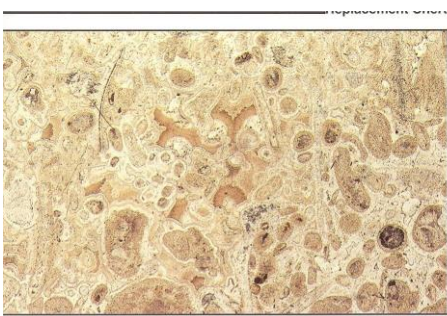


## Solný diapír

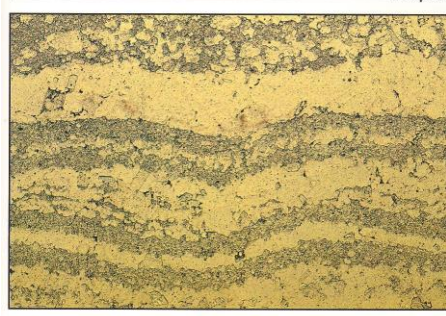
Síra:  
 produced by  
 sulfate  
 reducing  
 bacteria which  
 consume the  
 oxygen in  
 gypsum or  
 anhydrite



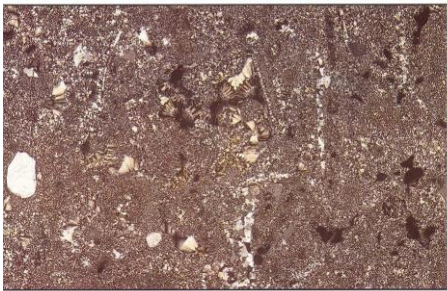
**Figure 20.3** Schematic cross section through a salt dome showing idealized sequence of cap rock lithologies and location of native sulfur concentrations.



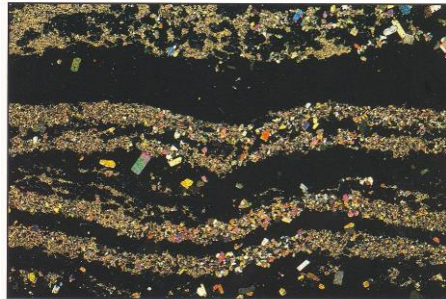
135 Replacement Chert in plane-polarized light. Locality: Upper Jurassic, southern England (x 13).



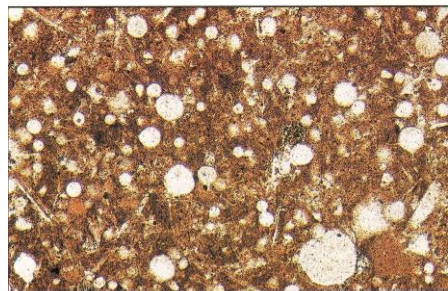
137 Halite and anhydrite in plane-polarized light. Locality: Permian, northeast England (x 12).



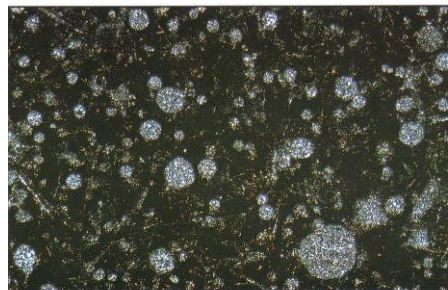
136 Chert with crossed polars. Locality: Upper Jurassic, southern England (x 13).



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



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



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

## Chemické složení silicitů (rohovců)

**TABLE 20.1** Chemical Analyses of Chert and Siliceous Sinter

	1	2	3	4	5	6
SiO <sub>2</sub>	99.10 <sup>a</sup>	97.4	91.7	83.66	82.2	69.00
TiO <sub>2</sub>	0.06	0.03	0.17	—	nr	0.10
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0.19 <sup>b</sup>	0.47	3.31	1.94	0.67	1.5
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0.06	1.3	—	—	—	—
FeO <sub>total</sub>	—	—	0.93 <sup>c</sup>	0.22 <sup>d</sup>	0.38 <sup>d</sup>	3.2 <sup>d</sup>
FeO	nr	< 0.26	—	—	—	—
MnO	—	tr	0.42	—	tr	nr
MgO	0.64	0.05	0.92	0.21	0.16	0.39
CaO	0.10	0.05	0.06	0.76	5.12	13.20
Na <sub>2</sub> O	0.02	0.01	0.23	1.20	0.08	0.32
K <sub>2</sub> O	0.06	0.55	0.77	0.42	0.09	0.42
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	nr	0.04	0.04	nr	0.06	4.71
LOI	nr <sup>e</sup>	0.62	1.39	11.60	10.8	6.0
Other	tr	—	tr	tr	—	0.78
Total	100.23	100.2	99.9	100.34	99.7	99.60

Sources:  
 1. "Soft opal" in silty and sandy limestone (?), Ogallala Formation (Miocene), Scott County, Kansas (Franks and Swineford, 1959).  
 2. Red chert (massively bedded), Franciscan Complex (Jurassic-Cretaceous), near Ortega Street, San Francisco, California (E. H. Bailey, Irwin, and Jones, 1964).  
 3. Chert, sample BJ14, Franciscan Complex (Jurassic-Cretaceous), Blue Jay Mine, Trinity County, California (Chyi et al., 1984).  
 4. Siliceous sinter (Recent), near Daisy Geyser, Yellowstone National Park, Wyoming (Allen and Day, 1935, in T. P. Hill, Werner, and Horton, 1967, p. 13).  
 5. "Porcellanite" nodules, Monterey Formation (Miocene), Lompoc Quarry, California (Weis and Wasserburg, 1987).  
 6. Chert (phosphatic), Phosphoria Formation (Permian), Lincoln County, Wyoming (McKelvey et al., 1953, in T. P. Hill, Werner, and Horton, 1967, p. 70).  
<sup>a</sup>Values in weight percent.  
<sup>b</sup>Includes MnO and Ga<sub>2</sub>O<sub>3</sub> if present.  
<sup>c</sup>Total iron as FeO.  
<sup>d</sup>Total iron as Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>.  
<sup>e</sup>Analysis recalculated as water free.  
 nr = not reported.  
 tr = trace.

## Biogenní (organogenní, alochemické) sedimenty

### Základní komponenty:

- **Alochemy:**
  - **skeletální zrna:** vápnitě 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



Coquina

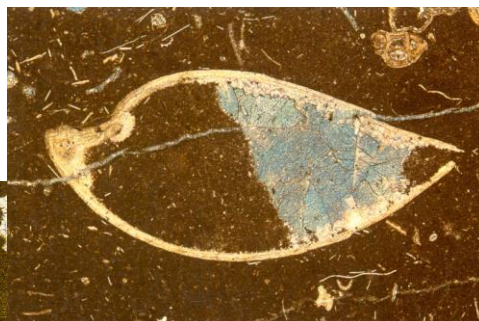
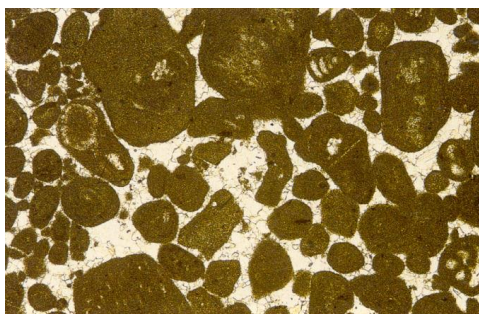
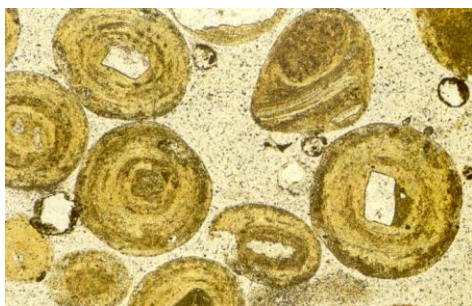


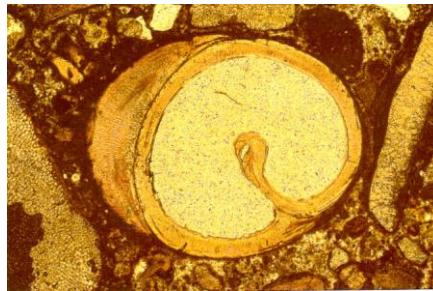
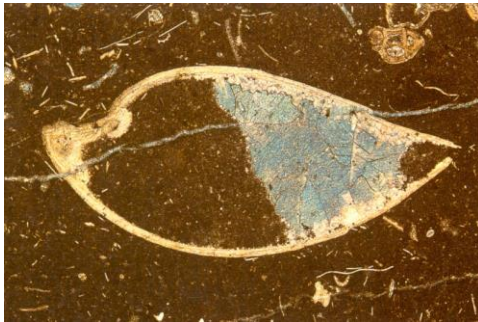
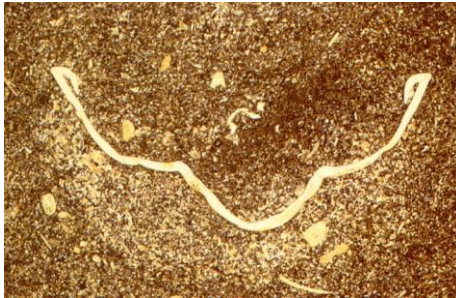
Copyright © 2005 Pearson Prentice Hall, Inc.

křída



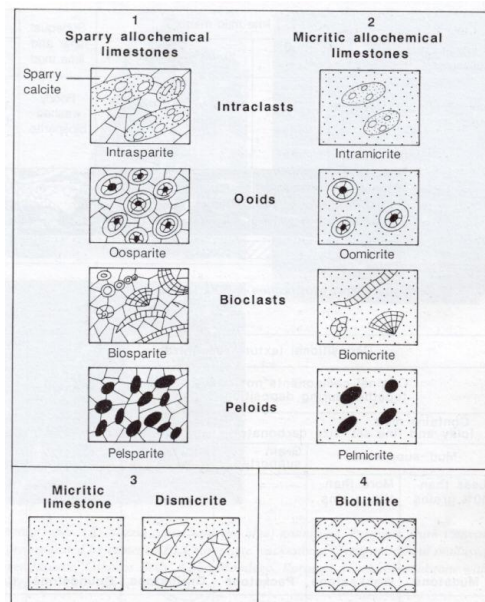
vápenec





## 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 discmicrite	Fossiliferous micrite	Sparse biomicrite	Packed biomicrite	Poorly washed biosparite	Unsorted biosparite	Sorted biosparite	Rounded biosparite

## 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				
Mudstone	Wackestone	Packstone	Grainstone	Boundstone	Crystalline

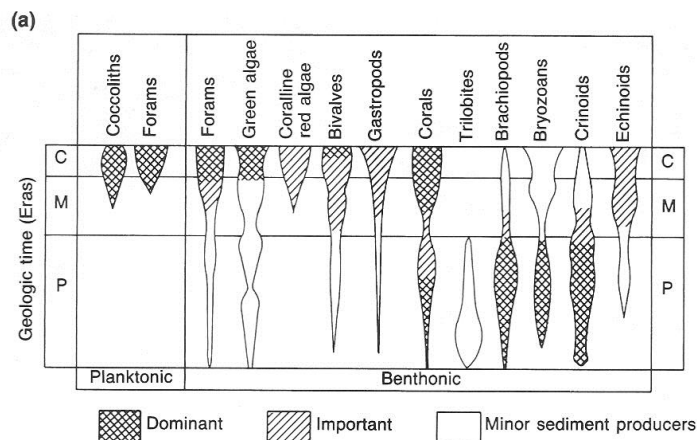
# Modální složení karbonátů

**TABLE 19.4 Modes of Selected Carbonate Rocks and Sediments**

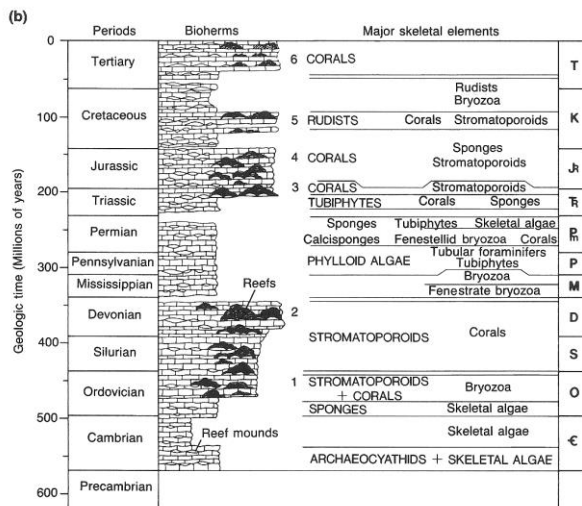
	1	2	3	4	5	6	7	8
Mud	100 <sup>a</sup>	42.8	4.5	4.5	5.0	10.8	10.5 <sup>b</sup>	0.0
Spar	—	0.0	0.0	—	0.0	0.0	—	—
Calcite	—	—	—	20.0	—	—	—	0.0
Dolomite	—	—	—	—	—	—	—	99.9
Cement	—	—	—	—	—	—	—	18.8 <sup>c</sup>
Intraclasts	—	1.9 <sup>d</sup>	26.9 <sup>d</sup>	1.0	7.5	22.8	—	0.0
Ooids	—	6.3	14.9	34.5	66.6	6.4	—	0.0
Pellets	—	32.6	4.9	—	7.2	4.7	tr	0.0
Grapestones	—	0.3	32.0	—	4.5	5.4	—	0.0
Skeletal grains	—	—	—	40.5	—	—	—	0.0
Corals	—	0.0	0.1	—	0.1	5.9	nr	—
Mollusks	—	2.7	4.1	—	1.4	7.1	—	—
Brachiopods	—	—	—	—	—	—	—	—
Echinoderms	—	—	—	—	—	—	—	33.8
Algae	—	1.3	2.8	—	1.9	11.6	—	4.5
Forams	—	3.9	2.6	—	1.0	7.1	nr	—
Bryozoans	—	—	—	—	—	—	—	17.2
Trilobites	—	—	—	—	—	—	—	2.2
Ortracods	tr	—	—	—	—	—	—	—
Other	—	2.9	3.2	—	1.9	9.5	—	3.8
Other	—	5.3	4.0	—	3.0	8.8	—	0.0
Total	100	100	100	100	100.1	100.1	100	100
Points counted	nr	11,500 <sup>e</sup>	32,000 <sup>f</sup>	200	35,500 <sup>g</sup>	16,500 <sup>h</sup>	nr	200

**Sources:**  
 1. Lime mudstone (basinal), average of 9 samples, Liberty Hall and Rich Valley formations (Middle Ordovician), western Virginia (J. F. Read, 1980a).  
 2. Pelletal mud facies, average of 23 samples, Great Bahama Bank (Recent) (Purdy, 1963b).  
 3. Grapestone facies, average of 64 samples, Great Bahama Bank (Recent) (Purdy, 1963b).  
 4. Oolitic fossiliferous grainstone, Monstrale Formation (Mississippian), near Huntsville, Alabama (unpublished data, H. Gault).  
 5. Oolitic facies, average of 71 samples, Great Bahama Bank (Recent) (Purdy, 1963b).  
 6. Coralgal facies, average of 33 samples, Great Bahama Bank (Recent) (Purdy, 1963b).  
 7. Skeletal grainstone, average of 25 samples, Effna, Murat, Rockdel, and Ward Cove limestones (Ordovician), western Virginia (J. F. Read, 1980a; see note b below).  
 8. Fine-grained crystalline dolostone, upper Knox Group (Ordovician), Nebo Quadrangle, Virginia (unpublished data, L. A. Raymond).  
<sup>a</sup>Values in volume percent, based on point counts as indicated.  
<sup>b</sup>Values are converted from those reported, assuming clasts + cement = total.  
<sup>c</sup>Reported as blocky and fibrous cement.  
<sup>d</sup>In these sediments, grains reported as cryptocrystalline grains are included as intraclasts.  
<sup>e</sup>Consists of a few scattered quartz grains and cryptocrystalline iron oxides.  
<sup>f</sup>Number of samples = 500 pts/sample.  
 nr = not reported.  
 tr = trace.

## Distribuce skeletálních zrn ve fanerozoiku (skupiny biomineralizujících organismů)

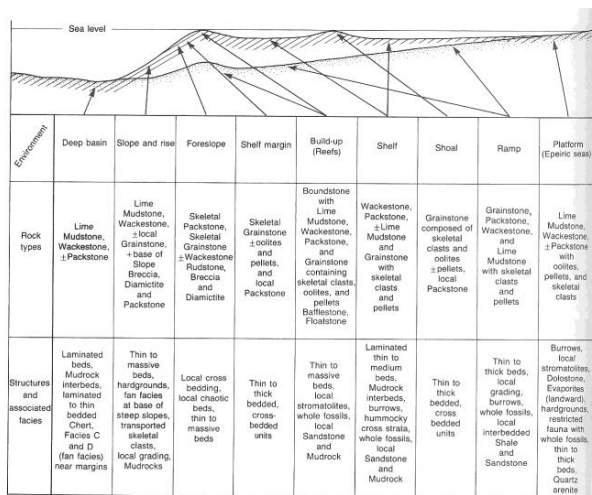


## Distribuce útesových karbonátů ve fanerozoiku



**Figure 19.2**  
 Illustrations of changes in abundances and dominance of marine, calcareous skeletal-producing organisms over time. (a) Variations in abundance and dominance of various groups of organisms during various Phanerozoic periods. (b) Dominant reef-forming organisms during various Phanerozoic periods.  
 (Source: (a) After Wilkinson, 1979, (b) After James, N. P., 1983.)

## Sedimentační prostředí karbonátů odvozené z petrografie (mikrofacie)



**Figure 19.4**  
 Diagram showing some characteristics of the nine major marine environments of carbonate rock formation. Slashes and dots highlight depositional surfaces of two possible margin shapes.  
 (Source: Based on J. L. Wilson, 1975, and J. F. Read, 1980a.)

## 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				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			

# 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 rašelínku 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) kapalně – **ropa**. Ropa je směs kapalných, plynných a pevných uhlovodíků. Velmi lehká ropa je bohatá těžkými uhlovodíky (benzinem), v lehké ropě převládají parafinové uhlovodíky, v těžké naftenické a ve velmi těžké aromatické uhlovodíky.
- c) pevně – **zemní vosk, ozokerit, asfalt a pevný asfaltit**

# 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 uhlovodíků) 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 %.

## Kerogen a jeho typy

- **Kerogen:**
  - Kapalné a plynné uhlovodíky vznikají v průmyslově a ekonomicky zajímavých koncentracích výhradně teplotní přeměnou (alterací, konverzí, katagenezí, metamorfózou) organické hmoty rozptýlené v sedimentárních horninách. Tato organická hmota se nazývá kerogen a okolní hornina horninou zdrojovou.
- Existují tři hlavní typy kerogenu (kerogen I, kerogen II a kerogen III), které se odlišují z hlediska geneze, složení a také produkčního potenciálu uhlovodíků během konverze:
  - **kerogen typu I**  
akvatický, řasový kerogen s obsahem amorfních látek, produkuje nejvíce kapalných uhlovodíků, na uhlovodíky se mění až 65% výchozí hmotnosti,
  - **kerogen typu II**  
smíšený terestricko-akvatický kerogen, obsah pylových zrn, fragmentů bylin a minoritního podílu humusového materiálu vedle amorfních součástek a zbytků řas a dalších planktonických zbytků, produkuje kapalné i plynné uhlovodíky, konverzí se mění na uhlovodíky z 50%,
  - **kerogen typu III**  
terestrický kerogen, obsah bylinných i dřevných fragmentů i nestrukturálních součástek, produkuje převážně plynné uhlovodíky, v rámci kterých výrazně převládá metan, na uhlovodíky se během konverze mění maximálně 30% původní hmotnosti.

# Další klasifikace

## Klasifikace podle zdroje materiálu

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

## Genetické klasifikace

- Konturity (sedimenty uložené nebo přepracované konturovými proudy)
- Turbidity (sedimenty uložené turbiditními proudy)
- Tempestity (sedimenty uložené během velkých bouří)
- Tidalit (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 páneve	
<b>Homogenity</b>	Homogenní vrstvy sedimentů uložené jedním 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, diatribace
<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 vyříděné jemnozrnné pískovce, laminy těžkých minerálů
<b>Periodity</b>	Rytmičky 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	Zvýšené masy sedimentů, uložení suspenze na místě nebo níže po svahu	Nejčastěji v hloubkách 30-100 m	Hřbitkové zvrstvení, ostrá spodní hranice vrstev pískovců, bioturbovaná svrchní část
<b>Tidalit</b>	Sedimentární sledy tvořící se v okruhu působnosti přílivového a odlivového proudu	Působení výčasových proudů, periodické vysychání dna	Přílivová plošina, supralitorál, litorál i sublitorál	Mázdřité zvrstvení, protisměrné šikmé zvrstvení, jílovité útržky
<b>Turbidity</b>	Sled sedimentů usazených převážně turbiditními 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 zrný 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

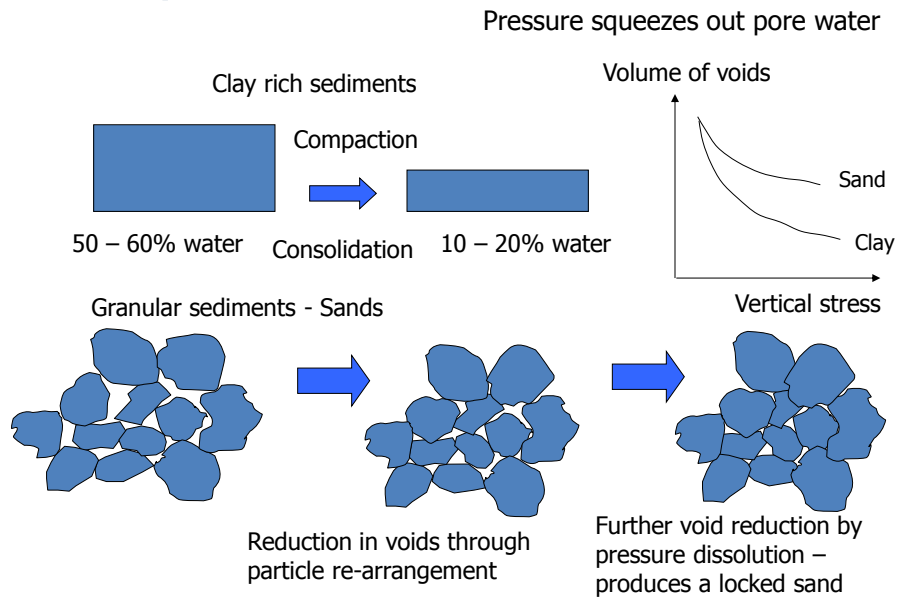
- Zvýšení tlaku nadloží
- Snížení porozity
- Faktory, které ovlivňují možnou míru kompakce - velikost zrna, tvar zrna, zaoblení, třídění, původní porozita, objem fluid v pórech
  - Mechanická kompakce (necementované horniny)
  - Chemická kompakce (rozpouštění, cementované horniny)

### Rekrystalizace

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

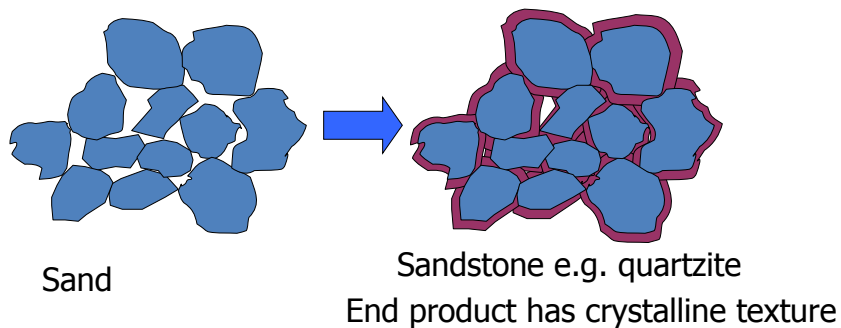


# Kompakce



# 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



# Diagenetické procesy

## Rozpouštění

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

## Cementace

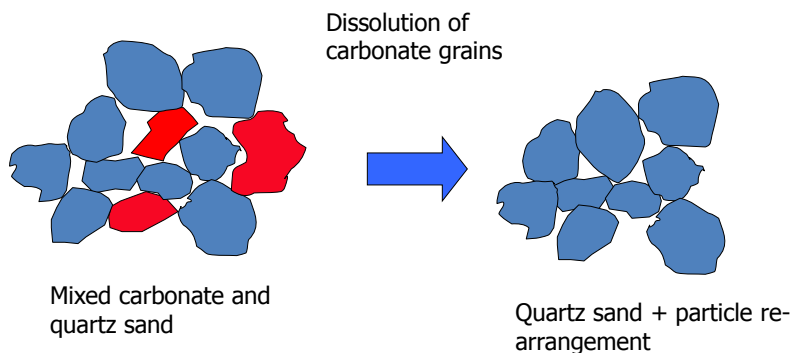
- Krystalizace nových minerálů z roztoků v pórech horniny – křemen, kalcit, hematit, aragonit, sádrovec, dolomit,
  - Snižování porozity, zpevňování
- Podmínky
- Průchod fluidů póry, přesycení fluidů vůči cementačnímu minerálu
  - Absence kinetických faktorů zabráňujících cementaci



## Autigeneze

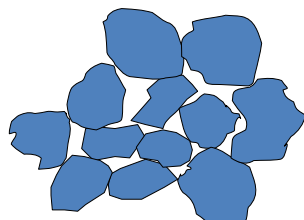
- Krystalizace nových minerálů mimo póry v sedimentu – zpravidla nahrazení
- křemen, živce, jíly, zeolity, kalcit, hematit, aragonit, sádrovec, dolomit, fosfáty (apatit)
- Snižování porozity, zpevňování

## Rozpouštění

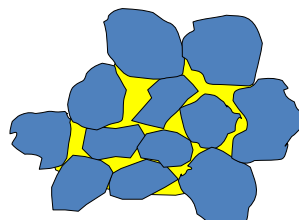


## Cementace

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.

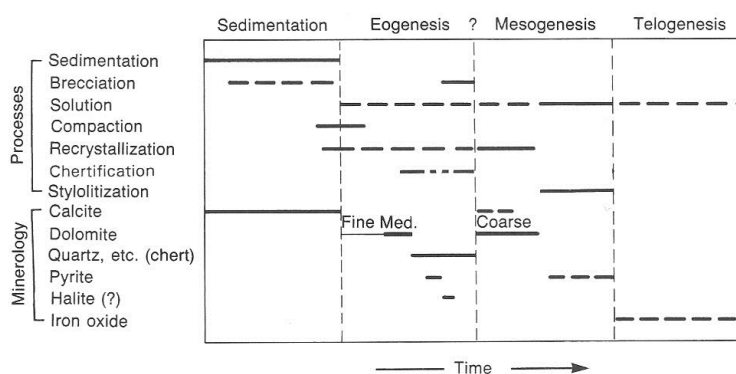
### Bioturbace

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

## Fáze diageneze

- Raná diageneze (eogeneze)
- Středí fáze diageneze (mesogeneze)
- Pozdní diageneze (telogeneze)
- Mělká diageneze (shallow-water)
- Diageneze pohřbením (burial)

## Diagenetická historie horniny



**Figure 14.10**

Diagram showing the diagenetic history of Upper Knox Group rocks (Ordovician) from the Nebo Quadrangle, southwestern Virginia.

- **Sekvence diagenetických procesů, jim odpovídající mineralogie a fáze diageneze**

# Diagenetická historie horniny

- relativní datování diagenetických fází a událostí

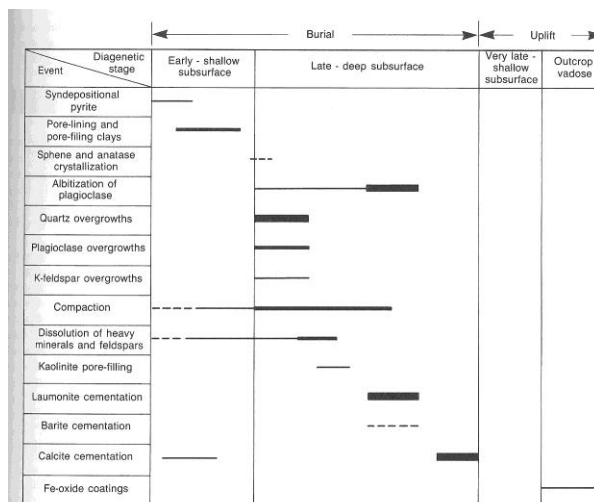


Figure 14.13

Diagram showing diagenetic stages and events in Paleogene sandstones of the Santa Ynez Mountains, California. Width of bars indicates relative abundance of diagenetic phases, whereas length indicates duration of diagenetic change. (Source: From Helms and van de Kamp, 1984.)

## Fluida při diagenezi

Fluida přítomna v každém sedimentu

### Funkce fluid

- Srážení cementů
- Tvorba autigenních a náhražkových minerálů
- Rozpouštění

### změna složení fluid během diageneze

#### Typy fluid

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

## Diagenese 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 diagenese 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)

**Autigenese**

- Fylosilikáty, chlorit, živce, zeolity

**Cementace**

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

**Typy cementu:**

- Vlákňité
- Mikritické
- Izometrické zrnité (equant)

## Diagenese pelitických hornin

**Minerální složení:**

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

**Bioturbace:**

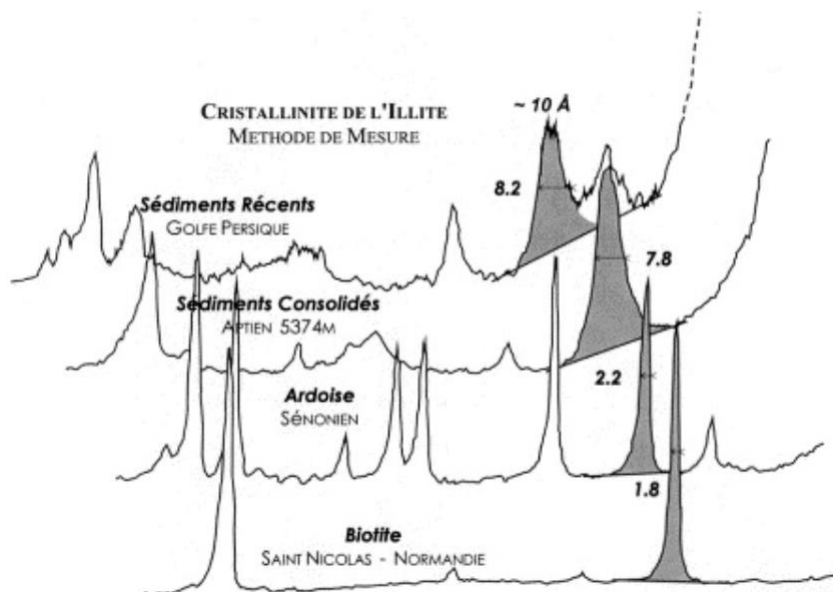
- eogeneze, velmi hojná

**Porozita a kompakce:**

- uspořádání tabulkovitých zrn kolmo k tlaku nadloží, značná kompakce

**Autigenese, 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
- Snižování obsahu organického uhlíku



## Diagenese 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 diagenese:

- 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

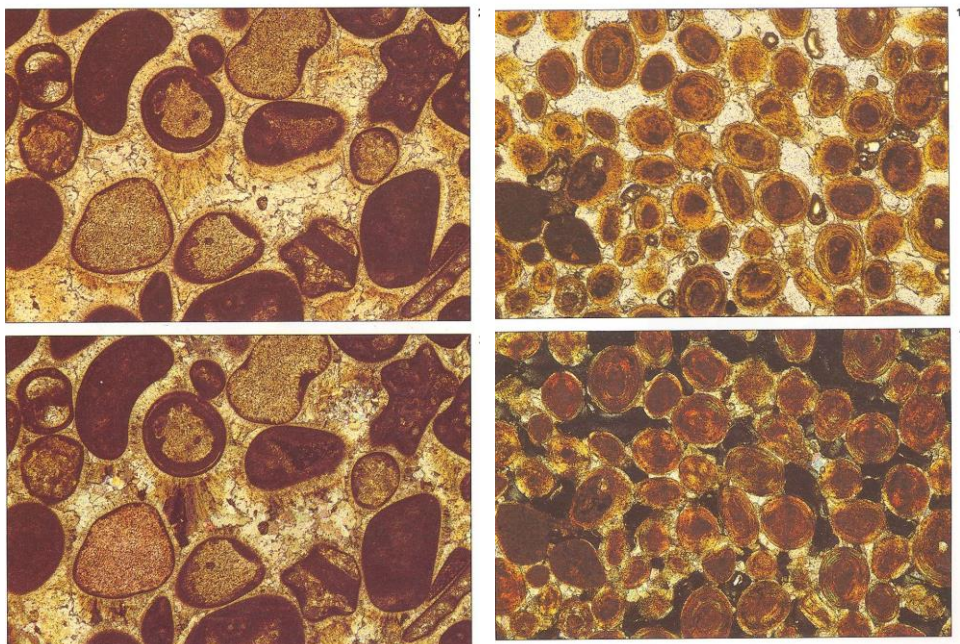
Morfologie cementu (tvar krystalových individuí):

Jehlicovitý, izometrický (equant), mikritový

Geometrie cementu (uspořádání krystalů v prostoru):

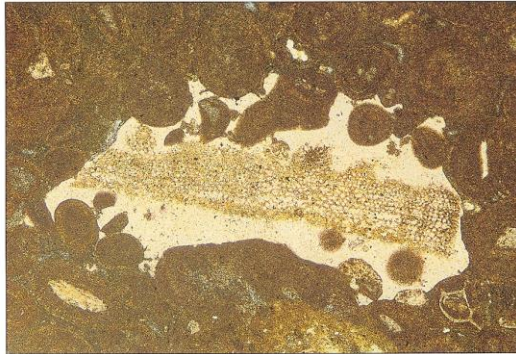
Izopachový, meniskový, polygonální, syntaxiální

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 -> mikrospatit)
- ▶ Kalcitizace: nahrazení aragonitu kalcitem

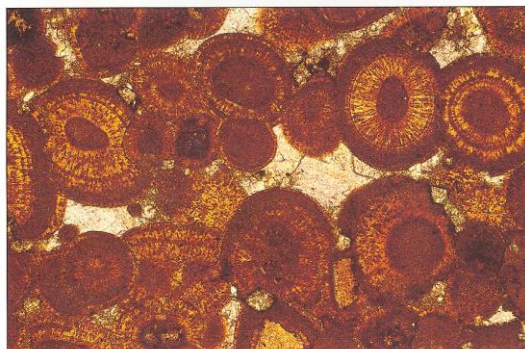
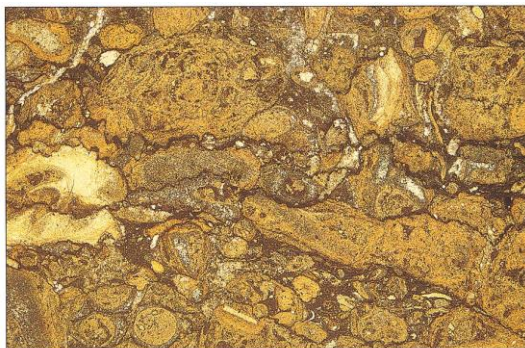
# Rozpouštění

Nestabilní minerály: aragonit, high-Mg kalcit

# Kompakce

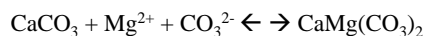
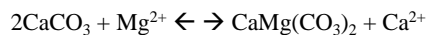
Snižování celkového objemu horniny (včetně pórů)

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



# Dolomitizace a dedolomitizace

Nahrazování  $\text{CaCO}_3$  dolomitem

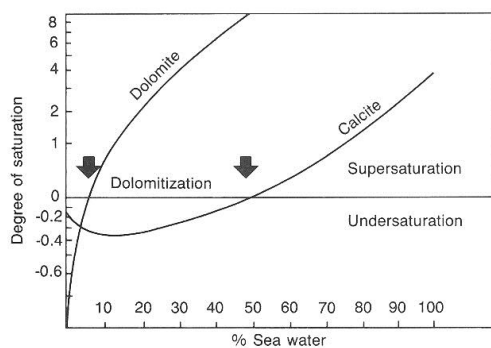


Zdroj  $\text{Mg}^{2+}$ : mořská voda, jíly obohacené o  $\text{Mg}^{2+}$

Procesy dolomitizace:

- Cementace (vzácně)
- Nahrazování

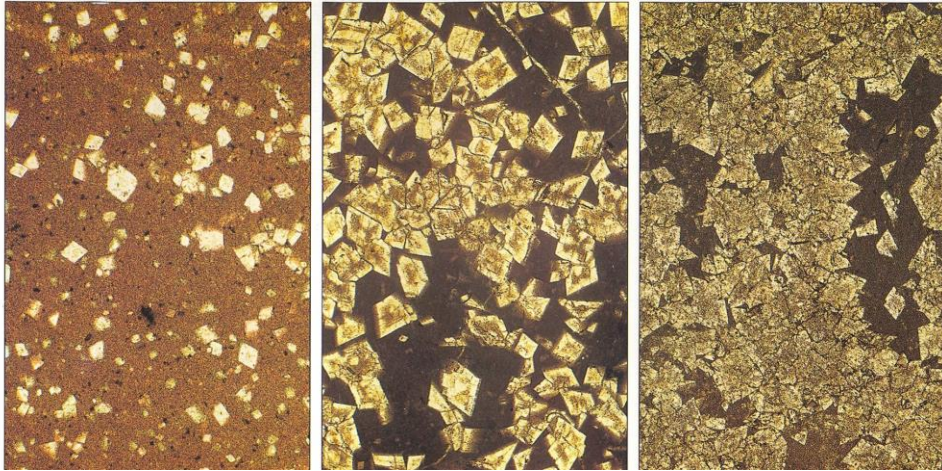
Míra nasycení kalcitu a dolomitu ve směsi sladké a mořské vody (% mořské vody)



**Figure 14.9**

Graph showing the degrees of saturation of calcite and dolomite in mixtures of fresh water and seawater with varying percentages of seawater.

(Source: Modified from Badiozamani, 1973.)



# Modely dolomitizace

## Evaporační dolomitizace

Aridní prostředí (sebchy, solná jezera)  
Kapilární vztlínání podzemní vody v důsledku odpařování vody  
Míšení mořských a terigenních nasycených vod

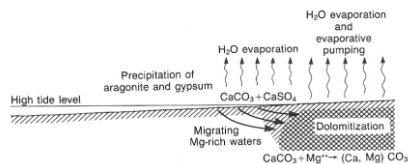


Figure 14.7  
Sketch of Evaporite Brine Model of dolomitization. See text for a description of the process.

## Dolomitizace v zóně míšení

Míšení mořských a sladkých podzemních vod  
Mořská voda: zdroj Mg  
Sladká voda umožňuje pohyb směsi, pumpuje fluida horninou

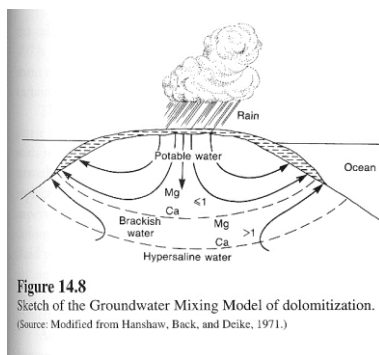


Figure 14.8  
Sketch of the Groundwater Mixing Model of dolomitization.  
(Source: Modified from Hanshaw, Back, and Deike, 1971.)

## Dolomitizace v důsledku pohřbení

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

# Tepelná přeměna organické hmoty

- Fáze přeměny (alterace)**

Proces konverze kerogenu na uhlovodiky generálně začíná při teplotách **50 respektive 60 °C (iniciační teplota)**, vrcholí kolem teplot **80 až 120 °C** a rychle vzrůstá při teplotách vyšších než **140 až 170 °C**, přičemž existují v závislostech intenzity produkce uhlovodíků na teplotě mezi jednotlivými typy kerogenu rozdíly. S rostoucí teplotou nabývá na intenzitě dělení dlouhých řetězců alkanů, alkenů a izoprenoidních uhlovodíků (krakování). V teplotách nad ca 100 oC jsou dlouhodobě stabilní jen plynné uhlovodíky.
- Pro fázový charakter fluid má význam vedle teplot a tlaků také množství a látkové složení uhlovodíků.
- Zvyšování teplot expozice kerogenu v horninách je určováno zvyšováním úložných hloubek, zvyšováním mocnosti nadloží, zvyšováním mocnosti nadloží může být buď subsidenční (postupné „pohřívání“ zdrojových hornin do větších hloubek pod rostoucí mocnosti ukládaných sedimentů) nebo tektonické (zvyšování hloubek uložení zdrojových hornin pod relativně náhle nasunutými příkrovy). V naší zájmové oblasti přicházejí v úvahu oba způsoby. Zjednodušeně lze chápat teplotu expozice jako funkci teplotního gradientu a expoziční hloubky ponoření sedimentu s korekcí o hodnoty teploty pro nulovou hloubku (průměrná povrchová teplota pod hranici sezónních výkyvů, resp. teploty moře – ca 6 až 12 oC).
- Průběh konverze kerogenu všech typů závisí na kombinaci teplot a času expozice. Přibližně platí, že rychlost procesů konverze kerogenu na uhlovodíky se s každým nárůstem teploty o 10 až 15oC zdvojnásobuje (Arrheniova rovnice pro kinetiku chemických reakcí). Stejný efekt v transformaci kerogenu trvalěji hypoteticky při teplotách 70 oC například 100 mil. let je dosažen již za ca 6 mil. let při teplotách 110 oC. Zároveň se však předpokládá, že při stálých teplotách transformace po 10 mil. bez dalšího zvyšování teplot ustává. Daná úroveň katagenese kerogenu může být dosažena v dřívějších etapách geologického vývoje oblasti (reliktní katagenese) nebo je zvyšována v současných hloubkách.
- Proces konverze kerogenu je nevratný. Může však být přerušován a znovu obnovován při zvýšení teplot, respektive při nástupu nových „teplotních impulzů“ (zvýšení úložných hloubek nebo gradientů, popřípadě úložných hloubek i gradientů). Rozhoduje celková teplotní dávka – sumární impulz tepla. O sumární impulz tepla se opírají veškeré současné modely vzniku uhlovodíků z kerogenu hornin. Bez ohledu na užité jednotky rozděluje obvykle konverzi na tyto hlavní fáze:

  - fáze nezralého kerogenu - **immature zone**, vznik maximálně biogenního metanu,
  - fáze rané konverze plynu a ropy - **incipient mature zone**,
  - hlavní fáze vzniku ropy - **mature zone**, **oil window**, ropné okno,
  - fáze tvorby plynokondenzátu - **wet gas zone**, plyn, kondenzát, vyznívání tvorby ropy,
  - fáze tvorby suchého plynu - **dry gas zone**, vznik plynu transformací kerogenu i krakováním vyšších uhlovodíků, převaha metanu,
  - fáze vyčerpání kerogenu - uhlovodíky již nevznikají.

Hlubkový profil  
odraznosti vitrinitu,  
Louisiana

Téměř linerární  
profil =  
geotermický  
gradient byl v  
průběhu  
sedimentace téměř  
konstantní

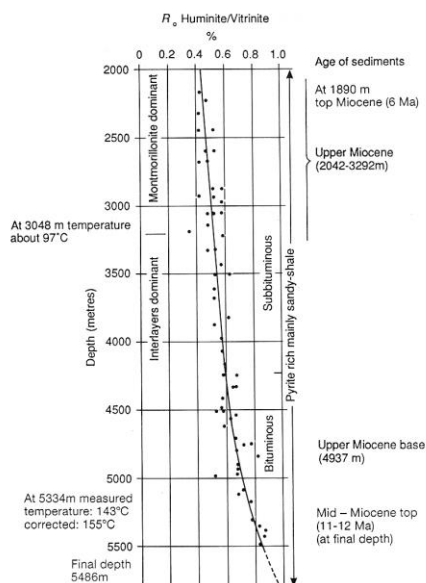
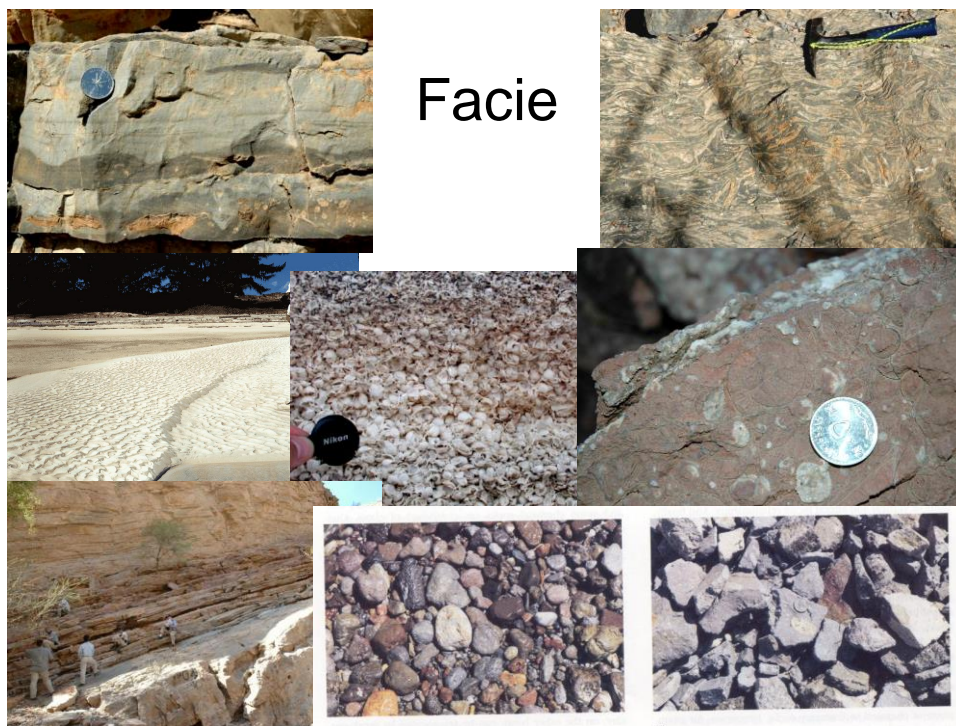


Fig. 9.7. Vitrinite reflectance profile for Terrebonne Parish, Point au Fer well in Louisiana. The profile is sublinear and continuous, suggesting a near constant geothermal gradient through time (after Heling and Teichmüller 1974).

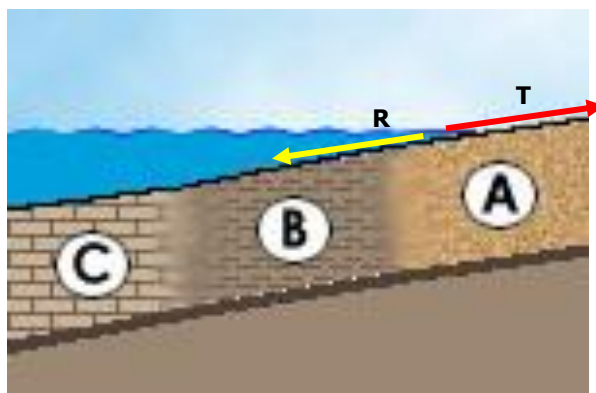
## Facie a depoziční prostředí

FACIE: soubor charakteristických znaků sedimentu:

- sedimentární textury (vrstevnatost, zvrstvení, textury na vrstevních plochách) a sedimentární struktury (zrnitost, vytřídění, 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)



## 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.

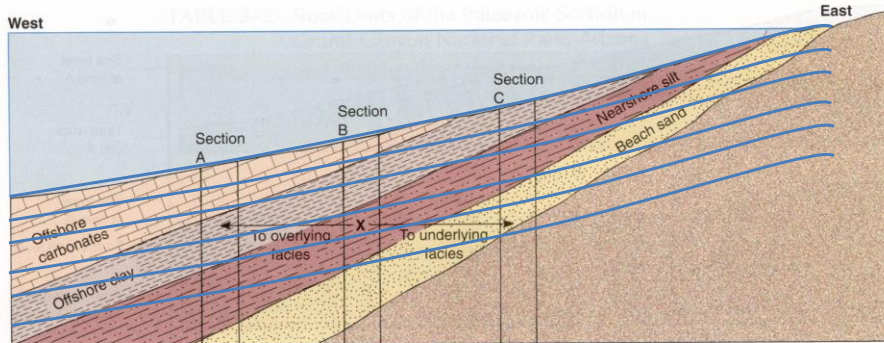
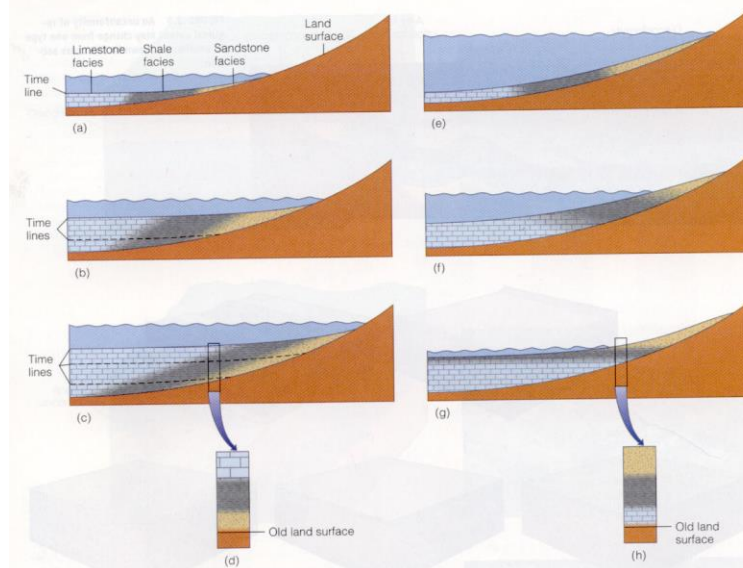


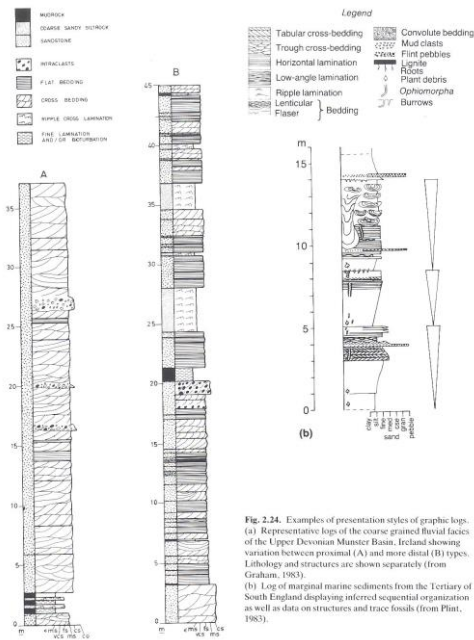
FIGURE 3-41 An illustration of Walther's Principle, which states that vertical facies changes correspond to lateral facies changes. (After Brice, J. C., Levin, H. L., and Smith, M. S. 1993. Laboratory Studies in Earth History, 5th ed. Dubuque, IA: William C. Brown.)

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









## Terénní výzkum: vrstevnatost

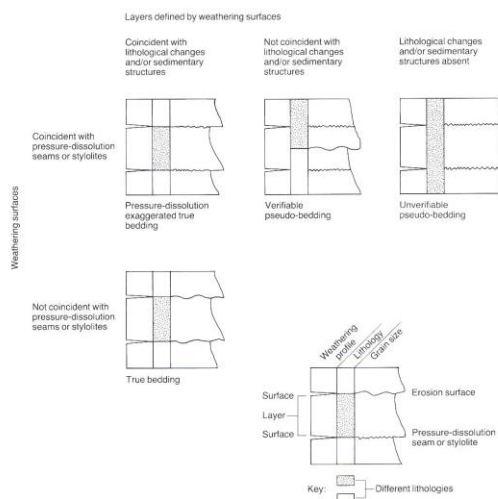


Fig. 2.15. Complexity of depositional units (beds) and bedding parallel weathering surfaces in limestones from the Lower Carboniferous of South Wales (from Simpson, 1985).



Terénní výzkum:  
Komparativní tabulky

- Zaoblení
- Sféricita
- vytřídění

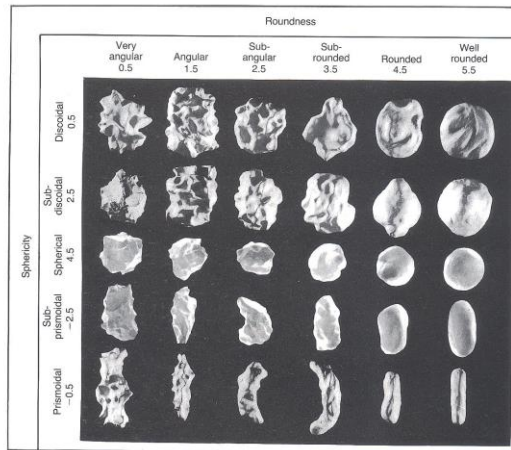


Fig. 2.8. Visual comparison chart for estimating roundness and sphericity (from Powers, 1982). (Reproduced by permission of the American Geological Institute.)

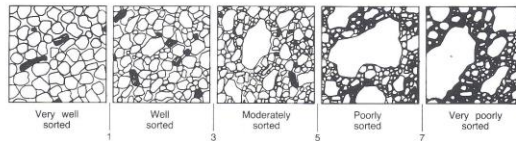


Fig. 2.9. Sorting images and standard terms (from Compton, 1962). The numbers indicate the number of size classes included by c. 80% of the material. The drawings represent sandstones seen with a hand lens. (Reproduced by permission of Wiley.)

Terénní výzkum:  
Komparativní tabulky

- Vytřídění
- Struktura
- Stratifikace
- Gradace

COLLECTION AND ANALYSIS OF FIELD DATA 7

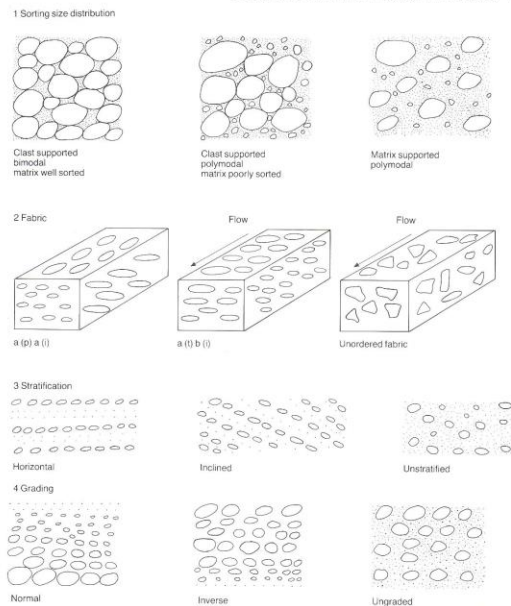


Fig. 2.1. Features used in a textural and structural classification of conglomerate (from Harms, Southard & Walker, 1982). Under fabric, codes a and b refer to long and intermediate axes respectively, p = parallel to flow, t = transverse to flow, i = imbricate. (Reproduced by permission of SEPM.)

## Terénní výzkum: Stratigrafické trendy v mocnosti vrstev a zrnitosti

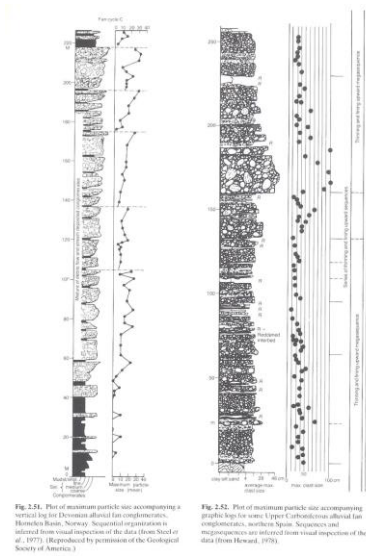


Fig. 2.82. Plot of maximum particle size accompanying a vertical log for Devonian alluvial fan conglomerates, Hovenden Basin, Norway. Sequential organization is inferred from visual inspection of the data. (From Stocker *et al.*, 1977) (Reproduced by permission of the Geological Society of America.)

Fig. 2.83. Plot of maximum particle size accompanying a vertical log for some Upper Carboniferous alluvial fan conglomerates, northern Spain. Sequences and megasequences are inferred from visual inspection of the data (from Howard, 1978).

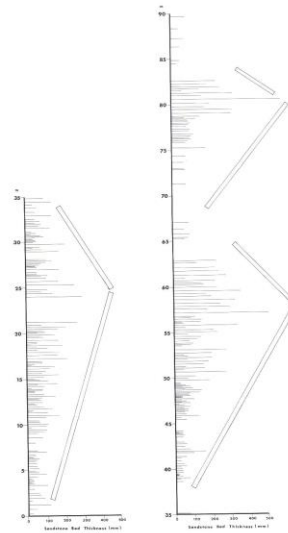


Fig. 2.85. Vertical profile of sandstone bed thicknesses for possible outer fan turbidites in the Lower Carboniferous of Morocco. Thickness values are drawn outwards from the mid-point of each sandstone bed. The bars indicate generalized trends from visual inspection (after Graham, 1982). (Reproduced by permission of Elsevier.)

## Mikroskopické techniky výzkumu

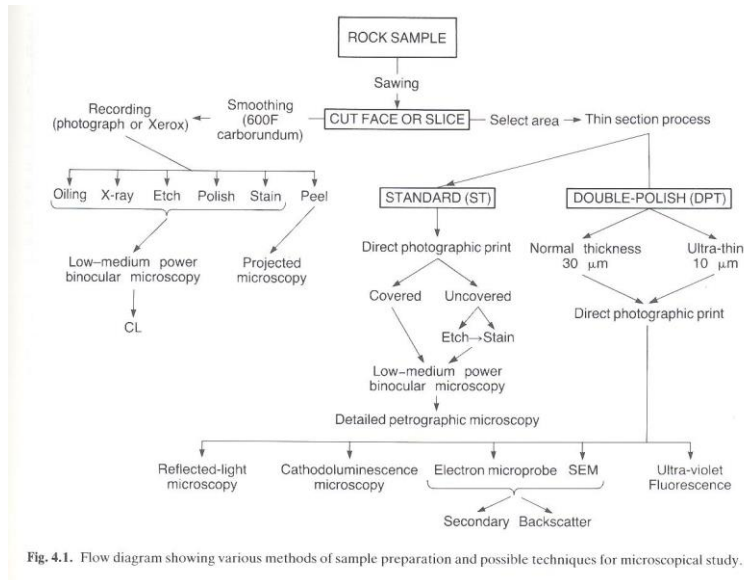


Fig. 4.1. Flow diagram showing various methods of sample preparation and possible techniques for microscopical study.

## Terénní výzkum: Indikátory směru paleoproudění

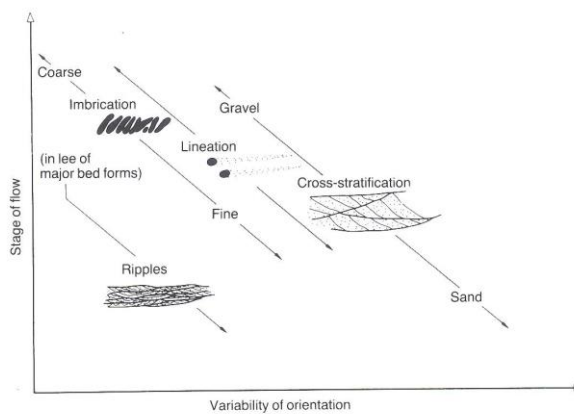


Fig. 2.42. Illustration of the possible relationships between flow stage, variability in orientation of structures and the kind of sedimentary structures in a fluvial system. Ripples are often an exception because they tend to be caught in major channel troughs and orientated along them (from Bluck, 1974).

## Terénní výzkum: Orientace paleoproudění

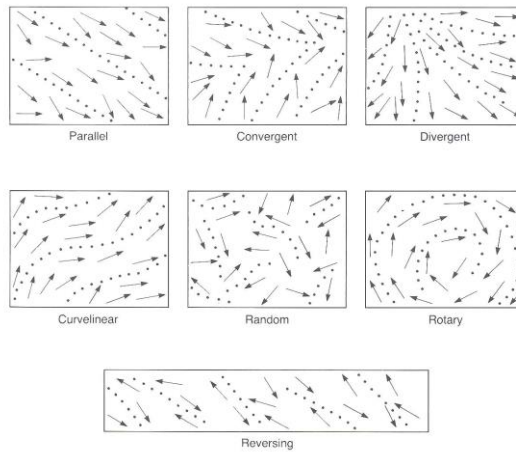


Fig. 2.45. Seven basic paleocurrent patterns based on geometry (from Potter & Pettijohn, 1977). (Reproduced by permission of Springer.)

## Orientace paleoproudění: Růžicové histogramy

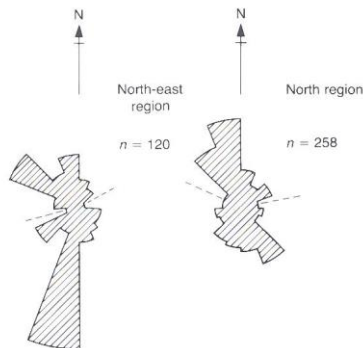
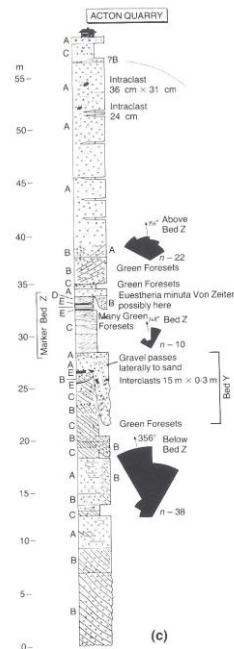


Fig. 2.36. Rose diagrams based on semi-octant classes of cross-stratal azimuths. Dotted lines represent the partitioning into two distributions for statistical analysis (from Kelling, 1969). (Reproduced by permission of SEPM.)



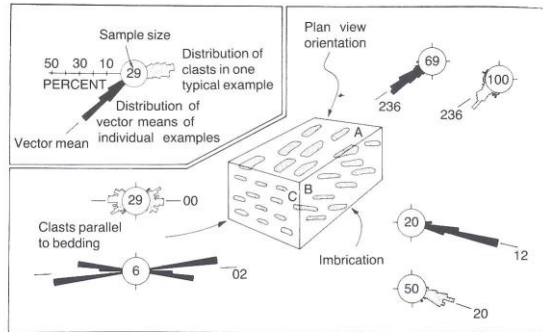


Fig. 2.30. Block diagram showing clast orientation in plan view (face A), imbrication (face B) and clasts parallel to bedding (face C). Solid rose diagrams show the distribution of vector means of individual examples and stippled rose diagrams show distribution of individual clast orientations in a typical example. Data are from the Cap Enrage Formation (cep water Cambro-Ordovician) of Quebec (from Davies & Walker, 1974). (Reproduced by permission of SEPM.)





# Kontinentální prostředí

fluviální (říční)	meandrující řeka divočící řeka
eolické	aluviální vějíř aluviální vějíř erg
glaciální	sprašové subglaciální englaciální pro- (peri-)glaciální
lakustrinní	glacilakustrinní/glacimarinní otevřené systémy uzavřené systémy
sesuvná (sesuvy)	
jeskynní	

- Klasifikace sedimentačních prostředí

Major Categories	General Environment	Specific Environments
Continental	Fluvial (river)	Channel and bar Overbank, high-energy (e.g., levee) Overbank, low-energy (e.g., swamp) Alluvial fan Playa
	Desert	Erg Subglacial Englacial
	Glacial	Supraglacial Cryolacustrine Proglacial fluvial Proglacial aeolian Cryolacustrine Playa lake (salina) Freshwater lacustrine (each of the above may have associated deltaic and shelface environments)
	Lacustrine	Immotidal Deltaic paludal
	Paludal (swamp)	—
	Landslide Speleom (cave) Coastal deltaic	—
Transitional	—	Channel bar Overbank-creevasse splay Deltaic paludal Deltaic lacustrine Prodelta Delta front Estuarine Lagoonal Salt marsh Beach foreshore Beach backshore Beach dune (and berm) Tidal channel
	Estuarine-lagoonal	—
	Littoral-beach	—
	—	—
Marine	Shelf-shallow sea	Tidal flat Low-energy open Low-energy restricted High-energy Glaciomarine Reefal Fore reef Reef lagoon
	Reef	—
	Submarine canyon Slope and rise	Open slope-rise Slope basin (submarine fan may occur in either of the above)
	Pelagic	Basinal or abyssal plain Oceanic plateau Trench slope Trench slope basin Trench floor (submarine fan may occur in the latter two environments)
	Trench	—
	—	—
	Rift-fracture zone	—

prostředí sedimentace	faciální model	charakteristika, typické facie	
terestrická	fluviační	aluviační vřij	klastické sedimenty, hrubozrnná klastika, chaotické štěrky, šikmo zvrstvené pisky, málo fosilií, velké mocnosti
		divočí řeka	štěrky, pisky, jily, šikmé zvrstvení v písčích, FU trendy, bez fosilií, laterální akrece sedimentu
		meandrující řeka	štěrky, pisky, jily, imbrikace valounů ve směru proudění, šikmé zvrstvení v písčích, laminované jily, zbytky rostlin, uhelné slojky, FU trend,
	eolické	anastomosing river (vzájemně proplétání řek)	pisky, jily, málo štěrku, šikmo zvrstvené pisky, zbytky rostlin, agradace
		erg, duna	pisky, pískovce, šikmé zvrstvení různých směrů, šplhavé čefiny, velmi dobré vyřídění, červená barva (oxidy Fe)
		Spráše	CaCO <sub>3</sub> , aleuritická frakce, terestriční „sprašovi“ plži
lakustrinní	otevřené systémy	roční varvy, turbidity, někdy nevrstvenaté sedimenty, sladkovodní organismy, progradace přibřežních klastik	
	uzavřené systémy	stratifikace vodní masy (O <sub>2</sub> , teplota), častá laminace, černé jílovce bohaté na organickou hmotu (anoxické sedimenty), chemogenní sedimenty (karbonáty a evapority), stenovalentní organismy - brakická a slaná voda	
přechodná	deltaické	wave-dominated	šikmo zvrstvené pisky, horizontálně zvrstvené pisky, zbytky rostlin, prodelta - jily
		tide-dominated	sedimenty přílivových plošin, písčité hřbety - šikmé zvrstvení, bioturbace, zbytky rostlin prodelta - jily
		river-dominated	deltová plošina - jily, pisky, štěrky říčních koryt, uhelné sloje, rostlinné zbytky čelo delty - jily, jennozrnné pisky, brakická fauna prodelta - jílovce, mořská fauna celková progradace, CU trendy,
	přilivové plošiny	Siliciklastické	mikro-, meso- makrotidál
		Karbonátové	čočkovité zvrstvení, paralelně laminované jily, pisky s čefinovým zvrstvením, intraklasty, rezidua výplně kanálů, křížové zvrstvení typu „herringbone“, bioturbace,
mořská	pobřeží a bariérové ostrovy	fasové koberce, tepee struktury, intraklastové brekcie, bahenní praskliny, evapority, stromatolity	
		pobřeží - pisky, planární zvrstvení, dobré vyřídění, čefinové zvrstvení laguna - často hypersalinní nebo naopak brakické prostředí, stenovalentní fauna bariérový ostrov - viz pobřeží	
	klastické šelfy	dominované dmutím domin. boufkami	Písčité tíďální hřbety, tempestity, HCS, šikmo- a křížové zvrstvené pískovce, mělkomořská fauna
	karbonátové šelfy	rampy lemové šelfy izolované lavice atoly	útesy a šelfové sedimenty: viz. faciální klasifikace karbonátů + faciální modely siliciklastických šelfů, útesové a mělkomořské organismy, autoproductivita !
	svahy a pánve	svah, svahový osep (apron), podmorský vřij oceánské dno	turbidity, sedimenty gravitačních toků, konturity, hemipelagické sedimenty s nektonnickými a planktonními organismy, „flyš“, neretové a zoofykové ichnofacie
	pelagické prostředí		sedimenty ze suspenze, rudé jily, biogenní vápnitá a křemítá bahna, paralelní laminace, detailní zvrstvení, dominuje plankton (a nekton), CCD, neretové a zoofykové ichnofacie

## Terestrická sedimentační prostředí

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

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

- eolická,
- glaciální
- aluviační.

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

- říční (fluviační)
- jezerní.

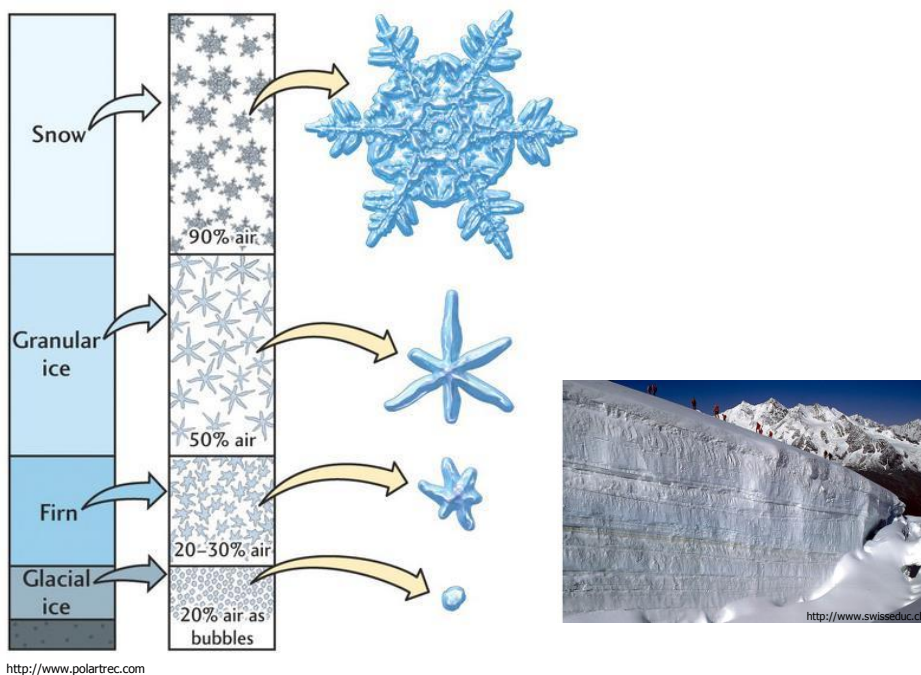
## Glacigenní depoziční prostředí



**Masa ledu, která se pohybuje a deformuje vlivem své vlastní hmotnosti.**

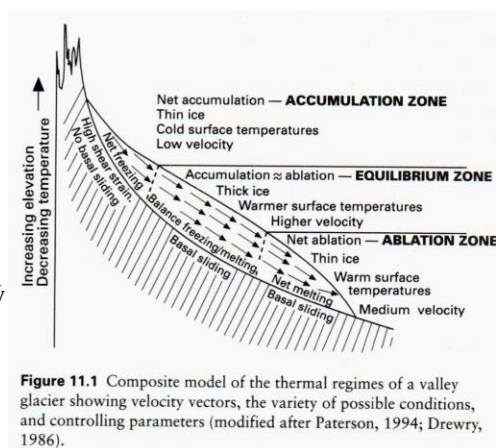
## Glacigenní sedimenty

- Terestrické i marinní prostředí
- 10% povrchu Země pokryto ledovci
- 30% - maximální pokrytí v kvartéru
- Glaciofluviální prostředí
- Glaciolakustrinní prostředí
- Glaciomarinní prostředí
- Glacioeolické prostředí
- Periglaciální prostředí



## Formování ledovce

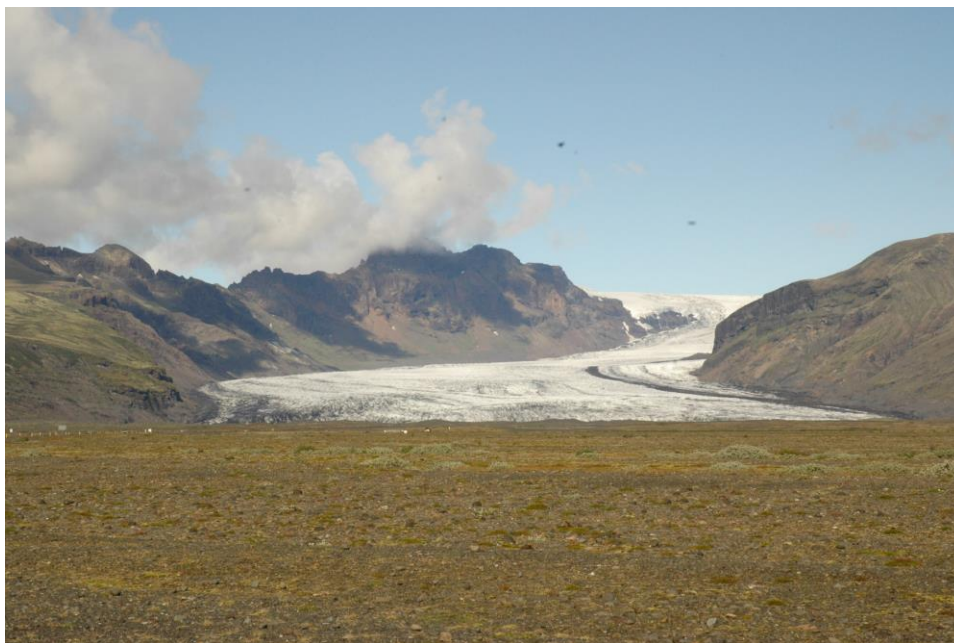
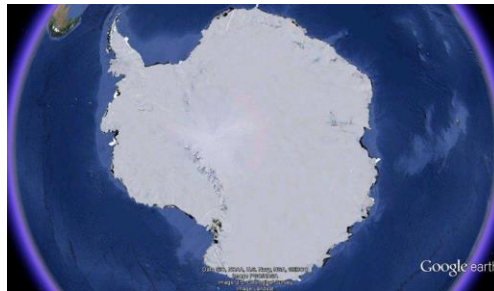
- Nízká teplota
- Vysoké srážky
- Vysoký zeměpisná šířka a nadmořská výška
- Akumulační zóna
  - Sněhové srážky – částečné tání a opětovné zmrznutí → růst hustoty ledu, vytlačení vzduchu → Firn → ledovcový led + samostatné vzduchové bubliny
- Abláční zóna
  - Povrchové a bazální tání
  - Sublimace





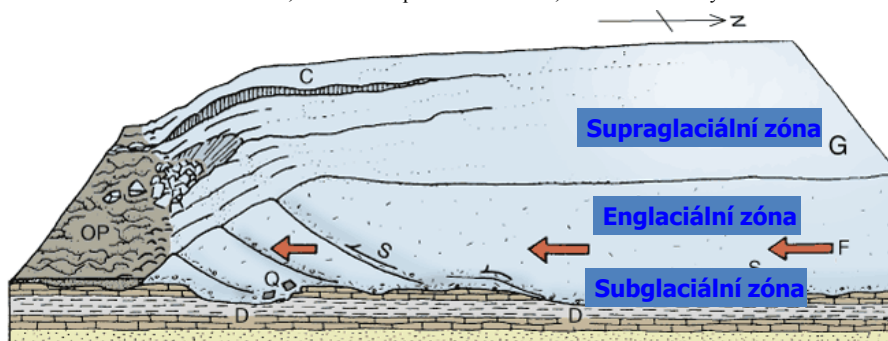
## Typy ledovců

- Kontinentální ledovce (ledové příkrovy, čepice)
  - Antarktida, Grónsko
  - Velká plochá území
- Horské ledovce (údolní, Alpínské ledovce)
  - Karový, svahový údolní
  - Island, Aljaška, Alpy ...
  - Ve větších n.v., omezené topografií



## Členění ledovců

- **Subglaciální (bazální) zóna**
  - V kontaktu s podložím
  - Eroze, transport, depozice
  - Deformace: „Seškrabávání“ a vyhlazování podloží
- **Englaciální (vnitřní) zóna**
  - Zóna pasivního transportu
- **Supraglaciální (povrchová) zóna**
  - Eroze, transport
  - Ovlivněna sezonalitou, odtávání a opětovné zamrzání, eolické sedimenty



## Pohyb ledovce

- Postupující x Ustupující ledovce
- Ploužení
  - V celém objemu ledovce
  - Závisí na mocnosti ledu a sklonu svahu
  - „Klouzáním“ ledových krystalů vnitř ledovce vlivem stresu způsobeném váhou masy ledu
- Bazální klouzání
  - V bazální části ledovce
  - Bazální ploužení vlivem lokálního stresu (nepravidelný tvar podloží)
  - Nad překážkou dochází k tání vlivem tlaku a za překážkou k opětovnému zamrzání
- Ploužení + Bazální klouzání = Celková rychlost ledovce (3m – 7km/rok)



# Eroze

- Subglaciální zóna
  - Abraze, deterze, detrakce
  - vyhlazování podloží
  - podélné rýhování
  - zapracovávání úlomků do bazální části ledovce
  - trog, oblík
- Síla eroze je závislá na druhu podloží a unášených úlomků
- Eroze podloží vlivem odtékající vody

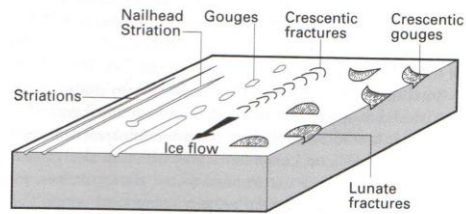
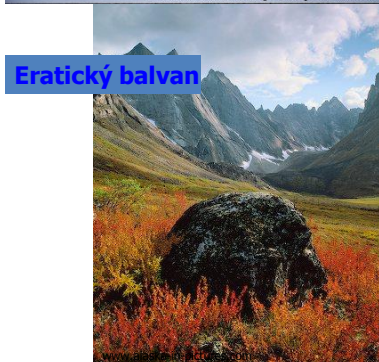
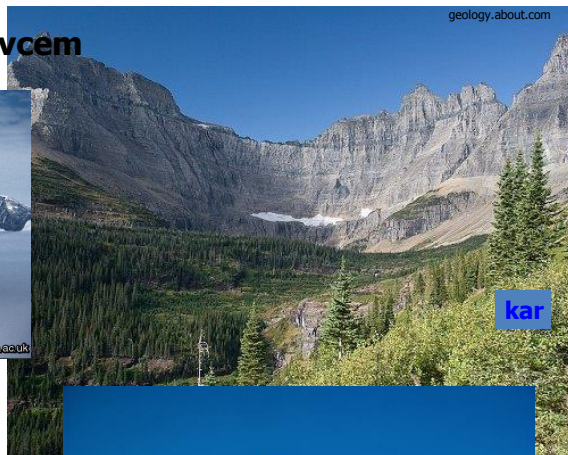


Figure 11.4 Forms of glacial abrasion (modified after Embleton & King, 1973; Shaw, 1985).



## Tvary způsobené ledovcem



## Transport

- Nejvíce materiálu v bazální zóně
- Úlomky jsou **nevytříděné** orientovány paralelně se směrem toku ledovce
- Supraglaciální materiál
  - Pochází ze svahů v okolí, nedochází k obrušování materiálu, ale mohou být ovlivněny vodou tekoucí na povrchu



## Glacigenní prostředí

Prostředí sedimentace geneticky vázané na kontinentální nebo horský ledovec.

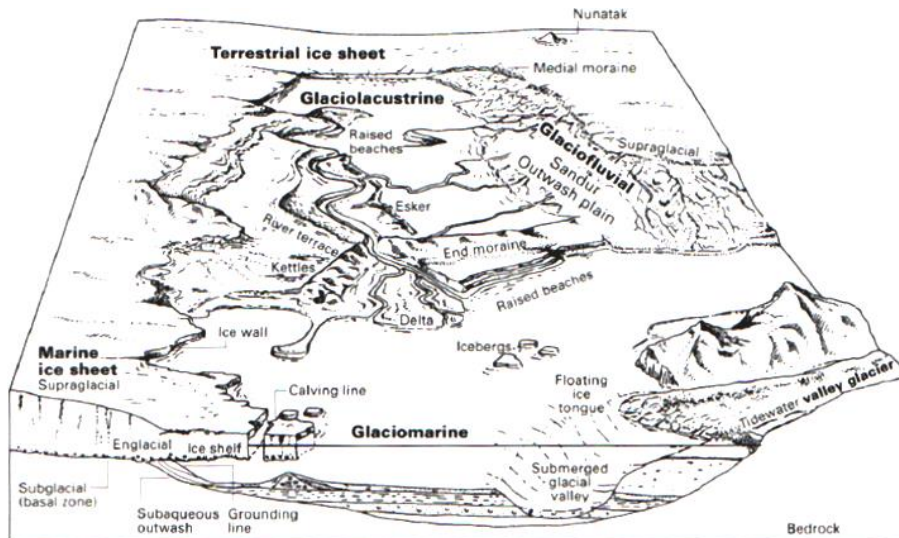
- Horské ledovce - eroze.
- **Kontinentální ledovce.**

Erozní činnost, **erozní rýhy**

Depoziční činnost

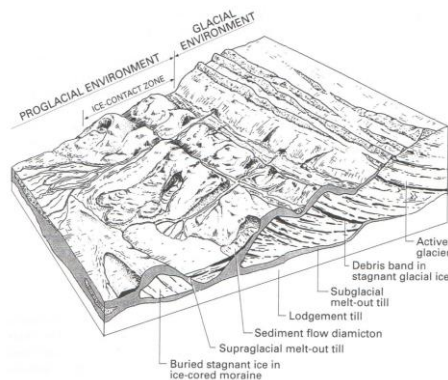
- **Subglaciální prostředí:** diamikt / diamiktit; till, tillit; souvky
- Lodgment till, glaciotektonická deformace
- **Proglaciální / supraglaciální prostředí:** odtok tavných vod, **zvrstvené šterky a písky**, špatně odlišitelných od sedimentů divočicích řek fluvialního prostředí.
- **Glacilakustrinní prostředí,** sedimentace jedmozrných paralelně laminovaných sedimentů - **varvity**. Jemná laminace je způsobena sezónním odtáváním ledovce, v zimě jsou ukládány relativně jemnozrnější laminy s množstvím organického materiálu, v létě sedimentují laminy relativně hrubozrnějšího materiálu, uvolňovaného při tavení ledovce.
- **Glacimarinní prostředí:** Kry odtržené z ledovce, plovoucí na hladině, uvolňují odtáváním valouny a balvany, které padají ke dnu jezera nebo moře a jsou začleněny do jemnozrných sedimentů ze suspenze. Tyto valouny se nazývají **dropstony**

# Glacigenní depoziční prostředí



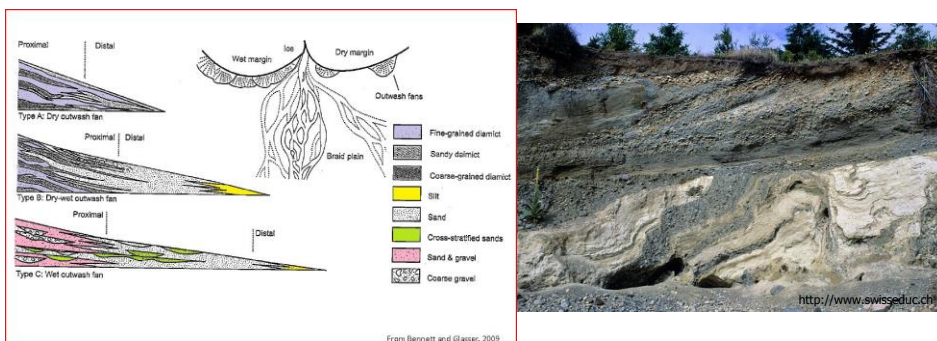
## Depozice

- Ukládání transportovaného materiálu v podobě **morény**
  - Čelní moréna
  - Boční moréna
  - Spodní moréna
- Till – nezpevněný sediment v moréně
- Tillit – zpevněný sediment
- Drumlin
- Esker



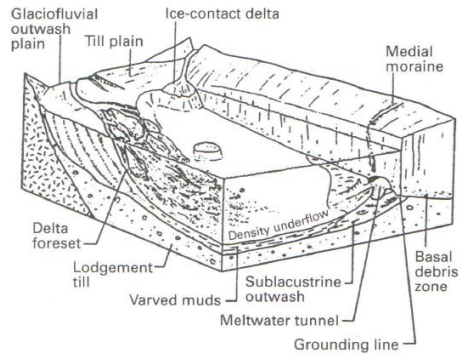
# Glaciofluviální prostředí

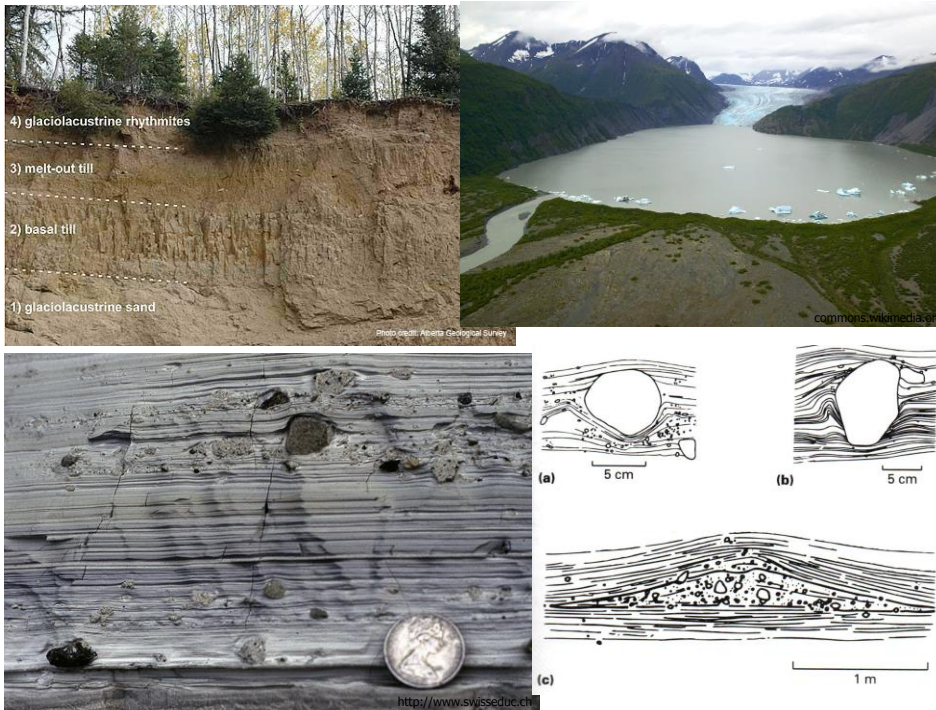
- Prostředí ovlivněné vodou odtékající z ledovce
- Podobné fluviálním systémům
  - Vliv kolísání okraje ledovce a pohřbených zbytků ledovce
- Sandur – výplavová (outwash) pláň
- Proximální zóna
  - Hluboké a úzké kanály
- Intermediální zóna
  - Hustě rozvětvená síť širokých a mělkých kanálů
- Distální zóna
  - Mělké kanály spojující se do větších celků



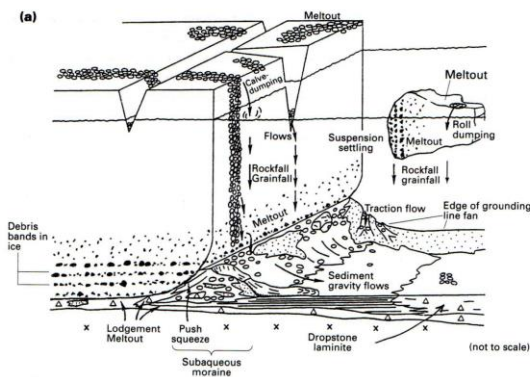
# Glaciolakustrinní prostředí

- Ledovcová jezera
  - Výsledkem přehrazení cesty odtékající vodě
  - Dotována vodou z ledovce
  - V přímém kontaktu s ledovcem nebo vzdálená
  - Proximální x distální prostředí
  - Dropsone
  - Varvity
- Karová jezera
  - zahrazena morénou
  - Po odtání ledovce vyplňují prostor karu



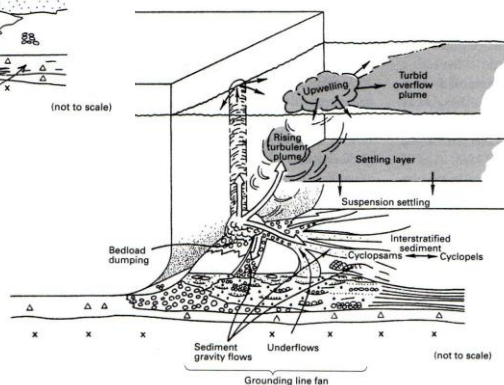


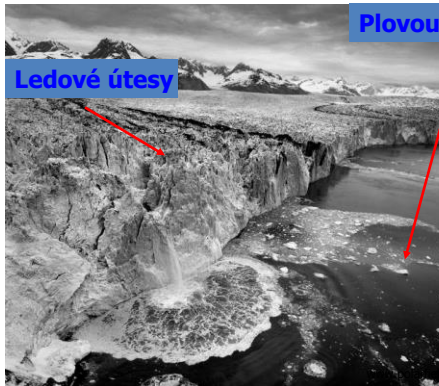
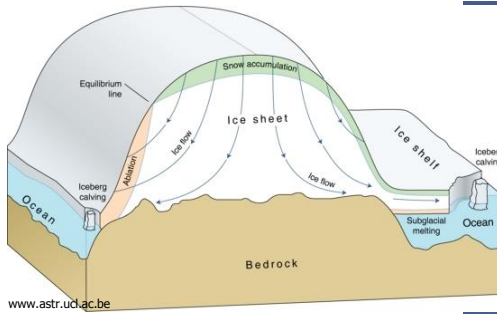
# Glaciomarinní prostředí



Ledovec s podmořským odtokem

Ledovec ovlivněný dmутím





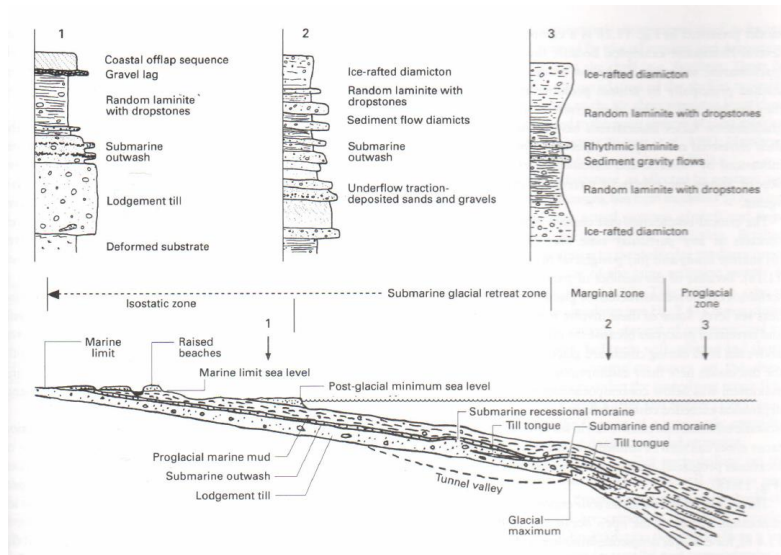
Plovoucí ledové kry

Fjordy

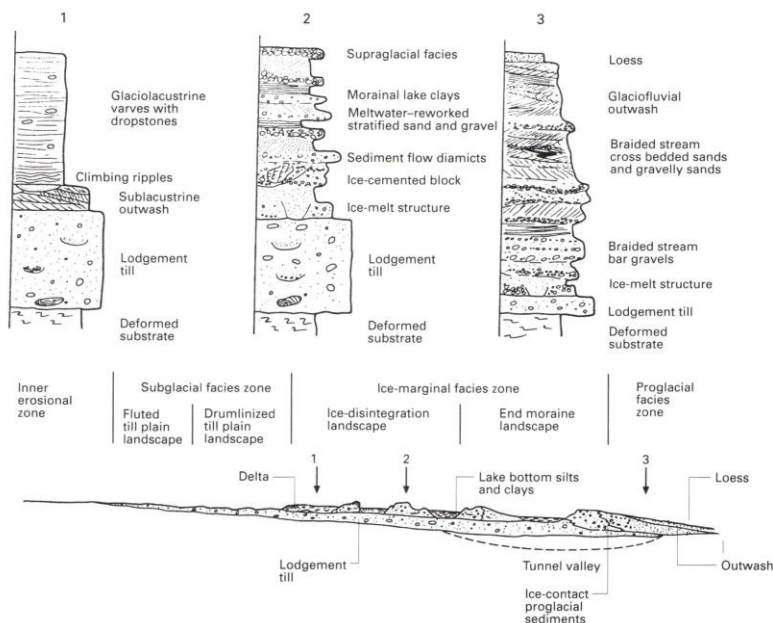


## Stratigrafie glacigenních sedimentů

### Marinní sedimenty



## Terestrické sedimenty



## Eolické prostředí

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





## Eolické sedimentační prostředí



Křížové zvrstvení v pískovcích, Canyons of the Escalante, Utah.

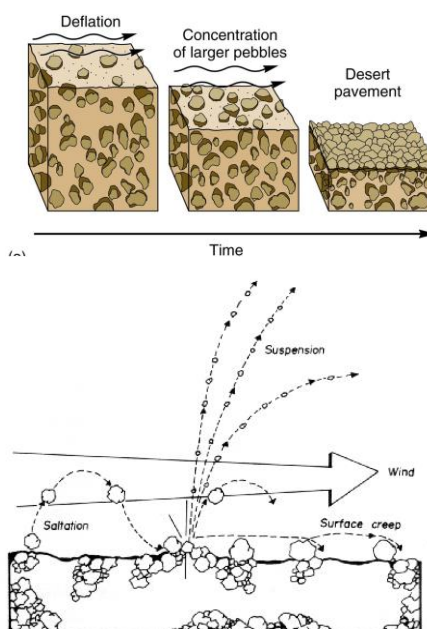
## Eolické akumulace

- Prostředí ovlivněné větrnou činností
- Písek, prach
- Klima: aridní, teplé i chladné
- Pouště, pláže, pláně (ledovcová předpolí)
- Informace o paleoklimatu
- Eolická činnost v geologické minulosti mnohem intenzivnější



## Transport sedimentu

- Podmínky
  - vhodný zdrojový materiál
  - velikost zrn
  - transportní kapacita větru
- Deflace, koraze
- Ploužení, saltace, pohyb v suspenzi



Větrná koraze pískovců  
The Wave, Utah



Pouštní dlažba  
Anza-Borrego Desert State Park , California

## Pouštní eolické systémy

- Klima: aridní, semiaridní a suché
- Srážkový stín
  - Orografické bariéry
  - Západní okraje velkých kontinentů
  - Uvnitř velkých kontinentů
- 20% pouštního povrchu
  - Duny – dunová pole – písčná moře – ergy
- Pouštní dlažba, horninové podloží

## Pouštní eolické systémy

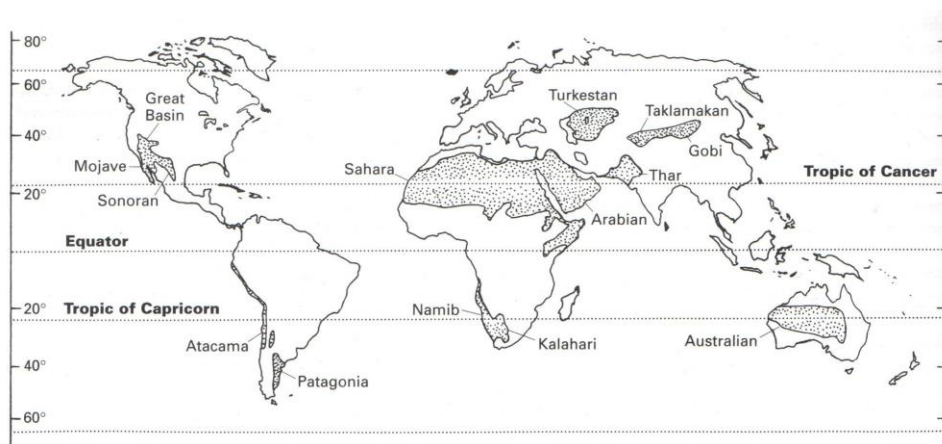
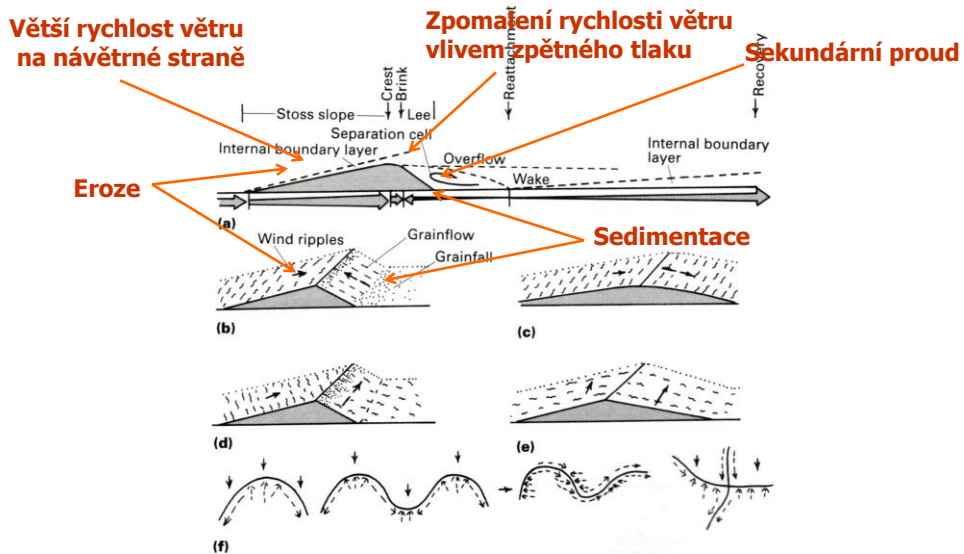


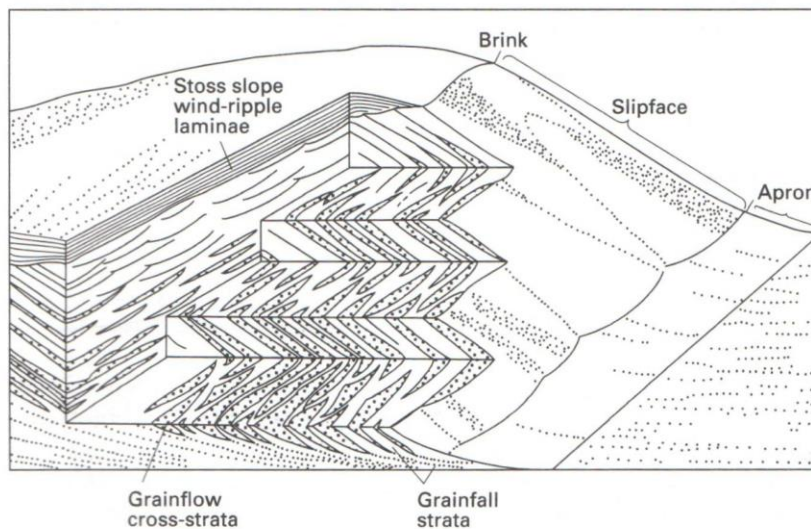
Figure 5.1 Low and middle latitude climatic deserts.

# Vliv vzdušných proudů

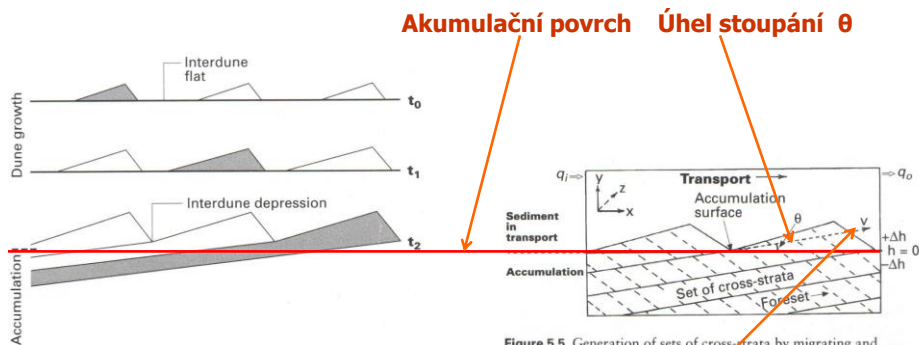
Vítr → Duny → Sekundární vzdušné proudy



## Sedimentace na závětrné straně duny



# Migrace a akumulace dun



**Figure 5.10** Period of dune growth through time ( $t_0-t_1$ ) precedes onset of accumulation (by  $t_2$ ). With dune growth, interdune flats reduce in size until only a depression remains between dunes.

**Figure 5.5** Generation of sets of cross-strata by migrating and climbing dunes shown in cross-section ( $x,y$ ), where all transport is in the  $x$  direction and a unit width ( $z$ ) is representative. Symbols given in text (modified from Kocurek & Havholm, 1993).

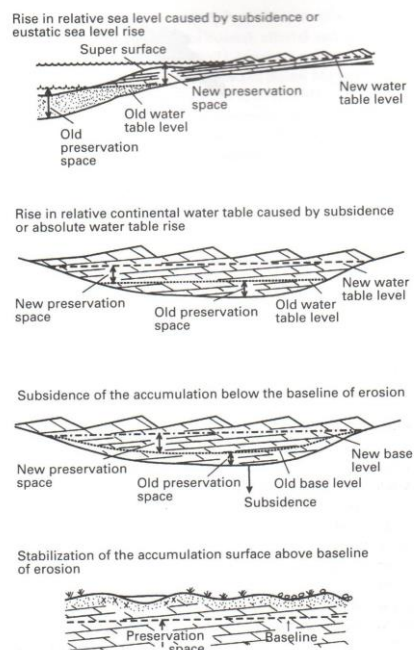
$$\theta = V_y/V_x$$

$$\left. \begin{array}{l} V_y \dots \text{vektor akumulace} \\ V_x \dots \text{vektor migrace} \end{array} \right\} V_y + V_x = V \dots \text{vektor stoupání}$$

Ve většině situací je  $V_y$  nesrovnatelně menší oproti  $V_x \rightarrow$  velmi malý  $\theta$ .

## Zachování eolické sekvence

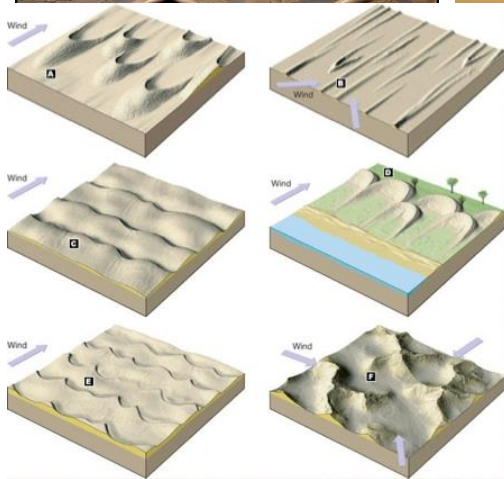
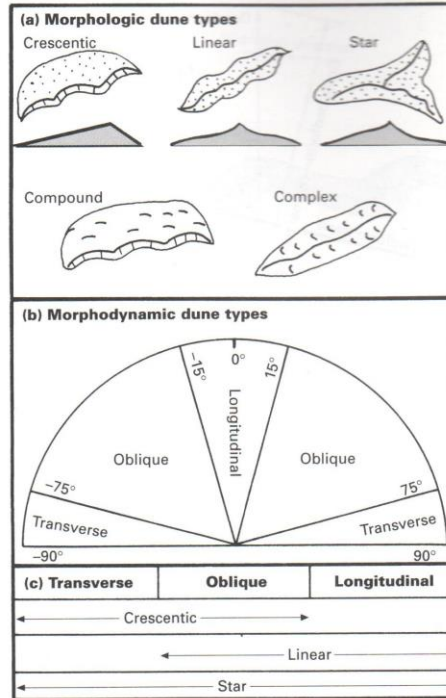
- Zachování sedimentu pod hladinou eroze
  - Vlivem subsidence
  - Zvýšením hladiny mořské nebo podzemní vody
  - Pokrytí vegetací



**Figure 5.13** Modes of preservation of aeolian accumulations (from Kocurek & Havholm, 1993).

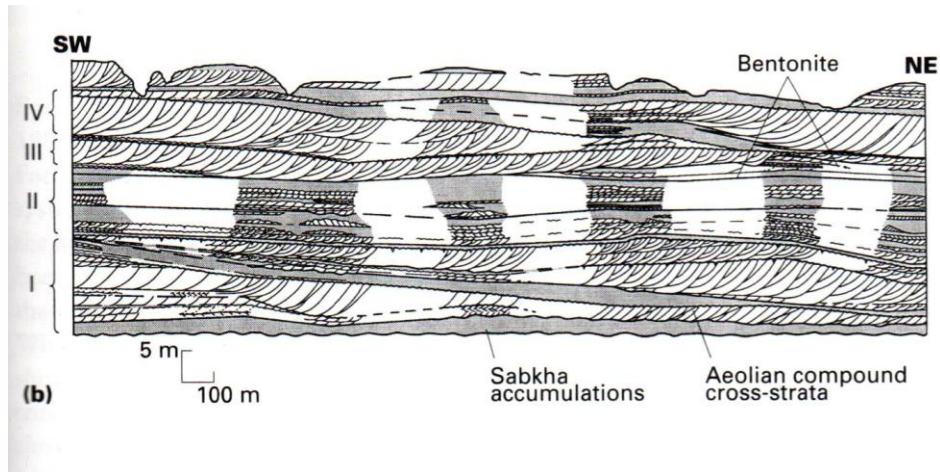
# Klasifikace dun

- Morfologická klasifikace
  - Srpčité duny (barchan)
  - Lineární duny
  - Hvězdčité duny
- Morfo-dynamická klasifikace
  - Podélné duny
  - Šikmé duny
  - Příčné duny



<http://www.geotall.com/vb/showthread.php?1684-geology-of-sand-dunes>

# Stratigrafický záznam

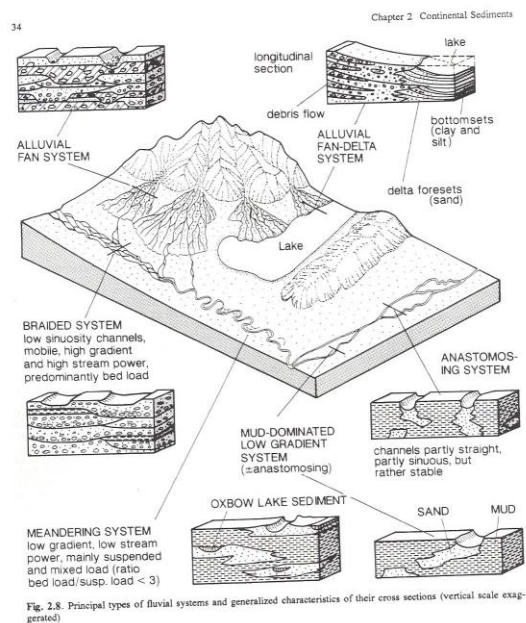
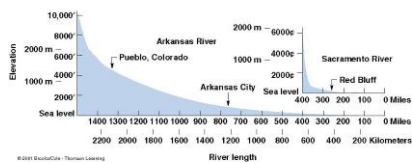


Canyonlands National Park, Utah

# Fluviální prostředí

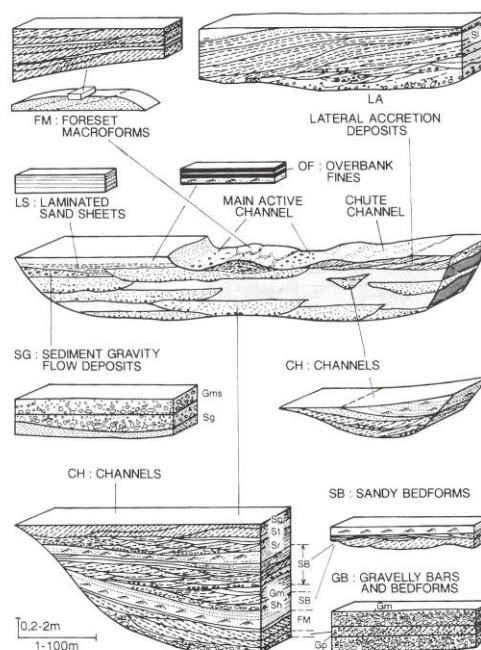
## ŘÍČNÍ SYSTÉMY PODLE SPÁDU

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





# Stavební prvky fluviálních systémů



## Aluviální vějíř

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

### Základní procesy:

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

## Aluviální vějíř, fan-delta

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

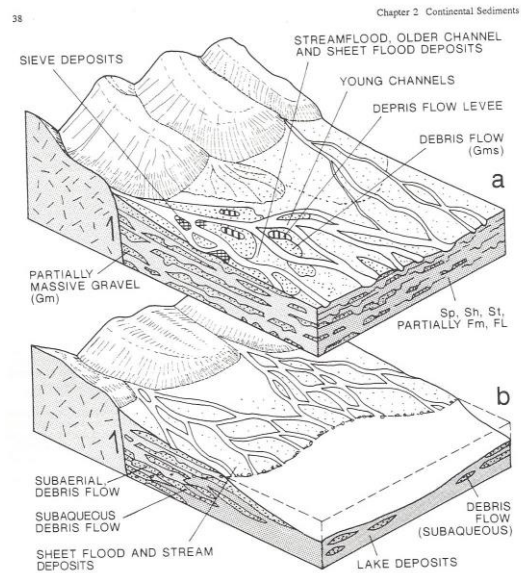
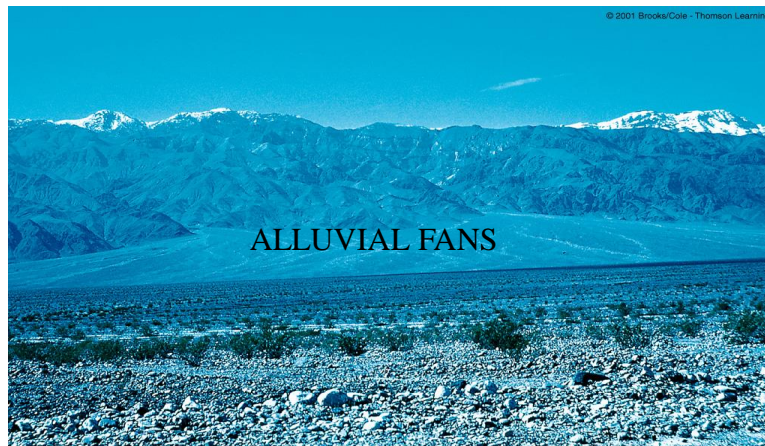


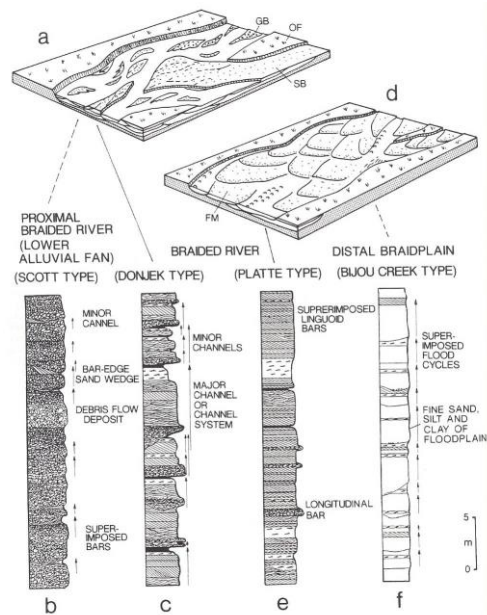
Fig. 2.11. Simplified facies models of an alluvial fan (proximal to mid fan region) and b fan delta. See Table 2.1 for explanation of symbols

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



# Divočící řeky

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





# Meandrující řeka

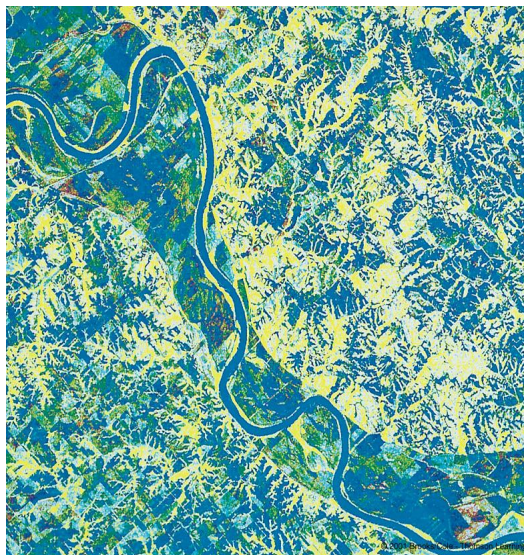
- Na rovinatém území v nížinách jsou říční toky omezené do jediného řečiště, které vytváří zákruty, neboli **meandry**.

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

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

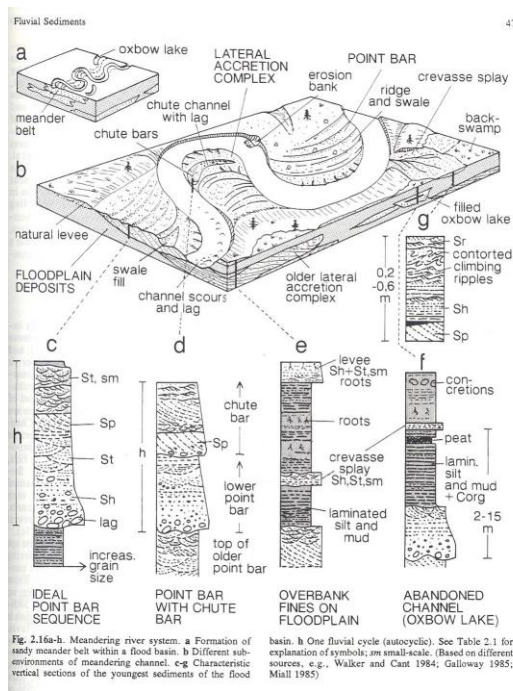
This air photo of the Missouri River beautifully shows the main **meandering channel** and the adjacent **floodplain** (the band of darker land along the channel).

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

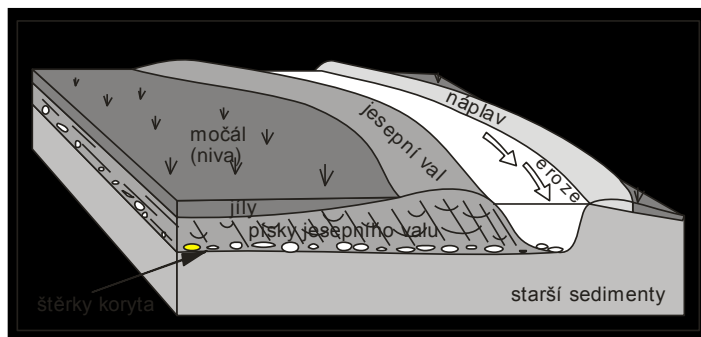


## Meandrující řeky: základní morfologické prvky

- Jesešní valy (point bars) form on inner banks and typically accrete laterally, commonly resulting in lateral-accretion surfaces; mid-channel or braid bars accrete both laterally and downstream
- Kanály (channels), opuštěné kanály (abandoned channels, oxbow lakes)
- Přelivové sedimenty (overbank sediments)
- Sedimenty povodňových rovin (floodplain deposits)
- Agradační val (natural levee)
- Průvalové kanály (crevasses), průvalové sedimenty (crevasse splays)



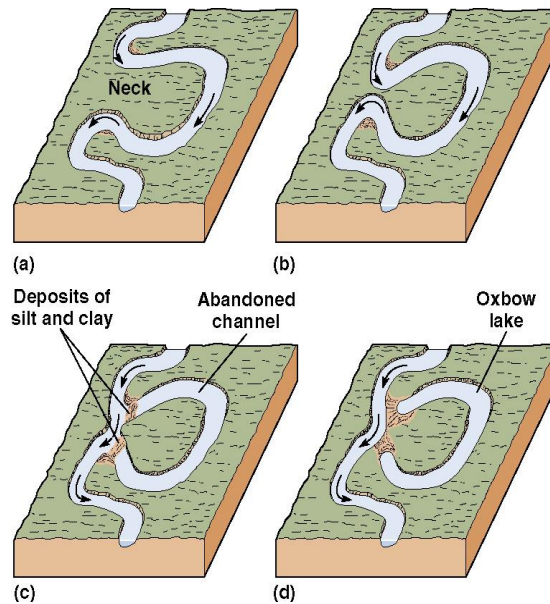
## Meandrující řeka: autocyklická do nadloží zjemňující (FU) sekvence



### Mrtvé rameno (Oxbow lake)

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

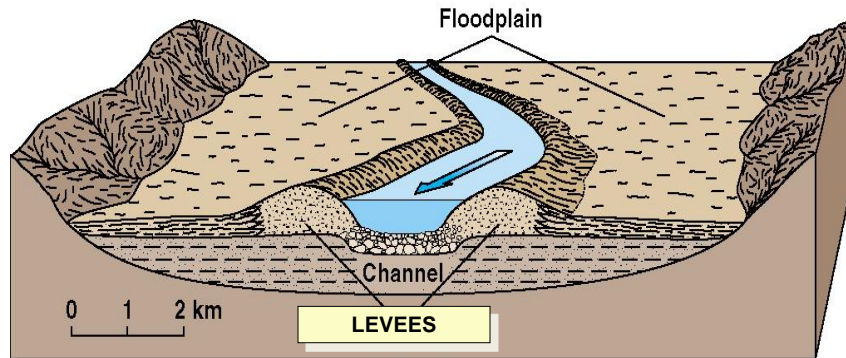
The figure here shows the steps in this process.



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

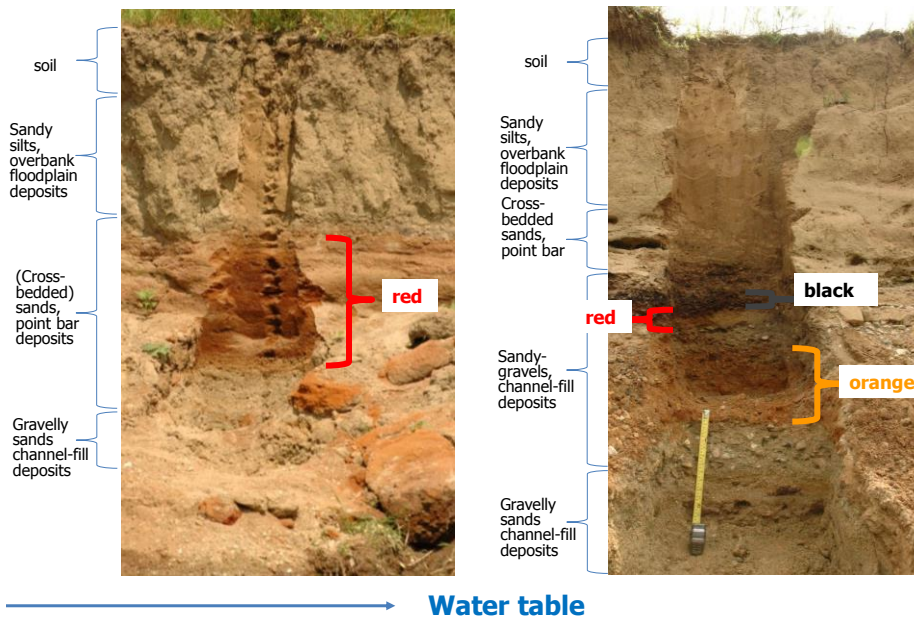


Note on this figure the locations of the **levees**.



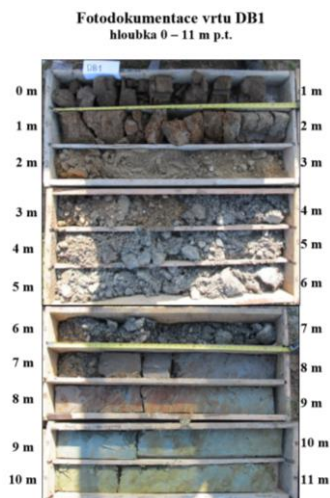
As a stream rises prior to flooding, its increased velocity and discharge allow it to carry more and more sediment. When the stream crests its banks and spills out onto the floodplain, the water slows down, depositing ridges of sediment along the banks called levees. The levees are often the highest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

### Moravičany red bed site; outer meander bank Layered colour stratigraphy: black, red, orange



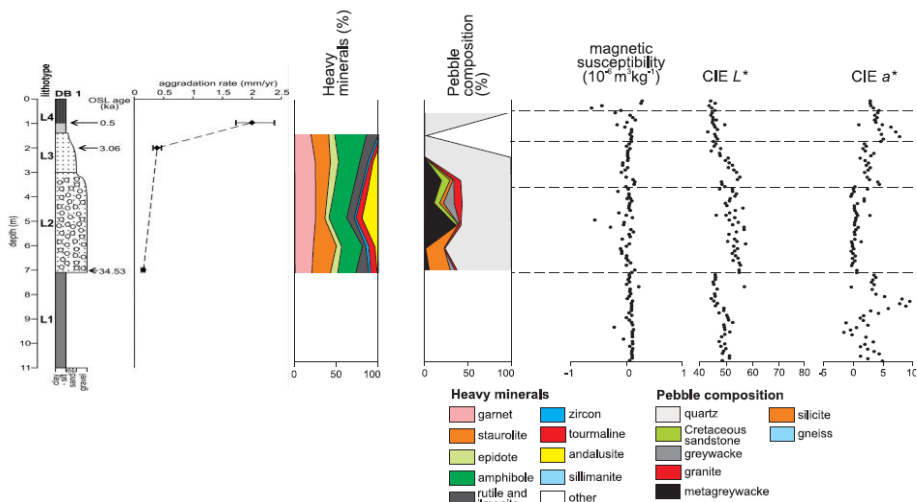


## Fluviální sedimenty v hornomoravském úvalu



Novák, A., Bábek, O., Kapusta, J., 2017. Late Quaternary tectonic switching of siliciclastic provenance in the strike-slip-dominated foreland of the Western Carpathians; Upper Morava Basin, Bohemian Massif. *Sedimentary Geology* 355, 58–74.

## Pleistocenní fluviální sedimenty HMÚ



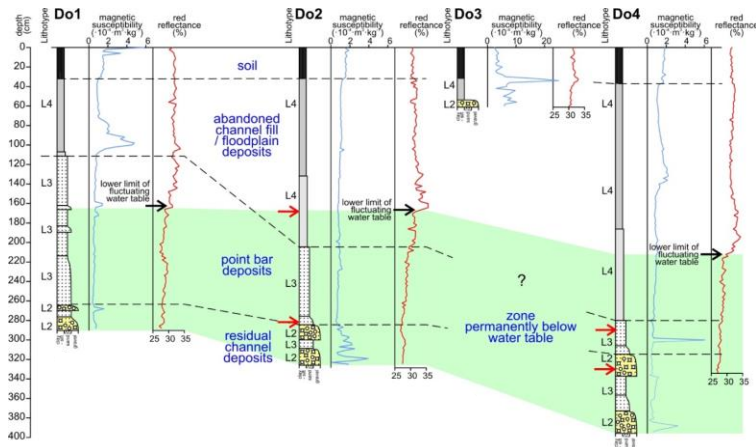
Novák, A., Bábek, O., Kapusta, J., 2017. Late Quaternary tectonic switching of siliciclastic provenance in the strike-slip-dominated foreland of the Western Carpathians; Upper Morava Basin, Bohemian Massif. *Sedimentary Geology* 355, 58–74.

## Holocénní fluviální sedimenty HMÚ

Sedimenty  
povodňových plošin  
(floodplain) /  
opuštěných koryt

– do nadloží zjemňující  
fluviální cyklus

- silt, jíl, půdní horizont



Bábek O, Sedláček J, Létal A, Novák A, Electrical resistivity imaging of anastomosing river subsurface: climatic versus tectonic triggers of fluvial style change in a strike-slip dominated foreland of the Western Carpathians, Czech Republic. submitted to Geomorphology

## ERT – elektrická odporová tomografie Holocénní fluviální sedimenty HMÚ

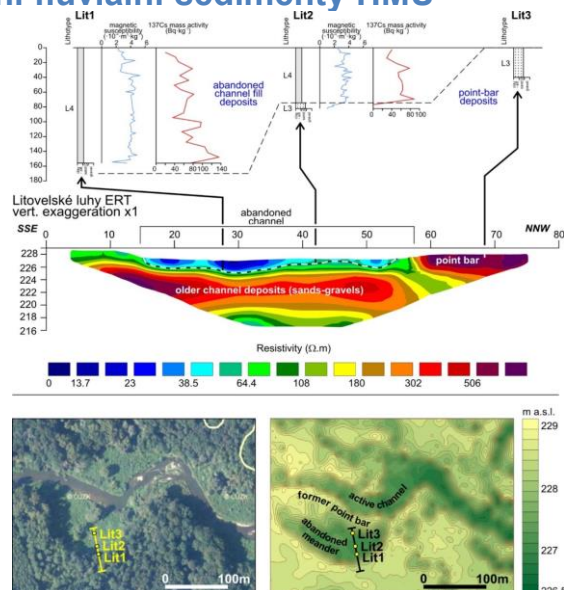
Litovelská luha

Velmi mladé opuštěné koryto  
(po r. 1986, 137Cs černobylský  
pík)

ERT – elektrická odporová  
tomografie – měrný odpor  
(rezistivita)

>200  $\Omega \cdot m$  (píský, jesešní val)  
Lit3

< 100  $\Omega \cdot m$  (silty a jíly,  
opuštěné koryto) Lit1 + Lit2



Bábek O, Sedláček J, Létal A, Novák A, Electrical resistivity imaging of anastomosing river subsurface: climatic versus tectonic triggers of fluvial style change in a strike-slip dominated foreland of the Western Carpathians, Czech Republic. submitted to Geomorphology

## DEMP – dipólové EM profilování Holocénní fluviální sedimenty HMÚ

Moravičany, povodňová plošina

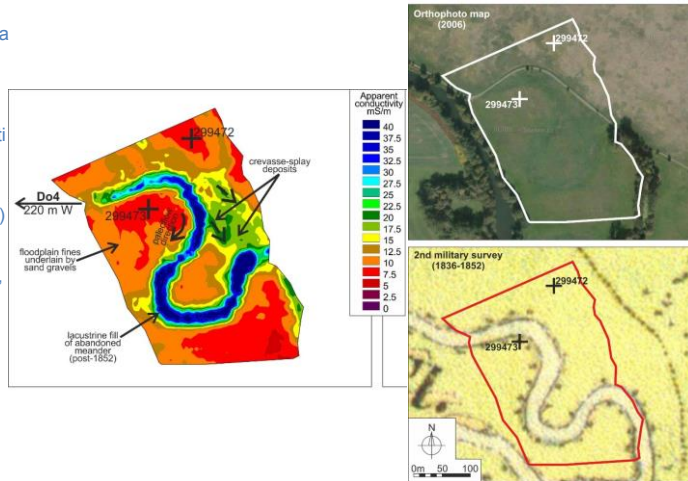
Mladě opuštěné koryto (po r. 1856)

DEMP – mapa měrné vodivosti (mS/m)

< 15 mS/m – povodňová plošina (silty, jíly + šterkopísky)

17 – 25 mS/m – průvalová delta (crevasse splay), silty, jíly, jemný písek

> 27 mS/m (silty a jíly, výplň opuštěného koryta)



Bábek O, Sedláček J, Létal A, Novák A, Electrical resistivity imaging of anastomosing river subsurface: climatic versus tectonic triggers of fluvial style change in a strike-slip dominated foreland of the Western Carpathians, Czech Republic. submitted to Geomorphology



Imbrikace klastů v sedimentačním valu (depositional bar)



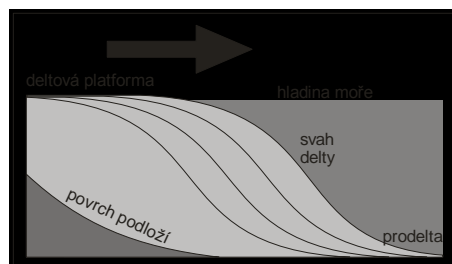
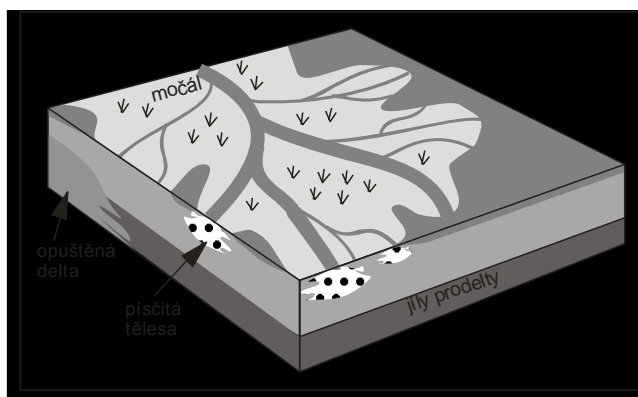
22. Large scale trough cross bedding (sandy bedforms)  
Texture: sand with pebbles passing into sandy pebble gravel in the upper part of the section  
Structure: trough cross bedding  
Stratigraphy: Lower Pleistocene terrace of the River Vltava  
Locality: Libčice (Praha Západ District)  
Photo by: J.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

# Delty

## Morfologie a procesy

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

- Deltová platforma (převažující vliv řeky)
- Svah delty (smíšený vliv řeky a moře)
- Prodelta (převažující vliv moře)



# Progradující delta

- **PROGRADUJÍCÍ DELTA**
- **Normální regrese**

- 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 prodelty, 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.

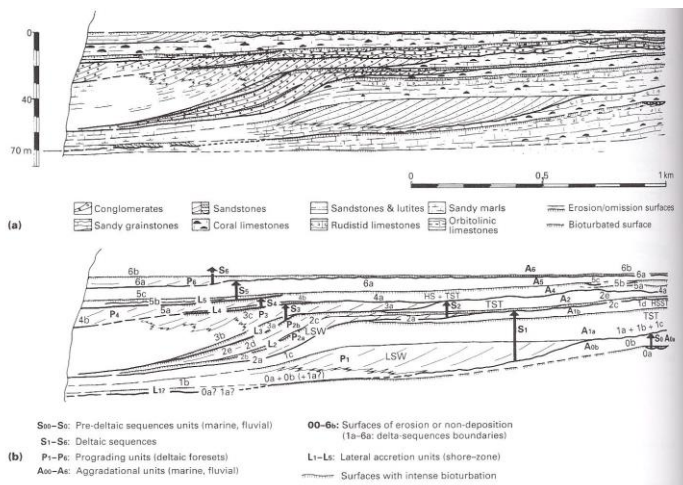


Figure 6.30 Cross-section through the Albian La Miel Member of northern Spain to show (a) arrangement of facies and (b) interpretation of lateral and vertical sequence in terms of deltaic sequences, aggradational units, prograding units and lateral accretion units (from Garcia-Mondejāt, 1990).

## Vertikální CU trendy na progradující deltě

Říční sedimenty deltové platformy, pokryté vrstvou půdního horizontu a rašeliny

Progradace delty, CU trend progradujících valů při ústí řeky, brakické – marinní prostředí

Progradace delty, sedimenty deltového svahu, převaha sedimentů gravitačních toků na svahu delty (turbidity)

Šelf, prodelta, hemipelagické marinní sedimenty

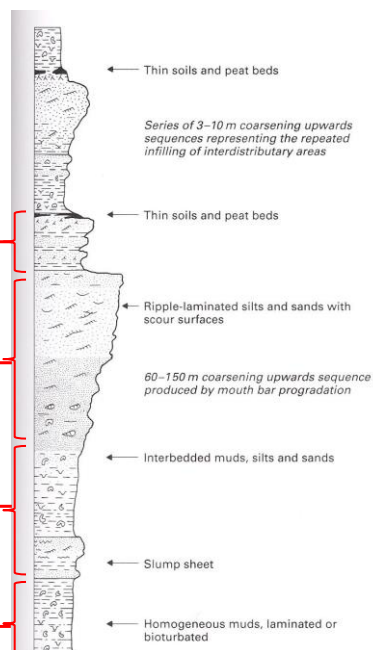
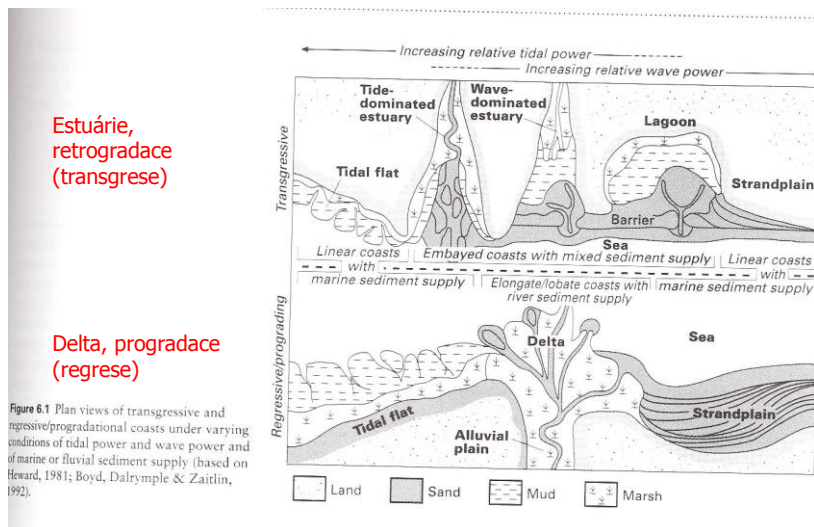


Figure 6.44 Composite idealized sequence produced by mouth bar progradation in the Mississippi delta (after Coleman & Wright, 1975).

## Progradační (R) /retrogradační (T) sedimentační systémy ústí řek



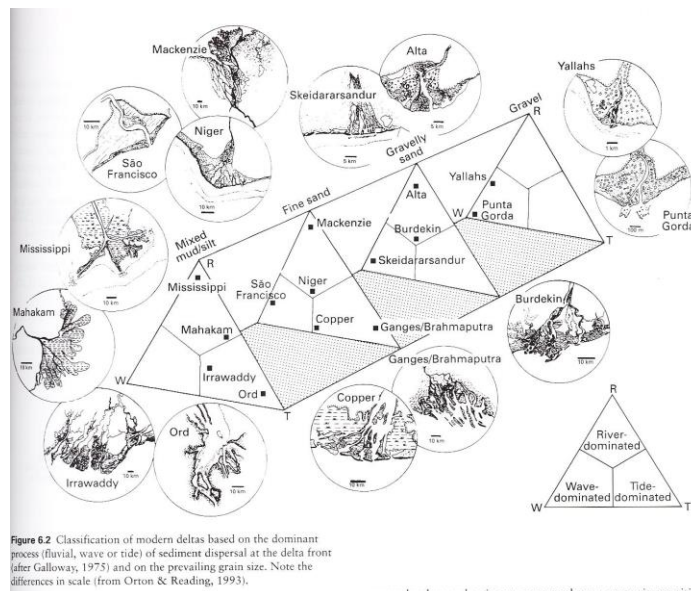
## Typy delt

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

delty s **převažujícím vlivem řeky** (například Mississippi, Pád),

delty s **převažujícím vlivem vlnění** (např. Rhóna) a

delty s **převažujícím vlivem dmutí** (např. Ganga).



are nearly always dominant, except where a cratonic granitic



## Pobřeží a bariérové ostrovy

### Morfologie

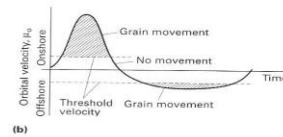
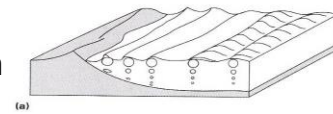
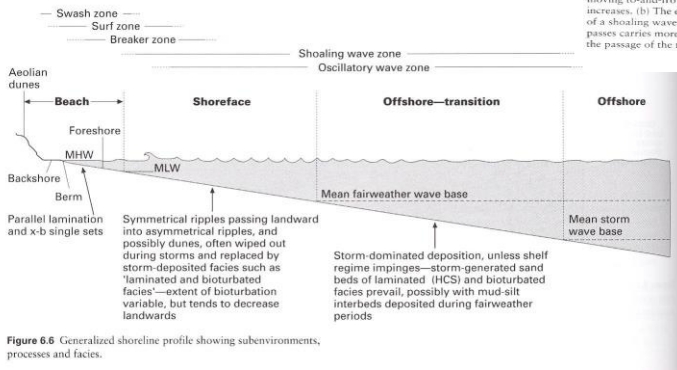
- Ústí řek tvoří jen menší procento délky pobřeží, větší část pobřeží je lemována komplexem **bariérových ostrovů**. Ty jsou vytvářeny akumulací marinních písků mořskými proudy běžícími podél pobřeží. Směr těchto proudů udává orientaci bariérových ostrovů podél pobřeží. Malá část ostrovů může být také dotována pískovým materiálem z delt s převládajícím vlivem vlnění.
- Zóna mezi ostrovem a pevninou je zalita vodou a nazývá se **laguna**. Laguny jsou typické nedostatkem hrubozrnnějšího materiálu, protože jsou od vysokoenergetického prostředí pláží chráněny komplexem ostrovů.
- Břehy lagun jsou většinou ploché a plošně rozsáhlé a jsou okupovány **přilivovými plošinami**
- Facie:
- Břehy ostrovů sklánějící se k moři jsou charakteristické plážovými **písčítými sedimenty s horizontálním zvrstvením** nebo **šikmým zvrstvením o malém úhlu úklonu**. Směrem do moře je časté **čehinové zvrstvení**. V centrální části ostrova se akumuluje **colické písky** ve formě dun.
- V lagunách dochází k akumulaci **jílů** a **písčítých jílů**. Pokud je laguna cílem přínosu většího množství sladké vody z aktivní říční sítě, jsou její vody **brakické** což se odráží v charakteru fauny. V aridním klimatu s nedostatkem přísunu říční vody mají vody laguny tendenci k **hypersalinitě** a srážení **evaporitů**.
- Na přilivových plošinách (tidal flats) se ukládají písky a jílovité písky s množstvím charakteristických sedimentárních textur (tepee textury, kanály, brekcie, otisky dešťových kapek atd.). Spojení laguny s otevřeným mořem je zajištěno tzv. **přilivovými vtoky (inlets)**, což jsou úžiny mezi jednotlivými ostrovy. Dno vtoků je pokryto písčítými valy běžícími zhruba kolmo ke komplexu ostrovů.

### Sekvence

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

## Pobřežní profil: equilibrium surface, rovnovážný povrch

- Báze vlnění
- Báze bouřkového vlnění
- Faciální pásma:
  - Pláž, foreshore (příbřeží), nad hladinou odlivu
  - Shoreface (předbřeží) – mezi hladinou odlivu a FWWB
  - Offshore (vdálené předbřeží) – mezi FWWB a SWB
  - Offshore (vzdálené předbřeží) – pod SWB



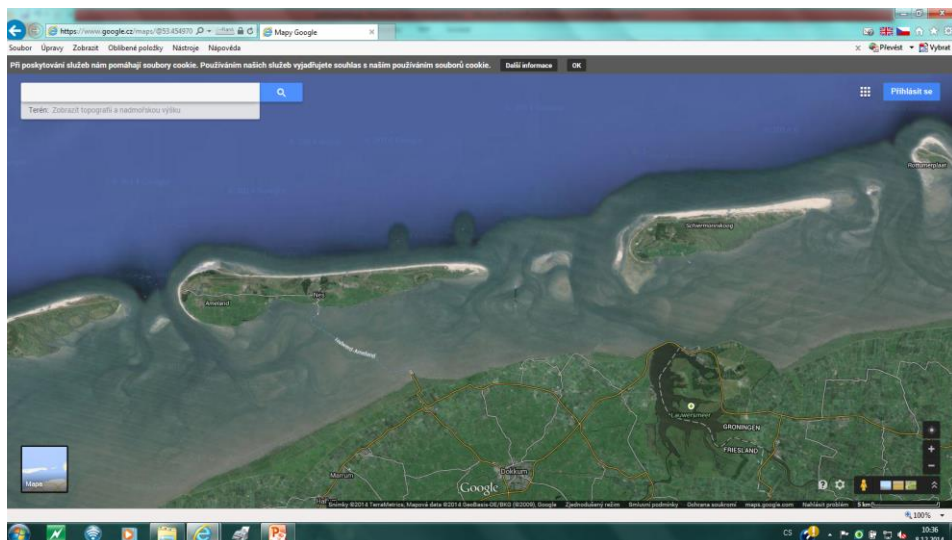
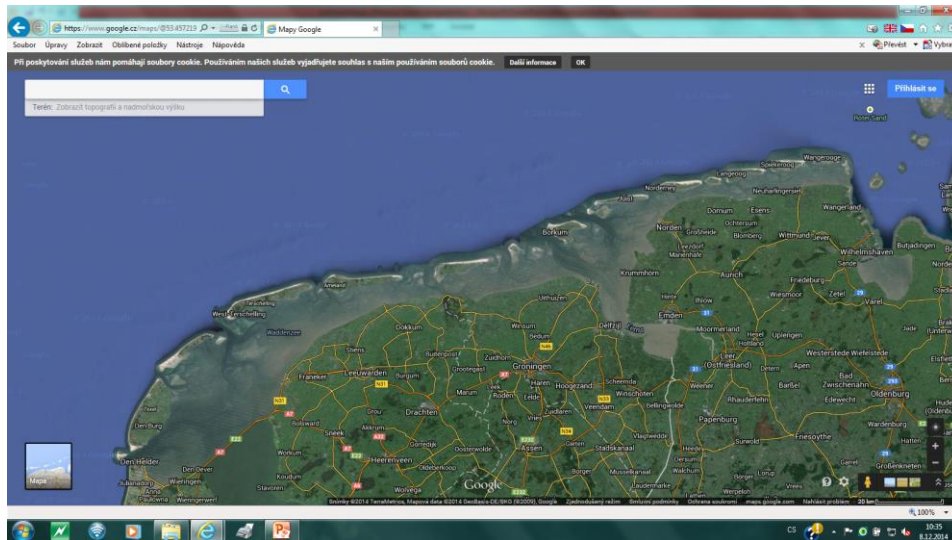
**Figure 6.7** The littoral energy fence. (a) Wave transformation as a shoreline is approached. The orbital diameter decreases with depth, moving to-and-fro as it nears the bottom and frictional drag increases. (b) The effects on sediment movement during the passage of a shoaling wave. The onshore stroke 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).

## Komplex plážové ostrovní bariéry (Rhode Island)



[www.erdc.usace.army.mil/pls/erdcpub/](http://www.erdc.usace.army.mil/pls/erdcpub/)





# Komplex plážové ostrovní bariéry

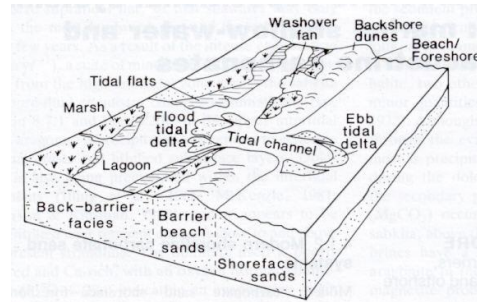
Morfologické prvky:

- Plážová ostrovní bariéra
- Přílivové kanály
- Laguna

Výška dmutí > 3m

Vysoká produkce karbonátového písku

Predispozice topografií podloží



## Ostrovní bariéra

[http://www.waterencyclopedia.com/images/wsci\\_01\\_img01.jpg](http://www.waterencyclopedia.com/images/wsci_01_img01.jpg)



<http://strata.geol.sc.edu/MARINESEDIMENTS/BarrierIslands/BarrierIntro.htm>

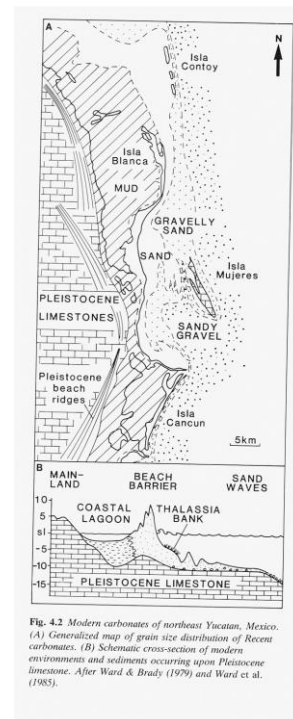
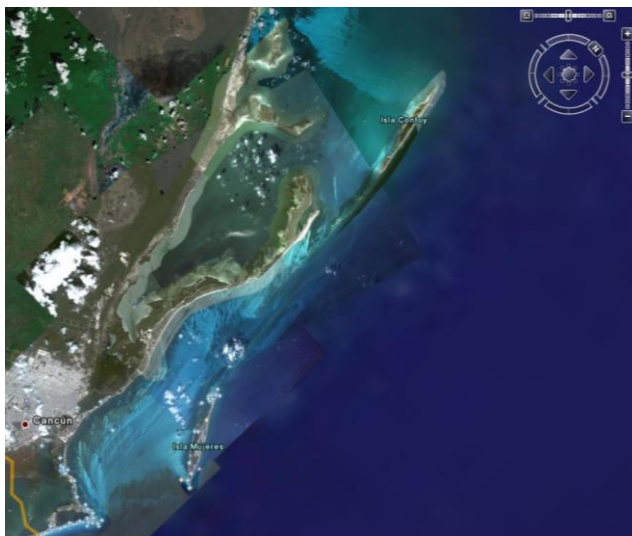
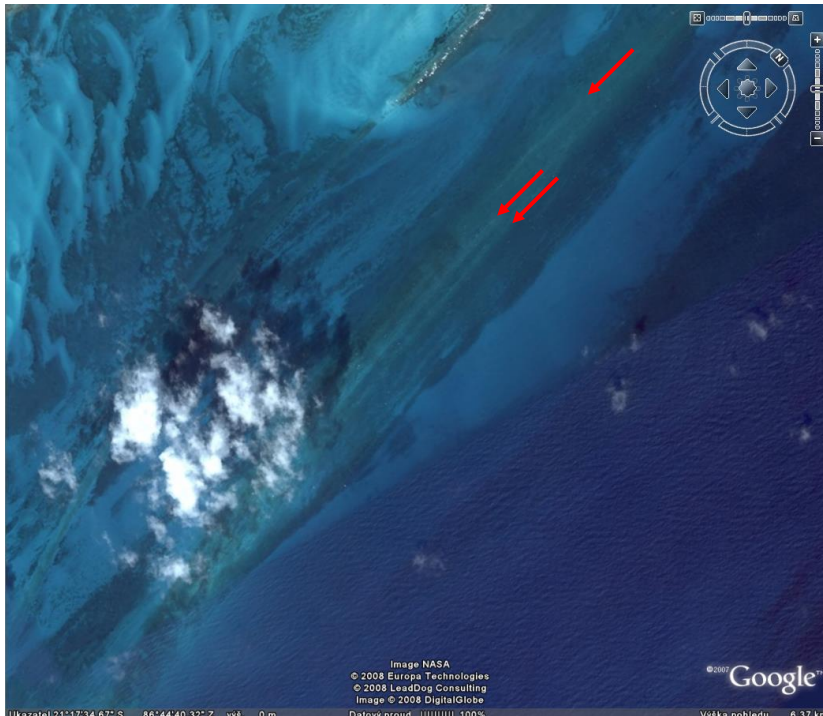


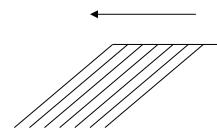
Fig. 4.2 Modern carbonates of northeast Yucatan, Mexico. (A) Generalized map of grain size distribution of Recent carbonates. (B) Schematic cross-section of modern environments and sediments occurring upon Pleistocene limestone. After Ward & Brady (1979) and Ward et al. (1983).




## Procesy sedimentace a facie

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

**Facie:**  
**Grainstone se**  
**skeletálními alochemy**  
**(mži, ježovky, koráli,**  
**foraminifery, řasy), ooidy,**  
**peloidy, mikritizace**  
**alochemů**  
**Planární šikmé zvrstvení,**  
**asymetrické čeřiny,**  
**Peritidální sedimenty**





**General Environmental Setting:**

Marine shoreface - beach

**Rock Description:**

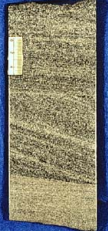
Parallel bedded-rippled sandstone. Note horizontal burrow near bottom (probably *Paleophycus*)

**Depositional Environment Represented:**

Upper shoreface/beach

**Other environments where rock type is typically found:**

*Paleophycus* burrows only found in marine environments. Marine shoals, washovers, tidal deltas.



**General Environmental Setting:**

Marine shoreface - beach

**Rock Description:**

Cross-bedded sandstone

**Depositional Environment Represented:**

Upper shoreface or distributary channel

**Other environments where rock type is typically found:**

Moderate to high current velocity areas such as marine shoals, fluvial and tidal point bars, channel bottoms, distributary mouth bars, tidal inlets, tidal deltas and shelf sand ridges.

## Stratigrafie moderních těles bariérových ostrovů

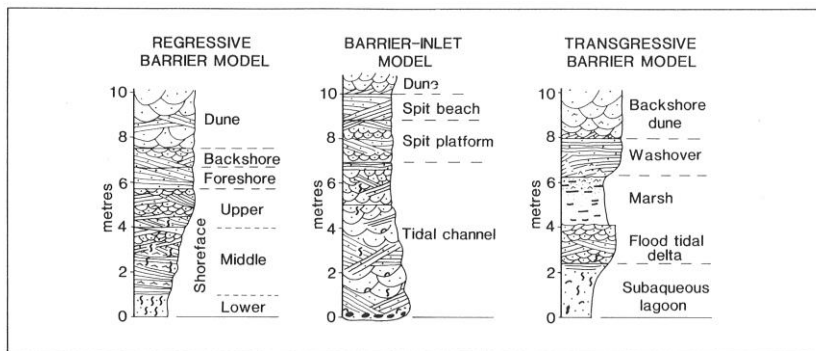
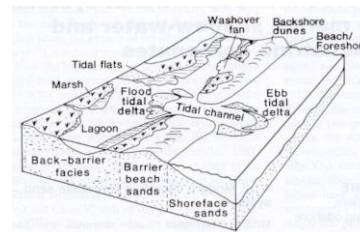
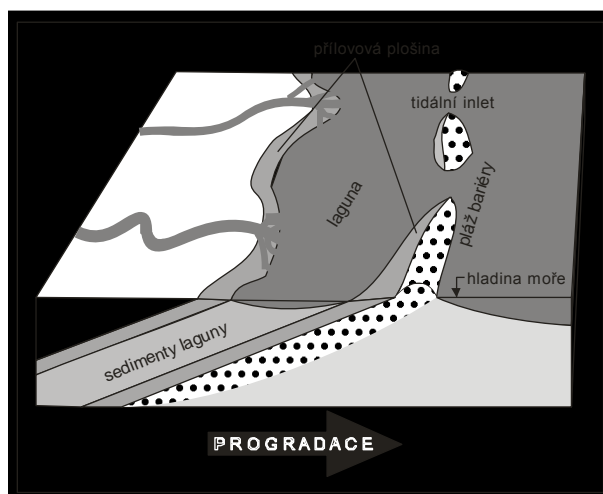


Fig. 4.16 Facies models for regressive, barrier inlet and transgressive barrier island sequences. After Reinson (1984).



## Plážová pobřežní plošina

### Morfologické prvky:

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

Výška dmutí < 3m

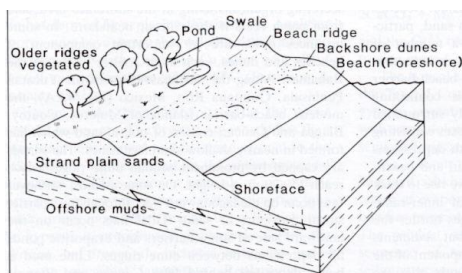
Vysoká produkce karbonátového písku

### Procesy sedimentace:

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

### Facie:

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



## Plážová pobřežní plošina



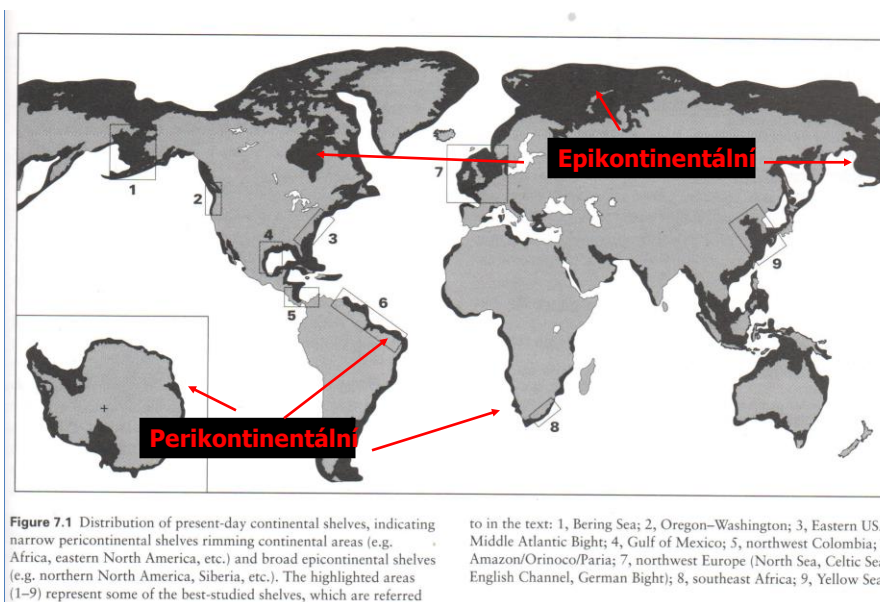
## Šelfové prostředí

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

- **šelfy s převažujícím vlivem dmutí**
  - U prvního typu se ve vysokoenergetické zóně vytvářejí **výčasové písčité hřbety** ve směru rovnoběžném s přílivovými a odlivovými proudy. Hřbety jsou budovány dobře tříděnými písky s šikmým zvrstvením; jejich výška dosahuje několika metrů. Dobrým recentním příkladem šelfu s výčasovými písčítými hřbety je Severní moře.
- **šelfy s převažujícím vlivem bouřkové činnosti**
  - charakteristický výskytem bouřkových resedimentovaných vrstev - **tempestitů**. Tempestity se řadí mezi tzv. událostní sedimenty. Jejich vznik je vázán na silné tropické bouře, během kterých voda o vysoké energii eroduje již jednoduše usazený sediment, zvedá jej do suspenze a opětovně ukládá. Pro tempestity jsou charakteristické **erozní výmoly** na bázi vrstev, **gradační zvrstvení** a především tzv. **hřbítkovité zvrstvení** neboli **HCS** (hummocky cross stratification). Tempestity se dělí na proximální a distální. Distální tempestity se ukládají v hloubkách 30 až 100 nebo i více
- **šelfy s převažujícím vlivem oceánského proudění**
  - Viz níže

## Typy šelfů

- Perikontinentální
  - Při okrajích kontinentálních desek
  - Klasický profil: pobřeží → šelf → svah
- Epikontinentální
  - Moře uvnitř kontinentálních oblastí
  - Obvykle pozvolné jednotvárné svažování profilu





# Klastické šelfy

- Šelf s dominancí dmutí
- Šelf s dominancí bouřkové činnosti
- Šelfy ovlivněné oceánským proděním
- Hloubka menší než 200 m
- Šířka od několika do stovek km
- Mírný úhel sklonu svahu  $0,1-1^\circ$
- Gradační zvrstvení

## Šelfy s dominancí dmutí

- Každodenní vliv
- Rozdíl přílivu a odlivu > 3-4m
- Eroze mořského dna a transport sedimentu
- Lineární a příčná tělesa „bedform“
  - Písečné štíty
  - Písečné hřbety
    - Osa až  $20^\circ$  šikmo ke směru proudění
    - Až 50 km dlouhé, 3 km široké a 50 m vysoké
    - Dobře vytříděné
- 17% recentních světových šelfů
- Severní moře, Kalifornský záliv

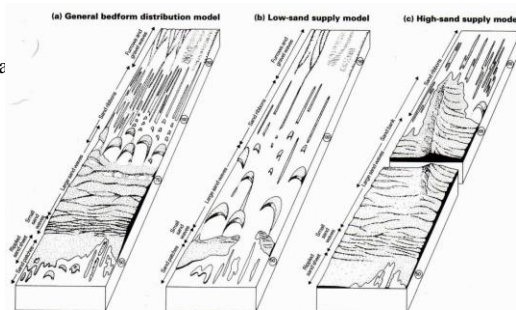
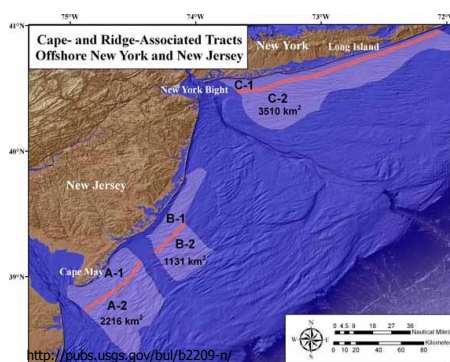
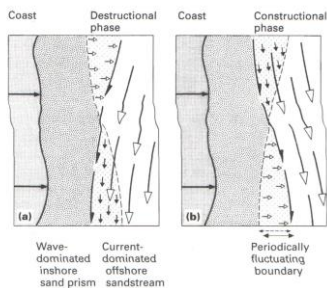


Figure 7.10 Distribution of bedform zones along tidal current transport paths: (a) general model, (b) low-sand supply model, and (c) high-sand supply model. The bedform zones are aligned parallel with mean spring peak near-surface tidal current velocities (shown in  $\text{cm s}^{-1}$ ) (from Belderson, Johnson & Kenyon, 1982).



## Šelfy ovlivněné oceánskými proudy

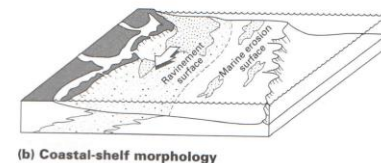
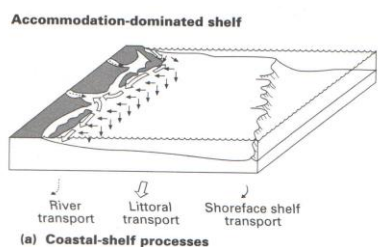
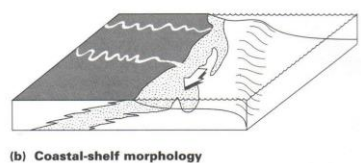
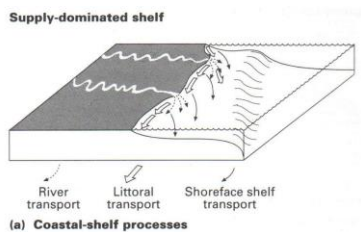
- Vliv jednosměrného stálého proudu, který prochází přes úzký kontinentální šelf
- Menší vliv sezonality
- 3% moderních šelfů
- Jihoafrický šelf

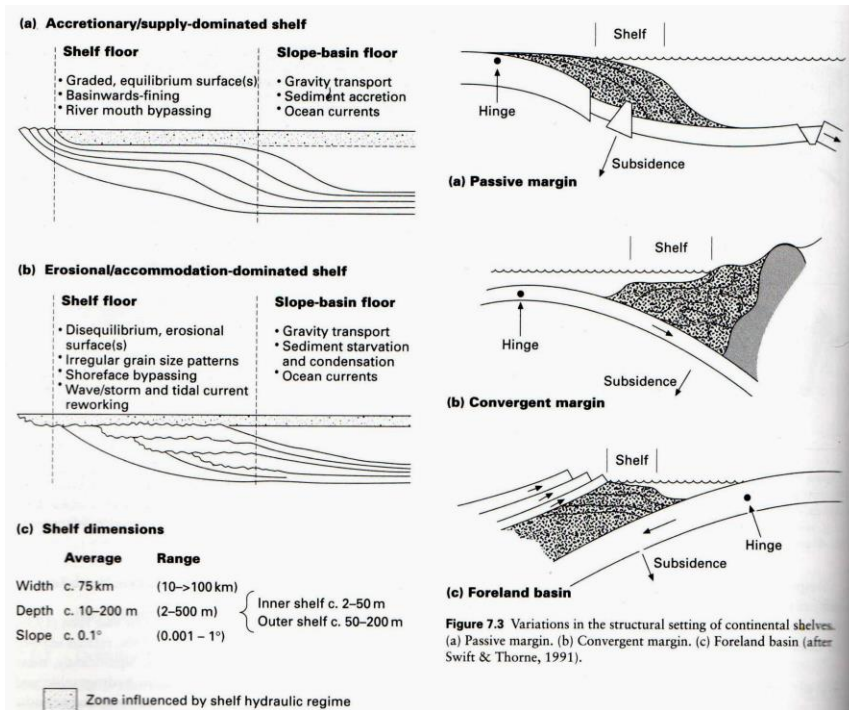


**Figure 7.27** Southeast African shelf sedimentation controlled by the migration of the Agulhas oceanic current. (a) Destructional phase. Where the oceanic current sweeps inshore it erodes the seaward edge of the inshore wave-dominated zone and transports material along shelf and seaward. (b) Constructional phase. Where the oceanic current detaches from the inshore zone the sand prism advances seaward (from Flemming, 1980).

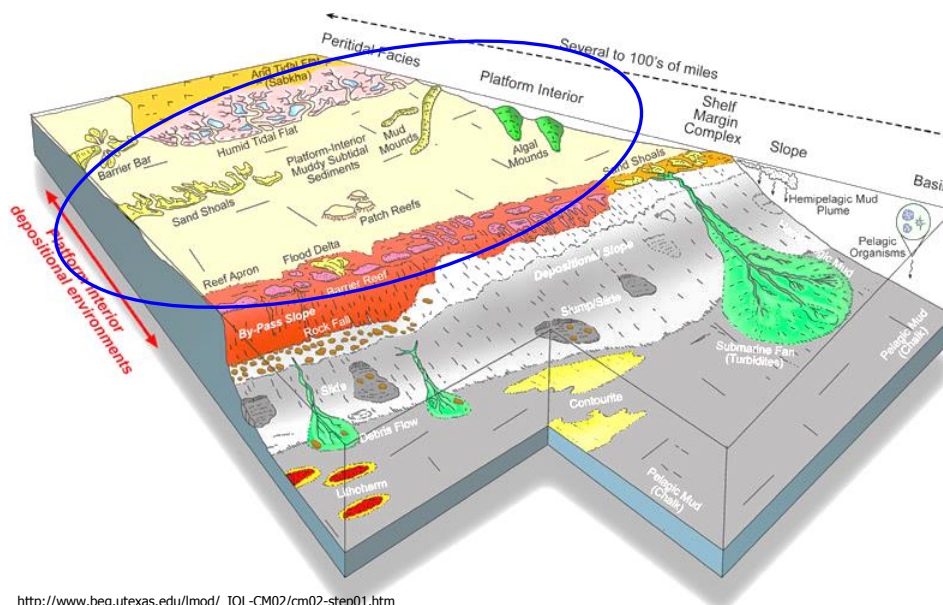
## Dynamické režimy

- **Režim s převahou přínosu**
  - Vysoké měřítko přínosu sedimentu a celková regrese, velký objem terigenního materiálu rozšířeného po šelfu
  - Beringovo moře
- **Režim s převahou akomodace**
  - Vysoké měřítko relativního růstu hladiny a disperze sedimentu, terigenní i marinní materiál
  - Moře SZ Evropy



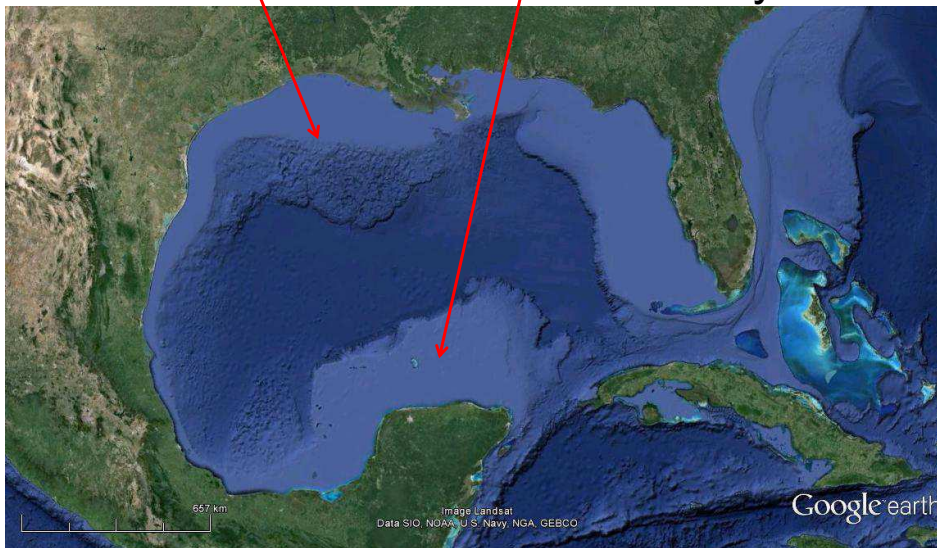


## Karbonátový šelf



[http://www.beg.utexas.edu/mod/\\_IOL-CM02/cm02-step01.htm](http://www.beg.utexas.edu/mod/_IOL-CM02/cm02-step01.htm)

## Mexický záliv: klastické a karbonátové šelfy



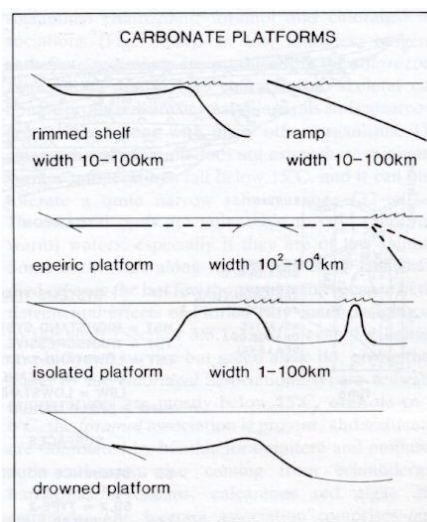
## Tektonický rámec sedimentace

Snížený přísun klastického materiálu –

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

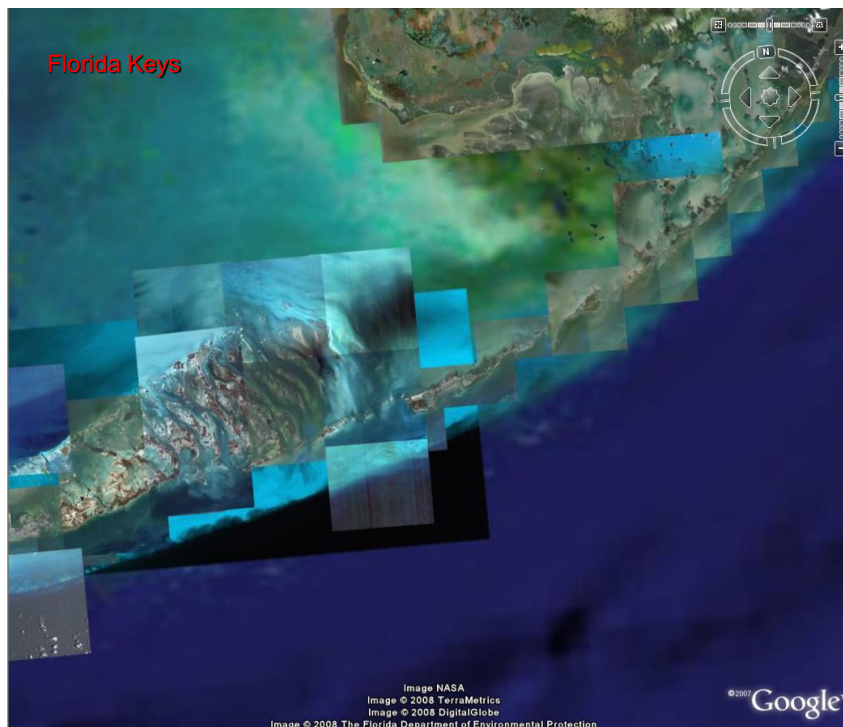
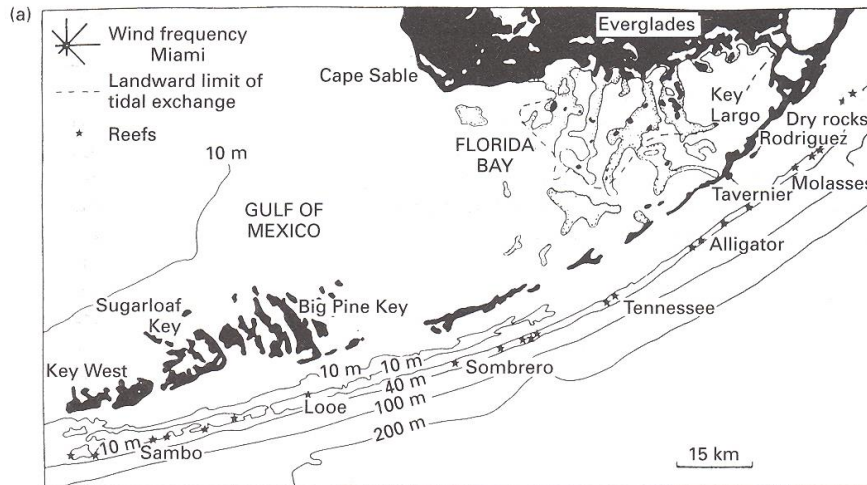
Morfologie karbonátových těles

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

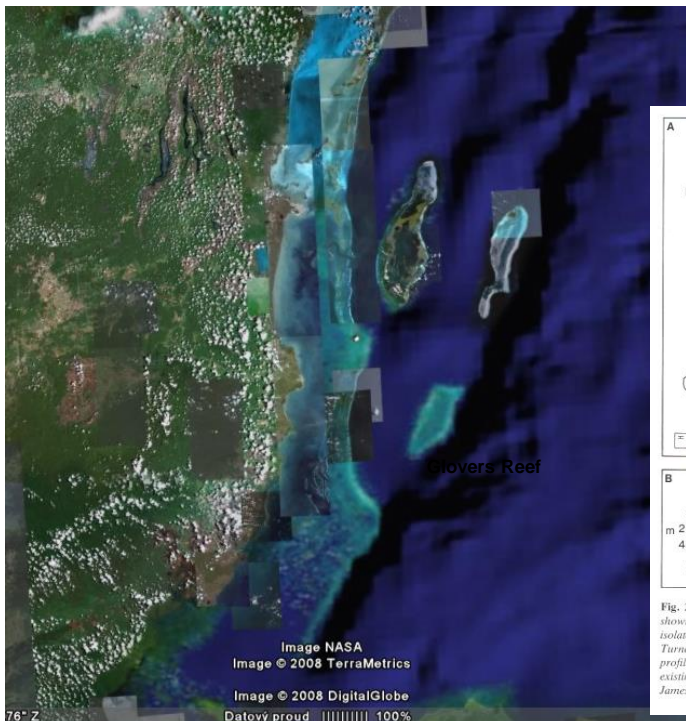
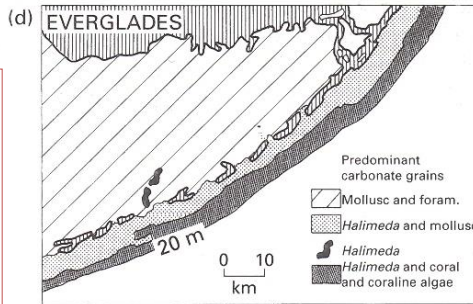
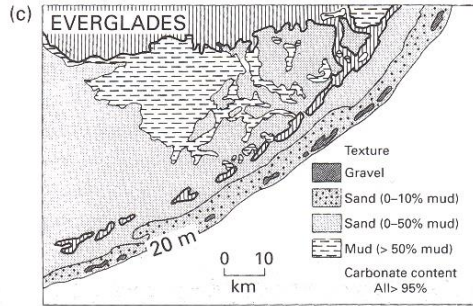
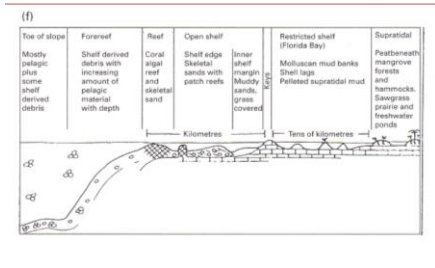
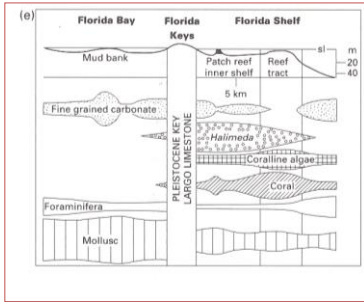




## Příklad lemového šelfu Floridský šelf, batymetrie (hloubka vody) Florida Keys



## Floridský šelf: struktura a složení sedimentu



## Belize rimmed shelf

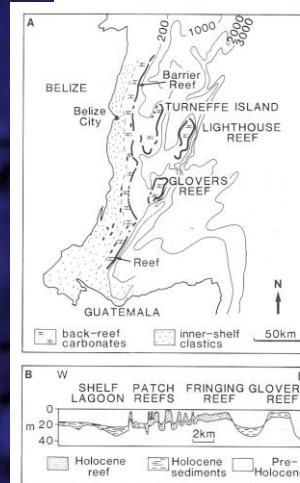
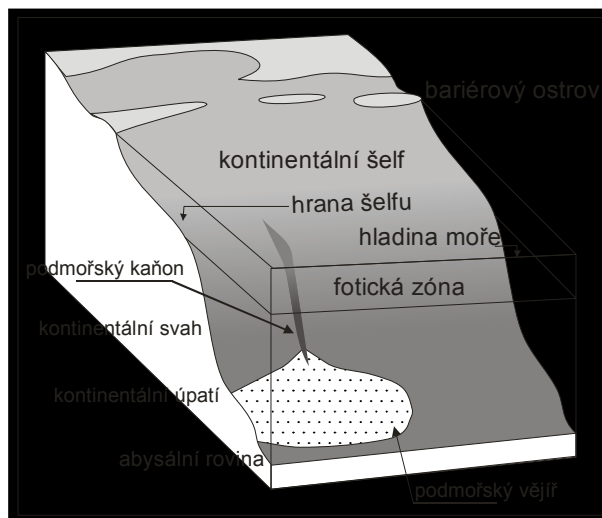


Fig. 2.8 The Belize carbonate rimmed shelf. (A) Map showing shelf-margin barrier reefs and reefs around isolated platforms (Lighthouse and Glovers Reefs and Turneffe Island). (B) Sketch cross-section from a seismic profile showing development of modern reefs upon pre-existing topographic highs of Pleistocene limestone. After James & Ginsburg (1979).



# Hlubokomořské prostředí



## Procesy resedimentace a facie

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

Procesy sedimentace a facie

### Bahnotky, úlomkotoky

**Binghamovské plastické látky**, soudržné

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

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

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

### Turbiditní proudy

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

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

**Ukládání:** zpomalení proudu

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

### Sesuvy, skluzy

Elastické pevné látky, turbulentní pohyb, laminární pohyb

**Ukládání:** zmírnění sklonu svahu

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

### Zrnotoky

Nesoudržné, převýšení prahového sklonu svahu, turbulentní pohyb

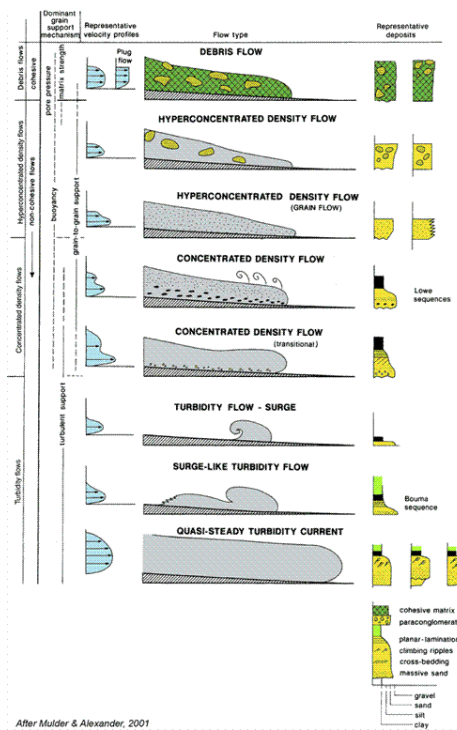
**Ukládání:** zmírnění sklonu svahu

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

Grain Size		Bouma (1962) Divisions	Interpretation
Mud	$T_{ep}$	Pelite	Pelagic sedimentation
	$T_{ef}$	Massive or graded Turbidite	fine grained, low density turbidity current deposition
Silt		Upper parallel laminae	? ? ?
	$T_c$	Ripples, wavy or convoluted laminae	Lower part of Lower Flow Regime
Sand (to granular base)	$T_b$	Plane parallel laminae	Upper Flow Regime Plane Bed
	$T_a$	Massive graded	(?) Upper Flow Regime Rapid deposition and Quick bed (?)

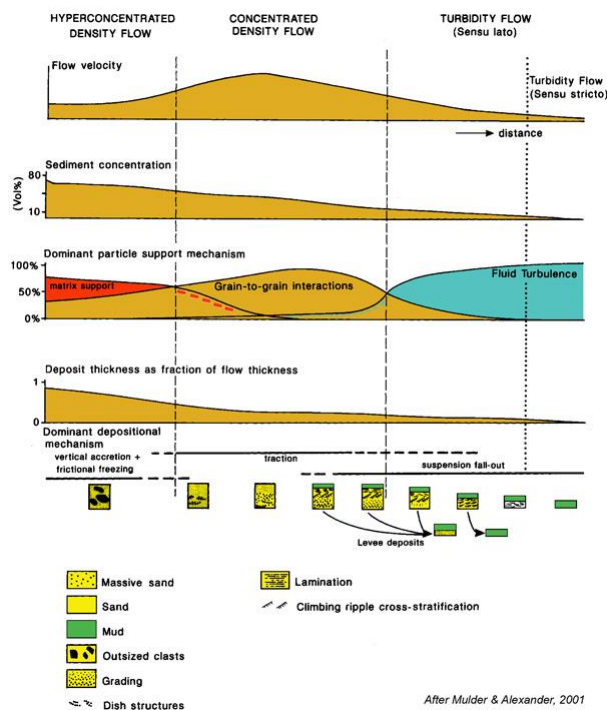
# Gravitační toky a jejich produkty

- Úlomkotoky (debris flows)
- Hyperkoncentrované hustotní toky
- Turbiditní proudy
- Kvazistabilní turbiditní proudy



## Vývoj gravitačního toku a proximálně – distální vztahy

- rychlost toku
- koncentrace sedimentu
- mechanismus pohybu částic sedimentu
- mocnosti sedimentu



## Faciální modely sedimentů gravitačních toků

- Boumova sekvence



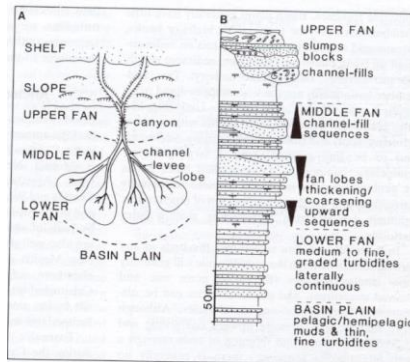
## Podmořský vějíř

Prostředí sedimentace:

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

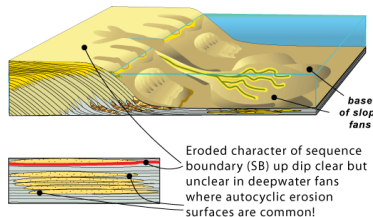
Procesy sedimentace: progradace vějíře (do nadloží: distální -> proximální)

- Svahový osyp
    - Svrchní svah (proximální, úlomkotoky, hrubozrnné turbidity, sesuvy, skluzy)
    - Spodní svah (distální, jemnozrnné turbidity)
- Procesy sedimentace: progradace osypu (do nadloží: distální -> proximální)



DEEPWATER SEQUENCE STRATIGRAPHIC MARKERS

Sequence boundaries don't work in deepwater



## Podmořský vějíř s bodovým zdrojem sedimentu

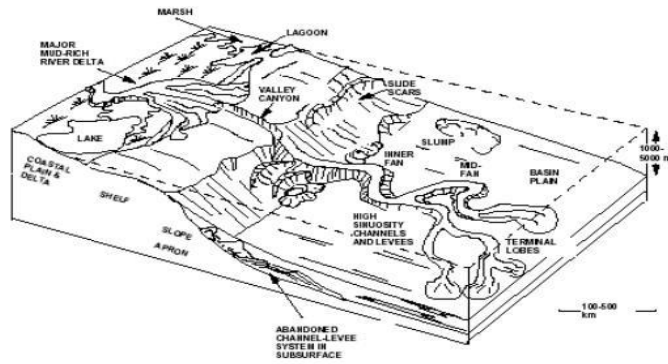


Figure 3—Depositional model for a point-source mud-rich submarine fan.





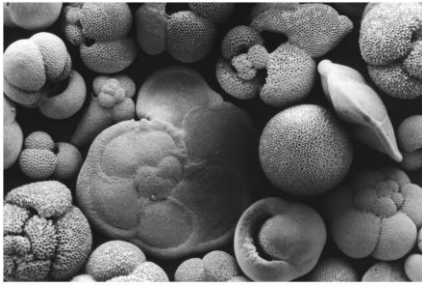




# Pelagické prostředí

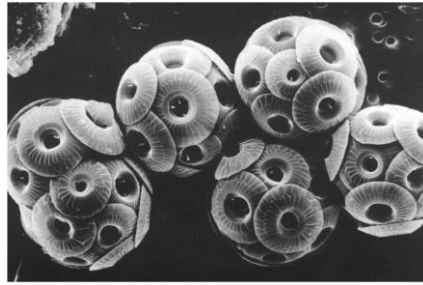
- Pelagické sedimenty:
  - > 95% materiálu ze suspenze (spad z vodního sloupce)
    - Karbonátový materiál biogenního původu - planktonní a nektonní organismy
    - Eolický materiál (zrnka Q siltové frakce)
    - Kosmogenní materiál (kosmický prach)
    - Vulkanogenní materiál (jílové minerály a zeolity – produkty rozkladu vulkanických hornin oceánské kůry)
  - < 5% terigenního materiálu
- Prostředí vzniku pelagických sedimentů:
  - Oceánské pánve
  - potopené karbonátové platformy a aseismické podmořské hřbety
  - šelfy a intrakratonní pánve





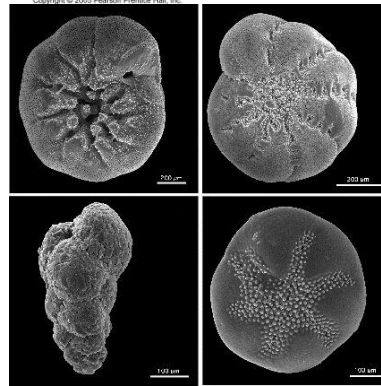
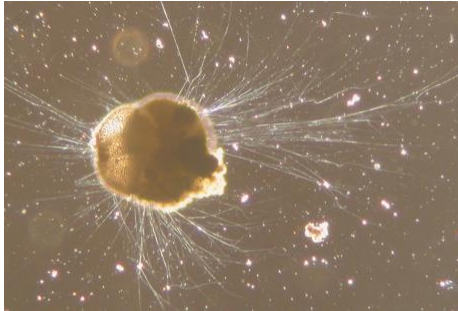
(c)

Copyright © 2005 Pearson Prentice Hall, Inc.



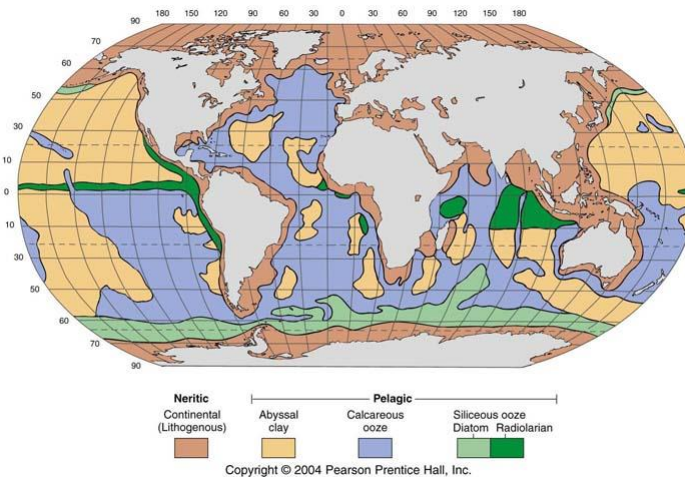
(a)

Copyright © 2005 Pearson Prentice Hall, Inc.



## Typy pelagických sedimentů

- Abysální jíly
- Vápnité pelagické sedimenty
- Křemité pelagické sedimenty
- radiolarity

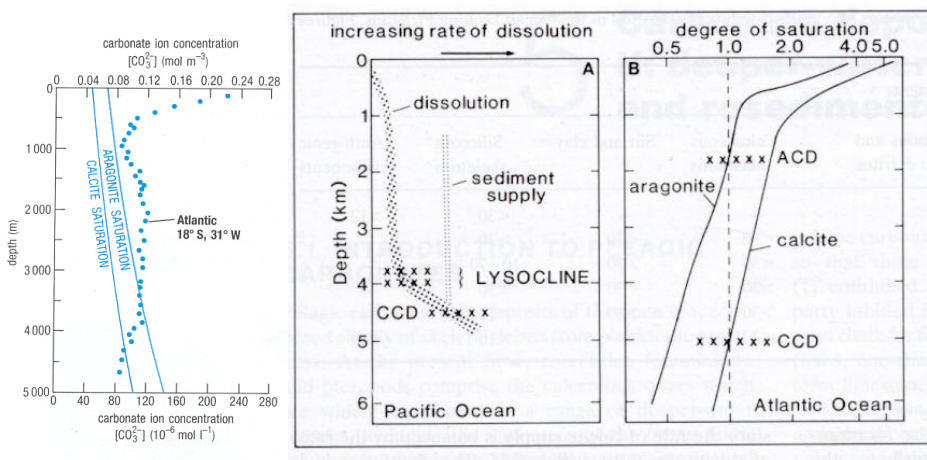


## Faktory limitující pelagickou karbonátovou sedimentaci

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

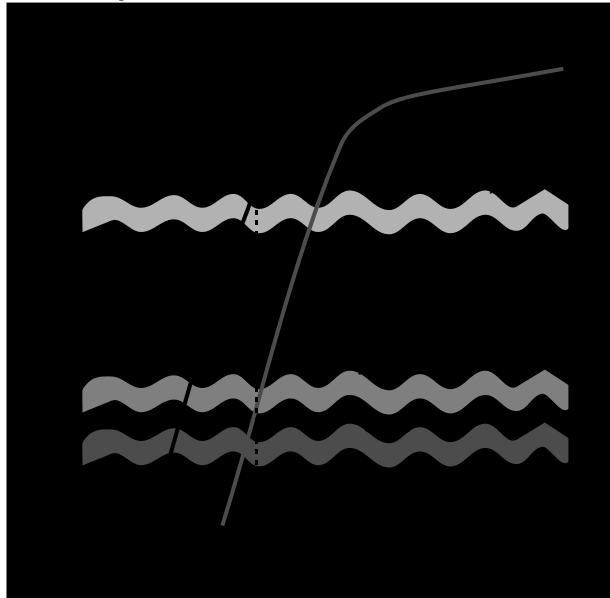
### Hloubka moře 2: ACD, lysoklina a CCD

- **CCD (karbonátová kompenzační hloubka):** rychlost rozpouštění > rychlost sedimentace kalcitu
- **ACD (kompenzační hloubka aragonitu):** rychlost rozpouštění > rychlost sedimentace aragonitu
- **Lyzoklina:** rychlost rozpouštění rychle vzrůstá





# Lyzoklina a CCD



## Fluviální prostředí: dělení podle spádové křivky

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

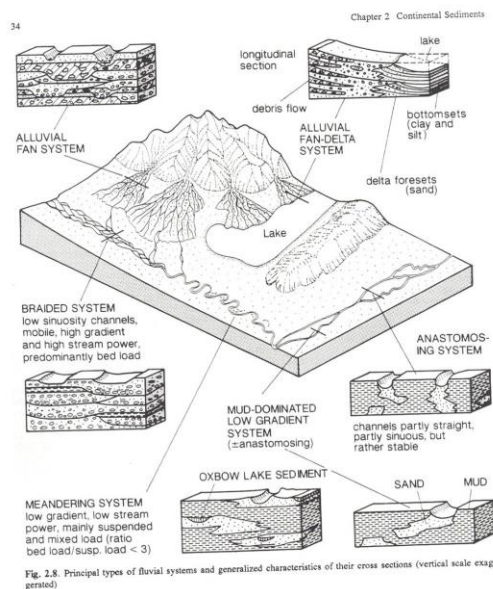
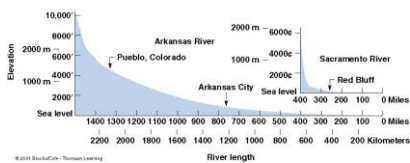


Fig. 2.8 Principal types of fluvial systems and generalized characteristics of their cross sections (vertical scale exaggerated)

# Aluviální vějíř

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

## sedimentace z vodních toků

- dobře vyříděné šterky a pisky
- výmolevé šikmé zvrstvení
- čeřinovým zvrstvením

## sedimentace z gravitačních toků

- **úlomkotoky** a **bahnokoky**
- **netříděné** směsi balvanů, šterku, pisku a jilu
- okrajové poklesové zlomy
- **obrovské mocnosti sedimentu** (10 km více).

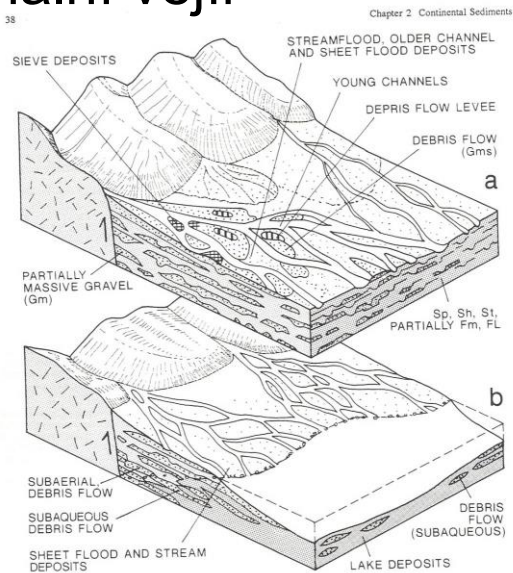


Fig. 2.11. Simplified facies models of a alluvial fan (proximal to mid fan region) and b fan delta. See Table 2.1 for explanation of symbols

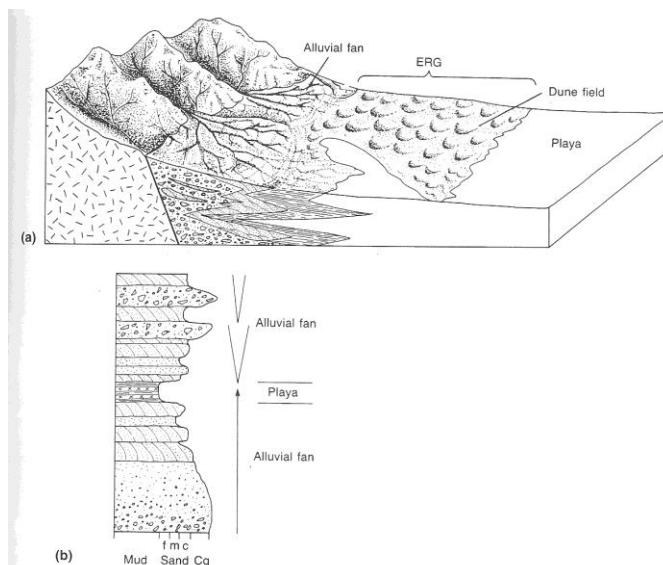


Figure 15.2

Sketch of the desert environments—aluvial fan, erg, and playa (a), with diagrammatic section through the fan-playa section (b). Angular fragments show diamictite and fanglomerate. Long Vs at right show coarsening upward sections. Arrow shows fining upward sequence.



## Meandrující řeka

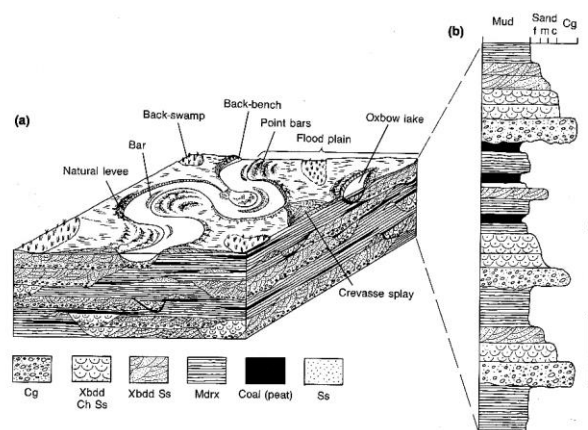
- Zákruty (**meandry**)
- odchylovací síla zemské rotace - **Coriolisova síla**
- rozšiřovány **boční erozí** - odstředivou silou vody

morfologické tvary a facie

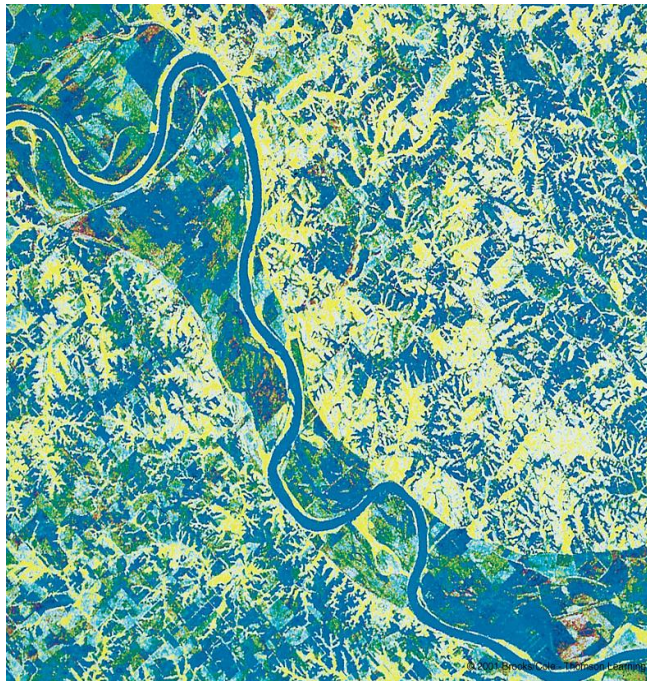
- **říční korvto** - ukládání reziduálních štěrků
- **jesepní val** - pisky s šikmým zvrstvením – laterální akrece
- **niva** někdy s močály silt, jílu, organické zbytky (záplavy vertikální akrece).

**Migrace meandrů**

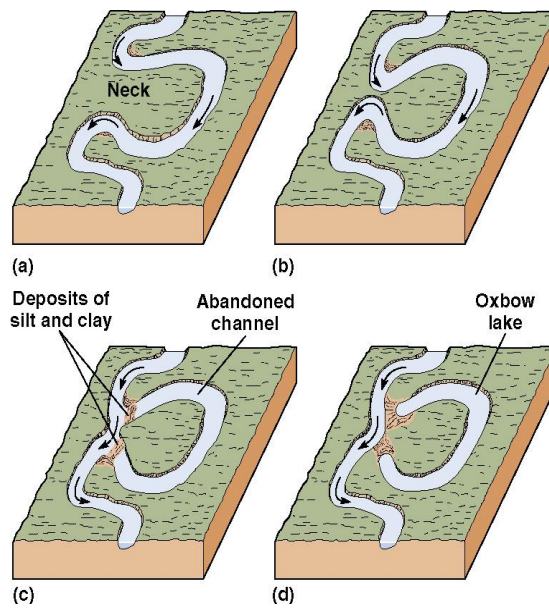
- **nahoru zjemňující cykly**



**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)



## 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

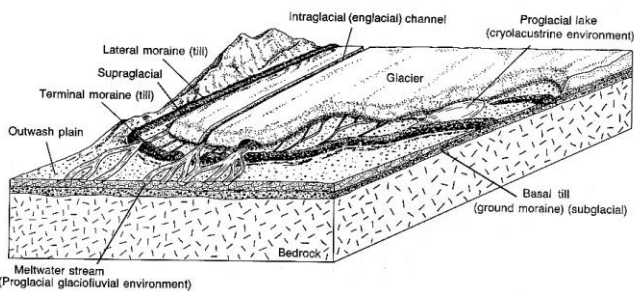
**Proglaciální prostředí:**

odtok tavných vod  
 zvrstvené šterky a pisky

**Glacilakustrinní prostředí**

jednozrnné sezónně laminované sedimentů – **varvity**  
 sezónní odtávání ledovce  
 v zimě: jemnozrnnější laminy s množstvím organického materiálu  
 v létě: laminy hrubozrnnějšího 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) ostrovni bariéry

## Delta

### Procesy

- zpomalení až zastavení proudu řek
- akumulace sedimentu

### Morfologie

- Deltová platforma  
Hrubozrná klastika, šterky – píský, šikmé zvrstvení, meandrující řeka, organické zbytky, močály
- Svah delty  
Silt, jíly, marinní – brakická fauna
- prodelta  
Jíly, marinní fauna, turbidity
- Progradace delty:  
Regresivní sekvence

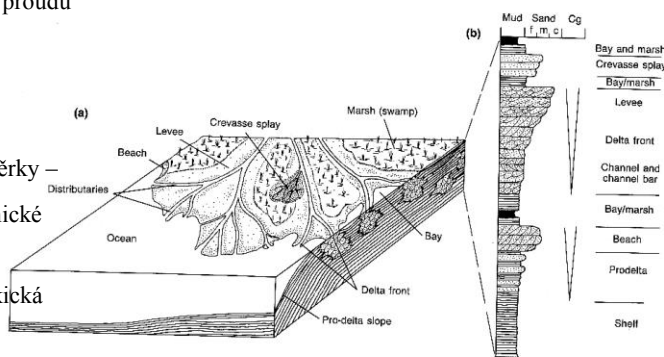
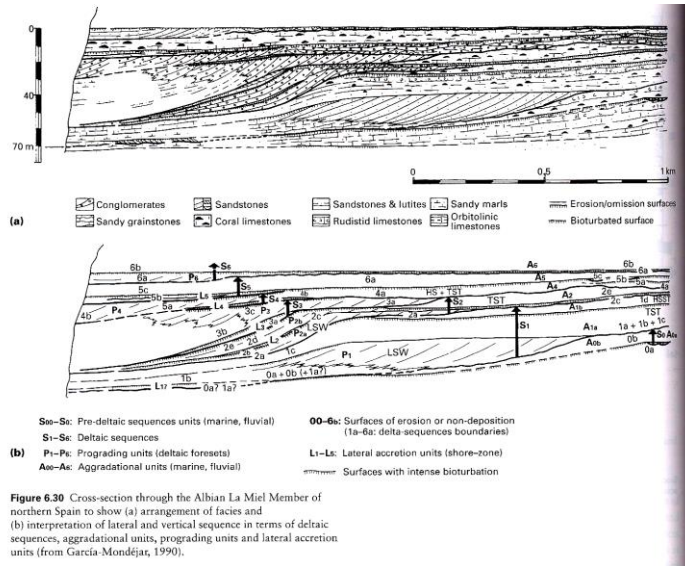


Figure 15.6  
Sketch showing simple deltaic environment (a) and columnar section (b). Note crevasse splay, distributaries, delta front, and prodelta slope. In (b), large Vs show coarsening upward sequences.

# 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 hrubnější sled** od bazálních jílu prodělty, siltů a jílu deltového svahu až k pískům, siltům, jílovcům a uhlonosným sedimentům deltové platformy. Nahoru hrubnější cykly se vertikálním průřezu často opakují, což je způsobeno plynulým poklesáváním delty v důsledku přetížení přinášeným sedimentem.



# Pobřeží

- Báze vlnění
- Báze bouřkového vlnění

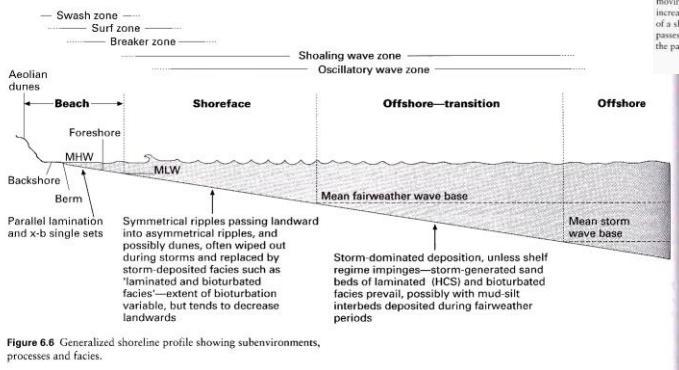


Figure 6.6 Generalized shoreline profile showing subenvironments, processes and facies.

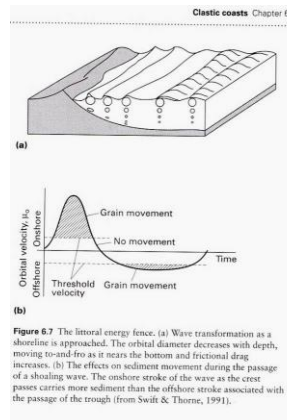


Figure 6.7 The littoral energy fence. (a) Wave transformation as a shoreline is approached. The orbital diameter decreases with depth, moving to-and-fro as it nears the bottom and frictional drag increases. (b) The effects on sediment movement during the passage of a shoaling wave. The onshore stroke of the wave at 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**  
jemnozrnny materiál: jsou od vysokoenergetického prostředí pláží chráněny komplexem ostrovů.

### Facie:

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

### Progradace ostrovní bariéry:

Regresivní sekvence

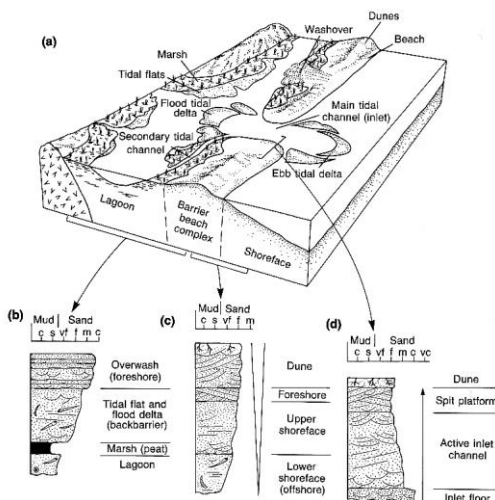


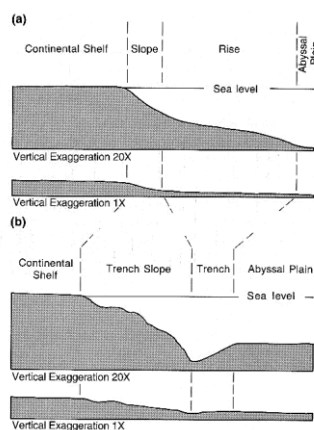
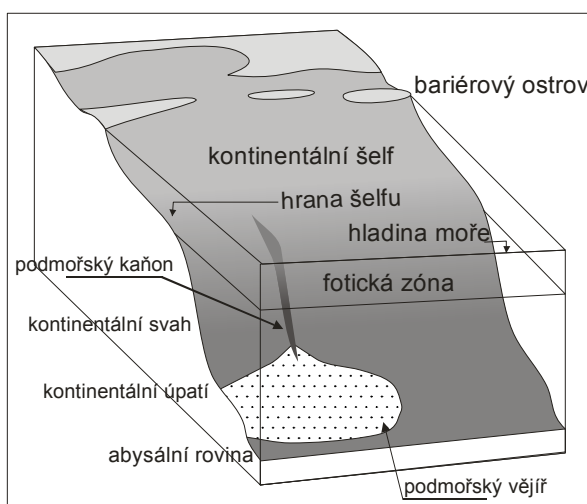
Figure 15.7 Sketch showing littoral and related environments, and representative stratigraphic sections of a coastline with a barrier beach complex. (a) Block diagram showing various subenvironments (modified from Reinson, 1984). (b) Stratigraphic section of the back-barrier region. (c) Stratigraphic section of dune-foreshore-shoreface area. (d) Stratigraphic section of the tidal inlet area.

(Source: (b)-(d) from Herson et al., 1984.)

# Marinní prostředí

šelf	s převahou bouřkové činnosti s převahou příливо-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 Burik, 1974; Cook, Field, and Gardner et al., 1982). (b) Active margin.

# Šelfy

## šelfy s převažujícím vlivem dmutí (Severní moře)

**písečné hřbety** - rovnoběžně s přílivovými a odlivovými proudy  
tríděné 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, zvrhí jej do suspenze a opětovně ukládá.

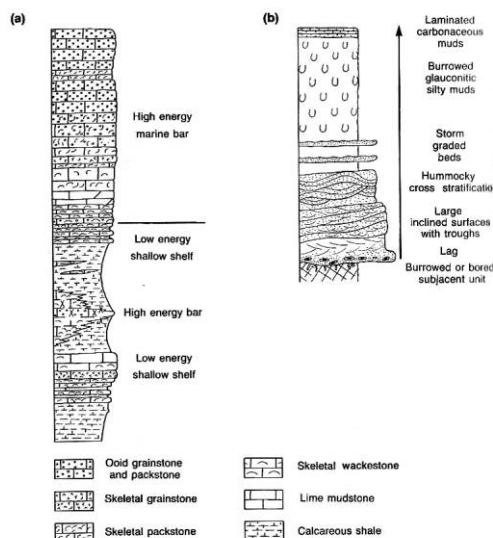
**erozní výmoly** na bázi vrstev

**gradační zvrstvení**

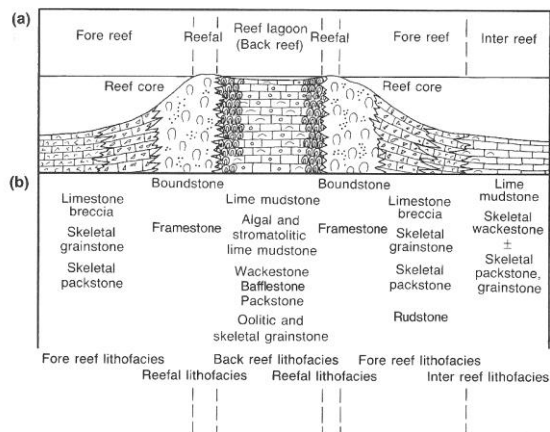
**hřbitkovité zvrstvení** neboli **HCS**

(hummocky cross stratification – speciální typ vlnových čerín)

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



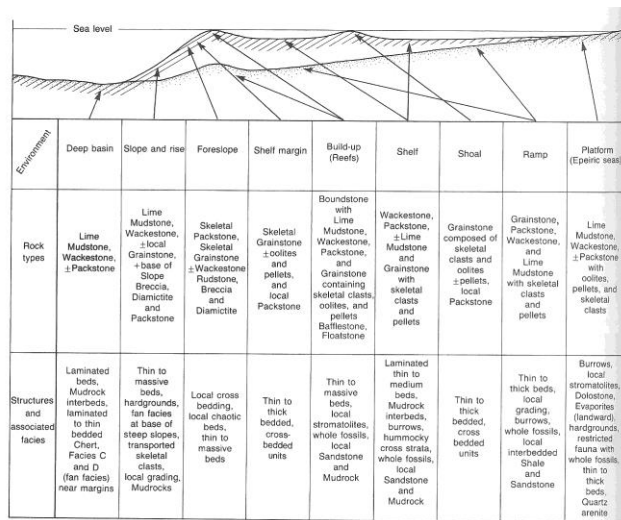
## Karbonátová sedimentace: útesy



**Figure 15.12**

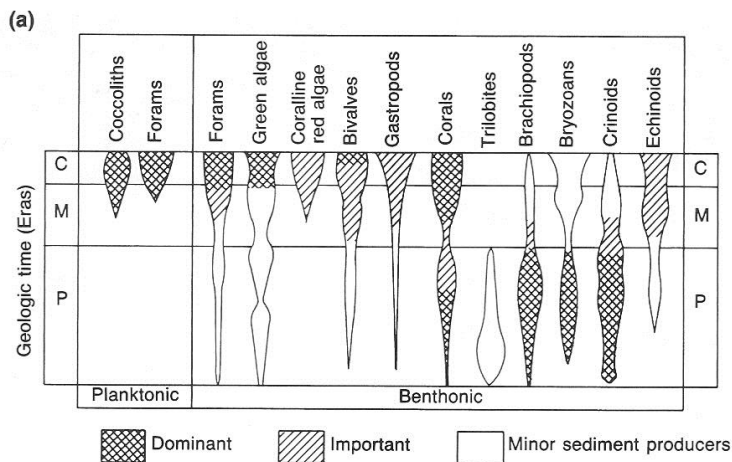
Reef environments and facies. (a) Schematic reef model showing positions of subenvironments. (b) Rock types and lithofacies common in reef subenvironments. Sketch assumes vertical growth of reef. Migration to right or left would superpose various rock types, one upon another. Rock symbols as in figure 15.11. Boundstone and stromatolite symbols added here.

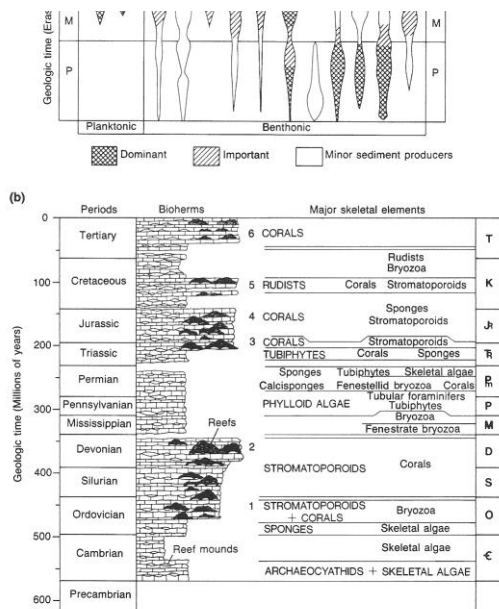
(Source: Based in part on Enos and Moore, 1983; N. P. James, 1983, 1984a, 1984b, 1984c.)



**Figure 19.4**  
 Diagram showing some characteristics of the nine major marine environments of carbonate rock formation. Slashes and dots highlight depositional surfaces of two possible margin shapes.  
 (Source: Based on J. L. Wilson, 1975, and J. F. Read, 1980a.)

## Hlavní skupiny producentů CaCO<sub>3</sub> ve fanerozoiku





**Figure 19.2**  
 Illustrations of changes in abundances and dominance of marine, calcareous skeletal-producing organisms over time. (a) Variations in abundance and dominance of various groups of organisms (b) Dominant reef-forming organisms during various Phanerozoic periods.  
 (Source: (a) After Wilkinson, 1979; (b) After James, N. P., 1983.)

## Podmořský vějíř

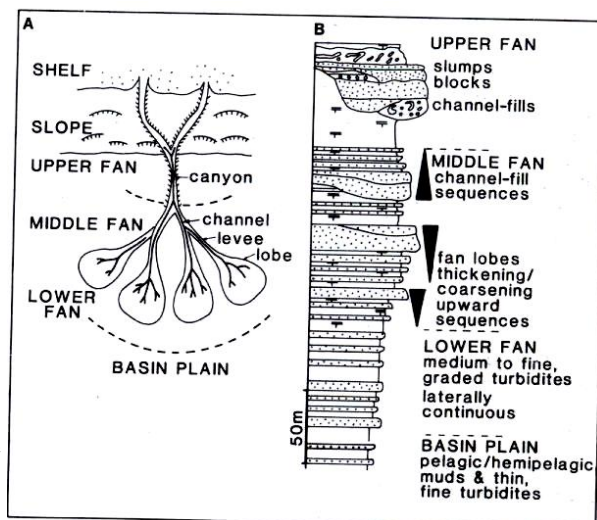
Prostředí sedimentace:

- 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



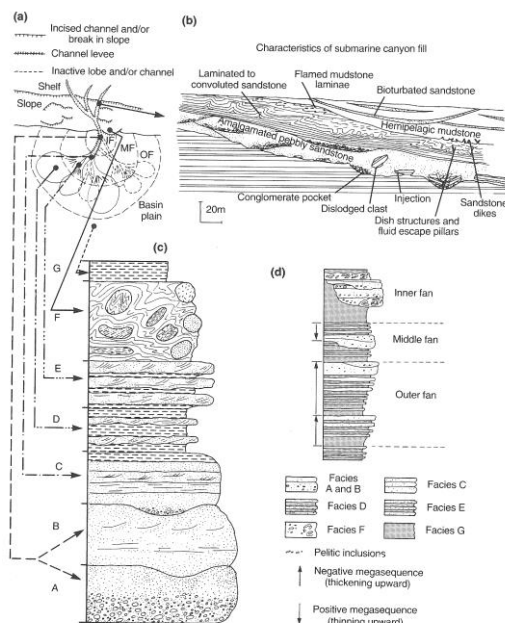


Figure 15.13

Submarine fan with channel and fan lithofacies. (a) Map view of model submarine fan (after Ricci-Lucchi, 1975; modified from Ingersoll, 1978c). (b) Submarine canyon fill (from May, Warme, and Slater 1983). (c) Section showing Mutti and Ricci-Lucchi submarine fan facies A through G (based on Mutti and Ricci-Lucchi, 1972, 1975; Ingersoll, 1978c). (d) Idealized stratigraphic section through a submarine fan (redrawn from Mutti and Ricci-Lucchi, 1972).

## 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

