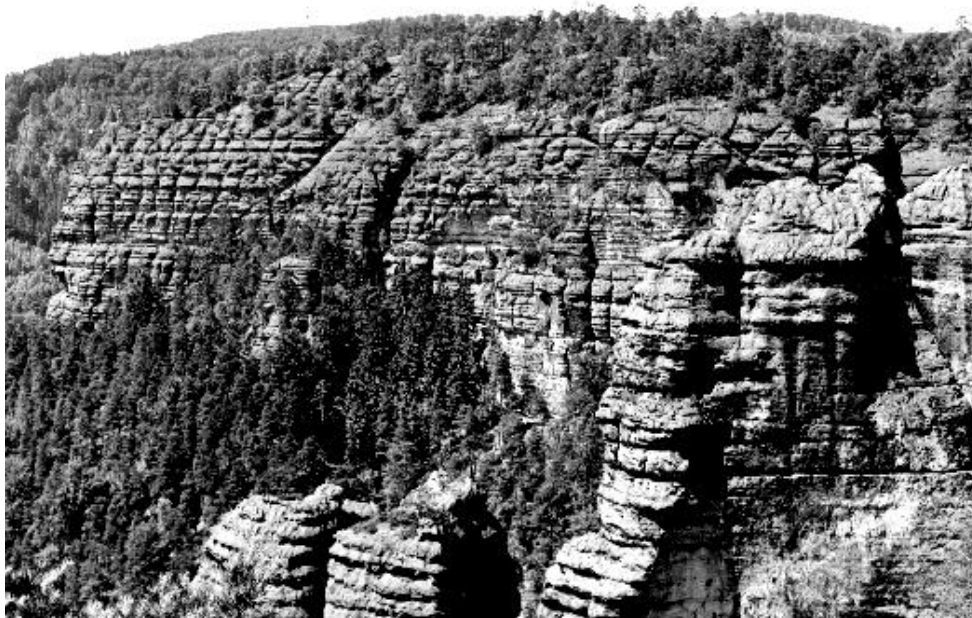


## 6. Úvod do sedimentární petrografie a petrologie (sedimentologie)



*Vrstevnatost křídových pískovců. Děčínské skály v Národním parku Česko-saské Švýcarsko.  
Foto J. Svoboda.*

Petrologie sedimentárních hornin se zabývá procesy vedoucími ke vzniku usazených hornin na zemském povrchu. Na těchto procesech se podílí litosféra, hydrosféra, biosféra, atmosféra a v neposlední řadě i technosféra. Jde zejména o sled těchto procesů:

- zvětrávání a eroze, pouze tyto procesy se podílí na vzniku reziduálních hornin
- transport materiálu (sedimentace) v sedimentačním prostoru z transportujícího média
- diagenese (zpevnění) usazených hornin

Při všech těchto pochodech dochází k významné diferenciaci podle chemických a fyzikálních zákonů. I když všechny tyto změny nemusí mít jednotný trend, výsledkem je velmi výrazná chemická a fyzikální diferenciacie litosféry, která se projevuje i při recyklování těchto hmot v ostatních petrologických procesech (metamorfóze, anatexi, vzniku magmatu).

Z tohoto hlediska bývá určována zralost sedimentů. Ta je definována jako stadium ve vývoji klastických sedimentů směřujícím ke konečnému jednotnému sedimentu. Je výsledkem intenzity a trvání zvětrávacích pochodů ve zdrojové oblasti, délky transportu klastického materiálu a opakování sedimentačních procesů (resedimentace).

Rozlišujeme zralost strukturní, mineralogickou a chemickou. Strukturní zralost se projevuje nejprve nedostatkem pojiva a pak dokonalým zaoblením zrn. Mineralogická zralost je charakteristická přítomností nejstabilnějších složek, tj. nejzralější sedimenty jsou tvořeny výhradně křemenem a stabilními těžkými minerály. Chemická zralost se projevuje vysokým obsahem stabilních oxidů, tj.  $\text{SiO}_2$ ,  $\text{Al}_2\text{O}_3$ ,  $\text{TiO}_2$  a  $\text{K}_2\text{O}$ . Dobrým kritériem pro posouzení chemické zralosti je poměr  $\text{Al}_2\text{O}_3 / \text{Na}_2\text{O}$ , tj. nejstabilnějšího oxidu k nejméně stabilnímu. Sedimenty dělíme obvykle na nezralé, středně zralé a zralé. Typickým nezralým sedimentem je např. silně polymiktní droba, typickým zralým sedimentem křemenný pískovec.

## 6.1. Zvětrávání

Jako zvětrávání se označuje soubor procesů, jimiž se horniny svrchní části litosféry přizpůsobují podmínkám interakce litosféry, atmosféry, hydrosféry, biosféry a technosféry. Podílejí se na nich atmosféra zejména na souši, tj. klimatické podmínky, geologické endogenní (tektonika) i exogenní (činnost organismů a člověka) podmínky a hydrosféra. Ta se významně uplatňuje při podmořském zvětrávání, halmyrolýze.

*Mechanické zvětrávání* je způsobeno fyzikálními činiteli, hlavně tlakem a teplotou. Tlak vzniká zvětšováním objemu při krystalizaci ledu nebo novotvořených minerálů, zvětšováním objemu podzemních částí rostlin, působením vody (příboj, příliv, vodopády, obr. 6.4.) a činnost člověka (např. orba). Dochází při něm k rozrušování a rozduřování pevných hornin.

*Teplota:* K rozrušování hornin dochází také podle rozdílů v tepelných vlastnostech hornin a nerostů, které je tvoří: odlupování povrchových částí, roztahování skel, růst novotvořených minerálů o větším objemu. Kolísání teploty je výsledkem interference teplot různého původu: vnitřního tepla Země, tepla uvolňovaného při radioaktivním rozpadu, tepla uvolňovaného při exotermních reakcích životní činnosti bakterií a tepla slunečního záření.

*Chemické zvětrávání:* základní podmínkou je přítomnost vody, která ovlivňuje dva základní pochody:

- *hydrolyza*, při níž atmosférický vodík  $\text{H}^+$  reaguje s alkalickými zeminami, kaliem a natriem a také kalcium horninotvorných minerálů, které se tím rozkládají,
- *hydratace* (a dehydratace) při níž vodík s kyslíkem vytváří molekulu, která se ovšem při zvýšení teploty snadno vytěsňuje. Důsledkem hydratace je změna objemu, což způsobuje rozpad nebo naopak zpevnění zvětralin, vznik trhlin apod.
- Z dalších pochodů jsou nejdůležitější:
- *oxidace* vzdušným kyslíkem, uplatňující se např. při zvětrávání sulfidů. Dochází k destrukci minerálů obsahujících prvky, které se slučují s kyslíkem (Fe, Mn, U, V)
- *působení kyselin*, které jsou dvojího původu, jednak kyseliny produkované půdními organismy, jednak kyseliny humózní, vznikající při tlení a hnití organického materiálu. Kromě kyselin rostliny vytváří i další látky, zejména enzymy, které obsahují půdní minerály
- *iontová výměna*: v kyselém prostředí ion  $\text{H}^+$  vstupuje do jílových minerálů místo  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{K}^+$  a  $\text{Mg}^{2+}$
- *činnost člověka*: výrazné změny procesů zvětrávání jsou způsobeny člověkem nepřímo okyselením atmosféry a kyselými dešti, případně dalšími zplodinami, zejména ve městech

- *podmořské zvětrávání* za spolupůsobení mořské vody se nazývá halmyrolýza. Vznikající minerály závisí i na hloubce, ku příkladu do hloubek kolem 700 m vzniká již z minerálů obsahujících železo a hořčík (hlavně s biotitem) glaukonit.

Při chemickém zvětrávání jsou horniny i horninotvorné minerály rozpouštěny. V obou případech jsou rozpouštěny nejprve nerovnosti, rohy a hrany a nakonec plochy. Vznikají tak v přírodě běžné zaoblené tvary. Podmínky jsou při tom opačné než při krystalizaci magmatu, takže Bowenovo schéma platí v obráceném sledu: při zvětrávání jsou nejstabilnější minerály, které vznikají za nejnižších teplot (křemen), nejdříve zvětrávají ty, které vznikly za teplot nejvyšších.

Vznik jílových minerálů a rozpouštění závisí na rozdílných podmínkách pH a rozdílném chování dvou hlavních složek hornin  $\text{SiO}_2$  a  $\text{Al}_2\text{O}_3$ . Rozpustnost  $\text{SiO}_2$  se zvyšujícím se pH zvyšuje, zatímco rozpustnost  $\text{Al}_2\text{O}_3$  je vysoká především při nízkých a vysokých hodnotách pH prostředí (obr. 6.1.). V podstatě tak vzniká podle intenzity chemického působení sled :

- mechanické (klastické) zvětrávání →
- kalcifikační sialitové zvětrávání (odnos Cl, S a alkalická reakce) →
- silikátová zvětrávání (kyselé reakce, odnos K, Na) →
- alitové zvětrávání, při němž jsou za spolupůsobení rostlin uvolňovány oxidy trojmocných kovů a křemen.

Podle podílu těchto procesů můžeme rozlišit dvě hlavní skupiny reziduálních hornin:

- a) horniny v nichž je do určité míry zachované chemické složení, včetně poměru izotopů (lze např. určovat i stáří izotopovými metodami), k nim patří např. vznik půd, eluvií, kamenných moří a zvětralinových pláštů vůbec
- b) horniny, jejichž chemické složení bylo podstatně změněno odnosem, např. laterity, červenozemě (terra rosa), reziduální hlíny a vznik krasu.

Z hlediska tvorby půd je důležitá rychlost jejich vzniku. Podle Kukala (1983) je průměrná rychlost tvorby půd ve středoevropském mírném pásu 1 - 2 cm/ 100let, na pevných horninách však to může trvat i desetitisíce let. To znamená, že u nás rychlost eroze je o řád vyšší než rychlost tvorby půd a že proto půdy zasluhují nejpřísnější ochranu a je nutné realizovat všechna opatření ke snížení jejich eroze.

Intenzita zvětrávání je funkce  $I_w = R, E_s, A+H, E_m, T$

$I_w$  - intenzita zvětrávání, R - složení a vlastnosti hornin,  $E_s$  - množství přijaté solární energie a klima, A - atmosféra, H - hydrosféra,  $E_m$  - energie tektonických a jiných pohybů, T - časová délka působení všech faktorů. Antropogenně ovlivněny jsou hlavně A a H. Vliv klimatu násobí agresivita vody, která je pro chemické zvětrávání (korozi) rozhodující, působí hydratačně a hydrolyticky a roste se změnou pH s obsahem solí v roztoku. Vznikají sádrovec, mirabilit, halit, nitrohalit, nitronatrit a při jejich růstu krystalické tlaky až  $10^2$  Kbar.

Česká norma (ČSN 72 1001) rozlišuje podle stupně zvětrávání:

- *zdravá hornina*, v níž žádný z minerálů není postižen zvětráváním,
- *navětralá hornina*, část minerálů byla postižena zvětráváním, přičemž zdravé se navzájem dotýkají,
- *zvětralá hornina*, většina minerálů byla ovlivněna zvětráváním a zdravé se navzájem nedotýkají,
- *rozložená hornina*, nabyla zvětráváním ráz zeminy.

## 6.2. Reziduální horniny

Při zvětrávání vznikají za starších hornin na místě reziduální horniny. Jsou to různě staré zvětrávací kůry. Podle geneze rozlišujeme rezidua klastická a chemogenní (cementační).

**Klastická rezidua** jsou tvořena odolnými úlomky hornin nebo odolnými vůči zvětrávání minerály původních hornin. Podle velikosti zrna rozlišujeme:

1. **Úlomkovitá rezidua**: kamenná též skalní moře (u nás vznikla v ledových dobách, v současnosti vznikají v arktických podmínkách). Reziduální brekcie v archaiku (Kanada, Norsko) se označují jako regolity. Podle tvaru se odlišují kamenné řeky a kamenné proudy (granitové na Šumavě, rulové na Sněžce, pískovcové v Broumovských stěnách, drobové u Domášova). Velikost částic nad 256 mm.

2. **Štěrková rezidua:** velikost částic 2 – 256 mm
3. **Písková rezidua:** velikost částic 0,062 – 2 mm
4. **Jílová rezidua:** velikost částic pod 0,062 mm

Nejdůležitější a nejrozšířenější reziduální horniny na zemském povrchu jsou půdy. Zabývá se jimi vědní obor pedologie (půdoznalství), jehož terminologické zásady jsou poněkud odlišné od petrologických. Rozlišuje se *půdní druh* určený zrnitostí (půdy písčité, jílovitohlinité, hlinité, jílovité), *půdní typ* je vývojové stadium půdy, závislejících na podmínkách zvětrávání a složení mateřské horniny (např. černozem, hnědozem, podzol, glej, rendzina bohatá CaCO<sub>2</sub> apod.). Soubor půdních horizontů vytváří *půdní profil* na svislém řezu kůrou.

#### **Chemogenní (cementační) rezidua**

Chemogenní rezidua vznikají převážně chemickým zvětráváním a s ním spojenými chemickými přeměnami původní horniny. Patří k nim:

1. **kaolin:** vzniká v teplém vlhkém klimatu převážně z kyselých vyvřelin, granitů, ryolitů nebo z hornin obdobného složení (z arkóz)
2. **montmorillonity a bentonity** vznikají z bazických vyvřelin a jejich tufů
3. **laterity** vznikají ve velmi vlhkém a teplém klimatu ve velmi bazických půdách (pH 11), z nichž je odnášen křemen a většinou i hydroxidy železa. Jsou obohaceny o hliník a někdy i o železo.
4. **caliche** vzniká v polosuchém klimatu, obohaceném o zvětraliny, karbonáty, zejména CaCO<sub>3</sub>

**Pouštní krusty** (durikrusty) se rozlišují podle složení: saltkrusty (zpevněné soli), gypkrusty (sádrovcem nebo anhydritem) a kalkkrusty jsou nejčastěji zpevněné CaCO<sub>3</sub>. V aridním klimatu vznikají hlavně saltkrusty, ostatní v teplém semiaridním. V teplém humidním klimatu vznikají ferikrusty, alkkrusty, silkrusty a v mírně humidním zvětrávané Fe kůry (křemže), železivce (speciální odrůdy železivců jsou tzv. bechyňské koule).

### **6.3. Eroze**

Eroze čili vymílání je rozrušující mechanický pochod na povrchu litosféry, způsobený pohybem vody, ledu a proudícího vzduchu (větru) a jimi unášenými částicemi. Hlavním projevem eroze je vymílání, koroze a obrušování, abraze. Voda způsobuje též erozi chemickou (např. vznik krasových jevů). Rozlišuje se normální eroze za neporušených přírodních podmínek a eroze abnormální, při níž nastává rychlý, někdy až katastrofický odnos půdní vrstvy, zpravidla způsobená člověkem (zemědělství, turistika, obr. 6.3.).

Příčinou eroze je tíže (kdyby pohyby zemské kůry neovlivňovaly reliéf, zastavil by se celkový odnos na souších na úrovni 250 m n.m.).

Eroze je úměrná proudící hmotě  $m$  a rychlosti  $v$ :

$$E = \frac{m \cdot v^2}{2}$$

*Vodní eroze* je způsobena deštěm (dešťová eroze), tekoucí vodou (eroze říční) nebo jezerní a mořskou vodou.

*Eroze glacigenní* je v podstatě typu exarace, brázdění, které převládá u vysokohorských ledovců kdy přetváří profil údolí, jimiž se sunou splazy, z původního typu V na typ U uzavřený kotlovitým závěrem, karem. Tak vznikly ku příkladu norské fjordy. U pevninských ledovců převládá odlamování (detrakce) a obrušování (deterze).

*Eroze větrná* zahrnuje deflací (větrný odnos) a větrnou korozi, t.j. obrušování větrem. Deflace v našich podmínkách nemá větší význam, zejména tam, kde je zachován rostlinný kryt. U nás se pohyblivé písky vyskytují v Polabí, jižních Čechách a na Moravě, kde byly v polovině 19. století vysázeny k jejich zpevnění borovicové lesy na území tzv. „Moravské Sahary“ mezi Strážnicí, Bzencem a Rohatcem. Dnes se tyto písky těží na místní výrobu bílých cihel. I tak se na cestách, silnicích a zoraných polích zvedá prach a je přenášen jinam, často na značnou vzdálenost. Saharský prach je např. běžně zanášen do našich zeměpisných šířek v závislosti na klimatických periodách zpravidla v třicetiletých intervalech, mohutné spráše v Číně vděčí za svůj vznik deflací z pouště Gobi.

*Eroze dešťová.* Dešťové kapky uvolňují z půdy částice různého průměru, které jsou na svazích odplavovány a nastává ronový splach, ron. Podle povahy deště, zemin a podle vlastností svahu nastává buď plošný splach nebo vymílání, čili eroze různého stupně - stružková, brázdová a stržová. Zvýšení acidity zesiluje účinky deště a vyplavování prvků z půdy.

*Říční eroze* je svislá (vertikální) a boční (horizontální). Svislá eroze prohlubuje koryto, boční eroze působí horizontálně proti nárazovému břehu, který je podemílán a rozrušován.

Příkladem rozsahu říční eroze jsou změny koryta některých řek. Ku příkladu Žlutá řeka od 13. do 19. století několikrát změnila ústí, zpočátku ústila do moře asi o 700 km severněji, při katastrofických záplavách v roce 1889 přeložila ústí daleko k jihu a musela být po několika letech uměle přeložena do starého koryta. Berounka původně ústila do Vltavy přímo ve Zbraslavi a její dnešní ústí vzniklo za povodně v roce 1829.

K říční erozi patří i podzemní vyluhování (vznik krasu) a sufózní pohyby. Jako sufózní se označuje podzemní eroze vodou prosakující z povrchu a cirkulující v propustných horninách. Vznikají prohlubně podobné krasovým závrťům, ve spraších (Jičín, Hrubá Skála, Mnichovo Hradiště) v eluviu u Manětína a závrťové prohlubně na Sokolovsku ve stáredelských pískovcích. Labe odnáší z České kotliny ročně přes 900 000 tun pevného, většinou nerozpustného materiálu.

*Jezerní eroze:* Pobřeží jezer může být jednak akumulací se sedimentací říčního materiálu, jednak erozivní, výmolné, které je tvořeno nárazy jezerních vln. Ty podemílají břeh a vytváří se tzv. srub, příkrý sráz, pod nímž je nahromaděna drť z podemletých srázů, ta je omílána a současně abraduje podloží účinkem příboje. Z hlediska ochrany životního prostředí mají tyto jevy značný význam hlavně na pobřeží umělých nádrží, přehradních jezer a pod.

*Mořská eroze,* na styku moře s pevninou, je způsobována vlnobitím (nárazy vln hnaných větrem), přílivem a odlivem, mořskými proudy a tsunami. Síla těchto činitelů je obrovská. Vytváří se podemílaný srub a abrazí přibřežní skalní terasy.

Celková eroze je odhadována na 10 cm/1000 let, největší je v Asii, Africe a Severní Americe, nižší hodnoty má Evropa a Austrálie. V menších celcích jsou značné rozdíly, které závisí na vegetačním krytu, nadmořské výšce a stupni ovlivnění člověkem.

V Českém masívu zjistili Pačes a Moldan (1977) v lesních povodích erozi 8,5 - 12,3 mm/1000 let, v hospodářsky obdělávaných 38 - 130 mm/1000 let. V Tatrách dosahuje 86 - 95 mm a v Moravském krasu 25 mm za 1000 let. Asi ze 40 % se na ní podílí sesuvy a bahnotoky.

Přímá ztráta hmoty v našich podmínkách se odhaduje na 500 t.ha<sup>-1</sup>.rok<sup>-1</sup>. Rychlost eroze ovlivňují klimatické a hydrogeologické podmínky (např. srážky, teplota, sluneční svit, odpar, síla větru), územní poměry (tvar svahu, členitost, expozice), půdní poměry (druh a typ půdy, obsah humusu), biologické faktory (vegetační kryt, geologický stav půdy) a hospodářsko-technické faktory, například užívání a obhospodařování půdy, meliorační zásahy, výstavba komunikací a podobně. Zásahy člověka mají čím dále tím větší význam, jen ve 20. století se zvýšily nejméně 3x a lidské ovlivnění tak překrývá všechny ostatní vlivy.

## 6.4. Transport zvětralinového materiálu

Na přenášení materiálu v zóně zvětrávání se podílí fyzikální a chemické faktory hydrosféry, atmosféry, biosféry a technosféry. Rozlišujeme:

- *gravitační transport*, k němuž patří na souši říční skal, sesuvy, mikrometeority a pod vodou bahnotoky a turbiditní proudy, v kůře pak diapiry, zejména solné (obr. 6.10.)
- *transport atmosférou* je dvojitý. Materiál je přenášen jako úlomky (váté písky, sopečné vyvěřeliny, obr. 6.6.), nebo v plynném stavu. Vzduchem migrují prvky uvolněné při sopečných výbuších z magmatu (vodní pára, CO<sub>2</sub>, H<sub>2</sub>S, HCl, kovy ve formě fluoridů), z fumarol (sloučeniny síry), z vrtů (CO<sub>2</sub>, He, metan) a také z energetických (uhelné a geotermální elektrárny) a průmyslových zdrojů (aerosoly těžkých kovů, CO<sub>2</sub>)
- *transport vodou* probíhá:
  - a) ve formě úlomků minerálů nebo hornin buď přímo ve vodním prostředí nebo pohybem po dně (rozlišuje se vlečení, válení a kutálení). Při tom dochází k diferenciaci podle velikosti a podle měrné váhy a k opracování podle fyzikálních vlastností úlomků
  - b) ve formě roztoků buď pravých (karbonáty, sulfáty, chloridy, komplexní sloučeniny jako hydrokarbonáty, bisulfidy apod.), jako koloidní roztoky (ovlivněny elektrolyty, proto jen v říční vodě) nebo gely (v mořské vodě) nebo jako suspenze (např. SiO<sub>2</sub>, humáty železa a manganu)

- *transport ledem* – vznikají netříděné sedimenty tvořící morény, tzv. till. I v tomto případě však dochází k určitému třídění a diferenciaci (obr. 6.5.)
- *transport činností organismů*: k přenosu látek dochází migrací organismů z prostředí kde žijí (biomasou), biologickými procesy (např. redukce sirovodíku anaerobními bakteriemi, diferenciacie izotopů síry, přenos Fe-bakteriemi) a hlavně koncentrací prvků po smrti organismů. Vznikají tak významné skupiny hornin, kaustobiolity, karbonáty (koncentrace hlavně uhlíku), silicity, sulfáty apod.
- *transport činností člověka*: souvisí především s industriální činností člověka, s těžbou a s dopravními a vodními stavbami, výstavbou měst apod. Jeho rozsah a rychlost přesahuje často přírodní procesy. V celé ČR se podle kvalifikovaných odhadů přemístí až 3 miliardy tun zeminy ročně (to je 10 Řípů) a na celém světě více než 100 miliard tun.

V parametrech transportu jsou velké rozdíly. Délka transportu může být nepatrná, v milimetrech, ale i tisíce kilometrů. Transport sopečného popela atmosférou může způsobit po větším výbuchu pokles teploty v důsledku zastínění na celé zeměkouli, ledovcové (eratické) balvany jsou zaneseny až na severní Moravu ze Skandinávie, vltaviny z jižních Čech se Vltavou a Labem dostaly až do Drážďan. Také v množství jsou zásadní rozdíly. Např. Labe unáší 50 mg/l minerálních částic, Žlutá řeka až 500 mg/l.

Podíl jednotlivých způsobů transportu: až 89 % řekami, 7 % ledovci, 0,2 % atmosférou, zatímco podíl organismů a člověka je málo znám.

## 6.5. Usazování (sedimentace)

Základní příčinou usazování je převis gravitační síly nad energií pohybu (snížení rychlosti proudu, větru, ochlazení média, rozpouštění ledu). Rychlost usazování je velmi rozdílná. Ku příkladu v Černém moři se usadí v některých místech 24 cm za 100 let, v jiných vůbec nic. Závisejí to na tektonickém režimu: v oceánském prostředí v průměru 1 mm za rok, nejrychlejší v orogenním stádiu a pak rychlost sedimentace klesá v postorogenním a platformním stádiu. Kromě tektonického faktoru ovlivňují sedimentaci i morfologie pánve, klima (tepelná energie Slunce) a místní prostředí (např. délka transportu, vzdálenost pobřeží, hloubka, pH a eH). V důsledku změn těchto faktorů vzniká charakteristická zonálnost sedimentů a dochází k sedimentární diferenciaci. Ta je dána fyzikálními podmínkami (diferenciacie podle velikosti částic, podle měrné hustoty) nebo chemickými podmínkami (diferenciacie podle rozpustnosti), které ovšem závisí na změnách teploty, pH a eH. Diferenciacie se projevuje v sedimentárních formacích jednak v prostoru, jednak v čase. Vývoj v prostoru je nejčastěji vyznačen „ubýváním“ mocnosti směrem k centru pánve, „ubýváním“ velikosti zrna, změnami v chemizmu (charakteristická je ku příkladu zonálnost Fe---Mn---P směrem k centru pánve), změnami facií sedimentů. Vývoj v čase je charakterizován zvyšováním zralosti, „ubýváním“ velikosti zrna a zvyšováním významu nevratných změn (třídění, změny způsobené úlohou živočichů a změnami způsobenými člověkem).

Jako *facie* se označuje souhrn vlastností sedimentů, vyplývajících z podmínek usazování (rázu sedimentačního prostředí).

*Formace* je paragenetický svazek facií (např. geosynklinální, uhelná, tabulová). Příkladem změny facie může být zjemňování plážových uloženin směrem od pobřeží. Její umístění v prostoru a čase se může měnit: při stoupání hladiny se mění místo ukládání stejných frakcí směrem k pevnině, při poklesu (regresi) směrem do centra pánve. Facie a formace se znázorňují ve faciálních mapách, specializovaných, např. tektofaciálních, litofaciálních či biofaciálních.

### *Prostředí sedimentace*

Soubor geologických, klimatických a biologických podmínek ukládání sedimentů charakterizuje jednotlivá prostředí sedimentace.

#### 1. *Kontinentální prostředí:*

##### *Suchozemské:*

- zvětralinové v mírném pásu, kombinace fyzikálního a chemického zvětrávání a eroze horské
- glaciální: nános morény nebo výplavové uloženiny materiálu vynášeného z ledovce tavnou vodou
- pouštní: málo vody, většinou malá mocnost. Podle složení rozlišujeme pouště skalní a kamenité (Ahagar), písčité (Gobi), tvořené aluviálními uloženinami (šterkové sedimenty,

výplně sníženin a aluviální kužely), tvořené jezerními uloženinami, pouště tvořené sprašemi, pouště s různými aluviálními povrchy a pouště s durikrustou (saltkrusta, gypkrusta, kalkkrusta).

- přímořské roviny
- aluviální plošiny

*Vodní:*

- říční, sladkovodní prostředí, převážně štěrkové uloženiny v údolních nivách řek
- jezerní
- bažinné – často redukční, kyselé vody, typické jsou kaustobiolity (rašelina, uhlí) a bahenní železné rudy

## 2. *Přechodná prostředí:*

- deltové při ústí řek do moře, nejčastěji vějířovitý tvar ukládaného materiálu
- lagunové prostředí je odděleno písčným valem od vlastního moře. Vzniká zpravidla uvnitř atolových ostrovů nebo v kráterech podmořských sopek
- fjordy
- litorální (příbřežní) v dosahu odlivu a přílivu
- útesové

## 3. *Mořské prostředí:*

- šelfové (neritické) vznikají na šelfech do hloubky 200 m
- vnitrokontinentálních moří
- kontinentálního svahu
- bathyální v hloubkách 200 – 3 000 m s příměsí říčního materiálu: rudý jíl, modré a zelené bahno, korálové bahno, písky
- abysální (pelagické) hlubší než 3000 m, vysoký tlak vody a nízká teplota. Vznikají hleny (bahna) vápnité (globigerinový hlen), nebo křemité (diatomový a radiolaritový hlen). Obsahují složky biogenní (řasy), terigenní (křemen, slídy, drop stones), autigenní (sulfidy, fosfáty, chloridy, přinášené podmořskými prameny), vulkanogenní (sklo) a kosmogenní (mikrometeority)
- hlubokomořských příkopů

## 6.6. Principy systému sedimentárních hornin

Systém sedimentárních hornin je založen na stupni geochemické diference (Mason 1952), na čistě genetickém základě nebo s využitím tradičních termínů na kombinaci obou principů, takže se prolínají kritéria celkového i minerálního složení s kritérii genetickými.

Podle stupně geochemické diference je možné sedimentární horniny rozlišit na:

1. **rezistáty**, obohacené o minerály tvořící odolné zbytky. Patří k nim hlavně pískovce. Charakteristické je obohacení o těžké minerály (zinek, rutil, magnetit, ilmenit, kovy Au, Pt, Sn).
2. **hydrolyzáty** – akumulace produktů chemického rozkladu. Usazeniny tvořené hlavně jílovými minerály s prvky středního iontového poloměru a prvky absorbovanými na koloidní částice (kalium).
3. **oxidáty** obsahující zvýšený obsah železa (manganu a fosforu) ve formě oxidů.
4. **karbonáty** hlavně Ca (vápence) a Mg (dolomity) za účasti organismů nebo i jen chemicky.
5. **evaporáty**: báze, které zůstanou v roztoku se ukládají zpravidla při odpařování: z roztoku se sráží nejprve karbonáty (kalcit, dolomit), sulfáty Ca (anhydrit, sádrovec) a nakonec když se koncentrace zvýší asi desetinásobně halit a další soli.

## Podle geneze se rozlišují:

Název	Definice	Mechanismus sedimentace	Prostředí	Hlavní diagnostické znaky
<b>Gravity (debrity)</b>	Sled sedimentů usazených převážně jakýmkoli gravitačními proudy	Sedimentace z gravitačních proudů se střídá s pomalou sedimentací ze suspenze	Obvykle hlubší pánve	
<b>Homogenity</b>	Homogenní vrstvy sedimentů uložené jediným sedimentačním pochodem	Uložení gravitačním proudem vyvolaným tsunami	Hlubší deprese	Homogenní vrstva vápenatého kalu ostře oddělená od podloží a nadloží
<b>Inundity</b>	Sledy sedimentů, usazení vlivem střídání povodňového a normálního stavu řek	Povodně zanášejí do pánve hrubší detrit	Menší hloubky, v okruhu vlivu ústí řek	Pozvolné přechody mezi vrstvami hrubozrnnějších sedimentů, diaturbace
<b>Konturity</b>	Sledy sedimentů uložené nebo přepracované konturovými proudy	Uložení konturovými proudy nebo přepracování původních turbiditů	Nejčastější hloubky 1000-3000 m, pevninské úpatí	Malá mocnost vrstev, dobře vytříbené 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	Zvířené masy sedimentů, uložení suspenze na místě nebo níže po svahu	Nejčastěji v hloubkách 30-100 m	Hřbítkové zvrstvení, ostrá spodní hranice vrstev pískovců, bioturbovaná svrchní část
<b>Tidality</b>	Sedimentární sledy tvořící se v okruhu působnosti přílivového a odlivového proudu	Působení 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 turbidními proudy	Sedimentace z turbidních proudů se střídá s pomalou sedimentací ze suspenze	Většinou hlubší pánve, pevninské úpatí i abysální rovina, někdy i mělké pánve i jezera	Gradace, ostrá spodní hranice, Boumova sekvence

*Eolianity* - zpevněné eolické sedimenty

*Mixtity* - míšení materiálu různé velikosti

*Olistostromy* - akumulace zvláště velikých klastů (olistolitů) na úpatí morfologických stupňů

V běžně používaném systému se rozlišují:

**1. Klastické sedimenty**, které jsou tvořeny převážně úlomky hornin a minerály přinesenými ze snosových oblastí. Dělí se podle složení, podle velikosti částic nebo podle původu. Podle složení se rozlišují klastické horniny a vulkanoklastické, tvořené vulkanickými vyvrženinami.



## Rozdělení klastických sedimentů podle převládající velikosti částic

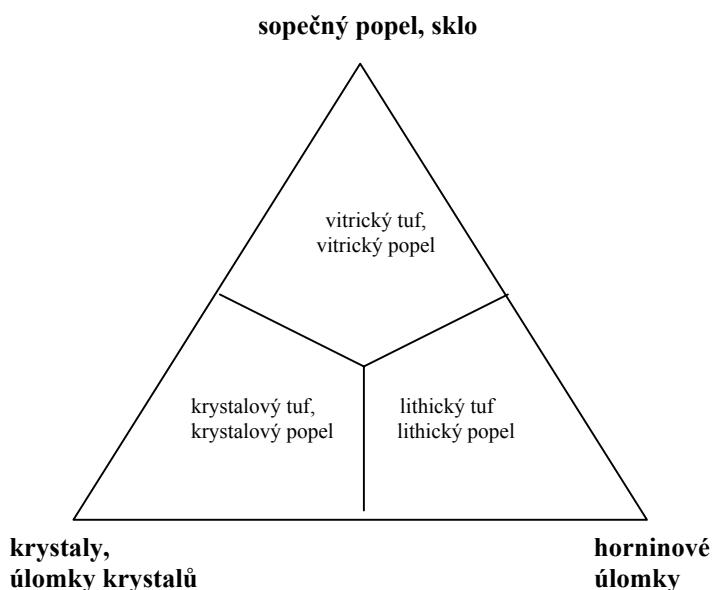
Velikost částic	Petrografické označení			Vulkanoklastika		Vápence	Reziduální horniny	
	latinské	řecké	české					
nad 256 mm	pselit	rudit	šterk	balvanitý	vulkanické balvany a bloky, blokové a balvanové tufy,	kalciurutit	úločková rezidua	
64-256				hrubozrnný				vulkanické kameny a aglomerátové tufy
8-64				střednozrnný				lapilli, lapiltové tufy
2-8				drobnozrnný				lapilli, lapiltové tufy
1-2 mm	psamit	arenit	písek	velmi hrubozrnný	pískový tuf, vulkanický písek	kalciorenit	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	kalciurutit	jílová rezidua	
> 0,004	pelit			jíl				

Podle původu se rozlišují:

- **šterky:** bazální (při transgresi), říční (výplň koryt, obr. 6.6.), mořské (plážové), glaciální (till, velmi málo vytříděný), glaci-fluviální (výplachové z ledovců), kamenité sutě (osypy) s ostrohrannými úlomky v horských oblastech.
- **písek:** nejdůležitější, tvoří asi 25 % všech sedimentů. Podle transportu jsou říční, jezerní, mořské (plážové), glaci-fluviální, váté. Podle složení jsou monomiktní (tvořené jen křemenem), oligomiktní (tvořené dvěma hlavními minerály) a polymiktní, tvořené více minerály. Toto dělení má význam jednak z hlediska využití (slévárenské, sklářské písky), jednak z hlediska stupně zralosti (výrazný projev diferenciacce při sedimentaci). Příměsi jsou koncentrovány často ve zvýšeném množství v těžkých minerálech (zlato, zirkon, ilmenit, sillimanit, andaluzit, granát, platinoidy, diamanty).
- **prach** (aleurit) tvořící hlavně váté sedimenty – spraše. Přebytek kalcia se projevuje vznikem cievárů (tj. vápnitých konkrecí).
- **jíly** se dělí podle převládajícího jílového minerálu. Rozlišují se jíly zrnitostní (fyzikální) a pouze jílovými materiály tvořené jíly mineralogické. Podle složení jsou nejčastější:
  - *kaolinitové jíly* - přeplavením reziduální horniny – kaolinu
  - *montmorillonitové jíly* - přeplavením reziduálních bentonitů
  - *illitové jíly* - mají zpravidla příměs ostatních jílových minerálů. Časté jsou akumulace železa, hliníku či titanu. Terciální jíly v okolí Mostu a Bíliny obsahují až 15% TiO<sub>2</sub> a 30% Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>.
- **vulkanoklastika (tefra)** jsou tvořena vulkanickými usazeninami, které se dělí jednak podle složení (ryolitová, bazaltová, andezitová apod. tefra), jednak také podle zrnitosti, jak je uvedeno v tabulce.

## 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 brekcie.	tufitický slepenec, tufitická brekcie	slepenec, brekcie
2	lapilový tuf		
1/16	hrubý popelový tuf	tufitický pískovec	pískovec (s tufovou příměsí)
1/256	jemný	tufitický prachovec	prachovec (s tuf. příměsí)
		tufitický jílovec, tufitická břidlice	jílovec, břidlice
Množství pyroklastického materiálu	75 až 100 %	25 až 75 %	0 až 25 %



## 2. Neklastické sedimenty

*Karbonátové sedimenty* jsou tvořeny převážně  $\text{CaCO}_3$ , aragonitem, kalcitem nebo  $\text{Mg, Ca, CO}_2$ . Materiál je zčásti klastický, převážně biogenního původu, zčásti chemicky vysrážený.

Rozlišujeme *karbonátové horniny mořské*, které vznikají:

- nashromážděním schránek a koster živočichů (zoogenní) nebo rostlin (fytogenní)
- chemickým vysrážením karbonátů působením rostlin
- přímým chemickým vysrážením v důsledku změny podmínek (např. při podmořských sopečných erupcích nebo při podmořských vývěrech), často s oolity
- stmelením úlomků starších karbonátových hornin (intraklasty)

*karbonátové horniny kontinentální:*

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

Klasifikace vápenců podle ČSN EN 12670.

obsah alochemických součástí v obj. %		více než 10 % alochemických součástí		méně než 10 % alochemických součástí		
		převládá sparitový kalcit	převládá mikritová základní hmota	1 – 10 % alochemických součástí	Méně než 1 % alochemických součástí	
více než 25 % intraklastů		intrasparitový vápeneč	intramikritový vápeneč	mikritový vápeneč s intraklasty	Mikritový vápeneč	biohermový vápeneč
méně než 25 % intraklastů	více než 25 % ooidů	oosparitový vápeneč	oomikritový vápeneč	Mikritový vápeneč s ooidy		Fosiliferní mikritový vápeneč
	méně než 25 % ooidů	>3:1	biosparinový vápeneč	Biomikritový vápeneč		
		3:1 až 1:3	biopelsparinový vápeneč	Biopelmikritový vápeneč		
< 1:3	pelsparinový vápeneč	pelmikritový vápeneč	peletový vápeneč	dismikritový vápeneč		

**3. Chemogenní sedimenty**, tvořené převážně vysrážením z roztoků. Podle složení rozlišujeme:

- Ality** - přemístěné laterity. Mají podstatný obsah hydroxidů aluminia (böhmit, diaspor, gibbsit a kaolinit, goethit, hematit). Častý je vysoký obsah železa a niklu,
- Manganolity** jsou tvořeny oxidy manganu (pyroluzit, psilomelan, hydroxidy (manganit) a karbonáty (oligonit). Mangan podle redoxpotenciálu může být v oxidované formě  $Mn^{4+}$ . Manganolity vznikají v současných mořích (tzv. manganové konkrece, obsahující významnou příměs dalších kovů (Fe, V). Obdobné, ale menší jsou konkrece jezerní vysrážené v periglaciálních podmínkách (obr. 6.8.).
- Ferolity** jsou tvořeny minerály železa oxidy (magnetit), hydroxidy (limonit, hematit, goethit), silikáty (chamozit, thuringit, glaukonit), karbonáty (siderit) a sulfidy (pyrit, markazit, melnikovit). Vznikají jednak vysrážením z vody v jezerech a mořích (železo pochází ze zvětralin z pevniny nebo z podmořského zvětrávání – halmyrolyzy). Typické jsou ooidy a fosfátové konkrece., jednak z podmořské vulkanické aktivity (typ Lahn-Dill). Podle minerálů se rozlišují:
  - ferolity hydroxidů a oxidů železa. V ordoviku barrandienu vznikaly v mělkovodních podmínkách při podmořském bazickém vulkanismu. Označují se lokálními názvy jako skleněnka nebo lotrinská mineta.
  - ferolity sideritové v souvislých polohách s příměsí jílu (barrandien) nebo jako čočky v beskydské křídě (tzv. pelosiderity)
  - ferolity jaspilitové, vznikaly v důsledku odlišných podmínek (hlavně atmosférických) v prekambriických formacích. Střídají se v nich vrstvičky hematitu a magnetitu s vrstvičkami křemene (tzv. formace BIF).
- Fosfority** obsahují zvýšený obsah fosforu zpravidla ve formě apatitu. Vznik:
  - vysrážením z mořské vody: v hlubinné studené vodě může být rozpuštěno až 3x více fosforu než v teplé vodě šelfů, kde se za pomoci bakterií vysráží buď jako konkrece nebo i souvislé polohy
  - akumulací guána (ptačího trusu, zejména v jeskyních).
  - vyuhováním do podložních sedimentů z ploch různého původu.
- Silicity** jsou tvořeny převážně minerály  $SiO_2$  (křemen, cristobalit, chalcedon, opál). Vznikají:
  - nahromaděním schránek a jiných částí živočichů a rostlin (organogenní) rozsivek (diatomity, křemelina), radiolarií (radiolarity) nebo hub (spongility), smíšené (např. spongodiatomity)
  - chemicky vysrážené: z horkých roztoků - geyzirit a stiriolit (z vodních kapek rozstříkovaných kolem gejzírů), jaspilit vysrážený z podmořských horkých pramenů tzv. kuřáků (černé břidlice), ze studených vod se vysráží limnokvarcit
  - vzniklé z relativního přebytku  $SiO_2$  při diagenézi: rohovec (hornstone, flint, chert) tvořící hlízy a čočky nejčastěji v karbonátech
  - neurčitého původu jsou siliciem bohaté horniny, v nichž jsou jak radiolarie tak i známky vysrážení při vulkanické činnosti (souvislost se spility): buližníky (s radiolariemi), menilitové rohovce (s radiolariemi a diatomaceami).

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

fáze: vypadává dolomit a aragonit

fáze: vypadávají sulfáty vápníku (anhydrit, sádrovec) při koncentraci zvýšené 3,35x.

fáze: vypadává halit (koncentrace zvýšená 10 - 60 $\times$ ) – 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

**4. Kaustobiolity** jsou usazeniny tvořené organickými sloučeninami, které vznikají z rostlin (fytogetti) – humózní či uhelná řada, nebo ze živočichů (zoogenni) – bituminózní (živočišná řada).

#### Řada uhelná

Nahromadění uhlíku závislé na rozšíření rostlin v určitých geologických obdobích (karbon, terciér) a na vodním režimu. **Rašeliny** vznikají v místech rozšíření mechu rašeliníku za přínosu spodní vody buď jako vrchovištní (s výrazným klenutím v centrální části, většinou v horských podmínkách – Krušné Hory), nebo jako slatinná (jižní Čechy). Z bílkovin vzniká kvašením hnilokal (sapropel), zpevněný sapropel je **sapropelit**. Sapropelity s jílovou příměsí jsou hořlavé břidlice.

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

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

#### Řada bituminózní

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

Rozlišují se živice:

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

### 6.7. Diagenéza (zpevňování, litifikace)

Po uložení sedimentů může dojít k jejich zpevnění, litifikaci. Ta většinou nezáleží na stáří (známý je tzv. petrohradský modrý jíln nezpevněný, kambrického stáří), ale hlavně na hloubce ponoření, tedy na sloupci hornin, jímž byly sedimenty během vývoje zatíženy. Vliv ovšem mají i vlastnosti těchto hornin (měrná hmotnost, obsah vody, složení rozpuštěných látek).

K hlavním procesům, které vedou k litifikaci patří:

- **Kompakce či slehnutí**. Ta se projevuje změnou mocnosti (snížením) horninového sledu, vytlačněním vody a dalších těkavých látek z pórů působením tlaku nadloží (zatěžkávací tlak a přestavbou struktury). Výsledkem je změna objemu. U kaustobiolitů se může zmenšit objem až na 1/10 původního, pórovitost hornin z původních až 40 % klesá na polovinu, obdobně se snižuje

obsah vody. Ten však působí proti snižování pórovitosti, která je proto zpravidla větší, než by odpovídalo předpokladům (koeficientu kompakce, obr. 6.7.).

- *Cementace* či *stmelení* minerálů hornin a jejich rozpouštění převážně látkami z primárních či sekundárních roztoků. Dochází k rozpouštění méně stabilních klastických minerálů a jejich zatlačování minerály novotvořenými. Významnou roli hraje tlak (Sorbyho princip). K novotvořeným minerálům patří nejčastěji karbonáty, křemen, kaolinit, méně často muskovit, glaukonit a alkalické živce, anhydrit a baryt. Stupeň zachování organické hmoty závisí na redox potenciálu prostředí: v oxidačním probíhá likvidace organické hmoty, vesměs za spoluúčasti bakterií, v redukčním zůstává tato hmota zachována.
- *Neomorfismus* (*novotvoření, autigenese*). Kromě vytváření tmelu a dehydratace dochází při diagenезi ke změnám modifikace, přímé krystalizaci, rozpouštění a k metasomatickým přeměnám minerálů. Změny modifikace zahrnují přeměnu amorfních minerálů na krystalické formy (např. limonitu na goethit, opálu na křemen). Melnikovit či markazit se mění na pyrit, tedy změna krystaličnosti, změna krystalinity (tj. stupeň uspořádání mřížky např. illitu, křemene, vzniku grafitu). Rozpouštěny podle povahy cirkulujících roztoků mohou být nejrůznější minerály sedimentů. Ku příkladu na sedimentárních ložiscích uranu v české křídové pánvi byly natolik extrémní podmínky, že se rozpouštěl i tak stabilní minerál jakým je zirkon.

Z metasomatických změn jsou při diagenезi nejčastější dolomitizace v karbonátech, silifikace v lutitech, fosfatizace, sideritizace. Látková migrace se uplatňuje i při fosilizaci zkamenělin, která je významnou součástí litifikačních procesů.

Uvedené přeměny pokud probíhají do zpevnění se označují jako diagenезe, po zpevnění epigenезe a při zásahu energie zvenčí (směrný tlak, přínos tepla výstupem izoterm) jde již o metamorfózu. Podle vztahu teploty a tlaku probíhají reakce vzniku nových minerálů za různých podmínek, které jsou považovány za již metamorfní. V jednotlivých případech vzniká změnou krystalinity muskovit z illitu dříve než vznikne krystalický grafit, jindy později, jindy tyto reakce předchází vznik albitu. Přesnou obecnou hranici diagenезe a metamorfózy proto nelze určit.

Speciálním případem diagenезe je *prouhelnění* (karbonifikace), zrání ropy (obr. 6.14.) akumulací organických látek. Že jde skutečně o druh diagenезe svědčí tzv. Hiltovo pravidlo: „Čím hlouběji je uložena sloj, tím silnější je prouhelnění tlakem nadloží“. Postup prouhelnění se zpravidla dělí na několik stádií, které jsou však samostatné, vzhledem k tomu, že jsou závislé i na výchozím materiálu (obr. 6.15.):

#### *Stádium tlení, trouchnivění a hnití*

*Stádium rašeliničení* při němž bílkoviny kvasí na hnilokal (sapropel). Důležitými podmínkami jsou tlak nadloží, teplota a dostatek vody

*Stádium hnědouhelné* probíhá v redukčním prostředí a je charakterizováno relativním zvyšováním obsahu uhlíku v důsledku ochuzení o kyslík a vodík

*Stádium černého uhlí* s dalším zvýšením obsahu uhlíku.

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

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

#### *Stopové prvky v kaustobiolitech jsou různého původu:*

A. Nahromadění prvků jako výsledek životní činnosti rostlin a zčásti i živočichů: C, N, S, Fe, V, I, Ca, Mg, Al, Sn, Co

B. Akumulace v procesu prouhelňování:

- a) mechanicky - nerosty a horninové úlomky zachycené při vzniku uhlí, v podstatě horninotvorné prvky: Si, Al, Ca, Mg, Fe, Mn, K a další
- b) chemicky inkorporované do organických sloučenin: Ge, U, V, Be atd. nebo vysrážené jako sulfidy: Fe, Cu, Zn, Pb, As a další, či redukcí jako Ag.
- c) fyzikální sorpcí: U, Th, Ge, V

Podle vazby na minerální látky v uhlí jsou vázány:

- na jíly: Cr, F, Ga, Rb, Ti, V
- na sulfidy: Sb, As, Cd, Cu, Pb, Hg, Ni, Se, Zn
- na karbonáty: Ba, Mn, Sr
- na sulfáty: Ba a Sr
- na fosfáty: Ba, F

## 6.8. Diagenetické horniny

Jako diagenetické horniny označujeme horniny, v nichž po sedimentaci proběhly diagenetické procesy, kompakce, dehydratace, látková migrace. Jde především o klastické a vulkanoklastické usazeniny.

Ze štěrků vznikají ostrohranné **brekcie** a při transportu opracované konglomeráty **slepence**. Při kompakci dochází k zplošťování valounů, zvýraznění jejich usměrnění podle tvaru a vzniku tmelu. Tmel může být křemitý, železitý, vápnlitý nebo jílovitý. Podle poměru valounů a základní hmoty se rozlišují parakonglomeráty (převládá hmota) a artokonglomeráty (převládají valouny). Konglomeráty zpravidla indikují transgresi. Podle složení valounů rozlišujeme konglomeráty

- *monomiktní* s valouny jednoho druhu, zpravidla křemene
- *oligomiktní* tvořené dvěma druhy materiálu
- *polymiktní slepence*, tvořené směsí různých materiálů (obr. 6.4.).

*Z písků vznikají:*

- **křemence**, tvořené převážně křemenovými zrny a křemitým tmelem který je zčásti druhotný (přínos Si při diagenézi)
- **pískovce**, v nichž převládají křemenová zrna. Podle tmelu rozlišujeme pískovce glaukonitové, karbonátové, jílové, železité apod.
- **arkózy** s převládajícími K-živci, zpravidla kontinentální
- **droby**, zpravidla zpevněné hlubokomořské sedimenty převážně plagioklasy a úlomky hornin

*Z lutitů (aleurity a pelity) vznikají diagenézí jílovité břidlice a jílovce. Odrůdy:*

- **kamenečné (kyzové) břidlice** s pyritem v proterozoiku barrandienu (Hromnice u Plzně, Rakovník, Chvaletice v Železných horách).
- **černé břidlice**, jejichž barva je způsobena příměsí organické substance a pyritu (recentně vznikají také sedimenty v Černém moři). Na organickou substanci je vázán výskyt kovů, např. V, Co, Ni, Cu. Zvýšený obsah mědi je např. v permských břidlicích v Podkrkonoší (Horní Kalná). Sulfidy Cu jsou v proterozoiku barrandienu, v Železných horách a Malých Karpatech. Slínité horniny se diagenézí mění na **slínovce** a **slínité břidlice**.

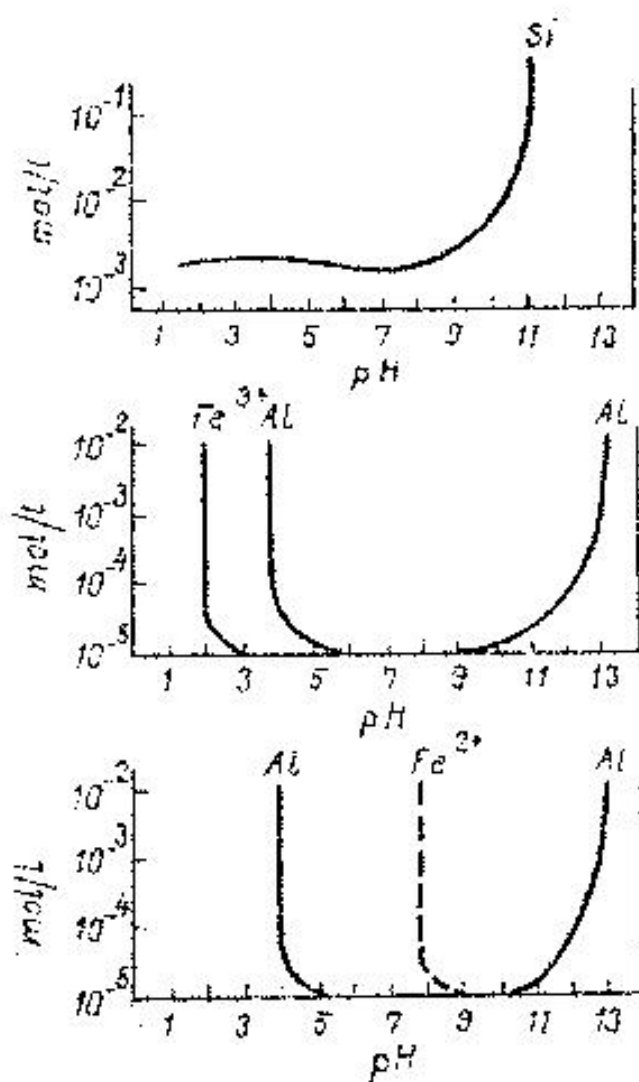
Z vulkanických usazenin (tefry) vznikají často za spolupůsobení látkové migrace **tufy** nebo **tufity** se zvýšeným podílem sedimentární frakce. Podle struktury se tufy a tufity rozlišují na vitrické, krystalové a litické. Podle složení vulkanického materiálu na ryolitové (paleoryolitové), andezitové, trachytové, bazaltové apod.

## 6.9. Formace sedimentárních jednotek

K formační analýze se používá dodnes běžné litologické členění podle tektonické pozice (formace geosynklinální, přechodní a tabulové), podle sedimentačních prostředí (např. Petránek 1963) nebo podle stratigrafie (např. trias polické pánve, terciér jihočeských pánví). Zavádění stratigrafie do litologického členění je však nesprávné a nelze ho doporučit. Klasifikace podle sedimentačního prostředí (podle pánví) z hlediska deskové tektoniky zavedl Čech (1988). Obecně se rozlišují (Blatt 1992):

1. Oceánské pánve se sedimentací na oceánské litosféře:
  - neritická
  - bathyální
  - abysální
  - hlubokomořské příkopy

2. Pánve systému ostrovních oblouků obtížně interpretovatelné vzhledem k tektonice diktované subdukcí. Patří k nim pánve předobloukové, pánve strike-slip, vnitřní obloukové pánve a zaobloukové pánve.
3. Kontinentální kolizní pánve vznikající v místech kolize kontinentálních desek (pásmo Ouachita)
4. Pánve v přemístěných oblastech, např. pánve ostrovního oblouku přemístěné při subdukcii blíže k pevnině, které tak vytváří exotické terány (např. pánve lemující západní okraj USA od Aljašky po jižní Kalifornii)
5. Prolomy (grabens) kolem okrajů kontinentů. Většinou jsou paralelní s pobřežím, mohou však být i kolmé (aulakogeny)
6. Intrakontinentální pánve – nezávislé na tektonické aktivitě okrajů desek. Sedimenty o mocnosti zpravidla 1 000 – 5 000 m mělkovodní, převládají karbonáty, jílovité břidlice a křemenem bohaté pískovce, chybí sedimenty syntektonické (konglomeráty, arkózy, turbidity apod.). Podle pozice v orogenním pásmu se dělí na:
  - předhlubeň
  - intramontánní (vnitrohorské) pánve a vklesliny (též prolomové pánve)
  - základní (týlové pánve)
  - okrajové pánve (typ pull apart)
  - intrakontinentální riftové pánve
  - platformní pánve



**Obr. 6.1.**

Rozpustnost Si, Al, Fe<sup>3+</sup> a Fe<sup>2+</sup> při normálním tlaku a teplotě (převzato z Pačes et al. 1980)



**Obr. 6.2.**  
Říční eroze. Obří hrnce v migmatitech moldanubika. Údolí Vydry u Sušice.

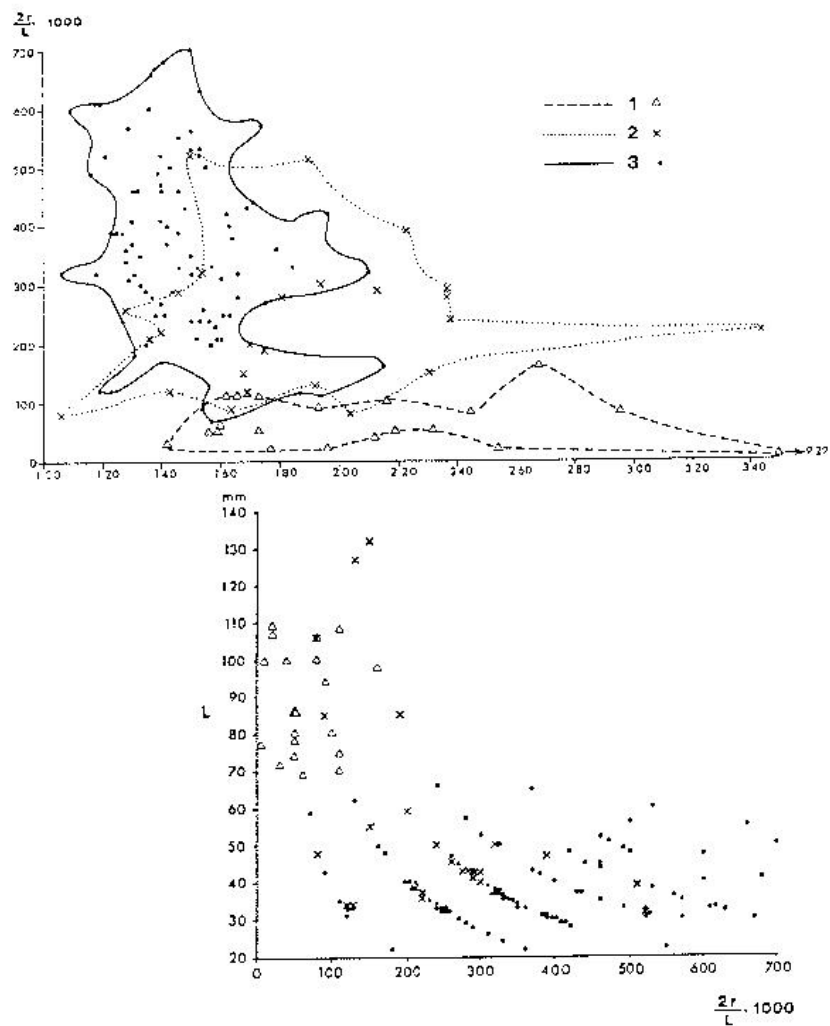


**Obr. 6.3.**  
Antropogenními zásahy ovlivněná eroze v Českém středohoří. Foto J. Svoboda.



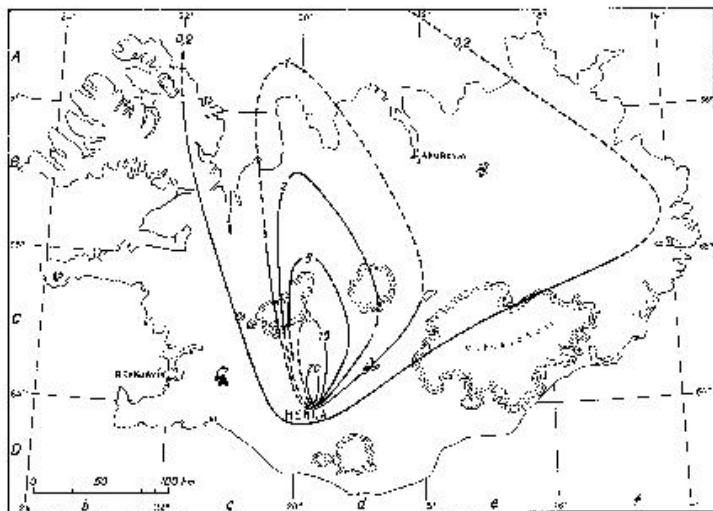
**Obr. 6.4.**  
Příbojová facie se slepenci na okraji křídového moře. Kaňk u Kutné Hory. Foto J. Svoboda.





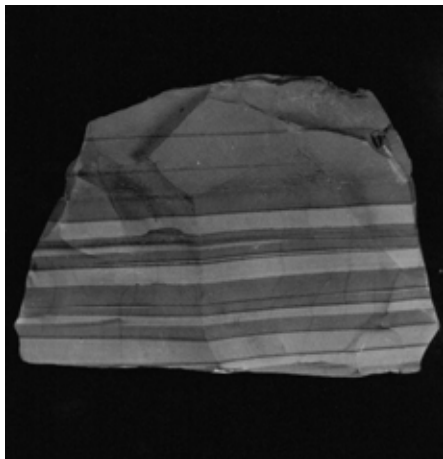
**Obr. 6.5.**

Sedimentační diferenciace zřejmá u ledovcových sedimentů. Změny zaoblení materiálu morén spojených s ledovcem Taku na Aljašce a vztah mezi délkou valounů ( $L$ ) a jejich zaoblením ( $2r/L \cdot 1000$ ) v různých morénách (1 – 3).

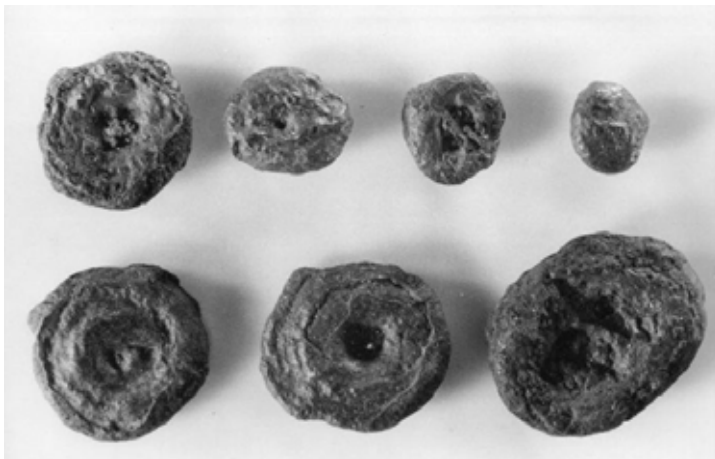


**Obr. 6.6.**

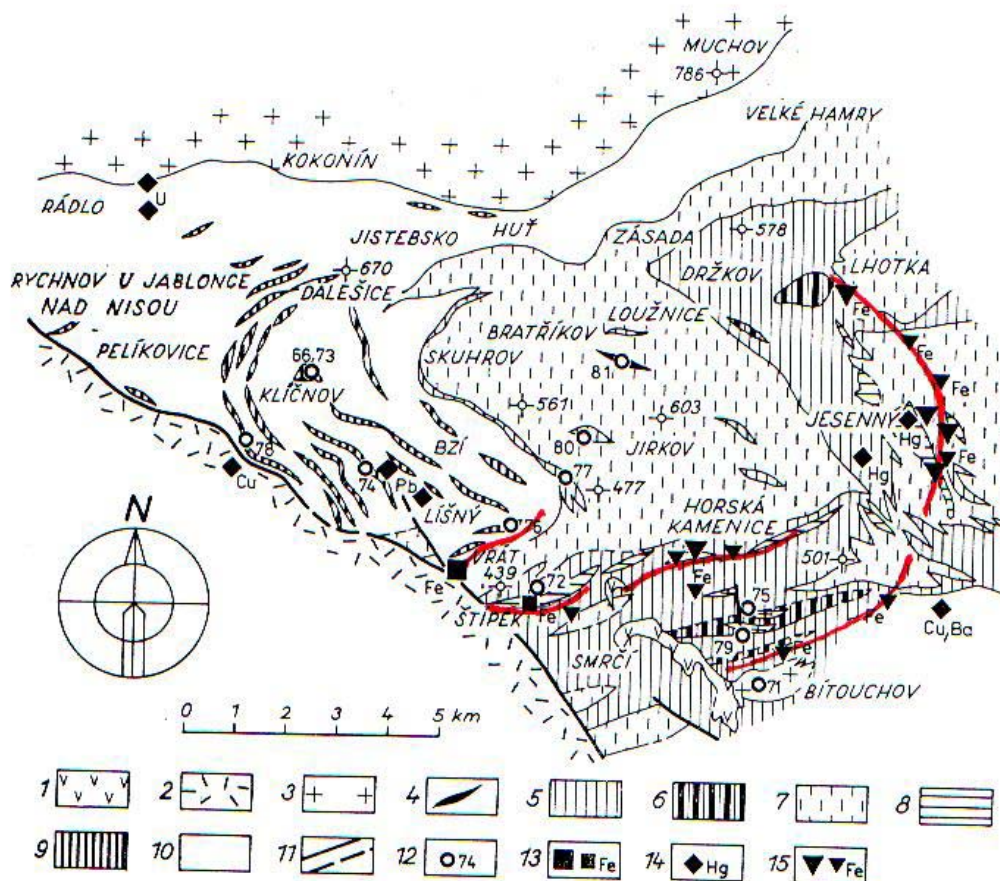
Mocnosti popelových vyvrženin sopky Hekla na Islandu v cm. Mocnost závisí na vzdálenosti od zdroje a na směru větru v době efuze.



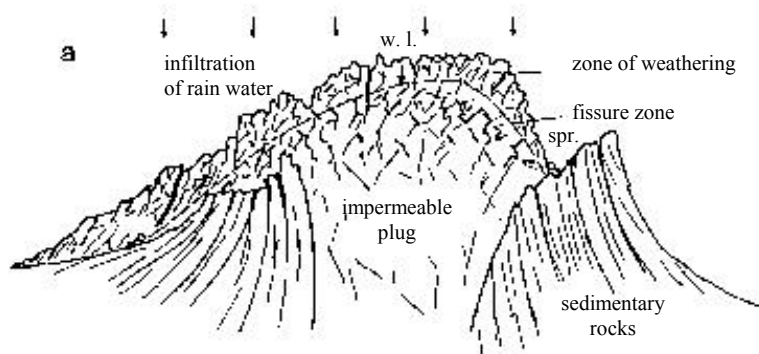
**Obr. 6.7.**  
Laminace tufitů v brouskovém horizontu z lokality Štíhlec u Žebráku. Ze sbírek katedry geologie KU v Praze.



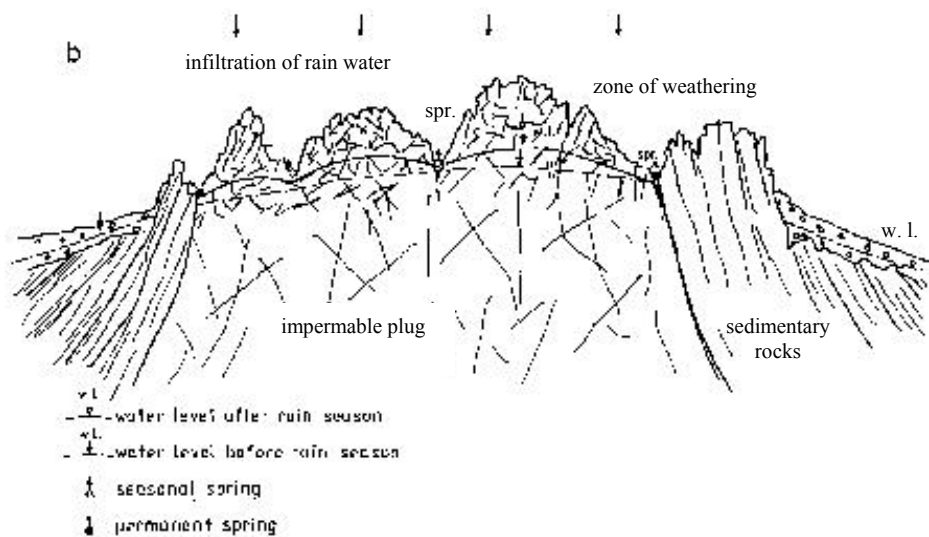
**Obr. 6.8.**  
Jezerní železné rudy. Petrozavodsk, Karelie. Foto B. Matoulková.



**Obr. 6.9.**  
Výskyt sedimentárních železných rud v železnobrodském krystaliniku ve dvou stratigrafických horizontech (Pošmourný 1985). 1.- neovulkanity; 2 – permokarbon; 3 – žuly; 4 – ultrabazika; Starší paleozoikum: 5 – metabazity, 6 – porfyroidy, 7 – fylity, 8 – vápence; Proterozoikum: 9 – metabazity, 10 – fylity; 11 – hlavní zlomy; 12 – odebrané vzorky metabazitů pro geochemický výzkum; 13 – ložiska (větší symbol) a výskyt (menší symbol) magnetito-hematitových rud; 14 – indicie polymetalického zrudnění; 15 – ložiska (větší symbol) a výskyt (menší symbol) limonitických reziduálních rud.

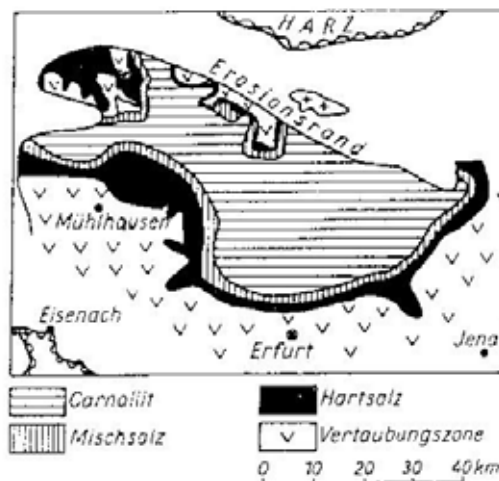


w. l. – ground water level (high hydraulic gradient)  
 spr. - -sea seasonal spring



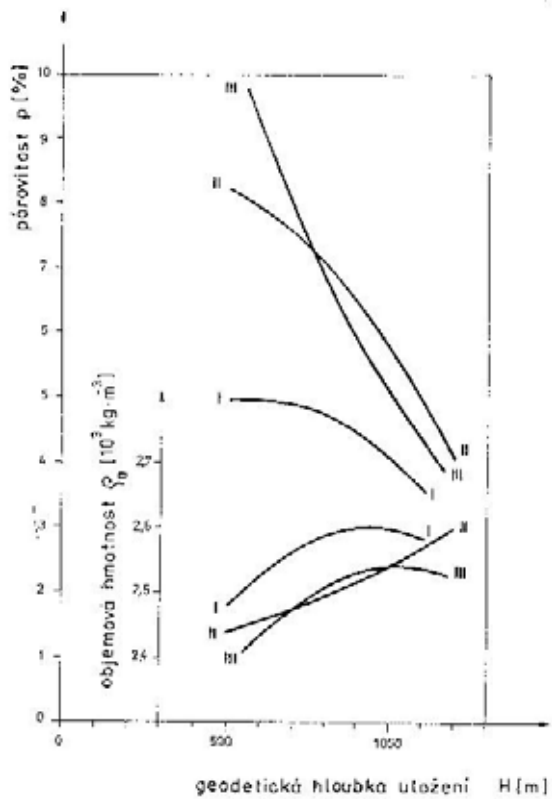
**Obr. 6.10.**  
 Schématický řez aktivním (a) a pasivním (b) solným pněm v jižním Íránu (Geolines 7, 1998).

**Obr. 6.11.**  
 Ložiska stassfurtských solí (evapority) u Erfurtu (zóna sedimentace, kamenná sůl, smíšené soli, karnalit).

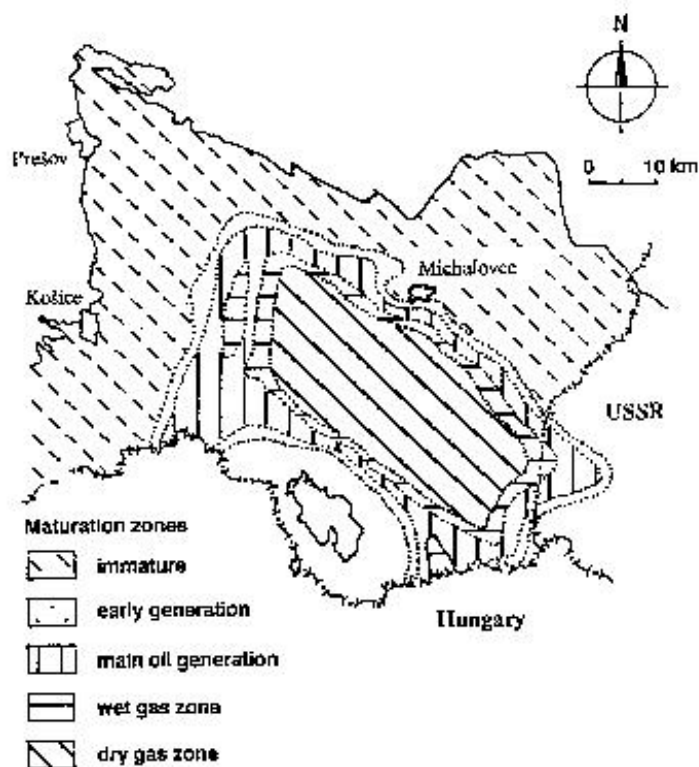




**Obr. 6.12.**  
Rašeliniště Příbraz u Stráže nad Nežárkou.

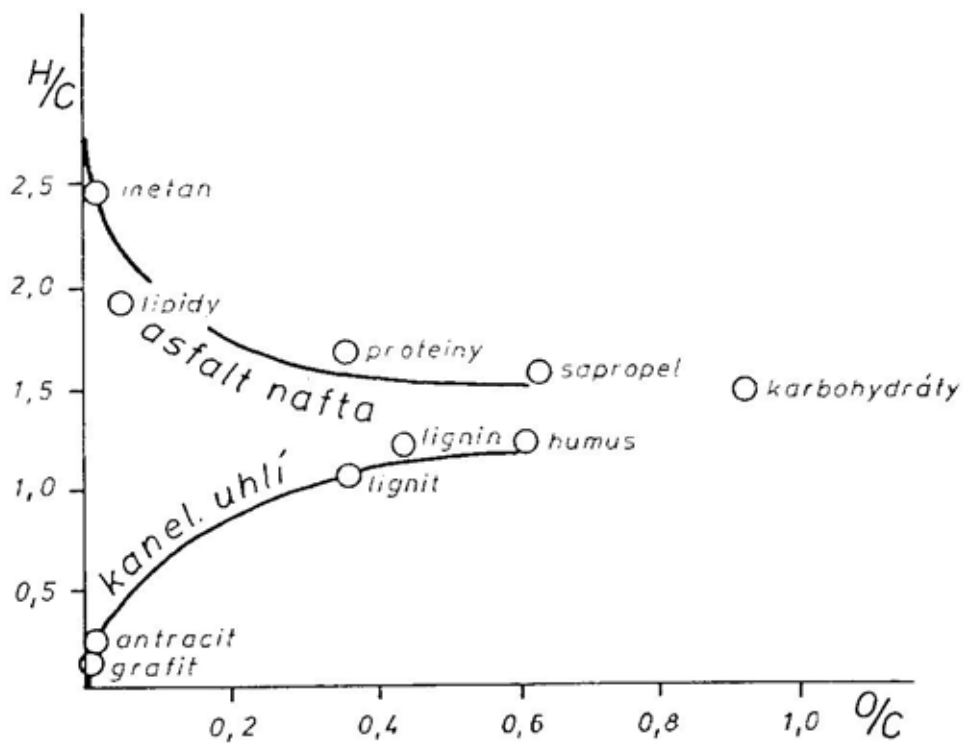


**Obr. 6.13.**  
Závislost porovitosti ( $p$ ) a objemové hmotnosti ( $\rho_0$ ) na hloubce uložení ( $H$ ) v pískovcích svrchního karbonu (Králík 1983) ve vrtech NP-822 (Malenovice), NP-824 (Ostravice) a Jablůnka. Hloubka uložení odpovídá největší hloubce, do jaké se horniny během vývoje dostaly. I. jemnozrné, II. Středně zrnité, III. hrubozrné pískovce.



Obr. 6.14.

Zóny zrání (maturace) ropy ve Východoslovenské pánvi. 1 – nezralá ropa, 2 – ranná generace, 3 – hlavní vznik ropy, 4 – zóna plynu s vodou, 5 – zóna suchého plynu.



Obr. 6.15.

Změny ve složení kaustobiolitů při diagenézi v uhelné a v bituminózní řadě.