

Dynamická geologie

(základní pojmy kursů G1021, G1021k)

OBSAH:

| | |
|---|------------|
| I. Úvod do studia geologie | 3 |
| II. Historie poznání planety z pohledu geologických věd | 3 |
| III. Základní geologické zákony/principy | 4 |
| IV. Čas a metody jeho měření v geologii – Geochronologie | 7 |
| V. Vesmír (vznik, složení, vlastnosti) – kosmologie a planetologie | 10 |
| VI. Termální model Země | 18 |
| VII. Stavba a složení zemského tělesa | 22 |
| VIII. Minerály a horniny | 30 |
| VIII.1. Magmatismus | 31 |
| VIII.1.2. Vulkanismus | 38 |
| VIII.2. Metamorfóza a metamorfované horniny | 41 |
| VIII.3. Sedimentární horniny | 46 |
| IX. Zemětřesení | 58 |
| X. Strukturní geologie a tektonika | 61 |
| XI. Geotektonické hypotézy / tektonika litosférických desek | 67 |
| XII. Dynamika exogenních geologických procesů | 76 |
| XIII. Zvětrávání | 80 |
| XIV. Pedologie | 84 |
| XV. Svahové pohyby a gravitace jako geologický činitel | 88 |
| XVI. Geologická činnost ledovců | 92 |
| XVII. Geologická činnost mrazu / kryogenní činnost | 106 |
| XVIII. Geologická činnost větru | 114 |
| XIX. Geologická činnost vody | 120 |
| XIX.1. Podzemní voda – geologická činnost | 121 |
| XIX.2. Krasové jevy | 123 |
| XIX.3. Geologická činnost tekoucí vody | 128 |
| XIX.4. Geologická činnost jezer | 139 |
| XIX.5. Geologická činnost moří a oceánů | 142 |

I. Úvod do studia geologie

Geologie jako přírodní věda (termín geologie - H.B. de Saussure - 1799) – specifika geologie – studium fyzikální, chemické, biologické a energetické stránky procesů probíhající na Zemi v určitém časovém rámci (věda historická)

Geologické vědy – členění geologických disciplín a postavení dynamické (všeobecné) geologie v rámci geologických věd. Měřítko studovaných objektů geologických věd (prostorová a časová).

Předmět studia dynamické geologie a předmět jejího zájmu (endogenní procesy a exogenní procesy)

II. Historie poznání planety z pohledu geologických věd

Pravěk – doba kamenná: Paleolit (náhodný vs. cílený sběr hornin), přírodní procesy a jejich role v náboženských mýtech, zpracování surovin – tvorba nádob, ozdob, zbraní. Paleolit/neolit – cílená těžba surovin, doba bronzová, doba železná - zpracování kovů.

Rozvoj obchodu – rozvoj poznání (geologická stavba, geomorfologie). Mapy nalezišť nerostných surovin (starověký Egypt). Minerály – léčivé vlastnosti.

Petroarcheologie

Řecká civilizace (milétská škola, Empedokles z Akragantu, Herodotos, Aristoteles...)

Římská říše- Výbuch Vesuvu – 79. n.l. Plinius starší (Historia Naturalis), Plinius mladší ...

Keltové a Germáni, stěhování národů

České země - starověká a středověká těžba (Keltové, Germáni a Slované) - Jihlavské důlní právo

Novověk – reformace -renesance (kolize přírodovědného poznání a dogmatického společenského názoru)

Rozvoj řemesel, zámořské objevy (Vasco da Gamma, K. Columbus, F. Magellan..) a přírodovědné objevy (Koperník, Galileo, T. Brahe...)

Jáchymov – Georg Bauer –Agricola 1494 – De re metallica libri XII

Leonardo da Vinci – zkameněliny - R. Descartes (nebulární teorie)

Rozvoj fyziky, chemie, biologie - G.Buffon (1707-1788) – systematika biologie, vývoj Země

G.Cuvier – studium Pařížské pánve (teorie katastrof, srovnávací anatomie)

J.B.Lamarck – proměnlivost druhů

W.Smith – zákon vúdčích zkamenělin

Průmyslová revoluce – nárůst spotřeby surovin

První „ucelené geologické hypotézy“ - neptunisté (freibergská škola - A.G.Werner) vs. plutonisté (uniformismus - J.Hutton)

První moderní učebnice geologie Ch.Lyell - Principes of Geology (1830), vznik evoluční teorie Ch. Darwin - (Origin of the Species, 1859).

Vznik učených společností, klubů, muzeí a ústavů - např. Geologická společnost, Královská společnost ve Velké Británii, Britské přírodovědné muzeum (R. Owen), Národní muzeum v Praze (1818, Kašpar ze Šternberka), J. Barrande.....), role poznání geologické stavby, rozsáhlá kartografická a geologická mapování (Indie, Afrika..), Rakouský geologický ústav ve Vídni (1849)

Obrovský rozvoj přírodovědných disciplín a poznání (od konce 19.století) - nové laboratorní techniky (polarizační mikroskop, objev radioaktivity, chemické analýzy,). Rozvoj přírodovědných disciplín – interdisciplinární obory (geofyzika, geochemie,..., specializace, integrace). Globalizace - analýza a syntéza dat – „nová globální tektonika“

Současnost - Úloha experimentu, modelování, šíření informací....

III. Základní geologické zákony/principy

Podobně jako ostatní vědecké disciplíny i geologie vychází z řady zákonů / principů. Vzhledem k tomu, že geologie je vědou přírodní i historickou musí zákony zohlednit toto specifikum. Principy geologie mají statisticko-pravděpodobnostní charakter – určité odchylky.

III.1. Princip aktualismu (Ch.Lyell)

Geologické procesy, které probíhají v současnosti se neliší od procesů, které probíhaly v minulosti. Chybná premisa principu- přírodní fenomény jsou produktem stejných sil, které působí dnes se stejnou intenzitou a stejným rytmem???? Vývoj planety.

Hlavní příčiny rozdílů vůči absolutní platnosti tohoto principu:

Změny fyzikálně chemických podmínek na planetě - vývoj atmosféry, hydrosféry, zemských geosfér, změny zapříčiněné vznikem a vývojem života (rozdílné přírodní procesy, tvorba sedimentů, rychlost eroze, změna životní strategie a podmínek organismů), role člověka, rozdíly v intenzitě geologických činitelů (vulkanismus, tektonika, rychlost sedimentace, proporcionalita sedimentů, zalednění, klimatické změny, unikátní sedimenty - prekambričké Fe rudy, vrstevnaté fosfority, atd.).

Změny astronomické a mimozemské - množství impaktů, délka dne a počet dní během roku.

Př. užití: polštářové lávy v geologické minulosti svědčí o dávném podmořském vulkanismu, protože dnes tyto lávy vznikají výlevy magmatu na mořské dno.

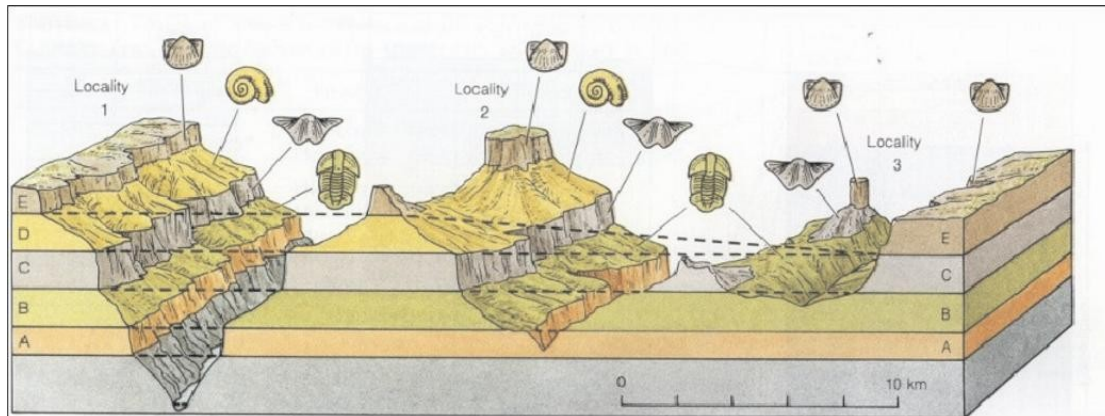
Př. odchylky od absolutní platnosti principu aktualismu: Recentní lilijice - hlubokomořské organizmy vs. paleozoické a mesozoické lilijice - mělkovodní útesové organizmy.

III.2. Zákon stejných zkamenělin (W.Smith) (obr. 1.)

Geologické vrstvy, které obsahují stejné zkameněliny jsou stejně staré.

Platí pouze pro vúdčí zkameněliny - (vúdčí vs. faciální zkameněliny)

Obr. 1.



© Ondřej Bábek

III.3. Zákon superpozice (N.Steno)

V normálně uložených vrstevních sledech je spodní vrstva starší než vrstva svrchní.

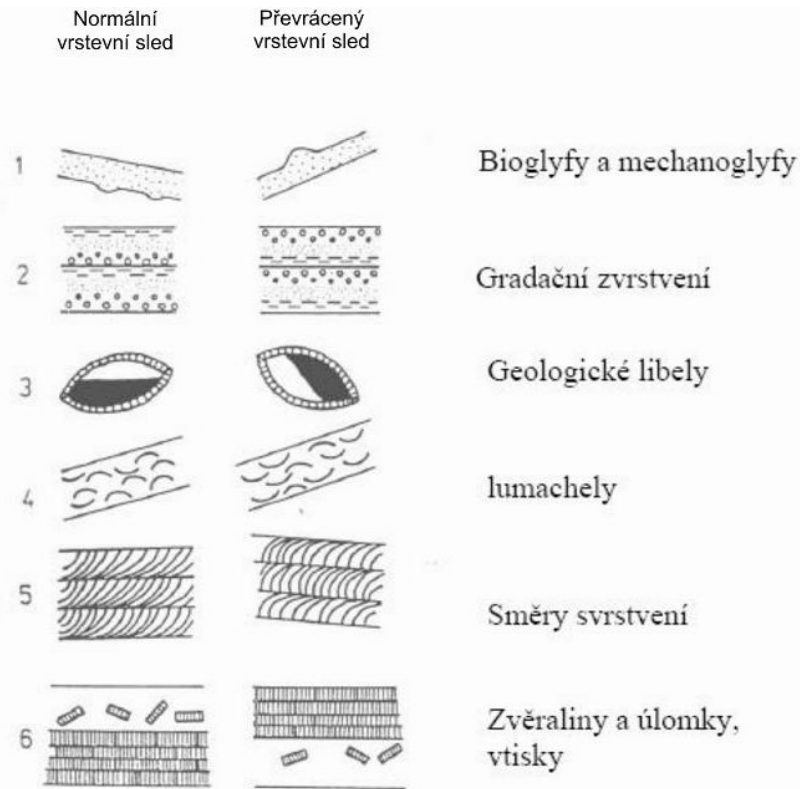
Problematika aplikace v sedimentárních horninách – rozpoznání normálního vs. převráceného vrstevního sledu (obr. 2.), neptunické dajky, výplně kaveren, říční terasy (obr. 3.)

Problematika určení relativního stáří v rámci vyvřelých hornin (intrusivní a extrusivní) – pravidlo superpozice + pravidlo „prorážení“ (obr. 4.).

Problematika určení relativního stáří v rámci metamorfovaných hornin- věk horniny a věk metamorfózy, vztah vůči okolním horninám jiné geneze (metamorfované horniny jsou starší než nemetamorfované horniny v jejich přímém okolí).

Problematika určení relativního stáří v tektonických poruch - relativní stáří zlomů (nejmladší zlom je ten, který porušuje ostatní zlomy nebo geologická tělesa a sám není porušen).

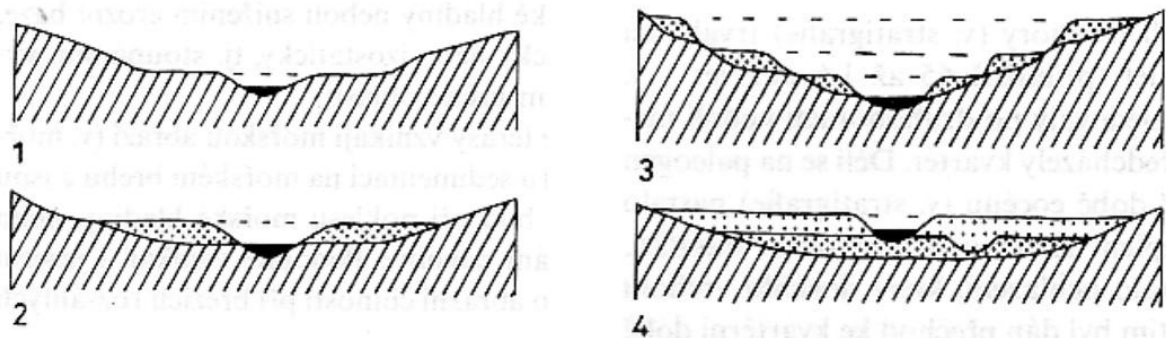
Obr. 2.



Různé způsoby, kterými lze určit, zda se jedná o normální nebo převrácený vrstevní sled.

© Mišík, Chlupáč & Cicha

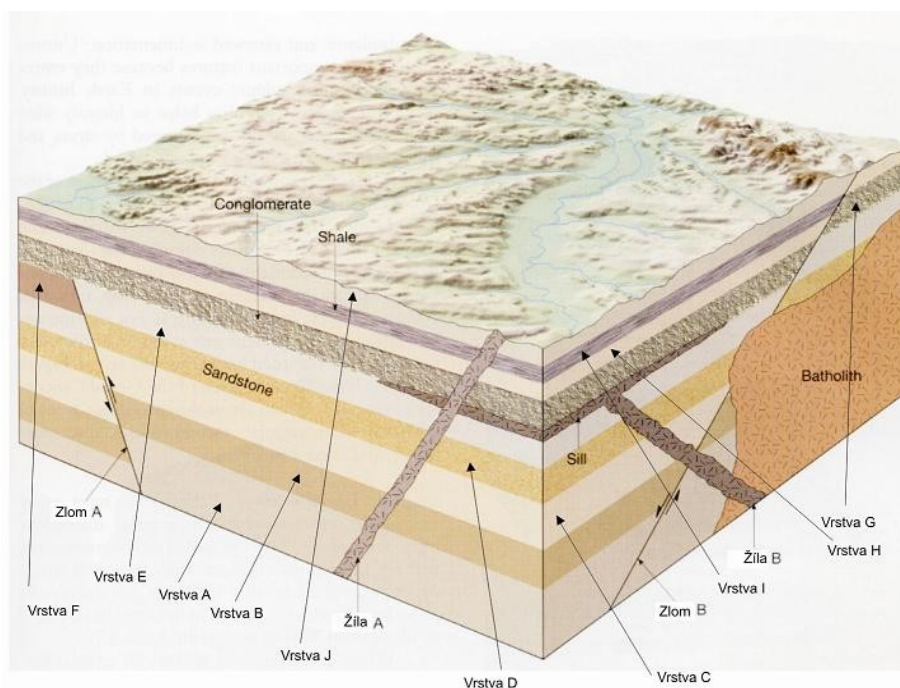
Obr. 3.



1 - skalní terasa, 2 - terasa vzniklá zaříznutím toku do říčních uloženin, 3 - tři terasové stupně vzniklé postupným zařezáváním toku (nejstarší terasa leží nejvýše, nejmladší nejniže), 4 - při dlouhodobém ukládání říčních nánosů (např. v klesajících oblastech) leží mladší terasa nad starší.

© Jan Petránek

Obr. 4.



- 1) Docházelo k postupné sedimentaci vrstev A - F, 2) Došlo k výzdvihu podél zlomu A, 3) Oderodování vrstvy F ve vyzdvižené části, 4) Sedimentovaly vrstvy G - J, 5) Došlo k výzdvihu podél zlomu B, 6) Oderodování vrstev I a J ve vyzdvižené části, 7) Nastala intruze batolitu porušující zlom B, 8) Intruze žíly B, která porušuje batolit a vytváří ve své vrchní části ložní žílu (sill), 9) Nastala intruze žíly A, která porušuje ložní žílu.

© Ondřej Bábek

IV. Čas a metody jeho měření v geologii - Geochronologie

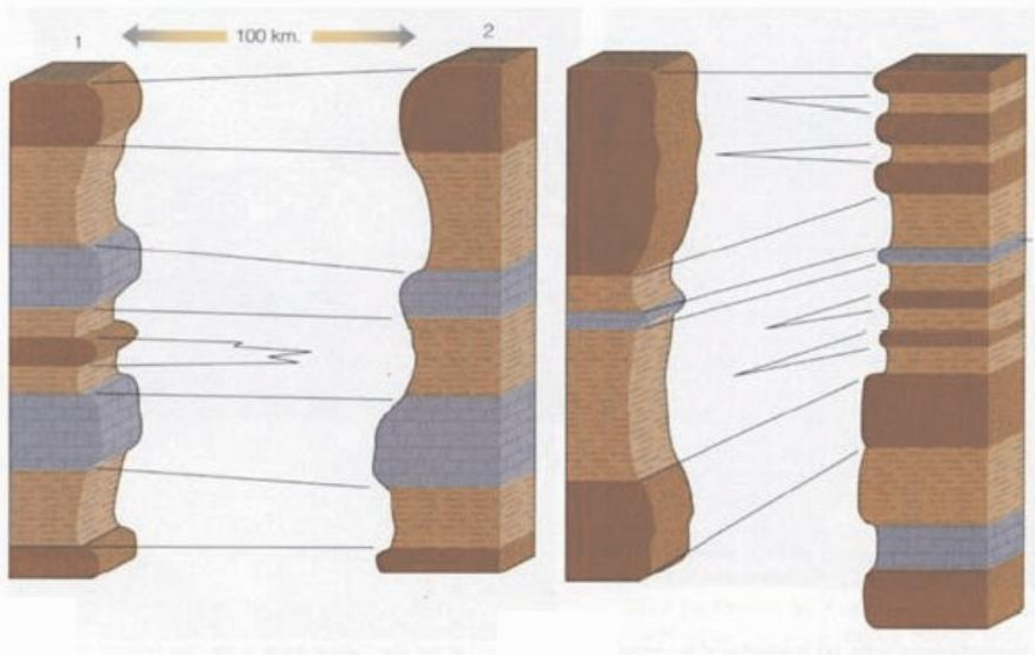
Geologické procesy a pojetí i role času (rychlost, vzájemný sled dějů..)

Historická geologie a stratigrafie - určení stáří planety a stáří hornin

Metody určování stáří hornin

IV.1. Relativní věk – aplikace především zákona superpozice a zákona stejných zkamenělin, litologické (litostratigrafické) metody (obr. 1.) a paleontologické (biostratigrafické) metody. Pochopení geologické stavby a vývoje zájmové oblasti.

Obr. 1.



Litostratigrafická korelace

© Ondřej Bábek

IV.2. Celkový věk („absolute age“) - chronostratigrafie

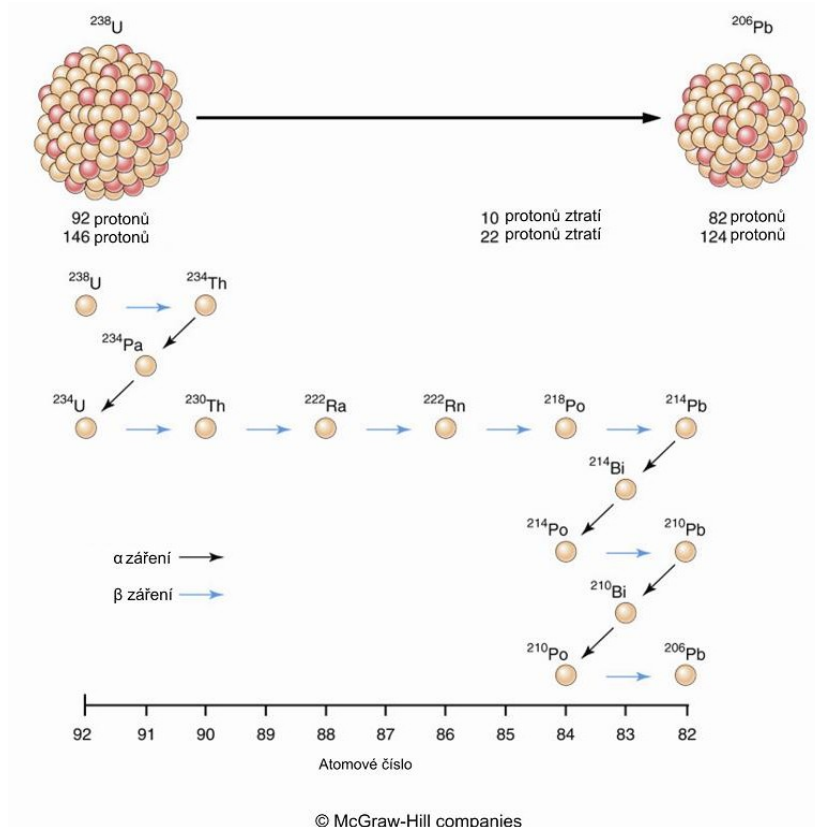
Dvě velké skupiny metod radiometrické a neradiometrické metody

IV.2.1. Radiometrické metody – uzavřený izotopický systém, samovolný přirozený rozpad mateřského (nestabilního) izotopu na dceřinné izotopy (stabilní). Množství a poměry mateřských a dceřinných izotopů jsou funkcí rozpadové konstanty - poločas rozpadu.

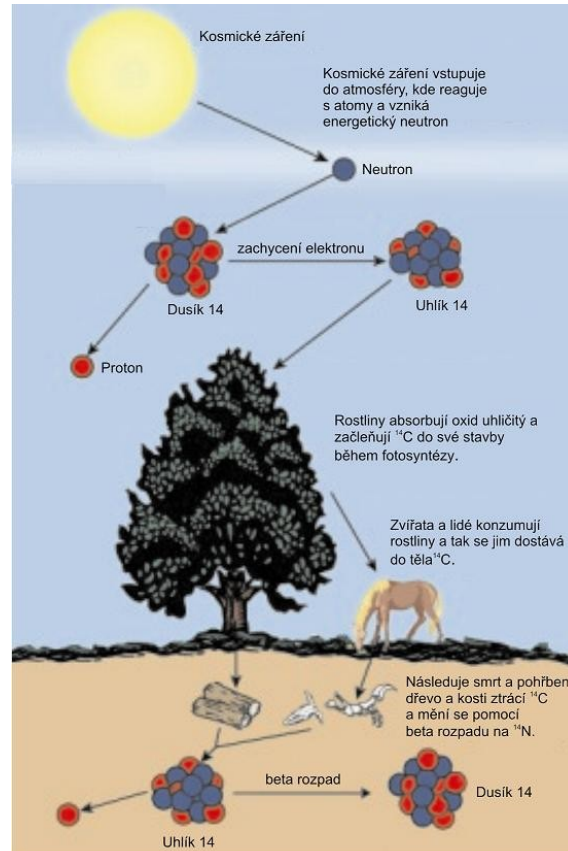
Řada různých metod (rozdílné izotopy – rozdílné poločasy rozpadu- rozdílná citlivost vůči vnějším vlivům- sedimentární vs. magmatické vs. metamorfované horniny- dostupnost vhodného minerálu).

Nejběžnější metody: metody uran – olovo, thorium-olovo ($U^{238} \rightarrow Pb^{206}$ p.r. 4,47 Mld. (obr. 2.), $U^{235} \rightarrow Pb^{207}$ p.r. 0,7 Mld., $Th^{232} \rightarrow Pb^{208}$ p.r. 14 Mld.), metoda poměrů izotopů olova (radioaktivní izotopy olova vs. neradioaktivní izotop Pb^{204}), metoda stop štěpení (Fission-track - hustota spontánních a indukovaných stop po průletu částic v krystalové mřížce), kalium – argonová metoda ($K^{40} \rightarrow Ar^{40}$ p.r. 11,9 Mld.), rubidium-stronciová metoda ($Rb^{87} \rightarrow Sr^{87}$ poločas rozpadu 47 Mld., aplikace poměru izotopů stroncia - poměr Sr^{87}/Sr^{86}), neodym – samariová metoda ($Nd^{143} \rightarrow Sm^{147}$ pol. rozp. 106 Mld.), radiouhlíková metoda (obr. 3.) ($N^{14} \rightarrow C^{14}$ pol. rozp. 5730 let), triciová metoda (izotop H^3 pol. rozp. 12,3 roku).

Obr. 2.



Obr. 3.



Princip radiouhlíkové metody

© Howstuffworks.com 2004

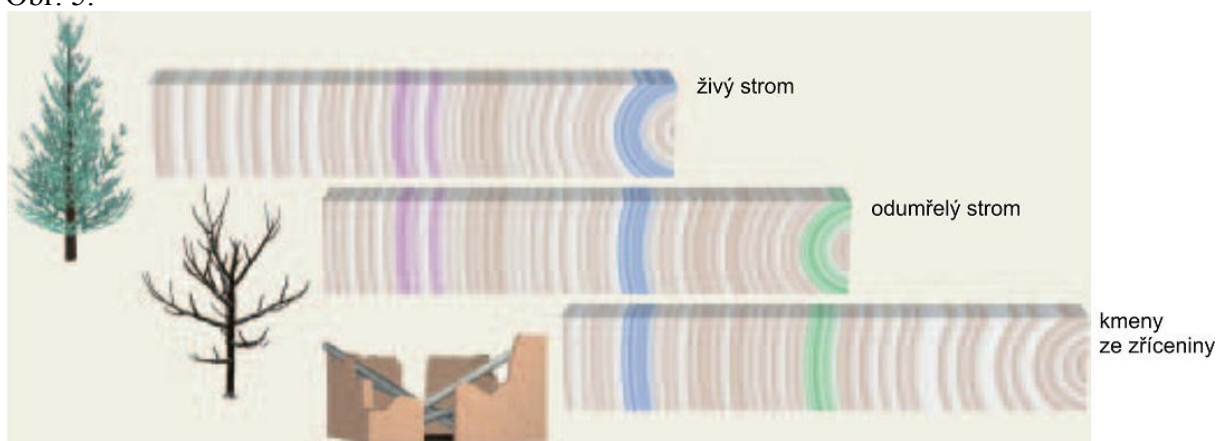
IV.2.2. Neradiometrické metody- metody rychlosti sedimentace/počítání přírůstkových vrstev (varvová stratigrafie (obr. 4.), dendrochronologie (obr. 5.), zvětrávací vrstvy, rychlost sedimentace vs. množství extraterestrického materiálu, kolagenová a fluorová metoda určení stáří kosterních zbytků).
Paleomagnetické metody

Obr. 4.



Varvity

Obr. 5.



Křížové datování je základní princip dendrochronologie. K datování historického objektu (zřícenina) jsou použity letokruhy tří stromů různého stáří. Letokruhy těchto stromů jsou navzájem porovnávány.

© Edward J. Tarbuck, Frederick K. Lutgens, Dennis Tasa

V. Vesmír (vznik, složení, vlastnosti) – kosmologie a planetologie

Extraterrestrická geologie

Náboženské mýty a báje – pozorování oblohy (Egypt, Mezopotámie, Mexiko – Mayové, tvorba kalendáře, cykly, komety..)

Konec středověku počátek novověku (pozorování novy, první dalekohledy-čočkové refraktory, geocentrický vs. heliocentrický názor)

Pozorování v různých vlnových pásmech (infračervené vlny, radiová astronomie - kvasary, pulsary, reliktní záření, rentgenová astronomie). Pozorování na oběžné dráze Země.

V.1. Vznik vesmíru

Teorie „**velkého třesku**“ - big bang (počáteční singularita) vs. big crunch (závěrečná singularita). Prostor a čas jsou funkcí expandující hmoty. Stáří vesmíru – nejruznější hodnoty mezi 10-20 Mld. let (metody: věk nejstarších hvězd, radiometrická chronologie, kosmologická dynamika rozpínání vesmíru). Výsledek stáří mezi 12-13 Mld. Doklady velkého třesku a rozpínání vesmíru - E.P.Hubble - „rudý posun“, reliktní radiové záření (izotropie, teplota), kosmologický princip rozpínání vesmíru.

Doba trvání/existence vesmíru (30-160 Mld. let.) - uzavřené a otevřené modely vesmíru.

Hadronová éra, homogenita - heterogenita prvotního vesmíru. **Spektrální záznamy** – určení složení vesmíru (Odd-Harkinsonovo pravidlo: Se stoupajícím atomovým číslem klesá zastoupení chemických prvků ve vesmíru (výjimka kolem a.č. 24 - Cr, Ni, Fe, Mn). Prvky se sudými at. čísly jsou hojnější než s lichými. Stejný proces vznik prvků ve vesmíru (**nukleosyntéza** – tvorba prvků, supernovy)

Základní stavební kameny vesmíru jsou **galaxie** (miliony galaxií – tvar, vývoj, složení)

Základní stavební kameny galaxií jsou **hvězdy**. Rozhodující silou galaxie je **gravitace** – rovnováha mezi pohybem/expansí a gravitací (tvar galaxie, kulové hvězdokupy, spirální, nepravidelné a eliptické galaxie). Stáří hvězd, jejich rozmístění v galaxii a charakterem hvězdy existují zákonitosti.

Galaxie Mléčná dráha - miliardy hvězd (rotace galaxie kolem středu - galaktický rok - 250 Mld.)

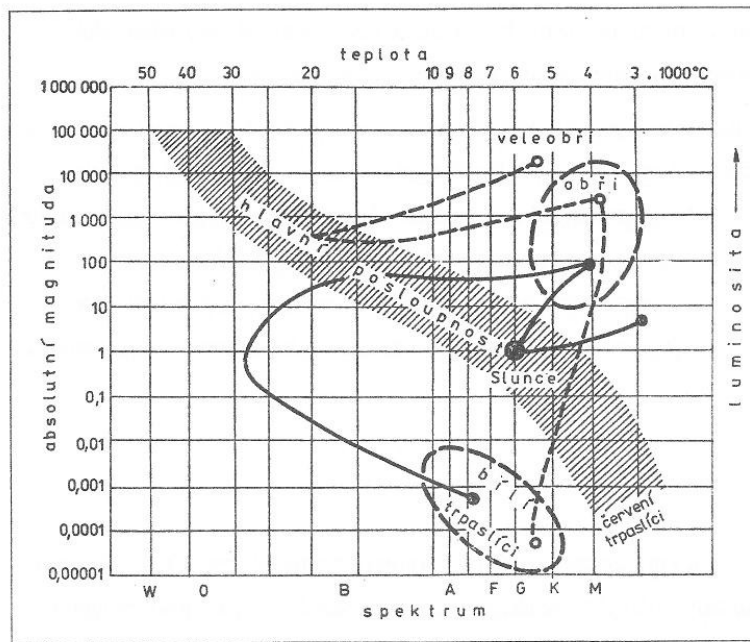
V.2. Vznik hvězd

Základem je nebulární teorie o sluneční mlhovině (Descartes, Kant, Laplace) – model naše Slunce. **Mračno mezihvězdné hmoty/nebule/mlhovina** (chladný plyn a prach – H, Si, C) - dynamický impuls (výbuch hvězdy, průchod spirálním ramenem galaxie,..) – gravitační kondenzace – globule -protohvězda (hybnost vs. hmotnost)- zapálení termonukleárních reakcí (sluneční vítr).

Sluneční cykly – termonukleární reakce (H –He), sluneční cykly (ovlivnění tvorby C14), stáří Slunce 4,6 Mld. Předpokládaný budoucí vývoj - žlutý trpaslík (10 Mld.) - červený obr - bílý trpaslík.

Vývoj hvězd - Hertzsprung-Russelův diagram (obr. 1.)(**diagram hlavní posloupnosti**) – závislost spektrálního typu hvězdy a povrchové teploty vs. absolutní hvězdná velikost (magnitudo)

Obr. 1.



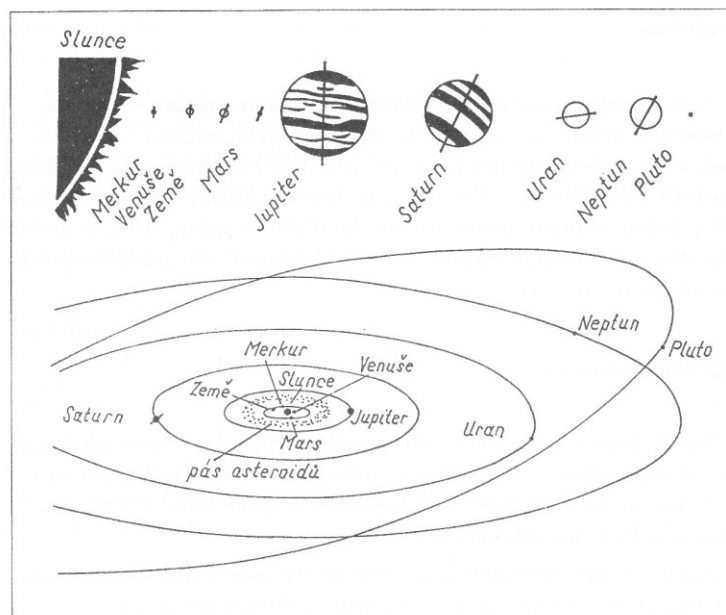
Hertzsprung-Russelův diagram vývoje hvězd. Zakresleny jsou vývojové křivky pro Slunce (plně) a pro masivní hvězdu o hmotě 10 x až 15 x větší než Slunce (čárkované).

© Boušek et al.

V.3. Sluneční soustava (obr. 2)

Slunce, 8 planet, asi 35 měsíců, asi 50 000 asteroidů, množství rojů asteroidů, meteoritů a komet. Slunce 99,87% hmotnosti soustavy

Obr. 2.



Znázornění relativní velikosti Slunce a planet, jejich oběžných drah a náklonu osy rotace v případech, že je znám.

© Press & Siever

Vznik planet (kondenzační teploty planet-rozdíly ve složení a vnitřní stavbě, smysl rotace planet vs. smysl rotace slunce, rozmístění a vlastnosti planet, index hybnosti)

Vznik planet společný proces se vznikem slunce – procesy v centru a na periférii kondenzujícího mračka, role impaktů, proces akrece. Vznik hmotnostních zárodků tzv. zvlčkovatění (shluky částic o velikosti kolem 100m) - planetesimály (5 km) – protoplanety (10 km) (obr. 3.). Rychlost tvorby planet vs. vývoj hvězdy (termonukleární reakce – sluneční vítr- zbytek neakretovaného materiálu na periférii).

Další teorie vzniku planet – gravitační zachycení mezihvězdného materiálu Slunce, vydělení materiálu ze Slunce vlivem gravitačního působení jiné hvězdy nebo vlivem vysoké počáteční rotace.

Obr. 3.



Formování protoplanetárního disku.

© ESO

Rozdělení planet

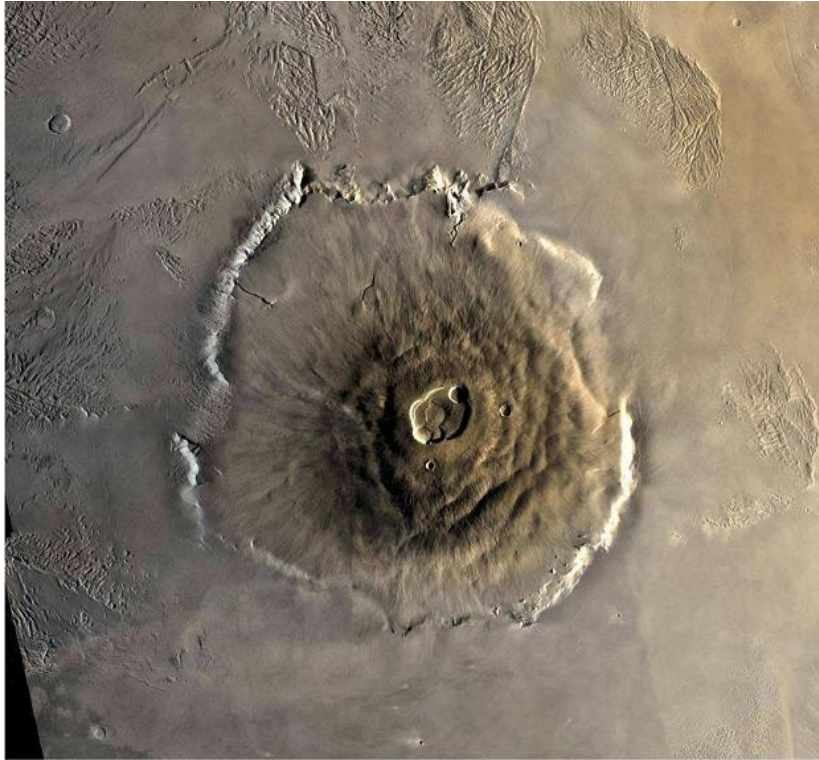
Vnitřní planety – planety terestrického typu (malé rozměry, vysoká měrná hmotnost, málo satelitů, pevný povrch, obdobné složení jako Země). Možnosti srovnání raných stadií vývoje sluneční soustavy a Země, procesy diferenciacce Země, vnitřních zemských geosfér).

Merkur (pomalá rotace, vlastní magnetické pole, vysoká průměrná měrná hmotnost podobná Zemi – existence „železného“ jádra, impaktní krátery, zlomová pásma v oblasti rovníku, bez satelitů, absence atmosféry)

Venuše (podobná měrná hmotnost, velikost a gravitační konstanta jako Země, opačný směr rotace, chybí magnetické pole, hustá a horká atmosféra, bez satelitů, vnitřní diferenciacce, konvenční proudy)

Mars (menší hustota, vnitřní diferenciacce-jádro, plášť a kůra, řídká atmosféra, 2 velmi malé satelity). Geologie Marsu, určování typů hornin, určování depozičních prostředí a procesů, vysoká mocnost kůry (vulkanicko-tektonické oblasti, kaňony (Coprates v.), štítové sopky (Mt.Olympus (obr. 4.)) , impaktní krátery, polární čepičky - obsahují vodu (led), CO₂, prachové částice, sezónní změny, pouště a duny (prachové bouře). Vývojová období Marsu (Noachián, Hesperian, Amazonián) – vulkanismus vs. oceány vs. zalednění vs. atmosféra. Meteority z Marsu na Zemi - (SNC) - vyvřeliny, stáří krystalizace 1,3-3,9 Mld., Fe³⁺, obsahy stopových prvků, poměry izotopů, pozůstatky života?).

Obr. 4.



Pohled na Mt. Olympus sestavený z obrázků odeslaných sondami Viking.

© NASA

Pásmo asteroidů (role látkové diference a akrece, rozdílné složení vnitřního a vnějšího pásu).

Vnější planety (značná velikost, malá měrná hmotnost, fluidní složení, absence pevného povrchu, množství satelitů, ledové prstence). Velmi odlišné procesy a složení od Země.

Jupiter (největší planeta, 2,5x hmotnější než ostatní planety, pozice uprostřed soustavy, významná produkce vlastní energie, silné radiační a magnetické pole, množství měsíců, různá velikost a vlastnosti - Amalthea, Ió, Europa, Ganymed,.., „malá sluneční soustava“). Na satelitu Io vulkanismus vyvolávaný z vnějšku (gravitační silou Jupitera), na Europě silná ledová kůra, pod kterou je pravděpodobně kapalná voda.

Saturn (obrovské měsíce – Titan s metanovými jezírky na povrchu a hustou atmosférou)

Uran, Neptun

Pluto a planetoidy obdobného typu

Pluto vyřazeno ze seznamu planet/planetoid. Jedná se totiž o malé těleso náležící do tzv. Oortova mračna, které obklopuje z vnějšku Sluneční soustavu a ve kterém jsou spousty dalších těles velikostně odpovídajících Plutu.

Kometární oblaky/mračna – celkově 50x větší hmotnost než Země, tvořené ledem a prachem.

Měsíc

Geologicky vyvinutý objekt (stáří hornin 3-4 Mld.), obdobná stavba k planetám terestrického typu. Velmi rychlá diference.

Vazba Země-Měsíc (značná velikost satelitu ve srovnání s mateřskou planetou, průměrná měrná hmotnost Měsíce 3,34 g/cm³ - hodnoty pláště Země)

Měsíční náhorní planiny a moře (chemická a hustotní diference). Měsíční krátery.

Vznik Měsíce- teorie: zachycení zemskou gravitací?, dvojplaneta?, odtržení od Země v rámci obrovského impaktu 4 Ga, kolize tělesa velikosti cca Marsu a Země, trosky po impaktu se ustanovily jako orbitální disk, kolize a akrece materiálem disku vedla ke vzniku Měsíce.

Slapové síly.

Meteority (obr. 5.)

Stadium akrece, srovnání role diferenciacce zemského tělesa vůči primitivnímu počátečnímu složení, radiometrické datování). Původ- pásma asteroidů, Měsíc, Mars.

Složení – rozmanité složení. Několik základních skupin dle složení (kovové Fe, siričky, křemičitany) a role diferenciacce, další vnitřní dělení např. mineralogické.

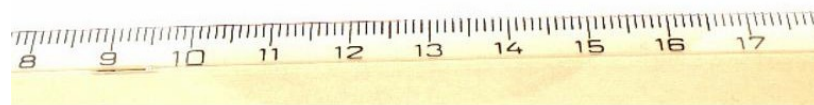
Chondrity (84%) - chondry (pyroxen, olivín), základní stavební materiál sluneční soustavy, uhlíkaté chondrity. Kamenné primitivní nediferencované, dominují silikáty.

Achondrity (8%) - přetavení (zbytky planet?), diferencované meteority, absolutní dominance křemičitanů.

Železa (6%) – diferenciacce, významné zastoupení kovů a menší role silikátů.

Siderolity (2%) – diferenciacce, obsah kovů a silikátů je v rovnováze.

Obr. 5.



Meteorit Morávka 1, který dopadl na Zem 6.5.2000. Byl způsoben kamenným kosmickým tělesem (chondrit) o rozměru řádově jeden až dva metry. Předpokládá se, že do okolí obce Morávka (cca 30 km dlouhého) dopadlo okolo 100 meteoritů. Z nich tři byly nalezeny – meteority Morávka 1 (214 g), Morávka 2 (329 g) a Horní Tošanovice (91 g).

© Jan Marek

V.4. Teorie katastrof - impakty

Globální měřítko katastrofy - mimozemský původ. Důvody: pozice planet, dopady vesmírných těles (asteroidy, komety).

Kosmický/hvězdný prach: částice s velikostí kolem 0.001- 1 mm (konec v atmosféře)

Četnost pozemských impaktů – vazba velikosti a četnosti (kosmický prach odhad 100 trilionů impaktů denně - velké tělesa/planetky jsou extrémně vzácné cca jednou za 100 Ma). Roční přírůstek hmotnosti Země cca 170 000 tun.

Velké impakty – hromadné vymírání organismů/mass extinction -Chicxulub Impact Structure (obr. 6, obr. 7. a obr. 8.), Mexico (Yucatán – hloubka 9 km, průměr 200km), 65 Ma, hranice křída/terciér, meteorit ~10 km v průměru, iridiová anomálie (cca 30x navýšení).

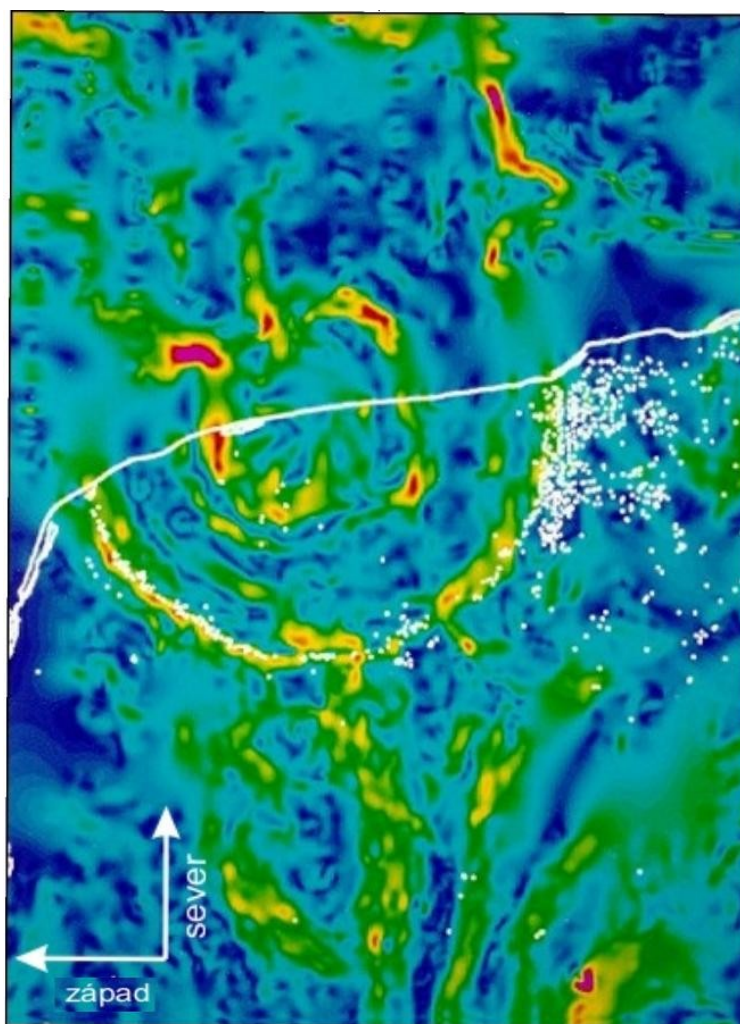
Obr. 6.



Poloha kráteru na poloostrově Yucatán.

© Aldebaran Group

Obr. 7.



Gravitační mapa v oblasti Chicxulubského kráteru.

© Alan Hildebrand et al.

Obr. 8.



Kresba dopadu desetikilometrového tělesa před 65 milióny lety vytvořená podle numerických simulací.

© Don Davis

V.4.1. Impaktní krátery

Možnosti zachování impaktních kráterů vnitřní planety sluneční soustavy vs. Země (různé stáří kráterů) – geologická činnost Země (cca 100 Ma existence kráteru). Rané stadium planety - akrece (zmírnění bombardování 4,2-3,6 Mld.)

Na Zemi katalogizováno asi 130 kráterů (kontinenty vs. oceány). Doklady: impaktní struktury (krátery) + další doklady (brekciace hornin, tektitová skla, šokové křemeny/minerály/horniny, vysokotlaké SiO₂ minerály, kuželovité tříštění, chemické anomálie, obohacení iridiem, ...).

Určující pro výsledek impaktu je kinetická energie dopadajícího tělesa (rychlost, hmotnost), petrofyzikální povaha dopadajícího tělesa a cílových hornin. Šoková metamorfóza (vysoký tlak, vysoká teplota, velmi krátký čas), exploze materiálu, skluzu.

Dvě skupiny kráterů: Úderové krátery (drobná tělesa, malá rychlost, metrové velikosti deprese, zbytky impaktoru).

Impaktní (výbuchové krátery), které lze rozdělit na jednoduché (průměr/ hloubka asi 0,33) a složité krátery (průměr/hloubka asi 0,1, centrální pahorek)

V.5. Vznik Země

Odlišnosti ve srovnání s ostatními vnitřními planetami (atmosféra s vysokým obsahem kyslíku, hydrosféra, povrchová teplota v okolí trojného bodu vody - dlouhodobě, geologicky aktivní planeta – dostatek vnitřních zdrojů energie – tektonická, seismická, vulkanická aktivita, výrazně diferencovaná kůra, existence života,...)

Ve srovnání s primárním materiálem obohacení litofilními refraktorní prvky (v minerálech, které krystalují z magmatu jako první – U,B,Sr), Mg a vzácné zeminy a ochucení o lehké (volatilní) litofilní prvky (Li,Na,K) a refraktorní siderofilní prvky.

Vznik Země procesem akrece. Názory o homogenní vs. heterogenní akrece (primární materiál o stejném nebo rozdílném chemickém složení). Představa heterogenní akrece (vznik

za „horca“ ve finálních stádiích modifikace dopady kosmických těles (kometry). Vazba ke vzniku jednotlivých zemských geosfér (jádro, plášť) a jejich složení. Problematika vzniku zemského jádra – několik fází akrece?

Gravitační energie dopadajících těles se mění na tepelnou energii – tavení hornin, gravitační diferenciace.

Energetické zdroje - gravitační diferenciace, rozpad radionuklidů, kinetická energie dopadajících těles. Vznik látkově a chemicky stratifikovaného jádra, pláště, zárodků kůry, prvotní atmosféra a hydrosféra. Postupný vývoj všech geosfér – od vzniku Země 4,6 Mld. Role biosféry.

VI. Termální model Země

VI.1. Tepelná bilance planety

Rozhodující faktor geologické aktivity. Existence termálních a látkových nehomogenit a jejich vyrovnávání.

Energetická bilance planety - **vnitřní endogenní vs. vnější exogenní zdroje a procesy.**

Vnitřní energetické zdroje planety: rozpad radioaktivních prvků, procesy gravitační diference, latentní teplo uvolněné při krystalizaci, teplo exotermních reakcí – hlavní energetický zdroj vulkanismu, magmatismu, zemětřesení, pohybu litosférických desek, metamorfózy, tektonických deformací, vzniku horstev.

Vnější zdroje: především energie Slunce (podrobněji viz. dynamika exogenních procesů). Energie Slunce vysoce převyšuje vnitřní energetické zdroje planety.

Vývoj v čase – prvotní stadia Země spjata s přeměnou kinetické energie impaktů, za předpokladu přibližně stabilní sluneční produkce energie lze spojit změny endogenní aktivity a vývoje planety Země dominantně s procesy endogenními (jádro, plášť).

Tepelný tok a termální gradient- distribuce tepelné energie v rámci zemském tělese. Výrazné rozdíly mezi jednotlivými oblastmi (geologický vývoj).

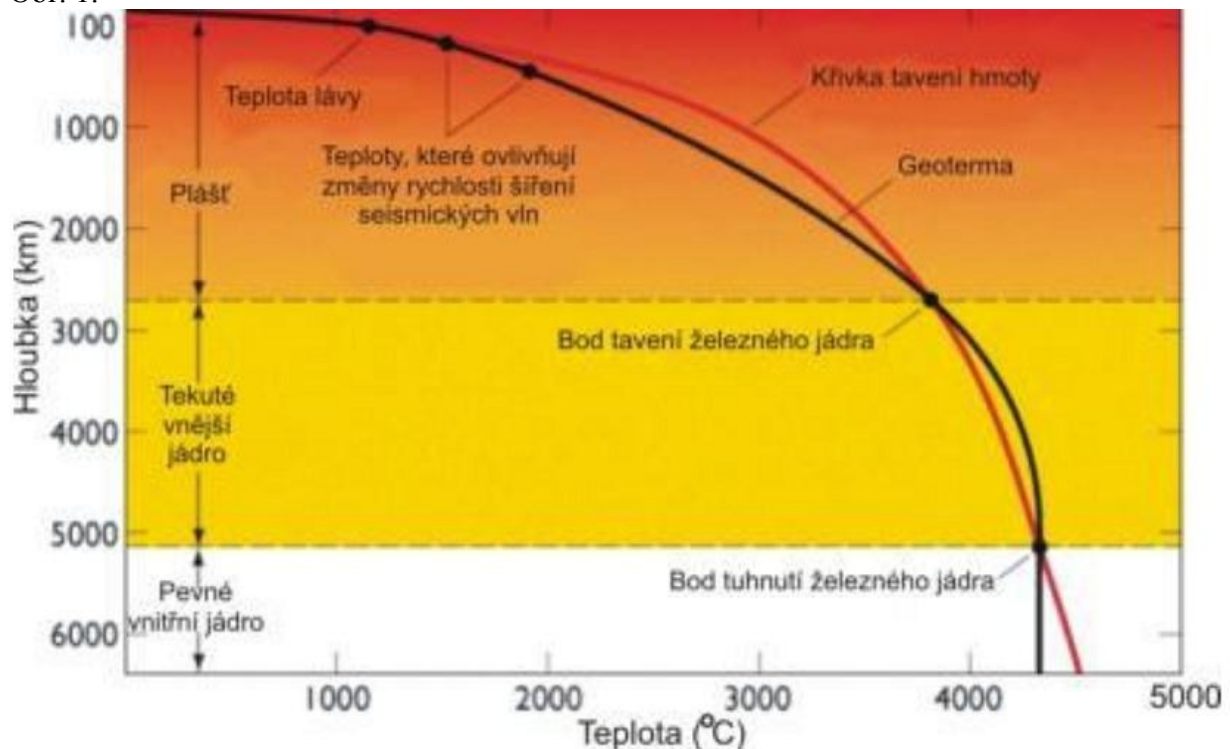
Geotermický gradient – změna teploty na jeden metr

Geotermický stupeň – vzdálenost na niž se teplota změní o 1°C

Geotherma (obr. 1.) – závislost tepla na hloubce. Výrazné rozdíly průběhu geothermy v různých místech zemské kůry- horniny s odlišnou termální historií (rozdílná geneze, minerální složení a stavba). Role sedimentace a eroze – snížení a zvýšení teplotního gradientu.

Šíření tepla kondukcí/vedení vs. konvekcí/proudění.

Obr. 1.



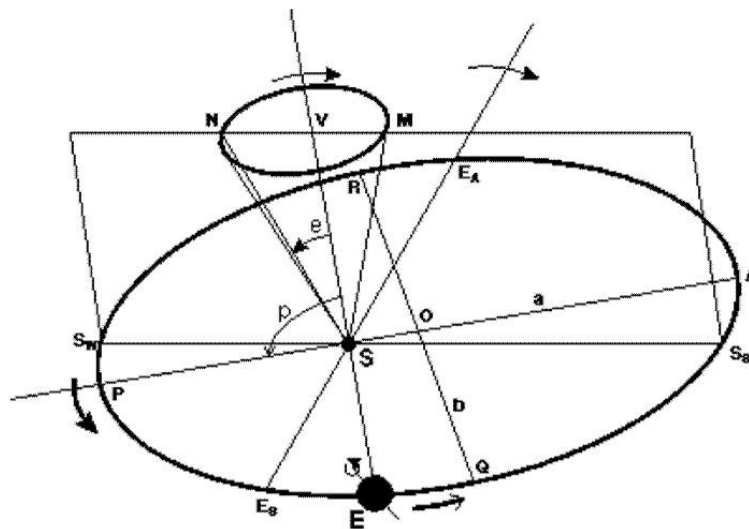
Geotherma - nárůst teploty do hloubky Země.

© Jan Jelínek

VI.2. Pohyby a tvar planety Země

Oběžná dráha kolem Slunce (parametry, excentricita) (obr. 2.)

Obr. 2.



Parametry oběžné dráhy, P-perihelion, A-aphelion, O-střed elipsy, a,b-osy elipsy, S-Slunce, E-Země, Ss a Sw-zimní a letní slunovrat, Es a Ew-jarní a podzimní rovnodennost .

© H.H.Lamb

Rotace- precese – nutace (obr. 3.).

Obr. 3.

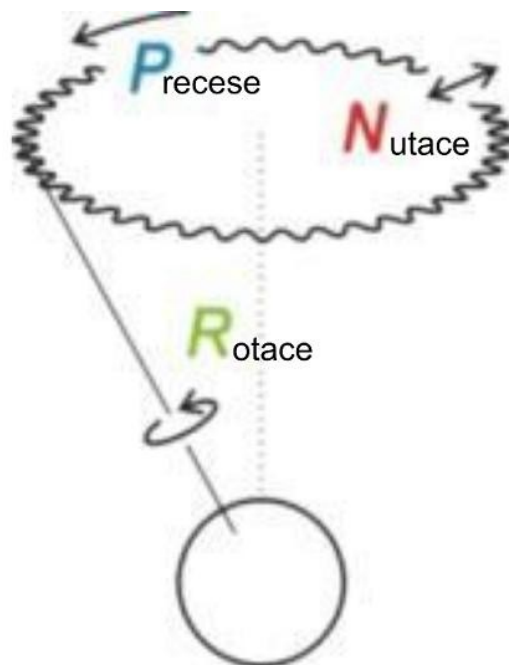
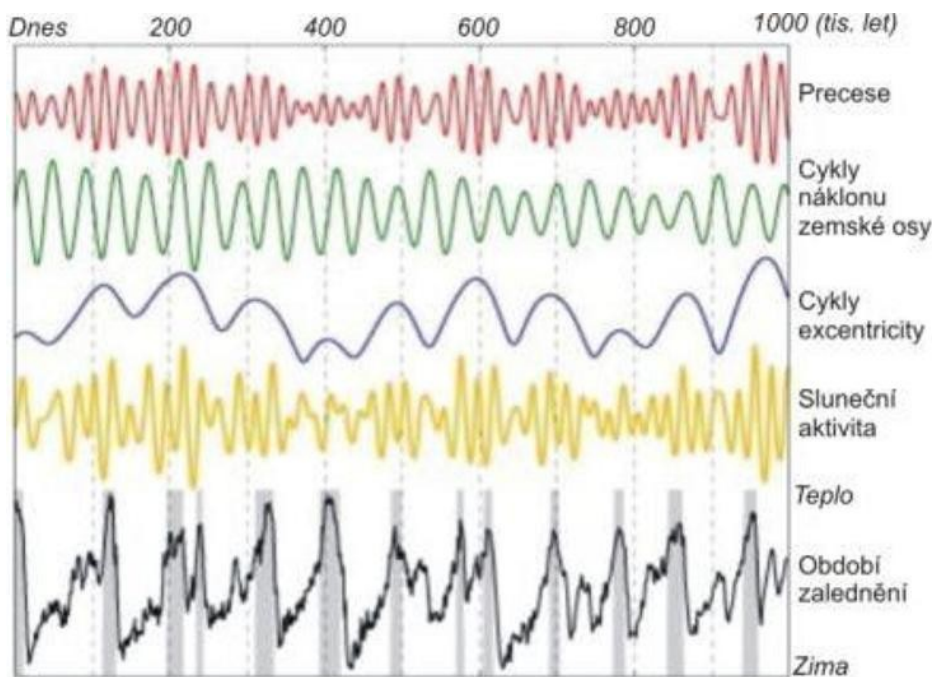


Schéma precese, rotace a nutace.

© Jan Jelínek

Milankovičovy cykly (obr. 4.)

Obr. 4.



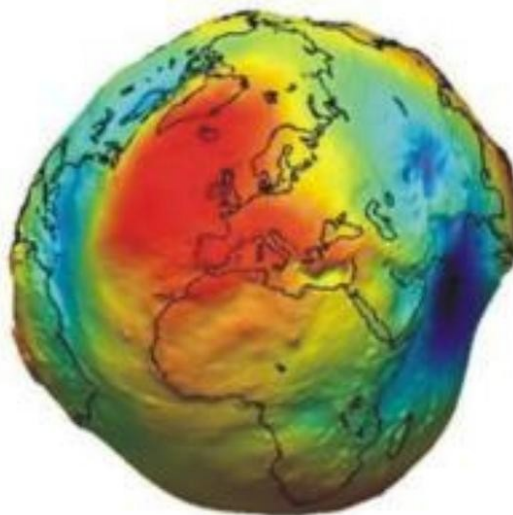
Milankovičovy cykly.

© Jan Jelínek

Tvar Země (obr. 5) studuje a popisuje geodézie, kartografie.

Generalizování složitého tvaru zemského tělesa: rotační elipsoid - sféroid (střední hladina oceánu, kratší osa polární). Geoid.

Obr. 5



Reálný tvar Země. Barevně jsou vyznačený rozdíly výšek ku GEOIDU; modré barvy jsou minusové hodnoty, žluté a červené barvy jsou kladné hodnoty.

© Jan Jelínek

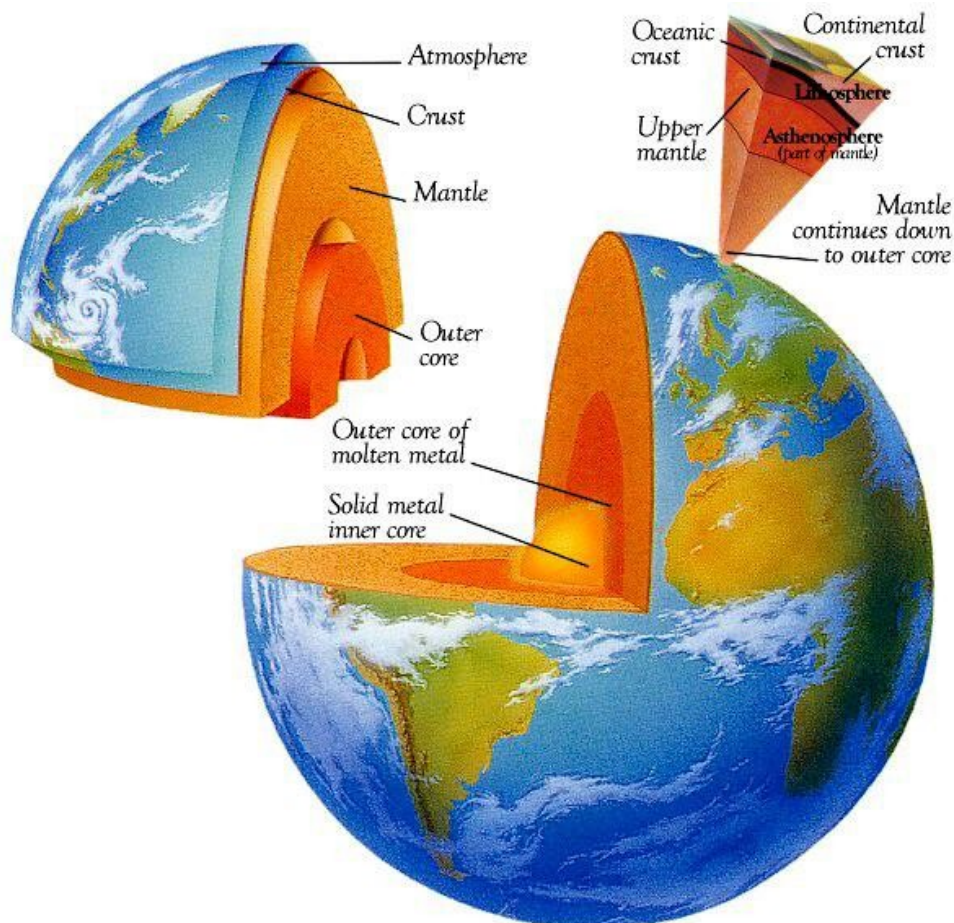
Gravimetrický model Země – rozložení hmot v rámci zemského tělesa – vnitřní stavba. Variace tíhového zrychlení – nepravidelné rozložení těžších a lehčích hmot. Rotační elipsod/sféroid s kratší osou pólou, kde je vnitřní rozložení rovnoměrně sférické a výslednice tížnice je v každém bodě kolmá k zemskému povrchu – tíhový referenční elipsoid. Role odstředivé síly na hodnotu gravitačního zrychlení na různých místech zemského povrchu.

Pohyby materiálu na zemském povrchu (slapové síly).

VII. Stavba a složení zemského tělesa

Zemské těleso se skládá z několika **geosfér** (obr. 1. a obr. 4.) – **zemské jádro, zemský plášť, zemská kůra, hydrosféra, atmosféra (biosféra)**. Vymezení pojmu **litosféra**.
Vnitřní a vnější geosféry a jejich dynamika.

Obr. 1.



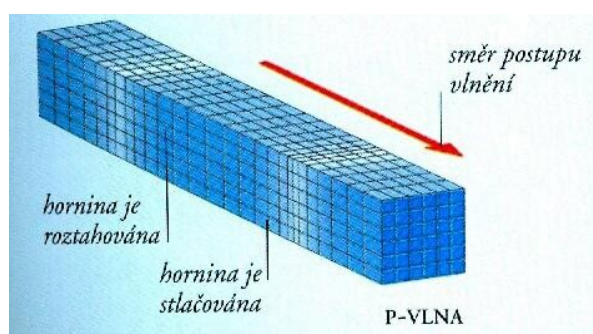
Schematický řez Zemí; (<http://kurz.geologie.sci.muni.cz/kapitola2.htm>)

VII.1. Stavba a složení vnitřních geosfér

Možnosti studia vnitřní stavby planety a jejich limity (přímé metody - přirozené odkryvy, vrtní a důlní díla, sopečné produkty a nepřímé metody - geofyzikální metody- především seismika, moment setrvačnosti). Laboratorní experimenty (vysokotlaká a vysokoteplotní petrologie).

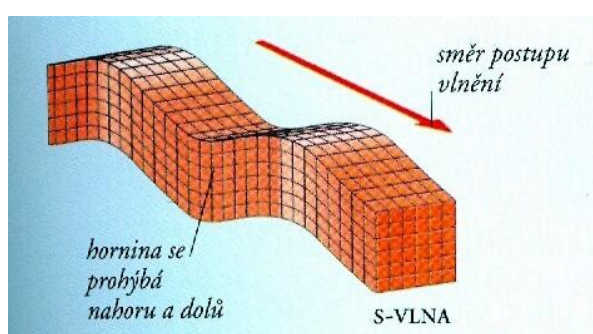
Seismické/zemětřesné vlny (zákonitosti šíření seismických vln – rychlost, povaha dráhy – odraz a lom, vlnoplocha, povrchové a prostorové vlny. Typy seismických vln: a) kompresní vlny: primární (rychlé) prostorové vlny P (obr. 2.), průchod kapalinou, pohyb ve směru šíření vlny. b) příčné vlny/ sekundární (pomalejší) prostorové vlny S (obr. 3.), neprochází kapalinou, pohyb napříč k e směru šíření vlny(střížné vlny). C) povrchové vlny: Rayleighovy vlny (orbitální dráha – vlnění) a Loveovy vlny (horizontální dráha, pomalejší)

Obr. 2.



P-vlna (<http://kurz.geologie.sci.muni.cz/kapitola2.htm>)

Obr. 3.



S-vlna (<http://kurz.geologie.sci.muni.cz/kapitola2.htm>)

Průchod seismických vln tělesem – deformace, rozdíly mezi jednotlivými vlnami.

Dle rychlosti šíření a povahy dráhy seismických vln lze odvodit že Země je heterogenní těleso (vertikální a horizontální nehomogenity), kde narůstá objemové hmotnosti s hloubkou a jednotlivé geosféry jsou odděleny více či méně výraznými diskontinuitami. Pozvolné vs. skokové změny- změna skupenství, změna fyzikálních vlastností hmoty.

Seismický model („Bullenův model“) stavby zemského tělesa

Povaha diskontinuit (hranice mineralogická vs. hranice chemická).

Geochemické modely stavby Země – modely **chondritové** (procesy diference) vs. modely **achondritové**. Rozložení chemických prvků v jednotlivých geosférách - Goldschmidt, Clark (atmofilní, litofilní, chalkofilní, siderofilní prvky).

Současná stavba a složení je výsledkem dlouhodobé látkové a strukturální diference. Dvě etapy vývoje: a) stadium vlastní formování planety (vlastní akrece, prvotní diference) b) pokročilé stadium /geologické etapy (pokračující diference geosfér, vývoj zemské kůry, hydrosféry a atmosféry, opakovaný vznik hornin v rámci horninového cyklu, vznik a růst role organického života).

Limitní faktory pro rekonstrukci složení a stavby zemského tělesa: a) primární materiál – chondritický, vývoj v rámci podmínek vnitřních planet – možnosti srovnání.

b) fyzikální vlastnosti zemského tělesa – modely v souladu s poznatky seismických modelů (rozložení hustot, pozice diskontinuit,..).

VII.2. Seismický model Země

VII.2.1. Zemské jádro

17% objemu, 34% hmotnosti zemského tělesa.

Hranice jádro plášť - Wiechert-Gutenbergova (Oldhamova) diskontinuita - 2900 km

Obrovský nárůst hustoty při této hranici z hodnoty kolem 5 g/cm^3 na hodnotu $12-13 \text{ g/cm}^3$, pokles vp z $13,7$ na $8,1 \text{ km/s}$, mizí S vlny. Povaha diskontinuity - změna chemického složení kovové jádro Fe,Ni vs. silikáty pláště.

Vnitřně lze jádro rozdělit na a) **centrální jádro** (5150-6378 km), Fe, Ni v pevném stavu.

b) **vnější jádro** (2900-5150 km) – neprochází S vlny, hmota na hranici likvidní a solidní fáze. Možná přítomnost lehčích prvků v jádře (Si,Mg,O,S) – snížení bodu tavení v rámci vnějšího jádra.

Vznik jádra – problematika homogenní vs. heterogenní akrece.

Relativní pohyb vnějšího jádra vůči jádru vnitřnímu a plášti – vysoký termální gradient, **vznik magnetického pole Země**.

Složky magnetického pole Země – a) vnější (sluneční vítr – ionosféra, magnetosféra), b) vnitřní (charakter dipólu, siločáry mezi jižním a severním magnetickým pólem, inverze magnetického pole – magnetostratigrafie, magnetická inklinace a deklinace, intenzita magnetického pole). C) korová složka.

Důvody magnetické inverze.

VII.2.2. Zemský plášť

80 % objemu zemského tělesa, významná role pro dynamiku endogenních geologických procesů. Látkově je plášť samostatný rezervoár. Dle seismických charakteristik a diskontinuit lze vyčlenit spodní a svrchní plášť. Někdy vyčleňována přechodná vrstva jádro-plášť (2900-2700 km). Spodní hranice pláště (Guttenbergova diskontinuita) v hloubce 2900 km.

Rozsáhlá energetická/tepelná a látková výměna v rámci pláště - konvekční proudění. Problematika interpretace hranice spodní vs. svrchní pláště – celoplášťová konvekce vs. oddělená konvekce ve spodním a svrchním plášti.

Dominantní minerály pláště jsou olivín, orto- a klinopyroxeny, granáty, sponelidy. Tyto minerály jsou hlavními horninotvornými minerály ultrabazických hornin (peridotity), a vysokotlakých eklogitů. Vysoká role tlaku – fázové změny minerálů s přibývajícím hloubkou (tlakem).

Z pohledu geochemického je plášť vůči chondritům silně obohacen o refraktorní oxifilní prvky (Al, Ca, Ti, Mg), mírně ochuzen o slabě a středně siderofilní prvky, velmi silně ochuzen o silně siderofilní prvky a vysoce inkompatibilní litofilní prvky a Si.

V plášti probíhá většina magmatických procesů.

Plášť prošel významnou diferenciací od primitivního/akrečního stadia.

Problematik „zúrodňování pláště“ procesy (látkově, energeticky) na zemském povrchu a v rámci kůry ve spojení se subdukci (oceánská a kontinentální kůra, sedimenty). Vznik alkalických magmat nad horkými skvrnami – procesy na rozhraní jádro/plášť.

V.2.2.1. Spodní plášť

Rozmezí cca 670 km-2700/2900 km, (vp $13,7 \text{ km/s}$, vs $7,3 \text{ km/s}$, m.hmotnost $4,5 \text{ g/cm}^3$)

Svrchní hranice – fázové přechody minerálů, pravděpodobně změna v minerálním i chemickém složení. Vnitřně homogenní těleso. Nejvyšší rychlosti šíření seismických vln ve spodních partiích pláště.

Velmi dynamická přechodná zóna podél spodní hranice spodního pláště.

Složení – experimentální studium – vysokotlaká nerozrůzněná polymorfní směs křemičitanů, fáze Fe,MgSiO₃ se strukturou perovskitu, vysokotlaké fáze MgO, SiO₂ (stišovit).

V.2.2.2. Svrchní plášť

Řada přímých údajů o složení a stavbě.

Rozpětí cca 60 km – 650/670 km

Vnitřně rozdělován na tři části:

Nejsvrchnější tvoří litosféra (tj. zemská kůra a nejsvrchnější svrchní plášť) – rigidní pevná zemská slupka.

Významné rozdíly mezi oceánskou litosférou (mocnosti 10-100 km) a oceánským svrchním pláštěm na jedné straně a pevninskou litosférou (mocnosti 150-200 km) a pevninským pláštěm na straně druhé. Rozdíly ve stáří, geologické stavbě, horninové náplni, genezi, mocnosti, původu a množství endogenního tepla, tepelný tok i vedení tepla. Oceánská litosféra je dotována teplem z magmatu stoupajícího z pláště (konvekce). Kontinentální litosféra – teplo radiogenního rozpadu (obohacení hornin kůry ve srovnání s pláštěm).

V podloží litosféry je zóna snížených rychlostí neboli astenosféra (hloubky cca 60/80km - 220/250 km, pokles vp i vs) – zvýšená plasticita hornin, významné termální rozhraní, parciální tavení pláště – tvorba magmat. Vysoký termální gradient umožňuje šíření tepla konvekcí (viskózně plastický stav), tvorbu magmat a pohyb litosférických desek. Rigidita litosféry vs. plasticita astenosféry (ohniska zemětřesení, subdukční zóny). Astenosféra plní roli kompenzační hladiny pro jednotlivé litosférické desky – izostatická rovnováha. Velmi proměnlivá vertikálně i laterálně. Mezosféra v podloží - fázové přechody (přestavba krystalové mřížky) typických minerálů (olivín, pyroxen, granát) svrchního pláště na fáze s hustší krystalografickou strukturou.

Horniny svrchního pláště – ultrabazika, peridotit, eklogit, pyrolit

Diskuse o povaze Mohorovičičova diskontinuity – chondritový (ultrabazika) a achondritový (bazika) model. Změna chemického složení.

Rozhraní kůra – plášť, litosféra – astenosféra, astenosféra-mezosféra jsou velmi nerovné, což vede k velkým laterálním teplotním a hustotním rozdílům svrchního pláště. Je to způsobeno konvekčním prouděním, výstupem plášťových diapirů, vstupem chladných a těžkých hmot v místech subdukčních zón a mocné litosféry. Trojrozměrné vyhodnocení rozložení těchto rozdílných hmot je spojeno s tzv. seismickou tomografií.

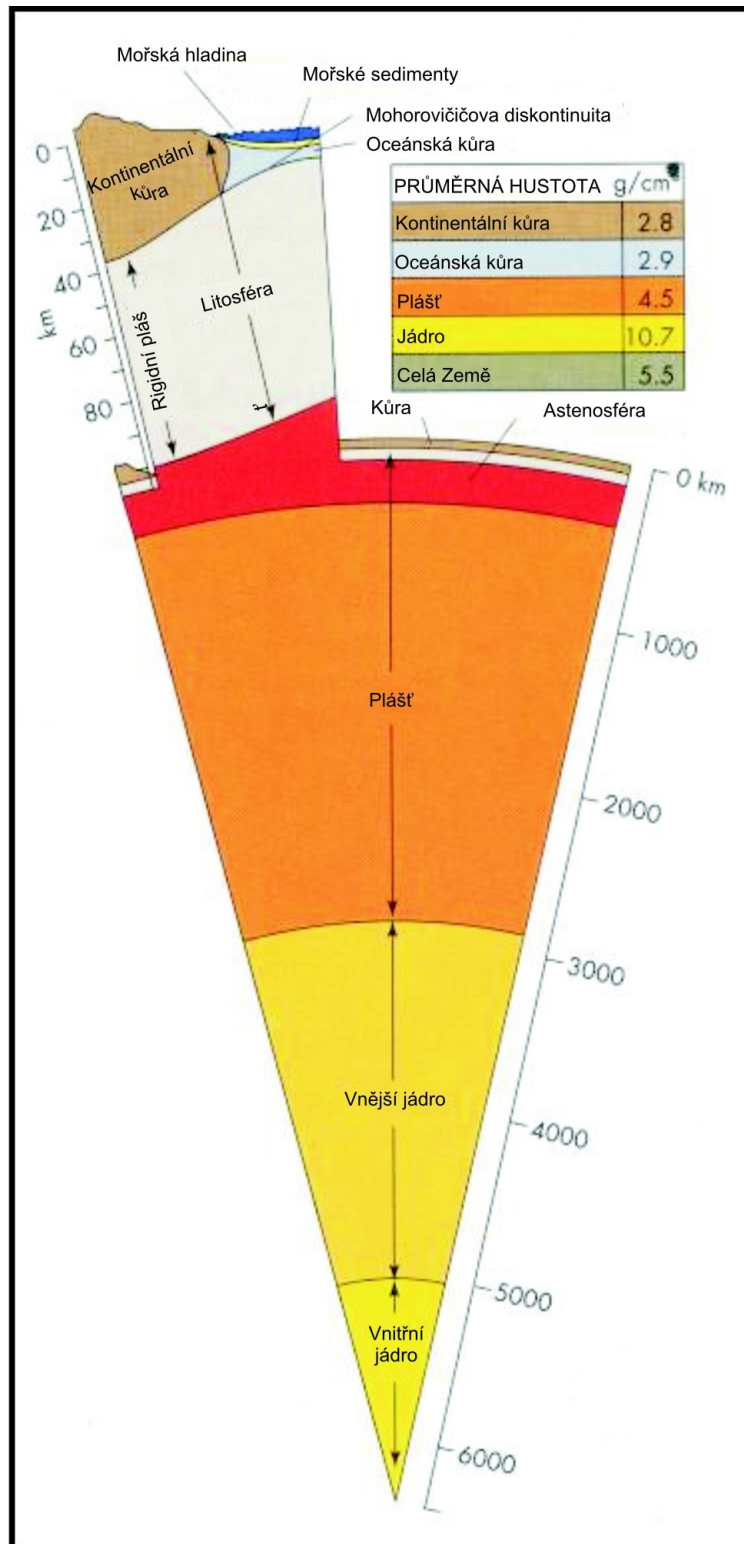
VII.2.3. Zemská kůra (obr. 5.)

Nejsvrchnější pevný obal – nízké proměnlivé rychlosti šíření seismických vln, nízká hustota hornin, silné tektonické postižení, vysoký stupeň anizotropie. Spolu s nejsvrchnějším svrchním pláštěm součást litosféry.

Látkově a chemicky nejvíce diferencovaná část Země – ve srovnání s pláštěm obohacena o litofilní prvky (Na, K, Ca), Si, Al. Složení: 64,7% magmatity, 27,4% sedimenty, 7,4% metamorfity, z minerálů dominuje křemen, živce, alumosilikáty. Geologický/horninový cyklus se odehrává v litosféře – významné obohacení vlivem procesů v rámci vnějších geosfér (atmosféra, hydrosféra a biosféra). Spodní hranice kůry – Mohorovičičova (Moho) diskontinuita. Vznik kůry ze svrchního pláště (primitivní kůra)

Tři základní typy kůry (rozdílná mocnost, složení - minerální i chemické, vývoj, stáří) - kůra kontinentální vs. kůra oceánská vs. kůra přechodného typu.

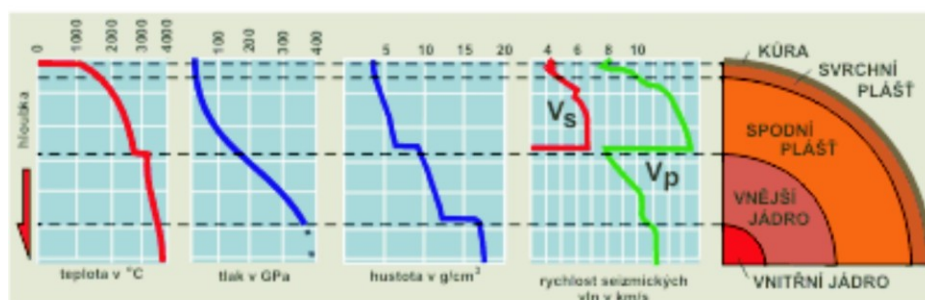
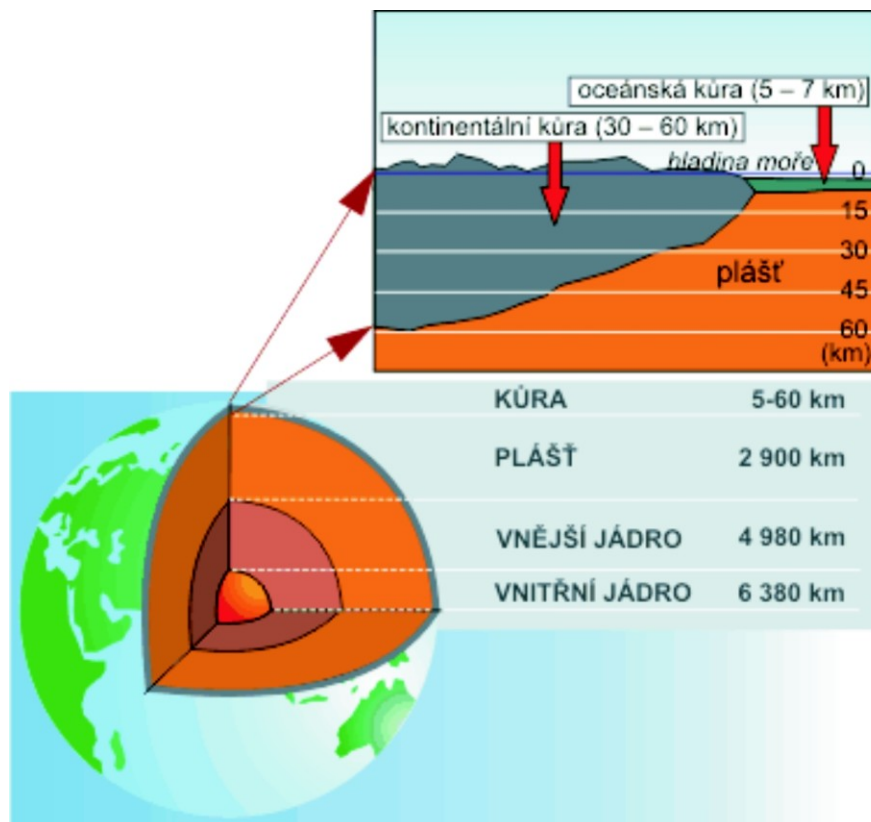
Obr. 4.



Základ zemského tělesa tvoří pevné geosféry, z nichž pouze nejsvrchnější část (zemská kůra) je dostupná pro interakce s ostatními sférami (biosféra, hydrosféra nebo atmosféra).

<http://kurz.geologie.sci.muni.cz/kapitola1.htm>

Obr. 5.



Průřez Zemí a její svrchní částí (litosféry a astenosféry). V dolních grafech je zobrazen vývoj teploty, tlaku, hustoty a rychlosti šíření seismických vln v zemském tělese.

© Jaroslav Synek

VII.2.3.1. Kůra oceánská

Součást oceánské litosféry. Mocnost oc. kůry 5-12 km, průměrná měrná hmotnost 2,9-3,0 g/cm³. Ve srovnání s kůrou kontinentální menší mocnost, odlišné minerální/petrografické a chemické složení, odlišná stratifikace, odlišný vývoj a geneze, menší stáří, vyšší měrná hmotnost. Tvoří asi 70% zemského povrchu, pozice v rámci oceánu (morfologie oceánské dna – středoocéánské hřbety, abyssální plošiny, hlubokomořské příkopy - aktivní okraj, kontinentální svah a kontinentální úpatí -pasivní okraj). Změna mocnosti oceánské kůry – stáří, pozice.

Vertikálně členěna na 3 vrstvy: a) vrstva sedimentární (p. mocnost 0,5 km, vp 1,5-3,4 km/s)- hlubokomořské sedimenty, b) vrstva bazaltová (p. mocnost 1,75 km, vp 3,4-6 km/s - OFB – bazalty oceánské dna, MORB, polštářové lávy, role alterace, průniky paralelních

bazaltových žil, c) třetí vrstva (p.mocnost 5 km, vp 6,5-6,7 km/s- gabra, amfibolity, v nejvyšších partiích bazaltové žíly, ve spodních partiích kumulátová gabra). V podloží peridotity (dunity, harzburgity) svrchního pláště.

Vznik oceánské kůry - středoocéánské hřbety, rozpínání kůry, adiabatický výstup magmat, výstupná cela konvekčního proudění. Oceánské bazalty – geochemicky málo diferencované tholeity, vzniklé částečným/parciálním tavením peridotitů svrchního pláště. Dynamická recyklace oceánské kůry – zánik v subdukčních zónách, sestupná cela konvekčního proudu.

Ofiolity – zbytky staré oceánské litosféry (kůra a nejsv.plášť) zapracované tektonicky do stavby kontinentální kůry. Uzavření oceánu – doklady deskové tektoniky.

VII.2.3.2. Kůra kontinentální

Vazba ke kontinentální litosféře. Vyšší mocnost 25-80 km (stáří, geotektonická pozice – vazba ke geomorfologii), průměrná měrná hmotnost $2,7 \text{ g/cm}^3$. Kontinenty, mělká moře(šelf). Velmi pestré a proměnlivé složení vertikálně i horizontálně (vývoj, stáří, geotektonická pozice). Vertikálně 3 vrstvy (výrazné rozdíly laterálně): nejvyšší vrstva sedimentární (proměnlivá mocnost -průměr 3 km, proměnlivé složení, vp 1,5-5,0 km/s, nárůst rychlosti s hloubkou). Střední vrstva granitoidní (mocnost 10-20 km, tělesa kyselých plutonitů a metamorfítů, vp 5,4-6,3 km/s, mineralizovaná fluida). Conradova plocha diskontinuity (přechod 2 a 3 vrstva kont. kůry, změna vp, proměnlivě výrazná). Spodní vrstva „bazaltická“ (bazické magmatity, metamorfity, vp 5,9-7,8km/s, velmi kolísající mocnost 15-50 km). Spodní hranice kůry- Moho diskontinuita – rozdílná výraznost (ostrá i pozvolná hranice).

Původ kontinentální kůry

Na rozdíl od oceánské kůry relativně stabilní po dlouhé jednotky geologického času. Vícestupňová diferenciace (parciální tavení, frakcionace magmatu, oddělení od reziduální/krytalické fáze, role exogenních procesů/zvětrávání, sedimentace,..). Koncentricko zonální model tvorby kontinentální kůry (dnes 41%).

Vývoj kůry (modifikace Wilsonova cyklu): stadium MORB - stadium andezitové/ostrovní oblouk- stadium andského vulkanismu(aktivní okraj kontinentu)

VII.2.3.3. Kůra přechodného typu

Mocnost kolem 20 km, specifická pozice (kůra ostrovních oblouků, některé případy styku oceánské a kontinentální kůry) – andezity.Vztahy různých typů kůry

VII.2.4. Izostáze, globální gravimetrické anomálie

Snaha o udržení rovnováhy ker kůry/litosféry. Procesy vzniku hustotních rozdílů litosféry.

Výrazné negativní gravimetrické anomálie v oblastech pásemných pohoří (lehké hmoty) vs. pozitivní gravimetrické anomálie přilehlých oceánů (těžké hmoty). Vazba gravimetrie a výrazných vertikálních rozdílů zemského povrchu – modely Pratt vs. Airy.

Příklady: procesy glaciace a deglaciace (Skandinávie), velké přehrady (Hoover Dam), rozsáhlá deltová tělesa. Tvorba reliéfu krajiny -údolní deprese.

Vertikální pohyby – izostáze vs. tektonika.

Regionální kompenzace

VII.2.5. Vnější obaly Země – hydrosféra, atmosféra, biosféra – exogenní procesy. Významná role vnějších obalů (termální rovnováha, vznik klimatu, ochrana živých organismů před kosmickým zářením, ..). Důležité cykly výměny hmoty (uhlík, voda, kyslík) mezi litosférou a vnějšími sférami.

Atmosféra – primární atmosféra (prvotní stadia vzniku Země), druhotná atmosféra (degazace vnitřních geosfér – vulkanické plyny), aktualistická atmosféra – role kyslíku, složení atmosféry. Struktura atmosféry - slupkovitá stavba (troposféra, stratosféra, termosféra,

exosféra, magnetosféra). Proudění v atmosféře- nestejněné přijímání slunečního záření (tlakový gradient, efekt Coriolisovy síly, nerovnoměrnosti zemského povrchu, nerovnoměrné rozdělení souší a oceánů,..). Geologická činnost větru.

Hydrosféra- voda oceánů a moří, jezer, vodních toků, podpovrchová voda, ledovce, atmosférická voda.

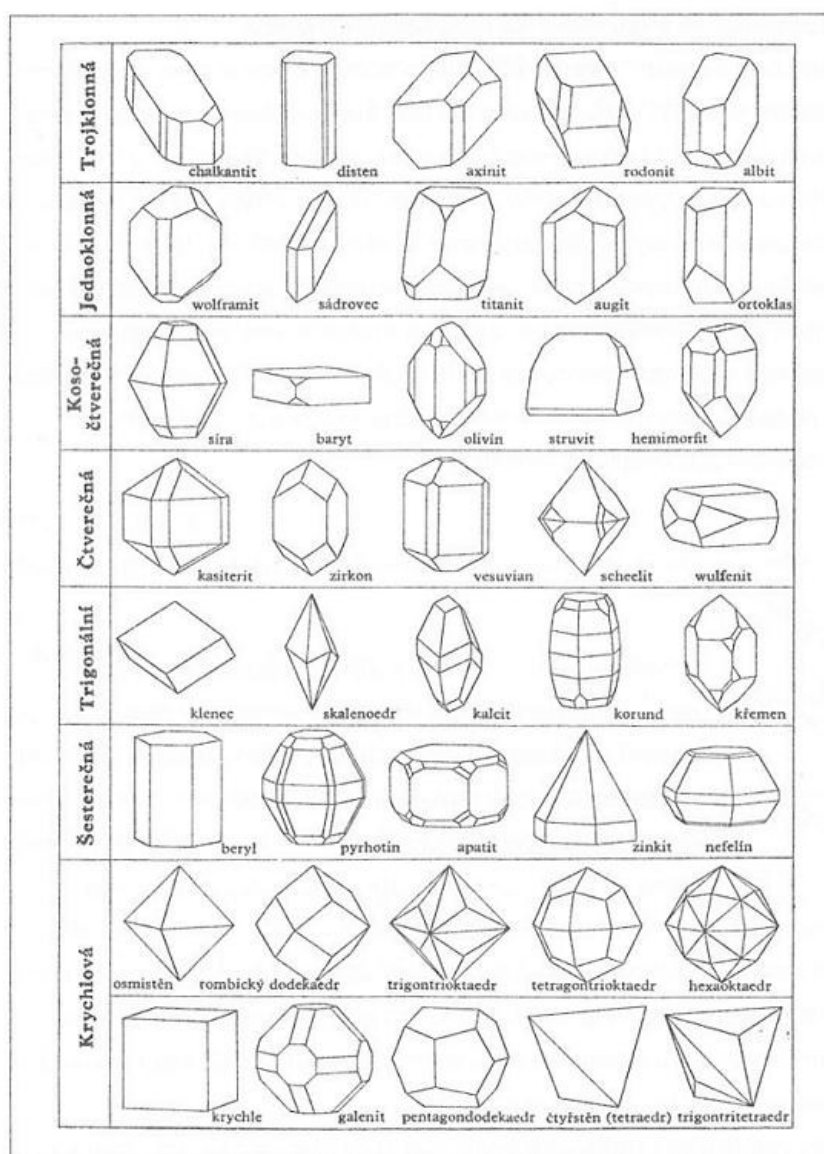
VIII. Minerály a horniny

Litosféra je tvořena horninami a minerály. Rozdílná hierarchická úroveň hmoty.

Minerály/nerosty – anorganická stejnorodá přírodní látka (chemické prvky a jejich sloučeniny), které vznikly přírodními procesy a vyznačují se specifickou stejnorodou krystalickou strukturou. Vnější projev krystalické struktury je krystal. Krystaly můžeme rozdělit do sedmi základních krystalových soustav: triklinické, monoklinické, kosočtverečné, trigonální, hexagonální, tetragonální a kubické (obr. 1.) Složení lze vyjádřit chemickým vzorcem. Chemické a fyzikální vlastnosti jsou stejné v kterékoliv části.

Minerály vznikají za velmi rozdílných fyzikálních a chemických podmínek a jejich vznik je spjat s různými geologickými procesy (magmatismus, vulkanismus, metamorfóza, sedimentární procesy).

Obr. 1.



Příklady krystalových tvarů minerálů v krystalových soustavách.

© Bauer & Tvrz

Horniny jsou seskupení minerálů nebo organických zbytků případně vulkanických skel (nehomogenní minerální asociace), které vznikají různými geologickými procesy a jako samostatná jednotka se účastní na stavbě litosféry. Horniny jsou obvykle látkově a strukturně nesourodé – jsou vícesložkové (výjimečně i monominerální horniny). Na rozdíl od minerálů je její chemické složení proměnlivé a nedá se vyjádřit chemickým vzorcem.

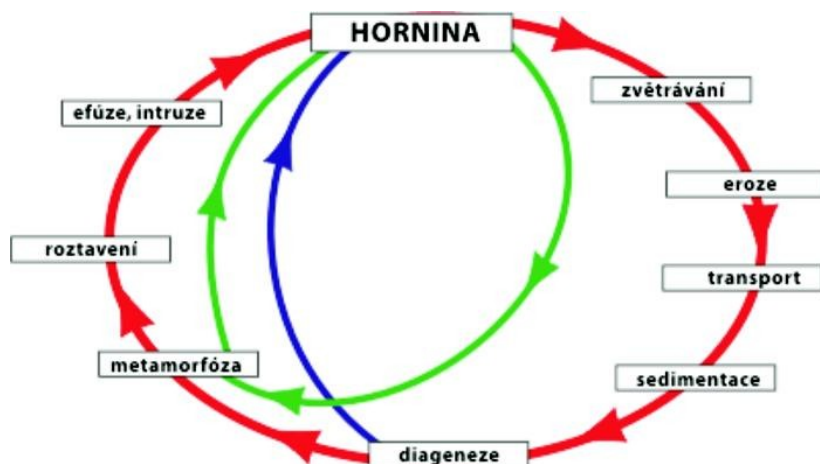
Horninový cyklus (obr. 2.) – změna fyzikálních a chemických parametrů v souvislosti s pozicí hornin v rámci svrchních zemských geosfér a vnějších zemských sfér vede ke vzniku různých skupin hornin (vyvřelé horniny, sedimentární horniny, metamorfované horniny) a minerálů. V rámci tohoto cyklu přechází jedny horniny v druhé – dynamické procesy.

Horniny lze geneticky rozdělit do 3 základních skupin: a) vyvřelé/magmatické horniny, b) sedimentární/usazené horniny, c) metamorfované/přeměněné horniny.

Základní parametry hornin: A) nerostné složení, B) stavba (struktura a textura).

Horninotvorné minerály lze dělit např. podle jejich relativního zastoupení v hornině (hlavní, vedlejší, akcesorické), podle makroskopické barvy (světlé, tmavé), ...

Obr. 2.



Hlavní pochody podílející se na vzniku hornin.

© Jan Petránek

VIII.1. Magmatismus

VIII.1.1. Úvod – základní termíny

Magmatismus je proces vzniku, vývoje, složení, diferenciaci, výstupu, utužení složité přirozené alumosilikátové taveniny a roztoků s ní spjatých do svrchních částí litosféry a na zemský povrch. Vznik magmatických hornin – krystalizace z magmatu, tavení svrchního pláště a spodní kůry.

Magmatismus se někdy dělí na a) **plutonismus**-intruzivní magmatismus, b) **vulkanismus**-efuzivní/extruzivní magmatismus.

VIII.1.2. Intruzivní magmatismus

Magma – mnohokomponentní systém, který tvoří fáze kapalná (většinou silikátová tavenina + H₂O), fáze plynná (CO₂, H₂O, HCl, H₂S, HF, N, He, SO₂, SO₃, F, O₂ – var magmatu) a fáze pevná (vykrystalované minerály, relikt).

Charakteristiky magmatu: teplota (650°C - 1200°C) a viskozita (chemismus, fluida, tlak)

Termíny: primární magma, primordiální magma, primitivní magma, mateřské a dceřinné/odvozené magma.

VIII.1.2.1. Magmatický krb

Výstup magmatu (obr. 3.) – počátek vzniku v různých hloubkách, tavení malého objemu horniny- vznik gravitační nestability pláště. Adiabatický gradient spolu s hustotními změnami díky fázovým změnám okolních minerálů směrem vzhůru – zrychlení pohybu magmatu. Zvýšení objemu taveniny. Spotřeba latentního tepla při výstupu, odvod tepla kondukcí při bázi litosféry, snížení hustoty okolních hornin – zpomalení výstupu – vznik magmatických rezervoárů /magmatické krby (vyrovnání gravitační nestability). Procesy v rámci magmatického krbu – rovnovážná vs. frakční krystalizace. Vznik rozsáhlých podpovrchových intrusivních těles.

Nerovnoměrné rozdělení podmínek pro vznik magmat v rámci zemských geosfér (vertikálně i horizontálně (rozhraní litosférických desek, hluboké diskontinuity).

Obr. 3.

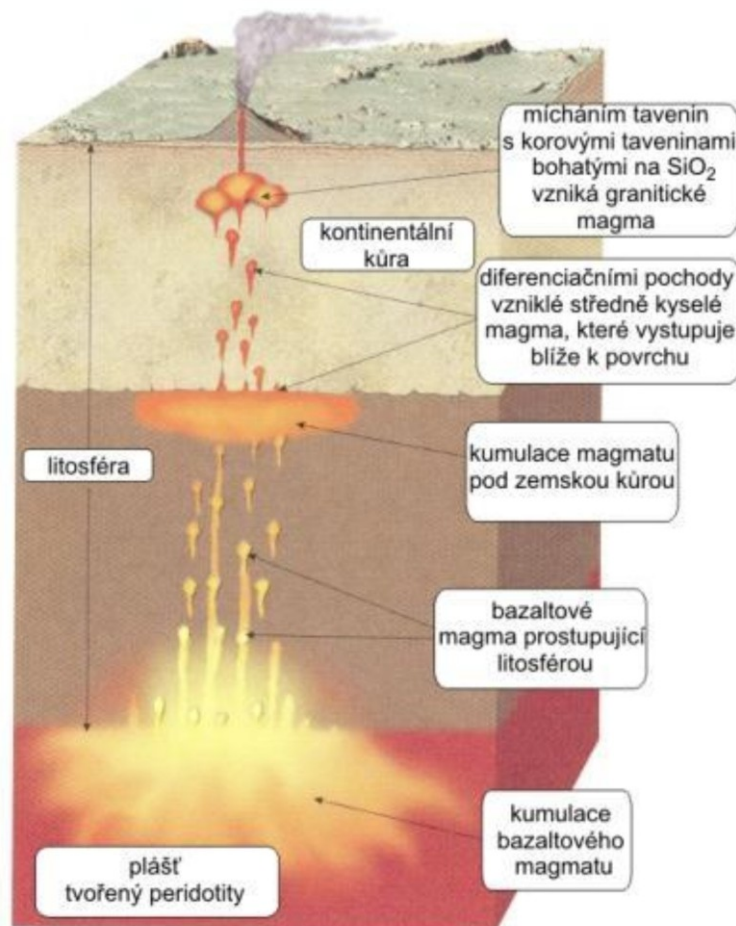


Schéma migrace magmatu litosférou kontinentálního typu k zemskému povrchu a vzniku kyselého magmatu..

© Jan Jelínek

VIII.1.2.2. Složení a klasifikace magmatických hornin

Klasifikace dle chemického a minerálního složení

Kyselé (nad 65% SiO_2), **intermediální** (52-64% SiO_2), **bazické** (52-44% SiO_2) a **ultrabazické** (pod 44% SiO_2) magmatické horniny – role křemene (hlavní vs. vedlejší)

minerál), draselných živců, plagioklasů, zástupců živců (foidy) dále olivíny, pyroxeny a amfiboly.

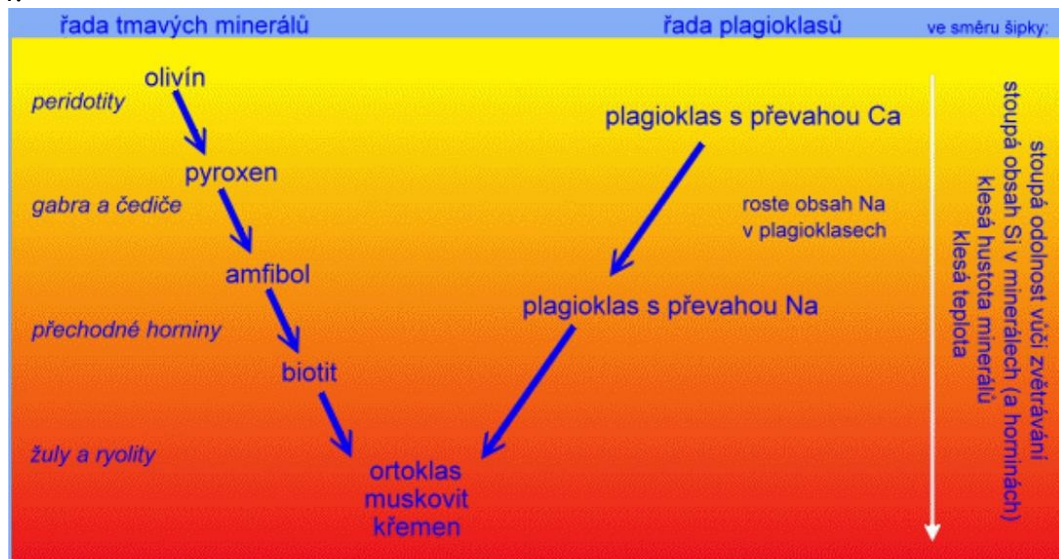
Vznik ultrabazického magmatu a bazického (čedičového) magmatu - sv. plášť (teploty 1300°C, hloubky 95-200 km, tlak 3000-6000 MPa- primární magmata.

Vznik dečřiných magmat – procesy **diferenciace magmatu** (likvace, frakční krystalizace (gravitace, filtrace), oddělení plynné fáze, asimilace a kontaminace).

Posloupnost krystalizace minerálů z magmatu (chemismus, čas, teplota, tlak)- Bowenovo/krystalizační/reakční schéma (obr. 4.) – kontinuitní (Ca plagioklasy-Na plagioklasy) a diskontinuitní větev (olivín, pyroxen, amfibol, biotit) – K živec, muskovit, křemen.

Homogenní vs. heterogenní tavenina.

Obr. 4.



Bowenovo schéma hlavní krystalizace silikátů z magmatu.

© Jiří Mališ

Granitoidní (kyselé) magmatické horniny

Typická složka kontinentální kůry – centra orogénů. Vznik parciálním tavením hlubších partií kontinentální kůry. Pokročilá frakční krystalizace, role anatexe, palingeneze a fluid.

Klasifikace granitoidů - granity I, S, A, M klasifikace chemická (peraluminické, metaaluminické a peralkaické), klasifikace dle vztahu k orogenezi (pretektonické, syntektonické a posttektonické).

I granity – vznik z původního granitového materiálu.

S granity – vznik ze sedimentů.

A granity – vznikají ze zbytkových roztoků frakční krystalizace.

M granity – vznik diferenciací nejsvrchnějšího pláště.

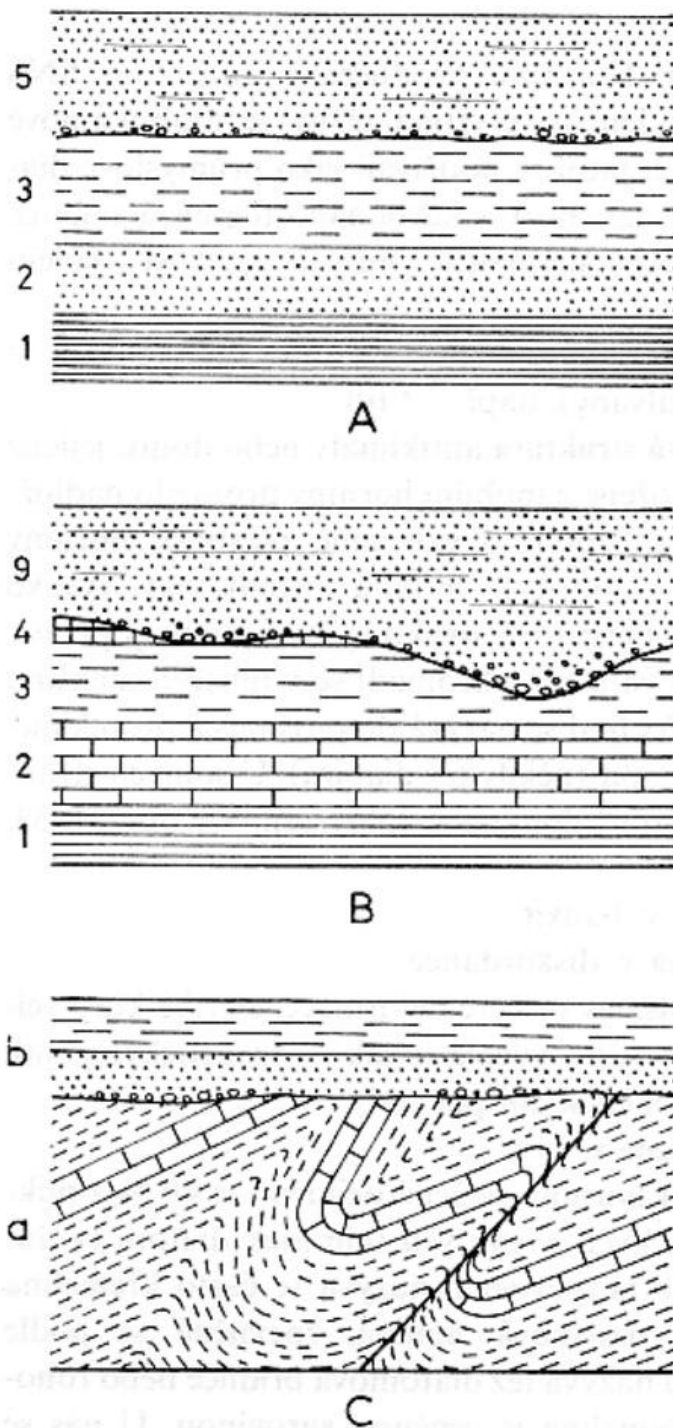
Geotektonická pozice magmatických hornin – kontinentální kůra, ofiolitové série, ostrovní oblouky.

VIII. 1.2.3. Tělesa magmatických hornin (podpvrchová)

Rozdělení dle pozice vůči zemskému povrchu (rychlost krystalizace, struktura, textura) – hlubinné, žilné, výlevné (efuzivní, extruzivní), někdy zvláště vyčleňovány subvulkanické.

Podle vztahu k okolnímu horninovému plášti se dělí na diskordantní (nesouhlasná) (obr. 5.) a konkordantní (souhlasná) (obr. 6.). V rámci těchto skupin se pak dělí podle velikosti a tvaru.

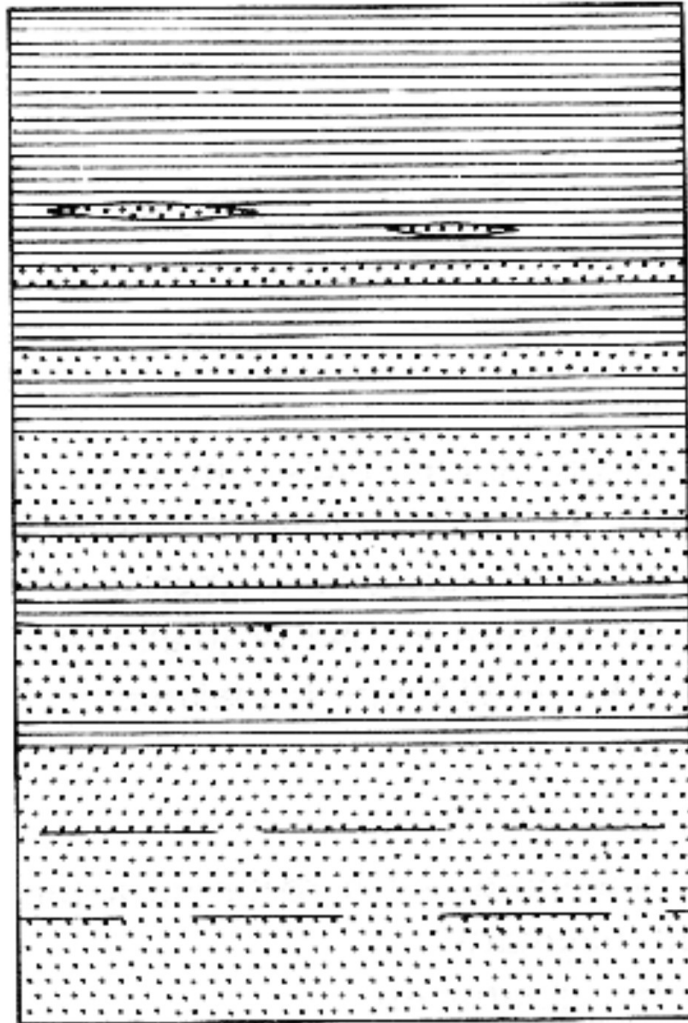
Obr. 5.



A - skrytá diskordance (hiát): vrstvy jsou souhlasně (konkordantně) uloženy, avšak nepřítomnost vrstvy 4 svědčí o přerušení sedimentace nebo o erozi; B - diskordance charakterizovaná výrazně erodovaným podložním vrstevním sledem (schází vrstvy 5 až 8) a polohou slepenců na bázi; C - úhlová diskordance: mezi uložení obou komplexů (a, b) uplynulo dlouhé geologické období, během něhož vrstvy a-komplexu byly zvrásněny a hluboce denudovány.

© Jan Petránek

Obr. 6.



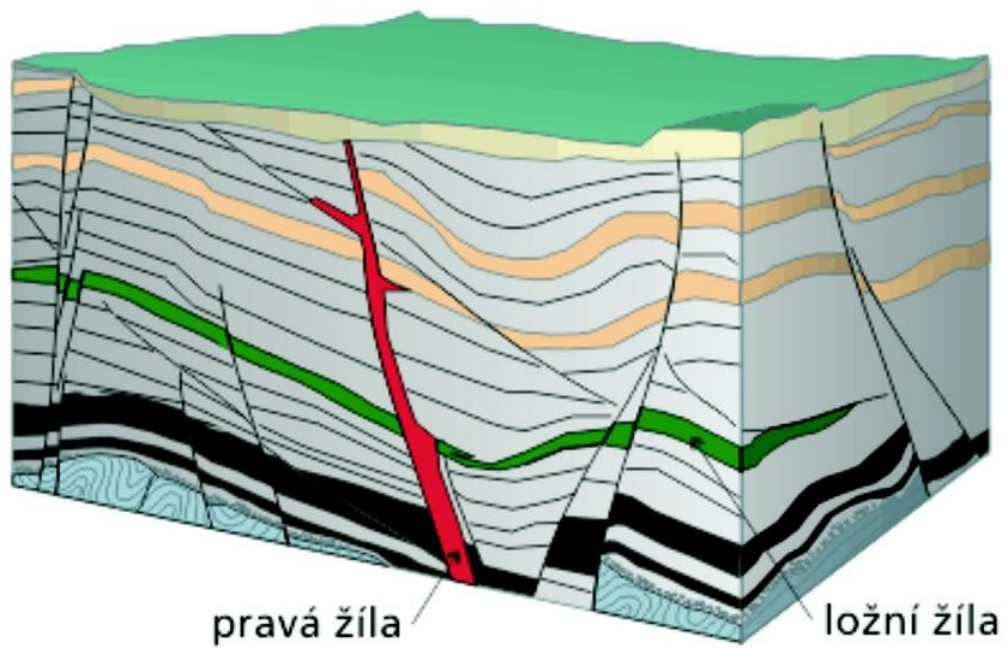
Konkordance neboli souhlasné (paralelní) uložení vrstev (příklad přechodu pískovců do jílovců v nadloží).

© Jan Petránek

Diskordantní tělesa (obr. 7. a obr. 10.) - pravá žíla, žilný roj, žilník, prstencové žíly, ringové komplexy, peň, etmolit, batolit, pluton, masív.

Konkordantní tělesa (obr. 8., obr. 9. a obr. 10.) - ložní žíla, lakolit, hemilakolit, bysmalit, lopolit, fakolit, harpolit.

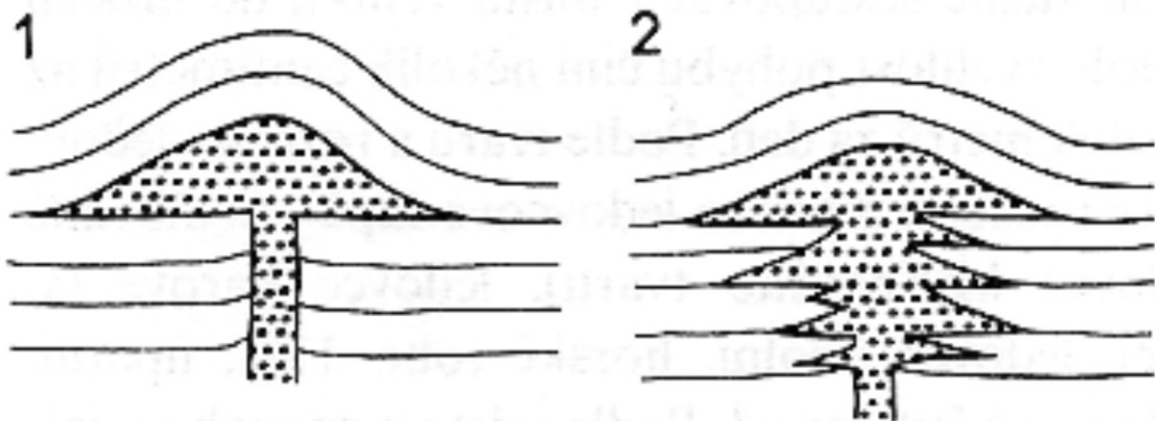
Obr. 7.



Ukázka pravé a ložní žíly a jejich vzájemných vztahů v geologické situaci. Pravá žíla (červená barva) je mladší, protože protíná žílu ložní (zelená barva).

© Jaroslav Synek

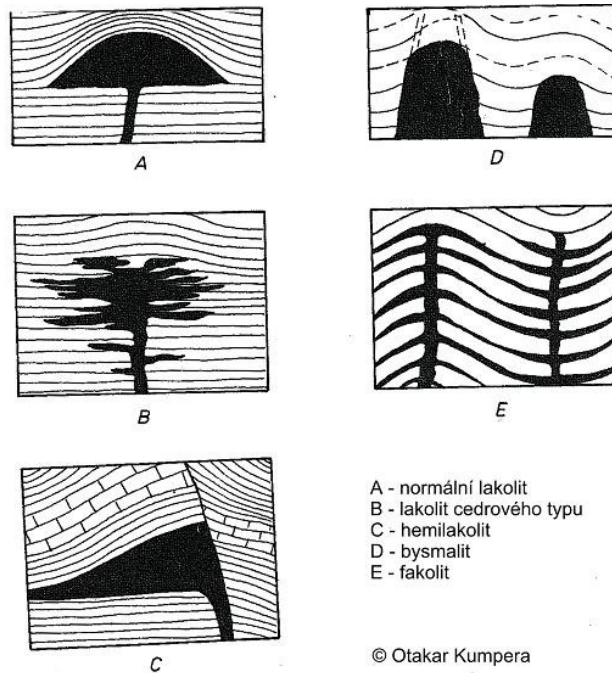
Obr. 8.



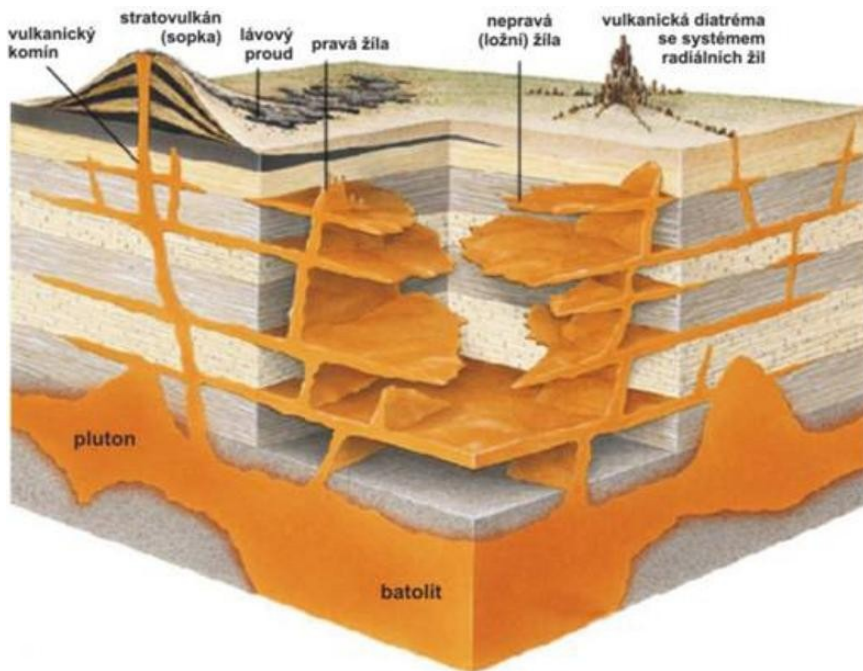
1 - normální lakolit, 2 - lakolit cedrového typu

© Jan Petránek

Obr. 9.



Obr. 10.



Schématický blok diagram vztahu intruzivního a extruzivního magmatismu se základními typy magmatických těles.

© Press & Siever

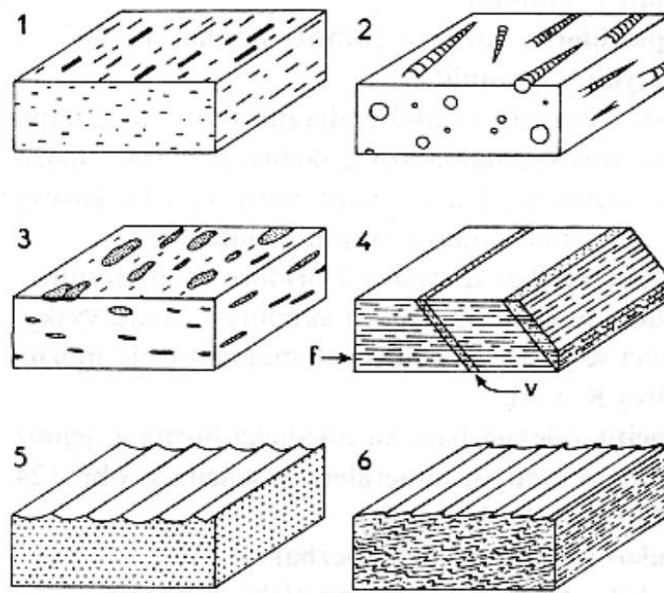
Atektonické/Předtektonické struktury magmatických hornin

Pukliny (S-podélní, L-ložní, Q-příčné - Cloosovská tektonika)

Lineace (obr. 11.) - podélné prvky v hornině, např. shodné uspořádání minerálů vytvářejících dlouhé sloupečky (kupř. amfibol v gabru).

Foliace - plošné prvky v hornině, např. polohy slíd ve svorech a rulách.

Obr. 11.



1 - usměrněné minerály, 2 - proudem usměrněné schránky hlavonožců ("Orthoceras"), 3 - tlakem protažené a zploštěné valouny, 4 - lineace v podobě průsečnice foliace (břidličnatosti - f) s vrstevnatostí (v), 5 - hřbety čefin v písčitém sedimentu, 6 - vrcholy (osy) vrásek

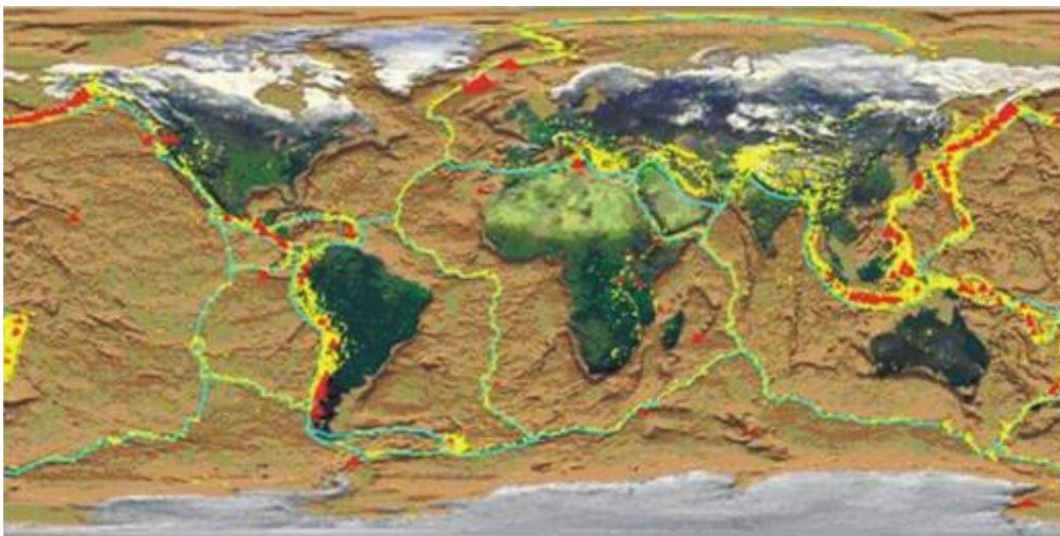
© Jan Petránek

VIII.1.2. Vulkanismus

Projevy povrchové magmatické aktivity (výstup magmatu/lávy, plynů a pyroklastik).
Mezogenní procesy

Vulkanismus a desková tektonika (obr. 12) - obvykle lokalizován na okrajích litosférických desek ale také vnitrodeskový vulkanismus.

Obr. 12.



Lokalizace aktivních vulkánů(červené) a epicenter zemětřesení (žluté) na hranicích tektonických desek.

© Press & Siever

Mechanismus vulkanické erupce

Vulkanický proces (intratelurická vs. explozivní fáze) - magmatické-vulkanické krby-zemětřesná činnost (geofyzikální indikace vulkanismu) - změna tvaru vulkánu - explozivní fáze Přírodní dráha – sopouch.

VIII.1.2.1. Produkty vulkanické činnosti

Fáze plynná (vulkanické plyny) - fáze pevná (pyroklastika) - fáze kapalná (láva)

VIII.1.2.1.1. Vulkanické plyny

Těkavé složky magmatu – důležitá role při tvorbě prvotní atmosféry Země. Jejich složení je značně závislé na teplotě. Jsou tvořeny sloučeninami především H, O, C, S dále B, N, Cl, F.

Charakter erupce výrazně závisí jak na množství plynné složky, tak na procesech uvolnění fluid (chemismus magmatu, čas-rychlost uvolnění/erupce).

Difúze vulkanických plynů v atmosféře - krátkodobé klimatické změny (ochlazení vs. oteplení).

VIII.1.2.1.2. Pyroklastika

Materiál vyvržený při vulkanické erupci, který dopadl na povrch v pevném stavu.

Velikostní klasifikace (v. popel, písek, lapilli, pumy, balvany, bloky). Vzniklé horniny - aglomeráty, tufy, tufity, ignimbrity.

Klasifikace dle původu pyroklastik - (v rámci popela adjektiva vitritický, litický, krystalický) – magma vs. přírodní dráhy.

Procesy transportu pyroklastik - pyroklastický spad, pyroklastický proud, pyroklastický příval. Žhavé proudy vs. lahary.

Chemismus magmatu vs. produkce pyroklastik. Horizonty pyroklastik a korelace.

VIII.1.2.1.3. Láva

Infra- či subkrustální tavenina, rozdílného složení. Magma, které proniklo na zemský povrch (90% magmat nikdy nedosáhne zemský povrch).

Charakter erupce (efuzivní vs. explozivní) závisí na vlastnostech (viskozita, teplota, chemismus) a složení magmatu/lávy (bazické lávy, intermediální lávy, kyselé lávy).

Tělesa lávy - lávové proudy a lávové příkrovy. Morfologie lávových proudů je řízena viskozitou lávy. Viskozita závisí na složení lávy – ryolitová láva/vysoká viskozita vs. basaltová láva/nízká viskozita. Ryolitová láva vede k vzniku krátkých, mocných proudů a dómů. Basaltová láva tvoří tenké a rozsáhlé proudy. Role alkalických prvků.

Morfologie láv - terestrická tělesa (pahoe-hoe, aa, provazcová láva, bloková láva), submarinní tělesa (polštářová láva, hyaloklastová láva). Sloupcovitá odlučnost.

VIII.1.2.2 Typy vulkanismu

Aktivní, spící, vyhaslý vulkanismus

Lineární vulkanismus (vulkanický příkop – kráterová řada)

Centrální vulkanismus (kráter, kaldera) - (ultra-Pliniovske erupce)/areální vulkanismus

Kontinentální vs. podmořský vulkanismus, podledovcový vulkanismus

VIII.1.2.2.1. Typy sopek (centrální vulkanismus)

Rozdělení dle tvaru, typu vulkanické erupce (plyny, pyroklastika, láva), množství erupcí, chemismus lávy.

Štítové sopky - vysoká produkce bazické nízcí viskózní lávy, plochý široký tvar (platobazalty). Př. Havajské ostrovy.

Stratovulkány - střídavá produkce pyroklastik a lávových proudů, tvar mohutného sopečného kužele. Př. Vesuv, Mt. Helens, tercierně-kvarterní sopky na Bruntálsku (Uhlířský vrch).

Sopky kruhového valu a nasýpaného kužele - pouze pyroklastika. Sopka kruhového valu je nízká s kráterem na temeni. Při vysoké produkci pyroklastik se vytváří vysoké nasýpané kužele.

Vytlačené kupy a jehly - produkce vysoce viskózní kyselé lávy (dacitové, rhyolitové), vznikají vysoké kupovité a jehlovité tvary vysoké až 400 m. Př. Mont. Pelée na ostrově Martinique.

Maary neboli **výbuchová hrdla** (j. č. maar) - Kráter má podobu nálevky, nevystupuje nad okolní terén. Vyvrhován je hlavně nevulkanický materiál stržený plynnými erupcemi ze stěn sopouchu, který vytvoří lem okolo kráteru.

Guyoty, skupinové vulkány,....

Vznik kaldery – řítivá vs. explosivní

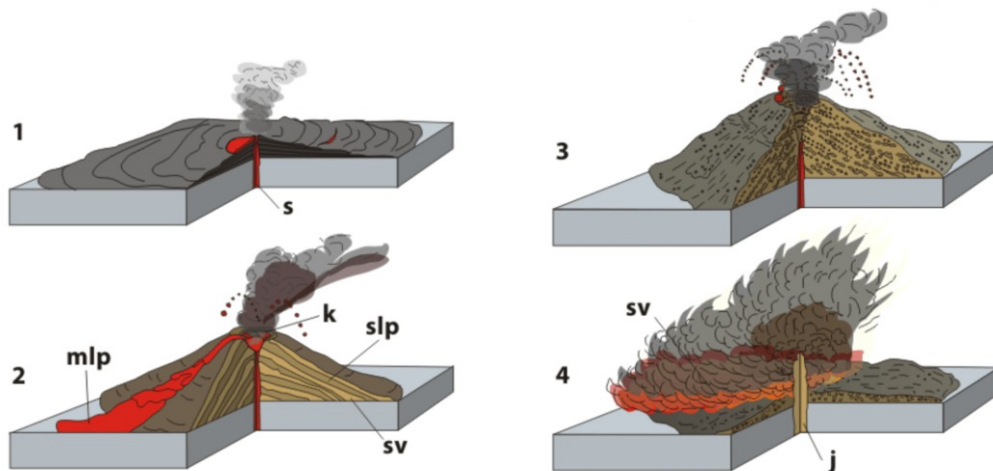
VIII. 1.2.3. Klasifikace vulkanických erupcí (obr. 13.)

Klasifikace dle produktů (freatické, explozivní, výlevná/efuzivní, smíšená)

Typy erupcí (vulkánská, strombolská, havajská, peléská, pliniovská, katmaiská, islandská..)

Paroxysmatické erupce – typ taveniny, tvar a výška vulkánu

Obr. 13.



Typy vulkanických erupcí: 1 - typ havajský, 2 - strombolský, 3 - vulkánský, 4 - peléský; s - sopouch, k - kráter, mlp - mladý lávový proud, slp - starý lávový proud, sv - sopečné vyvrženiny, j - lávová "jehla", m - mraeno žhavého popela.

© Jan Petránek

VIII. 1.2.4. Vulkanické horniny

Klasifikace vulkanických hornin (chemická klasifikace – zastoupení základních kyslíčků) .

Členění do vulkanických sérií (procesy diferenciacie původního mateřského magmatu). Dle poměru SiO_2 vs Na_2O a K_2O dvě základní série: A) subalkalická (dále se dělí na tholeitickou a vápenato-alkalickou, B) alkalická

Výskyt vulkanických hornin a geotektonické podmínky/desková tektonika – vápenato-alkalická série (konvergentní rozhraní litosférických desek), alkalická série (vnitrodeskový vulkanismus, především kontinentální litosféra, horké skvrny), tholeitická série (divergentní rozhraní, např. MORB – bazalty středoocéánského hřbetu, méně v oblastech konvergentních rozhraní).

Vnitrodeskový vulkanismus (cca 10% recentního vulkanismu): A) Izolované vulkány či skupiny vulkánů nad abyssálními planinami/oceánská litosféra. Deriváty tholeitových a

alkalických bazaltů, zčásti i kyselé alkalické horniny (Na_2O , K_2O). Od MORB se liší vysokým zastoupením alkálií, vyššími obsahy prvků vzácných zemin a vyšším stupněm diferenciacie alkalické série. Někdy vertikální i časový trend vulkanismu od tholeitických bazaltů k bazaltům alkalickým i kyselým horninám. Role horkých skvrn/hot spots (hluboké zakořenění procesů). B) Vnitrodeskový vulkanismus v rámci kontinentální litosféry (plateaubazalty/trappy, intrakontinentální rifty – vazba k podpovrchovým tělesům alkalických granitoidů či syenitů). Subalkalické tholeitické bazalty, alkalické bazalty a jejich kyselější deriváty, v rámci riftů dále bazanity, nefelinity a karbonatity.

Predikce vulkanických erupcí- metody monitoringu (seismický monitoring, plynné emise, terénní průzkum, GPS a dálkový průzkum, studium sklonu/tilting, chemismus a teplota vod.

VIII.1.2.5. Synvulkanická a postvulkanická činnost

Procesy doprovázející vulkanickou činnost – prostorově i časově.

Plynná produkce (výrony plynů) - fumaroly, solfatary a mofety (složení, původ, teplota)

Hydrotermální činnost - periodické prameny a gejzíry, bahenní sopky, termy/horké prameny, minerální vody a kyselky.

VIII.2. Metamorfóza a metamorfované horniny

VIII.2.1. Úvod

Stavba a minerální složení hornin odpovídá podmínkám vzniku.

Metamorfóza – soubor pochodů (přeměna minerálního složení a stavebních znaků horniny) – rekrystalizace v pevném stavu. Horninový cyklus – vyvřelé, sedimentární a starší metamorfované horniny mohou podlehnout podmínkám stát metamorfózy.

Principy termodynamiky (chemické soustavy - horniny a minerály).

Uzavřená vs. otevřená soustava – rovnovážný stav (Gibbsova volná energie). Stupeň otevřenosti je závislý na měřítku (části minerálů, minerály, hornina). Ustavení chemické rovnováhy – rychlost chemických reakcí (podmínky reakce).

Chemická rovnováhy horniny-minerálů-částí zrn (rekonstrukce procesů – P-T podmínek).

Studium minerálních asociací, které vznikaly v jednom minerálním ději a rozpoznání jejich vzájemných vztahů.

Experimentální petrologie

VIII.2. 2. Metamorfní procesy

Metamorfní procesy (fyzikální, chemické, mineralogické, strukturní procesy) – procesy vedoucí k přeměně původní horniny an horninu metamorfovanou. Probíhají v pevném skupenství (fluida v intergranulárním prostoru). Mezi tyto procesy patří: A) vznik novotvořených minerálů, B) rekrystalizace minerálů (změna velikosti, tvaru), C) strukturní přestavba (reorientace minerálů) - blastéza, metamorfní foliace a lineace

Růstový tlak metamorfních minerálů

Anchimetamorfóza (spodní hranice metamorfózy – určení pomocí index. minerálů, krystalinity slíd, odraznosti vitrinitu).

Vhodné podmínky pro metamorfní procesy: deformace kůry, kolize litosférických desek, vysoký geotermický stupeň (vysoká tepelný tok).

VIII.2.3. Metamorfní činitelé

Hlavní (teplota, tlak, aktivní roztoky, čas) a vedlejší (vlastnosti a složení hornin, možnosti migrace látek, chemické reakce, atd.) - vzájemné působení a nejrůznější kombinace

VIII.2.3.1. Teplota

Pyrometamorfóza, kontaktní metamorfóza

Role teploty: zrychlení metamorfních reakcí, novotvořené minerály a jejich asociace, stupeň rekrystalizace.

Zdroje teploty - radioaktivní rozpad, výstup tavenin a fluid, tektonické procesy, chemické reakce.

Rozmezí od 150/300°C do více než 1000°C, svrchní hranice bod tavení (role tlaku, chemismu hornin, rychlosti reakce, obsahu fluid).

Vysokoteplotní minerály

VIII.2.3.2. Tlak

Způsobuje fázové změny, nárůst hustoty, zvýšení teploty tání, homogenní masivní hornina

Výsledný (celkový) tlak při metamorfóze je složen z a) všesměrného (litostatického) tlaku, b) orientovaného tlaku, c) tlaku fluid.

Všesměrný tlak ovlivňuje stabilitu minerálních paragenezí a reologické vlastnosti hornin (plastické deformace).

Orientovaný (směrný, deviatorický) tlak/ stress – způsobuje přednostní orientaci minerálů (foliace, lineace – metamorfní břidličnatost), vede ke katakláze. Jeho rokle klesá s hloubkou.

Tlak fluid – orientovaný tlak.

VIII.2.3.3. Aktivní roztoky a fluida

Pórové a mezipórové roztoky a plyny (H₂O, CO₂, sloučeniny H, Cl, N, F, S, B, P, K, Na, atd.)

Zdroj - procesy diferenciacce, chladnoucí magmata, minerály s OH skupinou.

Způsobují - přeměnu minerálů a hornin, přenos tepla, ovlivňují teplotu tavení a rychlost reakcí.

Inkluze v minerálech.

VIII.2.4. Intenzita metamorfózy (obr. 14.)

Intenzitu/stupeň metamorfózy a vyčlenění metamorfních podmínek lze s pomocí: A) indexových minerálů, B) rovnovážných minerálních asociací, C) geotermobarometrie

Obr. 14.



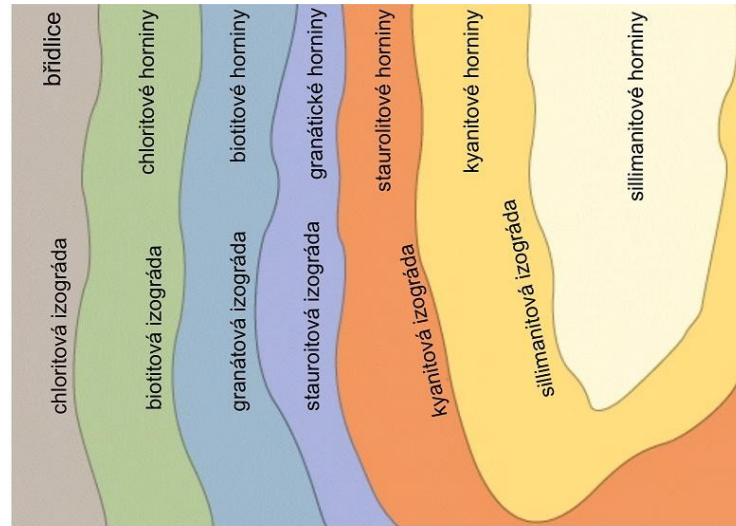
Příklad přeměny prachovce na různé met. horniny v závislosti na intenzitě metamorfózy.

© Jan Jelínek

VIII.2.4.1. Metamorfní a indexové minerály (obr. 15, obr. 16. a obr. 17.)

Metamorfní reakce probíhající v určitém rozmezí teplot a tlaků - novotvořené minerály (rovnovážný systém s podmínkami vzniku), tedy charakterizující podmínky metamorfózy. První a poslední výskyt daného indexového minerálu – vznik linie tzv. izograda. Role složení výchozí horniny - (Al-metapelity), role tlaku (nízkotlaké vs. střednětlaké vs. vysokotlaké podmínky). Nejčastěji střednětlaké podmínky – sled izográd (od nejnižší po nejvyšší metamorfózu): (klastické slídy)-chlorit-biotit-granát-staurolit-kyanit-silimanit (6-9 kb)

Obr. 15.

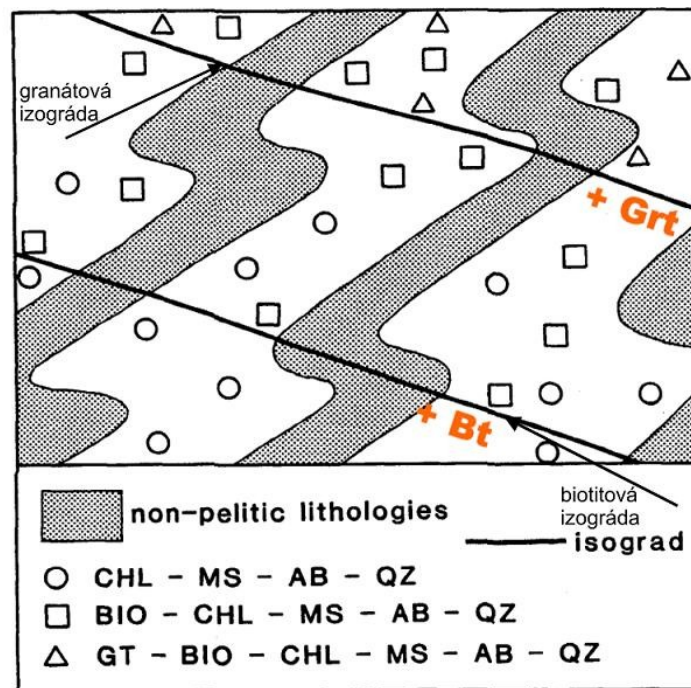


— vzrůstající stupeň metamorfózy —>

Obrázek ukazuje regionálně metamorfovaný terén.

© Press & Siever

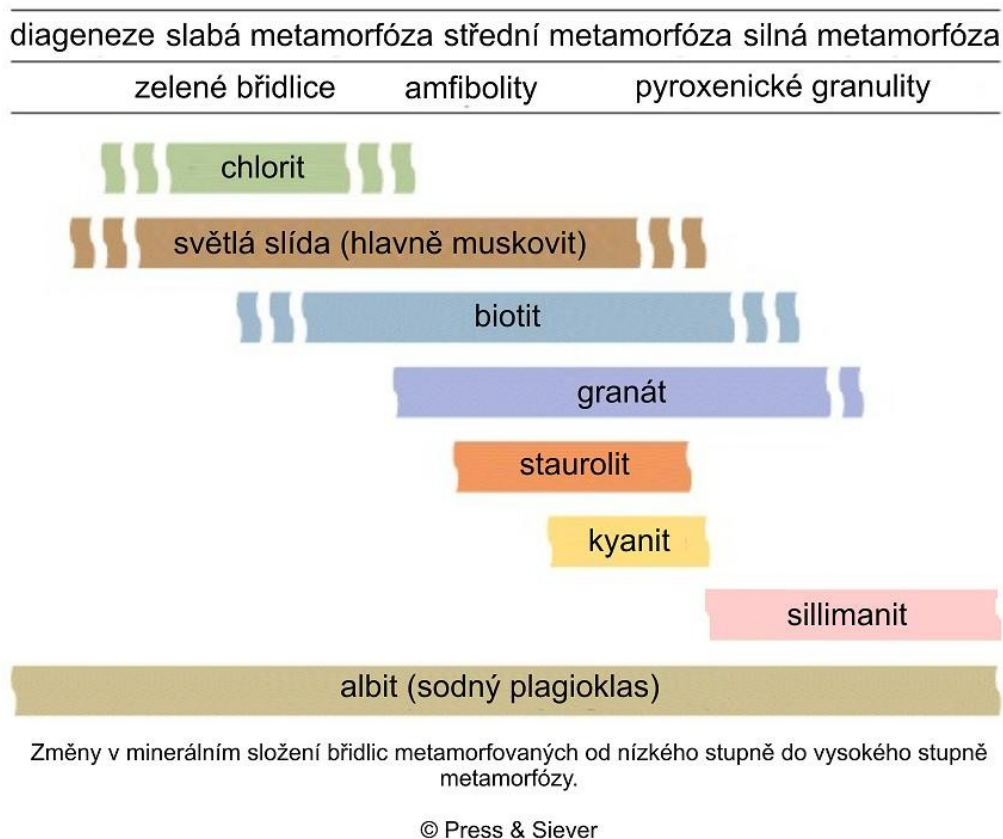
Obr. 16.



Postupné přibývání indexových minerálů v jednotlivých metamorfních zónách.

© David Buriánek

Obr. 17.



Některé minerály jsou typické pro podmínky orientovaného tlaku - tzv. stressové minerály (sericit, chlorit, biotit, albit, epidot, zoisit, kyanit, staurolit) jiné pro podmínky všesměrného tlaku tzv. antistressové minerály (anortit, ortoklas, hypersten, augit, olivín, andaluzit, cordierit, spinel).

VIII.2.4.2. Rovnovážné minerální asociace

Zákony termodynamiky. Vznik minerální asociace v P,T podmínkách za určitého výchozího složení soustavy. Horniny různého výchozího složení, které jsou řazeny společně.

VIII.2.4.3. Geotermometrie a geobarometrie

Vybrané minerální reakce probíhající v těsné závislosti na tlaku či teplotě (chemické složení minerálů je funkcí teploty či tlaku).

VIII.2.5. Klasifikace metamorfózy

Statická metamorfóza - probíhá bez výrazného vlivu orientovaného tlaku, tedy bez intenzivního vrásnění. Např. kontaktní metamorfóza.

Dynamická metamorfóza - vázaná na orogeneze, výrazná deformace původních hornin orientovaným tlakem - vrásnění, vznik kliváže, metamorfní foliace apod.

Polymetamorfóza - více různých metamorfních procesů působících na stejnou horninu.

Alochemická metamorfóza - dochází ke změně chemismu horniny.

Izochemická metamorfóza - hornina si po metamorfóze zachovala svůj původní předmetamorfní chemismus.

Alofázová metamorfóza - v hornině vznikají nové (metamorfní) minerály, které zatlačují původní minerály horniny.

Izofázová metamorfóza - metamorfóza bez vzniku nových minerálních fází v hornině.

Klasifikace dle role metamorfních činitelů:

Kataklastická (dislokační) metamorfóza - deformace minerálních zrn v hornině, jejich drcení. Výrazná role orientovaného tlaku. Vznik tektonických brekcií, kataklazitů a mylonitů (rozdrcené horniny). Typický výskyt podél zlomů.

Šoková (impaktní) metamorfóza - vysoká teplota a tlak při dopadu extraterestrického tělesa (vznik šokových kuželů, přetavení hornin - tektity).

Metasomatická metamorfóza (metasomatóza) - celková fázová změna horniny v důsledku působení fluid. Minerální roztoky pronikají do horniny a přinášejí do ní nové prvky. Následkem toho dojde k nahrazení původních minerálů horniny jinými, ale samozřejmě za pevného stavu horniny.

Kontaktní metamorfóza - vysoká teplota a nízký tlak. Magma intrudující do mělkých partií kůry tepelně metamorfuje své horninové okolí. Výrazná role fluid přinášených magmatem. Vznik kontaktních lemů okolo magmatických těles se specifickými horninami (kontaktní rohovec, skarny) i specifickými kontaktními minerály (hessonit, vesuvian aj.).

Regionální metamorfóza - střední tlak a střední teplota. Rozsáhlá metamorfóza doprovázející orogeneze a postihující celá souvrství, plutony a jiné velké jednotky, např. vznik krystalických břidlic (fylitů, svorů, paralul) z původních mocných souvrství psamitů a pelitů, vznik ortorul z původních granitoidů, vznik amfibolitů a metagaber z původních těles bazických vyvřelin. Podstatou region. metamorfózy je kolize tektonických desek vedoucí k stlačování okrajů kontinentů s celými geologickými jednotkami do kolizní zóny.

Periplutonická metamorfóza - typ regionální metamorfózy. Metamorfní účinky velkých magmatických těles na své okolí ve vnitřních částech orogénu.

VIII.2.5.1. Kataklastická (dislokační) metamorfóza

Nízká teplota, role orientovaného tlaku

Pohyby podél zlomů

Mechanická destrukce: drcení minerálů, ohýbání, rekrystalizace, novotvořené minerály (sericit, chlorit). Horniny: tektonické brekcie, kataklazity, mylonity.

VIII.2.5.2. Metasomatóza

Hlavní role aktivních roztoků a fluid, dále teplota, tlak.

Spojena s kontaktní i regionální metamorfózou.

Hydrotermální vs. pneumatolická metasomatóza

Autometasomatóza a chemicky konzervativní metamorfóza.

Procesy albitizace, sericitizace, serpentinizace, alunitizace.....

VIII.2.5.3. Kontaktní metamorfóza (obr. 18.)

Prostorová spjitost s tělesy magmatických hornin, často kontakt se sedimenty

Významná role teploty (650-900 °C), aktivních roztoků a fluid, nízký tlak.

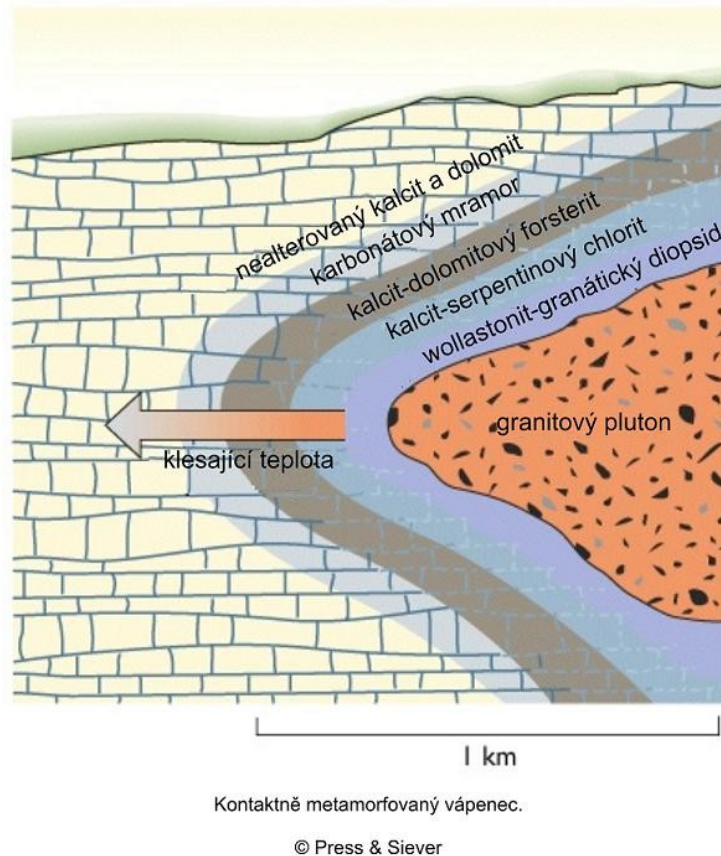
Kontakt, kontaktní dvůr, kontaktní aureola, kontaktní lem

Intenzitu přeměny ovlivňuje teplota a velikost vyvřelého tělesa, rozdíly v chemismu, čas, charakter reakční plochy, geotermický gradient oblasti

Kontaktní metasomatóza (látková výměna)

Kaustická metamorfóza (porcelanity) a pyrometamorfóza

Obr. 18.



VIII.2.5.4. Periplutonická metamorfóza

Ve srovnání s regionální metamorfózou – nižší role tlaku, menší šířka izometamorfních zón. Tepelná energie spojena s intruzemi granitoidů/plutony.

VIII.2.5.5. Regionální metamorfóza

Metamorfní pochod postihující rozsáhlé komplexy hornin na velkých areálech. Role teploty, tlaku (všesměrný i orientovaný), role fluid. Spojení s orogenezí, tvorba krystalických břidlic.

VIII.2.6. Klasifikace metamorfovaných hornin

Klasifikační kritéria – a) současné minerální složení, b) stupeň metamorfózy, c) složení výchozí horniny.

VIII.3. Sedimentární horniny

VIII.3.1. Úvod

Sedimenty, usazené horniny

Vznik sedimentárních hornin – součást exogenních procesů a dynamiky.

Horninový cyklus – vyvěřelé, metamorfované a starší sedimentární horniny se mohou stát horninami sedimentárními díky procesům zvětrávání, eroze, transportu, depozice a diagenese/litifikace/zpevnění. Průběh na zemském povrchu a svrchních částech zemské kůry. Role dalších cyklů (vody, uhlíku..)

VIII.3.2. Zvětrávání - soubor procesů, jimiž se horniny svrchní části litosféry přizpůsobují podmínkám interakce litosféry, atmosféry, hydrosféry, biosféry a technosféry. Podílejí se na

nich atmosféra tj. klimatické podmínky, geologické podmínky (endogenní např. tektonika i exogenní např. činnost organismů a člověka) a hydrosféra (obr. 19.)

Eroze 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).

Obr. 19.



Mrazovým zvětráváním se skalní výchozy rozpadají na ostrohrannou suť, jejímž následným transportem a uložením vznikají klastické sedimenty. Mrazový rozpad karbonských pískovců, ostrov Spitsberg. Foto: M. Hanáček.

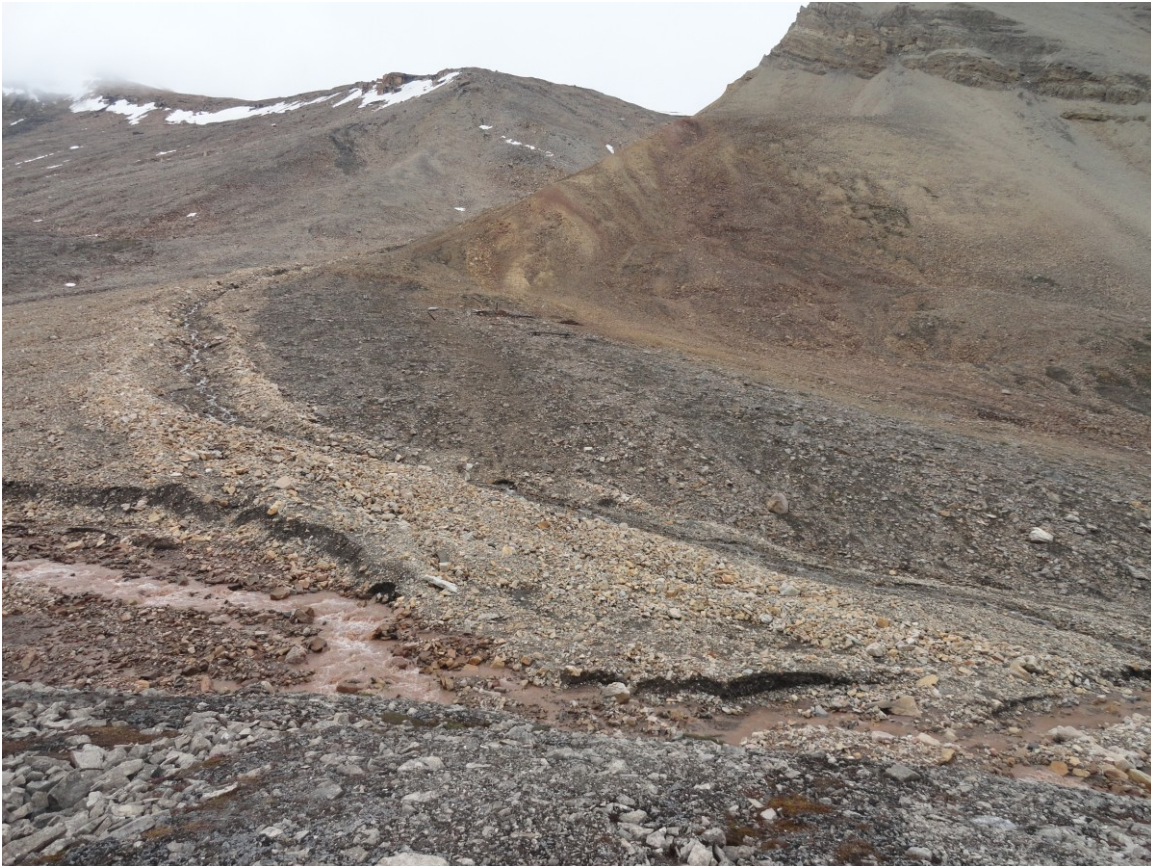
VIII.3.3. Transport - na přenášení materiálu v zóně zvětrávání se podílí fyzikální a chemické faktory hydrosféry, atmosféry, biosféry a technosféry. Způsoby transportu : gravitační transport, transport atmosférou (úlomky vs. plyny), transport vodou (probíhá: ve formě úlomků přímo ve vodním prostředí nebo pohybem po dně - vlečení, válení, saltace, suspenze, flotace nebo ve formě roztoků buď pravých či koloidních, viz obr. 20), transport ledem, transport činností organismů, transport činností člověka. Během transportu ovlivnění velikosti, tvaru i složení sedimentů (vytřídění, zralost, ..). Jednotlivé transportační mechanismy mají svá specifika.

VIII.3. 4. Usazování (sedimentace) - základní příčinou usazování je převaha gravitace nad energií pohybu (snížení rychlosti proudu, větru, ochlazení média, rozpouštění ledu, atd.). Sediementace v určitém prostředí sedimentace, které je dáno souborem geologických, klimatických a biologických podmínek depozice. Základní prostředí sedimentace: terestrická/suchozemská/kontinentální, přechodná a mořská.

Termín **facie** - soubor všech znaků tělesa sedimentů, kterými se odlišuje od těles jiných (obvykle spojováno s depozičním prostředím).

Zpevnění/litifikace - tmel, základní hmota, matrix – karbonáty, křemen, oxidy a hydroxidy Fe,

Obr. 20



Transport hrubozrného úlomkovitého (klastického) materiálu vodním tokem. Ostrov Spitsberg, foto: M. Hanáček.

VIII.3. 5. Klasifikace sedimentárních hornin

Tři základní typy depozičních procesů a tři základní skupiny/třídy sedimentů

Klastické(úlomkovité) sedimenty: úlomky hornin či minerální zrna

Chemogenní sedimenty: ionty vysrážené z roztoku tvoří minerály

Biogenní/biochemické: organismy odebírají ionty z roztoku, části těl organismů tvoří horniny

Detailnější klasifikace sedimentárních hornin dle jejich stavebních znaků (textura vs. struktura) a minerálního složení

Klastické sedimenty se dělí na (dle velikosti zrna, obr. 21):

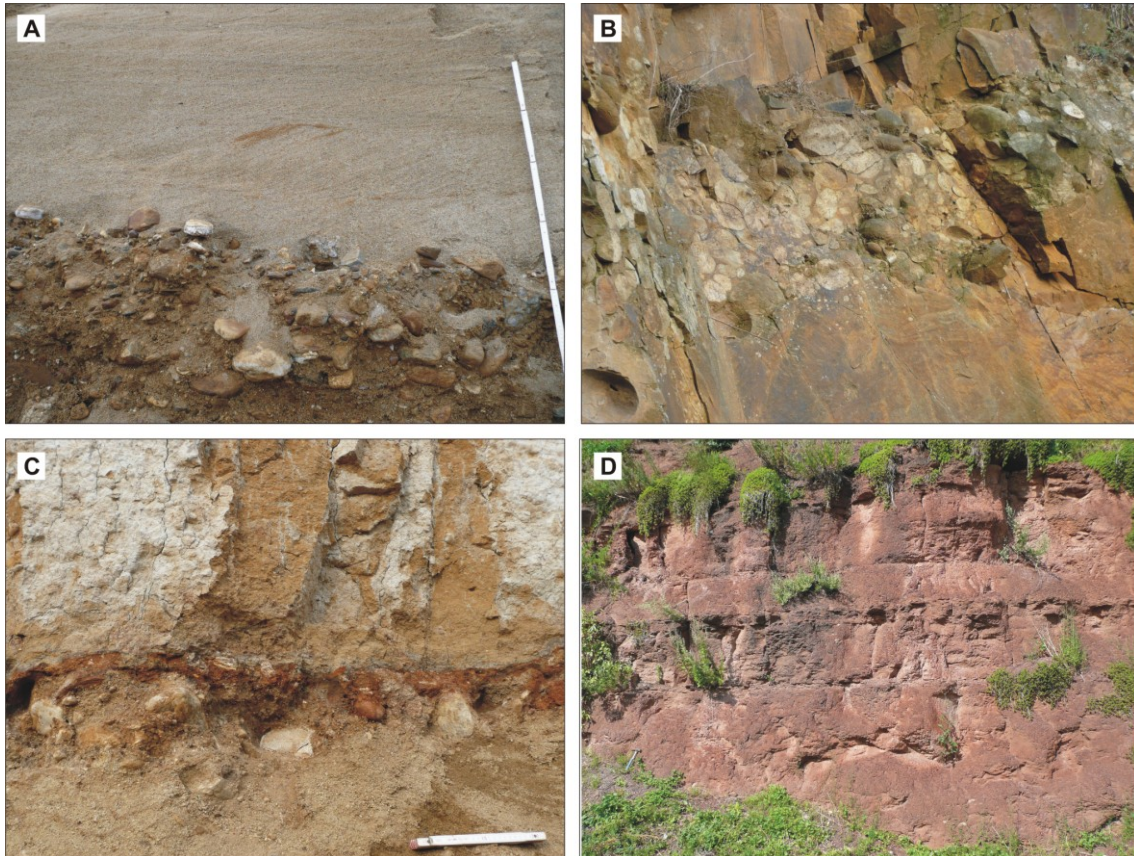
Psefity (zrna nad 2 mm) – šterky, slepence, brekcie

Psamity (0,063-2 mm) – písky, pískovce

Aleurity (0,063-0,002 mm) – prachy, prachovce

Pelity (pod 0,002 mm) – jíl, jílovce

Obr. 21.

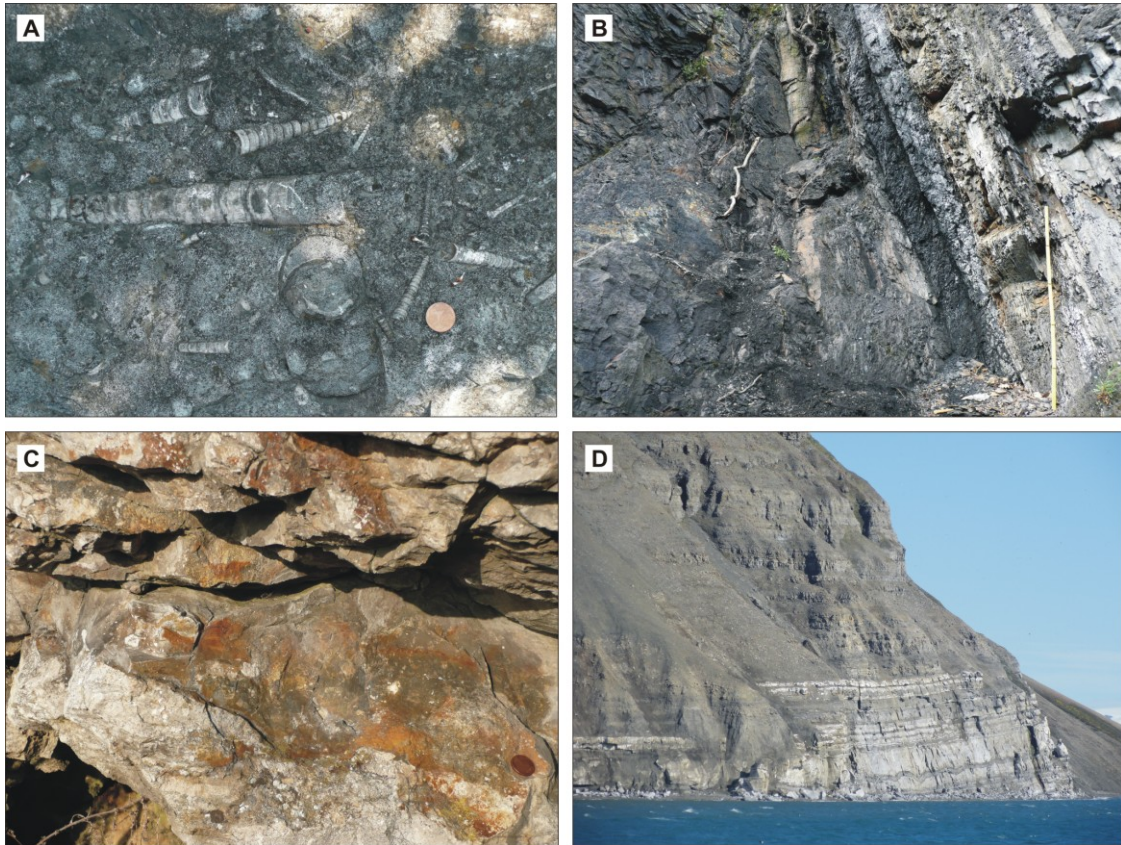


Různé typy nezpevněných klastických sedimentů a zpevněných sedimentárních hornin. **A.** Šterky a v jejich nadloží písky z glaci-fluviálních uloženin kontinentálního zalednění. Pleistocén, Kolnovice na Jesenicku. **B.** Poloha slepenců v pískovcích (drobách). Spodní karbon, Luleč. **C.** Poloha prachu (sprašových hlín) v nadloží glaci-fluviálních šterků a písků. Pleistocén, Kolnovice na Jesenicku. **D.** Prachovce a jílovce. Perm, Broumov. Foto: M. Hanáček.

Chemogenní sedimenty- dobře rozpustné, sloučeniny Ca, Na, Mg, Cl, K,B – často monominerální horniny. Např. evapority a některé vápence,(obr. 22.).

Biogenní sedimenty - většina vápenců, silicity, uhelné a živičné sedimenty (bohaté organickým C) (obr. 22.).

Obr. 22.



Biogenní a chemogenní sedimenty. **A.** Vápenec složený ze schránek loděnkovitých hlavonožců. Silur, Kosov u Berouna. **B.** Vrstvy pískovců a prachovců, uprostřed obrázku sloj černého uhlí. Téměř kolmé postavení původně horizontálně uložených vrstev je výsledkem vrásnění během variské orogeneze. Svrchní karbon, Lanek v Ostravě. **C.** Silicify ve vápencové vrstvě. Jura, Staránská skála v Brně. **D.** Vrstvy evaporitů (sádrovců a anhydritů). Perm, ostrov Spitsberg. Foto: M. Hanáček.

VIII.3.6. Tělesa sedimentárních hornin

Základním tělesem sedimentů je vrstva – deskovité těleso přibližně stejného petrografického složení. Vrstevnatost-vrstva - podloží - nadloží (obr. 23).

Spodní (báze) a svrchní (strop) vrstevní plocha

Klasifikace vrstev (pravá a nepravá mocnost) - lavice (nad 25 cm), desky (1-25 cm), laminy (do 1 cm). Mapy mocností – izolinie, interpretace

Změny mocnosti či výskytu vrstvy v ploše (paleogeografie) – výmol, prstovité vyklínění, nasazení, atd.

Vrstva z pohledu historické geologie, faciální analýza

Další tělesa sedimentů: sloj, rudní lože, vložka, proplástek, horizont, čočky, biohermy

Obr. 23.



Vrstvy klastických sedimentárních hornin. Střídání vrstev pískovců a slepenců. Pískovce jsou šikmo i horizontálně zvrstvené, slepence nejsou zvrstvené nebo místy horizontálně. Průběh vrstevních ploch naznačuje, že v době sedimentace se štěrky erozně zahlubovaly do uložených písků (drobné výmoly zahloubené do pískovců a vyplněné slepenci). Perm, Goliňsk sev. od Broumova. Foto: M. Hanáček.

VIII.3.6. Stavební znaky sedimentů

Chápání pojmu **textura** a **struktura** v rámci moderní sedimentární geologie (sedimentary structures, sedimentary textures)

Primární sedimentární struktury (vznikly v době depozice nebo velmi krátce po ní – odráží podmínky depozice) a sekundární sedimentární struktury

VIII.3.6.1. Sedimentární struktury

Lze je rozdělit podle výskytu v rámci sedimentárního tělesa na vnější a vnitřní struktury

VIII.3.6.1.1. Vnější strukturní znaky

Dle procesů vzniku někdy děleny na mechanoglyfy/fyzikální a bioglyfy/biologické znaky (obr. 24, 25). Nutno odlišit pozitiv a negativ. V některých případech diagnostické pro odlišení převrácená a normální pozice vrstev.

Čeřiny (proudové - běžně asymetrické, prudší strana po proudu (lee side), sklon ve směru proudu nebo vlnové - hojně symetrické, vodní vs. eolické čeřiny)

Duny, valy

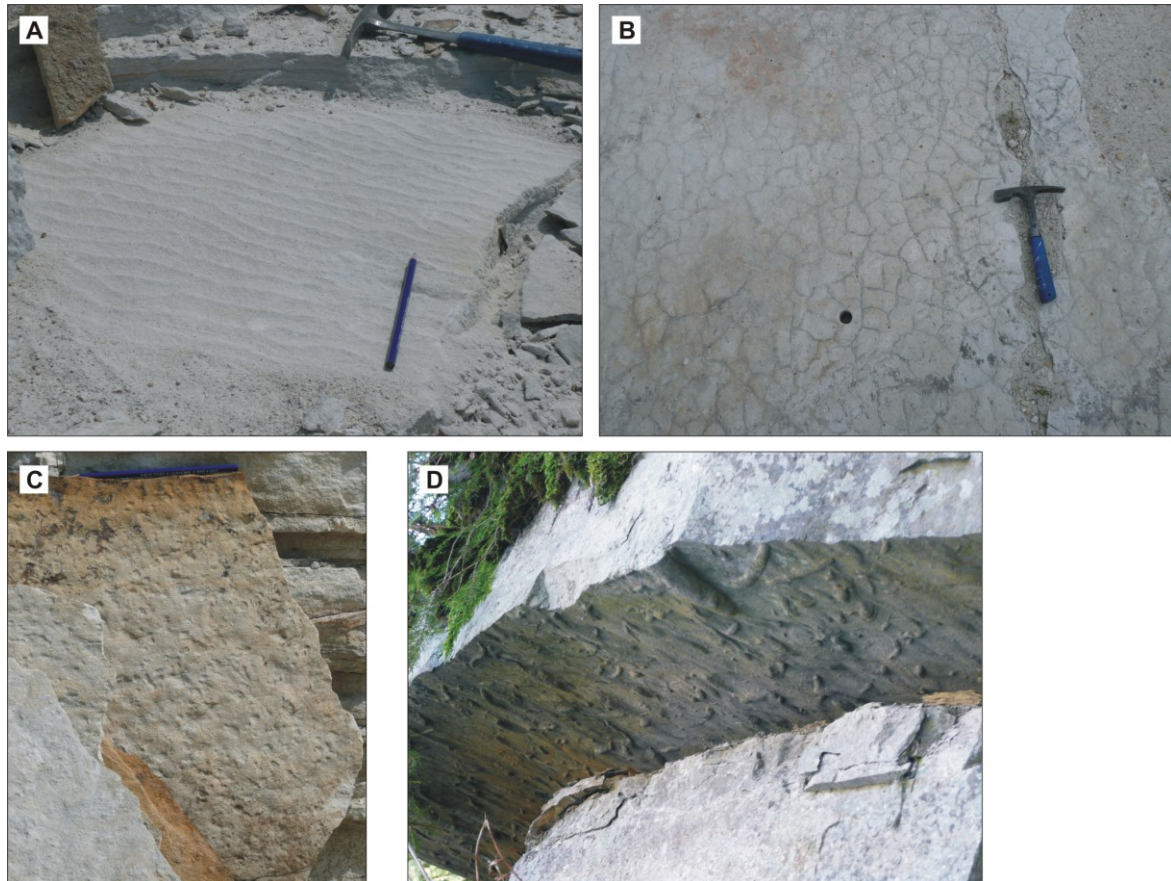
Bahenní praskliny, otisky dešťových kapek

Struktury na bázi vrstev - vtisky (Load casts)

Struktury vzniklé na povrchu vrstvy, ale zachované na bázi nadložní vrstvy – vtisky, proudové stopy (Flute Casts), stopy po vlečení (Tool Marks), proudové stopy (Flute Casts) – určení směru proudu - tvorba díky turbulenci, eroze do podloží/dna/depoziční plochy, hlubší a užší proti proudu

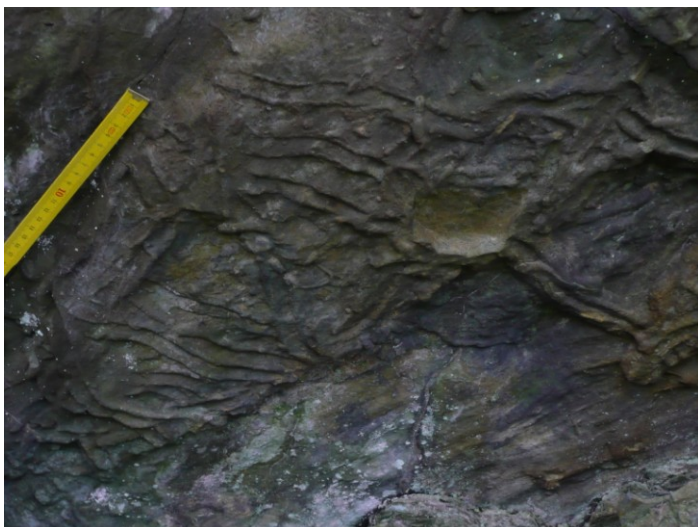
Bioglyfy (fosilní stopy/Trace Fossils/ichnofosilie)

Obr. 24.



Příklady mechanoglyfů na vrstevních plochách. **A.** Čeriny. **B.** Bahenní praskliny. **C.** Otisky dešťových kapek. **D.** Přírozené výlisky proudových stop. A-C: pískovce uložené na jezerní pláži. Trias, lom Krákorka u Červeného Kostelce. D: glaukonitické pískovce. Křída, Prostřední Bečva (flyšové pásmo Vnějších Západních Karpat). Foto: M. Hanáček.

Obr. 25.



Bioglyfy. Stopy po lezení organismů (přírozené výlisky) na vrstevní ploše. Glaukonitické pískovce. Křída, Prostřední Bečva (Moravskoslezské Beskydy). Foto: M. Hanáček.

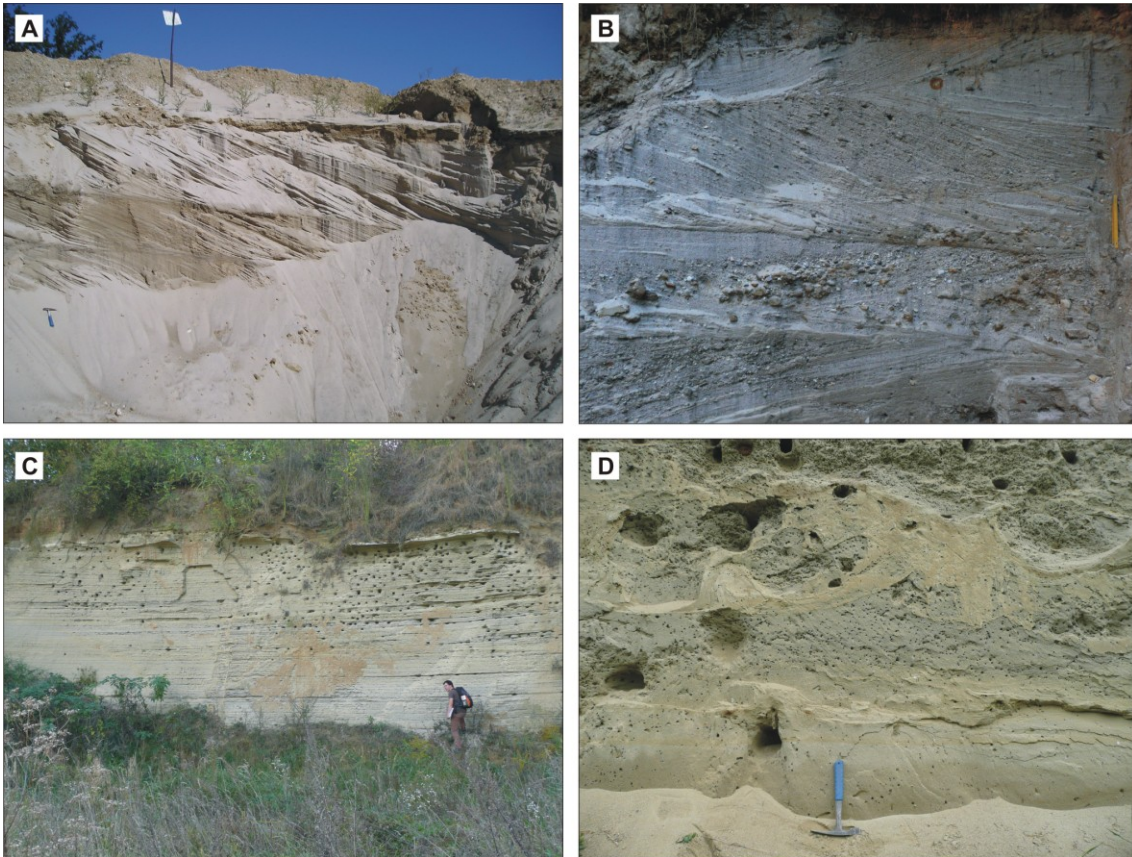
VIII.3.6.1.2. Vnitřní sedimentární struktury

Vrstevnatost a zvrstvení – definice

Důvody- dynamika sedimentačního prostředí, změny ve zdrojové oblasti (klima, tektonika),...

Typy zvrstvení - pravidelné vs. nepravidelné, horizontální zvrstvení, šikmě a protisměrné zvrstvení, gradační zvrstvení, konvolutní zvrstvení (obr. 26).

Obr. 26.



Typy zvrstvení. **A.** Šikmé zvrstvení. **B.** Protisměrné šikmé zvrstvení. **C.** Horizontální zvrstvení. **D.** Konvolutní zvrstvení. A-B: glacifluviální sedimenty kontinentálního zalednění. Pleistocén, Jesenicko. C-D: plážové sedimenty. Miocén, okolí Brna. Foto: M. Hanáček.

Barva

Barva sedimentů je složena z barvy horninotvorných, barvy tmele a pigmentu (obr. 27.)
Určování barvy - Munsellova škála – 64 stupňů

Obr. 27.



Pestře zbarvené písky. Křída, Obora na Boskovicku. Foto: M. Hanáček.

Bioturbace (fosilní stopy, obr. 28.)

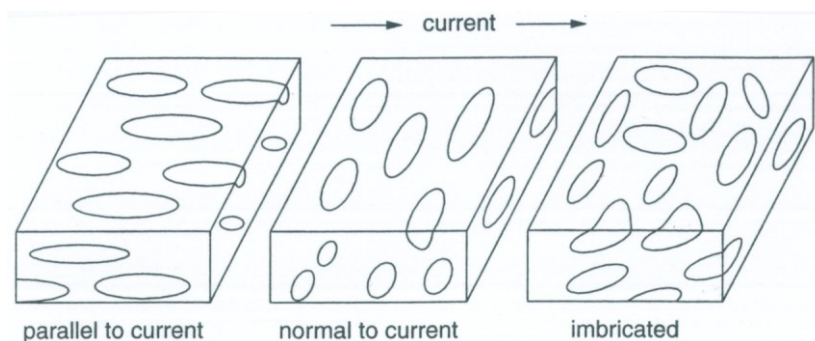
Obr. 28.



Triasový pískovec bioturbovaný organizmy křídového moře. V době svrchní křídý tvořily starší triasové pískovce mořské dno, do kterého se zavrtávaly živočichové, obývající substrát dna křídového moře. Lom Krákorka u Červeného Kostelce. Foto: M. Hanáček.

Přednostní orientace sedimentárních částic (imbrikace, lineace), (obr. 29.).

Obr. 29.

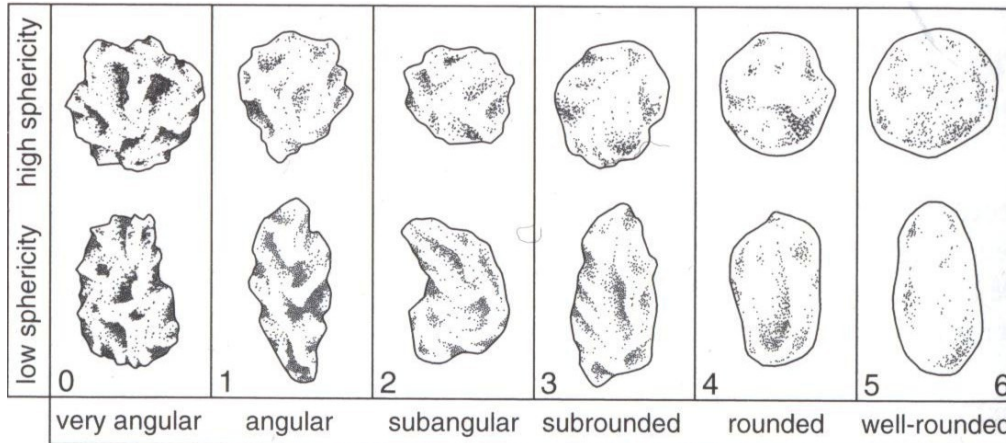


Různé způsoby orientace valounů vůči směru proudění. Převzato z Tuckera (2003).

VIII.3.6.2. Texturní znaky

Velikost a tvar částic - velmi ostrohranné až dokonale zaoblené klasty, vazba velikosti částic a energie transportačního média (obr. 30.)

Obr. 30.



Nejpoužívanější vizuální pomůcka pro stanovení stupně zaoblení klastů. Podle Powerse (1953), převzato z Tuckera (2003).

VIII.3.7. Soubor vrstev

Vrstevní sled – konkordance a diskordance (zjevná, skrytá)

Konkordantní sled - všechny vrstvy na sebe plynule navazují, sedimentace nebyla přerušena.

Diskordantní sled - došlo k přerušení sedimentace

Skrytá diskordance - vrstvy jsou shodně orientovány, přerušení sedimentace je naznačeno pouze erozním povrchem (obr. 31A).

Zjevná (úhlová) diskordance - během přerušení sedimentace byly uloženy vrstvy zvrásněny a nové sedimenty se na ně uložily vodorovně (mají tedy odlišnou orientaci). Např. Městský lom na Hádech v Brně - zjevná diskordance mezi zvrásněnými vápenci svrchního devonu až spodního karbonu na straně jedné a ploše uloženými jurskými vápenci na straně druhé (obr. 31B).

Stratigrafický hiát - přerušení sedimentace, v sedimentárním záznamu chybí určitý čas. Např. na zmíněných Hádech chybí mezi spodním karbonem a jurou většina mladšího paleozoika a trias.

Obr. 31.



A. Skrytá diskordance. Bílé sedimenty jsou pískovce svrchního karbonu. Do nich se výmolvými bázemi zařezávají slepence svrchní křídý. Během svrchního karbonu zde tekly řeky, v jejichž korytech se ukládaly

písky. Po zániku těchto řek byla sedimentace přerušena a uložené písky se jen slabě zpevňovaly. Až ve svrchní křídě tekly touto oblastí další vodní toky, které vyhloubily výmoly do měkkých svrchnokarbonských pískovců a v nich pak uložily slepence. Lobeč u Kralup nad Vltavou. **B.** Zjevná (úhlová diskordance). V devonském až karbonském moři se uložily původně horizontální vrstvy vápenců. Během variské orogeneze závěrem paleozoika byly ale zvrásněny. V juře pak na ně transgredovalo moře v němž se uložily horizontální vrstvy vápenců, které už později zvrásněny nebyly. Městský lom na Hádech v Brně. Foto: M. Hanáček.

Zákonitosti v opakování vrstev v rámci vrstevního sledu - **rytmicita** a **cyklicita** (cyklotémy)

Rytmicita: vrstevní sled odráží rychle se opakující děje, které určovaly sedimentaci. Jedná se například o opakující se povodně, při kterých je během krátké doby akumulováno velké množství sedimentů, nebo periodicky se opakující sopečné výbuchy, při nichž je do atmosféry vyvrhován sopečný popel, který se pak usazuje a vytváří v sedimentech nápadné tmavé vrstvičky.

Rytmicitu lze tedy charakterizovat jako vrstevní sled se střídáním vrstev A-B-A-B-A-B..., kdy A reprezentuje sedimenty vzniklé za normálního režimu řeky a B jsou vrstvy uložené při povodních nebo A představuje sedimenty vzniklé v období vulkanického klidu a B polohu sopečného popela usazeného po vulkanické erupci.

Cyklicita: střídání velmi pozvolných procesů většího měřítka a významu, než jsou procesy vytvářející rytmicitu. Typickým příkladem jsou **cyklotémy** v paralicích černouhelných pánvích svrchního karbonu. Každá cyklotéma začíná hrubozrnnými pískovci usazenými v říčním prostředí. Následují jemnozrnnější až jílovité jezerní sedimenty zakončené uhelnou slojí. Nad uhelnou slojí se objevují sedimenty brakického a nakonec mořského prostředí (jílovce, pískovce nebo i vápence). Potom začíná další cyklotéma, na jejíž bázi jsou zase říční pískovce.

Na začátku cyklotémy tedy dominovala fluvialní sedimentace, která byla postupně nahrazena jezerní sedimentací. Jezero nakonec zarostlo pralesní vegetací, ze které vznikla uhelná sloj. Pralesem zarůstající močál byl postupně zaplavován postupujícím mořem (brakické sedimenty) až se nakonec prostředí změnilo v čistě marinní. Tím je jeden cyklus ukončen. Ústupem moře a návratem říční sedimentace začíná druhý cyklus, který se bude vyvíjet stejně, jako ten předchozí. V rámci jednoho cyklu tak vzniklo více vrstev. Proto můžeme cyklicitu charakterizovat jako sled vrstev A-B-C-A-B-C-A-B-C..., kdy vrstvy A-B-C odpovídají jednomu cyklu.

VIII.3.8. Sedimentární pánve

Sedimenty se hromadí ve významných mocnostech v sedimentárních pánvích, kde jsou zachovány po dlouhá časová období (mil.let). Vznik sedimentárních pánví – role tektoniky, pozice ve vztahu k litosferickým deskám a jejich pohybu (procesy endogenní dynamiky). Vývoj sedimentárních pánví – různá stadia Wilsonova cyklu (viz. dále), řada etap vývoje. Zánik sedimentární pánve.

Vyplňování pánve – kombinace tektonických a klimatických procesů (role endogenních a exogenních geologických procesů). Princip vztahu přínosu sedimentu a tvorby depozičního prostoru (subsidence dna, změny hladiny)- principy **sekvenční stratigrafie**.

IX. Zemětřesení

IX.1. Úvod, základní pojmy

Definice zemětřesení: Krátko-periodický (náhlý, pomíjivý) pohyb či série pohybů litosféry/zemské kůry v určité oblasti, ze které se tento šíří jako seismický vzruch všemi směry v závislosti na řadě faktorů (v různých místech v různém čase a s různou intenzitou).

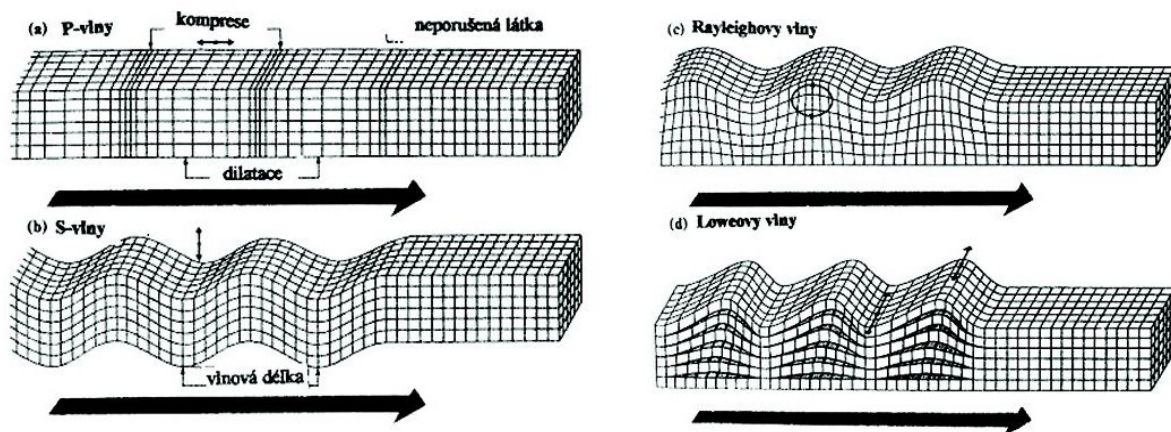
Uvolnění velké množství kinetické energie – katastrofické projevy na zemském povrchu („mezogenní procesy“).

Teorie samoorganizovaného kritického stavu

Seismika - seismické vlny (obr. 1.) – energie přenášená vlněním skrze zemské těleso (prostorové vlny) a podél zemského povrchu (povrchové vlny).

Deformace – elastické chování hornin – „seismické vlny se pohybují skrze zemské těleso jako mořské vlny“. Typy seismických vln: a) kompresní vlny: primární (rychlé) prostorové vlny P, průchod kapalinou, b) příčné vlny: sekundární (pomalejší) prostorové vlny S, neprochází kapalinou, c) povrchové vlny: Rayleighovy (orbitální dráha - vlnění na mořské hladině) and Loveovy (horizontální dráha, pomalejší).

Obr. 1.



Čtyři typy seismických vln a) P-vlny, b) S-vlny, c) Rayleighovy vlny, d) Loveovy vlny.

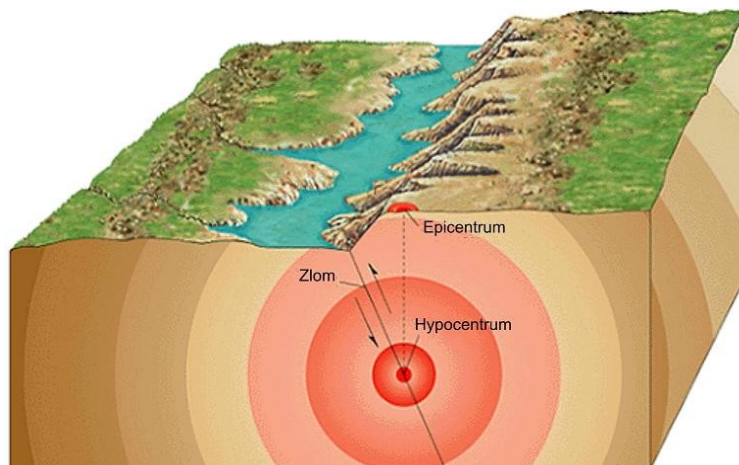
© Bolt 1976

Hypocentrum (ohnisko) vs. **epicentrum** (obr. 2.)

Hypocentrum (ohnisko) – místo, kde vzniká zemětřesení, nebo z něhož se seismické otřesy šíří.

Epicentrum – místo na povrchu které leží kolmo od místa vzniku zemětřesení.

Obr. 2.



Rozdíl mezi hypocentrem a epicentrem zemětřesení.

© John Wiley & Sons

Lokalizace hypocentra

IX.2. Klasifikace zemětřesení

Množství různých klasifikačních kriterií

Klasifikace dle pozice epicentra - terestrická a podmořská zemětřesení

Klasifikace dle primárních účinků zemětřesení – stupnice MCS (obr.3.) (Mercalli-Cancani-Sieberg), objektivní pozorování, označení římskými číslicemi, 12 stupňů. Druhotné účinky zemětřesení (liquefaction/zvodnění, svahové pohyby, výzdvih či pokles území – změny hladiny, tsunami, požáry, rabování, destrukce komunikací, vodovodního řadu a hrází,..).

Obr 3.

| Stupeň | Označení | Zrychlení (mm/s) | Popis |
|--------|-----------------|------------------|--|
| I. | nepozorovatelné | do 2,5 | Člověk nerozpozná, pouze přístroje. |
| II. | velmi slabé | 2,5 - 5 | Rozpoznatelné v horních patrech budov citlivými lidmi. |
| III. | slabé | 5 - 10 | Vibrace, lustry se pohybují; srovnatelné s vibracemi způsobenými projíždějícím těžkým nákladním automobilem. |
| IV. | mírné | 10 - 25 | Dmčení oken, cinkot přiborů a nádobí, zdi vydávají praskavé zvuky. |
| V. | málo silné | 25 - 50 | Lze rozpoznat v krajině, probouzí spící, praskání oken, kyvadlové hodiny se mohou zastavit. |
| VI. | silné | 50 - 100 | Vrávorání při chůzi, padají předměty, rozbíjí se nádoby, praskliny v omítce. |
| VII. | velmi silné | 100 - 250 | Lze jen obtížně stát, zvony zvoní, trhliny ve zdech. |
| VIII. | bořivé | 250 - 500 | Padají komíny, poškození budov, pohybující se těžký nábytek. |
| IX. | pustošivé | 500 - 1000 | Panika, vážné poškození domů, větší trhliny v půdě. |
| X. | ničivé | 1000 - 2500 | Zničené budovy, porušení přehrad, velké trhliny v půdě. |
| XI. | katastrofické | 2500 - 5000 | Roztržení kolejí a potrubí, zničené mosty, změny terénu. |
| XII. | globální | přes 5000 | Velké předměty létají vzduchem, úplné zničení, rozsáhlé terénní změny. |

Popis stupnice MCS s uvedeným zrychlením povrchu.

© Brázdil et al.

Klasifikace dle intenzity / množství uvolněné energie (Magnitudo), – množství uvolněné energie, měření množství uvolněné energie (seismografy, seismometry). Richterova stupnice (9 stupňů) - amplituda největší vlny měřená na běžném (Wood-Anderson) seismografu ve vzdálenosti 100 km od epicentra. Magnitudo narůstá logaritmicky dle amplitudy seismografu. Se změnou jednotky magnituda dochází k nárůstu uvolněné energie ~30-50x. Frekvence událostí klesá exponenciálně s nárůstem magnituda.

Klasický seismometr – lokalizace a popis zemětřesení

Klasifikace zemětřesení podle hloubky hypocentra (obr. 4.)

- 1) Mělká (do 70 km), jsou nejčastější
- 2) Střední (70-300 km), jsou poměrně početná, ale nejsou tak častá jako mělká
- 3) Hluboká (300-700 km), jsou vzácná

Četnost zemětřesení vs. hloubka hypocentra. Ohniska zemětřesení a pozice zemětřesení ve vztahu k litosférickým deskám.

Vztah účinky zemětřesení vs. množství uvolněné energie vs. hloubka hypocentra.

Obr. 4.

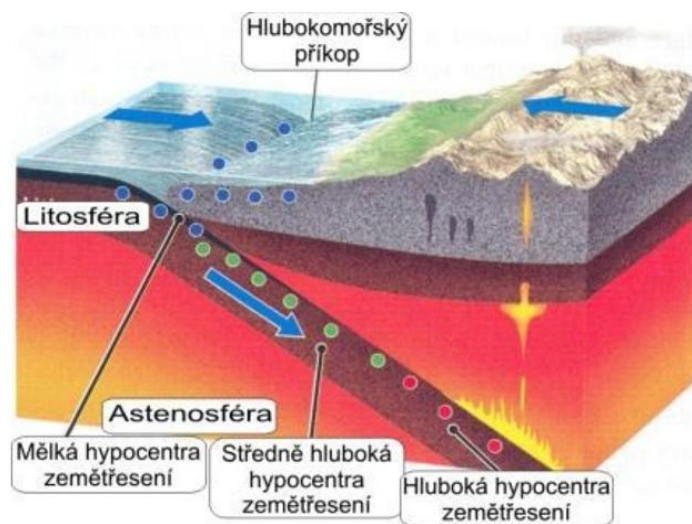


Schéma znázorňující pozice hypocenter zemětřesení.

© Jan Jelínek

Klasifikace genetická

- a) Říťivá zemětřesení (řízení velkých mas hornin – skalní řízení)
- b) Sopečná zemětřesení (pohyby magmatu v oblastech sopečné činnosti)
- c) Antropogenní zemětřesení (např. zkoušky atomových zbraní, důlní otřesy)
- d) Tektonická zemětřesení (kinetická energie vyvolaná pohybem bloků litosféry po překročení možností absorpce/akumulace deformace, vyrovnání teplotních a hustotních nerovnováh, pevnost hornin vs. hromadící se napětí – nejčastější typ, chování na zlomech a zemětřesení, tektonický kontext zemětřesení)

Pozice hypocentra a desková tektonika - většina zemětřesení na okrajích litosférických desek (aktivní okraje se subdukcí, středooceánské hřbety a riftové zóny, transformní zlomy – rozdílná hloubka hypocentra). Wadati-Benioffova zóna – seismicky aktivní zóna sledující rozhraní aktivního okraje kontinentu/subdukce (hluboká zemětřesení).

Ale také zemětřesení vnitrodesková – obvykle aktivní deformační zóny (výjimky). Zemětřesná a vulkanická činnost ve vazbě k tektonice litosférických desek.

IX.3. Podmořská zemětřesení

Přenos kinetické energie do vodního prostředí – vznik vlnění. Tsunami – druhotný účinek zemětřesení – katastrofická činnost.

X. Strukturní geologie a tektonika

X.1. Úvod, základní pojmy

Pojem struktura - prostorové uspořádání reálných i abstraktních strukturních prvků nebo jejich hmotná realizace.

Strukturní prvky a procesy (tektonické/diastrofické/orogenní vs. atektonické/nediastrofické/epeirogenní)

Primární struktury (současné se vznikem tělesa) – jejich modifikace vnějším napětím vede k vzniku sekundární struktury – deformace- Klasifikace sekundárních struktur (tektonické vs. atektonické, spojité vs. nespojité).

Primární struktury – většinou sedimenty (vrstevnatost, zvrstvení, vnější a vnitřní strukturní znaky) a magmatické horniny (pukliny S,L,Q, strukturní znaky hornin).

Sekundární netektonické struktury – exogenní procesy, povrchové partie litosféry (sedimenty) – role diagenese (konkrece, klastické žíly, stylolity, kompakce), gravitace (skluzy, sesuvy), objemové změny.

X.2. Tektonická geologie

Sekundární tektonické (diastrofické) struktury – role endogenních procesů.

Určující role reologických/materiálových vlastností hornin (fyzikální vlastnosti látek) a podmínek procesu (tlak, teplota, rychlost, velikost, orientace a povaha napětí) – možná vazba k hloubce.

Chování materiálu během deformace – **deformace pružná/elastická, deformace plastická, deformace tříštivá/křehká.**

Křehké chování látek a chování duktilní.

Pohyby hmoty v zemském tělese vyvolané gravitačními nestabilitami vedou ke vzniku napět'ových polí, které vedou ke vzniku deformací. Dle orientace lze odlišit normálová napětí (tlak, tah) a smyková/střižná napětí. Anizotropie hornin a horninové stavby – napět'ová pole – orientace - (3 ortogonální směry – trojosý deformační elipsoid). Deformace vnějšího tvaru a/nebo objemu tělesa.

Rozměry deformací

Sekundární tektonické (diastrofické) struktury se dělí na **spojité** (konjunktivní) a **nespojité** (disjunktivní)

X. 3. Spojité tektonické struktury

Někdy dále děleny na neperiodické a periodické

X.3.1. Neperiodické spojité tektonické struktury

ohyb/-flexura (vertikální/horizontální) – **kopule (dóm) – mísa**

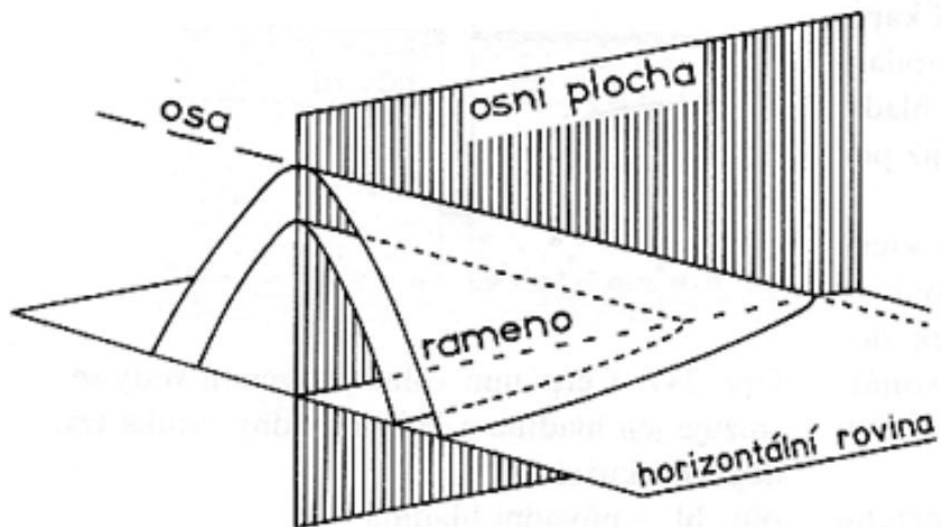
X.3.2. Periodické tektonické struktury

Vrásy – zvlněná deformace strukturní plochy, která se periodicky opakuje do stran (objemová deformace).

Strukturní **vrásové prvky (obr. 1. a obr. 2.)** (vrchol, inflexní bod, zámek, osa vrásy, rovina vrásy, **antiklinála, synklinála, ramena vrásy**)

Vrásový profil, symetrické vs. asymetrické vrásy, vergence vrás

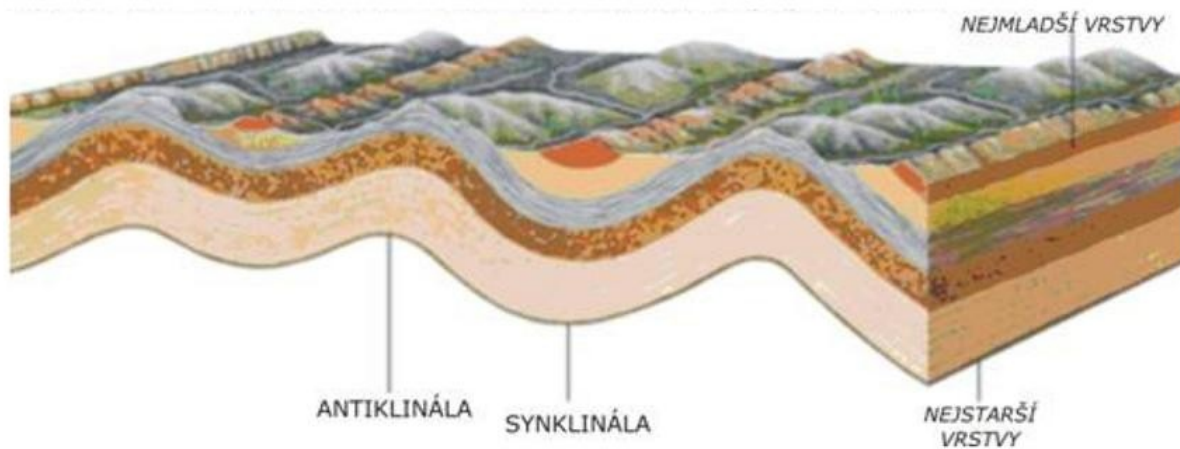
Obr. 1.



Osa vrásy tvoří průsečnici osní plochy s povrchem vrásy.

© Jan Petránek

Obr. 2.



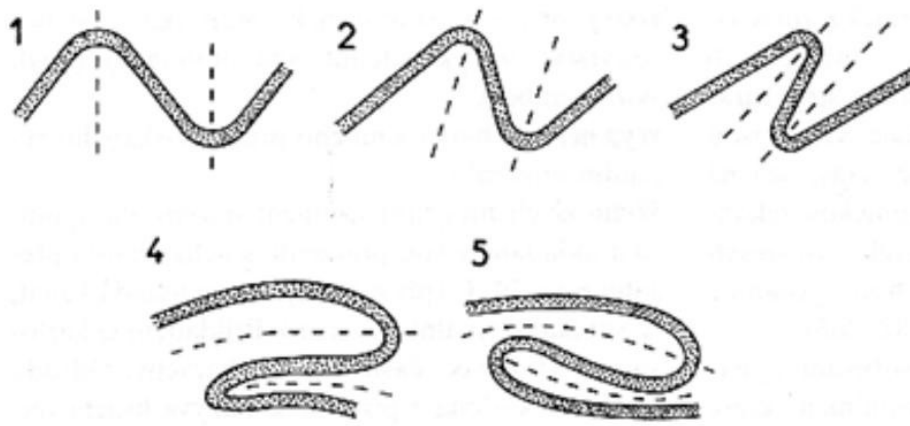
Antiklinála a synklinála.

© Press & Siever

X.3.2.1. Klasifikace vrás

Geometrické klasifikace – podle úklonu osní roviny (obr. 3.) (přímá, šikmá, překocená, ležatá, ponořená), podle velikosti meziramenního úhlu, ...

Obr. 3.



1 - vrása přímá, 2 - šikmá, 3 - překocená (střední rameno je překocené), 4 - ležatá, 5 - ponořená

© Jan Petránek

Lineární a nelineární vrásy/brachyvrásy, interference systémů vrás

Harmonické a disharmonické vrásy

Vrásové komplexy (antiklinórium, synklinórium)

Genetické klasifikace vrás - mechanismus tvorby vrás (vrásy prostého ohybu, vrásy ohybového skluzu, vrásy střížné, vrásy toku, diapirové vrásy, ...)

X.4. Nespojité/disjunktivní tektonické struktury

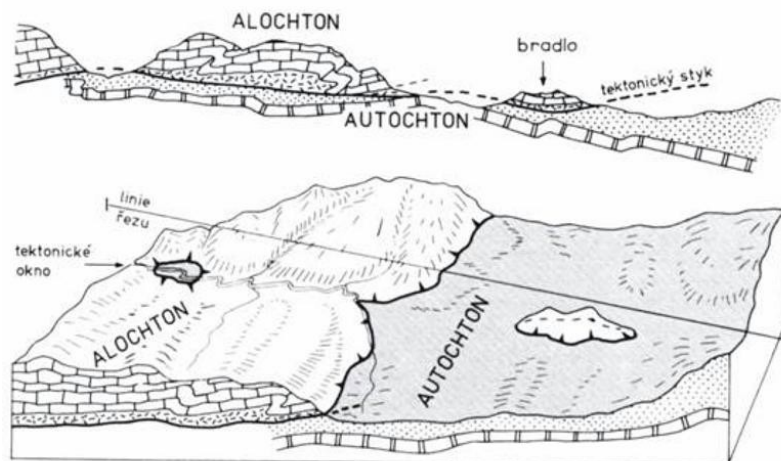
Příkrov/násun je litologicky pestré těleso hornin přemístěné dalekosáhle podél subhorizontální plochy na cizorodý podklad na vzdálenost nejméně 5 km (více než mocnost tělesa).

Výrazná horizontální zkrácení kůry.

Termíny spojené s příkrovy: **autochton**, **alochton (obr. 4.)**, paraautochton, čelo příkrovu, příkrovová troska, kořenová zóna, plocha odlepení, násunová plocha, tektonické okno, palinspastická mapa.

Klasifikace příkrovů - **kerné příkrovy**, **vrásové příkrovy**, gravitační příkrovy, příkrovy gravitačního rozpínání, příkrovy generované zkrácením fundamentu

Obr. 4.



Základní strukturální prvky příkrovu.

© Jan Petránek

Pukliny (obr. 5.)

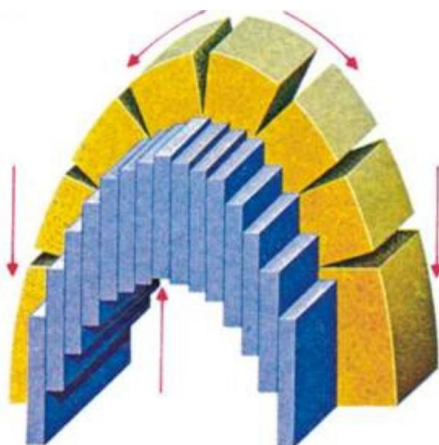
Drobné nespojité deformace. **Puklina**- nespojitá struktura na níž dochází k zřetelné ztrátě soudržnosti a rozdělení do několika celků, bez jejich vzájemného přemístění. Systémy puklin. Puklinová analýza (tvar, velikost, četnost, orientace, morfologie, hustota, vzájemný vztah).

Kliváž (obr. 5. a obr. 6.)

Kliváž je systém hustě vyvinutých, vzájemně paralelních sekundárních ploch, které jsou plochami potenciální štípatelnosti (aniizotropie) bez úplné ztráty soudržnosti. Domény (úzké zóny přepracování) a litony(méně postižené partie).

Vznik v určitém stupni deformace v závislosti na reologických vlastnostech horniny.

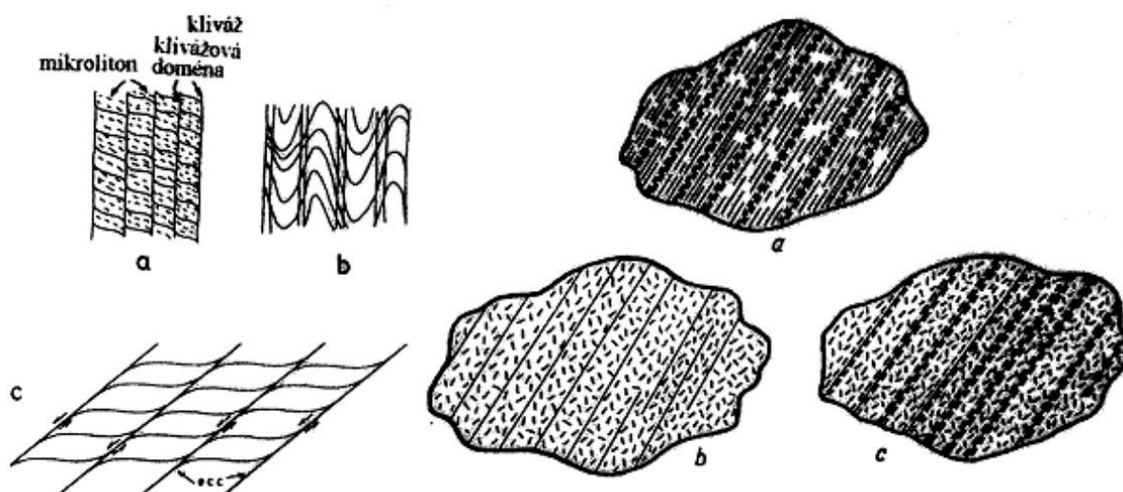
Obr. 5.



Vliv reologických vlastností hornin na vývoj kliváže a puklin.

© Press & Siever

Obr. 6.



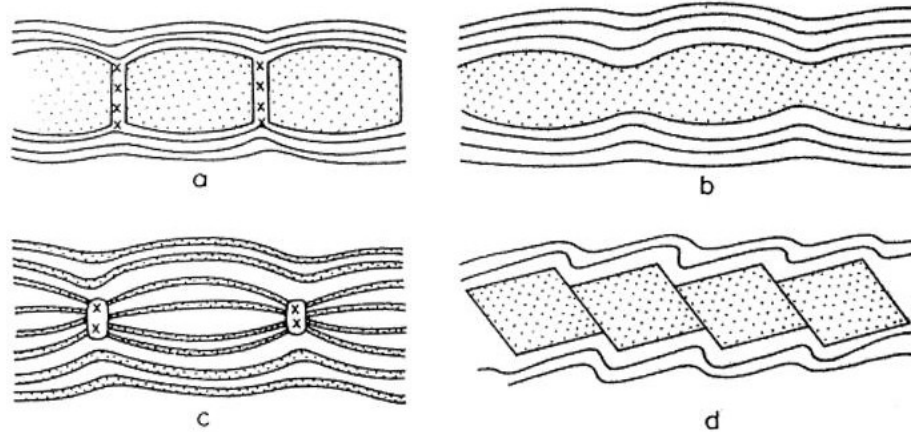
Vlevo: Typy kliváží: a) diskrétní (slaběji deformované mikrolitony odděleny od silně deformovaných domén), b) zonální kliváž (deformace se koncentruje v širších zónách), c) extenzní krenulační kliváž, která vzniká rozpínáním horniny paralelně s foliací.
© Ghosh

Vpravo: Kinematická klasifikace kliváže: a) kliváž toku, b) kliváž puklinová, c) kliváž kluzná
© Ažgirej, Vachtl

Budinář (obr. 7.)

Strukturální proces, kdy vlivem extenze (tah) viskózní vrstvy uložené v méně viskózní matrix dojde k jejímu rozdělení do samostatných těles (křehká vs. duktilní deformace).

Obr. 7.



Genetické typy budináře. a) extenzní puklinová budinář, b) pinch-and-swell struktury (vzniká struktura podobná tabulkám čokolády, c) foliační budinář, d) střížná budinář.

© Ghosh

Zlomy

Zlom - nespojitá disjunktivní struktura, vedoucí ke porušení spojitosti a rozdělení do zřetelně se vůči sobě přemísťujících celků/bloků (zlomových ker).

Zlomová spára/plocha, zlomová linie, dislokace, nadložní kra, podložní kras, směr zlomu, sklon zlomu, odskok, skok.

Klasifikace zlomů

Vertikální, ukloněné a horizontální zlomy

Planární, listrické a vrtulovité zlomy

Rotační zlomy vs. translační zlomy

Normálové zlomy (tahové, tlakové zlomy – extenze a komprese) a střížné zlomy (párové střížné plochy)

Střížné zlomy lze dělit na : **poklesy, přesmyky, horizontální posuny (obr. 8.)**

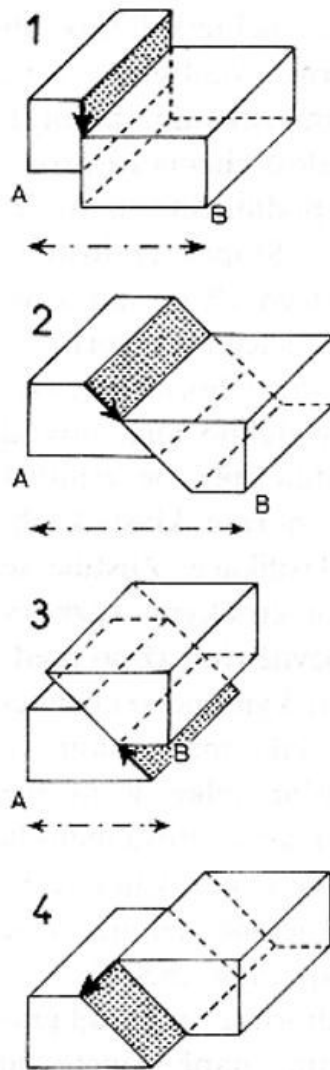
Poklesy rozeznáváme : pokles „čistý“, pokles s vlekem, stupňovitý pokles, syntetický a antitetický pokles

Přesmyky se dělí na : přesmyk „čistý“, přesmyk s vlekem, kerný vs. vrásový přesmyk

Horizontální posun může být pravostranný a levostranný. Kombinace horizontálních posunů (šikmá extenze a komprese - transtenze, transprese).

Systémy zlomů - souklonné a protiklonné zlomy, příkopová propadlina/tektonický příkop (symetrická vs. asymetrická) a hrást' (xenomorfní vs. automorfní hrást').

Obr. 8.



1 - vertikální pokles, 2 - pokles podél ukloněné zlomové spáry, 3 - přesmyk, 4 - posun.
(Přerušovaná čára pod obrázky 1 až 3 ukazuje, zda zlom způsobí oddálení nebo směštnání ker.)

© Jan Petránek

XI. Geotektonické hypotézy / tektonika litosférických desek

Historie problematiky:

Výchozí pozice geologická stavba kontinentů/kontinentální kůry (\pm geologická stavba oceánů).

XI. 1. Orogény a kratony

V rámci kontinentů lze vyčlenit (morfologicky, petrologicky, strukturně, gravimetricky, seismicky, vývoj v čase,...) dvě základní oblasti tj. kraton a. orogeny/pásmová pohoří.

Kratony (štíty, tabule, platformy - germanotypní tektonika/syneklízy, anteklízy, hlubší části zemské kůry, dlouhodobá eroze- stratigrafické hiáty, procesy prekambrikové příp. sp. paleozoické). **Pásemná pohoří/orogény** (lineárně protáhlé horstvo, komplikovaná geologická stavba, charakteristická zonalita, role dalekosáhlých přesunů/příkrovy – alpinotypní tektonika)

Vznik orogénu/pásmového pohoří = orogeneze.

Geotektonické hypotézy v minulosti (neptunisté vs. plutonisté, mobilistické vs. fixistické hypotézy, kontrakční vs. expanzní vs. pulzační hypotézy)

Fixistické hypotézy: zemská kůra je pevně spojena se svým podkladem a je v horizontálních směrech nepohyblivá.

Mobilistické hypotézy: kry zemské kůry se mohou horizontálně pohybovat po svém plastickém podkladu.

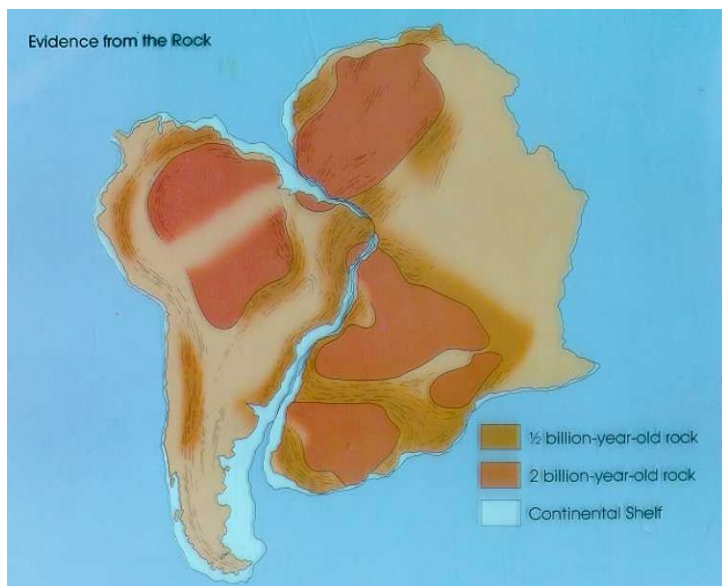
Princip permanence pevnin a oceánů /izostatické vyrovnání vs. **teorie kontinentálního driftu** (A.Wegener) - Pangea, role slapových sil a precese.

Teorie kontinentálního driftu

Jedna z nejvýznamnějších mobilistických hypotéz. Jejím autorem byl rakouský meteorolog a geofyzik **Alfred Wegener** (1880-1931). Podle jeho názoru byly všechny dnešní kontinenty až do konce paleozoika spojeny do jediného superkontinentu nazývaného **Pangea** (obr. 1). Během mesozoika a kenozoika se pak Pangea postupně rozpadala na jednotlivé bloky odpovídající dnešním kontinentům. Wegener vycházel z tehdy platného názoru, podle kterého se na stavbě zemského tělesa podílely dvě hlavní pásma, nazývaná sial a sima. Kontinenty složené z lehčích hornin představovaly sial a pluly na simě, tvořené těžšími horninami, asi jako by kusy polystirénu pluly na hladině vody nebo husté kaše. Důsledkem přitažlivosti Měsíce a Slunce (slapovými jevy) se původní Pangea roztrhala a kontinenty se od sebe začaly vzdalovat. Wegener podložil svou teorii řadou důkazů: podobnost geologické stavby Afriky a Jižní Ameriky, výskyt shodných fosilií a doklady pro stejně staré zalednění na různých kontinentech (obr. 2-4)

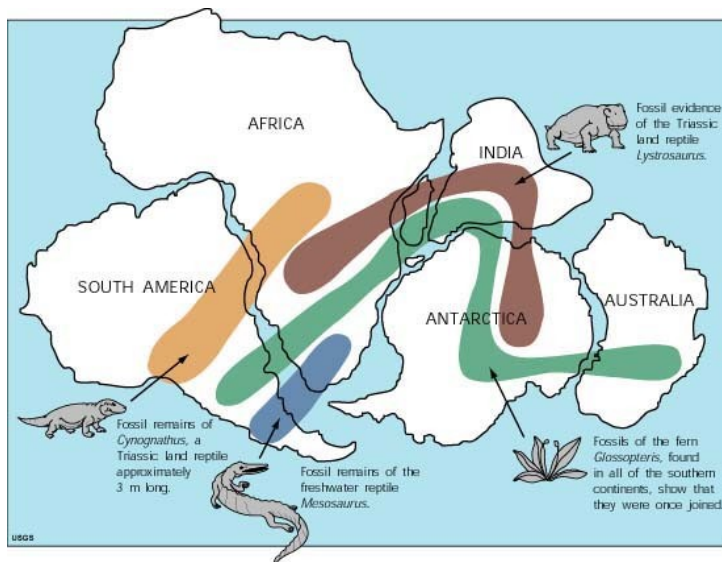


Obr. 1. Pangea. Zdroj: <http://www.isgs.uiuc.edu/maps-data-pub/publications/geobits/geobit10.shtml>



Obr. 2. Podobnost linie pobřeží a geologické stavby Afriky a Jižní Ameriky.

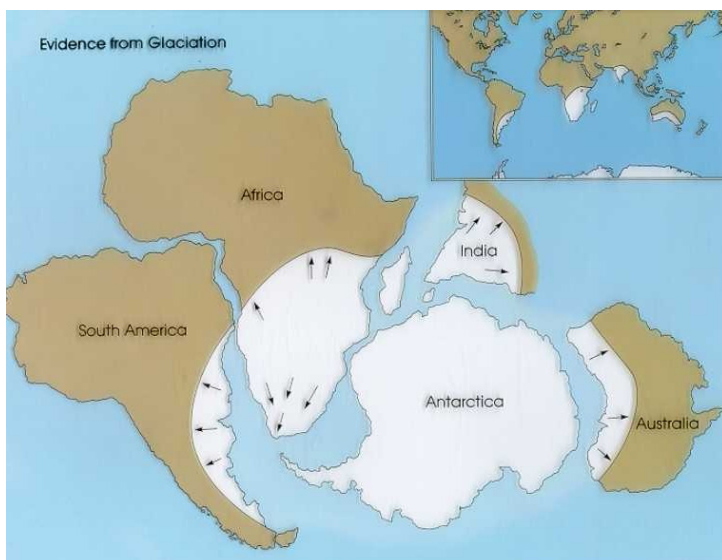
Zdroj: http://blue.utb.edu/paullgj/physci1417/Lectures/Plate_Tectonics.html



Obr. 3. Výskyt fosilií stejných organizmů na dnes od sebe vzdálených kontinentech.

Zdroj:

http://www.classroomatsea.net/general_science/plate_tectonics/cont_drift.html



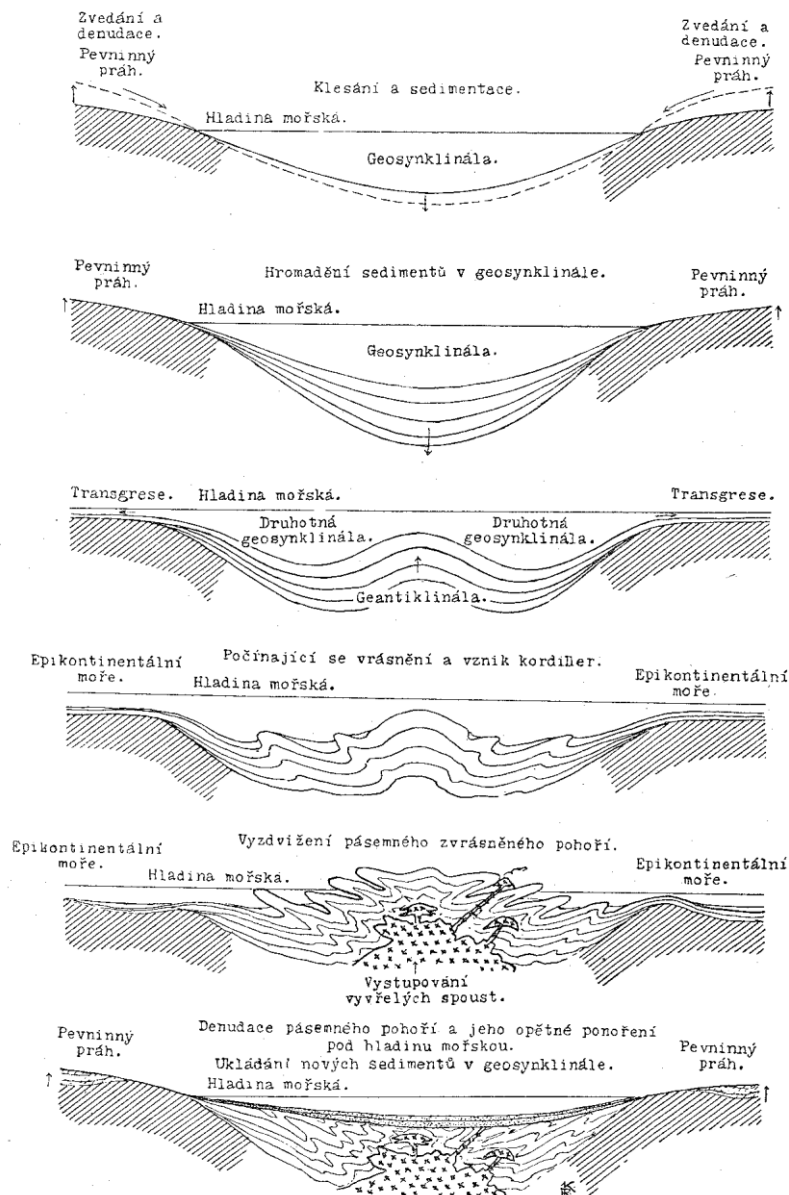
Obr. 4. Doklady zalednění ze závěru paleozoika na dnes od sebe vzdálených kontinentech.

Zdroj: http://blue.utb.edu/paullgj/physci1417/Lectures/Plate_Tectonics.html

Do 60. let 20. století převládala **geosynklinální teorie**. Geosynklinála (obr. 5) – protáhlá lineární deprese, s poklesávajícím dnem vzniklá mezi stabilními bloky. Několik stadií vývoje geosynklinály s rozdílnou sedimentací, magmatismem/vulkanismem, deformací, migrace aktivity - stádium individualizace (iniciální vulkanismus, miogeosynklinála vs. eugeosynklinála), stádium flyšové (kordiléry, hlavní vrásnění), stádium molasové (subsekventní vulkanismus, tvorba „hlubin“), stádium postgeosynklinální (finální vulkanismus). Tektonická jizva.

Některé termíny využívány v dnešních interpretacích teorie litosférických desek na tvorbu orogenních pásem.

Obr. 5.



Vývoj geosynklinály. Podle R. Kettnera (1956).

Vývoj geosynklinály (obr. 5)

Geosynklinála tvoří dlouhou a relativně úzkou depresi zaplavenou mořem a situovanou na okraji nebo uprostřed kontinentu. Dno geosynklinály pozvolna poklesává a zároveň se zanáší sedimenty, přinesenými z okolní pevniny. Pomalé klesání dna může trvat po geologicky

dlouhou dobu (i desítky nebo stovky milionů let). Během dlouhého času se na klesajícím dně hromadí vrstvy sedimentů, které pokles kompenzují. Mocnosti navrstvených sedimentů jsou nakonec tak značné, že se spodní vrstvy začnou vyklenovat a vrásnit. Uprostřed geosynklinály se zvedne centrální hřbet (geantiklinála, kordillera), který rozdělí geosynklinálu na dvě menší pánve. Sedimenty se dále složitě vrásní a dávají vzniknout pásemnému pohoří (orogénu). Spodní vrstvy sedimentů jsou kvůli svému hlubokému uložení roztaveny na magma, které pak vystupuje vzhůru do nitra orogénu. Tak vzniknou velká tělesa magmatických hornin. Vyvrasňovaný orogén je ale vystaven exogenním geologickým procesům (zvětrávání a erozi), které jej rychle denudují. V okolí a rovněž přímo v orogénu se utvoří nové sedimentační pánve, do kterých je řekami, větrem, ledovci a dalšími činiteli snášen materiál z erodovaného pohoří.

Současný stav - Planeta Země – živá dynamická planeta. Geologické procesy (endogenní a exogenní) v celé šíři jejich vzájemných vazeb popisuje tektonika litosférických desek.

XI.2. Tektonika litosférických desek/desková tektonika

Vznik deskové tektoniky - studium mořského dna (morfologie, stratigrafie, paleomagnetismus, tepelný tok), teorie **rozšiřování oceánského dna**, renesance kontinentálního driftu).

Vyčlenění litosférických desek: litosféra vs. astenosféra. Vnitřní energetické zdroje planety – přenos tepla skrze většinu zemského tělesa se děje konvekci. Dynamika konvekce se projevuje v nejsvrchnějších partiích tělesa pohybem litosférických desek. Vyčlenění desek – velké desky (eouroasijská, africká, severoamerická, jihoamerická, indoaustralská, antarktická, pacifická) a malé desky (Nazca, Cocos, karibská, arabská, Scotia,..). Hranice litosférických desek výraznější endogenní i exogenní geologická aktivita (zemětřesení, vulkanismus, orogeneze, tvorba sedimentárních pánví,..), v rámci hranic desek se také realizuje jejich vzájemný pohyb.

Předpoklady: nehomogenity v zemské kůře a plášti, rozdílné vlastnosti litosféry a astenosféry, plasticita astenosféry, relativní pohyb všech desek, neměnnost rozměrů zemského tělesa.

Hranice desek tvoří: A) **středoocéánské hřbety** (morfologie závisí na rychlosti rozpínání oceánského dna, rychlé a pomalé hřbety, riftové údolí, termální eroze kůry, vznik nové oceánské kůry, symetrické magnetické anomálie, rostoucí stáří od hřbetu), B) **hlubokomořské příkopy**, C) **transformní zlomy** (paralelní pohyb desek podél zlomu, kompenzace změn relativní rychlosti pohybu jednotlivých litosférických desek, délka zlomů závisí na vzdálenosti od pólů rotace, tvar úzkého (do 15 km) a hlubokého (1-3 km) lineárního údolí, prudké stěny, seismická aktivita), D) **pásmová pohoří**.

Vazba okraje litosférických desek vs. okraje oceánů a kontinentů (**aktivní a pasivní okraje oceánu**)

XI.3. Divergentní pohyb desek (obr. 6)

Oddalování dvou sousedních desek

Divergentní pohyb desek/konstruktivní rozhraní.

Divergentní rozhraní v rámci oceánů – středoocéánské hřbety, divergentní rozhraní na kontinentech – riftová údolí. Typické znaky: intenzivní vulkanismus, relativně omezená seismická aktivita v oceánech, výraznější na kontinentech.

Trojný bod a aulakogén (failed rift).

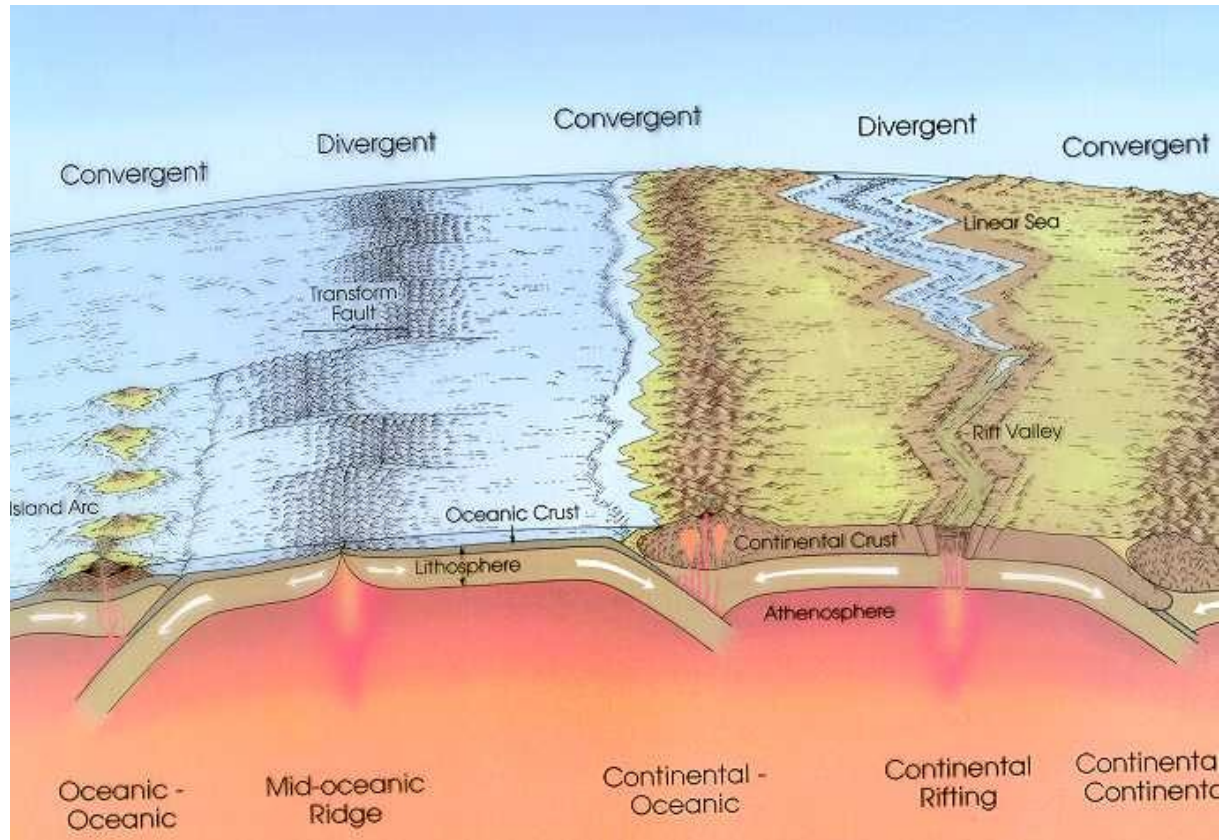
XI.4. Konvergentní pohyb desek (obr. 6)

Protisměrný pohyb, aktivní podsouvání jedné desky pod desku druhou

Konvergentní pohyb desek/ destruktivní rozhraní

Možnosti: A) oceánská litosféra vs. oceánská litosféra, B) oceánská litosféra vs. kontinentální litosféra, C) kontinentální litosféra vs. kontinentální litosféra. Scénáře vývoje: **subdukce** (A, B), **obdukce** (B), **kolize** (C).

Obr. 6.

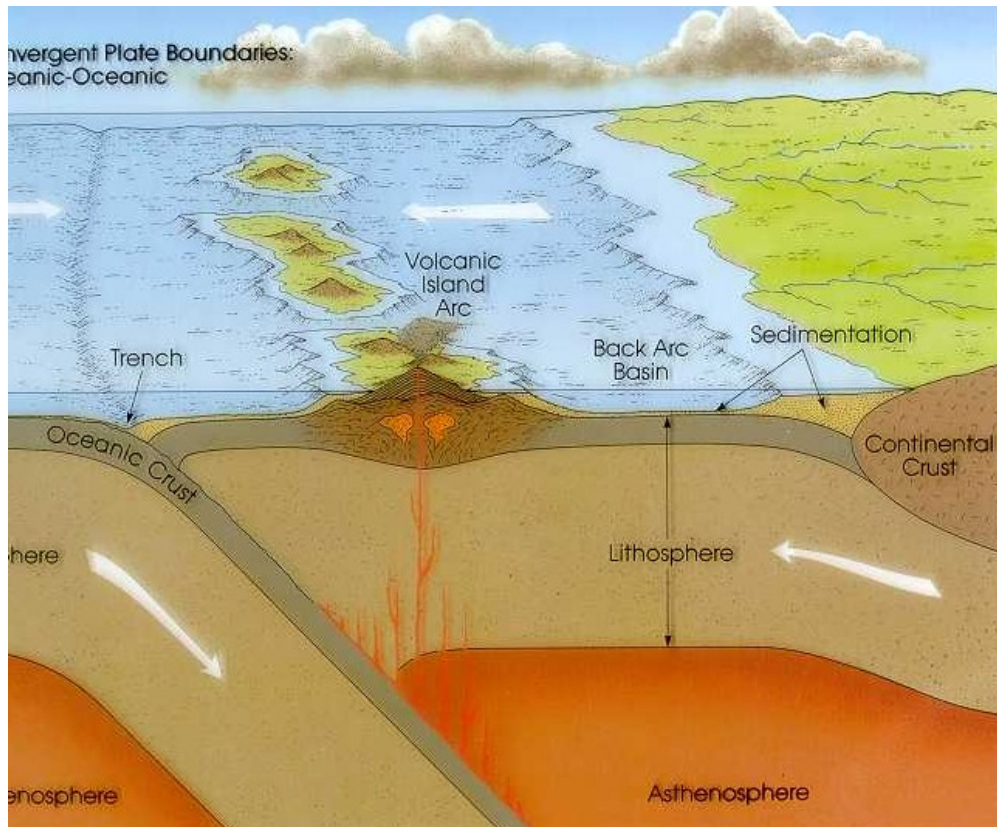


Divergentní a konvergentní rozhraní litosférických desek.

Zdroj: http://blue.utb.edu/paullgj/physci1417/Lectures/Plate_Tectonics.html

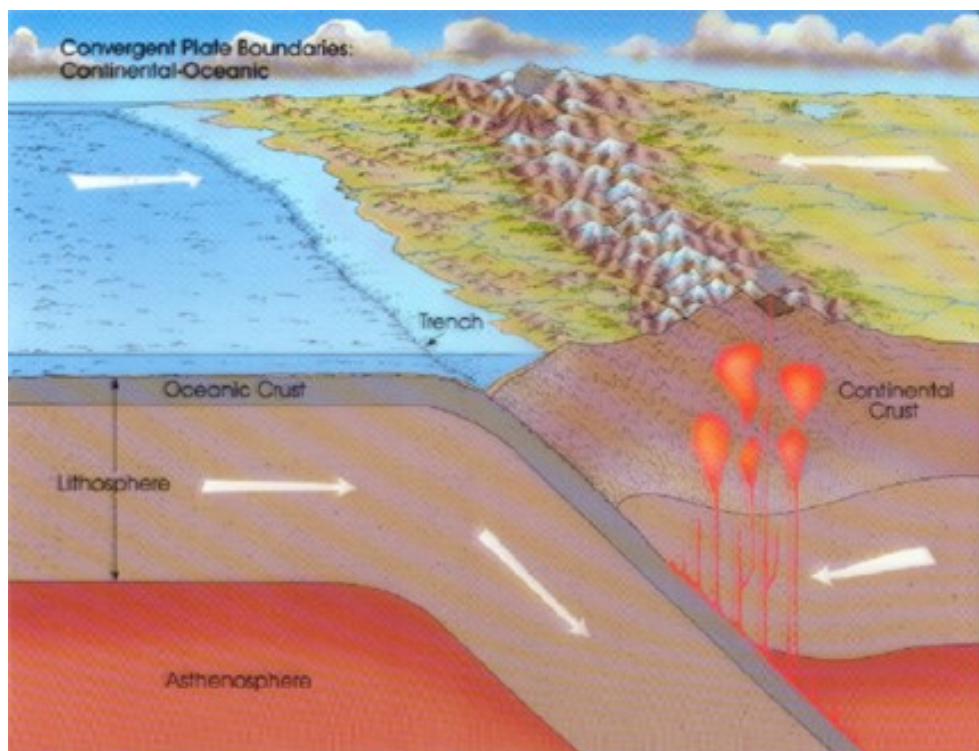
Subdukce – deska obvykle s oceánským typem kůry se ohýbá pod druhou desku, láme se a klesá do pláště. Rozhraní oceánská litosféra vs. oceánská litosféra – **aktivní ostrovní oblouk** (obr. 7), rozhraní oceánská litosféra vs. pevninská litosféra – **aktivní okraj kontinentu andského typu** (obr. 8). Aktivní ostrovní oblouky a aktivní okraje kontinentů – vulkanické řetězce (intenzivní vulkanismus, intenzivní sesimicita, široký rozsah hloubek zemětřesení). Možnost migrace subkuční zóny v čase – systém ostrovních oblouků.

Obr. 7.



Subdukce oceánské desky pod druhou oceánskou desku za vzniku aktivního ostrovního oblouku. Zdroj: http://blue.utb.edu/paullgj/physci1417/Lectures/Plate_Tectonics.html

Obr. 8.



Subdukce pod aktivní kontinentální okraj andského typu. Zdroj: http://blue.utb.edu/paullgj/physci1417/Lectures/Plate_Tectonics.html

Morfologické, vulkanické, seismické, termální, gravimetrické, metamorfní a magmatické rysy ostrovních oblouků a aktivních okrajů kontinentů. Význam úhlu sklonu subdukční zóny.

Zonalita aktivního ostrovního oblouku – oceánská pánev, hlubokomořský příkop, akreční klín (tektonická melanž), **vnější oblouk** (nevulkanický, vytlačený akreční klín), **předoblouková pánev, ostrovní oblouk, zaoblouková pánev**.

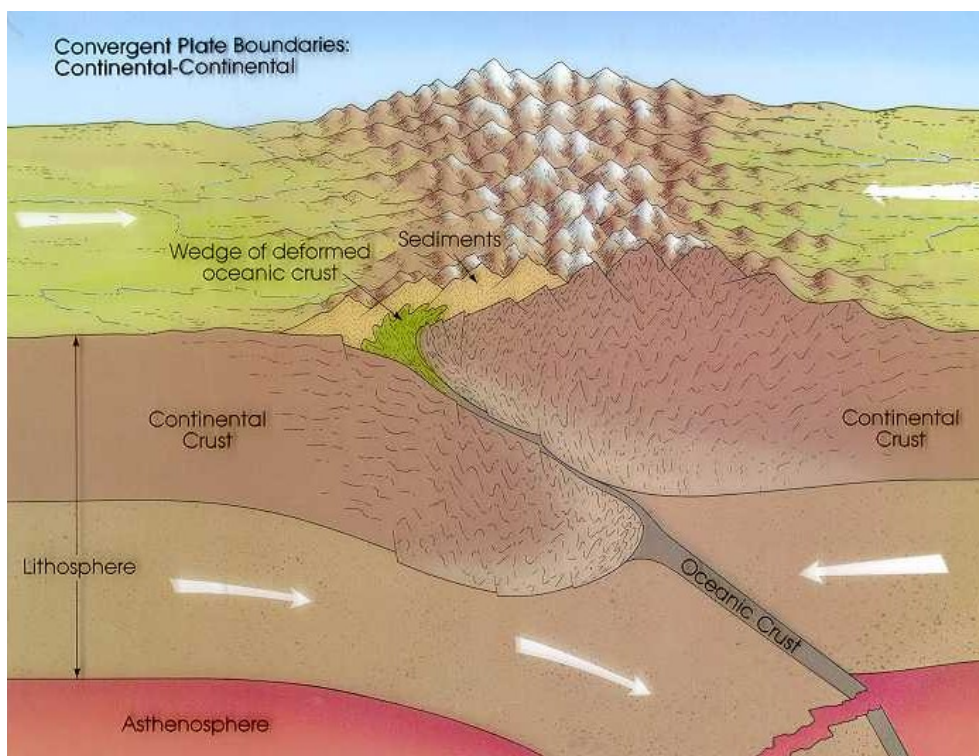
Subdukce „chladné“ oceánské litosféry typický průběh termálního pole, deformace izoterm, metamorfóza tj. vysokotlaká nízkoteplotní metamorfóza (zeolitová facie, modré břidlice, eklogity), nízkotlaká vysokoteplotní metamorfóza – role dehydratace podsouvající se desky – uvolněná fluida usnadňují tvorbu magmat (především andezity).

Magmatická a vulkanická aktivita destruktivních okrajů litosférických desek je spojena s tavením subdukující desky – výrazná zonalita (nárůst Ca, Na a K), od tholeitové série přes vápenato-alkalickou (dominantní) až k alkalické (šošonitové) sérii. Role složení a mocnosti litosféry v nadloží subdukční zóny (rozdíly v kolizi v rámci ostrovního oblouku a aktivního okraje kontinentu, role kontinentální kůry a její tvorba – kyselé, více diferencované horniny, role asimilace a kontaminace, subvulkanická tělesa).

Obdukce – nasunutí oceánské litosféry do tektonického nadloží desky s kontinentální litosférou. **Ofiolity**.

Kolize (obr. 9) - konvergentní pohyb dvou desek s kontinentální litosférou, vyvrásnění pásmového pohoří (alpsko-himalájský typ)

Obr. 9.



Kolize desek s kontinentální litosférou za vzniku orogénu.

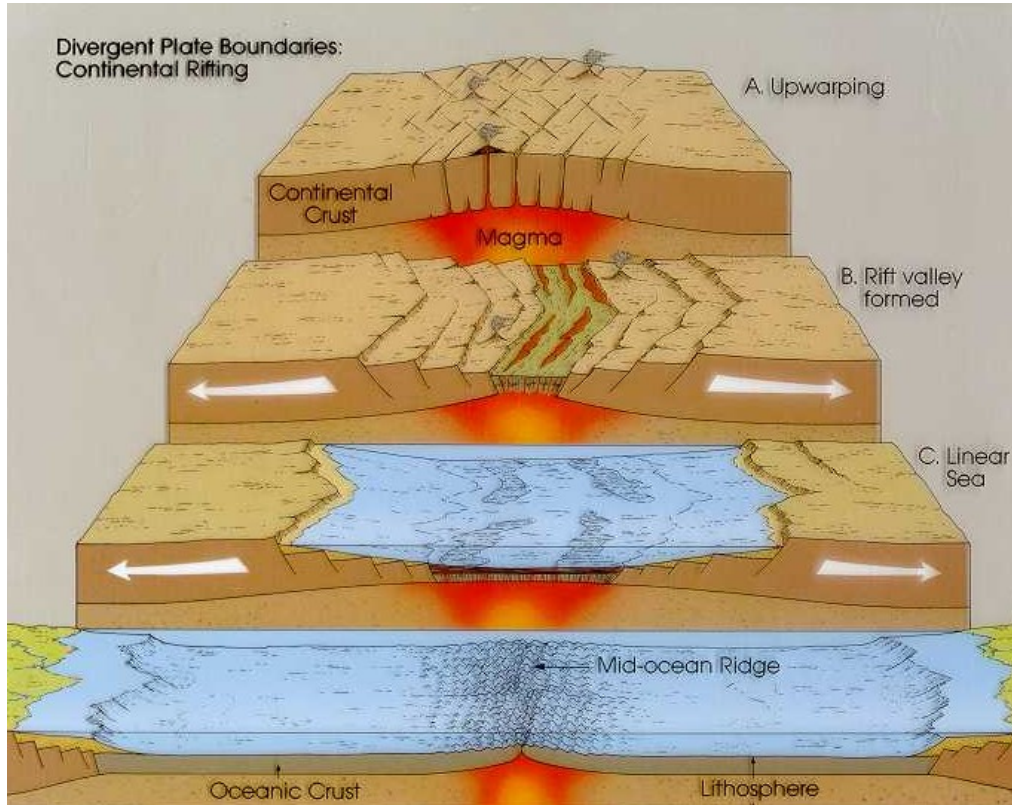
Zdroj: http://blue.utb.edu/paullgj/physci1417/Lectures/Plate_Tectonics.html

XI.5. Transformní rozhraní

Laterální pohyb desek / konzervativní rozhraní, minimální magmatická aktivita. Paralelní pohyb.

XI.6. Kontinentální rifty – extenze na kontinentech, rozpad kontinentu, tektonicky založená lineární deprese (délka vs. šířka), „příkop – stupňovité poklesy“. Sedimentace je ovlivněna klimaticky, alkalický vulkanismus, vysoký teplotní tok, mělká seismicitá. Možný vznik nového oceánu (obr. 10)

Obr. 10.



Vznik kotníntálního riftu, jeho rozpinání a přechod do nové oceánské pánve.

Zdroj: http://blue.utb.edu/paullgj/physci1417/Lectures/Plate_Tectonics.html

XI.7. Wilsonův cyklus/geotektonický cyklus

Wilsonův cyklus vzniku a vývoje oceánu – cyklus vzniku a vývoje oceánské a kontinentální litosféry. Několik stadií – superkontinent – riftogeneze- stadium raného oceánu a jeho rozšiřování- oceán ve stadiu zralosti (pasivní okraje)- oceán ve stadiu staroby (aktivní okraje se subdukcí)- kolize, úplné uzavření oceánu, vznik pásevního pohoří alpského typu-přeměna orogénu v platformu.

Aplikace základu deskové tektoniky do geologické minulosti – fanerozoikum vs. prekambrium.

XI.8. Orogeneze (vznik pásevního pohoří)

Zkracování prostoru díky konvergentnímu pohybu litosférických desek.

Orogeneze/ vrásnění– soubor geologických procesů (magmatické, metamorfní, sedimentární a deformační) odehrávajících se v zákonitém sledu (orogenní fáze – rychlost deformace) vlivem zkracování prostoru (díky konvergentnímu pohybu litosférických desek), vedoucí k vzniku pásevního pohoří, dlouhodobý proces – desítky Ma. Role izostatického výzdvihu díky lehkým granitickým hmotám.

Strukturní charakteristiky pásevných pohoří: a)lineární, obloukovitě zprohýbaná stavba, b) příčná metamorfní, deformační a litologická zonalita, c)složitá vnitřní stavba, d) kolmo na průběh orogénu se mění intenzita metamorfózy, charakteristika i mocnost sedimentů, e)stáří

deformace, metamorfózy i sedimentů klesá z centra na periferii, f) velké laterální zkrácení prostoru.

Základní typy kolizních orogénů: a) kolize oceánská kůra-ostrovní oblouk, záhadné terány, b) kolize oceánská kůra-aktivní okraj, andský typ, c) kolize dvou kontinentálních litosférických desek, alpsko-himálajský typ kolize.

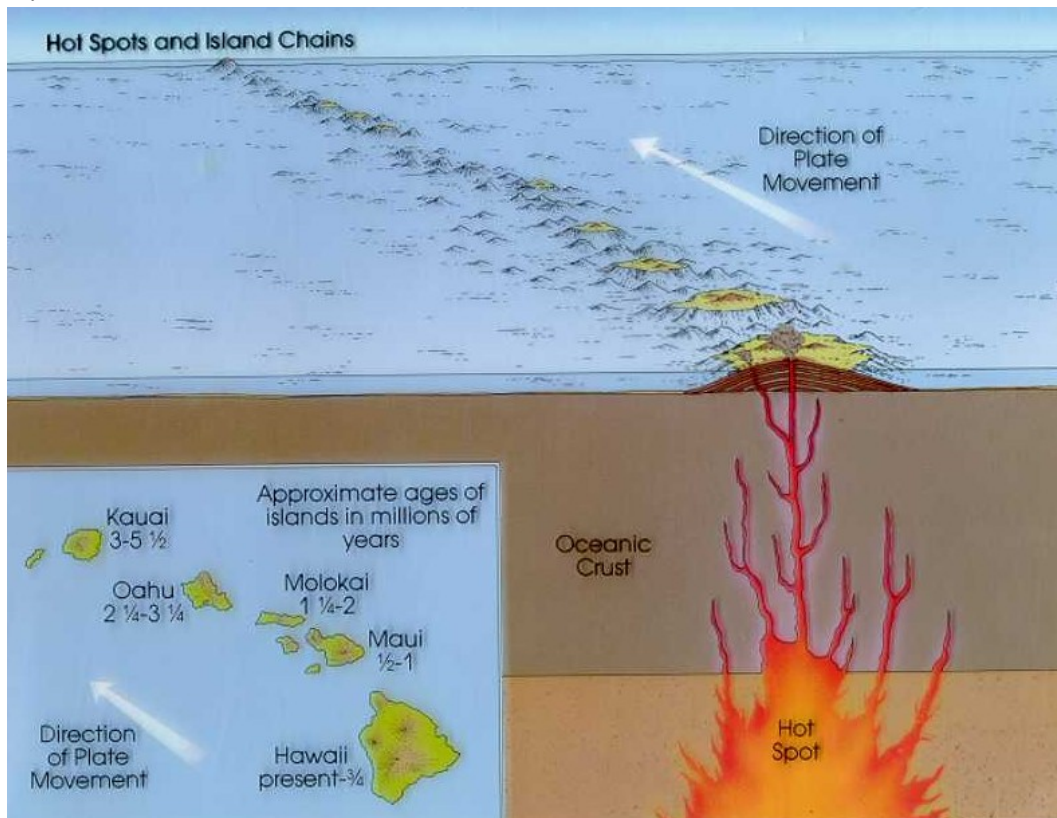
Metamorfni a magmatické procesy během kontinentální kolize

XI.9. Horké skvrny (obr. 11)

Horké skvrny + vnitrodeskový vulkanismus. Nezávislost na struktuře litosférických desek ukazuje na hlubkový původ (interpretace ve spojení s hranicí jádro / plášť. Plášťové chocholy- hříby, seismická tomografie). Posouzení rychlosti a směru pohybu litosférických desek – absolutní vs. relativní rychlost a pohyb.

Výskyty horkých skvrn v oceánských pánvích – okraje “aseismických hřbetů” ostrovní řetězce, řetězce podmořských hor. Stopy pohybu v rámci jednotlivých desek jsou paralelní. Mnohé horké skvrny jsou spojovány s produkcí rozsáhlých lávových příkrovů flood bazalty, bazaltové trappy.

Obr. 11.



Vznik horkých skvrn (hot spots) na oceánské litosféře.

Zdroj: http://blue.utb.edu/paullgj/physci1417/Lectures/Plate_Tectonics.html

XII. Dynamika exogenních geologických procesů

Geologické procesy na planetě Zemi jsou výsledkem protikladného působení endogenních a exogenních činitelů. Geologický vývoj planety („tvořivé a rušivé geologické síly“)
Rozdílná časová měřítka. Rovnovážný stav. Energetická bilance Země (endogenní a exogenní zdroje).

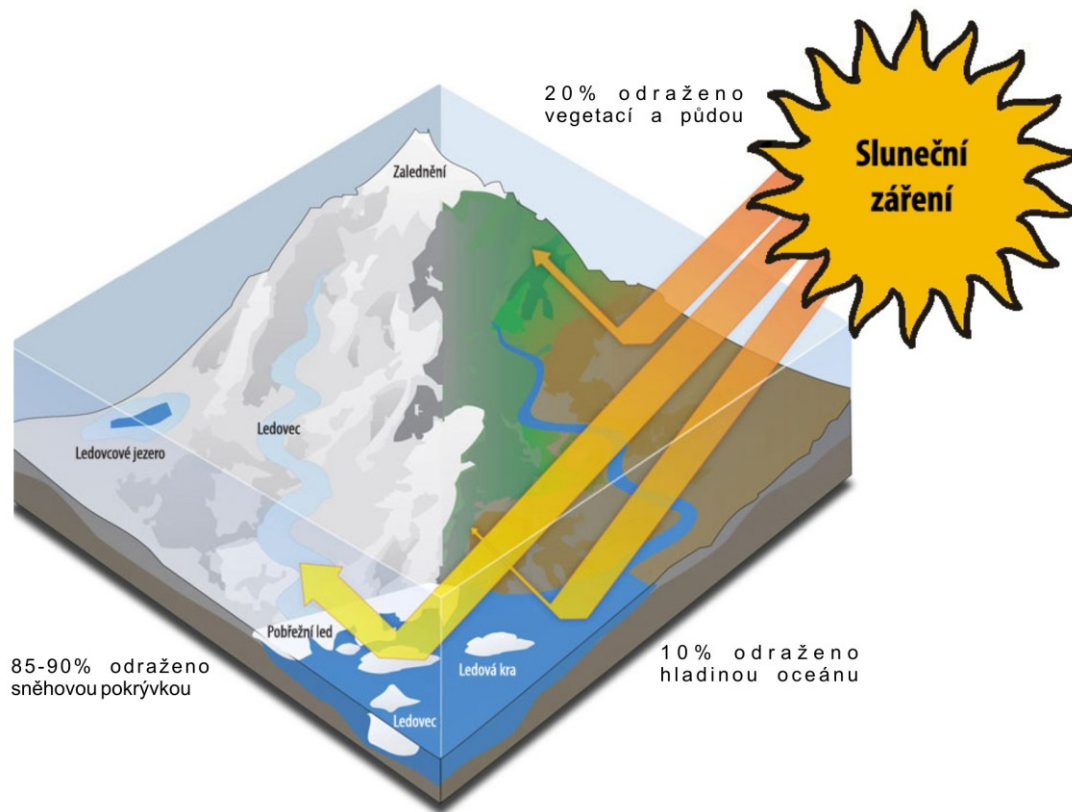
Endogenní procesy – energie nitra planety

Exogenní procesy – vnější energetické zdroje (sluneční energie, přitažlivost Slunce a Měsíce, gravitační síla Země, činnost člověka a organismů).

Solární energie mnohonásobně převyšuje svým množstvím vnitřní zdroje planety.

Využití solární energie – Albedo (obr. 1) (poměr mezi energií odraženou zpět mimo planetu a energií absorbovanou zemským povrchem – 0,3-0,4). Skleníkový efekt (skleníkové plyny) (obr. 2.)

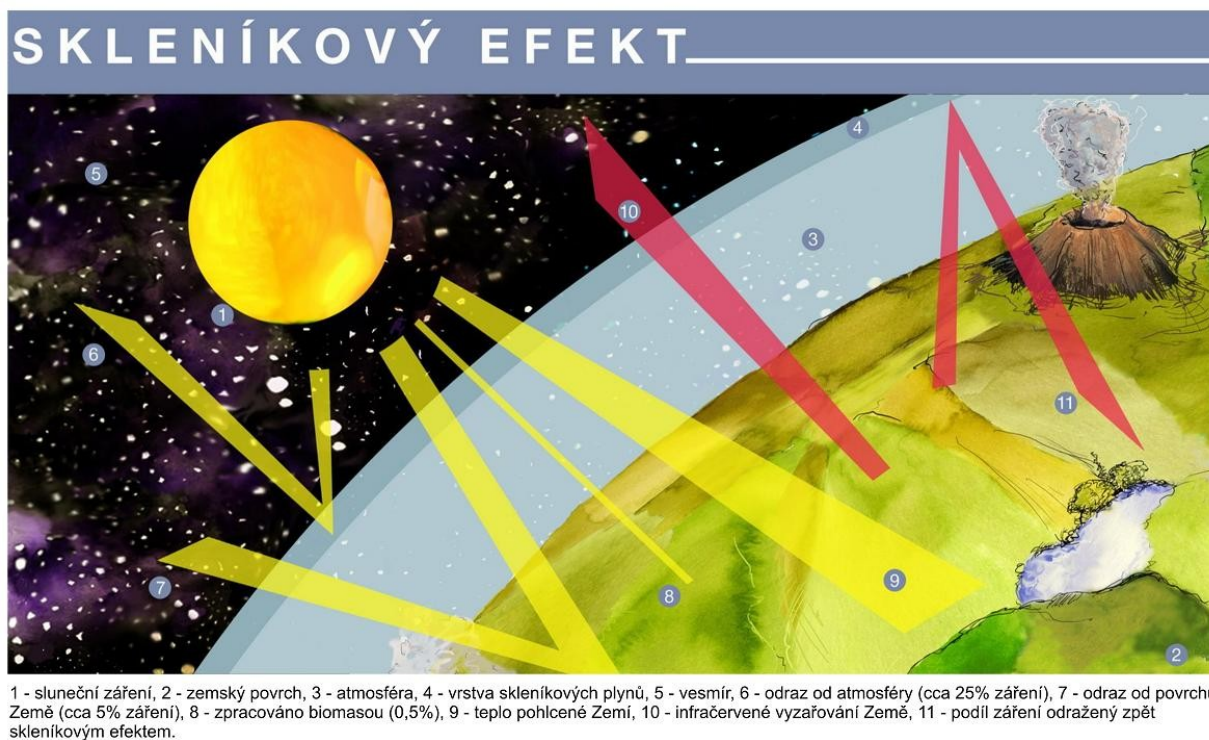
Obr. 1.



Albedo.

© ACIA

Obr. 2.



© Součást vzdělávacího programu ČEZ a.s. Svět energie 2007.

Nerovnoměrné rozdělení sluneční energie v různých zeměpisných šířkách, sezónní rozdíly (klimatické cykly)- termální distribuce – role hydrosféry a atmosféry (evaporace, kondenzace).

Látková bilance geologických procesů – výměna hmoty v rámci zemského tělesa – cyklické procesy (rozdílný rozsah procesů-geosféry, rozdílná rychlost pohybů). Vzájemná vazba procesů –nejvýznamnější látková výměna mezi exogenními a endogenními procesy v rámci procesu subdukce / teorie litosférických desek. Dále vazba vulkanismu a atmosférických procesů (cyklus uhlíku, kyslíku).

Cyklus vody (obr. 3.)

Obr. 3.

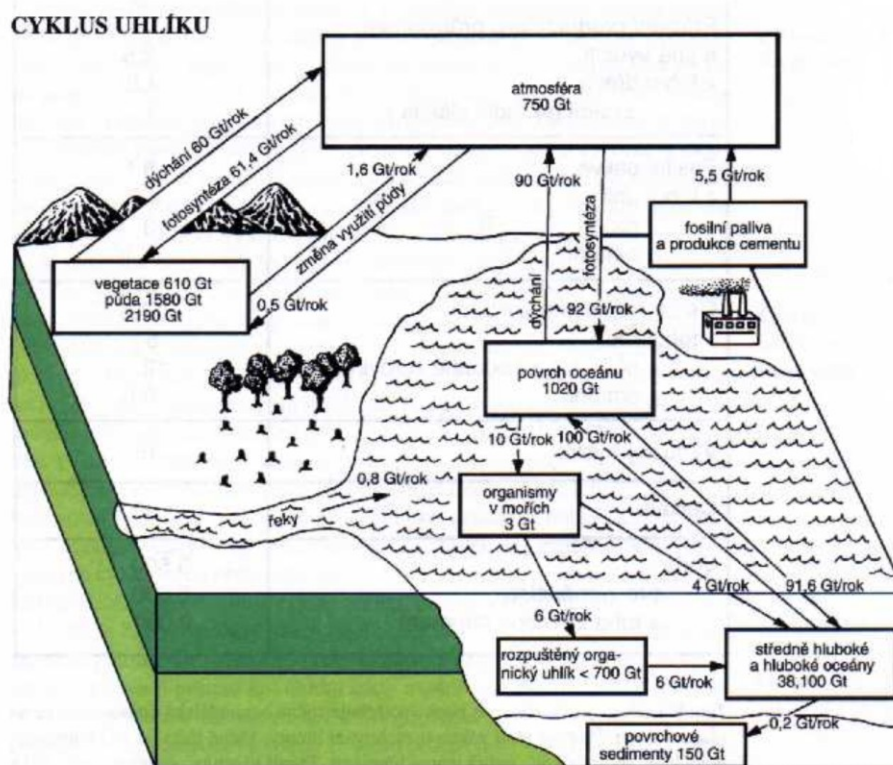


Schéma cyklu vody.

© John M. Evans

Cyklus uhlíku (obr. 4.)

Obr. 4.



Cyklus uhlíku v přírodě.

© Phare, Kuraš a kol.

Výsledkem činnosti exogenních činitelů je rozrušování (eroze, zvětrávání) hornin, transport a usazení/sedimentace produktů zvětrávání. Těmito procesy vznikají sedimentární horniny (jejich studium umožňuje hodnocení těchto procesů) a také reliéf planety. Výsledné tvary zemského povrchu ovlivňuje zejména: a) geologická stavba a odolnost hornin vůči zvětrávání, b) rozdílné typy zvětrávání, rychlost eroze, c) tektonické a vulkanické pohyby, d) charakter produktů zvětrávání, odnos či akumulace zvětralin, e) změny erozních bází. Studium reliéfu se zabývá **geomorfologie**.

XIII. Zvětrávání

XIII.1. Úvod, základní pojmy

Zvětrávání – soubor procesů, kterými se horniny přizpůsobují podmínkám na zemském povrchu (kontakt litosféra vs. atmosféra, hydrosféra, biosféra).

Terestrické zvětrávání vs. zvětrávání na mořském dně (halmyrolýza)

Vzniká zvětralinový plášť – regolit.

Typ, rychlost a intenzita zvětrávání závisí na: klimatu, vlastnosti hornin, reliéf (geologické a geomorfologické poměry), čas, biogenní (vegetace, atd.) a antropogenní faktory.

Klima - teplota, srážky - množství, rozdělení, charakter srážek (humidity, výpar, hladina podzemní vody a její pohyb, atd.). Přímý vliv na biosféru (biogenní faktory).

Vlastnosti hornin – minerální složení (stabilní vs. nestabilní komponenty/ minerály), stavba (textura, struktura – pórovitost, propustnost, velikost klastů, uspořádání).

Geologické poměry – tektonické postižení, dlouhodobý vývoj oblasti

Geomorfologické poměry – reliéf, sklon, orientace ke světovým stranám

XIII.2. Typy zvětrávání

Mechanické (fyzikální) – dezintegrace/rozpad – změna velikosti nikoliv složení, nárůst reakčního povrchu minerálů

Chemické – rozklad, chemické reakce, změna složení, novotvořené minerály

Biochemické (biologické) – fyzikální i chemické procesy spojené s živými organismy

XIII.3. Procesy mechanického zvětrávání

Tepelné změny (smršťování a rozpínání), krystalizace vody/mráz, krystalizace solí (objemové změny), destrukce při pohybech (voda, vzduch, led, svahoviny, atd.), pokles hydrostatického tlaku (exfoliace (obr. 1.), deskvamace).

Odnos zvětralého materiálu- pokračování zvětrávání

Obr. 1.



Exfoliace; ©Michael

Obr. 2.



Příklad několika typů mechanického zvětrávání; © Michael

XIII.4. Procesy chemického zvětrávání (obr. 3.)

Reakce mezi horninami (litosféra) a plyny, kapalinami vnějších sfér planety Země (atmosféra, hydrosféra).

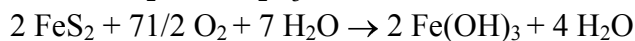
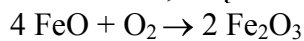
Složení reakčních činitelů - podmínky reakce (teplota, tlak, množství látek, reakční povrch)

Rozdílná rychlost zvětrávání

Změna složení atmosféry a hydrosféry v čase, průmyslové znečištění

Rozpouštění – vzácně primární minerály, obvykle rozpouštění sloučenin vzniklých dalšími reakcemi při chemickém zvětrávání, převedení do roztoku, transport na velké vzdálenosti.

Oxidace – reakce s kyslíkem, vznik oxidů a hydroxidů, typicky procesy spojené se změnou Fe^{2+} na Fe^{3+} , rozpustné minerály přechází v nerozpustné, typicky červená a hnědá barva.



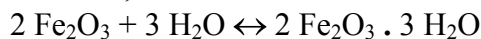
Obr. 3.



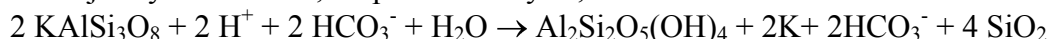
Chemické zvětrávání vlivem kyselých dešťů, $\text{H}_2\text{O} + \text{CO}_2 + \text{CaCO}_3 \rightarrow \text{Ca}^{2+} + 2\text{HCO}_3^-$; ©Michael

Redukce - typicky procesy spojené se změnou Fe^{3+} na Fe^{2+} , změna barvy na zelenou či modrozelenou, rozpustné minerály- horizonty vybělení v rámci půd (šedá a bělošedá barva).
Kyzové zvětrávání. prroterozoické Fe rudy.

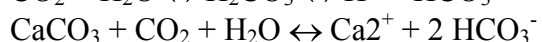
Hydratace a dehydratace – reakce bezvodého minerálu s vodou. Např. anhydrit vs. sádrovec, limonit.



Hydrolyza - disociační schopnost vody, role vodíkového iontu, chemické zvětrávání živců, vznik jílových minerálů, rozpustné formy Si, rozklad kalcitu.



Karbonatizace a dekarbonatizace – zachycení či uvolnění CO_2 v minerálech. Vysrážení kalcitu, cementace. Často vazba k evaporaci a fotosyntéze.



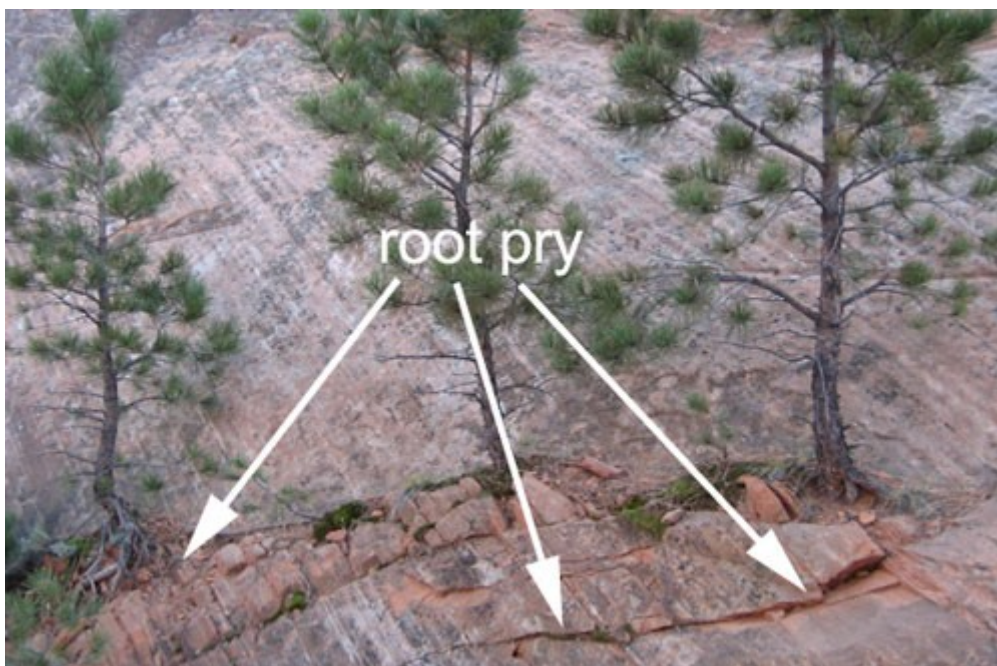
XIII.5. Procesy biochemické zvětrávání (obr. 4.)

Pronikání kořenů, destrukční činnost organismů

Chemické reakce organických sloučenin

Vazba ke klimatu – rozšíření organismů

Obr. 4.



Zvětrávání způsobené kořeny stromů; © Vogt

XIII.6. Stabilita minerálů a hornin

Rozdílná stabilita minerálů při zvětrávání

Rozdílná stabilita minerálů při transportu – zonalita (alkálie, chloridy, sírany vs. alkalické kovy vs. Fe, Al, SiO_2) – typ roztoku, podmínky (pH, atd.)

Novotvořené minerály vs. fyzikální destrukce

XIII.7. Zvětrávání v klimatu

Společné působení- zastoupení jednotlivých typů i rychlost zvětrávání závisí na matečné hornině, teplotě a dostatku vody - především klima

Arktické klima – především fyzikální zvětrávání, nízká teplota – občasné procesy chemického zvětrávání

Aridní klima – smíšené chemické a fyzikální zvětrávání, střídání procesů rozpouštění a opětovného vysrážení. Sezónní cykly – tvorba hardplanů (calcrety).

Humidní klima – dominance chemického zvětrávání, zralé půdy, rychlý odnos rozpustných látek. Typický reliéf – „zaoblený“ profil, vegetace. (mírné pásmo – sialitický typ, subtropické klima – sialiticko-allitický typ, tropické klima – allitický typ)

Zvětralinová ložiska nerostných surovin

Diferencované zvětrávání - sferoidální zvětrávání

Termíny eluvium – aluvium - koluvium/ deluvium – proluvium

Eroze

XIV. Pedologie

XIV.1. Úvod, základní pojmy

Definice půdy – přírodní těleso vzniklé ze zvětralého horninového materiálu pozměněné fyzikálními, chemickými a biologickými procesy, které je schopno poskytnout živiny rostlinnému krytu.

Pedosféra (kontaktní zóna litosféry, biosféry, hydrosféry, atmosféry)

Zvětraliny zůstávají po delší dobu na místě – finální stadium zvětrávacího procesu - půdotvorný cyklus/ proces. Nezralé vs. zralé vs. degradované půdy.

Pedologie – popis, geneze a klasifikace půd.

XIV.2. Pedogenní/půdotvorní činitelé

Matečná hornina - výchozí substrát, rozdílná role v čase a klimatu. Ovlivňuje charakter půdního druhu (zrnatost), strukturu půdy i rychlost jejího vývoje.

Klima – půda je indikátor paleoklimatu. Klima má přímý a nepřímý vliv. Určuje rychlost a charakter zvětrávání, efektivita chemického zvětrávání, transport rozpuštěných látek. Sezónní rozdělení srážek - směr pohybu vody pásmem zvětrávání. Stupeň rozkladu organické hmoty.

Antiklimatogenní půdy vs. klimatogenní zonální půdy (pedalfery, pedocaly, hardplany/ caliche, ortsteiny, pancíře/, laterity a bauxity)

Reliéf - přímé a nepřímé působení, aktivita vertikálního pohybu vody a zvětralin, výšková poloha, sklon, orientace, morfologie

Organismy a člověk - biogenní zvětrávání (edafon), koncentrace minerálních látek, prvků a sloučenin, vyrovnání teplotních a vlhkostních rozdílů, ochrana před erozí, mechanická destrukce, ovlivnění migrace látek i zvýšení bonity.

Čas – pedogenní proces, rychlost pedogenních procesů – stupeň zralosti půdy

XIV.3. Vznik půdy

Složité a dlouhodobý proces.

Geneticky spjatá vývojová řada půd lišící se stupněm zralosti. Proces pedogeneze (3 hlavní pochody): rozklad hornin a organických zbytků, tvorba novotvořených anorganických a organických sloučenin a (tvorba anorganické a organické komponenty), přemísťování a míšení složek půdy.

XI.4. Složení půdy, její vlastnosti a stavba

Půda se skládá z anorganická a organická komponenta, půdní vzduch a voda.

Vývoj půdy a její bonita (kvalita) - obsah minerálů, které uvolňují živiny – plagioklasy (Ca, Na), slídy (K, Mg, Fe), draselné živce (K), amfiboly, pyroxeny (Fe, Mg, Ca), novotvořené (jílové minerály, hydroxidy Fe), obsah organických sloučenin (humus), odolné minerály (křemen)- struktura půdy (vzduch, migrace vody).

Půdy lze charakterizovat zrnatostí, obsahem organických i anorganických sloučenin, barvy, pórovitostí, uspořádáním částic (půdní skladba) – geneze a klasifikace půd.

Dlouhodobé uplatnění pedogenních procesů vede k diferenciaci půdního profilu do půdních horizontů

XI.4.1. Půdní profil (obr. 1.)

Půdní horizonty – rozdíly v barvě, zrnatosti, struktuře, složení (mineralogické i chemické), stupeň rozkladu matečné horniny, obsah humusu, atd. Horizonty a subhorizonty.

Horizont A – zóna vyluhování

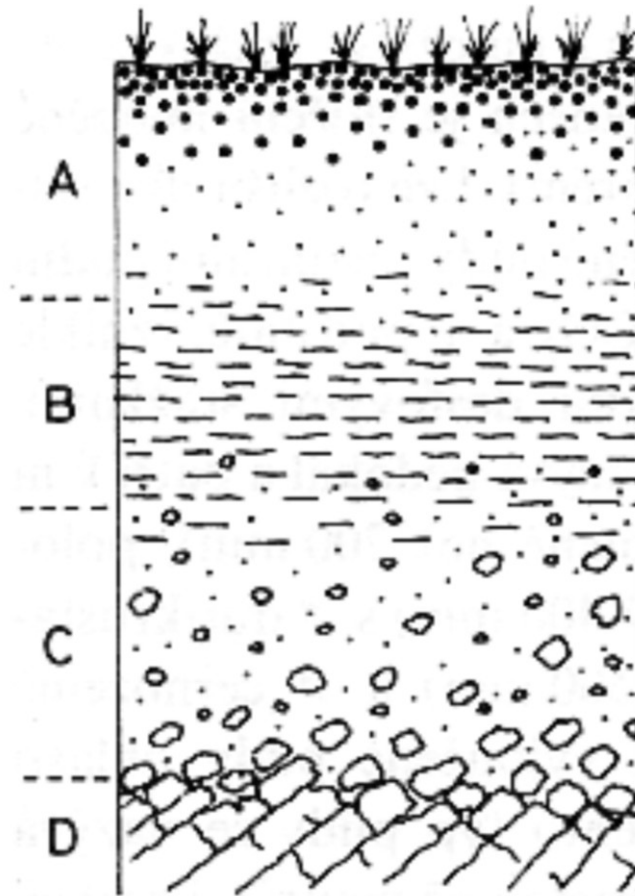
Horizont B – zóna akumulace, hardgroundy

Horizont C – zvětralá matečná hornina

Horizont D – nezvětralá hornina

Klasifikace půdního typu dle půdního profilu

Obr. 1.



A - horizont bývá nahoře obohacen humusem, níže ochuzen o půdní koloidy a humus (působením pronikající vody), B-horizont je převážně jílovitý a obohacený o Fe, Al a Si látky, C - horizont je rozrušená a zvětrávající matečná hornina, D - horizont je nedotčená matečná hornina.

© Jan Petránek

XI.5. Klasifikace půd

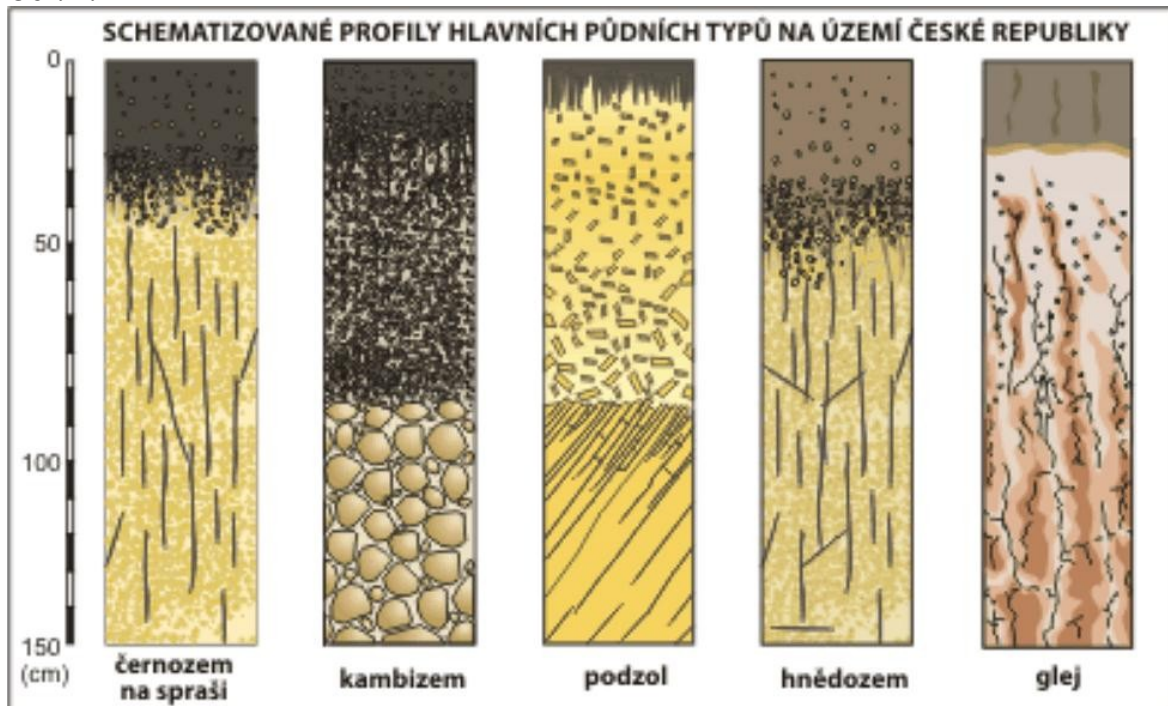
Středoevropské půdy (obr. 2.)– 4 hlavní skupiny (dle směru perkolace tj. pohybu půdních roztoků)

- 1) Terestrické půdy (surové půdy, rankery, rendziny, černozemě, hnědozemě, podzoly, terrae calcis, platosolly, latosoly...)
- 2) Semiterestrické půdy (nivní, glejové a slané půdy)
- 3) Subhydrické půdy (jezerní křída, bažinné vápence-almy, sapropely, gytja)
- 4) Rašelinové půdy (slatiny, vrchoviště)

Fosilní půdy – pohřbené půdní horizonty

Transportované a autochtonní půdy

Obr. 2.



© Jaroslav Synek

Rankery - půdy silně skeletovité, s obsahem skeletu více než 50 %. Často kryjí příkřejší svahy a jejich úpatí. Rankery jsou nadměrně provzdušené, vláhový režim dobrý, avšak silně ohrožené erozí. Půdy výhradně lesní.

Rendziny - půdy vyvinuté přímo na skeletovitém karbonátovém matečném substrátu. Jedná se většinou o mělké, kamenité půdy. Pod humusovým horizontem leží mnohdy přímo hrubě rozpadlá hornina. Matečnou horninou jsou karbonátové horniny, především vápence a dolomity. Typická je přítomnost CaCO_3 nebo MgCO_3 v celém profilu. Využití rendzin je celkem nízké (sady, vinice).

Černozeň - středně těžké půdy, bez skeletu, s vyšším až vysokým obsahem kvalitního humusu. Tmavě zbarvený humusový černický horizont nasedá přímo na matečnou horninu. Matečnou horninu tvoří sedimenty obsahující karbonáty, především spraše, písčité spraše a slíny, vápnité terciární jíly nebo vápnité písky. Využití jako orná půda, vlivem značně suchého klimatu trpí občas přílišným vysycháním.

Hnědozeň - půdy s homogenně hnědým přechází do rezavě hnědého horizontu. Hnědozemě jsou nejčastěji středně těžké až těžké půdy. Svrchní část profilu je ochuzována o jílnaté součástky, jež jsou zasakující vodou přemísťovány do hlubších půdních horizontů. Nejčastěji matečnou horninou je spraš, dále sprašová hlína či smíšená svahovina. Hodnotné zemědělské půdy, využitím se blíží černozemím.

Podzoly - půdy silně nenasycené v celém profilu a jsou vysoce nasycené hliníkem. Při podzolizaci už dochází k hlubokému chemickému rozkladu minerální části půdy. Uvolňují se seskvioxydy (Fe_2O_3 , Al_2O_3), a ty se přemísťují spolu s organickými látkami z vrchních částí do spodních částí profilu. Matečnou horninou jsou většinou zvětralinou minerálně chudých hornin: žuly, ruly, svory, pískovce, naváté písky, šterkopísky. Jejich rozšíření je v horských oblastech pod původními smíšenými porosty s převahou smrku.

Terrae calcis - jílovité, odvápněné půdy vzniklé zvětráváním karbonátových hornin (vápenců, dolomitu, travertinu). Jsou to půdy se dvěma horizonty - mají slabý humózní A-

horizont a pod ním sloučeninami železa sytě žlutě (terra fusca) až červeně a temně červenohnědě (terra rossa) zbarvený B-horizont nasedající na matečnou horninu.

Latosoly - silně zvětralé půdy, v jejichž půdních profilech se hromadí sloučeniny hliníku a železa.

Gleje - charakteristické je trvalé zamokření alespoň spodní části půdního profilu. Vlivem nadbytku vody v půdě se zpomalují oxidační procesy, což vyvolává hromadění organických látek v půdě, hromadění nadložního humusu, případně rašelinění. Matečnou horninou jsou hlavně nevápnité nivní uloženiny a deluviální splachy. Většinou v mělkých terénních depresích na plošinách a v pánvích, často v blízkosti vodních toků a pramenišť v úžlabinách a v blízkosti rybníků. Jsou rozšířeny od nížin do hor na zamokřených půdách podmačené řady. Zemědělsky méněcenné půdy.

Slané půdy – solončaky a slance.

Solončaky - půdy s výraznými znaky zasolení. Zasolení se projevuje v suchém období formou solných výkvětů s prasklinami na povrchu půdy; ve vlhkém období výkvěty solí i praskliny mizí. Zasolování je vyvoláno buď opakovaným kapilárním zdvihem vody bohaté na soli, nebo zaplavováním povrchu půdy vodou obohacenou solemi.

Slance - Převládajícím půdotvorným procesem je odsolování. Prosakující voda vymývá soli z horních vrstev půdy a usazuje se v hlubších vrstvách, kde se hromadí. Ukládají se zde i jílovité částice a humusové látky.

Jezerní křída – viz geologická činnost jezer.

Sapropely - organická bahná vzniklá rozkladem odumřelých vodních organismů v anaerobních podmínkách; výchozí látky pro vznik zemního plynu a ropy. Příměs sapropelu způsobuje tmavé zabarvení (sapropelitický jíl, vápenec aj.); hornina, jejíž hlavní složkou je sapropel, se nazývá sapropelit, je hořlavá a patří ke kaustobiolitům.

Gyttja - tmavá bahnitá usazenina stojatých vod s organickými zbytky.

Slatiny - organický sediment vznikající při zarůstání jezer a říčních ramen a obsahující 50 až 95 % organického materiálu, pocházejícího především z travin.

XV. Svahové pohyby a gravitace jako geologický činitel

XV.1. Úvod, základní pojmy (obr. 1.)

Gravitace – pohyb materiálu na povrchu planety i pod povrchem (gravitační diferenciace, konvekční proudy)

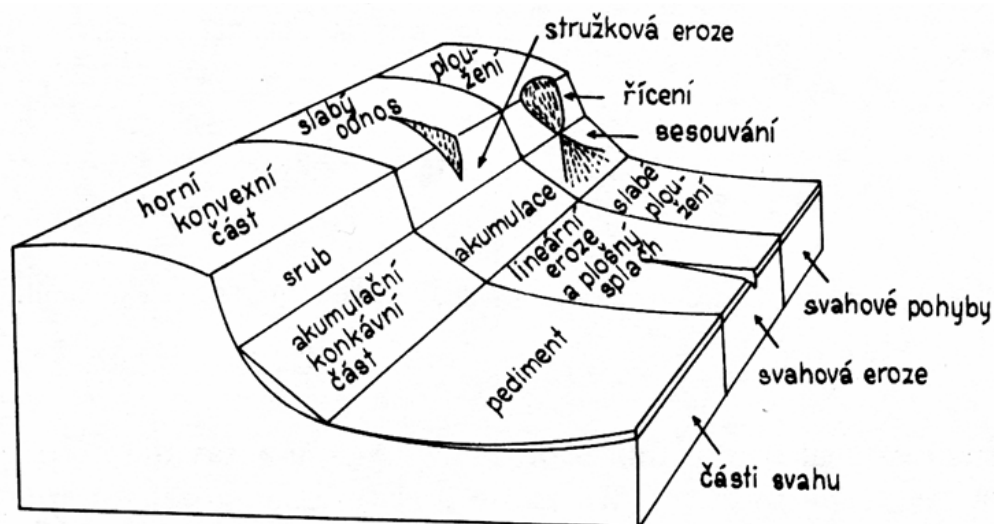
Reliéf povrch Země- svah - nejrozšířenější dynamický prvek reliéfu (90% - 60% sklon do 10°).

Zdroje energie na svahu: - sluneční energie, zemská gravitace, energie proudů vzduchu a vody, energie skalního podloží, objemové změny vody. Procesy probíhající v rámci svahu: gravitační pochody, zvětrávání, fluvialní pochody (povrchová a podpovrchová voda), kryogenní pochody, biologické pochody

Pohyb po překonání vnitřních sil (vnitřní tření, koheze, atd.- role vlastností hornin, vody, ..)

Analýza svahu (sklon, délka, profil, mocnost sedimentů na svahu a při úpatí - geneze a vývoj svahu). Morfologie svahu : horní konvexní část, srub/sráz, akumulční konkávní část, erozní konkávní část.

Svahové pochody – přemísťování materiálu za účelem dosažení rovnovážného stavu – vznik těles sedimentů, tvorba reliéfu (eroze, deformace). Svahové sedimenty – kamenité, písčité, hlinité svahové sedimenty. Zonalita svahových sedimentů – odraz klimatu i nadmořské výšky.



Základní prvky svahu podle; © Demek

XV.2. Klasifikace svahových pohybů

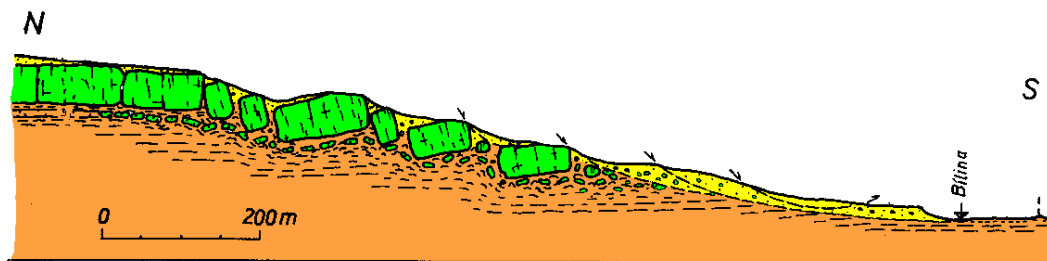
Dle rychlosti (hodnoty udávány v m či km za jednotku času)- a) pomalé/píživé, b) středně rychlé, c) rychlé/katastrofické (úlomkotoky, bahnotoky),

Dle mechanismu pohybu (reologie)- skluzy, proudy, říčení

Dle látek, které se po svahu pohybují – A) Svahové pohyby pokryvných útvarů /sutě, svahové hlíny (slézání suti/plíživý pohyb, soliflukce, plošné povrchové sesuvy, proudové sesuvy, suťové proudy/úlomkotoky (mury), suťové ledovce), B) Svahové pohyby nezpevněných/částečně zpevněných klastických sedimentů (tekoucí písky, lahary), C) Svahové pohyby nezpevněných/částečně zpevněných pelitických sedimentů (sesuvy podél válcových smykových ploch, svahové pohyby díky vytlačování měkkých plastických hmot v podloží, bahenní proudy), D) Svahové pohyby pevných skalních hornin (padání kamenů, říčení skal (obr. 3.), sesuvy po předurčených plochách /vrstevní plochy, pukliny/, kamenné

laviny, kerné sesuvy (obr. 2.), gravitační skluzy, E) Zvláštní případy (subakvatické skluzy, laviny).

Obr. 2.



Kerný sesuv; © Petránek-Synek

Obr. 3.



Řízení skal, Dolní Žleb (Památky a příroda, 10, 1982)

Slézání suti/plíživý pohyb – hákování vrstev, ploužení (creep), opilý les (obr. 4.)
Soliflukce – půdotok, pohyb po nepropustném podloží (zmrzlá půda - kongeliflukce)

Obr. 4.



Opilý les; © Szabó

Sesuvy - proces i těleso. Porucha pevnosti horniny, dlouhodobé namáhání, relativně rychlá deformace, novotvořená odlučná plocha – plocha smyku.

Klasifikace sesuvů dle tvaru tělesa – proudové vs. plošné sesuvy

Klasifikace dle tvaru smykové plochy – rotační vs. planární vs. složené (rotačně-planární) Sv

Tekoucí písky – přesycení vodou, zvýšený tlak

Padání kamenů, říčení skal – pohyb volným pádem vs. pohyb ve formě skalního proudu - osypové kužely, haldy

Subakvatické skluzy a laviny - další dělení dle mechanismu a rychlosti

XV.3. Stabilita svahu

Stabilita svahu – vnější a vnitřní činitelé snižující pevnost svahu

Vnitřní činitelé- vrstevnatost, puklinatost a její orientace vůči morfologii, úhel sklonu, mocnost pokryvných útvarů.

Vnější činitelé- zvýšení sklonu svahu, přetížení svahu (stavba, voda), odstranění boční či spodní části svahu, klimatické faktory (objemové změny, změna hladiny podzemní vody), změna sklonu svahu, vegetace, vibrace, poddolování, zhroucení půdní struktury, odstranění tmelu mezi zrnny, činnost organismů, činnost člověka - těžba dřeva/odlesňování (vegetace absorbuje srážky, kořeny zvětšují soudržnost/kohese, snížení výparu, zvýšení vsaku – přetížení svahu, rychlý pohyb vody povrchové i podpovrchové), zářezy cest pro těžkou dopravu, role sufoze.

Nárůst populace, změna charakteru sídlišť – osídlování rizikovějších lokalit - úpatí svahů (fosilní sesuvy), svahy

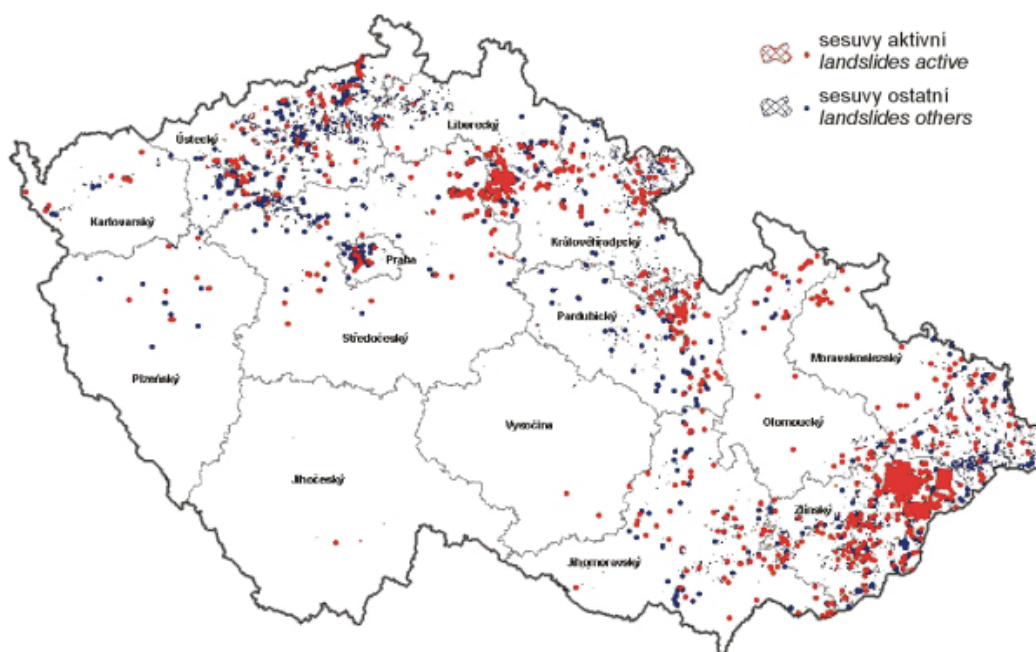
Monitoring svahů, územní plánování, identifikace potencionálních rizikových oblastí, mapování nestabilních území, stabilní sklon svahu, terasování, opěrné zdi a pilotování, fixace/kotvení svahu.

Svahové nestability na území ČR (obr. 5.)

Na území ČR jsou území, která se vyznačují vyšším počtem nestabilních svahů. Registr a monitoring svahových nestabilit zabezpečuje ČGS a na svém webu: <http://sesuvy.geology.cz/> nabízí pohled na aktuální situaci. Aktuální mapa viz webová stránka

Obr. 5.

Obr. B3.2.4 Sesuvy a jiné nebezpečné svahové deformace na území ČR k 1. 1. 2005
*Landslides and other dangerous slope deformations
 in the Czech Republic as of January 1, 2005*



Zdroj: Česká geologická služba – Geofond
 Source: Czech Geological Survey – Geofond

Faktory podmiňující stabilitu svahu (upraveno podle: SUMMERFIELD, M. A., 1991, 168).

| Faktor | Příklady |
|---|---|
| <i>Faktory zvyšující smykové napětí svahového materiálu</i> | |
| Zvýšení sklonu svahu | boční eroze vodního toku, stavební činnost |
| Odstranění laterální opory svahu | vodní eroze, procesy zvětrávání, stavební činnost |
| Zatížení svahu | akumulace zvětralin, nárůst vegetace, zvýšení obsahu vody, stavby budov |
| Laterální tlak | zamrzání vody v puklinách |
| Odstranění vegetace | požáry, odlesňování, stavební činnost |
| Otřesy | zemětřesení, těžká doprava |
| <i>Faktory snižující smykový odpor svahového materiálu</i> | |
| Nárůst objemu vody ve svahovině | saturation důsledkem srážkové činnosti |
| Procesy zvětrávání | rozpad horniny podloží |
| Změny struktury | vznik trhlin a puklin |
| Činnost organismů | tlení kořenových systémů |

XVI. Geologická činnost ledovců

XVI.1. Úvod, základní pojmy

Led – bod mrazu (složení vody, objemová změna, hexagonální soustava, tvrdost)

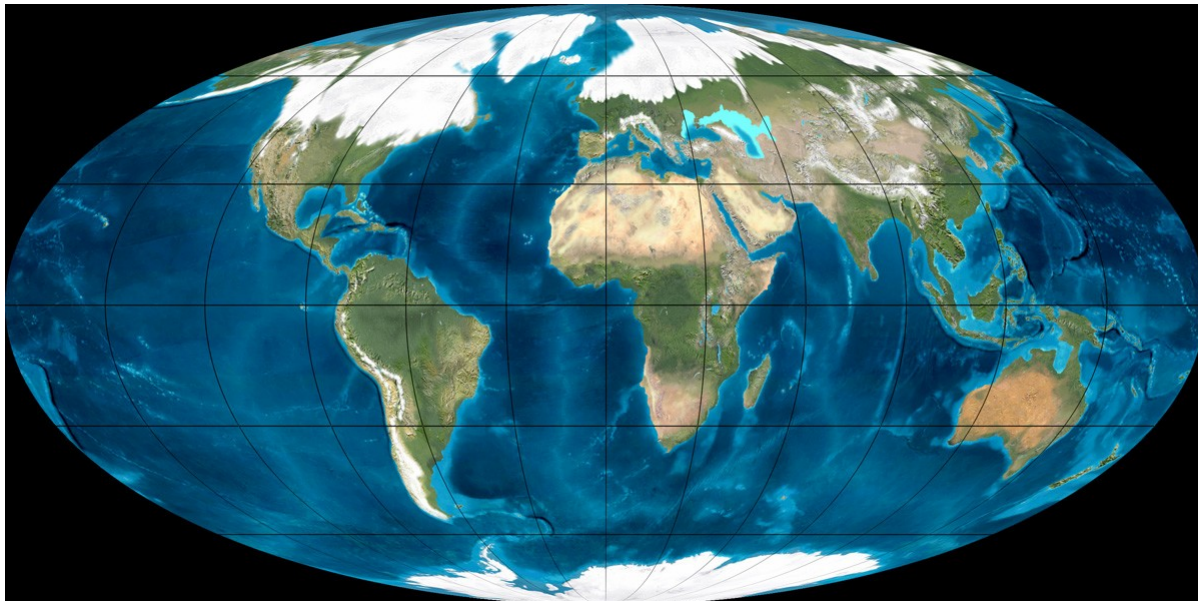
Regelace – tlakový tavný bod ledu, role vnějšího tlaku (tlakové rozpouštění, rekrystalizace) .

Translace – smyk podle bazální plochy ledu, pohyb

Výskyt ledu: současný stav (globální oteplování), geologická minulost (glaciály v rámci geologické minulosti, změny hladina vody v rámci světového oceán), viz. obr. 1

Výskyty ledu: mořský led, sladkovodní led, půdní led, jeskynní led, ledovce

Obr. 1.



Paleogeografická mapa, zachycující podobu Země v době posledního (viselského) glaciálu, před 20-18 tisíci lety. Severní Evropu, Severní Ameriku, severní Asii a Antarktidu pokrývaly kontinentální ledovce. Andy, Alpy, Himálaj byly zakryty horskými ledovci. Ledovce narušovaly hydrologický cyklus. Pevné srážky zůstávaly vázány v ledovcích, takže se nemohly vracet skrze řeky do oceánů. Důsledkem toho byl globální pokles mořské hladiny o max. 120 m. Podle R. Blakeyho (<http://www2.nau.edu/rcb7/Pleistomoll.jpg>).

XVI.2. Vznik ledovcového ledu

Překrystalování ze sněhu (sněžná čára – variabilní průběh, sněhová bilance – trvalá sněžná čára, tvary sněhové pokrývky /návěje, závěje, převěje, atd./, vrstevnatost sněhu – změna slohu sněhu).

Sněžná čára - úroveň nadmořské výšky, nad kterou převládá akumulace sněhu nad jeho táním - sníh je celoročně přítomen.

Tání a opětovné mrznutí – ledové krusty, povrchové odtávání – ablace (tavné jamky - kajícíci). Prostor nad trvalou sněžnou čarou – firnoviště. Zde postupně v čase změna v řadě čerstvý sníh – zrnitý sníh (firn)- firnový led – ledovcový led. V této řadě změna objemu, měrné hmotnosti, obsahu vzduchu, uzavřenin, barvy, tvrdosti (obr. 2).



Obr. 2. Přeměna sněhu ve firnový led. Ostrov Spitsberg. Foto: M. Hanáček

XVI.3. Pohyb ledovce

Gravitační nestabilita- pohyb ledovce.

Důležitost vody v kapalném skupenství pro pohyb ledovce a jeho geomorfologické působení - ledovec s chladnou bází vs. ledovec s teplou bází - tlakový tavný bod (voda na bázi ledovce, erozní činnost ledovce). Zdroje tepla – povrch ledovce, báze, vnitřní tření.

Pohyb nadložní masy ledu po podložní (role sklonu, mezivrstevní sklouzávání, role rychlosti – křehká a plastická deformace, vznik trhlin /podélné, příčné)

Po bázi – zvýšený ledovcový creep, pohyb po vrstvě vody

Rozdílná rychlost pohybu ledovce - střed vs. okraj, báze vs. povrch.

XVI.4. Hmotová bilance ledovce

Akumulační zóna vs. zóna splazu (hmotový deficit)

Ubývání hmoty ledovců – tání (ablace, ledovcové mlýny, ledovcová brána, ledovcové stoly), vypařování (sublimace), telení .

XVI.5. Klasifikace ledovců

Ledovce lze podle výskytu a tvaru rozdělit na:

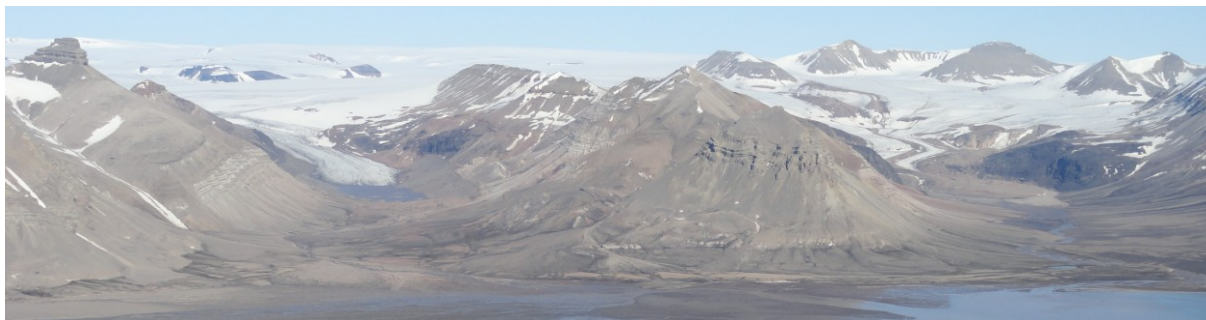
- 1) **Vysokohorské/údolní ledovce** - vysoká pohoří. Nad trvalou sněžnou čarou, neustálý pohyb. Firnová čára odděluje sběrnou pánev/firnoviště od ledovcového splazu. Jednoduchý vs. složený ledovec, čelo ledovce. (obr. 3)
- 2) **Úpatní/podhorské (piedmontní) ledovce** - Aljaška, údolní ledovce se rozprostírají na plochem přímoří a splývají v rozsáhlý málo pohyblivý ledovcový štít
- 3) **Kontinentální/pevninské ledovce** - ledovcové štíty, souvislá plochá klenba, bez respektu k tvaru podloží, sběrná pánev je celý povrch ledovce, pohyb od středů k okrajům. Grónsko, Antarktida, Island, Norsko (obr. 4).

Obr. 3.



Horský ledovec. Na obrázku vpravo vyživovací oblast, uprostřed vlastní ledovcový splaz, vlevo čelo ledovce. Ledovec Bertil (Bertilbreen), ostrov Spitsberg. Foto: M. Hanáček.

Obr. 4.



Menší formou kontinentálních ledovců je ledovcová čapka. Jedná se o mohutný rozsáhlý ledovec (do 50 000 km²), zakrývající mohutnou horu nebo celé pohoří. Od okrajů čapky stékají údolními dílčí ledovcové splazy. Na obrázku je v pozadí ledovcová čapka a v popředí dva ledovcové splazy. Ostrov Spitsberg. Foto: M. Hanáček.

XVI.6. Geologická činnost ledovců

Klimatické působení - periglaciální a proglaciální oblast

Geomorfologická a geologická činnost: ledovcová eroze, transport a sedimentace – Určité rozdíly mezi vysokohorskými a kontinentálními ledovci.

XVI.6.1. Ledovcová eroze

Přetváření podloží pohybem ledovce. Roli hraje: množství úlomků na bázi a okrajích ledovce, rychlost pohybu ledovce, mocnost ledovce, přítomnost vody na bázi, odolnost hornin v podloží ledovce, atd. Velmi nápadný reliéf.

3 typy erozní činnosti : 1) **brázdění/exarace**, 2) **odlamování/detrakce**, 3) **obrušování/deterze**. Vysokohorské ledovce obvykle všechny 3 typy, omezený plošný rozsah. Kontinentální ledovce – obvykle omezená exarace, rozsáhlá oblast jejich činnosti.

Brázdění- exarace

Ledovcové údolí / **ledovcový tróg**- tvar písmene U (přemodelování z písmene V), viz. obr. 5. Předem připravená / řízená eroze – preglaciální údolí. Přehloubení ledovcového trógu v podélném profilu (rozdílná pevnost podloží). Kar / kotel – cirk (obr. 5).

Hlavní údolí vs. údolí visutá.

Fjordy/lochy

Carlingy/ matterhorny a arety – role zpětné eroze

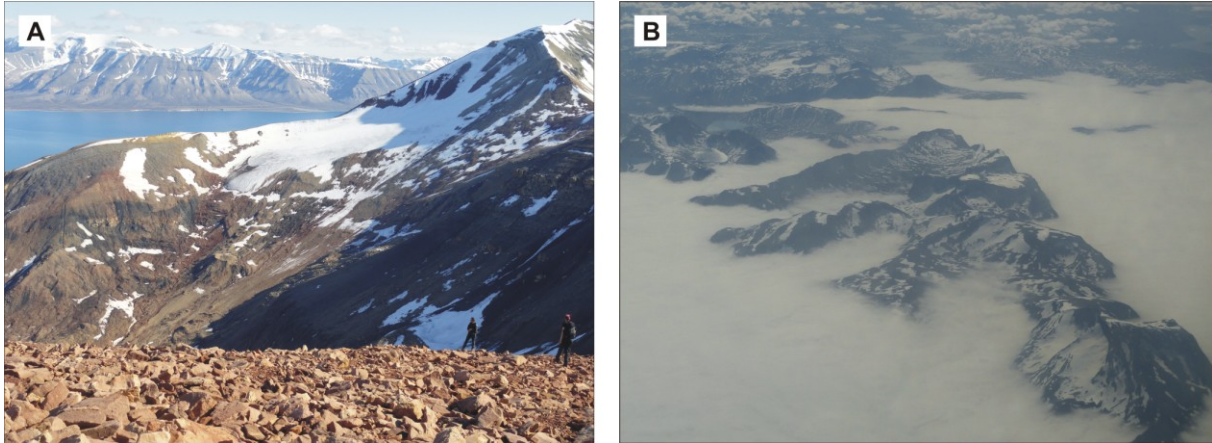
Odlamování a obrušování – detrakce a deterze

Obrušování podloží i samotných transportovaných klastů – ledovcové škrábance/rýhy, ohlazy (hladké plochy přirozeně vyleštěné třením klastu o jemný sediment (písek, prach), viz obr. 6, 7, 8, 10).

Oblíky – rozdílná odolnost, typický tvar i orientace (obr. 9, 10)

Ledovcové mlýny, ledovcové hrnce

Obr. 5.



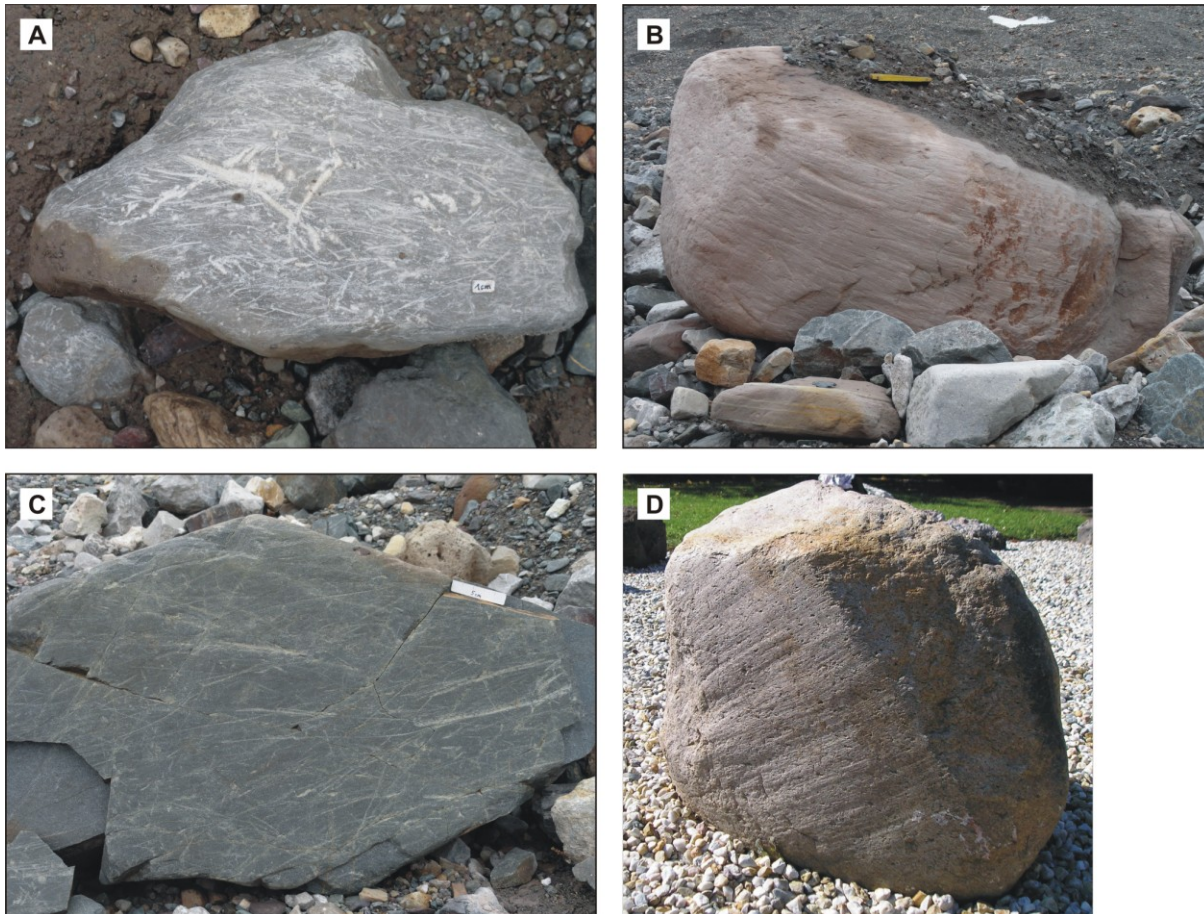
A. Kar. Okrouhlý (kotlovitý) uzávěr ledovcového údolí, místo vzniku ledovce. V současnosti se v karu nachází již jen malý zbytek původně většího ledovce, který celé údolí vyplňoval, ale v posledních nanejvýš 150 letech značně ustoupil. Ostrov Spitsberg. B. Trogy - široká neckovitá údolí s příčným profilem ve tvaru širokého U. Skandinávské pohoří. Foto: M. Hanáček.

Obr. 6.

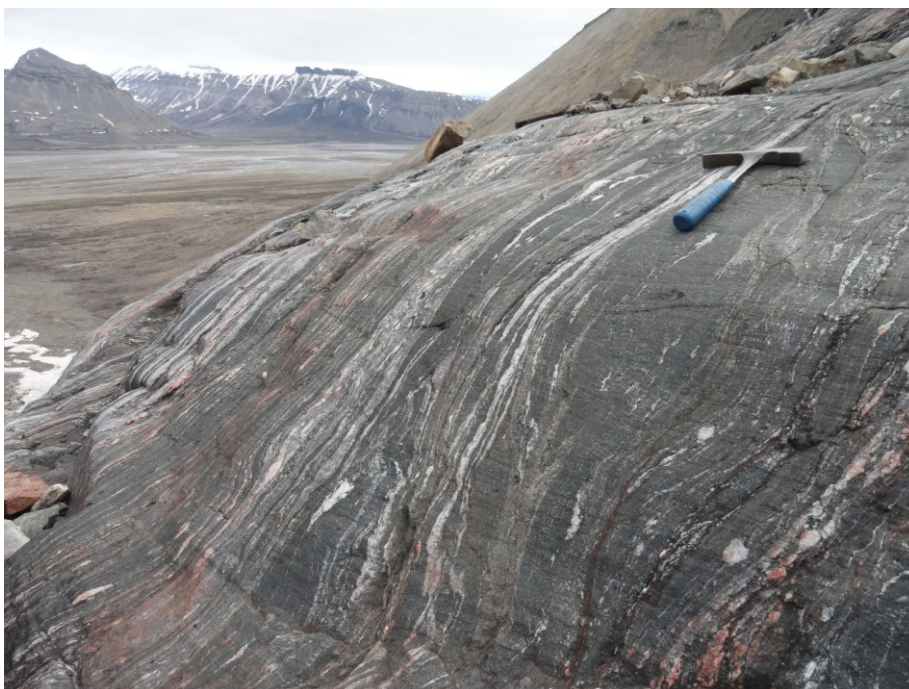


Čelo ledovce telčí se do mořského zálivu. V popředí už odledněné svorové podloží, obroušené deterzí a rýhované exarací, v pozadí kontakt ledovce s podložím. Ostrov Spitsberg. Foto: M. Hanáček.

Obr. 7.



Rýhované klasty. **A.** Klast vápence s rýhami. **B.** Klast pískovce se soustavou rovnoběžných rýh. **C.** Klast pískovce s různoběžnými rýhami. A-C: klasty transportované na bázi horského ledovce na ostrově Spitsberg. **D.** Bludný balvan granitu (délka 85 cm) s ohlazenem a rovnoběžnými rýhami. Byl transportován v pleistocénu kontinentálním ledovcem z jižního Švédska až na Opavsko (geologická expozice MSSZ a VOŠ Opava). Foto: M. Hanáček.



Obr. 8. Deterzí zaoblené a ohlazené a exarací nevýrazně rýhované

výchozy migmatitů. Ostrov Spitsberg. Foto: M. Hanáček
Obr. 9.



Oblík, obklopený ledovcem, který ho původně zcela překrýval. Vertikálním odtáváním ledovce se oblík odhalil. Směr postupu ledovce byl zleva doprava. Zřetelná je asymetrie oblíku proti směru pohybu ledovce orientovaná („návětrná“), protáhlá, mírně ukloněná strana a po směru pohybu orientovaná („závětrná“) strana, která je příkře ukloněná. Pozvolně ukloněná strana byla ovlivněna zejména deterzně, příkrá strana detrakčně (odlamování mrazově rozpukaných kusů horniny). Ostrov Spitsberg. Foto: M. Hanáček.

Obr. 10.



Projevy deterze a exarace: ledovcem ohlazený a zároveň rýhovaný oblík. Za ním zbytek bazální zóny ledovce, obsahující velké množství prachu a písku a větších klastů. Zbytek ledovce již odtál. V okolí tilly z původní báze ledovce. Ostrov Spitsberg. Foto: M. Hanáček.

XVI.6.2. Ledovcový transport

Vysoká transportační schopnost – velké bloky

Malá schopnost třídění – úlomky nejrůznějších tvarů a velikostí, chaotická stavba. Velmi nezralý materiál.

Transport na bázi, uvnitř ledovce a na povrchu ledovce – rozdílná rychlost, kombinace pohybů, migrace materiálu v tělese ledovce podle pohybu jednotlivých částí ledovce (pukliny v ledovci, viz obr. 13). Různé typy transportu ovlivňují výsledné tvary klastů.

Transport na bázi (obr. 11): klasty jsou aktivně pohybovány ledovcem. Přitom se vzájemně o sebe nebo o skalní podloží otírají. Výsledkem jsou lépe zaoblené tvary (subangulární a suboválné, viz kapitola VIII.3.6.2.) a rýhování klastů.

Transport uvnitř a na povrchu ledovce (obr. 12): Klasty jsou pasivně neseny buď zcela zamrzlé v ledu (transport uvnitř ledovce) nebo volně ležící na povrchu ledovce. Přitom nedochází k jejich vzájemným kontaktům, takže se klasty nezaoblují ani nerýhují.

Obr. 11



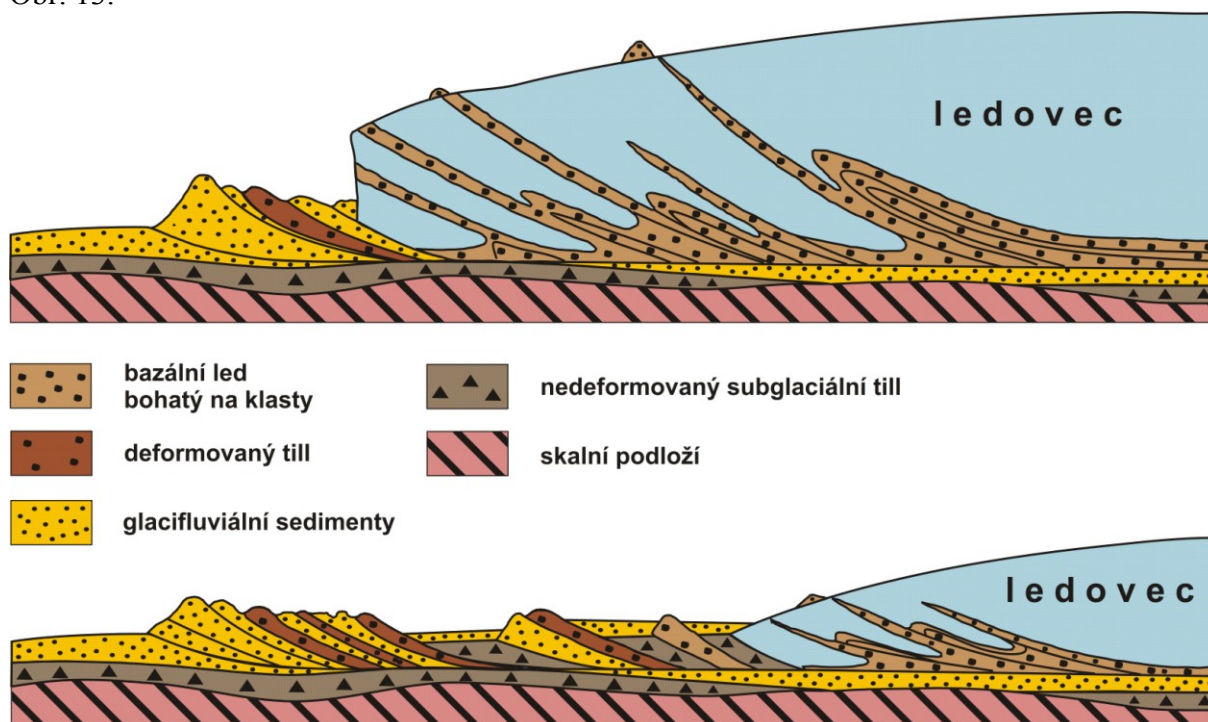
Bazální vrstva ledovce, kde led obsahuje množství prachu, písku a větších klastů a proto má hnědé („špinavé“) zbarvení. Ostrov Spitsberg. Fotot: M. Hanáček.

Obr. 12.



Transport klastů na povrchu ledovce. Klasty jsou jen pasivně unášeny a proto se nezaobhlují ani nerýhují. Ostrov Spitsberg. Fotot: M. Hanáček.

Obr. 13.



Migrace klastického materiálu v ledovci. V pohybujícím se ledovci vznikají systémy puklin, podél nichž se jednotlivé části ledovce přesouvají přes sebe. Přitom je materiál z báze ledovce (obr. 11) vyvlékán na povrch a čelo ledovce. Při následném odtávání ledovce vzniká před ledovcem čelní moréna, která po úplném ústupu ledovce zůstane v krajině jako výrazný val ústupové morény. Podle Hambreyho et al. (1997).

XVI.6.3. Ledovcové sedimenty

Nevytříděný (velikostně), většinou málo zaoblený, nezralý (minerálně) slabě zvětralý materiál. Pohyb velkých bloků na značné vzdálenosti – eratické/bludné balvany (především kontinentální ledovce), viz obr. 7 a 14.

Vazba ukládání sedimentů na pohyb ledovce - postupová a ústupová fáze zalednění.

Till (obr. 14) - nevytříděný sediment, složený ze směsi písku, siltu, šterku a velkých balvanů a bloků. (nezpevněná hornina). Zpevněný till se nazývá tillit. Tilly uložil přímo pohybující se ledovec, nebo vznikly i akumulací materiálu uvolněného z roztávajícího ledovcového ledu (existuje mnoho druhů tohoto sedimentu). Vždy je ale vznik tillů spjat s aktivitou ledovce. Využití při mapování rozsahu zalednění v kvartéru, ale i ve starších geologických obdobích - přítomnost tillu nebo tillitu v krajině dokazuje bezprostřední přítomnost ledovce v minulosti. Těleso tvořené tillem - **moréna**.

Obr. 14.



Till - nevytříděný sediment složený ze směsi písku, siltu, šterkových klastů a velkých balvanů. Měřítko u balvanu vlevo je dlouhé 80 cm. Ostrov Spitsberg. Fotot: M. Hanáček.

Klasifikace morén:

- A) Pohyblivé morény (nacházejí se v těle ledovce a spolu s ním se pohybují)
- B) Stacionární morény (nepohyblivé nebo vzniklé po odtátí ledovce) – materiál z nejrůznějších partií ledovce.

Pohyblivé morény lze podle pozice vůči ledovci dělit na:

- 1) svrchní/povrchovou morénu (materiál nesený na povrchu ledovce),
- 2) boční morénu (materiál po stranách ledovce, na kontaktu ledovce se skalními stěnami trógu, obr. 15, 16).
- 3) střední morénu (obr. 15)
 - 3a) pravou střední morénu - detrakce materiálu z výchozu zcela obklopeného ledovcem,
 - 3b) nepravou střední morénu - spojení dvou ledovcových splazů a jejich bočních morén
- 4) vnitřní morénu - materiál uvnitř ledovce.
- 5) bazální/spodní/základní morénu - má velký plošný rozsah, odpovídající původnímu rozsahu zalednění, ukládána pohybujícím se ledovcem na jeho bázi.

Obr. 15.



Okraj ledovce telícího se do mořského zálivu. Patrné rovnoběžné tmavé pásy střední morén, na pravém okraji ledovce pak boční moréna. Ostrov Spitsberg. Foto: M. Hanáček.

Stacionární morény lze dělit na:

- 1) **čelní/koncová/terminální moréna** - stagnace ledovce spojená s nahromaděním materiálu podél jeho čela.
- 2) **ústupová moréna** (obr. 16) - protáhlý, až stovky km dlouhý val vyznačující někdejší okraj ustoupivšího ledovce. Vždy během stagnací v ústupu ledovce dojde k vytvoření akumulací

morény na jeho okraji, poté ledovec ustoupí a zůstane jen morénový val. Při postupném ústupu se v terénu zachovávají soustředně uspořádané dlouhé valy ústupových morén (sev. Německo, sev. Polsko, Skandinávie - kvarterní glaciály a jednotlivá pevninská zalednění, alpská údolí -ústupové morény horského zalednění).

Podkovovitý tvar- hrazení jezer.

Obr. 16.



Ústupová moréna vyznačující maximální dosah horského ledovce. Původně se nahromadila na čele ledovce jako čelní moréna ve druhé polovině 19. st. Během následujících desetiletí ledovec ustoupil o 2 km (je částečně vidět dále v údolí). Ústupovou morénu erodují glacifluviální řeky tekoucí z ledovce. Po stranách údolí jsou boční morény. Ostrov Spitsberg. Foto: M. Hanáček.

Ledovcová brána - otvor na čele ledovce, kterým z těla ledovce vytéká orientovaný tok tavné vody do předpolí ledovce (obr. 17).

Bazální moréna - ploché těleso o značné rozloze a malé mocnosti (většinou jen několik m). Vznikala na bázi ledovce a odhalila se až po jeho ústupu.

Drumlin - kopečkovitý protáhlý tvar na plochem tělese bazální morény. Protážen ve směru postupu ledovce, „tvar obrácené lžičky“ - příkrá strana proti směru postupu ledovce, pozvolná strana ve směru postupu ledovce.

Esker (osar) - až mnoho km dlouhý, ale jen desítky až stovky m široký a jen desítky m vysoký val, který se komplikovaně klikatí. Je tvořen štěrky a písky. Jedná se o výplň podledovcového (subglaciálního) tunelu vyhloubeného tavnými vodami přímo do ledovce (podledovcové toky). Po roztátí ledovce se výplň projevuje jako konvexní tvar.

Kettles (kotle) – deprese v bazální moréně v místech, kde zůstal i po ústupu ledovce pohřbený led, překrytý a tím od tání chráněný sedimenty. Nakonec roztaje i tento pohřbený led a sedimenty jej pokrývající klesnou do vzniklé prohlubně (obr. 18)

Glacifluviální sedimenty – vodní toky z odtávajícího ledovce, ukládání sedimentů většinou v různé míře vytříděných (písčité štěrky, štěrkovité písky, štěrky, písky), prostředí terminoglaciacíálních kuželů, výplavových plošin (sandrů) – divočící řeky (obr. 19, 20).

Terminoglaciacíální kužel - vějířovité těleso těsně před čelem ledovce tvořené materiálem, transportovaným z ledovce jen na krátkou vzdálenost (nevytříděnost až špatná vytříděnost).

Výplavová plošina (sandr)- plochá oblast před čelem ledovce, kde v prostředí divočících řek (překládání, větvení a spojování koryt) dochází k lepšímu vytřídění z ledovce vyplaveného

materiálu. Glacifluviální sedimenty vznikají jednak za postupu ledovce (malé mocnosti sedimentů - slabé tání ledu), hlavně ale při ústupu (odtávání v ohromném měřítku, uložení až desítky m mocných akumulací).

Kamy – kuželovité výplavové kužele na čele ledovce, sedimenty ukládané přímo na tělese ledovce, např. v depresi mezi svažitými čely dvou spojujících se ledovců. Vznik v postupové fázi zalednění.

Praúolí – původně říční údolí, vyplněné v pleistocénu pevninským ledovcem, orientace vodních toků ve směru V-Z, značné mocnosti fluviálních a ledovcových sedimentů. Výskyt hlavně v Německu a Polsku (Odra).

Glacilakustrinní sedimenty

Jezera napájená vodou z roztávajícího ledovce (obr. 21). Role vzdálenosti ledovce a tělesa stojaté vody – varvy - střídání tenkých světlých vrstviček písku s tmavšími vrstvičkami prachu - vazba na sezonalitu podnebí, zpevněné varvy - varvity

Typický sled sedimentů zachycující postup, stagnaci a ústup ledovce: na bázi tenká poloha glacifluviálních sedimentů (omezené tání ledovce při postupu) - till bazální morény (přítomnost ledovce) - mocné glacifluviální sedimenty (mohutné odtávání ustupujícího ledovce).

Glacimarinní sedimenty

Ledovcové splazy proniknou až do šelfových moří (fjordy v Norsku, Antarktida, aj.) Vypadávání materiálu z ledovce na mořské dno.

Obr. 17.



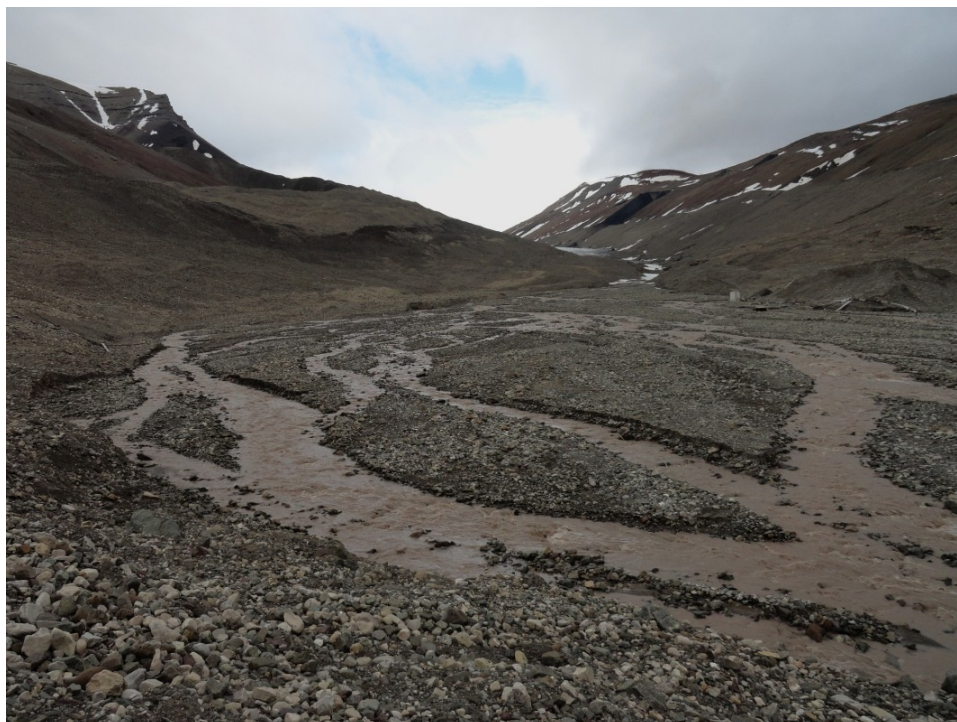
Ledovcová brána s vytékající glacifluviální řekou. Ostrov Spitsberg. Foto: M. Hanáček.

Obr. 18.



Kettles v bazální moréně. Ostrov Spitsberg. Foto: M. Hanáček.

Obr. 19.



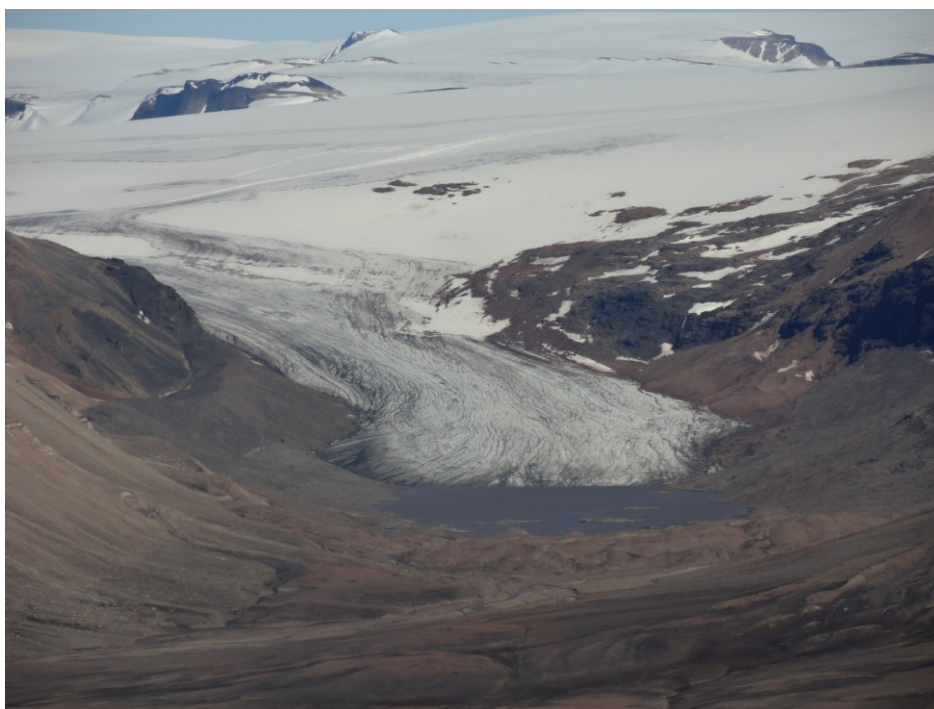
Divočí tok vytékající z ledovce. Blízko ledovcovému čelu (v proximální zóně) se ukládají hrubé šterky. Okraj ledovce je v pozadí, dále v údolí. Ostrov Spitsberg. Foto: M. Hanáček.

Obr. 20.



Štěrky výmlově se zahlubující do podložních písků (výplň říčního koryta).
Glacifluviální sedimenty kontinentálního zalednění. Pleistocén, Kolnovice na Jesenicku.
Foto: M. Hanáček.

Obr. 21.



Glacilakustrinní jezero mezi čelem ledovcového splazu a čelní morénou, která jezero
zahrazuje z vnější strany. Ostrov Spitsberg. Foto: M. Hanáček.

XVII. Geologická činnost mrazu / kryogenní činnost

XVII.1. Úvod, základní pojmy

Periglaciální oblast – ovlivnění tavnými vodami ledovce, glacifluviální sedimenty, sezónní režim, kryogenní jevy, permafrost (obr. 1).

Proglaciální oblast – klimatický vliv ledovce.

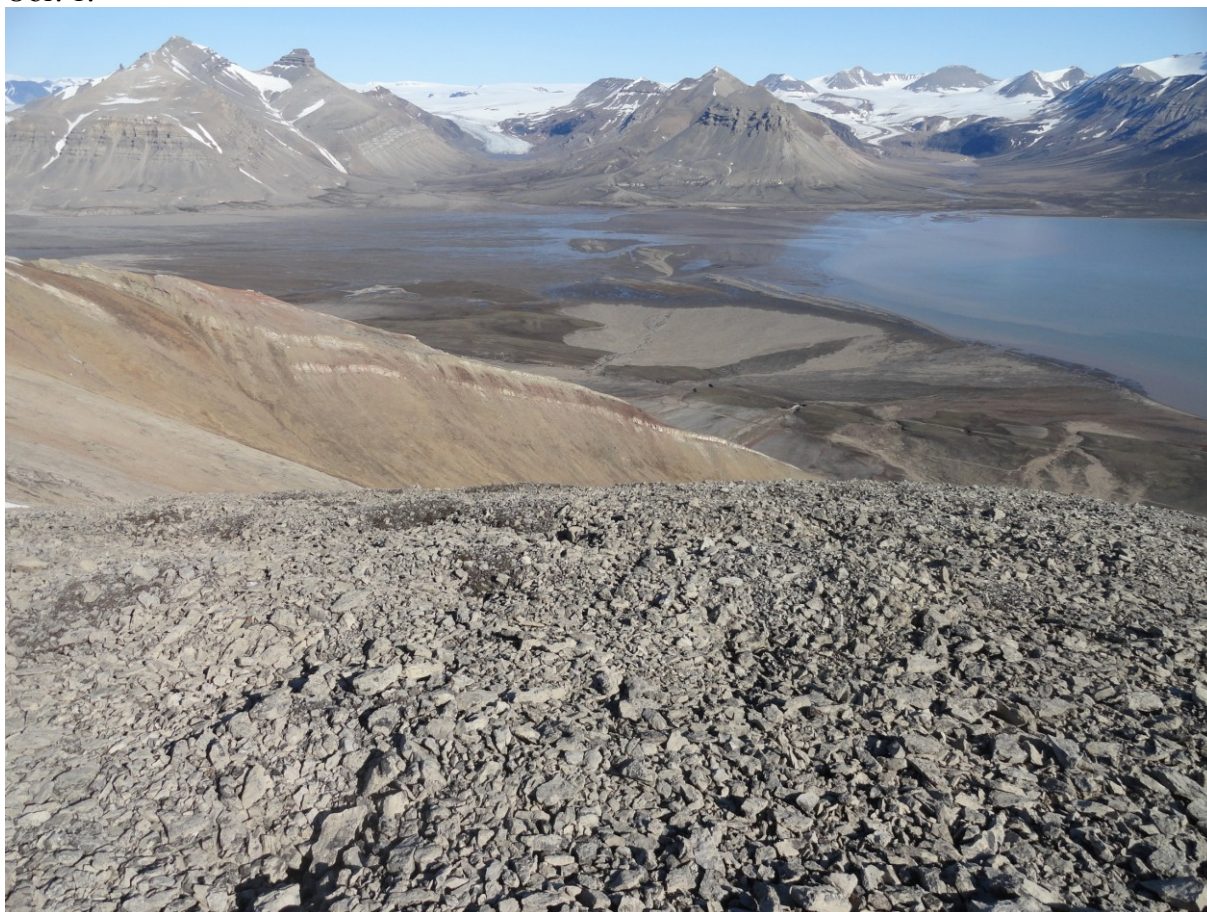
Geologická činnost mrazu – kryogenní jevy (migrace vody a materiálu, výměny tepla a hmoty).

Mrazová poušť, tundra, lesotundra. Chladné klima, výskyt permafrostu, krátké období s kladnými teplotami, občasný povrchový nadbytek vláh. Periglaciální zóna – průměrná roční teplota přízemní vrstvy vzduch je pod 3oC.

Recent – polární pustiny a tundry Arktidy, nezaledněné oázy Antarktidy – Vnitrozemské oblasti Sibiře a Kanady – vysoké zeměpisné šířky-vysoká pohoří. Geologická minulost - pleistocén

Termokrasové jevy (vznik a vývoj permafrostu, ledových klínů, ping), procesy v činné vrstvě (mrazové zvětrávání, vzdouvání, třídění – kryoturbace), svahové procesy (kongeliflukce), fluviální sezónní režim, geologická činnost větru.

Obr. 1.



Periglaciální krajina. V popředí mrazový rozpad výchozů na hrubý detrit, dole kolem zátoky divočící glacifluviální řeky vytékající z ledovců, vzadu ledovce. Ostrov Spitsberg. Foto: M. Hanáček.

XVII.2. Klasifikace kryogenních jevů

Dle role eroze a akumulace:

1) Odnosové tvary:

Skalní hradba - svislými stěnami omezený skalní výchoz značné rozlohy. Plošná rozloha skal převažuje nad jejich výškou. Tvoří vrcholovou elevaci a všemi svislými stěnami vyčnívá nad okolní terén.

Tor (izolovaná skála) - svislými stěnami omezený skalní výchoz na malé ploše. Výška skal převažuje nad jejich rozlohou. Tvoří vrcholovou elevaci a všemi svislými stěnami vyčnívá nad okolní terén.

Mrazový srub a kryoplanační lišta či terasa - skalní výchoz ve svahu (mrazový srub) vzniklý mraz. zvětráváním a na něj navazující mírně ukloněná až skoro rovná plošina překrytá sutí (kryoplanační terasa). Výskyt ve svazích, ne na vrcholech elevací

Vrcholová kryoplanační plošina - závěrečné stadium kryoplanačních procesů. Dílčí kryoplanační terasy vyvíjející se na jednotlivých svazích se spojí (z původního vrcholu elevace zůstávají už jen mrazové sruby a tory, které nakonec také zaniknou) - vznik souvislé vrcholové plošiny, která postupně nahradila původní reliéf.

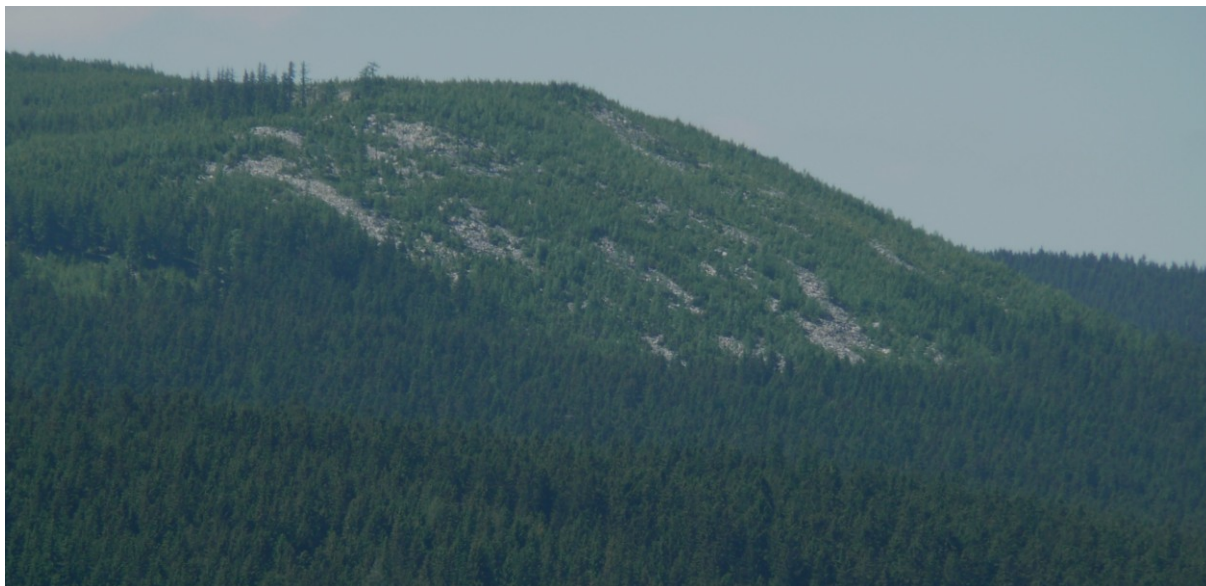
Nivační sníženiny - vznikají nad sněžnou čarou v depresích vyplněných sněhem. Stálá přítomnost sněhu způsobuje jednak zatížení, tak mrazové zvětrávání - prohlubování deprese, někdy iniciální fáze vzniku karů.

2) Akumulační tvary -

Balvanová (kamenná/sut'ová moře) - akumulace ostrohranných úlomků až bloků na svazích nebo plochých temenech elevací (horských hřbetů). Akumulace pokrývá min. 50 % svahu elevace. Vznik - mrazovým zvětráváním podmíněný rozpad výchozů, (obr. 2, 3).

Balvanové/kamenné proudy - akumulace úlomků až bloků, která se pohybuje osou terénní deprese (např. údolím) a vytváří tak ploché jazykovité těleso. Balvanové/kamenné proudy vznikají např. na okrajích balvanových/kamenných moří, kde plochý svah přechází do zahloubenějšího údolí.

Obr. 2.



Stará hora (1040 m) v Hrubém Jeseníku. Vrcholovou oblast a svahy pokrývají kamenná moře z mrazově rozpadlých výchozů kvarcitů. Kamenná moře vznikla v ČR během pleistocenních glaciálů, kdy zde byla periglaciální krajina. Foto: M. Hanáček.

Obr. 3.



Suchý vrch (941 m) v Hrubém Jeseníku. Kamenné moře na svazích. Foto: M. Hanáček.

Suťové pokryvy
Kongeliflukční proudy a pokryvy

Dle materiálu, kde procesy probíhají: A) Tvary v zeminách, B) Tvary v pevných horninách (přechody mezi zeminami a pevnými horninami), C) Tvary vzniklé za spolupůsobení dalších činitelů (vegetace).

XVII.2.1. Tvary v zeminách

Permafrost (dlouhodobě zmrzlá půda) – půda s teplotou po více než 2 roky trvale pod bodem mrazu. Výskyt podzemního ledu. Souvislý permafrost (celé území s výjimkou taliků pod jezery a řekami) vs. nesouvislý permafrost (plochy permafrostu oddělená územím bez něj)/ostrovní permafrost

Mocnost přes 1 km. Hranice permafrostu – svrchní hranice – činná vrstva, boční hranice, vnitřní hranice – talik.

Činnost vody a ledu v permafrostu vede ke vzniku a vývoji typických kryogenních jevů

Mrazové/ledové klíny (obr. 4) – vznikají mrazovým smršťováním půdy, přičemž v půdě vzniknou svislé pukliny. Pokud nejsou poté ničím vyplněny, nazývají se mrazové klíny, když je vyplní sníh, jenž se pak změní v led, nazývají se ledové klíny.

polygony mrazových klínů, mrazové hrnce, pseudomorfózy po ledových klínech.

Obr. 4.



Mrazový klín ve spraších, později vyplněný sedimentem. Pleistocén. Tvarožná u Brna.
Foto: D. Nývlt.

Agradace permafrostu – promrzání taliku – vznik pahorku s ledovým jádrem (pingo)
Degradace permafrostu – rozmrzání ledových klínů, boční degradace - vznik ostrých srubů (často břehy řek), degradace z povrchu (rozšiřování taliku – plochá mísovitá deprese – alas).
Procesy v rámci činné vrstvy – kryoturbace, kongeliflukce, kryotektonika. Zřetelně viditelné především v nestejnorodém materiálu. Charakteristicky v rámci kryoplanačních teras (pevný materiál).

XVII.2.2. Kryogenní tvary v pevných horninách

Kryoplanační terasy – plošina terasy a stupeň terasy (mrazový srub vs. mrazový sráz).

Vývoj kryoplanační terasy – vznik nivační deprese a nivačního valu, spojení depresí, postupující eroze mrazového srubu, vznik skalní hradby či izolované skály (tor), zarovnání/kryoplén.

Strukturní půdy – množství hrubých úlomků vs. množství jemných úlomků, sklon svahu.

Strukturní půdy vznikají kryogenními procesy. Rozlišují se dva typy:

Zvířené půdy - menší množství hrubších horninových úlomků je mrazovým vzdouváním vytlačeno k povrchu. Přitom dojde k províření původní půdní struktury.

Tříděné půdy (obr. 5–9) - v půdách s vysokým podílem hrubých úlomků. Ty jsou mrazově vytlačovány nahoru a zároveň do stran. V místech, odkud je hrubý detrit vytlačován, zůstávají jen jemné částice. Tímto procesem vznikají polygonální půdy, kde jsou kruhová centra s jemnými částicemi obklopena lemem hrubých úlomků.

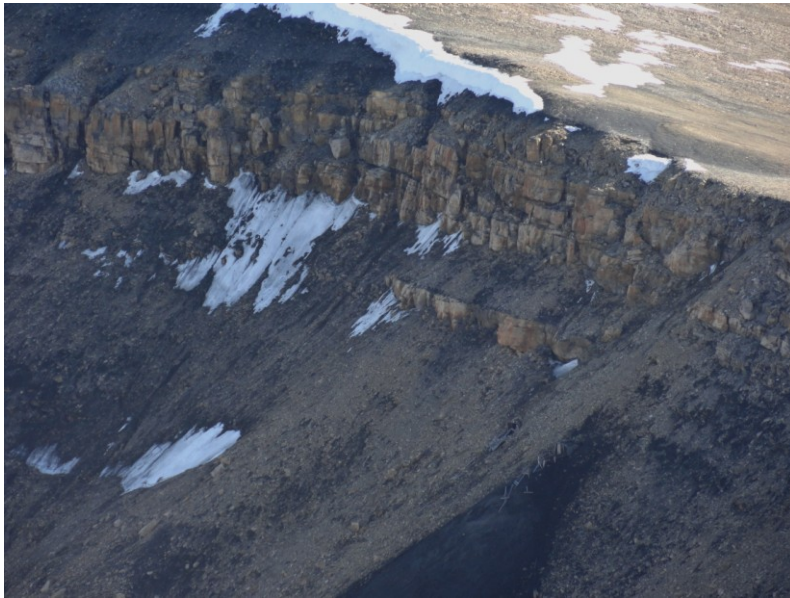
dlážděné půdy, brázděné půdy – kamenné pruhy.

Kamenné (skalní) ledovce – akumulace horninových úlomků až bloků s trvale přítomným ledem v prostorách mezi klasty. Pohyb gravitací.

Obr. 5.



Polygonální půdy tvořené soustavami polygonů různé hierarchie (malé polygony uvnitř velkých). Hrubší klasty tvoří pískovce, černou zeminu zvětralé a rozpadlé prachovce. Ostrov Spitsberg. Foto: M. Hanáček.



Obr. 6. Souvrství tvořené vrstvami hnědých pískovců a černošedých prachovců a čeného uhlí ve stěně karu. Na mírně ukloněném povrchu nad stěnou vznikají kryogenními procesy polygonální půdy.



Obr. 7. Mrazovým rozpadem hornin z obr. 6 vznikly hrubé klasty pískovců a jemná zemina tvořená rozpadlými pracovci a uhlím. Na mírně ukloněném svahu se utvořily kamenné polygony s jemnou zeminou uprostřed a vytlačenými hrubými pískovcovými klasty po obvodu.



Obr. 8. Polygonální půdy tvořené vedle sebe ležícími kamennými polygony. Na více ukloněném svahu se polygony protahují do kamenných pruhů. Stejná lokalita jako na obr. 6 a 7. Ostrov Spitsberg. Foto: M. Hanáček.

Obr. 9.



Tříděné půdy v podobě pruhů, vzniklých protažením původních kamenných polygonů důsledkem gravitace na ukloněném svahu. Ostrov Spitsberg. Foto: M. Hanáček.

TXVII.2.3. tvary vzniklé za spolupůsobení mrazu a dalších činitelů (vegetace, vítr)

Thufury (j. č. thufur) - půdní mikroformy pravidelného kopečkovitého tvaru, vysoké zpravidla několik dm (max. 1 m) a s průměrem do 2 m. Půdní kopečky jsou porostlé vegetací

- trávami a lišejníky. Velikost kopečků se mění zamrznáním nebo rozmrznáním půdního jádra thufuru. Thufury se vyskytují v dobře zavlhčených, rovných nebo jen mírně ukloněných terénech a vyskytují se často ve větším množství (thufurová pole, obr. 10).

půdní girlandy - mrazovým zvětráváním vzniklé, terasovitě uspořádané půdní stupně lemované obrubami travních drnů.

pals - půdní elevace, která může dosáhnout výšky i několika m, vzniká mrazovým zvětráváním za spoluúčasti rašeliny. Typický tvar v tundře a tajze Sibíře a S. Ameriky.

Obr. 10.



Thufurové pole v arktické tundře. Ostrov Spitsberg. Foto: M. Hanáček

XVIII. Geologická činnost větru

XVIII.1. Úvod

Procesy v rámci atmosféry. Pohyb částic vzduch – směr pohybu, rychlost pohybu.

Proudění v atmosféře – důvody: nestejněměrné zahřívání zemského povrchu slunečním zářením- tlakový gradient, nehomogenní rozdělení vodních par ve vzduchu – nestejněměrné rozložení souší a oceánů, role Coriolisovy síly, reliéf planety. Globální atmosférická cirkulace.

Absence erozní základny.

Síla větru - Beaufortova stupnice rychlosti větru.

Pohyb větru na překážce – vzdušné víry, návětrná a závětrná strana.

Geologická činnost větru – A) nepřímé působení – ovlivnění klimatu, transport srážek, vznik vln a mořských proudů, B) přímé působení – eolická činnost

Paleogeografický a paleoklimatologický význam eolických sedimentů (desková tektonika-superkontinenty)

Vítr často spolupůsobí, méně často se uplatňuje jako hlavní geologický činitel

Příznivé podmínky uplatnění: 1) síla větru, 2) váha, velikost a tvar částic, 3) poloha částic na povrchu terénu, 4) Sypké/suché/netmelené částice – hladina podzemní vody, 5) Vliv vegetace, organismů a člověka, 6) reliéf a charakter proudění.

XVIII.2. Větrná eroze – rušivá činnost větru

Větrná eroze má dvě složky: A) deflace (odnos), B) korase (fyzikální eroze/obrušování)

Deflace – aridní a semiaridní klima, vystavení skalních výchozů prakticky bez zvětralin.

Větrné víry – dálkový transport materiálu (prachové a písečné bouře). Pouštní dlažba, jardangy, svědecké (tabulové hory) – spolupůsobení větru.

Korase – závislost na síle větru- množství transportovaných částic (spojení s deflací).

Větrný ohlaz – facetované klasty/hrance/glyptolity/ventifactory

Selektivní působení – žlábkované kameny, voštiny / aerosty, viklany, skalní hříby/skalní pokličky, skalní okna, skalní brány.

Pouštní lak

XVIII.3. Transportační činnost

Transport valením-saltací-ve vznosu. Rozdílná délka transportu – vazba na velikost částic.

Rozdílné opracování – výrazná minerální zralost. Separace různě velikých částic.

Problematika vytřídění eolických sedimentů

XVIII.4. Tvořivá činnost – eolické sedimenty

Klasifikace dle zrnitosti: 1) hrubé, 2) písčité, 3) prachovité eolické sedimenty

XVIII.4.1. Hrubé eolické sedimenty

Dominantní část pouští, pasivní nebo jen krátce transportované sedimenty.

Hrance (obr. 1) - horninové úlomky opracované eolickou korazí. Dlouhodobě vanoucí vítr unášenými částčkami písku vytvořil na povrchu úlomků hladké plochy oddělené ostrými hranami. Výskyt na pouštích a periglaciální zóně.

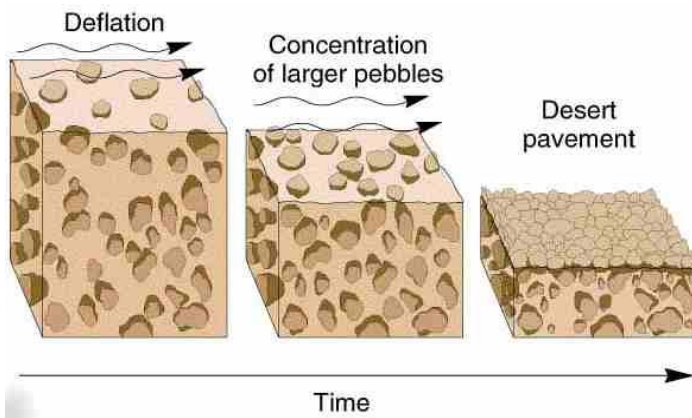
Pouštní dlažba (obr. 2)- hrubě klastické (štěrkovité, blokové) reziduum na plochem povrchu.

Vznik vyvátím jemných částic z prostor mezi většími klasty.

Kamenná poušť – hamada (obr. 3)



Obr. 1
Hranec vzniklý v periglaciálních podmínkách během pleistocenních glaciálů. Velká Kraš na Jesenicku. Foto: M. Hanáček



Obr. 2. Mechanismus vzniku pouštní dlažby: původní sediment byl bohatý na jemnou frakci i hrubé klasty. Jemná frakce byla eolicky erodována a transportována pryč. Mocnost vrstvy sedimentu se zmenšovala a na povrchu se hromadily hrubé klasty, které nemohly být eolicky transportovány.

Zdroj: <http://www.sci.uidaho.edu/scripter/geog100/lect/12-wind-deserts/12-wind-deserts.htm>



Obr. 3. Hamada.

Zdroj: http://de.wikipedia.org/w/index.php?title=Datei:260_Boa_Vista.jpg&filetimestamp=20071021130248

Pouštní lak - tenký tmavý povlak na povrchu klastů v pouštních i periglaciálních oblastech. Povlak tvořen hlavně oxidy železa nebo oxidy manganu. Vznik vzlínáním vody na povrch klastů a vysrážením minerálů po jejím odpaření.

Solný květ -

XVIII.4.2. Písčité eolické sedimenty

Asi 20-25% současných pouští (obr. 4)

Relativně dobře vyříděné

Charakteristické sedimentární struktury – typické šikmé zvrstvení, typický sklon lamin (obr. 5), dobré vyřídění, dominance křemenných zrn, pouštní lak.

Klasifikace těles eolických písčitých sedimentů dle tvaru a velikosti

Pokryvy vátých písků vs. akumulace vátých písků

Obr. 4.



Písčité eolické sedimenty (duny na písčité poušti).

Zdroj: <http://www.touropia.com/amazing-desert-landscapes/>

Akumulace lze dělit dle rozsahu na písčité moře, duny a čeriny

Duny lze klasifikovat na: A) připoutané duny – písčité návěje, závěje, přívěje, větrné brázdy.

B) Stěhovavé duny – které se dělí na vnitrozemské a pobřežní duny

Tvar, velikost a orientace stěhovavých dun závisí na množství písku, síle větru, stabilitě směru větru, dále na velikosti zrn, atd.

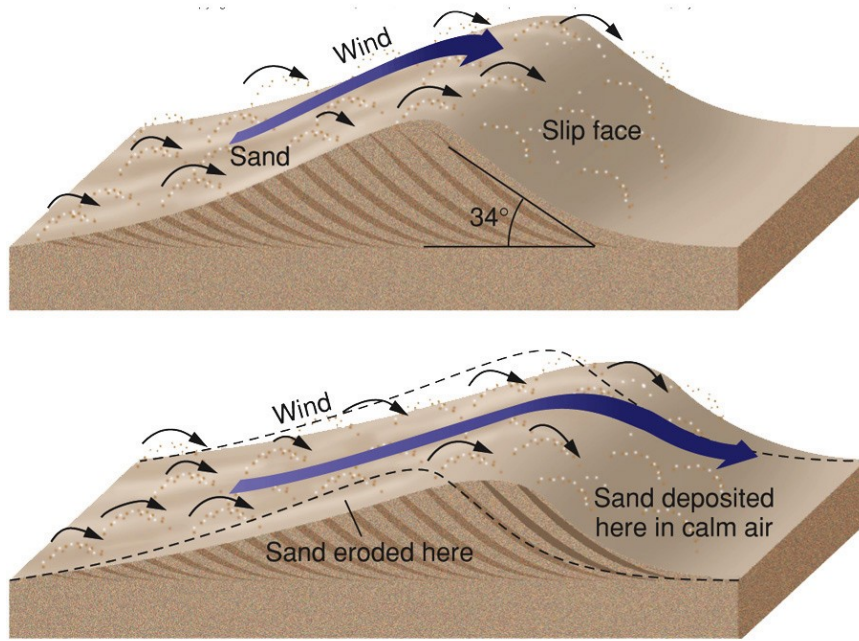
Dle tvaru lze odlišit několik typů dun: a) barchan (srpovitá duna) – návětrná vs. závětrná strana, vnitřní stavba barchanu, b) příčné duny, c) podélné (lineární) duny, d) duny tvaru U/parabolické duny, c) hvězdicovité duny

Klasifikace dun, viz obr. 6, 7.

Rychlost pohybu dun

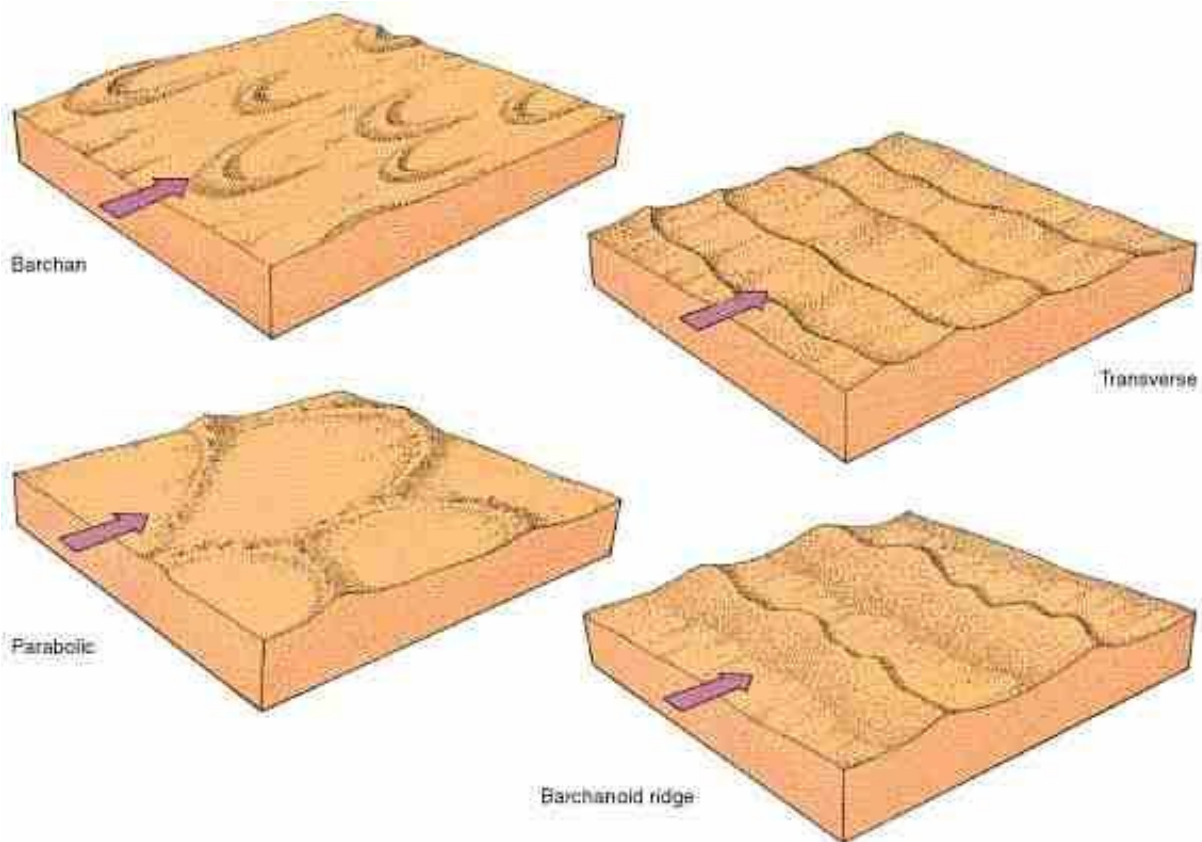
Středoevropské váté písky

Obr. 5.



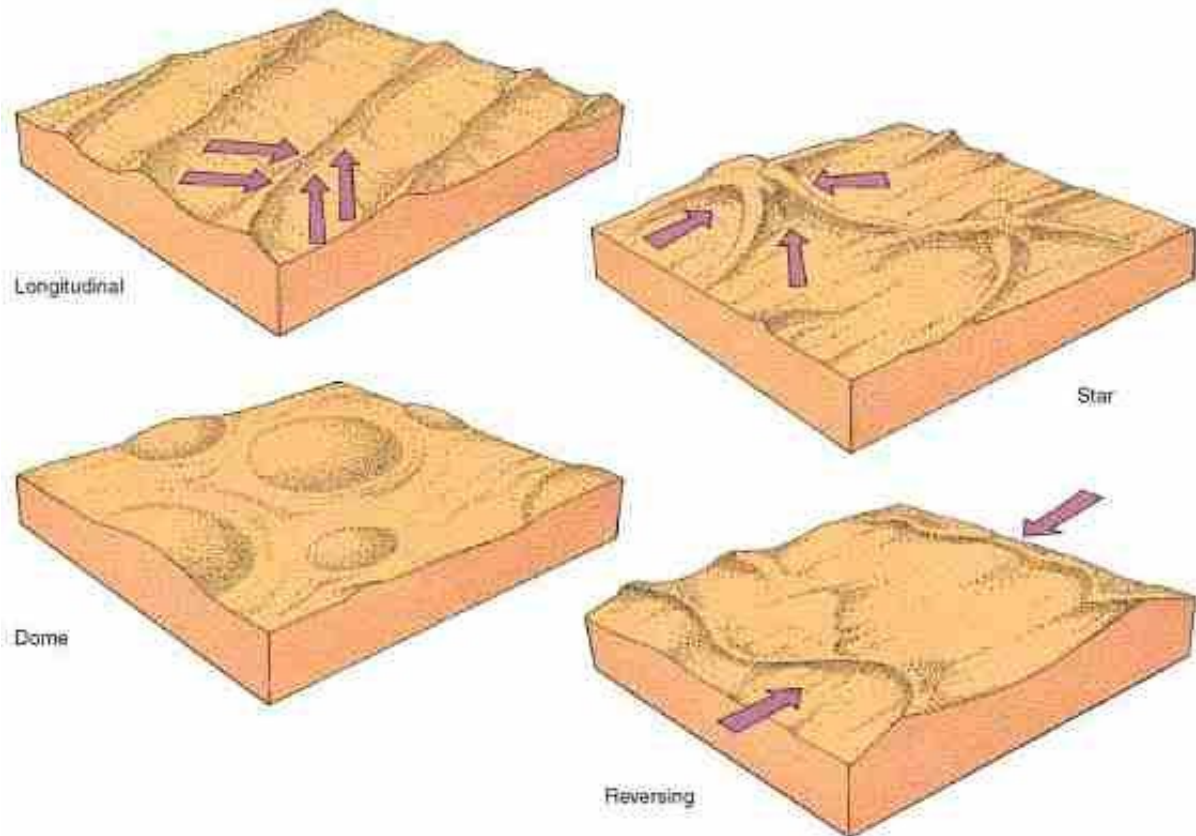
Příčný průřez eolickou dunou se znázorněním vzniku šikmého zvrstvení.
Zdroj: <http://www.indiana.edu/~geol116/Week11/wk11.htm>

Obr. 6.



Typy eolických dun.

Obr. 7.



Typy eolických dun.

XVIII.4.3. Prachovité eolické sedimenty

Jednoduché tvary, zvýšené akumulace na návětrných a závětrných stranách svahu.

„Všudypřítomnost“

Proces „zesprašování“ (typ zvětrávání) – vznik spraše

Spraš -homogenní, nezvrstvený sediment složený dominantně z prachové frakce. Obsahuje CaCO_3 , které ve spraši vytváří specifické útvary - cicváry, pseudomycélie (karbonátové „výkvěty“), rhyzolity (výplně po kořincích rostlin). Spraše vznikly dlouhodobou eolickou činností v semiaridních podmínkách glaciálů. Zdroje prachu - akumulace nezpevněného materiálu (fluviální, ledovcové, vulkanické sedimenty) – vazba na klimatické změny (glaciály).

Klimatická zonalita spraší –**sprašové hlíny** (narozdíl od typických spraší neobsahují CaCO_3), viz. obr. 8.

Obr. 8.



Sprašové hlíny naváté během viselského glaciálu do deprese ve starších ledovcových sedimentech. Pleistocén. Kolnovice na Jesenicku. Foto: M. Hanáček.

XVIII.5. Klasifikace pouští

Klasifikace pouští – klimatologická (množství srážek za jednotku času) – aridita – pouště, polopouště.

Geologická klasifikace – dle typu horniny/sedimentu na povrchu (skalnatá/hamada, oblázková/serir, písčaná/erg-areg, hlinitá, jílovitá a solná poušť).

Pohyb hladiny podzemní vody, mineralizace vod, výpar – vznik krust (kalcikrusta/caliche)

Občasné srážky- bezodtoká jezera (playa)- „evaporitová pumpa“ - vznik krust, deflace.

XIX. Geologická činnost vody

Hydrosféra – voda atmosférická, povrchových toků, jezer, moří a oceánů, voda podpovrchová, tělesa ledovců.

Océanografie, limnologie, hydrogeologie, hydrologie

Významná role při zvětrávání hornin, spojení se vznikem a vývojem biologického života.

Cyklus vody/hydrologický cyklus

Vazba mezi srážkami, odtokem, vsakem a výparem, tzv. LaMetheriovo „1/3“ pravidlo.

Poměr mezi odtokem, vsakem a výparem závisí na: 1) Klimatu – určuje vstup (množství, charakter srážek, rychlost, podmínky za kterých dochází k dalším procesům), dále silně ovlivňuje zvětrávání viz. dále., 2) Reliéf oblasti (sklon, nerovnosti povrchu.

srážkový stín), 3) Vegetace (regulace všech tří procesů, významná vazba vody, role odlesnění, změny travního porostu, evapotranspirace). 4) Geologická stavba oblasti

Role geologické stavby (obr. 1.)

Schopnost hornin přijímat a propouštět vodu – stavba horniny, tektonika („volné prostory“), role barvy hornin

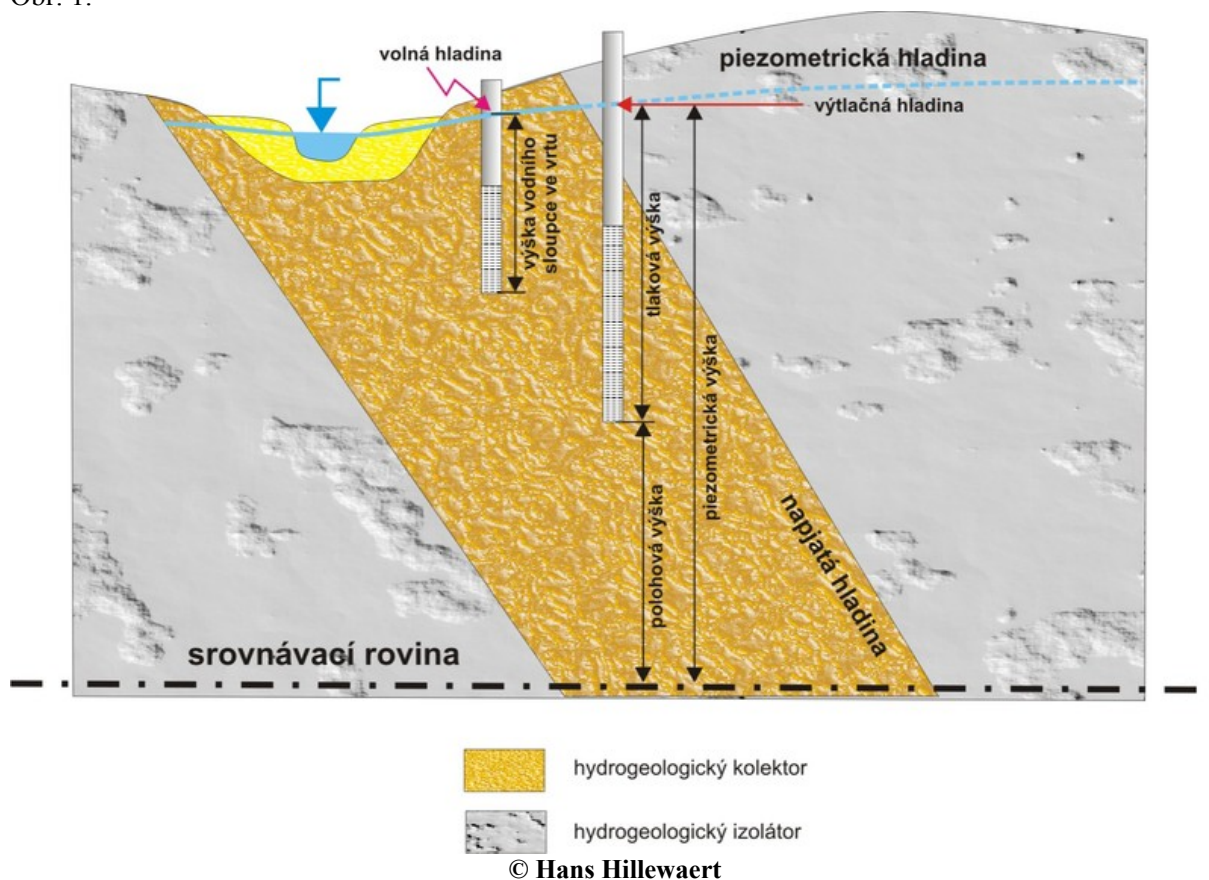
Horniny nepropustné - **IZOLÁTORY**

Horniny propustné/permeabilní - **KOLEKTORY**

Druhy propustnosti – průlinová/pórová, puklinová, dutinová

Charakteristická morfologie oblasti různě propustných hornin

Obr. 1.



XIX.1. Podzemní voda – geologická činnost

Vadózní vs. juvenilní voda

Činnost rušivá, transportační a tvořivá

XIX.1.1. Vadózní voda

Role vsakování/infiltrace vs. vzezování/impregnace

Kolektory vs. zvodně

Pásma pod zemským povrchem dle míry zvodnění: A) Pásmo intermitentní saturace/provzdušnělé pásmo – půdní voda, role kapilarity – podepřená a zavěšená kapilární voda. 2) Zvodněné pásmo/pásmo nasycení-saturace. Hranicí je hladina podzemní vody.

Pohyblivá/gravitační vs. statická voda – proud podzemní vody – gravitační zákonitosti.

Rychlost proudění (obvykle v řádu cm/den až m/rok) je ovlivněna – propustností/permeabilitou a hydraulickým gradientem.

Kolísání/režim hladiny spodní vody – závisí na: množství srážek, vlhkost, teplota, tlak, rostlinstvo, sklon podloží, změna vlastností kolektoru, vývoj reliéfu, přítomnost povrchového toku.

Režim spodní vody/rozkyv hladiny – permanentní hladina

Volná hladina (freatická-studniční voda) vs. napjatá hladina (zvodeň mezi dvěma nepropustnými vrstvami, role hydrostatického tlaku či tlaku plynů).

Hladinoměry- hydroizohypsy.

Čerpání spodní vody – depresní křivka/depresní kužel – akční rádius

Napjatá/artéská hladina spodní vody (obr. 2.) – vyrovnání tlaku (piezometrické nivó – pozitivní a negativní).

Obr. 2.

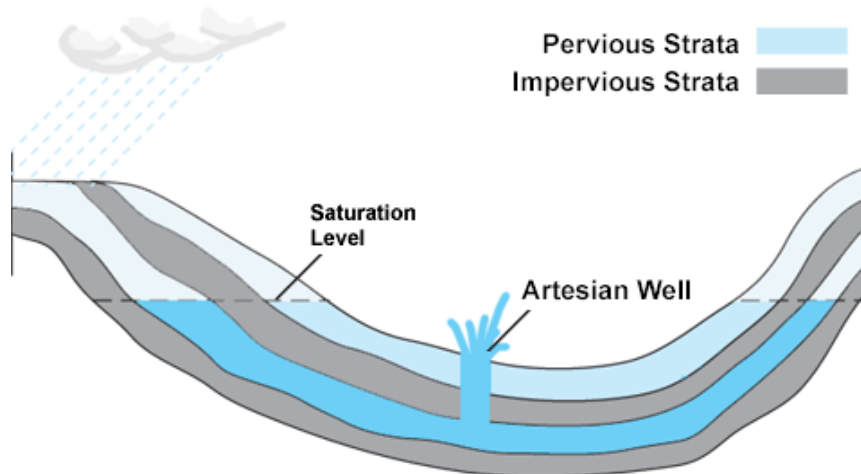


Schéma artéské vody (Impervious strata=nepropustná vrstva, Pervious strata=propustná, Saturation level=hladina podzemní vody); © Andrew Dunn

XIX.1.2. Klasifikace podzemních vod

Klasifikace podzemních vod dle geneze: skalní vlhkost, spodní voda, puklinová voda, náplavová/poříční voda.

Spodní a puklinová voda - rozdílná rychlost vsaku a pohybu – rozdílná filtrace a mineralizace
Náplavová (poříční) voda - vsakování a vzezování, hojné míšení vody poříční a spodní, vyrovnání hladiny, vazba směru pohybu vody vodního toku a vody podpovrchové.

Umělé vzezování – čerpaní podzemní vody

Rušivá činnost podzemní vody (eroze/sufoze), rozpouštění a vyluhování, přeměna a rozklad minerálů

XIX.1.3. Prameny (obr. 3)

Pramen – místo přirozeného výstupu podzemní vody na povrch (obvykle kontakt propustné a nepropustné horniny).

Dělení dle pohybu vody vůči hladině podzemní vody: sestupné vs. výstupné prameny

XIX.1.3.1. Sestupné prameny

„ukloněný proud podzemní vody“

Údolní (roklinové) prameny – vodorovné uložení zvodně

Vrstevní prameny – ukloněné zvodně

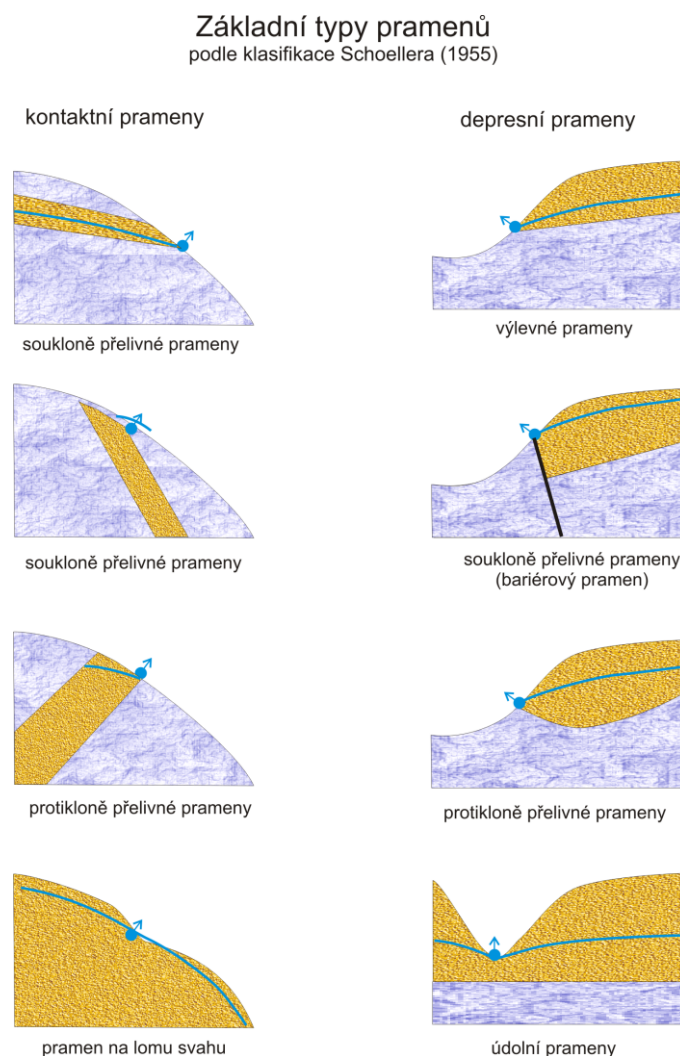
XIX.1.3.2. Výstupné prameny

Zlomové/dislokační prameny

Prameny přelivové/periodické/ občasné prameny – hojné např. v rámci krasu

Pozice pramenů vůči geologickým strukturám a geomorfologickým tvarům - pramenné linie/řady, suťové prameny

Obr. 3.



XIX.1.4. Vlastnosti podzemní vody

Mineralizace vody - měkké a tvrdé vody

Tvrdost vody (typy – všeobecná/celková, uhličitanová/přechodná a trvalá), stupně tvrdosti vody, hladová voda.

Minerální vody/minerálky (studené/akratopegy – teplice /termy-horké/ hypertermální-akratotermy)

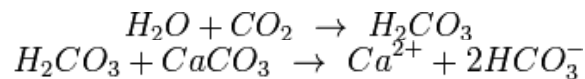
Klasifikace minerálních vod (slané-glauberovy-alkalické-zemité-hořké...). léčivé vody

Ochranná pásma vody

XIX.2. Krasové jevy

XIX.2.1. Úvod

Termín kras - geologická činnost vody (povrchové a především podzemní) v krasových horninách (karbonáty, evapority) tj. horniny snadno rozpustné. Procesy rozpouštění a opětovné vysrážení minerálů a hornin (korose).



XIX.2.2. Povrchové/vnější krasové jevy (obr. 9.)

Škrapy (obr. 4.) - shodně orientované rýhy a žlábký na povrchu karbonátových výchozů nebo na stěnách jeskyň. Vznikly především korazním působením stékající vody. Velké plochy (stěny) skal a jeskyní pokryté škrapy se nazývají **škrapová pole**.

Obr. 4.



Škrapy, Slovinsko; © Goldbach

Geologické varhany - svisle orientované trubicovité dutiny a prohlubně, situované v místech kolmých puklin ve vápenci. Puklinami proudila voda - vznik dutin. Podoba s píšťalami varhan.

Závrt (obr. 5.) - deprese v karbonátových horninách nebo sulfátech (sádrovci) kruhového, oválného, vzácněji i nepravidelného půdorysu a miskovitého, nálevkovitého až válcovitého tvaru. Průměr od několika m do několika km., hloubka od 1 m do více než 100 m. Stěny závrtu středně ukloněné až příkré. Vznik - průnik povrchové vody karbonátovým tělesem - rozpouštění vápence a vznik prohlubně, dále zřícením jeskynního stropu.

Obr. 5.



Závrt, Moravský kras; © Goldbach

Uvala - velká, podlouhlá a zároveň mělká deprese, na jejímž dně se mohou vytvářet další závrt, ve kterých mohou vzniknout jezera nebo močály. Výskyt na rozlehlějších krasových plošinách. Vznik - povrchová voda rozrušuje karbonátový komplex přednostně v místě větších puklin a zlomů. Do vzniklé mělké mísovité deprese jsou pak z okolí spláchnuty různé další uloženiny.

Polje (obr. 6.) (korozivní, pánevní, příkopová) - velké deprese na krasovém povrchu s plochým dnem a výraznými okrajovými srázy. Rozloha depresí může dosáhnout až stovek km². Jejich dno bývá zanášeno sedimenty, dochází k vývoji půd, některé deprese vyplňují jezera.

Obr. 6.



Polje, Picos de Europa, Španělsko; © Goldbach

Hum - izolovaný kuželovitý pahorek vystupující nad úroveň povrchu okolního krasového území.

Mogot (obr. 7.) - vysoká věž nebo kužel karbonátové horniny se svislými stěnami a oblým vrcholem. Nápadně ostře vystupuje nad okolní plochou krajinu, může být prostoupena jeskynními systémy v několika výškových úrovních. Výška věží až přes 100 m. Mohou se

vyskytovat v celých řadách. Vznikly selektivním krasověním karbonátových plošin v tropickém až subtropickém klimatu.

Obr. 7.



Mogot, Čína; © Mann

Krasový kaňon (krasové údolí) - údolí vytvořená erozní i korazní činností toků protékajících krasem na povrchu i v podzemí.

Ponor - otvor, kterým povrchová voda vniká do podzemí. Většinou je zakryt klastickými sedimenty, do kterých se voda vsakuje.

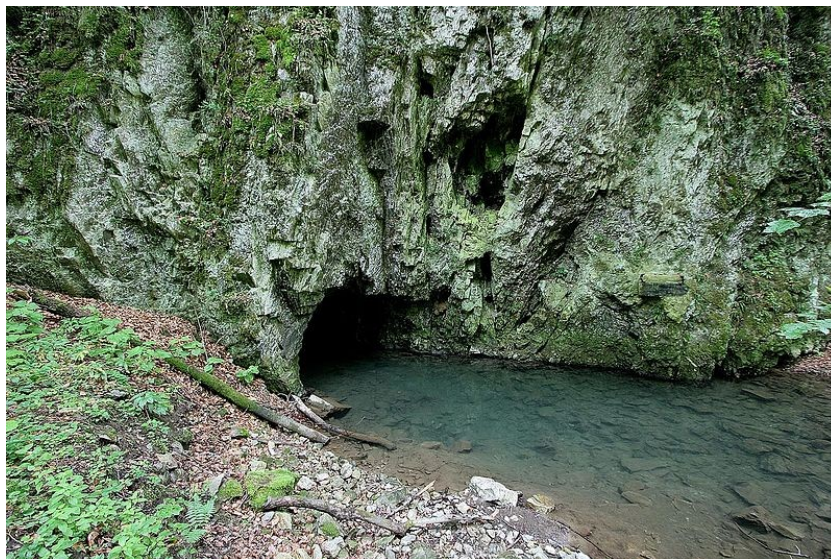
Propadání - větší otevřený otvor, kterým do krasového podzemí vtéká nebo ve formě vodopádu padá celý vodní tok.

Slepé údolí - krasové údolí ukončené skalní stěnou (např. uzávěr údolí, kde se spojují protilehlé svahy). V místě ukončení se vyskytují zakryté ponory nebo i propadání.

Poloslepé údolí - údolí přerušené skalní stěnou, nad kterou ale údolí dál pokračuje, avšak ve vyšší úrovni.

Vyvěračky (izvory) (obr. 8.) - místa, kde vytéká vodní tok z podzemního jeskynního systému.

Obr. 8.



Krasová vyvěračka, Moravský kras; © Goldbach

Estavely - otvor vyskytující se často na dnech závrťů, kterým za vysokého stavu hladiny podzemní vody v jeskynním systému toky z krasu vytékají na povrch (v těchto obdobích estavela funguje jako vyvěračka) a v obdobích nízkého stavu podzemní vody toky do krasového podzemí vtékají (v těchto obdobích funguje estavela jako ponor).

Propast - prohlubeň se svislými skalními stěnami, často velmi hluboká. Dno propasti bývá spojeno s horizontálními jeskynními systémy. Vznikají různými způsoby a to i v nekrasových oblastech. Příklad:

Říčené propasti (typ „light hole“ - osvětlená díra) - zřícení stropu jeskynního dómu nebo jeskynních stěn. Jsou široce otevřené směrem nahoru a až k jejich dnu proniká denní světlo. Příklad: Macocha.

Tektonické propasti - mají nepravidelný tvar a průběh. Geneticky jsou spjaté s tektonickými poruchami v karbonátových souvrstvích.

Korázní propasti - prohlubeň vymodelována korázi karbonátových hornin (krasověním).
Vznik nekrasových propastí:

Erozní propasti - v nerospustných horninách. Predispozicí těchto propastí jsou gravitačně, mrazově či tektonicky vzniklé diskontinuity v horninovém tělese, které pak byly modelovány infiltračními vodami.

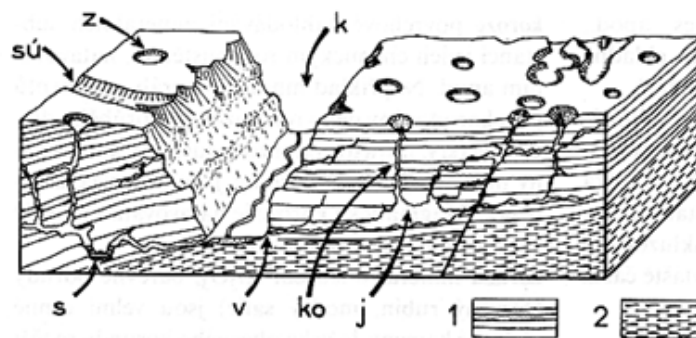
Pseudokrasové propasti - mnohdy velmi hluboké, se svislými stěnami. Vznik ve vazbě na tektonické pukliny.

Horský a vysokohorský kras (velké rozdíly mezi erozními bázemi)

Vývěrová údolí

Hltač

Obr. 9.



k - kaňon, z - závrť, sú - suché údolí, s - sifon (chodba zaplněná vodou), v - vyvěračka, ko - komín, j - jeskyně;
1 - vápenec, 2 - slínavce © Petránek & Synek

XIX.2.3. Vnitřní/podpovrchové krasové jevy (obr. 10.)

Jeskyně – krasové a nekrasové

Nekrasové jeskyně (puklinové, vrstevní, rozsedlinové, suťové, kombinované a jeskynní výklenky). Ledové jeskyně (dutina v tělese ledovce vs. ledová výzdoba)

Krasové jeskyně - klasifikace dle výzdoby (krápníkové, aragonitové,...), dle klimatických poměrů (tropické, mírného pásma, polární,...), dle proudění vzduchu (statické, dynamické,...), dle charakteru prostor (svislé, vodorovné, šikmé, kombinované,...).

Aktivní a pasivní jeskynní systém – role podzemního toku (rozpuštění/korose a výmol/eroze)

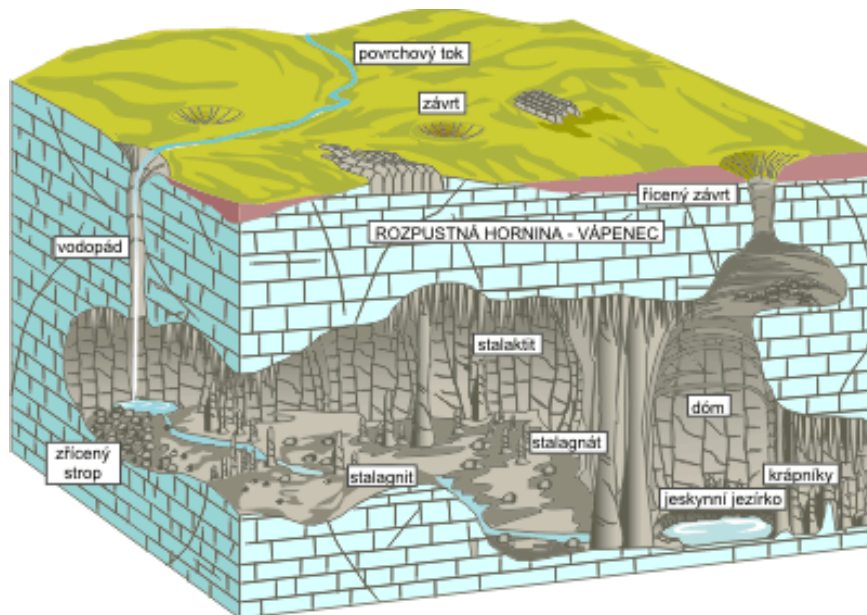
Tvary chodeb – eroze hloubková, boční, tlaková/eforace (stropní koryta), evorze (obří hrnce, facety), sifony.

Vznik krasové jeskyně a její vývoj (vazba na geologické faktory – rozdílná odolnost hornin – vrstevní plochy, pukliny, rozdílné složení hornin,..). Vazba korose a eroze- postupné zahlubování povrchových tvarů (propadání a vývěr). Jeskynní patro vs. jeskynní úroveň.

Jeskynní sedimenty/výplně –
autochtonní vs. alochtonní.

Sedimenty okrajové (vchod, komín, závrt) vs. sedimenty vnitrojeskynní.

Obr. 10.



Schematické zobrazení krasové oblasti; ©Petranek-Synek

XIX.2.4.Tvořivá činnost podzemní vody

Povrchová i podpovrchová depozice, krasové i nekrasové oblasti

XIX.2.4.1.Podpovrchové sedimenty (obr. 11.)

Krápníky – dle pozice vůči podzemní dutině (stalaktity, stalagmity, stalagnáty), dle materiálu (sintrové, ...).

Brčko - svislý, štíhlý trubičkovitý útvar, který je prvním stadiem vzniku stalaktitu. Vzniká vysrážením CaCO_3 z průlinové a puklinové vody, vytékající v kapkách z jeskynního stropu. Průměr průřezu brčka odpovídá průměru jedné kapky (do 5 mm). Voda prostupuje karbonátovými vrstvami bez přítomnosti vzduchu a rozpouští okolní horninu. Nasycuje se tak uhličitánem vápenatým (ve směsi s H_2O vzniká hydrogenuhličitán vápenatý). Když vápníkem nasycená voda dosáhne jeskynních prostor, unikne z ní do vzduchu CO_2 a rozpuštěný uhličitán vápenatý se opět vysráží. V místech pomalého (kapkovitého) pronikání vody do jeskynní dutiny tímto procesem postupně rostou útvary vysráženého CaCO_3 (brčka, sintr, krápníky).

Sintr – vápnitý povlak na stěnách jeskyň.

Krápník - vertikální útvar uvnitř jeskynních prostor. Rozlišují se 3 základní tvary: stalaktit, stalagmit a stalagnát.

Stalaktit roste od shora dolů ze stropu nebo šikmé stěny jeskyně, v místě odkapávání jeskyní vody ze stropu nebo bočního stékání vody po jeskynní stěně. Stalaktit má úzce kuželovitý (štíhlý) tvar a vyvíjí se z brčka. Stejně jako u brčka tvoří osu stalaktitu výživový kanálek, jímž

protéká nasycená voda a jehož stěny tvoří vysrážený karbonát. Přirůstáním obvodu kanálku směrem dolů stalaktit roste.

Stalagmit roste vzhůru z jeskynního dna. Vzniká vysrážením CaCO_3 z kapek vody, které dopadnou na dno jeskyně. Stalagmit nemá centrální kanálek, uhličitán vápenatý se usazuje z povlaků dopadnuté vody a proto má stalagmit koncentrickou stavbu s navrstvenými tenkými polohami vysráženého karbonátu. Tvar stalagmitů bývá rozmanitý a závisí na množství a způsobu dopadu vodních kapek. Při dopadu z velké výšky (z vysokého jeskynního stropu) se kapky široce rozstříkují do stran - vznik plochých stalagmitů s tvary na sebe položených talířů. Cyklicky se měnící (klesající a stoupající) přítok vody podmiňuje vznik kaskádovitých stalagmitů.

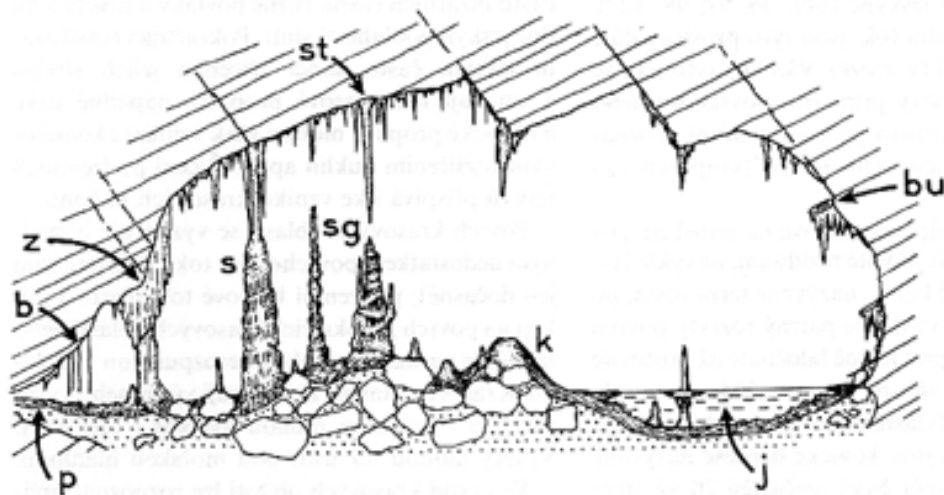
Stalagnát - vznikají srůstem stalaktitu s protilehlým stalagmitem. Dosahují značných rozměrů - výšky až 20 m.

povlaky (sintrové náteky, kůry, vodopády, lekníny), svislé desky, excentrika /heliktity. Jeskynní perly - nickamínek

Egutační jamky

Geody, konkrece, dendrity

Obr. 11.



Ze stropu visící stalaktity (st) mívají různý tvar, jsou to např. brčka (b), sintrové záclony (z) a bubny (bu). Na zemi rostoucí krápníky se nazývají stalagmity (sg); patří k nim i sintrové kužely (k). Spojením stalaktitů a stalagmitů vznikají krápníky; © Petránek – Synek

XIX.2.4.2. Povrchové sedimenty

Depozice v oblasti pramenů - vřídelní kámen – gejzír.

Osteokoly (novotvary tyčinkovitých až křivkových tvarů, vznikají ve spraších a vápnitém písku koncentrováním CaCO_3 kolem kořinek rostlin).

Travertin (vápnitý sintr/sladkovodní vápenec) – dělení dle geneze pramenit vs. pěnovec/pěnitec. Dělení dle výsledných tvarů - travertinová kupa, travertinový kráter, travertinová kaskáda.

XIX.3. Geologická činnost tekoucí vody

XIX.3.1. Úvod

Voda na zemském povrchu (atmosférické především dešťové srážky, tání, prameny). Nejvýznamnější terestrické depoziční prostředí, významná role při transportu a zvětvování.

Pohyb vody ve vodních tocích - povrchový odtok je řízen především gravitací.

XIX.3.2. Dešťový ron

Procesy následující ihned po atmosferických srážkách, nesoustředěný odtok do vodních toků. **Plošný splach** – plošný odtok náhle spadlé vody (např. při bouřkách).

Dešťový ron - plošný splach se postupně soustřeďuje do vymezeného toku, ve kterém se začne uplatňovat výmlová eroze. Vznikne zahluobené koryto (stružka, rýha, rokle) - dešťový ron.

(ronové stružky, ronové rýhy, ronové rokly, škrapy, badlandy, zemní pyramidy, zemní kulisy).

Ronová rokly – 3 části (sběrná oblast, hlavní koryto, náplavový/dejekční kužel – analogie vodního toku). Rozdílná geologická činnost v různých částech.

XIX 3.3. Vodní tok

Typicky pramen, ústí (erozní báze - svrchní a spodní), koryto.

Povodí vs. rozvodí, hlavní vodní tok vs. přítoky - vodní/říční síť.

Hustota vodní sítě – typy vodní sítě dle půdorysu (stromovitá, rovnoběžná, pravouhlá, radiální) role geologické stavby zájmové oblasti a klimatu (určuje množství charakter, rychlost srážek).

Geologická aktivita tekoucí vody (eroze – transport-sedimentace) je dána rychlostí pohybu vody, charakterem proudění, hustotou a viskozitou kapaliny - Reynoldsovo číslo). Hjulströmův diagram (eroze vs. transport vs. sedimentace). Průtočné množství – pohyb vody ve vodním toku (laminární vs. turbulentní proudění).

Laminární proudění - voda v korytě proudí v jednom stejném směru. V podélném profilu tokem se voda pohybuje v rovinách situovaných nad sebou. Roviny proudění se nemísí.

Turbulentní proudění - generelní směr toku je sice jediný, ale voda se nepohybuje přímo rovně, ale turbulentně a přitom se mísí. V přírodě častý a převládající typ proudění.

XIX.3.4. Říční eroze (říční výmol)

Rychlost proudění (sklon koryta - vnitřní a vnější tření). Rozložení rychlosti vodního toku v rámci říčního koryta – proudnice. Nepravidelná rychlost proudění různých částí vodního toku – nepravidelné rozložení eroze a depozice.

Role změny okolního reliéfu/sklonu, role velikosti erodovaných a transportovaných částic.

Hloubková eroze (obr. 12.) - boční eroze- eroze zpětná (říční pirátství) – evorze - koroze. Rozhodující faktor pro vznik říčních údolí (dále také sedimentace).

XIX.3.5. Říční údolí

Spádová křivka – spojuje pramen a ústí, pomyslně ji vedeme po linii nejhlubšího dna podélně celým tokem. Spádová křivka je průmětem proudnice do dna.

Vyrovnaná spádová křivka (křivka ideální profilové rovnováhy) - má rovnoměrný průběh kvůli vyrovnanosti eroze v horní části toku a sedimentace ve spodní části toku. Jedná se o ideální model, v přírodě se nevyskytující, ovšem procesy v reálném toku se snaží dosáhnout ideálního průběhu sp. křivky.

Nevyrovnaná spádová křivka - je skutečnou sp. křivkou v reálných tocích. Nemá rovnoměrný průběh, protože směrem od pramene k ústí protéká řeka různými horninovými prostředími, nesterjně odolnými vůči erozi. Proto má eroze v různých částech toku různý, odlišný charakter. Nehomogenní průběh eroze určuje i nevyváženost sedimentace erodovaného a transportovaného materiálu. Podobně a s nemenším významem ovlivňují průběh reálné sp. křivky, typ a rychlost probíhajících tektonických procesů (např. různá rychlost zdvihu v horní části toku, atd.), klima apod. Vlivy všech faktorů se různě kombinují a vzájemně ovlivňují.

Obr. 12.



Hlubkové zařezávání glacifluviální divočící řeky do skalního podloží tvořeného souvrstvím pískovců a prachovců. Příklad z ostrova Spitsbergu. V tomto případě souvisí hlubková eroze s ústupem ledovců, důsledkem čehož se ostrov odlehčuje a vyzdvihuje. Řeky jsou tak nuceny vyrovnávat spádovou křivku zahlabováním koryta do skalního podloží. Foto: M. Hanáček.

Role boční eroze - **zákruty** a **meandry** (zakleslé vs. volné meandry) vodního toku, napřímení vodního toku (protržení meandru)

Meandr - zákruta říčního koryta, která se bočně stěhuje podle přesouvání proudnice. Dva břehy - **vnější erozní (nárazový) břeh** neboli **výsep** a **vnitřní sedimentační břeh** neboli **jesep**. Podél nárazového břehu je proudění nejvyšší a dochází k erozi materiálu. Podél vnitřního břehu meandru je proudění daleko pomalejší a materiál se zde ukládá. Meandr se posouvá ve směru vnitřní břeh - vnější břeh. Když je meandr již příliš zakroucený, může si tok prorazit přímou cestu přes šíji meandru - dojde k **protržení meandru** a opuštění zákruty (v **opuštěném meandru** mohou vznikat močály), viz. obr. 14.

Morfologické tvary spojené se zákruty a meandry: - říční amfiteátr, říční niva, opuštěný meandr, okrouhlíky, skalní mosty, mrtvá ramena, nárazový břeh(výsep), nánosový břeh (jesep).

Říční údolí

Horní tok - dominuje hlubková eroze - vznik profilu údolím ve tvaru V. Sedimentace minimální, ukládají se pouze velké bloky.

Střední tok - neckovitý profil údolím (široké U). Sedimentace hrubších klastik (hlavně štěrků).

Dolní tok - řeka teče pod úrovní ideální profilové rovnováhy, což je vyrovnáváno mocnou sedimentací jemných klastik. Rozsáhlá velmi mělká plochá údolí (široká niva, záplavové oblasti).

Říční údolí vs. selektivní eroze – **údolí epigenetická** a **antecedentní**

Epigenetické říční údolí - Řeka nejdříve eroduje nezpevněné sedimenty a vytváří tak hluboké údolí. Poté v hloubce narazí na pevné horniny, ale jelikož už nemůže z hlubokého údolí uniknout, eroduje i tvrdý podklad.

Antecedentní říční údolí - údolí zahloubené kvůli jen pozvolnému výzdvihu oblasti. Řeka na vyklenování reliéfu stihne reagovat postupným zahlubováním. Kdyby ke zdvihu oblasti došlo rychle, řeka by se nezahlozubila, nýbrž odklonila jinam.

Říční údolí vs. sklon reliéfu (údolí konsekventní, subsekventní, resekventní, obsekventní a insekventní).

Říční kaňony

Skalní stupně (vodopády, kataraky, kaskády, peřeje/prahy) - geneze skalních stupňů (rozdílná odolnost hornin, pásma luklin, vysutá údolí, travertinové hráze). Erozní procesy a vývoj stupňů.

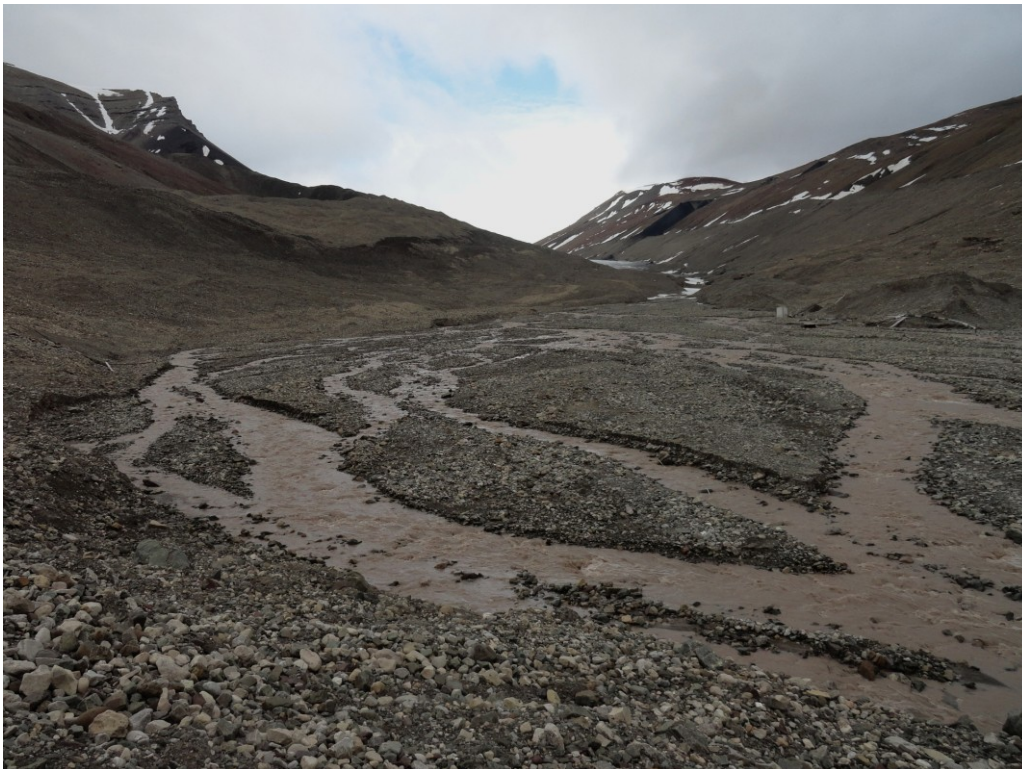
XIX.3.5.1. Klasifikace fluviálních systémů/vodních toků

Fluviální režim – způsob transportu sedimentu, množství koryt, poměru jejich hloubky a šířky, sinusoidita koryt.

Typy řek:

Divočící řeky (obr. 13.) - soustava dílčích kanálů, které se různě větví, spojují a migrují v ploše, transport značného množství materiálu, ukládání hrubozrnných (písčitých až šterkovitých) sedimentů. Kolísání vodnatosti. Aridní oblasti, ledovcová prostředí.

Obr. 13.



Divočící řeka (glacifluviální prostředí). Jelikož se kanály stále překládají, nemají břehy dlouhého trvání a nestačí zarůst ani tundrovou vegetací. Ostrov Spitsberg. Foto: M. Hanáček.

Meandrující řeky - jeden kanál, který laterálně migruje, vznik meandrů. Transport písčitého až prachovitého a jílovitého materiálu. Ukládání sedimentů v samotném korytě i na okolní záplavové plošině (periodické záplavy).

Obr. 14.



Meandrující řeka Mississippi, v jednom místě s už téměř odškrčeným meandrem.
Foto: <http://www.ecology.info/river-that-meanders.htm>

Anastamozní řeky (obr. 15) - větvičí a spojující se kanály, které se ale nepřekládají, niva mezi kanály tvořena jemnozrnnými sedimenty.

Obr. 15.



Anastamozní řeka. Jelikož se kanály nepřekládají, zůstávají břehy stabilní a mohou zarůst bohatou vegetací.

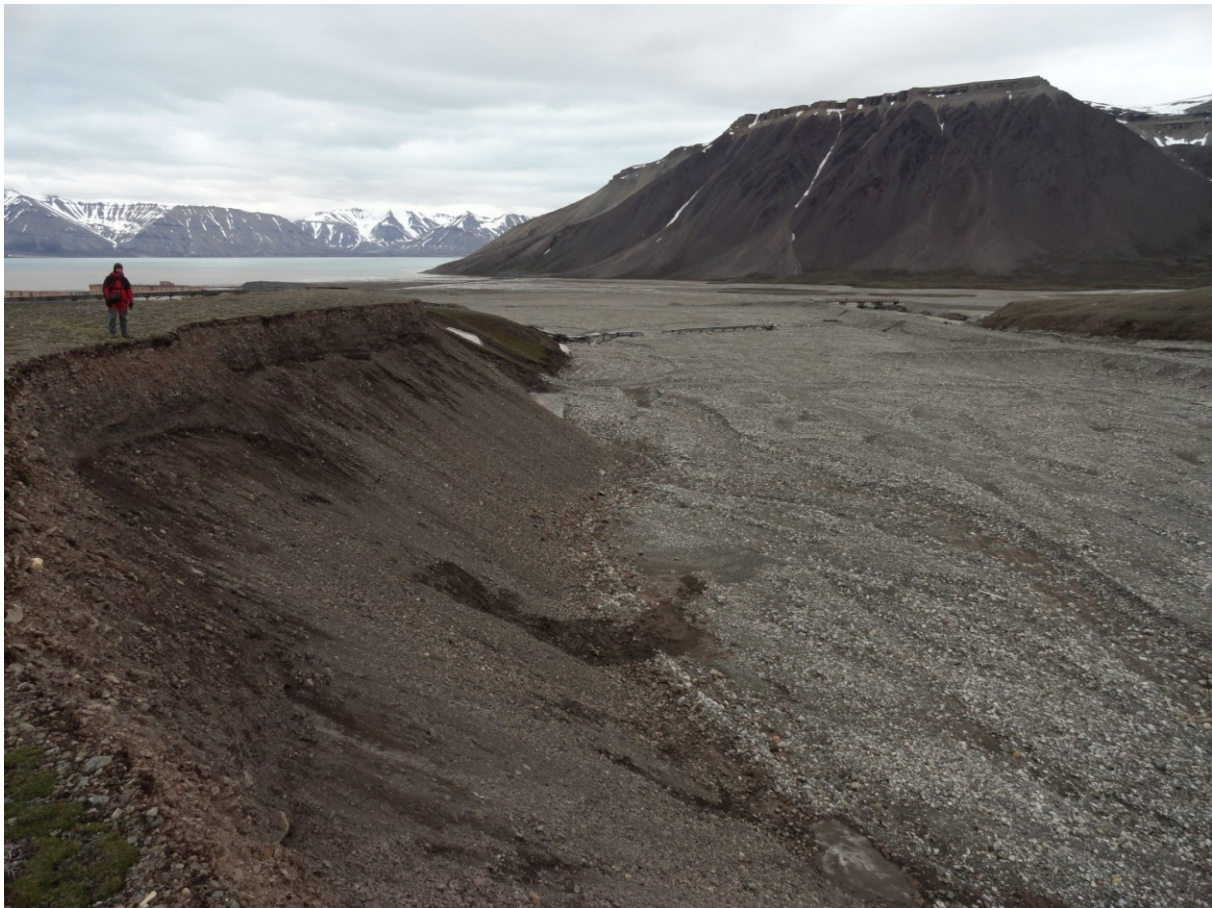
Foto: N. Smith (<http://www.geo.uu.nl/fg/palaeogeography/results/avulsions>).

XIX. 3. 6. Říční terasy

Vznik říčních teras – terasové systémy (tektonické a klimatické procesy) – terasy erozní/abrazní a akumulací

Akumulační terasy (obr. 16) - stupňovité terasy v říčních údolích tvořené hrubými (hlavně štěrkovitými) sedimenty. Jedná se vlastně o původní bázi říčního údolí, ve které byly uloženy sedimenty. Následně se řeka do těchto uloženin zařizla a erozí vymodelovala nové, nížeji položené dno údolí. V Evropě vznikla většina teras z klimatických příčin během glaciálů v kvartéru. V glaciálech panovalo ve střední Evropě chladné klima a terén byl pokryt jen sporou vegetací nebo byl zcela bez jakýchkoliv porostů. Docházelo k intenzivnímu mrazovému zvětrávání a vzniku velkého množství klastik. V prostředí divočících řek se klastický materiál akumuloval v údolích. Při nástupu interglaciálů docházelo příčinou vyšších srážek k vydatným povodním, při nichž vznikly v uložených sedimentech erozní zářezy a říční údolí se zahloubila. V údolích se těmito procesy vyvinulo více teras, ležících v různé nadmořské výšce. Nejvýše položené terasy jsou nejstarší, nejnižší položené jsou nejmladší.

Obr. 16.



Akumulační terasa. Terasový stupeň vznikl zařezáváním divočícího glaci-fluviálního toku do starších uloženin stejného typu. Ostrov Spitsberg. Foto: M. Hanáček.

Erozní terasa - vzácnější případ. Skalní stupeň, bez sedimentárního pokryvu.

Klasifikace říčních teras – terasové systémy (vazba ke stávajícímu toku), pozice nejvyšší a nejnižší terasy v čase, denudační chronologie klastů.

Důvody vzniku teras – střídání period hloubkové eroze a akumulace- důvody klimatické a tektonické.

XIX.3.7. Transportační činnost vodního toku

Zdroje materiálu pro vodní tok

Způsoby transportu v rámci vodního toku (obr. 17):

trakce - kutálení klastů po dně (hlavně štěrk, event. balvany)

saltace - odrážení klastů ode dna v proudu (hrubozrnný písek),

suspenze - materiál nesen na větší vzdálenost vodním proudem (hlavně prach a jíly),

flotace,

transport v roztoku

Obr. 17.



Transport štěrkových klastů probíhá trakcí po dně koryta, písčité frakce je pohybována saltací, zatímco nejjemnější materiál (prach a jíly) je transportován přímo ve vodě, v suspenzi, což způsobuje zakalení vody. Glacifluviální tok v předpolí horského ledovce. Ostrov Spitsberg. Foto: M. Hanáček.

XIX.3.8. Říční/fluviální sedimenty

Snížení rychlosti proudění, snížení průtočného množství. Role velikosti transportovaných částic (dále hmotnost, tvar). Role klimatu.

Fluviální sedimenty jsou obecně laterálně i vertikálně velmi proměnlivé. Tělesa fluviálních sedimentů a jejich prostorová distribuce.

Sedimenty říčních koryt vs. sedimenty mimo koryto.

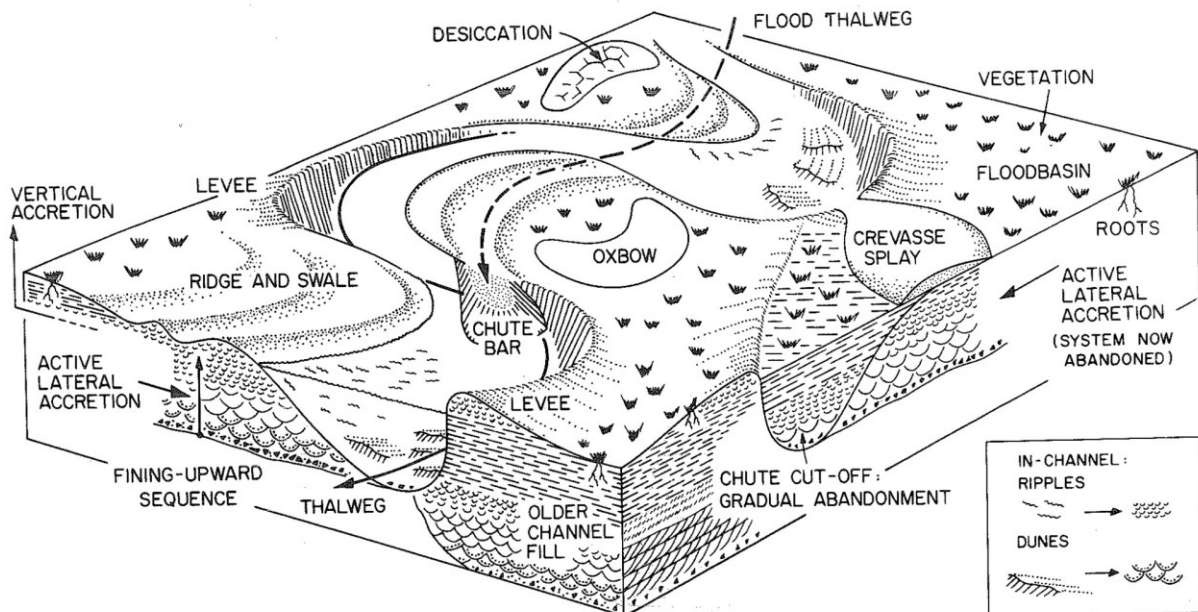
Rozdílné zastoupení těchto dvou prostředí depozice v rámci hlavních kategorií aluviálních a fluviálních sedimentů - sedimenty aluviálních kuželů, sedimenty divočících, meandrujících a anastomozních řek (obr. 18-21). Sedimenty opuštěných říčních ramen.

Obr. 18.



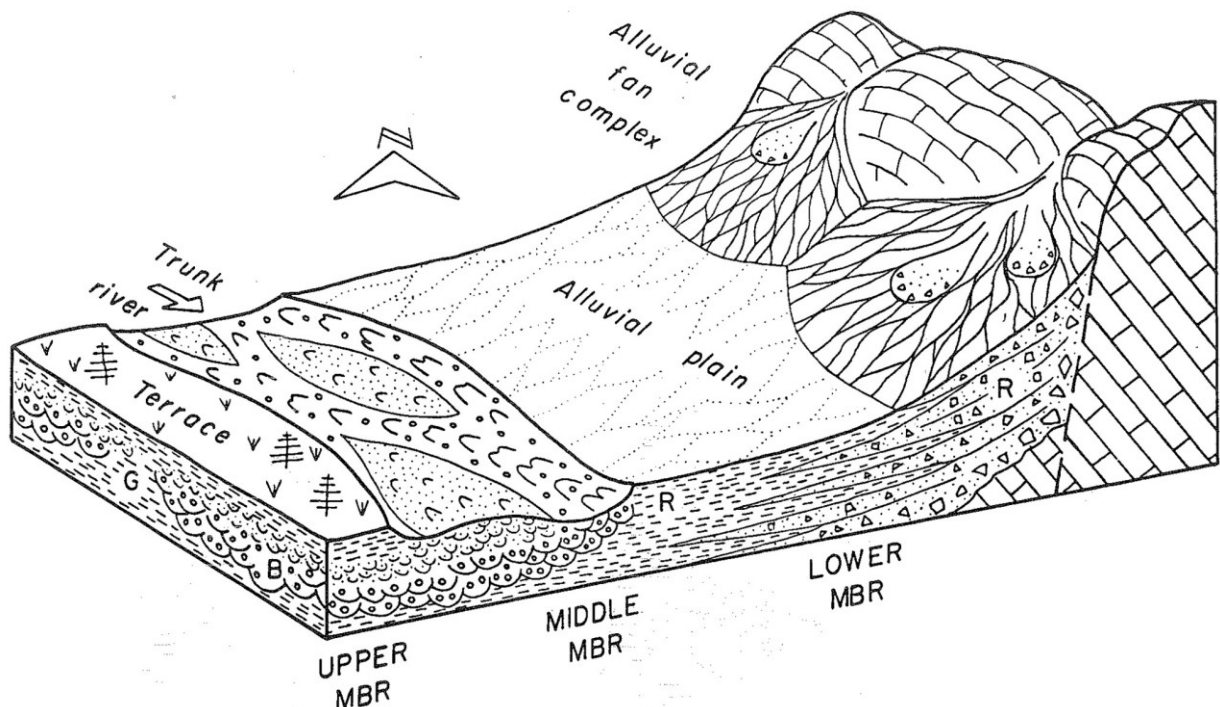
Aluviální kužel - těleso sedimentů vzniklé střídáním působení dvou typů transportu materiálu: gravitací a tekoucí vodou. Aluviální kužely vznikají na úpatí pohoří v aridních oblastech se sporou vegetací a epizodickými srážkami nebo sezónním táním sněhu. Ostrov Spitsberg. Foto: M. Hanáček.

Obr. 19.



Sedimenty koryt a sedimenty mimo koryto v prostředí meandrující řeky. Podle R. G. Walkera a D. J. Canta.

Obr. 20.



Aluviální kužely (vpravo) a říční tok (vlevo). U aluviálních kuželů se gravitačním transportem vytvoří vějířovitá tělesa hrubých, nevytříděných sedimentů. Po povrchu vějíře pak migrují menší kanály s fluviálním typem transportu (orientovaně proudící voda v zahloubených kanálech). U čistě fluviálního prostředí se buď překládají menší koryta (divočící řeka, vlevo na obrázku) nebo meandruje jedno koryto (meandrující řeka, viz obr. 8) či je vyvinuta soustava nepřekládajících se koryt (anastamózní řeka, viz obr. 4).



Obr. 21. Sedimenty divočících řek tvoří většinou střídající se tělesa štěrku a písků, protože v tomto sedimentačním prostředí rychle migrují větší a menší koryta s různou energií vody a tím i hrubozrnností unášeného materiálu. Glacifluviální sedimenty kontinentálního zalednění. Pleistocén, Kolnovice na Jesenicku. Foto: M. Hanáček.

XIX.3.9. Říční ústí

Typy říčních ústí a jejich řídicí faktory (tektonické procesy, množství, rychlost a charakter přinášeného sedimentu, marinní procesy – vlnění, výčasy, proudění, reliéf)

Míšení vod v místech ústí - **homopyknický-hypopyknický-hyperpyknický proud**

Ústí otevřená/nálevkovitá – **estuárium** (specifický typ cirkulace vod, zóna míšení sladkých a slaných vod zasahuje hluboko do pevniny, výrazná role přílivovo-odlivových proudů).

Ústí uzavřená – kosa, liman

Říční delty (obr. 22-24)- tělesa vějířovitého a klínovitého tvaru, přínos sedimentu je vyšší než jeho redistribuce v rámci pánve. Části delty – deltová plošina, čelo delty, svah delty, prodelta. Ovlivnění delt procesy terestrickými/zdrojová oblast (klíma, tektonika, vlastnosti hornin) a marinními (změny hladiny, role vlnění, výčasu a příbřežních proudů, modelace dna a sklon dna). Klasifikace delt – delty s dominancí fluviálních procesů, delty s dominancí vlnění, delty s dominancí výčasu. Rozdílný tvar tělesa delty, rozdílná distribuce sedimentů.

Rozsáhlá role člověka v moderních případech delt.

Obr. 22.



Delta s dominancí fluviálních procesů (delta Mississippi). Fluviální činnost dominuje nad redistribucí materiálu mořem a proto deltové sedimenty progradují do mořské pánve.

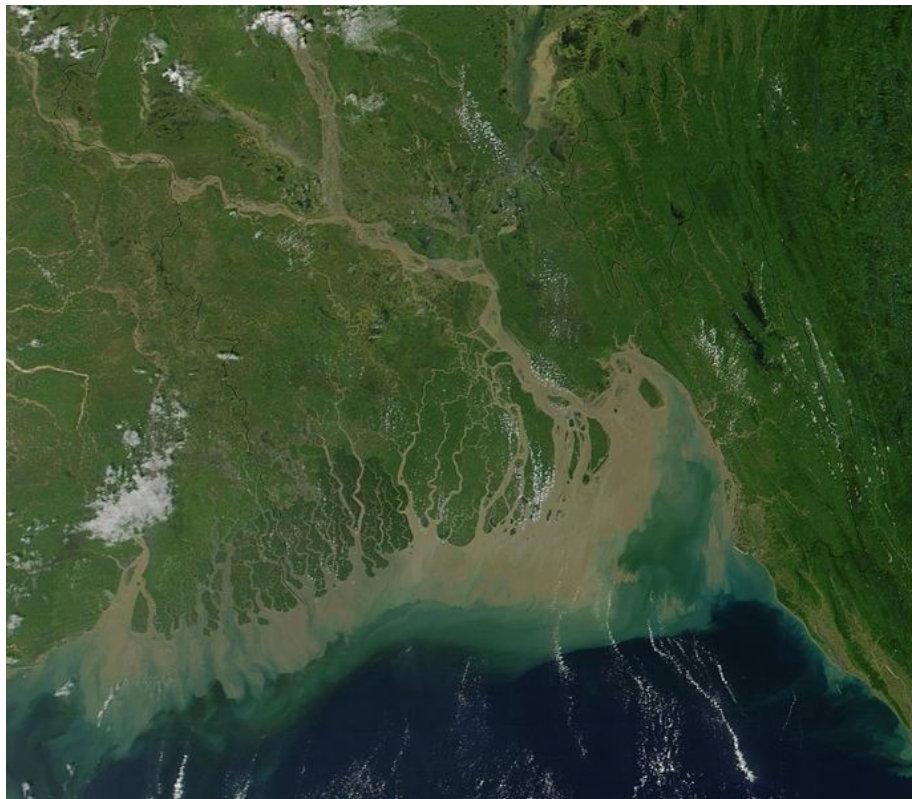
Foto: <http://marinebio.org/oceans/temperature.asp>

Obr. 23.



Delta s dominancí vlnění (delta Nilu). Materiál donášený řekou do moře je dále distribuován vlněním podél pobřeží, takže nevzniká deltové těleso progradující do mořské pánve. Foto: J. Descloitres (<http://visibleearth.nasa.gov/view.php?id=64868>)

Obr. 24.



Delta s dominancí výčasnů (delta Gangy). Materiál je mořem distribuován do úzkého nálevkovitého ústí kolem delty a rovněž podél pobřeží. Foto: <http://earthobservatory.nasa.gov/IOTD/view.php?id=1937>

XIX.4. Geologická činnost jezer

XIX.4.1. Úvod, základní pojmy

Jezero – přirozené těleso stojaté vody nesouvisející s mořem.

Limnologie

Velikost, tvar a hloubka jezera – vazba ke genezi

Původ jezerní vody – srážková voda, pramen, přítok

Úbytek jezerní vody – výpar, však, odtok (trvalý, občasný) – bezodtoká jezera

Bilance jezerní vody – kolísání hladiny

Stratifikace jezerní vody – důvody, rozložení v čase

Chemismus jezerní vody

Pohyby jezerních vod

XIX.4.2. Geneze jezer

Hloubená jezera (prvotní)

Hrazená jezera (sekundární)

XIX.4.2.1. Hloubená jezera (obr. 25.)

Endogenní procesy- vulkanická jezera (kráterová, kalderová, maarová), tektonická jezera (vrásová, zlomová).

Exogenní procesy- krasová jezera (závrty, slepá údolí, polje), solná jezera, glacigenní jezera (karová, jezera v rámci ledovcového trógu), jezera vzniklá říční činností (zakleslé meandry, erozní deprese – ústup vodopádu), eolická činnost, termokrasová jezera (alás), meteoritická jezera, činnost člověka.

Obr. 25.



Hloubené kalderové jezero - Crater Lake, Oregon, USA.

© Press & Siever

XIX.4.2.2. Hrazená jezera (obr. 26)

Endogenní procesy – vulkanická jezera (proud lávy, proud pyroklastik), tektonická jezera,

Exogenní procesy – gravitační procesy (sesuvy, skluzy, skalní řízení), ledovcové procesy (ledovcový splaz, morény, eskery/osary), říční činnost (mrtvá ramena, boční přítok, delty), eolická činnost (přesypy), člověka činnost moře (liman), činnost organismů a člověka (bobři, korálové útesy, rostliny, rybníky a přehrad).

Obr. 26.



Meandry a mrtvá říční ramena (hrozená jezera) na řece Nowitna na Aljašce

© Oliver Kurmis

XIX.4.3. Rušivá činnost jezer

Podemílání břehů, svahové nátrže, jezerní terasy

XIX.4.4. Transportační činnost

Změna rychlosti a složení vody, transport od vstupu k výstupu.

XIX.4.5. Jezerní sedimenty

Role klimatu, morfologie a rychlosti přínosu sedimentu. Relativně malá stálost jezer v rámci jednotek geologického času (výjimka jezera tektonická)

Chemogenní – role minerálního a chemického složení zdrojové oblasti, bahenní Fe rudy, karbonátové sedimenty, evapority

Klastické – rozdílné poměry v místech vstupu říční vody (delty) a v oblastech vzdálenějších. Typicky horizontální vrstevnatost, zvrstvení/laminace. Rytmičké střídání různých typů sedimentů – sezónnost změn.

Varvy - typické jezerní sedimenty geneticky vázané na sezónnost klimatu v glaciálním prostředí. Varvy vznikají v glacialakustrinních jezerech (tj. jezerech napájených vodou z roztávajícího ledovce). V letním období dochází k intenzivnějšímu tání ledu - prudší toky přinesou do jezera světlý písčité materiál - usadí se písčité vrstvička o mocnosti do několika cm. V zimním období je transport do jezera tečou velmi limitován a usazuje se zde jemný materiál ze suspenze - vznikne tmavá tenká vrstvička prachu. Varvy nakonec představují sled světlejších písčitých a tmavších prachových vrstev. Diageneticky zpevněné varvy se nazývají **varvity** (obr. 27).

Obr. 27.



Varvity

Organogenní – např. **křemelina** a **diatomit** (obr. 28.) - Křemelina (**rozsivková zemina**) je nezpevněný bílý, hnědý, šedý i nazelenalý jemnozrný sediment složený z křemitých schránek mikroskopických řas - rozsivek (diatom, *Diatomae*). Vznikl v jezerech, kde existovaly vhodné podmínky pro masivní rozvoj rozsivek. Zpevněná forma tohoto sedimentu se nazývá diatomit. Kvůli své jemnozrnnosti dokonale uchovávají fosílie. Z paleogenních (oligocenních) diatomitů u Děčína jsou známy světově unikátní kompletní kostry žab, na kterých se zachovaly i otisky měkkých částí těl (orgánové soustavy, cévy, nervy, kůže, vajíčka apod.)

Obr. 28.



Světle šedý diatomit (křemelina) - Borovany.

© J.Jirásek

Jezerní křída - nezpevněný vápnitý sediment, vznikající mnoha rozdílnými procesy (polygenetický). Vzniká např. činností řas, rozpadem vápnitých schránek mikroorganismů, činností pramenů na dně jezera aj.

slatiny, rašeliniště

Vývoj jezera (přínos sedimentu vs. pokles jezerního dna)

Zánik jezera – důvody (klimatické, destrukce jezerní hráze – zpětná eroze, zanesení jezera/zazemnění, zarůstání jezera).

Umělá jezera – přehrady, rybníky

XIX.5. Geologická činnost moří a oceánů

XIX.5.1. Úvod

Oceánografie - světový oceán (70,7% zemského povrchu), oceány a moře, moře vnitřní a okrajová, zálivy.

Střední hloubka oceánu

Chemické složení mořské vody

XIX.5.2. Stratifikace mořské vody

Teplotní a hustotní/salinitní stratifikace vede k vertikálnímu členění vodního sloupce v oceánech: A) Povrchová vrstva, B) Přejídná vrstva / thermoklina, C) Hlubinná vrstva

XIX.5.3. Pohyby mořské vody

Důvody pohybů- účinek větru, stratifikace, slapové síly, změny množství vody v pánvi, změny tvaru oceánského dna, katastrofické události (zemětřesení, sesuvy, vulkanické erupce,...)

Klasifikace pohybů mořské vody:

Dle směru pohybu vodních částic – vertikální a horizontální pohyby

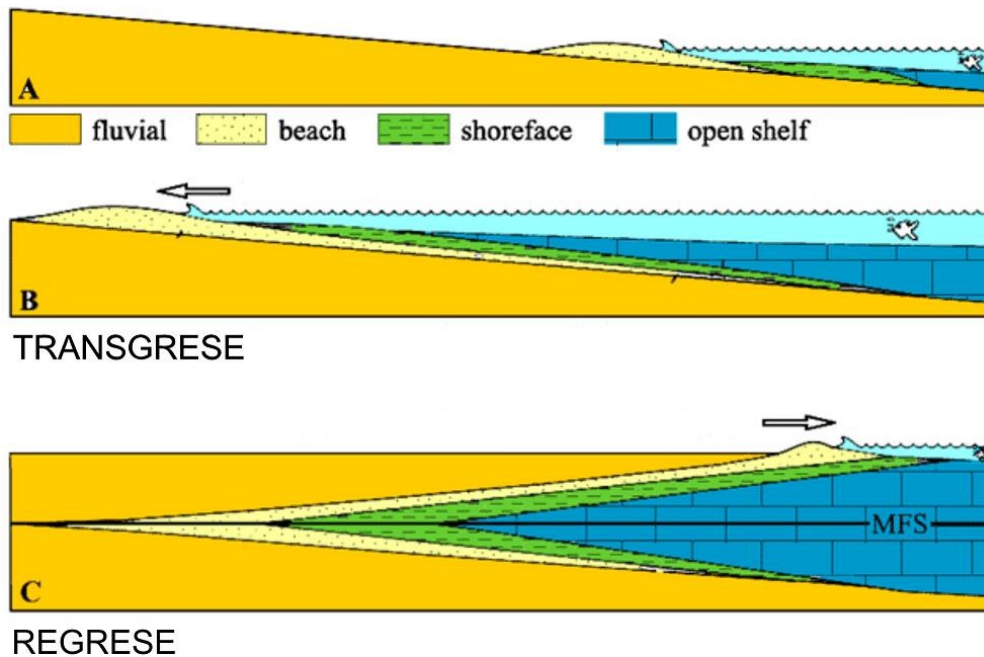
Dle mechanismu pohybu vodních částic – **vlnění, mořské proudy / výčasy**(dmuť-přiliv a odliv)

Transgrese (obr. 29.) - postup moře do pevniny.

Regrese (obr. 29.) - ústup moře z pevniny.

Ingrese - krátkodobá transgrese.

Obr. 29.



Transgrese a regrese.

© Octavian Catuneanu

Eustatická změna mořské hladiny - **změna hladiny světových moří v globálním měřítku. Může se jednat o globální vzestup či pokles mořské hladiny. Eustatické změny bývají vyvolány různými příčinami, které se navíc mohou kombinovat. Jsou to např.:**

Tektonické příčiny - spojení dílčích kontinentů do jednoho superkontinentu vede k ústupu a nakonec zániku šelfových moří - globální regrese. Naopak při rozpadu superkontinentu se nová moře otevírají a transgredují do riftově pokleslých okrajů pevnin - globální transgrese. Nově a rychle tvořená oceánská kůra vede k relativnímu změlčení oceánských pánví a následně k exstatické změně hladiny.

Klimatické příčiny - nejvýznamnější jsou změny objemu velkých kontinentálních ledovců. Ledovce totiž vážou obrovské množství pevných srážek spadlých na souš, které se tak nevracejí do hydrologického cyklu a tím do moří. Zvětšování kontinentálních ledovců tak vede k poklesu mořské hladiny v celosvětovém měřítku. Např. během poslední kvarterní doby ledové (viselského glaciálu) poklesla hladina moří až o 120 m, takže Britské ostrovy byly spojeny s pevninskou Evropou.

Relativní změny mořské hladiny - **lokální méně významné změny, které nemusejí mít vazbu na globální procesy.**

XIX.5.3.1. Vlnění

Vlnění - způsobeno větrem, který aktivizuje svrchní částí vodního sloupce. Jedná se v podstatě o kruhový/orbitální pohyb vodních částic. Účinky vlnění směrem do hloubky vyznívají, ve vazbě na vlnu délku vlnění (rozdílné vlny/rozdílně generované zasahují do různých hloubek (až několik desítek m).

Typy vlnění: eolické vlnění, vnitřní vlnění, stojaté vlnění, katastrofické jednorázové vlny

Pohyb částice při vlnění - orbit a **orbitální dráha částice**

Výška vlny-délka vlny-rychlost-perioda

Vrchol (hřbet) vlny- sedlo (důl)- směr vlny- čelo vlny

Vlny hlubokého vs. vlny mělkého oceánu. **Příboj** - jakmile se vlny přiblíží k pobřeží do té úrovně, že dno leží v hloubce odpovídající už jen polovině jejich vlnové délky, začnou se vlny třením o dno zestrmovat a naklánět. Dochází k **lámání vln** (hloubka dna vs. výška vlny). Změna vlnění v proudění.

Příbojový proud

Nucené a volné vlny

Refrakce vln (ohýbání vln) – zpomalování postupu vlny k pobřeží v místech výběžků pevniny do oceánu- ohýbání průběhu vlnové linie podélně s pobřežím.

Příbřežní proud vs. kompenzační/zpětný proud (rip current)

XIX.5.3.2. Výčasy / dmutí moře

Slapové síly – příliv a odliv – vertikální změna mořské hladiny a pohyb vody.

Přitažlivost Slunce a Měsíce (obr. 30.) – přivrácená a odvrácená strana. Pozice Slunce a Měsíce - skočný vs. hluchý příliv.

Skočný příliv - všechna tři tělesa v jedné rovině. Gravitační vlivy Měsíce a Slunce se sčítají - největší příliv.

Hluchý příliv - spojnice Země - Měsíc je kolmá na spojnici Země - Slunce. Gravitační vlivy Měsíce a Slunce se odečítají - nejmenší příliv.

Bouřlivý příliv

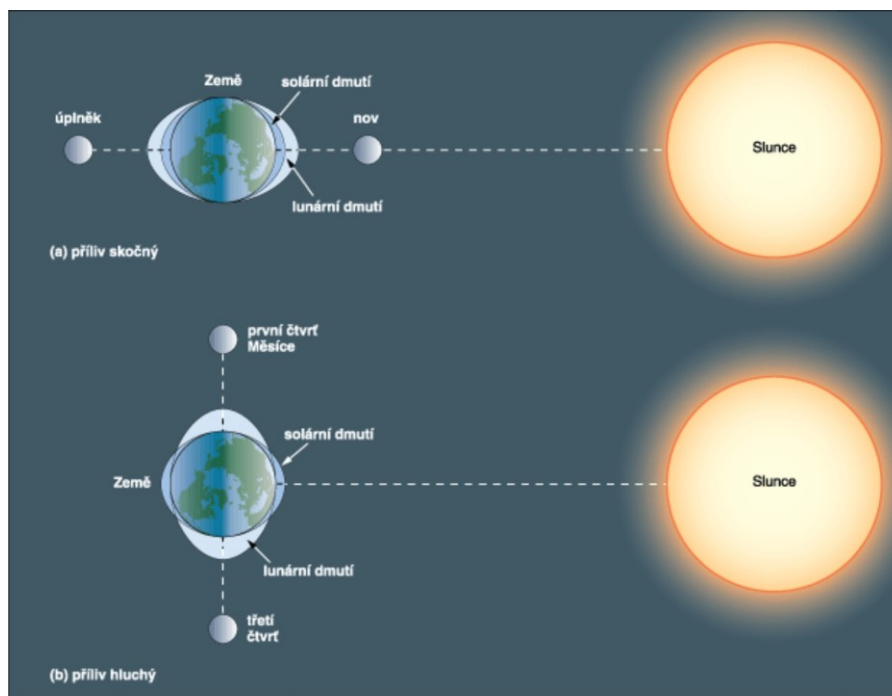
Plochá pobřeží s otevřenými zálivy (Bay of Fundy, Gulf of St.Lawrence,..).

Příliv a odliv jako vlnění, přílivový a odlivový proud -

Supralitorál (supratidal), sebchy,marše, eulitorál (intertidal), sublitorál (subtidál) – infralitorál a cirkalitorál

Přílivo-odlivové plošiny – plošiny protkané sítí tidálních kanálů. Během přílivu se voda přelévá z kanálů na plošinu, při odlivu se naopak odtékající voda do kanálů soustřeďuje.

Obr. 30.



Souvislost uspořádání těles v soustavě Země – Slunce – Měsíc a slapových jevů.

© Harold V. Thurman & Alan P. Trujillo

XIX.5.4. Rušivá činnost vlnění (abraze pobřeží)

Abrazní srub (klif), útesy, skalní brány, skalní jehly, jeskyně.

Abrazní mořská plošina/mořské terasy

Transport materiálu – rovnoběžně s pobřežím (příbřežní proudy) - bariérové ostrovy, písčné kosal, valy, tombolo.

Morfologická klasifikace typů pobřeží (fjordová, šerová, riasová, limanová, vulkanického typu, dalmatského typu, ...)

XIX.5.5. Mořské proudy otevřeného moře

Povrchové vs. hlubinné proudy

Povrchové proudy – rozhodující role směr a síla větru, účinek Coriolisovy síly a efekt tzv. Ekmanovy spirály, morfologie pánví – vznik systému mořských povrchových proudů.

Hlubinné proudy- termohalinní cirkulace, role výstupu a poklesu různě teplých mas vody (**upwelling**).

Proudění a **produktivita organické hmoty** v oceánech.

XIX.5.6. Mělkomořské procesy

XIX.5.7. Hlubokomořské procesy

XIX.5.8. Mořské/marinní sedimenty

Mělkomořské klastické sedimenty

Pobřežní zóny - důsledkem intenzivního dlouhodobého přemísťování sedimentů vlněním, příbřežním prouděním a v důsledku přílivu a odlivu vznikají sedimenty dobře vyztalé mineralogicky a strukturně (redukce neodolných minerálů, odplavení jemných frakcí) - **dobře vytříděné křemenné písky** s šikmým zvrstvením, často protisměrným (střídání přílivu a odlivu). Při velkých bouřích vznikají sedimenty s typickým **hřbítkovitým zvrstvením** (konvexní laminy a vrstvy). Na plochých šelfech dále od pobřeží vznikají v důsledku výčasů (přílivovo-odlivového dmutí) až 40 m vysoká, 1 - 2 km široká a až 60 km dlouhá písčítá tělesa (bariérové ostrovy) s šikmým planárním zvrstvením. Na šelfech neovlivněných výraznými pohyby vodních mas vznikají dále od pevniny **kondenzované jemnozrné klastické sedimenty** (např. opuky). V místech vyústění velkých delt do moře dochází buď k přepracování deltových sedimentů vlněním nebo k progradaci deltového tělesa do mořské pánve.

Mělkomořské neklastické sedimenty

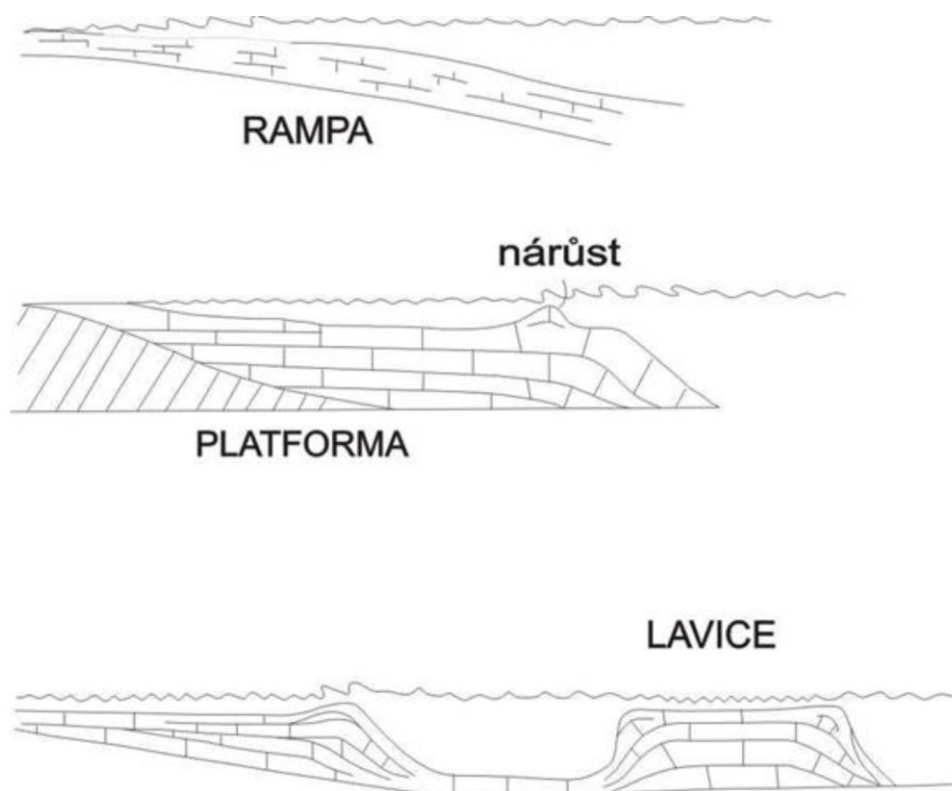
Neklastické – **karbonáty** (obr. 3.) (biohermy, biostromy, plošiny - karbonáty vznikají z útesotvorných organismů), vznik v tropické zóně, při pobřeží s velmi omezeným přínosem klastik z pevniny.

Bioherma - masivní těleso organických nárůstů, nejčastější formou je rif (např. Velký bariérový útes u sv. pobřeží Austrálie)

Biostróma - povrchové, plošné porosty útesotvorných organismů.

Karbonátová rapma (plošina) - ploché karbonátové těleso, které se pod malým úhlem svažuje od pobřeží až do hloubek stovek m.

Obr. 31.



Karbonátová tělesa.

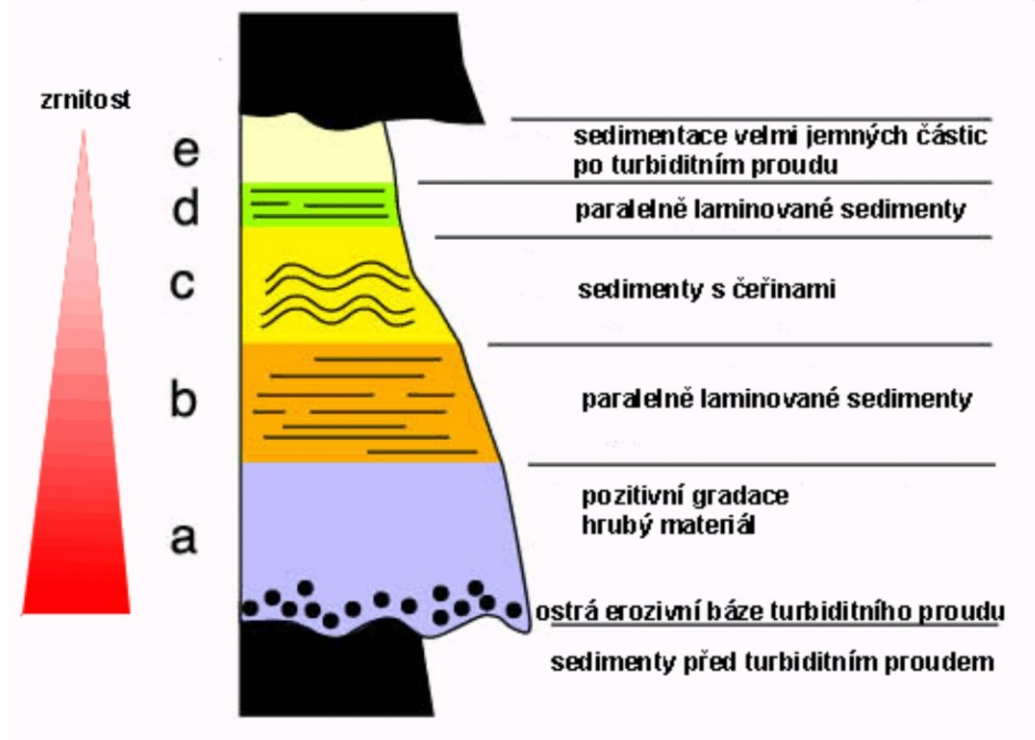
© Zdeněk Kukul

Hlubokomořské klastické sedimenty

Siliciklastické turbidity - prostředí kontinentálních svahů a úpatí, tj. prostředí na přechodu z mělkomořského (pobřežního a šelfového) prostředí do abysálního prostředí. Vznik gravitačních proudů (např. turbidity). Sedimenty na vnějším okraji šelfu jsou uvedeny do pohybu a jako gravitační podmorské proudy se pohybují po kont. svahu a na jeho úpatí vytvářejí vějířovitá tělesa. Typická je pozitivní gradace v sedimentech turbiditů, střídání lavic pískovců s vrstvami prachovců a jílovců v mocných souvrstvích. **Boumova sekvence** (obr. 4.): **hrubozrnné písky s pozitivním gradačním zvrstvením - paralelně zvrstvené písky - čerňově zvrstvené písky až prachy - paralelně laminovaný prach až jíl - masivní jíl**. Boumova sekvence odráží postupný pokles energie turbiditního proudu. Mobilizace sedimentů na okraji šelfu může být vyvolána různými příčinami, např. reliéfem: Úzký šelf lemuje hornatou pevninu - dochází k akumulaci mocných sedimentů na šelfu, dodávaných do moře řekami - akumulace na okraji šelfu se kvůli neustálému přísunu sedimentů stane nestabilní - vznik gravitačního proudu. Značná role zemětřesení - otřesy vyvolávají nestabilitu sedimentů.

Obr. 32.

Boumova sekvence (sedimentární záznam turbiditního proudu)



Hlubokomořské neklastické sedimenty

Kalciturbidity - obdobná pozice jako u siliciklastických turbiditů, vznikají rozpadem karbonátových plošin a rifů za vzniku gravitačních podmořských proudů transportujících karbonátový detrit hlouběji do pánve.

Sedimenty abysálních plošin - prostředí dna širokého oceánu, bez nebo s jen minimálním přínosem sedimentů z pevniny. Velmi pomalu ukládané jemnozrnné sedimenty - **hemipelagity** (obsahují až 25 % terigenní složky, „pološirokomořské sedimenty“) a **eupelagity** (širokomořské sedimenty). Patří mezi ně **organogenní bahna** (globigerinová, pteropodová) nebo tzv. **červená bahna**. V hlubokomořském prostředí rovněž vulkanogenní sedimenty, glacimarinní sedimenty (z plovoucích ledových ker).

Doporučená literatura dostupná studentům PřF MU v ústřední knihovně

- Chernicoff, Stanley.(1995): Geology : an introduction to physical geology.
- Kachlík V., Chlupáč I. (2003): Základy geologie. Historická geologie.-skripta UK Praha.
- Kumpera O., Foldyna J., Zorkovský V. (1988): Všeobecná geologie.- SNTL, Praha.
- Plummer Ch.C., McGearry D. (1982): Physical Geology.- Wm.C.Brown. Publ. Iowa.
- Plummer, Ch. C. (1996): Physical Geology : with interactive plate tectonics CD-ROM.
- Plummer, Ch. C.(1996): Physical geology : student study art notebook.
- Tarbuck, E. J.(2002): Earth : an introduction to physical geology.
- Thompson, G. R.(1998): Introduction to physical geology .
- Thompson, G. R.(1993): Modern physical geology.
- Turk, J.(1991): Modern physical geology.