

1 Stratigrafie

Stratigrafie je obor geologie, který se zabývá vrstevními sledy a stářím hornin. Obor vyšel z určitých empirických zjištění, která postupně umožnila definování zákonů a principů při studium vrstev usazených hornin. Využívá poznatky různých jiných oborů, zejména paleobiologie ale i fyzické geografie a fyziky.

STRATIGRAFICKÉ ZÁKONY A PRAVIDLA

Zákon superpozice

Platí, že v **nepřevráceném vrstevním sledu je vrstva podložní starší nežli vrstva nadložní**. Tento zákon byl definován již v počátcích existence geologických věd N. Stenoniem. V reálné situaci mohou nastat zdánlivě odchylné situace. Pokud je vrstevní sled převrácený, pořadí vrstev je také převrácené. V takové případě je možno toto převrácení zjistit některými znaky v horninách, např. typem zvrstvení nebo pomocí ichnofosilií. U říčních teras je terasa hypsograficky nejvyšší nejstarší, nejnižší je nejmladší, ale zde nenastává situace, že by terasy ležely přímo nad sebou, vždy leží vedle sebe. V případě neptunických žil a krasových výplní může být mladší materiál níže nebo může ležet i mezi staršími vrstvami.

Zákon stejných fosilií

Platí, že **vrstvy stejného stáří obsahují stejné fosilie**. Tento také tzv. korelační zákon vychází z předpokladu, že vývoj života je nevratný a každé geologické období má své vlastní charakteristické fosilie. Podle fosilií lze tedy určit relativní stáří hornin. Zákon byl definován počátkem 19. století ve Velké Británii W. Smithem.

Například, trilobiti jsou výlučně prvohorní skupinou. Tedy, pokud najdeme jakéhokoliv trilobita, můžeme si být jisti prvohorním stářím. Pokud trilobita určíme jako rod *Paradoxides*, můžeme si být jisti kambriickým stářím, protože tento rod žil pouze v období kambria. Toto platí na celém světě a v různých horninách. Umožňuje to časovou **korelaci** mezi vzdálenými oblastmi a různými typy hornin. Zákon byl a je základem při tvorbě geologických map, protože umožňuje rychlé a levné určení relativního stáří hornin.

Některé fosilie mají dlouhý časový výskyt v horninách. Takové jsou obtížně použitelné pro korelaci. Jiné fosilie reprezentují organismy s krátkým stratigrafickým rozsahem. Pokud se vyskytují na rozsáhlém území, např. pokud žijí v moři jako plankton, umožňují korelaci vzdálených oblastí (například na okrajích kontinentů oddělených oceánem). Ideální fosilie umožňuje celosvětovou korelaci. Takové fosilie, které mají krátké stratigrafický rozsah, ale velké geografické rozšíření se označují jako **vůdčí fosilie** (také indexové fosilie). V praxi se využívají různé skupiny, v paleozoiku graptoliti, tentakuliti, goniatiti, trilobiti, v mezozoiku amoniti a kokolitky, v kenozoiku foraminifery apod.

Princip aktualismu

Počátkem 19. století, jako reakce na tehdejší představy u obrovských katastrofách v geologické minulosti (např. G. Cuvier), se prosadil názor (Ch. Lyell, J. Hutton), že **procesy, ke kterým docházelo v geologické minulosti se nijak zásadně svojí intenzitou a rychlostí nelišily od geologických procesů, které můžeme pozorovat v současnosti**. Zdánlivá pomalost současných procesů vedla v první polovině 19. století k závěrům, že stáří Země je mnohem starší, nežli se předpokládalo. Tehdy nová představa o velkém stáří Země (v milionech let) vysvětlovala mnohé jevy do té doby nevysvětlitelné, např. vznik pohoří, přítomnost mořských fosilií na pevnině apod.

V současné době víme, že mnohé procesy (nebo jejich intenzita) v geologické minulosti probíhaly odlišně. Mluvíme proto spíše o **principu vývoje**. Odlišnosti v geologické minulosti se týkají např. délky dne, výšky přílivu, rozdílné aktivity sopečné činnosti, rozsahu zalednění, intenzity eroze, existence a složení vegetačního pokryvu na pevninách a s tím související intenzity zvětrávání, ekologie některých skupin organismů, složení atmosféry, chemismu mořské vody, pozice kontinentů, průběhu mořských proudů aj. Tyto odchylky se odrážely v jiné formě a intenzitě procesů, než které můžeme v geologickém prostředí pozorovat v současnosti. V minulosti existovaly situace s katastrofami nebývalého rozsahu (exploze supervulkánů, dopady planetek), při kterých se intenzita a rozsah geologických jevů zcela zásadně lišil od současných „poklidných“ procesů.

ZÁKLADNÍ STRATIGRAFICKÉ POJMY

Transgrese a regrese

Transgrese je zaplavování pevniny mořem. **Regrese** je ústup moře z pevniny. Příčiny mohou být lokální (např. pokles či vzestup ker zemské kůry, vysušování jezerních pánví), ale mohou být i celoplanetární (např. při tání či tvorbě kontinentálních ledovců, přelití vody z oceánských pánví dna okraje pevnin, termální expanze oceánských vod). Logický sled vrstev, nasponu obvykle s hrubozrnnými klastiky (tzv. bazální slepence) vytváří transgresně-regresní cyklus. Jednotlivé transgresně-regresní cykly mohou být odděleny dlouhými etapami bez tvorby sedimentů, spojenými s erozí zemského povrchu. Takové dlouhé přerušení je označováno hiát.

Zaplavení pevniny mořem, tj. transgrese, je obvykle dlouhodobý proces trvající statisíce až miliony let. Pokud dojde k přelití pevninské šíje vodou nebo rychlému zaplavení pobřežních nížin, mluvíme o ingresi.

Eustáze

Celkové množství vody na Zemi je víceméně konstantní. Pokud dojde ke vzniku ledovců v polárních oblastech na kontinentech, je část oceánské vody vázána do ledovců a dochází k poklesu hladiny oceánu. Pokud pevninské ledovce nejsou, voda je v oceánech. V závislosti na tvorbě ledovců na

pevninách tedy dochází ke kolísání mořské hladiny v rozsahu 300 - 400 metrů. Tento proces kolísání hladiny se označuje jako **glacioeustáze**. Je považována za hlavní příčinu transgresně-regresních cyklů v geologické minulosti. V současnosti je hladině oceánů spíše nízká. Po většinu fanerozoika byla hladině výše nežli je v současnosti. Při maximálním zalednění před asi 20 tis. lety byla hladina o 130 m níže, nežli je dnes. Historicky nejvyšší hladina, asi o 200 metrů výše nežli je v současnosti, byla v křídovém období před asi 100 miliony lety.

Diastéma, hiát a diskordance

Krátké přerušení sedimentace bez vynoření se je **distéma**. Ve vrstevním sledu se projevuje tvorbou mezivrstevních spára zřetelnou vrstevnatostí usazenin.

Hiát je dlouhé přerušení sedimentace, v řádech miliónů let. Často je spojen s vynořením celků nad hladinu, s jejich tektonickou deformací a erozí. Po hiátu může následovat pokles a další sedimentační cyklus. Hiáty oddělují jednotlivé transgresně-regresní cykly od sebe.

Diskordance je nesouhlasné uložení dvou sedimentárních cyklů nad sebou. Diskordance může být úhlová (angulární) nebo skrytá.

U angulární diskordance původně vodorovně uložené vrstvy obou celků mezi sebou svírají určitý definovatelný úhel. Vzniká tektonickou deformací staršího celku, na který se po částečné erozi staršího celku vodorovně uložily celky mladší.

U skryté diskordance jsou oba celky uloženy souhlasně, tj. mezi vrstvami staršího a mladšího celku je nulový úhel. Pak nastupují další kritéria ke zjištění dlouhého přerušení sedimentace (hiátu) mezi těmito celky, např. přítomnost kůr zvětrávání na vrcholu staršího celku, paleontologická kritéria apod.

Facie

Facie je soubor rysů určitého sedimentárního celku. Znaky, které takový celek má, nám umožňují určit podmínky, za kterých tento celek vznikl. Například, pokud celek je tvořen písčitymi horninami, pokud na vrstevních plochách jsou stopy po vlnění (např. čeřiny), pokud je patrné šikmé a křížové zvrstvení, pokud obsahuje fosilie mořských živočichů, o kterých víme že podobné typy žijí v mělké vodě u mořského pobřeží, můžeme předpokládat, že takový horninový celek vznikl v mělkovodním mořském prostředí silně ovlivňovaném přílivem a odlivem. Pod pojmem facie je zahrnut nejen typ prostředí (mořské, říční, kontinentální atd.), ale o soubor rysů, které nese konkrétní horninové těleso (typ sedimentu, litologické znaky, obsah fosilií aj.).

Cykličnost

U usazenin můžeme často pozorovat opakování stejných vrstevních sledů (v řádu cm až prvních desítek metrů). Tento rys sedimentů se označuje jako **cykličnost**. Příčinou je opakování stejných podmínek vedoucích ke vzniku stejných hornin. Klasickou příčinou cykličnosti je opakovaný vzestup a

pokles mořské hladiny způsobovaný klimatickými změnami, zejména glacioeustázi. Klimatické výkyvy se střídáním humidnějších a aridnějších období způsobují cykličnost i u jezerních sedimentů. Ukazuje se, že sedimentární cykly lze často dobře korelovat s Milankovičovými cykly, tj. cykly podmíněnými sklonem zemské osy, rotací Země a množstvím sluneční energie dopadající na zemský povrch.

RELATIVNÍ A ABSOLUTNÍ STÁŘÍ

Stáří hornin lze určit dvojím způsobem. **Relativní stáří** poměřuje dva či více celků vůči sobě, tj. který celek je starší nežli celek sousední. Relativní stáří lze určit pomocí **stratigrafických zákonů** (korelace, superpozice), na **základě kontaktní metamorfózy** (kontaktně přeměněná hornina je starší nežli hornina, která dodala teplo potřebné k metamorfóze), pomocí **valounové analýzy** (hornina s valouny je mladší nežli hornina tvořící valouny), pomocí **bentonitů** (popel konkrétní sopečné erupce je jednoznačný časový řez: sedimentární celky pod bentonitem jsou starší nežli erupce), podle **pravidla prorážení** (těleso proseklé pravou žilou magnetické horniny je starší nežli hornina žíly), podle **posunu zlomových ploch** (zlom, který posouvá plynulý průběh jiného zlomu je mladší nežli zlom posunutý) aj.

Absolutní stáří umožňuje vyjádřit stáří celku v rocích. U geologicky starých celků se využívá radiometrické datování. Spočívá ve znalosti poločasu rozpadu primárních a sekundárních izotopů původního radioaktivního prvku. Poměr primárního radioaktivního izotopu a konečného členu řady lze vyjádřit v letech. Radiometrickým datováním se určí stáří horniny, resp. datum, kdy radioaktivní prvek vstoupil do strukturní mřížky příslušného nerostu. Určíme tedy doby krystalizace nerostu.

Proto se radiometricky datují vyvřelé horniny, resp. datum krystalizace nerosty ve vyvřelé hornině. Usazené horniny se datují nepřímou, například tím, že leží mezi dvěma polohami vyvřelých hornin (ideálně se dá určit stáří horniny, pokud leží mezi dvěma následnými lávovými výlevy).

K určení geologicky starých hornin se využívá izotopů U a Th, K a Rb, případně dalších prvků. U geologicky mladých celků lze využít ^{14}C . Tento radioaktivní uhlík vzniká v atmosféře, je zabudován do těl rostlin (a následně živočichů) a po odumření organismů jeho podíl v těle vůči neradioaktivním izotopům ^{12}C a ^{13}C klesá. Tato metoda se hodí pro určení stáří v řádu desítek tisíců let. Je výhodná pro datování organických zbytků, např. uhlíků.

Radiometrické metody musí počítat s určitou mírou nepřesnosti, protože poměr izotopů je ovlivněn např. unikem plyných izotopů v hornině, nepřesností měření aj. Proto je radiometrické datování uváděno určitým rozmezím.

Kromě určení pomocí radioaktivních izotopů nám stáří pomáhají zjistit i stopy po průletu částic vyzařovaných z radioaktivního prvku v nerostu. Při průletu nerostem částice poškodí okolní krystalovou mřížku a toto poškození lze laboratorně zviditelnit. Podle množství a délky těchto stop lze vypočítat přibližné datum vstupu radioaktivního prvku do krystalické mřížky.

Pro absolutní datování v řádu tisíců let využít **dendrochronologii**. Podle šířky letokruhů, které odráží klima v konkrétních rocích, lze zjistit období, ve kterém strom rostl. Tuto metodu lze dobře využít pro datování stáří zbytků dřeva a dřevěných produktů, např. dřevěných staveb.

Varvy jsou pásy které vznikají v ledovcových jezerech v důsledku střídání ročních období. V létě ledovec odtává a voda přináší kal, který se ukládá v jezerech. V zimě ledovec netaje a na dně jezera se ukládá organický materiál, který je koncentrován do tmavé vrstvičky. Páskované horniny, tzv. varvity, tak zachycují průběh klimatických změn v jezeře. Varvity jsou důležité pro datování a sledování klimatických změn v kvartéru, ale známe je i ze starších geologických období. Umožňují kromě jiného i přesně zjistit dobu, za kterou tyto jezerní sedimenty vznikly a intenzitu klimatických výkyvů v jednotlivých letech. Roční cykličnost můžeme zjistit v jezerech s nestejným rozvojem některých řas v průběhu roku. Příkladem jsou páskované diatomové břilice českého terciéru. V jezerech docházelo ke střídání masivního rozvoje rozsivek (světlá lamina) a ukládání jiného organického materiálu (tmavá lamina). Z mocnosti lamin a celého vrstevního sledu lze spočítat délku sedimentace v takových jezerech

STRATIGRAFICKÉ STUPNICE

Stratotyp

Část konkrétního vrstevního sledu, která slouží jako standard pro určité časové období, se označuje **stratotyp**. Obvykle se jako definuje hranice mezi dvěma jednotkami. Jedním z prvních mezinárodních stratotypů je stratotyp hranice silur/devon na Klonku u Suchomast. Pokud vybraný stratotyp splňuje všechny potřebné charakteristiky (např. rozvoj života), jedná se o holostratotyp. Pokud tyto požadavky zcela nesplňuje, tak se k původnímu stratotypu definuje stratotyp pomocný (např. v jiném typu hornin), tzv. parastratotyp. Příkladem je parastratotyp hranice silur/devon na Budňaské skále u Karlštejna nebo parastratotyp hranice spodního/středního devonu v lomu Prastav u Prahy-Holyně; hlavní stratotyp této hranice je v Německu.

Stratotypy jsou místa, která mají prvořadý mezinárodní význam a je nutno zajistit jejich přístupnost i ochranu před zánikem.

Stratigrafické stupnice

Historii Země můžeme členit do různě dlouhých a hierarchicky seřazených jednotek.

Geochronologická stupnice definuje jednotky podle ideálního času. **Chronostratigrafická stupnice** se opírá o konkrétní horninová tělesa a jejich paleontologický obsah. Lze říci, že geochronologická stupnice pracuje s absolutním časem, zatímco chronostratigrafická stupnice je založena na relativním určení stáří. Konkrétními horninovými tělesy se zabývá a hierarchicky je člení **litostratigrafická stupnice**. Stratigrafickým rozpětím konkrétního taxonu nebo několika taxonů se zabývá **biostratigrafická stupnice**.

Základními jednotkami chronostratigrafické (geochronologické) stupnice jsou eonotém (eon), eratém (éra), útvar (perioda), oddělení (epocha), stupeň (věk) a chronozone (období).

Eonotém, odráží nejdůležitější etapy vývoje Země. **Eratém** zahrnuje stovky milionů let trvající etapy vývoje života, omezené zásadními změnami ekosystémů. **Útvary** se vymezují na paleontologickém

obsahu. Trvají desítky milionů let a jsou charakterizovány velkými změnami ve vývoji života. **Oddělení** se vymezují paleontologicky, většinou spodní nebo horní hranicí konkrétního stupně. **Stupeň** je základní jednotkou, která je definovaná rovněž paleontologicky. Většinou se definuje spodní hranice na základě výskytu některého taxonu. Stupně by měly být mezinárodně korelovatelné, ale existují regionální stupně, které mají platnost pro jednotlivé původní paleogeografické oblasti. **Chronozóna** je nejnižší stratigrafická jednotka, vymezená podle charakteristické asociace fosilií.

Jednotky geochronologické stupnice mají stejné hranice, jen pracují s absolutním časem.

Litostratigrafické jednotky jsou **souvrství, člen a vrstva**. Souvrství bývají spojována do jednotky zvané skupina. Vždy se jedná o konkrétní horninová tělesa vymezená při terénním výzkumu. Vymezené jednotky mají regionální platnost.

Biostratigrafické jednotky jsou sobory hornin obsahující určitý paleontologický znak, kterým je lze odlišit od jiného souboru hornin. Obecnou jednotkou je **biozóna**.