

Metamorfované horniny

Libovolná hornina se může během geologického vývoje dostat do odlišných podmínek, než které existovaly při jejím vzniku. Na odlišné teploty, tlaky, případně složení reaguje hornina změnou stavby, fázového složení nebo chemismu a vzniká tak hornina přeměněná – metamorfovaná. Nový ráz horniny se může od původní zcela lišit nebo se některá prvky mohou zachovat a to v závislosti na intenzitě její přeměny. Procesy metamorfózy jsou velmi složité a často se stává, že velmi podobné horniny vznikají naprosto odlišnými pochody nebo naopak velmi podobné procesy vedou ke vzniku zcela odlišných hornin.

Činitelé metamorfózy

Výsledek metamorfního působení na určitý typ horniny je závislý na řadě proměnných faktorů. K nejdůležitějším patří následující:

- vlastní chemické a fázové složení horniny před metamorfózou
- teplota během metamorfózy
- všesměrný tlak
- orientovaný tlak (stress)
- dílčí tlaky fluidních fází (voda, CO₂)
- chemická aktivita roztoků v hornině
- čas – délka působení metamorfních činitelů

Hlavní typy metamorfózy podle teploty a tlaku

Metamorfní činitelé vytváří metamorfní podmínky různého rozsahu a intenzity. Podle určitých společných teplotních a tlakových znaků se rozlišují různé typy metamorfózy.

Regionální metamorfóza

Působí na rozsáhlých areálech hornin a uplatňuje se při ní především zvýšená teplota, celkový tlak, orientovaný tlak a čas. Doba trvání podmínek regionální metamorfózy se obvykle počítá v desítkách až stovkách milionů let. Podle převažujícího působení tlaku nebo teploty se vyčleňuje vysokotlaká a vysokoteplotní (periplutonická) metamorfóza. Pokud podmínky dosáhnou takových hodnot, že dochází k tavení hornin, dostáváme se do magmatického cyklu. Podle místa působení regionální metamorfózy rozlišujeme metamorfózu štítů, teplených dómů, zón hlubinných zlomů, oceánského dna nebo subdukčních zón.

Lokální metamorfóza

Tyto procesy zahrnují lokální změnu podmínek v malém rozsahu. Do této skupiny řadíme kontaktní metamorfózu spojenou s tepelným působením magmatických těles. Dojde-li k přeměnám za povrchových podmínek při vulkanickém výlevu, hovoříme o kaustické metamorfóze. Přeměny v důsledku posunů hornin na významných tektonických liniích se zpravidla shrnují do pojmu dislokační metamorfóza, kam patří i mylonitizace. Události šokové metamorfózy zahrnují nejen dopad meteorických těles (impaktivní metamorfóza), ale i krátkodobě působící změny teploty a tlaku při zemětřesení, úderech blesku nebo na kontaktech lávových proudů.

Polymetamorfóza

Je zcela běžné, že hornina projde několika metamorfními událostmi. Pokud má následná metamorfóza silnější účinky než předchozí, hovoříme o progresivní metamorfóze. Pokud je následná přeměna slabší než původní, používá se označení retrográdní metamorfóza (diaforéza).

Ultrametamorfóza

Při těchto procesech se hornina dostává do stavu, kdy se některé její složky taví (metatekt) a jiné zůstávají pevné (substrát). Vzniklé horniny se označují jako migmatity a mají velmi specifické stavby, při jejichž vzniku se uplatňují zejména procesy parciální anatexe, metasomatózy, injekce granitoidního magmatu a metamorfní diferenciace. Často působí několik činitelů zároveň.

Hlavní typy metamorfózy podle chemického složení

Vedle tlaku a teploty jsou důležitým kritériem při metamorfóze i chemické reakce mezi pevnou, kapalnou a plynnou fází horninového systému. Změna chemického složení může být reakce horniny na změnu fyzikálních podmínek a může docházet k uvolňování látek z horniny nebo naopak k přínosu z okolí. Metamorfóza bez chemických změn je označována jako izochemická a je velmi vzácná.

Metamorfóza chemicky konzervativní

Při těchto přeměnách se původní složení mění jen velmi omezeně, obvykle lze podle složení vzniklé metamorfované horniny usuzovat na zdrojovou horninu. S progresivní metamorfózou je prakticky vždy spojeno ochuzení horniny o těkavé složky, především se jedná o vznik

minerálů s nižším nebo nulovým obsahem vody. Odchozí těkavé komponenty mohou z horniny odnášet (mobilizovat) některé prvky, které pak v krajním případě mohou ve vhodných strukturách vytvářet tzv. metamorfogenní ložiska.

Metamorfóza alochemická (metasomatóza)

Při metamorfických pochodech alochemické metamorfózy dochází k podstatným změnám celkového složení ve spojitosti s odnosem a přínosem látek.

Metasomatická přeměna se podle příčin může dělit:

- metamorfická diferenciací – přerozdělení látek vede ke vzniku poloh výrazně odlišného složení, např. páskované textury rul a amfibolitů. Přeskupení látek probíhá na vzdálenost několika desítek metrů.
- bimetasomatóza – jde o proces sblížení chemismu na styku dvou chemicky zcela odlišných prostředí. Vytvářejí se při tom zóny rovnoběžné s kontaktem, které mají přechodné složení. Typickými příklady jsou reakční skarny (taktity) mezi granity a mramory.
- infiltrační metasomatóza – je děj spojený s pronikáním cizorodého tělesa v metamorfických podmínkách. Mezi pronikající a pronikanou horninou dochází k reakcím a ke vzniku ostrých nebo difúzních hranic. Příkladem je přeměna hornin v okolí pronikajících hydrotermálních žil.

Klasifikace metamorfovaných hornin

Volba klasifikačních kritérií pro metamorfované horniny je poměrně široká, protože při jejich vzniku hraje významnou roli velké množství faktorů. Nejčastěji používanými kritérii jsou:

1. Petrografické složení, které charakterizuje petrografické znaky a vlastnosti hornin.
2. Typ a stupeň metamorfózy rozděluje horniny do formací. Toto kritérium nerespektuje výchozí horninu.
3. Typ výchozí horniny vyžaduje určitou schematizaci, např. psamity, pelity.

V následujícím systematickém přehledu bude použita klasifikace, která postupně zohledňuje tato kritéria:

- rámcový typ výchozí horniny (např. kyselý magmatit, pelit)
- typ a stupeň intenzity metamorfózy (regionální, kontaktní; slabá, střední, silná)
- minerální složení metamorfované horniny (biotitová, amfibolová, sillimanitová či cordieritová tula)

Složitost klasifikace metamorfovaných hornin dokumentuje fakt, že ze stejného typu mohou vzniknout dvě zcela odlišné horniny a z dvou různých typů může vzejít jedna metamorfovaná hornina. Vše závisí nejen na složení hornin, ale hlavně na kombinaci jednotlivých činitelů metamorfózy.

Slabě metamorfované kyselé magmatity

Slabou regionální metamorfózou kyselých magmatických, ale častěji vulkanických hornin nebo jejich tufů vznikají **porfyroidy**. Často mívají reliktní struktury se zbytky „vyrostlic“ křemene a živců. Základní tkáň mezi porfyroblasty je tvořena jemnozrnnou hmotou křemene, živce, sericitu a chloritu. Převládajícím znakem stavby je spíše deformace než rekrystalizace. Podobné horniny jsou **porfyritoidy**, které vznikají slabou metamorfózou ryodacitů a dacitů (dříve porfyrity). Vzhledem k porfyroidům mají obvykle vyšší zastoupení chloritu.

Sericitické břidlice vznikají obvykle z hornin bez porfyrických vyrostlic, nebo byly vyrostlice metamorfózou rozdraceny. Sericitické břidlice ale mohou vzniknout i metamorfózou klastických sedimentů.

Silně metamorfované kyselé magmatity

Z granitoidních hornin typu alkalických granitů, granitů a granodioritů vznikají chemicky i fázově podobné **leukokratní ruly**. Skládají se z křemene, K-živců, plagioklasu a v menším množství obsahují slidy, amfiboly nebo pyroxeny. Obvykle mají paralelní textury a typické jsou jejich blastické struktury. V extrémním případě mohou mít leukokratní ruly znaky polyschematických staveb. Jako **ortoruly** by se měli označovat pouze horniny, které vznikly přeměnou granitoidů nebo jejich žilných ekvivalentů. Detailnější členění leukokratních rul se provádí na základě poměru plagioklasu a K-živce a podle obsahu tmavých minerálů (např. biotitové nebo amfibolové).

Při nejvyšších stupních metamorfózy vznikají **leptynity** (světlé granulity) složené z K-živce, plagioklasu, křemene a granátu. Akcesoricky jsou přítomny biotit, kyanit, sillimanit, spinel nebo rutil. Křemen je často zploštělý (diskovitý), K-živce výrazně peritické. Jejich složení odpovídá rulám nebo ryolitům.

Granulity vznikly v granulitové facii a obsahují diskovitý křemen, K-živec, plagioklas, biotit, granát, kyanit a někdy hypersten. Mají často páskovanou texturu, v ostře ohraničených polohách se mění zastoupení biotitu.

Kontaktně metamorfované kyselé magmatity

Ve vrcholových částech granitických těles a částečně i v jejich plášti dochází k metasomatickým přeměnám, které jsou způsobeny přínosem Si, Fe, B, Li, Sn a W. Původní granitické horniny se rozkládají (především živce) za vzniku tzv. **greisenů**. Významnými minerály jsou pak křemen, muskovit, topaz, turmalín, Li-slídy nebo Sn-W rudní minerály. Metasomatický přínos Na, Fe, Zr, F a vzácných zemin umožňuje vzniku **fénitů**.

Převážně tlakově metamorfované bazické vyvřeliny

Z velmi podobných bazických magmatitů mohou vznikat velmi odlišné minerální asociace, především v závislosti na původním obsahu vody.

V prvním stupni tlakové metamorfózy, při mírně zvýšeném teplotním režimu vznikají zeolity typu stilbitu nebo laumontitu. Tyto minerály však často vznikají i v závěru magmatického vývoje a proto za skutečně metamorfní se považují prehnit a pumpellyit. Na jejich vznik v metamorfních podmínkách bezprostředně navazuje vznik chloritu, aktinolitu a rozpad skelné fáze.

Při působení silného směrného tlaku vznikají tzv. **modré břidlice** (glaukofanity). Minerální asociaci obvykle tvoří glaukofan, lawsonit, pumpellyit, epidot, křemen, albit a chlorit.

Za velmi vysokých tlaků vznikají **eklogity**, masivní nebo páskované horniny tvořené monoklinickým pyroxenem a granátem. V menším množství mohou být přítomny plagioklasy, glaukofan, kyanit, rombický pyroxen a rutil. Častá je diablastická stavba se symplektitovými srůsty pyroxenu a plagioklasu. Eklogity tvoří drobná tělesa v rulách, migmatitech, peridotitech nebo kimberlitech.

Středně a silně regionálně metamorfované bazické vyvřeliny

V podmínkách střední metamorfózy vznikají z gaber, dioritů, bazaltů, andezitů nebo bazických tufů obvykle jemnozrnné **zelené břidlice**. Hlavními složkami jsou křemen, albit, chlorit, epidot a aktinolit. Podle převažujících minerálů je struktura granolepidoblastická nebo granonematoblastická. Textura je plošně paralelní, kompaktní horniny se někdy označují jako zelené skaliny.

Při regionální i kontaktní metamorfóze středních a vyšších stupňů vznikají amfibolity.

Původně se může jednat o sedimentární horniny (označení paraamfibolity), většinou ale vznikají z bazických až ultrabazických magmatitů (tzv. ortoamfibolity). Typickou minerální asociací je amfibol a plagioklas, někdy je rovněž přítomen pyroxen, křemen, epidot, biotit, granát a titanit. Textura je kompaktní nebo výrazně břidličnatá, struktury nejčastěji nematogranoblastické až granonematoblastické, někdy poikilitické. Při středních stupních

metamorfózy vznikají horniny označované jako albit-epidotové amfibolity, při vyšších stupních granátové nebo pyroxenové amfibolity. Amfibolity mohou být postiženy intenzivní migmatitizací, mají pak obvykle polyschematické stavby.

Metasomatické přeměny bazických vyvřelin

U hlubinných magmatických hornin se můžeme setkat s amfibolizací, uralitizací, epidotizací nebo albitizací. Běžnou přeměnou efuzivních hornin je spilitizace, přeměna plagioklasů na albit. Propylitizace, častá přeměna andezitů, je charakteristická přeměnou živců a tmavých minerálů na albit, minerály epidotové skupiny, chlorit a pyrit.

Metamorfované ultrabazické horniny

Při slabé regionální metamorfóze ultrabazických hornin vznikají **krupníky**. Jsou tvořeny převážně mastkem, podřadně je zastoupen chlorit, tremolit a karbonáty. Většinou tvoří drobnější tělesa v metamorfovaných komplexech a vznikají za silného přispění hydrotermálních roztoků, které působí na ultrabazické, často již metamorfované horniny. Podobným typem jsou **mastkové břidlice**, které mají obvykle monominerální složení, kromě masatku obsahují jen akcesorickou přítomnost chloritu nebo tremolitu. Zpravidla ve stejné asociaci se vyskytují **chloritové břidlice**, jejichž hlavním minerálem je chlorit a ve vedlejším množství je zastoupen mastek a tremolit. Oba typy břidlic jsou výrazně břidličnaté, jemně až středně zrnité s lepidoblastickou strukturou. Horniny s chloritem vznikají za nižších teplot, v přírodě se často setkáme se zonální stavbou ultrabazických těles složených od centra k okraji z krupníku, mastkové břidlice a chloritové břidlice.

V podmínkách střední metamorfózy vznikají z ultrabazických hornin (hornblendity, hadce) monominerální horniny typu **aktinolitových (tremolitových) břidlic, gedritů, antofylitových břidlic a amfibolitů**.

Při vysoké regionální metamorfóze vznikají převážně z peridotitů horniny označované jako **serpentinity** (hadce). Z podstatné části jsou tvořeny minerály serpentínové skupiny (antigorit, chrysotil, lizardit), přítomny mohou být zbytky olivínu, pyroxenu nebo granátu. Akcesoricky bývají přítomny mastek a rudní minerály jako magnetit nebo chromit. Obvykle jsou to masivní černé horniny s typickými strukturami – mřížovitou, smyčkovitou nebo kelyfitickou.

Metamorfované tufy a tufity

Složení původních vulkanosedimentárních hornin může být velmi variabilní, proto vznikají i odlišné metamorfované horniny. Tufy jsou zpravidla metamorfovány do podobných typů hornin jako jejich magmatické ekvivalenty. U tufitů se kombinuje sedimentární materiál

s vulkanickými pyroklasticky. Na jejich složení závisí konečný charakter metamorfované horniny.

Bazický vulkanický materiál v jílových břidlicích vede ke zvýšenému obsahu Na, Fe a Mg a během slabé metamorfózy vzniká chlorit ve fylitech, při střední metamorfóze klinozoisit a epidot ve svorech a při nejvyšších stupních pyroxen a amfibol v rulách. Přítomnost kyselého vulkanického materiálu může vést ke vzniku kvarcitů nebo leukokratních rul.

Většina tufitů má charakteristickou páskovanou texturu, která se velmi často zachovává i během metamorfózy. Příkladem mohou být páskované leptynity.

Mezi intenzivně metamorfované tufity se řadí tzv. **erlán-rulové, amfibolit-rulové nebo erlán-amfibolitové stromatity**. Jejich původní nehomogenita podpořená procesy magmatické diferenciace umožnila vznik velmi komplikovaných polyschematických staveb. Regionální metamorfózou vulkanosedimentárních formací mohou vznikat **skarny**. Jejich složení je granát (andradit) pyroxen, epidot, amfibol nebo kalcit. Často bývají důležitými ložisky železných rud (magnetit).

Regionální metamorfóza klastických sedimentů – pelity, psamity

Metamorfózou sedimentárních hornin dochází často ke zvýraznění jejich rozdílů v chemickém a fázovém složení, procesy homogenizace se uplatňují při velmi dlouhém působení metamorfních podmínek.

Čistě pelitické sedimenty jsou poměrně vzácné, obvykle mají příměs křemenných klastů nebo karbonátů. Souhrnně jsou takové horniny označovány jako lutity. Sled metamorfovaných hornin, které vznikají postupně narůstající metamorfózou z lutitů je fylit – svor – rula – migmatit (pyroxenická rula).

Při nízkém stupni metamorfózy (všesměrný tlak, mírně zvýšená teplota) vznikají **fylyty**. Hlavními složkami jsou křemen, albit, sericit, místy muskovit a chlorit. Akcesoricky mohou být přítomny chloritoid, magnetit, kalcit nebo grafit. Hornina je obvykle jemně zrnitá, s výraznou tenkou folií, hedvábným leskem na foliačních plochách a často s detailním provrásněním. Typické jsou čočky sekrečního křemene. Struktura je blastopelitická. Slaběji metamorfovanou horninou je **fylitová břidlice**, hranice počátku metamorfózy se váže na přeměnu illitu na sericit nebo organické substance na grafit. Na opačné straně, při zvyšující se metamorfóze přibývá chloritu a biotitu a hornina přechází do **fylitových svorů**.

Ve středních podmínkách metamorfózy (teplota všesměrný i směrný tlak) vznikají svory. Drobně až středně zrnité horniny se skládají z křemene, muskovitu, biotitu a kyselých plagioklasů. Porfyroblasty mohou tvořit granát, staurolit nebo kyanit, akcesoricky bývají

zastoupeny amfibol, kalcit, grafit, turmalín, apatit nebo zirkon. Uspořádání slídových minerálů podmiňuje velmi zřetelnou foliaci, časté je střídání poloh bohatých křemenem a slídami. Struktura je často porfyroblastická s lepidogranoblastickou až granolepidoblastickou základní tkání. Svory se často klasifikují na základě porfyroblastů (granátový, staurolitový nebo kyanitový svor) nebo podle převažující slídy (muskovitový, dvojslídny, paragonitový). Ve vyšším metamorfním stupni (vysoké teploty, střední všesměrný i směrný tlak) vznikají z jílovitých břidlic a lutitů krystalické břidlice označované jako **pararuly**. Přítomny jsou především křemen, plagioklas, K-živec a biotit, v některých typech se objevuje muskovit, pyroxen, amfibol, granát, cordierit, sillimanit a některé další akcesorie. Textura je většinou plošně paralelní, často páskovaná nebo okatá. Typické struktury jsou porfyrické, granoblastické nebo lepidogranoblastické. Kritéria pro přesnější pojmenování pararul jsou různá:

- obsah živců (plagioklasové nebo s převahou K-živce)
- podle zastoupení slíd (biotitové, dvojslídny, muskovitové pararuly)
- podle typické akcesorie (s granátem, cordieritem, sillimanitem)
- podle stavby (celistvé, okaté, stébelnaté) apod.

Ruly obvykle vytváří rozlehlé areály, do kterých intrudují magmatická tělesa a teplotní ovlivnění rul dává vzniknout zonální stavbě pláště těchto těles.

V oblasti nejsilnějšího metamorfního působení vnikají z klastických sedimentů **migmatity**. Mají prakticky stejné složení jako pararuly, ale výrazně se odlišují svými texturami.

Charakteristické jsou především polyschematické stavby, kdy část horniny byla natavena (metatekt) a část ještě zůstala v pevném stavu (substrát). Při velmi intenzivní metamorfóze může docházet k metamorfní homogenizaci a v krajním případě dochází k úplnému tavení a vzniku granitických hornin.

Kontaktní metamorfóza klastických sedimentů

Z pelitických a psamitických hornin vznikají při kontaktní metamorfóze různé typy hornin v závislosti především na zvyšující se teplotě.

V kontaktní zóně magmatických těles vznikají silně břidličnaté horniny vzhledu fylitů, ale se složením křemene, živec, muskovit a biotit. Typické jsou skvrnitě nebo porfyroblastické struktury, zejména shluky grafitu, magnetitu, chloritu nebo muskovitu označované jako „plody“ nebo porfyroblasty andalusitu (chiastolitu) a cordieritu. Pro slaběji metamorfované horniny se používá označení **skvrnitě břidlice**, silnější postižení je charakteristické pro **plodové břidlice**.

Za vyšších teplot a i vyšších tlaků kontaktní metamorfózy vznikají **kontaktní rohovce**. Obvykle jsou jemnozrnné s všesměrným uspořádáním a vykazují granoblastickou nebo dlažební strukturu. Mohou obsahovat porfyroblasty andaluzitu nebo cordieritu. Minerální složení rohovců je závislé na složení původní horniny, např. hliníkem bohaté sedimenty umožňují vznik andaluzitu, cordieritu, sillimanitu a přítomny jsou rovněž křemen, ortoklas, biotit a albit. Vyšší obsahy vápníku v původních horninách jsou doprovázeny vznikem pyroxenů nebo amfibolu a v krajním případě mohou vznikat tzv. vápento-silikátové rohovce – **erlány**. Při vzniku rohovců obecně se velkou měrou uplatňuje migrace látek v obou směrech, tj. z magmatu i do magmatu.

Metamorfované psamity

Regionálně i kontaktně metamorfované slepence se označují jako **metakonglomeráty**. Často mají reliktní struktury. Při slabší metamorfóze rekrystaluje přednostně základní hmoty, při silnější i jednotlivé valouny. Uplatní-li se orientovaný tlak jsou valouny deformované a protažené.

Metakvarcity vznikají nejčastěji přeměnou křemenců a pískovců. Hlavním minerálem je křemen, dále mohou být zastoupeny sericit, muskovit, biotit, grafit, sillimanit nebo pyroxen.

Metamorfované karbonátové horniny

Různým stupněm metamorfózy vápenců a dolomitů vznikají krystalické vápence a dolomity, často souhrnně označované jako **mramory**. Typická je granoblastická nebo dlažbovitá struktura a bílá nebo světle šedá barva. Nekarbonátové minerály mohou být soustředěny do barevně odlišných poloh a pásků, často intenzivně zvrásněných. Podle množství dolomitu se rozlišuje řada typů: kalcitické mramory, dolomitické mramory nebo krystalické vápence s dolomitickou příměsí. Silikátové minerály jsou zastoupeny různou měrou, nejčastěji forsterit, flogopit, aktinolit, tremolit, křemen, albit nebo epidot. Na kontaktu s magmatity vznikají mramory s wollastonitem, vesuviánem a grosulárem. Mramory obvykle tvoří polohy a nevelká tělesa.

Metamorfované slínité horniny

Kontaktní i regionální metamorfózou sedimentů s podstatným podílem karbonátové a jílovitá složky (slíny) vznikají vápenato-silikátové **pyroxenické ruly a rohovce**, často označované jako **erlany**. Obvykle tvoří polohy nebo čočky v rulách, velmi často jsou spjaty s mramory, do kterých pozvolna přechází. Jsou to kompaktní horniny s páskovanou texturou a granoblastickou strukturu, převládajícími minerály jsou křemen, plagioklas a pyroxen.