

Neživá příroda 1

Metamorfované horniny
Vznik a klasifikace

METAMORFÓZA HORNIN – DEFINICE

Metamorfóza (přeměna) hornin je dynamický proces změny stavby a minerálního složení výchozí horniny jako reakce na změnu okolního tlaku, teploty nebo chemického prostředí. Za dostatečně dlouhou dobu vzniká *metamorfovaná hornina*.

Metamorfní procesy pozvolna přecházejí od procesů diagenese sedimentů k procesům magmatického tavení hornin.

- **Spodní hranice metamorfózy** navazuje na diagenetické procesy v sedimentech (anchimetamorfóza). Teplota počátku metamorfózy není daná, v jílových sedimentech se uvádí okolo 150 °C. Začínají se zvolna měnit jílové minerály na sericit a vznikají další minerály typické pro nejslabší metamorfózu (pyrofyllit, prehnit).
- **Horní hranici metamorfózy** definuje přechod do magmatického cyklu, tzn. více jak 30 % horniny je přeměněno na taveninu. To se děje při teplotách kolem 1000 °C, v závislosti na tlaku, složení a obsahu vody v hornině.

K základním charakteristikám metamorfózy patří:

- procesy probíhají v zemské kůře
- výchozí může být libovolná hornina (magmatická, sedimentární i metamorfovaná)
- proces přeměny minerálů probíhá v pevném stavu (bez tavení)
- fluida v hornině jsou nedílnou součástí metamorfózy
- konečná podoba horniny závisí na jejím složení a metamorfních činitelích (P, T, X)

METAMORFNÍ PROCESY

Metamorfní reakce

Pokud se změní termodynamické parametry v hornině, dochází k reakcím směřujícím k novému minerálnímu složení horniny. Vzniká nová *minerální paragenese*. Pro nové termodynamické podmínky vzniknou charakteristické, tzv. **indexové minerály**. Významnou roli zde hrají fluida na hranici minerálních zrn, která působí jako transportér chemických komponent při metamorfních reakcích.

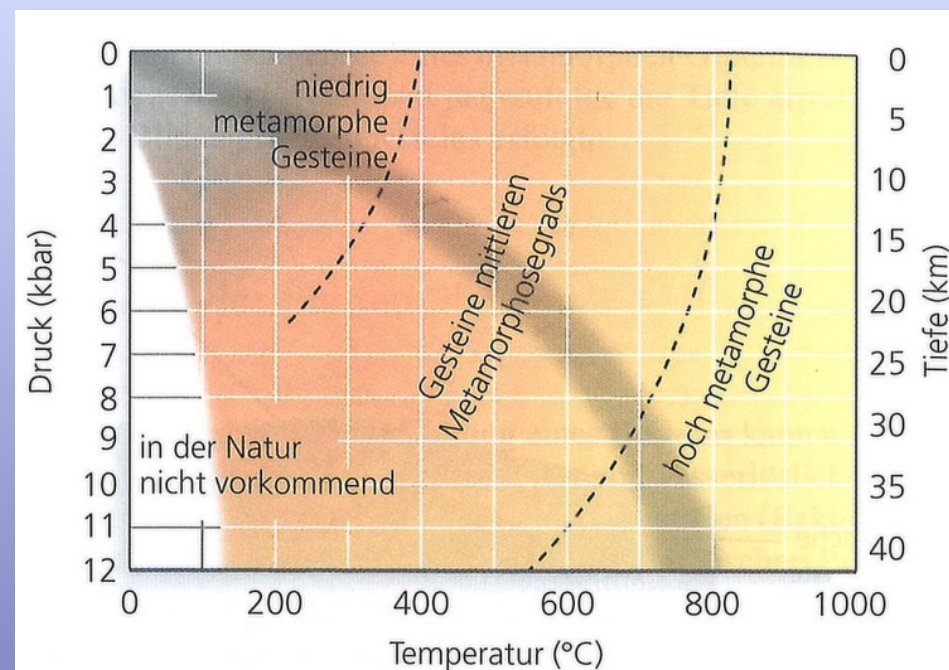
Metamorfní reakce jsou ovlivňovány *metamorfními činiteli*: teplotou, tlakem, fluidními roztoky a časem.

Prográdní a retrográdní metamorfóza

Při stoupající teplotě a často i tlaku dochází k postupnému vzniku minerálních asociací chudých na vodu a CO_2 a výsledná hornina se označuje jako *prográdně metamorfovaná*. V opačném případě, při poklesu tlaku a teploty, dochází ke vzniku minerálních asociací bohatších na volatilní složky a proces se označuje jako *retrográdní metamorfóza* (diaforéza).

Změny chemismu horniny

- *Izochemická* metamorfní přeměna probíhá beze změny chemického složení horniny. Hornina se svým okolím vyměňuje pouze fluida (H_2O a CO_2).
- *Alochemická* metamorfóza (metasomatóza): hornina se chová jako otevřený systém, který se svým okolím vyměňuje chemické látky. Příkladem je reakce magmatické taveniny s plášťovými horninami odlišného složení.

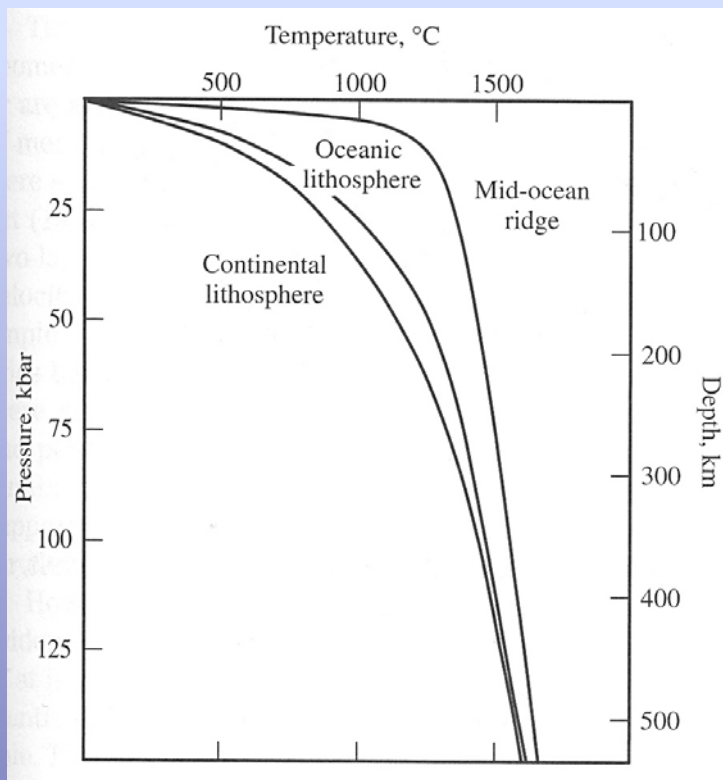


METAMORFNÍ ČINITELÉ – TEPLOTA

V zemské kůře vzrůstá teplota s hloubkou, průměrný geotermický gradient je 30 °C na 1 km.

Tepelná energie v zemské kůře pochází:

- z procesů plášťové konvekce
- rozpadu radioaktivních prvků v plášti
- vzniká třením při tektonických deformacích
- vystupuje v plášťových diapirech



Teplota v hornině hraje významnou roli při metamorfóze hornin – určuje minerální složení nově vznikající minerální asociace.

Důsledky vyšší teploty:

- urychluje chemické reakce
- podporuje procesy dekarbonatizace a dehydratace
- usnadňuje pohyb fluidní fáze
- dodává aktivační energii pro destrukci krystalové mřížky původních minerálů
- umožňuje snadnější pohyb iontů v krystalové mřížce
- podporuje substituci v minerálech.

V závislosti na tlaku a složení je horní hranice pro metamorfózu kolem 800 - 1000 °C, potom dochází ke vzniku magmatické taveniny.

METAMORFNÍ ČINITELÉ – TLAK

Na horninový masiv působí tlak dvěma způsoby:

- **všesměrný** (litostatický) **tlak** působí na horninu ve všech směrech stejnou hodnotou a do hloubky stoupá
- **orientovaný tlak** (stress) působí v určitém směru a je omezen jen na určité části horninového masivu

Orientovaný tlak (stress)

- ✓ vzniká v důsledku deformačních procesů v hornině a je omezen na okolí tektonicky namáhaných míst – zlomy, subdukční zóny, transformní rozhraní
- ✓ působení orientovaného tlaku se projevuje na stavebních znacích metamorfovaných hornin (foliace a lineace)
- ✓ orientovaný tlak zvyšuje rozpustnost minerálů, urychluje chemické reakce, podporuje drcení zrn a tím rekrystalizaci celé horniny

1 bar = 0,1 MPa

1 bar = 0,98 atm

1 kbar = 100 MPa

V 10 km pod povrchem:
250-300 MPa = 2,5-3,0 kbar

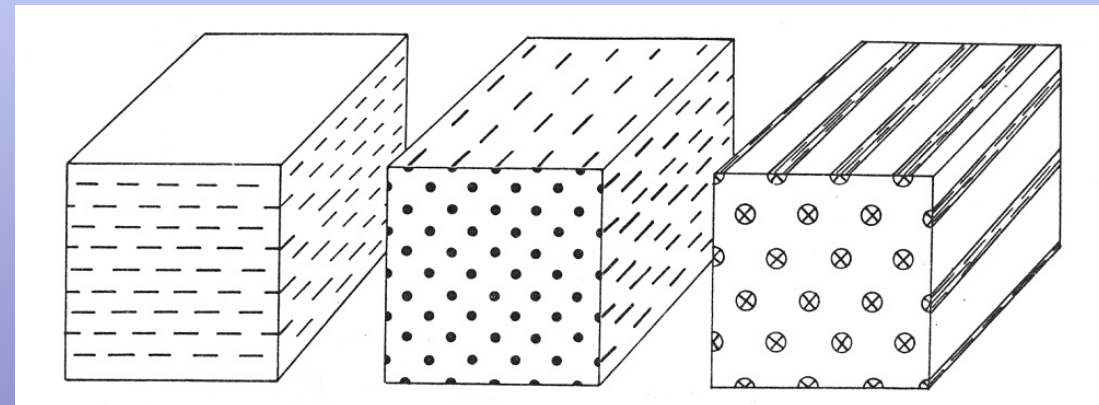
Všesměrný (litostatický) tlak

Jeho velikost vzrůstá směrem do hloubky asi o 25 až 30 MPa na každý kilometr. V hloubce jeden kilometr platí (pro granity):

$$P = 1000\text{m} \cdot 2700\text{ kg/m}^3 \cdot 9,8\text{ m/s}^2 = \mathbf{26,5\text{ MPa}}$$

Tlak často působí proti teplotě, např. při vyšším tlaku:

- je brzděn proces dehydratace a dekarbonatizace
- zmenšují se póry v hornině
- omezuje se proudění roztoků
- vznikají minerály s těsnější krystalovou mřížkou.



METAMORFNÍ ČINITELÉ – FLUIDA A ČAS

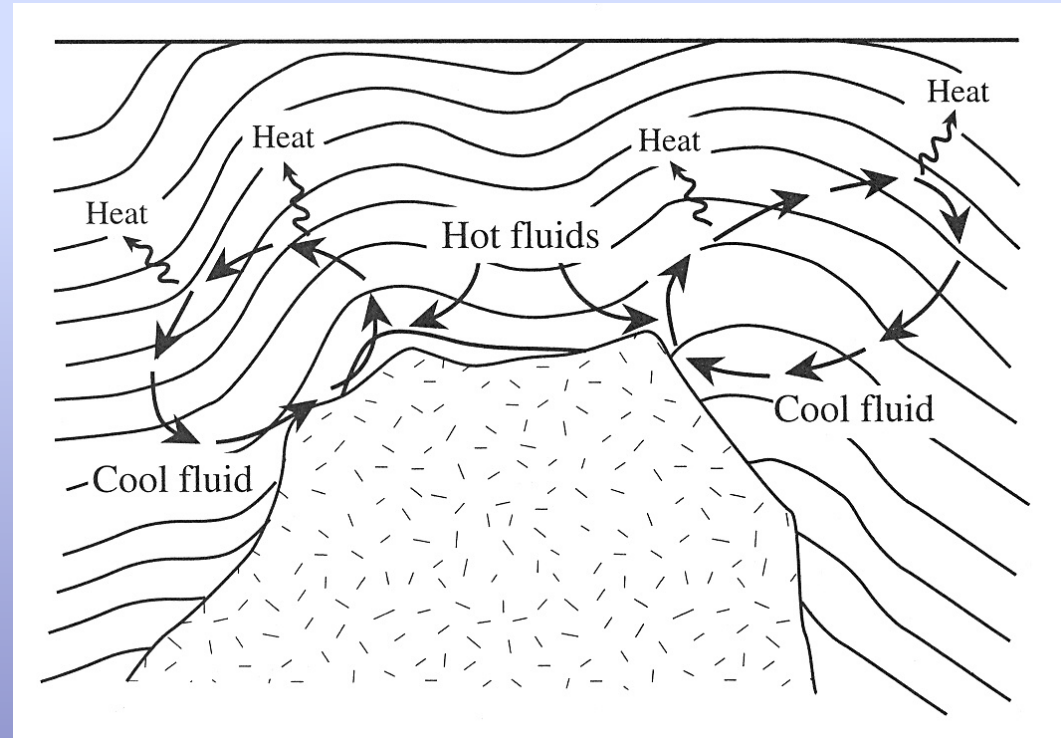
Složení metamorfovaných hornin se během metamorfózy může měnit – odnos a přínos látek zajišťuje v horninovém masivu *fluidní fáze*.

Většina fluid v metamorfním procesu se pohybuje v nadkritickém stavu, tedy nelze rozlišit rozdíl mezi plynnou fází a kapalinou. Všechny roztoky mají definovaný tlak, který se od tlaku okolní horniny může lišit, například v puklinách.

Přítomnost fluidních roztoků v hornině významně urychluje metamorfní reakce a přeměny.

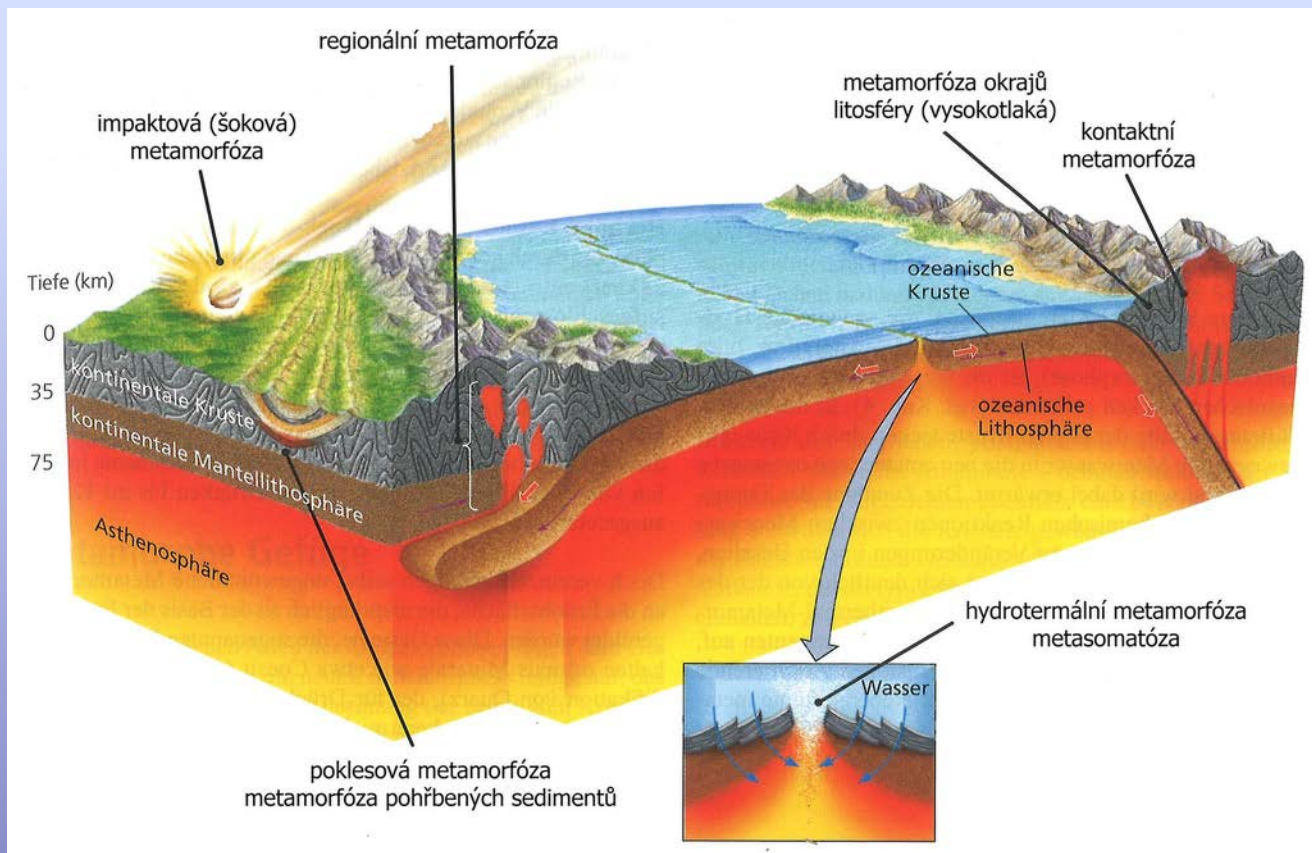
Většina metamorfních procesů jsou velmi dlouhodobé události. Metamorfóza probíhá desítky miliónů let a většina chemických reakcí je pozvolná. Také změny metamorfních činitelů, zejména teploty a tlaku, probíhají velmi pomalu.

Fluida (fluidní fáze, roztoky, volatilní složky) se pohybují v tenké vrstvě na hranici minerálních zrn, horninovými póry, mikrotrhlinami nebo horninovými puklinami. V jejich složení převládá voda a CO_2 , menší měrou jsou přítomny CH_4 , HCl , HF , O_2 , H_2 nebo H_3BO_3 .



TYPY METAMORFNÍCH UDÁLOSTÍ

Metamorfované horniny vznikající v určitých P-T-X podmínkách dokumentují geologické události v horninových komplexech, zejména procesy deskové tektoniky. Metamorfní činitelé mohou působit v různém rozsahu, mohou mít lokální i regionální význam.



Regionální metamorfóza

Zvýšená teplota a tlak působí v rozsáhlých areálech zemské kůry, většinou v dlouhém časovém období.

Kontaktní metamorfóza

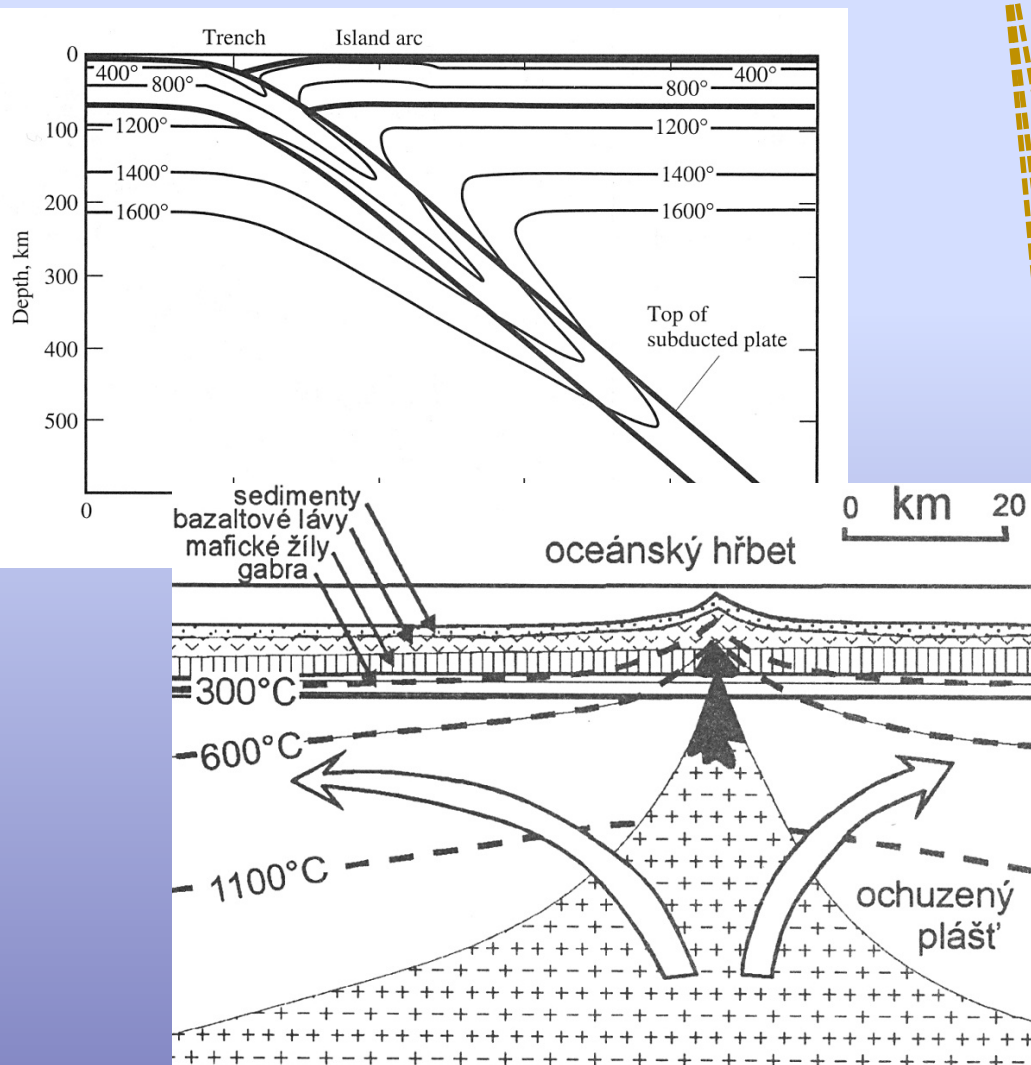
Působí lokální zvýšení teploty, nejčastěji v okolí magmatických intruzí. Horniny kontaktního dvora jsou tak metamorfovány.

Hydrotermální metamorfóza – metasomatóza

Na procesu přeměny hornin se významně podílí fluida v pórech a puklinách horniny. Zpravidla se omezuje na menší oblasti v dosahu působení hydrotermálních roztoků.

REGIONÁLNÍ METAMORFÓZA

Regionální metamorfóza se liší podle oblasti zemské kůry, ve které k ní dochází.



Regionální metamorfóza štítů a platforem je metamorfózou v konsolidované části kontinentální litosféry, která prošla zpravidla více metamorfními událostmi (polymetamorfóza).

Poklesová metamorfóza (metamorfóza pohřbených sedimentů) probíhá v sedimentačních bazénech vyplněných mocnými sledy sedimentárních a vulkanických hornin.

Regionální metamorfóza v orogenních oblastech probíhá zpravidla za středních až vyšších tlaků a je doprovázena intenzivními tektonickými událostmi a magmatickou činností.

Regionální metamorfóza okrajů litosféry probíhá v subdukčních zónách při vysokém tlaku a relativně nízké teplotě.

Regionální metamorfóza oceánská dna je přeměnou bazických hornin, na které podílí značné množství roztoků, zpravidla probíhá při nízké teplotě a tlaku.

KONTAKTNÍ METAMORFÓZA A METASOMATÓZA

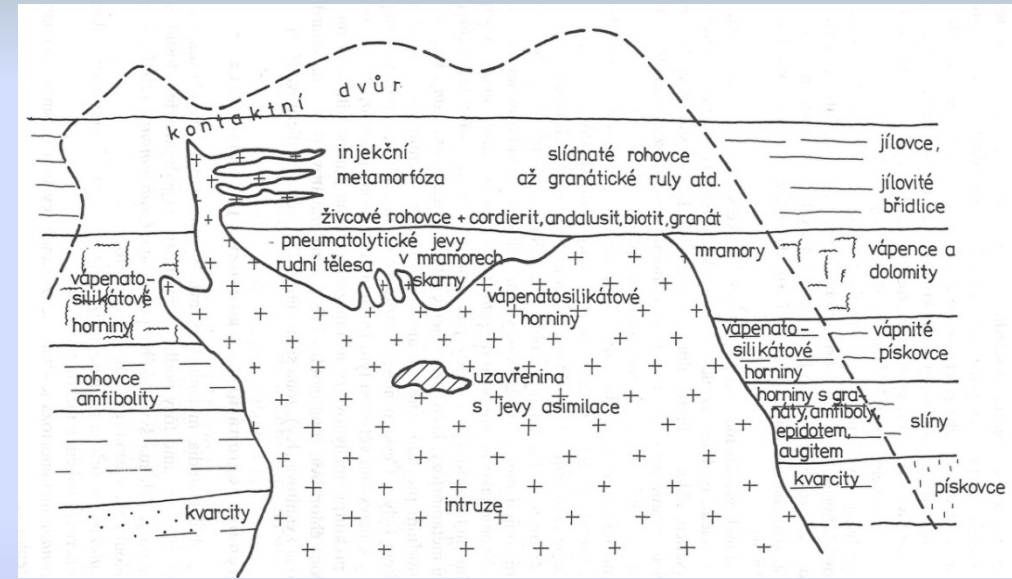
Periplutonická metamorfóza je typ kontaktní metamorfózy probíhající na kontaktu horkého plutonického tělesa a okolního pláště. Působením teploty vzniká kontaktní aureola (kontaktní dvůr).

Kataklastická metamorfóza probíhá v těsné blízkosti tektonických poruch a hlavním činitelem je orientovaný tlak. Výsledkem je především mechanické rozrušení horniny.

Šoková (impaktní) metamorfóza je proces spojený s dopadem meteorického tělesa na zemský povrch. Přeměna původních hornin se děje při vysokém tlaku a teplotě, ale v krátkém časovém okamžiku.

Termická metamorfóza je proces náhlého zvýšení teploty a lokální přeměny hornin. Většinou je spojena s úderem blesku nebo přírodními požáry (např. uhelných slojí).

Hydrotermální metamorfóza (metasomatóza) je lokální přeměna hornin působením mineralizovaných roztoků (fluid). Je spojena s vývěry hydrotermálních roztoků na mořské dno nebo působením hydrotermálních roztoků v okolí puklin a zlomů.

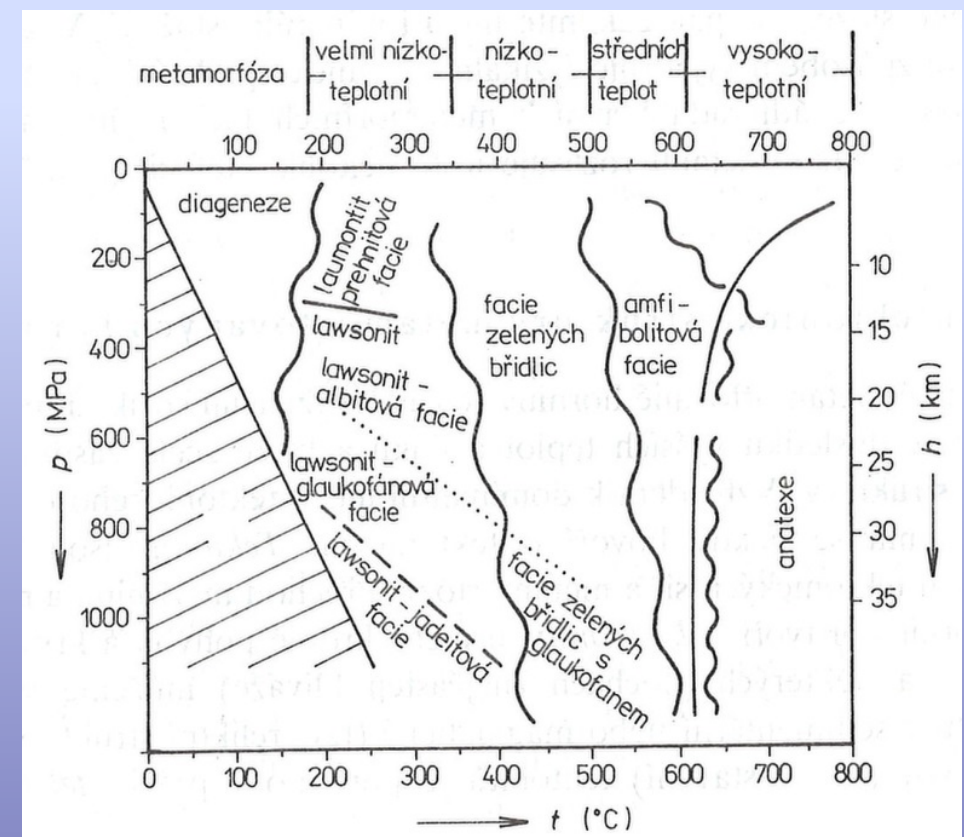
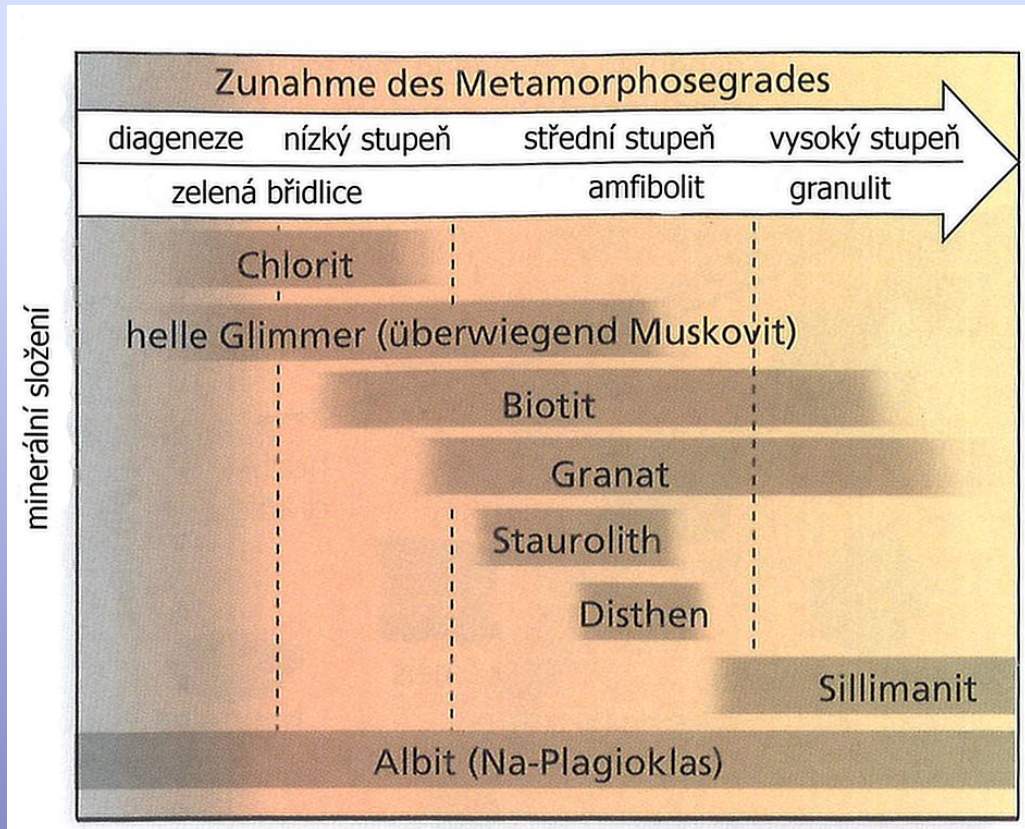


METAMORFNÍ FACIE

Pro stanovení PT podmínek metamorfózy jsou jako geotermometry a geobarometry používány *indexové minerály*. Přítomnost těchto minerálů definuje metamorfní zóny, které vznikaly za přibližně stejných tlakových a teplotních podmínek. Hranice těchto zón jsou označovány jako *izogrady*. Na nich dochází k přeměně méně stabilního minerálu na stabilní.

Metamorfní prostor je rozdělen podle odlišných teplotně-tlakových podmínek do **metamorfních facií**:

- v dané metamorfní facií vznikají z hornin odlišného složení různé metamorfované horniny
- z hornin stejného složení vznikají v různých metamorfních faciích odlišné metamorfity.



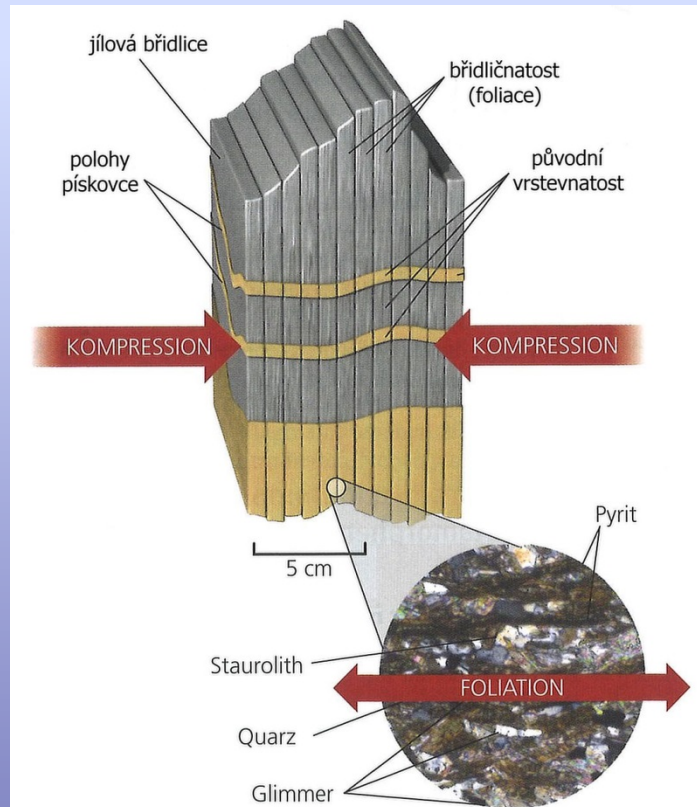
STAVBY METAMORFOVANÝCH HORNIN

Podobně jako u magmatických a sedimentárních hornin dělíme stavby metamorfitů podle způsobu a typu uspořádání stavebních částic (minerálů):

- **textura** popisuje stavební znaky podmíněné prostorovým uspořádáním minerálních součástí.
- **struktura** popisuje tvar, velikost a vzájemné sepětí minerálů.

Jednou z nejtypičtějších staveb metamorfitů je rovinné nebo zvlněné, přibližně paralelní uspořádání stavebních ploch označované jako **foliace** nebo **břidličnatost** (metamorfní vrstevnatost).

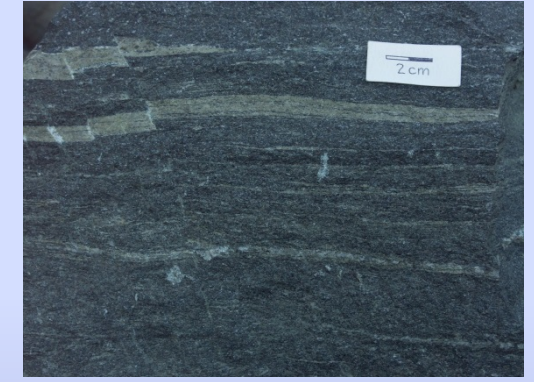
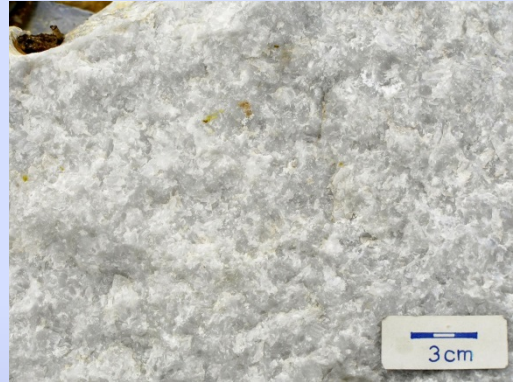
Příčinou je paralelní uspořádání vrstevnatých minerálů, zejména slíd, způsobené zejména působením tlaku. Plocha těchto minerálů se orientuje kolmo na tlak působící v hornině.



TEXTURY METAMORFOVANÝCH HORNIN

Podle homogenity stavby metamorfovaných horniny můžeme rozlišit textury:

- ✓ monoschematické, tvořené hmotou určitého minerálního složení,
- ✓ polyschematické (chorismity), ve kterých lze rozlišit více horninových složek (stromatity, ptygmatity).



Z hlediska anizotropie stavby horniny vyčleňujeme dva typy textur:

- ✓ všesměrné (masivní), horniny bez zřetelného usměrnění svých součástek.
- ✓ paralelní, najdeme u hornin se zřetelnou anizotropií stavby (plošně paralelní, páskovaná, okatá, stébelnatá).



STRUKTURY METAMORFOVANÝCH HORNIN

Struktury metamorfovaných hornin rozdělujeme podle zachování předmetamorfních staveb na dvě základní skupiny:

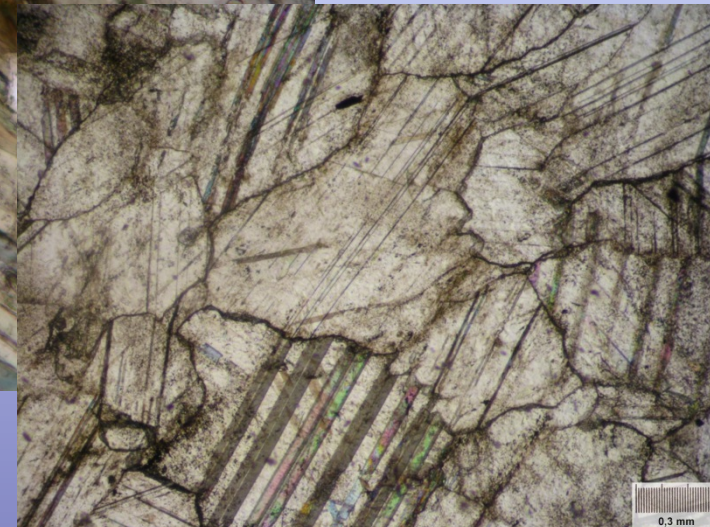
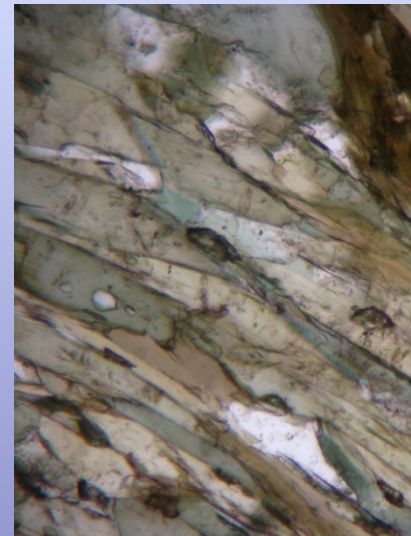
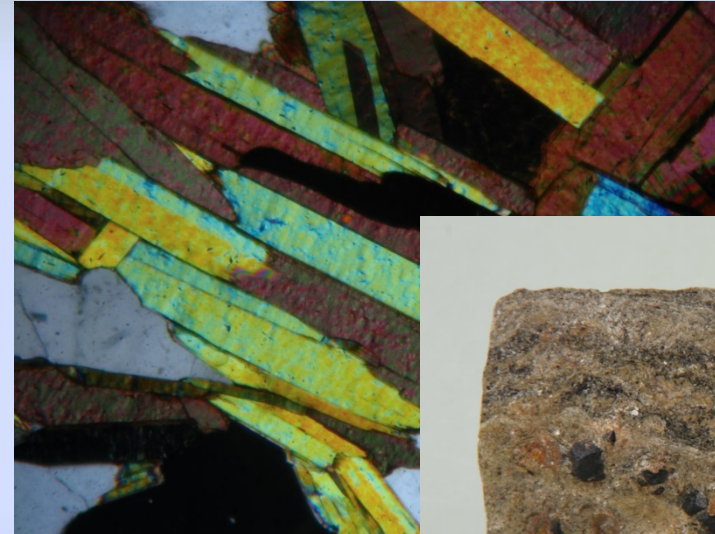
- struktury reliktní (blastogranitická, blastopsamitická)
- struktury rekrytalizační (též krystaloblastické)

Nejběžnější rekrytalizační struktury podle tvar minerálních zrn:

- granoblastická – minerály mají charakter více či méně pravidelných zrn
- lepidoblastická – minerály mají lupenitý charakter (slídy)
- nematoblastická – minerály mají charakter sloupečků

Rekrytalizační struktury podle relativní velikosti zrn:

- porfyroblastická – v hornině jsou *porfyroblasty* v základní tkáni
- heteroblastická – větší krystaloblasty tvoří shluky v drobnějších krystaloblastech
- homeoblastická – všechny krystaloblasty mají přibližně stejný rozměr



KLASIFIKACE METAMORFOVANÝCH HORNIN

Pro přehlednou klasifikaci metamorfovaných hornin a pro běžné pojmenování a poznávání metamorfovaných hornin se jako nejvhodnější jeví dvě základní kritéria:

- rámcový typ výchozí horniny (příbuzné fázové a chemické složení)
- stupeň metamorfózy působící na výchozí horninu

stupeň metamorfózy	teplota	tlak
velmi nízký	anchimetamorfóza 150-300 °C	0-200 MPa, kontaktní, pokles
nízký	300-500 °C	200-600 MPa, regionální
střední	500-700 °C	600-1000 MPa, regionální
vysoký	700-900 °C	1000-25000 MPa, subdukce
velmi vysoký	nad 900 °C	nad 2500 MPa, plášť

5. Skupina metamorfovaných ultramafických nebo ultrabazických hornin, zejména se jedná o původní peridotity a pyroxenity.

6. Skupina metamorfovaných karbonátových a slinitých hornin, nejčastěji vápenců, slínovců nebo opuk.

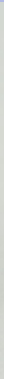
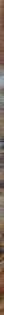
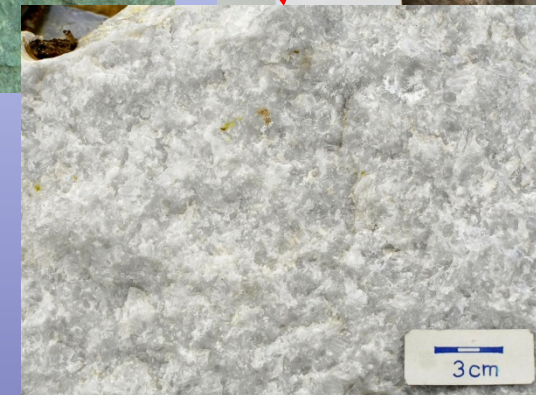
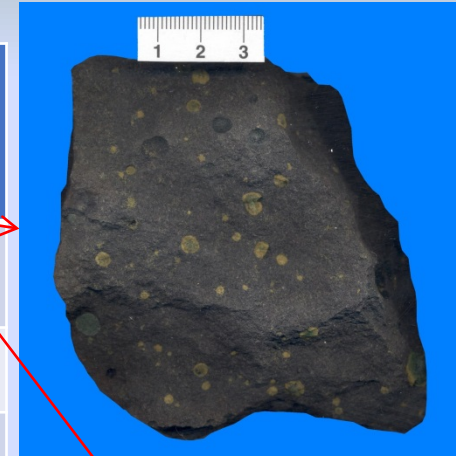
7. Skupina hornin s různými speciálními znaky nebo horniny, které podlely speciálním metamorfním pochodům.

Rámcový typ výchozích hornin můžeme chápat v těchto souvislostech:

1. Libovolná, slabě metamorfovaná hornina, která si zachová rozpoznatelné původní znaky, se označuje pouze předponou meta- (metaryolit, metagranit, metakonglomerát).
2. Skupina aleuritických nebo pelitických sedimentárních hornin, většinou původně mořské sedimenty.
3. Skupina metamorfovaných světlých (křemen-živcové) hornina odpovídá zejména původním granitoidům, slepencům, pískovcům nebo arkózám.
4. Skupina metamorfovaných bazických hornin vychází zejména z původních bazaltů, dioritů, gaber nebo drob.

PRINCIP KLASIFIKACE – ILUSTRACE

Stupeň metamorfózy	pelitický mořský sediment	bazalt	vápenec
nízký	fylit	prehnit-pumpeylitová břidlice	mramor
střední	svor	zelená břidlice	mramor
vysoký	rula	amfibolit	mramor



FYLIT

Výchozí hornina: jemnozrnný mořský sediment
Stupeň metamorfózy: nízký

Fylit tvoří základní asociace minerálů *křemen, albit, sericit, muskovit a chlorit*. Velmi nízkému stupni metamorfózy odpovídají fylitické břidlice. Při horním okraji facie zelených břidlic (300–450 °C) se ve fylitech setkáme také s biotitem, mikroklinem nebo granátem (fylitický svor).



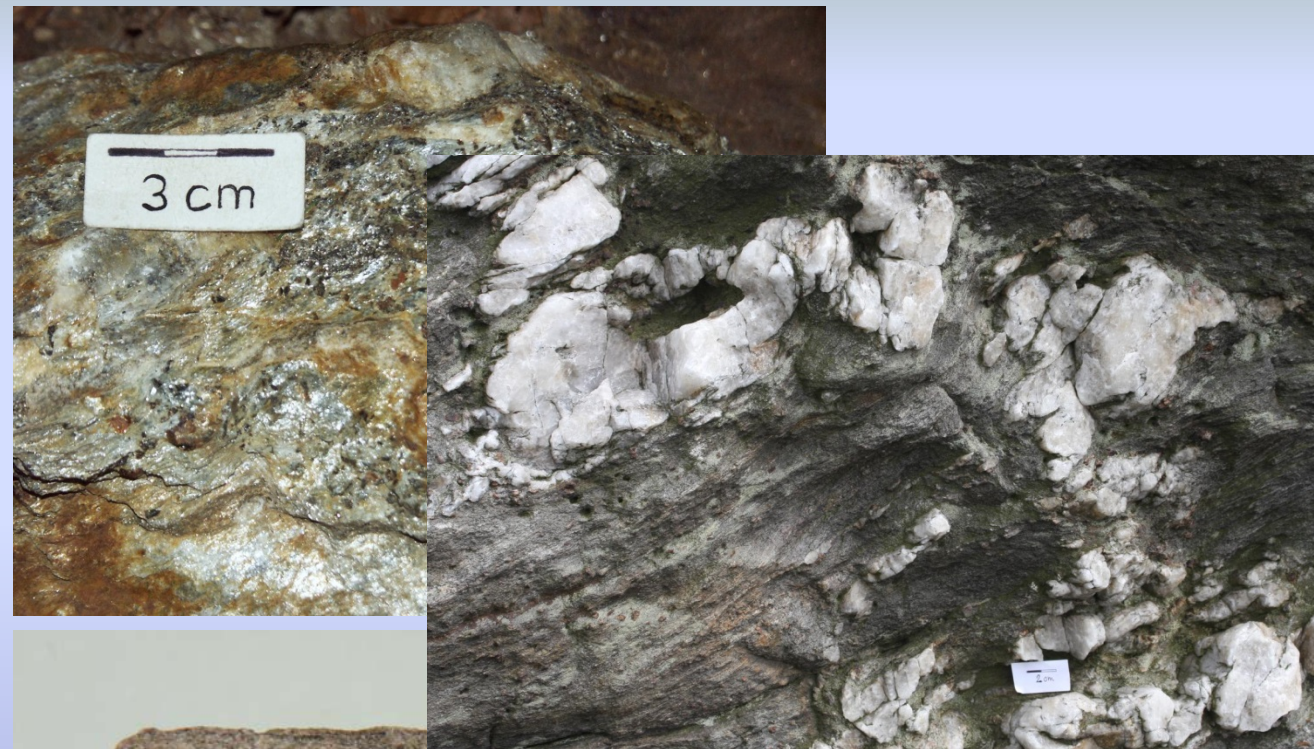
Fylity jsou obvykle tmavě šedé, zelenavé nebo tmavě zbarvené horniny s výraznou plošně paralelní stavbou, plochy foliace mohou být svařštělé nebo detailně provrásněné, často mají perleťová lesk. V metamorfovaných komplexech fylitů se běžně vyskytují čočky a žíly sekrečního křemene. Některé fylity se používají jako pokrývačské břidlice.

SVOR

Výchozí hornina: jemnozrnný mořský sediment
Stupeň metamorfózy: střední

Základní minerální složení svoru tvoří *křemen*, *muskovit*, *biotit* a *chlorit*. Většina svorů odpovídá metamorfním podmínkám přechodu z facie zelených břidlic do facie amfibolitové. Při vyšších stupních metamorfózy jsou přítomny porfyroblasty granátu nebo staurolit a hornina může přecházet až do tzv. svorových rul. Podle obsahu minerálů se někdy zpřesňuje název: muskovitový, muskovit-biotitový nebo dvojslídlný svor.

Svory mají světle šedou, světle hnědou, červenohnědou nebo šedočernou barvu. Nápadná je výrazná foliace, plochy foliace jsou často perleťově lesklé. Běžně se v hornině střídají polohy slídových a zrnitých minerálů, časté bývají polohy a čočky sekrečního křemene.



PARARULA (RULA)

Výchozí hornina: jemnozrnný mořský sediment
 Stupeň metamorfózy: vysoký

Pararuly obsahují v proměnlivém množství *křemen*, *plagioklas*, *K-živec* a *biotit*. Přítomny mohou být i muskovit, amfiboly nebo pyroxen, jako vedlejší nebo akcesorické minerály cordierit, granát, sillimanit, kyanit, andalusit nebo turmalín. Metamorfní stupeň přeměny pararul odpovídá amfibolitové nebo až granulitové facii. Velmi variabilní hornina je označována podle různých kritérií: plagioklasové, ortoklasové, muskovitové, dvojslídnné, cordieritové, okaté nebo stébelnaté ruly.

Pararuly bývají drobně až hrubě zrnité, stavby jsou masivní, plástevnaté, páskované, okaté nebo stébelnaté. Některé typy mají výraznou břidličnatost, která je často zvýrazněna zvětráváním. Termín pararula vyjadřuje skutečnost, že hornina vznikla ze sedimentární horniny (na rozdíl od ortoruly). Často se setkáme s označením rula, čímž se vždy míní pararula.



MIGMATIT

Výchozí hornina: jemnozrnný mořský sediment
 Stupeň metamorfózy: velmi vysoký, hranice tavení

Migmatit je nejběžnějším příkladem chorizmitických hornin, ve kterých je možno odlišit dvě nebo více horninových složek. Vznikají metamorfní diferenciací nebo parciálním tavením horniny v podmínkách ultrametamorfózy. Světlé minerály (křemen a živce) se oddělí ve formě parciální taveniny a následně dojde k její opětovné krystalizaci. Minerální složení migmatitů odpovídá rulám.

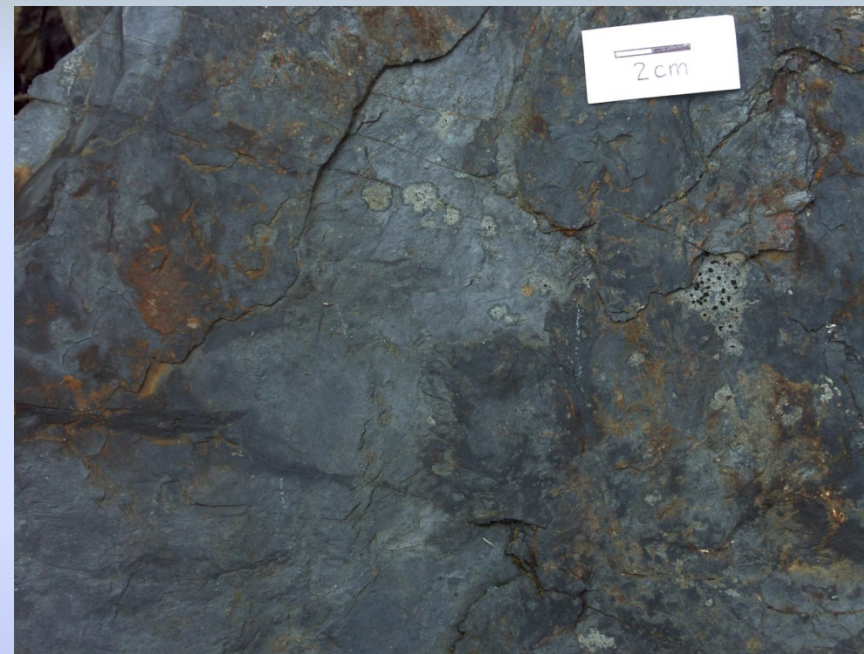
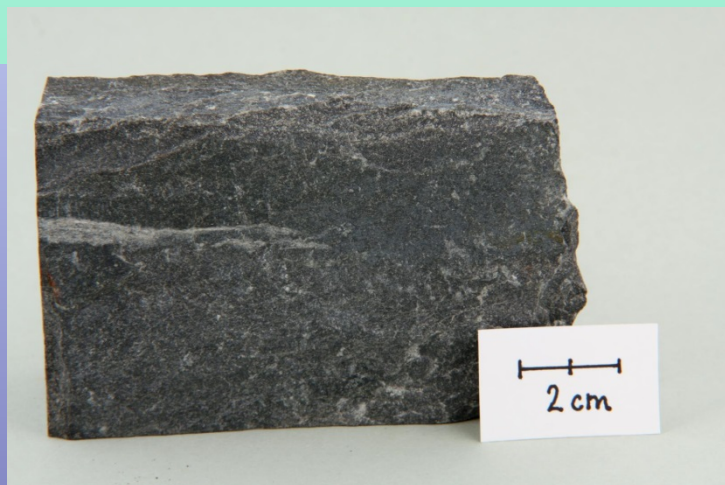
Výsledná metamorfovaná hornina se pak skládá z rulové nebo amfibolitové složky (substrát, paleosom) a granitové složky (metatekt, neosom). Horniny s jasně odděleným rulovým substrátem se označují jako migmatitizované ruly, typické migmatity mají obě složky rozplývavé a neostře oddělené, v krajním případě vznikají horniny až granitového vzhledu.



KONTAKTNÍ BŘIDLICE A ROHOVCE

Výchozí hornina: různé typy sedimentů
Metamorfóza: kontaktní, střední stupeň

Kontaktní břidlice vznikají při kontaktní metamorfóze. Hlavním metamorfním činitelem je teplota, tlak je zpravidla nízký. Při kontaktní přeměně klesá účinek metamorfózy se vzdáleností od teplotního zdroje. Slaběji metamorfované kontaktní břidlice obsahují *křemen*, *sericit*, *biotit*, *plagioklas* *grafit* nebo *karbonáty*. Mají obvykle tmavě šedou, hnědou nebo nazelenalou barvu, často jsou skvrnité. Kontaktní břidlice mají porfyroblastickou strukturu, porfyroblasty tvoří *cordierit* (plodová břidlice) nebo *andalusit* (chiastolitová břidlice).



Kontaktní rohovce vznikají při kontaktní metamorfóze za vysokých teplot (blízko intruze) a často i zvýšeného tlaku. Zatímco kontaktní břidlice jsou horniny převážně facie albit-epidotických rohovců, odpovídají kontaktní rohovce vyšším kontaktně-metamorfním faciím. Kontaktní rohovce nejčastěji obsahují *křemen*, *ortoklas*, *biotit*, *andalusit*, *cordierit*, *sillimanit* nebo *albit*. Kontaktní rohovec je převážně černošedá hornina, s masivní stavbou.

PORCELANIT

Výchozí hornina: vápenato-pelitický sediment
 Metamorfóza: kaustická, vysoká teplota, nízký tlak

Porcelanity jsou původně pelitické nebo vápnité břidlice, které byly vystaveny intenzivní kaustické přeměně při teplotách až 1000 °C po relativně krátkou dobu. Podmínky tohoto typu vznikají např. při požáru uhelných slojí, nebo působením lávy na útržky sedimentů.

Minerální složení porcelanitů je zpravidla *křemen*, *živec*, *mullit*, *wollastonit*, *merwinit* nebo *larnit*. Porcelanit je často velmi pestře zbarvená hornina v červených, oranžových, hnědých nebo rezavých odstínech. Stavba je celistvá, typický je lasturnatý lom.



ORTORULA

Výchozí hornina: světlá křemen-živcová
Stupeň metamorfózy: vysoký

Jako ortorulu označujeme horninu vzniklou metamorfózou granitoidních magmatitů. Obsahují převážně světlé minerály jako *křemen*, *K-živce* a *plagioklasy*. Obsah tmavých minerálů by neměl překročit 20 % a zastoupeny jsou *muskovit*, *biotit* nebo *amfiboly*.

Ortoruly jsou světle zbarvené horniny s různou zrnitostí. Stavby jsou všesměrné, plošně paralelní někdy páskované. Někdy se zachovávají reliktní stavby připomínající původní magmatickou horninu. Většina ortorul vzniká v podmínkách amfibolitové facie.



GRANULIT

Výchozí hornina: světlá křemen-živcová
Stupeň metamorfózy: velmi vysoký

Granulity vznikají v metamorfních podmínkách granulitové facie (vysoká teplota i tlak), chemicky odpovídají granitům. Hlavními minerály granulitů jsou *křemen*, *K-živec*, *plagioklas* a *biotit*, jako vedlejší nebo akcesorické minerály mohou být zastoupeny kyanit, sillimanit, granát nebo rutil.

Granulity jsou velmi světlé horniny, pokud obsahují podstatné množství biotitu, mohou být tmavě šedé až šedočerné. Stavba je masivní nebo velmi výrazně páskovaná, kdy se střídají polohy s různým obsahem biotitu.

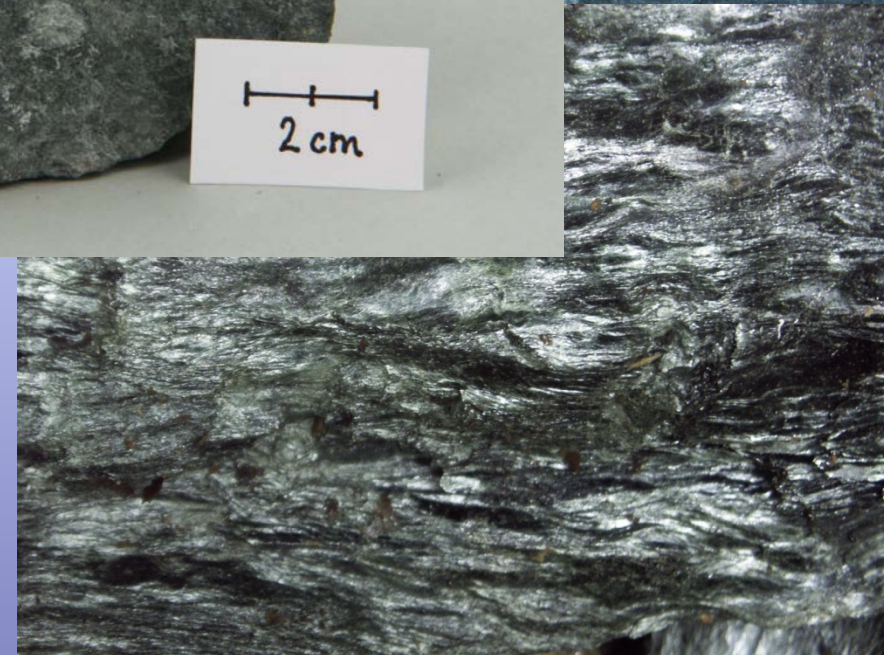


ZELENÁ BŘIDLICE

Výchozí hornina: bazické magmatity a sedimenty
 Stupeň metamorfózy: nízký až střední

Zelené břidlice se běžně vyskytují v asociaci s fylity, se kterými se shodují v metamorfním stupni. Jejich minerální složení tvoří asociace *albit – epidot – klinozoisit – chlorit – aktinolit*, ve vedlejších množstvích může být přítomen granát, magnetit, biotit nebo kalcit. Tato minerální asociace odpovídá nízkým tlakům při teplotách kolem 300 – 400 °C.

Pro zelené břidlice je charakteristická tmavě šedá nebo šedozeleň až zelená barva. Stavba je zřetelně až výrazně plošně paralelní, horniny jsou drobně až jemně zrnité. Horniny s masivní a kompaktní stavbou se označují jako zelené skaliny. Zelené břidlice mohou vznikat i při procesech retrográdní metamorfózy z amfibolitů.



AMFIBOLIT

Výchozí hornina: bazické magmatity a sedimenty
 Stupeň metamorfózy: střední až vysoký

Metamorfní podmínky vzniku amfibolitů odpovídají amfibolitové facii. Základní složení amfibolitu je *amfibol* (např. tschermakit, edenit, pargasit) a *plagioklas*, ve vedlejším nebo akcesorickém množství najdeme granát, biotit, karbonát a při vyšší metamorfóze i diopsid. Amfibolity vzniklé metamorfózou různých typů sedimentů se někdy označují jako **paraamfibolity**, zatímco jsou-li původními horninami gabra a bazické tufy používá se termín **ortoamfibolity**.

Některé amfibolity jsou horniny chorizmitického charakteru, někdy se používá označení polyschematické amfibolity. Barva amfibolitů je černošedá nebo černo zelená, stavba bývá masivní, plošně paralelní nebo páskovaná.



EKLOGIT

Výchozí hornina: bazické až ultrabazické magmatity
 Stupeň metamorfózy: velmi vysoký

Eklogity jsou horniny vzniklé v podmínkách eklogitové facie, při teplotách 400–900 °C a vysokých tlacích. Základní minerální asociaci tvoří *pyroxen (omfacit)* a *granát (vysoký podíl pyropu)*. Vedlejšími a akcesorickými minerály mohou být plagioklas, glaukofan, kyanit nebo rutil.

Místem vzniku eklogitů je svrchní plášť, často v okolí subdukčních zón. Do povrchových podmínek se mohou eklogity dostat ve formě drobnějších těles. Retrogradní přeměnou mohou přecházet na amfibolity. Barva eklogitů je tmavě zelená, někdy s temně rubínovým nádechem.

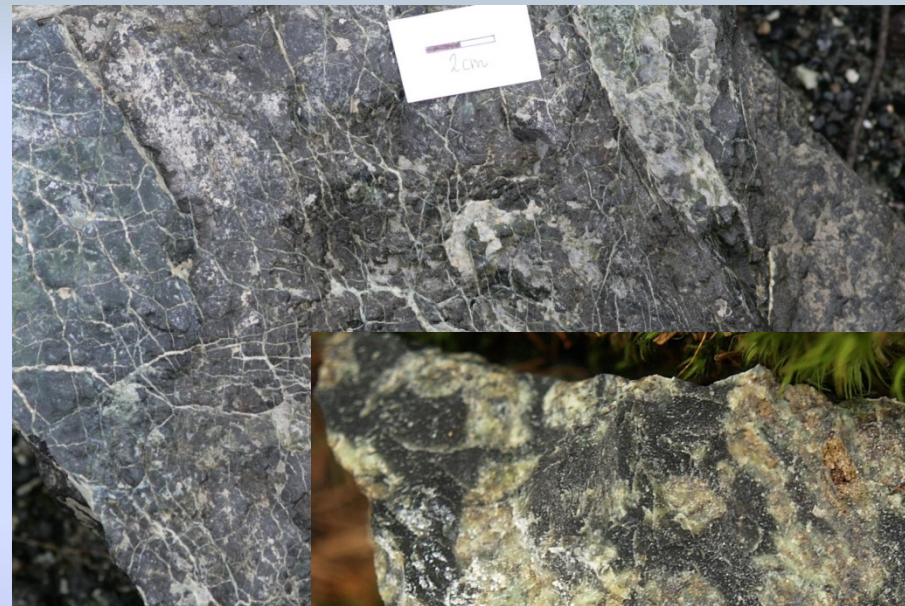


SERPENTINIT

Výchozí hornina: ultrabazický magmatit
Stupeň metamorfózy: střední

Serpentinity (hadce) vznikají přeměnou ultramafických hornin typu peridotitů, dunitů nebo harzburgitů. Metamorfní podmínky obvykle odpovídají facii zelených břidlic nebo nižší amfibolitové facii. Převládajícím minerálem serpentinitů jsou *minerály serpentinové skupiny*. Z dalších minerálů můžeme v serpentinitech najít nepřeměněné zbytky pyroxenů a olivínu, magnetit, mastek, flogopit, brucit, magnetit nebo chromit.

Při výstupu magmatických ultramafických hornin do zemské kůry dochází k hydratační metamorfóze olivínu a pyroxenů za vzniku minerálů serpentinové skupiny (časté označení serpentinizovaná peridotity). Většina serpentinitů je v povrchových podmínkách silně rozpukaná a často metasomaticky přeměněná, barva je nejčastěji žlutozelená, šedo-zelená nebo zeleno-černá.



MASTKOVÁ BŘIDLICE

Výchozí hornina: ultrabazické složení
Stupeň metamorfózy: střední

Při vzniku mastkových břidlic hrají významnou roli vedle metamorfních podmínek (většinou facie zelených břidlic) rovněž metasomatické pochody vyvolené hydratací horniny nebo přítomností hydrotermálních roztoků. Hlavním minerálem těchto hornin je *mastek*, ve vedlejším množství mohou být přítomny *chlorit*, *karbonát*, amfibol tremolitové řady, křemen nebo magnetit.



Změnou složení může přecházet až do aktinolitových nebo chloritových břidlic. Mastkové břidlice tvoří většinou čočkovitá tělesa. Barva je světlešedá, žlutošedá nebo zelenošedá s výraznou plošně paralelní stavbou.

MRAMOR

Výchozí hornina: karbonátové horniny
Stupeň metamorfózy: nízký až vysoký

Mramory (krystalické vápence) vznikají regionální metamorfózou karbonátových sedimentů. Hlavním minerálem je *kalcit* nebo *dolomit* (dolomitický mramor), obsah vedlejších minerálů reflektuje metamorfní stupeň. V nížce metamorfovaných mramorech se setkáme s tremolitem, křemenem, albitem, epidotem, mastkem, ve středním stupni metamorfózy se objevují aktinolit, muskovit nebo diopsid a v silně metamorfovaných mramorech se setkáme s flogopitem, forsteritem, granátem, spinelem nebo plagioklasem.

Jako mramory se označují i kontaktně metamorfované vápence, které vznikají tepelným působením plutonických magmatických těles. Barva mramorů je bílá, světle šedá a v závislosti na povaze jemného pigmentu načervenalá, zelenavá, tmavě šedé až černá. Pigment obvykle tvoří oxidy nebo hydroxidy železa, chlorit nebo grafit.

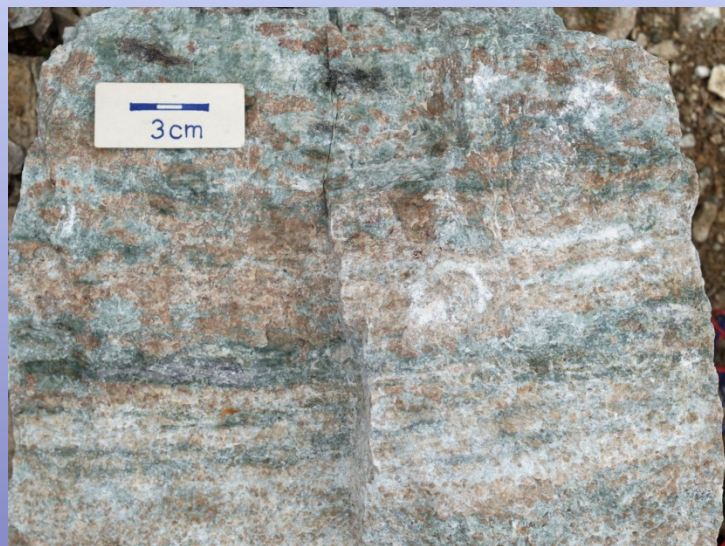


ERLAN

Výchozí hornina: karbonátová nebo slítnitá hornina
 Stupeň metamorfózy: nízký až vysoký

Erlany (vápenatosilikátové rohovce) vznikají z karbonátových hornin s podstatnou příměsí klastického materiálu (slíny a slínovce). Intenzita regionální metamorfózy může mít různý stupeň, vznikají také v podmínkách kontaktní metamorfózy. Obvyklé složení horniny je *diopsid, křemen a plagioklas*, ke kterým mohou v různém množství přistupovat *kalцит, vesuvián, grosulár nebo biotit*.

Erlany jsou často pozvolnými přechody spojeny s mramory, většinou vytváří několikametrové polohy nebo drobná čočkovitá tělesa. Barva erlanů je proměnlivá, často v šedých, zelenavých nebo červenofialových odstínech.

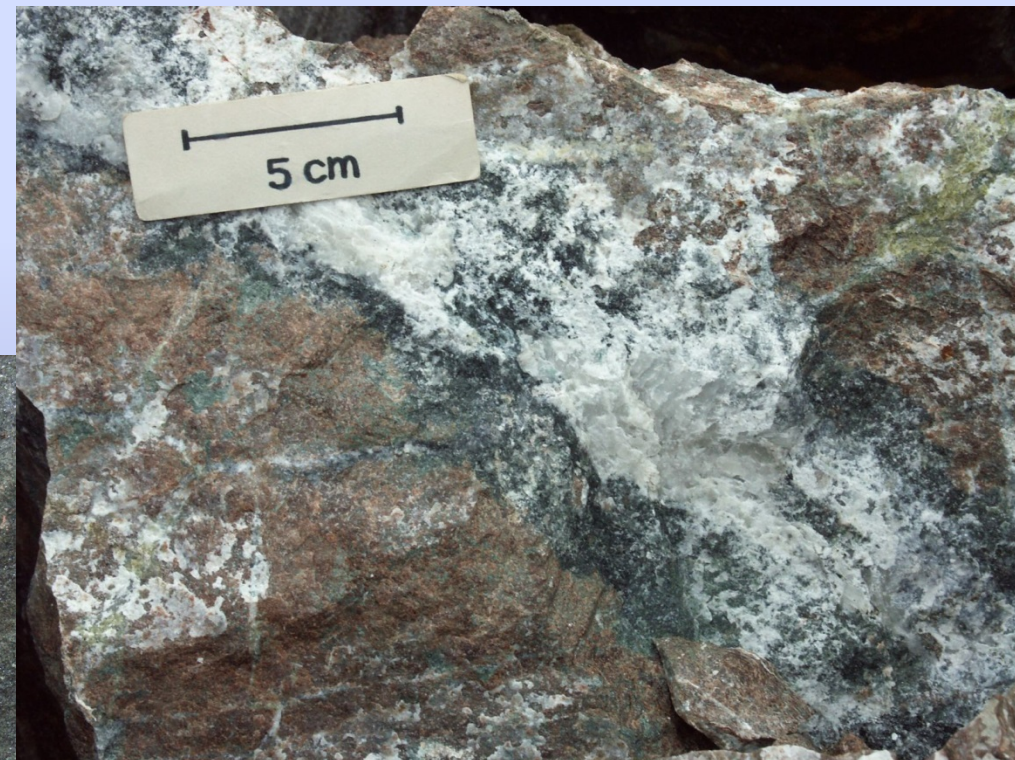


SKARN

Výchozí hornina: vápenato-silikátové horniny
Metamorfóza: regionální, metasomatóza

Skarny vznikly metamorfózou původně vápnatých nebo slinitých hornin, případně přeměnou sedimentárních železných rud nebo bazických efuzivních hornin. Mezi běžné minerály skarnů patří *granát* (grosulár), *pyroxen* (diopsid), *amfibol* a *magnetit*, v podružném množství bývají přítomny epidot, vesuvián, plagioklas nebo wollastonit.

Skarny jsou tmavě zbarvené horniny s červenohnědým nebo zeleným odstínem. Stavba může být jemně až hrubě zrnitá, masivní smouhovitá nebo páskovaná.

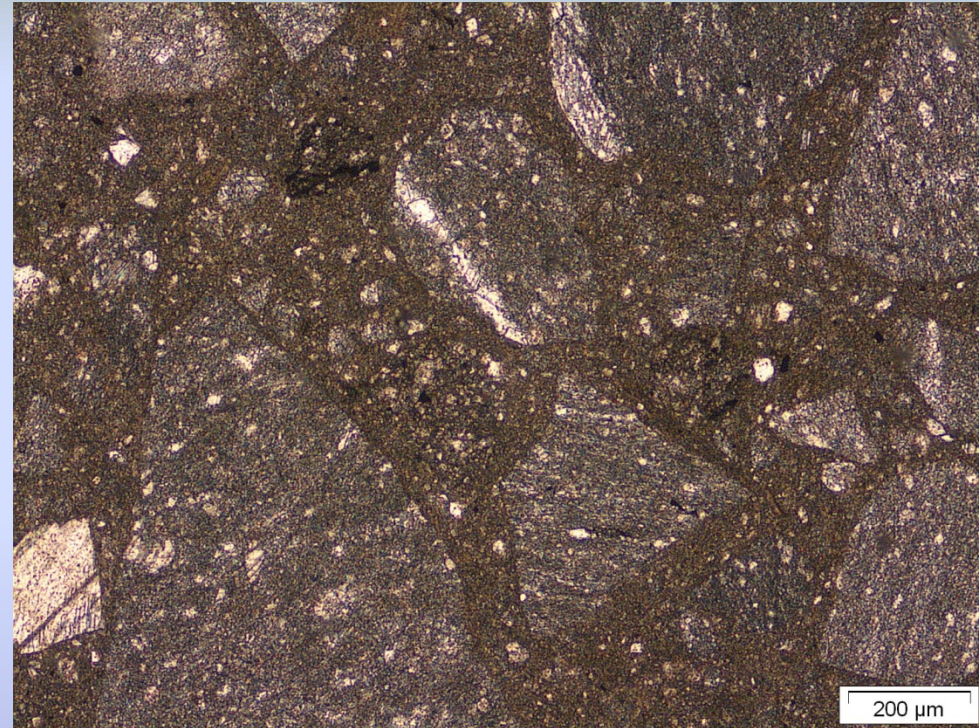
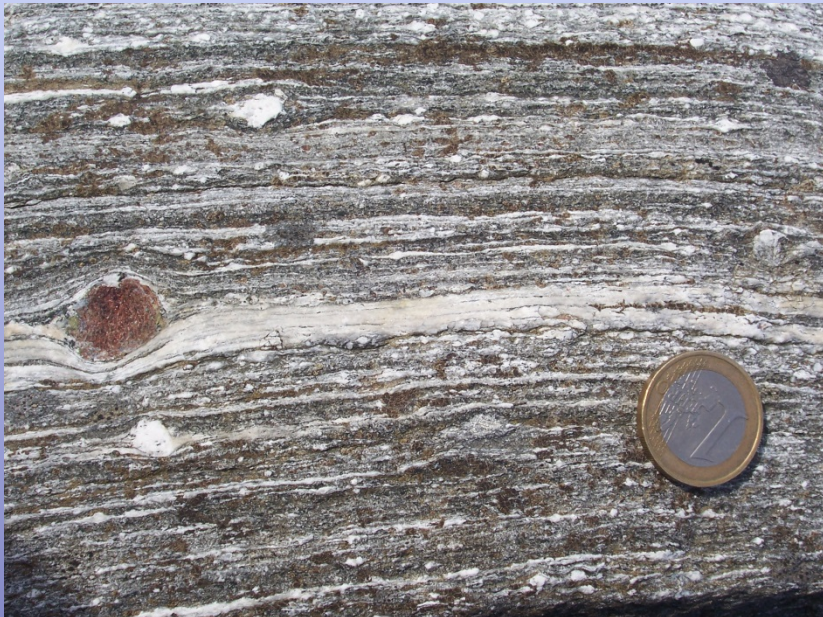


KATAKLAZIT, MYLONIT

Výchozí hornina: jakákoliv

Stupeň metamorfózy: různý, orientovaný tlak

Kataklazity vznikají křehkou deformací v podmínkách nízké teploty (do 300 °C) a vysokého orientovaného tlaku. V takovém prostředí dochází k drcení minerálů původní horniny a různému stupni jejich rekrystalizace. Charakter původní horniny se často zachovává a používá se pro bližší klasifikaci, např. kataklastická rula, kataklastický granit.



Mylonity vznikají většinou z peliticko-psamitických sedimentů za teplot v rozmezí 300-800 °C a při vysokých hodnotách orientovaného tlaku, tady v podmínkách typických pro poruchové tektonické nebo subdukční zóny. V těchto extrémních podmínkách vzniká plastický tok na úrovni defektů krystalové mřížky minerálů, který vede k dynamické rekrystalizaci zrn.

GRAFITOVÁ BŘIDLICE

Výchozí hornina: sediment s organickou hmotou
Stupeň metamorfózy: nízký až vysoký

Při metamorfóze sedimentárních hornin bohatých na organickou hmotu mohou v různých metamorfních stupních vznikat horniny, ve kterých je grafit podstatným minerálem. Intenzita metamorfózy ovlivňuje stupeň krystalizace grafitu.

Grafitové horniny (nejčastěji označované jako břidlice) mají šedočernou až černou barvu, plošně paralelní stavbu. Příměs grafitu je běžná v řadě metamorfovaných hornin a tato skutečnost se může vyjádřit adjektivem u názvu horniny (např. grafitový fylit).



ZÁVĚREČNÝ PŘEHLED

stupeň metamorfózy výchozí hornina	NÍZKÝ	STŘEDNÍ	VYSOKÝ	VELMI VYSOKÝ
aleuritické a pelitické sedimenty	fylit	svor	rula	migmatit
křemen-živcové horniny			ortorula	granulit
bazické horniny		zelená břidlice	amfibolit	
ultrabazické a ultramafické horniny	mastková břidlice	serpentinit		eklogit
karbonátové horniny	mramor	mramor	mramor	
slínité horniny	erlan, skarn	erlan, skarn	erlan, skarn	