

## Přenáška 8 – Magmatické horniny (klasifikace)

### SLIDE 2: VZNIK A VLASTNOSTI MAGMATU

**Magma** je přírodní heterogenní tavenina obsahující více fázových složek v různém poměru.

Převládá *kapalná fáze* = silikátová tavenina (méně sulfidická, karbonátová)

*Plynná* (fluidní) *fáze*: rozpuštěná nebo chemicky vázaná (voda, CO<sub>2</sub>, HCl, HF, H<sub>2</sub>S, SO<sub>x</sub>, N, H<sub>3</sub>BO<sub>3</sub>). Zastoupení až 10 % objemu.

*Pevná fáze*: neroztavené reliktů původní horniny, krystaly nových minerálů, pevné útržky hornin okolního pláště. Může tvořit i 10 % objemu magmatu.

Magma vzniká tavením hornin svrchního pláště nebo zemské kůry:

- ✓ Svrchní plášť – od cca 400 km (astenosféra) do 10-70 km
- ✓ Zemské kůra – od 70 km až na povrch

### SLIDE 3: FYZIKÁLNÍ VLASTNOSTI MAGMATU

Fyzikální vlastnosti magmatu mají rozhodující význam pro jeho vznik, pohyb v horninovém prostředí nebo na zemském povrchu a typ vulkanických erupcí.

Viskozita určuje míru snadnosti pohybu (tečení) magmatu. Složení magmatu: viskozitu zvyšuje vysoký podíl SiO<sub>2</sub> a částečně i Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> (silná polymerace), opačně působí alkálie (Na<sub>2</sub>O, K<sub>2</sub>O) a obsah vody. Teplota: vyšší teplota usnadňuje tok, nižší teplota tavenin způsobuje zvýšení viskozity.

Teplota je ovlivňována složením magmatu (SiO<sub>2</sub> a voda) a okolním tlakem. Absolutní hodnoty teplot magmatu se pohybují nejčastěji v intervalu 800 °C až 1200 °C. Teplota láv na povrchu bývá vyšší, zatímco teplota granitových tavenin v kůře často nižší.

Hustota má zásadní význam pro pohyb magmat v litosféře. Hustota taveniny je nižší, než hustota horniny (pro granit 2,2 g.cm<sup>-3</sup> ver. 2,7 g.cm<sup>-3</sup>). Hustota řídí výstup magmatu k povrchu a gravitační diferenciaci. Pohyb magmatu je obecně pomalý, urychlen bývá tektonickými silami nebo náhlým poklesem tlaku.

Magma vykazuje dobrou elektrickou vodivost (viz slaná voda). Magmatem neprochází příčné seismické vlny (s-vlny).

### SLIDE 4: CHEMICKÉ VLASTNOSTI MAGMATU

Chemické složení magmatu (stejně tak magmatických hornin) lze vyjádřit těmito oxidy:

SiO<sub>2</sub>, TiO<sub>2</sub>, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, FeO, MnO, MgO, CaO, K<sub>2</sub>O, Na<sub>2</sub>O a P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>.

Podle obsahu SiO<sub>2</sub> rozdělujeme magmata (magmatické horniny):

- ✓ kyselé (více než 65 %)
- ✓ intermediální (53 až 65 %)
- ✓ bazické (45 až 53 %)
- ✓ ultrabazické (méně než 45 %)

Podle poměru CaO a alkálií (K<sub>2</sub>O, Na<sub>2</sub>O) se pak vyčleňují tyto série magmat (hornin):

- **tholeitová série** nízký obsah K<sub>2</sub>O, bazalty středoocéánských hřbetů a vnitrodeskový magmatismu
- **vápenato-alkalická série** CaO > K<sub>2</sub>O + Na<sub>2</sub>O, orogenní oblasti, aktivní kontinentální okraje a ostrovní oblouky
- **alkalická série** CaO < K<sub>2</sub>O + Na<sub>2</sub>O, kontinentální riftové oblasti, magmatismus horkých skvrn

## SLIDE 5: VZNIK BAZALTOVÝCH MAGMAT

Bazaltové (čedičové) magma patří k základním typům magmatických tavenin, ze kterých vznikají obrovské objemy hornin čedičového nebo příbuzného charakteru.

Bazaltové magma vzniká ve svrchním plášti parciálním tavením horninového materiálu, který byl označen jako **pyrolit**. Z této „teoretické“ horniny se může oddělit kolem 30 % bazaltové taveniny, zbytek tvoří horniny odpovídající peridotitu a dunitu.

Vzniklé bazaltové magma je označováno jako juvenilní a díky svým vlastnostem může stoupat směrem k zemskému povrchu. Předpokládá se, že tyto procesy tavení probíhají v hloubce 100-250 km, teplotě 1300-1500 °C a tlaku 3-6 GPa.

Zcela zásadní význam má bazaltové magma při vzniku oceánské litosféry a jeho podíl v kontinentální kůře je rovněž významný.

## SLIDE 6: VZNIK GRANITICKÝCH MAGMAT

Granitová (žulová) magmata jsou hojně zastoupená v kontinentální zemské kůře.

Z primárního bazaltového magmatu může vzniknout jen 5 % granitové taveniny, navíc pouze dioritového složení.

Vznik granitových tavenin:

Granitizace: přeměny starších hornin na granitovou taveninu. Z hlubších částí zemského tělesa vystupuje dostatečné množství tepelné energie (orogenní zóny).

Palingenze: předpokládá tavení starších sedimentárních, metamorfovaných i magmatických hornin. Významné je zde **anatexe**, což je parciální tavení určitých horninových složek.

Metasomatická granitizace: probíhá v pevném stavu, hornina je postižena iontovou výměnou se svým okolím.

Vytavování granitového magmatu probíhá v hloubce 5-20 km při teplotách 600-800 °C. V těchto podmínkách je v tavenině až 7 % vody.

## SLIDE 7: DIFERENCIACE MAGMATU

Primární magma prodělává během svého pohybu zemským pláštěm nebo zemskou kůrou postupný vývoj, který vede k jeho změnám a v konečném důsledku ke vzniku různých typů magmatických hornin. Všechny procesy vývoje magmatu se označují jako **diferenciace magmatu**.

**Likvace:** Tavenina může být za určitých podmínek rozdělena na dvě odlišné složky. Tavenina s vyšší hustotou klesá do spodní části magmatického krbu.

**Gravitační diferenciace:** Vzniklé minerály klesají ke dnu magmatického krbu a vytváří zvrstvená tělesa plutonických hornin tzv. kumuláty.

**Frakční krystalizace:** Vykrytalované minerály se mohou oddělovat od magmatické taveniny, složení zbývající taveniny se mění a zpravidla se stává mobilnější.

**Asimilace (hybridizace):** Do magmatu jsou strhávány útržky okolního pláště, které mění jeho původní složení. Nejsou-li útržky hornin zcela roztaveny, nalezneme v hornině uzavřeniny – xenolity.

## SLIDE 8: MAGMATICKÁ TĚLESA

Magma (na povrchu láva) postupně tuhne a vytváří se magmatická tělesa. Podle způsobu vzniku mají různý tvar a hloubku uložení.

Tělesa plutonických hornin:

- batolit, pluton – velké těleso ve větší hloubce
- harpolit – ploše uložené deskovité těleso
- ložní žíla – konkordantní uložení v plášti
- pravá žíla – napříč vrstevnatostí pláště

Tělesa vulkanických hornin:

- sopečný komín – přívodní cesta k sopouchu

- lávový příkrov – plošné povrchové těleso
- lávový proud – liniové povrchové těleso
- vulkanická kupa, jehla – těleso silně viskózních láv

## SLIDE 9: STAVBY MAGMATICKÝCH HORNIN

Pojem stavba horniny v sobě zahrnuje všechny makroskopické i mikroskopické znaky magmatických hornin, které souvisí s velikostí, omezením a způsobem vzájemného uspořádání minerálních zrn v hornině. Stavba horniny může odrážet fyzikální a chemické podmínky během krystalizace magmatu.

**Textura** popisuje stavební znaky podmíněné prostorovým uspořádáním minerálních součástí, které je obvykle možno zaznamenat pouhým okem.

**Struktura** popisuje tvar, velikost a vzájemné sepětí minerálů. Zpravidla jsou tyto stavební znaky viditelné pod mikroskopem.

Důležité pojmy:

- ✓ zrnno automorfní, hypautomorfní a xenomorfní
- ✓ porfyrická vyrostlice: minerální zrnko, které svou velikostí výrazně převyšuje velikost zrn ve svém okolí
- ✓ základní hmota: označuje minerální zrna nebo sklovitou fázi vyplňující prostor horniny mezi porfyrickými vyrostlicemi

## SLIDE 10: TEXTURY MAGMATICKÝCH HORNIN I

Podle způsobu vyplnění prostoru jsou nejběžnější tyto stavby:

*Textura kompaktní* (masivní) vzniká, když hmota horniny beze zbytku vyplňuje prostor (plutonické horniny).

*Textura pórovitá* charakterizuje všechny struktury obsahující prázdné nebo druhotně vyplněné prostory (vulkanické horniny)

*Textura mandlovcovitá* charakterizuje horniny obsahující oválné nebo kulovité dutinky vyplněné druhotnými minerály.

## SLIDE 11: TEXTURY MAGMATICKÝCH HORNIN II

Podle vzájemného uspořádání součástí vyčleňujeme textury:

- *Textura všesměrná* popisuje horninu bez přednostního uspořádání minerálních zrn.

- *Textura paralelní* popisuje stavbu, kde minerální zrna mají zřetelné přednostní uspořádání podle rovnoběžných ploch.
- *Textura páskovaná* popisuje horninu, kde minerální zrna jsou uspořádána do poloh, které se vzájemně liší složením, barvou nebo zrnitostí.
- *Textura fluidální* (proudovitá) charakterizuje uspořádání ve směru původního proudění magmatu během krystalizace.

## SLIDE 12: STRUKTURY MAGMATICKÝCH HORNIN

Podle stupně krystalizace magmatické horniny rozlišujeme struktury:

- *Struktura holokrystalická* popisuje horninu tvořenou pouze krystalickou fází. Tato struktura je běžná pro pomalou krystalizaci plutonických hornin.
- *Struktura hemikrystalická* popisuje horninu s obsahem krystalických zrn minerálů a zároveň obsahuje sklovitou fází. Typická je pro většinu vulkanických hornin.
- *Struktura sklovitá* (vitrická) je vyhrazena pro horniny obsahující výhradně sklovitou fází. Jsou známkou velmi rychlého utuhnutí horniny.

Podle relativní velikosti minerálních zrn můžeme rozlišit struktury:

- *Struktura stejnoměrně* (rovnoměrně) *zrnitá* reprezentuje horniny se stejně velkými zrny minerálů.
- *Struktura porfyrická* je používána pro horniny s obsahem porfyrických vyrostlic v základní hmotě.
- *Struktura afanitická* (felzitická, celistvá) označuje horninu s minerálními zrny nerozlišitelnými pouhým okem.

## SLIDE 13: MINERÁLY V MAGMATICKÝCH HORNINÁCH

Minerální složení hornin se udává v objemových procentech. Na složení většiny magmatických hornin se hlavní měrou podílí jen asi kolem 20 minerálů.

Podle kvantitativního zastoupení můžeme rozlišit minerály:

- **Minerály hlavní** (podstatné): v hornině jsou zastoupeny v množství nad 10 % (křemen, živce, foidy, slídy, olivín).
- **Minerály vedlejší** (podružné): jsou zastoupeny v množství pod 10 % (granát, turmalín).
- **Minerály akcesorické** (přídavné): v hornině bývají zastoupeny ve velmi malém množství do 1 % (zirkon, apatit).

Podle barvy rozlišujeme v magmatických horninách minerály:

- **Minerály světlé** (felzické) mají složení s převahou  $\text{SiO}_2$  a  $\text{Al}_2\text{O}_3$  (křemen, živce, foidy)
- **Minerály tmavé** (mafické) významně obsahují  $\text{MgO}$  a  $\text{FeO}$  (pyroxeny, amfiboly, slídy, olivín).

Podle původu v hornině rozlišujeme minerály:

- **Minerály primární** vznikaly během krystalizace samotné horniny
- **Minerály sekundární** vznikají různými procesy v utuhlé hornině na úkor minerálů primárních

## SLIDE 14: KLASIFIKACE MAGMATICKÝCH HORNIN

Existuje několik klasifikačních systémů magmatických hornin. Jsou založeny na chemickém nebo minerálním složení horniny, každý postup má své výhody a své slabší stránky.

### **CIPW klasifikační systém**

Z celkového chemického složení horniny vypočteme minerální složení podle předem definovaného algoritmu. Označujeme to jako normativní minerální složení. Zatímco ze známého zastoupení minerálů v hornině lze její chemické složení spočítat, obrácený postup je prakticky nemožný.

### **Streckeisenova klasifikace (QAPF)**

Klasifikace vychází z minerálního složení horniny. Procentuální zastoupení minerálů se vynáší do diagramu. Problémem je kvantifikace minerálního složení a použití u vulkanických hornin. Pro běžné pojmenování magmatických hornin je nejpoužívanější.

### **Klasifikace podle TAS diagramu**

Vystačíme se znalostí obsahu  $\text{SiO}_2$ ,  $\text{Na}_2\text{O}$  a  $\text{K}_2\text{O}$  v hornině. Každá hornina má svůj projekční bod. Diagram se využívá především u vulkanických hornin, kde je často problematické určit minerální složení horniny.

## SLIDE 15: STRECKEISENOVA KLASIFIKACE (QAPF)

- **Q** je % obsah křemene ze všech světlých minerálů
- **A** je % podíl alkalických živců z celkového obsahu živců
- **P** je % podíl plagioklasů z celkového obsahu živců
- **F** je % zastoupení foidů z celkového podílu světlých minerálů

Používá se pro horniny s obsahem světlých minerálů nad 10 %. Přepočet světlých minerálů na  $Q+A+P=100$  (resp.  $F+A+P=100$ ). Procentuální zastoupení živců se vypočítává z celkového objemu přítomných živců.

## SLIDE 16: TAS DIAGRAM

Klasifikaci vulkanických hornin komplikuje častá přítomnost vulkanického skla, resp. produktů jeho přeměny.

Každou horninu vynášíme jako bod do diagramu, který je rozdělen na 15 polí. Předem definovaná pole reprezentují jednotlivé vulkanické horniny.

Na osu y vynášíme součet alkálií ( $Na_2O + K_2O$ ).

Obsah  $SiO_2$  se vynáší na osu x, a definuje zařazení horniny z hlediska její kyselosti: kyselé, intermediální, bazické a ultrabazické

## SLIDE 17: PLUTONICKÉ HORNINY – GRANIT (ŽULA)

Barva: světlá, světle šedá, narůžovělá

Křemen: 20–60 %

Alkalické živce: 35–90 %

Plagioklasy: 10–65 %

Tmavé minerály 5–20 %: muskovit, biotit, amfibol

Vedlejší a akcesorické minerály: turmalín, granát, andalusit, cordierit, apatit, zirkon, titanit.

Běžné stavby jsou rovnoměrně zrnité i porfyrické, ve kterých tvoří porfyrické vyrostlice nejčastěji K-živec.

Tvoří masivy nebo batolity, v ČR zcela běžná hornina.

## SLIDE 18: PLUTONICKÉ HORNINY – GRANODIORIT

Barva: světle až tmavě šedá

Křemen: 20–60 %

Alkalické živce: 10–35 %

Plagioklasy: 65–90 %

Tmavé minerály: 5 do 25 %, biotit, amfibol, pyroxen.

Obsah tmavých minerálů zpřesňuje název horniny: biotitový, amfibol-biotitový, biotit-amfibolový nebo amfibolový granodiorit.

Běžné stavby jsou masivní, stejnoměrně zrnité nebo porfyrické, vyrostlice tvoří křemen nebo plagioklasy.

Tvoří velké plutony a batolity, v ČR jedna z nejběžnějších plutonických hornin.

## SLIDE 19: TĚLESA PLUTONICKÝCH HORNIN V ČR

geologická mapa

## SLIDE 20: PLUTONICKÉ HORNINY – SYENIT

Barva: tmavě šedá, namodralá, narůžovělá

Křemen: do 5 % (5-20 % kvarcsyenit)

Alkalické živce: 65–90 %

Plagioklas: 10–35 %

Foidy: mohou být přítomny do 10 % při absenci křemene

Tmavé minerály: 10–35 %, biotit, amfibol, pyroxen

Stavba bývá masivní, někdy usměrněná až fluidální, je-li porfyrická, tvoří vyrostlice draselný živec.

V ČR se k syenitům často řadí speciální typy hornin označované jako durbachity.

## SLIDE 21: PLUTONICKÉ HORNINY – DIORIT

Barva: tmavě šedá, šedočerná, šedozeleň

Křemen: do 5 %

K-živec: do 10 %

Plagioklas: 90–100 % (kyselé plagioklasy do An<sub>50</sub>)

Tmavé minerály: 25–50 %, biotit, pyroxen, amfibol

Akcesorické minerály: titanit, magnetit, apatit nebo zirkon.

Diority většinou tvoří drobnější magmatická tělesa v rámci větších plutonických komplexů. Běžné stavby jsou masivní, všesměrně zrnité, plagioklasy mají zpravidla vyšší stupeň omezení než minerály tmavé.

## SLIDE 22: PLUTONICKÉ HORNINY – SKUPINA GABRA

Barva: tmavě šedá, zelenočerná, černá

Křemen: chybí nebo do 5 %

Plagioklas: 90–100 % (bazicita nad An<sub>50</sub>)



Tmavé minerály: monoklinický pyroxen, rombický pyroxen (norit), olivín (troktolit)

Anortozit: obsah tmavých minerálů do 10% z celkového objemu horniny.

Běžná je masivní stavba, se střední až hrubou velikostí zrna. Speciální stavbou je gabrofitická.

Většina hornin ze skupiny gabra tvoří drobná tělesa nebo je součástí rozsáhlejších bazických intruzí. Gabrové horniny jsou běžnou součástí oceánské kůry a ofiolitových komplexů.

## SLIDE 23: ULTRAMAFICKÉ PLUTONICKÉ HORNINY

Pokud hornina obsahuje méně než 10 % světlých minerálů, provádí se její klasifikaci na základě tmavých minerálů.

Tyto horniny jsou běžnou součástí spodní části zemské kůry nebo svrchního zemského pláště.

## SLIDE 24: ŽILNÉ MAGMATICKÉ HORNINY

Složení žilných hornin zpravidla odpovídá určitému typu plutonických hornin, některé se však svým charakterem vymykají běžným klasifikacím.

Nejčastější žilné horniny jsou odvozeny od běžných plutonických typů (granitoidů a syenitoidů) a odlišují se předponou „mikro-“ (mikrogranit nebo mikrosyenit). Pokud má hornina porfyrickou strukturu a jemnozrnnou základní hmotu, používá se označení porfyr (žulový porfyr, tonalitový porfyr apod.).

Většina žilných hornin krystalizuje z tavenin podobným plutonickým horninám, je zdrojem odštěpená frakcionovaná část magmatu bohatá na volatilní složky (pegmatity).

Žilné magmatické horniny vytváří tělesa žilného, čočkovitého, hnízdovitého a kapsovitého tvaru, mohou tvořit i okraje plutonických těles nebo mají charakter subvulkanických těles.

## SLIDE 25: ŽILNÉ MAGMATICKÉ HORNINY – APLIT

Aplit může být odvozen od mnoha horninových typů, proto je jeho složení proměnlivé.

Nejběžnějším typem jsou aplity odvozené od granitů, v jejichž složení převládají křemen a živce, tmavé minerály zastoupené biotitem a muskovitem nepřevyšují množství 5 %.

Aplity většinou vytvářející žíly, čočky nebo okrajové partie magmatických těles.

Horniny označované jako aplit mají velmi jemnozrnnou masivní stavbu s panxenomorfní (aplitickou) strukturou.

## SLIDE 26: ŽILNÉ MAGMATICKÉ HORNINY – PEGMATIT

Pegmatity mohou být odvozeny od různých horninových typů (granitový, syenitový nebo gabrový pegmatit).

Vznikají z odštěpených magmat, která jsou obohacena o volatilní složky a některé vzácnější prvky.

Mezi nejběžnější patří granitové pegmatity, kde převládají živce a křemen, z tmavých minerálů jsou zpravidla biotit a muskovit zastoupen do 15 %.

Pegmatity vytváří okrajové partie plutonických těles, žíly, hnízda nebo čočky. Stavba je hrubě zrnitá s masivní nebo kavernózní texturou.

Některá pegmatitová tělesa jsou obohacena o průmyslově zajímavé minerály, např. polucit, spodumen (Li), beryl (Be), columbit (Nb, Ta), kasiterit (Sn), zirkon (Zr) nebo uraninit (U).

## SLIDE 27: VULKANICKÉ HORNINY – RYOLIT

Barva: bílá, nazelenalá, načervenalá

Složení ryolitů odpovídá granitu.

Křemen: 20–60 % ze světlých součástí

Alkalické živce: 35–90 %,

Plagioklasy: 10–65 %

Tmavé minerály: biotit, pyroxen, amfibol

Ryolitové magma je silně viskózní, utužené horniny vytváří často dómy a vytlačené kupy. Ryolitová láva bývá spojena s hojným výskytem pyroklastik.

Stavba bývá masivní, pórovitá, fluidální nebo mandlovcovitá. Struktura je vždy porfyrická, vyrostlice tvoří křemen a K-živec.

Většina vulkanických skel odpovídá ryolitovému chemickému složení. Mezi nejběžnější patří obsidián a pemza.

## SLIDE 28: VULKANICKÉ HORNINY – DACIT

Barva: světle šedá, načervenalá, nazelenalá

Křemen: 20–60 %

Plagioklas: 65–100%

Alkalické živce (sanidin): do 35 %.

Tmavé minerály: biotit, amfibol, pyroxen

Stavba je masivní nebo pórovitá, většinou porfyrická s vyrostlicemi plagioklasu nebo křemene.

Dacitové lávy jsou silně viskózní.

## SLIDE 29: VULKANICKÉ HORNINY – ANDEZIT

Barva: světle až tmavě šedá se zeleným nádechem, narůžovělá

Křemen: chybí nebo do 5 %

Plagioklasy: více jak 90 % všech živců

Tmavé minerály: amfibol, biotit, pyroxeny

Andezit je výlevný ekvivalent dioritu.

Stavba je nejčastěji masivní, ale i pórovitá nebo proudovitá, andezity mívají lavicovitou odlučnost. Je-li stavba porfyrická, vyrostlice tvoří plagioklas nebo amfibol.

Andezity jsou běžné vulkanické horniny, jejich vznik je soustředěn na konvergentní desková rozhraní a ostrovní oblouky. Často vytvářejí mohutné stratovulkány.

## SLIDE 30: VULKANICKÉ HORNINY – BAZALT

Barva: tmavě šedá, černá

Křemen: chybí nebo do 5 %

Plagioklasy: nad 90 % ze živců (složení nad An<sub>50</sub>)

Tmavé minerály: olivín, pyroxen

Jedna z nejběžnějších hornin zemské kůry, hlavně v oceánské.

Stavba bývá masivní, afanitická nebo porfyrická, vyrostlice tvoří pyroxen nebo olivín.

*Subalkalické bazalty:*

- ✓ tholeity – středooceánské hřbety
- ✓ vápenato-alkalické – subdukční zóny, ostrovní oblouky

*Alkalické bazalty:* často obsahují foidy (basanity) – vnitrodeskový vulkanismus

## SLIDE 31: VULKANICKÉ HORNINY – FONOLIT

Barva: světle šedá nebo nazelenalá

Křemen: chybí

Alkalické živce: více jak 90 %

Foidy: 10–60 % (převládá-li nefelin je označení nefelinový trachyt – znělec) Tmavé minerály: alkalické pyroxeny, alkalické amfiboly, biotit nebo olivín

Stavba bývá masivní nebo mandlovcovitá, porfyrická struktura má trachytickou základní hmotu.

Fonolitové horniny mají často kupovitou nebo kuželovitou morfologii a vyskytují se spolu s dalšími alkalickými vulkanity.

## SLIDE 32: PŘEHLED MAGMATICKÝCH HORNIN

### **Magmatické horniny hlubinné:**

- granit
- granodiorit
- syenit
- diorit
- skupina gabra

### **Magmatické horniny žilné:**

- mikrogranit, mikrosyenit
- aplit
- pegmatit

### **Magmatické horniny výlevné:**

- ryolit
- dacit
- andezit
- bazalt
- fonolit