

## Mineralogie systematická /soustavná/

- je dílčí disciplínou mineralogie
- studuje a popisuje charakteristické znaky a vlastnosti jednotlivých minerálů a třídí je do přirozené soustavy (systému)

**Minerál/ nerost/** - anorganická homogenní přírodnina (většinou s definovatelnou strukturou – krystalická látka), jejíž chemické složení se dá vyjádřit vzorcem

### **Znaky a vlastnosti (u každého minerálu):**

1. Chemické složení (chemismus) – vzorec, vytváření pevných roztoků, izomorfní příměsi (příklady křemen, plagioklasy, sfalerit)
2. Struktura
3. Krystalografie (soustava, bodová grupa = oddělení, vřdčí krystalové tvary)
4. Fyzikální vlastnosti – hlavní poznávací znaky, podobnost (barva, hustota, tvrdost, štěpnost, lesk a jiné: magnetismus, radioaktivita, luminiscence, rozpustnost ve vodě a v činidlech, .....)
5. Geneze (podmínky vzniku a výskytu, asociace – parageneze)
  - za kterých podmínek a v jakém prostředí minerál vzniká, je stabilní, v jakých společenstvech minerálů se nachází,
  - přeměny minerálu a jejich příčiny
6. Topografická mineralogie
7. Význam minerálu v geologii, průmyslové využití

### **Dřívější klasifikace minerálů**

Zmínka, podle jakých principů byly minerály řazeny do systému dříve:

-hlavně dle vnějších znaků, patrných na první pohled

př. **skupina “halovců”**, charakterizovaných jako nerosty nekovové, lehké a měkké – kalcit  $\text{CaCO}_3$ , sádrovec  $\text{CaSO}_4 \cdot 2 \text{H}_2\text{O}$ , kryolit  $\text{Na}_3\text{AlF}_6$

př. **“těživce”** siderit  $\text{FeCO}_3$ , baryt  $\text{BaSO}_4$ , ....

Uvedené názvy zanikly v pol. 19. století – zůstaly názvy:

“leštěnec olověný” = galenit

“kyz železný” = pyrit:

## **Dnes je mineralogický systém založený výhradně na krystalochemické příbuznosti minerálů (krystalochemická klasifikace minerálů)**

To znamená, že minerály jsou rozděleny do několika hlavních skupin podle chemického složení.

V rámci nich jsou minerály děleny (nebo seskupovány) podle strukturní a tím tedy i krystalografické příbuznosti, případně opět podle chemické příbuznosti.

### ***Hlavní skupiny mineralogického systému:***

- 1/ Prvky a příbuzné nerosty (slitiny kovů)
- 2/ Sulfidy a příbuzné sloučeniny (selenidy, teluridy, arzenidy, antimonidy a bismutidy)
- 3/ Halovce (halogenidy)
- 4/ Oxidy a hydroxidy
- 5/ Uhličitany (karbonáty), dusičnany (nitráty), boritany (boráty)
- 6/ Sírany (sulfáty) a příbuzné sloučeniny Te, Cr, Mo a W
- 7/ Fosforečnany (fosfáty), arzeničnany (arzenáty), vanadičnany (vanadáty)
- 8/ Křemičitany (silikáty) – jsou nejhojnější (horninotvorné minerály) a nejdůležitější**

**Izomofní řada (= pevný roztok) – další základní jednotka přirozeného systému minerálů**

***Pevný roztok (směsný krystal):*** - pevná látka s homogenní krystalovou strukturou, nejčastěji jde o směs dvou chemicky definovaných komponent. V ní jsou určité ekvivalentní pozice obsazovány různými ionty.

- homogenní krystalovaný minerál s proměnlivým kvantitativním poměrem složek, které se zastupují na základě blízké chemické a krystalografické příbuznosti (GS)

- **pevný roztok olivínu: forsterit**     $Mg_2 SiO_4$     -----    **fayalit**     $Fe_2 SiO_4$

**- pevný roztok plagioklasů (Na-Ca živců):**

0%	10	30	50	70	90	100%
<b>albit</b>	-	oligoklas	-	andezín	-	labradorit - bytownit - <b>anortit</b>
$\text{NaAlSi}_3\text{O}_8$						$\text{CaAl}_2\text{Si}_2\text{O}_8$

***Izostrukturní skupina barytová:***

baryt	$\text{Ba SO}_4$
celestin	$\text{SrSO}_4$
anglesit	$\text{PbSO}_4$

***Izostrukturní skupina apatitová:***

apatit	$\text{Ca}_5 (\text{PO}_4)_3 \text{Cl}$
pyromorfit	$\text{Pb}_5 (\text{PO}_4)_3 \text{Cl}$
mimetezit	$\text{Pb}_5 (\text{AsO}_4)_3 \text{Cl}$
vanadinit	$\text{Pb}_5 (\text{VO}_4)_3 \text{Cl}$

Všechny členy uvedených izomorfních skupin jsou izostrukturní a jsou si krystalograficky velmi blízké

**Varieta (odrůda)** – u některých minerálů rozeznáváme určité variety, lišící se např. barvou, charakterem agregátu apod.

- křemen (ametyst, růženín, .....
- korund (rubín, safír, .....
- hematit (spekularit, lebník, .....

**Mineralogické názvosloví**

- jednoslovné na rozdíl od zoologického či botanického
- pro většinu minerálů platný mezinárodní termín, nejběžnější nerosty mají také názvy české (halit = sůl kamenná, křemen = quartz)
- koncovky -it, -in, -an
- jména nerostů s počátečním malým písmenem

**Původ jmen některých minerálů**

a/ dle tvaru krystalu či typu agregátu

lepidolit – šupinkatý  
aktinolit – paprsčitý  
sanidin – tabulkovitý

b/ podle barvy

pyrop – oheň  
azurit – modrý  
chrysoberyl – chrysos = zlatý

c/ podle jiných fyzikálních vlastností

plagioklas, ortoklas – štěpný  
diamant (amadas = nezkrotný)

d/ podle použití : grafit (grafein = psáti)

e/ podle naleziště : labradorit, cinvaldit

f/ podle významných - bertrandit, goethit, bornit, wollastonit

g/ jiné názvy: apatit – klamavý

### **Minerální asociace, parageneze**

***Asociace minerálů (širší termín)*** – společný výskyt různých minerálů v horninách, na žíle, v dutině. Může jít o jednu nebo více minerálních paragenezí, které jsou odrazem několika po sobě jdoucích minerogenetických procesů.

***Minerální parageneze (parageneze)*** - společný výskyt různých minerálů v horninách, na žíle či v dutině.

Je zákonitě podmíněný chemickým složením a termodynamickými podmínkami prostředí. Současně se vyskytující minerální fáze jsou tedy výsledkem jednoho minerogenetického aktu.

## PRVKY

**Z známých prvků (viz. periodická tabulka) se jich jenom málo vyskytuje v elementárním stavu jako nerosty. Je to dáno především silnou slučivostí mnohých prvků s kyslíkem nebo sírou.**

### ROZDĚLENÍ:

- kovy (Cu, Ag, Au, Fe, Pt)
- Hg – kapalná
- polokovy (As, Sb, Bi) – vzácné fáze hydrotermálních žil
- nekovy (C – grafit a diamant), síra

### Kovy skupiny mědi – Cu, Ag, Au

#### *Struktura:*

- *nejtěsnější uspořádání atomů se symetrií krychlovou (trojvrstevní), kubická mřížka plošně centrovaná – viz obrázky*

#### **Měď - Cu**

– krystaly vzácné, *časté plíšky nebo dendritické útvary (kostrovité krystaly)*

Fyzikální vlastnosti: barva kovově červená (na vzduchu pestře nabíhá a hnědne), tvrdost 3, hustota 8.5, vysoce vodivá

***Geneze: druhotný (supergenní) minerál, vznikající v zóně zvětrávání ložisek***

***Cu (subzóně cementační) – Borovec u Štěpánova, Zlaté Hory, Smolník (Slovenské rudohoří)***

- vzácně primární hydrotermální

Jako minerál nemá průmyslový význam, je vzácná.

Pozn. Cu se získává ze sulfidů (chalkopyrit, bornit, ...)

## **Stříbro - Ag**

– krystaly vzácné, *časté drátky nebo dendritické útvary (kostrovité krystaly)*

**Fyzikální vlastnosti:** *barva stříbrná – bílá (na vzduchu tmavne až černá – pokrývá se vrstvičkou  $Ag_2S$ ), tvrdost 2, hustota 11, vysoce vodivé*

**Geneze:** *druhotný (supergenní) minerál, vznikající v zóně zvětrávání ložisek Pb-Zn-Ag rud (subzóně cementační) – Příbram, Jihlava, Kutná Hora, Stříbro, Jáchymov, Banská Štiavnica*

- vzácně primální na žilách pětiprvkové formace (Jáchymov)

Jako minerál nemá průmyslový význam, je vzácné.

Pozn. Ag se získává většinou z galenitu jako vedlejší produkt, také z jiných ušlechtilých sulfidů Ag.

## **Zlato - Au (+Ag)**

– krystaly vzácné, *časté plíšky, někdy s náznaky krystalů (oktaedr), dendritické útvary („mechové zlato“), valounky (v náplavech)*

**Fyzikální vlastnosti:** *barva zlatožlutá (s přibýváním Ag bledší), kovový lesk, tvrdost 2.5, hustota 19, vysoce vodivé, odolné vůči zvětrávání*

**Přirozená slitina Au + Ag je nazývána elektrum**



**Geneze:** - *vázána na ultrabazické magmatické horniny ze svrchního pláště (peridotity, serpentinity, pyroxenity), v asociaci s chromitem - Ural*  
- *sekundárně v náplavech*

## Prvky – nekovy

- *dvě polymorfní modifikace uhlíku - grafit a diamant (viz fázový diagram), síra*

### **Grafit - C**

– *soustava hexagonální: krystaly vzácné, časté šupinky, lupenité agregáty až masivní agregáty*

**Fyzikální vlastnosti:** *barva černá, kovový lesk, nízká tvrdost (1), vodič elektřinu, dokonalá štěpnost podle báze /001/, hustota 2.2, žáruvzdorná do 3000 °C*

**Struktura:** *obr. - vrstvy atomů uhlíku s orientací 001, v rámci nich silné kovalentní vazby*

- *mezi vrstvami slabé a delší zbytkové vazby (Van der Waalovy síly)*
- *známé dva polytypy (hexagonální a trigonální)*

Struktura určuje výše uvedené fyzikální vlastnosti

**Geneze:** *středně a silně metamorfované horniny (metasedimenty), kde byla původně organická hmota – grafitické ruly, grafitické mramory,.....*

**Naleziště:** *Český Krumlov, Bližná, Velké Vrbno, Petříkov, Velké Tresné*



**Význam:** důležitý průmyslový minerál (tužky, elektrody, kelímky v hutích, maziva)

## **Diamant - C**

– *soustava kubická*: krystaly tvaru *osmistěnu, případně spojky s hexaoktaedrem (obr.)*, zrna izometrická

### **Fyzikální vlastnosti:**

- *barva šedá, bílá, bezbarvý,*
- *lesk diamantový (vysoký index lomu (2.4) a vysoká světelná disperze,*
- *tvrdost 10, izolant,*
- *dobrá štěpnost podle /111/,*
- hustota 3.5, při 1000 °C shoří na CO<sub>2</sub>

**Struktura:** *obr. – tetraedrická , vazby silné kovalentní, prostorově ideálně rozložené, elektronové obaly atomů se značně překrývají)*

Struktura určuje výše uvedené fyzikální vlastnosti

**Geneze:** *vznik za vysokých teplot a tlaků ve svrchním plášti, vázán na kimberlity ev. podobné ultrabazické horniny, provází ho často pyrop*  
- *sekundární výskyty v náplavech (Brazílie)*

**Lokality:** *JAR, Namíbie, Jakutsko*

**Význam:** důležitý průmyslový minerál (brusné prostředky a obráběcí nástroje, klenotnictví - drahokam)

## Síra - S

- má 3 modifikace:  $\alpha$  - soustava kosočtverečná (stabilní do 95 °C)  
 $\beta$ , ( $\chi$ ) - soustava monoklinická

**Krystaly:** na krystalech *převládají rombické dipyramidy*, agregáty zrnité až celistvé, práškovité povlaky

### Fyzikální vlastnosti:

- barva žlutá,
- lesk diamantový na krystalových plochách (vysoké indexy lomu)
- tvrdost 2,
- štěpnost chybí,
- hustota 2.1, hoří

**Struktura:** obr. – molekulární (prstence  $S_8$ ), v rámci nich silné kovalentní vazby, mezi prstenci pouze slabé zbytkové vazby – Van der Valsovy síly

Struktura určuje výše uvedené fyzikální vlastnosti

### Geneze:

- vulkanogenní (sublimací ze sopečných plynů) – Sicílie, Japonsko
- sedimentární (z ložisek sádrovce biochemickou činností sirných bakterií je sádrovec redukován na S, za spoluúčasti organických látek – např. metanu)

(Polsko – Tarnobrzeg)

- antropogenní vznik na hořících haldách uhelných dolů (Ostrava, Kladno)

**Význam:** důležitý minerál pro chemický průmysl

## HALOVCE - HALOGENIDY

Halovce jsou sloučeniny kovů s halogenem (v zemské kůře tedy s F a Cl).

Můžeme je odvodit od příslušných kyselin (HF, HCl).

Fluor se geochemicky podstatně liší od chloru, což je příčinou rozdílné geneze fluoridů (hydrotermální roztoky a fluida) a chloridů (sedimenty z mořské vody).

### Halit (sůl kamenná) – NaCl

- *krystaluje v soustavě krychlové, krystalovým tvarem je krychle (většinou však s různoměrným vývinem). Agregáty jsou zrnité, někdy stébelnaté či vláknité*
- typické fyzikální vlastnosti: *štěpnost dokonalá podle /100/, tvrdost 2, hustota 2.2, lesk skelný, rozpustná ve vodě, slaný*
- halit je *bezbarvý, bílý, zbarvení pochází od příměsí* – šedý (příměs jílu), *oranžově červený (pigment oxidů Fe<sup>3+</sup>)*, vzácně inkoustově modré zbarvení, jehož příčinou jsou strukturní defekty

**Struktura:** známý typ, oktaedrická, vazby iontové

### Geneze

- chemogenní **sediment z mořské vody**, vznikající odpařováním v aridních oblastech v uzavřených zátokách, doplňovaných občasně mořskou vodou (ložiska evaporitů).
- v Evropě: východní Slovensko (Solivar u Prešova, Michalovce), Polsko (Wieliczka), Rakousko – oblast „Solné komory“ (Salzburg), Německo (Stassfurt)

## Sylvín – KCl

- *krystaluje v soustavě krychlové, krystalovým tvarem je krychle. Agregáty jsou zrnité.*
- fyzikální vlastnosti a zbarvení stejné jako u halitu: *štěpnost dokonalá podle /100/, tvrdost 2, lesk skelný, rozpustný ve vodě, hořký, nejčastěji je bezbarvý, bílý*

**Struktura:** izostrukturální s halitem

## Geneze

- chemogenní **sediment z mořské vody (evapority)**, vznikající odpařováním v aridních oblastech v uzavřených zátokách. **Na ložiskách solí je vzácnější než halit**, vylučuje se až při vyšších koncentracích solných roztoků (Stassfurt – Německo)

## Fluorit – CaF<sub>2</sub>

- *krystaluje v soustavě krychlové, krystalovým tvarem je krychle, vzácněji osmistěn, časté spojky obou tvarů. Agregáty jsou zrnité.*
- *dvojčata podle /111/*
- fyzikální vlastnosti: *štěpnost dokonalá podle /111/, tvrdost 4, lesk skelný, hustota 3.2, nejčastěji je fialový nebo zelený, též bezbarvý, bílý, žlutý nebo černofialový*
- *fluorescence (při zahřátí)*

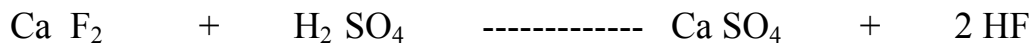
## Struktura

- *kubická, koordinace Ca je krychlová (mezi 8 kyslíky), vazby iontové*
- ionty Ca tvoří krychlovou plošně centrovanou mřížku

## Geneze

- **hydrotermální na rudních žilách**, častá parageneze *fluorit – baryt – křemen* – kalcit (typická pro Český masiv): Harrachov, Moldava a Kovářská v Krušných horách, Tišnov, Štěpánovice u Tišnova.

**Význam** : surovina na výrobu HF



## Kryolit – $\text{Na}_3 \text{Al F}_6$

- *krystaluje v soustavě jednoklonné. Agregáty jsou zrnité.*
- *je čirý, bílý, skelného lesku, tvrdost 3*

**Geneze:** pegmatit - ložisko Ivigtut v Grónsku

**Význam** : původní surovina na výrobu Al

## Carnallit – $\text{K Cl} \cdot \text{Mg Cl}_2 \cdot 6 \text{H}_2\text{O}$

- *kosočtverečný, agregáty zrnité*
- zbarven žlutě až červeně
- tvrdost a hustota kolem 2
- *silně hygroskopický*

**Geneze:** ložiska evaporitů – v konci odpařování roztoků – Stassfurt (Německo)

# SULFIDY

Sulfidy jsou sloučeniny  $S^{2-}$  s kovy (jedním nebo více). *Do skupiny sulfidů řadíme i takové minerály, kde síra je zčásti nebo úplně zastoupena As (arzenidy), Se (selenidy), Te (teluridy), zřídka též Sb a Bi.*

Sulfidy mají velký ekonomický význam jako hlavní suroviny většiny kovů. Geneze sulfidů je především hydrotermální (žilná a metasomatická ložiska).

Chemické vazby v sulfidech jsou převážně kovalentní nebo kovové, často smíšené.

Většina sulfidů má kovový lesk, na rozdíl od kovů nejsou většinou kujné ale jsou křehké (kruché), mají vesměs vysokou hustotu.

## System sulfidů

- starší učebnice (např. Slavík a kol. 1974) řadí sulfidy podle klesajícího poměru kov : síra /  $Ag_2S$ ,  $PbS$ ,  $Sb_2S_3$ ).
- dělení na *sulfidy kovů* (kovy + S) a *sulfosole* (kov + polokov /As, Sb obsazují některé z pozic kovů ve struktuře/ + S)

## Dnes přirozenější krystalochemická klasifikace:

- *sulfidy s tetraedrickou strukturou*
- *sulfidy s oktaedrickou strukturou*
- *kombinované tetraedrické + oktaedrické struktury*
- *struktury s jiným uspořádáním*
- *sulfidy s komplexními strukturami*

Struktury sulfidů (kromě komplexních) si můžeme představit jako nejtěsnější uspořádání velkých atomů S, kationty obsazují různým způsobem vzniklé dutiny.

### **Sulfidy s tetraedrickou strukturou (sfalerit, chalkopyrit, bornit)**

**Sfalerit – ZnS (příměs Fe až několik %, stopy Cd, Mn, In, Ge, Ga...)**

- *krystaluje v soustavě krychlové, krystalovým tvarem je tetraedr a rombický dodekaedr (viz modely). Agregáty jsou zrnité, s dobře viditelnou výbornou štěpností podle rovin rombického dodekaedru – (110) (6 rovin štěpnosti!)*
- 
- *sfalerit je izostrukturní s diamantem, 1/2 tetraedrických dutin je obsazena kovem, vazby kovalentní*

**Fyzikální vlastnosti sfaleritu jsou ovlivněny konkrétním chemismem:**

- zbarvení žluté – oranžové – medové - hnědé – černé (s přibýváním Fe), černá varieta sfaleritu se nazývá „marmatit“
- štěpnost výborná dle (110), tvrdost a hustota asi 4, polokovový lesk

**Geneze: hydrotermální rudní žíly (nejčastěji v asociaci s galenitem) – Příbram, Kutná Hora, Jihlava, Banská Štiavnica, metasomatická Pb -Zn ložiska – Mežica (Slovinsko), polymetalická sulfidická ložiska jiné geneze (Zlaté Hory)**

## Chalkopyrit – $\text{CuFeS}_2$

- *krystaluje v soustavě tetragonální v poloplochých tvarech (tetragonální disfenoid a skalenoedr) (viz modely). Agregáty masivní, vtroušená zrna.*
- *Struktura blízkce příbuzná sfaleritu (viz Obr.). 1/2 tetraedrických dutin je obsazena kovem- střídavě Fe, Cu, souměrnost proto snížena na tetragonální*

### Fyzikální vlastnosti:

- *barva kovově žlutá (s odstínem do zelena) – vzhledem k pyritu mnohem sytější, vzhledem ke zlatu bledší. Chalkopyrit na povrchu často pestře nabíhá – modrofialově (povlak covellinu  $\text{CuS}$ )*
- *neštěpný, tvrdost a hustota asi 4.5, kovový lesk*

**Geneze: hydrotermální rudní žíly (samostatně nebo v asociaci s pyritem, sfaleritem) – Kutná Hora, Ludvíkov u Vrbna, Borovec u Štěpánova, Banská Štiavnica, polymetalická *sulfidická ložiska jiné geneze* (Zlaté Hory)**

## Bornit – $\text{Cu}_5\text{FeS}_4$

- *krystaluje v soustavě krychlové, krystaly řídké, obyčejně kusový (masivní agregáty)*

### Fyzikální vlastnosti:

- *barva kovově červenofialová, na povrchu rychle nabíhá pestrými barvami (fialový, hnědý)*
- *neštěpný, tvrdost 3, hustota 5, kovový lesk*

**Geneze: hydrotermální rudní žíly – Vrančice u Příbrami (s chalkozímem), *sulfidická ložiska jiné geneze* (Zlaté Hory) – s chalkopyritem, sfaleritem, galenitem, pyritem**



## Sulfidy s oktaedrickou strukturou (galenit, pyrhotin, nikelín)

### *Struktury:*

- atomy síry v nejtěsnějším uspořádání se symetrií krychlovou či hexagonální
- atomy kovů obsazují jen oktaedrické dutiny, ve většině případů jsou všechny oktaedrické dutiny obsazeny

### **Galenit – PbS ( izomorfní příměs Ag v 0.X - 1 %) – nejdůležitější ruda Pb a Ag**

- *krystaluje v soustavě krychlové, krystalovým tvarem je krychle a oktaedr, rombický dodekaedr (viz modely). Agregáty jsou zrnité, s dobře viditelnou výbornou štěpností podle rovin krychle*
- *galenit je izostrukturální s halitem,*

### **Fyzikální vlastnosti galenitu:**

- *barva stříbrobílá (čerstvý), časem šedne a tmavne, ztrácí lesk – pokrývá se vrstvičkou Ag<sub>2</sub>S*
- *štěpnost výborná dle krychle, tvrdost 2.5, je velmi křehký, hustota 7.5, kovový lesk*

### **Geneze: hojný sulfid :**

*hydrotermální rudní žíly (nejčastěji v asociaci se sfaleritem) – Příbram, Kutná Hora, Jihlava, Stříbro, Nová Ves u Rýmařova, Oloví, Banská Štiavnica,*

*metasomatická Pb -Zn ložiska – Mežica (Slovinsko),*

*polymetalická sulfidická ložiska jiné geneze (Zlaté Hory, Horní Benešov, Horní Město)*

## **Pyrhotin – FeS** ( přesněji $\text{Fe}_{1-x}\text{S}$ ),

stechiometrický FeS – je minerál **troilit** (vyskytuje se v meteoritech)

- *krystaluje v soustavě hexagonální, více polytypů (i monoklinické),*
- *krystaly vzácné – tabulkovité dle báze, většinou kusový („litá ruda“)  
agregáty někdy zrnité*

**Struktura:** *oktaedrická, vrstevní (viz. Obr.),* nejtěsnější uspořádání atomů síry je hexagonálního typu

### **Fyzikální vlastnosti pyrhotinu:**

- *velmi typická bronzově hnědá barva ( čerstvý stříbrohnědý), , kovový lesk*
- *časem tmavne, ztrácí lesk*
- *neštěpný, tvrdost 3.5, křehký, hustota 4, je magnetický*

**Geneze:** hojný sulfid :

*hydrotermální výšeteplotní rudní žíly (nejčastěji v asociaci se sfaleritem) – Kutná Hora, likvační ložiska v bazických intruzívech (parageneze pyrhotin – chalkopyrit- pentlandit) – Staré Ransko, Sudbury (Kanada), metamorfovaná sulfidická ložiska jiné geneze (Zlaté Hory), akcesorický opakní minerál v horninách (amfibolity, bazalty, mramory, ...)*

## **Nikelín – NiAs**

- *krystaluje v soustavě hexagonální,*
- *krystaly vzácné, většinou kusový - masivní („litá ruda“)*

**Struktura:** *izostrukturní s pyrhotinem*

### **Fyzikální vlastnosti nikeliínu:**

- *velmi typická barva světle kovově červená (čerstvý), kovový lesk*
- *časem tmavne, ztrácí lesk*
- *neštěpný*

### **Geneze:**

*hydrotermální rudní žíly pětiprvkové formace (Ag-U-Co-As-Ni-Bi) – Jáchymov*

### **Sulfidy s kombinovanou tetraedrickou a oktaedrickou strukturou**

- atomy kovů obsazují tetraedrické i oktaedrické dutiny

Pentlandit –  $(\text{Fe}, \text{Ni})_9 \text{S}_8$  – nejdůležitější ruda Ni

Makroskopicky podobný pyrhotinu

### **Sulfidy s jiným uspořádáním struktury**

- **argentit - akantit**
- **molybdenit**
- **cinabarit**
- covellin
- chalkozín

## Argentit - akantit $\text{Ag}_2\text{S}$

*Kubický argentit je stabilní modifikací  $\text{Ag}_2\text{S}$  za teploty nad  $179^\circ\text{C}$ , jednoklonný (pseudokubický) **akantit** vzniká za teplot nižších než  $179^\circ\text{C}$ .*

Krystalovými tvary argentitu je krychle a osmistěn. **Akantit (ev. argentit) však nejčastěji tvoří dendrity, celistvé hmoty nebo povlaky** a pseudomorfuje drátky stříbra.

*Je černošedý*, na čerstvém povrchu má silný kovový lesk, rychle však tmavne a černá. *Je kujný*.  $T= 2-2.5$ ,  $h= 7.3$ ,

**Geneze:** *Argentit je pozdním hydrotermálním minerálem* (Pb-Zn-Ag žilná formace). Vyskytuje se s galenitem a Ag-minerály (pyrargyritem, proustitem, stefanitem). Lokality: Příbram, Stará Vožice.

*Typický je pro pětiprvkovou formaci rudních žil*. V Jáchymově se vyskytoval v drúzách xx a kusech o hmotnosti až několika kg, často v asociaci s proustitem.

## Molybdenit $\text{MoS}_2$

Pravidelně obsahuje stopové množství Re (max. 0.3 %).

*- hexagonální minerál, vytváří však několik polytypů* (zejména 2H - hexagonální, 3R - trigonální). *Struktura je vrstevního typu (obr.)*.

*Krystaly tabulkovité s hexagonálním obrysem*, většinou s nedokonale vyvinutými krystalovými plochami. *Agregáty jsou šupinkaté až lupenité*, někdy růžicovité (s radiálním uspořádáním lupínek).

*Fyzikální vlastnosti molybdenitu:*

- *je modravě stříbrošedý, má silný kovový lesk*
- *štěpnost dokonalé dle báze.* Je ohebný, dá se krájet a dobře vede elektřinu.
- *Tvrdoost 1, hustota 5.*

**Geneze:** *vysokoteplotní hydrotermální mineralizace* – greiseny (Cínovec, Horní Slavkov, Krupka)

- pukliny granitoidů a pegmatitů (Černá Voda u Žulové)
- Cu-Mo porfyrové rudy

**Význam :** ruda **Mo** a **Re**

**Cinabarit HgS („rumělka“)**

- *krystaluje v trigonální soustavě. Krystaly hojnoploché, čočkovité (obr. ).*  
*Agregáty kusové, zrnité i práškovité.*

Fyzikální vlastnosti:

- *Barva vínově červená (krystaly), agregáty světlejší, lesk diamantový (na krystalech).*
- *Tvrdoost 3, hustota 8*
- *Odolnost vůči zvětrávání*

**Geneze:** *nízkoteplotní hydrotermální žíly* (Merník u Prešova, Nižná Slaná, Idria – Slovinsko)

- *druhotně se koncentruje v náplavech*

***Význam: ruda Hg***

**Covellin CuS**

- *krystaluje v hexagonální soustavě, struktura vrstevního typu. Většinou tvoří jen tenké povlaky na jiných sulfidech mědi (chalkopyritu, bornitu),*

Fyzikální vlastnosti:

- *Barva tmavě modrá až tmavě červená, kovový lesk*
- *Tvrdość 3, hustota 8*

**Geneze: Cu-ložiska různé geneze – většinou sekundární**

**Chalkozín Cu<sub>2</sub>S**

- *krystaluje v romboické soustavě, krystaly jsou tlustě tabulkovité a pseudohehexagonální. Agregáty kusové, jemnozrné až celistvé.*

Fyzikální vlastnosti:

- *Barva kovově černošedá, kovový lesk*
- *Tvrdość 3, hustota 6*

***Význam: ruda Cu***

## Sulfidy s komplexními strukturami

- pyrit - markazit
- arzenopyrit
- antimonit
- tetraedrit
- realgar a auripigment

### Sulfidy Fe – pyrit, markazit, arzenopyrit

Krychlová soustava		Rombická soustava	
Pyrit	FeS <sub>2</sub>	-----	Markazit
			Arzenopyrit
			FeS <sub>2</sub>
			FeAsS

**Pyrit**- nejhojnější ze sulfidů

- *krystaluje v krychlové soustavě, Krystalovým tvarem krychle a pentagon-dodekaedr – viz modely (krystalové plochy rýhovány). Agregáty kusové - zrnité až celistvé.*
- *struktura blízká halitu (S<sub>2</sub> molekuly).*

Fyzikální vlastnosti:

- *Barva mosazně žlutá, kovový lesk, někdy náběhové barvy*
- *Tvrdość 6, hustota 5*
- *Není štěpný*
- *Snadno zvětrává za uvolnění kyseliny sírové (druhotně vzniká limonit a sírany)*

**Geneze:** *sulfidická ložiska různé geneze – hydrotermální* (Kutná Hora, Nová Ves u Rýmařova, Banská Štiavnica),

- *metamorfní a metamorfované typy ložisek* (Zlaté Hory, Smolník - Slovensko)
- *sedimentární geneze (černé uhlí, konkrce v jílech)* – Kladno

Význam: dříve výroba kyseliny sírové a železa

**Markazit** - hojný

- *krystaluje v rombické soustavě, krystaly sloupcovité a tabulkovité, agregáty stébelnaté, tabulkovité, zrnité.*
- *Ve struktuře opět molekuly (komplexy) S<sub>2</sub>*

Fyzikální vlastnosti:

- *Barva mosazná – bledší než u pyritu, kovový lesk (navětráním se ztrácí), někdy náběhové barvy*
- Tvrdost 5, hustota 5
- Není štěpný
- *Velmi rychle zvětrává za uvolnění kyseliny sírové (druhotně vzniká limonit a sírany)*

**Geneze:**

- *většinou druhotný v horních partiích sulfidických ložisek* (Zlaté Hory)
- *sedimentární geneze (hnědé uhlí, konkrce v jílech)* – SHR



## Arzenopyrit - Fe As S

- *krystaluje v rombické soustavě, krystaly krátce sloupcovité, plochy rýhované, agregáty zrnité*
- *struktura typu markazitu*

Fyzikální vlastnosti:

- *Barva kovově šedobílá – postupně tmavne, kovový lesk (navětráním se ztrácí)*
- Tvrdost 6, hustota 6
- Není štěpný

Geneze:

- *typický nerost hydrotermálních žil (Příbram, Jáchymov, Kutná Hora), v greisenech (Horní Slavkov)*

## Tetraedrit – tennantit (příměsí Ag, Hg )



- *krystalují v soustavě krychlové, na krystalech převládá tetraedr a tvary odvozené od tetraedru*
- *barva kovově šedá, tvrdost a hustota asi 4*
- *není štěpný, ale je velmi křehký*

*Geneze : minerál hydrotermálních žil (Příbram, Ratibořice, Rožňava, Slovinky, Rudňany)*

*Průmyslový význam: ruda Cu, Sb, Ag, Hg*

## Sulfidy polokovů

**Realgar**       $\text{As}_2\text{S}_2$                       **Auripigment**       $\text{As}_2\text{S}_3$

- oba jsou jednoklonné, na krystalech s diamantovým leskem

*Realgar je oranžový až červený, bez štěpnosti*

*Auripigment je temně žlutý, dokonale štěpný podle /010/*

*Geneze: oba minerály představují převážně druhotné fáze, vzniklé rozkladem arzenopyritu na jeho ložiskách (Jáchymov, Tajov u Banské Bystrice).*

Jde o vzácnější minerály bez ekonomického významu.

# OXIDY A HYDROXIDY

Oxidy jsou sloučeniny  $O^{2-}$  s prvky kovovými i nekovovými. Ke skupině oxidů jsou řazeny také přírodní hydroxidy a oxihydroxidy (např.  $Fe(OH)_2$  /  $Fe(OH)_3$ ).

## System oxidů

- starší učebnice (např. Slavík a kol. 1974) řadí oxidy podle rostoucího podílu kyslíku ve vzorci

Dnes přirozenější krystalochemická klasifikace:

- *oxidy s tetraedrickou strukturou*
- *oxidy s oktaedrickou strukturou*
- *kombinované tetraedrické + oktaedrické struktury oxidů*
- *kubické oxidy*
- *struktury s jiným uspořádáním*

Struktury oxidů si můžeme obecně představit jako nejtěsnější uspořádání velkých atomů O, kationty obsazují vzniklé dutiny v tomto skeletu.

## Oxidy s tetraedrickou strukturou (minerály $SiO_2$ )

Minerály  $SiO_2$  jsou v zemské kůře velmi rozšířené (křemen). *Vyskytují se v několika polymorfních modifikacích (viz obr. ), jejichž vznik je závislý na teplotě a tlaku při jejich krystalizaci. Struktury modifikací  $SiO_2$  jsou tvořené trojrozměrným skeletem vzájemně provázaných tetraedrů  $SiO_4$  (výjimka stišovit – oktaedrický)*

*Nejdůležitější z nich je křemen (nejrozšířenější horninotvorný minerál)*

## **Polymorfní modifikace SiO<sub>2</sub>:**

**Křemen nižší (α křemen)** - trigonálně trapezodrický

**Křemen vyšší (β křemen)** - hexagonální

(teplota fázového přechodu obou modifikací je 573 °C za atmosf. tlaku).

- vysokoteplotní a nízkotlaké modifikace (**tridymit a cristobalit**) – v dutinách kyselých vulkanitů (Nezdenice)
- vysokotlaké modifikace (**coesit, stišovit**) – v meteorických kráterech, vznikají při impaktu

## **Křemen**

- *krystaly jsou sloupcovité (α křemen – trigonální a hexagonální prizma, klence, trigonální trapezoedr, β křemen – hexagonální prizma a dipyramida). Agregáty zrnité. **Dvojčatné srůsty běžné (alpský, brazilský a japonský)**.*

**Struktura: trojrozměrná struktura křemene (obdoba tektosilikátů) se jeví jako kombinace šestičlankových a osmičlankových smyček tetraedrů SiO<sub>4</sub>, v relativně kompaktním uspořádání.**

Fyzikální vlastnosti:

- *bezbarvý (křišťál), bílý nebo různě zbarvený (fialový – ametyst, hnědý – záhněda, černý – morion, růžový – růženín, žlutý – citrín)*
- *skelný lesk*
- *Tvrdość 7, hustota 2.7*

- *Není štěpný*

**Geneze velmi rozmanitá:**

- *podstatný horninotvorný minerál kyselých magmatitů (granit, granodiorit, ryolit, pegmatity /růženín – Bory, Písek/, aplity,.....), metamorfitů (fylity, svory, ruly, granulity,.....)*
- *v klastických sedimentech (písky, pískovce, droby,.....)*
- *hydrotermální minerál (rudní žíly, greiseny) – Cínovec (záhnědy), Banská Štiavnica (ametyst), samostatné křemenné žíly (Žulová)*

**Průmyslový význam:** sklářská surovina, optické segmenty

Kromě uvedených minerálů patří do skupiny SiO<sub>2</sub> také:

- *mikrokrystalické (navenek amorfní) variety křemene* – chalcedony
- *morfologicky i vnitřní stavbou amorfní* – opál (SiO<sub>2</sub> . n H<sub>2</sub>O)

**Chalcedony** – mají agregátní struktury, složené z submikroskopických vláken, zrn a tyčinek, při RTG- analýze odpovídají křemenu. Variety – achát, jaspis, onyx, karneol.

**Opál** – je hydratovaný SiO<sub>2</sub> a je složen z malých kuliček o velikosti asi 100 nm (vnitřní stavba). V drahém opálu toto uspořádání láme a rozkládá světlo a způsobuje ohnivý barevný třpyt.

## Oxidy s oktaedrickou strukturou

(hematit, korund, ilmenit, rutil, kasiterit)

*Hematit, korund a ilmenit jsou izostrukturní fáze. Anionty kyslíku tvoří nejtěsnější uspořádání se symetrií hexagonální. Ve 2/3 oktaedrických dutin jsou rozmístěny kationty (Fe, Al, ...). Symetrie krystalu je trigonální.*

### **Hematit – Fe<sub>2</sub> O<sub>3</sub>**

- *krystaluje v soustavě trigonální, krystaly jsou tabulkovité (tvary – klenec, ditrigonální skalenoedr – viz modely). Tence tabulkovité krystaly tvoří varieta „spekularit“. Agregáty variabilní dle geneze: lupenité, zrnité, paprscité („lebník“), práškovité (okry).*

Fyzikální vlastnosti:

- *Barva černá až červená (dle kvality krystalů a charakteru agregátů), polokovový lesk (práškovité agregáty matné), někdy náběhové barvy*
- Tvrdost 5, hustota 5, není štěpný

### **Geneze hematitu:**

- *sedimentární oolitické rudy* (Barrandien – ordovik: Nučice, Zdice)
- *prekambrické železnorudné páskované formace (BIF) – Kursk (Rusko)*
- *hydrotermální* (na sideritových žilách Slovenského rudohoří, s křemenem Horní Blatná u Jáchymova)

**Význam:** ruda Fe

### **Korund – Al<sub>2</sub> O<sub>3</sub>**

- *krystaluje v soustavě trigonální, krystaly soudečkovité* (tvary – klenec, ditrigonální sklenoedr – viz modely). *Agregáty zrnité („smirek“).*

Fyzikální vlastnosti:

- *bezbarvý* (leukosafír), *modrý (safír), červený (rubín), skelný lesk*
- *tvrdost 9*, hustota 4
- Není štěpný

**Geneze korundu:**

- *pegmatity bohaté hliníkem* (Bory u Velkého Meziříčí)
- *druhotně přechází do náplavů (velmi odolný vůči zvětrávání)* (Jizerská louka)

**Význam:** vzácný minerál, *klenotnictví, brusné účely*

### **Ilmenit – Fe Ti O<sub>3</sub>**

- *krystaluje v soustavě trigonální, krystaly jsou tenče tabulkovité* (tvary – klenec, ditrigonální sklenoedr – viz modely)

Fyzikální vlastnosti:

- *barva černá, kovový lesk*
- tvrdost 5, hustota 5
- velmi slabě magnetický

### **Geneze:**

- *akcesorický minerál v horninách (gabra, granitoidy, bazalty, amfibolity, ruly,...)*
- *magnetit – ilmenitové magmatogenní rudy v gabrech*
- *druhotně v náplavech (Jizerská louka – „iserín“)*

**Význam:** ruda Ti

*Rutil a kasiterit jsou izostrukturální fáze. Atomy Ti (Sn) tvoří tetragonální buňku – prostorově centrovanou a jsou rozmístěny v oktaedrech kyslíků. Symetrie krystalu je tetragonální.*

### **Rutil – Ti O<sub>2</sub>**

- *krystaluje v soustavě tetragonální, krystaly jsou krátce sloupcovité (tvary – tetragonální prizmata a dipyramidy) – viz modely. Hojně dvojčatné srůsty dle (101). Jehlicovité krystaly (varieta „sagenit“)*

Fyzikální vlastnosti:

- *barva červenohnědá až hnědočerná, skelný až polokovový lesk*
- tvrdost 7, hustota 4
- velmi odolný vůči zvětrávání



### **Geneze:**

- *akcesorický minerál v horninách (granulity, amfibolity, ruly,...), v pegmatitech (Věžná u Rožné)*
- *druhotně v náplavech (Soběslav, Golčův Jeníkov)*

### **Kasiterit (cínovec) – Sn O<sub>2</sub>**

- *krystaluje v soustavě tetragonální, krystaly jsou krátce sloupcovité (tvary – tetragonální prizmata a dipyramidy) – viz modely. Hojné dvojčatné srůsty dle (101). Agregáty zrnité*

Fyzikální vlastnosti:

- *barva hnědá, hnědočerná, skelný až polokovový lesk*
- tvrdost 7, hustota 7
- velmi odolný vůči zvětrávání

### **Geneze:**

- *vysokoteplotní hydrotermální procesy – ložiska greisenového typu (parageneze + křemen, wolframit, scheelit, topaz, cinvaldit, arzenopyrit (Cínovec, Krupka, Horní Slavkov)*
- *druhotně v náplavech (Malajsie)*

**Význam:** ruda Sn

## Oxidy s kombinovanou tetraedrickou - oktaedrickou strukturou

(spinelidy - magnetit, spinel, chromit)

*Spinelidy zahrnují izostrukturální fáze. Anionty kyslíku tvoří nejtěsnější uspořádání se symetrií kubickou. V části tetraedrických i oktaedrických dutin jsou rozmístěny příslušné kationty. Symetrie krystalu je kubická, krystalovým tvarem oktaedr. Hojné dvojčatné srůsty dle (111).*

### **Magnetit Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub>**

- *krystaly tvaru oktaedru.* Agregáty zrnité, zrna izometrická

Fyzikální vlastnosti:

- *barva černá, kovový lesk*
- tvrdost 6, hustota 5
- je magnetický

**Geneze:**

- *výskyty a ložiska v bazických intruzívech – gabrech (Ural, Švédsko)*
- *Fe-skarny (Malešov u Kutné Hory, Vlastějovice nad Sázavou, Měděnec, Pernštejn )*
- *metamorfovaná ložiska Lahn-Dillského typu (vulkanickosedimentární) – Malá Morávka, Zlaté Hory, Malý Děd (Hrubý Jeseník)*
- *páskovaná železnorudná formace (BIF) – (Kursk, Rusko)*

**Význam:** nejkvalitnější ruda Fe

## **Spinel $MgAl_2O_4$**

- *krystaly tvaru oktaedru.* Agregáty zrnité, zrna izometrická

Fyzikální vlastnosti:

- *různě zbarvený, skelný lesk,* drahokamové odrůdy červené , *černá varieta „pleonast“*
- *tvrdost 8,* hustota 3.5

**Geneze:**

- *v metamorfovaných dolomitických a dolomit-kalcitických mramorech* (Sokolí U Třebíče, Stará Červená Voda u Žulové)
- *díky své odolnosti vůči zvětrávání sekundárně v náplavech* (Jizerská louka – pleonast)

**Význam:** vzácný minerál, drahokamové odrůdy

## **Chromit (Fe, Mg) $Cr_2O_4$**

- *krystaly tvaru oktaedru.* Agregáty zrnité, zrna izometrická

Fyzikální vlastnosti: *podobný magnetitu*

- *barva černá až černohnědá, kovový lesk*
- není magnetický

**Geneze:**

- *výskyty a ložiska v ultrabazických horninách – peridotitech a hadcích* (Ural, Albánie) – akcesoricky v hadcích - Drahonín u Tišnova

**Význam:** jediná ruda Cr

## Oxidy s kubickou strukturou

**Uraninit**  $\text{UO}_2$  s (podíly Pb, Ra)

- krystaly netvoří, *struktura krychlové symetrie s kubickou koordinací atomů uranu*
- *agregáty kusové a ledvinité*

Fyzikální vlastnosti:

- *barva černá, smolný lesk („smolinec“)*
- tvrdost 6, hustota 8-10
- je silně radioaktivní

**Geneze:**

- *výskyty a ložiska hydrotermálního původu – žilného typu, hlušinou karbonáty, tmavý fluorit, pyrit ( Příbram, Rožínka - Olší)*
- *hydrotermální žilná ložiska „pětiprvkové formace“ (Jáchymov, Zálesí u Javorníka)*

**Význam:** ruda U, strategická surovina

## Oxidy s jiným uspořádáním struktury

**Kuprit**  $\text{Cu}_2\text{O}$

- *krystaluje v soustavě krychlové, krystalovým tvarem osmistěn, agregáty zrnité*

- zbarvení za čerstva červené s diamantovým leskem na krystalových plochách, rychle nabíhá ocelově šedě s polokovovým leskem
- tvrdost 4, hustota 6

**Geneze:**

- *na rudních výskytech a ložiskách Cu – produkt oxidace Cu-rud (Běloves u Náchoda)*

### *Hydroxidy a oxid-hydroxidy*

**Gibbsit (hydrargilit)  $\text{Al}(\text{OH})_3$**

- *jednoklonný minerál s vrstevní strukturou*, tabulkovité krystalky dle 001, podobný slídám, s perleťovým leskem, bílý, šedý
- *struktura dioktaedrická*
- *komponenta bauxitů a lateritů*

**Brucit /“brusit“/  $\text{Mg}(\text{OH})_2$**

- *trigonální minerál s vrstevní strukturou*, tabulkovité krystalky, výborná štěpnost dle (001), s perleťovým leskem, podobný mastku

**Diaspor  $\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot \text{H}_2\text{O}$   $\alpha$**

**Boehmit  $\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot \text{H}_2\text{O}$   $\chi$**

- *obě modifikace kosočtverečné*

Jsou významnou složkou bauxitů.

**Bauxity, laterity (*sedimentární horniny*):** směs hydroxidů a oxid-hydroxidů Al

- jsou celistvé, zemité, různě zbarvené (šedé až načervenalé při příměsi FeOOH)

**Výskyty na Slovensku, ložiska v Maďarsku a na Balkánu**

**Goethit**            **Fe O (OH)**             **$\alpha$**

- *rombický*, krystaly jehličkovité (příbramská „sametka“), agregáty vláknité, krápníkovité až celistvé, *rezavý, hnědý až černý*
- *součást limonitu*

**Lepidokrokit**   **Fe O (OH)**             **$\chi$**

- *podobný goethitu*
- *součást limonitu*

**Limonit:** směs hydroxidů a oxid-hydroxidů Fe, vzniká zvětráváním sulfidů železa, sideritu, ankeritu apod.

## SULFÁTY (SÍRANY)

Sulfáty můžeme odvodit od kyseliny sírové  $H_2SO_4$ . Tyto minerály jsou nekovového vzhledu a většinou měkké, někdy rozpustné ve vodě. Dělíme je na bezvodé a vodnaté.

**a) bezvodé sulfáty (anhydrit, baryt, celestin, anglezit):**

### **Anhydrit – $CaSO_4$**

- *krystaluje v soustavě rombické, na krátce sloupcovitých krystalech vyvinuta prizmata a pinakoidy . Agregáty jsou zrnité.*

Fyzikální vlastnosti:

- *štěpnost dobrá* podle /100/, /001/, /010/
- *tvrdost 3.5*, hustota 3
- anhydrit je nejčastěji *bílý, šedý, světle modrý nebo načervenalý* (zbarvení pochází od příměsí), skelný lesk

### **Geneze**

- chemogenní **sediment z mořské vody – nachází s na ložiskách evaporitů, často společně se sádrovcem** (Wieliczka – Polsko, Stassfurt – Německo)

**Význam :** průmyslový minerál

## **Baryt – Ba SO<sub>4</sub>**

- *krystaluje v soustavě rombické, krystaly tabulkovité* nebo krátce sloupcovité (*prizmata a pinakoidy a rombické dipyramidy*) . *Agregáty jsou lupenité, tabulkovité nebo zrnité.*

**Struktura:** atomy Ba jsou koordinovány dodekaedricky, skupiny SO<sub>4</sub> vytvářejí tetraedry

Fyzikální vlastnosti:

- *štěpnost výborná* podle /001/, dobrá podle /110/
- *tvrdost 2, hustota 4.5* (starý název „těživec“)
- baryt je nejčastěji *bílý, bezbarvý, šedý, namodralý nebo růžový* (zbarvení pochází od příměsí), skelný lesk

## **Geneze**

- *minerál hydrotermálních žil – formace: baryt-fluorit-křemen* (Harrachov, Kovářská, Moldava, Běstvina, okolí Tišnova), *formace sulfidických polymetalických žil* (Příbram, Stříbro, Banská Štiavnica)
- na *metasomatických ložiskách (Horní Benešov)* a stratiformních ložiskách (Zlaté Hory)

**Význam:** *surovina Ba*, v lékařství – rentgenologii, suspenze pro výplachy vrtů

## **Celestin – Sr SO<sub>4</sub>**

- *krystaluje v soustavě rombické, krystaly podobné barytu.*

**Struktura:** izostrukturální s barytem



Fyzikální vlastnosti:

- nejčastěji **bezbarvý, světle modrý**, skelný lesk, tvrdost 3, hustota 4

**Význam:** vzácný minerál

**Anglezit – Pb SO<sub>4</sub>**

- *krystaluje v soustavě rombické, krystaly krátce sloupcovité.*

**b) vodnaté sulfáty (sádrovec, chalkantit, melanterit, epsomit, kamence):**

**Sádrovec – Ca SO<sub>4</sub> . 2 H<sub>2</sub>O**

- *krystaluje v soustavě monoklinické, krystaly tabulkovité podle (010), někdy sloupcovité až jehličkovité. Dvojčatný srůst podle /100/ - „vlaštovčí ocas“- velmi hojný*
- *agregáty zrnité* (průsvitný jemnozrný sádrovec se nazývá **alabastr**)

**Struktura vrstevního typu** (dle 010)!

Fyzikální vlastnosti:

- *štěpnost výborná podle /010/*
- *tvrdost 1.5-2, hustota nízká*
- *bezbarvý, bílý, šedý, medový, perleťový lesk*
- *slabě rozpustný ve vodě*

**Geneze**

- chemogenní **sediment z mořské vody (ložiska evaporitů), často společně s anhydritem** (Kobeřice a Kateřinky u Opavy, Salzburg - Rakousko, Stassfurt – Německo)

- *sekundární minerál při zvětrávání pyritu* a dalších sulfidů (Mostecko, Oslavany)

**Význam:** průmyslový minerál – výroba stavebních směsí (sádra)

**Do skupiny „skalíc“ patří:**

**Chalkantit**  $\text{Cu SO}_4 \cdot 5 \text{H}_2\text{O}$  - triklinický, modrý – lok. Špania Dolina, Smolník

**Melanterit**  $\text{Fe SO}_4 \cdot 7 \text{H}_2\text{O}$  - monoklinický, zelený – lok. Chvaletice

**Epsomit**  $\text{Mg SO}_4 \cdot 7 \text{H}_2\text{O}$  - rombický, bílý

Tyto minerály jsou rozpustné ve vodě a objevují se jako supergenní fáze při zvětrávání sulfidů (v důlních chodbách, na lomových stěnách, odvalech apod.)

Tvoří nejčastěji krystalické kůry, povlaky nebo krápníky.

Epsomit je rozpuštěn v hořkých minerálních vodách – „Šaratica“

**„Kamence“ jsou podvojně vodnaté sulfáty obecného vzorce:**



*Y: Al*

*Kamence krystalizují v soustavě kubické (oktaedr), jsou rozpustné ve vodě a objevují se jako supergenní minerály při zvětrávání sulfidů (na odvalech, haldách apod.) Tvoří nejčastěji krystalické kůry, povlaky nebo krápníky.*

# KARBONÁTY

**Karbonáty patří mezi běžné minerály zemské kůry. Jejich vzorce odvodíme od kyseliny uhličitě  $H_2CO_3$ . Můžeme je rozdělit podle strukturních typů, nebo na bezvodé a vodnaté.**

Většina karbonátů má tvrdost kolem 3, jsou rozpustné v HCl, mají světlé zbarvení a skelný lesk.

## **a) Kalcitový strukturní typ (kalcit, magnezit, siderit)**

*Strukturu lze odvodit od struktury halitu – jde o vzdálenou izotypii*

(představíme si krychli deformačnou na klenec a postavenou na roh. V pozicích Na příslušné kationty a v pozicích Cl planární polyedry  $CO_3$  – jsou orientovány v rovině 001). *Tyto karbonáty krystalují v soustavě trigonální, štěpné dle klence (romboedru)*

## **Kalcit – $CaCO_3$**

- *Na krystalech převládá klenec nebo ditrigonální skalenoedr, jsou známy dvojčatné srůsty (modely!!). Agregáty jsou zrnité se zřetelnou štěpností.*

Fyzikální vlastnosti:

- *štěpnost výborná dle klence*
- *tvrdost 3, hustota 2.7*
- *bezbarvý („islandský vápenec“ – s viditelným dvojlomem), nebo různě zbarven - bílý, šedý, narůžovělý (zbarvení pochází od příměsí), skelný lesk*

**Geneze kalcitu:**

- **chemogenní, biochemogenní nebo biogenní sediment v mořském prostředí - vápence, schránky mořských organismů**

- *těž ve sladkovodním travertinu*
- **horninotvorný minerál krystalických vápenců = mramorů (metamorfované horniny)** – Na Pomezí, Supíkovice, Lipová
- *na hydrotermálních žilách* jako hlušinový minerál (Příbram, Jáchymov)
- krasové jevy (Moravský kras)

**Význam :** důležitý průmyslový minerál (vápno, cement) a stavební kámen, jeden z nejrozšířenějších minerálů

### **Magnezit – Mg CO<sub>3</sub>**

- klencové krystaly vzácné, *štěpné agregáty*
- *hrubě zrnitá hornina magnezit,*
- *celistvé bílé agregáty – hlízy v hadcích*

Fyzikální vlastnosti:

- *štěpnost dle klence*
- *tvrdost 3.5*, hustota 3
- různě zbarven - *bílý, šedý, nažloutlý, skelný lesk*

### **Geneze**

- *metasomatické magnezitové horniny (typ Veitsch)* – Alpské terény: Rakousko, Slovensko (Lučenec – Košice)
- *celistvé bílé agregáty – hlízy ve zvětralých hadcích* (Věžná, Nová Ves u Oslavan), vznik zvětráváním serpentinitu

**Význam :** důležitý průmyslový minerál (výroba žáruvzdorných hmot)

## **Siderit – Fe CO<sub>3</sub>**

- *klencové krystaly, štěpné agregáty, oolity*

Fyzikální vlastnosti:

- *štěpnost dle klence*
- *tvrdost 3.5, hustota vyšší*
- *žlutý až hnědý, zvětráváním tmavne a pokrývá se limonitem, skelný lesk se mění v polokovový*

## **Geneze**

- *hydrotermální rudní žíly – formace sideritová* (Slovenské Rudohoří – Rožňava, Gelnica, Rudňany), - *sulfidické formace* (Příbram, Nová Ves u Rýmařova)
- *metasomatické, povrchově těžené ložisko Erzberg* (Rakousko)
- *sedimentární oolitické Fe-rudy* – Barrandien - ordovik: Zdice, Chrustenice, Nučice

**Význam** : méně významná ruda Fe

## **Rodochrozit – Mn CO<sub>3</sub>**

- *klencové krystaly, štěpné a zrnité agregáty*

Fyzikální vlastnosti:

- *štěpnost dle klence, růžový, skelný lesk*

**b) strukturní typ dolomitu (dolomit, ankerit)**

*Tyto karbonáty krystalují v soustavě trigonální, struktura vykazují nižší symetrii romboedrického oddělení.*

**Dolomit** –  $\text{Ca Mg (CO}_3)_2$  pevný roztok s ankeritem a Mn-analogem (obr.)

- *krystalovým tvarem klenec (model), agregáty jsou zrnité i celistvé*

Fyzikální vlastnosti:

- štěpnost špatná
- *tvrdost 3.5*, hustota 3
- *bílý, šedý, narůžovělý, nažloutlý*, zřídka čirý, skelný lesk
- je méně rozpustný ve vodě a kyselinách, než kalcit

**Geneze**

- *hydrotermální rudní žíly* – (Příbram, Nová Ves u Rýmařova, Banská Štiavnica)
- *sedimentární dolomit (hornina)* – Barrandien, chočský dolomit, Velký Rozsutec

**Význam** : stavební hmoty a stavební kámen, neutralizace kyselých dešťů  
práškováním

**Ankerit** –  $\text{Ca Fe (CO}_3)_2$

- *podobný dolomitu až sideritu*
- *hydrotermální rudní žíly* – (Příbram, Nová Ves u Rýmařova, sideritové žíly Slovenského rudohoří)

**c) strukturní typ aragonitu (aragonit, cerusit)**

*Struktura – hexagonální nejtěsnější uspořádání aniontů  $CO_3$  – obr. - to se projevuje pseudohexagonální symetrií krystalů i způsobem dvojčatění.*

*Tyto karbonáty krystalují v soustavě rhombické.*

**Aragonit –  $Ca (CO_3)$**  - druhá modifikace, podstatně vzácnější než kalcit

- *krystaly sloupečkovité, prizmatické. Agregáty stébelnaté, vrstevnaté („vřídlovec“), pizolitické („hrachovec“), větvičkovité („železný květ“)*
- *dvojčatné srůsty dle (110), i cyklické (modely)*

Fyzikální vlastnosti:

- *tvrdost 3.5, hustota 3*
- *bílý, šedý, narůžovělý, zřídka čirý, skelný lesk*

**Geneze**

- *chemogenní sediment z horkých pramenů – vřídlovec, hrachovec (Karlovy Vary)*
- *na metasomatickém ložisku sideritu Erzberg – „železný květ“*
- *schránky mořských organismů (amoniti)*

**d) bazické karbonáty Cu s jiným typem struktury (malachit, azurit)**

*Tyto karbonáty krystalují v soustavě monoklinické.*

**Malachit –  $Cu_2 (OH)_2 (CO_3)$**  - zelený

- *krystaly sloupečkovité, radiálně paprscité drúzy. Agregáty zrnité, ledvinité*

- dokonalá štěpnost podle (001)

**Azurit** –  $\text{Cu}_3 (\text{OH})_2 (\text{CO}_3)_2$  - modrý

- *krystaly sloupečkovité (modročerné), agregáty zrnité (světleji modré)*
- tvrdost 3.5, hustota 4

**Geneze:** *typické supergenní minerály Cu – vznikají nejčastěji při zvětrávání chalkopyritu (Zlaté Hory, Ludvíkov u Vrbna, Borovec u Nedvědice, Piesky a Špania Dolina na Slovensku)*



## FOSFÁTY, ARZENÁTY, WOLFRAMÁTY

### **Monazit** (Ce, La, .....) $\text{PO}_4$

- vzácný minerál pegmatitů a granitů, je jednoklonný, krystaly jsou tabulkovité, vlastnostmi podobný titanitu. Nalezen v Dolních Borech, Písku, Velké Kraši.
- sekundárně v náplavech „monazitové písky“ – těžen v Brazílii

### **Apatitová skupina (apatit, pyromorfit):**

- *hexagonální krystaly*, struktura viz. obr.

### **Apatit** $\text{Ca}_5(\text{PO}_4)_3/\text{Cl}/$ **F, OH**

- *akcesorický minerál mnoha hornin, mineralogické ukázky v pegmatitech, greisenech, alpské paragenezi*
- *bílý nebo různě světle zbarven:* bezbarvý v alpské paragenezi, růžový až fialový v greisenech, zelený až šedý v pegmatitech
- *tvrdost 5, neštěpný*

### **Geneze:**

*Ložiska apatitu („fosforitů“) – sedimentární, šelfové, nebo v alkalických magmatitech (Kola)*

.....

.....

### **Pyromorfit** $\text{Pb}_5(\text{PO}_4)_3/\text{Cl}/$

- **typický supergenní minerál Pb na ložiskách galenitu** (Příbram, Nová Ves u Rýmařova, Stříbro, Jihlava)
- **zelený nebo hnědý, vysoká hustota**

**Skupina vivianitová (vivianit, erytrín, annabergit):**

<b>Vivianit</b>	<b><math>\text{Fe}_3 (\text{PO}_4)_2 \cdot 8 \text{H}_2\text{O}</math></b>
<b>Erytrín</b>	<b><math>\text{Co}_3 (\text{AsO}_4)_2 \cdot 8 \text{H}_2\text{O}</math></b>
<b>Annabergit</b>	<b><math>\text{Ni}_3 (\text{AsO}_4)_2 \cdot 8 \text{H}_2\text{O}</math></b>

- izostrukturní fáze, minerály oxidačních zón zvětrávání na ložiskách příslušných kovů (= **supergenní vznik**)

**vivianit** – modrý, jehlice, paprscité agregáty (Chvaletice v Železných horách)

**erytrín** – růžový, práškové povlaky, jehlice (Jáchymov)

**annabergit** – světle zelený, práškové hmoty (Jáchymov)

**Uranové slídy:**

- **typické supergenní minerály na uranových ložiskách** (Příbram, Rožinka), vzácně také v pegmatitech a greisenech
- **silně radioaktivní**
- **tetragonální, dokonale štěpné podle báze (001)**

<b>Torbernit</b>	<b><math>\text{Cu} (\text{UO}_2)_2 (\text{PO}_4)_2 \cdot 8-12 \text{H}_2\text{O}</math></b>	<b>zelený</b>
<b>Autunit</b>	<b><math>\text{Ca} (\text{UO}_2)_2 (\text{PO}_4)_2 \cdot 10-12 \text{H}_2\text{O}</math></b>	<b>sírově žlutý</b>

**Scheelit**                       **$\text{Ca WO}_4$**

- **tetragonální dipyramidální krystaly, bílý až voskový, podobný křemenu, ale s vysokou hustotou**

- v UV-záření *luminiscence* (bílá, namodralá)

**Geneze:**

- v *greisenech* (Cínovec, Krupka, Horní Slavkov), kontaktní parageneze (Žulová) a *skarny* (Obří důl v Krkonoších)

**Surovina W**

**Wolframit** (Fe, Mn) WO<sub>4</sub>

*Pevný roztok ferberitu (Fe) a hübneritu (Mn)*

- *jednoklonné, tabulkovité krystaly*
- *barva černá, kovový lesk*
- *výborná štěpnost podle (010)*
- *parageneze s kasiteritem, křemenem, topazem, cinvalditem*

**Geneze:**

*greiseny* (Cínovec, Krupka, Horní Slavkov)

**Význam: hlavní ruda W**

# NESOSILIKÁTY

## Granáty

Skupina granátů jsou krychlově krystalující nesosilikáty, zbarvené většinou v různých odstínech červené barvy, horninotvorné minerály.

## Struktura

*Nesosilikáty* (- navzájem izolované tetraedry  $\text{SiO}_4$ , sdílející apikální kyslíky se dvěma dalšími typy kordinačních polyedrů):

- částečně deformovanými oktaedry, které se přizpůsobují trojvazným kationtům (hlavně Al a  $\text{Fe}^{3+}$ )
- deformovanými dodekaedry, které jsou obsazeny dvojvaznými kationty (Mg,  $\text{Fe}^{2+}$ , Mn, Ca)

## Chemismus

Klasifikace skupiny granátů je založena na existenci koncových členů ideálního chemického složení a jejich míšivosti (vytváření pevných roztoků):

<b>Pyrop</b>	$\text{Mg}_3 \text{Al}_2 / \text{SiO}_4 / 3$	<b>krvavě červený</b>
<b>Almandin</b>	$\text{Fe}_3 \text{Al}_2 / \text{SiO}_4 / 3$	<b>červeno-fialový</b>
<b>Spessartin</b>	$\text{Mn}_3 \text{Al}_2 / \text{SiO}_4 / 3$	<b>oranžový- hnědý</b>
<b>Grosulár</b>	$\text{Ca}_3 \text{Al}_2 / \text{SiO}_4 / 3$	<b>oranžový - hnědý, zelenavý</b>
<b>Andradit</b>	$\text{Ca}_3 \text{Fe}_2 / \text{SiO}_4 / 3$	<b>tmavě červenohnědý až černý</b>
<b>Uvarovit</b>	$\text{Ca}_3 \text{Cr}_2 / \text{SiO}_4 / 3$	<b>sytě – tmavě zelený</b>

- úplný pevný roztok existuje mezi pyropem, almandinem a spessartinem, díky vzájemné substituci Mg, Fe<sup>2+</sup> a Mn v dodekaedrické pozici
- neomezená mísitelnost existuje také mezi grosulárem, andraditem
- mezi uvedenými skupinami navzájem je jen omezená mísivost komponent

### **Krystalografie, morfologie**

- krychlová soustava
- tvary: **rombický dodekaedr** (dříve „granátotvar“) – preferuje hlavně almandin a grosulár, tetragontrioktaedr - spessartin , spojky obou tvarů – viz modely
- pyrop netvoří krystaly, jen izometrická zrna
- z klastických sedimentů granáty též v podobě izometrických zrn
- andradit často kusový (ve skarnech)

### **Fyzikální vlastnosti granátů**

- tvrdost 7
- hustota 3,5 – 4,5 podle chemického složení (podobně kolísá index lomu, zbarvení), jsou neštěpné

### **Výskyt a asociace**

Granáty jsou široce rozšířené horninotvorné minerály v regionálně metamorfovaných horninách (metapelitech) – **svorech a rulách, event.**

**granulitech.** Zde převládá **almandinová komponenta** (Zlatý chlum u Jeseníku, Petrov nad Desnou). Granáty jsou v asociaci s dalšími Al-minerály: slídami, sillimanitem, kyanitem, staurolitem).

**V peridotitech, serpentinitech (hadcích), eklogitech – je pyrop** (Mohelno). Též granáty amfibolitů mají vyšší obsahy pyropové složky.

*Spessartin* – v pegmatitech

***Grosulár a andradit – kontakty granitoidů s mramory*** (Žulová), erlany (Bludov).

- ***andradit je více rošířen v magnetitových skarnech*** Českého masivu (Pernštejn, Malešov u Kutné Hory, Měděnec, Vlastějovice nad Sázavou) , v paragenezi s hedenbergitem a amfiboly

***Granáty jsou odolné vůči zvětrávání, najdeme je často v těžkém podílu klastických sedimentárních hornin (almandin – pyrop – provenience!!)***

## **Skupina olivínu**

Skupina olivínu jsou rombicky krystalující nesosilikáty, zbarvené většinou v různých odstínech zelené barvy.

Nejčastěji se vyskytují v bazických a ultrabazických vyvřelinách, jsou nejhojnějšími horninotvornými minerály ve svrchním plášti.

### **Struktura**

***Nesolilikáty*** (- navzájem izolované tetraedry  $\text{SiO}_4$ , sdílející apikální kyslíky s kordinačními oktaedry, obsazenými dvojjaznými kationty (Mg, Fe  $2+$  )

- oktaedry vytvářejí dvojité řetězce, které běží rovnoběžně s vertikálou krystalu (předurčují orientaci rovin nedokonalé štěpnosti /100 a 010/ a převahu krystalových ploch (hk0)

## Chemismus olivínů

**Forsterit**                      **Mg<sub>2</sub> SiO<sub>4</sub>**                      **Fo**

**Fayalit**                        **Fe<sub>2</sub> SiO<sub>4</sub>**                      **Fa**

- krajní členy izomorfní řady, mezi nimiž existuje úplný pevný roztok
- složení olivínů je udáváno zejména v petrologii podílem koncových členů (Fo, Fa): např. olivín z gabra Fo<sub>85</sub>

**olivín (Mg, Fe)<sub>2</sub> SiO<sub>4</sub>**                      **minoritní příměsi Mn, Ni**

hortonolit (starší název) **(Fe, Mg)<sub>2</sub> SiO<sub>4</sub>**

**Krystalografie** – *soustava rombická*, makroskopické krystaly vzácné, častá zrna a agregáty zrn (většinou izometrických)

### **Fyzikální vlastnosti**

- *barva zelená, žlutozelená*, s přibýváním Fe tmavne, *fayalit je černý*
- *štěpnost špatná, tvrdost 7*,
- *hustota 3.2-3.4 dle složení*

### **Výskyt a asociace**

**a) podstatný horninotvorný minerál ve vyvřelých bazických a ultrabazických horninách (olivínická gabra, bazalty, peridotity = olivínovce, dunity)**

Zde asociuje s pyroxeny, Ca-plagioklasy a Fe-Ti oxidy (viz Bowenovo schema)

Složení olivínů většinou Fo<sub>60-90</sub>.

- olivín se nevyskytuje v paragenezi s křemenem

b) v metamorfovaných horninách je méně běžný – v **dolomitických mramorech** (původních kontaminovaných dolomitických horninách s křemenem) **při silné metamorfóze forsterit** - mikroskopický

V sedimentárních horninách se olivín nevyskytuje, neboť **olivín velmi rychle zvětrává, podléhá serpentinizaci**

Serpentin  $Mg_6/Si_4O_{10}/OH/8$

*Peridotity se tak mění v serpentinity = hadce*

#### Minerály $Al_2SiO_5$ – andalusit, sillimanit a kyanit

Alumosilikáty – 3 polymorfní modifikace  $Al_2SiO_5$ , patří mezi důležité **horninotvorné metamorfní minerály Al-bohatých původně pelitických sedimentů**.  
Slouží jako **indikátory tlaku a teploty metamorfózy** – fázový diagram

### Titanit

Ca Ti (SiO<sub>4</sub>/O)

- **soustava jednoklonná**, spojky tvaru obálky nebo klínu (morfologická varieta „sfén“) z alpské parageneze
- **zbarvení nejčastěji medově hnědé, sfén je světle žlutý nebo světle zelený**
- **tvrdost 5.5, hustota 3.5**
- **vysoký lom světla i dvojlom**
- **akcesorický horninotvorný minerál v granitických horninách (brněnský masiv, žulovský masiv), v pegmatitech - kontaminovaných**
- **ve skarnech, amfibolitech**



- *alpská parageneze (s epidotem, křišťálem) – Sobotín, Markovice u Čáslavi, Mirošov*

## Topaz



- **kosočtverečný** (prizmata, dipyramidy) – sloupcovité krystaly, agregáty stébelnaté („pyknit“) i zrnité
- **čirý, bledě žlutý, bledě modrý** – často drahokamová kvalita
- **tvrdost 8, štěpnost dokonalá podle (001), hustota 4.5**
- **výskyt v pegmatitech (Volyňsk – Ukrajina, Rožná, Ural) nebo v greisenech (Horní Slavkov** – zde často horninotvorný mikroskopický nebo makroskopický

## Zirkon

$\text{Zr SiO}_4$       příměs U a Th způsobuje slabou radioaktivitu

- **tetragonální**, na krystalech tetragonální prizmata a dipyramidy, morfologie krystalů zirkonu je geneticky významná
- **je čirý nebo různě zbarven** (hnědočervený, žlutý)
- **tvrdost 7,5**
- **je akcesorickým horninotvorným minerálem hlavně v kyselých vyvřelých (žuly, pegmatity) a metamorfovaných horninách (ruly).**
- **díky vysoké odolnosti vůči mechanickému i chemickému zvětrávání patří mezi typické „těžké“ minerály klastických sedimentů (pískovce, droby)**

## SOROSILIKÁTY

Skupina silikátů, charakteristická strukturně **spojením dvou tetraedrů  $\text{SiO}_4$** , sdílením společného rohového kyslíku – vzniká tak typická aniontová skupina sorosilikátů /  $\text{Si}_2\text{O}_7$  /.

### Neso- Soro- silikáty

#### Skupina epidotu

**Klinozoisit**       **$\text{Ca}_2 \text{Al}_3 \text{O} / \text{SiO}_4 / \text{Si}_2\text{O}_7 / \text{OH} /$**   
**(Zoisit)**

**Epidot**       **$\text{Ca}_2 (\text{Fe}^3, \text{Al}) \text{Al}_2 \text{O} / \text{SiO}_4 / \text{Si}_2\text{O}_7 / \text{OH} /$**

**Allanit**       **$\text{X}_2 \text{Y}_3 \text{O} / \text{SiO}_4 / \text{Si}_2\text{O}_7 / \text{OH} /$**   
X: Ca, Ce      Y: Al, Fe

***Jednoklonné minerály, zoisit rombický.***

Krystaly epidotu a klinozoisitu protažené dle osy b (rovnoběžně zhášejí).

***Klinozoisit, zoisit – šedý, růžový (s Mn)***

***Epidot – zelený, žlutozelený, černozeleň***

***Tvrdość 6, skelný lesk, hustota 3.3***

**Geneze:**

- *drúzy krystalů v alpské paragenezi (epidot – Sobotín, Markovice, Alpy)*
- *horninotvorné, většinou druhotné v dioritech, gabrech, amfibolitech*
- *celistvé žíly epidotu (brněnský masiv)*

**Allanit – akcesorický minerál pegmatitů a některých žul (žulovský masiv)**

- *černý, smolně lesklý, často metamiktní (slabě radioaktivní)*

# CYKLOSILIKÁTY

**Hlavní minerály:**        **beryl**

**skupina turmalínů**

**Beryl**        **Be<sub>3</sub> Al<sub>2</sub> /Si<sub>6</sub> O<sub>18</sub>/**        **hexagonální** (dihex. dypiramidální)

**Struktura:**

Skládá se z trojrozměrné sítě tetraedrů kyslíku, které tvoří **šestičlánkové smyčky, orientované v rovině 001 (0001)**. Cykly tetraedrů jsou nad sebou a vznikají tak kanály, jdoucí vertikálně celou strukturou.

Beryl je tradičně řazen mezi cyklosilikáty - předpokládalo se, že jednotlivé kruhy tetraedrů SiO<sub>4</sub> nejsou propojeny navzájem dalšími tetraedry SiO<sub>4</sub>.

Dnes víme, že existuje trojrozměrné propojení tetraedrického skeletu (distribuce Si a Be v nich je nepravidelná) a tak je podle některých autorů beryl řazen mezi tektosilikáty (Zoltaj a Stout).

- v přírodních berylech jsou propojující oktaedry obsazovány Al,
- *otevřené kanály ve struktuře obsahují molekuly H<sub>2</sub>O, která je skoro vždy přítomná v berylu, kromě ní CO<sub>2</sub>, He, Ar.*

**Krystaly – obr.**

**Vlastnosti:**

**Beryl** – zelený, nažloutlý, bílý, skelný lesk, tvrdost 7.5, neštěpný

## Výskyt a asociace

**Beryl** je typickým akcesorickým minerálem mnoha granitických **pegmatitů**, kde často vystupuje s dalšími minerály Be (Písek, Otov, Maršíkov)

- je znám též z některých **greisenů** (Krušné hory – Cínovec, Horní Slavkov) i kyselých vyvřelých hornin.

*Často se vyskytuje v drahokamových odrůdách (akvamarín, heliodor, morganit, smaragd)*

## Skupina turmalínu

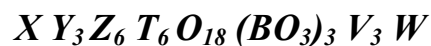
Minerály skupiny turmalínu (především skoryl a dravit) jsou nejhojnějšími minerály s podstatným obsahem B v horninách zemské kůry.

### *Krystalová struktura a krystalografie*

Turmalíny jsou řazeny mezi cyklosilikáty, jsou trigonální. Struktura podmiňuje polární vývoj krystalů s výrazným pyroelektrickým i piezoelektrickým vlastnostem.

*Obr. Krystaly turmalínu.*

Obecný vzorec:



$X =$  Na<sup>+</sup>, Ca, □, K

$Y =$  Mg, Fe<sup>2+</sup>, Li, Al, Fe<sup>3+</sup>, Mn

$Z =$  Al, Mg, Fe<sup>3+</sup>

$T =$  Si, Al, B

$B =$  B

$V =$  OH, O

$W =$  OH, F, O

*Obr. Krystalová struktura turmalínu*

### ***Klasifikace turmalínů***

**Skupina turmalínu zahrnuje 14 samostatných minerálů, které se od sebe liší svým chemickým složením**

<b>Skoryl</b>	<b>- bohatý Fe</b>	<b>černý</b>
<b>Dravit</b>	<b>- bohatý Mg</b>	<b>hnědý</b>
<b>Uvit</b>	<b>- Mg, Ca</b>	<b>hnědý, většinou mikroskopický</b>
<b>Li-turmalíny = elbaity (rubelit, verdelit, indigolit) – růžový, zelený, modrý</b>		

### **Geneze**

Skoryl je typickým minerálem Al-bohatých světlých **granitů**.

**Turmalín v granitických Li-pegmatitech (skoryl , elbaity), zonální XX**

Rožná u Bystřice nad Pernštejnem, Dobrá Voda, Jeclov a Puklice na Jihlavsku

...

**Na stratiformních ložiscích rud nebo turmalinitech (dravit – uvit - skoryl)**

### **Turmalíny z metamorfovaných hornin:**

Složení turmalínů v metamorfovaných horninách silně kolísá a pocházejí z nich **dravit, uvit a skoryl**.

# INOSILIKÁTY

**Hlavní skupiny: pyroxeny  
amfiboly**

**Struktury inosilikátů** obecně určují nekonečné řetězce tetraedrů  $\text{SiO}_4$ , které se střídají s pásovými vrstvami oktaedrů, a obojí jsou orientovány rovnoběžně s osou z (vertikálou krystalu).

V pyroxenech a pyroxenoidech jsou řetězce tetraedrů  $\text{SiO}_4$  jednoduché, v amfibolech dvojité.

V pyroxenech i amfibolech jsou nejsilnější vazby Si-O-Si, které působí ve směrech řetězců a určují prizmatický habitus krystalů (často dlouze sloupečkovitý až vláknitý) a také velmi dobrou štěpnost podle /110/, rovnoběžně s řetězcí.

## Pyroxeny

Pyroxeny jsou důležité horninotvorné minerály ve většině mafických a ultramafických vyvřelých hornin a ve vysoce metamorfovaných horninách (granulity, eklogity).

### **Charakteristika:**

- *sloupcovité krystaly, prizmatický habitus,*
- *štěpnost dle /110/ - štěpné trhlinky v řezech kolmých na z svírají úhel  $90^\circ$ , průřez sloupců čtverec, osmiúhelník*
- *barva tmavá (černá, zelená, hnědá)*

**Pyroxeny dělíme na dvě skupiny:**

- **pyroxeny jednoklonné (klinopyroxeny)**
- **pyroxeny kosočtverečné (ortopyroxeny)**

**Struktury pyroxenů** – základním znakem je jednoduchý dvojčlankový řetězec tetraedrů  $\text{SiO}_4$  s opakujícím se motivem  $\text{Si}_2\text{O}_6$  (vzorcová jednotka)

Obr. – **typy řetězců v pyroxenech**

- řetězce běží paralelně s vertikálou, vrcholy tetraedrů  $\text{SiO}_4$  jsou střídavě orientované nahoru a dolů
- volné vrcholy tetraedrů jsou spojené s dvojitými pásy oktaedrů, které jsou obdobně orientovány
- celkový pohled na strukturu pyroxenu podél osy z (vidíme jednoduché řetězce tetraedrů a pásy oktaedrů)
- v oktaedrické koordinaci Mg, Fe, Ca, Al, Na, Li
- v tetraedrické kromě Si také část Al

### Chemické složení pyroxenů

Diagram chemismu pyroxenů se 4 koncovými členy (systém  $\text{MgSiO}_3$ ,  $\text{FeSiO}_3$ ,  $\text{CaSiO}_3$  - možné pevné roztoky) vidíme na obr.

Na základě tohoto diagramu vidíme izomorfní řady:

- **ortopyroxeny : řada enstatitová (kompletní pevný roztok):**

**enstatit  $\text{Mg}_2 \text{Si}_2 \text{O}_6$  ----- ferosilit  $\text{Fe}_2 \text{Si}_2 \text{O}_6$**

značně bohatší Mg, než Fe - **bronzit** (starší názvy)

více Fe - **hypersten**

Krystaly kosočtverečných pyroxenů jsou sloupcovité, jen zřídka pravidelně ukončené. Štěpnost dle /110/, někdy lupenité či odlučné podle báze 001, lesk skelný, polokovový (bronzit) až kovový (hypersten). Enstatit je bělavý nebo nazelenalý, bronzit hnědý – bronzový, hypersten téměř černý, často s měděným odleskem (viz cvičení).

- **klinopyroxeny : řada diopsidová (kompletní pevný roztok):**



**diopsid**  $\text{CaMg Si}_2 \text{O}_6$  ----- **hedenbergit**  $\text{CaFe Si}_2 \text{O}_6$

- tvoří sloupcovité jednoklonné krystaly, zakončené bazálně i pyramidálně

diopsid – zelený, šedozelený

hedenbergit – tmavě zelenočerný

**řada augitová :**

četné pyroxeny, ležící svým chemismem ve vnitřní části diagramu chemického složení pyroxenů

**augit** – nejběžnější, chemicky složitý klinopyroxen

**titanový augit**

$(\text{Ca, Mg, Fe}^{2+}, \text{Fe}^{3+}, \text{Ti, Al})_2 / (\text{Si, Al})_2 \text{O}_6$

Krystaly typické morfologie, často dvojčatný srůst dle 100, barva hnědočerná, při zvětrávání narezavěla.

**řada spodumenová (alkalické pyroxeny):** patří sem alkalické pyroxeny

**akmit**  $\text{Na Fe Si}_2 \text{O}_6$

- makroskopicky podobný augitu, s nímž se izomorfne mísí v řadě přechodných členů

**egirín**  $\text{akmit s Al, Ti, Fe}^{2+}$

**spodumen**  $\text{Li Al Si}_2 \text{O}_6$  - světlých barev, drahokamové odrůdy (zelený, růžový), nachází se vzácně v Li-pegmatitech)

*jadeit*       $Na Al Si_2 O_6$

- vláknitý, vytváří celistvou houževnatou horninu, šedou až zelenou (jadeitit)

### **Výskyt a asociace**

**Pyroxeny jsou horninotvornými minerály se značným rozšířením v magmatických a metamorfovaných horninách. Vznikají převážně za vysokých teplot a tlaků.**

**Snadno zvětrávají** (mechanicky – štěpnost, především však chemicky), proto jsou vzácné v klastických sedimentárních horninách

**Ortopyroxeny i klinopyroxeny krystalizují z magmatu** (tavenin bohatých Mg a Fe). Obvykle asociují s olivínem a bazickými plagioklasy (Bowenovo schema). Gabra, bazalty a jejich tufy (augit, egirín)

*Důležitými součástkami hornin zemského pláště* jsou:

enstatit, bronzit – peridotity, pyroxenity, v nich jsou též klinopyroxeny blízké diopsidu (jsou časté v ultramafických uzavřeninách ve vulkanitech – původ z pláště)

**V metamorfovaných horninách:**

*Omfacit – v eklogitech*

*Bronzit – v serpentinitech (hadcích)*

Pyroxeny řady diopsid-hedenbergit se vyskytují ve skarnech (hedenbergit – magnetit – amfibol), na kontaktech granitoidních a karbonátových hornin (asociace: grossulár, epidot, wollastonit, vesuvian)

*V lithných pegmatitech – spodumen* (velké krystaly)

# AMFIBOLY

Amfiboly jsou velmi rozšířené minerály, zejména v plutonických vyvřelých horninách (od granitu po gabro), též ve vulkanitech. Jsou hlavními minerály mnoha metamorfovaných hornin.

## *Charakteristika:*

- *prizmatický habitus krystalů, které jsou dlouze sloupečkovité až vláknité (azbesty)*
- *výborná štěpnost dle /110/ (lepší než u pyroxenů), úhel 56 a 124° v řezu kolmém na vertikálu – důležitý diagnostický znak*
- *barvy tmavé, zřídka světlé*

Dělíme je obdobně jako pyroxeny na 2 skupiny:

- **amfiboly jednoklonné (klinoamfiboly)**
- **amfiboly kosočtverečné (ortoamfiboly)**

## Struktura

**Základní motiv struktury je dvojitý dvojčlankový řetězec tetraedrů  $\text{SiO}_4$ , v němž se periodicky opakuje skupina 4 tetraedrů. Vzorcová aniontová skupina je tedy  $[\text{Si}_4 \text{O}_{11}]^{6-}$ , často bývá v literatuře používána skupina dvojnásobná.**

***Řetězce tetraedrů se střídají obdobně jako u pyroxenů s oktaedrickými pásy, které jdou též rovnoběžně s vertikálou krystalu (z).***

Amfiboly se liší strukturně od pyroxenů šířkou jejich tetraedrických a oktaedrických řetězců (pásů) – řetězec tetraedrů je dvojitý, oktaedrické pásy mají šířku 3-4 oktaedrů – obr.

***V oktaedrických pozicích jsou Mg, Fe, Al***

Ca, Na, K jsou koordinovány obdobně nebo mezi 8 kyslíky

Některé rohové kyslíky oktaedrů nejsou sdíleny s rohy tetraedrů a jsou obsazovány -OH skupinou.

**Vzhled krystalu – obr.**

**Chemismus a jednotlivé minerály skupiny amfibolů**

Celkový chemismus znázorněn v diagramu na obr.

Chemicky se liší amfiboly od pyroxenů dvěma hlavními fenomény:

- přítomností –OH skupin – amfiboly vznikají v prostředích, obsahujících větší podíly vody, která je začleněna do struktury (krystalují z magmatu později než pyroxeny)

**Jednoklonné amfiboly (rozšířenější):**

<b><i>Řada tremolitová:</i></b>	<b><i>tremolit</i></b>	$\text{Ca}_2 \text{Mg}_5 / \text{Si}_4 \text{O}_{11/2} / \text{OH}/_2$
	<b><i>aktinolit</i></b>	větší obsah Fe
	<b><i>ferroaktinolit</i></b>	$\text{Ca}_2 \text{Fe}_5 / \text{Si}_4 \text{O}_{11/2} / \text{OH}/_2$

členy bližší tremolitu mají světlou barvu (bílá, šedá, nazelenalá), agregáty stébelnaté až jemně vláknité, amfibolové azbesty

aktinolit – tmavozelený až černozelelý, paprscité agregáty

(jemně vláknité, masivní variety tremolit-aktinolitu jsou známé jako odrůda ***nefrit*** (ozdobný kámen)

### **Řada hornblendu (dříve obecného amfibolu):**

**amfibol (hornblend)**  $(Ca, Na, K)_2 (Mg, Fe^{II}, Fe^{III}, Al)_5 / (Si, Al)_8 O_{22} / OH/2$

zelenočerný, černý, horninotvorný minerál dioritů, gaber

**čedičový amfibol** má více Fe, Ti, Na, K

hnědočerný, podobný augitu,

- tvoří vyrostlice v čedičových tufech, jinak mikroskopicky v bazaltech

### **Kosočtverečné amfiboly (méně rozšířené):**

**antofylit**  $(Mg, Fe)_7 / Si_4 O_{11/2} / OH/2$

**gedrit** - navíc s Al, Fe<sup>III</sup>

antofylit - nažloutlý, nazelenalý, ve stébelnatých až vláknitých agregátech (azbest)

### **Výskyt a asociace:**

- ve vyvřelých (zejména plutonických horninách) a v metamorfovaných horninách v širokém rámci jejich chemického složení

**Vyvřelé horniny: amfibol - hornblend (s Ca)** – granity, granodiority, **diority, gabra**

**čedičový amfibol – bazalty a jejich tufy**

### **Metamorfované horniny:**

Řada různých amfibolů, často společný výskyt několika zástupců amfibolů:

- **tremolit, aktinolit, antofylit, hornblend** – v horninách relativně obohacených Mg (aktinolitické břidlice, amfibolity, tremolitové mramory)

- *antofylit* – na puklinách *hadců*, *reakční lemy mezi pegmatity a hadci*
- *glaukofan* – *glaukofanové břidlice* (vysokotlaká metamorfóza)
- *ve skarnech a vápenatosilikátových horninách (erlanech)* – *tremolit, tremolit-aktinolit*, často v paragenезi s dalšími Ca-minerály (grossular, diopsid, wollastonit)

## FYLOSILIKÁTY (VRSTEVNÍ SILIKÁTY)

Tetraedry  $\text{SiO}_4$  jsou propojeny třemi vrcholy do nekonečných rovinných sítí s hexagonální nebo pseudohexagonální symetrií. Symetrie makrokryystalu je jednoklonná.

Periodicky se opakuje motiv  $[\text{Si}_4 \text{O}_{10}]^{4-}$ .

Tyto sítě jsou kombinovány s vrstvami oktaedrů a vytvářejí množství fylosilikátů s *výbornou štěpností podle báze 001*.      *proč???*

*Struktura určuje těž lístkovitý, tabulkovitý habitus krystalů*

Nejdůležitějšími skupinami fylosilikátů jsou mastek, slídy, jílové minerály a chlority, serpentín.

## Struktury

Základní struktura běžných fylosilikátů sestává z vrstev tetraedrů  $\text{SiO}_4$ , střídajících se s rovnoběžnými vrstvami oktaedricky koordinovaných kationtů.

### Vyskytují se 2 typy střídání vrstev:

- „dvojvrstevné struktury“ – tetraedrická + oktaedrická vrstva, spojené dohromady společně sdílenými kyslíky (kaolinit)
- „trojvrstevné struktury“ – vrstva oktaedrů, sevřená mezi dvěma vrstvami tetraedrů  $\text{SiO}_4$  (muskovit)

Dvojvrstevné a trojvrstevné struktury jsou dále děleny na základě valence kationtu uvnitř oktaedrické vrstvy:

- vrstvy s dvojnásobnými kationty (Mg, Fe) se označují jako trioktaedrické** (někdy jako brucitové –  $\text{Mg}/\text{OH}/_2$ )  
kationty v oktaedrické vrstvě obsazují všechny oktaedrické pozice  
př. biotit je trioktaedrická slída  $\text{K Fe}_3/\text{Al Si}_3 \text{O}_{10}/\text{OH}/_2$
- vrstva s trojnásobnými kationty (Al) je označena jako dioktaedrická** (též jako gibbsitová –  $\text{Al}/\text{OH}/_3$ )  
jsou obsazeny jen 2 ze 3 oktaedrických pozic (třetí je vakantní)  
př. muskovit je dioktaedrická slída  $\text{K Al}_2/\text{Al Si}_3 \text{O}_{10}/\text{OH}/_2$

Způsob, kterým jsou spojena „souvrství“ ve strukturách fylosilikátů, dále rozlišuje jednotlivé minerální fáze a skupiny a určuje některé z jejich fyzikálních vlastností:

- *vodíkové můstky (dvojvrství u kaolinitu)*
- *Van der Valsovy síly (neutrální trojvrství pyrofylitu a mastku)*

- *molekuly H<sub>2</sub>O (montmorillonit – bobtnání)*
- v případě slíd je jeden ze 4 tetraedrů obsazen Al<sup>3+</sup> a přebytek negativního náboje je kompenzován *jednovazným kationtem, obvykle K (nebo Na)*, umístěným mezi trojvrstvími (jde o relativně pevnější spojení „souvrství“)

## **Jednotlivé minerály – jejich chemismus, vlastnosti a geneze, využití**

**Vlastnosti** – dokonalá štěpnost podle báze /001/

**Mastek**     **Mg<sub>3</sub> / Si<sub>4</sub> O<sub>10</sub> / /OH/<sub>2</sub>**

- *bezbarvý, nazelenalý, šedý*
- *mastkové břidlice, krupníky (Sobotín) – vzniká přeměnou ultrabazických hornin*

**Slídy : dioktaedrické (muskovit – paragonit)**

**muskovit** je dioktaedrická slída                     **K Al<sub>2</sub> /Al Si<sub>3</sub> O<sub>10</sub> / /OH/<sub>2</sub>**

**trioktaedrické (biotit, flogopit, lepidolit, cinvaldit)**

**biotit**             **K (Fe, Mg)<sub>3</sub> /Al Si<sub>3</sub> O<sub>10</sub> / /OH/<sub>2</sub>**

**flogopit**         **K (Mg)<sub>3</sub> /Al Si<sub>3</sub> O<sub>10</sub> / /OH/<sub>2</sub>**

lepidolit             pouze v Li- pegmatitech



### ***Vlastnosti:***

**Geneze:** muskovit horninotvorným minerálem v kyselých magmatitech (granity, pegmatity), metamorfitech (fylit – svor – rula), v klastických sedimentech hojný díky odolnosti vůči zvětrávání

**Biotit** – od kyselých po bazické magmatity a metamorfity. Chybí v sedimentech – snadno zvětrává ( podléhá chloritizaci)

**Flogopit** – v dolomitických mramorech, Mg-skarnech, ultrabazických magmatitech

### **Chlority**

- trioktaedrické fylosilikáty, zeleně zbarvené

Hlavní koncové členy:

**klinochlor**       $(\text{Mg}_5 \text{Al}) / \text{Si}_3 \text{Al O}_{10} / (\text{OH})_8$

**chamosit**       $(\text{Fe}^{2+}_5 \text{Al}) / \text{Si}_3 \text{Al O}_{10} / (\text{OH})_8$

**Geneze:** metamorfní minerály (nízká metamorfóza) – chloritické břidlice, zelené břidlice

- alpská parageneze (Sobotín, Černá Voda)
- Fe-chlority v sedimentárních a slabě metamorfovaných železných rudách (Lahn-Dill – šternbersko-hornobenešovský pruh – Nízký Jeseník)

### **Skupina serpentinu**

$\text{Mg}_6 / \text{Si}_4 \text{O}_{10} / \text{OH}/_8$

Antigorit    - lupenitý

Serpentin

Chryzotil - hadcový azbest

**Geneze:** vzniká přeměnou olivínu (serpentinizací)

- z ultrabazických hornin (peridotitů) vznikají serpentinity (hadce)

**„Jílové minerály“** – fylosilikáty s velikostí částic pod 0.01 mm, studovatelné zejména RTG-difrakčními metodami, elektronovým mikroskopem, mikrosondou, termickou analýzou

- **kaolinit**  $\text{Al}_2/\text{Si}_4 \text{O}_{10}/\text{OH}/8$ , součást „kaolínu“ – suroviny pro výrobu porcelánu, kaolinit vzniká zvětráváním živců (Karlovy Vary, Plzeň)
- **montmorillonit** – bentonity, montmorilonitové jíly, půdy
- **illit** – blízké příbuzné hydromuskovitu, často se smíšenými strukturami, v jílech, jílovcích, jílovitých břidlicích
- **glaukonit** – má proměnlivé chemické složení 2-15 %  $\text{K}_2\text{O}$ , tvoří intenzívně zelená až sedozelená zrna v přibřežních mořských píscích a pískovcích



- *rychlým ochlazením pevného roztoku obou složek vzniká ve vulkanitech homogenní sanidin*
- *při pomalejším ochlazení (intruze) se ve struktuře původně homogenního živce objevují určité nepravidelnosti v uspořádání kationtů a alkalický živec se rozpadá na „výrůstky“ = odmíšeniny K-bohatých a Na-bohatých živců.*

U plagioklasů se setkáváme s výraznými exsolučními strukturami, kdy se od sebe odmísí 2 živce (často v submikroskopickém měřítku). Zejména u plagioklasů intermediárního složení – velká rozmanitost exsoluce, tvorba doménových struktur

Mísitelnost 3 komponent (K-, Na- a Ca-) je omezena především mezi K-živcem a anortitem

### Struktury živců

*Všechny živce jsou charakterizovány trojrozměrným skeletem tetraedrů  $SiO_4$ , které jsou vzájemně propojeny všemi rohovými kyslíky.*

*Struktury živců mohou být odvozeny ze struktury coesitu.* Rozdíl je ten, že u živců strukturní rovina xz – je rovinou zrcadlení – zdvojuje objem dutin ve struktuře a umožňuje tak pojmout velké kationty K, Na, Ca.

Ve struktuře coesitu najdeme poze kluznou rovinu souměrnosti xz, která naopak způsobuje uzavření uvedených dutin, takže struktura nepřijímá další kationty

### *Symetrie struktur a uspořádanost*

- Vysokoteplotní alkalické živce jsou **monoklinické (sanidin)** – struktury jsou neuspořádané (distribuce kationtů Al a Si je nahodilá)
- S ochlazením se Al a Si v tetraedrických polohách začíná zákonitě uspořádat a to je příčinou poklesu symetrie na trojklonnou.

Částečně uspořádanou strukturu má **ortoklas**, tato struktura je stále ještě **monoklinická** (vzniká pomalým ochlazením pod 800 °C)

Dalším ochlazováním (pod 600 °C) vzniká úplně uspořádaný K-živec **mikroclin (triklinický)**, má již pravidelně uspořádané Al a Si v tetraedrických polohách.

Plagioklasy jsou triklinické.

## Krystalografie živců

### Dvojčatné srůsty

### Fyzikální vlastnosti

#### Výskyt a asociace živců

Živce jsou přítomné a obvykle hojné skoro ve všech vyvřelých horninách i metamorfovaných horninách, jsou běžné i v mnohých sedimentech.

*Ve vyvřelých horninách* – v kyselých intruzivních /žuly, granodiority/ jsou běžné K-živec (ortoklas, mikroclin) + kyselý plagioklas + křemen (viz. Bowen. schema), v kyselých vulkanitech sanidin

- alkalické živce obvykle asociují s dalšími minerály draslíku (muskovitem, biotitem)
- v horninách bazických (bazalty, gabra) – hojné bazické plagioklasy, chybějí K-živce a křemen

*Živce sedimentárních a metamorfovaných hornin* odrážejí složení zdrojových hornin:

- Ca-plagioklasy snadno chemicky zvětrávají, kyselé jsou odolné. Proto v klastických sedimentech bývají pouze albit, oligoklas, (andezín) + K-živce (ortoklas, mikroclin).
- při metamorfóze sedimentů, bohatých jílovou složkou, vznikají alkalické živce, Na-plagioklasy a křemen (fylity, svory, ruly, migmatity)

V pegmatitech – z K-živců mikroclin (někdy zelená varieta amazonit), z plagioklasů albit

Hydrotermální proces – živce chybí s výjimkou „alpské parageneze“, kde je albit a mikroclin (var. adulár – nejnižší teplotní K-živec)