

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 “haloců”**, charakterizovaných jako nerosty nekovové, lehké a měkké – kalcit CaCO_3 , sádrovec $\text{CaSO}_4 \cdot 2 \text{H}_2\text{O}$, kryolit Na_3AlF_6

př. **“těživce”** siderit FeCO_3 , baryt 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%
albit	-	oligoklas	-	andezín	-	labradorit - bytownit - anortit
$\text{NaAlSi}_3\text{O}_8$						$\text{CaAl}_2\text{Si}_2\text{O}_8$

Izostrukturní skupina barytová:

baryt	Ba SO_4
celestin	SrSO_4
anglesit	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 hegagonální: 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 (hegagonální 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 CO₂

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: α - soustava kosočtverečná (stabilní do 95 °C)
 β , (χ) - 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 S₈), 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 Fe³⁺)*, 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 – CaF₂

- *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)*

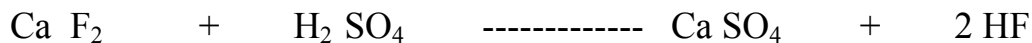
Struktura

- *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 *sulfosoli* (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, ...)

- *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 – CuFeS_2

- *krystaluje v soustavě tetragonální v poloplochých tvarech (tetragonální disfenoid a sklenoedr) (viz modely). Agregáty masivní, vtroušená zrna.*
- *Struktura blíže 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 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 – Cu_5FeS_4

- *krystaluje v soustavě krychlové, krystaly řídké, obvykle 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 izostrukturní s halitem,*

Fyzikální vlastnosti galenitu:

- *barva stříbrobílá (čerstvý), časem šedne a tmavne, ztrácí lesk – pokrývá se vrstvičkou Ag₂S*
- *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 Fe_{1-x}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 nikelinu:

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

Sulfidy s jiným uspořádáním struktury

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

Argentit - akantit Ag₂S

Kubický argentit je stabilní modifikací Ag₂S za teploty nad 179 °C, jednoklonný (pseudokubický) akantit vzniká za teplot nižších než 179 °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 MoS₂

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 lupínků).

Fyzikální vlastnosti molybdenitu:

- je modravě stříbrošedý, má silný kovový lesk

- **štěpnost dokonalé dle báze.** Je ohebný, dá se krájet a dobře vede elektřinu.
- **Tvrdość 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).**
- **Tvrdość 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 Cu₂S

- *krystaluje v romboické soustavě, krystaly jsou tlustě tabulkovité a pseudohexagonální. Agregáty kusové, jemnozrnné 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

Pyrit



Rombická soustava

Markazit

Arzenopyrit



Pyrit- nejhojnější ze sulfidů

- *krystaluje v krychlové soustavě, Krystalovým tvarem krychle a pentagon-dodekaedr – viz modely (krystalové plochy rýhované). Agregáty kusové - zrnité až celistvé.*
- *struktura blízká halitu (S_2 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) S₂*

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 As_2S_2 **Auripigment** As_2S_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 oxi-hydroxidy (např. $Fe(OH)_2$ / $Fe(OH)_3$)

Systém 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 SiO₂:

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 SiO₄, 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 SiO₂ také:

- *mikrokrystalické (navenek amorfní) variety křemene* – chalcedony
- *morfologicky i vnitřní stavbou amorfní* – opál (SiO₂ . n H₂O)

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

Opál – je hydratovaný SiO₂ 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 – Fe₂ O₃

- *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 – Al₂ O₃

- *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 O₃

- *krystaluje v soustavě trigonální, krystaly jsou tenké 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 O₂

- *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 O₂

- *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 Fe₃O₄

- *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 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 Cu_2O

- *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 $\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot \text{H}_2\text{O}$ α

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

- *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)** **α**

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

Lepidokrokit **Fe O (OH)** **χ**

- *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 SO₄

- *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 SO₄ 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 SO₄

- *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 SO₄

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

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

Sádrovec – Ca SO₄ . 2 H₂O

- *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 CO₃

- 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 CO₃

- *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 CO₃

- *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,) PO₄

- 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 Ca₅ (PO₄)₃ /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 Pb₅ (PO₄)₃ /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):

Vivianit	$\text{Fe}_3 (\text{PO}_4)_2 \cdot 8 \text{H}_2\text{O}$
Erytrín	$\text{Co}_3 (\text{AsO}_4)_2 \cdot 8 \text{H}_2\text{O}$
Annabergit	$\text{Ni}_3 (\text{AsO}_4)_2 \cdot 8 \text{H}_2\text{O}$

- 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, Rožínka), vzácně také v pegmatitech a greisenech
- **silně radioaktivní**
- **tetragonální, dokonale štěpné podle báze (001)**

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

Scheelit **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 paragneze (Žulová) a *skarny* (Obří důl v Krkonoších)

Surovina W

Wolframit (Fe, Mn) WO₄

Pevný roztok ferberitu (Fe) a hübneritu (Mn)

- *jednoklonné, tabulkovité krystaly*
- *barva černá, kovový lesk*
- *výborná štěpnost podle (010)*
- *paragneze 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 SiO_4 , sdílející apikální kyslíky se dvěma dalšími typy kordinačních polyedrů):

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

Chemismus

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

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

- úplný pevný roztok existuje mezi pyropem, almandinem a spessartinem, díky vzájemné substituci Mg, Fe²⁺ 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 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 **Mg₂ SiO₄** **Fo**

Fayalit **Fe₂ SiO₄** **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 Fo₈₅

olivín (Mg, Fe)₂ SiO₄ **minoritní příměsi Mn, Ni**

hortonolit (starší název) **(Fe, Mg)₂ SiO₄**

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 Fo₆₀₋₉₀.

- 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 (SiO₄/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

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 SiO_4** , sdílením společného rohového kyslíku – vzniká tak typická aniontová skupina sorosilikátů / Si_2O_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 **Be₃ Al₂ /Si₆ O₁₈/** **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 SiO₄ nejsou propojeny navzájem dalšími tetraedry SiO₄.

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 H₂O, která je skoro vždy přítomná v berylu, kromě ní CO₂, 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

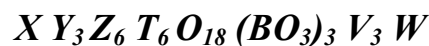
Minerály skupiny turmalínu (především skoryl a dravit) jsou nejhojnějšími minerály s podstatným obsahem B v horninách zemské kůry.

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⁺, Ca, □, K

$Y =$ Mg, Fe²⁺, Li, Al, Fe³⁺, Mn

$Z =$ Al, Mg, Fe³⁺

$T =$ 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

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

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 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 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° , 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 SiO_4 s opakujícím se motivem Si_2O_6 (vzorcová jednotka)

Obr. – **typy řetězců v pyroxenech**

- řetězce běží paralelně s vertikálou, vrcholy tetraedrů 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 MgSiO_3 , FeSiO_3 , 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 narezavělá.

řada spodumenová (alkalické pyroxeny): patří sem alkalické pyroxeny

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

- makroskopicky podobný augitu, s nímž se izomorfně 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 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):

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

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^{III}

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 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 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 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 H₂O (montmorillonit – bobtnání)*
- v případě slíd je jeden ze 4 tetraedrů obsazen Al³⁺ 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 $\text{Mg}_3 / \text{Si}_4 \text{O}_{10} / \text{OH}/_2$

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

Slídy : dioktaedrické (muskovit – paragonit)

muskovit je dioktaedrická slída $\text{K Al}_2 / \text{Al Si}_3 \text{O}_{10} / \text{OH}/_2$

trioktaedrické (biotit, flogopit, lepidolit, cinvaldit)

biotit $\text{K (Fe, Mg)}_3 / \text{Al Si}_3 \text{O}_{10} / \text{OH}/_2$

flogopit $\text{K (Mg)}_3 / \text{Al Si}_3 \text{O}_{10} / \text{OH}/_2$

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** $\text{Al}_4/\text{Si}_4\text{O}_{10}/\text{OH}/_8$, součást „kaolínu“ – suroviny pro výrobu porcelánu, kaolinit vzniká zvětráváním žilců (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 % K_2O , tvoří intenzívně zelená až sedozelená zrna v přibřežních mořských píscích a pískovcích

TEKTOSILIKÁTY („network silicates“)

A/ ŽIVCE

- tvoří ucelenou samostatnou skupinu tektosilikátů, které jsou nejvíce rozšířeny v zemské kůře. Jsou podstatnými minerály většiny vyvřelých hornin a obvykle jsou hojné v mnoha metamorfovaných i sedimentárních horninách
- strukturální rozdíly mezi živci odrážejí změny v tlaku a teplotě při krystalizaci hornin, ve kterých se vyskytují
- podobně chemické složení živců odráží celkový chemismus mateřských hornin – proto je charakter živců důležitým kritériem pro klasifikaci vyvřelých hornin

Chemické složení živců

Rozeznáváme živce draselné: $K Al Si_3 O_8$ **ORTOKLAS**
MIKROKLIN
SANIDIN (K+Na)

A živce sodnovápenaté /plagioklasy/, které tvoří izomorfní řadu (= úplný pevný roztok) s krajními členy:

$Na Al Si_3 O_8$ **ALBIT**
 $Ca Al_2 Si_2 O_8$ **ANORTIT**

Jednotlivé členy (albit, oligoklas, andezín, labradorit, bytownit, anortit)

Živce s K a Na jsou nazývány „alkalické živce“. Sestávají ze dvou chemicky odlišných koncových členů, pevný roztok mezi nimi je úplný za vysoké teploty:

$K Al Si_3 O_8$ **K-živec**
 $Na Al Si_3 O_8$ **Na-živec (albit)**

Substituce Na – K, poměr Al/Si zůstává konstantní 1:3

- *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 **mikroklin (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, mikroklin) + 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, mikroklin).
- při metamorfóze sedimentů, bohatých jílovou složkou, vznikají alkalické živce, Na-plagioklasy a křemen (fylity, svory, ruly, migmatity)

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

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