

Mineralogie všeobecná (krystalografie)

- věda minerálech (= nerostech)
- termín pochází z latinského „minera“ = ruda

Zemská kůra je složena z hornin a ty z minerálů:

- horniny mohou být polyminerální (žula = granit), nebo vzácněji monominerální (vápenec, některé pískovce)

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

Mezi nerosty však počítáme také:

- rtuť (Hg)
- některé přírodní amorfnní látky (opál)
- krystalické látky analogické pozemským minerálům z jiných kosmických těles

pozn.

U **amorfních látek** je rozložení stavebních částic nahodilé, nepravidelné.

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, jeho průmyslové využití

Dílčí disciplíny mineralogie

a) mineralogie všeobecná (= krystalografie)

- **krystalografie morfologická**
- **krystalografie strukturní**
- **krystalografie fyzikální** (studuje fyzikální vlastnosti minerálů)
- **krystalochemie**
- **technická krystalografie a mineralogie**
využití minerálů v průmyslu, studium pevné fáze mineralogickými metodami
- **experimentální mineralogie** (hraniční disciplína s fyzikou pevné fáze a chemií)
laboratorní disciplína: syntéza fází, analogických minerálů, stanovení podmínek krystalizace

b) mineralogie systematická

- studuje a popisuje charakteristické znaky a vlastnosti jednotlivých minerálů a třídí je do přirozené soustavy (systému) - na základě příbuznosti chemické a strukturní
- **genetická mineralogie**
sleduje procesy a podmínky vzniku minerálů v přírodě
- **topografická mineralogie**

Definice krystalu

a) pohled strukturní

- těleso s trojrozměrným periodickým uspořádáním stavebních částic (atomů, iontů, molekul)
- způsobu rozmístění stavebních částic v krystalu říkáme **krystalová struktura**

Geometrickým vyjádřením periodicity krystalu je **krystalová mřížka**

Starší definice : krystal je anizotropní, homogenní diskontinuum

b) pohled morfologický

- krystal je geometrický mnohostěn s určitým stupněm symetrie (ohraničení krystalovými plochami, hranami a rohy)

Morfologická krystalografie

Prvky morfologického omezení krystalu

a) krystalové plochy

- pravidelné, souměrné a nesouměrné

b) krystalové hrany

c) krystalové rohy (průsečíky hran krystalu)

Eulerova věta: $P + R = H + 2$

(platí obecně jen pro monokrystalu !)

Tvary jednoduché a spojky

Omezení krystalu výhradně stejnocennými plochami (stejného tvaru a stejně velkými) nazýváme **jednoduchým tvarem (krychle, osmistěn)**

Krystal omezený dvěma nebo více druhy různocenných ploch se nazývá **spojka**
- *př.* “**spojka krychle a osmistěnu**”, “**spojka prizmatu, dipyramidy a pinakoidu**”, ...

pozn. různocenné plochy (různého tvaru, nebo různě velké) náležejí různým jednoduchým tvarům

Každý krystalový tvar má svůj název (hexagonální dipyramida, tetraedr) – mezinárodní (hexaedr) a některé i český (krychle)

Jednoduché tvary můžeme rozdělit na:

- **uzavřené tvary** (může sám omezit krystal)
- **otevřené tvary**

Krystalový tvar (pinakoid, prizma, osmistěn) je určen počtem ploch a jejich vzájemnou polohou.

Úhly krystalových hran

Stensenův zákon (1669) o stálosti úhlů krystalových hran:

Na všech krystalech téhož minerálu (téže modifikace krystalické látky) svírají sobě odpovídající krystalové plochy stejné úhly.

- na velikost úhlů hran nemá vliv různoměrný vývin krystalů

- přesným změřením úhlů krystalových hran a porovnáním se známými daty lze exaktně určit daný minerál

pozn. - jde o metodiku, která má však dnes jen nepatrné použití

Pro měření úhlů krystalových hran se používají goniometry:

- příložný goniometr
- odrazový (optický) goniometr jednokruhový, - dvojkruhový

Monokrystal (krystalový jedinec)

x srůsty krystalů (náhodné, zákonité),

x krystalický agregát (je tvořen velkým množstvím krystalových jedinců) a bývá popisován podle celkového vzhledu:

– např.

- lupenitý agregát slídy (muskovitu)

- zrnitý agregát magnetitu

- stébelnatý agregát amfibolu

- celistvý agregát magnesitu

Osní (osové) kříže, osní úhly

- obecně má osní kříž 3 různocenné osy (x, y, z), (někdy a, b, c)

navzájem svírající obecné úhly (α, β, γ) – je to případ trojklonné soustavy

pozn. směr (značení) os a poloha meziosních úhlů je jednoznačně určena !!!

Další výše souměrné soustavy mají své specifické osní kříže: viz obr.

Indexování ploch a krystalových tvarů

- jde o jednoznačný popis polohy krystalových ploch v prostoru
viz obr.

- úseky na osách (a, b, c)

- **Weissovy indexy (ma : nb : pc)**

př. - 2a : 1/3 b : nekonečno c

- **Millerovy indexy (h k l)** – reciproké hodnoty odvozovacích čísel Weisse
př. 001, 231, 111, ...

- příklady přepočtu Weissových a Millerových indexů

Prvky morfologické souměrnosti krystalů

Střed souměrnosti

- je inverzí jednočetné osy

- krystal má střed souměrnosti, má-li každá plocha svoji středově souměrnou protiplochu

Rovina souměrnosti (m) – rovina, procházející středem krystalu, která dělí krystal na dvě zrcadlově shodné poloviny

Osy souměrnosti (gyry)

Osa souměrnosti je přímka, procházející středem krystalu.:

- můžeme kolem ní krystalem otáčet
- podle toho, kolikrát se při otočení o 360° dostane krystal do polohy shodné s výchozí, určujeme četnost osy:

Značí se čísly: 1, 2, 3, 4, 6

(1-četná – slouží k označení asymetrického krystalu)

2-četná

3-četná

4-četná

6-četná

Inverzní osy souměrnosti (gyroidy):

prvek souměrnosti, kombinující otáčení kolem osy souměrností se zrcadlením podle středu souměrnosti. Značí se čísly s pruhem (např. $3\bar{}$)

- procházejí středem krystalu, můžeme kolem nich krystalem otáčet

Četnosti inverzních os souměrnosti:

(1-četná = střed souměrnosti)

2-četná = rovina souměrnosti

3-četná = 3 v kombinaci se středem souměrnosti

4-četná – zvláštní prvek

6-četná – 3 v kombinaci s rovinou souměrnosti, kolmou na osu

Oddělení souměrnosti = bodové grupy (32)

- jsou charakterizovány jako množiny prvků (operací) souměrnosti krystalů, které jsou na sobě určitým způsobem závislé.
- Operace souměrnosti jsou prvky grup.

pozn. krystaly určitého minerálu spadají svojí symetrií do jedné z bodových grup

V každé soustavě existuje jedno oddělení s nejvyšší symetrií, které označujeme jako **holoedrické (plnoploché) oddělení**.

Přehled soustav a oddělení

- dle tabulky
- znalost holodrických oddělení a jejich krystalových tvarů
- znalost příkladů minerálů z jednotlivých soustav a oddělení

a) soustavy nižší kategorie

Soustava triklinická:

Holoedrické oddělení pinakoidální:

obecný tvar “**pinakoid**” – 2 plochy, spolu rovnoběžné

- **chalkantit (= skalice modrá) $\text{Cu SO}_4 \cdot 5 \text{H}_2\text{O}$**
- **albit (Na-živec) $\text{Na Al Si}_3 \text{O}_8$**

pozn. Oddělení pediální – “pedion” (jednoplochý krystalový tvar)

Soustava monoklinická:

Holoedrické oddělení prizmatické:

obecný tvar “**prizma**” – 4 plochy, protínající se v rovnoběžných hranách

další tvary : **pinakoid**

- **sádrovec $\text{Ca SO}_4 \cdot 2 \text{H}_2\text{O}$**
- **ortoklas (K-živec) $\text{K Al Si}_3 \text{O}_8$**
- wolframit, amfiboly, pyroxeny
- síra β

pozn. Oddělení sfenodické

obecný tvar “sfenoid” (2 plochy, souměrné dle osy dvojjetné)

- cukry (sacharóza)
- kyselina vinná

Soustava rombická:

Holoedrické oddělení rombicky dipyramidální:

obecný tvar “**rombická dipyramida**” – 8 ploch (dvojjehlan) s půdorysem kosočtverce

další tvary : **pinakoid, prizma**

- **baryt Ba SO₄**
- **síra α**
- **aragonit Ca CO₃**
- amfiboly, pyroxeny
- **topaz, olivín**
- markazit FeS₂
-

pozn. - další oddělení rombicky pyramidální
rombická pyramida

a) soustavy střední kategorie

Soustava tetragonální:

Holoedrické oddělení ditetragonálně dipyramidální:

obecný tvar oddělení “ditetragonální dipyramida” – 8 + 8 ploch (dvojjehlan)

základní tvar “**tetragonální dipyramida**” – 4 + 4 plochy (dvojjehlan s půdorysem čtverce)

dále : bazální pinakoid, tetragonální prizma, ditetragonální prizma

- **kassiterit (cínovec) Sn O₂, rutil Ti O₂**
- **zirkon Zr SiO₄**

pozn. další oddělení: tetragonální pyramida + pedion, další tvary (tetragonální trapezoedr)

- scheelit Ca WO₄
- chalkopyrit Cu Fe S₂

Soustava hexagonální:

Holoedrické oddělení dihexagonálně dipyramidální:

obecný tvar oddělení “dihexagonální dipyramida” – 12 + 12 ploch (dvojjehlan)

základní tvar “**hexagonální dipyramida**” – 6 + 6 plochy (dvojjehlan s půdorysem pravidelného šestiúhelníku)

dále : bazální pinakoid, hexagonální prizma (6 ploch), dihexagonální prizma (12 ploch)

- **beryl Be₃ Al₂ /Si₆ O₁₈/**
- **grafit, molybdenit MoS₂**

pozn. další oddělení: hexagonální pyramida + pedion, další tvary (hexagonální trapezoedr)

- apatit $\text{Ca}_5/\text{PO}_4/3 \text{Cl}$ (F, OH)
- křemen β

Soustava trigonální (klencová):

Holoedrické oddělení ditrigonálně skalenoedrické:

obecný tvar oddělení “ditrigonální skalenoedr” – 6 + 6 ploch (dvojjehlan s klikatými bočními hranami)

základní tvar “**romboedr**” = **klenec** – 3 + 3 plochy (proti ploše v horní části krystalu je hrana dole)

dále : bazální pinakoid, hexagonální prizma

- **karbonáty kalcitové řady: kalcit (klenec + ditrigonální skalenoedr), dále magnezit, siderit, rodochrozit (pouze klenec)**

pozn. další oddělení: pedion + trigonální pyramida, trigonální prizma a další tvary (trigonální trapezoedr)

- křemen α
- rumělka – cinabarit / HgS /

a) soustava vyšší kategorie

Soustava kubická:

Holoedrické oddělení hexaoktaedrické:

obecný tvar oddělení “**hexaoktaedr**” – 48-stěn /nejvýše plochý tvar vůbec/

základní tvar “**oktaedr**” – osmistěn

dále : hexaedr (krychle), dodekaedr rombický (dvanáctistěn kosočtverečný), 24 – stěny

Krystalům ideálně vyvinutým lze opsat kouli (jsou izometrické)

- **granáty (almandin, ...) - rombický dodekaedr**
- **Cu, Ag, Au** – většinou nevytváří krystaly
- **diamant (oktaedr)**
- **fluorit CaF_2 , halit (krychle)**
- **galenit PbS**
- **magnetit (osmistěn) Fe_3O_4**

pozn.

důležité tvary z dalších oddělení:

- tetraedr (čtyřstěn) – tetraedrit, sfalerit /Zn S/
- pentagondodekaedr (dvanáctistěn pětiúhelníkový) – pyrit Fe S_2 (též krychle)

Krystalové srůsty

a) nahodilé

b) zákonité

- **paralelní (rovnoběžné)** – plochy a hrany všech srostlých individuí jsou rovnoběžně orientovány /typicky u křemene, barytu, kalcitu, ...)

- **dvojčatné srůsty** – dva i více jedinců srůstá v poloze, definovatelné pomocí určité dvojčatné roviny nebo osy dvojčatění

*Typicky dvojčatí sádrovec podle roviny 100 (roviny dané osami yz),
běžně dvojčatí živce*

/K-živce podle karlovarského zákona, plagioklasy podle albitového zákona – roviny 010 /.

U živců vzniká často *opakovaný, mnohočatný srůst tzv. polysyntetický srůst krystalů.*

Strukturní krystalografie

Krystal z pohledu strukturní krystalografie

- těleso s trojrozměrným periodickým uspořádáním stavebních částic (vůbec není důležité vnější omezení krystalovými plochami)
- způsobu rozmístění stavebních částic v krystalu říkáme **krystalová struktura**

Geometrickým vyjádřením periodicity krystalu je **krystalová mřížka**

Starší definice krystalu z pohledu strukturní krystalografie:

- *krystal je anizotropní, homogenní diskontinuum*

Podmínky vzniku krystalu, fáze krystalizačního procesu

Ke vzniku krystalu dochází dvojstupňovým procesem, který se skládá z **nukleace** (tj. ze vzniku zárodku krystalu) a z **růstu krystalu** připojováním atomů, radikálů nebo molekul k tomuto zárodku.

NUKLEACE

- z hlediska termodynamiky nejkomplicovanější etapou vzniku krystalu
- zárodek krystalu (nukleus) je jen nepatrným seskupením atomů, jejichž uspořádání odpovídá struktuře budoucího krystalu
- jde o velmi nestabilní seskupení atomů, které se může snadno rozpadnout

Spontánní (samovolná) nukleace je proces, při němž se vytvářejí zárodky krystalů v určitých oblastech nestabilní mateřské fáze, která může být skupenství kapalného, plynného nebo pevného.

Hybnou silou spontánní nukleace je porušení rovnovážného stavu v dané soustavě, které je vyvoláno změnou fyzikálně chemických podmínek:

- *např. poklesem teploty*
- *mírou přesycení roztoku (hydrotermální žíly, evapority)*
- *velikost podchlazení taveniny (krystalizace z magmatu)*

Přítomnost zárodků zvyšuje v dané soustavě volnou energii této soustavy, proto jsou zárodky krystalů nestabilní a snadno dochází k jejich rozpadu.

Za vhodných podmínek se mohou zárodky zvětšovat a jejich velikost může překročit kritickou hodnotu, která se označuje jako **kritický poloměr zárodku**. (absolutní hodnota kritického poloměru u dané fáze závisí na řadě faktorů).

Při překročení kritického poloměru se zárodek stává krystalem, který dále dorůstá.

Připojováním (apozicí) dalších atomů ke krystalu naopak dochází ke snižování volné energie soustavy (viz obr.)

př. nukleace a růst krystalu forsteritu

Spontánní nukleace má význam především při vzniku nerostů z magmatu (taveniny) nebo z hydrotermálních roztoků

pozn. k nukleaci často dochází na rozhraní dvou různých fází:

- hladina solných jezer, hladina jeskynních krasových jezírek
- povrch jiného krystalu
- nepatrné úlomky dříve vytvořených krystalů (stejná i jiná fáze)

Orientované narůstání krystalů jednoho minerálu na jiný = **epitaxe**

MECHANISMUS RŮSTU KRYSTALU

K růstu krystalu dochází připojováním stavebních částic (apozicí) k jeho povrchu.

Lze rozlišit dva hlavní způsoby růstu:

- postupné přikládání stavebních částic do souvislých vrstev na ideálně vyvinutých krystalových plochách viz obr. (*Kosselova teorie – př. krystal halitu*)

Připojení každé částice k povrchu krystalu je provázeno uvolněním určitého množství energie. Nejvhodnějším místem pro její připojení je tedy bod, v němž se uvolní největší množství energie (rozestavěná řada strukturního patra, roh, hrana krystalu).

- spirálový růst krystalu

Vyžaduje přítomnost šroubových, případně hranových dislokací v jeho struktuře (viz obr.)

Defekty růstu krystalu

- ideální krystal (ideální krystalová struktura): v podstatě neexistuje
- reálný krystal (reálná struktura)

Reálná krystalová struktura je více či méně porušena (za poruchu považujeme každou odchylku od dokonalé periodicity) – obr.

Zonální růst krystalu, sektorový růst krystalu

Krystalizace minerálů nikdy neprobíhá za zcela konstantních podmínek: naopak v průběhu krystalizace se mění řada fyzikálně – chemických parametrů (teplota, tlak, chemické složení okolního prostředí).

Proto se jednotlivé přírůstkové zóny krystalu minerálu liší svými charakteristikami (složením, zbarvením)

Rychlost růstu krystalu

Rychlost růstu krystalových ploch různých tvarů v určitém časovém intervalu je obecně různá (lze hovořit o anizotropii rychlosti růstu).

- **retikulární hustota** (obr.) : je dána počtem uzlů mřížkové roviny na jednotku plochy. **Nejvyšší retikulární hustotu mají strukturní roviny s nejnižšími Millerovými indexy $h k l$.**

Nerovnoměrný růst reálných krystalů

- ***kostrovitý krystal***

Za určitých podmínek (při rychlém růstu) se na rostoucím krystalu přednostně vytvářejí rohy a hrany, zatímco připojování stavebních částic na plochy probíhá pomaleji.

(sněhové vločky a další př.)

- ***nerovnoměrný růst krystal:***

vlivem působení gravitace

proudění roztoků nebo pohyb magmatu (taveniny)

vlivem difúze v určitém směru

nedostatkem prostoru pro ideální vývin krystalu

Rekrystalizace

Při rekrystalizaci probíhá přemísťování stavebních částic v krystalech a krystalických agregátech, při zachování původního nerostného druhu.

Fyzikální vlastnosti nerostů

- nerosty jsou pevné, krystalické látky (známe však též minerály amorfní, případně kapalné)
- nositeli stálých a charakteristických fyzikálních vlastností jsou především krystaly nerostů

Fyzikální vlastnosti dělíme na:

- **skalární (hustota)**
- **vektoriální (tvrdost, štěpnost), vodivost, interakce krystalů se zářením (hlavně optické vlastnosti)**

Hustota

- definice

Způsoby měření hustoty minerálů:

- **metoda dvojího vážení (hydrostatická)**
- **metoda pyknometrická**
- **metoda imerzní (těžkých kapalin, suspenzační)**

Tvrdost

Mohsova stupnice tvrdosti (pro relativní stanovení tvrdosti):

1. mastek
2. halit
3. kalcit
4. fluorit
5. apatit

6. živec
7. křemen
8. topaz
9. korund
10. diamant

Kvantitativně se tvrdost minerálů měří sklerometry

Štěpnost

- **krystalograficky orientované minimum soudržnosti**

Roviny štěpnosti jsou podmíněné charakterem struktury

Nerosty štěpné :

- výborně (muskovit a grafit podle 001, sádrovec dle 010, kalcit podle klence)
- dobře (amfiboly podle 110)
- špatně (pyroxeny)
- neštěpné (křemen, granáty)

Tavitelnost

Byla využívána v diagnostice minerálů zejména v minulosti.

např. antimonit Sb_2S_3 taje již v plameni svíčky

Rozpustnost a lepty

- na krystalových plochách vznikají při leptání charakteristické obrazce, indikující symetrii krystalů

Magnetismus

Nerosty dělíme podle magnetické susceptibility na:

- **diamagnetické (Cu, halit, křemen)**
- **paramagnetické (Pt, siderit, beryl, rutil)**
- **feromagnetické (magnetit, pyrhotin)**

Jevy luminiscenční

Fluorescence - fluorit

Luminiscence - minerály po expozici určitým druhem záření svítí krátkodobě slabým světlem

- **zahřátí (fluorit)**
- **UV (scheelit Ca WO_4 , některé kalcity, uranové slídy)**

Radioaktivita minerálů

- vykazují nerosty s obsahem radioaktivních prvků (**uraninit UO_2 , thorit Th SiO_4 , uranové „slídy“**- lupenité složité fosfáty – **torbernit, autunit**)
- metody radiometrického datování minerálů (hornin)

Optické vlastnosti (krystalová optika)

- **makroskopicky rozpoznatelné (propustnost světla, lesk, barva a zbarvení).**

Propustnost světla:

U průhledných nerostů prochází světelný paprsek i silnou vrstvou nerostu. Nerost průhledný a bezbarvý se nazývá čirý (křišťál).

Nerosty průsvitné (sádrovec), neprůhledné (živec), opakní (magnetit, galenit).

Lesk:

Odražené světlo na nerostech vnímáme jako lesk

kovový – pyrit, stříbro, magnetit

polokovový – sfalerit

diamantový – diamant, síra,

skelný – křemen, živce

perleťový – slídy, sádrovec

matný

nerosty bez lesku – limonit, kaolinit

Barva – stálá a typická pro daný minerál:

Síra – žlutá

malachit – zelený

zlato

Zbarvení:

U jednoho minerálu známe různá zbarvení (křemen, korund), podle příměsí stopových prvků ve struktuře, či strukturních odlišností

Odrůdy křemene (křišťál, ametyst, záhněda, růženín, ...)

Mikroskopicky měřitelné optické vlastnosti:

- **index (y) lomu**

Měříme pomocí polarizačního mikroskopu, metody Beckeho linky, metody imerzní a za použití refraktometru.

Opticky izotropní minerály (ze soustavy krychlové a amorfní látky - opál, sklo) mají jeden index lomu. ***Opticky anizotropní krystaly*** (ostatní soustavy) – mají 2 nebo tři indexy lomu, dle hlavních krystalografických či optických směrů.

- **barva a pleochroismus**
- **optický charakter minerálu**
- **ráz délky krystalu**

Polarizační mikroskop

- mikroskop, pracující s lineárně polarizovaným světlem
- má kruhový, otáčivý stolek
- polarizátor x analyzátor
- nitkový kříž v okuláru
- Bertrandova čočka v tubusu