



EVROPSKÁ UNIE
Evropské strukturální a investiční fondy
Operační program Výzkum, vývoj a vzdělávání



Mineralogie

Ing. Jiří Mališ, Ph.D.



1	Úvod do mineralogie.....	3
2	Základní pojmy	3
2.1	Hmota a látka, plynné, kapalné a pevné látky	3
2.2	Minerály a horniny	3
2.3	Minerální druh	4
2.4	Látky krystalické a amorfní, krystaly	5
2.5	Mineralogie a krystalografie	5
2.5.1	Krystaly v přírodě (vzhled reálných krystalů).....	5
2.5.2	Krystaly zarostlé a narostlé	6
2.5.3	Habitus a typus (typ) krystalu	7
2.5.4	Nerovnoměrný a kostrovitý vývin krystalů	7
2.5.5	Agregace minerálů	8
3	Fyzikální vlastnosti minerálů.....	9
3.1	Štěpnost	9
3.2	Tvrdost	10
3.3	Hustota	12
3.4	Barva	13
3.5	Barva vrypu	13
3.6	Lesk.....	13
3.7	Optické vlastnosti minerálů	14
4	Vznik minerálů	15
4.1	Minerály magmatických hornin	15
4.2	Minerály pegmatitů	16
4.3	Minerály dalších postmagmatických procesů	16
4.3.1	Greiseny	16
4.3.2	Hydrotermální mineralizace.....	17
4.3.3	Alpská parageneze	17
4.4	Minerály v sedimentárním procesu.....	18
4.4.1	Hypergenní pochody	18
4.5	Minerály v metamorfním procesu	18
4.5.1	Kontaktní metamorfóza	19
4.5.2	Regionální metamorfóza	19
5	Metody výzkumu minerálů a krystalů.....	19
5.1	Metody RTG difrakce	19
5.2	Metody chemické analýzy	21
5.2.1	Klasická chemická analýza na "mokrém cestě"	21
5.2.2	Atomová absorpční spektroskopie (AAS).....	21
5.2.3	RTG fluorescenční analýza	22
5.2.4	Elektronová mikroskopie a mikroanalýza	22
6	Systematická mineralogie.....	23
6.1	Klasifikace minerálů	23
6.2	Prvky	24
6.3	Sulfidy	25
6.4	Halovce	27
6.5	Oxidy	28
6.6	Karbonáty	31
6.7	Sulfáty	33
6.8	Fosfáty	34
6.9	Silikáty	34
6.9.1	Nesosilikáty	34

6.9.2	Sorosilikáty.....	36
6.9.3	Cyklosilikáty	36
6.9.4	Inosilikáty	37
6.9.5	Fylosilikáty.....	39
6.9.6	Tektosilikáty	42
7	Literatura	43

1 Úvod do mineralogie

Mineralogie patří mezi základní vědní disciplíny velkého souboru vědních oborů známých jako geovědy nebo jako vědy o Zemi. Z tohoto pohledu je mineralogie významná především proto, že její poznatky tvoří základ pro další obory jako je např. petrologie (věda o horninách) nebo geochemie (věda o chování chemických prvků a sloučenin v zemské kůře).

2 Základní pojmy

2.1 Hmota a látka, plynné, kapalné a pevné látky

Hmota ve vesmíru se vyskytuje ve dvou základních formách: jako záření (pole) a jako látka. Látka (hmota složená z atomů) se v podmínkách blízkých životnímu prostředí člověka vyskytuje ve třech skupenských stavech – plynném, kapalném a pevném. Skupenský stav každé látky je přitom závislý na podmínkách prostředí, především na teplotě a tlaku. Teoreticky se tedy každá látka bez ohledu na chemické složení může vyskytovat v každém z těchto skupenství. Plynné skupenství je charakterizováno relativně malým množstvím částic na jednotku prostoru, malým počtem srážek mezi nimi a tedy jejich dlouhou střední drahou. Pro kapaliny je typický větší počet částic v jednotce prostoru, větší počet jejich srážek a střední volné dráhy. Pevné látky se ve srovnání s plynnými a kapalnými látkami vyznačují nejtěsnějším směstnáním stavebních částic. Pohyby těchto částic jsou omezeny na relativně malý prostor v okolí jistých bodů (rovnovážných poloh), protože energie vzájemné vazby mezi částicemi převažuje nad energií jejich tepelného pohybu. V pevných látkách je vzdálenost mezi sousedními atomy řádově 10^{-10} m, jeden krychlový centimetr libovolné pevné látky tedy obsahuje obrovské množství 10^{22} až 10^{23} atomů.

2.2 Minerály a horniny

Mineralogie je věda zabývající se všestranným studiem minerálů (nerostů). V obecné rovině je za minerál pokládán prvek nebo chemická sloučenina, která je za normálních podmínek krystalická a která vznikla jako produkt geologických procesů. Tato definice zahrnuje naprostou většinu látek, které jsou všeobecně za minerály považovány. Existují ovšem některé výjimky, které tuto formulaci porušují, přesto jsou ale za minerály tradičně pokládány. Za minerály považujeme mimo jiné:

- rtuť (která je za normálních podmínek kapalná),
- některé amorfní látky (např. opál),

- látky obdobné pozemským minerálům, ale pocházející z jiných kosmických těles (Měsíc, Mars, meteority),
- biogenní materiály, pokud se na jejich formování podílely geologické procesy (např. minerály guana, jantar, atd.).

Naopak za minerály nepovažujeme:

- vodu v kapalném stavu (led je obvykle řazen mezi minerály), atmosférické plyny,
- ropu a nekrystalické bitumenní látky (např. uhlí),
- antropogenní (člověkem vytvořené) materiály,
- geologickými procesy modifikované antropogenní materiály,
- látky vzniklé zásahem člověka do přírody (např. produkty hoření uhelných hald),
- biogenní materiály, pokud nejsou modifikovány geologickými procesy (žlučové kameny, schránky měkkýšů apod.),
- směsi minerálů (horniny).

Horniny jsou obvykle mechanické směsi různých minerálů (např. žuly se skládají z křemene, živců a slíd a dalších minerálů). Výjimkou jsou monominerální horniny, jež jsou tvořeny jen jedním minerálem (např. mramor se skládá pouze ze zrn kalcitu).

2.3 Minerální druh

Aby bylo možno orientovat se ve velkém množství minerálů, je třeba definovat minerální druh (specii), který se nějak liší od ostatních druhů. Aniž bychom se zde zabývali detaily, můžeme říci, že minerální druh je vymezen:

- a) specifickým chemickým složením nebo:
- b) specifickým uspořádáním stavebních částic (specifickou strukturou) nebo:
- c) specifickým složením i strukturou (současně).

Minerály, které mají obdobnou strukturu, avšak odlišné chemické složení, označujeme jako izotypní (např. rutil – kasiterit). Má-li dva nebo více minerálů totožné chemické složení, ale různou strukturu, hovoříme o polymorfních modifikacích (např. rutil – brookit – anatas).

V současné době je známo a v mineralogické literatuře popsáno asi 4000 různých minerálních druhů, přičemž každoročně je objeveno několik desítek (cca 30 – 50) nových, dosud neznámých. Z tohoto počtu se ovšem jen asi 300 minerálů vyskytuje častěji, ostatní jsou vzácné nebo velmi vzácné. Skutečně běžně se v přírodě vyskytuje jen několik málo desítek minerálů.

2.4 Látky krystalické a amorfní, krystaly

Pevné látky jsou charakterizovány omezeným pohybem základních stavebních částic (atomů, iontů, molekul) kolem rovnovážných poloh. Podle uspořádání těchto poloh v prostoru můžeme pevné látky rozdělit do dvou skupin: na látky krystalické a látky amorfní (beztvaré). Rovnovážné polohy stavebních částic krystalických látek jsou v prostoru rozmístěny pravidelně, v pravidelné prostorové síti či mříži. Takovému tělesu, tedy pevnému tělesu s trojrozměrně periodickým uspořádáním základních stavebních částic (atomů, iontů, molekul), říkáme krystal. Konkrétní způsob rozmístění základních stavebních částic v krystalu se nazývá krystalová struktura. Naproti tomu prostorové rozložení stavebních částic amorfních látek je neperiodické, nepravidelné. Z tohoto hlediska se pevné amorfní látky podobají kapalinám. Mezi amorfní látky patří např. skla.

Zde je třeba zdůraznit skutečnost, že krystal je definován na základě periodicity struktury, ne na základě vnějšího omezení. Krystaly tedy nejsou jen ona dokonalá, hladkými plochami omezená tělesa známá z muzeí, ale i jejich úlomky, valounky, nepravidelně omezená zrna atd. Rovné plochy jsou vyvinuty pouze na krystalech, které nebyly při růstu omezovány okolním prostředím. Naopak kdybychom vybrousili dokonalý krystalový tvar z amorfní látky (např. ze skla), nebyl by výsledkem krystal, protože by nebyla splněna podmínka trojrozměrně periodické vnitřní stavby.

2.5 Mineralogie a krystalografie

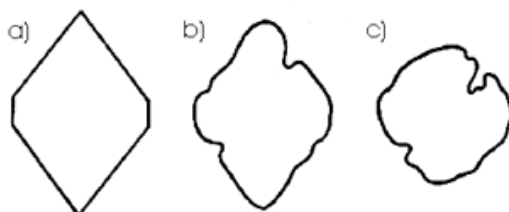
Jaký je vztah mezi pojmy krystalografie a mineralogie? Krystal vzniklý geologickými procesy je minerál. Většina minerálů jsou krystaly (existují však i minerály amorfní). Naopak člověk dnes umí vypěstovat krystaly uměle, a to jak krystaly analogické minerálům, tak krystaly, které v přírodě nalezeny nebyly. Mineralogie a krystalografie se tedy částečně, ne však zcela překrývají.

2.5.1 Krystaly v přírodě (vzhled reálných krystalů)

Doposud jsme se většinou zabývali dokonalými krystaly, to jest krystaly se zcela dokonalou strukturou i vnějším omezením. Reálné krystaly se od tohoto ideálu vždy více či méně odlišují jak po stránce strukturní, tak morfologické. Odchylky od dokonalému tvaru mohou být způsobeny defekty ve struktuře reálných krystalů (vznikají během růstu krystalu), nebo mohou vznikat druhotně (například rozpouštěním povrchu krystalu).

2.5.2 Krystaly zarostlé a narostlé

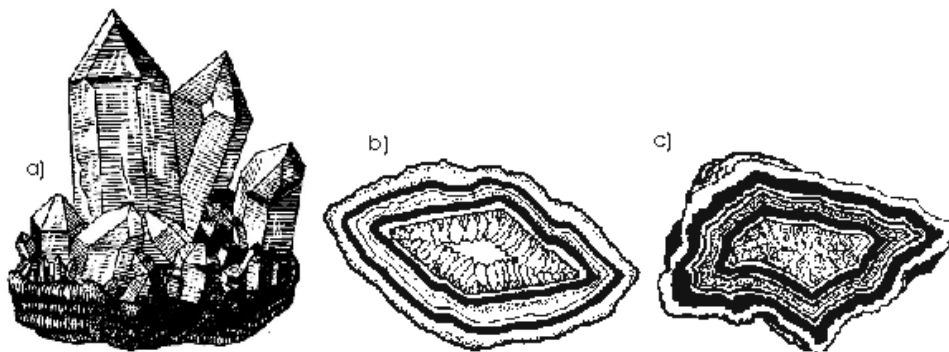
Drtivá většina krystalů se v přírodě vyskytuje jako krystaly zarostlé, tedy zcela obklopené pevnou hmotou (například v horninách). Jsou-li zarostlé krystaly omezeny pouze vlastními plochami, hovoříme o krystalech automorfních (idiomorfních); jsou-li krystaly omezené vlastními plochami částečně, mluvíme o krystalech hypautomorfních (hypidiomorfních). Pokud je zarostlý krystal omezen nepravidelně nebo plochami okolních krystalů, označujeme jej jako xenomorfní (allotriomorfní) – obr. 1.



Obr. 1 Automorfně a), hypautomorfně b) a xenomorfně c) omezený krystal.

Automorfní krystaly vznikají obvykle jako první (např. v taveninách, proto nejsou v růstu omezovány okolím), xenomorfní jako poslední (vyplňují dutiny mezi již vykrystalizovanými staršími minerály). Výjimkou jsou krystaly volné, rostoucí v plastickém, poddajném prostředí (například dokonale automorfně omezené krystaly sádrovce vznikají sběrnou krystalizací v jílových horninách, krystaly ledu – sněhové vločky – rostou v atmosféře).

Krystaly alespoň částečně čnící do prostoru (dutiny, pukliny apod.) nazýváme krystaly narostlé. Skupiny narostlých krystalů označujeme jako drůzy. Čnějí-li narostlé krystaly do středu dutiny, hovoříme o geodách. Je-li dutina zcela zaplněna, mluvíme o peckách (obr. 2).

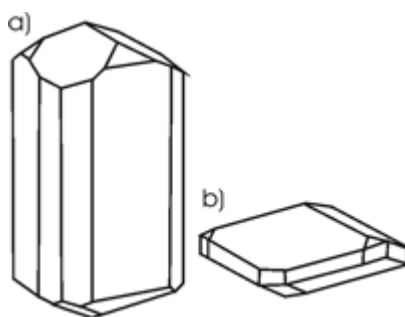


Obr. 2 Drůza a), geoda b), pecka c)

Shluky krystalů jednoho minerálu nazýváme krystalové agregáty.

2.5.3 Habitus a typus (typ) krystalu

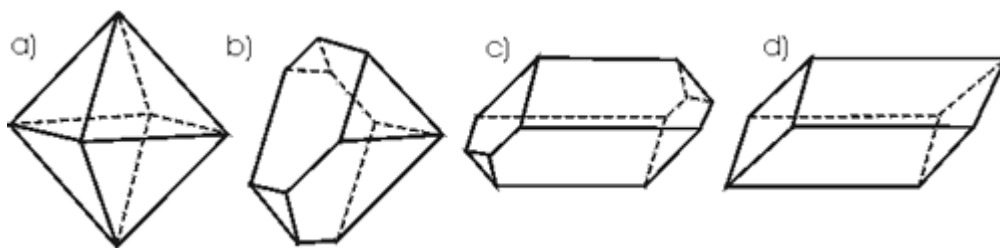
Celkový geometrický dojem, kterým krystal působí, nazýváme habitus (vzhled) krystalu. Rozlišujeme habitus stejnoměrný (izometrický), jednorozměrný (sloupcovitý, jehličkovitý atd.) a dvojrozměrný (destičkovitý, tabulkovitý, lupenitý atd.). U běžnějších minerálů se často vžila speciální označení habitu krystalů, většinou založená na podobnosti krystalů s předměty. Tak hovoříme např. o soudečkovitých či vřetenovitých krystalech korundu, psaníčkovitých krystalech titanitu a podobně. Typus (typ) určuje převládající, nejdůležitější tvar na krystalu (obr. 3).



Obr. 3 Krystaly turmalínu: habitus sloupcovitý, typus prizmatický a), habitus čočkovitý, typus pyramidální b)

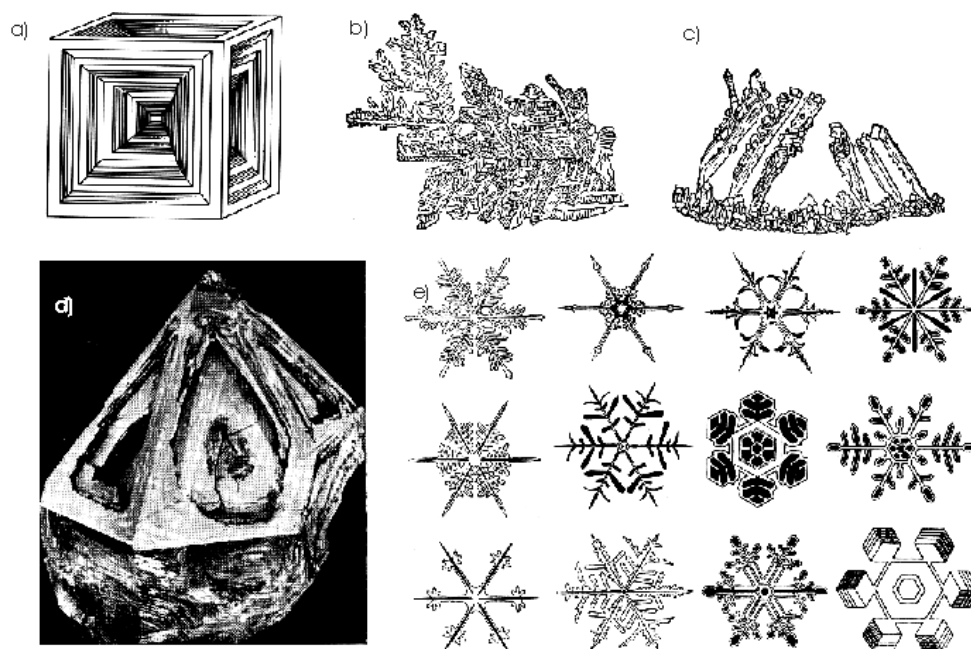
2.5.4 Nerovnoměrný a kostrovitý vývin krystalů

Většina krystalů minerálů je více či méně nerovnoměrně vyvinuta, resp. krystaly blíží se dokonalým se v přírodě prakticky nevyskytují. Silně různoměrně vyvinuté krystaly jsou také označovány jako deformity. Při nerovnoměrném růstu krystalů může dojít až k vymizení, zárůstu jedné nebo více ploch (obr. 4).



Obr. 4 Rovnoměrně a) a nerovnoměrně b-d) vyvinutý krystal magnetitu

Při překotném růstu krystalů nebo při nedostatku stavebního materiálu tvoří některé látky kostrovité krystaly (krystalové dendrity). Kostrovité krystaly rostou rychleji na hranách než na plochách, které se tím stávají stupňovitými. Příkladem kostrovitých krystalů jsou např. sněhové vločky či některé krystaly ryzích kovů (hlavně zlata, stříbra, mědi) – obr. 5. Ke kostrovitému růstu dochází obvykle v důsledku nedostatku stavebních částic v krystalizačním prostředí či při překotném růstu krystalu.



Obr. 5 Kostrovitý vývin krystalu halitu a), dendritické krystaly zlata b), mědi c), kostrovitý krystal křemene d), kostrovité krystaly ledu e).

2.5.5 Agregace minerálů

Běžně se však minerály nevyskytují v krystalech, ale ve formě krystalických agregátů, tj. zcela nahodilých srůstů velkého množství zpravidla xenomorfně omezených krystalů, které beze zbytku vyplňují prostor. Označování a popis agregátů není zcela jednoznačný, používají se nejrůznější názvy; z nejběžnějších uveďme tyto:

- agregáty hrubě až jemně zrnité - označení závisí na velikosti jednotlivých krystalových zrn v agregátu
- agregáty celistvé - jednotlivá zrna (krystalky) nejsou viditelná pouhým okem
- agregáty stébelnaté - zpravidla soubor sloupcovitých jedinců
- agregáty vláknité - jsou tvořena vlákny minerálu, např. azbesty
- agregáty radiálně paprscité - vlákna mají koncentrickou stavbu
- agregáty ledvinité
- agregáty sferolitické
- agregáty lupenité - typické především pro slídové minerály
- agregáty snopkovité

Pro určování minerálů mají velký význam některé další znaky, spojené s vývinem krystalů. Mezi důležité znaky patří morfologie krystalových ploch. Pro některé minerály, resp. pro určité plochy jejich krystalů je charakteristická určitá skulptace nebo rýhování. Příkladem může být vodorovné rýhování na prizmatických plochách křemene, podélné rýhování na plochách vertikálního pásma turmalínu nebo typická

skulptace na plíščích zlata. Pro určování může být významný např. i typický tvar srostlic (např. křížové srostlice staurolitu) nebo nezvyklý vývin krystalů popř. agregátů (např. drátkovité stříbro).

3 Fyzikální vlastnosti minerálů

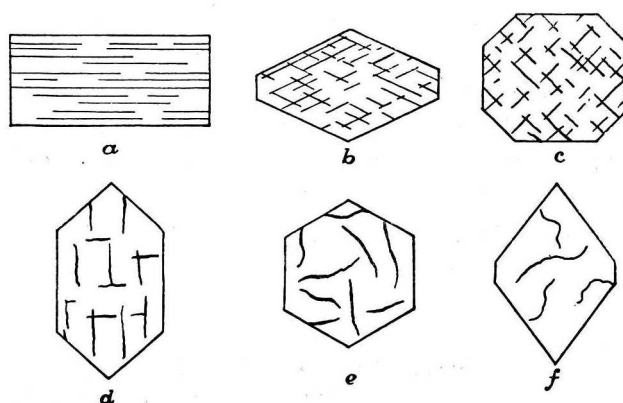
Fyzikální vlastnosti minerálů jsou přímým důsledkem jejich chemismu a krystalové struktury. Značnou část fyzikálních vlastností můžeme určit pouhým okem nebo velmi jednoduchými metodami a zkouškami, proto jsou tyto vlastnosti velmi důležité při předběžném určování minerálů.

3.1 Štěpnost

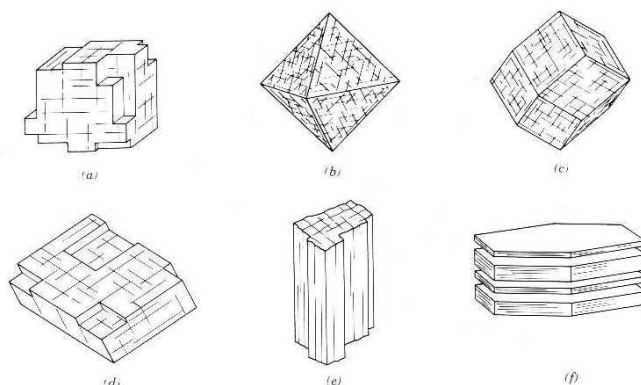
Je to tendence minerálu lámat se paralelně s určitou rovinou atomů, kterou lze charakterizovat Millerovými indexy (podobně jako krystalovou plochu). Štěpnost může být vyvinuta s různou dokonalostí (obr. 6). Na jedné straně může být zcela dokonalá (např. bazální štěpnost slíd) nebo může zcela chybět (křemen).

Pokud chceme štěpnost určitým způsobem definovat, musíme udat její kvalitu a krystalografický směr. Směr udáváme buď Millerovým indexem nebo opisem jako např. kubická (100), oktaedrická (111), prizmatická (110) nebo pinakoidální (001) štěpnost (obr. 7). Kvalita štěpnosti se vyjadřuje nejčastěji v této škále:

- velmi dokonalá
- dokonalá
- dobrá
- nedokonalá
- velmi nedokonalá (chybějící)



Obrázek 6. Různá kvalita štěpnosti a) velmi dokonalá, b) dokonalá, c) dobrá, d) nedokonalá, e) špatná, f) chybějící (zdroj Hejtmán a Konta, 1959)



Obrázek 7. Označení směru štěpnosti a) kubická, b) oktaedrická, c) dodekaedrická, d) klencová, e) prizmatická, f) pinakoidální (bazální) (zdroj Klein a Hurlbut, 1993)

3.2 Tvrdost

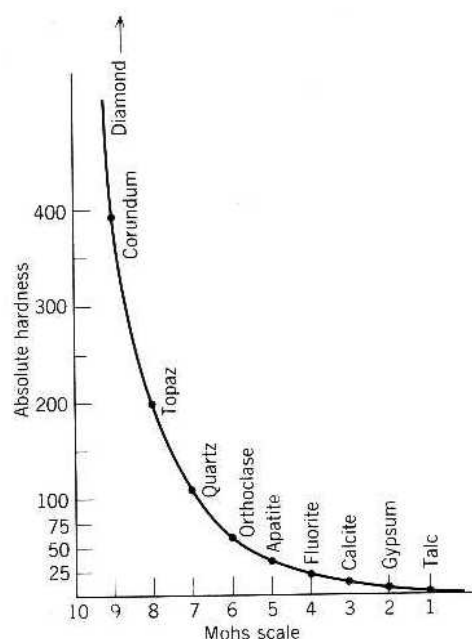
Tvrdost vyjadřuje míru odolnosti povrchu minerálu vůči pronikání cizího předmětu (značí se H). Relativní stupeň tvrdosti je určován srovnáváním, kdy sledujeme zda jeden minerál rýpe do druhého, nebo zda odolává rýpaní např. nožem nebo drátem. Při vyhodnocování tvrdosti sledujeme vlastně reakci krystalové struktury na tlak bez vzniku poruch. V kovových krystalech je výsledkem (vzhledem k jejich plasticitě) rýha. Křehké materiály s kovalentní a iontovou vazbou budou na test tvrdosti reagovat vznikem mikroporuch.

Je třeba dobře rozlišovat mezi pevností struktury a tvrdostí minerálu. Příkladem mohou být silikáty, jejichž společnou základní stavební jednotkou jsou tetraedry SiO_4^{4-} a vyskytují se mezi nimi minerály s tvrdostí 1 (masek) až 8 (topaz). Z toho je vidět, že tvrdost nezávisí na vazbě Si-O, ale na nejslabší vazbě ve struktuře.

Rakouský mineralog F. Mohs v roce 1824 sestavil relativní stupnici tvrdosti a jako etalonů použil některé minerály. Minerály jsou seřazeny se stoupající tvrdostí:

1. mastek	6. ortoklas
2. sádrovec	7. křemen
3. halit	8. topaz
4. fluorit	9. korund
5. apatit	10. diamant

Tvrdost minerálů lze však měřit i kvantitativními technikami, takže lze sestavit i absolutní škálu tvrdosti.



Obr. 8 Graf vyjadřující vztah mezi relativní (vodorovná osa) a absolutní (svislá osa) tvrdostí minerálů. Při určování relativní tvrdosti kdy zkoušíme rýpat do minerálu musíme být velmi obezřetní, abychom k této zkoušce použili čerstvý lom. Někdy se může stát, že starší plocha je již částečně postižena přeměnami a tyto produkty přeměn mají zpravidla menší tvrdost, takže nakonec dostaneme zkreslené představy o relativní hodnotě. Při každé zkoušce rýpání minerálem A do minerálu B zkusíme tento postup obrátit. Ostré hrany minerálu jsou zpravidla o málo tvrdší než jeho plochy, takže tentýž minerál zpravidla rýpe svojí hranou do své plochy.

Při určování relativní tvrdosti můžeme použít některé pomůcky:

- rýpeme-li do minerálu nehtem má tvrdost nižší než 2
- měděná mince rýpe do minerálů o tvrdosti max. 3
- nožem lze rýpat do minerálů s tvrdostí max. 5
- tvrdost okenního skla je asi 5,5
- ocelovým drátem rýpneme do minerálu s max. tvrdostí 6,5

STUPNICE TVRDOSTI		
	minerál	podle Mohse
	Mastek	1
	Halit	2
	Kalcit	3
	Fluorit	4
	Apatit	5
	Živce	6
	Křemen	7
	Topaz	8
	Korund	9
	Diamant	10

Obr. 9 Jednoduché pomůcky pro určování relativní tvrdosti minerálů.

Tvrdost je veličina s vektorovými vlastnostmi. Některé krystaly proto vykazují tvrdost, která závisí na směru zkoušky. Klasickým příkladem je kyanit, který má podél krystalu tvrdost 5 a napříč krystalem 7.

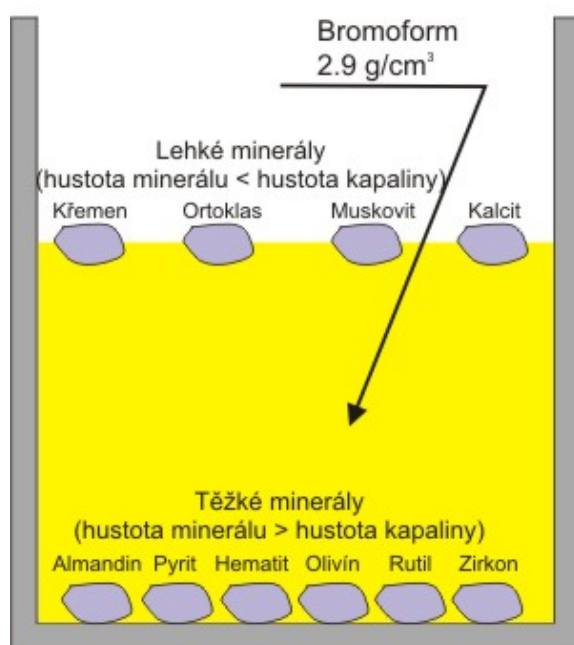
3.3 Hustota

Hustota udává, kolikrát je určitý objem minerálu těžší, než stejný objem čisté vody při 4°C. Tato veličina je v některých případech velmi důležitým identifikačním znakem.

Hustota krystalické látky závisí na dvou důležitých faktorech:

- na typu atomů, které se uplatňují ve struktuře
- na typu uspořádání těchto atomů

Máme-li izostrukturní látky, ve kterých je uspořádání částic totožné, má látka obsahující atomy s vyšším atomovým číslem zpravidla vyšší hustotu. Při plynulé změně chemického složení v rámci izomorfní řady dochází i k plynulé změně hustoty. Při určování hustoty někdy vystačíme pouze s relativním srovnáním. Máme-li např. křemen (s hustotou 2,65 g/cm³) a baryt (4,5 g/cm³) je jejich vzájemné rozlišení snadné, aniž bychom přibližně stejné objemné vzorky museli vidět. Průměrná hustota nejběžnějších minerálů se pohybuje mezi 2,6 - 2,8 g/cm³.



Obr. 10 Schéma separace minerálů podle rozdílné hustoty pomocí "těžké" kapaliny bromoformu. Zrna minerálů s hustotou nižší než je hustota kapaliny zůstanou plavat na hladině, zrna minerálů s vyšší hustotou klesnou na dno nádoby.

Rozdílných hustot jednotlivých minerálů můžeme využít při separaci minerálů v těžkých kapalinách. Má-li kapalina určitou hustotu, potom minerály s menší hustotou plavou na hladině a minerály s větší hustotou se usazují na dně dělicí nádoby. Jako těžké kapaliny se používají např. bromoform (hustota $2,89 \text{ g/cm}^3$), acetylentetrabromid ($h = 2,95 \text{ g/cm}^3$), metylenjodid ($h = 3,33 \text{ g/cm}^3$), či různé vodné roztoky solí Tl, Ba, Pb a Hg. Nevýhodou většiny těchto sloučenin je nízká stabilita na denním světle, vysoká cena a především silná jedovatost. Z toho důvodu se dnes k separacím často používá stálý a málo jedovatý polywolframan sodný (nasycený roztok má hustotu $3,12 \text{ g/cm}^3$, ředěním vodou se dají připravit roztoky o různé hustotě a odpařováním je opět koncentrovat). S použitím řady těžkých kapalin a jejich ředění (resp. mísení) lze od sebe separovat jednotlivé minerály. Při pečlivé práci lze oddělit minerály, jejichž hustota se liší i jen o $0,02 \text{ g/cm}^3$.

3.4 Barva

Barva minerálu je jedním z prvních určovacích znaků, které vidíme. Barva jako taková je výsledek skládání elektromagnetického vlnění v oblasti mezi 350 a 750 nm. Při kontaktu bílého světla (viditelná oblast) s povrchem minerálu může docházet k jeho odrazu, rozptylu, lomu nebo absorpci. Pokud povrch minerálu neabsorbuje dopadající světlo, je minerál označován jako bezbarvý. Minerál, který absorbuje některé vlnové délky ve viditelné oblasti je v konečném důsledku barevný - výsledná barva je složena z neabsorbovaných vlnových délek.

3.5 Barva vrypu

Je barva jemného prášku minerálu a často bývá důležitým diagnostickým znakem. Zkouší se otěrem o neglazurovanou porcelánovou destičku.

3.6 Lesk

Lesk označuje schopnost povrchu minerálu odrážet světlo. U minerálů se rozlišují dvě základní kvality lesku: kovový a nekovový. Mezi nimi však není ostrá hranice a proto se často setkáváme např. s pojmem polokovový lesk.

Kovový lesk mají většinou minerály zcela opakní a obsahující kovovou vazbu. Podstata této vazby způsobuje pohlcení procházejícího světla, kdy část pohlceného kvanta je reemitována.

Nekovový lesk je běžný u minerálů s kovalentními a iontovými vazbami. Rozlišují se tyto typy nekovového lesku:

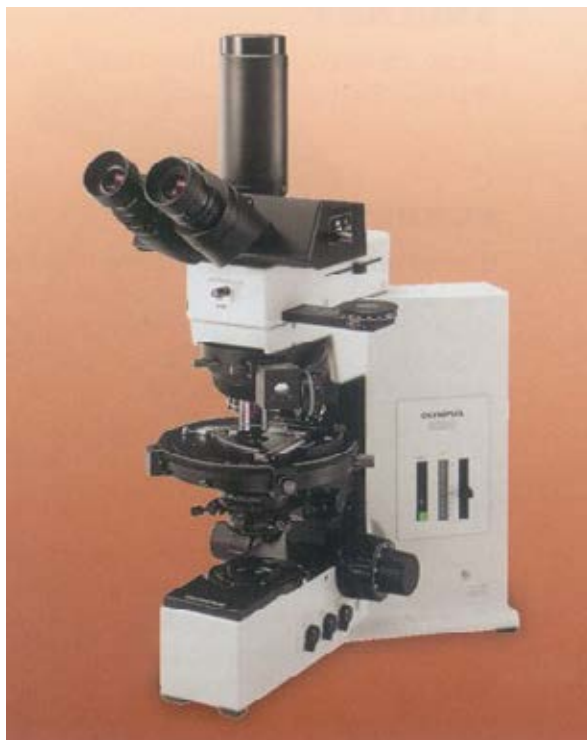
- diamantový - velmi silný lesk průsvitných minerálů
- skelný - odpovídá lesku skla, je typický pro většinu minerálů
- mastný - připomíná lesk mastného papíru
- perleťový - zpravidla se objevuje na plochách dokonalé štěpnosti
- hedvábný - je typický pro vláknité agregáty

3.7 Optické vlastnosti minerálů

Významnou skupinu vlastností minerálů můžeme zjišťovat pomocí speciálního tzv. polarizačního mikroskopu. Optická krystalografie studuje vlastnosti krystalů ve viditelné oblasti světla (400 – 800 nm) a pro jejich vysvětlení vychází z elektromagnetické vlnové teorie světla. V procházejícím světle lze studovat minerály, které jsou alespoň ve velmi tenkých řezech (řádově 0,0X mm), tzv. výbrusech (standardní tloušťka výbrusu je 0.03 mm) nebo jemném prášku (práškové preparáty) průhledné, přičemž větší úlomky téhož minerálu mohou být neprůhledné (např. pyroxeny). Studium v odraženém světle v tzv. nábrusech je praktikováno u minerálů opakních, neprůhledných v tenkých řetězech (např. galenit, pyrit). Převážná část minerálů v zemské kůře patří do první skupiny, a proto jsou optické vlastnosti minerálů v procházejícím světle nejdůležitějšími v mineralogické a petrografické diagnostické praxi.



Obr. 11 Mikroskopické preparáty různých minerálů a hornin připravené k pozorování v polarizačním mikroskopu. Preparát tvoří velmi tenká destička (0.03mm) vybroušená z horniny nebo minerálu, přilepená na podložní sklíčko a překrytá krycím sklíčkem.



Obr. 12 Badatelský polarizační mikroskop firmy Olympus pro pozorování minerálů a hornin.

4 Vznik minerálů

4.1 *Minerály magmatických hornin*

Prvotním pochodem při vzniku minerálů je jejich krystalizace z taveniny (magmatu). V závislosti na podmínkách tuhnutí (tlak, teplota) rozlišujeme horniny hlubinné, které utuhly z taveniny pod povrchem, a horniny výlevné, které vznikají za povrchových podmínek. Magma je poměrně složitá tavenina, obsahující zpravidla alespoň osm komponent, takže vznik jednotlivých minerálů lze vyjádřit poměrně složitými fázovými diagramy. Výsledné složení horniny pak závisí na složení a teplotě magmatu a na tlaku při krystalizaci.

Podstatným procesem při tuhnutí je diferenciace magmatu. Ta se uplatní zvláště při velmi pomalé krystalizaci, kdy vykrystalované nerosty se mohou alespoň částečně separovat od zbylé taveniny. To je případ oxidů Fe, Ti, Cr (magnetit, chromit), které po krystalizaci vlivem vysoké hustoty klesají v tavenině ke dnu krystalizačního prostoru a vytvářejí segregační ložiskové akumulace.

Pokud dochází k diferenciaci magmat v tekutém stavu, oddělí se zpravidla těžší "sulfidická" tavenina a na dně krystalizačního bazénu krystalizují sulfidy jako pyrhotin, pentladit a další. Tyto minerály ještě v tekutém stavu často pronikají puklinami do dříve utuhlé silikátové taveniny a tvoří tzv. likvační ložiska.

Některé minerály vznikají při krystalizaci magmatu pouze v malém množství a jsou rovnoměrně rozptýleny (netvoří ložiskovou akumulaci). Tyto minerály označujeme jako akcesorické a mezi nejběžnější patří apatit, zirkon, titanit a některé další. Minerály, které při krystalizaci magmatu převažují, se označují jako hlavní horninotvorné minerály a zaslouží si velkou pozornost. V magmatických horninách krystalizují hlavní minerály zpravidla podle Bowenova krystalizačního schématu. V pořadí krystalizace hraje velkou roli struktura vznikajících minerálů. V levém sloupci Bowenova schématu vzniká nejdříve silikát s nezávislými tetraedry SiO_4 (olivín), následuje silikát s jedním řetězcem SiO_4 tetraedrů (pyroxen) a dvěma řetězci řetězci SiO_4 tetraedrů (amfibol), dále pak vrstevnatý silikát (biotit) až na závěr krystalují tektosilikáty (ortoklas, křemen). Pravá krystalizační strana schématu je celá složena z tektosilikátů. Minerály v levé části se často označují jako tmavé (melanokratické), protože při krystalizaci spotřebují většinu Fe a Mg, minerály na pravé straně jsou označovány jako světlé (leukokratické). Mezi hlavní horninotvorné minerály magmatických hornin můžeme počítat: křemen, všechny živce, biotit, muskovit, pyroxeny, amfiboly, olivín; u magmat chudých Si také leucit a nefelín; u některých hornin i granát, kyanit, andalusit a další.

4.2 Minerály pegmatitů

V konečných fázích krystalizace magmatu zbývá tavenina, která je při dobré diferenciaci obohacena o vzácné prvky a těkavé komponenty (voda, Cl, F, B). Při utuhnutí takového zbytku magmatu vznikají žilné horniny označované jako pegmatity a ty obsahují minerály, v jejichž struktuře jsou zabudovány méně běžné prvky a těkavé komponenty. Pegmatity se klasifikují právě podle stupně jejich diferenciaci a obsahu vzácných prvků (Li, Be, Zr, Hf, Nb, Ta, Sn, U). Mezi typicky pegmatitové minerály patří křemen, živce, slídy, granát, turmalín, lepidolit, beryl, topaz a řada dalších vzácných minerálů.

4.3 Minerály dalších postmagmatických procesů

4.3.1 Greiseny

Tento proces jakoby navazoval na vznik pegmatitů - silně koncentrované těkavé látky s vysokým podílem vzácnějších prvků pronikají do již utuhlých hornin a zpravidla v jejich povrchové části způsobují významné přeměny původních minerálů a krystalizaci dalších vzácnějších minerálů. Někdy se tyto pochody označují jako pneumatolytické. Postiženými horninami bývají nejčastěji žulové pně, v jejichž

vrcholové části se setkáváme s minerály jako je kasiterit, wolframit, molybdenit, Li - slídy, topaz a další.

Fumaroly jsou místa úniku magmatických (lávových) plynů, které krystalují (sublimují) po ochlazení na zemském povrchu. Tyto výskyty jsou vázány pouze na oblasti s aktivní sopečnou činností. Minerály takto vznikající jsou hlavně síra, salmiak a další chloridy a oxidy.

4.3.2 Hydrotermální mineralizace

Zdrojem pro hydrotermální minerály jsou roztoky bohaté těkavými složkami, které mohou mít různý původ, ale zpravidla jsou opět spojeny s magmatickými procesy. Tyto roztoky mají zpravidla teplotu od 500°C do 50°C a obsahují těkavé látky a kovy vázané do různých komplexů. Při ochlazování roztoků dochází k postupné krystalizaci v nejrůznějších texturních typech, nejčastěji ale vznikají hydrotermální žíly. Krystalizace sulfidů jednotlivých kovů neprobíhá najednou, ale podle teploty. Od nejvyšších teplot k nejnižším vznikají minerály těchto prvků:

Bi As Au Cu U Zn Pb Ag Sb As Hg

Teploty krystalizace jednotlivých minerálů do sebe vzájemně přecházejí a některé minerály mohou krystalovat i při různých teplotách. Podle teploty vzniku a výsledné minerální asociace můžeme orientačně rozdělit hydrotermální ložiska do několika formací:

- Au a Ag formace - zlato, stříbro, antimonit, hlušina zpravidla křemen
- Ag - Co - Ni - Bi - U formace (pětiprvková) - arzén, antimon, vizmut, nikeln, arzenopyrit, stříbro, argentit, galenit, uraninit, v hlušině křemen, fluorit nebo baryt
- Pyritová a chalkopyritová formace - pyrit, chalkopyrit, sfalerit, galenit, hlušina siderit, baryt
- Pb - Zn - Ag formace - galenit, sfalerit, chalkopyrit, hlušina karbonáty, baryt
- Sb - As - Se formace - antimonit, realgar
- Rtuťová formace - cinabarit, tetraedrit, hlušina kalcit

Uvedené formace jsou zpravidla dále členěny a jejich minerální složení bývá komplexnější.

4.3.3 Alpská paragenese

Minerály alpské paragenese krystalují na puklinách, kterými procházejí relativně chladné hydrotermální roztoky. Tyto roztoky vyluhují prvky potřebné ke vzniku této asociace z okolních hornin, takže celá asociace je chemicky velmi sblížená s

okolními horninami. Mezi nejběžnější minerály alpské parageneze patří křemen, albit, titanit, epidot, rutil, chlority, zeolity a další minerály.

4.4 Minerály v sedimentárním procesu

Sedimentární horniny vznikají různými způsoby, ale jejich základem je materiál magmatických, metamorfovaných nebo starších sedimentárních hornin. Jejich minerální složení zpravidla nebývá pestré, a často jsou monominerální (vápence, dolomity, některé slepence a pískovce). Často však mohou tvořit prostor pro realizaci jiných ložiskových pochodů - např. krystalizace hydrotermálních žil. Vlastní ložiska vzniklá sedimentačním pochodem bývají často velmi rozsáhlá (sedimentace na mořském dně) a mají velký ekonomický význam (hl. ložiska Fe a Mn rud).

4.4.1 Hypergenní pochody

Většina minerálů je v povrchových podmínkách nestabilní a proto zvětrávají. Proces přeměny minerálů je ale zpravidla velmi pomalý a některé zůstávají v metastabilním stavu. I při procesech zvětrávání mohou vznikat významné akumulace minerálů. Při úplném zvětrávání horniny jsou málo odolné složky odstraněny a zůstávají pouze velmi odolné minerály, které tvoří tzv. rozsypová ložiska. Mezi takto akumulované minerály patří granát, zirkon nebo kasiterit.

Převážně chemickým zvětráváním v příznivém klimatu mohou vznikat ložiska jílových minerálů nebo bauxitu (např. zvětráváním žul na karlovarsku vznikají ložiska kaolinitu). Zvětrávání se týká i ložisek. V povrchové části ložisek (pásmo hypergeneze) dochází k oxidaci a vzniku sekundárních minerálů (v závislosti na typu ložiska) jako sádrovce, malachitu, azuritu nebo limonitu. Taková ložiska obsahují tzv. cementační pásmo, které začíná pod hladinou podzemní vody a sráží se zde rozpustné sírany přicházející z pásma hypergeneze. Cementační pásmo je z ekonomického hlediska velmi zajímavé, protože zde dochází k nabohacení rud.

4.5 Minerály v metamorfním procesu

Dostane-li se libovolná hornina do jiných tlakově - teplotních podmínek, dochází k metamorfóze. Metamorfóza je změna minerální asociace v pevném stavu. V závislosti na tlaku a teplotě se vyčleňují tzv. minerální facie, tj. asociace minerálů stabilní za daných podmínek.

4.5.1 Kontaktní metamorfóza

Kontaktně metamorfované horniny vznikají v bezprostřední blízkosti magmatického tělesa. Horniny vzniklé tímto procesem (teplotní přepracování vápenců) jsou skarny nebo erlány. Jejich minerální složení je zpravidla: křemen, pyroxen, epidot, granát, vesuvián, wollastonit.

4.5.2 Regionální metamorfóza

Jedná se o přeměnu ve velkém měřítku za vzniku nejrůznějších hornin s nejrůznějšími minerálními asociacemi. Vše je řízeno teplotou, tlakem, a složením původního materiálu. Mezi běžné minerály metamorfovaných hornin patří křemen, živce, slídy, amfiboly, granáty, staurolit, sillimanit, omfacit a další.

5 Metody výzkumu minerálů a krystalů.

5.1 Metody RTG difrakce

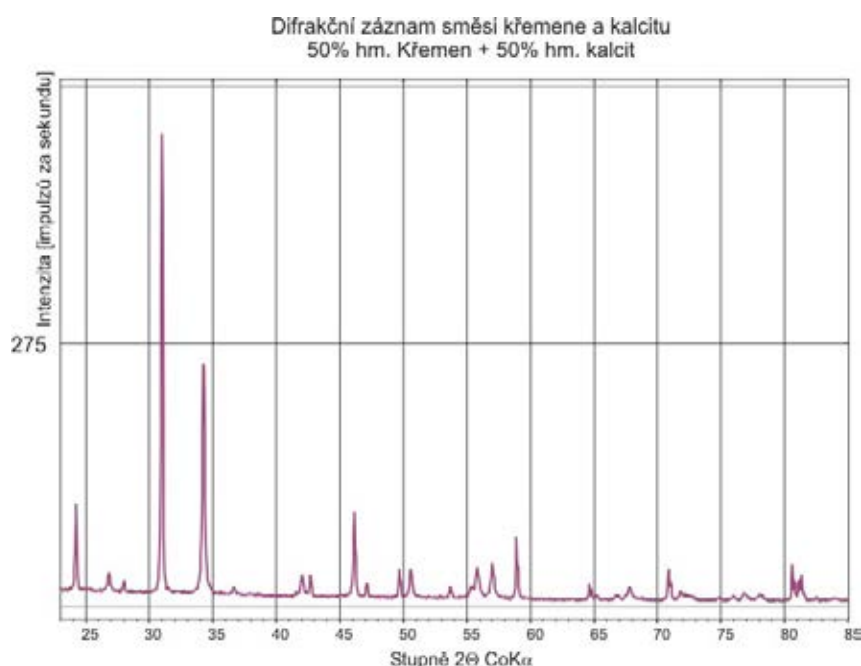
Tyto metody jsou založeny na studiu minerálů na základě jejich struktury. Nejrozšířenějším způsobem studia struktury látek jsou rentgenometrické metody (metody rentgenové difrakční analýzy). Je to řada metod založených na interakci rentgenového záření (paprsků X) s hmotou, v našem případě s krystalem. Vedle rentgenových difrakčních metod se pro studium struktury krystalů využívá interakce elektronů (elektronová difrakční analýza) nebo neutronů (neutronová difrakční analýza) s krystalem, ovšem méně často, proto se zde jimi nebudeme zabývat.

Protože vzdálenost mezi stavebními částicemi ve strukturách krystalů je obvykle řádově $0,1 \cdot 10^{-9} \text{ m}$ ($= 1 \text{ Å}$), využívá se v praxi pro strukturní analýzu krystalů záření o obdobné vlnové délce. Při průchodu rentgenového záření strukturou krystalu dochází k jevu, který se nazývá difrakce. Ze studia tohoto jevu se vychází při řešení struktury krystalu.

RTG záření má vlnovou délku v oblasti od $100 \cdot 10^{-10} \text{ m}$ do $0,02 \cdot 10^{-10} \text{ m}$. Ve starším značení je hodnota 10^{-10} m označována jako angstrom (Å). RTG záření vzniká při dopadu elektronu s vysokou rychlostí na atomy určitého prvku. Vzniklé elektromagnetické spektrum lze rozdělit na spojité a charakteristické. Spojité spektrum (bílé záření) obsahuje záření všech možných vlnových délek a jeho intenzita prudce roste od krátkovlnné meze a zvolna klesá k dlouhým vlnovým délkám. Charakteristické záření (je základem pro většinu RTG difrakčních metod) obsahuje několik intenzivních spektrálních linií s přesně definovanou vlnovou délkou, která závisí na materiálu, na který dopadá rychlý elektron.

V mineralogii se rentgenometrické metody uplatňují jednak jako metody umožňující poměrně snadnou identifikaci minerálů, jednak jako nástroj ke studiu jejich struktury. Rentgenometrické metody našly neobyčejně široké uplatnění nejen v mineralogii, ale prakticky ve všech oborech vědy a techniky. Protože ze složení a struktury vyplývají fyzikální i chemické vlastnosti všech pevných látek, je strukturní analýza nezastupitelná v chemických či biochemických oborech i v laboratořích fyziků. Znalost vztahů mezi strukturou a vlastnostmi látek dovoluje předvídat vlastnosti materiálů s určitou strukturou a na základě toho syntetizovat materiály s žádanými vlastnostmi. Rentgenometrické metody se dále uplatňují při studiu zastoupení pevných látek ve směsích (kvantitativní fázová analýza), při určování textury polykrytalických materiálů, při studiu napětí a deformací v pevných látkách, měření tloušťky tenkých vrstev i jinde.

Rentgenometrické metody hrají ovšem mimořádně důležitou roli nejen v laboratořích, ale i při kontrole surovin, procesů a výrobků při těžbě a úpravě nerostných surovin, v metalurgii, keramickém průmyslu, elektrotechnice, v chemickém a farmaceutickém průmyslu, v medicíně a dokonce i v textilním průmyslu.



Obr. 13 Příklad RTG záznamu, tzv. difraktogramu, směsi minerálů křemene a kalcitu.

Identifikace minerálů, tzv. fázová analýza, patří k nejčastějším úkolům v mineralogické praxi. K tomuto účelu se používají výhradně práškové metody (hlavně Debye-Scherrerova, Guinierova a difraktometrická metoda), především pro jejich relativní jednoduchost. Na rozdíl od většiny ostatních analytických metod stačí k

rentgenometrické identifikaci velmi malé množství materiálu. Navíc je možno vzorek studovat v pevném stavu, takže odpadá pracné a často komplikované rozpouštění. Další výhodou je snadné rozlišení polymorfních modifikací téže sloučeniny, které je jinými metodami nemožné nebo obtížné.

Podstatně složitějším úkolem než identifikace látek práškovými metodami je určení jejich struktury, tzv. strukturní analýza. Základním úkolem strukturní analýzy je určit polohy atomů v základní buňce krystalu, případně další parametry jeho struktury, jako je míra teplotního pohybu atomů, jejich substituce, případně vazebné efekty atd.

5.2 Metody chemické analýzy

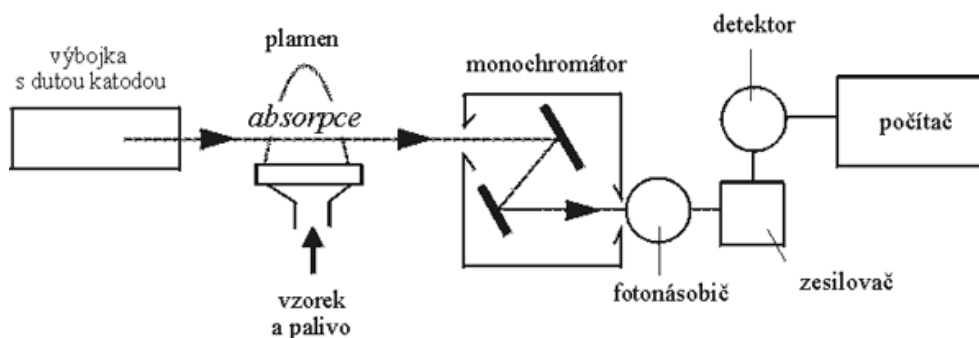
Tyto metody umožňují stanovení chemického složení minerálů. Je jich celá řada a mají různou citlivost stanovení.

5.2.1 Klasická chemická analýza na "mokré cestě"

Jedná se o nejstarší klasický postup, kdy jemně napráškováný vzorek je pomocí kyselin rozpuštěn a převeden do roztoku. Procentuelní zastoupení jednotlivých prvků je pak stanovováno podle nejrůznějších postupů - titračně, vážkově. Pro běžné prvky (silikátová analýza) je přesnost stanovení těmito metodami zpravidla postačující.

5.2.2 Atomová absorpční spektroskopie (AAS)

Zdrojem energie u této metody je světlo z katodové lampy, jehož energie je ve viditelné až ultrafialové oblasti. Toto světlo vstupuje do plamene (obr. 14), do kterého je přiváděn kapalný vzorek, který působením plamene přechází do plynného stavu. V tomto prostředí dochází k excitaci některých atomů a tím absorpci části energie světla, což ovšem vyžaduje aby se atomy pohybovaly prostorem volně. V posledním kroku je světelný signál detekován a sleduje se zeslabení primárního svazku, které je úměrné koncentraci stanovovaného prvku v roztoku. Před měřením je proto třeba provést měření vzorků s různým obsahem sledovaného prvku a sestavit kalibrační přímku, která se využívá při běžném měření. Citlivost měření může být pro některé prvky až v ppm.



Obr. 14 Schéma jednopaprskového atomového absorpčního spektrometru.

5.2.3 RTG fluorescenční analýza

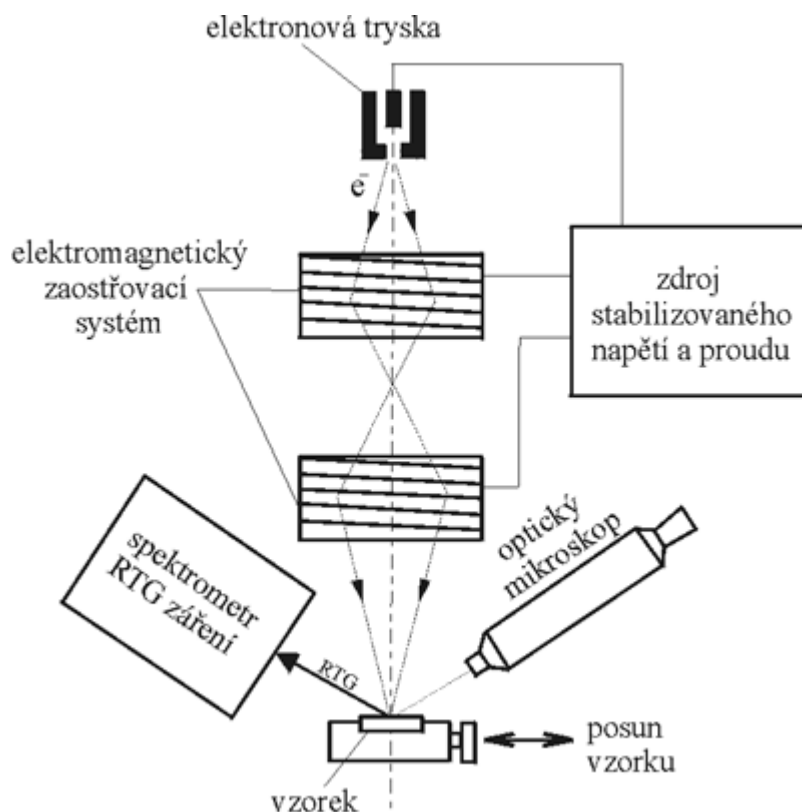
Je to velmi rozšířená technika (někdy se označuje jako RTG emisní spektrografie) v mnoha oborech. Na rozdíl od předchozích metod je zde vzorek pouze napráškován a slisován do tablety. Tento vzorek je ozářen vysokoenergetickým RTG spektrem (zpravidla W nebo Mo lampy) a to má za následek vznik RTG emisního spektra, ve kterém jsou obsaženy charakteristické čáry každého prvku obsaženého ve vzorku. Dopadající RTG energie totiž vypudí elektrony z vnitřních hladin a při zaplnění vakantních pozic jsou vyzářeny kvanta s odpovídající energií. Celý jev se označuje jako RTG fluorescence. Pro každý prvek je charakteristický soubor K, L, M čar, které mají definovanou energii a intenzitu. Řečeno jinak, na základě poloh (energií) jednotlivých čar ve vyzářeném spektru můžeme určit prvky obsažené ve studovaném materiálu. Kvantitativní zastoupení jednotlivých prvků pak provádíme na základě intenzit charakteristických čar, které se srovnávají s intenzitami standardů.

5.2.4 Elektronová mikroskopie a mikroanalýza

Při studiu minerály mají elektronové mikroskopy velký význam, zvláště ve spojení ED a WD analýzou. Běžný rastrovací elektronový mikroskop umožňuje sledování objektů při zvětšení až několika desítek tisíc, speciální transmisní mikroskopy s vysokým rozlišením umožňují sledovat objekty velikosti atomů. Sledování objektu se provádí pomocí wolframového vlákna, které emituje elektrony a ty po urychlení a fokusaci dopadají na vzorek a způsobují řadu jevů, z nichž jsou nejdůležitější tyto:

- emise zpětně odražených elektronů (BEI), které po detekci umožňují sestavit elektronový obraz objektu s ohledem na jeho molekulovou hmotnost v každém bodě
- vznik sekundárních elektronů (SEI), které po detekci umožňují sestavit elektronový obraz s ohledem na reliéf vzorku
- RTG spektrum, které dává informace o složení materiálu a princip je podobný jak byl popsán u RTG fluorescenční analýzy

Výhodou této metody je možnost provedení chemické analýzy z bodu o velikosti $1\mu\text{m}$ s citlivostí srovnatelnou s jinými metodami jako je RTG fluorescence.



Obr. 15 Schéma elektronového mikroanalyzátoru.

6 Systematická mineralogie

6.1 Klasifikace minerálů

Existuje řada mineralogických systémů, které jsou členěny na základě chemického složení minerálů. Pro zařazení do jednotlivých tříd je rozhodující aniont nebo aniontová skupina. Důvodem je fakt, že minerály jsou si ve vlastnostech mnohem bližší při rozdělení podle aniontů (např. karbonáty se navzájem podobají více, než například sulfidy mědi). Dalším důvodem je, že minerály se stejnou aniontovou skupinou se velmi často vyskytují ve stejných nebo podobných paragenetických podmínkách (např. sulfidy na hydrotermálních žilách). Třetím významným důvodem je, že toto rozdělení souhlasí s chemickou klasifikací anorganických látek.

Chemické složení však není zcela postačující pro úplnou charakterizaci minerálu. Proto je dalším kritériem pro klasifikaci minerálů jejich struktura. Kombinace chemického složení a známé struktury minerálu charakterizují i jeho fyzikální vlastnosti. Příkladem může být skupina silikátů, která je vyčleněna na základě

aniontové skupiny, ale další členění v této skupině je provedeno podle strukturních hledisek.

Nejpoužívanější klasifikace minerálů zahrnuje tyto třídy a oddělení:

1. Třída prvků (slitiny, karbidy, nitridy, fosfidy)
2. Třída sulfidů (selenidů, telluridů, arsenidů, antimonidů, bismutidů)
3. Třída halogenidů
4. Třída oxidů a hydroxidů (arsenitů, selenitů, telluritů, jodátů)
5. Třída nitrátů, karbonátů a sulfitů
6. Třída borátů
7. Třída sulfátů, chromátů, molybdátů, wolframátů
8. Třída fosfátů (arsenátů, vanadátů)
9. Třída silikátů
 - a. oddělení nesosilikátů
 - b. oddělení sorosilikátů
 - c. oddělení cyklosilikátů
 - d. oddělení inosilikátů
 - e. oddělení fylosilikátů
 - f. oddělení tektosilikátů
10. Třída organických minerálů (organoidů)

6.2 Prvky

SÍRA S

Fyzikální vlastnosti: $H = 2,05$; $T = 1,5 - 2,5$; barva nejčastěji žlutá, může být i zelená nebo červená. Štěpnost nedokonalá, lesk diamantový, vryp bílý, je křehká. Síra je špatným vodičem tepla a rozpadá se po zahřátí v dlani. Vznik a výskyt: Je to nerost spojený s vulkanickou činností - sráží se z par solfatar a fumarol. V sedimentech může vznikat síra redukcí sulfátů za přispění bakterií. V neposlední řadě vzniká síra spalováním pyritem bohatého uhlí (požáry slojí, hořící haldy).

Naleziště: Radvanice u Trutnova, Oslavany, Kladno (hořící haldy), Tarnobrzeg - Polsko (sedimentární ložisko), Sicílie (sopečný původ).

Použití: Používá se pro výrobu insekticidů a při vulkanizaci gumy.

UHLÍK C

Forma výskytu: Uhlík se vyskytuje ve dvou polymorfních modifikacích - **grafit** a **diamant**. Diamant krystaluje převážně v oktaedrických krystalech (vzácně dodekaedr nebo krychle), časté jsou zaoblené plochy a hrany. Dvojčata bývají podle plochy oktaedru [111] (spinelový zákon). U grafitu jsou krystaly vzácné, zpravidla se vyskytuje v jemně až hrubě lupenitých agregátech nebo celistvých či zemitých masách.

Fyzikální vlastnosti:

Diamant. $H = 3,5$; $T = 10$; dokonalá štěpnost podle (111), diamantový až mastný lesk (závisí na kvalitě ploch), vysoký index lomu se silnou disperzí světla (tzv. "oheň"). Barva je zpravidla šedá, světle žlutavá nebo je bezbarvá.

Grafit. $H = 2,1 - 2,3$; $T = 1$; dokonalá štěpnost podle (001), lesk zemitý až polokovový. Barva je černá, snadno se otírá. Dobře vodí teplo a elektrický proud.

Obě polymorfní modifikace mohou existovat za běžných pokojových podmínek. Diamant vzniká za vysokých tlaků, grafit vzniká zpravidla z organických látek postupným zvyšováním teploty.

Vznik a výskyt: Primárním zdrojem diamantů jsou kimberlitové trubky (peridotity ze spodní části kontinentální kůry). Díky značné odolnosti přecházejí i do náplavů. Výskyty grafitu jsou spjaté převážně s metamorfovanými horninami.

Naleziště: Nejznámější naleziště diamantů jsou v JAR, Indii nebo v jakutské oblasti v Rusku. Grafit se u nás vyskytuje v rulách u Velkého Vrbna a v okolí Českého Krumlova.

Použití: Zlomek diamantů lze využít na šperkařské účely, ostatní těžba je využita k výrobě brusných materiálů nebo řezání skla. Z velké části se ale používají synteticky vyrobené diamanty. Grafit se využívá ve slevárenství jako tavné kelímky, přidává se do olejů a samomazných ložisek, používá se i v elektrotechnice.

6.3 Sulfidy

Tato třída zahrnuje převážně rudní minerály, které jsou charakteristické svými fyzikálními vlastnostmi (vysokým leskem a opakností). Obecný vzorec pro tuto třídu minerálů je $X_m Z_n$, kde X představuje kovový prvek a Z nekovový prvek. Poměr $X : Z$ se používá i při rozdělení do jednotlivých oddělení.

GALENIT PbS

Fyzikální vlastnosti: $H = 7,5$; $T = 2,5$; barva olovně šedá se silným kovovým leskem. Štěpnost dokonalá podle krychle (100), kruchý.

Vznik a výskyt: Galenit (často doprovázený sfaleritem) se vyskytuje na hydrotermálních žilách Pb-Zn, na žilách a metasomatických ložiscích mladých pásemných pohoří, je častým sulfidem fluorit - barytových žil, spornou genezi mají teletermální stratiformní ložiska Pb-Zn v karbonátových horninách a v neposlední řadě se vyskytuje na ložiscích Pb-Zn vulkanosedimentárního typu.

Naleziště: Příbram, Vrančice, Stříbro (hydrotermální žilná ložiska), Harrachov (fluorit - barytové žíly), Mežica (Slovinsko), Tri State - Oklahoma (obě v karbonátových horninách).

Použití: Důležitá ruda olova a stříbra, přičemž olovo se používá např. pro výrobu baterií, ve zbrojařském průmyslu, nebo se využívá při ochraně před RTG ionizujícím zářením.

SFALERIT ZnS

Fyzikální vlastnosti: H = 4,0; T = 3,5 - 4; barva je závislá na chemickém složení (obsah Fe) od téměř čirých sfaleritů přes žluté, červené, hnědé až k černým. Dokonalá štěpnost podle (110), lesk na krystalech až diamantový. V UV záření jeví různé luminiscenční barvy - modrou, žlutou nebo oranžovou.

Vznik a výskyt: Sfalerit často doprovází galenit a i jejich podmínky vzniku jsou podobné, takže se vyskytuje na stejných typech ložisek.

Naleziště: Kutná Hora, Příbram, Nová Ves u Rýmařova, Zlaté Hory, Horní Be-nešov

Použití: důležitá ruda zinku, kadmia a india, kdy zinek se využívá při galvanizaci Fe, na výrobu slitin, v elektrických bateriích nebo k výrobě barev

CHALKOPYRIT CuFeS₂

Fyzikální vlastnosti: T = 3,5 - 4; H = 4,1 - 4,3; barva velmi sytě žlutá, která může nabíhat až do modrofialova. Lesk je kovový, lom nerovný, štěpnost nezřetelná.

Vznik a výskyt: Je to jeden z nejběžnějších rudních minerálů. Při vzniku za vysokých teplot (magmatity, pegmatity) obsahuje odmíšeniny cubanitu a sfaleritu. Ložiska může tvořit odmíšením v bazických intruzivních horninách, zrudňuje kontaktní skarny, je hlavním minerálem ložisek porfyrových rud spjatých s intruzivním vulkanismem, běžný je na polymetalických ložiscích, baryt - sideritových žilách, stratiformních ložiscích a uplatňuje se i v sedimentárních ložiscích.

Naleziště: Staré Ransko, Sudbury - Kanada (v bazických magmatitech), Kutná Hora, Příbram, Borovec, Banská Štiavnica (polymetalická ložiska),

Použití: důležitá měděná ruda

PYRIT FeS₂

Fyzikální vlastnosti: $T = 6 - 6,5$; $H = 4,9 - 5,2$; barva je mosazně žlutá, ale může pestře nabíhat, vryp je hnědočerný. Lesk je kovový, lom lasturnatý, štěpnost nezřetelná.

Vznik a výskyt: Pyrit je jeden z nejběžnějších sulfidických minerálů, který vzniká za nejrozličnějších podmínek od magmatického procesu, přes pegmatitovou fázi, hydrotermální vznik, vzniká v sedimentech i v metamorfním procesu. Běžný je i ve skarnech, alpských žilách a mořských sedimentech.

Naleziště: Kutná Hora (hydrotermální vznik), Dolní Bory (pegmatit), Horní Benešov, Zlaté Hory (metamorfogenní ložiska) a řada dalších.

Použití: Lokálně se těží pro obsahy zlata.

MARKAZIT FeS_2

Fyzikální vlastnosti: $T = 6 - 6,5$; $H = 4,85 - 4,9$; barva zpravidla mosazně žlutá s výraznými náběhovými barvami. Štěpnost dokonalá podle (110), lesk kovový.

Vznik a výskyt: Je nízkoteplotním minerálem, vznikajícím i za povrchových podmínek, a při stoupající teplotě se mění na pyrit. Může vznikat jako pozdní minerál v pegmatitech a na hydrotermálních žilách. Významné jsou i akumulace v sedimentech - uhlí nebo jílech.

Naleziště: Příbram, Stříbro, Chvaletice, sokolovská pánev

Diagnostické znaky: krystalové tvary, přeměna na limonit nebo melanterit

6.4 Halovce

V této třídě minerálů je dominantní přítomnost silně elektronegativního prvku ze 7. sloupce periodické tabulky (Cl^- , F^- , I^- a Br^-). Tyto poměrně velké anionty lehce vytvářejí sloučeniny s poměrně velkými jednomocnými kationty a výsledkem je zpravidla strukturní uspořádání s vysokou symetrií. Vazby v těchto sloučeninách jsou převážně iontové, sloučeniny jsou zpravidla měkké, nevodivé, se středním nebo vyšším bodem tání. Některé jsou velmi dobře rozpustné ve vodě.

HALIT (sůl kamenná) NaCl

Fyzikální vlastnosti: $T = 2$; $H = 2,16$; barva bílá, hnědá, červená nebo modrá (je to vše výsledkem přítomnosti nečistot), čistá přírodní sůl je bezbarvá. Štěpnost dokonalá podle krychle, lesk skelný, slabě hygroskopický, ve vodě dobře rozpustný. Nasycený roztok NaCl obsahuje při 12°C 36% NaCl , průměrný podíl v mořské vodě je 3,5%.

Vznik a výskyt: Obrovská ložiska halitu vznikají evaporizací (odpařováním) mořské vody, kdy jsou těžena hlavně fosilní ložiska tohoto typu často spolu se sádrovcem a anhydritem. Halit může vznikat i na sopečných fumarolách, nebo tvoří výkvěty na půdách v aridních oblastech.

Naleziště: Ostrava (v dolech krápníky vznikající ze solného obsahu nadloží), Prešov; Hallstadt, Bad Ischel (Rakousko - trias), Wieliczka (Polsko), záliv Karabogaz (Kaspické moře), oblast Hannoveru (Dolní Sasko)

Použití: halit je důležitá biogenní sloučenina, používá se v potravinářství a chemickém průmyslu

FLUORIT CaF_2

Fyzikální vlastnosti: $T = 4$, $H = 3,18$; barva je v důsledku přítomnosti barevných center (obsah vzácných zemin, defekty ve struktuře) různá - modrá, zelená, žlutá, bílá, fialová, černá. V UV záření jeví fluorescenci, zpravidla v zelených odstínech. Lesk skelný, štěpnost podle (111) dokonalá.

Vznik a výskyt: Výskyt fluoritu je poměrně široký - vzniká v magmatickém procesu (granity, pegmatity), na greisenových ložiscích Sn - W, ve skarnech, převážně však tvoří hlušinu na hydrotermálních žilách různého typu, kdy je dokonce vyčleňována fluorit - barytový typ. Dále bývá přítomen na alpských žilách, v kontaktních vápencích nebo i na recentních termálních pramenech.

Naleziště: Harrachov, Moldava, Kožlí u Ledče (fluorit - barytová mineralizace), Horní Slavkov (greisen), Litice n. Orlicí (pukliny granitoidů), Jílové u Děčína (ložisková žíla fluoritu)

Použití: hutnictví, výroba skla, chemický průmysl, speciální přístroje (monochromátory) atd.

6.5 Oxidy

Oxidy tvoří skupinu minerálů s relativně vysokou tvrdostí a hustotou a vyskytují se zpravidla jako akcesorické minerály s vysokou odolností a schopností přecházet do klastických sedimentů. Principiálně jsou oxidy sloučeniny kyslíku s kovem a dělí se podle složitosti na oxidy jednoduché a komplexní. Jednoduché oxidy jsou sloučeninou kyslíku a jednoho kovu v různých poměrech (např. CaO , Cu_2O), zatímco komplexní oxidy obsahují alespoň dva nestejně kovy v různých strukturních pozicích. Další dělení se provádí na základě přítomnosti vody ve struktuře. Vazby

jsou v oxidech převážně iontové. Mezi oxidy je řada minerálů, které mají obrovský ekonomický význam pro získávání Fe, Cr, U, Sn, Ti a dalších prvků.

HEMATIT Fe_2O_3

Fyzikální vlastnosti: T = 6 - 6,5 (u krystalů, agregáty až kolem 1); H = 5,26 (krystaly), barva červená, červenohnědá až černá, vryp světle až tmavě červený, lesk krystalů kovový a u některých agregátů pouze matný. Dobrá dělitelnost podle báze a klence.

Vznik a výskyt: Vzniká při různých teplotách a je obecně rozšířeným červeným pigmentem minerálů a hornin. Poměrně malý význam mají výskyty v magmatitech, pegmatitech, na rudních žilách, ve skarnech, alpských žilách a siderit - sulfidických žilách. Ekonomický význam mají ložiska páskovaných hematitů v jaspilitech (pre-kambrická ložiska) a metamorfovaná forma těchto ložisek (itabirity). Menší ložiskový význam mají oolitická a detritická sedimentární ložiska hematitu a reziduální ložiska Fe a Al rud v tropických oblastech.

Naleziště: Lahn - Dill v Porýní, Krivoj Rog na Ukrajině (hemtit v jaspilitech), Itabira v Brazílii, okolí Železného Brodu (itabirity), Mníšek u Prahy (oolitický hematit), Rudňany, Slovinky (Slovensko, siderit - sulfidické žíly se spekularitem), Horní Blatná, Horní Halže (lebníky na mladých rudních žilách), Příbram (na rudních žilách), Elba (světoznámé krystaly).

Použití: ruda Fe

MAGNETIT Fe_3O_4

Fyzikální vlastnosti: T = 6, H = 5,18; barva černá, lesk kovový, vryp černý, lom lasturnatý. Je magnetický.

Vznik a výskyt: Převážně vysokoteplotní minerál, vzniká ale i za pokojových teplot. V magmatických horninách (hlavně bazických a ultrabazických) tvoří akumulační, hojný je ve skarnech. Na hydrotermálních žilách spíše vzácný, na alpských žilách běžný. Pěkné krystaly bývají v chloritických a mastkových břidlicích, vzniká i v sedimentech za nízkých teplot.

Naleziště: Obří důl - Krkonoše, Vlastějovice, Měděnec, Nedvědice (skarny), Bushveldský komplex - JAR (magmatity), Sobotín (v mastkových břidlicích).

Použití: ruda Fe

KŘEMEN SiO_2

Fyzikální vlastnosti: $T = 7$, $H = 2,65$; barva křemene bývá různá a vyčleňují se tyto barevné variety:

- ametyst - fialový křemen
- citrín - žlutý křemen
- záhněda - hnědý nebo kouřový křemen
- morion - černý křemen
- mléčný křemen - bílý křemen zakalený vzduchovými bublinkami
- křišťál - čirý křemen
- růženín - růžový křemen
- železitý křemen - červený křemen zabarvený šupinkami hematitu

Lesk je zpravidla skelný, lom lasturnatý. Vzhledem k polaritě osy c jeví piezoelektrické vlastnosti.

Křemen existuje také v mikrokystalických varietách, z nichž nejznámější jsou chalcedon, achát a jaspis.

Vznik a výskyt: Je to jeden z nejběžnějších minerálů magmatických hornin (granity, pegmatity, křemenné diority), metamorfovaných hornin (fylity, svory) i sedimentárních hornin (slepence, pískovce). Běžný je v greisenech, na hydrotermálních žilách, na alpských žilách nebo v rozsypech.

Naleziště: Dolní Bory (záhnědy v pegmatitech), Andělské domky u Žulové (křišťály), Mirošov, Krásné u Šumperka (alpská parageneze), Banská Štiavnica (drúzovitý křemen na hydrotermálních žilách) a řada dalších lokalit.

Použití: využíván v průmyslu pro své optické a piezoelektrické vlastnosti, ve šperkařství

OPÁL $\text{SiO}_2 \cdot n\text{H}_2\text{O}$

Fyzikální vlastnosti: $T = 5 - 6$; $H = 2 - 2,2$; barva zpravidla šedá nebo bílá, existuje ale i řada nejrozličněji zbarvených odrůd (dřevitý opál, drahý opál a jiné).

Složení a struktura: Zpravidla obsahuje 3 - 12% vody.

Vznik a výskyt: Je to nízkoteplotní minerál, který vzniká i v povrchových podmínkách. Vzniká jako sekundární produkt v dutinách a trhlinách řady hornin, nachází se v reziduech hadců nebo je součástí schránek některých živočichů.

Naleziště: Kozákov, Nová Paka (dutiny bazaltů), Křemže, Věžná (rezidua hadců)

6.6 Karbonáty

Základem struktury karbonátů jsou aniontové skupiny $(\text{CO}_3)^{2-}$, které mezi sebou navzájem nesdílí kyslíkové atomy. Vazba mezi uhlíkem a kyslíky je poměrně pevná, ne však tolik jako v CO_2 . Důležité bezvodé karbonáty spadají do tří strukturních skupin: řada kalcitu, řada aragonitu a řada dolomitu.

KALCIT **CaCO_3**

Fyzikální vlastnosti: T = 3; H = 2,71; barva je bílá, šedá, žlutá, hnědavá, růžová nebo je bezbarvý, lesk skelný, dokonale štěpný podle klence.

Vznik a výskyt: Velmi rozšířený minerál, vznikající během mnoha nejrozličnějších procesů. Může vznikat v magmatickém cyklu - je součástí karbonatitů, je velmi častou hlušinou výplní hydrotermálních žil nejrozličnějších typů, vzniká na termálních pramenech, vzniká přímým srážením z mořské vody, je tedy podstatnou součástí sedimentů (vápence, slínovce) a při metamorfóze je součástí mramorů. Často fosilizuje organické zbytky. Velmi časté je nahrazování kalcitu jinými minerály (pseudomorfózy) např. křemenem, limonitem a naopak - kalcit tvoří pseudomorfózy po aragonitu, barytu, fluoritu a dalších.

Naleziště: Příbram, Stříbro (krystaly na rudních žilách), Černý důl v Krkonoších, Štramberk (krystaly ve vápencích) a mnoho dalších.

Použití: výroba cementu, číré krystaly se používají jako nikoly

MAGNESIT **MgCO_3**

Fyzikální vlastnosti: T = 3,5 - 5; H = 3 - 3,2; barva bílá, žlutavá, hnědavá nebo i bezbarvý, lesk skelný až matný, štěpnost dokonalá podle klence.

Vznik a výskyt: Tvoří hydrotermálně metasomatická tělesa v karbonatických horninách, vzniká při autometamorfóze v hadcích a ultrabazických horninách. Vznikat může i metamorfně.

Naleziště: Věžná, Nová Ves u Oslavan (hadce), Hnúšťa, Jelšava - Slovensko (metasomatická ložiska)

Použití: zdroj Mg pro chemický průmysl

SIDERIT **FeCO_3**

Fyzikální vlastnosti: T = 3,5 - 4; H = 3,96; barva žlutá, světle i tmavě hnědá, černá, lesk skelný, vryp nažloutle bílý, dokonale štěpný podle klence.

Vznik a výskyt: Je středně nebo nízkoteplotním minerálem. Velký význam má na hydrotermálních žilných ložiscích, kde může tvořit převážnou část hlušiny, tvoří ložiska v karbonatických horninových komplexech, tvoří sedimentární ložiska v bitumenózních a jílových břidlicích nebo se nachází na oceánských ložiscích Fe. Méně častý je v karbonatitech, pegmatitech a greisenech.

Naleziště: Příbram, Kutná Hora, Freiberg - Sasko (hlušina na hydrotermálních žilách), Rudňany, Rožňava (slovenské siderit-sulfidické žíly), Zdice, Nučice (oceánské oolitické rudy)

Použití: zřídka jako surovina Fe

ARAGONIT CaCO_3

Fyzikální vlastnosti: T = 3,5 - 4; H = 2,94; barva bílá, šedá, žlutá, nazelenalá nebo je bezbarvý, lesk skelný až mastný, štěpnost podle (010) málo zřetelná.

Vznik a výskyt: Vzniká za nízkých teplot v přípovrchových podmínkách. Objevuje se v pozdních fázích na některých hydrotermálních žilách, vzniká během supergenních pochodů na mnoha ložiscích, je běžný produkt vylučování z horkých pramenů (vřídlovec), zvětráváním Ca minerálů v bazaltech nebo se tvoří v jílových sedimentech.

Naleziště: Hřídalec u Nové Paky, Hořenec u Bíliny (v bazaltech), Příbram, Špania Dolina (supergenní zóna ložiska)

DOLOMIT $\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2$

Fyzikální vlastnosti: T = 3,5; H = 2,85; barva šedá, červená nebo hnědá, lesk perleťový nebo skelný, dokonale štěpný podle klence.

Vznik a výskyt: Je častým hydrotermálně žilným a metasomatickým nerostem, tvoří hlušinu na rudních žilách, je hlavním minerálem obrovských horninových komplexů (dolomity), vzniká v mocných vrstvách během sedimentárního procesu, méně častý je na pegmatitech a alpských žilách.

Naleziště: Kutná Hora, Příbram (na rudních žilách), Dolomity (Itálie)

Použití: stavební kámen

AZURIT $\text{Cu}_3(\text{CO}_3)_2(\text{OH})_2$

Fyzikální vlastnosti: T = 3,5 - 4; H = 3,77; barva modrá až černě modrá, vryp modrý. Lesk na krystalech vyšší než na agregátech, štěpnost (100) dokonalá.

Vznik a výskyt: Běžný produkt oxidace Cu sulfidických rud, doprovázející malachit.

Naleziště: Špania Dolina, Tsumeb (Namíbie)

6.7 Sulfáty

BARYT



Fyzikální vlastnosti: $T = 3 - 3,5$; $H = 4,5$; barva šedá, žlutá, nazelenalá, modrá, červená, lesk na krystalových plochách skelný, jinak matný, dokonale štěpný podle báze, zřetelně štěpný podle (210).

Vznik a výskyt: Je to běžný středně až nízcí teplotní minerál postmagmatického a sedimentárního původu. Běžný je na některých hydrotermálních žilách (asociace fluorit-barytová), je součástí hydrotermálně sedimentárních ložisek (typ kuroko), vzniká i krystalizací z termálních vod, a na řadě typů sedimentárních ložisek (reziduální zvětraliny, evaporitová ložiska nebo ve vápencích).

Naleziště: Příbram, Jihlava, Stříbro, Harrachov, Moldava (hydrotermální žíly), Štěpánovice a Květnice u Tišnova (čocky ve vápencích), Kladno (na trhlínách pelosideritů), Kozákov, Studenec (dutiny bazaltů)

Použití: při těžbě ropy na výplach vrtů, ve stavebnictví na RTG absorbující omítky, výroba barev, plnidlo v papírenství a gumárenství

ANHYDRIT CaSO_4

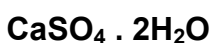
Fyzikální vlastnosti: $T = 3 - 3,5$; $H = 2,89 - 2,98$; bývá bezbarvý, bílý, šedý, namodralý, červený nebo hnědý, lesk perleťový až skelný, dokonale štěpný (010) a (100), dobře štěpný (001).

Vznik a výskyt: Je naprosto převládající na ložiskách mořských evaporitů, jinde jen podružně (hydrotermální ložiska, dutiny bazaltů).

Naleziště: Bad Ischl - Rakousko, Wieliczka - Polsko, Stassfurt - Německo (sedimentární ložiska), České Hamry (v dutinách vyvěřelin)

Použití: cementářský průmysl

SÁDROVEC



Fyzikální vlastnosti: $T = 2$; $H = 2,32$; zpravidla bezbarvý bílý, šedý nebo nažloutlý, lesk skelný na štěpných plochách perleťový. Štěpný velmi dokonale podle (010).

Vznik a výskyt: Typický minerál sedimentárních a zvětrávacích procesů (evapority, jílové sedimenty, zvětrávací kůry ložisek), méně často vzniká na fumarolách.

Naleziště: Hromnice, Chvaletice (zvětrávání kyzových ložisek), Kateřinky a Koberžice u Opavy (v sedimentech), v hnědouhelných pánvích

Použití: výroba sádry

6.8 Fosfáty

Základní jednotkou struktury fosfátů je aniontová skupina $(\text{PO}_4)^{-3}$.

APATIT $\text{Ca}_5(\text{PO}_4)_3 (\text{F}, \text{Cl}, \text{OH})$

Fyzikální vlastnosti: $T = 5$; $H = 3,15 - 3,2$; barva šedá, žlutá, zelená, modrá, hnědá někdy i čirý, lesk skelný, nezřetelně štěpný podle báze.

Vznik a výskyt: Běžný akcesorický minerál hornin nejrůznějšího genetického typu. Zcela běžný je v magmatických a metamorfovaných horninách, krystalovaný bývá v pegmatitech a greisenech. Vzácněji se objevuje na hydrotermálních žilách a alpských žilách.

Naleziště: alkalické horniny na poloostrově Kola, Rožná, Dobrá Voda (pegmatity), Horní Slavkov, Krupka (greiseny)

Použití: Významný zdroj fosforu důležitého hlavně pro výrobu hnojiv, pracích prášků, atd.

6.9 Silikáty

Silikáty obecně tvoří drtivou převahu minerálů v horninách zemské kůry a svrchního pláště. Mezi silikáty patří převážná část hlavních horninotvorných minerálů (křemen, živce, amfiboly, pyroxeny, slídy a další). Silikáty jsou v mineralogickém systému velmi rozsáhlou skupinou, která se dále člení na základě struktury. Základem struktury silikátů je tetraedrická skupina SiO_4^{-4} , která má schopnost polymerizace, tzn. může vytvářet skupiny, řetězce, sítě nebo celé prostorové mřížky. Běžným jevem ve struktuře řady silikátů je náhrada iontu Si^{+4} iontem Al^{+3} , což je např. u tektosilikátu nezbytně nutné pro vstup dalších kationtů do struktury. Do struktur silikátů vstupují převážně běžné prvky - Ca, Mg, Fe, Na, Mn, K, Ti a některé další.

6.9.1 Nesosilikáty

Nesosilikáty lze označit jako silikáty s izolovanými tetraedry SiO_4^{-4} , které jsou do prostorové struktury propojeny přes iontové vazby s jinými kationty (nejčastěji Fe, Mg, Ca). Uspořádání atomů ve strukturách nesosilikátů je poměrně těsné a proto mají relativně vysokou hustotu a tvrdost. Nezávislé tetraedry nevytváří žádný přednostní směr, takže štěpnost zpravidla chybí. Substituce Al za Si v tetraedrických pozicích je poměrně zanedbatelná.

Skupina olivínu

Olivín se používá pro obecné označení minerálů, které jsou svým složením mezi dvěma krajními členy neomezeně mísitelné olivínové řady - forsteritem (Mg_2SiO_4) a

fayalitem (Fe_2SiO_4). V přírodě mají běžné olivíny podíl kolem 20% fayalitové komponenty.

Chemický vzorec: forsterit - Mg_2SiO_4 a fayalit - Fe_2SiO_4

Fyzikální vlastnosti: forsterit: $T = 6,5$; $H = 3,2$; fayalit: $T = 7$; $H = 4,3$; barva běžných olivínů je zelenožlutá nebo zelená, fayalit může být po navětrání až černý, lesk zpravidla skelný, štěpnost podle (010) zřetelná. Většina fyzikálních vlastností se mění se složením.

Vznik a výskyt: Olivín může být jedním z hlavních horninotvorných minerálů v gabrech, peridotitech a bazaltech. Téměř monominerální olivínovou horninou je dunit. Při vyšším zastoupení SiO_2 v krystalizující tavenině reaguje za vzniku enstatitu (pyroxen). V metamorfovaných horninách je přítomen v dolomitických mramorech a erlanech. Při alteraci olivinických hornin dochází k přeměně na minerály serpentínové skupiny.

Naleziště: Smrčí a Podmoklice u Semil (olivinické bazalty), Sušice (skarn), Višňová u Moravského Krumlova (dolomitický mramor)

Použití: některé odrůdy mají využití ve šperkařství

Skupina granátu

Tato skupina je tvořena řadou koncových členů, mezi kterými je úplná nebo omezená izomorfní mísitelnost. Běžné přírodní granáty jsou zpravidla směsí dvou a více koncových členů. Nejběžnější koncové členy jsou uvedeny v tabulce.

řada "pyralspitová" (hlinité granáty) řada ugranditová (vápenaté granáty)

pyrop $\text{Mg}_3\text{Al}_2\text{Si}_3\text{O}_{12}$ grossular $\text{Ca}_3\text{Al}_2\text{Si}_3\text{O}_{12}$

almandin $\text{Fe}^{+2}_3\text{Al}_2\text{Si}_3\text{O}_{12}$ andradit $\text{Ca}_3\text{Fe}^{+3}_2\text{Si}_3\text{O}_{12}$

spessartin $\text{Mn}_3\text{Al}_2\text{Si}_3\text{O}_{12}$ uvarovit $\text{Ca}_3\text{Cr}_2\text{Si}_3\text{O}_{12}$

Fyzikální vlastnosti: Barva a další fyzikální vlastnosti granátů závisí na jejich chemickém složení. T se pohybuje v rozmezí 6,5 - 7,5; $H = 3,5 - 4,3$. Barva pyropu je zpravidla temně rudá, almandinu červená nebo červenohnědá, spessartinu hnědočervená, grossulár bývá zelený nebo žlutavý, andradit zelenavý nebo hnědavý a uvarovit smaragdově zelený. Lesk je zpravidla skelný až mastný, štěpnost chybí.

Vznik a výskyt: Granáty s převahou pyropové složky se vyskytují v ultrabazických horninách (peridotity, serpentinity, kimberlity), převážně almandinové granáty jsou typické pro metamorfované horniny (svory, ruly, amfibolity), spessartinové granáty najdeme ve skarnech, Mn ložiscích a pegmatitech, granáty s převahou grossulárové

nebo andraditové složky jsou typické pro kontaktní metamorfózu a uvarovitové granáty bývají v Cr bohatých hadcích.

Naleziště: Měrunice, Třebenice (pyrop v peridotitech českého středohoří), Příbyslavice u Čáslavi (almandin v pegmatitu), Zlatý Chlum u Jeseníku (almandin ve svoru), Budislav, Maršíkov (spessartin v pegmatitech), Švagrov (spessartin v Fe páskovaných rudách), Chvaletice (spassartin v Mn, Fe sedimentárních rudách), Obří důl v Krkonoších (grosulár ve skarnu), Žulová, Vápenná (grosulár v kontakt-ních skarnech), Mariánská hora v Ústí n. Lab. (andradit ve fonolitu).

Použití: jako brusivo nebo šperky

6.9.2 Sorosilikáty

Sorosilikáty mají ve své struktuře izolované skupiny tetraedrů SiO_4 , nejčastěji dvojité, spojené vrcholovým kyslíkem do komplexu Si_2O_7 -6.

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

Fyzikální vlastnosti: $T = 6,5$; $H = 3,3 - 3,5$; barva v různých odstínech zelené až zelenočerné, lesk skelný, štěpnost dokonalá podle (100).

Vznik a výskyt: Vzniká při alteraci vyvřelých hornin (při saussuritizaci plagiokla-sů), je indexovým minerálem albit-epidotové metamorfní facie. Nejkrásnější krystaly pocházejí z alpských žil, objevuje se i v kontaktně metamorfovaných skarnech.

Naleziště: Sobotín, Markovice, Krásné u Šumperka (alpská parageneze), na puklinách granitoidů brněnského masívu (Dolní Kounice), Žulová, Vápenná (kontaktní skarny).

Použití: výjimečně jako šperk

VESUVIÁN $\text{Ca}_{10}(\text{Mg}, \text{Fe})_2\text{Al}_4(\text{SiO}_4)_5(\text{Si}_2\text{O}_7)_2(\text{OH})_4$

Fyzikální vlastnosti: $T = 6,5 - 7$; $H = 3,33 - 3,45$; barva zpravidla žlutohnědá, hnědá nebo zelená, lesk skelný.

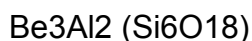
Vznik a výskyt: Je typickým minerálem kontaktní metamorfózy Ca bohatých hornin (skarny, erlány).

Naleziště: Žulová, Vápenná, Hazlov, Bludov, Nedvědice (kontaktně metamorfované vápence a skarny)

6.9.3 Cyklosilikáty

Cyklosilikáty mají ve své struktuře uzavřené kruhy tetraedrů SiO_4 , kde poměr $\text{Si}:\text{O} = 1:3$. Poměrně vzácné jsou troj- a čtyřčetné kruhy, běžné jsou kruhy z šesti křemíkových tetraedrů $(\text{Si}_6\text{O}_{18})$ -12.

BERYL

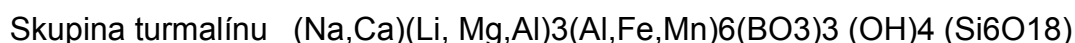


Fyzikální vlastnosti: $T = 7,5 - 8$; $H = 2,65 - 2,8$; barva obecného berylu je žluto-zelená, lesk skelný. Drahokamové odrůdy jsou průhledné s barvou zelenou (sma-ragd), světle modrou (akvamarín), růžovou (morganit), žlutou (heliodor) nebo pur-purově červenou (bixbit). Štěpnost nedokonalá podle (0001).

Vznik a výskyt: Beryl se vyskytuje převážně ve spojitosti s kyselým granitickým magmatem - v pegmatitech, albititech a greisenech. Méně častý je na alpských žilách a ve svorech v kontaktu s granity (smaragdy). Přechází i do rozsypů.

Naleziště: Maršíkov, Lázně Kynžvart, Sobotín, Jeclov, Puklice (pegmatity), Hor-ní Slavkov, Čistá (greiseny), Habachtal (smaragdy ve svoru, Rakousko).

Použití: šperkařství, Be ve slitinách zvyšuje tvrdost



V této skupině minerálů je vyčleněna řada koncových členů. Běžné turmalíny jsou pak jejich poměrně komplikované kombinace. Běžný akcesorický turmalín s převahou Fe^{+2} a Al se označuje jako skoryl, vzácnější turmalín s obsahem Li a Al se označuje jako elbait.

Fyzikální vlastnosti: $T = 7 - 7,5$; $H = 3 - 3,25$; barva skorylu je černá, u elbaitu se podle barvy vyčleňují různé variety: zelený verdelit, červený rubelit, modrý indigolit a bezbarvý achroit. Často se na jednom krystalu vyskytuje několik variet. Lesk skelný až matný. Turmalín má piezoelektrické vlastnosti.

Vznik a výskyt: Skoryl je typický minerál kyselých granitů a metamorfitů (žuly, ortoruly nebo svory). Někdy tvoří i samostatné horniny (turmalinovec), běžný je v aplitech a pegmatitech, častý je i na Sn-W mineralizacích. Méně častý je na alp-ských žilách a přechází i do náplavů. Elbait se vyskytuje téměř výhradně v dutinách některých žul a na Li-pegmatitech.

Naleziště: skoryl: Bory, Cyrilov, Příbyslavice, Bobrová (pegmatity), Blaník (ortorula); elbaity jsou známy z pegmatitů Rožná, Dobrá Voda, Řečice, Laštovičky a z dutin žul na ostrově Elba.

Použití: šperky

6.9.4 Inosilikáty

Základem struktury jsou tetraedry SiO_4 spojené přes vrcholové kyslíky do řetěz-ců. Tyto řetězce mohou být jednoduché nebo dvojité a dále jedno-, dvoj- a více-článkové

(v závislosti na délce základního motivu). Mezi nejběžnější inosilikáty patří pyroxeny (jednoduchý dvojčlankový řetězec) a amfiboly (dvojitý dvojčlankový řetězec).

Skupina pyroxenů

Minerály této skupiny mohou být izomorfní směsí asi dvaceti koncových členů. Obecný vzorec pyroxenů lze psát ve tvaru: XYZ_2O_6 , kde X je obsazováno atomy Na^+ , Li^+ , Ca^{+2} , Mg^{+2} , Fe^{+2} nebo Mn^{+2} a odpovídá strukturní pozici M2. Y je zastupováno atomy Mn^{+2} , Fe^{+2} , Mg^{+2} , Fe^{+3} , Al^{+3} , Cr^{+3} , Ti^{+3} a odpovídá strukturní pozici M1. Z je tetraedrická pozice v silikátovém řetězci a je obsazována atomy Si^{+4} a Al^{+3} . Kationty v pozici X (M2) mají zpravidla větší iontový poloměr než kationty v pozici Y.

Podle uvedené klasifikace se pyroxeny člení do několika skupin na základě svého chemického složení. Pro potřeby základního přehledu můžeme vyčlenit řadu rombických pyroxenů (enstatit - ferrosilit), řadu monoklinických pyroxenů di-opsid - hedenbergit a řadu monoklinických alkalických pyroxenů (aegirín, jadeit).

WOLLASTONIT $CaSiO_3$

Fyzikální vlastnosti: $T = 5 - 5,5$; $H = 2,8 - 2,9$; barva bílá, šedá nebo bezbarvá, lesk skelný, perleťový nebo hedvábný, štěpnost dokonalá podle (100) a (001), dobrá podle (-101) a (-201). Při $1120^\circ C$ přechází na pseudowollastonit.

Vznik a výskyt: Typický kontaktní minerál erlánů, skarnů nebo mramorů, často tvoří až monominerální horninu. Vzniká reakcí kalcitu a křemene za současného uvolnění CO_2 .

Naleziště: Žulová, Vápenná, Bludov, Nedvědice (kontaktní horniny)

Použití: ve stavebnictví

Skupina amfibolů

Jedná se o rozsáhlou skupinu horninotvorných minerálů, jejichž složení je zpravidla poměrně komplikované a vyjadřuje se pomocí velkého množství koncových členů. Obecný vzorec amfibolů je $A_0-1 B_2 C_{VI}5 T_{IV}8 O_{22} (OH,F,Cl)_2$, kde pozici T můžou obsazovat atomy Si, Fe, Al, Cr, pozici C atomy Al, Cr, Ti, Fe^{+3} , Mg, Fe^{+2} a Mn, pozici B pak Fe^{+2} , Mg, Mn, Ca a Na a pozici A atomy Na, K a Li. Na základě chemického složení lze amfiboly rozdělit do 4 skupin:

- Fe-Mg-Mn-Li amfiboly
- Ca amfiboly (vápenaté)
- Na-Ca amfiboly (sodno-vápenaté)
- alkalické amfiboly mají

Struktura amfibolů má za základ dvojité dvočlankové řetězce (Si_8O_{22})-12, které jsou protaženy podle osy c. Následující přehled koncových členů amfibolové skupiny je pouze symbolický, vybrány jsou jen skutečně nejčastější typy. Běžně se amfiboly vyskytují jako komplikované směsi koncových členů a s tím souvisí i fyzikální vlastnosti, které se mění se složením.

TREMOLIT $\text{Ca}_2\text{Mg}_5\text{Si}_8\text{O}_{22}(\text{OH})_2$

Fyzikální vlastnosti: T = 5 - 6; H = 2,95 - 3,12; barva šedá nebo šedozelená, lesk skelný u azbestů hedvábný, dokonalá štěpnost (110).

Vznik a výskyt: Je produktem regionální metamorfózy, kdy vzniká z olivínu a pyroxenů. Častý je také v desilikovaných pegmatitech a na žilách alpské parageneze. Zcela běžný je v metamorfovaných mramorech a dolomitech.

Naleziště: Chýnov, Český Krumlov (mramory), Věžná (kontaktní zóna pegmatitu)

OBEČNÝ AMFIBOL

Fyzikální vlastnosti: T = 5 - 6; H = 3 - 3,3; barva tmavě zelená, hnědá, černá, štěpnost dokonalá (110).

Složení a struktura: Pojem obecný amfibol se používá pro běžné horninotvorné amfiboly. Zpravidla se jedná o kombinaci několika krajních členů Ca nebo Na-Ca amfibolů. Variety vulkanických hornin zpravidla podstatněji obsahují Fe^{+3} .

Vznik a výskyt: Jedná se o běžné horninotvorné amfiboly přítomné ve vyvřelých (syenity, diority, gabra, hornblendity) a metamorfovaných horninách (amfibolity, ruly).

Naleziště: podle typu horniny

6.9.5 Fylosilikáty

Většina fylosilikátů má destičkovitý nebo lístkovitý habitus s dokonalou štěpností, což je dáno přítomností nekonečných sítí ve struktuře, jejichž součástí jsou i Si tetraedry. Jednotlivé sítě jsou pak mezi sebou vázány zpravidla poměrně slabými silami. Základem vrstev ve fylosilikátech jsou tyto rovinné sítě:

- tetraedrická síť je tvořena tetraedry SiO_4 , které jsou navzájem propojeny rohy a všechny vrcholové (nevyvázané) kyslíky jsou orientovány na jednu stranu vrstvy
- dioktaedrická síť je tvořena koordinačními oktaedry, v jejichž středu jsou trojmocné ionty a každá třetí pozice je vakantní. Ve vrcholech oktaedrů jsou nejen kyslíky, ale i OH skupiny a oktaedry jsou propojeny hranami - někdy je tato vrstva označována jako gibbsitová.

- trioktaedrická síť je tvořena koordinačními oktaedry, v jejichž středu jsou dvojmocné ionty a každá kationtová pozice je obsazena. Kationt je koordinován s kyslíky i OH skupinami. Typ sítě se někdy označuje jako brucitový.

Ve fylosilikátech se mohou tyto vrstvy kombinovat různým způsobem tak, že oktaedrické sítě se váží k vrcholovým kyslíkům Si tetraedrů. Klad jednotlivých vrstev může být různý, takže vzniká prostor pro vznik různých polytypů. Vazba mezi vrstevními komplexy sítí může být různá - jedná se buď o slabé elektrostatické síly spojené s přítomností (OH) skupin, nebo může být mezi komplexy sítí umístěn tzv. mezivrstevní kation (zpravidla Na, K, Ca). Tím počet možných kombinací uspořádání struktur opět narůstá.

V klasifikaci fylosilikátů se používá nejrůznějších symbolů pro zjednodušení popisu struktur. Pokud je ve struktuře kombinována jedna tetraedrická a jedna oktaedrická síť je tato vrstva označována jako 1:1 nebo t-o vrstva (t=tetraedrická, o=oktaedrická). Nesdílená rovina aniontů oktaedrické sítě je tvořena výhradně OH anionty. Je-li ve struktuře jedna oktaedrická síť mezi dvěma tetraedrickými, označujeme ji jako 2:1 nebo t-o-t vrstva. V případě, že by všechny tetraedrické pozice byly obsazeny Si, v dioktaedrických sítích byl pouze Al a v trioktaedrických sítích pouze Mg, potom by jakákoliv výsledná vrstva byla elektroneutrální. V reálných strukturách tato situace většinou nenastává, takže každý komplex (1:1 nebo 2:1) má vždy částečný zbytkový náboj, který umožňuje různé typy vazeb mezi vrstvami. Identifikace fylosilikátů na základě běžných fyzikálních vlastností nebo i chemismu je zpravidla velmi obtížná a je proto třeba využít RTG difrakčních technik. Pomocí nich je totiž možno snadno zjistit mezivrstevní vzdálenost - tedy velikost základního motivu ve směru osy c. Tato vzdálenost (bazálních strukturních rovin) se u běžných fylosilikátů pohybuje od 7 do 21 Å. 10-10m.

Jak bylo uvedeno, strukturní výstavba fylosilikátů umožňuje vznik různých typů minerálů, která navíc mají zpravidla několik polytypů. Dále budou blíže popsány jen některé důležitější minerály této třídy.

KAOLINIT $\text{Al}_4\text{Si}_4\text{O}_{10}(\text{OH})_8$

Fyzikální vlastnosti: T = 1 - 2; H = 2,6; barva bílá, žlutá, hnědá, ve vlhku je plastický.

Vznik a výskyt: Vzniká zvětráváním živců v kyselém prostředí. Je běžný na pegmatitech, v kyselých granitoidích a při intenzivním zvětrávání tvoří rozsáhlá ložiska.

Naleziště: Horní Bříza, Lažánky u Veverské Bytíšky, Unanov, Karlovarsko

Použití: surovina keramického průmyslu

ILLIT $(K, H_3O^+)Al_2(Si,Al)_4O_{10}(OH)_2$

Fyzikální vlastnosti: $T = 1 - 2$; $H = 2,6 - 2,9$; barva ve světlých odstínech, dokonalá bazální štěpnost

Vznik a výskyt: Je běžnou součástí sedimentů, vzniká přeměnou řady minerálů, je přítomen i na hydrotermálních žilách. Bývá součástí kaolinitových ložisek.

MASTEK $Mg_3Si_4O_{10}(OH)_2$

Fyzikální vlastnosti: $T = 1$; $H = 2,7 - 2,8$; barva ve světle zelených odstínech, lesk mastný nebo perleťový. Dokonalá štěpnost podle (001).

Vznik a výskyt: Je produktem hydrotermální alterace ultrabazik a serpentinitů, kdy vzniká z olivínu a pyroxenu. Objevuje se v pegmatitech a na některých hydrotermálních žilách. Je podstatnou složkou mastkových břidlic.

Naleziště: Smrčina a Zadní Hutisko u Sobotína (krupníky), Drahonín (pegmatit)

Použití: Používá se jako přísada např. do papíru nebo keramiky

MUSKOVIT $KAl_2(AlSi_3O_{10})(OH)_2$

Fyzikální vlastnosti: $T = 2 - 2,5$; $H = 2,76 - 2,88$; bývá bezbarvý, světle šedý nebo nazelenalý, perleťový lesk. Šupinky jsou pružné, štěpnost dokonalá podle báze.

Vznik a výskyt: Je důležitým horninotvorným minerálem v kyselých granitoidech (žula, pegmatit), metamorfitech (fylit, svor) i sedimentech (slepence).

Naleziště: Otov, Bory, Maršikov (pegmatity), Příbyslavice u Čáslavi (žuly), svory v Jeseníkách

BIOTIT $K(Mg,Fe)_3(AlSi_3O_{10})(OH)_2$

Fyzikální vlastnosti: $T = 2,5 - 3$; $H = 2,8 - 3,2$; barva tmavě hnědá až černá, lesk perleťový, dokonalá bazální štěpnost.

Vznik a výskyt: Jeden z nejběžnějších minerálů vyvřelých hornin (granodiorit, diorit, syenit, pegmatity) a běžný i v metamorfovaných horninách (svor, rula). Zvětřováním se mění na chlority nebo smektity.

Naleziště: Bory, Věžná (pegmatity), Blansko (granodiority),

LEPIDOLIT $K(Li,Al)_3(AlSi_3O_{10})(OH)_2$

Fyzikální vlastnosti: $T = 2,5 - 4$; $H = 2,8 - 2,9$, barva bílá, červená, zelená nebo fialová, lesk perleťový, dokonalá bazální štěpnost.

Vznik a výskyt: Prakticky výhradně je vázán na speciální typy Li pegmatitů.

Naleziště: Rožná (typová lokalita), Dobrá Voda, Nová Ves (pegmatity)

Použití: surovina Li

6.9.6 Tektosilikáty

Více jak polovina minerálů tvořících zemskou kůru má strukturu z prostorově propojených tetraedrů SiO_4 . V této struktuře je každý kyslík propojuje dva tetraedry a poměr $\text{Si}:\text{O} = 1:2$. Výsledkem je poměrně pevná a stabilní struktura. Pokud jsou ve struktuře pouze tetraedry SiO_4 je celková struktura elektricky neutrální a jedná se o minerál ze skupiny SiO_2 . Ostatní tektosilikáty mají ve struktuře i jiné ionty, nejčastěji Na, Ca, Mg nebo Fe. Aby tyto ionty mohly vůbec do struktury vstoupit, musí být část Si^{+4} iontů v tetraedrických pozicích nahrazena jiným iontem, zpravidla to bývá Al^{+3} . Vznikne tak nedostatek kladného náboje, který je vyrovnán vstupem výše uvedených kationtů do struktury.

NEFELÍN $(\text{Na},\text{K})\text{AlSiO}_4$

Fyzikální vlastnosti: $T = 5,5 - 6$; $H = 2,6 - 2,65$; barva bílá, žlutá, šedá, zelenavá nebo bezbarvá, lesk skelný až mastný, štěpnost podle báze a prizmatu nedokonalá.

Vznik a výskyt: Typický minerál alkalických hornin (nefelinity, syenity), může vznikat i metasomatickými pochody.

Naleziště: Vinařická hora u Kladna, Podhorní vrch u Mariánských lázní

Použití: keramický průmysl

NATROLIT $\text{Na}_2\text{Al}_2\text{Si}_3\text{O}_{10} \cdot 2\text{H}_2\text{O}$

Fyzikální vlastnosti: $T = 5 - 5,5$; $H = 2,25$; barva bílá, šedá, načervenalá nebo je bezbarvá, lesk skelný, dokonale štěpný podle (110).

Vznik a výskyt: Převážně se vyskytuje v dutinách bazických i alkalických efuzivních hornin, ale je znám i z některých pegmatitů, alpské parageneze nebo hadců.

Naleziště: Mariánská hora v Ústí nad Labem, Zálezly, Soutěsky u Děčína (bazická efuziva), Markovice (alpská parageneze), Věžná (desilikovaný pegmatit)

Skupina živců

Složení minerálů této skupiny lze vyjádřit pomocí trojúhelníkového diagramu or-toklas (KAlSi_3O_8) - albit ($\text{NaAlSi}_3\text{O}_8$) - anortit ($\text{CaAl}_2\text{Si}_2\text{O}_8$). Členy v řadě albit - or-toklas se označují jako alkalické živce, členy řady albit - anortit jako plagioklasy. Mimo tyto řady existuje ještě barnatý živec celsian ($\text{BaAl}_2\text{Si}_2\text{O}_8$). Živce jsou charakterizovány nejen svým složením (podíl koncových členů Or, Ab a An), ale i svým strukturním stavem. Distribuce atomů Al v tetraedrických pozicích je totiž silně závislá na teplotě krystalizace a teplotní historii každého živce. Živce utuhlé velmi rychle mají vysoký stupeň neuspořádanosti Al - Si (označují se jako vysoké - high), živce krystalizující zvolna se vyznačují vysokým stupněm uspořádání (označení nízké - low).

Neomezenou izomorfní mísitelnost najdeme pouze v řadě plagioklasové, řada albit - ortoklas je neomezeně mísitelná pouze za vyšších teplot. Mísitelnost mezi ortoklasem a anortitem je velmi omezená. Naopak izomorfie v plagioklasové řadě je dokonalá a je podle složení vyčleněna řada odrůd. Obecný vzorec plagioklasů je pak uváděn jako: $\text{Na}_{1-x}\text{Ca}_x(\text{Si}_{3-x}\text{Al}_{1+x}\text{O}_8)$.

ORTOKLAS KAlSi_3O_8

Fyzikální vlastnosti: $T = 6$; $H = 2,57$; je bezbarvý nebo světle béžový, šedý, načervenalý, lesk skelný, štěpnost podle (001) a (010) dokonalá.

Vznik a výskyt: Jeden z nejdůležitějších horninotvorných minerálů magmatic-kých hornin (žuly, syenity, aplity, pegmatity) a metamorfitů (ruly). Méně častý je na hydrotermálních a alpských žilách.

Naleziště: Dolní Bory, Meclov, Otov (pegmatity), třebíčský masív (syenity), Karlovy Vary, Loket (dvojčata v žulách)

Použití: keramický průmysl

Plagioklasová řada albit ($\text{NaAlSi}_3\text{O}_8$) - anortit ($\text{CaAl}_2\text{Si}_2\text{O}_8$)

Fyzikální vlastnosti: $T = 6$; $H = 2,62 - 2,76$; barva světle šedá, světle okrová nebo bývají bezbarvé, štěpnost podle (001) a (010) dokonalá. Většina fyzikálních vlastností souvisí s chemickým složením.

Vznik a výskyt: Jedná se o běžné horninotvorné minerály vyvřelých (gabbro, bazalt, diorit) a metamorfovaných (amfibolit, rula) hornin.

Naleziště: téměř všude

Použití: keramický průmysl

7 Literatura

Výše uvedený text představuje souhrn základních informací z mineralogie. Vznikl pro interní potřeby výuky studentů oboru Geovědní a montánní turismus. Pro další studium mineralogie existuje řada oficiálních učebnic a skript. Zájemci o podrobné studium tohoto vědního oboru mohou čerpat další informace také z řady populárně naučných knih zaměřených na minerály. Výborný zdroj informací o minerálech a jejich nalezištích představuje také časopis Minerál. Níže je uveden soupis literatury, ze které bylo čerpáno při tvorbě tohoto učebního textu:

Skripta.dictor.net, Chváta Mineralogie systematická, Slavík Mineralogie, Jakeš Planeta Země, Bernard Encyklopedický přehled minerálů