

Hierarchia mineralogického systému a základné pravidlá klasifikácie minerálov podľa CNMNC IMA

Peter Bačík¹

Hierarchy of mineralogical system and basic principles of mineral classification according to CNMNC IMA

Abstract:

Commission on New Minerals, Nomenclature and classification of the International mineralogical association (IMA CNMNC) published the hierarchy and basic principles of mineral classification, which are recommended for proposals of new minerals and nomenclatures of mineral supergroups and groups. Hierarchy of mineralogical system is divided into six levels: (1) mineral class; (2) mineral subclass; (3) mineral family; (4) mineral supergroup; (5) mineral group; (6) mineral subgroup and mineral series. CNMNC IMA also defined mineral species and specified which natural substances may and which may not be regarded as mineral species. Basic principles for mineral classification including dominant-constituent rule and dominant-valency rule were also approved. All terms transposed into the Slovak language were approved by the Commission on Nomenclature and Terminology in Mineralogy at the Mineralogical Society of Slovakia.

Key words: mineralogical system, nomenclature, supergroup, group, dominant-constituent rule, dominant-valency rule

Úvod

Vo svete sa používa viacero systémov klasifikácie minerálov. Patrí medzi ne *Nickelova-Strunzova klasifikácia* (Strunz & Nickel, 2001), ktorá sa preferuje najmä v Európe, a teda aj na Slovensku. Medzi ďalšie systémy klasifikácie a používané zoznamy minerálov patria *Dana's New Mineralogy* (Gaines et al., 1997), *A Systematic Classification of Minerals* (Ferraiole, 2003), *Fleischer's Glossary of Minerals* (Back & Mandarino, 2008). Všetky tieto systémy klasifikujú minerály na základe chemického zloženia a štruktúry, avšak navzájom sa líšia detailmi, niekedy dokonca až princípmi.

Zo spomenutých systémov sú najpoužívanejšie *Nickelova-Strunzova klasifikácia* a *Dana's New Mineralogy*. *Nickelova-Strunzova klasifikácia* rozdeľuje minerály do 10 tried (*class*): 1) prvky, 2) sulfidy, 3) halidy, 4) oxidy, 5) nitráty, karbonáty, 6) boráty, 7) sulfáty, 8) fosfáty, 9) silikáty, 10) organické zlúčeniny. Tie sa ďalej rozdeľujú na základe chemického zloženia a štruktúry na oddelenia (*division*), rody (*family*) a skupiny (*group*) (Strunz & Nickel 2001). Systém *Dana's New Mineralogy* klasifikuje minerály do 78 tried (*class*), ktoré sú však hierarchicky na úrovni oddelení v Strunzovej klasifikácii. Triedy sú ďalej rozdelené na typy (*type*) a tie sa delia na skupiny (*group*) (Gaines et al., 1997).

Z uvedeného vyplýva, že oba najpoužívanejšie systémy klasifikácie sú z hľadiska hierarchie výrazne rozdielne. Navyše vo svete často používaný *Fleischer's Glossary of Minerals* (Mandarino, 1999; Back & Mandarino, 2008) definuje skupiny minerálov, ktoré však nie sú úplne zhodné so skupinami v dvoch najvýznamnejších mineralogických systémoch. Podobne aj séria kolektívu Deer, Howie a Zussman *Rock-forming Minerals*, ktorá sa bežne používa v mineralogickej praxi, nezávisle definuje skupiny minerálov.

Z týchto dôvodov Komisia pre nové minerály, nomenklatúru a klasifikáciu pri Medzinárodnej mineralogickej asociácii (CNMNC IMA – Commission on New Minerals, Nomenclature and Classification of the International Mineralogical Association) vytvorila schému, ktorá štandardizuje hierarchiu mineralogickej klasifikácie a zavádza princípy platné pre nomenklatúru minerálnych skupín (Mills et al., 2009). CNMNC IMA tiež redefinovala základné pravidlá pre klasifikáciu minerálov do minerálnych druhov (Hatert & Burke, 2008). Tieto pravidlá sa zatiaľ neuplatnili na ostatné mineralogické systémy, používajú sa iba pri nomenklaturách minerálnych skupín schvaľovaných CNMNC IMA.

Tieto princípy a pravidlá by mali byť používané v mineralogickej praxi aj na Slovensku a preto sú uvedené aj vysvetlené v tomto príspevku. Slovenské ekvivalenty základných pojmov schválila Komisia pre nomenklatúru a terminológiu v mineralógii pri Slovenskej mineralogickej spoločnosti (KNTM SMS), preto má táto publikácia kódičnú platnosť.

Hierarchia nomenklatúry minerálnych skupín

Hierarchia nomenklatúry minerálnych skupín podľa CNMNC IMA (Mills et al., 2009) definuje šesť úrovni klasifikácie minerálov, od najvyššej – minerálnej triedy – až po podskupiny a série. Na základnej úrovni je minerálny druh.

Minerálna trieda a podtrieda

Minerálna trieda (angl. *mineral class*) je najvyššou úrovňou v rámci klasifikácie minerálov. Je definovaná na základe hlavného aniónu (napr. O²⁻, S²⁻), aniónového kom-

¹ Katedra mineralógie a petrológie, Prírodovedecká fakulta, Univerzita Komenského v Bratislave, Mlynská dolina, 842 15 Bratislava, bacikp@fns.uniba.sk

plexu (napr. OH^- , SO_4^{2-} , CO_3^{2-} , PO_4^{3-} , $\text{B}_x\text{O}_y^{z-}$, $\text{Si}_x\text{O}_y^{z-}$) alebo ich neprítomnosti (prvky). Medzi najvýznamnejšie minerálne triedy patria prvky, sulfidy, sulfosoli, halidy, oxidy, hydroxidy, nitráty, karbonáty, boráty, sulfáty, chromáty, volframáty, molybdáty, fosfáty, arzenáty, vanadáty, silikáty, organické zlúčeniny (Mills et al., 2009).

Minerálna podtrieda (angl. *mineral subclass*) je hierarchicky pod triedou, avšak nie je definovaná vo všetkých triedach. Minerálne podtriedy sú vytvorené v triedach borátov a silikátov na základe spôsobu spájania tetraédrov (Mills et al., 2009). V triede borátov sú podtriedy monoborátov, diborátov, triborátov, tetraborátov, pentaborátov, hexaborátov, heptaborátov a ďalších megaborátov (Strunz & Nickel, 2001). V triede silikátov sú tieto podtriedy: nesosilikáty (izolované tetraédre), sorosilikáty (izolované skupiny tetraédrov), cyklosilikáty (prstence tetraédrov), inosilikáty (reťazce tetraédrov), fylosilikáty (vrstvy tetraédrov) a tekto-silikáty (priestorové spojenie tetraédrov).

Minerálne oddelenie

Minerálne oddelenie (angl. *mineral family*, *Nickelova-Strunzova klasifikácia* používa samostatne pojmy *division* a *family*, ktoré však CNMNC IMA nerozlišuje, preto pre pojem *family* tu používame slovenský ekvivalent *oddelenie*) je z hľadiska hierarchie medzi minerálnymi triedami a podtriedami na jednej a superskupinami a skupinami na druhej strane. Zahŕňa v rámci triedy dve a viac superskupín alebo skupín, ktoré majú podobné chemické zloženie alebo štruktúrne vlastnosti. Príkladom minerálneho oddelenia definovaného podobnými štruktúrnymi vlastnosťami je oddelenie zeolitov, ktoré sa dajú charakterizovať ako tekto-silikáty s prítomnosťou kanálov v štruktúre, ale jednotlivé minerálne druhy patria do rôznych superskupín a skupín (Mills et al., 2009). Príkladom oddelenia definovaného chemickým zložením je napríklad oddelenie platinoidov.

Minerálna superskupina

Minerálna superskupina (angl. *mineral supergroup*) je zložená z dvoch a viac minerálnych skupín, pre ktoré platí, že majú rovnakú štruktúru a obsahujú kryštalochemicky podobné prvky (Mills et al., 2009). Rovnakú štruktúru majú minerály vtedy, ak sú homeotypové, teda ak sa medzi nimi zachovávajú základné topologické vlastnosti štruktúry (Lima-de-Faria et al., 1990). To neznamená, že homeotypové štruktúry musia mať rovnakú symetriu, rovnakú priestorovú grupu alebo sústavu, ak sa zachováva topológia štruktúry. Niektoré polymorfne modifikácie, ako napríklad monoklinické a rombické amfiboly, sú homeotypové, preto môžu figurovať v rámci jednej superskupiny. Na druhej strane zoisit má topologicky odlišnú štruktúru ako jeho polymorfna modifikácia klinozoisit, preto nie je zaradený do epidotovej superskupiny.

Vo všeobecnosti minerálna superskupina obsahuje minerálne druhy rovnakej minerálnej triedy, ako napr. turmalínová (Henry et al., 2011) alebo amfibolová superskupina (Hawthorne et al., 2012), ale v niektorých prípadoch môže zahŕňať minerálne druhy z viacerých minerálnych tried, ako je to v prípade apatitovej (Pasero et al., 2010) alebo granátovej superskupiny (Grew et al., 2013). Minerálna superskupina môže obsahovať aj samostatné nezaradené minerálne druhy, ktoré nepatria do žiadnej minerálnej skupiny, ako napr. vanadinit – jediný vanadát v apatitovej superskupine (Pasero et al., 2010). Na vytvorenie superskupiny, skupiny aj podskupiny musí byť splnená podmienka, aby obsahovala viac ako jeden minerálny druh (Mills et al., 2009).

Názov superskupiny je odvodený od najvýznamnejšieho minerálu (alumitová superskupina), od minerálu, ktorý

bol ako prvý úplne mineralogicky opísaný (apatitová superskupina), alebo od historicky významného názvu, ktorý v súčasnosti už nedefinuje žiadny minerálny druh (turmalínová superskupina) (Mills et al., 2009). V slovenčine sa názov superskupiny používa vo forme zhodného prívlastku pred slovom superskupina, t. j. správne sa má používať pojem granátová superskupina, nie superskupina granátu.

Minerálna skupina, podskupina a séria

Minerálna skupina (angl. *mineral group*) obsahuje dva a viac minerálnych druhov, ktoré majú podobne ako v prípade minerálnych superskupín rovnakú štruktúru a obsahujú chemicky podobné prvky (Mills et al., 2009). Zaradovanie do minerálnych skupín teda prebieha podľa rovnakých princípov ako v prípade minerálnych superskupín. V rámci hierarchie majú minerály jednotlivých minerálnych skupín viac spoločných vlastností ako v minerálnych superskupinách. Napríklad minerály britolitovej skupiny sú definované ako minerály apatitovej superskupiny, t. j. minerály so štruktúrou apatitu, v ktorých navyše Si prevažuje v pozícii T a lantanoidy prevažujú v pozíciách M.

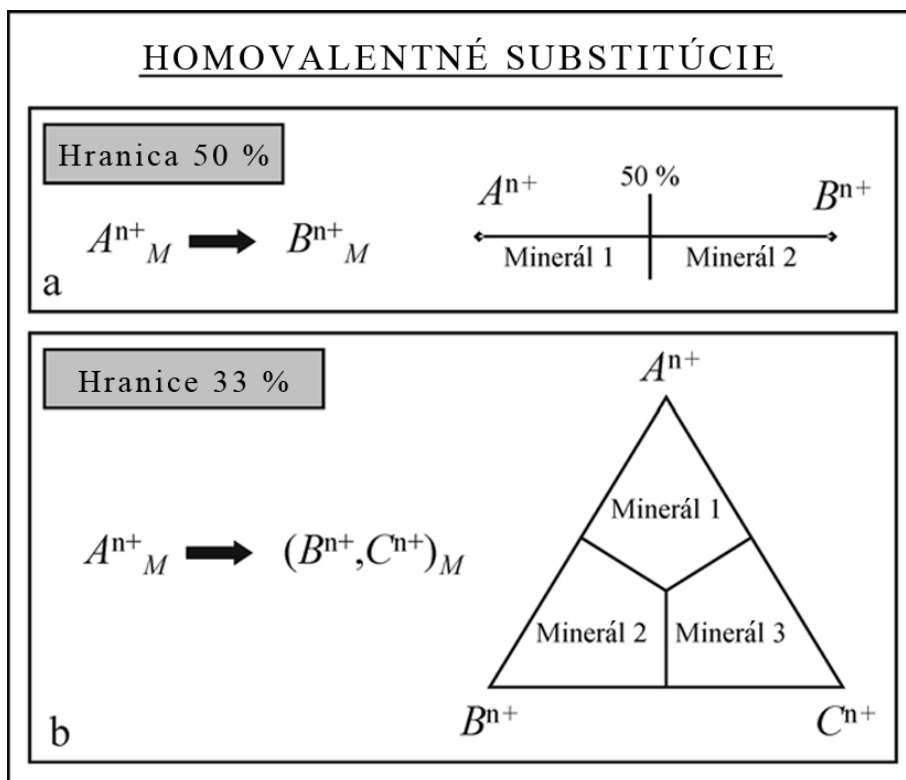
Názov minerálnej skupiny sa môže odvodiť podobne ako v prípade superskupín od najvýznamnejšieho alebo najstaršieho minerálu (apatitová skupina), či od historicky používaného (ustáleného) názvu (granátová skupina), ale tiež sa môže odvodiť od chemických alebo štruktúrnych vlastností (skupina turmalínov s dominantnými alkáliami v pozícii X) (Mills et al., 2009). Názvy minerálnych skupín odvodené od názvu minerálu sa v slovenčine používajú ako zhodné prívlastky pred slovom skupina – britolitová skupina. Pri názvoch odvodených od chemických alebo štruktúrnych vlastností sa názov skupiny uvádza v podobe nezhodného prívlastku za slovom skupina (skupina turmalínov s dominantnými alkáliami v pozícii X), ale môže sa použiť aj skrátená forma, ak prívlastok obsahuje názov superskupiny (turmalín s dominantnými alkáliami v pozícii X).

Minerálna podskupina (angl. *mineral subgroup*) sa vytvára vtedy, keď sa aj v rámci minerálnej skupiny dajú na základe spoločných vlastností jednotlivé minerálne druhy ešte ďalej rozdeliť. Napríklad v rámci amfibolovej superskupiny, t. j. inosilikátov s amfibolovou štruktúrou, existuje skupina hydroxy-fluoro-chloro-amfibolov, teda amfibolov s prevahou OH, F alebo Cl v aniónovej pozícii W, v ktorej je definovaná skupina vápenatých amfibolov, t. j. amfibolov s prevahou Ca v pozícii B a vakanciou v pozícii A (Hawthorne et al., 2012). Názvy minerálnych podskupín sa tvoria podľa rovnakých pravidiel ako v prípade minerálnych skupín.

Minerálna séria (angl. *mineral series*) sa používa v prípade minerálov homologickej (lilianitová séria; Moëlo et al., 2008), polysomatickej (biopyriboly; Ferraris et al., 2008) alebo substitučnej (fengitová, biotitová séria; Rieder et al., 1998) série, ktoré nespĺňajú definíciu minerálnej skupiny.

Minerálny druh a minerál

Minerálny druh (angl. *mineral species*) je prvok alebo chemická zlúčenina, ktoré sú definované svojím chemickým zložením a kryštálovou štruktúrou a vznikajú geologickými procesmi (Mills et al., 2009; Nickel, 1995). Minerálny druh je teda definovaný svojou chemickou značkou alebo vzorcom, ktorý zodpovedá zloženiu koncového člena a mal by obsahovať iba hlavné prvky v jednotlivých kryštalografických pozíciách, čo sa však bohužiaľ ani v súčasnosti dôsledne nedodržiava. Minerály v prírode majú empirický vzorec, t. j. vzorec zistený analytickým výskumom, v ktorom môžu byť prítomné aj prvky substituujúce za hlavné prvky, ak je minerál súčasťou izomorfnej série. Príslušnosť študovaného minerálu k minerálnemu druhu je definovaná dvoma základnými pravidlami – pravidlom prevládajúce-



Obr. 1: Grafické zobrazenie homovalentných substitúcií v a) binárnom a b) ternárnom kompletnom tuhom roztoku (Hatert & Burke, 2008)

ho mocenstva a pravidlom prevládajúcej zložky (Hatert & Burke, 2008).

Medzi minerály sa zaraďujú aj amorfné látky, ktoré majú homogénne chemické zloženie, teda sa dajú definovať ako zlúčeniny a nie zmesi, ďalej tie, pri ktorých fyzikálno-chemické (napr. spektroskopické) údaje potvrdzujú, že ide o jedinečnú chemickú zlúčeninu. Podmienkou na zaradenie amorfnej zlúčeniny medzi minerály je, že za žiadnych okolností a po žiadnej úprave (napr. zahrievaním) nesmú vytvoriť difrakčný obrazec. Naopak, v prípade metamiktých zlúčenín je podmienkou ich uznania ako minerálu to, že sa experimentálne alebo analyticky dokáže, že pred procesom metamiktizácie mala zlúčenina kryštalovú štruktúru. Medzi minerály patria aj zlúčeniny mimozemského pôvodu a tie, ktoré vznikli geologickou činnosťou na antropogénnych dielach v rámci prírodného prostredia z geologických materiálov (na banských dielach, haldách, zárezoch ciest atď.). Zlúčeniny vytvorené priamo antropogénnou činnosťou alebo pôsobením geologického prostredia na materiály antropogénneho pôvodu sa medzi minerály nezaraďujú. Z toho vyplýva, že za minerál sa pokladá zlúčenina, ktorá vznikla na stene banskej chodby, ale ak vznikla na banskej výdrevě, už sa nedá označiť ako minerál, hoci v oboch prípadoch bol proces ich vzniku rovnaký. Organické zlúčeniny sa pokladajú za minerály iba vtedy, ak je dokázateľný podiel geologických procesov na ich vzniku. Kvapalnú látku nie sú pokladané za minerály s výnimkou ortuti, ktorá je za minerál pokladaná z historických dôvodov (Nickel, 1995).

Základné všeobecné pravidlá klasifikácie minerálov

Ako sme už uviedli, príslušnosť k minerálnym druhom sa určuje aplikáciou dvoch základných pravidiel – pravidlom prevládajúceho mocenstva a pravidlom prevládajúcej zložky (Hatert & Burke 2008).

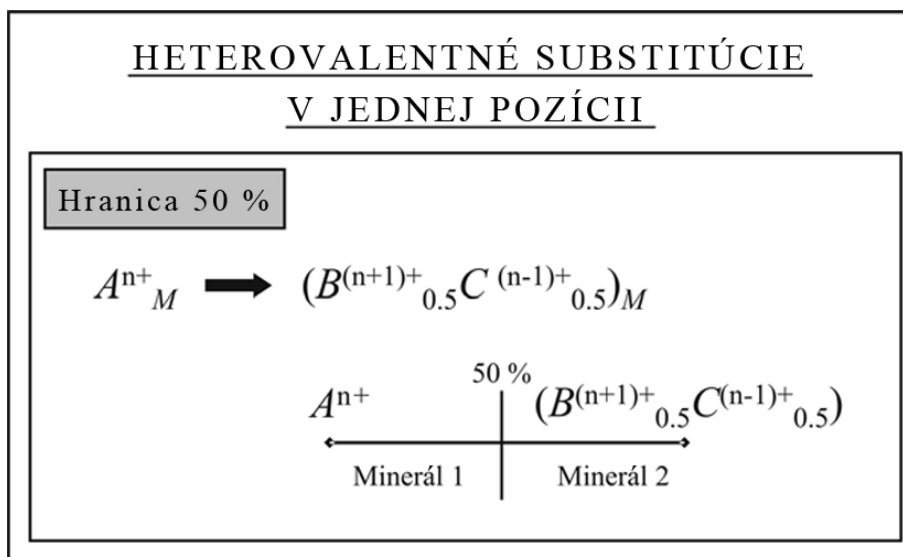
História vývoja týchto pravidiel sa začala návrhom tzv. päťdesiatpercentného pravidla (Nickel, 1992). Podľa neho

minerál je samostatným minerálnym druhom, ak prevládajúce zložky vrátane vakancií v jednotlivých kryštalografických pozíciách, resp. minimálne v jednej z nich, sú iné ako v ostatných mineráloch s rovnakou štruktúrou (Nickel, 1992; Nickel & Grice, 1998). Názov pravidla však nebol šťastne zvolený, pretože viedol k zmätočným výkladom. Päťdesiatpercentné pravidlo sa totiž dá plne uplatniť iba v binárnych systémoch, ako je napríklad séria enstatit – ferrosilit, v ktorej o príslušnosti k minerálnym druhom rozhoduje pomer Mg a Fe, t. j. ak má minerál do 50 % Fe, klasifikuje sa ako enstatit, nad 50 % má ferrosilit. V systémoch s tromi a viac zložkami má dominantná zložka pomer nižší ako 50 %, napríklad v ternárnom systéme je spodnou hranicou hodnota 33 %. Wenk & Bulakh (2004) preto navrhli zmenu názvu pravidla na pravidlo 100 %/n, ale v súčasnosti sa odporúča názov pravidlo prevládajúcej zložky, angl. *dominant-constituent rule* (Hatert & Burke 2008). Uplatnenie pravidla prevládajúcej zložky v binárnom a ternárnom systéme v grafickom zobrazení je na obr. 1.

Vytvorenie nomenklatúry komplexných minerálnych superskupín a skupín, ako je arrojaditová skupina (Cámara et al., 2006; Chopin et al., 2006) alebo epidotová superskupina (Armbruster et al., 2006), však viedlo k potrebe definovania nového pravidla. V mineráloch týchto skupín vystupuje v jednotlivých pozíciách katión s rôznym mocenstvom, pričom zmena mocenstva v jednej pozícii vyžaduje zmenu mocenstva v inej pozícii, teda dochádza k heterovalentnej substitúcii, ktorá nevedie len k zmene minerálneho druhu, ale dokonca môže viesť k zmene medzi skupinami v rámci superskupiny a medzi podskupinami v rámci skupiny. Preto sa do praxe zaviedlo pravidlo prevládajúceho mocenstva (angl. *dominant-valency rule*), ktoré berie do úvahy mocenstvo katiónov v jednotlivých pozíciách (Hatert & Burke, 2008).

Uplatnenie tohto pravidla je komplikovanejšie ako v prípade pravidla prevládajúcej zložky. Je potrebné rozlišovať dva rôzne prípady heterovalentných substitúcií. V

HETEROVALENTNÉ SUBSTITÚCIE V JEDNEJ POZÍCII

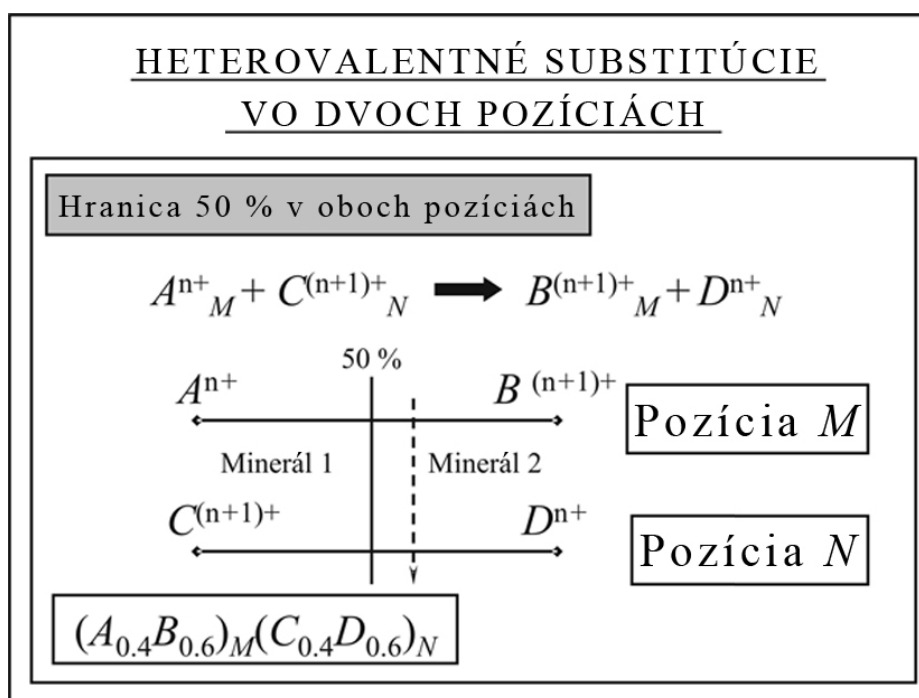


Obr. 2: Grafické zobrazenie heterovalentnej substitúcie v jednej pozícii (Hatert & Burke, 2008)

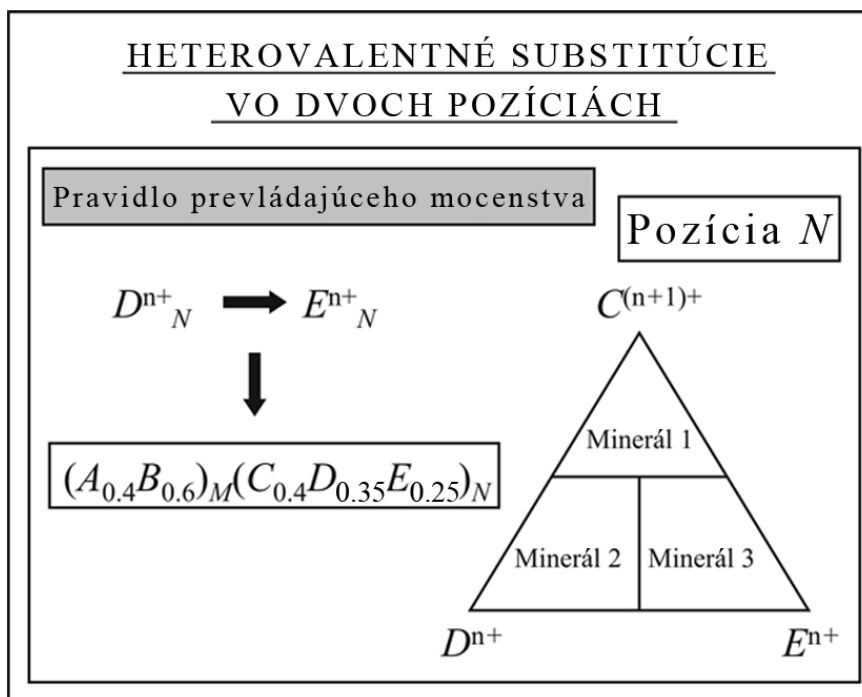
prvom prípade ide o heterovalentnú substitúciu v rámci jednej kryštalografickej pozície. Tá sa dá vyjadriť ako $A^{n+} \leftrightarrow 0,5 B^{(n+1)+} + 0,5 C^{(n-1)+}$. Príkladom môže byť substitúcia $Fe^{2+} \leftrightarrow 0,5 Al^{3+} + 0,5 Li^{+}$ v turmalínoch skorylovo-elbaitovej série. V takomto prípade sa obsahy katiónov B a C sčítavajú a hranica medzi minerálnymi druhmi leží na hodnote $[A^{n+}_{0.5}B^{(n+1)+}_{0.25}C^{(n-1)+}_{0.25}]$. Takýto stav sa nazýva dvojité obsadenie pozície vynútené mocenstvom, angl. valency-imposed double site-occupancy (Hatert & Burke 2008). Grafické vyjadrenie uplatnenia pravidla je na obr. 2. Podobne sa postupuje aj v prípade heterovalentných substitúcií v dvoch pozíciách, t. j. substitúcií typu $A^{n+}_M + C^{(n+1)+}_N \leftrightarrow B^{(n+1)+}_M + D^{n+}_N$. V tomto prípade je hraničným zložením $[A^{n+}_{0.5}B^{(n+1)+}_{0.5}]_M[C^{(n+1)+}_{0.5}D^{n+}_{0.5}]_N$ s grafickým zobrazením na obrázku 3. Treba však brať do úvahy, že na dôsledné uplatnenie pravidla je nutné poznať distribúciu katiónov medzi jednotlivými pozíciami. Komplikáciu spôsobujú napríklad spinely, ktoré môžu byť *normálne* aj *inverzné*. Kvôli zjednodušeniu z hľadiska nomenklatury sú katióny v spineloch rozdelené podľa mocenstva nezávisle od ich kryštalografickej pozície, keďže v tomto prípade dvojité obsadenie pozícií nie je vynútené mocenstvom (Hatert & Burke, 2008).

Najzložitejšia situácia je v prípade minerálov, v ktorých sa uplatňuje kombinácia homovalentných a heterovalentných substitúcií. Ak sa v mineráli so zložením $[A^{n+}_{0.4}B^{(n+1)+}_{0.6}]_M[C^{(n+1)+}_{0.4}D^{n+}_{0.6}]_N$ uplatní homovalentná substitúcia $D^{n+}_N \leftrightarrow E^{n+}_N$, jej výsledkom môže byť zloženie $[A^{n+}_{0.4}B^{(n+1)+}_{0.6}]_M[C^{(n+1)+}_{0.4}D^{n+}_{0.35}E^{n+}_{0.25}]_N$. Pri uplatnení pravidla prevládajúcej zložky by sa dalo usudzovať, že toto zloženie zodpovedá minerálnemu druhu so zložením $[B^{(n+1)+}]_M[C^{(n+1)+}]_N$. Taký koncový člen by však bol nábojovo nevy-

HETEROVALENTNÉ SUBSTITÚCIE VO DVOCH POZÍCIIÁCH



Obr. 3: Grafické zobrazenie heterovalentnej substitúcie vo dvoch pozíciách (Hatert & Burke, 2008)



Obr. 4: Grafické zobrazenie kombinácie heterovalentnej a homovalentnej substitúcie vo dvoch pozíciách vedúcej k uplatneniu pravidla prevládajúceho mocenstva (Hatert & Burke, 2008)

rovnaný, a preto nemôže existovať (Hatert & Burke, 2008). Preto sa na takéto zloženie uplatňuje pravidlo prevládajúceho mocenstva, takže obsahy katiónov s rovnakým mocenstvom sa sčítavajú, v našom prípade ($D^{n+}_{0.35} + E^{n+}_{0.25}$) dáva sumu 0,6, $C^{(n+1)+}$ má obsah 0,4, prevládajúcim mocenstvom je $n+$. Po následnom uplatnení pravidla prevládajúcej zložky na katióny s mocenstvom $n+$ vychádza, že minerál so zložením $[A^{n+}_{0.4}B^{(n+1)+}_{0.6}]_M[C^{(n+1)+}_{0.4}D^{n+}_{0.35}E^{n+}_{0.25}]_N$ prislúcha minerálnemu druhu so vzorcom $[B^{(n+1)+}]_M[D^{n+}]_N$. Grafické vyjadrenie pravidla prevládajúceho mocenstva pre trojzložkové obsadenie pozície N je na obr. 4.

Spomínané pravidlá sa týkajú systémov, ktoré sa dajú označiť ako tuhé roztoky, teda takých, v ktorých medzi jednotlivými minerálnymi druhmi existuje voľná miešateľnosť. Existujú však aj systémy minerálov, medzi ktorými nie je voľná miešateľnosť. Ak zloženia dvojice minerálov v tuhom roztoku nedosahujú hranicu 50 %, uplatňuje sa pravidlo dominantnej zložky bez ohľadu na to, či je pár navzájom izoštruktúrny (obr. 5a). Príkladom je systém hematit $Fe^{2+}_2O_3$ – ilmenit $Fe^{2+}Ti^{4+}O_3$. Ak však dve hraničné zloženia nie sú izoštruktúrne, ale jeden zo štruktúrnych typov zasahuje za hranicu 50 % o viac ako 10 mol %, tento štruktúrny typ predstavuje dva samostatné minerálne druhy, pričom ich hranicou je 50 %. Druhý štruktúrny typ s rozsahom chemického zloženia blízky koncovému členu je tretím samostatným minerálnym druhom (obr. 5b). Typickým príkladom je systém $ZnS - FeS$, v ktorom minerál so zložením od ZnS do $Zn_{0.5}Fe_{0.5}S$ je sfalerit a minerál so zložením od $Zn_{0.5}Fe_{0.5}S$ do $Zn_{0.34}Fe_{0.66}S$ a sfaleritovou štruktúrou je rudaševskytit (Hatert & Burke, 2008).

Ďalším prípadom sú binárne systémy, v ktorých sa zloženie pohybuje okolo hranice 50 % a nedosahuje zloženie koncových členov. V takom prípade treba rozlišovať, aký je rozsah zloženia na obe strany. Ak je menší ako 10 mol %, minerál sa charakterizuje ako jeden minerálny druh (obr. 5c). Preto je pentlandit so vzorcom $Fe(Fe,Ni)_8S_8$, v ktorom sa pomer Fe : Ni pohybuje okolo 1 : 1 a miera ich vzájomnej substitúcie je minimálna, samostatným minerálnym druhom. Ak je však rozsah substitúcie väčší ako 10 mol % od

pomeru 1 : 1, vtedy sa minerály berú ako dva samostatné minerálne druhy a ich hranicou je 50 % (obr. 5d) (Hatert & Burke, 2008). Podobné pravidlá sa uplatňujú aj v ternárnych systémoch (obr. 6).

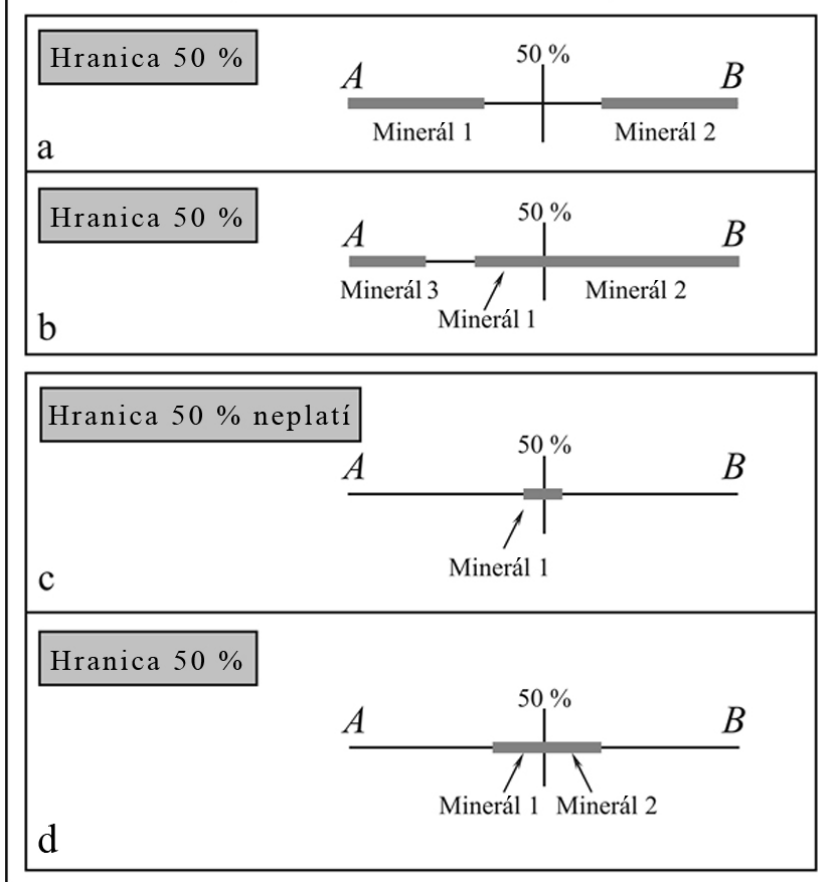
Ďalším faktorom, ktorý treba brať do úvahy, je štruktúrna usporiadanosť. Ak sa v štruktúrne neusporiadanom tuhom roztoku objaví štruktúrne usporiadaný člen, berie sa ako samostatný minerálny druh. Štruktúrna usporiadanosť sa prejaví rozdelením minimálne jednej štruktúrnej pozície na dve, čo má za následok zmenu symetrie a zvyčajne aj zdvojnásobenie veľkosti niektorých mriežkových parametrov. Aby však mohol byť štruktúrne usporiadaný minerál uznaný ako samostatný minerálny druh, musí byť štruktúrna usporiadanosť analyticky potvrdená. Typickým prípadom je dolomit $CaMg(CO_3)_2$, ktorý chemicky zodpovedá tuhému roztoku kalcit $CaCO_3$ – magnezit $MgCO_3$, ale na rozdiel od štruktúrne neusporiadaných okrajových členov je dolomit štruktúrne usporiadaný a kryštalizuje v priestorovej grupe $R3c$, ktorá má nižšiu symetriu ako $R3c$, v ktorej kryštalizujú kalcit s magnezitom. Podobne v štruktúrne neusporiadanom binárnom systéme diopsid $CaMgSi_2O_6$ – jadeit $NaAlSi_2O_6$, ktoré kryštalizujú v priestorovej grupe $C2/c$, sa pri teplotách pod 700 °C vyskytuje štruktúrne usporiadaný prechodný člen omfacit so zložením $(Ca_{0.5}Na_{0.5})(Mg_{0.5}Al_{0.5})Si_2O_6$ kryštalizujúci v priestorovej grupe $P2/n$.

Literatúra

ARMBRUSTER T., BONAZZI P., AKASAKA M., BERMANEC V., CHOPIN C., GIERÉ R., HEUSS-ASSBICHLER S., LIEBSCHER A., MENCHETTI S., PAN Y., PASERO M., 2006: Recommended nomenclature of epidote-group minerals. *Eur. J. Mineral.*, 18, 551 – 567

BACK M. & MANDARINO J. A., 2008: Fleischer's Glossary of Mineral Species 2008. Mineralogical Record Inc., Tuscon, 1 – 346

BINÁRNE SYSTÉMY S NEÚPLNOU MIEŠATEĽNOSŤOU



Obr. 5: Grafické zobrazenie binárnych systémov s neúplnou miešateľnosťou: a) séria s polom nemiešateľnosti; b) séria s polom nemiešateľnosti s jedným členom, ktorého zloženie prekonáva hranicu 50 %; c) séria so zložením pohybujúcim sa okolo stredového bodu s rozsahom substitúcie do 10 mol %; d) séria so zložením pohybujúcim sa okolo stredového bodu s rozsahom substitúcie nad 10 mol % (Hatert & Burke, 2008)

CÁMARA F., OBERTI R., CHOPIN C., MEDENBACH O., 2006: The arrojadite enigma. I. A new formula and a new model for the arrojadite structure. *Am. Mineral.*, 91, 1249 – 1259

CHOPIN C., OBERTI R., CÁMARA F., 2006: The arrojadite enigma. II. Compositional space, new members, and nomenclature of the group. *Am. Mineral.*, 91, 1260 – 1270

FERRAILOLO J. A., 2003: A Systematic Classification of Minerals. Bowie, Maryland, 1 – 441

FERRARIS G., MAKOVICKY E., MERLINO S., 2008: Crystallography of Modular Materials. Oxford University Press, Oxford, 1 – 370

GAINES R. V., SKINNER H. C., FOORD E. E., MASON B., ROSENZWEIG A., 1997: Dana's new mineralogy. Wiley & Sons, New York, 1 – 1819

GREW E. S., LOCOCK A. J., MILLS S. J., GALUSKINA I. O., GALUSKIN E. V., HÅLENIUS U., 2013: Nomenclature of the garnet supergroup. *Am. Mineral.*, 98, 785 – 811

HATERT F. & BURKE E. A. J., 2008: The IMA-CNMNC do-

minant-constituent rule revisited and extended. *Can. Mineral.*, 46, 717 – 728.

HAWTHORNE F. C., OBERTI R., HARLOW G. E., MARESCH W. V., MARTIN R. F., SCHUMACHER J. C., WELCH M. D., 2012: Nomenclature of the amphibole supergroup. *Am. Mineral.*, 97, 2031 – 2048

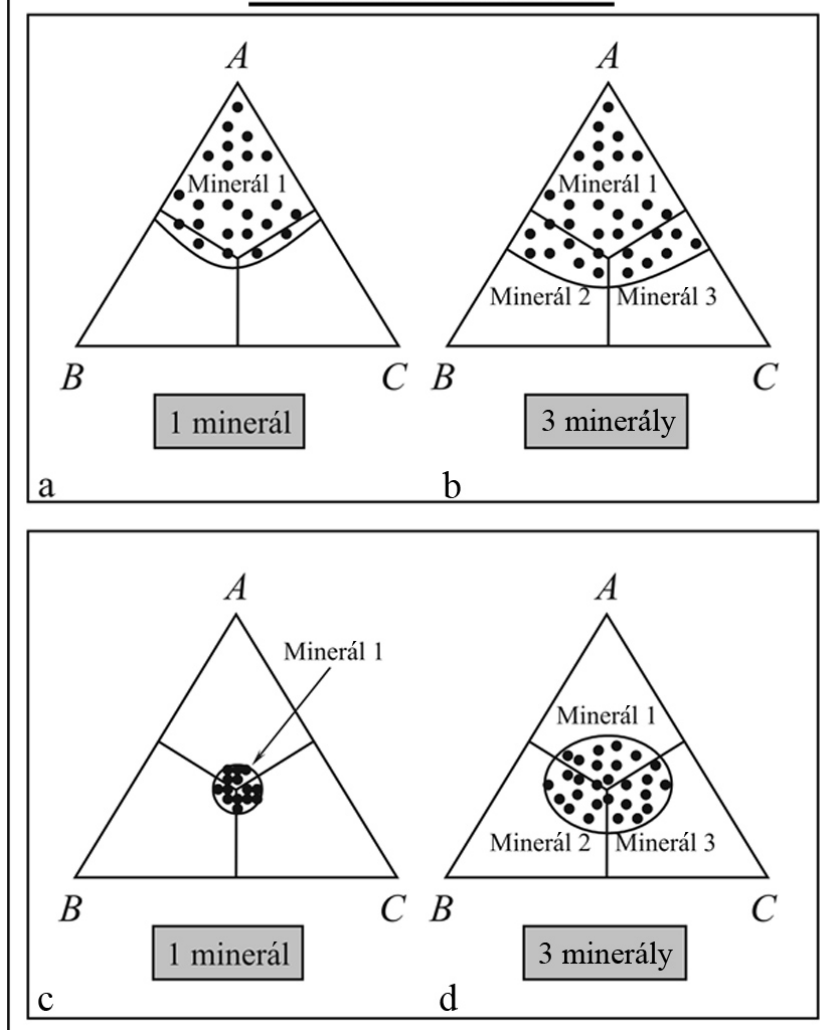
HENRY D. J., NOVÁK M., HAWTHORNE F. C., ERTL A., DUTROW B. L., UHER P., PEZZOTTA F., 2011: Nomenclature of the tourmaline-super group minerals. *Am. Mineral.*, 96, 895 – 913

LIMA-DE-FARIA J., HELLNER E., LIEBAU F., MAKOVICKY E., PARTHÉ E., 1990: Nomenclature of inorganic structure types. Report of the International Union of Crystallography Commission on Crystallographic Nomenclature, Sub-Committee on the Nomenclature of Inorganic Structure Types. *Acta Cryst. A*, 46, 1 – 11

MANDARINO J. A., 1999: Fleischer's Glossary of Mineral Species 1999. Mineralogical Record Inc., Tucson, 1 – 226

MILLS S., HATERT F., NICKEL E. H., FERRARIS G., 2009: The standardisation of mineral group hierarchies: ap-

TERNÁRNE SYSTÉMY S NEÚPLNOU MIEŠATEĽNOSŤOU



Obr. 6: Grafické zobrazenie ternárnych systémov s neúplnou miešateľnosťou: a) séria so zložením, ktoré neprekonáva hranice polí o viac ako 10 mol %; b) séria so zložením, ktoré prekonáva hranice polí o viac ako 10 mol %; c) séria so zložením pohybujúcim sa okolo stredového bodu s rozsahom substitúcie do 10 mol %; d) séria so zložením pohybujúcim sa okolo stredového bodu s rozsahom substitúcie nad 10 mol % (Hatert & Burke, 2008)

plication to recent nomenclature proposals. *Eur. J. Mineral.*, 21, 1073 – 1080

MOËLO Y., MAKOVICKY E., MOZGOVA N. N., JAMBOR J. L., COOK N., PRING A., PAAR W., NICKEL E. H., GRAESER S., KARUP-MØLLER S., BALIC-ŽUNIC T., MUMME W. G., VURRO F., TOPA D., BINDI L., BENTE K., SHIMIZU M., 2008: Sulfosalts systematics: a review. Report of the sulfosalt sub-committee of the IMA Commission on Ore Mineralogy. *Eur. J. Mineral.*, 20, 7 – 46

NICKEL E. H., 1992: Solid solutions in mineral nomenclature. *Can. Mineral.*, 30, 231 – 234

NICKEL E. H., 1995: The definition of a mineral. *Can. Mineral.*, 33, 689 – 690

NICKEL E. H. & GRICE J. D., 1998: The IMA Commission on New Minerals and Mineral Names: procedures and guidelines on mineral nomenclature, 1998. *Can. Mineral.*, 36, 913 – 926

neral., 36, 913 – 926

PASERO M., KAMPF A. R., FERRARIS C., PEKOV I. V., RAKOVAN J., WHITE T. J., 2010: Nomenclature of the apatite supergroup minerals. *Eur. J. Mineral.*, 22, 163 – 179

RIEDER M., CAVAZZINI G., D'YAKONOV YU., FRANK-KAMENETSKII V. A., GUGGENHEIM S., KOVAL P. V., MÜLLER G., NEIVA A. M. R., RADOSLOVICH E. W., ROBERT J.-L., SASSI F.P., TAKEDA H., WEISS Z., WONES D. R., 1998: Nomenclature of the micas. *Can. Mineral.*, 36, 905 – 912

STRUNZ H. & NICKEL E.H., 2001: Strunz mineralogical tables. Schweizerbart, Stuttgart, 1 – 869

WENK H.-R. & BULAKH A. G., 2004: Minerals: their Constitution and Origin. Cambridge University Press, Cambridge, 1 – 666