

# Beryl a Be-minerály

## Akcesorické minerály

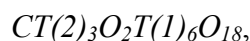
Prof. RNDr. Milan Novák, CSc., ÚGV PřF MU v Brně

## Úvod

Berylium patří vzhledem ke svým amfoterním vlastnostem k důležitým stopovým prvkům. Rozměr kationtů -  $\text{Be}^{\text{IV}} = 0,27 \text{ \AA}$  a  $\text{Be}^{\text{VI}} = 0,45 \text{ \AA}$  a zároveň nízká valence vedou k tomu, že Be jen těžko vstupuje do tetraedrické pozice obsazované Si, Al nebo P a většinou vstupuje do další tetraedrické pozice T(2) v minerálech často spolu s Al, popř. Li. Malá schopnost Be vstupovat do stejných strukturních pozic s jinými prvky vede k tomu, že je dnes známo asi 90 minerálů Be. To, že se může vyskytovat, jak v pozici klasického kationtu např. v bertranditu  $\text{Be}_4[\text{Si}_2\text{O}_7](\text{OH})_2$ , tak v aniontové části alumosilikátů alkalických kovů (Na) např. v epididymitu  $\text{Na}_2[\text{Be}_2\text{Si}_6\text{O}_{15}] \cdot \text{H}_2\text{O}$ , umožňuje využít minerálů Be k odhadu podmínek vzniku minerálních asociací. Nejdůležitějším minerálem Be je beryl.

## Skupina berylu

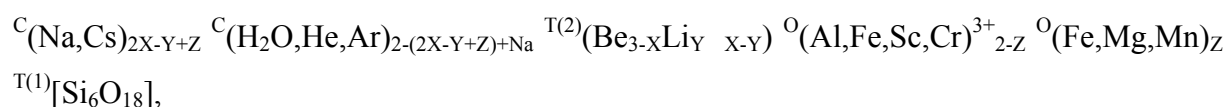
Beryl je nejrozšířenějším a zřejmě i nejhojnějším minerálem, který obsahuje v podstatném množství berylium. Vedle něj ale existují i další vesměs velmi vzácné minerály, které mají téměř identickou krystalovou strukturu a většinou obsahují berylium v podstatném množství. Tyto hexagonální minerály patřící do skupiny berylu (Tabulka 1) jsou mu někdy podobné i makroskopicky a mají zjednodušený strukturní vzorec



kde do jednotlivých pozic vstupují v podstatném množství následující prvky a látky:

pozice C (kanál) =	vakance, Na, Cs, $\text{H}_2\text{O}$ (He, Ar)
pozice T(2) (tetraedrická 2) =	Be, Li, Al (vakance)
pozice O (oktaedrická) =	Al, $\text{Fe}^{3+}$ , Sc, Mg ( $\text{Fe}^{2+}$ , Cr, V, Mn)
pozice T(1) (tetraedrická 1) =	Si, Al

Jednoduché vzorce ale musíme nahradit podstatně složitějšími, uvažujeme-li skutečné složení berylu v přírodě.



kde  $2 \geq Y$ ,  $X \geq Y$ ,  $Z \ll 2$  a  $2 \geq 2X-Y+Z$

Hlavní vedlejší prvky zahrnují: Na, Fe, Mg, v pegmatitech navíc Cs a Li, v metamorfovaných horninách také Cr. Kationty v jednotlivých pozicích a substituční mechanismy lze odhadnout ze strukturního vzorce. Tetraedrická substituce vede ke snižování množství Be, oktaedrická substituce ke zvyšování Fe, Mg a Sc.

Tabulka 1. Přehled minerálů skupiny berylu

Minerál	idealizovaný vzorec $CT(2)_3O_2T(1)_6O_{18}$	typová lokalita	rok popisu
Beryl	$\text{Be}_3\text{Al}_2\text{Si}_6\text{O}_{18}$	neznámá	starověk
Bazzit	$\text{Be}_3\text{Sc}_2\text{Si}_6\text{O}_{18}$	Baveno, Alpy, Itálie	1915
Stoppaniit	$\text{Be}_3\text{Fe}^{3+}_2\text{Si}_6\text{O}_{18}$	Capranica, Řím, Itálie	1998
Pezzottait	$\text{CsBe}_2\text{LiAl}_2\text{Si}_6\text{O}_{18}$	Ambatovite, Fiarantsoroa, Madagaskar	2003
Indialit	$\text{Al}_3\text{Mg}_2\text{Si}_5\text{AlO}_{18}$	Azaribagh, Bihar, Indie	1954

Obr. 1. Struktura berylu

## Beryl $\text{Be}_3\text{Al}_2\text{Si}_6\text{O}_{18}$

Nejznámější minerál, který řadíme do skupiny berylu, a podle něj se skupina také nazývá. Beryl má několik barevných variet, které jsou známé i široké veřejnosti: zelený smaragd, světle modrozelený akvamarín, žlutý heliodor, růžový morganit, bezbarvý goshenit a rudý beryl označovaný jako bixbit. Nejčastější barva tzv. obecného berylu, s nímž se nejčastěji setkáváme, je světle žlutozelená s různými odstíny, popř. je bílý nebo světle šedý. Zbarvení berylu je ovlivněno příměsí některých prvků, např. chrom nebo vanad způsobují temně zelenou barvu smaragdu, často ale není spolehlivě objasněno, co zbarvení způsobuje. Beryl je poměrně tvrdý,  $t = 7,5-8$ , má nízkou hustotu,  $g = 2,58-2,9$ , je nedokonale štěpný podle báze a lom má nepravidelný.

Obr. 2. Diagram složení berylu (tetraedrická versus oktaedrická substituce).

V berylu je častý vysoký obsah  $H_2O$ , Na a někdy i Cs, které jsou umístěny v kanálech v několika strukturně odlišných pozicích.

Obr. 3. Pozice Na, Cs a  $H_2O$  ve struktuře berylu

Nejnovější výzkumy ukazují na zřetelnou mísitelnost mezi berylem a minerály skupiny cordieritu  $(Mg,Fe)_2Al_4Si_5O_{18}$  – cordieritem a sekaninaitem. Zvýšený obsah Be v cordieritech z pegmatitů je poměrně častý, až 1,94 váh.% BeO, naopak beryl může obsahovat vysoká množství femických prvků, např. až 2,98 %  $Fe_2O_3$  a 2,24 % FeO. V cordieritu jsou známy dvě substituce pro vstup Be -  $NaBeAl_1$  a  $BeSiAl_2$ .

Variety:

Beryl má několik barevných variet: smaragd (Cr), akvamarín, helidor, morganit. Jejich zbarvení je způsobeno obsahem některých prvků.

Beryl se vyskytuje v různých geologických prostředích

1. granitické pegmatity - nejhojnější typ výskytu, několik set ppm Be je dostatečné ke krystalizaci berylu z taveniny. Složení berylu kolísá podle typu mateřského pegmatitu, v relativně primitivních pegmatitech se blíží teoretickému vzorci, v silně frakciovaných pegmatitech může obsahovat vysoké obsahy Cs popř. Li.
2. greiseny a vysokoteplotní hydrotermální křemenné žíly
3. metamorfované horniny – často obsahuje zvýšená množství např. Fe, Cr, Mg, Sc, aj.

Beryl se vyskytuje v různých typech magmatických a metamorfovaných hornin, zjištěn byl také na hydrotermálních žilách, v greisenech ale i v sedimentech.

**Granitické pegmatity** jsou jednoznačně nejčastější typ výskytu berylu v přírodě. Ke krystalizaci berylu z pegmatitové taveniny je dostatečný obsah pouze několika set ppm Be, proto je beryl v pegmatitech poměrně častý, často ale uniká pozornosti. Beryl je znám z více typů pegmatitů, které lze rozdělit do několika skupin. Jednotlivé pegmatity ale nelze vždy jednoznačně klasifikovat do některého z níže uvedených typů a někdy se zařazení pegmatitů u jednotlivých autorů liší.

**Pegmatity vzácných prvků** jsou nejhojnější třídou pegmatitů a dělí se do několika typů a subtypů.

Berylový typ (zahrnuje beryl-columbitový a beryl-columbit-fosfátový subtyp)

Zde je beryl typomorfní minerálem, ale přítomnost berylu na lokalitě ještě nutně neznamená, že jde o berylový pegmatit ve smyslu této klasifikace. Platí to hlavně tehdy, odráží-li přítomnost berylu nejvyšší stupeň frakcionace v pegmatitovém tělese, tedy chybí zde nebo jsou extrémně vzácné např. minerály Li a nebo minerály REE. Beryl tvoří sloupcovité více či méně dokonale omezené krystaly někdy dosahují délky až 8 m. Jejich barva je většinou světle žlutá až světle zelená s různými odstíny, beryl může být i světle šedý nebo mírně namodralý. V těchto pegmatitech je většinou přítomen pouze jediný paragenetický typ berylu. Někdy se objevuje v dutinách jako dokonale vyvinuté krystaly. Spolu s berylem se vyskytují muskovit, granát, turmalín, columbit, zirkon, gahnit, kasiterit, niobový rutil a primární fosfáty (např. trifylin). V tomto typu pegmatitů se vyskytuje podstatná část berylu a známé lokality leží hlavně v Brazílii (Minas Gerais), Mosambiku, USA, Kanadě, na Madagaskaru. Typickými lokalitami u nás jsou např. oblast Písek a Údraž, Maršíkov a další lokality v Hrubém Jeseníku, Věžná u Nedvědice, Meclov u Poběžovic, Kynžvart u Mariánských Lázní.

Vzácnost-zeminový typ (zahrnuje euxenitový a gadolinitový subtyp)

V těchto pegmatitech se vyskytují především minerály vzácných zemin - REE (např. Ce, La, Nd) a Y, jako jsou allanit, euxenit, aeschynit, samarskit, fergusonit, ale i Be-obsahující minerál gadolinit. Beryl je zde vzácný a typickými lokalitami jsou např. Iveland v Norsku, u nás Kožichovice u Třebíče.

Komplexní (Li) typ (zahrnuje spodumenový, petalitový, lepidolitový, amblygonitový a elbaitový subtyp)

V těchto pegmatitech se beryl vyskytuje často ve více paragenetických typech. V okrajových zónách pegmatitů je beryl podobný výskytům v méně frakcionovaných berylových pegmatitech barvou, chemickým složením i minerální asociací. Ve více frakcionovaných částech

pegmatitových těles a v dutinách, kde je beryl často doprovázený minerály s Li (spodumen, lepidolit, elbait, petalit, amblygonit), je obohacený Li a Cs a má světle šedou, bílou nebo růžovou barvu. Typické lokality jsou např. Tanco, Manitoba, Kanada, Bikita, Zimbabwe, Alto Ligonho, Mosambik, u nás Nová Ves u Českého Krumlova, Rožná u Bystřice nad Pernštejnem, Puklice a Jeclov u Jihlavy.

### ***Miarolitické pegmatity***

Tato třída pegmatitů je charakteristická přítomností hojných dutin, ale jinak jsou velmi podobné pegmatitům třídy vzácných prvků. Zde se beryl vyskytuje v dutinách často v dokonale vyvinutých průhledných krystalech jako akvamarín nebo heliodor, spíše výjimečně se objevuje také morganit. Typické lokality jsou např. Volyně na Ukrajině (heliodor), Mt. Antero, Colorado, USA, a Gilgit, Pákistán (akvamarín) nebo San Piero, Elba, Itálie (morganit), u nás tento typ pegmatitů zatím nebyl zjištěn.

**Ryolity** jsou dalším typem hornin, kde se můžeme s berylem setkat, i když jen velmi vzácně a pouze v dutinách. Zde ale většinou vzniká až v hydrotermální fázi např. spolu s topazem, fluoritem, hematitem a spessartinem. V tomto typu hornin se vyskytuje rudý beryl - bixbit. Typické lokality např. Thomas Range nebo Wah Wah leží ve státě Utah, USA, u nás tento typ chybí.

**Vysokoteplotní hydrotermální křemenné žíly a greiseny** obsahují bílý až bezbarvý beryl poměrně vzácně např. ve srovnání s pegmatity. Většinou tvoří nevelké krystaly nebo jejich agregáty zarostlé v křemeni doprovázené např. apatitem. Typické lokality jsou např. v Armorickém masívu ve Francii (Morbihan), Šerlovaja Gora, Sibiř u nás např. Krásno u Horního Slavkova.

**Středněteplotní hydrotermální žíly** s dominantním kalcitem a/nebo křemenem jsou dalším genetickým typem. Vzhledem k odlišnému chemickému složení okolních hornin se výrazně liší složení i barva berylu, takže do této skupiny patří např. kalcitové žíly se smaragdy a minerály vzácných zemin z lokality Muso v Kolumbii nebo křemen-kalcitové žíly s modrým berylem z řady lokalit v Alpách a v Pyrenejích, které často pronikají horninami s hematitem. U nás jsou jedinou podobnou lokalitou Skály u Rýmařova.

**Metamorfované horniny** zahrnují více různých hornin, kde se beryl vyskytuje – např. svory, metabazity a serpentinity. Tyto horniny jsou většinou v asociaci s magmatickými horninami (často pegmatity), které jsou zdrojem Be. V souhlase s chemickým složením hornin, obsahuje beryl často vysoké množství Fe, Mg, ale také Cr a V. Typickými lokalitami jsou především

výskyty smaragdu jako jsou Habachtal, Alpy, Rakousko nebo Tokovaja na Urale. Někdy je doprovázen dalšími minerály Be, např. fenakitem nebo chryzoberylem. Tento typ výskytů berylu u nás dosud chybí.

**Sedimenty** jsou vzhledem k nízké hustotě berylu a jejich časté hydrotermální alteraci méně běžným typem výskytu berylu. Přesto se zde vyskytují v náplavech především drahokamové typy berylu, např. v Nigérii nebo na Srí Lance. Tento typ výskytu berylu není v ČR znám.

## **Další minerály skupiny berylu**

Další minerály skupiny berylu s výjimkou bazzitu jsou mezi sběrateli téměř neznámé. Dílem proto, že jsou velmi vzácné a nejsou sběratelsky dostatečně atraktivní (indialit, stoppanit), ale hlavně proto, že většina z nich byla popsána relativně nedávno (stoppanit, pezzottait).

### **Bazzit $\text{Be}_3\text{Sc}_2\text{Si}_6\text{O}_{18}$**

Ve srovnání s berylem jde o velmi vzácný minerál známý jen z několika málo desítek lokalit na celém světě. Bazzit má většinou jasně modrou barvu, poněkud nižší tvrdost a vyšší hustotu, ale jinak je velmi podobný berylu. Tmavě modré beryly jsou bez detailnějšího studia neodlišitelné. Bazzit se vyskytuje výhradně v pegmatitech vzácných zemin, kde často krystaluje v dutinách. Nejznámější lokalitou je Baveno v Itálii, vyskytuje se také v Königshainu u Görlitz, Německo poblíž našich hranic.

### **Stoppanit $\text{Be}_3\text{Fe}^{3+}_2\text{Si}_6\text{O}_{18}$**

Dosud je znám pouze z jediné lokality v alkalických vulkanických horninách v oblasti Latium poblíž Říma, jde tedy o extrémně vzácný minerál. Jeho vznik vyžaduje vysoce oxidační prostředí a vysokou aktivitu Be a Fe vedle nízké aktivity Al.

### **Pezzottait $\text{CsBe}_2\text{LiAl}_2\text{Si}_6\text{O}_{18}$**

Zcela nově popsán minerál ze skupiny berylu nazvaný podle mineraloga Přírodovědného muzea v Miláně Federica Pezzotty, který tento minerál objevil. Vyskytuje se na několika lokalitách komplexních pegmatitů na Madagaskaru, kde tvoří růžové tabulkovité krystaly až několik cm velké v dutinách pegmatitů, kde bývá doprovázen albitem. Už se stal velmi atraktivním minerálem pro sběratele.

### **Indialit $\text{Al}_3\text{Mg}_2\text{Si}_5\text{AlO}_{18}$**

Indialit je jediný minerál skupiny berylu, který neobsahuje Be nebo jen ve velmi malém množství. Jeho chemické složení odpovídá cordieritu, který je romboický a indialit je jeho

vysokoteplotní modifikací. Vyskytuje se velmi vzácně v kontaktně metamorfovaných horninách např. v Indii, Japonsku nebo na Vesuvu v Itálii.

### Přehled vybraných minerálů Be

Fenakit	$\text{Be}_2 \text{SiO}_4$	trigonální
Euklas	$\text{BeAl SiO}_4 (\text{OH})$	rombický
Chryzoberyl	$\text{BeAl}_2\text{O}_4$	rombický
Hurlbutit	$\text{CaBe}_2(\text{PO}_4)_2$	monoklinický
Skupina gadolinitu	$\text{X}_2\text{Y} [\text{Be}_2\text{Si}_2\text{O}_{10}]$	monoklinický
X = Y, Ce, Yb, Ca		
Y = $\text{Fe}^{3+}$ , Y, vakance		
O = OH		
Skupina helvinu	$\text{A}_4[\text{Be}_3\text{Si}_3\text{O}_{12}] \text{S}$	kubický
A = Mn (helvin), Fe (danalit), Zn (genthelvin)		
Hambergit	$\text{Be}_2 [\text{BO}_3] (\text{OH},\text{F})$	rombický
Čkalovit	$\text{Na}_2\text{BeSi}_2\text{O}_6$	rombický
Melifan	$\text{CaNaBeSi}_2\text{O}_6\text{F}$	tetragonální
Herderit	$\text{CaBe PO}_4 (\text{F},\text{OH})$	monoklinický
Bityit	$\text{CaLiAl}_2\text{AlBeSi}_2\text{O}_{10} (\text{OH})_2$	monoklinický
Bertrandit	$\text{Be}_4[\text{Si}_2\text{O}_7] (\text{OH})_2$	rombický
Milarit	$\text{A}_2\text{B}_2\text{C}[\text{T}(2)_3\text{T}(1)_{12}\text{O}_{30}] \text{H}_2\text{O}$	hexagonální
A = K, Na, Y, REE, Ca		
B = Ca, Y, Na, vakance		
T(2) = Be, Al		
T(1) = Si		
Bavenit	$\text{Ca}_4 [\text{Be}_2\text{Al}_2\text{Si}_9\text{O}_{27}] (\text{OH})$	rombický
Epididymit	$\text{Na}_2[\text{Be}_2\text{Si}_6\text{O}_{15}] \cdot \text{H}_2\text{O}$	rombický

### Geologické prostředí se zvýšenými obsahy minerálů berylia

#### 1. Magmatické

1.1. granitické pegmatity a granity LCT (beryl, chryzoberyl, boráty, fosfáty) a NYF (beryl, fenakit, gadolinit, bazzit)

- 1.2. alkalické pegmatity (čkalovit, melifan, epididymit)
- 1.3. vulkanické horniny (beryl, stoppanit)
- 1.4. ryolitové tufy (bertrandit)
2. Hydrotermální a metasomatické
  - 2.1. greiseny (beryl, euklas)
  - 2.2. skarny (helvin, danalit)
3. Metamorfované
  - 3.1. svory, ruly, metabazity (beryl, fenakit, chryzoberyl)
  - 3.2. alpská parageneze (milarit, euklas)
4. Pozdní produkty hydrotermální (sekundární) alterace primárních minerálů (bertrandit, bavenit, milarit).

### **Vznik minerálů Be v různých geologických prostředích**

Minerály Be lze rozdělit geneticky do několika skupin:

- primární (magmatické, metamorfní)
- hydrotermální (vzniklé z fluid)
- sekundární (vzniklé pozdní hydrotermální alterací primárních minerálů vzniklých při magmatických, hydrotermálních popř. metamorfních procesech)

Tab. 1. Minerály Be v granitických pegmatitech

Tab. 2. Produkty alterace berylu v pegmatitech

Obr. 4. Produkty alterace berylu v pegmatitech

Pořadí minerálů podle rostoucí alkalinity:

bertrandit, euklas, fenakit → bertrandit, bavenit → bavenit, milarit, bityit → epididymit

Obr. 5. PTX-diagram stability asociace chryzoberyl+křemen

Obr. 6. Fázové vztahy v systému BASH