

# Mineralogický systém

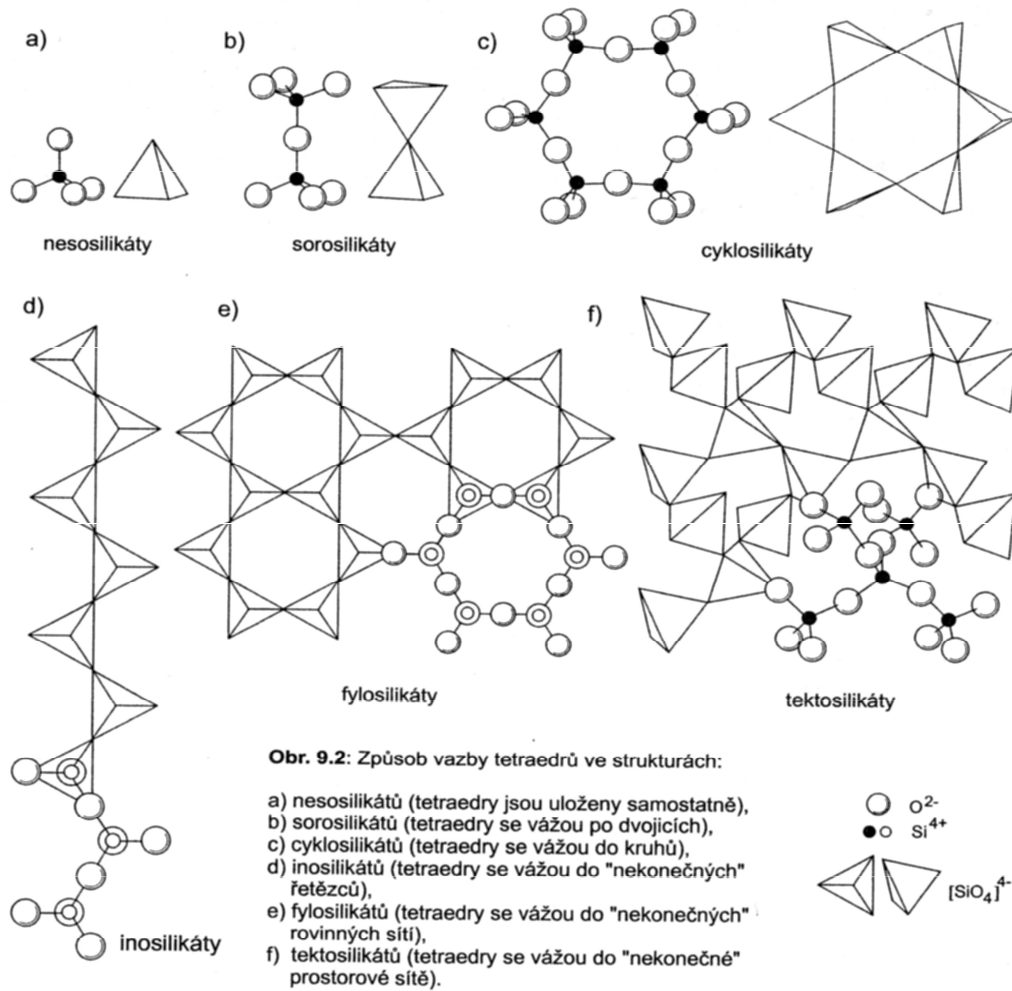
**Prof. RNDr. Milan Novák, CSc.**

## **Amfiboly**

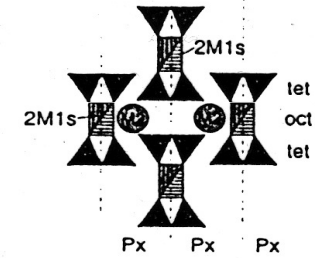
**Osnova přednášky:**

- 1. Strukturní a chemický základ pro klasifikaci silikátů**
- 2. Inosilikáty – amfiboly**
- 3. Klasifikace amfibolů**
- 4. Shrnutí**

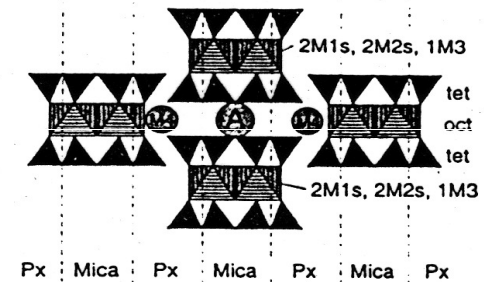
# 1. Silikáty - klasifikace



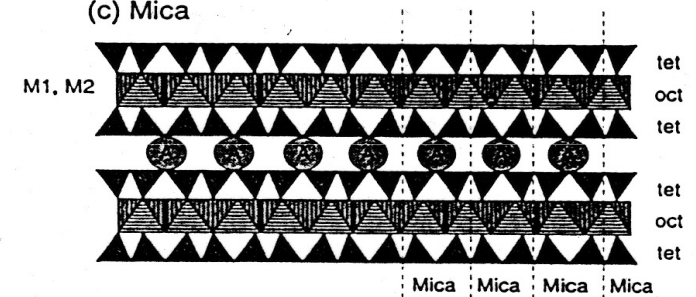
(a) Pyroxene



(b) Amphibole



(c) Mica



## 2. Inosilikáty - Skupina amfibolů

**Obecný vzorec:  $AB_2C_5T_8O_{22} (OH,F)_2$**

**XII<sub>A</sub> = Na, K, vakance**

**VIII<sub>B</sub> = Ca, Mg, Fe<sup>2+</sup>, Mn**

**Na, Li**

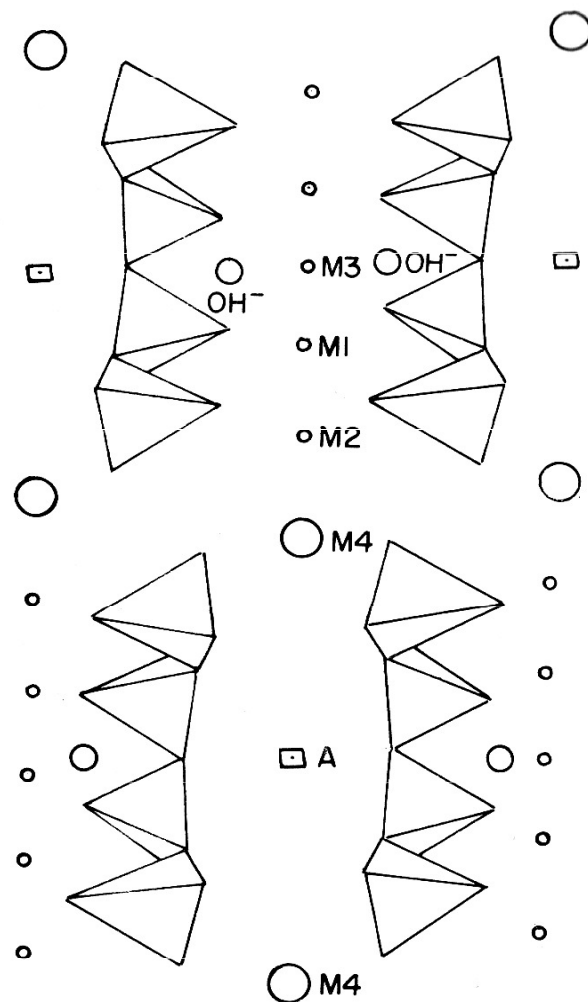
**VI<sub>C</sub> = Mg, Fe<sup>2+</sup>, Mn**

**Al, Fe<sup>3+</sup>**

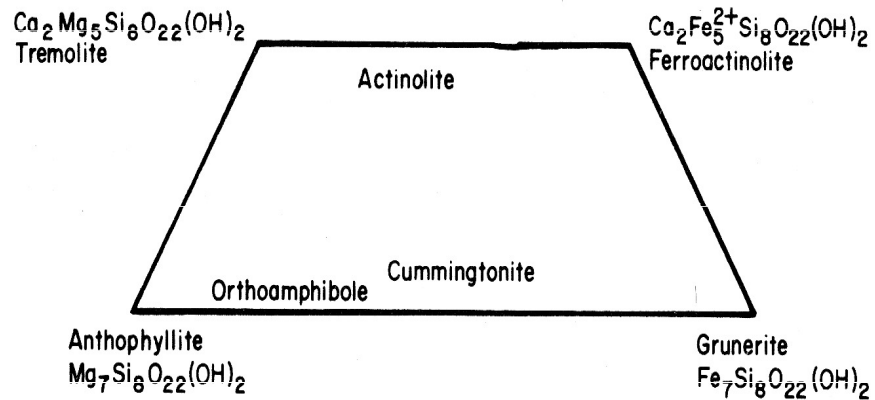
**Li**

**IV<sub>T</sub> = Si, Al**

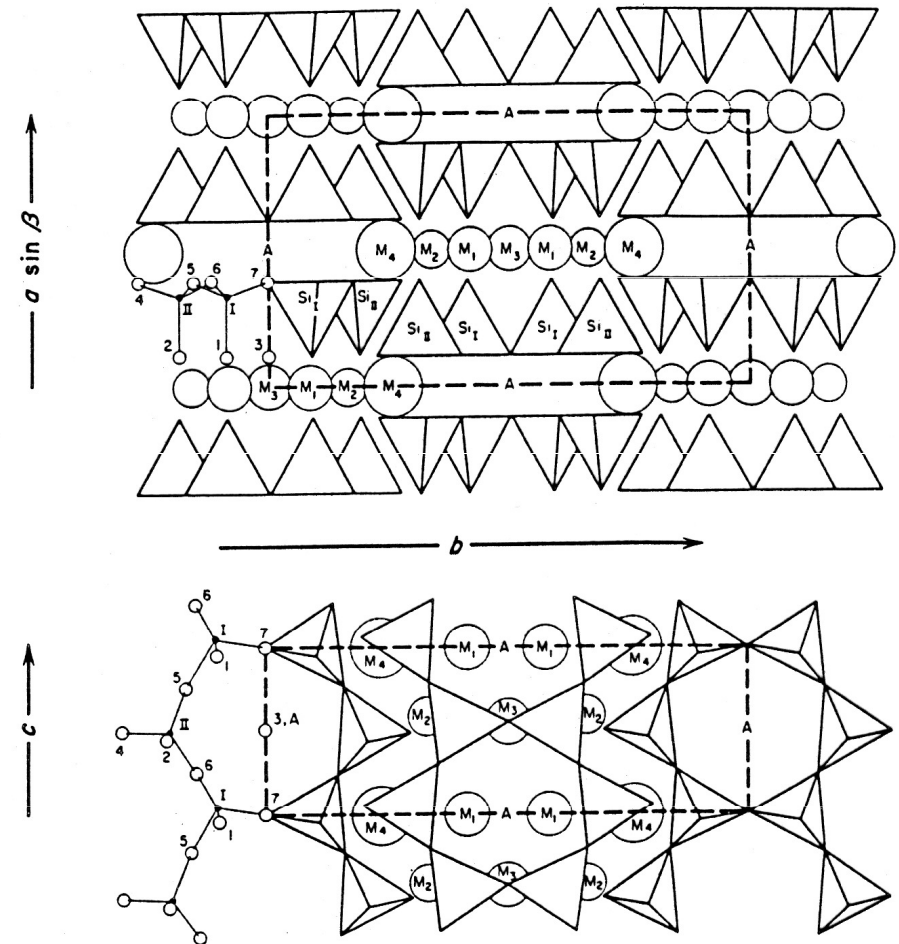
**W = OH, F, Cl, O**



## 2. Inosilikáty - Skupina amfibolů



Podobně jako u pyroxenů je omezená mísitelnost mezi oběma skupinami





## 2. Inosilikáty - Skupina amfibolů

Summary of site assignments and stoichiometric constraints				
Site and Occupancy	Cation*	Stoichiometric Limit	Correction	
			Minimum	Maximum
T-site	Si	Si ≤ 8	8Si	8SiAl
	Al	ΣAl ≥ 8		
	Ti			
C-site	Cr			
	Fe <sup>3+</sup>			
	Mg			
	Ni			
	Zn			
B-site	Fe <sup>2+</sup>			
	Mn	ΣMn ≥ 13	13eCNK	
	Ca	ΣCa ≤ 15		
	Na	ΣNa ≥ 15		
K	ΣK ≤ 16			
A-site	□		16CAT	

\* cations arranged according to increasing ionic radius (smallest, Si to largest, K)

Σ = cation subtotal (e.g. ΣMn = sum of all cations from Si through Mn in the list)

□ = vacancy at the A-site

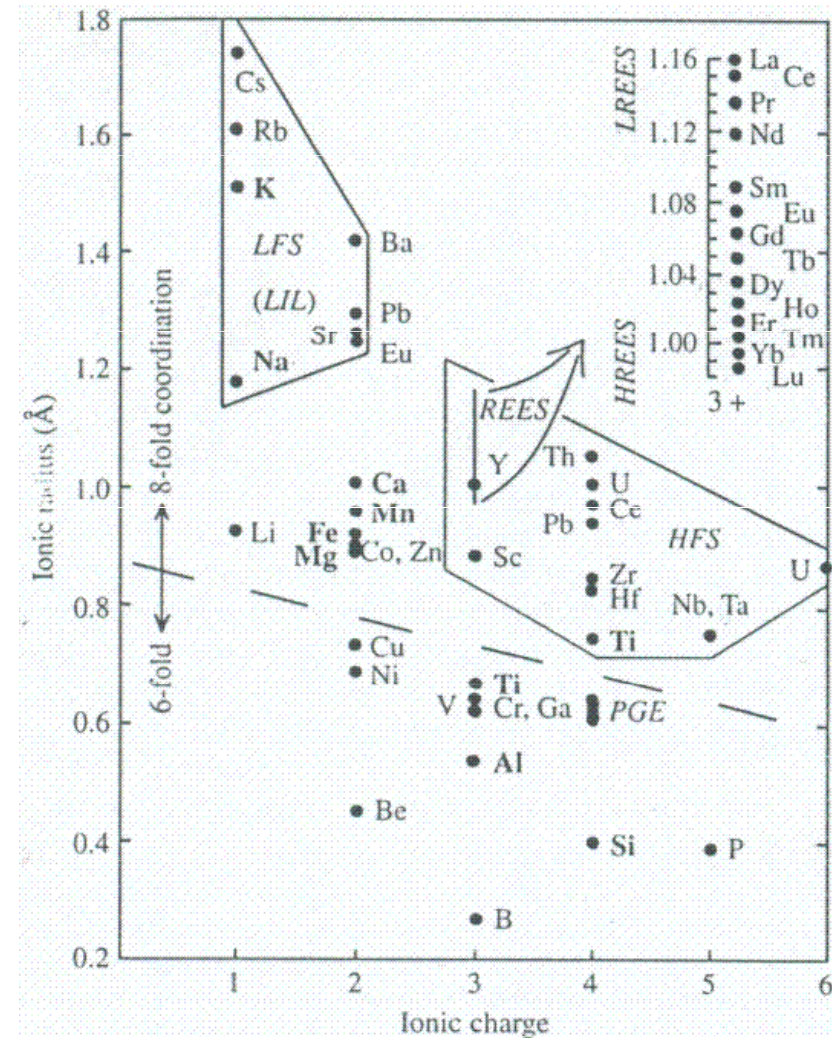


FIG. A-1. Summary of ideal site-assignments, limits of various cation subtotals, and the type of correction (minimum or maximum) that can be obtained by calculating the formulae to these stoichiometric limits (after J.C. Schumacher 1991). Abbreviations of normalizations: 8Si: normalized such that total Si = 8; 8SiAl: normalized such that total Si + Al = 8; 13eCNK: normalized such that the sum of the cations Si through Mn (*i.e.*, all cations exclusive of Ca, Na, K) = 13; 15eNK: normalized such that the sum of the cations Si through Ca (*i.e.*, all cations exclusive of Na, K) = 15; 16CAT: normalized such that the sum of all cations = 16 (see also Robinson *et al.* 1982, p. 6-12).

## 2. Inosilikáty - Skupina amfibolů

### Hlavní minerály

rombické

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

monoklinické

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

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

obecný amfibol

pargasit  $\text{NaCa}_2\text{Mg}_4\text{AlSi}_6\text{Al}_2\text{O}_{22}(\text{OH})_2$

glaukofan  $\text{Na}_2\text{Mg}_3\text{Al}_2\text{Si}_8\text{O}_{22}(\text{OH})_2$



Vláknitý amfibol

Tyto minerály uvažují pouze Mg, u všech lze Mg nahradit  $\text{Fe}^{2+}$ .

## 2. Inosilikáty - Skupina amfibolů

### Vlastnosti:

barva kolísá podle chemického složení

Amfiboly chudé Fe (tremolit)

bezbarvý, bílý, šedý, žlutý, hnědý

Amfiboly bohaté Fe (aktinolit, amfibol)

tmavě zelený až černý

$t = 5-6$ ,  $h = 3-3,5$ , štěpnost výborná,  $120^\circ$

Amfiboly jsou velmi často pleochroické a mnohem výrazněji než pyroxeny.

Často tvoří stébelnaté, jehlicovité až vláknité agregáty, štěpnost amfibolů je viditelně dokonalejší než u pyroxenů.

Amfiboly jsou středně odolné alteracím a zvětrávání, často jsou zatlačovány slídami, chlority.

Výskyty magmatické a metamorfované horniny kůry, většinou chudé  $\text{SiO}_2$ .

V plášti se vyskytuje jen zcela výjimečně.

Využití: chemické složení amfibolů je indikátorem PT podmínek vzniku a složení mateřských hornin.



**Amfibol čedičový**



**Amfibol, Vlastějovice**



## 2. Inosilikáty - Skupina amfibolů

### Výskyty:

**magmatické a metamorfované horniny pláště a kůry, méně často hydrotermální a výjimečně vzniká authigenně.**

**Antofylit – ultrabazické horniny, často s olivínem a pyropem (Věžná, Ruda nad Moravou)**

**Tremolit – hlavně mramory a Mg-skarny (Pernštejn, Vlastějovice), pyroxenové ruly, v dioritech**

**Aktinolit – typický minerály metabazitů metamorfovaných ve středním stupni facie zelených břidlic)**

**Obecný amfibol – běžný minerál magmatických i metamorfovaných hornin**

**Pargasit - běžný minerál magmatických i metamorfovaných hornin (více Na)**

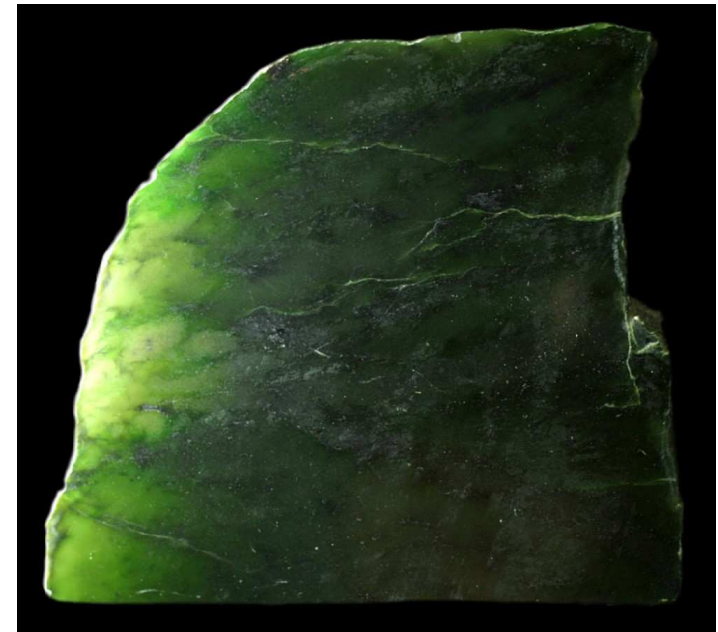
**Čedičový amfibol – hlavně ve vulkanických horninách (Č. středohoří)**

**Glaukofan – typický minerál hornin vznikajících v metamorfovaných horninách za velmi vysokého tlaku ale relativně nízkých teplot**

**Richterit – minerál z alkalických hornin (magmatických i metamorfovaných)**

**Arfvedsonit – minerál magmatických alkalických hornin**

**Holmquistit – amfibol z kontaktů Li-bohatých pegmatitů**



**Nefrit – varieta aktinolitu**

## 2. Inosilikáty - Skupina amfibolů

Klasifikace amfibolů (Leake et al. 1997) a vybrané amfiboly (pouze s Mg)

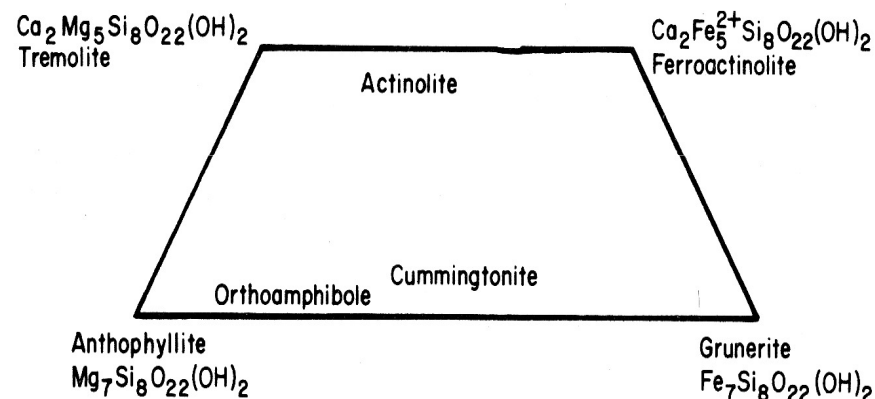
<b>Mg-Fe-Mn-Li amfiboly A</b>		<b>B</b>	<b>C</b>	<b>T</b>		
Antofylit		Mg <sub>2</sub>	Mg <sub>5</sub>	Si <sub>8</sub>	O <sub>22</sub>	(OH) <sub>2</sub>
Gedrit		Mg <sub>2</sub>	Mg <sub>3</sub> Al <sub>2</sub>	Si <sub>6</sub> Al <sub>2</sub>	O <sub>22</sub>	(OH) <sub>2</sub>
Holmquistit		Li <sub>2</sub>	Mg <sub>3</sub> Al <sub>2</sub>	Si <sub>8</sub>	O <sub>22</sub>	(OH) <sub>2</sub>
<b>Ca amfiboly</b>						
Tremolit		Ca <sub>2</sub>	Mg <sub>5</sub>	Si <sub>8</sub>	O <sub>22</sub>	(OH) <sub>2</sub>
Magnesiohornblend		Ca <sub>2</sub>	Mg <sub>4</sub> Al	Si <sub>7</sub> Al	O <sub>22</sub>	(OH) <sub>2</sub>
Aluminotschermakit		Ca <sub>2</sub>	Mg <sub>3</sub> Al <sub>2</sub>	Si <sub>6</sub> Al <sub>2</sub>	O <sub>22</sub>	(OH) <sub>2</sub>
Edenit	Na	Ca <sub>2</sub>	Mg <sub>5</sub>	Si <sub>7</sub> Al	O <sub>22</sub>	(OH) <sub>2</sub>
Pargasit	Na	Ca <sub>2</sub>	Mg <sub>4</sub> Al	Si <sub>6</sub> Al <sub>2</sub>	O <sub>22</sub>	(OH) <sub>2</sub>
Kaersutit	Na	Ca <sub>2</sub>	Mg <sub>4</sub> Ti	Si <sub>6</sub> Al <sub>2</sub>	O <sub>22</sub>	(OH) <sub>2</sub>
<b>Na-Ca amfiboly (často s Fe<sup>3+</sup>)</b>						
Richterit	Na	NaCa	Mg <sub>5</sub>	Si <sub>8</sub>	O <sub>22</sub>	(OH) <sub>2</sub>
Magnesiokatoforit	Na	NaCa	Mg <sub>4</sub> Al	Si <sub>7</sub> Al	O <sub>22</sub>	(OH) <sub>2</sub>
Winchit		NaCa	Mg <sub>4</sub> Al	Si <sub>8</sub>	O <sub>22</sub>	(OH) <sub>2</sub>
Aluminobarroisit		NaCa	Mg <sub>3</sub> Al <sub>2</sub>	Si <sub>7</sub> Al	O <sub>22</sub>	(OH) <sub>2</sub>
<b>Na amfiboly (často s Fe<sup>3+</sup>)</b>						
Glaukofan		Na <sub>2</sub>	Mg <sub>3</sub> Al <sub>2</sub>	Si <sub>8</sub>	O <sub>22</sub>	(OH) <sub>2</sub>
Magnesioarfvedsonit	Na	Na <sub>2</sub>	Mg <sub>3</sub> AlFe <sup>3+</sup>	Si <sub>7</sub> Al	O <sub>22</sub>	(OH) <sub>2</sub>
Leakeit	Na	Na <sub>2</sub>	Mg <sub>3</sub> Fe <sup>3+</sup> Li	Si <sub>8</sub>	O <sub>22</sub>	(OH) <sub>2</sub>

## 2. Inosilikáty - Skupina amfibolů

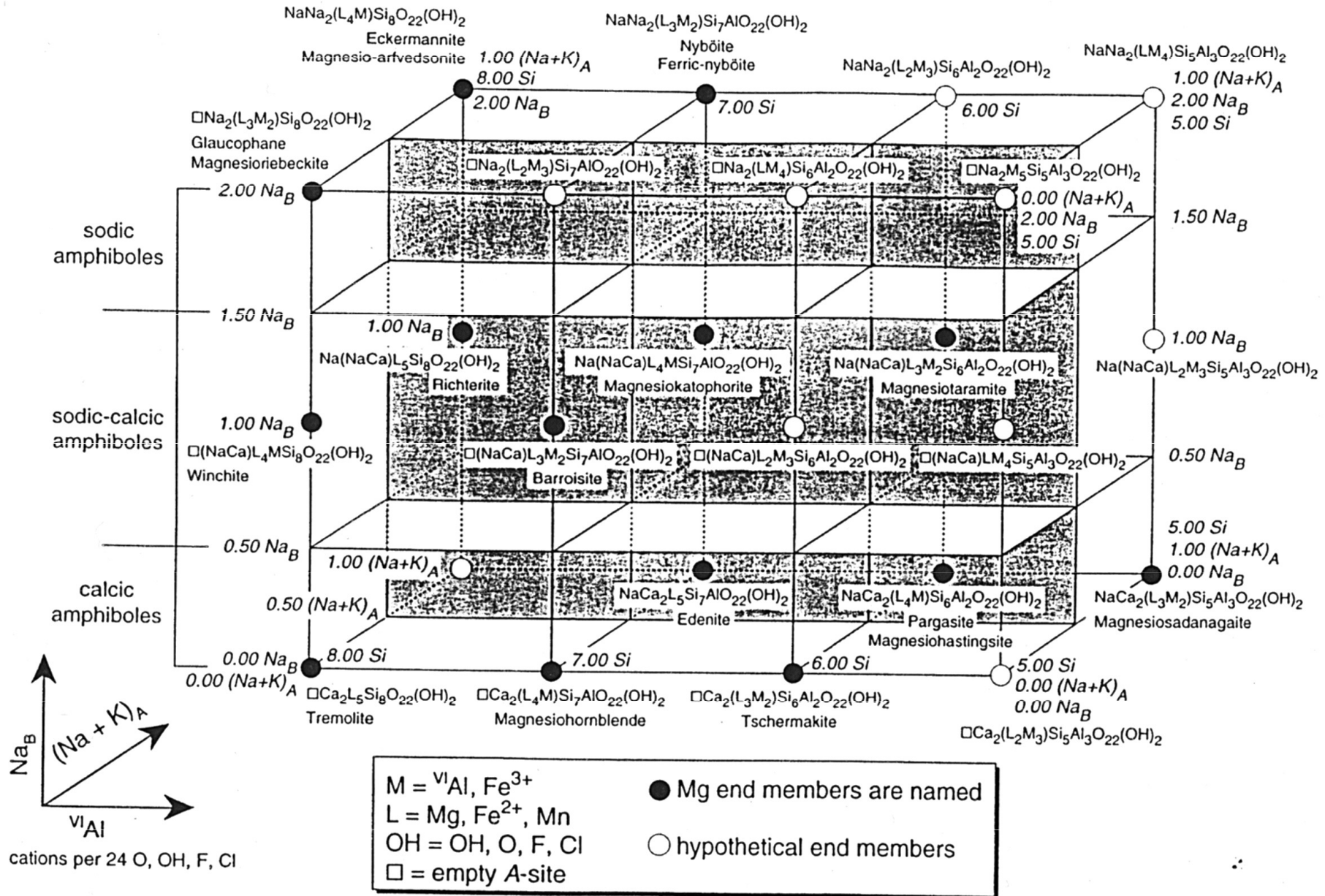
základní substituční vektory (odvozené od tremolitu)

(1)	${}^{\text{VI}}\text{Al}^{\text{IV}}\text{Al}$	$\text{Mg}_{-1}\text{Si}_{-1}$	tremolit-tschermakit (magnesiohornblend)
(2)	${}^{\text{B}}\text{Na}^{\text{VI}}\text{Al}_2^{\text{IV}}\text{Al}$	$\text{Ca}_{-1}\text{Mg}_{-2}\text{Si}_{-1}$	tremolit - barroisit
(3)	${}^{\text{B}}\text{Na}^{\text{VI}}\text{Al}$	$\text{Ca}_{-1}\text{Mg}_{-1}$	tremolit - glaukofan (winchit)
(4)	${}^{\text{A}}\text{Na}^{\text{VI}}\text{Al}_2^{\text{IV}}\text{Al}_3$	${}_{-1}\text{Mg}_{-2}\text{Si}_{-3}$	tremolit - magnesiosadanagait
(5)	${}^{\text{A}}\text{Na}^{\text{VI}}\text{Al}_2^{\text{IV}}\text{Al}$	${}_{-1}\text{Mg}_{-2}\text{Si}_{-3}$	tremolit - pargasit
(6)	${}^{\text{A}}\text{Na}^{\text{IV}}\text{Al}$	${}_{-1}\text{Si}_{-1}$	tremolit - edenit
(7)	${}^{\text{A}}\text{Na}^{\text{B}}\text{Na}^{\text{VI}}\text{Al}^{\text{IV}}\text{Al}$	${}_{-1}\text{Ca}_{-1}\text{Mg}_{-1}\text{Si}_{-1}$	tremolit - magnesiokatoforit
(8)	${}^{\text{A}}\text{Na}^{\text{B}}\text{Na}$	${}_{-1}\text{Ca}_{-1}$	tremolit – richterit

Mísitelnost mezi jednotlivými amfiboly je různá, od úplné - tremolit-ferrotremolit po velmi omezené – tremolit-antofylit



# 2. Inosilikáty - Skupina amfibolů



## 2. Inosilikáty - Skupina amfibolů

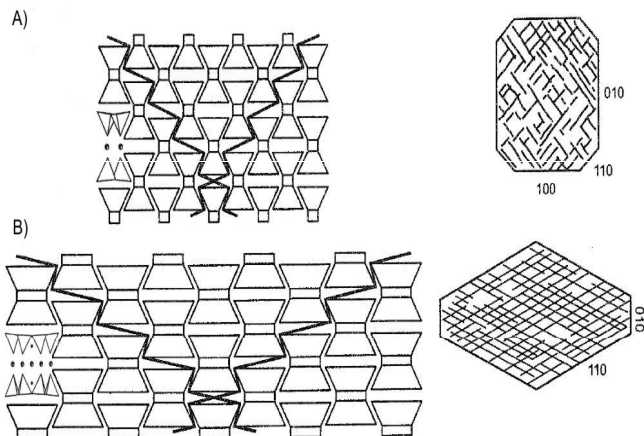
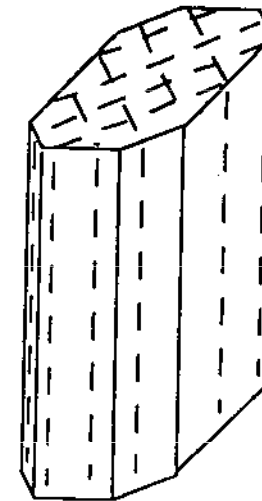
Table 4-2. Table of common exchange vectors encountered in rock forming minerals.

Exchange vector	Mineral groups in which it occurs	Example	Notes
$\text{KNa}_{.1}$	feldspars, feldspathoids, micas, amphiboles(minor)	$\text{KAlSi}_3\text{O}_8$ - $\text{NaAlSi}_3\text{O}_8$ (orthoclase-albite)	There are well defined solvuses along this exchange in all mineral groups.
$\text{FeMg}_{.1}$	olivine, pyroxene, amphibole, micas, talc, garnet, chlorite, serpentine, staurolite, chloritoid, cordierite, carbonates, etc.	$\text{Fe}_2\text{SiO}_4$ - $\text{Mg}_2\text{SiO}_4$ fayalite-forsterite	Extremely common. Occurs in all major Fe-Mg silicates between numerous end members. Very nearly ideal solution.
$\text{FeMn}_{.1}$	Same mineral groups as $\text{FeMg}_{.1}$ , especially in garnet	$\text{Fe}_3\text{Al}_2\text{Si}_3\text{O}_{12}$ - $\text{Mn}_3\text{Al}_2\text{Si}_3\text{O}_{12}$ almandine-spessartine	Very common in Mn-rich rocks. Nearly ideal solution.
$\text{CaMg}_{.1}$	olivine (minor), pyroxene, amphibole, garnet, carbonates	$\text{Ca}_3\text{Al}_2\text{Si}_3\text{O}_{12}$ - $\text{Mg}_3\text{Al}_2\text{Si}_3\text{O}_{12}$ grossularite-pyropo	Common in most mineral groups. Large solvus is well documented in most groups.
$\text{CaFe}_{.1}$	Same groups as $\text{CaMg}_{.1}$	$\text{CaFeSi}_2\text{O}_6$ - $\text{Fe}_2\text{Si}_2\text{O}_6$ hedenbergite-ferrosilite	A solvus occurs along this vector, but not as large (at the same T) as in $\text{CaMg}_{.1}$ .
$\text{Fe}^{3+}\text{Al}_{.1}$	zoisite, epidote, garnet, pyroxene, amphibole, spinel	$\text{Ca}_2\text{Al}_2\text{Si}_3\text{O}_{12}(\text{OH})$ - $\text{Ca}_2\text{AlFe}_2^{3+}\text{Si}_3\text{O}_{12}(\text{OH})$ clinozoisite-pistacite	Very likely a miscibility gap along this vector in epidote, certain garnets and possibly other minerals.
$\text{Cr}^{3+}\text{Al}_{.1}$	garnet, spinel	$\text{MgCr}_2\text{O}_4$ - $\text{MgAl}_2\text{O}_4$ chromite-spinel	
$\text{F}(\text{OH})_{.1}$ $\text{Cl}(\text{OH})_{.1}$	micas, amphiboles, talc, topaz, etc.	$\text{Mg}_3\text{Si}_4\text{O}_{10}(\text{F})_2$ - $\text{Mg}_3\text{Si}_4\text{O}_{10}(\text{OH})$ fluorotalc-talc	Occurs in F- or Cl-rich environments. Monitor of fluid composition (F fractionates into solids, Cl into fluid)
$\text{Al}^{\text{VI}}\text{Al}^{\text{IV}}\text{Mg}_{.1}\text{Si}_{.1}$ (Tschermak exchange)	pyroxene, amphibole, mica, talc, chlorite, serpentine, etc.	$\text{CaAlAlSiO}_6$ - $\text{CaMgSi}_2\text{O}_6$ "Cats" - diopside	The dominant Al substitution mechanism in most silicates. Probably non-ideal.
$\text{NaAl}^{\text{VI}}\text{O}_{.1}\text{Si}_{.1}$ (edenite exchange)	amphibole, mica	$\text{NaCa}_2\text{Mg}_5\text{AlSi}_7\text{O}_{22}(\text{OH})_2$ - $\text{Ca}_2\text{Mg}_5\text{Si}_8\text{O}_{22}(\text{OH})_2$ edenite-tremolite	Vacancy substitution mechanism. Generally involves alkali site in amphibole or mica.
$\text{NaSiCa}_{.1}\text{Al}^{\text{IV}}_{.1}$ (plagioclase exchange)	plagioclase, pyroxene, amphibole, mica jadeite-"Cats"	$\text{NaAlSi}_3\text{O}_8$ - $\text{CaAl}_2\text{Si}_2\text{O}_6$ plagioclase	Highly non-ideal. Numerous miscibility gaps along this exchange. NaSi is favored at high P over CaAl.
$\text{NaAl}^{\text{VI}}\text{Ca}_{.1}\text{Mg}_{.1}$ (jadeite or glaucophane exchange)	pyroxenes, amphiboles	$\text{NaAlSi}_2\text{O}_6$ - $\text{CaMgSi}_2\text{O}_6$ jadeite-diopside	Non-ideal. NaAl favored at high P.
$\text{TiAl}_2^{\text{VI}}\text{Mg}_{.1}\text{Si}_{.2}$ (titanium-tschermaks)	pyroxenes, micas, amphiboles, etc.	$\text{CaTiAl}_2\text{O}_6$ - $\text{CaMgSi}_2\text{O}_6$ Ti-tschermaks-diopside	A dominant Ti-substitution mechanism in silicates.
$\text{TiFe}^{2+}\text{Fe}_{.2}^{3+}$	oxides, amphiboles, micas, etc.	$\text{FeTiO}_3$ - $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ilmenite-hematite	Dominant Ti substitution in oxides.



## 2. Inosilikáty - Skupina amfibolu

**Vztah štěpnosti a krystalové struktury u pyroxenů a amfibolů.**



**Obr. 9.4.2:** Štěpnost pyroxenů (A) a amfibolů (B). Na obr. a) je schematické znázornění struktur s vyznačeným průběhem štěpnosti mezi řetězci, na obr. b) jsou průřezy krystalů s naznačenými štěpnými plochami a úhly mezi nimi. Projekce ve všech případech na (001) (řetězce probíhají kolmo k nákresně)

**Amfibol ve výbruse**

## 2. Inosilikáty - Skupina amfíbolů



**Tremolit**



**Antofylit, Heřmanov**



## 2. Inosilikáty - Skupina amfibolů



**Tremolit, Olešnice**



**Aktinolit, Sobotín**

## 2. Inosilikáty - Skupina amfibolů



Aktinolit



Richterit



## 2. Inosilikáty - Skupina amfibolů

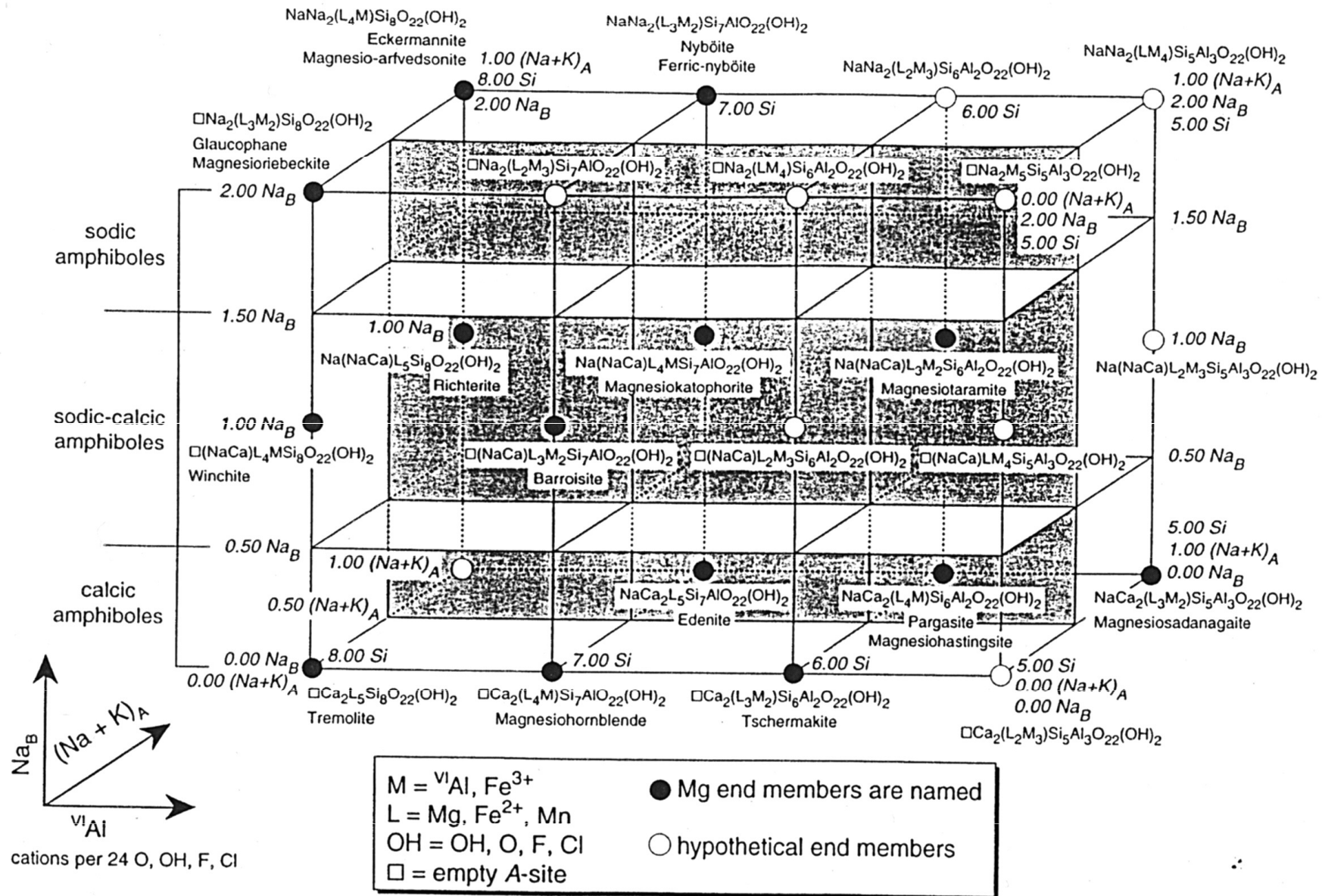


Glaukofan



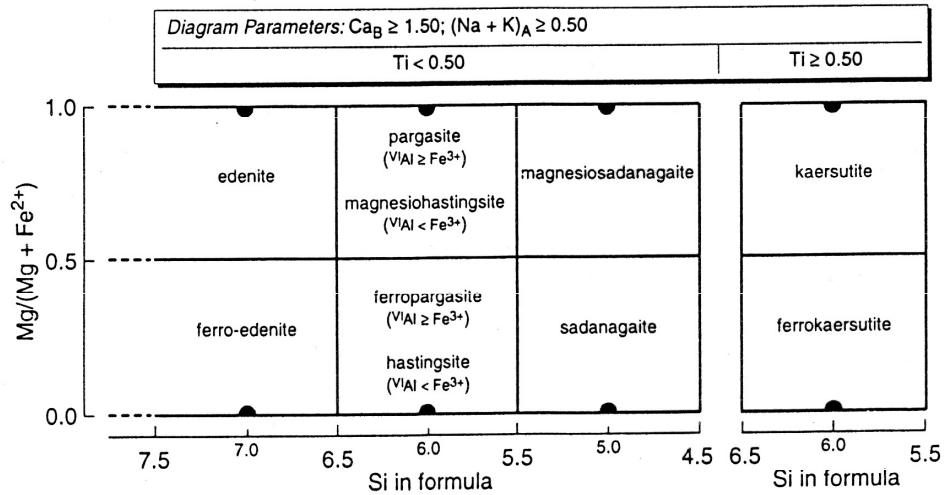
Arfvedsonit

# 3. Klasifikace amfibolů

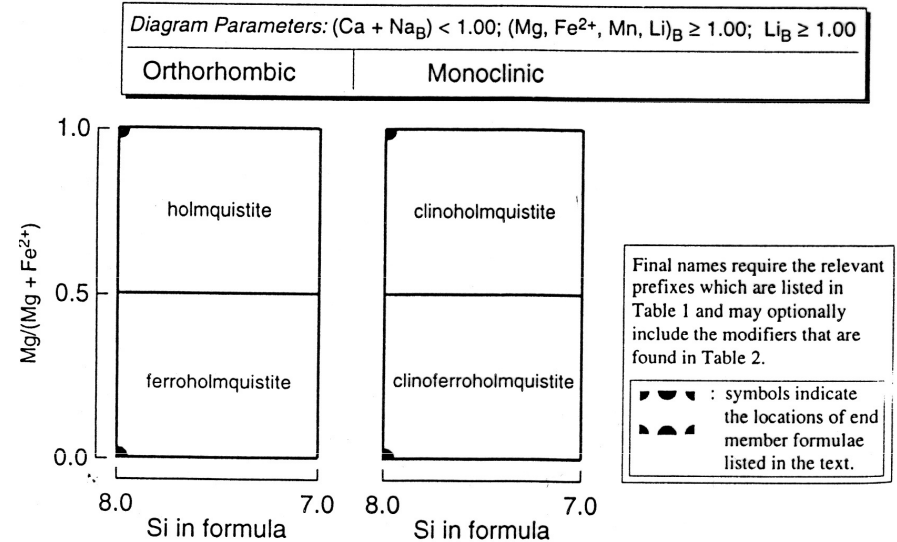
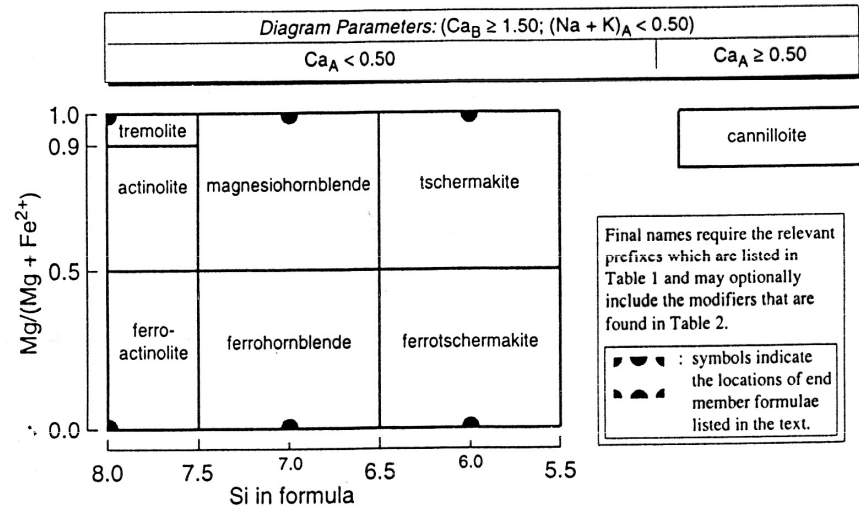
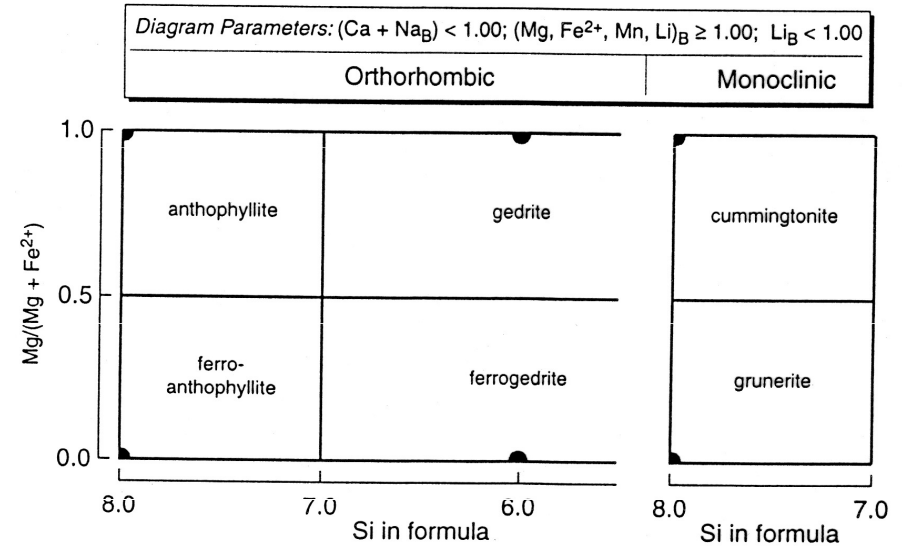


# 3. Klasifikace amfibolů

calcic amphiboles



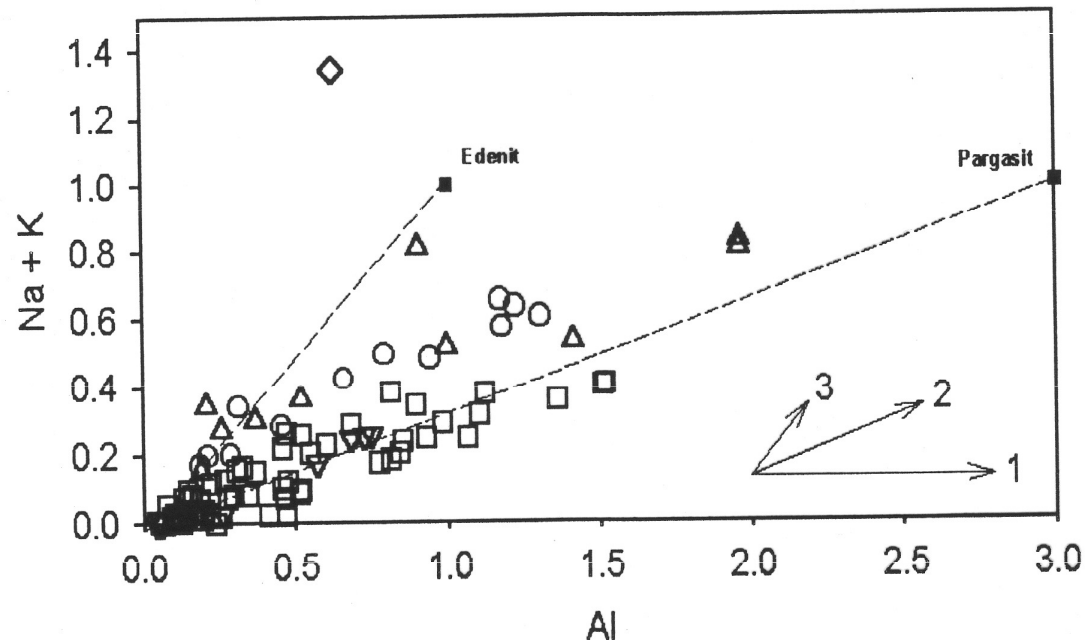
Mg-Fe-Mn-Li amphiboles



## 4. Souhrn amfiboly

**Klasifikace amfibolů je nesmírně komplikovaný problém a momentálně platná klasifikace (Leake et al. 1997) je přepracována zhruba ve stejném duchu.**

**Hlavním problémem ale je, že klasifikace amfibolu není cílem naší práce ale jen prostředkem, jak se dopracovat rozumných geologických závěrů. Mnohem důležitější jsou v tomto smyslu ale substituční mechanismy.**





## **4. Souhrn amfiboly**

- 1. Tato přednáška zahrnuje poněkud pokročilejší přehled hlavních minerálů ze skupiny amfibolů.**
- 2. Jsou uvedeny hlavní substituce, v amfibolech už výrazně převládají heterovalentní nad homovalentními.**
- 3. Barva kolísá podle obsahu Fe (Mn), minerály s výraznou převahou Mg nad Fe (Mn) jsou bezbarvé, světle žluté nebo světle zelené, minerály bez Mg a Fe mají různé ale většinou světlé barvy. Minerály s vysokým obsahem Fe jsou tmavé – černé, červenofialové nebo hnědé.**
- 4. Všechny amfiboly (až na naprosté výjimky) obsahují H<sub>2</sub>O jako skupinu OH ale navíc také F a někdy i Cl.**
- 5. Téměř všechny amfiboly vznikají za teplot a tlaků relativně nižších ve srovnání s pyroxeny podobného složení většinou ve magmatických a metamorfovaných horninách. Amfiboly ale najdeme i v hydrotermálních systémech.**