

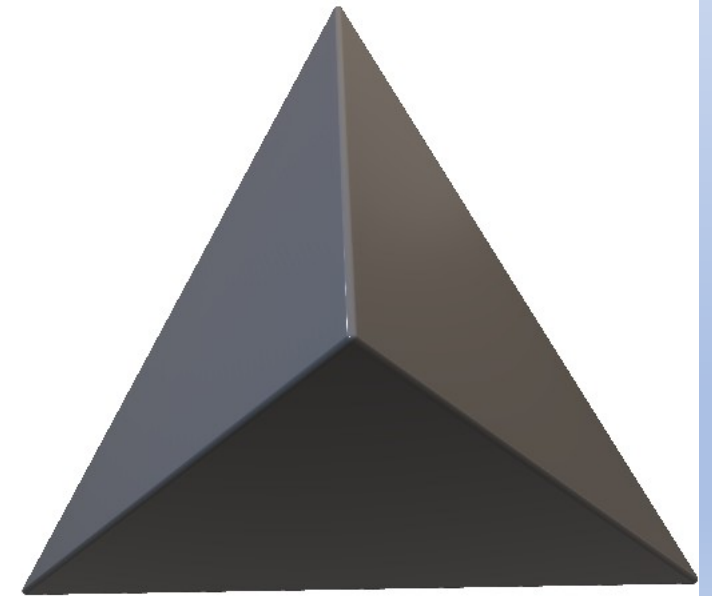
SILIKÁTY III

Fylosilikáty + Tektosilikáty

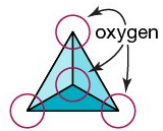
Mineralogie I

Úvod

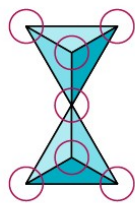
- Silikáty = největší a nejdůležitější skupina minerálů.
- Strukturu silikátů tvoří tetraedry $[\text{SiO}_4]^{4-}$ (příp. tetraedry $[\text{AlO}_4]^{5-}$) + kationty kovů (např. Ca, Fe, Mg, Al, Na), které jsou umístěny ve středu strukturních polyedrů.
- Podle uspořádání SiO_4 tetraedrů se dělí na:
 - Nesosilikáty – tetraedry izolované
 - Sorosilikáty – dva spojené tetraedry
 - Cyklosilikáty – tetraedry spojené do cyklů
 - Inosilikáty – tetraedry spojené do řetězců
 - **Fylosilikáty – tetraedry spojené v ploše**
 - **Tektosilikáty – tetraedry tvořící prostorovou kos**



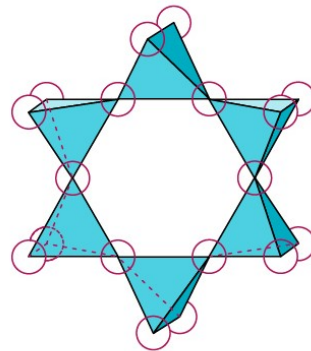
Nesosilicates



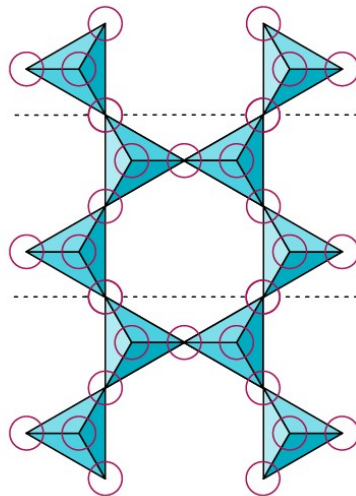
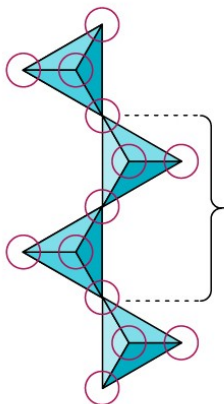
Sorosilicates



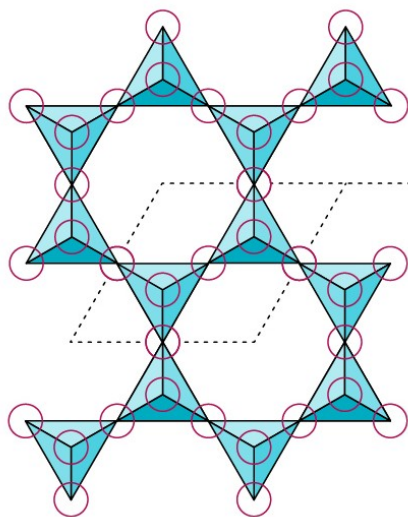
Cyclosilicates



Inosilicates (single chain)

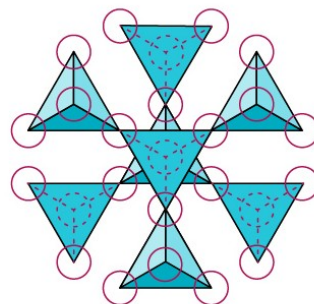


Inosilicates (double chain)

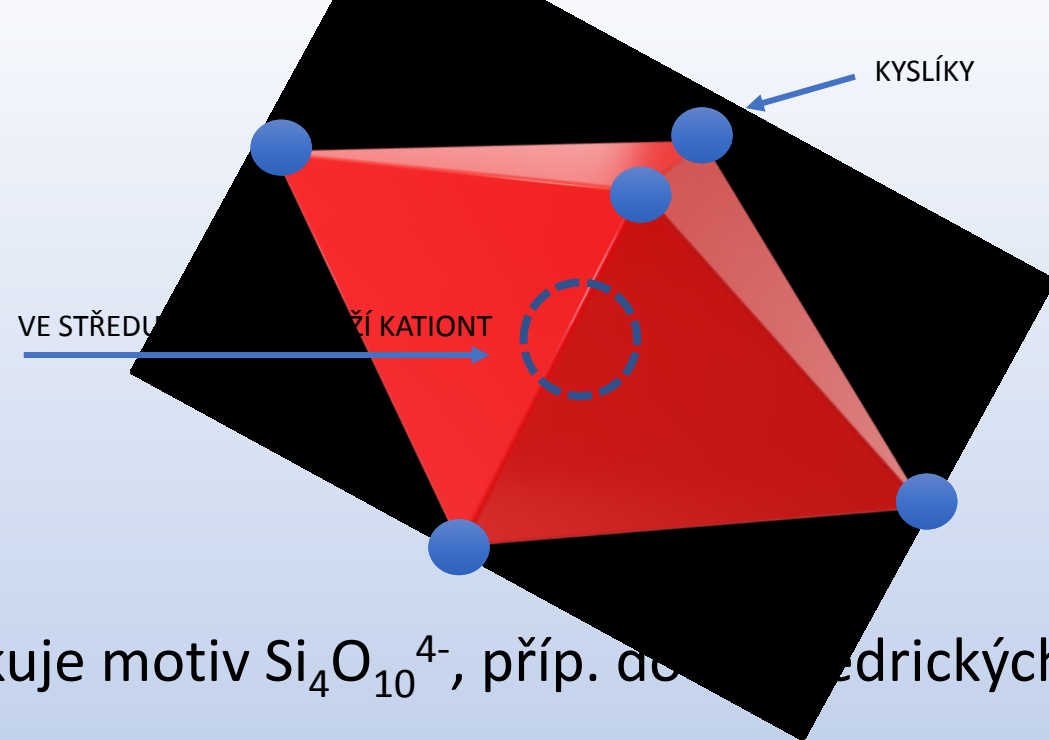


Phyllosilicates

Tectosilicates



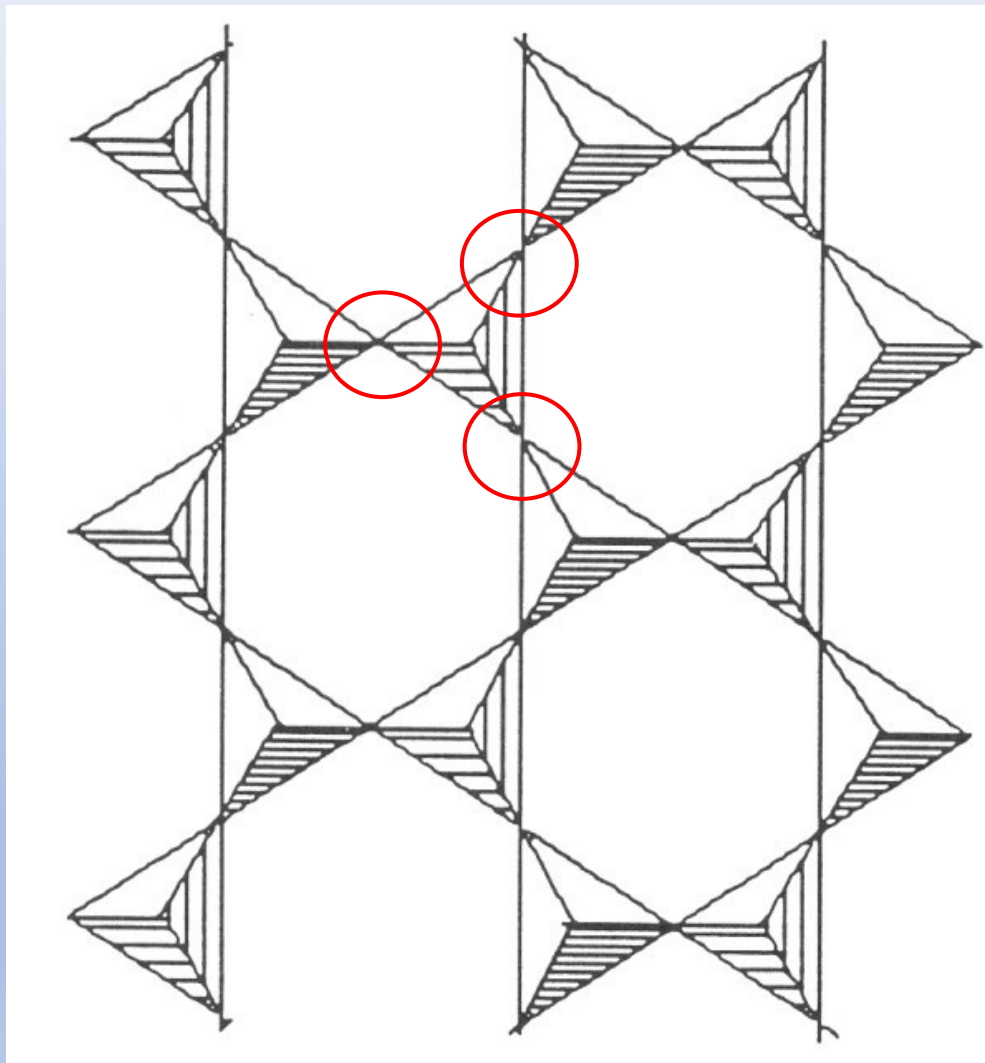
Fylosilikáty - struktura



- Struktura fylosilikátů se skládá z:

- **tetraedrické vrstvy**, kdy se periodicky opakuje motiv $\text{Si}_4\text{O}_{10}^{4-}$, příp. do tetraedrických pozic může vstupovat i Al $\rightarrow (\text{Si}_3\text{Al})\text{O}_{10}^{3-}$
 - SiO_4 tetraedry jsou propojeny třemi vrcholy do nekonečných rovinných sítí s hexagonální nebo pseudohexagonální symetrií (čtvrtý vrchol tetraedru směřuje kolmo nad rovinu sítě).
- **oktaedrické vrstvy**, ve které jsou jednotlivé oktaedry propojeny nejen vrcholy, ale i polovinou hran
 - jednotlivé oktaedry jsou uloženy plochami kolmo k [001] \rightarrow vznik horní a dolní vrstvy aniontů kyslíku (každá vrstva je složená ze 3 aniontů) a mezi nimi leží vrstva kationtů, nejčastěji Al, Fe a Mg

PROPOJENÍ TETRAEDRŮ SiO_4



Fylosilikáty – struktura » střídání vrstev

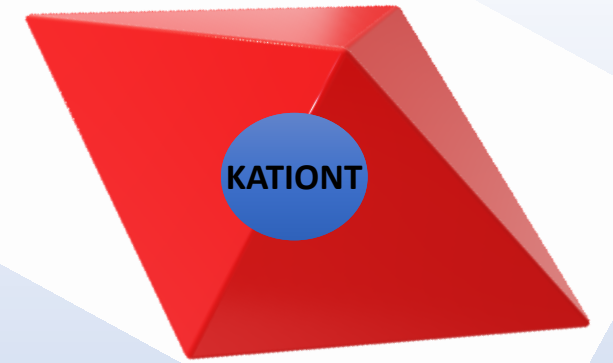
- **DVOJVRSTEVNÉ STRUKTURY (T-O)**

- tetraedrická a oktaedrická vrstva je spojená apikálními kyslíky
- vzácnější, např. kaolinit a serpentín

- **TROJVRSTEVNÉ STRUKTURY (T-O-T)**

- oktaedrická vrstva je sevřená mezi dvěma tetraedrickými vrstvami → tetraedrické vrstvy jsou připojeny k oktaedrické opět apikálními kyslíky
- častější, např. slídy, chlority, smektity

Fylosilikáty – struktura » oktaedrická vrstva



- Na základě valence kationtů uvnitř oktaedrické vrstvy dělíme dvojvrstevné a trojvrstevné struktury dále na:

- **TRIOKTAEDRICKÉ VRSTVY**

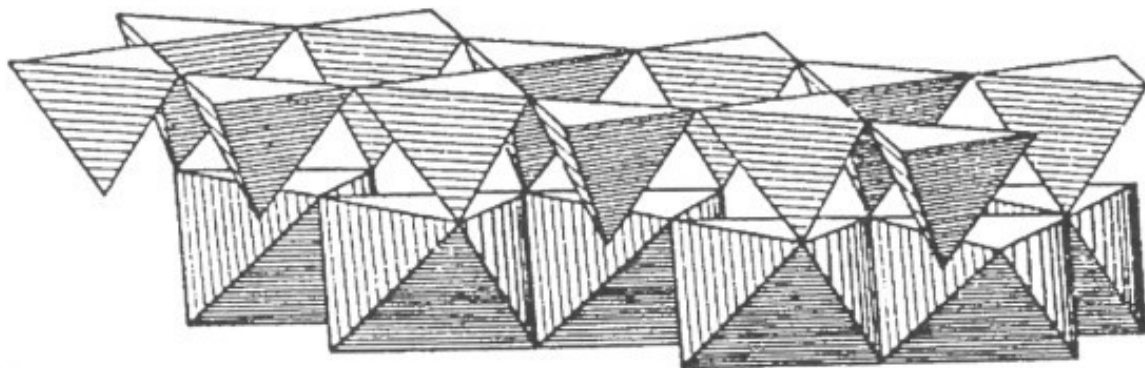
- vrstva je tvořená dvojmocnými kationty (Mg^{2+} , Fe^{2+}), které obsazují všechny oktaedrické pozice → tzv. brucitová vrstva
- např. biotit

- **DIOKTAEDRICKÉ VRSTVY**

- vrstva je tvořená trojmocnými kationty (Al^{3+} , Fe^{3+}), které obsazují 2 ze 3 oktaedrických pozic (třetí je vakantní) → tzv. gibbsitová vrstva
- např. muskovit

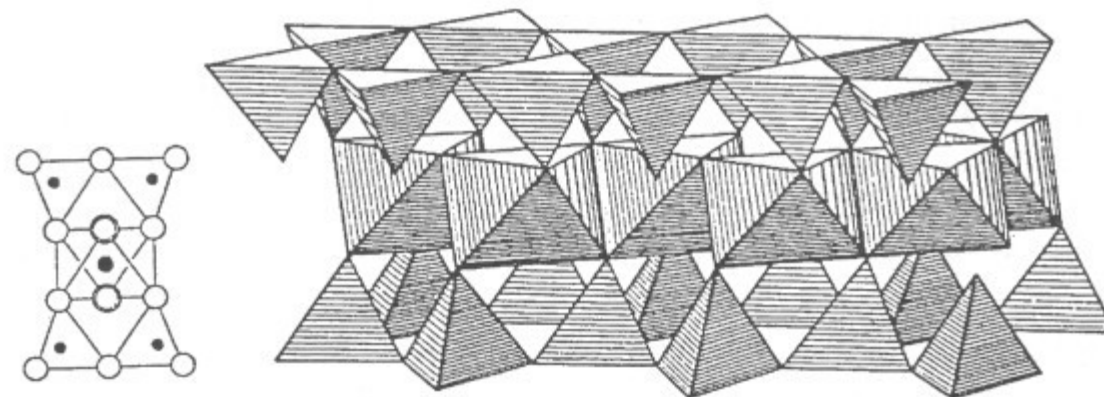
Fylosilikáty - struktura

DVOJVRSTEVNÁ STRUKTURA T-O



http://mineralogie.sci.muni.cz/kap_7_13_fylosil/obrazek713_10.htm

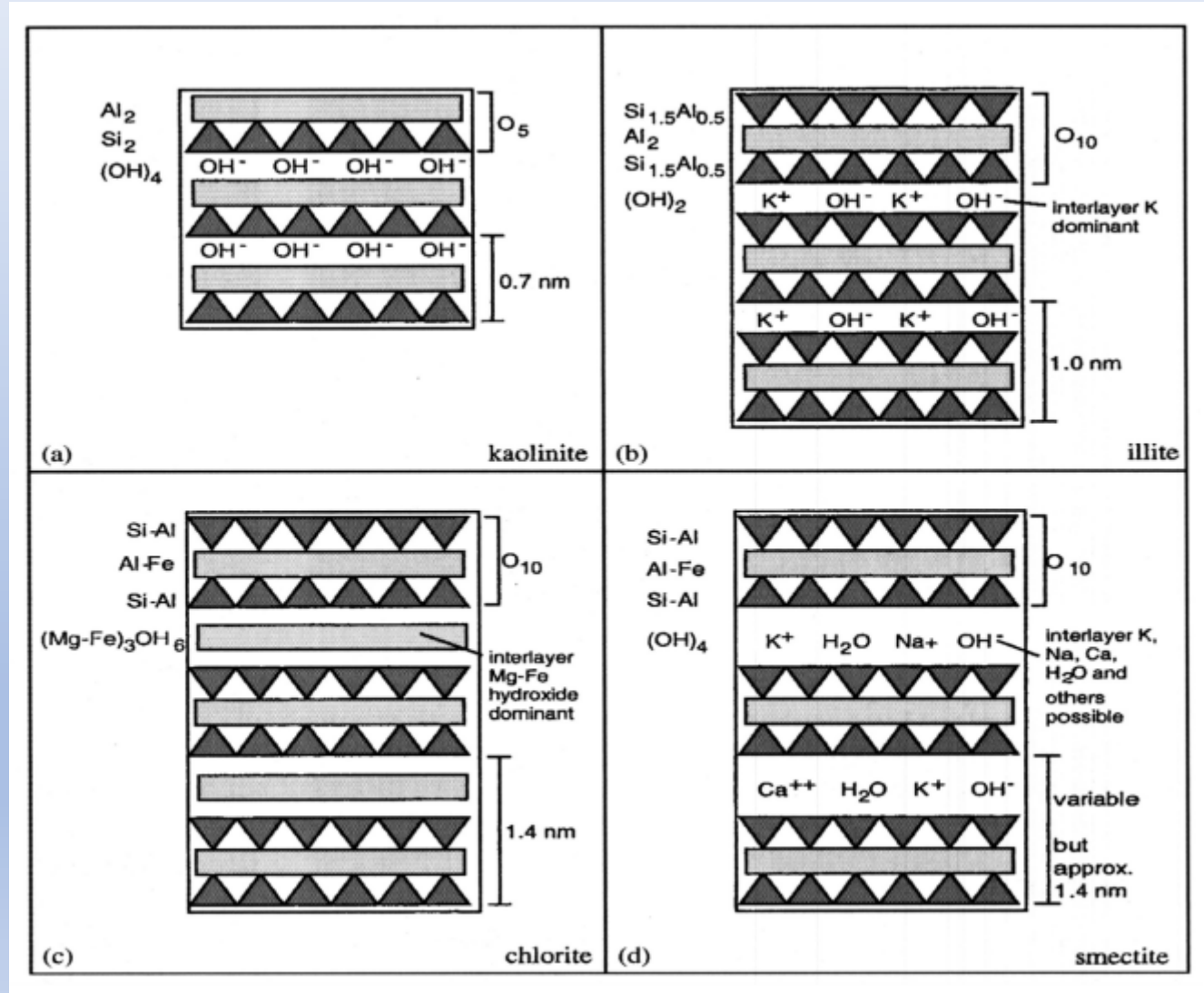
TROJVRSTEVNÁ STRUKTURA T-O-T



http://mineralogie.sci.muni.cz/kap_7_13_fylosil/obrazek713_11.htm

Fylosilikáty – hlavní skupiny

- Skupina slíd
- Skupina kaolinitu a serpentinu
- Skupina chloritů
- Skupina smektitů
- Skupina mastku a pyrofylitu



Fylosilikáty – skupina slíd

Obecný vzorec:	$I M_3 T_4 O_{10} (OH, F)_2$
----------------	------------------------------

I = K, Na, Ca

M = Mg, Fe²⁺, Li, Al, Fe³⁺

Další prvky: Ba, B, Mn, Zn

Lepidolit	Zinnwaldit
-----------	------------



Trilithionit (Li+Al)	Siderofylit (Fe+Al)
----------------------	---------------------

+

+

Polyolithionit (Li+Al)	Polyolithionit (Li+Al)
------------------------	------------------------

Minerály		
Muskovit	$KAl_2(Si_3Al)O_{10}(OH)_2$	
Illit	$K_{0.7}Al_2(Si_3Al)O_{10}(OH)_2$	
BIOTIT	Annit	$KFe_3(Si_3Al)O_{10}(OH, F)_2$
	Flogopit	$KMg_3(Si_3Al)O_{10}(OH, F)_2$
Lepidolit	$K(Li, Al)_3(Si_3Al)O_{10}(OH, F)_2$	
Zinnwaldit	$K(Li, Al, Fe)_3(Si_3Al)O_{10}(OH, F)_2$	
Margarit	$CaAl_2(Si_2Al_2)O_{10}(OH)_2$	
Glaukonit	$K(Fe, Al, Mg)_2 (AlSi_3O_{10}) (OH)_2$	

Fylosilikáty – skupina slíd

Vlastnosti	
Barva	bezbarvá, nazelenalá, narůžovělá (muskovit, illit), hnědá (flogopit), černá (annit), fialová, růžová až nazelenalá (lepidolit), zelená-žlutozelená (glaukonit)
Soustava	monoklinická
Lesk	perleťový
Tvrдость	2.5-4
Hustota	2.5-3.4
Substituce	ideálně mísitelné Mn-Fe ²⁺ -Mg, Al-Fe ³⁺ , Si-Al, K-Na
Slídy jsou výborně ŠTĚPNÉ podle 001.	
Krystaly jsou lupenité až tabulkovité. Lupínky jsou typicky pružné a elastické. Agregáty lupenité až jemně zrnité. Glaukonit tvoří kulatá-oválná zrna.	

Sericit – velmi jemnozrnná forma muskovitu vznikající typicky při hydrotermální alteraci či slabé metamorfóze → **SERICITIZACE**.

Fylosilikáty – skupina slíd

Výskyty	
Velmi rozšířené horninotvorné minerály vyskytující se napříč celým spektrem různých typů hornin.	
Muskovit	Kyselé magmatické a metamorfované horniny (granit, pegmatit, svory, fylity), částečně i v sedimentech.
Illit	Velmi častý v sedimentech, běžně se vyskytuje s kaolinitem.
Biotit	Magmatické a metamorfované horniny (granodiorit, diorit, syenit, pegmatit, svory, ruly). V sedimentech moc ne – biotit je poměrně nestabilní a rychle podléhá zvětrávání (přeměňuje se na chlority, vermikulit, atd.).
Lepidolit	Výhradně pegmatity bohaté Li (typová lokalita Rožná).
Zinnwaldit	Typicky greiseny, Sn-W zrudnění i pegmatity.
Glaukonit	Velmi typický pro klastické mořské (může mít i nemořský původ) sedimenty (pískovce) jako akcesorický minerál.

Fylosilikáty – muskovit



Lokalita: Dolní Bory, foto: Lukáš Křesina



Lokalita: Pegmatit u Golčova Jeníkova, foto: Tomáš Kadlec



Lokalita: Lhenice

Fylosilikáty – biotit



Lokalita: Dolní Třebonín, foto: Jakub Jirásek



Lokalita: Heřmanov, foto: Jakub Jirásek



Lepidolit. Lokalita: Lhenice



Lepidolit. Lokalita: Dolní Bory, foto: Lukáš Křesina



Masivní lepidolit s mikroklinem. Lokalita: Skuleboda, foto: Ch. Ottesen



Zinnwaldit. Lokalita: Krupka, foto: Petr Fuchs



Glaukonit. Lokalita: Goslar District, foto: D. Harries



Glaukonit. Lokalita: Bovenste Bosch Quarry, foto: G. van der Veldt

Fylosilikáty – skupina chloritů

Obecný vzorec: $A_{6-8}Z_4O_{10}(OH,O)_8$

A = Mg, Fe²⁺, Fe³⁺, Al, Li

Z = Si, Al, B

Další prvky: Mn, Ni, Cr

Minerály

klinochlor	$(Mg_5Al)(Si_3Al)O_{10}(OH)_8$
chamosit	$(Fe_5Al)(Si_3Al)O_{10}(OH)_8$

Výskyty

Chlority jsou typické pro nízce metamorfované horniny (chloritické břidlice, serpetinit), vyskytují se i v sedimentárních horninách a hydrotermálních žilách (alpská parageneze).

Vlastnosti

Barva	různé odstíny zelené až černá
Soustava	monoklinická
Lesk	skelný/perleťový
Tvrдость	2.5-3.5
Hustota	2.5-3.5

Chlority jsou výborně ŠTĚPNÉ podle 001.

Krystaly tabulkovité. Nejčastěji se vyskytují v podobě jemně lupenitých agregátů. Lupínky jsou na rozdíl od slíd křehké.

Chlority nejsou příliš odolné vůči zvětrávání a hydrotermálním alteracím, ale sami jsou velmi často produktem těchto alterací, např. chloritizace biotitu, amfibolu atd.

Fylosilikáty – skupina chloritů



Epidot, prehnit, klinochlor – kamenolom Stříbrná Skalice. Sběr a foto T. Kadlec.



Chlorit. Lokalita: Venezuela. Foto: Charlie Smith..

Fylosilikáty – skupina kaolinitu a serpentinu

Obecný vzorec: $M_{4-6}Z_4O_{10}(OH)_8 \cdot nH_2O$

M = Al, Fe²⁺, Fe³⁺, Mg, vakance

Z = Si, Al, Fe³⁺

Minerály	
kaolinit	$Al_4Si_4O_{10}(OH)_8$
serpentin	$Mg_6Si_4O_{10}(OH)_8$

Serpentin je všeobecný název pro hořečnaté hydratované fylosilikáty, nejběžnější je antigorit, chryzotil, příp. lizardit.

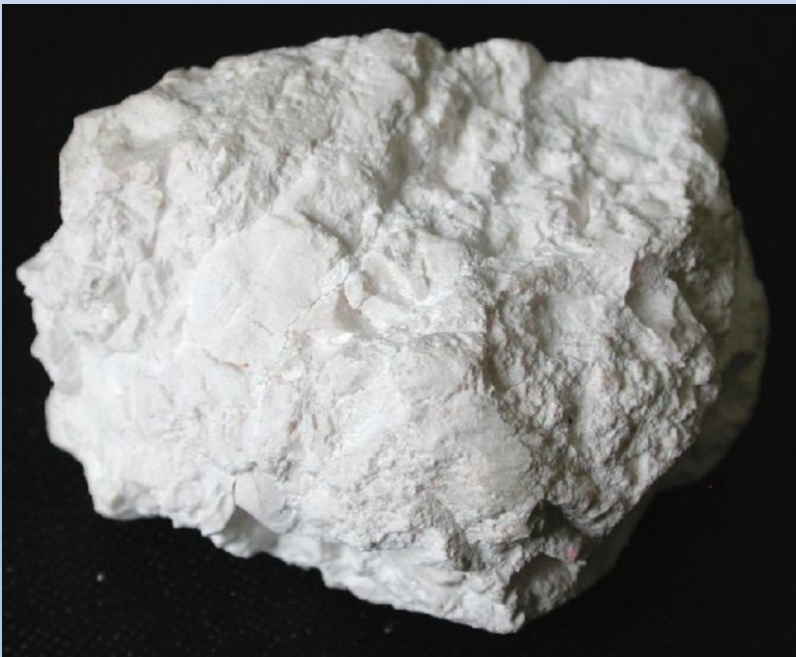
Vlastnosti	
Barva	kaolinit: bílá, nažloutlá, hnědavá serpentin: různé odstíny zelené
Soustava	monoklinická: antigorit, chryzotil triklinická: kaolinit, lizardit
Lesk	mastný až skelný: antigorit hedvábný: chryzotil matný: kaolinit, lizardit
Tvrdost	1.5-4
Hustota	cca 2.5

Minerály této skupiny jsou výborně ŠTĚPNÉ podle 001.

Kaolinit tvoří mikroskopicky destičkovité až šupinkaté krystaly, agregáty celistvé. Ve vlhku je plastický. Antigorit tvoří nejčastěji lupenité agregáty, chryzotil vláknité až tence jehlicovité agregáty.

Fylosilikáty – skupina kaolinitu a serpentinu

Výskyty	
Kaolinit	Vznik zvětráváním žilců nejčastěji v granitech nebo arkózách, běžný v sedimentech.
Serpentin	Vznik hydrotermální alterací olivínu nebo hořečnatých pyroxenů v ultrabazických horninách.



Kaolinit. Lokalita: Milos Island. Foto: Triantafillos Soldatos.



Antigorit. Lokalita: Tinos. Foto: Christopher O'Neill.

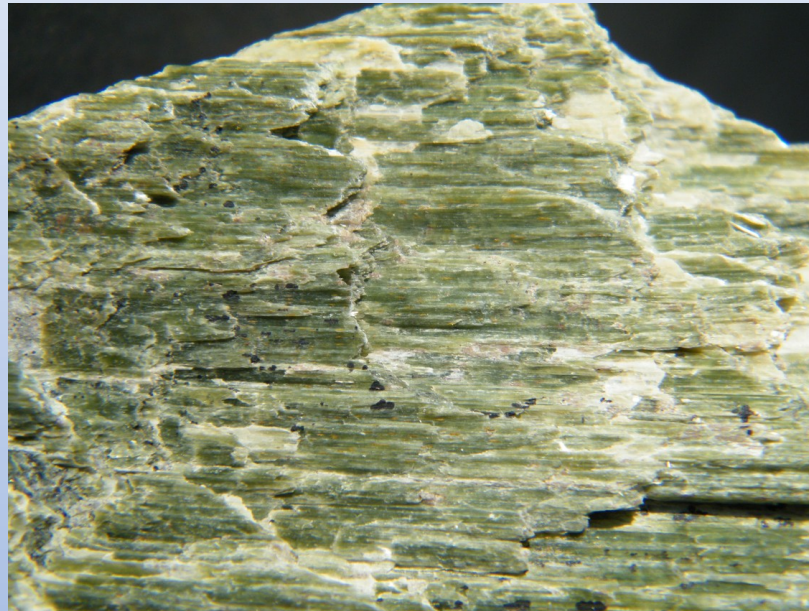


Chryzotil. Lokalita: Cassiar Mine. Foto: Jakub Jirásek.

Fylosilikáty – skupina kaolinitu a serpentinu



Kaolinit. Lokalita: Walton baryte mine. Foto: R. Van Dommelen.



Antigorit. Lokalita: Ropes Gold mine.



Chryzotil. Lokalita: Tuva. Foto: B. Z. Kantor.

Fylosilikáty – skupina smektitů

Důležitá skupina minerálů, která tvoří podstatnou část tzv. **jílových minerálů**. Bentonit = jílovitá hornina s vysokým podílem smektitů.

Minerály

montmorillonit	$(\text{Na,Ca})_{0.3}(\text{Al,Mg})_2\text{Si}_4\text{O}_{10}(\text{OH})_2 \cdot n\text{H}_2\text{O}$
nontronit	$\text{Na}_{0.3}(\text{Fe}^{3+})_2\text{Si}_4\text{O}_{10}(\text{OH})_2 \cdot n\text{H}_2\text{O}$

Výskyty

Běžná součást jílových sedimentů. Vznik zvětráváním tufitických hornin a vulkanických skel, případně i serpentinitů.

Vlastnosti

Barva	světlá s různými odstíny, zelenožlutá (nontronit)
Soustava	monoklinická
Lesk	matný, zemitý
Tvrдость	1-2
Hustota	1.7-2.7

Minerály jsou výborně ŠTĚPNÉ podle 001.

Tvoří jemně zrnité, celistvé, zemité agregáty.

Typickým znakem je schopnost absorbovat do struktury různé látky.

Fylosilikáty – skupina smektitů



Lokalita: Bodai-Machi. Foto: Alfredo Petrov.



Lokalita: Füledugo Quarry. Foto: Tamás Ungváry.

Fylosilikáty – skupina mastku a pyrofylitu

Minerály	
Mastek	$\text{Mg}_3\text{Si}_4\text{O}_{10}(\text{OH})_2$
Pyrofylit	$\text{Al}_2\text{Si}_4\text{O}_{10}(\text{OH})_2$

Výskyt
Vznik během nízkého stupně metamorfózy (mastková břidlice), hydrotermální alterace ultrabazik (serpentinitů) nebo při zvětrávání. Pyrofylit vzniká i jako produkt vysokoteplotní alterace živců.

Vlastnosti	
Barva	bílá, šedá, nažloutlá, nazelenalá
Soustava	mastek: monoklinická pyrofylit: triklinická
Lesk	mastek: mastný až perleťový pyrofylit: perleťový
Tvrдость	mastek: 1 pyrofylit: 1.5-2
Hustota	2.8
Oba minerály jsou výborně ŠTĚPNÉ podle 001.	
Krystaly mastku jsou tenké tabulkovité, ale tvoří se vzácně. Většinou celistvé, šupinkaté nebo jemně zrnité agregáty. Pyrofylit tvoří tabulkovité krystaly a zrnité, lupenité příp. vláknité agregáty.	

Fylosilikáty – skupina mastku a pyrofylitu



Mstek. Lokalita: Múranska dlhá lúka. Foto: Rob Lavinsky.



Mstek. Lokalita: Kohútik u Jeřavy. Foto: J. Jirásek.



Mstek. Lokalita: Vernířovice

Fylosilikáty – skupina mastku a pyrofylitu



Pyrofyilit. Lokalita: St. Niklaus. Foto: Ch. Creekmur.



Pyrofyilit. Lokalita: Graves Mountain. Foto: P. Cristofono.

Tektosilikáty - struktura

- SiO_4 tetraedry vytváří prostorovou kostru – všechny jsou vzájemně propojeny apikálními kyslíky.
- U některých tektosilikátů dochází ke vzniku poměrně velkých dutin ve struktuře, které jsou obsazovány komplexy hydratovaných kationtů (např. zeolity).
- Skupina živců
- Skupina foidů
- Skupina zeolitů

Tektosilikáty – živce

Obecný vzorec: $AT_1(T_2)_3O_8$

A = Na, K, Ca

T_1 = Al

T_2 = Si, Al

Další prvky: Ba, Rb, Cs, Sr, Pb, P



Hyalofan. Lokalita:
Zagradski Potok Mine.
Foto: K. Nash

Minerály – alkalické živce

Sanidin	$(K,Na)AlSi_3O_8$
Ortoklas	$KAlSi_3O_8$
Mikroklin	$KAlSi_3O_8$

Minerály – sodnovápenaté živce (plagioklasy)

Albit	$NaAlSi_3O_8$
Anortit	$CaAl_2Si_2O_8$
albit-oligoklas-andezin-labradorit-bytownit-anortit	

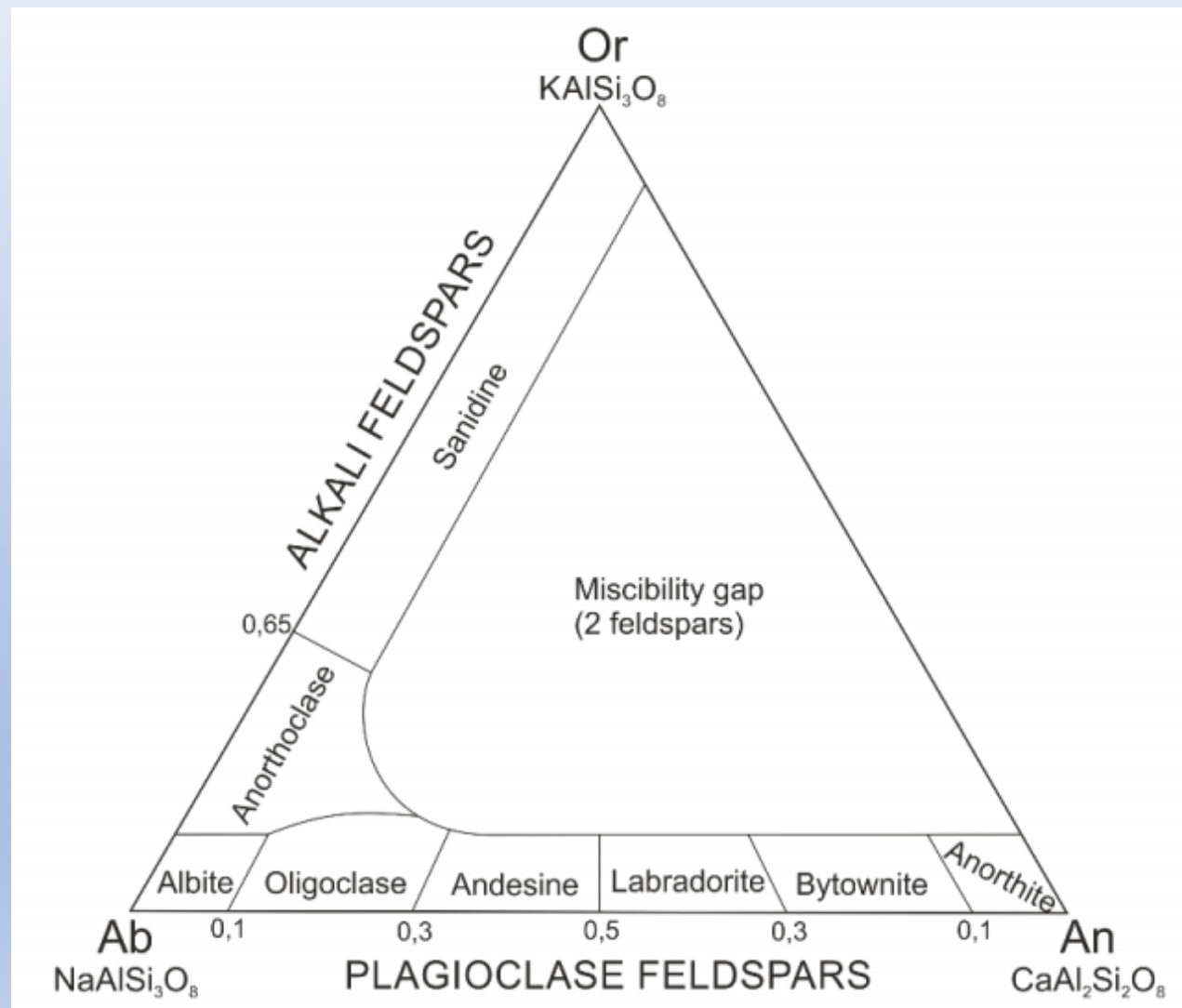
Minerály – barnaté živce

Celsian	$BaAl_2Si_2O_8$
Hyalofan	$(K,Ba)AlSi_3O_8$

Minerály – další živce

Adulár	alkalický živec vzniklý při hydrotermálních pochodech
Amazonit	zelený mikroklin
Perthit	prorůstání ortoklasu albitem

Tektosilikáty – živce



Tektosilikáty – živce

Vlastnosti	
Barva	světlá-bílá s různými odstíny
Lesk	skelný
Tvrдость	6-6.5
Hustota	2.6-2.8, barnaté živce ± 3
Substituce	Na ↔ Ca, K ↔ Ba, NaSi ↔ CaAl
Živce jsou dokonale ŠTĚPNÉ podle 001 a dobře ŠTĚPNÉ podle 010.	
Krystaly jsou tabulkovité nebo sloupečkovité, často dvojčatí. Velmi časté jsou dokonale štěpné zrnité agregáty, např. cukrový albit.	
Často dochází ke vzájemnému zatlačování živců.	

Vlastnosti - soustava	
Sanidin	monoklinická (stabilní nad 1000 °C)
Ortoklas	monoklinická (teploty pod 800 °C)
Mikroklin	triklinická (teploty pod 600 °C)
Albit	triklinická (za vysokých teplot izomorfně mísitelný se sanidinem; při nízkých teplotách dochází k exsoluci a vzniku perthitů)
Anortit	triklinická (ideálně mísitelný pouze s albitem)
Čím nižší teplota, tím více uspořádaná struktura v tetraedrech (kationty Al a Si) → pokles symetrie na triklinickou.	
Živce nejsou příliš odolné vůči hydrotermálním alteracím a zvětrávání, dochází ke kaolinizaci a sericitizaci.	

Tektosilikáty – skupina živců

Výskyty

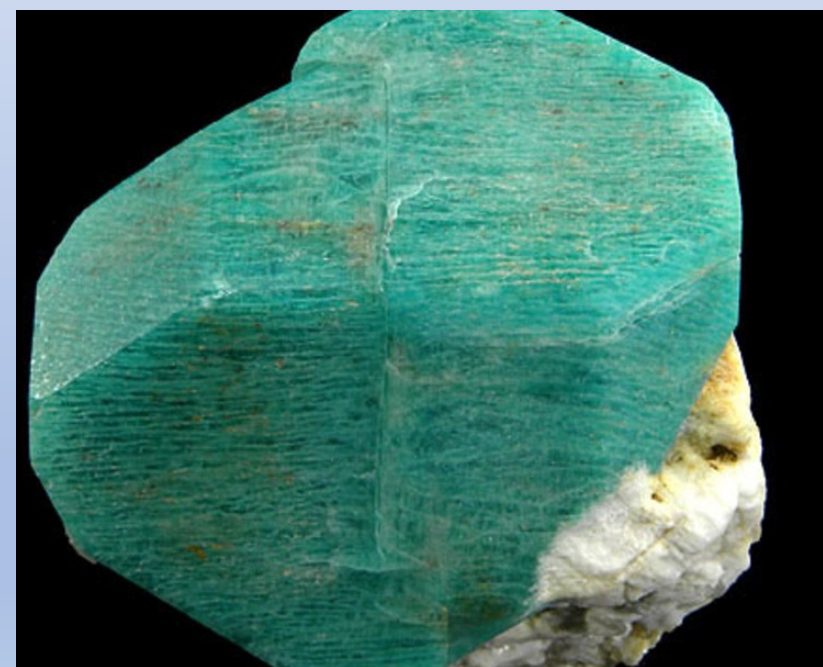
Živce jsou jedny z nejrozšířenějších horninotvorných minerálů, které se vyskytují ve všech typech hornin – magmatických, metamorfovaných i sedimentárních.



Srostlice krystalů ortoklasu podle karlovarského zákona. Lokalita: Łomnica, Polsko. Sběrka L. Malysze

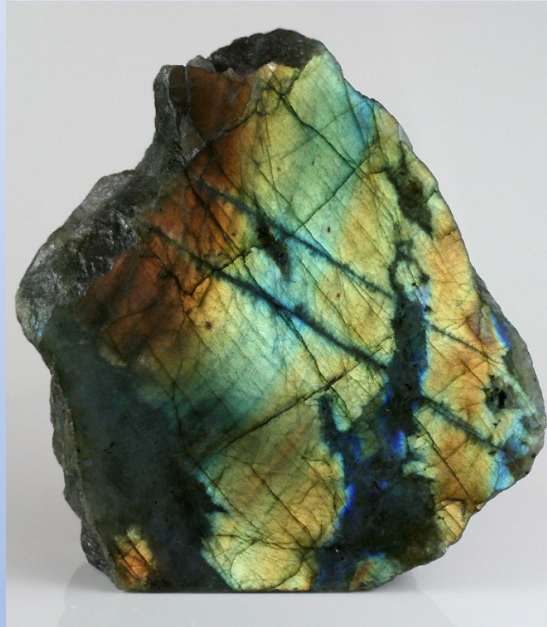


Bílé krystaly mikroklinu v žulovém pegmatitu. Lokalita: Žulová. Foto J. Jirásek.



Krystal zelené odrůdy mikroklinu (amazonitu). Lokalita: Konso, Etiopie. Foto R. Lavinsky.

Tektosilikáty – živce



Labradorit. Lokalita: Madagaskar. Foto M. C. Roarke



Albit. Lokalita: Dolní Bory. Foto Lukáš Křesina.



Albit. Lokalita: Horní Bory. Foto Robert Vaňo.



© Václav Vávra
<http://mineraly.sci.muni.cz>

Albit. Lokalita: Schmirn, Tyroly



Anortit. Lokalita: Biachella Valley. Foto: E. Bonacica



Pertit. Lokalita: Reynolds Mine. Foto: P. Cristofono



Namodralý albit, narůžovělý ortoklas a křemen. Lokalita: San Piero in Campo. Foto: S. Sudcowsky



Srůsty sanidinu podle karlovarského zákona. Lokalita: Evros, Řecko. Foto: T. Soldatos



Albit, záhněda, muskovit. Lokalita: Rousměrov. Foto: R. Vaňo

Tektosilikáty – skupina foidů

„Zástupci živců“ – vázány na magmatické horniny s deficitem SiO_2 → většina foidů se vyskytuje v horninách, kde není přítomen křemen.

Minerály

Nefelín	$(\text{Na},\text{K})\text{AlSiO}_4$
Leucit	KAlSi_2O_6
Sodalit	$\text{Na}_8\text{Al}_6\text{Si}_6\text{O}_{24}\text{Cl}_2$

Jsou málo odolné vůči hydrotermálním alteracím, např. leucit je nahrazen pseudoleucitem (směsí ortoklasu a nefelínu), ale mohou být sami produkty alterací (nefelinizace).

Výskyty

Typické minerály alkalických magmatických hornin, např. syenit, fonolit, leucitit, bazanit).

Vlastnosti

Barva	nefelín: bílá, našedlá, bezbarvá, žlutavá, zelenavá leucit: bílá, našedlá sodalit: modrá, bezbarvá, žlutavá, zelenavá, bílá
Soustava	nefelín: hexagonální leucit: tetragonální, nad 605 °C kubická sodalit: kubická
Lesk	skelný
Tvrдость	5.5-6
Hustota	2.3-2.7

Nefelín a sodalit jsou nedokonale ŠTĚPNÉ, leucitu štěpnost chybí.

Nefelín tvoří hexagonální krátce sloupečkovité krystaly nebo nepravidelná zrna. Leucit tvoří dobře omezené kubické krystaly. Sodalit nejčastěji tvoří nepravidelná zarostlá zrna, méně krystaly ve tvaru rombického dodekaedru.

Tektosilikáty – skupina foidů



Nefelín. Lokalita: Graulay. Foto: S. Wolfsried



Nefelín. Lokalita: Podhora.

Tektosilikáty – skupina foidů



Leucit. Lokalita: Löhley. Foto: S. Wolfsried



Leucit. Lokalita: Roccamonfina. Foto: A. Borrelli.

Tektosilikáty – skupina foidů



Sodalit - dodekaedr. Lokalita: Tre Croci. Foto: E. Bonacina.



Sodalit. Lokalita: Hiassu Farm. Foto: M. da Pedra.



Sodalit. Lokalita: Hiassu Farm. Foto: M. da Pedra.

Tektosilikáty – skupina zeolitů

Minerály	
Natrolit	$\text{Na}_2\text{Al}_2\text{Si}_3\text{O}_{10} \cdot 2\text{H}_2\text{O}$
Stilbit	$\text{NaCa}_4(\text{Al}_8\text{Si}_{28}\text{O}_{72}) \cdot 28\text{-}32\text{H}_2\text{O}$

Schopnost výměny kationtů ve struktuře bez jejího porušení díky přítomnosti dutin nebo kanálů.

Natrolit tvoří dlouze sloupcovité až jehlicovité krystaly, agregáty snopkovité, vláknité až radiálně paprscité. Může tvořit dvojčata. Stilbit tvoří sloupcovité až jehlicovité krystaly, mohou být vzájemně prorostlé do tvaru kříže. Agregáty paprscité.

Vlastnosti	
Barva	natrolit: bezbarvá, bílá, naředlá, narůžovělá, nažloutlá stilbit: bezbarvá, bílá, žlutá
Soustava	natrolit: rombická stilbit: monoklinická
Lesk	natrolit: skelný stilbit: skelný a na rovinách štěpnosti perleťový
Tvrдость	natrolit: 5.5-6 / stilbit 3.5-4
Hustota	natrolit: 2.2-2.6 / stilbit: 2.09-2.20
Natrolit má dokonalou ŠTEPNOST podle 110 a dobrou podle 010. Stilbit je dokonale ŠTĚPNÝ podle 101.	

Výskyty

Typické nízkoteplotní a nízkotlaké minerály, které vznikají zvětráváním silikátů při vysokém pH procesy diagenese, hydrotermální alterace a nízké regionální metamorfózy; např. alpská parageneze, dutiny vulkanitů.

Tektosilikáty – skupina zeolitů



Natrolit. Lokalita: Těchlovice.



Natrolit. Lokalita: Soutěsky.



Natrolit. Lokalita: Dobrná. Foto: Jakub Jirásek.

Tektosilikáty – skupina zeolitů



Stilbit. Lokalita: Příbram. Foto: Gerald van der Veldt.



Stilbit. Lokalita: Markovice. Foto: LukySKS



© Václav Vávra
<http://mineraly.sci.muni.cz>

Stilbit. Lokalita: Ostředek.

Zdroje

- <https://www.mindat.org/>
- <http://www.webmineral.com/>
- <https://mineraly.sci.muni.cz/>
- <https://www.mineralogist.cz/>
- <https://www.minerals.net/>
- http://mineralogie.sci.muni.cz/kap_7_13_fylosil/kap_7_13_fylosil.htm
- http://mineralogie.sci.muni.cz/kap_7_14_tektosil/kap7_14_tektosil.htm
- Přednášky prof. Nováka, Mineralogie II
- <http://geologie.vsb.cz/malis/>