

**UNIVERZITA PARDUBICE**

**FAKULTA CHEMICKO – TECHNOLOGICKÁ**

**ÚSTAV ORGANICKÉ CHEMIE A TECHNOLOGIE**

**ČÁSTICE MONTMORILLONITU A JINÝCH SILIKÁTOVÝCH MATERIÁLŮ,  
JEJICH VYUŽITÍ V OBLASTI POLYMERNÍ CHEMIE A FARMAKOCHEMIE**

**BAKALÁŘSKÁ PRÁCE**

**AUTOR PRÁCE:** Karolína Boštíková

**KONZULTANT:** Ing. Miroslav Kohl

**VEDOUCÍ PRÁCE:** prof. Ing. Andréa Kalendová, Dr.

**2018**

**UNIVERSITY OF PARDUBICE**

**FACULTY OF CHEMICAL – TECHNOLOGY**

**INSTITUTE OF ORGANIC CHEMISTRY AND TECHNOLOGY**

**PARTICLES OF MONTMORILLONITE AND OTHER SILICATE  
MATERIALS, THEIR USE IN THE FIELD OF POLYMER CHEMISTRY AND  
PHARMACOCHEMISTRY**

**THESIS**

**AUTHOR:** Karolína Boštíková

**CONSULTANT:** Ing. Miroslav Kohl

**SUPERVISOR:** prof. Ing. Andréa Kalendová, Dr.

**2018**

## ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

(PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

Jméno a příjmení: **Karolína Bošťíková**  
Osobní číslo: **C14420**  
Studijní program: **B2830 Farmakochemie a medicínální materiály**  
Studijní obor: **Farmakochemie a medicínální materiály**  
Název tématu: **Částice montmorillonitu a jiných silikátových materiálů, jejich využití v oblasti polymerní chemie a farmakochemie**  
Zadávající katedra: **Ústav organické chemie a technologie**

### Z á s a d y p r o v y p r a c o v á n í :

Montmorillonit patří mezi jílovité horniny. U tohoto materiálu se využívají vlastnosti jako jsou botnavost, sorpční schopnosti, thixotropnost, plasticita a vaznost. Adsorpční schopnost montmorillonitových jílů - bentonitů se projevuje botnáním ve vodě (až 16 násobné zvětšení objemu). Montmorillonity jsou vynikající zahušťovadla pro adheziva na bázi vodných emulzí aj. V papírenském průmyslu se používají k úpravě vlastností papíru a kartonu.

1. Popište strukturu a rozdělení sloučenin na bázi  $\text{SiO}_2$ .
2. Jmenujte základní typy strukturních forem  $\text{SiO}_2$  a jejich příklady.
3. Charakterizujte vybrané křemičitaný, specifikujte využití těchto křemičitanů.
4. Popište využití vybraných křemičitanů v oblasti polymerní chemie.
5. Výsledky zpracujte formou závěrečné zprávy.

Rozsah grafických prací:

Rozsah pracovní zprávy:

Forma zpracování bakalářské práce: **tištěná**

Seznam odborné literatury:

---

**Všechna dostupná chemická literatura.**

Vedoucí bakalářské práce:

**prof. Ing. Andréa Kalendová, Dr.**

Ústav chemie a technologie makromolekulárních látek

Konzultant bakalářské práce:

**Ing. Miroslav Kohl**

Ústav chemie a technologie makromolekulárních látek

Datum zadání bakalářské práce: **28. února 2018**

Termín odevzdání bakalářské práce: **3. července 2018**



prof. Ing. Petr Kalenda, CSc.  
děkan

L.S.



prof. Ing. Miloš Sedlák, DrSc.  
vedoucí katedry

V Pardubicích dne 28. února 2018

Prohlašuji:

Tuto práci jsem vypracovala samostatně. Veškeré literární prameny a informace, které jsem v práci využila, jsou uvedeny v seznamu použité literatury.

Byla jsem seznámena s tím, že se na moji práci vztahují práva a povinnosti vyplývající ze zákona č. 121/2000 Sb., zejména se skutečností, že Univerzita Pardubice má právo na uzavření licenční smlouvy o užití této práce jako školního díla podle § 60 odst. 1 autorského zákona, a s tím, že pokud dojde k užití této práce mnou nebo bude poskytnuta licence o užití jinému subjektu, je Univerzita Pardubice oprávněna ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, které na vytvoření díla vynaložila, a to podle okolností až do jejich skutečné výše.

Souhlasím s prezenčním zpřístupněním své práce v Univerzitní knihovně Univerzity Pardubice.

V Pardubicích dne

.....

Karolína Boštíková

## Poděkování:

Na tomto místě bych v první řadě ráda poděkovala paní prof. Ing. Andrée Kalendové Dr., za odborné vedení, ochotu a cenné rady, které mi pomohly při psaní mé bakalářské práce. Mé velké díky patří také mému manželovi, za jeho podporu, důvěru a trpělivost během celého studia.

## **SOUHRN**

První část bakalářské práce obsahuje základní informace o křemičitanech a jejich rozdělení. U jednotlivých skupin křemičitanů jsou obsaženy informace o jejich struktuře, především o propojování křemíko-kyslíkového tetraedru  $[\text{SiO}_4]^{4-}$  do větších jednotek – řetězců, cyklů, vrstev či trojrozměrných struktur.

Druhá část bakalářské práce se podrobněji věnuje skupině phyllo-křemičitanů, jejich struktuře, rozdělení. Dále jílovým minerálům, v první řadě skupině smektitů a jejich minerálu montmorillonitu, u něhož jsou uvedeny kromě struktury a výskytu též informace o jeho širokém využití v různých odvětvích průmyslu.

## **Klíčová slova**

Křemičitany, phyllo-křemičitany, jílové minerály, montmorillonit

## **SUMMARY**

The first part of this bachelors thesis contains basic information about silicates and about their categorization. The thesis includes information about a structure, most importantly about the interconnection of the tetrahedron  $[\text{SiO}_4]^{4-}$  to larger units - strings, cycles, layers, or three-dimensional structures.

The second part of the thesis is more focused on the group of phyllo-silicates and their structure and categorization. The last topic is the clay materials, especially smectite group and their mineral montmorillonite. The structures of montmorillonite are described and there are also information about broad possibilities of its application in various industries.

## **KEY WORDS**

Silicates, phyllo-silicates, clay minerals, montmorillonite



## OBSAH:

1. Křemičitany.....	12
1.1. Neso–křemičitany.....	13
1.1.1. Olivín.....	13
1.1.2. Zirkon.....	14
1.1.3. Granáty.....	15
1.2. Soro–křemičitany .....	17
1.2.1. Hemimorfit $Zn_4(OH)_2Si_2O_7 \cdot H_2O$ .....	18
1.3. Cyklo–křemičitany .....	18
1.3.1. Beryl.....	19
1.3.2. Turmalín.....	20
1.4. Ino–křemičitany .....	22
1.5. Tekto–křemičitany .....	24
1.5.1. Živce.....	24
1.5.2. Zeolity .....	25
2. Phyllo–křemičitany.....	27
2.1. Tetraedrická a oktaedrická síť .....	28
2.2. Rozdělení vrstev .....	29
2.3. Vzájemná vazba tetraedrických a oktaedrických sítí.....	29
2.4. Klasifikace phyllo–křemičitanů.....	31
2.4.1. Minerály skupiny serpentinu – kaolínu .....	33
2.4.2. Skupina mastku-pyrofylitu.....	34
2.4.3. Skupina slíd.....	36
2.4.4. Skupina křehkých slíd .....	37
2.4.5. Skupina vermikulitů.....	37
2.4.6. Skupina chloritů.....	38
2.4.7. Skupina smíšených struktur.....	39
2.4.8. Minerály skupiny smektitů .....	40
3. Jílové minerály .....	43
4. Montmorillonit .....	44
4.1. Struktura montmorillonitu .....	45
4.2. Mikrostruktura montmorillonitu.....	46
4.3. Dehydratace a rehydratace montmorillonitu .....	47
4.4. Cloisite .....	48

4.5.	Využití v chemickém průmyslu.....	49
4.6.	Využití v potravinářském průmyslu.....	49
4.7.	Využití v zemědělství.....	50
4.8.	Využití ve farmacii a kosmetickém průmyslu.....	50
4.9.	Využití ve stavebnictví.....	51
5.	Závěr.....	52
6.	Použitá literatura.....	53

## SEZNAM OBRÁZKŮ

Obrázek 1 - Plošné a prostorové znázornění tetraedru $[\text{SiO}_4]^{4-}$ .....	12
Obrázek 2 - Uspořádání tetraedrů $\text{SiO}_4$ ve struktuře olivínu.. .....	14
Obrázek 3 - Izolované tetraedry $[\text{SiO}_4]^{4-}$ v základní buňce zirkonu. ....	15
Obrázek 4 - Schématické znázornění struktury granátu (pyrop) – základní buňka .....	17
Obrázek 5 - Schéma struktury hemimorfitu.....	18
Obrázek 6 - Schématické znázornění struktur aniontů cyklických křemičitanů s $n = 3,6$ .....	19
Obrázek 7 - - Šestičetné cykly tetraedrů $\text{SiO}_4$ (červená barva) ve struktuře berylu.....	20
Obrázek 8 - Struktura turmalínu (skorylu). ....	21
Obrázek 9 - Schématické znázornění různých typů a příkladů jednoduchých řetězců tetraedrů $\{\text{SiO}_4\}$ .....	22
Obrázek 10 - Zdvojené řetězce tetraedrů $\{\text{SiO}_4\}$ .....	23
Obrázek 11 - Schéma idealizované tetraedrické sítě složené z tetraedrů $\text{SiO}_4$ s hexagonální symetrií.....	27
Obrázek 12 - Oktaedrická síť v atomárním (nahore) a polyedrickém (dole) zobrazení. Plnými kroužky jsou znázorněny oktaedrické kationty a prázdnými oktaedrické anionty .....	28
Obrázek 13 - Vlevo – trioktaedrická síť, ve které jsou všechny pozice obsazeny dvojmocným kationtem. Vpravo – síť dioktaedrická, kde je jedna ze tří pozic vakantní .....	29
Obrázek 14 - Spojení dvou tetraedrických sítí, přes roviny bazálních kyslíků.. .....	30
Obrázek 15 - Polyedrické zobrazení vrstvy 1:1 v perspektivním pohledu – horní obrázek, a v pohledu kolmém na vrstvu – dolní obrázek.....	31
Obrázek 16 - - Struktura kaolinitu, vzájemné propojení tetraedrické sítě s dioktaedrickou sítí do vrstvy 1:1 .....	34
Obrázek 17 - Nábojová bilance vrstvy 2:1 minerálů skupiny mastek – pyrofylyt.....	35
Obrázek 18 - Vrstevnatá struktura mastku. Zobrazena je základní vrstva 2:1, která je složená ze dvou tetraedrických a jedné trioktaedrické sítě.....	36
Obrázek 19 - Schématické zobrazení struktury slíd složené z vrstev 2:1. M označuje pozice kationtů v oktaedrických sítích, T v tetraedrických sítích a $\text{Mi}$ pozice mezivrstevních kationtů. ....	37
Obrázek 20 - Kompoziční diagram pro rozdělení chloritů. $\text{R}^{4+}$ jsou tetraedrické atomy, $\text{R}^{3+}$ a $\text{R}^{2+}$ atomy v oktaedrické síti .....	39

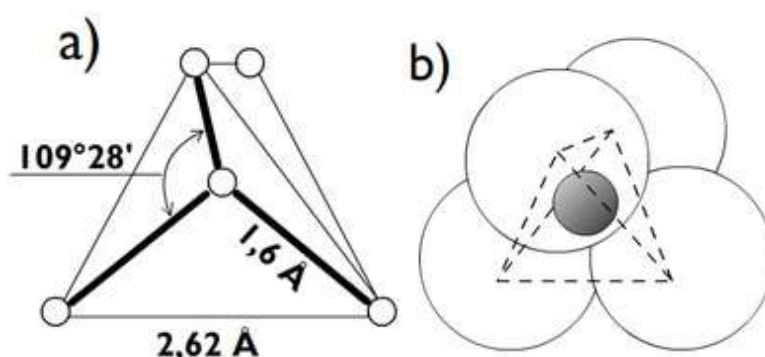
Obrázek 21 - Mezivrství smektitů se zvětšujícím se množstvím vody. ....	41
Obrázek 22 - červenohnědý montmorillonit.....	44
Obrázek 23 - Struktura montmorillonitu.....	46
Obrázek 24 - Morfologie montmorillonitu.....	47

## SEZNAM TABULEK

Tabulka 1 - Přehled rozdělení křemičitanů .....	13
Tabulka 2 - Přehled granátů .....	16
Tabulka 3 - Nejběžnější koncové členy turmalínu.....	20
Tabulka 4 - Rozdělení fylosilikátů .....	32
Tabulka 5 - Základní charakteristika 3 skupin nanojílů. ....	48

## 1. Křemičitany

Křemičitany neboli silikáty jsou nejrozmanitější a nejčastější skupinou nerostů, tvořících asi 75 % zemské kůry. Převaha křemičitanů a hlinítokřemičitanů se odráží především v zastoupení O, Si a Al v zemské kůře, neboť tyto prvky jsou zde nejhojnější. [1] I přes veliké množství sloučenin lze existující struktury rozdělit na základě několika jednoduchých principů. Systém třídění křemičitanů je založen na způsobu uspořádání základních čtyřstěnů  $[\text{SiO}_4]^{4-}$  ve struktuře. [2]



Obrázek 1 - Plošné a prostorové znázornění tetraedru  $[\text{SiO}_4]^{4-}$ , převzato z [4].

Základní stavební jednotkou je zde křemíko-kyslíkový tetraedr  $[\text{SiO}_4]^{4-}$ , který je tvořen malým centrálním atomem Si a čtyřmi velkými atomy O, nacházejícími se ve vrcholech tetraedru. Ve všech těchto sloučeninách je téměř vždy Si vázán tetraedricky 4 kyslíkovými atomy a tyto jednotky  $[\text{SiO}_4]^{4-}$  mohou existovat buď jako samostatné útvary, nebo se mohou spojovat do větších jednotek – řetězců, cyklů, vrstev či trojrozměrných struktur tím, že sdílejí společné vrcholy, kterými jsou atomy kyslíku. [3]

Ve struktuře křemičitanů může být určitá část atomů Si nahrazena atomy Al. Jde v podstatě o nahrazení částí základních jednotek  $[\text{SiO}_4]^{4-}$  jednotkami  $[\text{AlO}_4]^{5-}$ . Jedná se o tzv. alumosilikáty a k dané substituci dochází jen u některých strukturních typů křemičitanů. Křemičitany se dle své atomární struktury dělí do 6 základních tříd. [1,2]

Tabulka 1 - Přehled rozdělení křemičitanů

neso-křemičitany	izolované $[\text{SiO}_4]^{4-}$	nesdílené atomy O
soro-křemičitany	izolované $[\text{SiO}_4]^{4-}$	1 sdílený atom O
cyklo-křemičitany	uzavřené cyklické struktury	2 sdílené atomy O
ino-křemičitany	souvislé řetězce nebo pásy	2 sdílené atomy O
phyllo-křemičitany	souvislé vrstvy	3 sdílené atomy O
tekto-křemičitany	souvislé trojrozměrné struktury	sdílené všechny atomy O

## 1.1. Neso–křemičitany

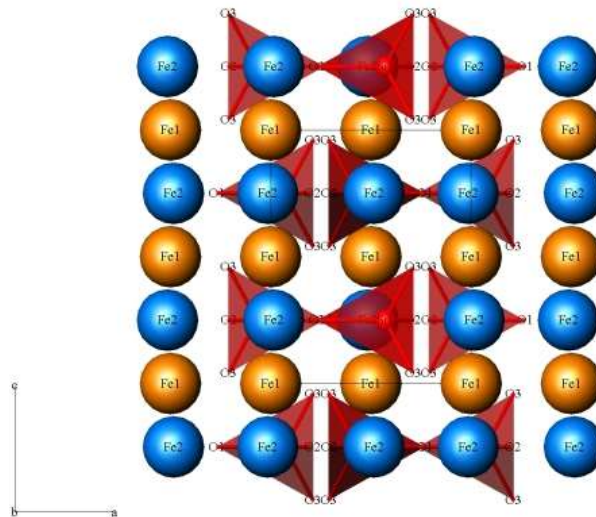
Nesosilikáty (chemicky orthosilikáty) mají typické fyzikální vlastnosti, podmíněné vlastnostmi kompaktních krystalových mřížek. Vzhled krystalů bývá izometrický. [3] Vyznačují se spojením jednotlivých čtyřstěnů ve struktuře s kationty jiných kovů. Vazba těchto samostatných jednotek je uskutečňována prostřednictvím tzv. vnějších kationtů, které se nacházejí v mezerách mezi čtyřstěny. [1,4] Výsledkem toho vzniká těsná krystalová mřížka, díky níž mají minerály této skupiny velkou hustotu a tvrdost. [8] Řada neso-silikátů patří k významným horninotvorným minerálům, jako je například olivín, zirkon či granáty. [4]

### 1.1.1. Olivín

Olivín  $(\text{Mg,Fe,Mn})\text{SiO}_4$  je silikát hořčíku a železa. Patří mezi velmi významné horninotvorné minerály tmavých vyvřelin – peridotitů (olivínců), bazaltů (čedičů), gaber, doleritů a nefelintů. Tvoří přibližně necelá 3 procenta průměrného složení veškerých vyvřelých hornin. Hořčík a železo se v olivínech vyskytuje v proměnlivém poměru. V přírodě lze častěji nalézt olivíny s převahou hořčíku. Čistý hořečnatý olivín se nazývá forsteit a čistý železnatý olivín fayalit. [11] Složení olivínu je blíže definováno podílem těchto dvou nejdůležitějších koncových členů – forsteritu  $(\text{Mg}_2\text{SiO}_4)$  a fayalitu  $(\text{Fe}_2\text{SiO}_4)$ , kde obsah fayalitové složky dosahuje maximálně 10-25 %. [4]

Struktura olivínu je tvořena jednotlivými tetraedry  $[\text{SiO}_4]^{4-}$ , jejichž základny jsou střídavě opačně orientovány. Mezi základní jednotky jsou umístěny kationty  $\text{Mg}^{2+}$  tak, že jsou vždy obklopeny 6 atomy kyslíků dvou sousedních tetraedrů. [2] Hornina je jemně zrnitá a utváří

velké krystaly smaragdově zelené barvy. [8] Díky vysoké teplotě tání forsteritu (1890°C) nachází uplatnění zejména ve slévárnách, v metalurgii, na výrobu cihel, vyzdívek sklářských pecí, jako brusivo a zcela výjimečně i jako ruda hořčíku. [4,11]



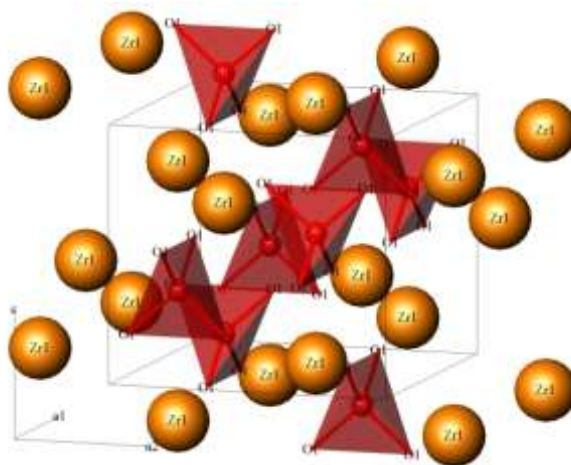
Obrázek 2 - Uspořádání tetraedrů  $SiO_4$  ve struktuře olivínu. Převzato z [4].

### 1.1.2. Zirkon

Zirkon, chemicky křemičitan zirkoničitý, se obvykle nachází s řadou příměsí – hafniem, uranem, thoriem a prvky vzácných zemin. Radioaktivní prvky mají schopnost krystalovou strukturu zirkonu zcela rozbít. Takový neuspořádaný zirkon se označuje jako malakon. Může být různě zbarvený od hnědé či žlutohnědé přes růžovou, červenou, modrou až po bezbarvý. V malých množstvích je součástí mnohých vyvřelin – granitů, pegmatitů, bazaltů a přeměněných hornin – fylitů, svorů, rul, granulitů. Je velmi odolný vůči zvětrávání, takže se hromadí v říčních a mořských rozsypech, z nichž je pak těžen a využíván na výrobu žáruvzdorných hmot, barevných skel, glazur, smaltů i jako zdroj zirkonia. Čisté a průhledné zirkony nachází uplatnění ve šperkařství jako drahé kameny. [11]



Struktura krystalu zirkonu  $ZrSiO_4$  je tetragonální. Je tvořena čtyřstěny  $[SiO_4]^{4-}$ , které jsou propojené s kationtem Zr, který má díky většímu poloměru atomu oxidační stav 8. [1] Vytváří podlouhlé, ale i krátké sloupcovité krystaly prizmatického či dipyramidálního typu. [4,6] Velké krystaly zirkonu se nachází především v jižním Norsku, na Urale a na poloostrově Kola v Rusku. [11]



Obrázek 3 - Izolované tetraedry  $[SiO_4]^{4-}$  v základní buňce zirkonu. Převzato z [4]

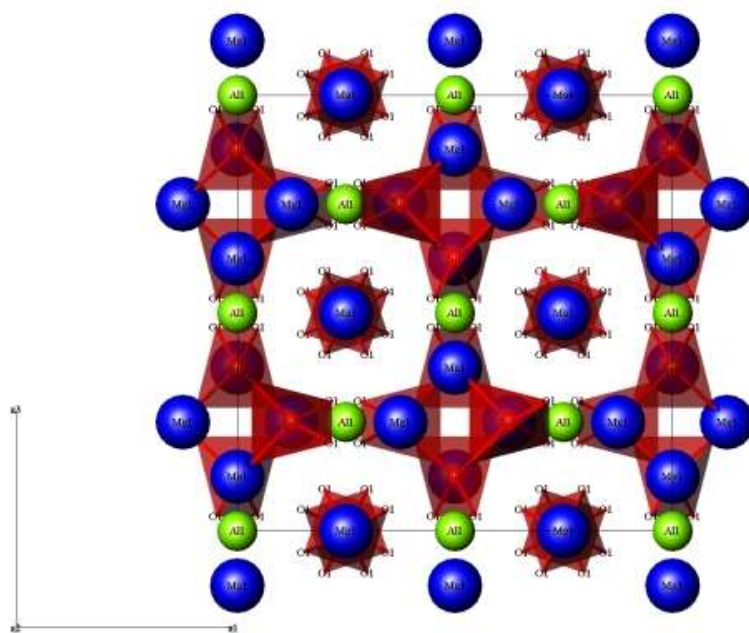
### 1.1.3. Granáty

Patří do velké skupiny izostrukturálních neso–křemičitanů s kubickou symtérií a obecným vzorcem  $A_3B_2(SiO_4)_3$ , kde písmeno A označuje dvojmocné kationty -  $Ca^{2+}$ ,  $Mg^{2+}$ ,  $Fe^{2+}$  či  $Mn^{2+}$ , ... a písmeno B trojmocné kationty -  $Al^{3+}$ ,  $Fe^{3+}$ ,  $Cr^{3+}$ , ... Základem chemické struktury granátů jsou tetraedry  $SiO_4$  a oktaedry  $BO_6$  navzájem spojené přes své vrcholy. Ve vzniklých dutinách mezi nimi se nachází nepravidelně rozmístěné prvky A s oktaedrickou koordinací. Ve struktuře granátů můžeme nalézt i hydroxylovou skupinu, která nahrazuje kyslíky u čtyřstěnů  $[SiO_4]^{4-}$  a vznikají tak tzv. hydroxygranáty. [3,4]

Klasifikace granátů je založena na existenci tzv. krajních členů o ideálním chemickém složení. Je jich popsáno cca 15, z nichž 6 můžeme nalézt nejčastěji. Skupina granátů je tedy tvořena řadou koncových členů, mezi kterými je buď úplná nebo omezená izomorfní mísitelnost. Samostatné krajní členy se vyskytují v přírodě jen velmi vzácně, daleko častěji je lze nalézt ve formě směsí dvou a více členů. Vytváří mnoho tvarově a barevně bohatých krystalů, nichž nejčastěji se jedná o dvanáctistěny či čtyřiadvacetistěny. Často vytváří jemná zrna nebo se spojují do hrubších či jemnějších agregátů. [3,4] Uplatnění nachází zejména ve šperkařství, ale i jako řezné a brusné materiály. [6]

*Tabulka 2 - Přehled granátů*

dvojmocný kationt	trojmocný kationt	název krajního členu	vzorec
Mg	Al	pyrop	$Mg_3Al_2(SiO_4)_3$
Fe	Al	almandin	$Fe_3Al_2(SiO_4)_3$
Mn	Al	spessartin	$Mn_3Al_2(SiO_4)_3$
Ca	Al	grosulár	$Ca_3Al_2(SiO_4)_3$
Ca	Fe	andradit	$Ca_3Fe_2(SiO_4)_3$
Ca	Cr	uvarovit	$Ca_3Cr_2(SiO_4)_3$



Obrázek 4 - Schématické znázornění struktury granátu (pyrop) – základní buňka. Převzato z [4]

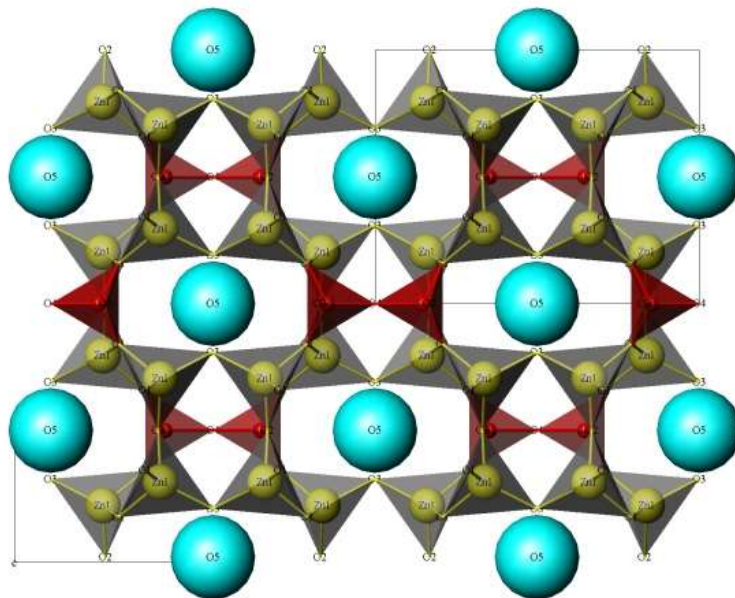
## 1.2. Soro–křemičitany

Jedná se o řetězové křemičitany  $\{\text{SiO}_3^{2-}\}$ , které se tvoří sdílením vrcholů tetraedrů  $\{\text{SiO}_4\}$ . V přírodě jsou velmi hojně zastoupeny. Mnoho důležitých minerálů má tuto základní jednotku. Navzdory zdánlivě jednoduché struktuře je jejich strukturní uspořádání velmi pestré díky rozdílným konformacím, které mohou sdílené tetraedry zaujímat. [1]

Struktura soro-křemičitanů je tvořena tetraedry, které jsou navzájem spojené přes vrcholový kyslík do malých skupin od sebe oddělených kationty jiných polyedrů. Nejčastěji utvářejí dvojici tetraedrů propojených prostřednictvím jediného kyslíku, takže tvoří skupinu  $[\text{Si}_2\text{O}_7^{6-}]$ . Jiné strukturní typy jako jsou  $[\text{Si}_3\text{O}_{10}^{8-}]$  či  $[\text{Si}_5\text{O}_{16}^{12-}]$  jsou již velmi vzácné. [1,3,4] Řetězce soro-silikátů jsou uspořádány tak, aby se kationty nacházely vždy v polohách s koordinačním číslem 6 nebo 8. [1]

### 1.2.1. Hemimorfit $Zn_4(OH)_2Si_2O_7 \cdot H_2O$

Skupina hemimorfitu zahrnuje typické soro-silikáty s obecným vzorcem  $Zn_4(Si_2O_7)(OH)_2 \cdot H_2O$  a jejich symetrie je rombická. [4] Vytváří šestičlenné cykly  $Zn_2SiO_3$  v rovině kolmé k ose y. Cykly jsou navzájem spojené do nekonečných rovinných sítí a každý atom O je v této síti spojen dvěma atomy Zn a jedním atomem Si. Čtvrtý atom O je pak zapojen do můstkové vazby nacházející se mezi sítěmi prostřednictvím vazeb Zn – O – Zn nebo Si – O – Si. V této prostorové struktuře se tak nachází velké kanálky, které se otvírají do velkých dutin, schopných jednoduše pojmout molekuly volné (odstranitelné) vody. [1]

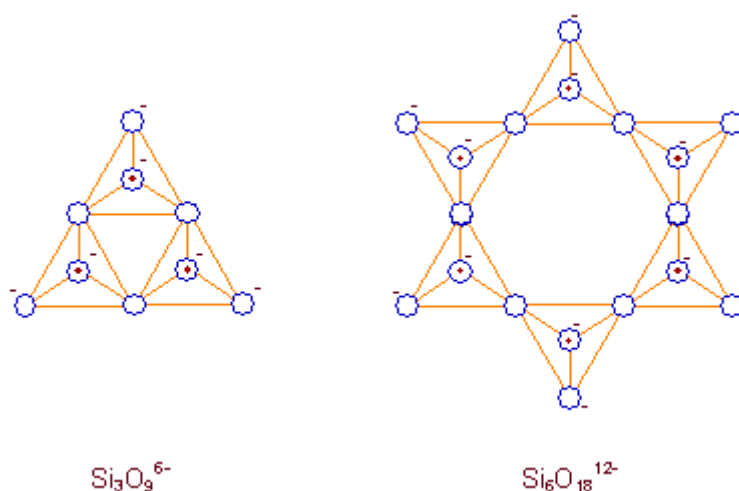


Obrázek 5 - Schéma struktury hemimorfitu. Převzato z [4]

### 1.3. Cyklo-křemičitany

Cyklické křemičitany s empirickým vzorcem  $SiO_3^{2-}$ , se vytváří tehdy, sdílí-li každá jednotka  $\{SiO_4\}$  s přilehlými tetraedry dva vrcholové atomy kyslíku. Pro vytvoření struktury cyklosilikátů je zapotřebí minimálně tří tetraedrů  $[Si_3O_9]^{6-}$ , ale jsou známy i vícečetné kruhy (cykly) se 4 -  $[Si_4O_{12}]^{8-}$ , 6 -  $[Si_6O_{18}]^{12-}$  nebo 8 jednotkami -  $[Si_8O_{24}]^{16-}$ , přičemž nejobvyklejší počet je 3 nebo 6. [1,8]. Poměr Si:O je u jednoduchých cyklů 1:3. [4] V závislosti na tom, zda je prstenec tvořen 3, 4, 6 nebo 8 čtyřstěny, vytvářejí trojúhelníkové, hrubé čtvercové nebo

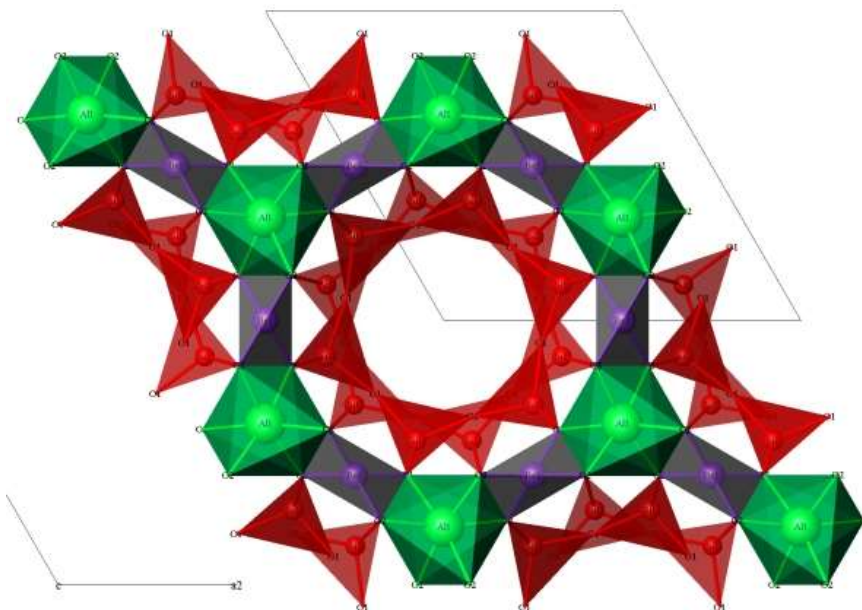
šestihranné tvary. Symetrie cyklo-křemičitanů je obvykle srovnatelná se symetrií prstenců. [8] V nejvíce případech dochází ke spojení 6 čtyřstěnů  $\{\text{SiO}_4\}$ , takže vzniká pro tuto skupinu typická aniontová struktura  $[\text{Si}_6\text{O}_{18}]^{12-}$ , kterou lze nalézt např. v berylu či turmalínu. Méně časté jsou tříčlenné cykly – benitoit, nebo čtyřčlenné cykly – axinit. Velmi vzácné jsou zdvojené šestičlenné cykly  $[\text{Si}_{12}\text{O}_{30}]^{12-}$ , které jsou tvořeny dvěma nad sebou ležícími prstenci, navzájem propojenými atomy kyslíku. Příkladem takového minerálu je milarit. [3,4]



Obrázek 6 - Schématické znázornění struktur aniontů cyklických křemičitanů s  $n = 3,6$ .  
Převzato z [3]

### 1.3.1. Beryl

Patří mezi cyklo-křemičitany jehož struktura je tvořena jednoduchými šestičlenným prstenci orientovanými nad sebou ve směru osy  $c$ . Prstence tetraedrů jsou vzájemně propojeny přes koordinační tetraedry Be (šedé) a oktaedry Al (zelené). Vznikají tak poměrně prostorné kanálové dutiny, které se jsou obsazovány ionty OH,  $\text{H}_2\text{O}$ , Fe, H, Na Cs a K, které hrají významnou roli při intersticiální substituci v tomto minerálu. Teoretické složení berylu je vyjádřeno vzorcem  $\text{Be}_3\text{Al}_2(\text{Si}_6\text{O}_{18})$ . [4] Krystaly mají nejčastěji bílou, žlutou a žlutozelenou barvu a podlouhlý hexagonální tvar a v některých pegmatitech mohou dosahovat až několika metrů. [4] Uplatnění nachází zejména ve šperkařství. [6]



Obrázek 7 - Šestičetné cykly tetraedrů  $\text{SiO}_4$  (červená barva) ve struktuře berylu. Převzato z [4].

### 1.3.2. Turmalín

Minerály skupiny turmalín jsou nejhodněji zastoupené minerály v zemské kůře. Skupina zahrnuje 14 izostrukturálních trigonálních borosilikátů s obecným vzorcem  $\text{XY}_3\text{Z}_6(\text{BO}_3)_3\text{Si}_6\text{O}_{12}(\text{OH},\text{F})_4$ , kde

X = Na, Ca, K, Mg, vakance ...

Y = Mg,  $\text{Fe}^{2+}$ , Li, Al,  $\text{Fe}^{3+}$  ...

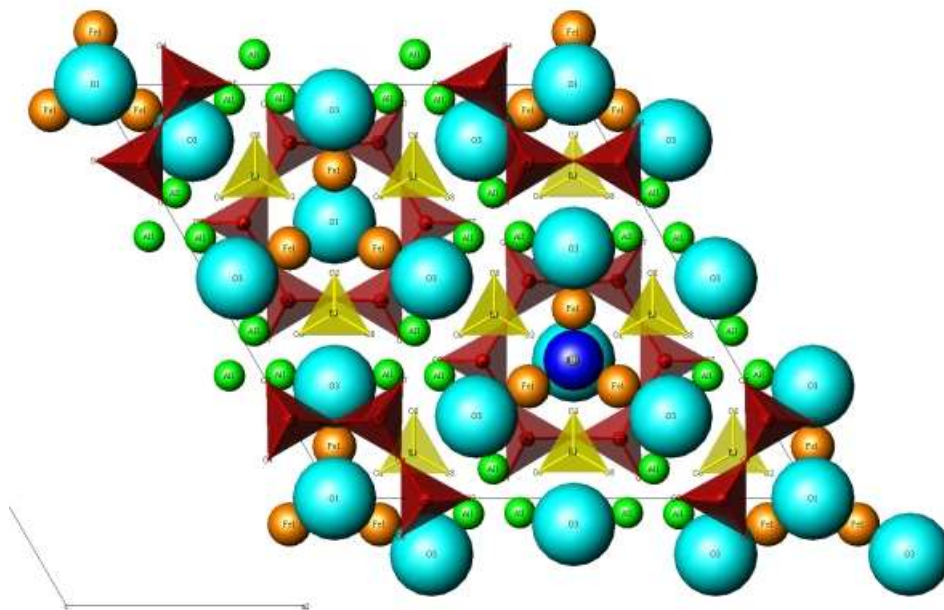
Z = Al,  $\text{Fe}^{3+}$ , Mg,  $\text{Cr}^{3+}$ ,  $\text{V}^{3+}$  ...

Turmalín má velmi komplikované chemické složení díky skoro až neomezené mísitelnosti krajních členů řady. [3,4] Mezi nejběžnější koncové členy patří skoryl, dravit nebo elbait.

Tabulka 3 - Nejběžnější koncové členy turmalínu

název	X	Y	Z	vzorec
skoryl	Na	Mg	Al	$\text{NaMg}_3\text{Al}_6(\text{BO}_3)_3\text{Si}_6\text{O}_{18}(\text{OH},\text{F})_4$
dravit	Na	Fe 2+	Al	$\text{NaFe}_3\text{Al}_6(\text{BO}_3)_3\text{Si}_6\text{O}_{18}(\text{OH},\text{F})_4$
elbait	Na	Li, Al	Al	$\text{Na}(\text{Li},\text{Al})_3\text{Al}_6(\text{BO}_3)_3\text{Si}_6\text{O}_{18}(\text{OH},\text{F})_4$

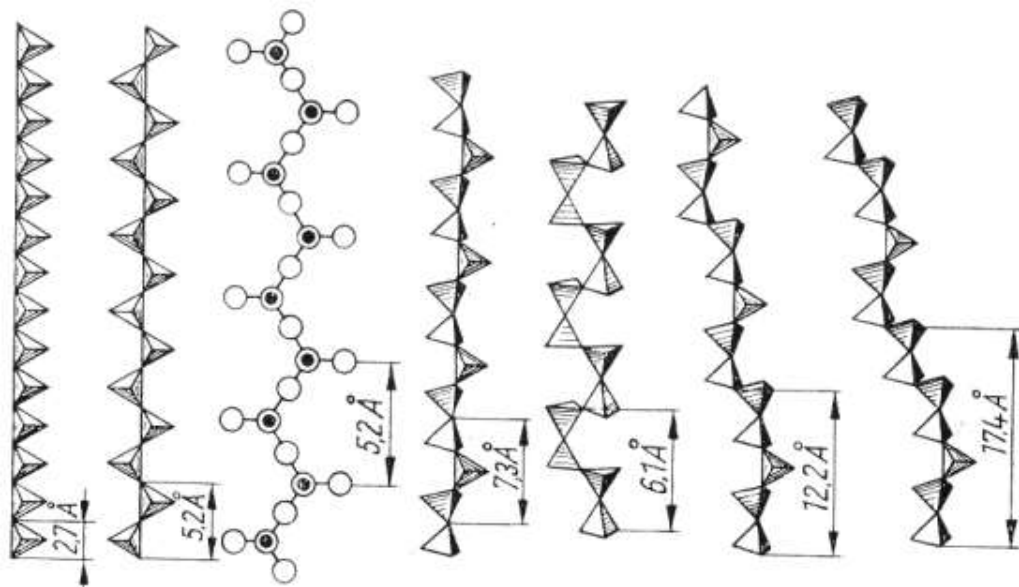
Základem struktury turmalínu je tzv. turmalínový komplex. Jde o prstenec složený z šesti tetraedrů  $\text{SiO}_4$ , na který se vážou tři osmistěny  $\text{ZO}_6$ , tři skupiny  $\text{BO}_3$  a čtyři OH skupiny. Vzniklý komplex má hexagonální, popřípadě ditrigonální symetrii a váže se ke spirálovým řetězcům oktaedrů ( $\text{YO}_6$ ). Kationty typu X obsazují díky svým větším rozměrům otvory nad středy šestičlenných prstenců. [4] Vytváří krystaly krátkého i dlouhého sloupcovitého tvaru s vertikálním rýhováním. Běžné jsou i čočkovité krystaly. [3]



Obrázek 8 - Struktura turmalínu (skorylu). Převzato z [4].

## 1.4. Ino-křemičitany

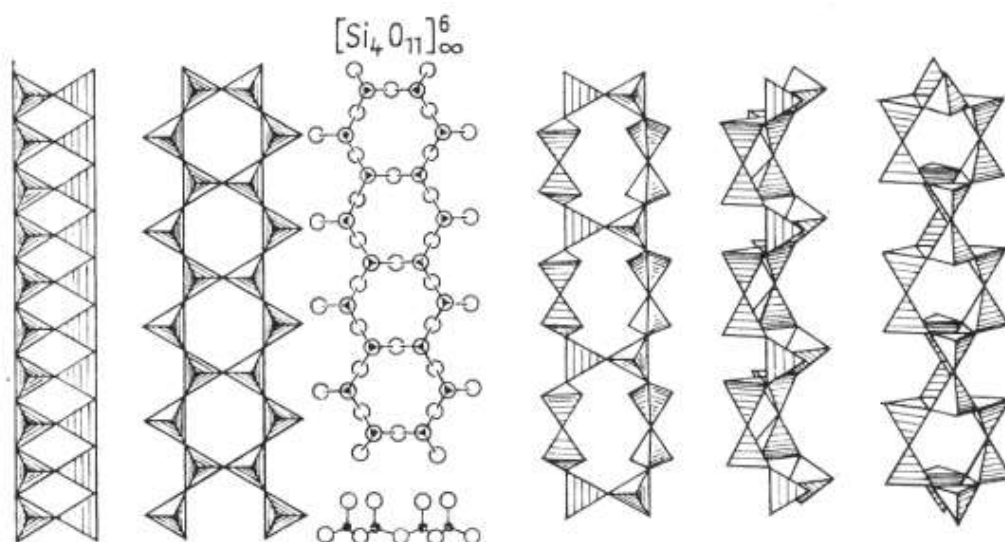
Strukturu inosilikátů tvoří nekonečné řetězce čtyřstěňů  $\{\text{SiO}_4\}$  navzájem propojených vrcholovými kyslíky. Řetězce mohou být jednoduché, dvojitě nebo ve výjimečných případech i více násobné. Vůči ose řetězce jsou zpravidla sousední tetraedry vždy o kus posunuty, avšak po určité periodě se orientace opakuje, díky čemuž je můžeme rozdělit na dvojčlankové, trojčlankové či vícečlankové řetězce. [3,4] V přírodě je tato struktura velmi hojná, mnoho významných minerálů má tuto základní jednotku. Nejobvyklejší struktura ino-silikátů má periodu identity 2T, tzn., že daný strukturní motiv se opakuje vždy po každém tetraedru a řetězce jsou srovnány tak, aby se kationty nacházely v polohách s koordinačním číslem 6 nebo 8. [1] Řetězové křemičitany obsahující dlouhé polyanionty  $[\text{Si}_2\text{O}_6^{2-}]_n$  se nazývají pyroxeny. Mezi pyroxenové minerály řadíme enstatit  $\text{Mg}_2\text{Si}_2\text{O}_6$ , diopsid  $\text{CaMgSi}_2\text{O}_6$  nebo jadeit  $\text{NaAlSi}_2\text{O}_6$ . [1,5] Obrázek č. 9 znázorňuje zleva: jednočlankový řetězec –  $\text{CuGeO}_3$ , druhý a třetí zleva – dvojčlankový řetězec pyroxenů – např.  $\text{Na}_2\text{SiO}_3$ , dále trojčlankový řetězec –  $\text{Ca}_3\text{SiO}_9$ , čtyřčlankový řetězec, pětičlankový řetězec –  $(\text{Mn,Ca})_5\text{Si}_5\text{O}_{15}$  a poslední sedmičlankový řetězec –  $(\text{Fe,Ca})_7\text{Si}_7\text{O}_{21}$ . [4]



Obrázek 9 - Schématické znázornění různých typů a příkladů jednoduchých řetězců tetraedrů  $\{\text{SiO}_4\}$ . Převzato z [4].



Další stupeň strukturní složitosti představují dvojité řetězce neboli pásy, jejichž složení závisí na opakování základních jednotek  $[\text{SiO}_3^{2-}]_n$  v jednotlivých řetězcích. [1] Snížíme-li poměr Si:O, dojde ke zdvojení řetězců a vzniku nekonečných pásů  $[\text{Si}_4\text{O}_{11}^{6-}]_n$  nazývajících se amfiboly, neboli azbestové minerály. Mezi ně patří např: tremolit  $\text{Ca}_2\text{Mg}_5(\text{Si}_4\text{O}_{11})_2(\text{OH})_2$ . [1,5] Pro pyroxeny a amfiboly je typická štěpnost podél řetězců tetraedru (tj. ve směru osy c), díky čemuž je můžeme od sebe odlišit. Pyroxeny svírají při štěpení úhel téměř  $90^\circ$ , naproti tomu amfiboly svírají úhel štěpnosti pouze  $56^\circ$ . Amfiboly se od pyroxenů liší ještě tím, že obsahují navázanou vodu ve formě OH skupiny. [2] Obrázek č. 10 popisuje zleva: zdvojený řetězec  $[\text{Si}_2\text{O}_5^{2-}]$  neso-křemičitanu nalezený v silimanitu, druhý a třetí obrázek zleva - zdvojený řetězec  $[\text{Si}_4\text{O}_{11}^{6-}]$  typický pro amfiboly, čtvrtý, pátý a šestý obrázek zleva - zdvojený řetězec  $[\text{Si}_6\text{O}_{17}^{10-}]$  nacházející se např.: v xonotlitu. [4]



Obrázek 10 - Zdvojené řetězce tetraedrů  $\{\text{SiO}_4\}$ . Převzato z [4]

## 1.5. Tekto-křemičitany

Křemičitany s trojrozměrnou strukturou patří mezi velmi významné minerály, neboť do této skupiny náleží živce – nejrozšířenější minerály zemské kůry, která jich obsahuje přibližně 60 %. Dále sem řadíme zeolity, nacházející velké uplatnění zejména jako molekulová síta, iontoměniče a změkčovadla vody, a ultramariny vyznačující se především intenzivně modrou barvou. [1] Všechny výše uvedené minerály mají křemíko–kyslíkové tetraedry vázány do prostorové kostry, kde je každý tetraedr propojen přes všechny své vrcholy se čtyřmi dalšími tetraedry. Atomy křemíku a kyslíku se zde nachází v poměru 1:2, díky čemuž je struktura pevná a stabilní. [3]

Tektosilikáty mohou být tvořeny pouze jednotkami  $\text{SiO}_4$  a jejich celková struktura je tedy elektricky neutrální, nebo mohou obsahovat i jiné atomy, nejčastěji Na, K, nebo Ca. Pokud dochází k substituci jiného atomu, musí být část iontů  $\text{Si}^{4+}$  v základních jednotkách nahrazena jinými méně valentními ionty např.  $\text{Al}^{3+}$ , čímž vznikne nedostatek kladného náboje, který je kompenzován přijetím iontu  $\text{Na}^+$ ,  $\text{K}^+$  či  $\text{Ca}^{2+}$  do struktury. [4] Nejznámější a nejběžnější tekto – křemičitan je křemen s obecným vzorcem  $\text{SiO}_2$ , který je díky své trojrozměrné struktuře poměrně odolný jak k fyzikálním, tak k chemickým vlivům. [9]

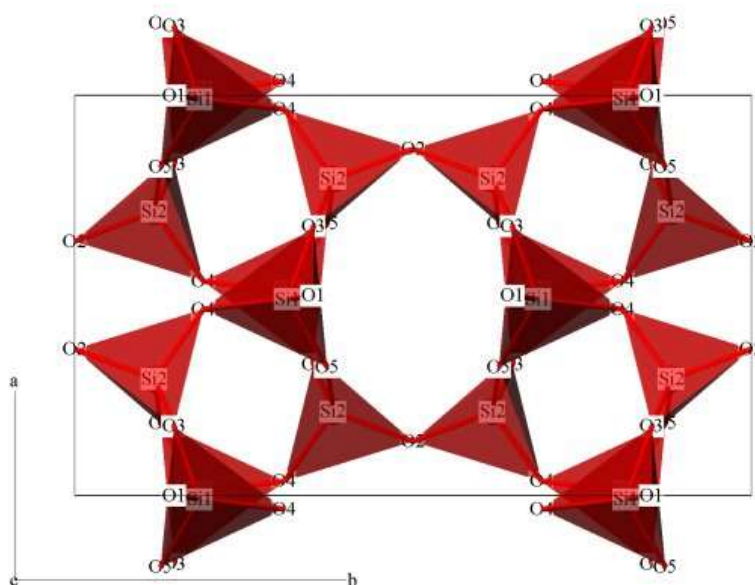
### 1.5.1. Živce

Tvoří velkou skupinu minerálů, které mají nezastupitelný význam ve složení zemské kůry. Složení minerálů živců je možné popsat obecným vzorcem  $\text{K}_x \text{Na}_y \text{Ca}_{1-(x+y)} \text{Al}_{2-(x+y)} \text{Si}_{2+(x+y)} \text{O}_8$ . [4]

Tabulka č. 4 – Základní rozdělení živců

Skupina	poměr Al:Si	zástupci
alkalické živce	1:3	draselné živce - ortoklas (Or), sanidin (Sa), mikroklin (Mi) a sodný živec albit (Ab)
Plagioklasy	1:3 až 1:1	sodno-vápenaté živce s krajními členy albitem (Ab) a anortitem (An).
barnaté živce	1:3 až 1:1	celsián (Cn) a hyalofán

Struktura živců je tvořena prostorovou kostrou tetraedrů, kde část iontů  $\text{Si}^{4+}$  je nahrazena ionty  $\text{Al}^{3+}$ , díky čemuž mohou do struktury vstupovat kationty  $\text{K}^+$ ,  $\text{Na}^+$  nebo  $\text{Ca}^{2+}$ . Vstupují – li do struktury pouze jednomocné kationty, je nahrazena  $\frac{1}{4}$  kationtů  $\text{Si}^{4+}$ , vstupuje-li kationt  $\text{Ca}^{2+}$ , je jich nahrazena  $\frac{1}{2}$ . Živce, ve kterých je složení  $\text{Ca}^{2+}$  a  $\text{Na}^+$  iontů v rovnováze, se nazývají plagioklasy. Plagioklasová řada je tvořena dvěma koncovými členy - albitem  $\text{NaAlSi}_3\text{O}_8$  a anortitem  $\text{CaAl}_2\text{Si}_2\text{O}_8$ . Plagioklasové živce mohou mít různé složení od 100% Ca do 100% Na. Podle toho, zda jsou blíže koncovému členu albitu nebo anortitu, lze vyjádřit jejich mísitelnost a další fyzikální vlastnosti. [4,9]



Obrázek č. 15 – Základní prostorová kostra ve struktuře živců [4]

### 1.5.2. Zeolity

Zeolity jsou přírodní nebo syntetické hlinitokřemičitany s trojrozměrnou strukturou. Název „zeolit“ vznikl spojením dvou řeckých slov – „zeo“ - vroucí a „lithos“ – kámen, což zdůrazňuje jednu ze základních vlastností zeolitů tj. reverzibilní adsorbci vody. [15] Jejich trojrozměrná struktura je uspořádaná do čtvercových spojů tetraedrů  $\text{AlO}_4$  a  $\text{SiO}_4$  navzájem propojených přes atomy kyslíků. V prostorové mřížce se nachází i jiné kationty, kromě  $\text{Si}^{4+}$  a  $\text{Al}^{3+}$ , díky nimž mají zeolity typické vlastnosti – vytváří kanálky a dutiny. Samostatná mřížka má

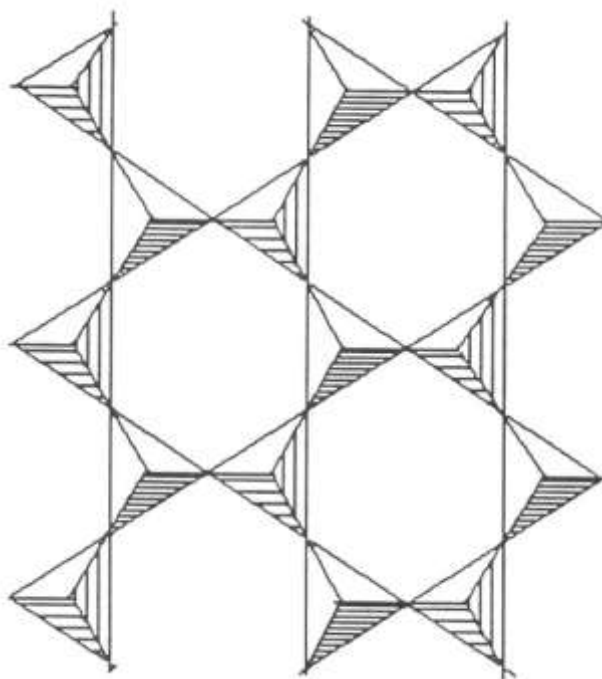
záporný náboj, který je díky umístění jiného kationtu v kanálku kompenzován. [10] Strukturou zeolitů může prostupovat molekulová voda i jiné látky a opět se uvolňovat, aniž by došlo k poškození původní mřížky. Díky této vlastnosti jsou mřížkové parametry v zeolitech značně proměnlivé a umožňuje zeolity používat jako molekulová síta. [4]

Jednotlivé zeolity lze od sebe odlišit poskládáním jednotlivých tetraedrů v prostorové síti, kde vytváří různě tvarované a veliké kanálky, které se vzájemně propojují a vytváří složitější polyedrické klece. [10] V chemickém složení zeolitů vždy převažuje počet atomů Si nad Al a podle toho, v jakém poměru se dané atomy nacházejí v tetraedrických pozicích, jsou pak jednotlivé dutiny obsazeny ionty Na, K, Ba a Ca. Zeolity tvoří podstatnou složku vulkanických tufů a vulkanoklastických sedimentů. Ve velkém množství se nacházejí i v hlubokooceánických sedimentech. [4]

## 2. Phyllo-křemičitany

Křemičitany s vrstevnatou strukturou patří mezi nejznámější a nejdůležitější minerály, které člověk zná. Jedná se především o jílovité minerály (jako jsou kaolinit, montmorillonit či vermikulit), slídy (muskovit, flogopit nebo biotit), dále mastek, krupník (nádobný kámen) či chrysotil (bílý azbest). [1]

Ve struktuře fylosilikátů jsou tetraedry  $\text{SiO}_4$  uspořádány do vrstev (nekonečných dvojrozměrných sítí), přičemž je v těchto vrstvách každý čtyřstěn spojen přes své tři vrcholy se sousedními třemi tetraedry a čtvrtý vyčnívá kolmo nad rovinu sítě. Na vyčnívající atomy se často váže vrstva hydroxidů např.  $\text{Al}(\text{OH})_3$  nebo  $\text{Mg}(\text{OH})_2$ , čímž dochází ke spojení vrstev. Jednotlivé vrstvy nemají náboj, jsou vázány pouze Van der Waalsovými silami a mohou po sobě klouzat. [5] Ideální symetrie je hexagonální. Aniontová kostra phyllo-křemičitanů můžeme nabývat různých tvarů. [3]

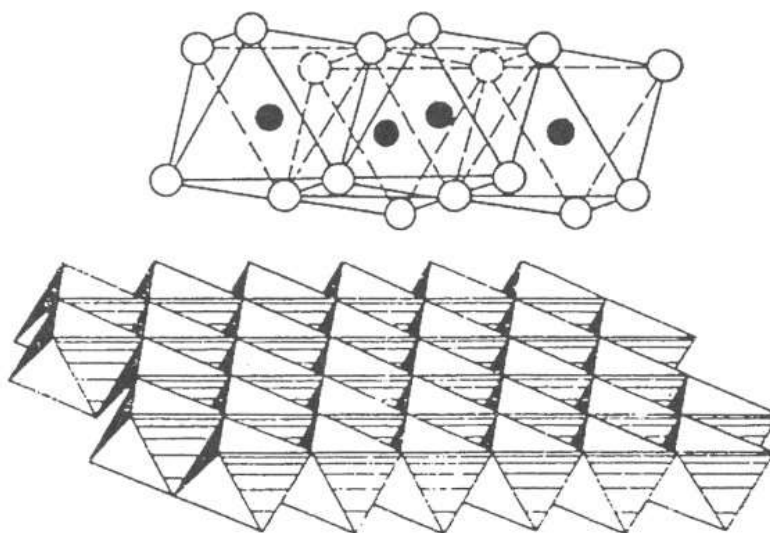


Obrázek 11 - Schéma idealizované tetraedrické sítě složené z tetraedrů  $\text{SiO}_4$  s hexagonální symetrií. Převzato z [4]

## 2.1. Tetraedrická a oktaedrická síť

Mezi základní koordinační polyedry, z nichž je vybudována struktura phyllo – křemičitanů patří tetraedry  $[TO_4]^{m-}$  a oktaedry  $[MA_6]^{n-}$ . Písmenem T jsou označeny centrální kationty tetraedrů, kromě nejobvyklejšího  $Si^{4+}$  jimi mohou být také  $Al^{3+}$ ,  $Ge^{3+}$  nebo  $Fe^{3+}$ . Písmenem M jsou označovány centrální kationty oktaedrů, nejčastěji  $Fe^{3+}$ ,  $Fe^{2+}$ ,  $Al^{3+}$ ,  $Mg^{2+}$  nebo  $Mn^{2+}$ . Písmeno A označuje anionty oktaedrů nejen  $O^{2-}$  ale i  $OH^-$ , či  $F^-$ . [7] Vstupují-li do tetraedrických pozic atomy hliníku, germánia či železa, síť čtyřstěnů se deformuje a symetrie nadále již není hexagonální. Atomy hliníku mohou obsadit maximálně  $\frac{1}{2}$  tetraedrů neboť ze dvou tetraedrů, které mají společný kyslík, musí alespoň 1 mít jako centrální kationt  $Si^{4+}$ .

Nedílným stavebním prvek struktury phyllo-křemičitanů je síť oktaedrů  $[MA_6]^{n-}$ , které spolu sdílí nejen vrcholy, ale také polovinu hran. [7] Uspořádání oktaedrů si lze jednoduše představit tak, že tři anionty kyslíku či hydroxyly tvoří spodní vrstvu a tři anionty tvoří horní vrstvu. Společná hrana je pak tvořena vždy sousedními anionty oktaedrů, z nichž jeden patří spodní vrstvě a druhý horní vrstvě. Mezi vrstvami jsou rozprostřeny oktaedrické kationty. Nejčastěji se jedná o kationty Al, Fe a Mg. [4,7]

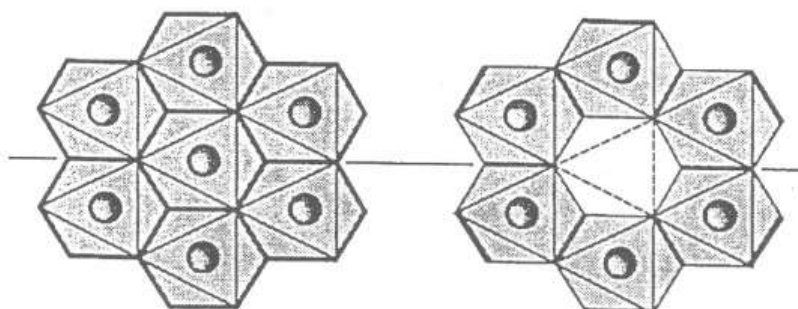


Obrázek 12 - Oktaedrická síť v atomárním (nahore) a polyedrickém (dole) zobrazení. Plnými kroužky jsou znázorněny oktaedrické kationty a prázdnými oktaedrické anionty. Převzato z [7]

## 2.2. Rozdělení vrstev

Podle způsobu obsazení centrálních pozic kationty lze oktaedrické sítě dělit do 3 kategorií:

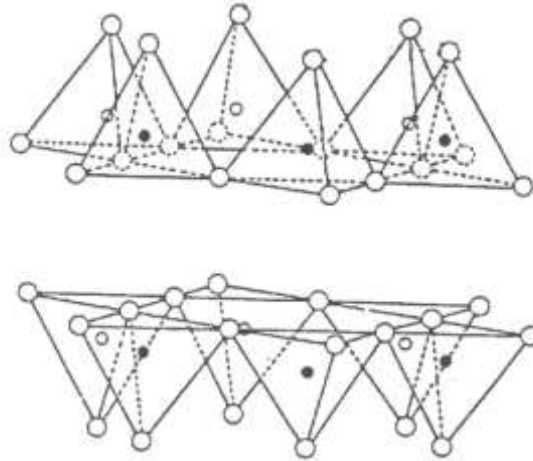
- trioctaedrické – všechny oktaedrické pozice M1, M2 i M3 jsou obsazeny dvojmocnými kationty nejčastěji  $Mg^{2+}$  a  $Fe^{2+}$ . Celkově je tato síť elektricky neutrální.
- Dioktaedrické – mají obsazeny pouze dvě pozice ze tří a to trojmocnými kationty  $Al^{3+}$  a  $Fe^{3+}$ . Třetí pozice je vakantní.
- Monooktaedrické – mají obsazenu pouze jednu pozici. Zbylé dvě jsou vakantní. [4,7]



Obrázek 13 - Vlevo – trioctaedrická síť, ve které jsou všechny pozice obsazeny dvojmocným kationtem. Vpravo – síť dioktaedrická, kde je jedna ze tří pozic vakantní. Převzato z [7]

## 2.3. Vzájemná vazba tetraedrických a oktaedrických sítí

Obecně lze říci, že ve strukturách phyllo-křemičitanů může dojít k propojení sítí třemi způsoby. Buď dojde ke spojení dvou tetraedrických sítí přes roviny bazálních kyslíků, nebo ke spojení tetraedrické a oktaedrické sítě přes společnou rovinu kyslíkových atomů, anebo ke spojení oktaedrické a tetraedrické sítě s rovinou aniontů  $OH^-$  oktaedrické sítě. [7]

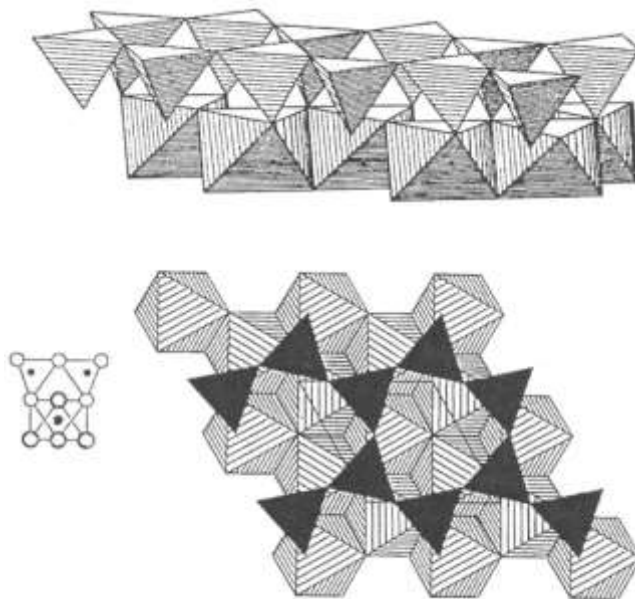


Obrázek 14 - Spojení dvou tetraedrických sítí, přes roviny bazálních kyslíků. Převzato z [7].

Propojení kyslíků tetraedrické sítě se sítí oktaedrickou, vznikají dva typy vrstev:

- a) Vrstvy 1:1 – vznikají tehdy, sdílí-li oktaedrická i tetraedrická síť 1 rovinu kyslíkových atomů.
- b) Vrstvy 2:1 – vznikají tehdy, sdílí-li oktaedrická síť a jí přilehlé tetraedrické sítě společně dvě roviny atomů kyslíku. Obě tetraedrické sítě mají opačnou polaritu a připojují se každá z jedné strany. [4,7]





Obrázek 15 - Polyedrické zobrazení vrstvy 1:1 v perspektivním pohledu – horní obrázek, a v pohledu kolmém na vrstvu – dolní obrázek. Převzato z [7].

Výše popsané vrstvy mohou být mezi sebou různým způsobem kombinovány a vytváří klad vrstev, který může být pravidelný, ale mnohem častěji je nepravidelný. A jednotlivé sítě jsou mezi sebou různě posunuté a různě orientované. Prostor mezi jednotlivými vrstvami se nazývá mezivrství. Spojením jedné vrstvy a mezivrství vzniká základní strukturní jednotka phyllo-křemičitanu, která zároveň definuje jeho složení. Jednotlivé vrstvy jsou buď elektricky neutrální, nebo mají díky možným substitucím záporný náboj. [4] Z hlediska celkové struktury můžeme vrstevnaté křemičitanu dělit na planární fylosilikáty, kde jsou sítě tetraedrů rovinné, a neplanární fylosilikáty, u nich jsou vrstvy různě ohnuté či stočené, nebo je narušena periodicitu vrstev. [4] Zcela planární uspořádání struktury je velmi vzácné. [1]

## 2.4. Klasifikace phyllo-křemičitanů

Je založena na strukturních a krystalo-chemických rysech základních strukturních jednotek fylosilikátů. Mezi tato kritéria patří [4,7]:

1. Typ vrstev
2. Obsah mezivrství

3. Náboj vrstvy
4. Typ oktaedrických sítí – zda jsou trioktaedrické nebo dioktaedrické
5. Chemické složení

Tabulka 4 - Rozdělení fylosilikátů. Převzato z [7]

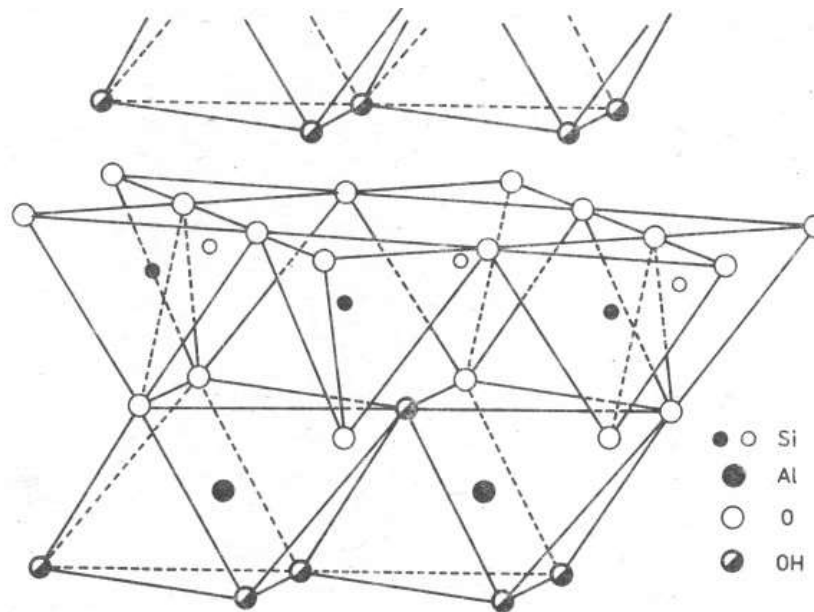
Skupina	Vrstva	mezivrství	typ oktaedrické sítě	minerály příklady
serpentinu-kaolinu	1:1	bez materiálu nebo jen H <sub>2</sub> O	trioktaedrická	lizardit, amesit, nepouit, kellyit
			dioktaedrická	kaolinit, dickit, nakrit, halloysit
mastku-pyrofylitu	2:1	bez materiálu	trioktaedrická	mastek, kerolit, pimelit, willemseit
			dioktaedrická	pyrofylit, feripyrofylit
Slíd	2:1	nehydratované jednomocné kationty	trioktaedrická	annit, siderofylit, biotit, flogopit, eastonit, ...
			dioktaedrická	muskovit, fengit, seladonit, illit, ...
Křehkých slíd	2:1	nehydratované dvojmocné kationty	trioktaedrická	clintonit, bityit
			dioktaedrická	margarit, černikit
Smektitů	2:1	hydratovatelné vyměnitelné kationty	trioktaedrická	saponit, hektorit, sauconit
			dioktaedrická	montmorillonit, nontronit, beidellit
vermikulitů	2:1	hydratovatelné vyměnitelné kationty	trioktaedrická	dioktaedrický vermikulit
			dioktaedrická	trioktaedrický vermikulit
Chloritů	2:1	hydroxidová síť	trioktaedrická	pennin, klinochlor, chamosit
			dioktaedrická	donbasit
			di-, trioktaedrická	cookeit, sudoit
pravidelně smíšených struktur	2:1	variabilní	trioktaedrická	corrensit, hydrobiotit
			dioktaedrická	rectorit, tosudit

### 2.4.1. Minerály skupiny serpentinu – kaolínu

Morfologie částic těchto minerálů je značně různorodá. Vytváří jak velmi dobře vyvinuté krystaly např. cronstedtit, tak i jemnozrnné agregáty různých typů, které tvoří např. kaolinit. Hlavním důvodem různorodé morfologie je velká strukturní variabilita těchto minerálů. Struktura vrstev minerálů skupiny serpentinu – kaolínu je složena z vrstev 1:1 a jednotlivé vrstvy jsou navzájem propojené pomocí vodíkových vazeb. Chemické složení fylosilikátů této skupiny lze vyjádřit obecným vzorcem:  $(R_y^{3+}R_z^{2+}\square_{3-y-z})(Si_{2-w}(Al, Fe^{3+})_w)O_5(OH)_4$ . Veličina R představuje oktaedrické kationty a mezi  $R^{2+}$  patří především  $Mg^{2+}$ ,  $Fe^{2+}$ ,  $Ni^{2+}$  a  $Mn^{2+}$ . Mezi  $R^{3+}$  pak patří  $Al^{3+}$ ,  $Fe^{3+}$  a  $Cr^{3+}$ . [7] Do této skupiny řadíme minerály kaolinit, dickit a nakrit. [4]

#### ***Kaolinit***

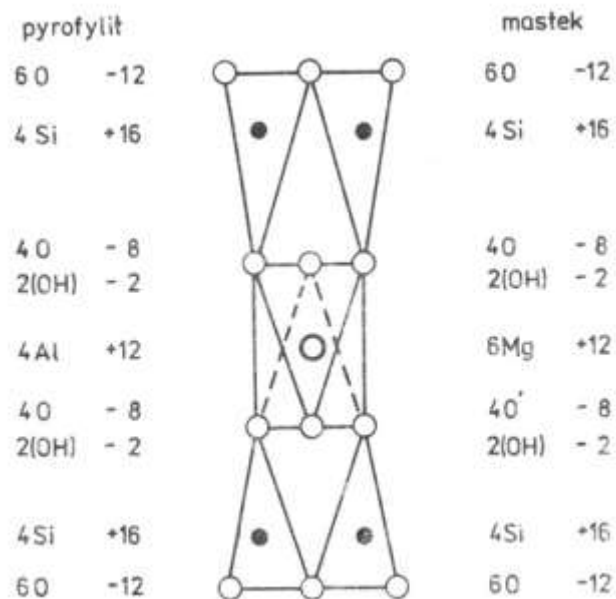
Kaolinit je nejrozšířenějším minerálem skupiny serpentinu – kaolínu, s obecným vzorcem  $Al_2Si_2O_5(OH)_4$ . Je základní částí kaolínu a majoritní složkou jílu a hlín. [12] Je tvořen tetraedry  $[SiO_4]^{4-}$  a oktaedry  $[Al(OH)_6]^{3-}$ . Jednotlivé vrstvy jsou vzájemně propojeny kovalentní vazbou Si-O-Al. Vzhledem k tomu, že se v mezivrstvě nenachází prakticky žádné kationty, je spojení jednotlivých vrstev 1:1 umožněno pomocí vodíkových můstků a Van der Waalsových sil. [16] Kaolinit obvykle tvoří destičky hexagonálního tvaru, velmi dobře viditelných pod elektronickým mikroskopem. [12] Jednotlivé destičky bývají uspořádány podle bazálních ploch do pokroucených sloupečků. Ve výjimečných případech vytváří vláknité agregáty. [4] Jednou ze základních vlastností kaolinitu je dehydroxylace (odstranění  $OH^-$  skupiny) za zvýšené teploty. Během dehydroxylace dochází k odpaření vody z oktaedrických vrstev kaolinitu bez toho, že by došlo ke změně vnitřní struktury minerálu. Tento jev se nazývá topotaxe. Kaolinit nachází široké uplatnění v téměř všech odvětvích průmyslu, jako je např. stavebnictví, nátěry, výroba keramiky, plnivo do plastů, gum a barev, ale i v potravinářském a kosmetickém průmyslu. [16]



Obrázek 16 - Struktura kaolinitu, vzájemné propojení tetraedrické sítě s dioktaedrickou sítí do vrstvy 1:1. Převzato z [17].

#### 2.4.2. Skupina mastku-pyrofylytu

Struktura minerálů této skupiny phyllo-křemičitanů je tvořena vrstvami 2:1, mezi nimiž se nenachází žádné mezivrstvy a náboj vrstev je prakticky nulový. Jednotlivé vrstvy jsou vázány převážně Van der Waalsovými silami, díky čemuž je velmi snadné jednotlivé vrstvy od sebe odloučit. Nejznámějším a zároveň nejrozšířenějším minerálem této skupiny je mastek. [7]

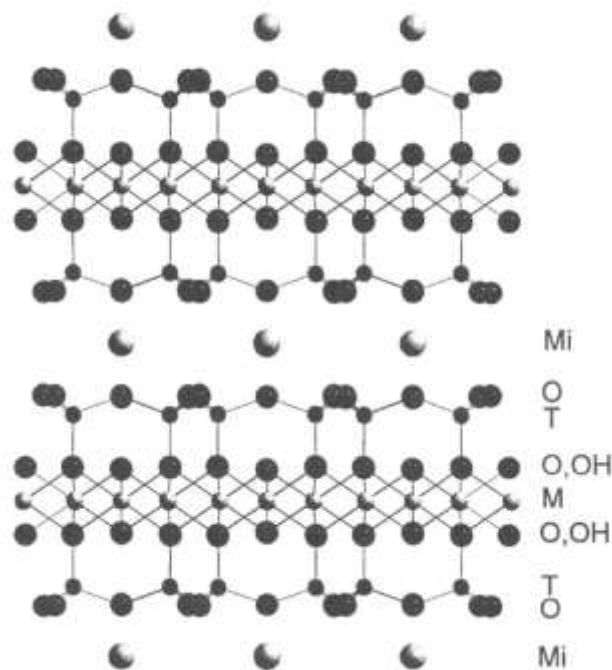


Obrázek 17 - Nábojová bilance vrstvy 2:1 minerálů skupiny mastek – pyrofyilit. Převzato z [17]

### Mastek

Mastek, chemickým vzorcem  $Mg_3Si_4O_{10}(OH)_2$  je známý především pro svoji nízkou tvrdost, díky níž se snadno deformuje. Vytváří jemně zrnité až celistvé agregáty nebo tenké krystaly, které jsou ale vidět jen velmi zřídka. Podobně jako serpentín, mastek vyžaduje prostředí bohaté na hořčík. Proto se vyskytuje v ultrabazických metamorfních horninách a je běžnou součástí serpentínů. Průmyslově je využíván především na výrobu žáruvzdorných hmot. [4,18]





*Obrázek 19 - Schématické zobrazení struktury slíd složené z vrstev 2:1. M označuje pozice kationtů v oktaedrických sítích, T v tetraedrických sítích a Mi pozice mezivrstevních kationtů. Převzato z [7].*

#### **2.4.4. Skupina křehkých slíd**

Skupina křehkých slíd je velmi podobná skupině slíd, často se řadí jako jejich podskupina. Od skupiny slíd se liší především kationtem v mezivrstvi. Dominujícím kationtem této skupiny je dvojmocný  $\text{Ca}^{2+}$ , méně častěji  $\text{Ba}^{2+}$ . Mezi minerály této skupiny řadíme clintonit s trioktaedrickou sítí a margarit s dioktaedrickou sítí. [7,16]

#### **2.4.5. Skupina vermikulitů**

Vermikulity patří mezi další jílové minerály typu 2:1. V přírodě jsou poměrně časté a vytváří šupinkové agregáty. Mají podobnou krystalovou strukturu jako chlority. Jsou tvořeny 2:1 vrstvami, mezi nimiž se nachází mezivrstvi s hydratovanými vyměnitelnými kationty, nejčastěji hořčíkem. Hydratované kationty působí v molekule jako mosty držící jednotlivé vrstvy pohromadě. Izomorfní substituce dává vermikulitům vysoký čistý záporný náboj. Podle dominujícího kationtu v mezivrstvi lze pak jednotlivé vermikulity dělit – např: Mg-vermikulit, Ba-vermikulit. [7,19]

#### 2.4.6. Skupina chloritů

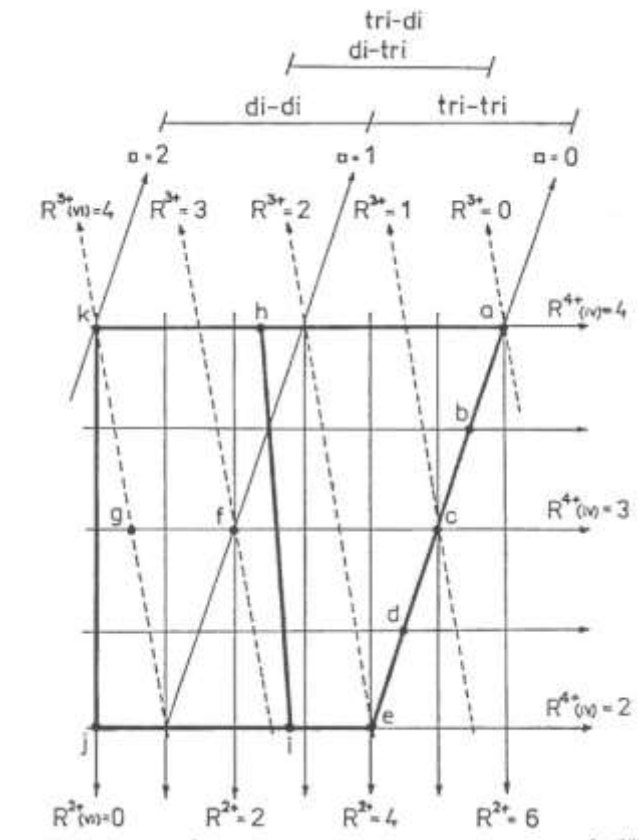
Chlority patří mezi minerály skupiny phyllo-křemičitanů s vrstvami typu 2:1. Skládají se z centrální dioktaedrické nebo trioktaedrické sítě a dvou tetraedrických sítí s opačnou polaritou. Mezi sítěmi je mezivstevní prostor, kde se nachází kationty a hydroxylové skupiny. Jednotlivé sítě jsou pak propojeny pomocí vodíkových vazeb. [4,19] Vzhledem k tomu, že struktura minerálů této skupiny obsahuje pouze dvě oktaedrické sítě, které jsou buď dioktaedrické nebo trioktaedrické, je možné chlority rozdělit do 3 následujících skupin:

1. Tri-trioktaedrické chlority – u nichž jsou obě sítě trioktaedrické. Z minerálů sem patří pennin, klinochlor a chamosit.
2. Tri-dioktaedrické chlority – u nichž je jedna síť trioktaedrická a druhá dioktaedrická a patří sem pouze jediný minerál donbasit.
3. Di-dioktaedrické chlority – u nichž jsou obě sítě dioktaedrické a řadíme sem minerál cookeit a sudoit. [7,16]

Chlority lze dělit ještě podle jednoho kritéria, a to podle dominantního oktaedrického kationtu do 2 následujících skupin:

1. Podskupina s dominujícím dvojmocným kationtem ( $R^{2+} > R^{3+}$ )
2. Podskupina s dominujícím trojmocným kationtem ( $R^{3+} > R^{2+}$ )





Obrázek 20 - Kompoziční diagram pro rozdělení chloritů.  $R^{4+}$  jsou tetraedrické atomy,  $R^{3+}$  a  $R^{2+}$  atomy v oktaedrické síti. Převzato z [7].

#### 2.4.7. Skupina smíšených struktur

Pojmem smíšená struktura se rozumí taková struktura, kde se střídají nejméně dva druhy základních strukturních jednotek ve směru kolmo na rovinu vrstvy. Střídání nebo také prorůstání či interstratifikace může být buď pravidelné nebo nepravidelné a podle toho pak lze smíšené struktury rozdělit do dvou skupin:

1. Pravidelně smíšené struktury – vznikající spojením dvou druhů základních stavebních jednotek, a utváří novou a větší základní strukturní jednotku, která se periodicky opakuje.
2. Nepravidelně smíšené struktury – u nich se druhy základních stavebních jednotek střídají nepravidelně a vzniklý strukturní motiv je neperiodický. V přírodě se vyskytují mnohem častěji než pravidelně smíšené struktury. [7]

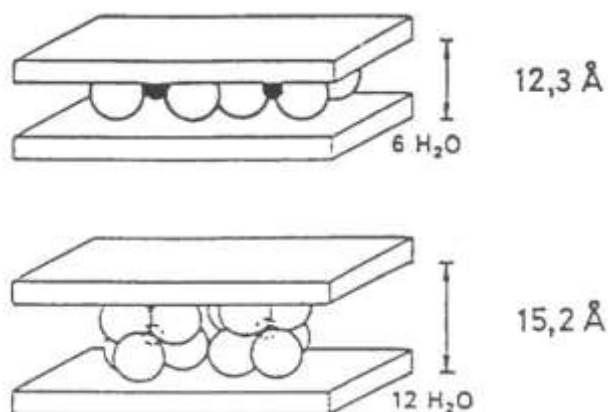
#### 2.4.8. Minerály skupiny smektitů

Minerály skupiny smektitů patří mezi nejdůležitější phyllo-křemičitany, neboť se s nimi setkáváme prakticky každý den. Jsou součástí zvířeného prachu ve vzduchu, nedílnou součástí půd a horninotvorných minerálů a zároveň představují mimořádně důležitou výrobní surovinu. [14] Skupinu smektitů tvoří hliněné a bentonitové minerály, mezi které patří montmorillonity, beidelit, nontronit, hektorit a saponit. Všeobecně platí, že obecný vzorec jílu (část skupiny smektitů) je  $(Ca, Na, H)(Al, Mg, Fe, Zn)_2(Si, Al)_4O_{10}(OH)_2 \times H_2O$ . [13]

##### ***Struktura a mezivrstvi smektitů***

Struktura těchto minerálů se skládá z dioktaedrických nebo trioktaedrických vrstev v poměru 2:1. Mezi vrstvami se nachází kationty (nejčastěji Na, K, Mg a Ca) společně s jejich hydratačními obaly tvořenými molekulární vodou. [4] Kationty nejsou v mezivrstvi pevně fixované, jsou to tzv. vyměnitelné kationty. Dostanou-li se do prostředí s dostatečně vysokou koncentrací jiných kationtů, dojde k jejich výměně. Do mezivrstvi se dostávají převážně kationty s nízkou hydratační energií a malým iontovým poloměrem. Do mezivrstvi se ale mohou dostat i jiné polární látky jako je voda a organické sloučeniny. Z výše napsaného vyplývá, že mezivrstvi smektitů jsou schopné měnit svoji velikost podle toho, jakou látku zrovna přijímají a po jejím odejmutí se zase navrátí do původní velikosti. Tato vlastnost se označuje jako bobtnavost. Voda má ve smektitech důležitou úlohu převážně při jejich praktickém využití. V mezivrstvi se může nacházet až ve dvou vrstvách, je součástí hydratačních obalů vyměnitelných kationtů a může tvořit až 10 hmotnostních procent smektitů. [14]

Smektity patří mezi velmi běžné minerály nacházející se téměř ve všech geologických prostředích. Nejvíce smektitů vzniká během zvětrávacích procesů. Minerály skupiny smektitů nejsou moc citlivé na podmínky vzniku. Rozmezí pH je od slabě kyselého po slabě bazické, díky čemuž je jejich výskyt výrazně vyšší než u kaolínu. Díky svým fyzikálně-chemickým vlastnostem, přináší do sedimentárních prostorů nejrůznější vyměnitelné kationty, vodu a organické látky, které se v následném procesu diagenese aktivně podílejí na přeměně sedimentů. [14]



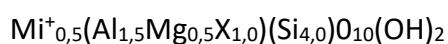
Obrázek 21 - Mezivrství smektitů se zvětšujícím se množstvím vody. Převzato z [7]

### Rozdělení smektitů

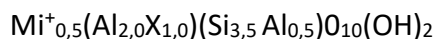
Smektity lze dle rozsahu substituce dělit na dioktaedrické smektity a trioktaedrické smektity. [7]

Dioktaedrické smektity mají podle typu oktaedrické a tetraedrické substituce 4 koncové členy:

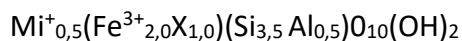
Montmorillonit – pro něj je typické, že tetraedrické pozice nevykazují žádnou nebo jen velmi malou míru substituce Al<sup>3+</sup> za Si<sup>4+</sup>. Náboj vrstvy 2:1 tak představuje především oktaedrická substituce. Idealizovaný montmorillonit má následující krystalochemický vzorec:



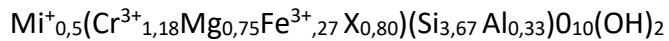
Beidellit – je charakteristický tím, že tetraedrické pozice vykazují substituci Al<sup>3+</sup> za Si<sup>4+</sup> a oktaedrická substituce R<sup>2+</sup> za Al<sup>3+</sup> (Al<sup>3+</sup> je dominantním oktaedrickým kationtem) je jen nepatrná nebo žádná. Náboj vrstvy 2:1 je na rozdíl do montmorillonitu dán především tetraedrickou substitucí. Idealizovaný beidellit má následující krystalochemický vzorec:



Nontronit – vykazuje též tetraedrickou substituci Al<sup>3+</sup> za Si<sup>4+</sup> a oktaedrickou substituci R<sup>2+</sup> za R<sup>3+</sup>, ta je ale jen malá nebo žádná. Nontronit má jako dominantní oktaedrický kationt Fe<sup>3+</sup>. Idealizovaný nontronit má následující krystalochemický vzorec:

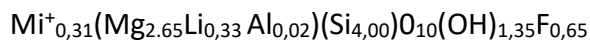


Volkonskoit – má substituován tetraedrický  $Al^{3+}$  za  $Si^{4+}$ . Jako dominantní oktaedrický kationt zde vystupuje  $Cr^{3+}$ . Jeho typické složení je vyjádřeno následujícím krystalochemickým vzorcem:

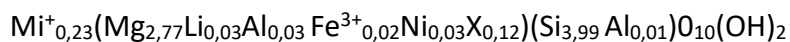


Trioktaedrické smektity lze rozdělit do 3. následujících skupin:

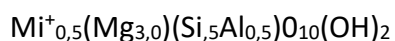
Hektorit – který má dominantní oktaedrický kationt  $Mg^{2+}$  částečně substituovaný za  $Li^{+}$  je vyjádřen následujícím krystalochemickým vzorcem:



Stevensit – dominantním oktaedrickým kationtem je zde  $Mg^{2+}$ , s malým množstvím substituovaného  $Li^{+}$  a neobsazených oktaedrů. Jeho složení je vyjádřeno následujícím krystalochemickým vzorcem:



Saponit – pro něj je typické, že tetraedricé pozice vykazují substituci  $Al^{3+}$  za  $Si^{4+}$  a oktaedrická substituce dominujícího  $Mg^{2+}$  je jen nepatrná a je vyjádřen následujícím krystalochemickým vzorcem:



### 3. Jílové minerály

Dle všeobecně uznávané definice slovem „jíl“ nazýváme přírodní směsný materiál, složený z jemně zrnitých minerálů. Mezi jeho základní vlastnosti patří plasticita s přiměřeným obsahem vody a ztvrdnutí po vypálení či vysušení. Jedná se o zcela přirozenou součást půdního prostředí. Je levný, běžně dostupný a netoxický pro životní prostředí. Součástí jílu jsou jílové minerály, především phyllo-silikáty, ale také další minerály, hydroxidy a oxidy, díky nimž mají jíly plasticitu, a které vytvrzují po vysušení či vypálení. [24]

Česká republika má velká a významná ložiska jílových minerálů. Především na Plzeňsku a Karlovarsku se nachází jedny z největších a nejkvalitnějších ložisek kaolínu na světě. Společným charakteristickým znakem jílových minerálů je vrstevnatá struktura a výskyt ve velmi jemných částicích. Fyzikální a technologické vlastnosti jílových zemin závisí především na jejich složení, struktuře, tvaru a velikosti částic. V přírodě vznikaly větráním sopečných hornin – žuly, ruly a porfyru, jejichž hlavními složkami jsou křemen, živce a slída. Křemen se během větrání chemicky nezměnil, na rozdíl od alkalického živce, který se přeměňuje v kaolinit a vápenatého živce, který se přeměňuje v montmorillonit. [12]

Jílové minerály mají široké pole uplatnění. Jedním z nich je jejich využití v nanotechnologiích. Tloušťka jedné vrstvy jílového minerálu dosahuje cca 1 nm, díky čemuž je můžeme zařadit do skupiny nanomateriálů. Mezi nejvýznamnější produkty, které využívají jílové minerály, patří polymerní nanokompozitní materiály. Primární úlohou nanočástic jílových minerálů v polymerní matici je vyztužení a zvýšení modulu pevnosti výsledného polymeru. Polymerní nanokompozity využívající jílové minerály jsou dnes běžně užívány v např. obalových a izolačních materiálech nebo v automobilovém průmyslu. [24]

V současné době dochází k velkému uplatnění jílových materiálů také v oblasti farmacie a biologie, a to zejména k tvorbě a aplikaci nano-biohybridních materiálů, které jsou využívány v oblasti účinného a bezpečného transportu biologicky aktivních molekul. Dále jsou využívány k tvorbě materiálů s antibakteriálními účinky. [24]

## 4. Montmorillonit

Montmorillonit je nejrozšířenější a nejčastěji využívaný minerál skupiny smektitů, ostatní smektitové minerály mají pouze omezené použití. Díky širokému technologickému využití jej řadíme mezi velmi významné jílové minerály. [7] Nejčastěji vzniká zvětráváním čedičových tufů, sopečných popelů a skel. Může ale vzniknout i z horkých pramenů a gejzírů. Vytváří jemnozrnné agregáty, které jsou pod elektronovým mikroskopem viditelné jako jemné destičkové tvary se špatně definovatelnými obrysy. Montmorillonit je bílý, narůžovělý, nažloutlý, šedý či světle šedý a má průsvitné krystaly. [11,20] Minerál byl pojmenován podle francouzského města Montmorillon, kde se nalézá ve velkém množství. Česká republika má poměrně velká naleziště montmorillonitu v Braňanech u Mostu (České středohoří) a Rokli u Kadaně (Doupovské hory). [11, 21]



Obrázek 22 - červenohnědý montmorillonit. Převzato z [28]

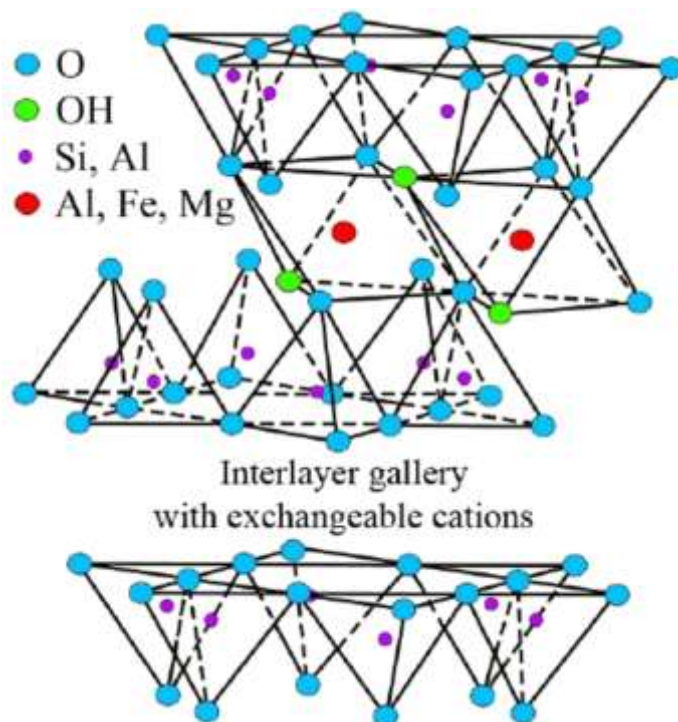
## 4.1. Struktura montmorillonitu

V technické praxi se mnohem více než s pojmem montmorillonit setkáváme s pojmem bentonit. Bentonit je velmi měkká jemnozrnná nehomogenní různě zbarvená hornina a montmorillonit je její hlavní komponentou. Mimo něj bentonit obsahuje i další minerály jako jsou např. illit, kaolinit, křemen, diatomit, vápenec a organické zbytky. Tyto látky představují škodliviny a je-li to možné, jsou úpravou odstraňovány. [7,21]

Vrstevní struktura montmorillonitu se skládá z dioktaedrických vrstev 2:1, které nesou náboj vyrovnaný vyměnitelnými kationty, umístěnými mezi vrstvami. Vzhledem k tomu, že je montmorillonit dioktaedrickým minerálem, jsou u něho možné 3 varianty uspořádání dvou oktaedrických kationtů v základní vrstevní strukturní jednotce. [20] Chemické složení montmorillonitu vyjadřuje vzorec  $M_{0,5}Al_{1,5}Mg_{0,5}(Si_4O_{10})(OH)_2$ , kde písmeno M označuje vyměnitelné kationty. Pro montmorillonit je příznačné, že nevykazuje žádnou nebo jen velmi malou substituci Al – Si v tetraedrických pozicích. Náboj vrstvy 2:1 je tak tvořen pouze oktaedrickou substitucí. V oktaedrické síti je zároveň soustředěn celý náboj. Z hlediska substituce Al - Mg, pak rozdělujeme montmorillonity na:

1. Typ Wyoming - má slabou substituci Al – Mg a poměrně nízký náboj vrstvy 2:1. Mg je ve struktuře umístěn neuspořádaně.
2. Typ Cheto (Chambers) – má vyšší obsah Mg iontů nacházejících se v jasně definovaných místech oktaedrické vrstvy. Náboj vrstvy 2:1 je střední.
3. Typ Otay – má vysoký obsah Mg a tedy i vysoký náboj vrstvy 2:1.

Úplně zvlášť se uvádí ještě jeden typ montmorillonitu – Fe montmorillonit s obsahem železa v oktaedrech přesahující hodnotu 0,3 v jednotkové cele minerálu. [20,21]

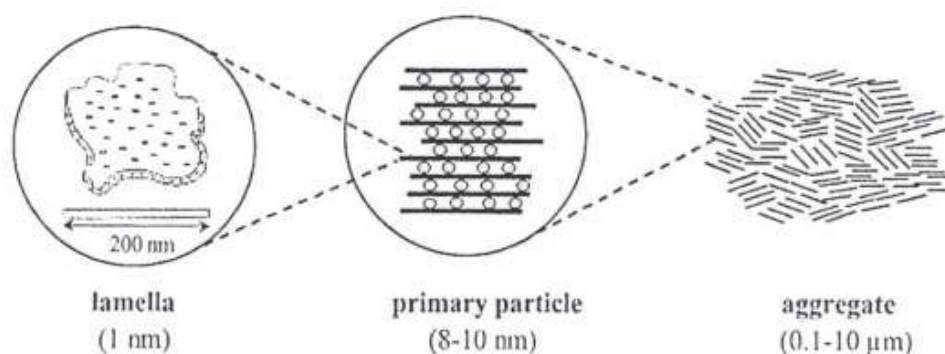


Obrázek 23 - Struktura montmorillonitu. Převzato z [29]

## 4.2. Mikrostruktura montmorillonitu

Mikrostruktura každé vrstvy montmorillonitu může být ve větším měřítku zobrazena jako lamela o velkém aspektálním poměru. Rozměry jednotlivých lamel jsou na délku 100 – 200 nm a o tloušťce 1 nm. 5-10 lamel je doprovázeno mezivrstevními kationty v primárních částicích (8-10 nm v příčném směru), díky čemuž se utváří větší a nepravidelné agregáty – v průměru 0,1 – 10  $\mu\text{m}$ , které dávají jílu jeho turbostratickou strukturu. Dané uspořádání není periodické ve směru kolmém na vrstvy. Dochází ke zcela náhodnému posunu či rotaci celých stavebních jednotek struktury, a to v libovolném směru rovnoběžném s vrstvami. [22]





Obrázek 24 - Morfologie montmorillonitu. Převzato z [30]

### 4.3. Dehydratace a rehydratace montmorillonitu

Jednou z nejdůležitějších vlastností montmorillonitu je jeho schopnost přijímat a odevzdávat vodu z okolí v závislosti na podmínkách okolí, jimž je vystaven. Při vysokých teplotách montmorillonit ztrácí vodu a dehydratuje se. V laboratořích bylo provedeno velké množství pokusů popisujících dehydrataci a rehydrataci montmorillonitu v závislosti na vysokých teplotách. Vystavíme-li montmorillonit s převažujícím kationtem  $\text{Ca}^{2+}$  uvnitř teplotnímu rozmezí 100 – 500 °C, vyvolá to značný úbytek jeho hmotnosti. U montmorillonitu s kationtem  $\text{Na}^+$  v mezivrstevním prostoru je úbytek hmotnosti menší a lineární. Z provedených pokusů bylo možné odvodit přibližný počet molekul vody na 1 kationt z mezivrstevního prostoru. Ca-montmorillonit může přijmout až 9,5 molekul vody na 1 kationt  $\text{Ca}^{2+}$ , zatímco Na-montmorillonit pouze 4,9 molekul vody na 1 kationt  $\text{Na}^+$ . Z výsledků je zřejmé že Ca-montmorillonit může přijmout skoro o polovinu více vody do mezivrstevního prostoru, než Na-montmorillonit. Proces dehydratace obou forem je doprovázen postupným kolapsem jejich struktury. [27]

#### 4.4. Cloisite

Cloisite® je komerčně vyráběný nanojíl krémově bílé barvy, jehož hlavní komponentou je minerál skupiny smektitů – montmorillonit. Je vyráběn v různých konfiguracích navzájem se od sebe lišících druhem organického modifikátoru. Jako organické modifikátory se používají kvartérní amoniové soli, které se dávají jako aditiva do plastů, kde zlepšují jejich fyzikální vlastnosti – vyztužení, odolnost proti vysokým teplotám. [25] Nanojily můžeme rozdělit do 3 skupin, jejich základní vlastnosti uvádí tabulka č. 5.

Tabulka 5 - Základní charakteristika 3 skupin nanojílů. Převzato z [26]

Vlastnosti	Typy nanojílů		
	Cloisite® Na+	Cloisite® 20A	Cloisite® 30B
Vlhkost	12 %	< 3 %	< 3 %
Velikost částic	16-22 μm	14 – 18 μm	14 -18 μm
Barva	Bílá	šedá	krémově bílá
Hustota	2,6 g/cm <sup>3</sup>	1,7 g/cm <sup>3</sup>	1,9 g/cm <sup>3</sup>
Hydrofobita	Hydrofilní	značně hydrofobní	značně hydrofobní

##### Cloisite® Na<sup>+</sup>

Je přírodní montmorillonit bez přídavku organického modifikátoru, který obsahuje v prostoru mezi vrstvami vyměnitelné kationty Na<sup>+</sup>. [25]

##### Cloisite® 20A

Je modifikovaná forma montmorillonitu, kde je organickým modifikátorem dimethyldihydrogen-HT-kvartérní chlorid amonný. HT je zkratka pro označení alifatického uhlovodíkového řetězce, který přibližně obsahuje 65 % C18, 30 % C16 a 5 % C14. [25]

##### Cloisite® 30B

Je další modifikovaný montmorillonit, kde je organickým modifikátorem methyl-Tbis-2-hydroxyethyl kvartérní chlorid amonný. T je zkratka pro označení alifatického uhlovodíkového řetězce, který přibližně obsahuje 65 % C18, 30 % C16 a 5 % C14. [25]

#### 4.5. Využití v chemickém průmyslu

Bentonit či montmorilonit nachází četné využití v chemických výrobnách, především v katalytické chemii. Bentonit je používán jednak jako nosič katalyzátorů, a jednak jako katalyzátor samotný (většinou pro organické syntézy). Ropný průmysl jako první široce rozvinul oblast jejich použití. Příklady aplikací jsou shrnuty v následujících bodech:

- Výroba motorových paliv katalytickým krakováním těžkých ropných produktů
- Výroba benzínu
- Dehydrogenace parafinových uhlovodíků
- Výroba syntetického ethanolu
- Výroba syntetického kaučuku
- Výroba mazacích tuků ...

Bentonity tvoří též významnou složku různých průmyslových deodorantů, sloužících k odstraňování nežádoucích zápachů. Např. deodorant pro čištění vzduchu v uzavřených prostorech. Dále tvoří součásti vysoušedel a průmyslových plynů. [7]

#### 4.6. Využití v potravinářském průmyslu

V potravinářském průmyslu nachází montmorillonity využití zejména k rafinaci, odbarvování, čištění a stabilizaci rostlinných a živočišných tuků a olejů. Dále k čerění a filtraci vín, moštů, ovocných šťáv a sirupů a ke stabilizaci piva, kde se využívá především velmi dobrých sorpčních vlastností montmorillonitů. K čištění olejů jsou nejvhodnější aktivované montmorillonity, méně účinná je jeho přírodní Ca forma. Pro přípravu nápojů se používají jak vápenaté, tak sodné, nebo i natrifikované formy montmorillonitů. [7]

#### **4.7. Využití v zemědělství**

V oblasti zemědělství nachází bentonity uplatnění při zúrodnování písčitých půd, kde se využívá zejména přírodních vápenatých a sodných bentonitů, dále k výrobě granulovaných krmných směsí zejména pro hovězí dobytek, a při kompostování. Montmorillonitické jíly významným způsobem zúrodnují písčité půdy tím, že vytváří sorpční komplexy, které zlepšují vodní a tepelný režim v těchto půdách. Bentonity se ve velkém využívají i pro pěstování sazenic květin a lesních stromků. Zejména bentonity s vyšším obsahem montmorillonitové složky jsou hojně využívány pro přípravu suspenzních hnojiv. [7]

#### **4.8. Využití ve farmacii a kosmetickém průmyslu**

Obecně jíly nachází velké uplatnění u různých druhů lékových forem, jak pevných – tobolky, tablety, prášky, tak i kapalných – emulze, suspenze a polotuhých – masti, pasty, gely, krémy. Smektity, kaolinit, mastek se využívají v kosmetickém a farmaceutickém průmyslu především pro své fyzikální a fyzikálně chemické vlastnosti, jako jsou vysoká adsorbční kapacita, schopnost bobtnat, rozpustnost ve vodě, reaktivita s kyselinami, hygroskopičnost a tixotropie. Mimo lékové formy nachází výše zmiňované minerály uplatnění i jako základní složky léčivých přípravků s cíleným nebo řízeným uvolňováním léčiva. Smektity se dlouhodobě využívají v tekutých lékových formách především jako stabilizátory suspenzí a emulzí, dále v mastích a čípcích pro řízené uvolňování léčiv. V pevných lékových formách jsou hojně využívány jako pojiva a rozvolňovadla a také jako složky systémů s řízeným uvolňováním léčiv. [31]

Pro výrobu kosmetických přípravků se používají především vápenaté a sodné bentonity a uměle natrifikované bentonity. Bentonit nachází uplatnění například jako stabilizátor v přípravcích proti pocení, dále jako součást při výrobě toaletních mýdel, nebo jako přísada do činidla pro ošetření pokožky po aplikaci depilátorů. [7]

## 4.9. Využití ve stavebnictví

Bentonit má ve stavebnictví široké využití, zejména pro své bobtnavé, tixotropní, hydrofilní a tmelící vlastnosti. Nejdůležitější aplikační oblasti jsou:

### 1. Využití bentonitových suspenzí pro injektáže

Velkou výhodou bentonitových suspenzí na rozdíl od cementových je lepší vodotěsnost a odolnost proti agresivním vodám, jemnější zrnitost a bobtnavost.

### 2. Utěsnění objektů při vnitřním průsaku vody

Přídavek bentonitu do vody zapříčiní již po krátké době utěsnění pórů či netěsností v betonu bentonitovými částicemi. Využívá se toho např. při těsnění přehrad.

### 3. Budování podzemních stěn pomocí bentonitových suspenzí

Většina podzemních stěn se buduje z betonu či železobetonu, je-li potřeba pro těsnící účely, potom z jílu. Bentonitové suspenze zvyšují těsnící vlastnosti především díky vyšší objemové hmotnosti, viskozitě a tixotropii.

### 4. Využití bentonitu pro těsnící účely

### 5. Využití bentonitů jako přísady do betonu a cementové malty

### 6. Bentonit jako složka nových stavebních materiálů

V této oblasti má montmorillonit svoje nezastupitelné místo. Typickými příklady jsou bezasbestové vláknito – cementové stavební materiály, stavební materiály vyrobené z odpadních materiálů a popílků, lehčí betony či ohnivzdorné stavební příčky a desky.

[7]

## 5. Závěr

Bakalářská práce obsahuje souhrn informací o křemičitanech, jílových minerálech, montmorillonitu a jeho využití.

Prvá část bakalářské práce se zabývá na křemičitany v obecné poloze a dále jejich rozdělením do pěti skupin: neso-křemičitany, soro-křemičitany, cyklokřemičitany, ino-křemičitany, phyllo-křemičitany a tekto-křemičitany. Zvláštní pozornost je věnována základní stavební jednotce křemíko-kyslíkovému tetraedru  $[\text{SiO}_4]^{4-}$  a způsobu, jakým je v jednotlivých skupinách vázána. Dále jsou u každé skupiny uvedeny příslušné minerály, jako její konkrétní zástupci.

Druhá část se věnuje skupině phyllo-křemičitanů, do které patří nejznámější a pro člověka nejvyužívanější minerály, a to především jejich vrstevnaté struktury, vzájemnému propojování jednotlivých vrstev a mezivrstevním kationtům. Skupina phyllo-silikátů je velmi obsáhlá, spadá do ní 8 skupin minerálů: skupina serpentinu – kaolínu, mastku-pyrofylitu, slíd, křehkých slíd, smektitů, vermikulitů, chloritů a pravidelně smíšených struktur. Důraz byl kladen především na skupiny smektitů a skupinu serpentinu – kaolínu, jejichž minerály řadíme mezi jílové minerály, kterých se především práce týká.

Třetí a čtvrtá část obsahuje informace o jílových minerálech a jejich využití v nejrůznějších odvětvích průmyslu a to zejména o montmorillonitu, jako hlavním minerálu skupiny smektitů, který nachází významné uplatnění v polymerní chemii a farmakochemii.

## 6. Použitá literatura

1. GREENWOOD, Norman Neill, EARNSHAW, Alan. *Chemie prvků*, Praha: Informatorium, **1993**, 421-435. ISBN 80-85427-38-9.
2. KRAUS, Ivan, ČÍČEL, Blahoslav. *Mineralogie a geologie pro 2. ročník SOŠ*. Praha: Státní nakladatelství technické literatury, **1989**, 93-106. ISBN 341- 4001
3. MATYÁŠEK, Jiří, SUK, Miloš. *VII. třída: Silikáty, Přehled minerálů a hornin určeno studentům učitelství a základních a středních školách*. [Online] Servisní středisko pro e-learning na MU, **2007**, [Citace: 19.4.2018], <https://is.muni.cz/elportal/estud/pedf/js07/mineraly/materialy/mineraly/silikaty.html>
4. LOSOS, Zdeněk, VÁVRA, Václav. *Multimediální studijní texty z mineralogie pro bakalářské studium*. [Online] Ústav geologických věd, Přírodovědecká fakulta Masarykova univerzita, Brno, **2013**, [Citace: 20.4.2018], [http://mineralogie.sci.muni.cz/kap\\_7\\_9\\_nesosil/kap\\_7\\_9\\_nesosil.htm](http://mineralogie.sci.muni.cz/kap_7_9_nesosil/kap_7_9_nesosil.htm)
5. KULVEITOVÁ Hana. *Chemie II. (Chemie prvků)*. Ostrava: Vysoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava, 67-69, ISBN 978-80-248-1322-6.
6. KORBEL, Petr, NOVÁK, Milan. *Minerály: praktická encyklopedie*. Čestlice: Rebo, **2013**. ISBN 978-80-255-0723-0
7. WEISS, Zdeněk, KUŽVART, Miloš. *Jílové minerály, jejich nanostruktura a využití*. Praha: Nakladatelství Karolinum, **2005**. ISBN 80-246-0868-5.
8. LAVIKKO, Sonja, EKLUND, Olav. The role of the Silicate Groups in the Extraction of Mg with the ÅA route method. *Journal of CO2 Utilization*. **2016**, 16, 466-473. ISSN 2212-9820.
9. HANYKÝŘ, Vladimír, KUTZENDÖRFER Jaroslav. *Technologie keramiky. 2.vyd., V Silikátovém svazu 1*. Praha: Silikátový svaz, **2008**, 387 s. ISBN 978-80-86821-48-1.
10. KULPRATHIPANJA, Santi. *Zeolites in Industrial Separation and Catalysis*. John Wiley & Sons, **2010**. ISBN 978-1-61344-513-6. [Citace: 20.4.2018]

[https://app.knovel.com/web/toc.v/cid:kpZISCO001/viewerType:toc/root\\_slug:zeolites-in-industrial/url\\_slug:zeolites-in-industrial](https://app.knovel.com/web/toc.v/cid:kpZISCO001/viewerType:toc/root_slug:zeolites-in-industrial/url_slug:zeolites-in-industrial).

11. VELEBIL, David. *Minerály pod nohama, v průmyslu a ve sbírkách. Hlavní minerály, jejich vznik, výskyt a použití*. Praha: Academia **2012**, 375 s. ISBN 978-80-200-2093-2.
12. HLAVÁČ, Jan. *Základy technologie silikátů*. Praha: SNTL – Nakladatelství technické literatury, **1981**, 115-118.
13. MISHRA, Ajay Kumar, ed. *Nanomaterials for Water Remediation: Inorganic Oxide Materials, Volume 2*. Smithers Rapra Technology, **2016**, 253 s. ISBN: 978-1-91108-801-1.
14. ŠUCHA, Vladimír. *Íly v geologických procesoch*. Bratislava: Univerzita Komenského, **2001**, 159 s. ISBN 80-223-1547-8.
15. ČEJKA, Jiří, ŽILKOVÁ, Naděžda. Syntéza a struktura zeolitů. *Chemické listy*. **2000**, 94 (5), 278-287. ISSN 0009-2770.
16. BARTOŠÍK, Jan. *Zvyšování bělosti kaolinu* (diplomová práce). Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta chemická. **2017**.
17. KUHN, Petr, ZAMARSKÝ, Vítězslav. *Mineralogie systematická, II. díl – silikáty*. Ostrava: Vysoká škola báňská, **1984**, 328 s.
18. *Mineralogy. Phyllosilicates* [online]. Tulane University, 2015 [cit. 2017-02-09]. <http://www.tulane.edu/~sanelson/eens211/phyllsilicates.htm>
19. JUO, Anthony S.R., FRANZLUEBBERS, Kathrin. *Tropical Soils - Properties and Management for Sustainable Agriculture*. Oxford: Oxford University Press, **2003**, ISBN 0-19-511598-8.
20. MELKA, Karel, ŠTASTNÝ, Martin. *Encyklopedický přehled jílových a příbuzných materiálů*. Praha: Academia, **2014**, 247–253. ISBN 978-80-200-2369-8.
21. HNILIČKA, Jakub. *Studium možnosti hodnocení interkalace / exfoliace systému polymer / jílu* (Diplomová práce). Zlín: Univerzita Tomáše Bati, Fakulta technologická, **2006**.



22. JURÁK, Petr. *Studium ztužení pryže montmorillonitem* (Diplomová práce), Zlín: Univerzita Tomáše Bati, Fakulta technologická, **2002**.
23. PALIÁN, Štěpán. *Změny složení vodné fáze v závislosti na poměru bentonit-voda*. (Bakalářská práce), Brno: Masarykova Univerzita, Přírodovědecká fakulta, **2015**.
24. PLACHÁ, Daniela, MARTYNKOVÁ, Gražyna Simha, VALÁŠKOVÁ, Marta. Význam jílu a jílových minerálů v nanotechnologiích. *Chemické listy*, **2010**, 104 (6), s. 582–583. ISSN 0009-2770.
25. High quality nanomaterials and nano-equipment [online]. 2010 [cit. 2018-06-15]. Dostupné z: [http://www.neunano.com/index.php?option=com\\_content&view=article&id=73&Itemid=84](http://www.neunano.com/index.php?option=com_content&view=article&id=73&Itemid=84)
26. LIU, Guichao, SONG, Ye, WANG, Jiamei, ZHUANG, Jiamei, MA, Lei, LI, Can, LIU, Yao, ZHANG, Jianhao. Effects of nanoclay type on physical and antimicrobial properties of PVOH - based nanocomposite films. *LWT – Food Science and Technology. Elsevier*, **2014**, 57 (2), 562-68. ISSN 0023-6438.
27. JANKAJ, Tomáš. *Vliv poměru pevná fáze/voda při sycení bentonitu na přechod do koloidního stavu* (Bakalářská práce), Brno: Masarykova univerzita, přírodovědecká fakulta, **2013**.
28. JIRÁSEK, Jakub. VAVRO, Martin. *Nerostné suroviny a jejich využití. Ostrava: Ministerstvo školství, mládeže a tělovýchovy ČR & Vysoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava, 2008. ISBN 978-80-248-1378-3*. [online]. 2008 [cit. 2018-06-20]. Dostupné z <http://geologie.vsb.cz/loziska/suroviny/nerudy/bentonit.html>
29. STEINMETZ, David Richard. *Texture evolution in processing of polystyrene-clay nanocomposites* (Diplomová práce). Philadelphia: Drexler University, **2007**.
30. PALACKÝ, František, *Vliv organojílu na tokové vlastnosti pryže* (Diplomová práce). Zlín: Univerzita Tomáše Bati, Fakulta technologická, **2009**.
31. MARKYTÁNOVÁ, Petra. *Jílové minerály jako stabilizátory léčiv* (Diplomová práce). Hradec Králové: Karlova Univerzita, Farmaceutická fakulta, **2017**.

## Údaje pro knihovnickou databázi

Název práce:	Částice montmorillonitu a jiných silikátových minerálů, jejich využití v oblasti polymerní chemie a farmakochemie
Autor práce:	Karolína Boštíková
Obor:	Farmakochemie a medicínální materiály
Rok obhajoby:	2018
Vedoucí práce:	Prof. Ing. Andréa Kalendová Ph.D
Anotace:	<p>První část bakalářské práce obsahuje základní informace o křemičitanech a jejich rozdělení. U jednotlivých skupin křemičitanů jsou obsaženy informace o jejich struktuře, především o propojování křemíko–kyslíkového tetraedru <math>[\text{SiO}_4]^{4-}</math> do větších jednotek – řetězců, cyklů, vrstev či trojrozměrných struktur.</p> <p>Druhá část bakalářské práce se podrobněji věnuje skupině phyllo-křemičitanů, jejich struktuře, rozdělení. Dále jílovým minerálům, především skupině smektitů a jejich minerálu montmorillonitu, u něhož jsou uvedeny kromě struktury a výskytu též informace o jeho širokém využití v různých odvětvích průmyslu.</p>
Klíčová slova:	Křemičitany, phyllo-křemičitany, jílové minerály, montmorillonit