



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

FAKULTA CHEMICKÁ

FACULTY OF CHEMISTRY

ÚSTAV CHEMIE MATERIÁLŮ

INSTITUTE OF MATERIALS SCIENCE

VYUŽITÍ SLÍDOVÉHO SEPARÁTU Z PLAVENÍ KAOLINU

UTILIZATION OF MICA SEPARATED FROM WASHED KAOLIN

DIPLOMOVÁ PRÁCE

MASTER'S THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

Bc. Josef Vaculík

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

doc. Ing. Tomáš Opravil, Ph.D.

BRNO 2020

Zadání diplomové práce

Číslo práce: FCH-DIP1516/2019 Akademický rok: 2019/20
Ústav: Ústav chemie materiálů
Student: **Bc. Josef Vaculík**
Studijní program: Chemie, technologie a vlastnosti materiálů
Studijní obor: Chemie, technologie a vlastnosti materiálů
Vedoucí práce: **doc. Ing. Tomáš Opravil, Ph.D.**

Název diplomové práce:

Využití slídového separátu z plavení kaolinu

Zadání diplomové práce:

Při plavení kaolinu se vytěžená kaolinová surovina zbavuje všech nežádoucích složek s ohledem na požadované vlastnosti konečného výrobku. Hlavní separované podíly tvoří písek a slídový separát. Slídový separát obsahuje velmi vysoké procento slídy, ale také velké množství písku (oxidu křemičitého), většinou s vyšším obsahem železa. Cílem diplomové práce bude prostudovat možnosti využití této druhotné suroviny tak, jak je separována nebo ji vhodně separovat a následně ověřit využitelnost oddělených slídových frakcí.

Termín odevzdání diplomové práce: 29.5.2020:

Diplomová práce se odevzdává v děkanem stanoveném počtu exemplářů na sekretariát ústavu. Toto zadání je součástí diplomové práce.

Bc. Josef Vaculík
student(ka)

doc. Ing. Tomáš Opravil, Ph.D.
vedoucí práce

doc. Ing. František Šoukal, Ph.D.
vedoucí ústavu

V Brně dne 31.1.2020

prof. Ing. Martin Weiter, Ph.D.
děkan

ABSTRAKT

Diplomová práce si klade za cíl laboratorně otestovat možnosti využití slídového separátu, který vzniká při procesu plavení kaolinu jako vedlejší produkt společně s pískem. Slída a písek jsou následně odděleny flotačně nebo pomocí vibrace. Takto vzniklý slídový separát byl podroben analýze. K analýze byly použity metody XRD a žárová mikroskopie. Následně byly nastaveny a provedeny experimenty se slídovým separátem jako plnivem v kompozitech na bázi epoxidových pryskyřic. Dále byl separát testován jako součást omítek a pohledových stavebních prvků. V neposlední řadě byl separát přimícháván do keramiky, která byla následně podrobena výpalu ve zvoleném režimu. Diplomová práce podává ucelený přehled o výše zmíněných možnostech využití slídového separátu, který je podložen dostatečným množstvím experimentálních dat.

ABSTRACT

The Master's Thesis aims to laboratory test the possibilities of utilization mica separate, which arises during the process of floating kaolin as a by-product together with sand. Mica and sand are then separated by flotation or vibration. The mica separate thus formed was subjected to analysis. XRD and heating microscopy methods were used for analysis. Subsequently, experiments with mica separation as a filler in composites based on epoxy resins were set up and performed. Furthermore, the separate was tested as a part of plasters and visual building elements. Last but not least, the separate was mixed into the ceramic, which was then subjected to firing in the selected mode. The diploma thesis provides a comprehensive overview of the above-mentioned possibilities of using mica separation, which is based on a sufficient amount of experimental data.

KLÍČOVÁ SLOVA

Slída, muskovit, plavení kaolinu, slídový separát, keramika, kompozity, omítky

KEYWORDS

Mica, muscovite, floating kaolin, mica separate, ceramic, composites, plasters

VACULÍK, Josef. *Využití slídového separátu z plavení kaolinu*. Brno, 2020. Dostupné také z: <https://www.vutbr.cz/studenti/zav-prace/detail/124223>. Diplomová práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta chemická, Ústav chemie materiálů. Vedoucí práce Tomáš Opravil.

PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že jsem diplomovou práci vypracoval samostatně a že všechny použité literární zdroje jsem správně a úplně citoval. Diplomová práce je z hlediska obsahu majetkem Fakulty chemické VUT v Brně a může být využita ke komerčním účelům jen se souhlasem vedoucího diplomové práce a děkana VUT.

.....
Bc. Josef Vaculík

PODĚKOVÁNÍ

Chtěl bych poděkovat vedoucímu mé diplomové práce doc. Ing. Tomášovi Opravilovi, Ph.D. za cenné rady při práci, ochotu pomoci a čas, který mi věnoval při konzultacích i v době světové krize.

Dále bych chtěl poděkovat zaměstnancům z ústavu chemie materiálu, kteří mi pomáhali s měřením vzorků a následně konzultovali naměřené výsledky – Ing. Jiří Másilko, Ph.D., Ing. Jiří Švec, Ph.D., Ing. Přemysl Menčík, Ph.D.

OBSAH

1	Úvod	8
2	Teoretická část.....	9
2.1	Historie.....	9
2.2	Silikáty	9
2.2.1	Nesosilikáty	10
2.2.2	Sorosilikáty.....	11
2.2.3	Inosilikáty.....	12
2.2.4	Cyklosilikáty	13
2.2.5	Fylosilikáty.....	14
2.2.6	Tektosilikáty	15
2.3	Rozdělení fylosilikátů	16
2.3.1	Skupina serpentín-kaolin	17
2.3.2	Skupina mastek-pyrophylit	17
2.3.3	Skupina slíd	18
2.3.4	Skupina smektitů a vermikulitů.....	18
2.3.5	Skupina chloritů	19
2.4	Slídy.....	19
2.4.1	Podskupina biotitu.....	19
2.4.2	Podskupina muskovitu	21
2.5	Získ slídového separátu z procesu plavení kaolinu	23
2.5.1	Těžba kaolinu	24
2.5.2	Homogenizace	25
2.5.3	Drcení a rozplavování	25
2.5.4	Třídění	25
2.6	Výskyt.....	27
2.7	Druhy těžených slíd	27
2.7.1	Vrstevnatá slída	28
2.7.2	Drcená slída.....	28
2.7.3	Syntetická slída.....	29
2.8	Současné využití slídy	29
2.8.1	Elektrotechnický průmysl.....	29
2.8.2	Další průmyslová využití.....	30

3	Experimentální část	32
3.1	Použité chemikálie a materiály	32
3.2	Plavení slídového separátu	32
3.3	Postup přípravy keramických těles	33
3.4	Postup přípravy pohledových těles	34
3.5	Postup přípravy kompozitních těles s částicovým plnivem	35
3.6	Rentgenová difrakce	36
3.6.1	Příprava vzorků na rentgenovou analýzu	37
3.7	Sítová analýza	37
3.8	Mechanické vlastnosti materiálu	37
3.8.1	Pevnost v tlaku	37
3.8.2	Pevnost v tahu za ohybu	38
3.8.3	Rázová houževnatost	39
3.9	Stanovení ztráty žíháním	40
3.10	Světelný mikroskop	40
3.11	Žárový mikroskop	40
4	Výsledky a diskuze	42
4.1	Vstupní analýza nevytříděného slídového separátu	42
4.1.1	Rentgenové analýzy nevytříděného slídového separátu	42
4.1.2	Ztráta žíháním	44
4.1.3	Separace slídy v nevytříděném slídovém separátu	45
4.2	Vstupní analýza vytříděného slídového separátu	46
4.2.1	Granulometrická analýza	46
4.2.2	Rentgenová analýza vytříděného slídového separátu	46
4.2.3	Slídový separát pod mikroskopem	47
4.2.4	Vyhodnocení měření z žárového mikroskopu	49
4.3	Slídový separát jako součást keramických hmot	51
4.3.1	Objemové smrštění keramických těles	55
4.3.2	Pevnost v tlaku keramických těles	55
4.3.3	Pevnost v tahu za ohybu keramických těles	56
4.4	Mechanické vlastnosti kompozitních těles s částicovým plnivem	57
4.4.1	Rázová houževnatost kompozitních těles	57
4.4.2	Pevnost v ohybu kompozitních těles	58
4.5	Pohledová tělesa	62
5	Závěr	65

6	Seznam použitých zdrojů	67
7	Seznam použitých zkratk.....	72
8	Seznam příloh.....	73
9	Přílohy	74

1 ÚVOD

Silikátové suroviny mají využití v mnoha oblastech lidské činnosti. Jsou nedílnou součástí stavebního a těžebního průmyslu a dají se nalézt také v medicíně, v zemědělství a v umění. Dříve se předpokládalo, že kvalitních silikátových surovin bude na Zemi vždy dostatek. Vezmeme-li do úvahy písek – všude přítomná silikátová surovina a člověka by nikdy nenapadlo, že se bude jednat o nedostatkové zboží. Zdroje kvalitního písku ve světě ubývají a zásoby písku například na pouštích často nesplňují požadované vlastnosti materiálu k dalšímu zpracování. Tento problém se netýká pouze písku a jiných silikátových surovin, ale dá se aplikovat i na vodu či ropu. Proto se lidstvo začíná ubírat směrem redukce, opětovného použití a recyklace materiálu. Existuje mnoho zpracovatelských procesů, při kterých vznikají vedlejší produkty, které nejsou žádané a jinak potřebné. Takové produkty se většinou vyvážejí pryč, nebo se prodávají velmi levně k aplikacím, kde není potřeba mít naprosto dokonalý a čistý materiál k dalšímu použití. Samotné zpracování odpadu či nežádoucích vedlejších produktů je v dnešní době na vzestupu také z hlediska ekologického i ekonomického. Hledají se nové alternativy materiálů nebo úpravy současných materiálů. V průmyslu zpracování silikátových materiálů hraje v potaz také to, že se jedná o velmi významnou složku tuzemské i světové ekonomiky. Svým objemem výroby převyšuje výrobu železa a oceli, a proto i množství odpadních produktů nabývá velkých objemů.

Podíváme-li se na zpracování kaolinu – již při samotném plavení se od kaolinu odlučuje mnoho nečistot, ať již pískových s obsahem jiných minerálů, magnetických nečistot nebo kameniva. Při procesu plavení se v některých plavárnách odlučuje poměrně velké množství slídového separátu obsahující jemný písek, slídové minerály a malou část samotného kaolinu. Jemný písek se dříve využíval do malt či jako součást sklářského písku, ale už ani ten nevyhovuje svým chemickým složením stále se zvyšujícím nárokům skláren. Ve 20. století se slídový separát přidával také k vápenným omítkám, ale momentálně jsou takové omítky zbytečně náročné na manuální práci. Těmto omítkám se říká břizolit podle města Horní Bříze v Plzeňském kraji, kde se takový materiál vyráběl. Dnes se tento materiál převážně deponuje a jen malá část se používá např. ve formě levného kameniva do betonu a to ještě pouze v aplikacích kde je to z hlediska normových požadavků na beton možné. Motivací je nalezení nových aplikací pro tuto druhotnou surovinu, či její levné a ekologické zpracování do takového stavu, aby mohla být použita do aktuálních průmyslových aplikací.

2 TEORETICKÁ ČÁST

V této části se práce zabývá rozdělením silikátových surovin. Nejvíce pozornosti je věnováno skupině fylosilikátů, do které spadají slídy. Dále jsou popsány podrobné informace o výskytu, využití a vlastnostech slídy. Jelikož se práce zabývá využitím slídového separátu z plavení kaolinu, je popsán také proces čištění kaolinu až po získání slídového separátu.

2.1 Historie

Existuje mnoho nalezišť keramických materiálů ve střední Evropě. Mezi nejznámější u nás patří především naleziště v okolí Dolních Věstonic, kam spadá také nález nejstaršího dochovaného keramického materiálu na světě – sošky Věstonické Venuše. Její stáří je odhadováno na 29 000–25 000 let př. n. l. Další nálezy na našem území jsou například u obcí Spythněv, Petřkovice, Boršice, aj. Název pro keramiku je pravděpodobně řeckého původu z oblasti zvané Kerameikos, která byla osídlena hrnčíři a jinými povoláními vyrábějícími keramické materiály. Název kaolin pochází z čínského pojmu Kauling (Kao-ling) znamenající vysokou horu/hřeben [1, 2, 3, 4].

Do dnes patří analýza keramických materiálů k důležitému prozkoumávání historie, díky jejich všudypřítomnosti, trvanlivosti a jejich sensitivitě vůči chronologii, a to zejména v čínské archeologii. Na základě používaných materiálů a technologických postupů se dá vyvodit zdokonalování prvních hrnčířů. Čína, jako keramická velmoc, má největší počet nalezišť obsahující stopy keramických materiálů, jejichž první nálezy se datují od období 10 000 let př. n. l. a nejčastější nálezy jsou z období existence velkých říší v období 3 200–400 let př. n. l. [5, 6].

Pro lepší pochopení teoretických částí je třeba definovat několik pojmů. Nerost (minerál) je chemicky homogenní těleso přírodního původu s pravidelným uspořádáním částic. Z nerostů, jakož to základní stavební kameny, jsou složeny horniny. Existuje zde horní zákon pojednávající o ochraně a využití nerostného bohatství (č. 44/1988 Sb.), který považuje nerost za tuhou, kapalnou a plynnou část zemské kůry. Výjimkou je voda, rašelina, kulturní vrstva půdy a sedimenty v korytech vodních toků pouze za předpokladu, že se z nich nemohou průmyslově získávat vyhrazené nerosty. Ložiska vyhrazených nerostů jsou vlastnictvím státu bez ohledu na vlastníka pozemku. Do nevyhrazených nerostů spadají stavební kameny, šterkopísky a cihlářské hlíny. Jejich ložiska jsou vlastnictvím majitele pozemku [7].

2.2 Silikáty

Silikáty – křemičitany, jsou nejvíce rozšířenou skupinou minerálů na světě. Z názvu je čitelná velká převaha SiO_2 nacházející se v zemské kůře. Prvky křemík a kyslík jsou nejrozšířenější prvky v zemské kůře. Silikáty jsou velmi schopné tvořit velký počet různých sloučenin. Tato rozmanitost sloučenin koresponduje také s velkým množstvím prvků, které silikáty mohou obsahovat. Celkový počet prvků nacházejících se v silikátech je stanoven na 57, z toho 14 prvků patří do skupiny vzácných zemin – REE (rare-earth element). Ze strukturních analýz je dokázáno, že základní krystalochemickou jednotkou struktury křemičitanů je koordinační tetraedr – $[\text{SiO}_4]^{4-}$ složený ze 4 kyslíkových aniontů O^{2-} , které jsou v krystalových mřížkách silikátů velmi pevně spojeny s iontem křemíku Si^{4+} nebo s iontem hliníku Al^{3+} , kde se poté jedná o hlinitokřemičitany a jejichž tetraedr má vzorec $[\text{AlO}_4]^{5-}$. Útvary s hliníkem jako centrálním atomem tvoří převážně oktaedry. Tetraedry spolu s oktaedry poté polymerizují do různých skupin, řetězců, vrstev nebo i jiných prostorových

útvary. Kyslík má poloměr $1,4 \times 10^{-10}$ m ($1 \text{ Å} = 10^{-10}$ m), atom křemíku má poloměr 0,4 Å, hliník 0,51 Å, hořčík 0,66 Å, atom dvojmocného železa 0,74 Å a trojmocného 0,64 Å. V křemíko-kyslíkatých tetraedrech je úhel mezi vazbami $109^\circ 28'$ a rozměr vazby mezi křemík a kyslíkem se pohybuje ve velikostech 154–169 pm v závislosti na různém typu křemičitanu [8, 9, 10, 11].

Na základě způsobu spojení tetraedrů mezi sebou jsou poté i rozdíly jak ve fyzikálně chemických, tak i v krystalografických vlastnostech křemičitanů a podle různých typů jsou vytvořeny systematické skupiny křemičitanů téhož původu. Podtříd křemičitanů dnes existuje šest. Spojení tetraedrů je zprostředkováno vždy vrcholem tetraedru (jedním kyslíkovým atomem), nikdy ne prostřednictvím hrany nebo plochy tetraedru. Přítomné ostatní stavební částice (kationty, anionty, molekuly vody) se vždy nacházejí v mezerách struktury mezi tetraedry nebo mezi jejich skupinami. Mezi časté kationty se řadí prvky *Al, Fe, Mg, Ca, Na, K*, méně častěji *Li, B, Be, Mn, Ti, Zr, Cs, Sr, Y, Zn, Cu* nebo prvky patřící do skupiny REE. U aniontů jsou to $(OH)^-$, F^- , O^{2-} , S^{2-} , Cl^- [8, 11].

Další dělení silikátových surovin je na plastické a neplastické suroviny. Plastické suroviny jsou tvořeny jílových minerálů, což jsou značně složité mnohotvárné útvary. Jedná se o hydratované alumosilikáty obsahující krystalovou vodu, která je součástí mřížky z důvodu transformace živců na jílové minerály pomocí chemického zvětrávání, které probíhá na rozhraní kapalně a pevné fáze. Plastické suroviny mají schopnost vytvořit s vodou tzv. plastické těsto, které je na základě působení vnějších sil tvarovatelné a celistvé bez žádného výrazného porušení. Vytvarované těleso si při ukončení působení vnějších sil zachovává svůj tvar. Na základě různých velikostí částic plastických surovin se dělí na pískovinu (2–0,05 mm), prachovinu (0,05–0,002 mm) a jílovinu ($< 0,002$ mm). [8, 12, 13].

Neplastické suroviny nejsou po přidání vody tvarovatelné – nevytváří plastické těsto. Jejich funkce v keramickém průmyslu je zlepšení vlastností při sušení a výpalu. Dvě hlavní podtřídy neplastických surovin jsou ostřiva a taviva. Ostřiva mají odolnost vůči vysokým teplotám, ale při přidání do plastického těsta snižují jeho tvárnost. Tím se omezí smrštění suroviny při sušení a následném výpalu, které způsobuje velmi často praskliny či jiné poruchy v materiálu. Taviva jako aditiva také omezují plastičnost těsta, ale jejich hlavní funkce je podpora slinování, což se projevuje nižší teplotou potřebnou pro výpal materiálu. Výhoda nižší teploty při výpalu je ekonomická, kdy k požadované teplotě je potřeba nižší energie na vyhřátí pece, a tím dojde ke snížení nákladů [12].

Pro určení tvrdosti látek se dnes používají normované zkoušky tvrdosti (např. podle Vickerse, Brinella, Rockwella), pro geology je pro identifikaci minerálů stále vhodná Mohsova stupnice tvrdosti nacházející se v tabulce 1 [14].

Tabulka 1: Mohsova stupnice tvrdosti [14].

Mohsova tvrdost	Minerál	Mohsova tvrdost	Minerál
1	Mastek	6	Ortoklas
2	Halit	7	Křemen
3	Kalcit	8	Topaz
4	Fluorit	9	Korund
5	Apatit	10	Diamant

2.2.1 Nesosilikáty

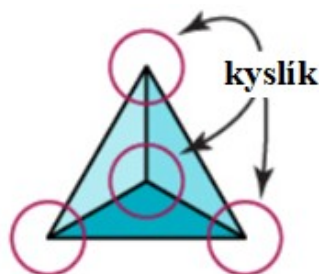
Ve struktuře nesosilikátů (nésos – z řeč. ostrov) se nachází izolované tetraedry SiO_4 (viz obrázek 1), které jsou do prostorové struktury vázány prostřednictvím kladných nábojů

kationtů uložených v mezerách mezi tetraedry. Uspořádání atomů ve struktuře nesosilikátů je velmi těsné a vykazují relativně vysokou hustotu, tvrdost (6,5 – 8 na Mohsově stupnici tvrdosti) a indexem lomu. Nezávislé tetraedry většinou nevytváří žádný přednostní směr, z toho vyplývá, že chybí nebo je velmi špatná štěpnost. Do nesosilikátů se řadí velmi chemicky stálé a mechanicky odolné minerály [8, 9, 13].

Mezi nejznámější skupiny nesosilikátů patří skupina granátu. Obecný krystalochemický vzorec se uvádí $A_3B_2(SiO_4)_3$, kde pozice A je často obsazena dvojmocnými prvky (*Ca*, *Fe*, *Mg*, *Mn*) a pozice B prvky trojmocnými (*Al*, *Fe*, *Cr*). Přírodní granáty jsou izomorfní směsí. Je zde rozsáhlá mísitelnost v rámci skupiny pyropsitové mezi komponenty (pyrop – almandin – spessartin – tzv. hlinité granáty), a poté v rámci skupiny ugranditové (grosulár – andradit – uvavorit – tzv. vápenaté granáty). Všechny zmíněné izostrukturní nesosilikáty mají kubickou symetrii. Barva je závislá od typu granátu přes ohnivě červenou – pyrop, až po zelenou – grosulár, andradit a uvavorit. Využívají se jako abraziva při řezání vodním paprskem, v brusných papírech, jako filtry pro pitnou vodu a ve šperkařství (český granát – pyrop) [8].

Skupina olivínu zahrnuje izostrukturně krystalující romboické nesosilikáty, kde existuje neomezená izomorfní mísivost mezi forsteritem a fayalitem. Barva charakteristicky žlutozelená až zelená, tvrdost dle Mohse 7 [8, 10].

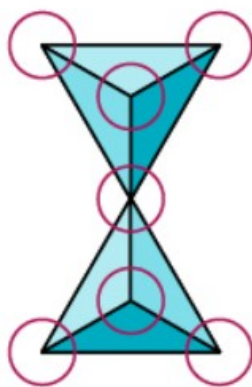
Za zmínku stojí skupiny zirkonu, staurolitu a skupiny minerálu Al_2SiO_5 , kam se řadí andalusit, kyanit a sillimanit. Všechny tři polyformní modifikace minerálu, přecházejí při teplotě 1 300–1 550 °C na směs mullitu, křemenného skla a cristobalitu. Minerály topas a titanit patří také mezi nesosilikáty [8].



Obrázek 1: Struktura nesosilikátů [15].

2.2.2 Sorosilikáty

Struktura sorosilikátů (sorós – z řeč. skupina) obsahuje tetraedry $[SiO_4]^{4-}$, viditelné na obrázku 2, které jsou spojeny přes vrchol do malých skupin, které jsou prostorově odděleny koordinačními polyedry jiných kationtů. Nejčastější je výskyt dvou tetraedrů $[Si_2O_7]^{6-}$, ale můžou se vytvořit i větší skupiny např.: $[Si_3O_{10}]^{8-}$ nebo $[Si_5O_{16}]^{12-}$, které jsou velmi vzácné. Vazba křemík-kyslík-křemík není přímá, ale svírá úhel přibližně 140°. Do této skupiny patří i smíšené skupiny neso- a sorosilikátů, ve kterých jsou tedy současně k nalezení jednoduché tetraedry spolu s menšími skupinami tetraedrů. Velmi často se zde nachází i jiné anionty, převážně F^- a $(OH)^-$. Průmyslové využití není velmi časté, proto je zde jen výčet několika hlavních zástupců této skupiny: Melilit, epidot, zoisit, vesuvian, hemimorfit [8, 9, 11].



Obrázek 2: Struktura sorosilikátů, červená kolečka představují kyslíkové atomy [15].

2.2.3 Inosilikáty

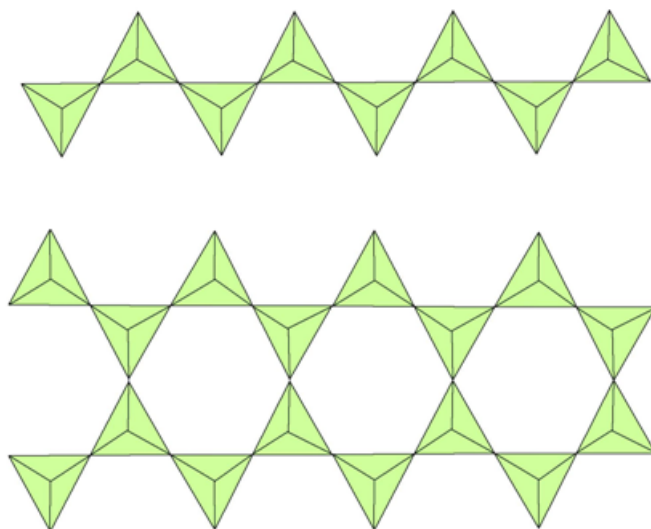
Struktura inosilikátů (inós – z řeč. vlákno) je tvořena křemíko-kyslíkovou kostrou, která je tvořena z tetraedrů $[\text{SiO}_4]^{4-}$ vždy spojenými tak, že dva protilehlé rohy jsou spojeny vždy s dalšími tetraedry za vzniku nekonečně dlouhého lineárního řetězce. Takhle pospojované řetězce mohou být jednoduché, dvojité či vícenásobné (známé jsou až dvanáctičlenné). Dvě možné kombinace jsou viditelné na obrázku 3. Pokud je přítomen více než jeden řetězec, jednotlivé řetězce jsou spojeny rovnoběžně. Ve struktuře se mohou různé typy řetězců tetraedrů SiO_2 střídat s „vrstvami“ koordinačních polyedrů jiných kationtů (jako jsou *Mg*, *Fe*, *Ca*, *Na*, *K*), a díky tomuto uspořádání je zde přítomna existence slabších vazeb mezi jednotlivými strukturními komplexy, což se projevuje na různých fyzikálních vlastnostech jako je například štěpnost. Nejvíce rozšířené inosilikáty jsou dvojího typu – obsahující jednoduché řetězce (aniontový vzorec $[\text{Si}_2\text{O}_6]^{4-}$) nazývané pyroxeny a dvojité řetězce (aniontový vzorec $[\text{Si}_4\text{O}_{11}]^{6-}$), které se nazývají amfiboly. Hlavní rozdíly mezi nimi jsou v tabulce 2 [8, 9, 10, 11].

Tabulka 2: Vlastnosti pyroxenů a amfibolů [8].

Vlastnost	Pyroxeny	Amfiboly
Příčný průřez sloupců	Osmiúhelníkový/čtvercový	Šestiúhelníkový/kosočtverečný
Štěpnost podle {110}	Dobrá, štěpné plochy s členitým reliéfem	Dokonalá, hladké štěpné plochy
Úhel mezi štěpnými plochami a trhlinami podle {110}	Přibližně 90°	Přibližně 60° (120°)
Barva	Hnědá/hnědočervená	Zelená/zelenočervená
Barva výbrusu	Bezbarvá/slabě nahnědlá	Výrazně zbarvené – zelené
Pleochroismus	Žádný/velmi slabý	Velmi silný
Úhel zhášení ve svislé zóně	30–55°	0–24°

Pyroxeny se dále dělí do pěti větších skupin na základě jejich chemického složení: hořečnato-železnaté, vápenaté, vápeno-sodné, sodné (alkalické) a lithné pyroxeny. Pyroxeny mají velmi malé využití, spodumen (lithný pyroxen) se používá na výrobu lithia. Využití některých amfibolů je na výrobu tepelně izolačních a žárovzdorných hmot (azbest – minerální vata). Jedná se o nehořlavé, chemicky i mechanicky odolné silikáty s tepelnými, akustickými

i elektrickými izolačními vlastnostmi. Jejich použití je v dnešní době velmi omezeno kvůli karcinogenním účinkům, které lidem způsobují rakovinu plicní výstelky [8].

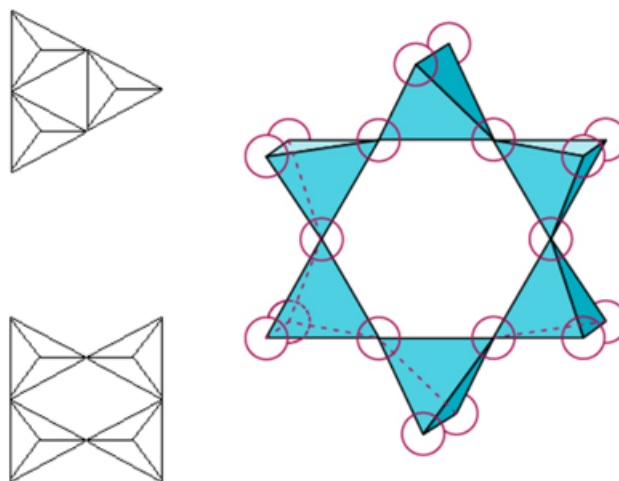


Obrázek 3: Struktura inosilikátů jednoduchá a dvojitá [16].

2.2.4 Cyklosilikáty

Jak již z názvu napovídá, struktura cyklosilikátů je tvořena cyklem několika tetraedrů SiO_4 , kdy každý tetraedr sdílí vždy dva vrcholové kyslíky s vedlejšími tetraedry. Poměr Si:O je u jednoduchých cyklů 1:3. Nejčastější krystalová struktura cyklosilikátů je tvořena ze šesti tetraedrů za vzniku typické aniontové skupiny $[\text{Si}_6\text{O}_{18}]^{12-}$. Méně časté jsou ve struktuře přítomné tříčlenné či čtyřčlenné cykly tetraedrů, viditelné na obrázku 4. Velmi vzácně se vyskytují dvojitě šestičetné struktury [8, 11, 13].

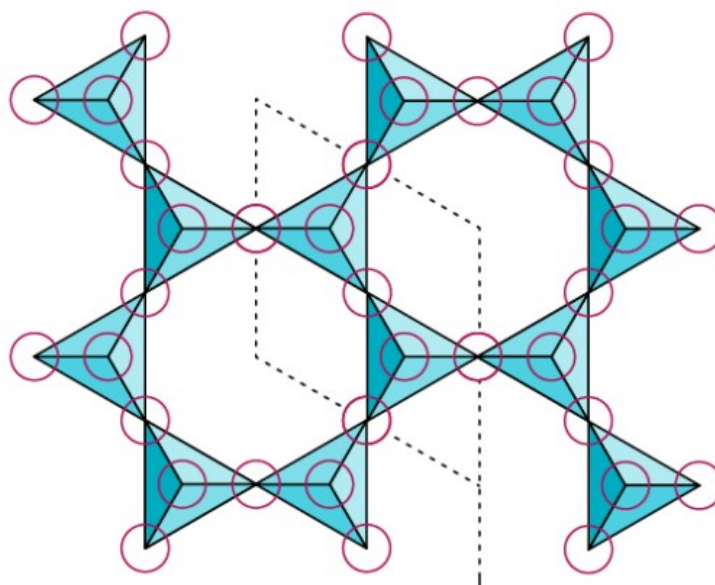
Mezi nejznámější zástupce patří beryl, který je zeleně zbarvený a dosahuje tvrdosti dle Mohse 7–7,5. Krystalová struktura je tvořena ze šesti tetraedrů a jednotlivé „kruhové“ soustavy jsou orientovány nad sebou, tím vznikají prostorné kanálové dutiny, ve kterých mohou být umístěny příměsi K^+ , Cs^+ , Na^+ , $(\text{OH})^-$, aj. Beryl je hlavní surovina pro výrobu Be/BeO, které se využívají jako vysoce žárovzdorné hmoty. Ve šperkařství je znám jako zelený smaragd, žlutý heliodor, růžový morganit či modrozelený akvamarín. Další známí zástupci cyklosilikátů jsou cordierit a turmalín. Cordierit má modrou až modrošedou barvu, tvrdostí 7 dle Mohse. Využití nachází jako izolátor, žárovzdorný materiál v keramice a ve šperkařství. Turmalín má mnoho barevných odrůd a využíval se dříve v elektrotechnice díky jeho piezoelektrickým vlastnostem [8, 9, 11].



Obrázek 4: Struktura cyklosilikátů tří-, čtyř- a šestičlenných cyklů, červená kolečka představují kyslíkové atomy [15, 16].

2.2.5 Fylosilikáty

Při možné polymerizaci křemíko-kyslíkových tetraedrů, kde tři vrcholové kyslíky (tzv. bazální vrcholy) jsou navzájem společné s ostatními tetraedry (tzn. spojeny do dvojrozměrné nekonečné sítě), vzniká struktura rovinné sítě tetraedrů (viz obrázek 5). Symetrie takto budované sítě je poté hexagonální. Z hlediska struktury se rozlišují silikáty planární, kde tyto sítě jsou skutečně rovinné a silikáty neplanární, ve kterých je narušována periodicitá anebo jsou vrstvy ohnuté či stočené. Vazby mezi křemíky a oxidy v rámci jedné vrstvy jsou velmi pevné, zatímco mezi vrstevné vazby jsou slabé a jejich existence objasňuje příčinu několika fyzikálních vlastností těchto minerálů, jako jsou například výborné štěpnosti podle báze $\{001\}$, která je rovnoběžná s vrstvami tetraedrů. Základní motiv tvoří jednotku $[\text{Si}_2\text{O}_5]^{2-}$, v jiné literatuře udáváno $[\text{Si}_4\text{O}_{10}]^{4-}$ [8, 9, 10, 17].

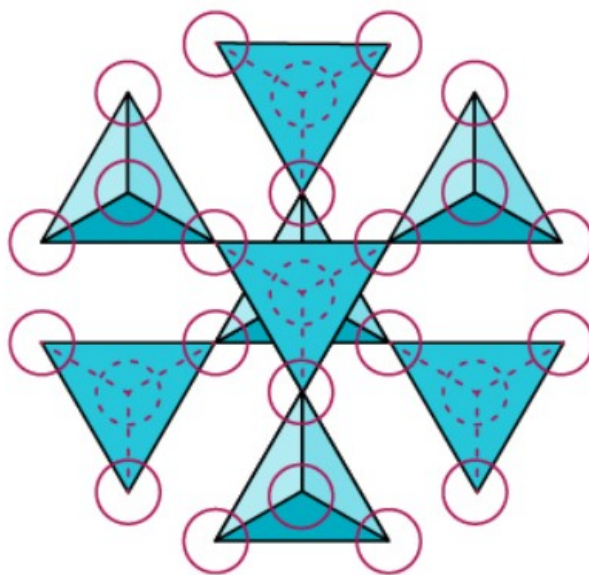


Obrázek 5: Struktura fylosilikátů, červená kolečka představují kyslíkové atomy [15].

Tetraedry u většiny fylosilikátů (fýllon – z řeč. list) mají v síti shodnou orientaci, takže čtvrté vrcholy tetraedrů s volným kyslíkem směřují na stejnou stranu sítě, čímž jsou pak součástí bezprostředně sousedící sítě oktaedrové, které jsou nedílnou součástí struktury fylosilikátů. Oktaedrické sítě spolu sdílejí nejen vrcholy, ale i polovinu hran. Oktaedry jsou uspořádány tak, že tři anionty kyslíku nebo hydroxylu tvoří spodní vrstvu a tři anionty kyslíku nebo hydroxylu tvoří vrstvu horní. Mezi vrstvami jsou uloženy oktaedrické kationty, nejčastěji Al^{3+} , Fe^{2+} , Fe^{3+} , Mg^{2+} , méně častěji to jsou ionty prvků *Li*, *Ti*, *V*, *Cr*, *Mn*, *Ni*. Je-li u některých struktur přítomen v pozici oktaedrických kationů převážně dvojmocný kationt, vzniká tak trioktaedrická síť, která je elektricky neutrální. Říká se jí také vrstva brucitového typu. Při dioktaedrických sítích jsou obsazeny pouze 2/3 oktaedrických pozic a to trojmocnými kationty, třetí pozice je vakatní. Dioktaedrická síť je také elektricky neutrální a označuje se jako vrstva gibbsitového typu [8, 9, 11, 17].

2.2.6 Tektosilikáty

Prostorová struktura tektosilikátů (tektoneie – z řeč. lešení) vychází sdílením všech vrcholů tetraedru s dalšími tetraedry. Pokud je centrálním atomem každého tetraedru křemík, tak je v takto vytvořené struktuře poměr křemíku ke kyslíku 1:2 (valence atomu čtyřmocného křemíku jsou vyrovnány čtyřmi valencemi kyslíku v rozích). Z toho vyplývá velmi pevná a stabilní struktura viditelná na obrázku 6. Ostatní tektosilikáty mají ve své struktuře nejčastěji *Na*, *K* nebo *Ca*. Aby mohly tyto ionty figurovat ve struktuře, je nutné, aby část čtyřmocných křemíkových iontů byla nahrazena méně valentním iontem jako jsou například ionty hlinité. Nedostatek kladného náboje je poté vyrovnáván vstupem výše uvedených kationtů do struktury. Mezi jednotlivými strukturními motivy vznikají značně velké dutiny, které jsou pro ionty nacházejících se v ostatních podtřídách silikátů - hořčíku a železa - příliš velké, proto tato místa bývají obsazena velkými ionty alkálií či alkalických zemin. Aniontová část vzorce se zapisuje $[Al_xSi_{n-x}O_{2n}]^{-x}$. U některých typů tektosilikátů mohou vzniknout obzvláště velké dutiny mezi jednotlivými stavebními prvky hlinito-křemičité struktury, které jsou příliš velké i pro velké kationty. Do těchto dutin se proto ukládají hydratované formy těchto iontů, které jsou obklopené molekulami vody tak, aby celý hydratovaný ion mohl bez problémů zapadnout do dutiny [8, 9, 10, 13].



Obrázek 6: Struktura tektosilikátů, červená kolečka představují kyslíkové atomy [15].

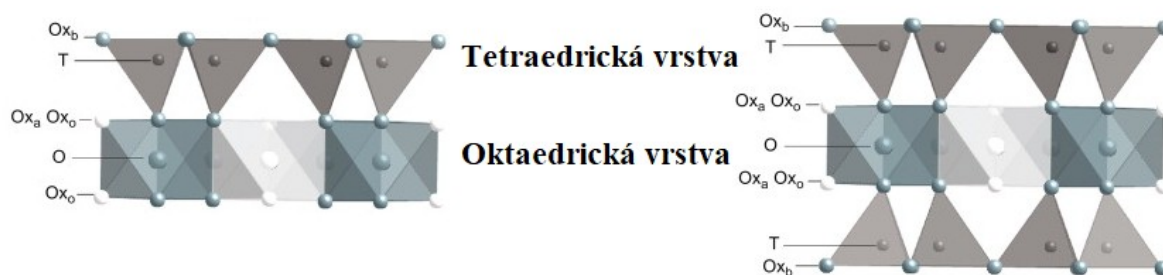
Nejvýznamnější skupinou tektosilikátů jsou živce ($T = 6-6,5$), což jsou bezvodé alumosilikáty alkalických prvků nebo prvků alkalických zemin a mají nezastupitelný význam z hlediska složení zemské kůry (tvoří téměř 60 % hmoty zemské kůry). Existují živce draselné (ortoklasy), sodné (albity) a vápenaté (anortity). Ve skupině plagioklasů (alkalicko-vápenaté živce) existuje neomezená izomorfní mísitelnost a skupina alkalických živců je mísitelná pouze za vyšších teplot. Využití živců je největší v keramickém a sklářském průmyslu [8, 13].

Další skupina – foidy – jsou křemičitany vznikající v magmatu chudém na SiO_2 . Dosahují tvrdosti dle Mohse $T = 5-6$. Obsahují více alkálií než živce a někteří zástupci, např. leucit, jsou známy jako zdroj draslíku. Poslední skupina – zeolitů – je skupina obsahující velmi volnou krystalovou stavbu minerálů. V jejich struktuře jsou velmi běžně přítomné kanálky či jiné dutiny obsahující kationty, které se mohou snadno nahrazovat kationty jinými. Tato snadná výměna kationtů tvoří podstatu technického využití zeolitů jako měniče iontů při změkčování vody, sorbenty při mnoha chemických procesech, při čištění zemního plynu, benzínu jako molekulová síta, či jako katalyzátory a nosné látky. Jako novinka se zeolity používají také při likvidaci radioaktivního odpadu [8].

2.3 Rozdělení fylosilikátů

Fylosilikáty jsou často označovány jako jílové minerály. Jsou to velmi důležité produkty zvětrávání, ale velká většina fylosilikátů má významné technické použití. Mezi jílové minerály se neřadí pouze fylosilikáty, ale také některé oxidy a hydroxidy, které dodávají jílové hmotě plasticitu a které ji i vytvrzují po vypálení. Obecně se jíly definují jako směsné přírodní materiály, které jsou primárně složeny z jemnozrnných minerálů, mají plastický charakter při přiměřeném obsahu vody a tvrdnou při vysušení nebo vypálení [8, 11, 13, 17].

Celá klasifikace fylosilikátů je postavena na jejich strukturních a krystalochemických rysech. Jako základní klasifikační kritérium je používán typ vrstev, který je doplněn kritériem přebytečného náboje dvojvrstvy nebo trojvrstvy. Další kritérium je rozdíl mezi dioktaedrickou nebo trioktaedrickou sítí. Na základě různého uspořádání tetraedrické a oktaedrické sítě se poté rozlišují určité skupiny fylosilikátů. Mohou nastat dva případy. Při spojení sítě tetraedrů s dvojrozměrně periodickými sítěmi oktaedrů sdílením aniontů vznikají vrstvy. Spojí-li se takto jedna tetraedrická síť s jednou oktaedrickou sítí, je vytvořena vrstva 1:1. Při spojení dvou tetraedrických sítí, které mají opačnou polaritu, s jednou oktaedrickou sítí, která je uprostřed, se tak vytvoří vrstva 2:1. Obě vrstvy se nachází na obrázku 7. Jednotlivé vrstvy mohou být mezi sebou spojeny buď systémem vodíkových vazeb, nebo mohou být spojeny skupinami kationtů s koordinační sférou nebo jednotlivými kationty. Spojené vrstvy vytvářejí základní strukturní jednotku. Pojem mezivrství je definován jako prostor mezi dvěma vrstvami. Roztřídění fylosilikátů do skupin se děje na základě typu vrstev, typ mezivrství, náboj vrstvy, typy oktaedrických sítí, celkového chemického složení. Rozlišujeme skupiny serpentín-kaolin, mastek-pyrofilit, slíd, křehkých slíd, smektitů a vermikulitů, chloritů a pravidelně smíšených struktur [8, 9, 11, 17, 18].



Obrázek 7: Vlevo: vrstva 1:1, vpravo: vrstva 2:1, T značí centrální ion tetraedru, O značí centrální ion oktaedru, O_{xb} značí bazální kyslíkové atomy, O_{xa} značí apikální kyslíkové atomy a O_{xo} značí oktaedrické aniony [17].

Klad jednotlivých vrstev může být pravidelný, ale polytypie je u fylosilikátů velmi běžným jevem, takže mohou vznikat různé typy nepravidelností. Jak již bylo zmíněno, jednotlivé vrstvy ve struktuře fylosilikátů mohou být elektricky neutrální, ale mohou mít i určitý záporný elektrický náboj díky některým substitucím. Velikost záporného náboje ovlivňuje mechanismus vzájemné vazby vrstev ve struktuře. Je-li velikost náboje malá, vrstvy jsou vázány slabými mezimolekulovými silami, popřípadě vodíkovými můstky přes molekuly vody. Pokud je velikost náboje velká, propojení vrstev je uskutečňováno pomocí mezivrstevních kationtů [8, 11, 13, 17].

2.3.1 Skupina serpentín-kaolin

Jedná se o minerály s typem vrstev 1:1, které jsou spojeny vodíkovými vazbami. Náboj vrstev je obvykle nulový a v mezivrstvích jsou přítomné nejvýše molekuly vody. Serpentin jsou převážně produkty hydrotermální a nízkoteplotní přeměny olivínu a jiných hořečnatých silikátů (např. amfiboly, pyroxeny), které tvoří samostatnou horninu serpentinit. Hlavní zástupci jsou antigorit, chrysotil, lizardit. Významné jsou vláknité odrůdy chrysotilu, které tvoří azbesty. Těží se převážně k výrobě žárovzdorných hmot, tkanin (dají se dobře spřádat), izolačních krytin, izolátorů a plniv do pryží [8, 11, 17, 19, 20, 21].

Skupina kaolinitu obsahuje dioktaedrické dvojevrstvé fylosilikáty, nejznámější kaolinit, dickit, nacrit. Kaolinit je bílý, velmi náchylný na barvicí oxidy. Vzdálenost 1:1 stěny u kaolinitu je 7,2 Å (např. minerály skupiny illitu, jejich poměr tetraedrických a oktaedrických vrstev je 2:1 mají vzdálenost stěn 10 Å). Krystalizuje nejčastěji v trojklonné soustavě nebo v jednoklonné formě s různým stupněm neuspořádanosti. Tvrdost dle Mohse je 2–2,5. Hustota kaolinitu se pohybuje okolo 2 600 kg·m⁻³ v krystalické formě a 2 100 kg·m⁻³ ve formě agregátů. Kaolinit je technicky jedna z nejpoužívanějších plastických surovin. Použití kaolinitu se liší podle obsahu znečišťujících příměsí a výsledné bělosti. Kromě uplatnění v keramickém průmyslu se kaolinit používá taky k výrobě natěračských hmot, jako plnivo do plastů, nosič ve farmacii, k výrobě žáruvzdorného zboží, v papírenském průmyslu aj. Vznik kaolinitu je za poměrně nízkých teplot a tlaků v kyselém prostředí bez většího množství přítomného vápníku. Kaolinit může být i hydrotermálního původu, vzniká také rozkladem alumosilikátů či alterací živců vyvěřelých, metamorfovaných nebo i sedimentárních hornin. Kaolin Sedlec Ia se používá jako světový standard. Do této skupiny se řadí také halloysit [7, 8, 9, 20].

2.3.2 Skupina mastek-pyrophylit

Do této skupiny patří fylosilikáty s trojevrstevnými strukturními komplexy typu 2:1, které mají výsledný náboj nulový. Pyrophylit je bílý, měkký (T = 1–2), materiál, většinou ve formě

lupenitých, šupinatých neuspořádaných agregátů, ale může být i celistvý. Přítomný kationt je pouze hlinitý, od toho se odvíjí i jeho vznik hydrotermální přeměnou hornin bohatých na hliník a chudých na alkálie. Má žárovzdorné vlastnosti, jako celistvý se používá i k výrobě ozdobných předmětů. Mastek je bílý až šedý, měkký ($T = 1$) materiál. Tvoří lupenité a šupinaté agregáty, ale vyskytuje se také kusový či celistvý. Používá se v hutnictví, k výrobě steatitové keramiky (žárovzdorné vysokonapěťové izolátory), jako plnivo do plastů a součást pudrů a zásypů [8, 9, 11].

2.3.3 Skupina slíd

Do skupiny slíd patří velmi významné horninotvorné minerály, které mají velmi podobné fyzikální vlastnosti. Převážně se jedná o minerály s jednoklonnou krystalovou strukturou a tvrdostí dle mohse $T = 2,5-4$. Jedná se o minerály s trojvrstevnými strukturními komplexy typu 2:1 s mezivrstevními kationty, které vážou jednotlivé komplexy mezi sebou do prostorového komplexu. Šestičlenné prstencové motivy tetraedrů jednotlivých trojvrstevných komplexů se ve struktuře slíd ukládají nad sebou tak, aby se v takto vzniklých dutinách s dvanáctičetnou koordinací mohly ukládat mezivrstevné kationty. Ve skutečnosti je ovšem struktura zdeformovaná, to znamená, že i jednotlivé vrstevní komplexy se částečně odchyľují od svých ideálních pozic tak, že jsou rovinně posunuty a mezivrstevní kationty poté mají pouze šest nejbližších kyslíkových atomů v blízkosti. Jako mezivrstevní kationty jsou nejčastěji prvky *K*, *Na*, *Mg*, *Fe*. Nejčastější rozdělení slíd je na slídy trioktaedrické – podskupina biotitu (mezivrstevné kationty dvojmocný *Mg* a *Fe*) a slídy dioktaedrické – podskupina muskovitu (s mezivrstevním kationtem obsazeným ve dvou třetinách v kationové síti trojmocným *Al*). Povrch slíd má standardně hydrofilní charakter [8, 9, 11, 18, 22].

2.3.4 Skupina smektitů a vermikulitů

Smektity mají tvar malých krystalků, které mají velmi často porušenou strukturu. Jejich struktura je tvořena vrstvami 2:1 a mezi nimi se nachází vyměnitelné hydratované kationty. Nejznámější zástupce skupiny dioktaedrických smektitů je montmorillonit, který je charakteristický svou velmi nízkou mírou substituce tetraedrických pozic hliníku za křemík. Celkový náboj vrstev je způsoben převážně oktaedrickou substitucí. V mezivrsteví se nacházejí jak jednomocné kationty (*Na*, *K*), tak i kationty dvojmocné (*Ca*). Jeden z hlavních strukturních problémů montmorillonitu je uspořádání molekul vody vytvářející hydratační obaly kationtů [8, 9, 11, 17].

Převládající typ mezivrstevního kationtu zřetelně ovlivňuje vlastnosti materiálu, například sodné ionty ovlivňují reologické vlastnosti (viskozitu, tixotropii). Minerály se velmi často modifikují, aby dosahovaly požadovaných vlastností pro použití v praxi. V praxi se používají postupy přípravy monoiontových forem nebo k modifikaci struktury interkalací organických molekul nebo anorganických polykationtů. Montmorillonit má většinou bílou, nažloutlou až lehce nazelenalou barvu o tvrdosti dle Mohse $T = 1-2$. Stejně jako kaolinit i u montmorillonitu nastává při teplotě kolem 500 °C dehydroxylace vody. Při dalším zvyšování teploty až na 900 °C se rozpadá a vznikají nové fáze jako mullit a cristobalit. Největší zastoupení má v jílové hornině bentonit. Další zástupci smektitů jsou saponit, nontronit a beidellit. Využívají se jako sorbenty (např. v potravinářském průmyslu, katalyzátory), dispergátory (přísada do vrtných výplachů), pojiva, plniva, tmely a jiné specifické účely [8, 17].

Vermikulity jsou hnědé až žlutohnědé šupinaté agregáty. Zajímavost u vermikulitu je, že při zahřívání na 700–1 100 °C dochází ke ztrátě vody a jeho objem se zvětšuje až na 50ti

násobek původní hodnoty a z šupinek vznikají červovité útvary, z čehož vyplývá jeho název – *vermicularis* = červovitý. Využívá se jako izolační materiál v hutnictví či ve stavebnictví, kde se využívají jeho vynikající izolační nehořlavé vlastnosti nejen proti teplu, ale i proti elektrickému proudu. Takhle vytvořenému materiálu se říká expandovaná slída, i když mezi slídové minerály nepatří. V keramice je jeho využití jako aditivum vedoucí k odlehčení střepu [8].

2.3.5 Skupina chloritů

Chlority obsahují vrstvy 2:1, které jsou spojeny mezivrstevními oktaedrickými sítěmi. Mezi jednotlivými vrstvami nemůže dojít ke vzniku vody a chlority mají nebobtnající charakter. Zástupci jsou klinochlor, chamosit a thuringit. Mají převážně zelenou barvu, tvrdosti dle Mohse $T = 2-3$. Převážně jsou bohaté na *Fe*, *Mg*, *Al*, *Ni*. Minerály patřící do skupiny chloritů nemají žádné podstatné využití v praxi [8, 9, 11, 17].

2.4 Slídy

Anglický název pro slídy – mica – pochází z latiny a znamená záře, lesk, třpyt. Jak již bylo zmíněno, základ struktury slíd jsou vrstvy 2:1, ve kterých jsou uloženy buď dioktaedrické nebo trioktaedrické sítě a dvě sítě tetraedrické s opačnou polaritou. V obou typech sítí je značně rozsáhlá izomorfie a proto se rozlišují další tři skupiny slíd: pravé slídy, křehké slídy a mezivrstevně deficitní slídy [8, 13, 22, 23].

Do pravých slíd se řadí jak slídy dioktaedrické (muskovit, paragonit, seladonit), tak i trioktaedrické (řada annit-flogopit). Náboj jejich vrstvy je zpravidla $x = 1$ a propojení je uskutečňováno prostřednictvím jednomocných mezivrstevních kationtů. Křehké slídy mají náboj vrstev $x = 2$ a vrstvy jsou propojeny pomocí dvojmocných mezivrstevních kationtů (nepříliš známí zástupci trioktaedrických slíd clintonit a dioktaedrický margarit). Mezivrstevně deficitní slídy, jejichž náboj vrstev je $x = 0,6-0,85$, obvykle nevykazují bobtnavost nebo expandabilitu jako jiní zástupci slíd. Patří sem např. illit a glaukonit [8, 9, 11, 17].

Zjišťování a rozlišování různých druhů minerálů patřících do skupiny slíd dnes nečiní žádné velké potíže (s výjimkou několika případů). Minerály lze od sebe snadno odlišit makroskopicky podle jiných vlastností, chemicky a přesněji rentgenometricky. Rentgenová difrakce na práškových materiálech dokáže rozlišit i jednotlivé polytypy slíd, popřípadě se používá metoda SEM s prvkovou mapou. Skupina slíd zahrnuje 37 odlišných minerálů. Využití celé řady slíd nebylo do dnes nalezeno. Velký význam mají lithné slídy jako zdroj lithia a některé slídy se svými žárovzdornými a elektricky izolujícími vlastnostmi. Seladonit, glaukonit, illit a hydromuskovit mohou být rozlišeny od trioktaedrických variant a muskovitu, aragonitu a margaritu pomocí několika termo-analytických kritérií, jako jsou ztráta hmotnosti při teplotě 350 °C, teplotní pík při dehydroxylaci a při rozkladu krystalové struktury. Pomocí dilatometrických křivek slídových minerálů se dají určit i malé obsahy lithia (pod 0,3 %), díky jeho charakteristickému smrštění při teplotě 800 °C. Tato metoda je vhodná na určení mezivrstevních kationtů dioktaedrických slíd. Pro draselné ionty u muskovitu nastává smrštění u 920 °C, pro ionty sodné u aragonitu při 880 °C a pro vápenaté ionty margaritu při 800 °C. Pro přesnější stanovení rozkladů se používá metoda TG-DTA [9, 24, 25].

2.4.1 Podskupina biotitu

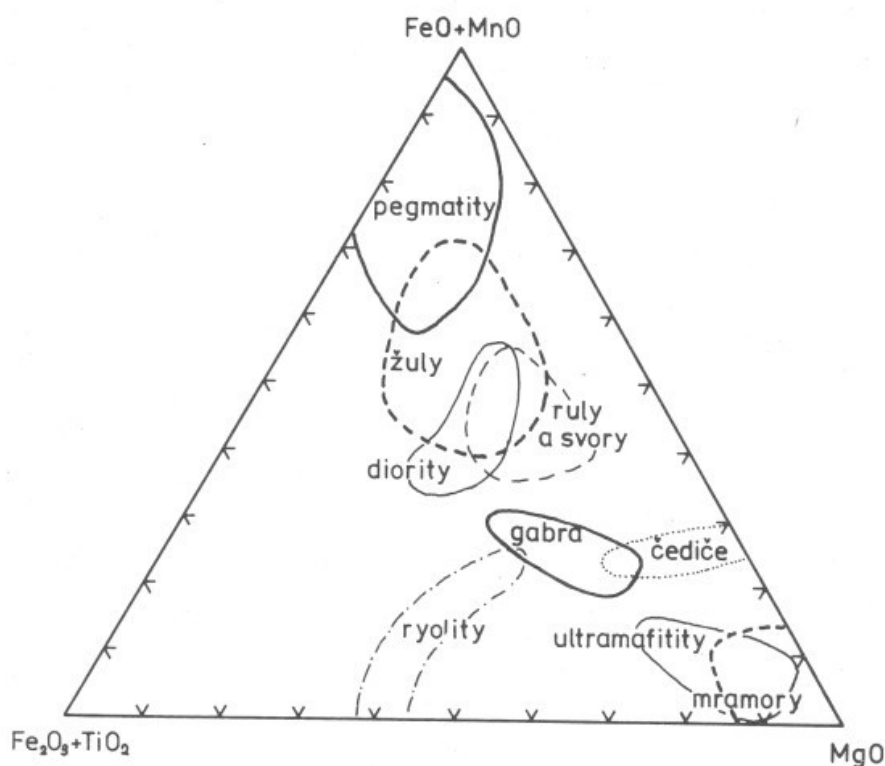
Do podskupiny se řadí slídové minerály s trojvrstevným strukturním komplexem s trioktaedrickou sítí, z čehož vyplývá, že na všech možných oktaedrových pozicích je

umístěn dvojmocný iont, a to zejména iont hořečnatý nebo železnatý. Biotit existuje jako jednotný minerál, který je nejvíce rozšířeným minerálem v této podskupině, často se ale jeho název používá na popis celé izomorfní řady těchto slíd, vypsány v tabulce 3, ve kterých se v různém poměru zastupují hořčík a dvojmocné železo [9].

Tabulka 3: Řada trioktaedrických slíd s různým zastoupením Mg^{2+} a Fe^{2+} iontů [9].

Název	Mg (%)	Fe (%)
Flogopit	90–100	0–10
Meroxen	70–90	10–30
Biotit	50–70	30–50
Lepidomelan	30–50	50–70
Magnezioannit	10–30	70–90
Annit	0–10	90–100

U biotitu se projevuje velká variabilitnost i mimo izomorfní míšivost železa a hořčíku, jak je vidět na obrázku 8. Vzorec biotitu se dá zapsat: $\text{K}(\text{Mg,Fe})_3(\text{Al,Fe})\text{Si}_3\text{O}_{10}(\text{OH,F})_2$, ale často obsahuje více hliníku, než mu přísluší podle vzorce. Při zvýšeném obsahu hliníku vzniká valenční nerovnováha, která je vyrovnávána deficitem hořčíku a křemíku. Některé biotity obsahují neobyčejně vysoké obsahy titanu (až do 12 % TiO_2), který může vstupovat do mřížky v trojmocné formě a stejně jako hliník může zastupovat hořčík v oktaedrických pozicích [8, 9, 21].



Obrázek 8: Různorodost složení minerálů řady biotitu v trojúhelníkovém diagramu $\text{MgO}-(\text{FeO}+\text{MnO})-(\text{Fe}_2\text{O}_3+\text{TiO}_2)$ [9].

Biotit se vyskytuje jako jednoklonný minerál s tvrdostí dle Mohse ($T = 2,5-3,1$), s hustotou $2\,800-3\,200\text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$. Má velmi tmavě hnědou, zelenohnědou až černou barvu, a proto je znám jako tmavá trioktaedrická slída nacházející se na obrázku 9. Pod mikroskopem je velmi znatelný silný pleochroismus. Minerál biotitu může být průsvitný až neprůhledný s perleťovým leskem, tmavé odrůdy mají polokovový charakter. Štěpnost je dokonalá podle $\{001\}$. Jeho vznik je v magmatických a regionálně nebo kontaktně metamorfovaných horninách, v nichž může být jako podstatná nebo i akcesorická součást. Zvětváním se zbarvuje do zlatožluté barvy a to zejména ztrátou části železa a hořčíku, kdy se přibližuje složením hydrobiotitu. Biotit nemá žádné významné praktické použití [8, 9, 25, 26].



Obrázek 9: Minerál biotit, také znám jako tmavá slída [27].

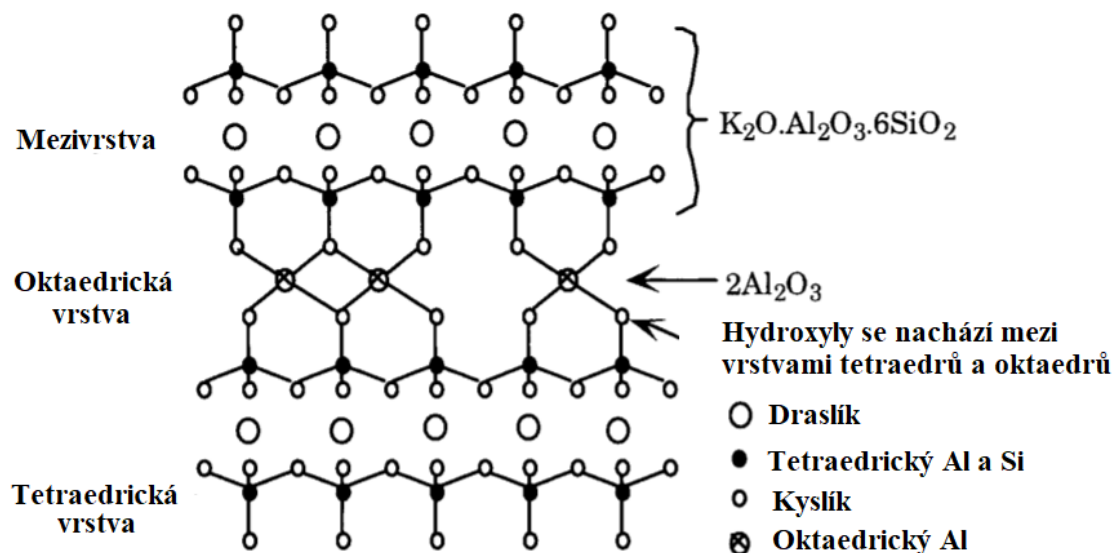
Dalším hojně zastoupeným minerálem podskupiny biotitu je železem chudý, ale bohatý hořčíkem flogopit $\text{KMg}_3\text{Si}_3\text{O}_{10}(\text{F},\text{OH})_2$. Krystalograficky je podobný biotitu a dosahuje i stejných tvrdostí. Hustota se pohybuje $2\,750-2\,970\text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$. Je průsvitný až průhledný, má žlutohnědé až červenohnědé zbarvení s perleťovým leskem. Je tepelně stálý do teploty $900\text{ }^\circ\text{C}$. Od biotitu se liší i tím, že má velmi často zvýšený obsah fluoru. Stejně jako biotit, ani flogopit nemá žádné podstatné využití v technické praxi [8, 9, 21, 26, 28].

Zástupci podskupiny biotitu, které mají využití, jsou lepidolit a cinvaldit. Oba minerály se používají k výrobě lithných solí či kovového lithia, někdy i ve sklárství při výrobě lithného skla. Lepidolit obsahuje v některých případech i menší množství rubidia a cesia (do 3 % jejich oxidové formy). Tvrdost je dle Mohse 2–3, hustota $2\,800-2\,900\text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$. Barvy má výrazné od růžové, červené, fialové, až po zelené a šedé s perleťovým leskem na štěpných plochách. Díky jeho specifickému zabarvení se snadno odlišuje od ostatních slídových minerálů [8, 9, 21, 26].

2.4.2 Podskupina muskovitu

Minerály patřící do této podskupiny mají trojvrstvou strukturu slídového typu s dioktaedrickou sítí kationtů, která je převážně obsazena hliníkem a která je jen velmi vzácně zastoupena jiným trojmocným kationtem (viz obrázek 10). Vyrovnávání vznikajícího nadbytečného záporného náboje je prováděno přítomným draslíkem v mezivrstevních

pozicích. Ionty draslíku spojují sousedící trojvrstevné komplexy velmi pevnou vazbou, což vede k nemožnosti vody pronikat do mezivrstevních prostorů a muskovit není schopen bobtnání. Muskovit sám o sobě je jednoklonný bezbarvý až stříbřitě šedý minerál. Zbarvení někdy dosahuje lehce nažloutlých či načervenalých odstínů. Tvrdost dle Mohse se pohybuje na hodnotě 2,5–4. Štěpné lupénky jsou dokonale pružné a mají silně perleťový lesk. Hustota minerálu muskovitu se pohybuje na hodnotách 2 750–3 100 kg·m⁻³, častěji blíží se spodní hranici těchto hodnot. Muskovit je často průhledný, někdy pouze průsvitný. Štěpnost je jako u většiny fylosilikátů dokonalá podle {001} a štěpná energie je pro slídové minerály konstantní [8, 9, 29, 30, 31, 32, 33].



Obrázek 10: Složení vrstev dioktaedrického muskovitu [18].

Muskovit, jako hlavní zástupce podskupiny dioktaedrických slíd, má vzorec $KAl_2(Si_3Al)O_{10}(OH,F)$. Teoretické složení minerálu je tedy 45,2 % SiO_2 , 38,5 % Al_2O_3 a 11,8 % K_2O . Odrůdy muskovitu obsahují až 3,9 % TiO_2 , 6,5 % FeO , 8,3 % Fe_2O_3 , 2,3 % MnO , 0,8 % MgO , 4,5 % CaO a 5,2 % Na_2O . Existují i odrůdy muskovitu bohatého na lithium tvořící izomorfní řady s lepidolitem. Odrůdy zvané fuchsit a mariposit obsahují až 4 % Cr_2O_3 a tvoří smaragdové až zelené šupinky. V některých zemích se z nich vyrábějí ozdobné předměty. Vznik muskovitu je v magmatických, regionálně i kontaktně metamorfovaných horninách, v nichž je důležitým horninotvorným minerálem, i když jeho rozšíření je menší oproti biotitu. Nachází se v žulách, v pegmatitech (ve formě velkých tabulí), v rulech a svorech, fylitech a sericitických břidlicích jako jejich podstatná až akcesorická součást. Výskyt je také v sedimentárních horninách, méně často v horninách metamorfovaných vápencových a dolomitických. Muskovit se vůbec nenachází ve výlevných magmatitech. Nejčastější využití muskovitu jsou izolační hmoty (kondenzátory, elektronky, topná tělesa). Dříve se muskovit používal jako okénko v pecích a kamnech. Muskovit se dobře poznává díky své štěpnosti a od ostatních slídových zástupců se odlišuje světlou barvou, která je znatelná na obrázku 11. Jemně šupinaté agregáty se analyzují pomocí XRD metody. Muskovit je více odolný chemickému zvětrávání než biotit. Tepelná stálost muskovitu je do 500 °C, od této teplotní oblasti nastává dehydroxylace muskovitu. Teploty tání silikátů jsou drasticky ovlivňovány přítomnou vodou, kde se voda chová jako nízkotající komponent a hydrolyzuje aluminosilikátové taveniny štěpením vazeb s kyslíkem. Teplota tání muskovitu se může pohybovat v rozmezí 1 300–1 500 °C [8, 9, 26, 28, 34, 35, 36, 37, 38].

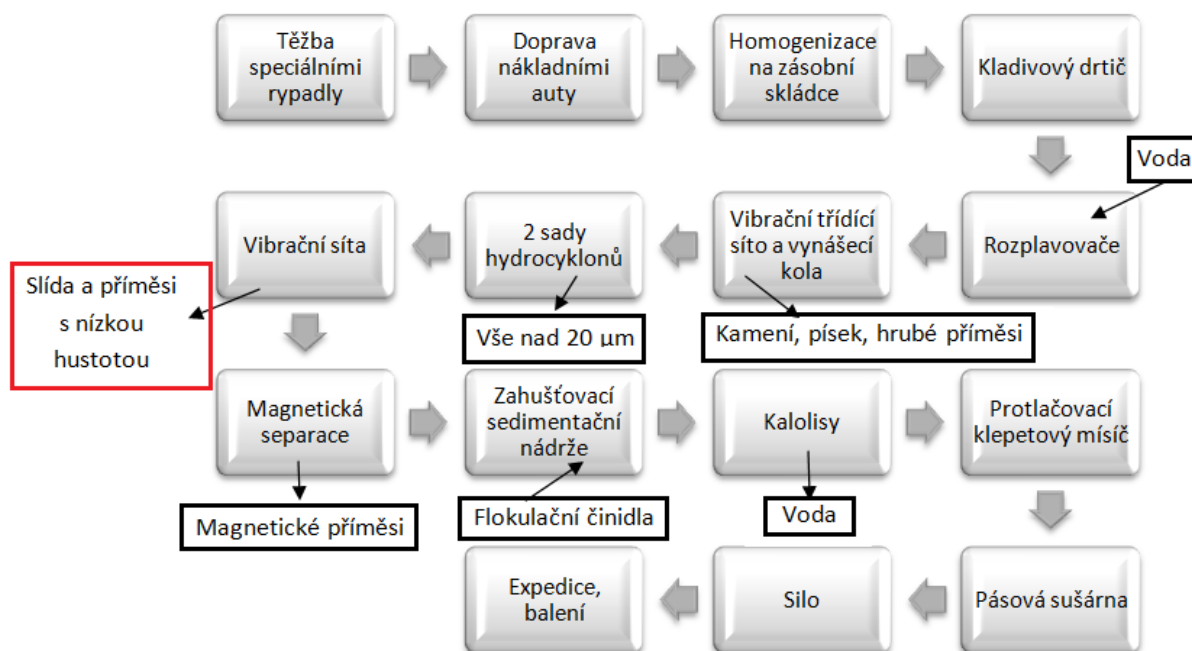


Obrázek 11: Minerál muskovitu – světlá slída [39].

V praxi využitelným minerálem podskupiny muskovitu je také glaukonit. Jednoklonný zelený až modrý minerál vyskytující se výhradně ve formě kuličkovitých až válcovitých zrn. Tvrdost dle Mohse 2–3 s hustotou $2\,200\text{--}2\,800\text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$, velmi matný a mastný/skelný lesk. Jeho využití spočívá ve velkém obsahu draslíku (až 15 % K_2O), čehož se využívá v zemědělství jako hnojivo. Vyrábí se z něj i zelená nejedovatá barva, odolná kyselinám i zásadám. Glaukonit funguje také jako měnič iontů při úpravě vody [8, 9, 26].

2.5 Zisk slídového separátu z procesu plavení kaolinu

V dnešní době, prosazující plně mechanizované a automatizované procesy, se úprava všech surovin, včetně keramických, stává velmi důležitým a řídicím dějem keramických technologií. Náročným a zdoluhavým procesem prochází většina surovin, jako jsou živce, křemičité písky, ale i zemina zvaná kaolin. Kaolin je světlá až bílá zemina (záleží na množství příměsí), která obsahuje jako hlavní minerál kaolinit ve 20–80 hm. %. To znamená, že při procesu plavení kaolinu, kdy je snaha jako hlavní produkt získat čistý kaolinit, je možno získat mnohem větší množství vedlejších produktů než samotný hlavní produkt. Samotný kaolinit je složen ze 46,54 % SiO_2 , 39,50 % Al_2O_3 a 13,96 % H_2O . Teoretický sumární vzorec kaolinitu je $(\text{OH})_8\text{Si}_4\text{Al}_4\text{O}_{10}$. Další materiály, které kaolin obsahuje, se liší v závislosti na nalezišti, ale z výčtu to jsou – křemen, živec, sloučeniny železa a titanu, organické sloučeniny a v nemalém množství také slída. Při úpravě kaolinu lze tyto minerály v menší či větší míře od kaolinitu odloučit a dále využívat. Na obrázku 12 lze vidět schéma úpravy surového kaolinu na kaolin plavený a ve kterých částech se získávají jednotlivé vedlejší produkty, včetně slídového separátu. Dále jsou popsány procesy plavení kaolinu až k získání slídového separátu [1, 3, 4, 40, 41].



Obrázek 12: Schéma technologie plavení kaolinu [1].

Zpracování jakéhokoliv vytěženého materiálu je v závislosti na místě vytěžení velmi unikátní, a proto se jednotlivé procesy mohou lišit na základě vlastností těžené suroviny v ložisku. Surovina se může přímo v lomu lišit například stupněm zvětrání či typem mateční horniny. U kaolinu zde hraje roli i faktor jeho vzniku, a to zejména, jestli se jedná o typ primární nebo sekundární. Těžba je poté zvolena na základě poměru mocnosti odklizu a skrývky. Ještě před samotnou těžbou se musí ložisko správně lokalizovat pomocí znalosti geologické stavby území, a poté prozkoumat pomocí dalších průzkumných prací zahrnující soustavu vrtných prací s geofyzikálním průzkumem. Pomocí vrtných souprav obsahující trubkové vrtáky s vrtnou korunkou se tyto vrtné práce provádí v několika sériích a v různých hloubkách, aby se našlo neoptimálnější místo k začátku těžby. Klade se důraz jak na kvalitu, tak i na kvantitu suroviny [7].

2.5.1 Těžba kaolinu

Z různých typů těžby od hlubinné, kombinací hlubinné a povrchové až po těžbu povrchovou se dnes využívá výhradně těžby povrchové. Výhoda povrchové těžby je vysoká výrubnost suroviny s odhadovanou ztrátou 2–5 % surovinových zásob. Oproti těžbě hlubinné, kdy se ztráty materiálu pohybují kolem 20–75 %, je povrchová těžba mnohem účinnější. Velké ztráty u hlubinné těžby jsou v důsledku existence ochranných pilířů, ke kterým je těžký přístup a materiál tak zůstává nevytěžený. Obrovská nevýhoda povrchové těžby souvisí s nutností provádění skrývkových prací, kdy nastává devastace krajiny a okolí. Před veškerými zásahy do přírody musí být vypracovány a schváleny plány otvirky, přípravy a dobývání (POPD), které zajišťuje Český báňský úřad. Po uzavření lomů je nutná kompenzace devastace a odlesnění krajiny, což je financováno založeným fondem o napravení rázu krajiny [4, 7].

Těžba se nejčastěji uskutečňuje pomocí rypadel (hydraulická lopatová, kolesová nebo korečková). Typů rypadel je více, existují například i rypadla s vlečným korečkem či rypadla mechanická lopatová. Metody využívající vodní sílu k rozpojování surovin jsou těžby pomocí hydromonitoru nebo pomocí sacích bagrů pracujících pod vodou, tyto metody se používají na

území např. Velké Británie. Vodní zpracování se používá především pro papírenský kaolin a surovina poté prochází přes hydrocyklony pro dosažení požadovaných velikostí částic. Nelze-li surovina rozpojit tradičním dobývacím mechanismem, používají se trhací práce. Jedná se o metodu využívající energii výbušnin (na našem území častá metoda). Před samotným odstřelem je nutno provést vrtání, které může být dvojího typu – mechanické nebo fyzikální. Mechanické vrtání rozrušuje horninu dlátem nárazem či přiklepem. Fyzikální vrtání používá teplo, laser, častěji vodní proud. Po sérii navrtání a umístění trhavin se lze přesunout k samotnému odstřelu, které jsou podle potřeby použití řadové, plošné, clonové, komorové nebo vzájemně kombinované [4, 7, 42].

2.5.2 Homogenizace

Po vytěžení nemá surovina jednotné vlastnosti v celém svém objemu, a proto je nutno ji před dalším krokem zpracování na úpravnické lince homogenizovat. Homogenizací se zajistí shoda produktu úpravy a všechny potřebné vlastnosti výsledného produktu včetně určité kolísavé tolerance parametrů. Homogenizovaná surovina se uskládá v homogenizační skládce, kde se řeší hlavně kvalitativní vlastnosti suroviny. Homogenizační skládka slouží také jako zásobárna suroviny k překrytí malého množství materiálu při neočekávaných situacích, jako mohou být vlivy počasí (děšť, zima, aj.), což by jinak zastavilo nebo velmi zpomalilo těžbu a následnou produkci materiálu [7].

2.5.3 Drcení a rozplavování

Dalším důležitým krokem je rozpojení materiálu, které se provádí převážně drcením. Drcení surovin usnadňuje další krok úpravy kaolinu – rozplavování suroviny. Už v lomu nastává částečné rozpojování či zdrobňování částic surovin, ale tento krok je často nedostačující pro většinu kaolinových surovin. Drcení odpadá v případě výskytu surovin snadno rozpojitelných, jako jsou třeba sekundární ložiska arkóz (což jsou usazené horniny velmi podobné pískovci, ale liší se v zastoupení zejména živcových složek). Většina kaolinové suroviny se drtí pomocí kladivových nebo nožoválcových drtičů. Jsou-li kaoliny zpevněné karbonátovým nebo křemičitým tmelem, je nutné použít kamenické technologie skládající se z čelistových a kuželových drtičů a válcových mlýnů. Samotné mletí je neúčinnější za účasti atritorů, což jsou mlýny schopné mlít velké množství prachové náplně, u kterých k intenzivnějšímu mletí přispívá také pohyb ramen a šneků mlecích těles. Drcení může probíhat v několika sériích či stupních k dokonalejšímu rozrušení částic [7].

Mimo mechanické drcení se používají vodní děla k rozplavení částic. Hrubý písek o průměru 0,5 mm je proudem vody snadno oddělitelný. Nestačí-li k rozplavení suroviny vodní dělo, jsou zapojeny do procesu nožové rozplavovače, které fungují jako pračky písku pracující na protiproudovém principu. Podobný princip zajišťuje metoda kontinuálně pracující vrtulové rozplavovače [7].

2.5.4 Třídění

V praxi se používá více metod oddělujících od sebe částice kaolinu a ostatních nečistot (většinou se jedná o písek a kameny). Nejzákladnější metoda využívá působení gravitační síly, kde nastává sedimentace částic ve vodě. Suspenze vzniklá rozplavením suroviny ve vodě je čištěna průtokem přes třídící sedimentační žlaby. Dnes se používají kruhové zahušťovače o rozměrech v průměru 10–50 m s výškou 3 m. Při sedimentaci se zvyšuje podíl sedimentu ve žlabu skládající se z větších a těžších částic (nečistoty, hrubší částice písku, pyrity, kamenivo), zatímco jemné částice kaolinu se drží ve vznosu v kapalině a odtékají se zbytkem

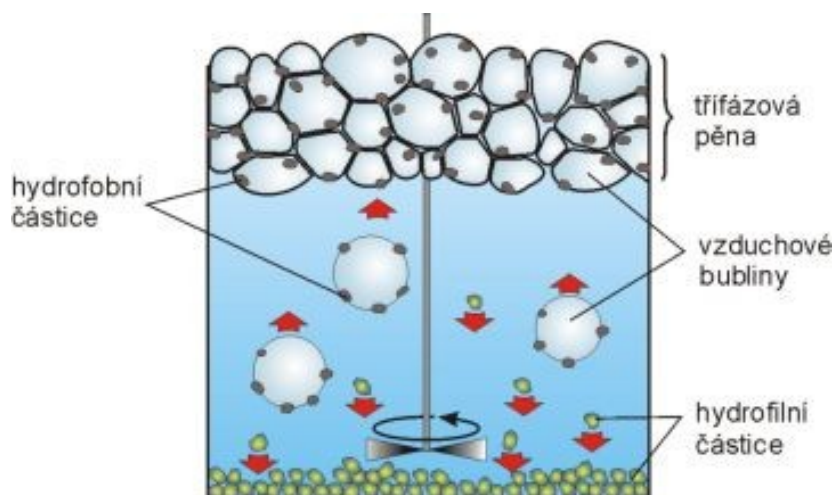
suspenze k dalšímu pročištění průchodem přes další síta. Ke zlepšení třídícího efektu se dnes používají ztekucovadla (soda, vodní sklo) upravující tokové vlastnosti suspenze [7].

Pokročilejší metoda využívá působení odstředivé síly pro třídění částic. Dnes velmi časté hydrocyklony různých velikostí zařazeny v několika sériích za sebou ke zlepšení třídění částic. Pevné částice nacházející se v kapalině vstupují do prostoru hydrocyklonu a na základě své velikosti se třídí. Jemné částice kaolinu zůstávají v suspenzi a pokračují dále, zatímco větší pevné částice propadnou a dochází u nich znovu k přetřídování na produkt a vedlejší produkt [7].

Při samotném mletí pomocí atritorů se může vzniklá surovina sítovat. Sítování probíhá na sítích vibračních, bubnových nebo statických, na kterých se zachycují slídy a organické příměsi, které na základě svého tvaru (lupínky slídy) nebo specifické váze (organika) procházejí s jemnými podíly do přepadu hydrocyklonů. Pro velké průtoky tříděné suspenze se nejčastěji používají síta statická, jejichž pořízení a udržování je ekonomický i technicky nejméně náročnější [7].

Další možnosti třídění kaolinu (a i jiných keramických surovin) je použití permanentních magnetických separátorů, které oddělují nežádoucí magnetické příměsi (otěrové železo, znečišťující magnetické příměsi). Jedná se o jednoduchý princip, kdy suspenze protéká nádobou s těmito magnetickými tyčemi, které na povrchu zachycují magnetické nečistoty [7].

Technologický postup využívající jiné chování povrchu minerálů ve vodě se nazývá flotace. Rozlišujeme zde minerály, které vodu přitahují a jsou dobře smáčitelné (hydrofilní) a naopak minerály vodu odpuzující a špatně smáčitelné (hydrofobní). Nejčastěji se používá pěnová flotace (viz obrázek 13), kdy směs rozmělněných minerálů ve vodě probublává vzduch či jiný plyn s lepší afinitou k povrchům částic. Částice, které mají hydrofobní povrch, ulpívají na vzduchových bublinách a jsou dále unášeny až na hladinu suspenze, kde se shromažďují ve formě pěny, která je z hladiny mechanicky odebírána. Hydrofilní částice na vzduchové bubliny nepřilnou a klesají ke dnu, kde vytváření tzv. komorový poddíl. Flotovatelnost materiálu se dá ovlivňovat různými přísadami chemických činidel, jako jsou sběrače, pěniče, depresory a jiných modifikátorů [7, 43, 44].



Obrázek 13: Schéma pěnové flotace [45].

Slídivý separát lze roztrždit pomocí pěnové flotace. Slída i písek mají velmi podobné flotační vlastnosti, a proto je nutné flotovatelnost materiálu ovlivnit. Nejčastěji používané metody jsou upravení pH pomocí sody na 9–11, poté se často používají dispergátory (např.

lignosulfonát sodný) a sběrače (např. fosfátové estery). Často se používají i jiné modifikátory jako kationové či anionové činidla (amin-acetáty, k. olejová či její soli). Použitá činidla se liší v závislosti na flotovaném materiálu, jelikož flotace je velmi empirická metoda [46, 47, 48, 49].

Poslední používaná metoda opět využívá gravitačního působení, nyní se ale jedná o praní v těžkých kapalinách. Dělicí suspenze má upravenou hustotu tak, aby specificky lehčí podíl přítomné suroviny plaval na hladině, zatímco těžší podíl klesal ke dnu. Příprava dělicí suspenze je z vody a zatěžkávadla, což jsou mleté nebo granulované minerální látky s vysokou specifickou hmotností [7].

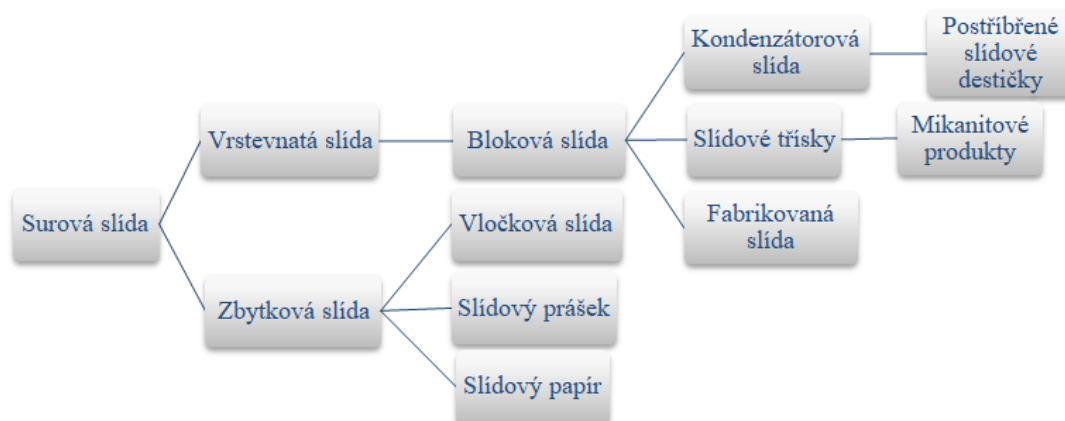
2.6 Výskyt

Biotit v České republice se vyskytuje v malých, ale poměrně dobře vyvinutých krystalcích v Brně v Maloměřicích, v Komíně či v Židenicích. Větší šupiny biotitu jsou k nalezení v Budislavi u Litomyšle, Krupky či v tufech Českého středohoří. V cizině se biotit nachází například v Albánském pohoří nebo u Laašského jezera. Flogopit se u nás nachází v Horní Lipové, v Bělé nad Radbuzou, na Slovensku v Klenovci a v Hodruši. Ve světě jsou naleziště flogopitu u Bajkalského jezera, v Kanadě, Madagaskaru, Indii a v Korei. Výskyt lepidolitu je na našem území poměrně hojný – v Nové Vsi u Českého Krumlova, Sušicích, Dobré vodě, Laštovičkách, Jablovce, Puklicích aj. Světový výskyt je na ostrově Elba, v Kalifornii v USA, v Kanadě, Namíbii, Mosambiku a na Madagaskaru. Na saské straně Krušných hor jsou naleziště cinvalditu, odkud má svůj název (Zinnwald – Cínovec) [9, 36].

Muskovit má těžené výskyty na našem území na Poběžovicích u Domažlic, dříve u Dolních Borů, Písecko či u Kutné Hory. Velmi zajímavé světové výskyty jsou v Norsku u Osla, Indii, USA, na Urale, v Tanzánii, Zimbabwe, Kanadě a v Austrálii. Fuchsitové výskyty jsou v Kutných Horách a v Jeseníkách. Na Slovensku jsou to Múraňské Dlhé Lúky. V Uralových chromových ložiskách se nachází menší množství fuchsitu, který se dá nalézt také v Tyrolsku a v Guatemale. Glaukonit má nález na četných místech na Kladensku, v Poohří, u Orlických hor, na Nymbursku a u Moravské Třebové. Zastoupení má také v Beskydech a na Slovensku. Světová ložiska leží v Německu, Ukrajině a na Floridě [9].

2.7 Druhy těžených slíd

Na trhu jsou k nalezení dva základní typy slíd – přírodní a syntetická slída. Na základě analýzy obchodního trhu, přírodní slída tvoří 90 % trhu a zbylých 10 % tvoří slída syntetická. Růst podílu na trhu není pro syntetickou slídu očekávaný větší než 2 % v následujících deseti letech, což znamená, že přírodní slída nebude v nejbližší budoucnosti nahrazena slídou syntetickou. Momentálně veškerá vyrobená syntetická slída se používá v kosmetickém průmyslu a pouze malá část se používá pro perleťové pigmenty v natěračství. Celková poptávka slídy má stále rostoucí charakter, neboť je o slídu stále větší zájem hlavními odběrateli. Po vytěžení se surová přírodní slída dále řadí mezi vrstevnatou nebo zbytkovou slídu a rozdělení je ukázáno na obrázku 14 [50, 51].



Obrázek 14: Rozdělení vytěžené surové slídy podle tvaru [51].

2.7.1 Vrstevnatá slída

Vrstevnaté slídy jsou větší krystaly slíd, které jsou charakterizovány perfektním štěpením a jsou separovány od jiných vrstev do velmi tenkých, více či méně pružných plátů. Části vrstevnatých slíd se dělí podle velikostí a kvalitativních vlastností jako čistota, barva, tloušťka, tvrdost a absencí poruch, vzdušných bublinek či jiných viditelných strukturních nedokonalostí. Vrstevnatá slída může být řezána, lisována, či jinak konvertována do jiných tvarů a velikostí, což jsou úpravy, které některé aplikace vyžadují. Takto upravené slídě se poté říká fabrikovaná slída [51].

Pomocí pryskyřice se po vytvrzení teplem a tlakem mohou třísky a odřezky slíd spojit v kompaktní laminátový celek – zvaný mikanit. Slepená vrstva se poté připojuje k různým materiálům (skelná vata, hedvábí, lněné plátno, plastové materiály aj.) za vzniku kompozitního materiálu. Laminátová slída se převážně používá jako izolant v elektrických přístrojích. Vrstevnatá slída (v jakékoliv formě) je žádoucí typ těžen ze surové slídy pro elektronický průmysl [51].

Při těžbě vrstevnatých slíd je nutné dbát na neporušení slídových krystalů. Vrstevnatá slída je většinou nalezena a těžena v blízkosti pegmatitů. Trhaviny i vrtání zeminy se používají v malém množství k uvolnění slídových kusů od hostitelské horniny. Po uvolnění se vrstvy slíd mohou těžit a dopravovat na místo dalšího zpracování. Vrstevnatá slída není tak hojně se vyskytujícím typem slíd jako například slída vločková [51].

2.7.2 Drcená slída

Mezi drcenou slídu patří všechny druhy slíd vyrobené ze zbytkové slídy, která je rozdrovena nebo pomleta buď na slídové vločky, nebo slídový prášek. Slídový papír je také produktem zbytkové slídy; po rozdrocení je vytvořena kašovitá struktura obsahující různá pojiva, která je lisována do archů jako papír. Pro přípravu mikronových až submikronových částic slíd lze použít sonikaci. Efekt sonikace je mnohem významnější pro muskovit než biotit a i dlouhé působení ultrazvuku zachová krystalický charakter částic. Použití slídového prášku pro výrobu slídového papíru není vhodné, neboť mezi slídovými částicemi není dostatečný kontakt. Použití práškové slídy je většinou do barev, nátěrů, konstrukcí či kosmetiky. Elektronický průmysl používá práškovou slídu jako tmel či výplň nebo slídový papíry/tuby/pásky jako izolační materiál [51, 52].

Zbytková slída se produkuje jako vedlejší produkt při těžení vrstevnaté slídy. Po vytěžení kvalitní vrstevnaté slídy se zbytek nevytěžené slídy prohlašuje jako slída zbytková. Zbytková

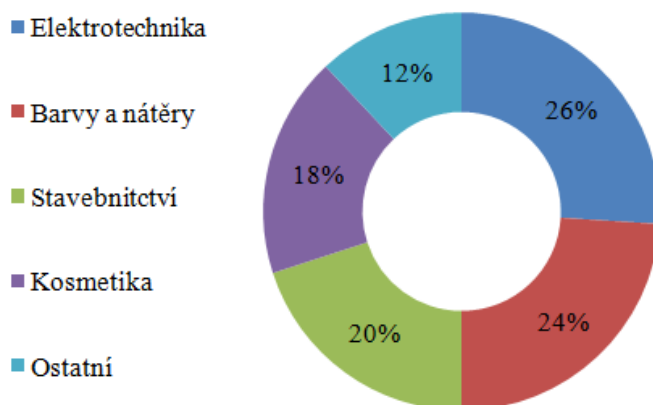
slída může být také produktem úpravy vrstevnaté slídy. Druhý způsob těžby zbytkové slídy je také jako vedlejší produkt při těžení kaolinu, živců a křemene, dnes nejčastěji ve formě povrchových lomů. Na úpravnické lince se poté jednotlivé minerály od sebe oddělují [51].

2.7.3 Syntetická slída

Vyrábí se uměle zahříváním určitých surových materiálů v elektrické odporové peci, kde je prostor pro slídu krystalizovat z taveniny kontrolovaným chlazením. Výsledkem je slída obsahující fluor s charakteristickými vlastnosti kombinující muskovit a flogopit. Vlastnosti syntetické slídy se velmi neliší od té přírodní. Tepelná odolnost syntetické slídy je až do 1 100 °C, zatímco u přírodní je tepelná odolnost kolem 800 °C. Syntetická slída je bezbarvá a díky uniformním vlastnostem v celém svém objemu je používána právě v kosmetickém průmyslu [51].

2.8 Současné využití slídy

Díky svým unikátním vlastnostem, slída nachází široké uplatnění v mnoha průmyslových odvětvích. Procentuální využití slíd v průmyslech lze vidět na obrázku 15. Slídy jsou chemicky inertní a nereagují s vodou, s kyselinami (kromě k. fluorovodíkové a koncentrované k. sírové), s oleji, se zásadami a ani s rozpouštědly, odolné vůči atmosférickým podmínkám a povětrnostním vlivům. Jsou to lehké, pružné a měkké materiály. Odolávají vysokým teplotám a také náhlým změnám teploty, jsou nehořlavé a nevýbušné. Slídy jsou schopny vydržet vysoká napětí a izolovat s nízkou ztrátou energie, kde se kombinuje jejich velká dielektrická pevnost. Uvádí se, že bez dlouhodobých poruch odolávají také obloukovému a korónovému výboji. Většinou jsou to transparentní minerály, absorbují nebo odrážejí světlo, což jim dává dekorativní využití a chrání proti UV záření [50, 51].



Obrázek 15: Procentuální zastoupení slídy v jednotlivých průmyslových odvětvích [51].

2.8.1 Elektrotechnický průmysl

Slída nachází uplatnění v předmětech každodenního používání člověka. Od spotřebičů jako jsou toustovače, fěny až po LED světla, akustické kytary či kouřové detektory. Slída se dá nalézt i v mnohem složitějších aplikacích, jakou jsou automobilové senzory, lithiové baterie, nebo třeba letecký a kosmický průmysl, radiové a lékařské aplikace. V elektrotechnickém průmyslu se používají oba dva hlavní druhy slíd, vrstevnatá i drcená. Vrstevnatá slída se používá jako elektrické kondenzátory, jako izolační vrstva například mezi ohřívacími elementy. V závislosti na tloušťce vrstev slídy se používá také v optických nástrojích. Drcená slída má v různě zpracovaných formách také izolační vlastnosti. Ze všech druhů slíd se do

elektrotechnického průmyslu nejčastěji používá muskovit. Dokonalá štěpnost vrstevnatého muskovitu dovoluje vznik a existenci velmi tenkých vrstev, které nachází uplatnění také v mikroskopii atomárních sil [51, 53, 54].

2.8.2 Další průmyslová využití

Barvy a nátěry s perleťovými pigmenty jsou důležitým sektorem, který používá slídu. Nejlepší forma slídy pro barvy a nátěry je slída vločková, druhá nejlepší forma je sušená drcená slída. Používá se také jako zlepšovač pigmentů – zlepšuje životnost pigmentů a zesiluje jejich intenzitu. Pro samotné barvy zlepšuje samotný povlak nátěru, zlepšuje pružnost a snižuje vnitřní pnutí v nátěru. Použití je také v antikorozních a ohnivzdorných nátěrech nebo jako nátěry v přímořských oblastech [25, 28, 51].

Po perleťovém pigmentu je poptávka i v kosmetickém průmyslu, kde se slída přidává do produktů očních stínů, tělových třpytek, laku na nehty aj. Méně používané kosmetické výrobky obsahující slídu jsou šampony, kondicionéry, někdy i zubní pasty, kam slída přináší požadovaný třpyt [25, 51].

Ve stavebnictví se slída používá jako plnivo v sádrovcových omítkách, zdí a obkladačkách. Vápenná omítka obsahující lesklé plošky slídy se nazývá brizolit. Chová se také jako výztuž v cementových materiálech, kde také zabraňuje lomům a jejich šířením. Prášková slída chrání povrchy zdí od pohlcování vlhkosti, a tím nedochází k porušení těchto materiálů [28, 51].

Slída má v betonech určitou funkci plniva volných prostorů mezi zrny a nevykazuje žádný vliv na tuhnutí a objemovou stálost cementových malt. Slída (ve formě muskovitu) má škodlivé účinky na cementové malty (a dále na cementové betony) a je závislá na velikosti a množství jejich částic. Hrubé frakce (0,2–2 mm) slídy působí škodlivě již při 1% zastoupení v surovině. Škodlivost se projevuje zejména úbytkem pevnosti. U jemnějších frakcí (pod 0,88 mm) se tato škodlivost projevuje až při 5% zastoupení, při použití menšího zastoupení je možné zvýšit pevnost v tlaku [55].

Slída se často používá v tekutinách ropných vrtů. Vločková slída používající se při vrtání na vodní i olejové bázi, slouží jako aditivum do kalu zabráňující ztrátu cirkulace a prosakování. Jako plnivo se slída nepoužívá pouze v betonech, ale i v plastových výrobcích. Slouží jako lehká izolace v automobilových součástkách potlačující zvuky a vibrace (použití namísto azbestu). Také jako výztuž v plastech u automobilů (nárazníky), kde zvyšuje mechanické vlastnosti (zvýšená tuhost, rozměrová stabilita). Slídou obohacené plasty mají také zvýšenou teplotní stálost a velmi dobré povrchové vlastnosti. Slída se používá do plastů také jako izolační materiál proti vysokému napětí a použití má i u kompozitů jako propustná bariéra. V gumárenském průmyslu se používá prášková slída také jako inertní plnivo nebo jako lubrikant, kde plátová struktura slídy funguje jako proti lepící složka (mazivo), pomáhající vyndání například nové pneumatiky z formy. Znečištěná prášková slída se používá k výrobě válcované střešní krytiny a asfaltové šindele, kde také slouží jako inertní plnivo a jako lubrikant povrchové vrstvy [24, 51, 56].

Vysoké dávky gama záření a elektronů zvyšují odolnost vůči tepelnému rozkladu muskovitu. Tím pádem se muskovit dá použít jako indikátor vysokých dávek gama záření a elektronů. Příčina zvýšení tepelné odolnosti je přisuzována vzniku prázdných míst, která se naplní vodou a také strukturní změně, která zvyšuje pevnost slabých vazeb mezi mřížkami. Muskovit je citlivý na poškození zářením a díky snadnému štěpení lze získat hladký povrch slídy, který je používán také jako substrátový materiál například pro biologické exempláře, pro epitaxní růst kovových nanoklastrů či pro samouspořádávající se vícevrstvé struktury [22, 32, 57, 58].

Existují také speciální keramické materiály obsahující střídající se vrstvy muskovitu a kaolinitu za vzniku kompozitního materiálu. Takhle složený materiál má velmi náročné požadavky na výrobu hlavně při slinování, kdy dochází k dehydroxylaci muskovitu v rozmezí 800–1 100 °C (díky velkým krystalům muskovitu) s velmi silnou endotermickou reakcí. Další známý keramický kompozitní materiál obsahující slídu je v kombinaci s oxidem hlinitým, kdy takto vzniklá keramika snižuje pevnost v ohybu a tvrdost dle Vickerse, ale zvyšuje odolnost vůči lomu. Při použití slídového separátu z plavení kaolinu s dostatkem čistého kaolinu lze připravit téměř čistou mullitovou keramiku [59, 60, 61].

3 EXPERIMENTÁLNÍ ČÁST

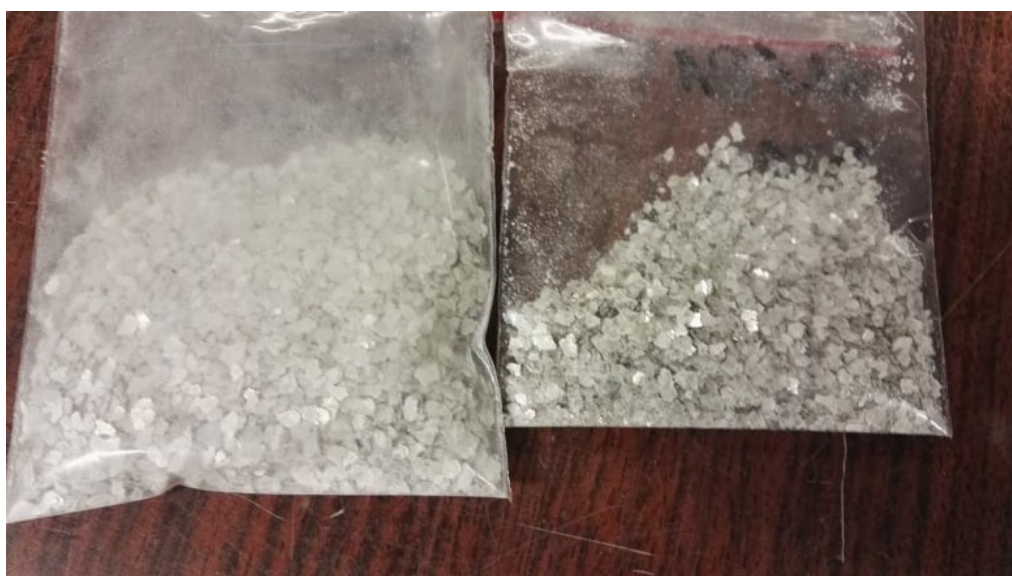
V této části práce jsou popsány laboratorní postupy spolu s použitými materiály. Kapitola také stručně popisuje princip používaných instrumentálních či normovaných metod.

3.1 Použité chemikálie a materiály

- Destilovaná voda
- Slídový separát z vypírky kaolinu – nevytříděný
- Slídový separát z vypírky kaolinu – vytříděný
- Kaolin Sedlec Ia
- Keramická hlína (světlá točírská hlína s ostrivem mletým pod 0,5 mm)
- Cement CEM I 42,5 R
- Zkušební písek střední EN 196–1 [62]
- Superplastifikátor ACE 40 na bázi polykarboxylátetheru
- Epoxidová pryskyřice LG 700 (GRM Systems s.r.o.)
- Tvrdidlo HG 700 F (GRM Systems s.r.o.)
- Aceton

3.2 Plavení slídového separátu

Vytříděný slídový separát z vypírky kaolinu byl složen zejména z větších (1–2 mm) slídových vloček, které byly znečištěny prašnou směsí kaolínu a písku. Aby byl získán slídový separát větší čistoty, byla vždy určitá část slídového separátu promývána vodou a prašná směs byla oddělena průtokem vody přes jemné síto. Takto rozplavený materiál byl poté sušen při teplotě 105 °C po dobu 24 h. Po vysušení byl materiál uskladněn a byly na něm provedeny analýzy sítové a rentgenové. Na obrázku 16 je znázorněn rozdíl mezi pročištěným (flotovaným) a nepročištěným (neflotovaným) slídovým separátem.



Obrázek 16: Vlevo: nepřečištěný vytříděný slídový separát, vpravo: přečištěný vytříděný slídový separát.

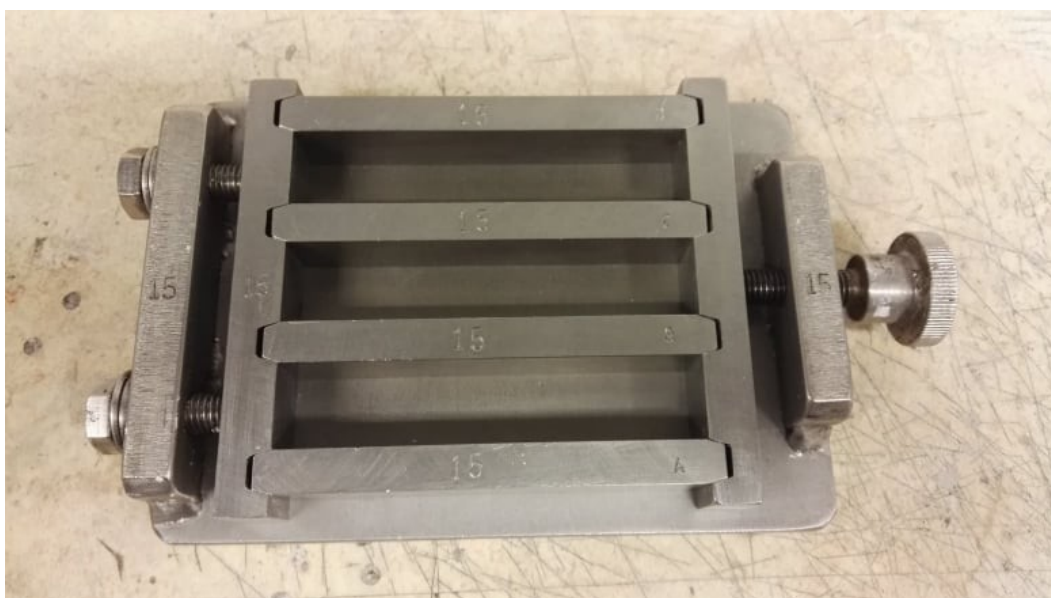
Část materiálu byla pomleta na velkém laboratorním vibračním mlýnu pro další operace. Mletí materiálu probíhalo po množství 30–40 g po dobu 1 min. Na obrázku 17 je snímek používaného laboratorního vibračního mlýnu.



Obrázek 17: Laboratorní vibrační mlýn.

3.3 Postup přípravy keramických těles

Byly připraveny trámečky o velikosti 100×20×20 mm ze dvou materiálů sloužící jako plastická surovina. První série trámeček obsahovala kaolin Sedlec Ia a druhá série obsahovala keramickou hlinu. Do trámeček byl přidán slídový separát tak, aby hmotnostní procenta slídového separátu v celém trámečku byla 0/5/10/20/30/40/50 %. Od každé série byly připraveny tři trámečky ve formě zobrazené na obrázku 18. Stejná forma akorát pro větší tělesa byla použita později i pro pohledová tělesa z cementové matrice.



Obrázek 18: Železná forma pro přípravu trámeček.

Všechny trámečky byly po vytvarování vyjmuty z formy a byly ponechány k schnutí na volném vzduchu po dobu několika dní, poté byly umístěny na 24 h do sušárny při teplotě 40 °C. Takto ošetřené trámečky byly poté vypáleny po dobu 1 hodiny v muflové peci při teplotě 1 300 °C pro kaolinová tělesa a 1 000 °C pro tělesa s keramickou hlinou (pro oba výpaly byla teplotní rampa nastavena na 5 °C/min). Vypálené kaolinové trámečky o různém plnění slídovým separátem a rozdíl mezi pročištěným slídovým separátem vypáleným při 1 000 °C a při 1 300 °C jsou na obrázku 19.



Obrázek 19: Nahoře: série vypálených kaolinových trámeček o plnění přečištěným vytríděným slídovým separátem o hmotnostním zastoupení 0/5/10/20/30/40/50 %, dole rozdíl mezi přečištěným vytríděným slídovým separátem vypáleným při 1 000 °C a 1 300 °C.

3.4 Postup přípravy pohledových těles

Byly připraveny tři série pohledových těles ve formách na velikost trámeček 160×40×40 mm. Na každou sérii byla použita jiná frakce vločkové slídy (vytríděného slídového separátu). Nejhrubší frakce obsahovala slídu o velikosti větší než 1,4 mm, střední frakce částice v rozmezí velikostí 1,0–1,4 mm a nejjemnější frakce se sestávala z částic slídy menší než 1,0 mm. Pohledová tělesa byla připravena tak, že se vysypala spodní část formy na trámečky vrstvou slídy tak, aby pokrývala celé dno. Na takhle připravenou formu byly nality tři různé cementové kaše o jiné tekutosti, jejich složení je vypsáno v tabulce 4. Po zatvrdnutí cementu byly po 24 hod tělesa odformována a senzoricky bylo zkoumáno, jak se která frakce zakomponovala do cementové kaše a má-li tento pokus žádaný pohledový potenciál. Ze všech typů směsí byly připraveny série trámeček o velikosti 100×20×20 mm, a byla naměřena jejich pevnost v tlaku a ohybu po 1 dnu a 28 dnech. Pro srovnání počátečních pevností byly připraveny trámečky z čistého cementu s vodním součinitelem 0,35.

Tabulka 4: Složení směsí pro pohledová tělesa s použitím superplastifikátoru.

Složka	Směs A	Směs B	Směs C
CEM I 42,5 R	400 g	400 g	400 g
Pročištěný mletý slídový separát (>0,5 mm)	250 g	250 g	250 g
Záměsová voda	380 ml	380 ml	380 ml
SP ACE 40	2 ml	4 ml	6 ml
Rozliv	23 cm	26 cm	28 cm

Další série pohledových těles byla opět připravena vsypáním tří frakcí slídy na spodní část formy. Lišilo se složení cementové směsi znázorněné v tabulce 5, sloužící jako matrice od předchozí série. Vytríděný slídový separát byl zakomponován i do cementové kaše. Opět byly připraveny trámečky o velikosti 160×40×40 mm pro sérii pohledových těles a trámečky o velikosti 100×20×20 mm pro měření na pevnosti v tlaku a v tahu za ohybu.

Tabulka 5: Složení směsí pro pohledová tělesa se zakomponovaným vytríděným slídovým separátem.

Složka	Směs D	Směs E	Směs F
CEM I 42,5 R	300 g	300 g	300 g
Pročištěný slídový separát	60 g	90 g	120 g
Písek střední normovaný	120 g	90 g	60 g
Záměsová voda	135 ml	135 ml	135 ml

3.5 Postup přípravy kompozitních těles s částicovým plnivem

Na přípravu kompozitních trámeček o velikosti 80×10×4 mm byla použita epoxidová pryskyřice a funkci částicového plniva zajišťoval jemně mletý slídový separát. Použitá epoxidová pryskyřice LG 700 je laminační pryskyřice z bisfenolu A a epichlorhydrinu. Díky své nízké viskozitě se používá například pro techniky využívající vakuové systémy. Pryskyřice má velmi dobrou tepelnou odolnost i při vytvrzení za laboratorní teploty a vyznačuje se také velmi dobrou flexibilitou. Součástí LG 700 je také 1,6-hexandiol glycidyl ether a trimetylpropan glycidyl ether. Pryskyřice se vytvrzuje za použití tvrdidla HG 700 F na bázi aminů při laboratorní teplotě. Součástí tvrdidla je isoforon diamin, benzylalkohol, N-aminoethylpiperazin a trietanolamin. Při smíchání pryskyřice a tvrdidla je udávána zpracovatelnost 25 min, bod gelace při 25 °C je při době 1–2 hodiny. Mísící poměr pryskyřice a tvrdidla je 10:3. Základní vlastnosti složek EP jsou vypsány v tabulce 6 [63].

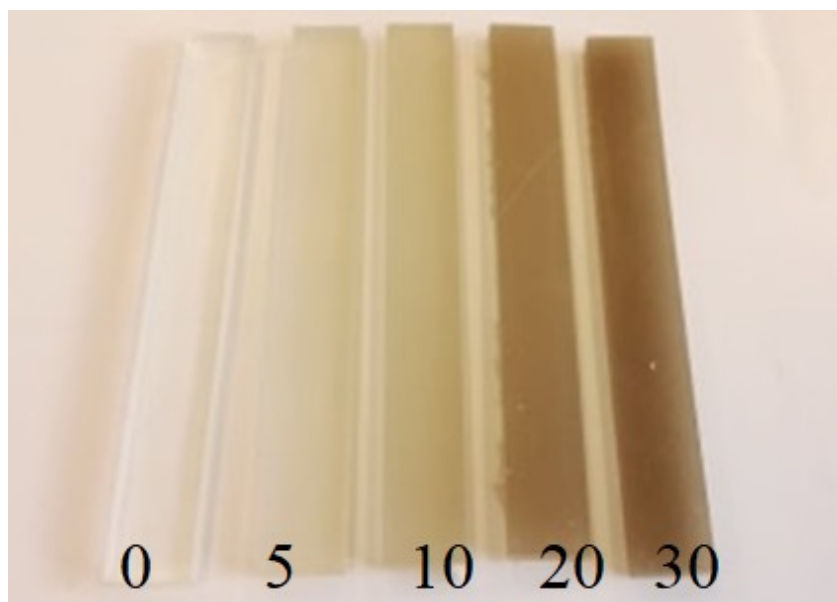
Tabulka 6: Vlastnosti použité epoxidové pryskyřice LG 700 a tvrdidla HG 700 F [63].

	LG 700	HG 700 F
Hustota [g·cm ⁻³]	1,18–1,23	0,98
Viskozita 25 °C [mPa·s]	600–900	30–40
GHS Symboly	Korozivní a žravý Dráždivý Nebezpečný pro zdraví Nebezpečný pro ŽP	

Bylo připraveno vždy 10 trámeček pro jednu analýzu (rázová houževnatost a pevnost v ohybu). Byly připraveny série trámeček s hmotnostním plněním 0/5/10/20/30 % slídy v EP, které jsou znázorněny na obrázku 20. Jako plnivo byly použity tři různé frakce mleté slídy,

a to slída o velikosti částic $<0,08$ mm, 0,08–0,10 mm a 0,10–0,14 mm. Vždy byla nejdříve rozmíchána pryskyřice s plnivem, po zhomogenizování směsi bylo přidáno tvrdidlo a směs byla opět zhomogenizována. Trámečky byly odlévány do silikonových forem, které byly před každým použitím pročištěny acetone, a trámečky byly ve formě ponechány po dobu 24 hod. Po vyjmutí z forem byly trámečky obroušeny od přebytečné pryskyřice či nedokonalostí při plnění, aby měly co nejpřesnější rozměry pro další analýzy.

Bylo vyzkoušeno maximální možné plnění, kdy se směs dala ještě tvarovat do formy (50% plnění). Takhle plněná tělesa obsahovala po vytvrzení velké množství vzduchových bublin, které kompromitovaly jejich mechanické vlastnosti. Pokud by bylo použito vakuování směsi, dalo by se i s takhle plněnými tělesy pravděpodobně dále pracovat.



Obrázek 20: Ukázka kompozitních trámeček epoxidové pryskyřice s částicovým plnivem ze slídového separátu (frakce $<0,08$ mm) o hmotnostním množství plniva 0/5/10/20/30 %.

3.6 Rentgenová difrakce

Rentgenová difrakce, dále jen XRD, je difrakce rentgenových paprsků na krystalové mřížce. Používá se na stanovení kvalitativního a kvantitativního fázového složení vzorku, na určování velikosti krystalů polykrystalických látek a na stanovení struktury krystalické fáze. Metodou lze zjistit i přednostní orientace minerálů v hornině [64].

Pro práškovou metodu se vzorek nejdříve upraví na jemný prášek o požadované zrnitosti, nejlépe na jednotky až desítky nm. Při nedokonalém rozetření dochází k tomu, že získané difrakční linie nejsou spojitě. Naopak při velmi dobře rozetřeném materiálu může dojít k amorfizaci vzorku, kdy materiál nedifraktuje rentgenové záření. Při roztírání se musí brát v potaz změna modifikace látky v důsledku zvýšení teplot, protože i při ručním roztírání může dojít ke zvýšení teploty až na 300 °C. Při přípravě materiálu je nutno dbát na to, aby v rozpráskovaném materiálu nedošlo k přednostní orientaci, tzn., aby minerální zrna byla ve vzorku v preparátu orientována statisticky nahodile. K přednostní orientaci často dochází u štěpných materiálů, jako jsou fyllosilikáty. Přednostní orientace lze zabránit např. použitím plexisklového nosiče s bočním plněním nebo zdrsněním povrchu skelným papírem. Již rozetřený prášek se nasype do nosiče (většinou skleněná kapilára nebo držák z plexiskla), nebo se nanese na křemíkovou destičku ve formě suspenze [64].

K detekci difraktovaného RTG záření je použit fotografický film nebo polovodičový detektor. Fotografický film má světlocitlivou emulzi, která obsahuje krystalky AgBr, který se po dopadu RTG záření redukuje na stříbro. U polovodičového detektoru dojde k vyražení elektronů z elektronových obalů polovodiče, který je umístěn v elektrickém poli. Vyražené elektrony se začnou pohybovat a na elektrodách jsou registrovatelné napěťové a proudové pulzy [64].

3.6.1 Příprava vzorků na rentgenovou analýzu

Na práškovou metodu difrakční rentgenovou analýzu je potřeba vzorek namlít. Vzorek byl pomlet po množství 3–5 g po dobu 25 s v malém vibračním mlýně. Takto upravený vzorek má velikost částic menší než 90 μm a je připraven na měření. Měření probíhalo na přístroji Empyrean, Malvern Panalytical.

3.7 Sítová analýza

Sítová analýza slouží k rozdělení směsi pevných látek podle velikosti jejich částic. Dají se třídit látky anorganické i organické. Lze třídit pevné látky v suchém stavu, ale i v suspenzi v kapalině, ve které nedochází k rozpouštění pevné látky. Byl použit analytický vibrační síťovací stroj Retsch AS 200 s různou intenzitou vibrací, ve kterém se na základě použitých sít dá třídit materiál od velikosti částic 0,02–100 μm . Každé síťování probíhalo po dobu 10 min [65].

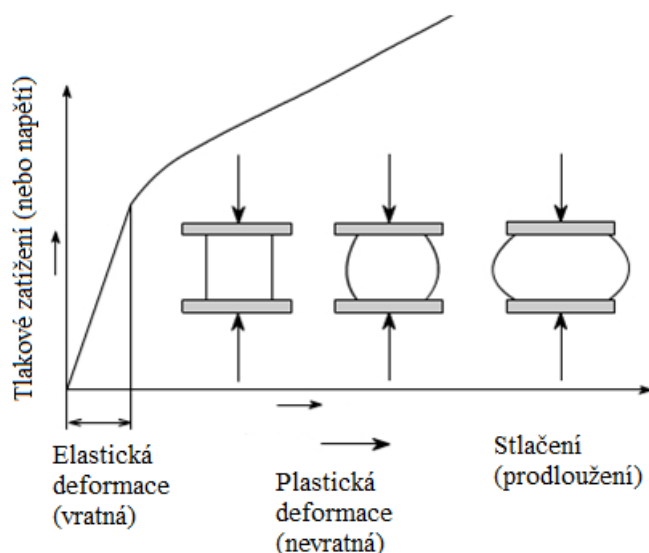
3.8 Mechanické vlastnosti materiálu

Pomocí mechanických vlastností se kvantitativně hodnotí chování materiálu při působení vnějších mechanických sil. Mezi základní mechanické vlastnosti se řadí: pružnost (schopnost materiálu vykazovat pružnou deformaci před porušením), pevnost (schopnost materiálu odporovat vnějším silám způsobující deformaci a porušení, rozlišuje se na pevnost v tahu, v tlaku, v ohybu, v krutu a ve střihu), plasticita (schopnost materiálu zachovávat trvalé deformace, které byly vyvolány vnějšími silami) a houževnatost (schopnost materiálu odolávat bez porušení velkým napětím). Pro pevnost je nejdůležitější sledovat skutečnou pevnost, která udává skutečné napětí v okamžiku lomu oproti konvenční pevnosti, která je dána podílem maximální síly a původní plochy průřezu [65].

Odvozené mechanické vlastnosti od 4 základních jsou např. tvrdost, odolnost proti únavě, odolnost proti tečení, aj. Mechanické zkoušky jsou většinou normalizované a jsou rozlišeny podle určitých kritérií. Mechanické zkoušky podle způsobu zatěžování (tahové, tlakové, ohybové, aj.), podle stavu napjatosti (při jednoosé, dvou- či trojosé napjatosti), podle časového průběhu zátěžné síly na zkoušky statické a dynamické, anebo podle fyzikálních podmínek při měnícím se teplotním či atmosférickém prostředí [65].

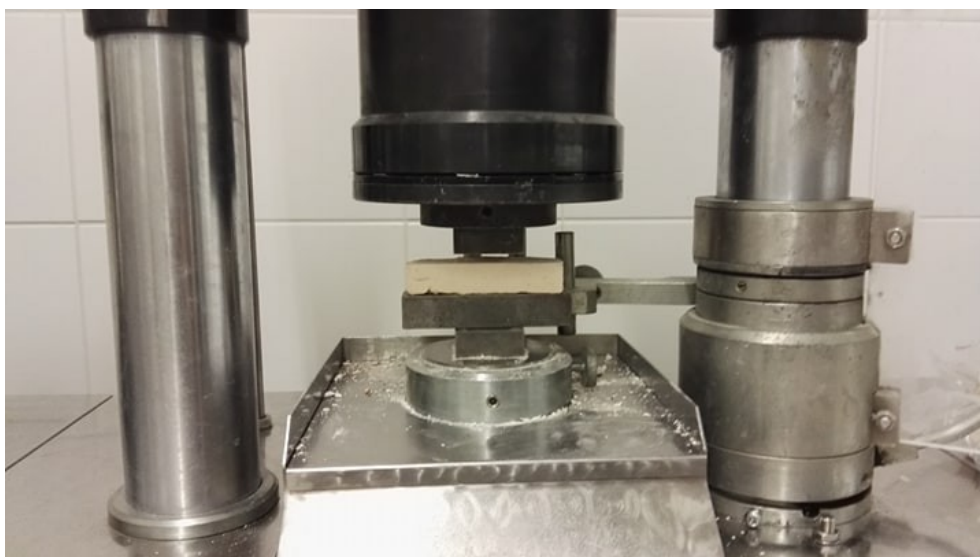
3.8.1 Pevnost v tlaku

Pevnost v tlaku je charakterizována podobnými mechanickými vlastnostmi jako pevnost v tahu, akorát se nepoužívá jednoosé tahové zatížení, ale na materiál je aplikováno jednoosé tlakové zatížení. Ze zkoušky se dají získat hodnoty meze pevnosti v tlaku, meze kluzu v tlaku, mezního poměrného stlačení a mezního poměrného rozšíření. Schéma tlakové křivky je znázorněno na obrázku 21. Pevnost v tlaku se počítá podělením maximálního zatížení a původní plochy vzorku při tlakové zkoušce. Tlaková zkouška má význam především pro křehké a polokřehké materiály (keramika, betony), v případě tvárných materiálu nedochází k porušení a zkouška nemá význam, pro takové materiály je vhodná tahová zkouška [65, 66].



Obrázek 21: Schéma tlakové křivky a ukázka možné deformace materiálu [66].

Zkušební vzorek se umísťuje mezi dva bloky kovů, které rovnoměrně rozdělují aplikované napětí na povrch vzorku. Dochází ke zkrácení vzorku ve směru působících sil a expanzi vzorku ve směru kolmém na působení sil. Pro měření pevností v tlaku byl použit přístroj Betonsystem Desttest 3310 znázorněn na obrázku 22. Jelikož hlavním výstupem měření je absolutní hodnota síly, není nutné při vyhodnocování demonstrovat grafické znázornění [65, 66].



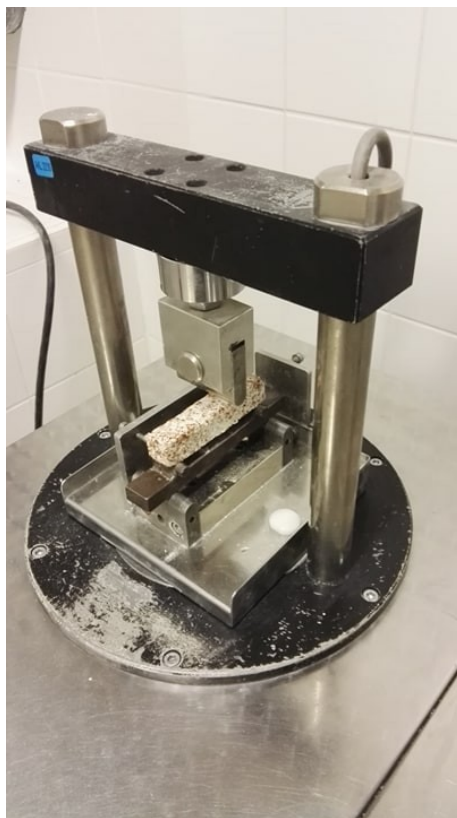
Obrázek 22: Ukázka tlakové zkoušky na vzorku z vypálené keramické hlíny na přístroj Betonsystem Desttest 3310.

3.8.2 Pevnost v tahu za ohybu

Zkouška v ohybu se často používá pro výpočet modulu pružnosti u materiálů, u kterých to nelze dostatečně změřit z tahových či tlakových zkoušek. Pro polymerní či kompozitní materiály dává zkouška ohybem důležité konstrukční podklady. Existují tří a čtyřbodové zkoušky ohybem a ohýbá se za normovaných podmínek velikostí tělesa a vzdálenosti podpěr, na kterých je těleso uloženo. Napětí je při ohybu rozloženo tak, že v horních vrstvách tělesa

působí tlakové síly, směrem k neutrální ose se tlak zmenšuje a přes nulové napětí je v dolních vrstvách průřezu materiálu přeměněn na tahové působení [65, 67].

Pro trojbodý ohyb keramických trámečků byl použit přístroj Betonsystem Desttest 3310 znázorněný na obrázku 23 s rozpětím podpěr 80 mm a pro trojbodý ohyb kompozitních trámečků byl použit univerzální testovací přístroj INSTRON 5985. Kompozitní trámečky byly zatěžovány rychlostí 1 mm/min na podpěrách vzdálených 64 mm (podle ČSN EN ISO 178). Stanovený modul pružnosti v ohybu byl vypočítán z průhybu odpovídající daným hodnotám deformace při 0,05–0,25 %. Byla použita měřicí hlava 10 kN [68].



Obrázek 23: Ukázka ohybové zkoušky na vzorku z vypáleného kaolinu se slídovým plněním na přístroji Betonsystem Desttest 3310.

3.8.3 Rázová houževnatost

Nejčastější měření rázové houževnatosti se dělá metodou podle Charpyho (jiná metoda např. dle Isoda). Rázová houževnatost je kinetická energie kyvadlového rázového kladiva, která je spotřebována na přeražení zkušebního tělesa (bez vrubu) a je vztažena na původní plochu příčného řezu tělesa. Zkouška spočívá v namáhání tělesa rázem (silou koncentrovanou do velmi krátké doby). S rostoucí rychlostí namáhání se materiály stávají křehčími, což se projeví deformací či porušením zkušebního tělesa už při malém průhybu. Je to důsledek toho, že některé rovnovážné pochody v materiálu nemají dostatek času k tomu, aby proběhly. Za rázové namáhání se považuje namáhání s rychlostí 1–10 m/s. Metoda a stejně tak i velikost tělesa je normovaná. Těleso může být opatřeno ostrým vrubem, poté se jedná o vrubovou houževnatost [65, 67].

Pro stanovení rázové houževnatosti vzorků z epoxidové pryskyřice bylo použito kladivo o hmotnosti 451,1 g a energie 2,7 J, padající rychlostí 3,46 m/s. Testovací vzorky byly přeráženy v poloze edgewise (na užší stranu) podle normy ČSN EN ISO 179-1/1eU [69].

3.9 Stanovení ztráty žíháním

Většina přírodních a druhotně keramických surovin obsahuje prakticky vždy určité množství teplem rozložitelné látky (hydráty, hydratované fylosilikáty, sírany, uhličitany aj.) a většinou tyto suroviny obsahují i určité množství organických příměsí. Při tepelném rozkladu se z těchto látek uvolňuje plynná fáze (voda, oxid uhelnatý aj.). Uvolnění těchto látek mění složení prostředí pece, a tím jsou pozměněny i podmínky výpalu. Při výpalu probíhají také objemové změny vypalovaného materiálu, vznik nových fází, které mohou reagovat jak s okolní atmosférou, tak i s ostatními složkami vsázky [70].

Přípravu surovin na stanovení ztráty žíháním upravují normy ČSN 72 1008 a 72 1009. Suroviny po vysušení při teplotě 105 °C do konstantní hmotnosti a ochlazení v exsíkátoru se vloží v množství 1–2 g do předem vypálených, ochlazených a zvážených kelímků, a poté se po dobu 60 min žíhají při teplotě 1 000 °C [70, 71, 72].

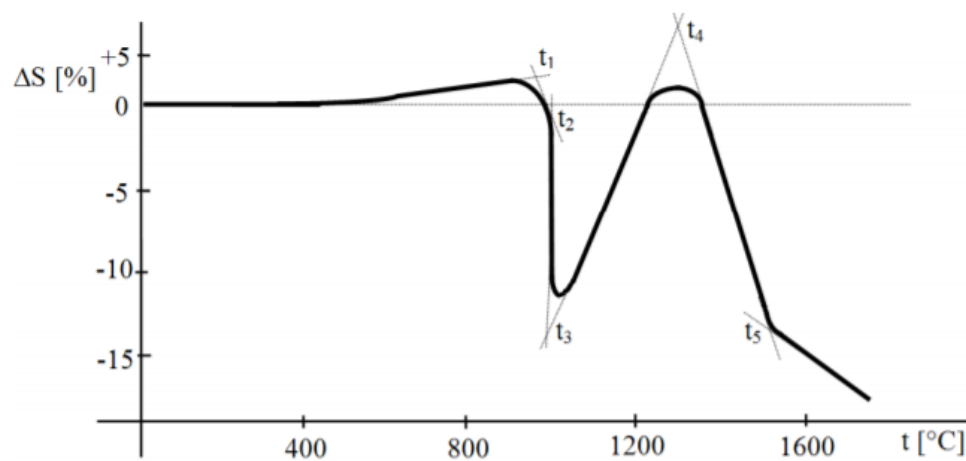
3.10 Světelný mikroskop

Světelné mikroskopy využívají viditelné světlo k detekci malých objektů. Mikroskop je složen z mechanické části (podstavec, stojan), osvětlovací části (zdroj světla, kondenzor, clona), optické části (objektivy, okuláry) a z dalších částí jako je např. kamera, filtr. Série čoček slouží ke zvětšení zkoumaných předmětů. Základní pojem v mikroskopii je rozlišovací schopnost, což je vzdálenost dvou bodů, které je mikroskop ještě schopen zobrazit jako dva samostatné body (popřípadě čáry). Pro optické (světelné) mikroskopy je rozlišovací schopnost dána velikostí viditelného záření, které se pohybuje od velikosti 400–700 nm. Nejlepší světelné mikroskopy mají rozlišovací schopnost okolo 200–250 nm. V práci byl použit stereomikroskop Stemi 2000C, ZEISS. Stereomikroskopie je schopná pozorovat větší (objemnější) vzorky a dává 3D vzhled a většinou nevyžaduje složitou přípravu vzorků na pozorování. Schopnost pohlížet na objekt ve 3D je díky existenci dvou optických cest, které přenášejí obraz z okulárů až na konečnou čočku a dokonce až na vzorek (objekt je pozorován ze dvou mírně odlišných úhlů) [73, 74].

3.11 Žárový mikroskop

Žárová mikroskopie umožňuje pozorovat rozměrové a tvarové změny materiálu při zahřívání na vysoké teploty. Velmi často se používá pro anorganické materiály (kovy, rudy, skla, keramické materiály, popílký aj.). Měří se délkové změny vzorků, které jsou vylišované do tablety o jednotné velikosti, v závislosti na teplotě. Výstupem zkoušky je žárově mikroskopická křivka obecně znázorněna na obrázku 24. Na křivce jsou charakteristické teplotní body/oblasti, které se stanovují z průsečíků přímek proložených jednotlivými oblastmi křivky. Počáteční zvětšení tablety je důsledek expanze materiálu za zvýšené teploty nebo jiné vnitřní změny materiálu. Na grafu t_1 znázorňuje teplotu smršťování (první zmenšení tablety), t_2 teplotu slinování (zaoblení hran tablety a následné zakulacení), t_3 teplotu měknutí. Teplota t_4 je teplota tavení, tvar tablety je polokoule a teplota t_5 je teplota tečení (nastává roztečení tablety a její rozprostření po podložce) [75].

Měření probíhalo na vylišovaném vzorku do tablety, kde tableta byla vylišována za pomoci etanolu, který byl následně ze vzorku odpařen. Byla nastavena teplotní rampa 5 °C/min na teplotu 1 600 °C.



Obrázek 24: Schéma žárově mikroskopické křivky s vyznačenými průsečíky přímk pro stanovení teplotních bodů/oblastí [75].

4 VÝSLEDKY A DISKUZE

Tato část práce se zabývá vstupní analýzou surovin a následnými laboratorními testy a výsledky možností využití slídového separátu.

4.1 Vstupní analýza nevytříděného slídového separátu

První analyzovaný materiál byl slídový separát nevytříděný zobrazen na obrázku 25. Již z prvního pohledu bylo znát, že se nejedná o vysoce koncentrovaný slídový separát, nýbrž o písek z kaolinové vypírky, ve kterém se vyskytuje zvýšené množství slídy, což bylo projevováno lesklým charakterem slídových destiček nacházejících se v surovinové směsi.



Obrázek 25: Slídový separát nevytříděný z kaolinové vypírky.

4.1.1 Rentgenové analýzy nevytříděného slídového separátu

Nejdříve byla provedena XRD analýza samotného vysušeného materiálu. Veškeré difraktogramy měřené v této práci se nachází v příloze. Fázové složení materiálu z analýzy XRD je vypsáno v tabulce 7. Bylo nalezeno 5 zastoupených minerálů v materiálu a byla provedena jejich semikvantitativní analýza. V nejvyšší míře byl obsažen křemen (~ 62 %). Jako druhý nejčastěji vyskytovaný minerál byl slídový minerál muskovit přítomný již ve velmi malém množství (~ 16 %). Bylo potvrzeno, že slídový separát pochází z vypírky kaolinu, jelikož materiál obsahoval pod 10 % kaolinitu. Pod 10% hranicí množství výskytu se v materiálu objevovaly živce, především živec draselný – ortoklas a živec sodno-vápenatý – albit, které jsou součástí těžené zeminy při zpracování kaolinu a separací opouštějí čistý kaolin ve stejném momentu jako minerály slídy.

Vzorek nevytříděného slídového separátu byl podroben ztrátě žíháním. Po vypálení materiálu na 1 000 °C a následném ochlazením byla provedena XRD analýza tohoto vzorku, jehož fázové složení je uvedeno v tabulce 7. Při výpalu na teplotu vyšší než 500 °C dochází k postupné dehydroxylaci kaolinitu a minerál se přeměňuje na metakaolinit. Po výpalu minerál kaolinitu vymizel. Snížilo se také množství muskovitu (až na ~ 5 %), které se pravděpodobně částečně rozložilo a rozložená část mohla vytvořit tuhé roztoky s přítomnými živci ortoklasem a albitem. Obsah křemene je vyšší než v nevypáleném materiálu.

Z původního nevytříděného slídového separátu bylo pomocí magnetu odděleno malé množství materiálu, které bylo také podrobené XRD analýze. Výsledky magnetického separátu jsou vypsány v tabulce 7. Podle nalezených fází bylo zjištěno, že magnetický separát byl zbaven téměř všeho křemene a živcových minerálů (albit, ortoklas). V magnetickém separátu zůstalo pravděpodobně ~ 93 % minerálů slíd a ~ 7 % kaolinitu. Pomocí XRD analýzy nelze v tomto případě se 100% jistotou určit, o jaké slídové minerály se jedná. Z větší části se jedná o muskovit s určitým podílem železnatých složek, popřípadě se může část materiálu vyskytovat ve formě trioktaedrické slídy biotitu. Je také možné, že slídové minerály jsou v tomto případě doprovázeny jiným magnetickým minerálem. Byla by potřeba další analýza, která by s větší jistotou určila přesné složení a typ slídy.

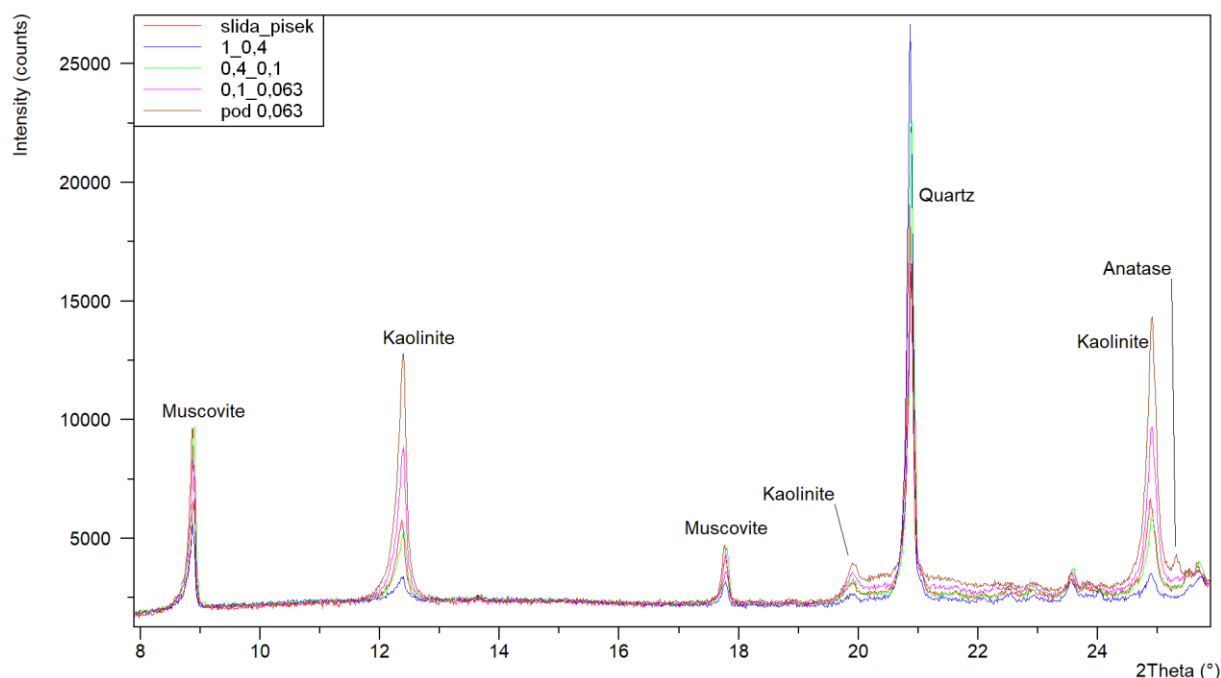
Tabulka 7: Fázové složení nevytříděného slídového separátu před a po výpalu a fázové složení magnetického separátu.

Nalezená fáze	Slídový separát nevytříděný	Slídový separát po výpalu na 1000 °C	Magnetický separát
Křemen	+++	++++	–
Kaolinit	+	–	+
Muskovit	+	+	+++
Biotit	–	–	++
Albit	+	+	–
Ortoklas	+	+	–

Legenda: Fáze tvořící majoritní složku materiálu: + + + +, fáze přítomná ve značném množství v materiálu: + + +, fáze přítomná ve středním množství v materiálu: + +, fáze přítomná v malém množství v materiálu: +, nedetekovaná fáze v materiálu: –

Nevytříděný slídový separát byl rozdělen na 4 frakce pomocí vibrační síťové analýzy. Jednalo se o frakce: menší než 0,063 mm, 0,063–0,1 mm, 0,1–0,4 mm a 0,4–1,0 mm. U všech frakcí byla provedena XRD analýza s motivací zjistit, jestli se fázové složení mění v různých frakcích. Z difraktogramů všech frakcí spolu s celkovým materiálem byl sestrojen graf zachycující nejdůležitější část difraktogramů znázorněn na obrázku 26.

Z obrázku 26 lze vyčíst, že největší podíl kaolinitu se nacházel v nejjemnější frakci (pod 0,063 mm). Kaolinit patří mezi jílovinu, což je nejjemnější frakce zeminy a tento fakt je potvrzen tímto grafem. V této frakci bylo nalezeno i malé množství anatasu (forma TiO_2), který je často doprovodným materiálem kaolinitu. Ve frakci 0,063–0,1 mm bylo nalezeno stále poměrně vysoké množství kaolinitu jakožto druhá nejjemnější frakce. Tato frakce má jako druhá nejvíce muskovitu. Největší podíl muskovitu má frakce 0,1–0,4 mm. Frakce 0,4–1,0 mm má nejméně kaolinitu i muskovitu, v této frakci se objevuje nejvyšší množství křemene. Na základě vyhodnocení XRD analýz bylo zjištěno, že samotné prosítování nevytříděného slídového separátu nebude stačit k oddělení muskovitu od zbytku minerálů.



Obrázek 26: Výšeč difraktogramů různých frakcí nevytříděného slídového separátu se zobrazením důležitých fází vyskytujících se v materiálu.

4.1.2 Ztráta žiháním

Byla provedena ztráta žiháním pro 4 různé frakce nevytříděného slídového separátu. Ztráta hmotnosti indikuje především dehydroxylaci kaolinitu a muskovitu či vypálení určitého množství organické fáze. Pro přesnější určení teplotního intervalu, při kterém docházelo ke ztrátě hmotnosti, je potřeba použít přesnější instrumentální metody, např. termogravimetrickou analýzu. Ztráty hmotnosti žiháním jsou vypsány v tabulce 8.

Příklad výpočtu (rovnice 1) ztráty hmotnosti pro první měření frakce <0,063 mm, kde m_s a m_z jsou hmotnosti suchého a žihaného materiálu:

$$ZZ = 100 \cdot \frac{m_s - m_z}{m_s} = 100 \cdot \frac{1,0712 \text{ g} - 0,9986 \text{ g}}{1,0712 \text{ g}} = 6,78 \% . \quad (1)$$

Tabulka 8: Naměřené a vypočítané hodnoty pro ztrátu hmotnosti žiháním.

Frakce [mm]	Kelímek [g]	Navážka slídového separátu [g]	Hmotnost dohromady [g]	Hmotnost materiálu po výpalu [g]	Ztráta hmotnosti [%]
<0,063	15,9925	1,0712	17,0637	0,9986	6,78
	16,4382	1,0799	17,5181	1,0068	6,77
0,063 – 0,1	18,0997	1,0763	19,1760	1,0252	4,75
	15,3763	1,0841	16,4604	1,0334	4,68
0,1 – 0,4	13,8691	1,1075	14,9766	1,0748	2,95
	17,0339	1,1597	18,1936	1,1240	3,08
0,4 – 1,0	16,9306	1,2802	18,2108	1,2643	1,24
	14,8953	1,0834	15,9787	1,0698	1,26

4.1.3 Separace slídy v nevytříděném slídovém separátu

Jak již bylo zmíněno, pouhé vibrační síťování nebylo dostačující ke zvětšení podílu slídy v slídovém separátu. Magnetická separace byla úspěšná, co se separace písku a živců od slídových minerálů týče, bohužel její zautomatizování neproběhlo úspěšně. Při manuální magnetické separaci byl použit neodymový magnet a přes uzavíratelný plastový sáček probíhala separace. Při této separaci bylo získáno velmi malé množství materiálu za poměrně dlouhou dobu. Při použití poloautomatizovaného magnetického separátoru nebyl použitý magnet dostatečně silný, aby dokázal magnetické části přitáhnout a odseparovat od zbytku materiálu.

Další návrh separace slídového separátu byl pomocí pěnové flotace. Byla sestrojena flotační nádoba spolu s laboratorním míchadlem (obrázek 27), do které byly umístěny zarážky na stěnu nádoby. Při nepoužití zarážek bylo následné míchání kapaliny tangenciálního charakteru. Pomocí zarážek bylo docíleno míchání axiální. Přes zarážky byl pomocí hadic zajištěn přívod vzduchu přímo k lopatkám míchadla. Vytvořená suspenze vody a slídového separátu byla míchána, suspenze byla probublávána vzduchem a do suspenze bylo přidáno postupně několik pěnících činidel. Ani jedno pěnící činidlo nedokázalo vytvořit takovou pěnu, aby vznikla afinita mezi pěnou-slídou či pěnou-pískem, aby došlo k separaci materiálu. Také míchání bylo i na nejvyšší výkon velmi nedostačující a pěna neměla požadovanou jemnost ani při zvýšeném přísunu vzduchu. K pozitivnímu ovlivnění flotačních vlastností suspenze ze slídového separátu je potřeba použít různé dispergátory, sběrače či jiné modifikátory, na základě kterých se vytvoří afinita pěny k určité fázi slídového separátu a nastane výkonná separace.



Obrázek 27: Část připravené flotační aparatury s použitými zarážkami a trubkami, do kterých byl vháněn vzduch k míchadlu.

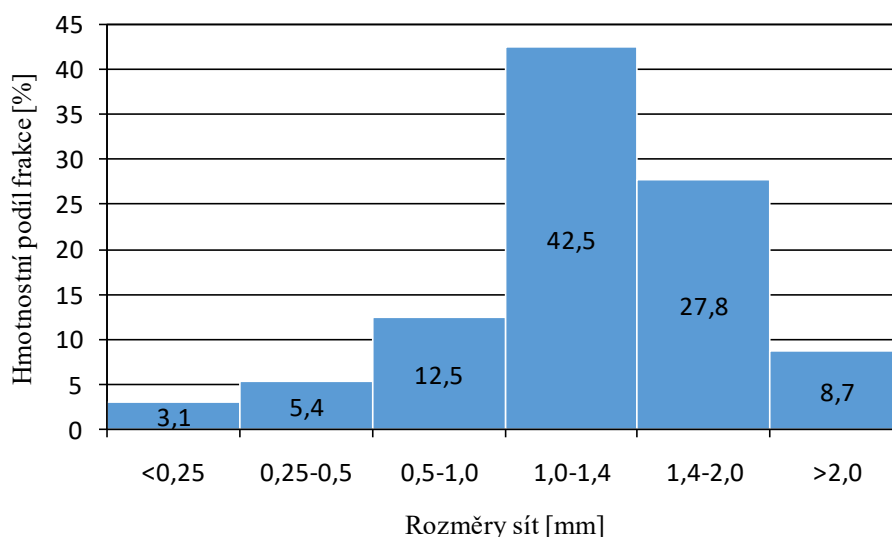
4.2 Vstupní analýza vytríděného slídového separátu

Druhý materiál, se kterým bylo pracováno, byl slídový separát z kaolinové vypírky, který byl již vytríděný od nečistot. Dodavatel ručil za více než 85% slídový separát. Na první pohled se jednalo o větší (1–2 mm) slídové destičky (viz obrázek 16).

Byla provedena ztráta žiháním vytríděného slídového separátu. Výsledná hodnota ztráty hmotnosti byla stanovena na 4,98 %.

4.2.1 Granulometrická analýza

Byla provedena vstupní granulometrická analýza slídového separátu. Z hmotností zbytku materiálu na sítích byl sestaven histogram (na obrázku 28). Největší množství materiálu se pohybovalo v rozmezí velikostí částic 1,0–1,4 mm (42,5 %). Druhá nejobjemnější frakce byla v rozmezí velikostí částic 1,4–2,0 mm (27,8 %) a třetí v rozmezí 0,5–1,0 mm. Další tři frakce měly zbytek na sítě menší než 10 % síťovaného materiálu.



Obrázek 28: Distribuce velikosti částic vytríděného slídového separátu.

4.2.2 Rentgenová analýza vytríděného slídového separátu

Vytríděný slídový separát byl změřen pomocí XRD. Bylo potvrzeno tvrzení dodavatele o více než 85% koncentraci slídy v materiálu. Pomocí semikvantitativní analýzy bylo ve vzorku nalezeno až ~ 90 % muskovitu a po 5 % křemene a kaolinitu, což opět podporuje fakt, že se jedná o slídový separát z vypírky kaolinu. Fázové složení vytríděného slídového separátu je uvedeno v tabulce 9. Materiál po provedené flotaci a zbavení se nečistot ve formě kaolinitu a křemene obsahoval až ~ 95 % muskovitu a ~ 5 % kaolinitu. Křemen v materiálu po flotaci nebyl detekován. Fázové složení slídového separátu po flotaci je v tabulce 9. S takhle přečištěným slídovým separátem bylo dále pracováno.

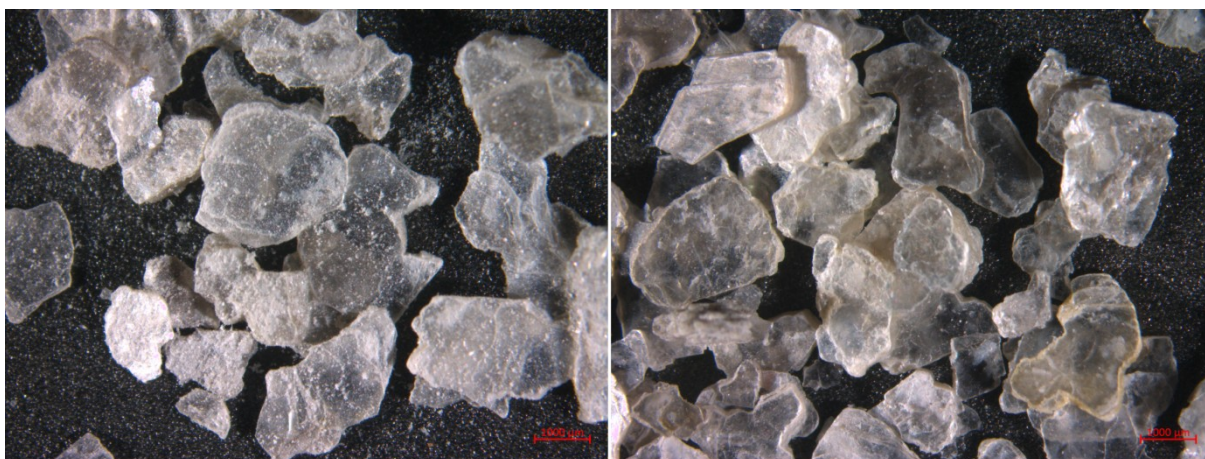
Tabulka 9: Fázové složení vytríděného slídového separátu před a po flotaci.

Nalezená fáze	Slídový separát před flotací	Slídový separát po flotaci
Muskovit	+	+
Kaolinit	+	+
Křemen	+	–

Legenda: Fáze tvořící majoritní složku materiálu: + + + +, fáze přítomná ve značném množství v materiálu: + + +, fáze přítomná ve středním množství v materiálu: + +, fáze přítomná v malém množství v materiálu: +, nedetekovaná fáze v materiálu: –

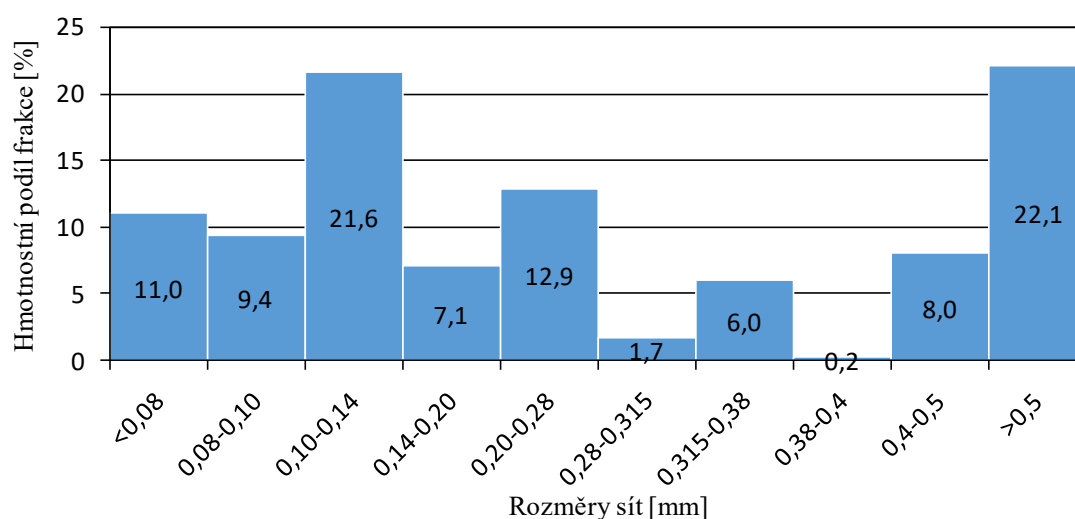
4.2.3 Slídový separát pod mikroskopem

Na stereomikroskopu byl nejdříve srovnán přečištěný a nepřečištěný slídový separát. Oba materiály jsou znázorněny na obrázku 29. Lze si všimnout jemného poprašku na nepřečištěných slídových destičkách, které jsou tvořeny směsicí písku, kaolinitu a malých částic slídy. Množství tohoto poprašku je na vzorku slídového separátu podrobeného flotaci významně méně.



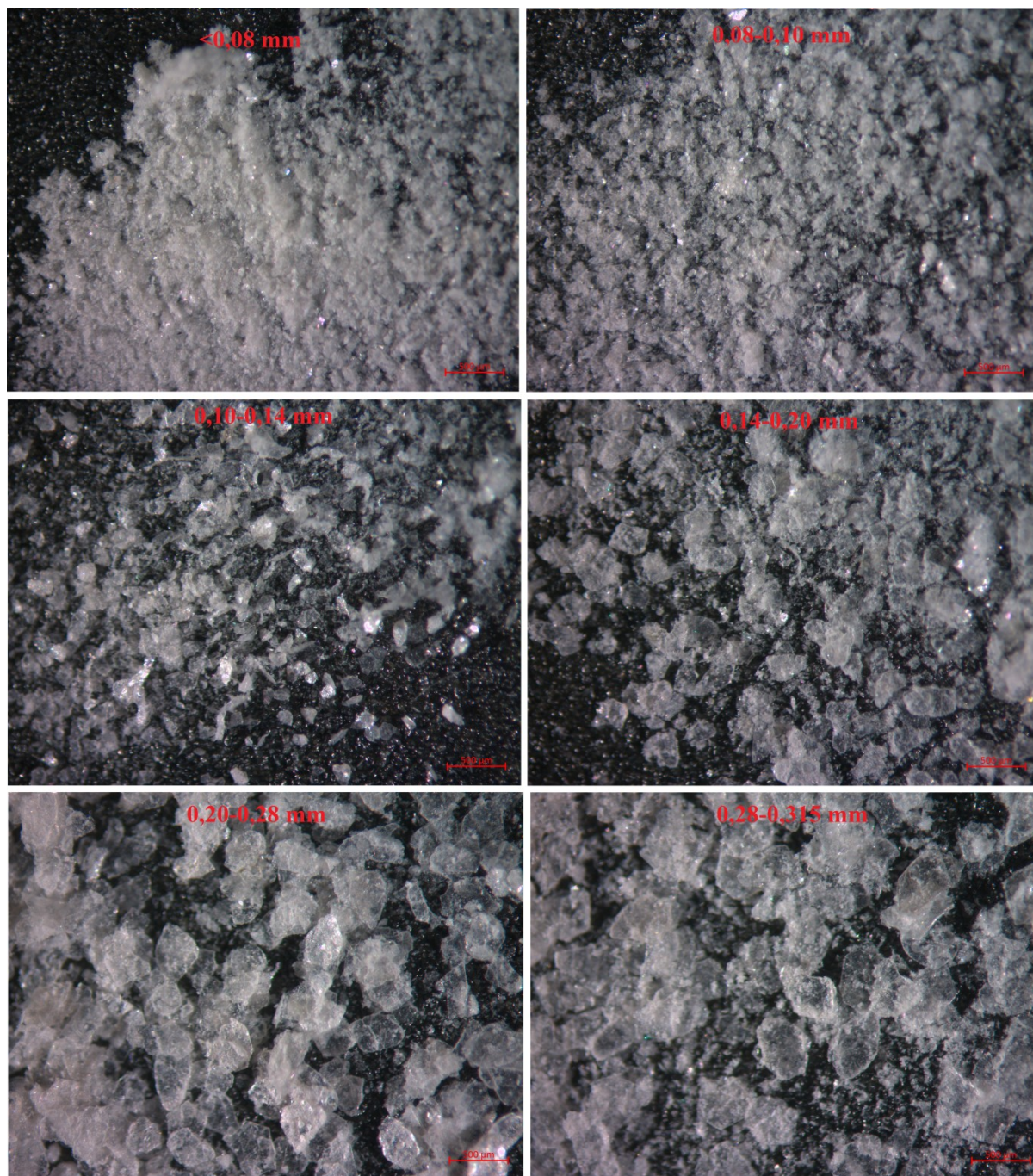
Obrázek 29: Rozdíl mezi přečištěným (vpravo) a nepřečištěným (vlevo) vytríděným slídovým separátem pozorovaným pod stereomikroskopem.

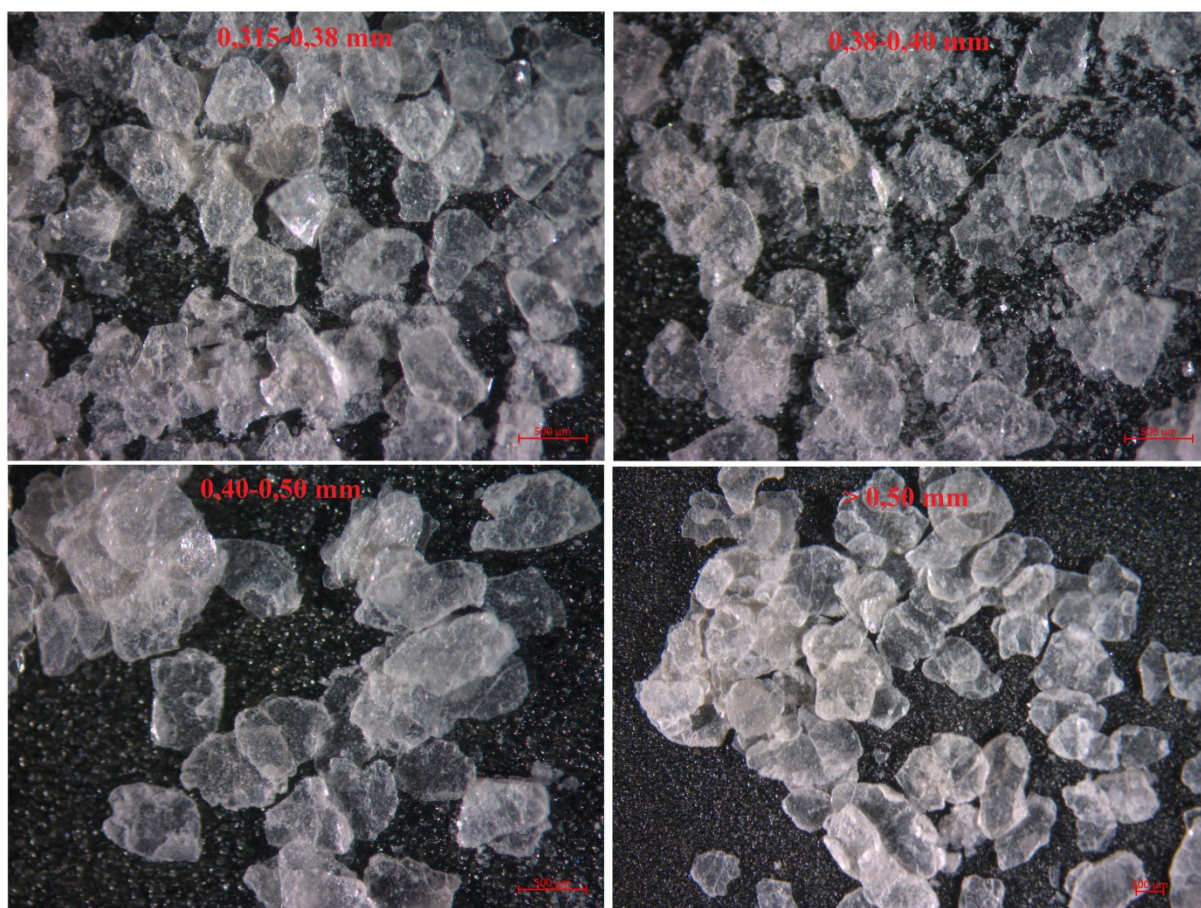
Po mletí přečištěného slídového separátu na velkém vibračním mlýně byla provedena síťová analýza, aby byla zjištěna účinnost mletí a distribuce jednotlivých velikostí částic slídy. Histogram pro namletý materiál je zobrazen na obrázku 30. Nejpočetnější frakce byla nedokonale namletá část materiálu o velikosti částic větší než 0,5 mm (22,1 %). Mezi dostatečně namletý materiál byly zařazeny tři nejjemnější frakce (<0,08 mm; 0,08–0,10 mm; 0,10–0,14 mm), jejichž podíl dohromady činil 42 % materiálu.



Obrázek 30: Distribuce velikosti částic vytríděného slídového separátu po mletí na vibračním mlýně.

Všechny namleté frakce byly pozorovány pod stereomikroskopem a bylo zjišťováno, jestli si slída zachovává svůj typický destičkový charakter i po této operaci. I u nejmenších frakcí, které již stereomikroskop nedokázal přiblížit s ostrým zaostřením, lze pozorovat odrazy destiček. Při větších frakcích jsou slídové destičky patrné. Různé frakce slídy pod mikroskopem se nachází na obrázku 31.

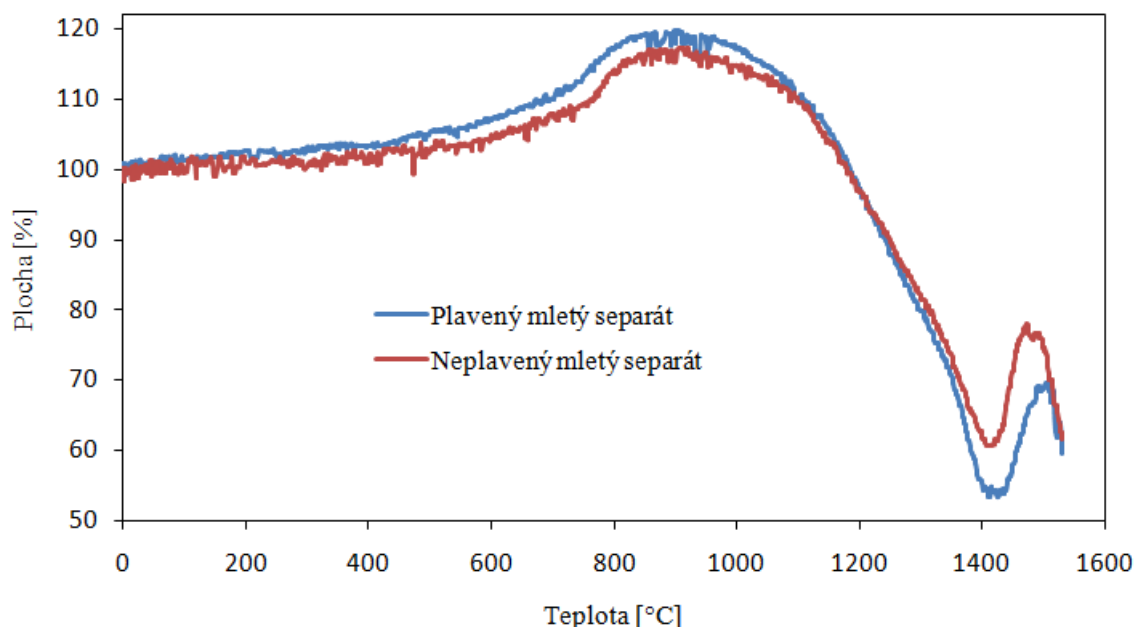




Obrázek 31: Různé frakce namletého vytríděného slídového separátu pozorované pod stereomikroskopem.

4.2.4 Vyhodnocení měření z žárového mikroskopu

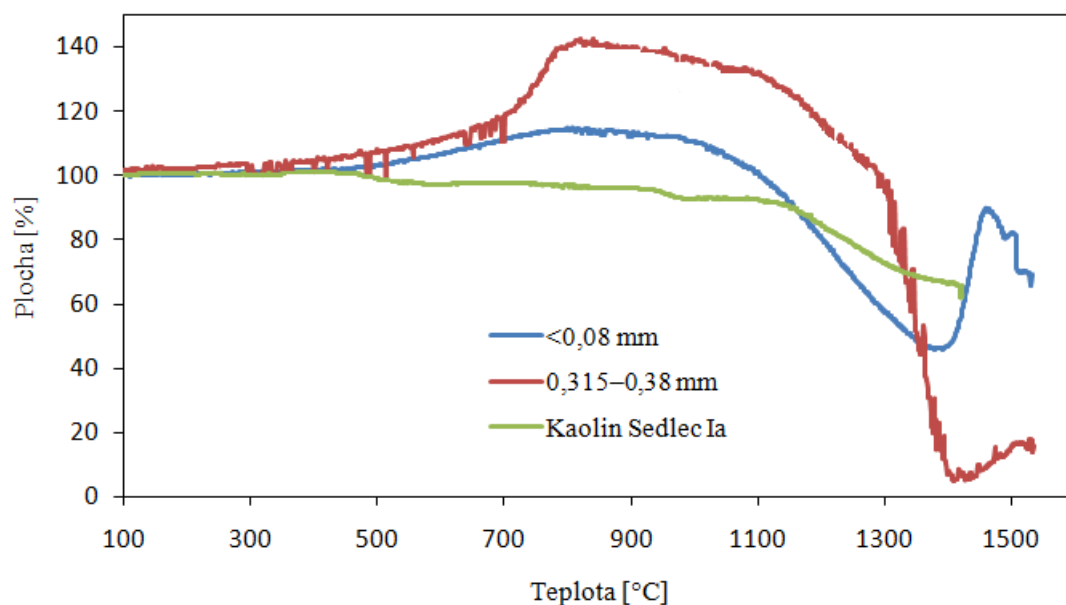
Pomocí žárového mikroskopu byla stanovena teplotní oblast měknutí a teplota tání vytríděného slídového separátu. Na obrázku 32 jsou porovnávány vzorky přečištěného a nepřečištěného slídového separátu. Oblast slinování je u obou vzorků pozorována od teploty 900 °C, kdy je pozorováno zvětšení měřené plochy siluety těles. Slinování probíhá do teplotní oblasti okolo 1 200 °C, kde nastává deformace vzorků. Teplota tání, kdy vylisované těleso má tvar polokoule je u nepřečištěného slídového separátu pozorována při 1 499 °C a u přečištěného slídového separátu okolo 1 494 °C. Od teploty 1 550 °C (teplota tečení) dochází u obou vzorků k roztečení tělesa po podložce.



Obrázek 32: Žárově mikroskopická křivka plaveného a neplaveného vytríděného slídového separátu.

Dále byla pro srovnání mezi jednotlivými frakcemi provedena analýza žárovým mikroskopem vzorků slídy o frakcích $<0,08$ mm a $0,315\text{--}0,38$ mm. Pro lepší srovnání dvou frakcí je na grafickém znázornění na obrázku 33 i žárově mikroskopická křivka kaolinu Sedlec Ia. Křivka pro materiál odpovídající hrubé frakci je velmi rozházená, jelikož při lisování materiálu do vzorku došlo k roztřepení materiálu. Pro jemnější frakci byl tvar polokoule, a tím i teplota tání, stanovena na hodnotu $1\,506$ °C. Oblast slinování pozorována od teploty 900 °C a následná deformace vzorku od teplotních hodnot $1\,150$ °C.

Pro vzorek z hrubší mleté frakce byla stanovena teplota tání a vzniku polokoule na $1\,467$ °C. Oblast slinování i oblast deformace je podobná vzorku s jemnější frakcí. Velké rozdíly týkající se velikost změny plochy jsou možná způsobeny většími částicemi v hrubším vzorku. Jelikož zrna mají destičkovitý tvar, špatně vyplňují prostor mezi sebou. Poté je i menší kontakt jednotlivých zrn, a tím probíhají počáteční fáze slinování pomaleji. Při deformaci se tyto mezery zaplní a celková plocha siluety testovacího tělesa se sníží mnohem více než u jemně mletého vzorku, kde dochází k rychlejšímu slinutí zrn díky lepšímu zaplnění prostoru. Kaolin se nachází v malém množství (jednotky %) v obou vzorcích a od 500 °C dochází k rychlejší dehydroxylaci OH skupin a smršťování kaolinitu. Jelikož je v mletých frakcích vytríděného slídového separátu kaolinu malé množství, toto zmenšení se na jednotlivých vzorcích neprojevuje.



Obrázek 33: Žárově mikroskopická křivka dvou frakcí mletého vytríděného slídového separátu porovnány s kaolinem Sedlec Ia.

4.3 Slídový separát jako součást keramických hmot

Keramická tělesa byla mechanicky porovnávána zkouškou na pevnost v tlaku a pevnost v tahu za ohybu. Pro lepší charakterizaci fázového složení keramických těles po výpalu byly všechny série připravených těles podrobeny analýze XRD. Veškerá přiložená data o semikvantitativní analýze kaolinových vzorků vypsány v tabulce 10 jsou pouze orientační a mohou se lišit řádově až o desítky procent. Kvantitativní analýza je vztažena pouze na krystalický podíl materiálu (není do toho započítána amorfnní fáze materiálu, která je v naměřených vzorcích v poměrně velkém množství).

Tabulka 10: Fázové složení keramických těles po výpalu na 1 300 °C z kaolinu s různým hmotnostním plněním slídového separátu.

Kaolin	Mullit	Křemen	Korund	Cristobalit	Spinel	Leucit
0 % slídy	80 %	3 %	–	17 %	–	–
5 % slídy	84 %	3 %	1 %	12 %	–	–
10 % slídy	89 %	3 %	2 %	6 %	–	–
20 % slídy	89 %	5 %	5 %	2 %	–	–
30 % slídy	85 %	7 %	7 %	1 %	–	–
40 % slídy	84 %	5 %	11 %	–	–	–
50 % slídy	79 %	9 %	12 %	–	–	–
Slída 1 300 °C	36 %	25 %	12 %	–	25 %	2 %

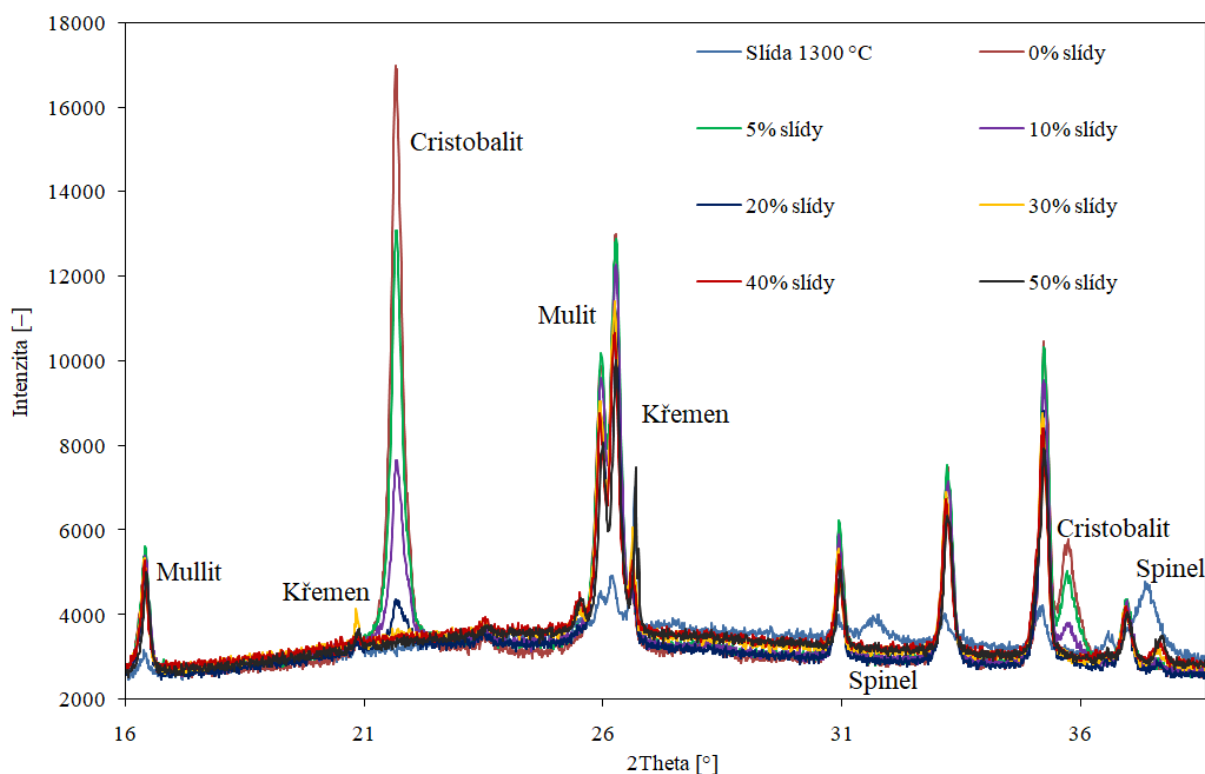
Semikvantitativní hodnoty z analýzy XRD pro vzorky z keramických těles jsou uvedena v tabulce 11 a jsou také pouze orientační.

Tabulka 11: Fázové složení keramických těles po výpalu na 1 000 °C z keramické hlíny s různým hmotnostním plněním slídového separátu.

Keramická hlína	Křemen	Mullit	Minerál slídy	Albit	Ortoklas	Cristobalit	Anatas
0 % slídy	79 %	9 %	–	6 %	3 %	1 %	1 %
5 % slídy	71 %	10 %	5 %	7 %	5 %	1 %	1 %
10 % slídy	71 %	10 %	7 %	6 %	4 %	1 %	1 %
20 % slídy	58 %	11 %	16 %	7 %	6 %	1 %	1 %
30 % slídy	54 %	13 %	22 %	5 %	4 %	1 %	1 %
40 % slídy	39 %	16 %	34 %	4 %	5 %	1 %	1 %
50 % slídy	33 %	17 %	39 %	5 %	5 %	1 %	1 %
Slída 1 000 °C	7 %	4 %	89 %	–	–	–	–

Hlavní část difraktogramů pro tělesa z kaolinu a slídy, které byly vypáleny při 1 300 °C, jsou zobrazeny na obrázku 34. Při výpalu čisté slídy na teplotu 1 300 °C se ve vzorku vyskytuje spinel (na obrázku 34 k nalezení při hodnotě 2θ 32° a 38°). Spinel je minerál, který ve své struktuře obsahuje hořčík.

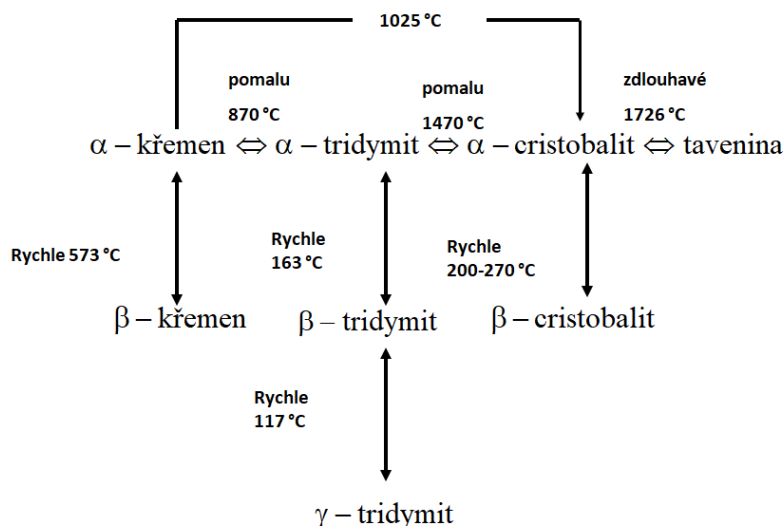
V ostatních vzorcích z kaolinu není spinel ani žádný minerál obsahující hořčík pozorovaný, proto je pravděpodobné, že hořčík se nachází v amorfní fázi těchto vzorků. Určité množství hořčíku může být zakomponované jako příměs do ostatních fází materiálu. Například magnezitová vyzdívka se vypaluje při teplotách větších než 1 600 °C, aby bylo docíleno při chlazení vykrytalizování – těchto teplot nebylo při výpalu keramických těles dosaženo.



Obrázek 34: Výseč difraktogramů ze série kaolin/slídový separát.

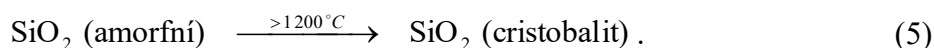
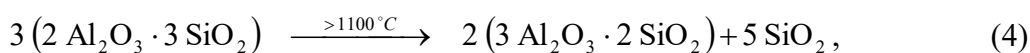
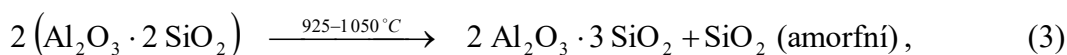
V překryvu difraktogramů na obrázku 34 lze vidět několik trendů. S větším přidavkem slídy v materiálu roste amorfní fáze, což lze vidět více zvednutým pozadím na difraktogramech. Dále je pozorováno, že při vyšším přidavku slídy klesá množství mullitu

(pozorováno při úhlu 16°), ale fáze obsahující hliník se naopak uvolňuje ve formě korundu, který s vyšším přidavkem slídy roste. Další trend vyskytující se na difraktogramech je, že při snižujícím se množství slídy v materiálu roste podíl cristobalitu v materiálu (na grafu mezi hodnotami 21–22°), který od plnění 40% slídy a více není v materiálu detekován. Naopak s klesajícím obsahem cristobalitu roste v materiálu obsah fáze křemene. Křemen a cristobalit se mohou mezi sebou přeměňovat v závislosti na teplotě. Sled modifikačních přeměn oxidu křemičitého je na obrázku 35.



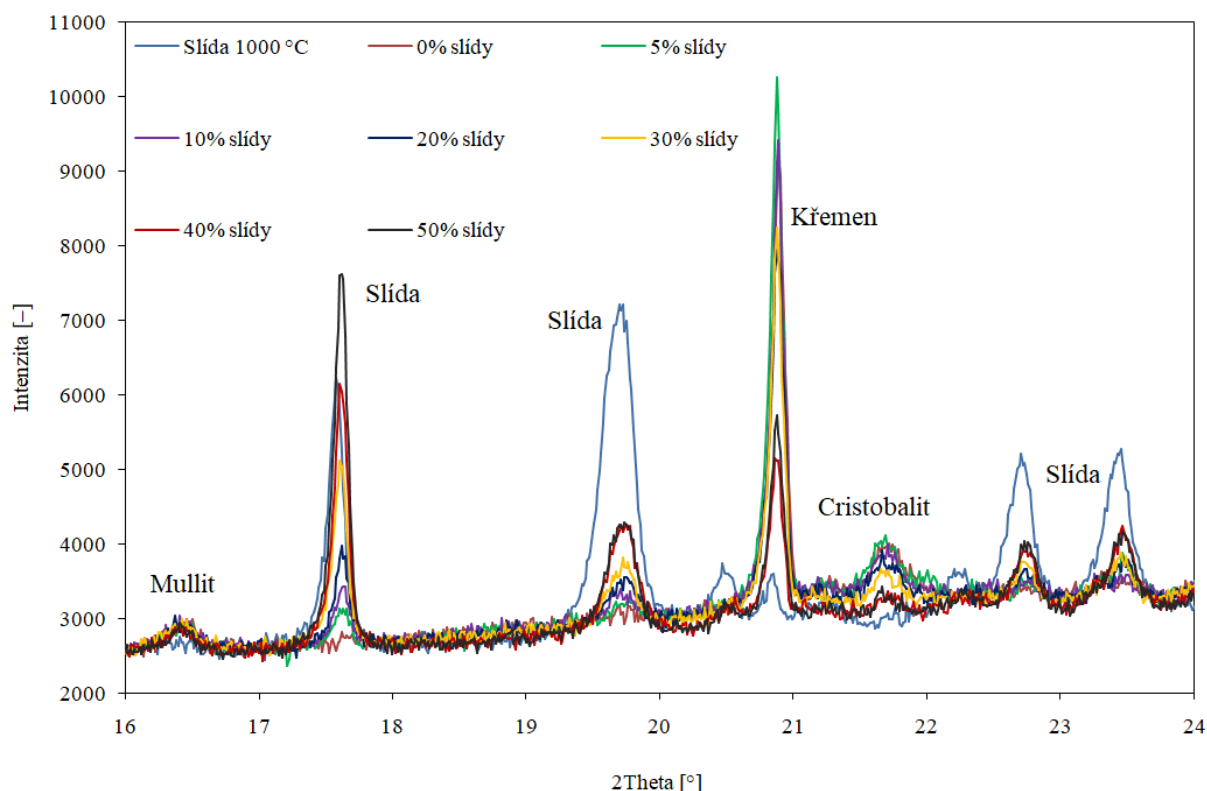
Obrázek 35 Sled modifikačních přeměn oxidu křemičitého [76].

Aby bylo lépe pochopeno chování kaolinitu při výpalu, je zde uveden sled rovnic popisující reakce kaolinitu za vyšších teplot. V rozmezí teplot 500–600 °C dochází k přeměně kaolinitu na metakaolinit za současné ztráty strukturní vody (2). Při teplotách okolo 1 000 °C se metakaolinit přeměňuje na defektní spinel a amorfni oxid křemičitý spinel (3). Při teplotách vyšších než 1 100 °C dochází ke vzniku mulitu (4). Od teplot 1 200 °C se přeměňuje amorfni oxid křemičitý na krystalický cristobalit (5). Rovnice nedávají přesné vzorce ani přesný poměr oxidů v jednotlivých sloučeninách, neboť tento poměr může v závislosti na jiném materiálu kolísat [77].



U keramických těles připravených z keramické hlíny a slídy byla teplota výpalu pouze 1 000 °C a jednotlivé fáze při této teplotě pořádně mezi sebou nereagovaly. Proto lze na obrázku 36 sledovat zvětšující se přidavky slídových minerálů s jeho vyšším plněním (především viditelné v oblasti grafu 17–18°, 19–20° a 23°). Důvod, proč se snižuje množství křemene s rostoucím plněním slídy je, že při vyšším plnění materiálu slídou je méně keramické hlíny, která tento minerál obsahuje. V materiálu se také vyskytují živcové minerály (albit a ortoklas), které byly přítomné v samotné keramické hlíně, a jejich podíl se v materiálu velmi neliší. Nutno dodat, že u živcových minerálů dochází k přednostní orientaci, a proto je

jejich stanovení zatížené chybou. Mullitová fáze začíná ve větší míře vznikat až od teplot 1 100 °C a v těchto keramických tělesech je ho malé množství. V tělesech je také detekováno malé množství anatasu, které je často jako doprovodný minerál ke kaolinitu, který při výpalu na 1 000 °C delaminoval a ztratil své –OH skupiny.



Obrázek 36: Výseč difraktogramů ze série keramická hlína/slídový separát.

Při použití správného poměru slídového separátu s kaolinem by mělo dojít ke vzniku téměř čisté mullitové keramiky. V našem případě došlo k mírnému poklesu mullitové fáze oproti čistému vypálenému kaolinu, což mohlo být způsobeno hned několika důvody. Ve směsi kaolin/slídový separát nebyl použitý mletý slídový separát ale vločkový. Vločková slída obsahovala zrna o velikost větší než 1 mm a při výpalu, jehož výdrž na maximální teplotě byla pouze hodinu, neproběhla dostatečná difuze materiálu napříč celým tělesem. Došlo pouze k vyčerpání materiálu v okolí zrn, na jejichž hranici došlo pravděpodobně k přeměnám. Při výpalu těles delší časový úsek a s použitím mletého slídového separátu, kde by byl větší styk materiálu, by mohlo dojít k vyššímu zastoupení mullitové fáze v materiálu po výpalu a v materiálu by se vyskytovalo méně volného křemene, cristoballitu a korundu, jelikož by se tyto minerály zakomponovaly do mullitové fáze. Výpal by kromě delšího času mohl být zlepšen také použitím vyšší teploty, kdy při výpalu na teplotu 1 300 °C obsahoval materiál vysoký podíl amorfni fáze, výpalem při vyšší teplotě by poté při kontrolovaném chlazení vzniklo více krystalické fáze. Při výpalu keramické hlíny (která rovněž obsahovala určité množství kaolinu) se slídovým separátem byla teplota výpalu 1 000 °C velmi nízká a pro proběhnutí reakce mezi jednotlivými fázemi by musela být teplota výpalu mnohem vyšší.

4.3.1 Objemové smrštění keramických těles

Keramické materiály se vyznačují velkým objemovým smrštěním při sušení a následném výpalu. Byla změřena průměrná velikost trámečků ze dvou hlavních materiálů s různým množstvím slídy jako plniva. Všechny rozměrové hodnoty vedoucí k výsledku smrštění tělesa jsou vypsány v tabulce 12. Z tabulky je zřejmé, že u trámečků z kaolinu docházelo k většímu smrštění než u trámečků z keramické hlíny. Např. při samotném tělesu z kaolinu došlo ke smrštění trámečku až na 57,8 % z původní velikosti trámečku před sušením a výpalem. Množství slídového plniva koresponduje se smrštěním, jelikož slída při sušení a následném výpalu nepodléhala velkoobjemovému smrštění. Platí, že čím více je slídového plniva v plastické surovině, tím menší je smrštění těles po výpalu.

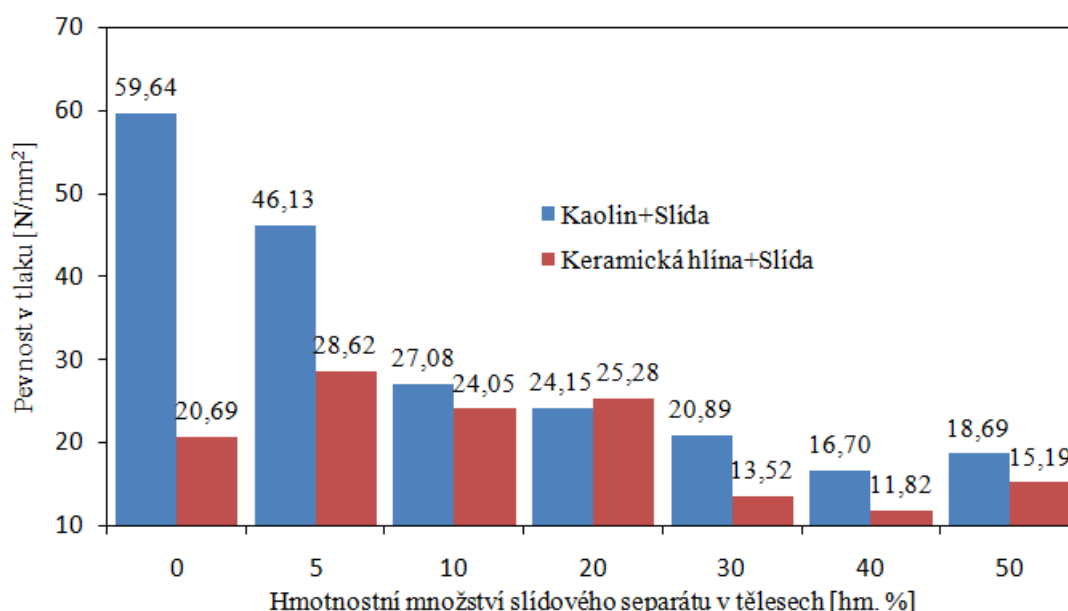
Tabulka 12: Hodnoty objemového smrštění keramických těles po výpalu.

% plniva	Kaolin				Keramická hlína			
	Rozměry těles [cm]			Smrštění na % původní hodnoty	Rozměry těles [cm]			Smrštění na % původní hodnoty
0	8,60	1,63	1,65	57,8	9,45	1,72	1,81	73,5
5	8,50	1,67	1,65	58,6	9,33	1,85	1,91	82,4
10	8,76	1,70	1,71	63,7	9,61	1,81	1,92	83,5
20	9,10	1,75	1,80	71,7	9,70	1,80	1,90	82,9
30	9,21	1,81	1,88	78,3	9,92	1,90	1,95	91,9
40	9,30	1,80	1,85	77,4	9,98	1,91	1,95	92,9
50	9,58	1,96	1,96	92,0	9,98	1,93	1,99	95,8

4.3.2 Pevnost v tlaku keramických těles

Byla měřena pevnost v tlaku vypálených keramických trámečků. Naměřené hodnoty jsou znázorněny na obrázku 37. U těles z kaolinu lze pozorovat klesající trend pevností v tlaku se zvyšujícím se množstvím slídy. V případě keramické hlíny nastává při menším plnění lehké zvýšení pevností v tlaku, poté se ale se zvyšujícím plněním pevnost v tlaku snižuje také. Čistý kaolin vykazuje až 3× větší pevnosti v tlaku než vzorek z čisté keramické hlíny a i plněné vzorky kaolinu vykazují obecně vyšší pevnosti v tlaku než vzorky z keramické hlíny, rozdíl mezi nimi není ale už tak znatelný jak v případě těles čistých. Vysoké pevnosti vypálených kaolinových trámečků jsou pravděpodobně způsobeny vytvořeným mullitem.

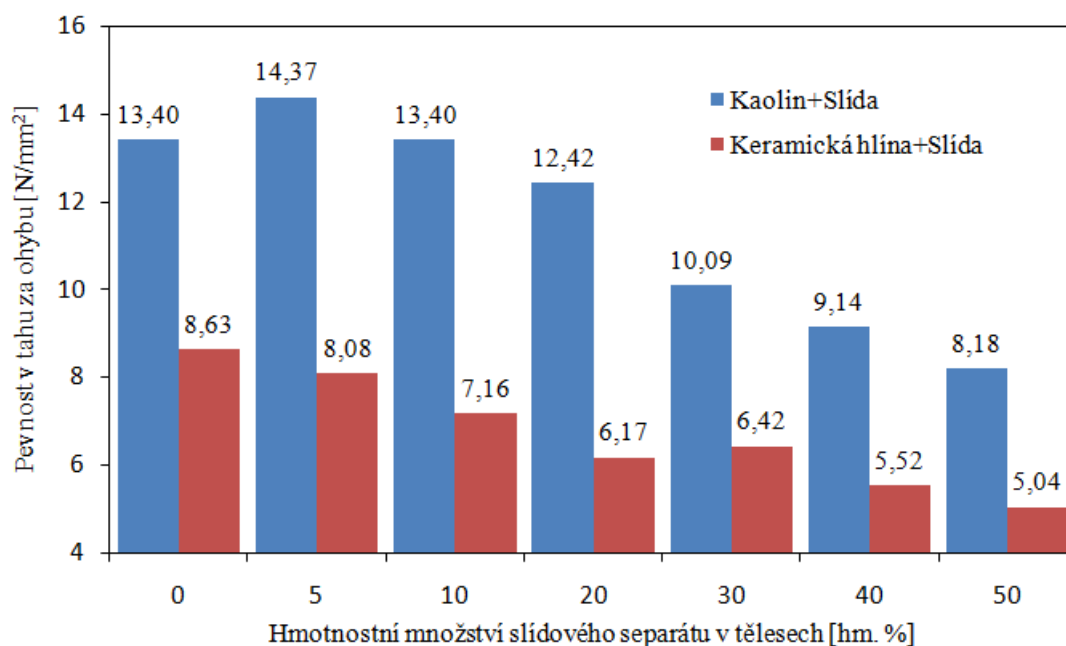
V obou případech je při vyšším množství plniva kompromitována kompaktnost tělesa a v okolí částic slídy materiál neslinul v jeden celek (jelikož teplota tavení muskovitu se pohybuje v oblasti 1 500 °C) nebo se v okolí slídových částic vytvořili vzduchové bubliny snižující pevnosti těles v tlaku. Také tvar plniva mohl přispět k lepší lámavosti materiálu.



Obrázek 37: Pevnost v tlaku keramických těles s různým plněním slídovým separátem.

4.3.3 Pevnost v tahu za ohybu keramických těles

Byla měřena pevnost v tahu za ohybu vypálených keramických trámečků. Naměřené hodnoty jsou znázorněny na obrázku 38. Podobně jako u pevností v tlaku, tak i v případě pevností v tahu za ohybu se pevnost obecně snižuje při zvyšujícím se množství slídy v materiálu. U těles z kaolinu je při 5% plnění slídy pevnost v tahu za ohybu nejvyšší, a poté se začíná snižovat. Měření je zatíženo chybou, která nebyla sledována, byl sledován pouze klesající trend pevnosti při vyšším plnění. Tělesa z kaolinu vykazovala větší pevnosti v tahu za ohybu než tělesa připravená z keramické hlíny. Při vizuálním pohledu na lomové plochy byla slída rovnoměrně distribuována skrze celý objem materiálu všech vzorků.



Obrázek 38: Pevnost v tahu za ohybu keramických těles s různým plněním slídovým separátem.

4.4 Mechanické vlastnosti kompozitních těles s částicovým plnivem

K porovnání mechanických vlastností mezi plněnými a neplněnými kompozitními tělesy byly provedeny analýzy ohybové a rázové. Velké hodnoty chybových úsečků jsou způsobeny manuální přípravou všech vzorků, kdy u takto připravených zkušebních těles je velký výskyt nedokonalostí (bublin, trhlin, klastrů plniva aj.). Makroskopicky bylo plnivo homogenně rozprostřeno přes celý objem vzorku. Výsledné hodnoty testů se nachází v tabulce 13 a jsou dále komentovány pomocí grafického znázornění.

Tabulka 13: Výsledné vypočítané hodnoty sledovaných mechanických vlastností kompozitních těles.

Frakce plniva [mm]/hm. %	Rázová houževnatost [kJ/m ²]	Modul pružnosti [GPa]	Deformace při lomu [%]	Mez pevnosti v ohybu [MPa]
Čistá EP	10,05 ± 1,31	3,32 ± 0,31	3,94 ± 0,47	93,34 ± 14,48
<0,08	5%	5,93 ± 0,56	4,16 ± 0,42	2,06 ± 0,43
	10%	5,13 ± 0,58	4,34 ± 0,53	2,03 ± 0,47
	20%	4,82 ± 0,89	5,03 ± 0,19	1,49 ± 0,33
	30%	5,39 ± 0,91	5,63 ± 0,37	1,12 ± 0,10
0,08–0,10	5%	4,84 ± 0,74	4,11 ± 0,49	2,08 ± 0,40
	10%	3,94 ± 0,45	4,47 ± 0,49	1,87 ± 0,33
	20%	4,63 ± 0,62	4,81 ± 0,44	1,51 ± 0,42
	30%	5,05 ± 1,05	6,08 ± 0,47	1,01 ± 0,10
0,10–0,14	5%	3,93 ± 0,40	4,09 ± 0,42	1,92 ± 0,18
	10%	3,70 ± 0,58	4,43 ± 0,62	1,91 ± 0,49
	20%	3,56 ± 0,84	4,97 ± 0,46	1,42 ± 0,55
	30%	3,59 ± 0,44	6,25 ± 0,53	1,13 ± 0,20

4.4.1 Rázová houževnatost kompozitních těles

Výsledky z testu rázové houževnatosti pomocí Charpyho kladiva jsou zobrazeny na obrázku 39. Naměřené hodnoty kinetických energií byly vztaženy na tloušťku a šířku vzorku, a tím byla vypočítána rázová houževnatost.

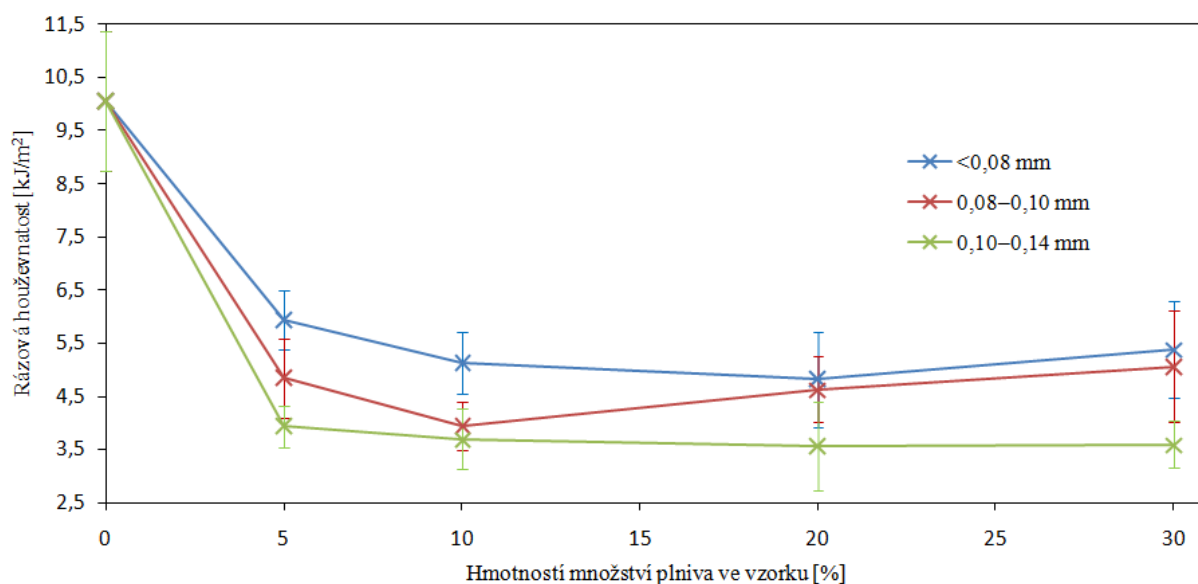
Všechna tělesa podrobená touto zkouškou byla přerazena kladivem na dvě části. Největší energii kyvadlového rázového kladiva potřebnou k přerazení těles měly vzorky čisté EP bez plniva, jejichž hodnota je (10,05 ± 1,31) kJ/m². Při použití slídového plniva do EP se vzorky stávají křehčími (méně matrice schopné přenášet napětí) a hodnoty rázových houževnatostí výrazně klesají až na poloviční hodnoty čisté EP. Obecně se zdá, že hodnoty rázových houževnatostí klesají se zvyšujícím se plněním EP slídou, ale při 30% plnění lze vidět mírný nárůst těchto hodnot oproti 20% plnění a při použití frakce 0,08–0,10 mm je tento nárůst již při 20% plnění. Při přípravě trámečků pravděpodobně nebyla dostatečná homogenizace plniva v pryskyřici, kdy destičky slídy zůstávaly ve shlukách (klastrech) a ne všechny slídové části byly smočené pryskyřicí. Na těchto slídových klastrech se poté lom iniciuje mnohem snadněji a dochází k velkému zeslabení materiálu vůči mechanickému působení. Nárůst při vyšším hmotnostním plnění slídy se pravděpodobně dá vysvětlit lepším oddělením slídových částí u sebe, kdy při vyšším plnění pryskyřice byla hmota před vytvrzením velmi viskózní. Při homogenizaci tedy probíhalo smykové napětí, které dokázalo jednotlivá slídová zrna od sebe oddělit (ve větší míře než při menším plnění), a tím pádem

došlo k většímu kontaktu mezi plnivem a pryskyřicí a také k lepšímu smočení plniva pryskyřicí. Slídové plnivo tím pádem lépe vykonávalo svoji funkci odolávání napětí, které bylo epoxidovou matricí na plnivo přenášeno.

Mezi 5% a 10% plněním nastává pokles hodnot rázových houževnatostí u všech frakcí, kdy je v materiálu přítomno pravděpodobně velké množství nedokonale smočených částic plniva a velké množství klustrů.

Při srovnání jednotlivých použitých frakcí mají nejvyšší hodnoty rázových houževnatostí vzorky EP s plněním slídy o nejmenší frakci. Např. při 5% plnění lze vidět hodnota pro frakci nejjemnější ($5,93 \pm 0,56$) kJ/m², pro frakci střední ($4,84 \pm 0,74$) kJ/m² a pro frakci nejhrubší ($3,93 \pm 0,40$) kJ/m². Tento trend se opakuje i při vyšších hodnotách plnění. Nejvyšší hodnoty rázových houževnatostí pro nejjemnější plnivo jsou dány tím, že lom šířící se po povrchu částic má mnohem delší dráhu při šíření přes jemnější plnivo. Lom šířící se přes větší částice plniva má dráhu mnohem kratší, a tím i energie vynaložena kladivem k přeražení vzorku je menší.

Důvod, proč není pozorován nárůst rázové houževnatosti u nejhrubšího plniva při 30% plnění stejně, jako u frakcí s jemnějším plněním, je patrně daný kombinací všech výše zmíněných důvodů, jak zvyšování hodnoty rázové houževnatosti z důvodů lepší homogenizace plniva v pryskyřici, tak i snižování rázové houževnatosti z důvodu použití plniva větších rozměrů. Proto nepozorujeme nárůst ani pokles, neboť si tyto projevy vzájemně odporují (jsou protichůdné).



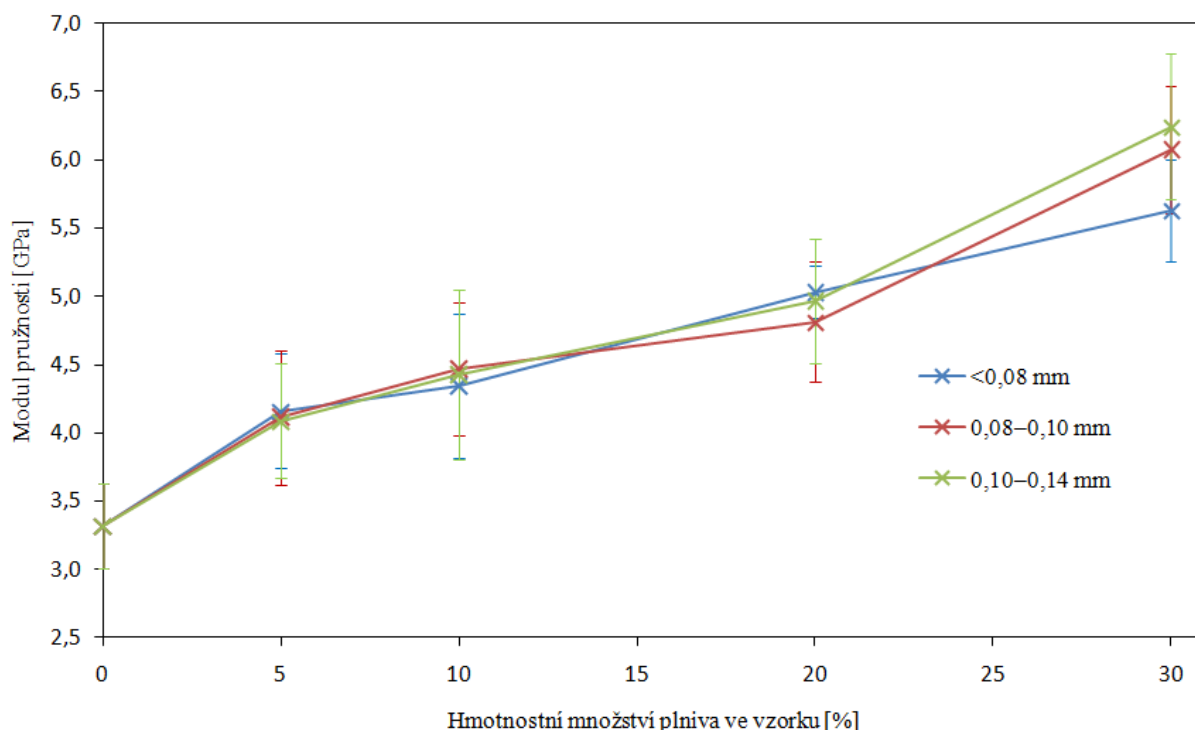
Obrázek 39: Závislost rázové houževnatosti kompozitních těles na množství plnění EP slídovým separátem.

4.4.2 Pevnost v ohybu kompozitních těles

Při zkoušce pevností v ohybu kompozitních vzorků bylo vyhodnoceno několik důležitých vlastností materiálů: Modul pružnosti materiálu, pevnost v ohybu materiálu a protažení zkušebního tělesa při maximální pevnosti v ohybu. Při testování pevnosti těles v ohybu byla všechna tělesa porušena. Pro teoretický modul pružnosti se používá směšovací pravidlo (pro vláknové kompozity), pro částicové kompozity se používá upravená Halpen-Tsaiova rovnice.

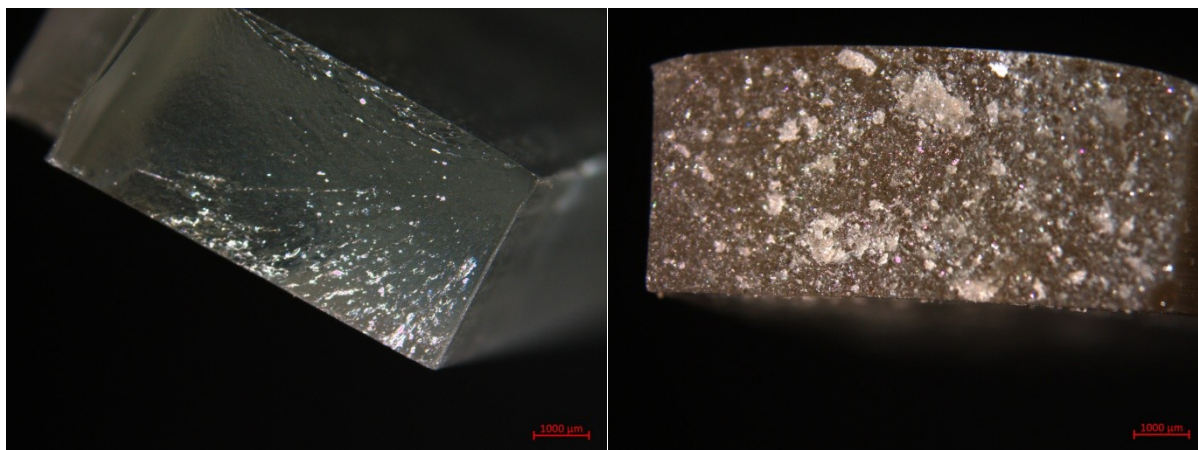
Hodnoty modulu pružnosti jsou znázorněny na obrázku 40. Referenční materiál – čistá EP vykazuje nejnížší hodnotu modulu pružnosti ($3,32 \pm 0,31$) GPa. Při použití plniva se hodnota

modulu pružnosti zvyšovala a tento trend se projevuje i při použití vyššího množství plnění. Hodnoty modulu pružnosti u jednotlivých frakcí jsou velmi podobné a jsou zatíženy podobnou chybou a nelze s přesností určit, při které použité frakci se zvyšuje modul pružnosti nejvíce. Vzorky s větší hodnotou modulu pružnosti potřebují v elastické části deformace vyšší hodnotu působícího napětí, aby vznikla stejně velká deformace, než vzorky s nižší hodnotou modulu pružnosti. Z toho vyplývá, že pro oblasti elastických deformací jsou vhodnější materiály s použitým plnivem.



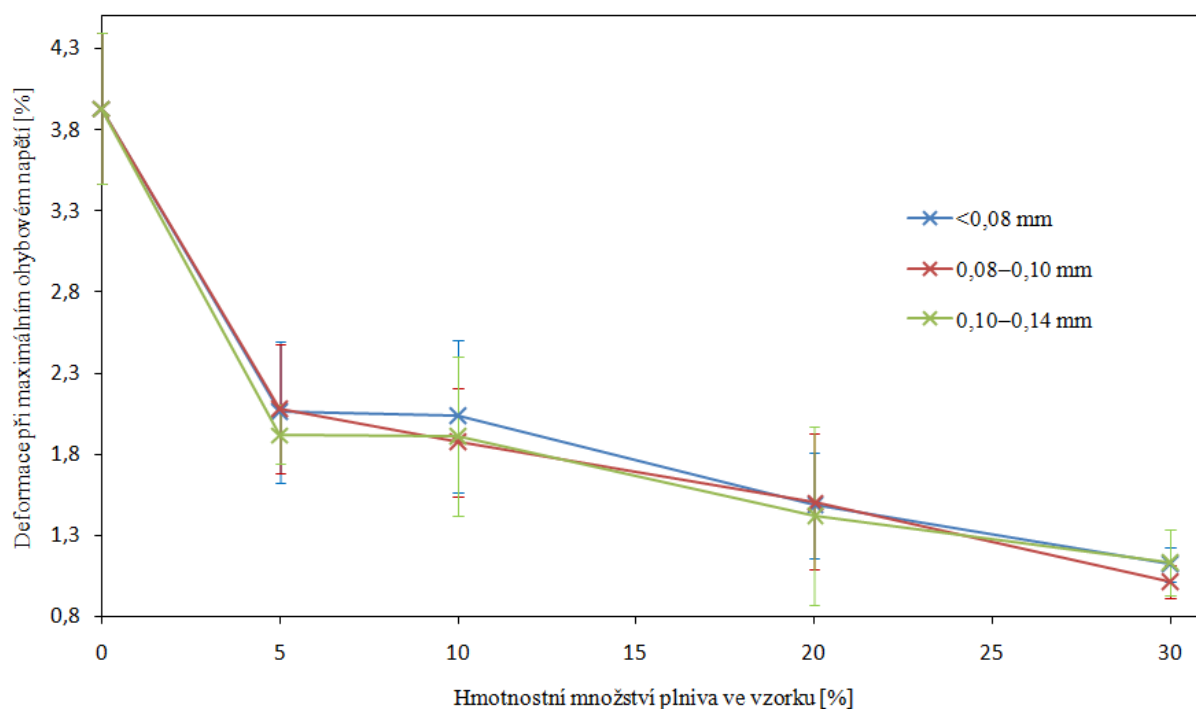
Obrázek 40: Závislost modulu pružnosti kompozitních těles na množství plnění EP slídovým separátem.

Při 30% plnění jsou již patrné rozdíly mezi použitou frakcí plniva. Nejmenších hodnot modulu pružnosti při 30% plnění dosahuje nejmenší použitá frakce slídového plniva v EP. Buď se jedná o případ nedokonalé dispergace plniva, vzniku klastrů a popřípadě nedokonalého smáčení plniva matricí (vzniklé klastry lze pozorovat na obrázku 41, kde lze vidět lomovou plochu vysoce plněného epoxidového trámečku oproti lomové ploše čistého epoxidového trámečku), nebo špatné adheze mezi plnivem a matricí, kdy při použití jemnějšího plniva je v materiálu větší povrch styku mezi plnivem a matricí, a tím pádem jsou více kompromitovány mechanické vlastnosti materiálu.



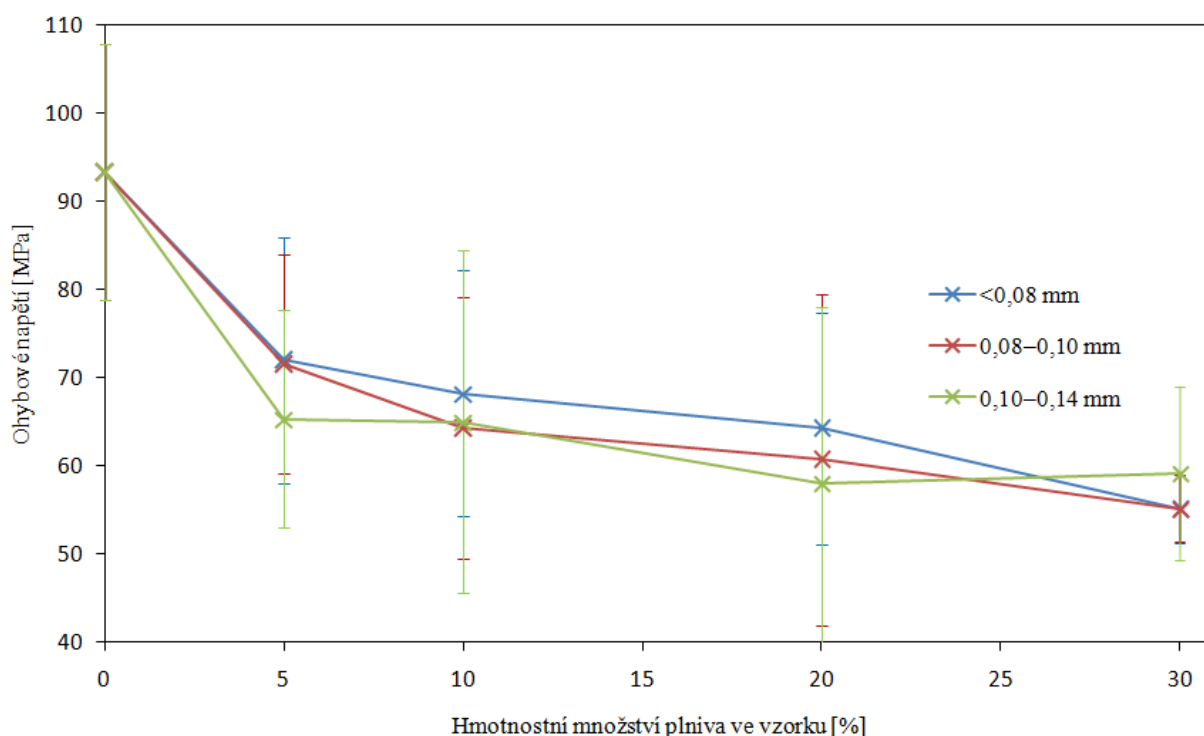
Obrázek 41: Lomové plochy po testu rázové houževnatosti čisté EP a EP s 30% plněním slídového separátu.

S hodnotou modulu pružnosti úzce souvisí i deformace materiálu znázorněna na obrázku 42. Byla sledována hodnota maximální deformace tělesa při maximálním ohybovém napětí. Největších hodnot deformace dosahoval materiál s nejnižší hodnotou modulu pružnosti v ohybu, a to čistá EP, kdy deformace takového materiálu dosahovalo průměrně téměř 4 %. Při plnění vzorku se snížila i hodnota protažení při maximálním ohybovém napětí a tato hodnota klesala s větším množstvím přítomného plniva. Z toho lze usoudit, že mezi plnivem a matricí je velmi špatná adheze a použité slídové plnivo nesplňuje v kompozitním materiálu svoji funkci. Opět lze jen velmi těžce odlišit rozdíl vlastností u vzorků stejného plnění s použitou rozdílnou velikostí frakce plniva. Vzorky s nejvyšším plněním dosahovaly pouze hodnoty blízké se 1 %, než u nich nastal lom.



Obrázek 42: Závislost deformace při maximálním ohybovém napětí kompozitních těles na množství plnění EP slídovým separátem.

Nejvyšší možné hodnoty meze pevnosti v ohybu, které byl daný materiál schopen vydržet, jsou znázorněny na obrázku 43. Čistá EP dosahovala hodnot pevnosti v ohybu ($93,34 \pm 14,48$) MPa. Při zvyšujícím se množství plnění EP slídou hodnota meze pevnosti v ohybu klesala, opět případ nedokonalé adheze mezi plnivem a matricí a špatnou dispergací plniva a vzniku klastrů. Při 5% plnění průměrně dosahovaly kompozitní trámečky 75 % pevnosti v ohybu čisté EP. Při 10% plnění tato hodnota dosahovala jen 71% pevnosti EP. U těles 20% plnění byla pevnost snížena na 65 % původní hodnoty a pro nejvíce plněná tělesa dosahovaly meze pevnosti v ohybu 61 % z hodnoty čisté EP.



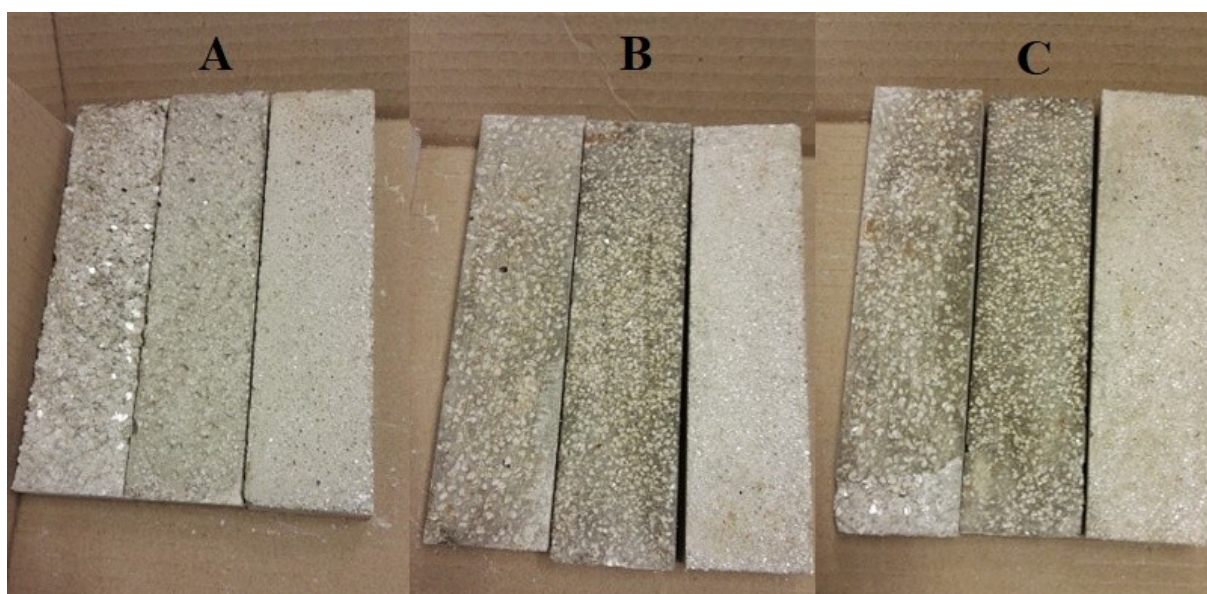
Obrázek 43: Závislost ohybového napětí kompozitních těles na množství plnění EP slídovým separátem.

Při použití slídového separátu byla většina mechanických vlastností kompozitu kompromitována, což mohlo být způsobeno řadou faktorů. Jelikož slídový separát nebyl nijak modifikován, je předpokládáno i na základě naměřených dat, že nedošlo k dobré adhezi mezi plnivem a matricí. Ověření této hypotézy by bylo možné použitím rastrovacího elektronového mikroskopu při pozorování lomové plochy tělesa, kde by bylo pozorováno smáčení plniva matricí. Pomocí stereomikroskopu byla lomová plocha pozorována a bylo zjištěno, že při homogenizaci plniva v epoxidové pryskyřici došlo ke vzniku klastrů. Slída svým charakteristickým tvarem tvoří shluky, kde se jednotlivé tenké destičky slídy vyskytují vedle sebe a nelze je snadno od sebe oddělit. Nacházející se klastry v materiálu poté indukují nehomogenní rozprostření v matrici a jejich tvar poté vede k horšímu styku matrice s plnivem, kdy se některá zrna částicového plniva vůbec nesmočí pryskyřicí a neplní svou funkci v kompozitním tělese. Tím pádem by bylo potřeba vyřešit vznik klastrů při homogenizaci, což by mohlo být provedeno smykovým mícháním/dispergací materiálu. Při takovém míchání by se do pryskyřice zakomponovalo velké množství vzduchu, které by vedlo ke špatným výsledkům mechanických vlastností těles, proto by muselo být míchání prováděno pod vakuem. Díky svému aspektnímu poměru má slídový separát potenciál sloužit

jako částicové plnivo do plastařských výrobků a mohl by sloužit jako levné plnivo namísto například vápence či kaolinu. Použití takového částicového plniva by vedlo ke zmenšení výdajů za materiál sloužící jako matrice, popřípadě by se příznivě ovlivnily některé mechanické vlastnosti, o které by byl v materiálu zájem.

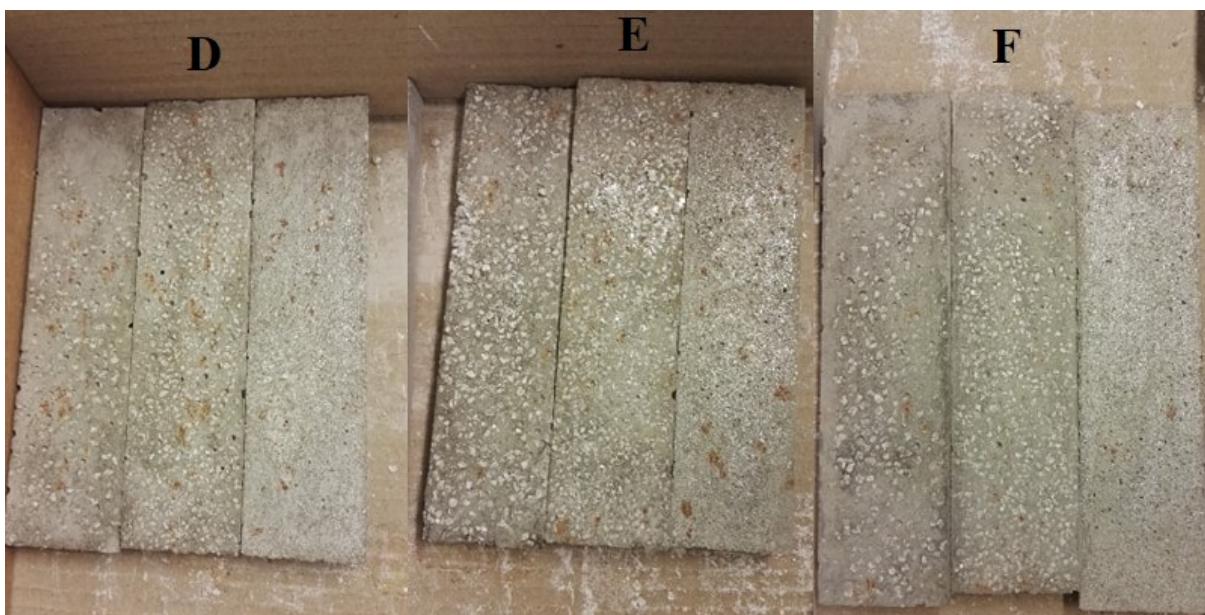
4.5 Pohledová tělesa

Byla připravena pohledová tělesa. Do první série směsí (A, B, C) bylo přidáno velké množství záměsové vody (vodní součinitel až 0,95) i s použitím superplastifikátoru, aby cementová kaše pokryla všechna slídová zrna a zakomponovala je do své struktury. Jak lze vidět z obrázku 44, velká slídová zrna ($>1,4$ mm) se nedostatečně zakomponovala do cementové kaše. Buď slídová zrna nebyla pořádně smočena (vsypaná vrstvy slídového separátu byla moc vysoká), nebo byla smočena jen mírně a část této vrstvy odpadla. Střední ($1,0$ – $1,4$) a jemná ($<1,0$ mm) frakce se do cementu zakomponovala lépe. Složení směsí je uvedeno v tabulce 4 a v tabulce 5.



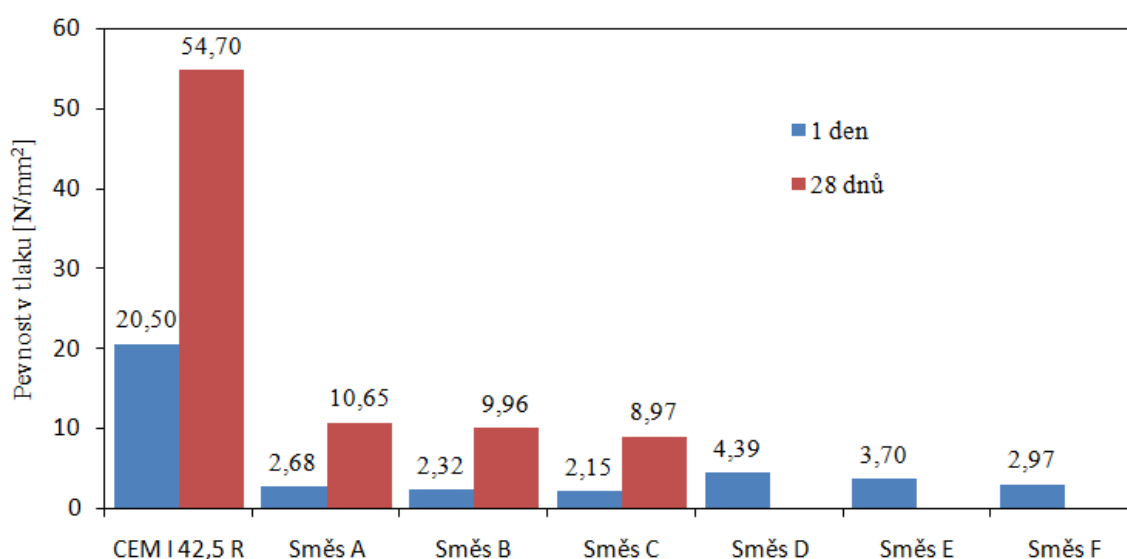
Obrázek 44: Pohledová tělesa série A, B, C.

Pro druhou sérii směsí (D, E, F) byl vodní součinitel cementu 0,45 a slídový separát se obstojně podařilo zakomponovat do cementové směsi, což lze pozorovat na obrázku 45. V těchto směsích byl slídový separát použit i do cementové kaše a nejen jako pohledová strana. Makroskopicky nebyl slídový separát po vytvrdnutí cementu nikde jinde než na pohledové straně pozorován.



Obrázek 45: Pohledová tělesa série D, E, F.

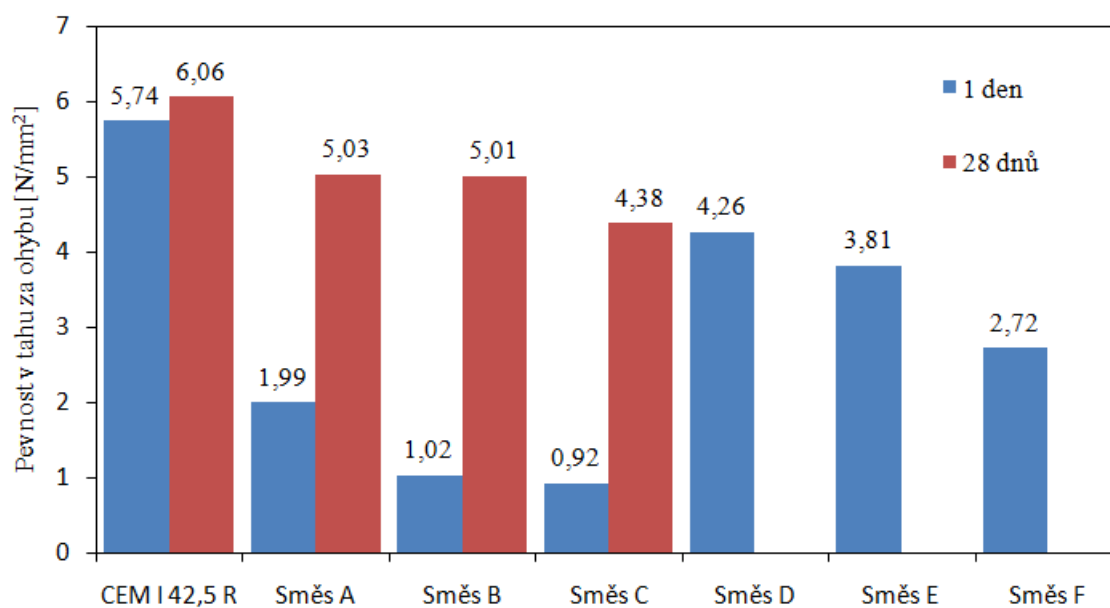
S velkým množstvím záměsové vody nelze očekávat vysoké hodnoty pevností v tlaku a pevností v tahu za ohybu připravených pohledových těles. Naměřené hodnoty pevností v tlaku jsou graficky znázorněné na obrázku 46. Pro srovnání pevností směsí byly naměřeny pevnosti i čistého cementu s vodním součinitelem 0,35. Jedná se o cement nabývající pevností v tlaku větší než 20 MPa již po dvou dnech a tato pevnost byla dosažena již po prvním dnu přípravy. Směsi D, E, F dosahují vyšších pevností po prvním dnu než směsi A, B, C a to zejména díky menšímu vodnímu součiniteli. Hodnoty pevností v tlaku pohledových těles jsou nižší i po 28 dnech zrání oproti hodnotám čistého cementu po prvním dnu. Důvod nízkých naměřených pevností je ten, že slída, především ve formě muskovitu, má při vyšším plnění škodlivé účinky zejména na pevnosti takhle připravených těles z cementu.



Obrázek 46: Pevnost v tlaku připravených cementových směsí.

Na obrázku 47 jsou graficky znázorněné naměřené hodnoty pevností v tahu za ohybu pohledových těles. Směsi A, B, C dosahují po 28 dnech dostatečné hodnoty pevností v tahu za

ohybu vztažené na hodnoty čistého cementového tělesa. Hodnoty pro směsi D, E, F dosahují vyšších pevností v tahu za ohybu než směsi A, B, C po prvním dnu a opět to je způsobené rozdílem v množství záměsové vody (jiný vodní součinitel). I zde jsou pevnosti oproti čistému CEM I 42,5 R sníženy z důvodu škodlivosti muskovitu na připravené cementové směsi.



Obrázek 47: Pevnost v tahu za ohybu připravených cementových směsí.

5 ZÁVĚR

Cílem diplomové práce bylo laboratorně ověřit některé možnosti využití slídového separátu z plavení kaolinu. Vzorky slídových separátů byly nejprve separovány pomocí flotace, zde se však ukázala tato separační metoda vzhledem k povaze separovaného materiálu jako málo účinná. Z toho důvodu bylo od této metody upuštěno. Následně byly získány vzorky separátu, který obsahoval vysoké množství slídového podílu. Tento materiál byl upraven přeplavením, které se ukázalo jako vhodná a účinná metoda předúpravy slídového separátu. Takto upravený slídový separát byl podroben analýze a použit k dalším experimentům.

Při testech se slídovým separátem v keramických hmotách bylo cíleno na keramiku s vysokým obsahem mullitu. Pro experimenty byly zvoleny dvě základní matrice, klasická hlína pro keramiku a kaolin (odpovídající standardu Sedlec Ia) a do plastických těst těchto matric byl v různých množstvích přidáván slídový separát. Následně byly vzorky vypáleny v peci, kaolinové na 1 300 °C a hliněné na 1 000 °C. Experimenty bylo zjištěno, že mechanické vlastnosti (pevnosti v tlaku) u vzorků s hliněnou matricí se do 20 % přidaného množství mírně zvyšovaly, avšak při vyšším plnění byly nižší než u samotné matrice bez plnění. U vzorků s kaolinovou matricí byl pouze vzorek s nejnižším přídatkem slídového separátu s vyšší pevností v tahu za ohybu než samotná matrice. U ostatních vzorků se vzrůstajícím přídatkem slídového separátu pevnosti dále klesaly. Předpoklad byl vytvoření keramiky s vyššími mechanickými vlastnostmi. Vzhledem ke skutečnosti, že při nejnižším přídatku se pevnosti mírně zvýšily a vysoký byl i obsah mullitu v tomto vzorku, není vyloučeno, že úpravou režimu výpalu (teplota, výdrž) by mohlo být tohoto cíle dosaženo i s vyššími obsahy slídového separátu.

Další testovanou aplikací slídového separátu bylo ověření funkce částicového plniva kompozitních těles s matricí epoxidové pryskyřice. Cíleno bylo na zlepšení mechanických vlastností. Bylo připraveno několik řad vzorků s různým plněním, a to jak z hlediska obsahu přidávaného slídového separátu, tak z hlediska velikosti zrn přidávané frakce. Experimentálně bylo zjištěno, že rázová houževnatost i pevnosti v tahu za ohybu se u všech testovaných těles snížily. Na vině tomu je pravděpodobně nízká adheze slídového separátu k použité matici (epoxidová pryskyřice). Nízkou adhezi by bylo možné zvýšit vhodnou povrchovou úpravou slídového separátu. Naproti tomu u všech vzorků s přidaným množstvím slídového separátu rostl modul pružnosti.

Slídový separát byl následně testován jako složka pohledových stavebních prvků. Separát byl přidáván přímo do testovacích omítkových směsí nebo pouze do povrchových vrstev zamýšlených obkladových prvků. Bylo zjištěno, že mechanické vlastnosti všech testovaných vzorků byly vyhovující pro zamýšlené použití pohledových prvků. Přidávaný slídový separát s vysokým obsahem slídy má díky tvaru částic slídy schopnost odrážet světlo, což poskytuje žádaný estetický efekt těchto omítek a pohledových prvků. Jako vhodnější se pro tento účel jevily jemnější frakce slídového separátu.

Bylo ověřeno několik možností využití slídového separátu. Materiál má zcela jistě potenciál využití v oblasti keramických materiálů s vysokou tepelnou odolností. Dále se může uplatnit v kompozitech jako plnivo, za předpokladu vhodné matrice či povrchové úpravy. V neposlední řadě by bylo možné slídový separát použít i jako součást pohledových omítek a prvků.

Předložená diplomová práce podává ucelený přehled o několika směrech a možnostech využití slídového separátu. Vše je podloženo dostatečnými soubory pilotních experimentů.

Z tohoto důvodu lze konstatovat, že by bylo do budoucna vhodné testované směry rozvíjet a některé rozvinuté poznatky uplatnit v praxi.

6 SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ

- [1] HANYKÝŘ, Vladimír a Jaroslav KUTZENDÖRFER, 2008. *Technologie keramiky*. Praha: Silikátový svaz. ISBN 978-80-86821-48-1.
- [2] SVOBODA, Jiří, Šárka HLADILOVÁ, Ivan HORÁČEK, et al., 2015. Dolní Věstonice IIa: Gravettian microstratigraphy, environment, and the origin of baked clay production in Moravia. *Quaternary International*. **359-360**, 195-210. DOI: 10.1016/j.quaint.2014.06.048. ISSN 10406182. Dostupné také z: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S1040618214004224>
- [3] PRASAD, M.S., K.J. REID a H.H. MURRAY, 1991. Kaolin: processing, properties and applications. *Applied Clay Science*. **6**(2), 87-119. DOI: 10.1016/0169-1317(91)90001-P. ISSN 01691317. Dostupné také z: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/016913179190001P>
- [4] WAISSEROVÁ, Eva, 1989. *Trendy vývoje světové surovinové základny nerudných surovin: keramické suroviny : prognostická studie*. Praha: ÚVTEI. Publikace SIVO. ISBN 80-212-0049-9.
- [5] HEIN, Anke a Ole STILBORG, 2019. Ceramic production in prehistoric northwest China: Preliminary findings of new analyses of old material from the Museum of Far Eastern Antiquities, Stockholm. *Journal of Archaeological Science: Reports*. **23**, 104-115. DOI: 10.1016/j.jasrep.2018.10.022. ISSN 2352409X. Dostupné také z: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S2352409X18305728>
- [6] DRUC, Isabelle, Anne UNDERHILL, Fen WANG, Fengshi LUAN a Qingyu LU, 2018. A preliminary assessment of the organization of ceramic production at Liangchengzhen, Rizhao, Shandong: Perspectives from petrography. *Journal of Archaeological Science: Reports*. **18**, 222-238. DOI: 10.1016/j.jasrep.2017.12.050. ISSN 2352409X. Dostupné také z: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S2352409X17307435>
- [7] PETRŽELKA, Josef a Václav HANUS, [2013]. *Těžba a úprava silikátových surovin*. Praha: Silikátový svaz. ISBN 978-80-86821-71-9.
- [8] SLIVKA, Vladimír, Jaroslav DVOŘÁČEK, Arnošt GRMELA, Pavel HOFRIČTER, Václav KRYL, Josef NOVÁK, Konstantin RACLAVSKÝ a František TICHÁNEK, 2002. *Těžba a úprava silikátových surovin*. Praha: Silikátový svaz. ISBN 80-903-1130-X.
- [9] KÜHN, Petr a Vítězslav ZAMARSKÝ, 1984. *Mineralogie systematická: určeno pro posl. hornicko-geolog. fakulty, 1. [roč.]. [Díl] 2., Silikáty*. Ostrava: Vysoká škola báňská. Učební texty vysokých škol.
- [10] KLEBSA, Vladimír a Vlastimil HOTÁŘ, 2005. *Silikáty, sklo, žárovzdorné materiály*. Liberec: Technická univerzita v Liberci. ISBN 80-708-3949-X.
- [11] VALÁŠKOVÁ, Marta, 2014. *Vybrané vrstevnaté silikáty a jejich modifikované nanomateriály*. 2., dopl. a opr. vyd. Brno: Akademické nakladatelství CERM. ISBN 978-80-7204-886-1.
- [12] HERAINOVÁ, Marcela, 2002. *Keramické suroviny a jejich úprava*. Praha: Silikátový svaz. Učebnice pro střední odborné školy (Silikátový svaz). ISBN 80-903-1132-6.
- [13] BLEAM, William, 2017. Clay Mineralogy and Chemistry. *Soil and Environmental Chemistry*. Elsevier, 2017, 87-146. DOI: 10.1016/B978-0-12-804178-9.00003-3. ISBN 9780128041789. Dostupné také z: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/B9780128041789000033>
- [14] SUNDARARAJAN, G. a M. ROY, 2001. Hardness Testing. *Encyclopedia of Materials: Science and Technology*. Elsevier, 2001, 3728-3736. DOI: 10.1016/B0-08-043152-6/00665-3. ISBN 9780080431529. Dostupné také z: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/B0080431526006653>
- [15] Nesosilicate, 2020. *ENCYCLOPÆDIA BRITANNICA* [online]. [cit. 2020-01-25]. Dostupné z: <https://www.britannica.com/science/nesosilicate>
- [16] *Mineralogy: Silicates - structure and classification* [online], 1997. Colgate university [cit. 2020-01-25]. Dostupné z: <http://classes.colgate.edu/rapril/geol201/summaries/silicates/silstruct.htm>

- [17] BRIGATTI, M.F., E. GALÁN a B.K.G. THENG, 2013. Structure and Mineralogy of Clay Minerals. *Handbook of Clay Science*. Elsevier, 2013, 21-81. Developments in Clay Science. DOI: 10.1016/B978-0-08-098258-8.00002-X. ISBN 9780080993645. Dostupné také z: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/B978008098258800002X>
- [18] BARLOW, S.G. a D.A.C. MANNING, 2013. Influence of time and temperature on reactions and transformations of muscovite mica. *British Ceramic Transactions*. **98**(3), 122-126. DOI: 10.1179/096797899680327. ISSN 0967-9782. Dostupné také z: <http://www.tandfonline.com/doi/full/10.1179/096797899680327>
- [19] HOSSEINI, Mohammad Raouf a Ali AHMADI, 2015. Biological beneficiation of kaolin: A review on iron removal. *Applied Clay Science*. **107**, 238-245. DOI: 10.1016/j.clay.2015.01.012. ISSN 01691317. Dostupné také z: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0169131715000204>
- [20] BELVER, C., M.A. BAÑARES a M.A. VICENTE, 2002. Preparation of Porous Silica by Acid Activation of Metakaolins. *Characterization of Porous Solids VI, Proceedings of the 6th International Symposium on the Characterization of Porous Solids (COPS-VI)*. Elsevier, 2002, 307-314. Studies in Surface Science and Catalysis. DOI: 10.1016/S0167-2991(02)80149-5. ISBN 9780444512611. Dostupné také z: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0167299102801495>
- [21] PETRÁNEK, Jan, Jiří BŘEZINA, Eva BŘÍZOVÁ, Jan CHÁB, Jan LOUN a Přemysl ZELENKA, 2016. *Encyklopedie geologie*. Praha: Česká geologická služba. ISBN 978-80-7075-901-1.
- [22] METYA, Amaresh, Debabrata GHOSE a Nihar Ranjan RAY, 2014. Development of hydrophobicity of mica surfaces by ion beam sputtering. *Applied Surface Science*. **293**, 18-23. DOI: 10.1016/j.apsusc.2013.11.163. ISSN 01694332. Dostupné také z: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0169433213022526>
- [23] CULL, Selby, 2009. *Rocks and minerals: The restless earth*. New York, USA: Infobase publishing. ISBN 978-0-7910-9702-1.
- [24] HAWLEY, G C, 2010. *MICA: Mining Engineering*. United States, Littleton, **vol 62**(6), 63-65. ISSN 00265187.
- [25] SCHOMBURG, J. a H. ZWAHR, 1997. Thermal differential diagnosis of mica mineral group. *Journal of Thermal Analysis*. **48**(1), 135-139. DOI: 10.1007/BF01978972. ISSN 0368-4466. Dostupné také z: <http://link.springer.com/10.1007/BF01978972>
- [26] LAUF, Robert J, 2006. *Collector's Guide to the Mica Group: Rocks and Minerals*. United States, Washington: Taylor & Francis, **vol 81**(3), 214-224. ISSN 00357529.
- [27] Biotite, 2018. *Geology science: Study of Earth Science, Rocks and Minerals* [online]. [cit. 2020-02-20]. Dostupné z: <http://geologyscience.com/minerals/biotite/>
- [28] TERZIĆ, Anja, Lato PEZO a Ljubiša ANDRIĆ, 2015. Chemometric analysis of the influence of mechanical activation on the mica quality parameters. *Ceramics International*. **41**(7), 8894-8903. DOI: 10.1016/j.ceramint.2015.03.147. ISSN 02728842. Dostupné také z: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0272884215005520>
- [29] LECOMTE, G. a P. BLANCHART, 2006. Textured mullite at muscovite–kaolinite interface. *Journal of Materials Science*. **41**(15), 4937-4943. DOI: 10.1007/s10853-006-0320-4. ISSN 0022-2461. Dostupné také z: <http://link.springer.com/10.1007/s10853-006-0320-4>
- [30] AWASTHI, Saurabh, Douglas J. LITTLE, A. FUERBACH a D.M. KANE, 2020. Single-femtosecond-laser-pulse interaction with mica. *Applied Surface Science*. DOI: 10.1016/j.apsusc.2020.145702. ISSN 01694332. Dostupné také z: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S016943322030458X>
- [31] The splitting strength of mica, 1997. *Proceedings of the Royal Society of London. Series A, Containing Papers of a Mathematical and Physical Character*. **127**(805), 290-297. DOI: 10.1098/rspa.1930.0058. ISSN 0950-1207. Dostupné také z: <https://royalsocietypublishing.org/doi/10.1098/rspa.1930.0058>
- [32] DE POEL, Wester, Stelian PINTEA, Jakub DRNEC, et al., 2014. Muscovite mica: Flatter than a pancake. *Surface Science*. **619**, 19-24. DOI: 10.1016/j.susc.2013.10.008. ISSN 00396028. Dostupné také z: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0039602813003038>

- [33] CHRISTENSON, H. K., 1993. Adhesion and surface energy of mica in air and water. *The Journal of Physical Chemistry*. **97**(46), 12034-12041. DOI: 10.1021/j100148a032. ISSN 0022-3654. Dostupné také z: <https://pubs.acs.org/doi/abs/10.1021/j100148a032>
- [34] KWONG-MOSES, Dominique Salomé, W. Crawford ELLIOTT, J.M. WAMPLER, Brian A. POWELL a David M. AVANT, 2020. Sorption and desorption of radiocesium by muscovite separated from the Georgia kaolin. *Journal of Environmental Radioactivity*. **211**. DOI: 10.1016/j.jenvrad.2019.106074. ISSN 0265931X. Dostupné také z: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0265931X19303923>
- [35] HULL, D., 1997. The geometry of cracks and blisters in mica. *Acta Materialia*. **45**(1), 233-244. DOI: 10.1016/S1359-6454(96)00162-0. ISSN 13596454. Dostupné také z: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S1359645496001620>
- [36] PETRÁNEK, Jan, 1993. *Encyklopedie geologie*. České Budějovice: Jih. ISBN 80-900-3512-4.
- [37] FLEET, M.E., 2003. *Rock-forming minerals: Sheet silicates: Micas*. Volume 3A, 2nd ed. London: The Geological Society. ISBN 1-86239-142-4.
- [38] Muscovite Mica Sheet: Potassium Aluminum Silicate, 2020. *American elements* [online]. [cit. 2020-05-11]. Dostupné z: <https://www.americanelements.com/muscovite-mica-sheet-12001-26-2>
- [39] Muscovite from Harlem Meer, in the northeast corner of Central Park, New York City, New York County, New York., 2018. *John Betts Fine Minerals* [online]. [cit. 2020-02-20]. Dostupné z: <http://www.johnbetts-fineminerals.com/jhbnyc/articles/359.htm>
- [40] MITROVIĆ, Aleksandra a Miodrag ZDUJČIĆ, 2014. Preparation of pozzolanic addition by mechanical treatment of kaolin clay. *International Journal of Mineral Processing*. **132**, 59-66. DOI: 10.1016/j.minpro.2014.09.004. ISSN 03017516. Dostupné také z: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0301751614001252>
- [41] LOTFY, Abdurrahmaan, Okan KARAHAN, Erdogan OZBAY, Khandaker M.A. HOSSAIN a Mohamed LACHEMI, 2015. Effect of kaolin waste content on the properties of normal-weight concretes. *Construction and Building Materials*. **83**, 102-107. DOI: 10.1016/j.conbuildmat.2015.03.002. ISSN 09500618. Dostupné také z: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0950061815002482>
- [42] LONGHI, Márlon A., Erich D. RODRÍGUEZ, Susan A. BERNAL, John L. PROVIS a Ana Paula KIRCHHEIM, 2016. Valorisation of a kaolin mining waste for the production of geopolymers. *Journal of Cleaner Production*. **115**, 265-272. DOI: 10.1016/j.jclepro.2015.12.011. ISSN 09596526. Dostupné také z: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S095965261501834X>
- [43] VAN LIERDE, Andre a Jean-Philippe BEUVELET, 1994. *Process for the recovery of micas by flotation and micas thus obtained*. United States. US5439116A. Uděleno Aug. 8, 1995. Zapsáno Feb. 2, 1994.
- [44] SEKULIĆ, Ž, N CANIĆ, Z BARTULOVIĆ a A DAKOVIĆ, 2004. Application of different collectors in the flotation concentration of feldspar, mica and quartz sand. *Minerals Engineering*. **17**(1), 77-80. DOI: 10.1016/j.mineng.2003.10.004. ISSN 08926875. Dostupné také z: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0892687503003455>
- [45] POUCHLÝ, Julius, Lída BARTOVSKÁ a Marie ŠIŠKOVÁ, 2005. Flotace. *Integrovaný systém elektronických studijních opor VŠCHT Praha* [online]. Praha: VŠCHT Praha [cit. 2020-02-20]. Dostupné z: http://147.33.74.135/knihy/uid_es-001/hesla/flotace.html
- [46] YANG, David C., 1972. *Separation of mica from clay by froth flotation of clay*. United States. US3837488A. Uděleno Sept. 24, 1974. Zapsáno Aug. 1, 1972.
- [47] MILLSAPS, Frank W a James S BROWNING, 1963. *Flotation of mica*. United States. US3278028A. Uděleno Oct. 11, 1966. Zapsáno Oct. 31, 1963.
- [48] XU, Longhua, Houqin WU, Faqin DONG, Li WANG, Zhen WANG a Junhui XIAO, 2013. Flotation and adsorption of mixed cationic/anionic collectors on muscovite mica. *Minerals Engineering*. **41**, 41-45. DOI: 10.1016/j.mineng.2012.10.015. ISSN 08926875. Dostupné také z: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0892687512003573>
- [49] PUGH, R.J., M.W. RUTLAND, E. MANEV a P.M. CLAEISSON, 1996. Dodecylamine collector — pH effect on mica flotation and correlation with thin aqueous foam film and surface force measurements. *International Journal of Mineral Processing*. **46**(3-4), 245-262.

- DOI: 10.1016/0301-7516(95)00085-2. ISSN 03017516. Dostupné také z: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/0301751695000852>
- [50] *GR-mica* [online], 2005. India: Grmica [cit. 2020-01-23]. Dostupné z: http://www.grmica.com/About_Mica.php#aa
- [51] Global mica mining: and the impact on children right's, *Centre for Research on Multinational Corporations (SOMO)* [online]. Nederland, Amsterdam [cit. 2020-01-23]. Dostupné z: https://www.somo.nl/wp-content/uploads/2018/03/NL180313_GLOBAL-MICA-MINING-.pdf
- [52] PÁREZ-MAQUEDA, Luis A., Francisco FRANCO, Miguel A. AVILÉS, Juan POYATO a José L. PÉREZ-RODRÍGUEZ, Effect of Sonication on Particle-size Distribution in Natural Muscovite and Biotite. *Clays and Clay Minerals*. **51**(6), 701-708. DOI: 10.1346/CMN.203.0510613. ISSN 1552-8367.
- [53] *Muscovite Mica: Medical Design Technology; Rockaway*, 2015. Advantage Business Media. ISSN 10961801.
- [54] DHAR, R. N., 1966. Dielectric Properties of Freshly Cleaved Muscovite Mica. *Nature*. **210**(5041), 1144-1145. DOI: 10.1038/2101144a0. ISSN 0028-0836. Dostupné také z: <http://www.nature.com/articles/2101144a0>
- [55] KALLAUNER, Otakar a E KANCLÍŘ, 1953. *Sborník Vysoké školy stavitelství v Brně: O vlivu slidy na vlastnosti cementových malt*. Svazek II. Brno, Československo: Bulletin of the Brno Institute of Constructional Engineering and Architecture Czechoslovakia.
- [56] VELTEN, Ulf, Ronald A SHELDEN, Walter R CASERI, Ulrich W SUTER a Yuzhuo LI, 1999. Polymers grafted on mica by radical chain growth from the surface. *Colloids and Surfaces A: Physicochemical and Engineering Aspects*. **154**(1-2), 87-96. DOI: 10.1016/S0927-7757(98)00911-X. ISSN 09277757. Dostupné také z: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S092777579800911X>
- [57] FUKUDA, Kyue, Hiroshi FUJIMOTO, Yuji SATOH, Tatsuo TABATA, Takashi OKA, Shuich OKUDA a Ryoichi TANIGUCHI, 1986. The effect of high gamma-ray doses on the thermal properties of muscovite mica: Application to dosimetry. *Nuclear Instruments and Methods in Physics Research Section A: Accelerators, Spectrometers, Detectors and Associated Equipment*. **251**(2), 374-379. DOI: 10.1016/0168-9002(86)90804-1. ISSN 01689002. Dostupné také z: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/0168900286908041>
- [58] ZHANG, S.X., J. LIU, J. ZENG, et al., 2015. Effects of swift heavy ion irradiation parameters on optical properties of muscovite mica. *Nuclear Instruments and Methods in Physics Research Section B: Beam Interactions with Materials and Atoms*. **343**, 5-8. DOI: 10.1016/j.nimb.2014.10.028. ISSN 0168583X. Dostupné také z: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0168583X14008775>
- [59] GRIDI-BENNADJI, F., D. CHATEIGNER, G. DI VITA a P. BLANCHART, 2009. Mechanical properties of textured ceramics from muscovite-kaolinite alternate layers. *Journal of the European Ceramic Society*. **29**(11), 2177-2184. DOI: 10.1016/j.jeurceramsoc.2009.01.004. ISSN 09552219. Dostupné také z: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0955221909000089>
- [60] TARUTA, Seiichi, Ryuji FUJISAWA a Kunio KITAJIMA, 2006. Preparation and mechanical properties of machinable alumina/mica composites. *Journal of the European Ceramic Society*. **26**(9), 1687-1693. DOI: 10.1016/j.jeurceramsoc.2005.03.258. ISSN 09552219. Dostupné také z: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0955221905004425>
- [61] ALVES, Hugo P.A., Rubens A. JUNIOR, Lizabetha F.A. CAMPOS, Ricardo P.S. DUTRA, João P.F. GRILO, Francisco J.A. LOUREIRO a Daniel A. MACEDO, 2017. Structural study of mullite based ceramics derived from a mica-rich kaolin waste. *Ceramics International*. **43**(4), 3919-3922. DOI: 10.1016/j.ceramint.2016.12.035. ISSN 02728842. Dostupné také z: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0272884216322842>
- [62] ČSN EN 196-1 (722100), 2016. *Metody zkoušení cementu: Část 1: Stanovení pevnosti*. Výzkumný ústav maltovin Praha.
- [63] EPOXY: Epoxy resins, *GRM-systems* [online]. Olomouc: GRM Systems [cit. 2020-05-01]. Dostupné z: <http://www.grm-systems.cz/en/epoxy>

- [64] DOLNÍČEK, Zdeněk a Petr SULOVSKÝ, 2013. *Laboratorní metody výzkumu*. Olomouc: Univerzita Palackého v Olomouci. ISBN 978-80-244-3833-7.
- [65] ŠILER, Pavel, Iva KOLÁŘOVÁ a Halina SZKLORZOVÁ, 2015. *Instrumentation in materials engineering*. Brno.
- [66] Strength-of-Materials lab: Compression Test on Mild Steel, 2016. *Virtual Labs* [online]. [cit. 2020-04-25]. Dostupné z: <http://sm-nitk.vlabs.ac.in/exp15/index.html>
- [67] Strength-of-Materials Lab: Bending Test on Mild Steel, 2016. *Virtual Labs* [online]. [cit. 2020-04-25]. Dostupné z: <http://sm-nitk.vlabs.ac.in/exp11/index.html>
- [68] ČSN EN ISO 178 (640607), 2019. *Plasty - Stanovení ohybových vlastností*. Zlín: Institut pro testování a certifikaci.
- [69] ČSN EN ISO 179-1/1EU (640612), 2011. *Plasty - Stanovení rázové houževnatosti metodou Charpy: Část 1: Neinstrumentovaná rázová zkouška*. Zlín: Institut pro testování a certifikaci; Unipetrol.
- [70] PTÁČEK, Petr, 2012. *Praktikum z preparativních a testovacích metod II.: soubor návodů pro laboratorní cvičení ze zkušebních metod keramických materiálů a surovin používaných v jejich výrobě*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta chemická. ISBN 978-80-214-4435-5.
- [71] ČSN 72 1008 (721008), 1982. *Keramické suroviny a zrněné hmoty. Společná ustanovení o zkouškách a zkušebních vzorcích*.
- [72] ČSN 72 1009 (721009), 1983. *Příprava konečného vzorku pro chemické a fyzikální zkoušky keramických výrobků a surovin*.
- [73] Optical Microscopes, *Olympus* [online]. [cit. 2020-04-24]. Dostupné z: <https://www.olympus-ims.com/en/microscope/terms/feature10/>
- [74] STEREO MICROSCOPE BASICS, *OPTIMAX* [online]. England & Wales [cit. 2020-04-24]. Dostupné z: <https://optimaxonline.com/newsdetails.php?newsId=1>
- [75] ŠULCOVÁ, Petra a Ludvík BENEŠ, 2008. *Experimentální metody v anorganické technologii*. Vyd. 2. Pardubice: Univerzita Pardubice. ISBN 978-80-7395-058-3.
- [76] Mineralogie: Systém silikátů III. *Technická Univerzita Ostrava: Hornickogeologická fakulta, katedra geologického inženýrství* [online]. [cit. 2020-05-22]. Dostupné z: <http://geologie.vsb.cz/malis/Mineralogie%20p%C5%99edn%C3%A1%C5%A1ky/10%20Mineralogie%20-%20syst%C3%A9m%20silik%C3%A1ty%20III.pdf>
- [77] HLAVÁČ, Jan, 1981. *Základy technologie silikátů*. Praha: SNTL-Nakladatelství technické literatury. ISBN 978-4-431-53913-1.

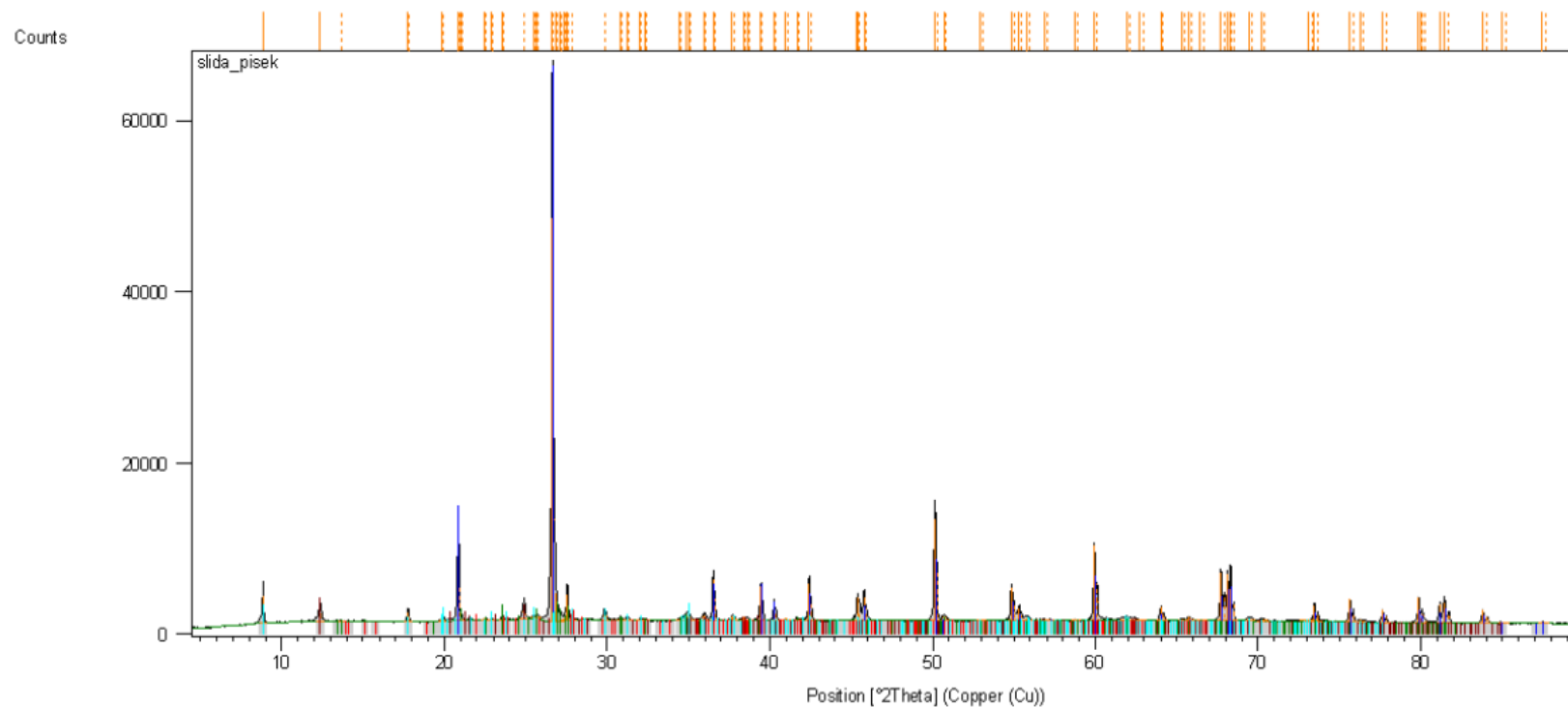
7 SEZNAM POUŽITÝCH ZKRATEK

ČSN	Česká technická norma (československá či česká státní norma)
DTA	Diferenční termická analýza
EN	Evropská norma
EP	Epoxidová pryskyřice
GHS	Globálně harmonizovaný systém klasifikace a označování chemikálií
ISO	Mezinárodní organizace pro normalizaci
LED	Elektroluminiscenční dioda (Light-emitting diode)
REE	Prvky vzácných zemin (Rare-earth element)
RTG	Rentgen
SEM	Rastrovací elektronový mikroskop (Scanning electron microscope)
SP	Superplastifikátor
TG	Termogravimetrie
UV	Ultra-violet (ultrafialové světlo)
XRD	Rentgenová difrakce (X-ray diffraction)
ŽP	Životní prostředí

8 SEZNAM PŘÍLOH

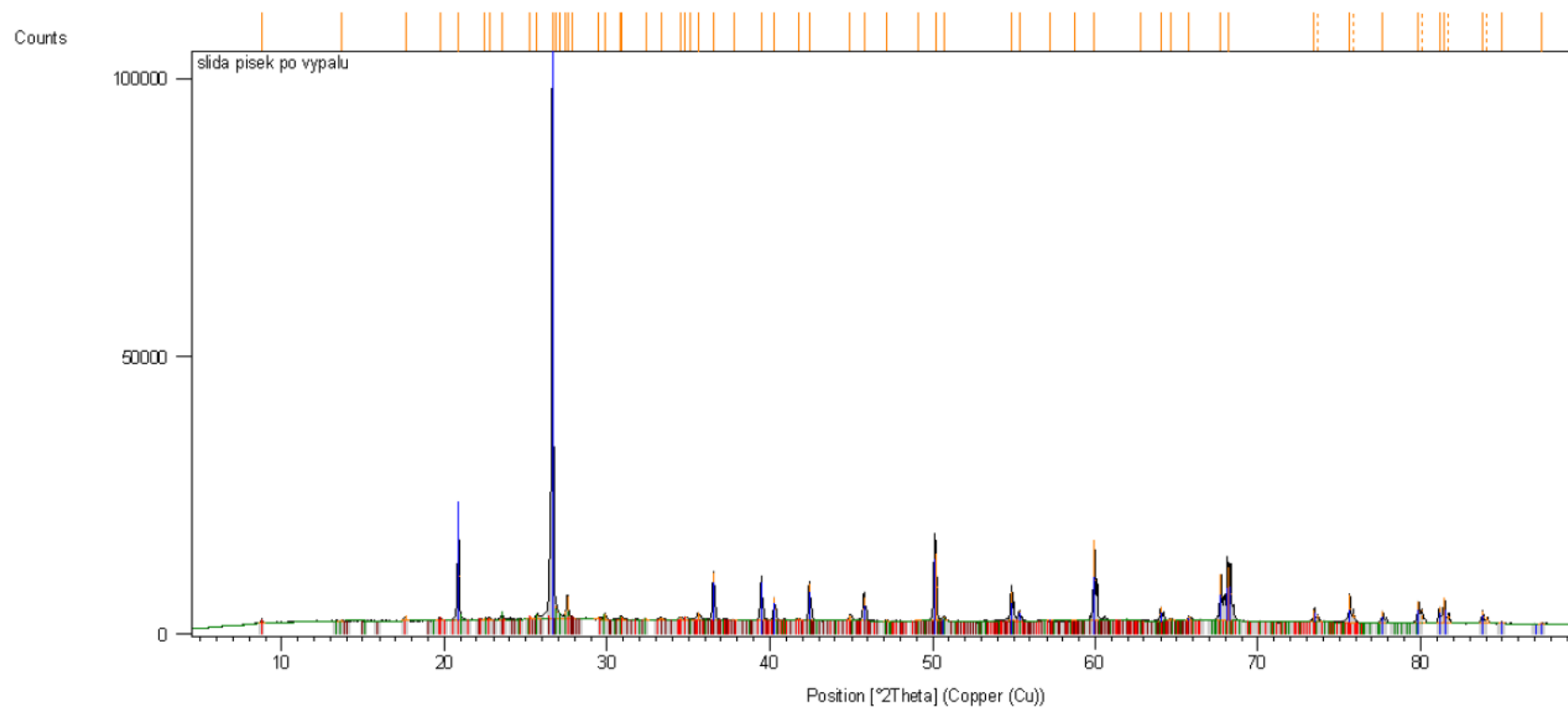
- Příloha 1: Difraktogram nevytříděného slídového separátu.
- Příloha 2: Difraktogram nevytříděného slídového separátu po výpalu na 1 000 °C.
- Příloha 3: Difraktogram magnetického separátu z nevytříděného slídového separátu.
- Příloha 4: Difraktogram frakce menší než 0,063 mm nevytříděného slídového separátu.
- Příloha 5: Difraktogram frakce 0,063–0,10 mm nevytříděného slídového separátu.
- Příloha 6: Difraktogram frakce 0,1–0,4 mm nevytříděného slídového separátu.
- Příloha 7: Difraktogram frakce 0,4–1,0 mm nevytříděného slídového separátu.
- Příloha 8: Difraktogram vytříděného slídového separátu před přečištěním.
- Příloha 9: Difraktogram vytříděného slídového separátu po pročištění.
- Příloha 10: Difraktogram vytříděného slídového separátu po výpalu na 1 300 °C.
- Příloha 11: Difraktogram kaolinového tělesa po výpalu na 1 300 °C.
- Příloha 12: Difraktogram kaolinového tělesa s 5 hm. % slídového separátu po výpalu na 1 300 °C.
- Příloha 13: Difraktogram kaolinového tělesa s 10 hm. % slídového separátu po výpalu na 1 300 °C.
- Příloha 14: Difraktogram kaolinového tělesa s 20 hm. % slídového separátu po výpalu na 1 300 °C.
- Příloha 15: Difraktogram kaolinového tělesa s 30 hm. % slídového separátu po výpalu na 1 300 °C.
- Příloha 16: Difraktogram kaolinového tělesa s 40 hm. % slídového separátu po výpalu na 1 300 °C.
- Příloha 17: Difraktogram kaolinového tělesa s 50 hm. % slídového separátu po výpalu na 1 300 °C.
- Příloha 18: Difraktogram vytříděného slídového separátu po výpalu na 1 000 °C.
- Příloha 19: Difraktogram tělesa z keramické hlíny po výpalu na 1 000 °C.
- Příloha 20: Difraktogram tělesa z keramické hlíny s 5 hm. % slídového separátu po výpalu na 1 000 °C.
- Příloha 21: Difraktogram tělesa z keramické hlíny s 10 hm. % slídového separátu po výpalu na 1 000 °C.
- Příloha 22: Difraktogram tělesa z keramické hlíny s 20 hm. % slídového separátu po výpalu na 1 000 °C.
- Příloha 23: Difraktogram tělesa z keramické hlíny s 30 hm. % slídového separátu po výpalu na 1 000 °C.
- Příloha 24: Difraktogram tělesa z keramické hlíny s 40 hm. % slídového separátu po výpalu na 1 000 °C.
- Příloha 25: Difraktogram tělesa z keramické hlíny s 50 hm. % slídového separátu po výpalu na 1 000 °C.

9 PŘÍLOHY



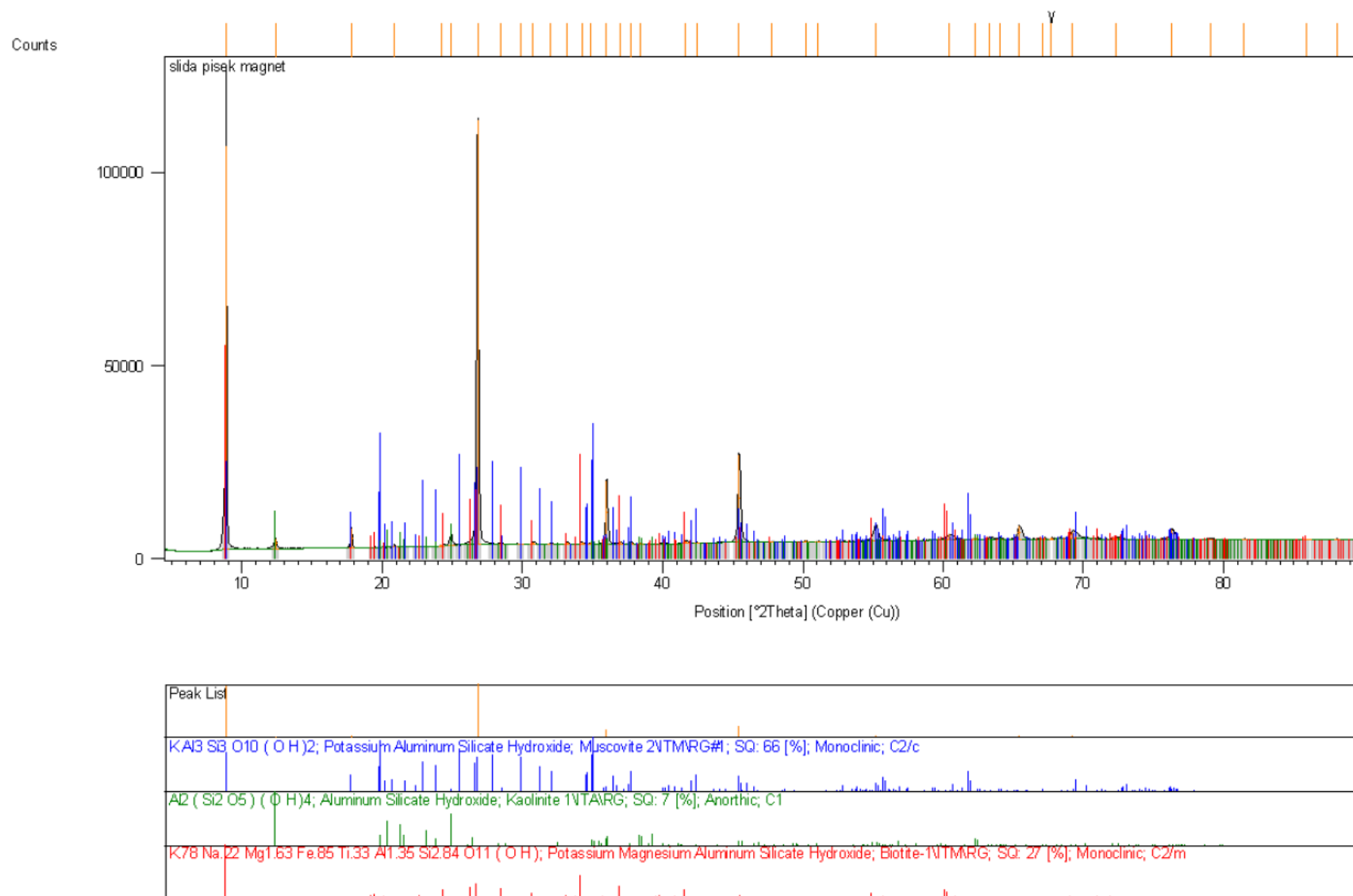
Peak List
Si O2; Silicon Oxide; Quartz; SQ: 62 [%]; Hexagonal; P3221
K4 Al4 Si12 O32; Potassium Aluminum Silicate; Orthoclase; SQ: 9 [%]; Monoclinic; C2/m
(Na0.84 Ca0.16) Al1.16 Si2.84 O8; Sodium Calcium Aluminum Silicate; Albite calcian low; SQ: 6 [%]; Anorthic; C-1
Al2 (Si2 O5) (OH)4; Aluminum Silicate Hydroxide; Kaolinite 1\TARG; SQ: 8 [%]; Anorthic; C1
(K0.82 Na0.18) (Fe0.03 Al1.97) (Al Si3) O10 (OH)2; Potassium Sodium Iron Aluminum Silicate Hydroxide; Muscovite 2\TARG#1; SQ: 16 [%]; Monoclinic; C2/c

Příloha 1: Difraktogram nevytřídněného slídového separátu.

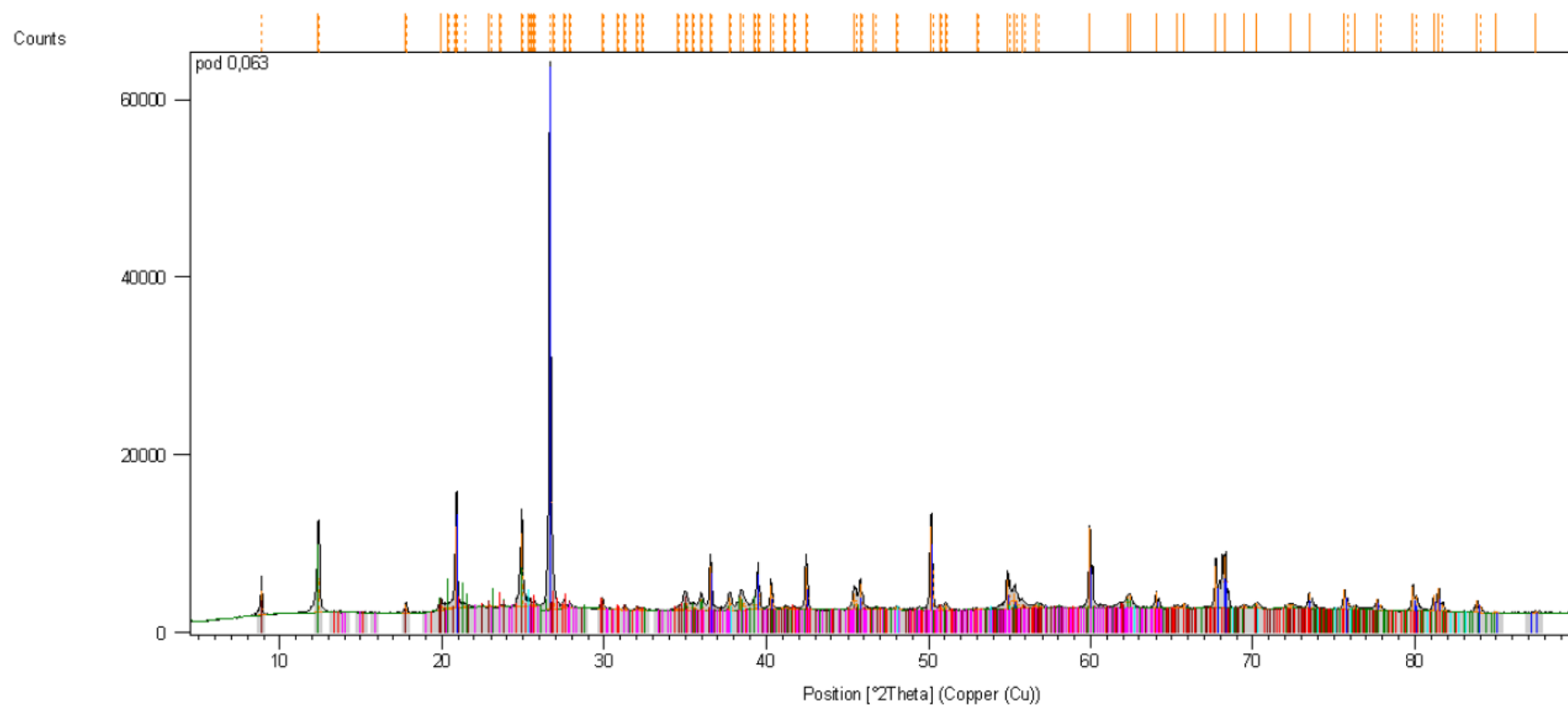


Peak List
Si O ₂ ; Silicon Oxide; Quartz; SQ: 87 [%]; Hexagonal; P3121
(K _{0.94} Na _{0.06}) (Al ₃ Si ₃ O ₈) ₂ ; Potassium Aluminum Silicate; Orthoclase; SQ: 6 [%]; Monoclinic; C2/m
(K _{0.82} Na _{0.18}) (Fe _{0.03} Al _{1.97}) (Al ₃ Si ₃ O ₈) ₂ (OH) ₂ ; Potassium Sodium Iron Aluminum Silicate Hydroxide; Muscovite 2/1TMRG#1; SQ: 5 [%]; Monoclinic; C2/c
Na (Al ₃ Si ₃ O ₈) ₂ ; Sodium Aluminum Silicate; Albite low; SQ: 2 [%]; Anorthic; C-1

Příloha 2: Difraktogram nevytříděného slídového separátu po vypalu na 1 000 °C.

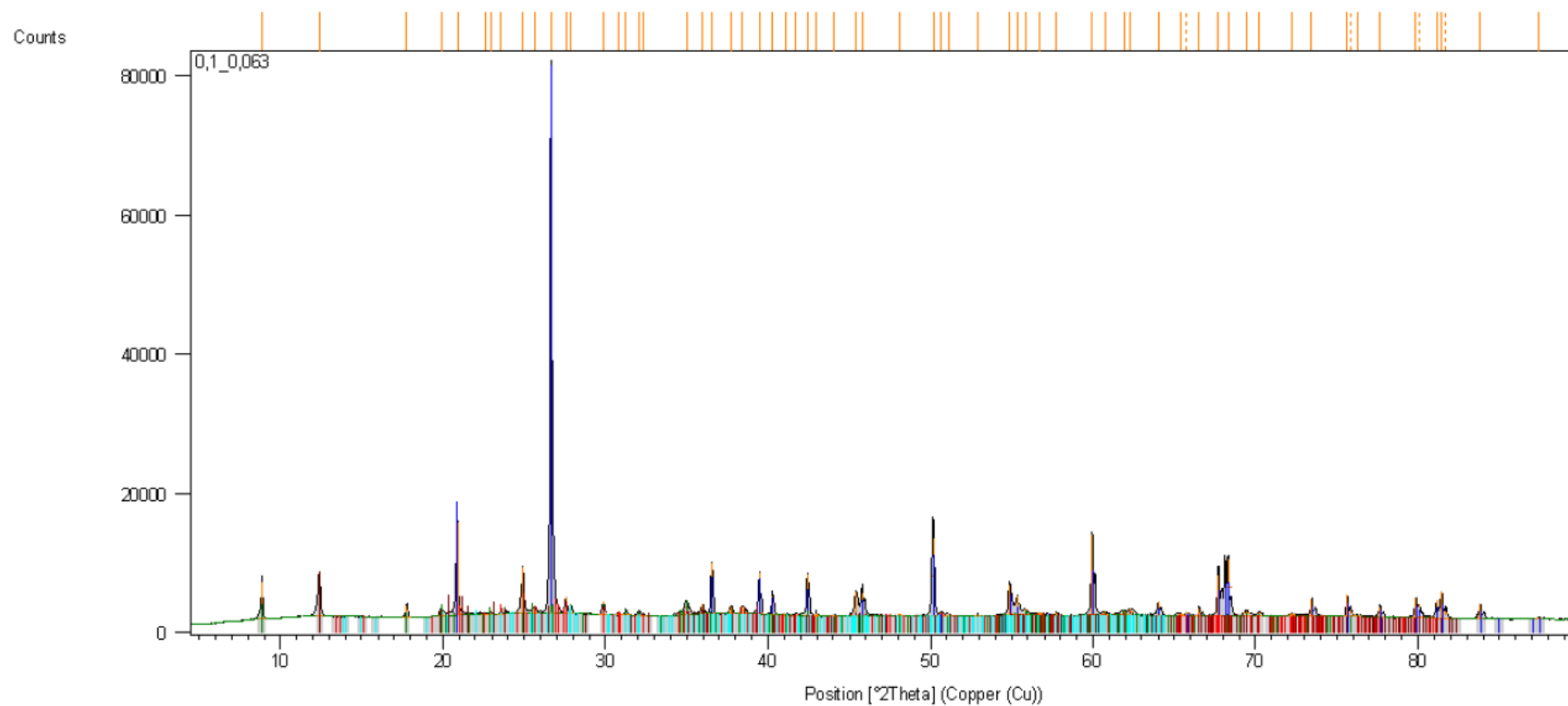


Příloha 3: Difraktogram magnetického separátu z nevytříděného slídového separátu.



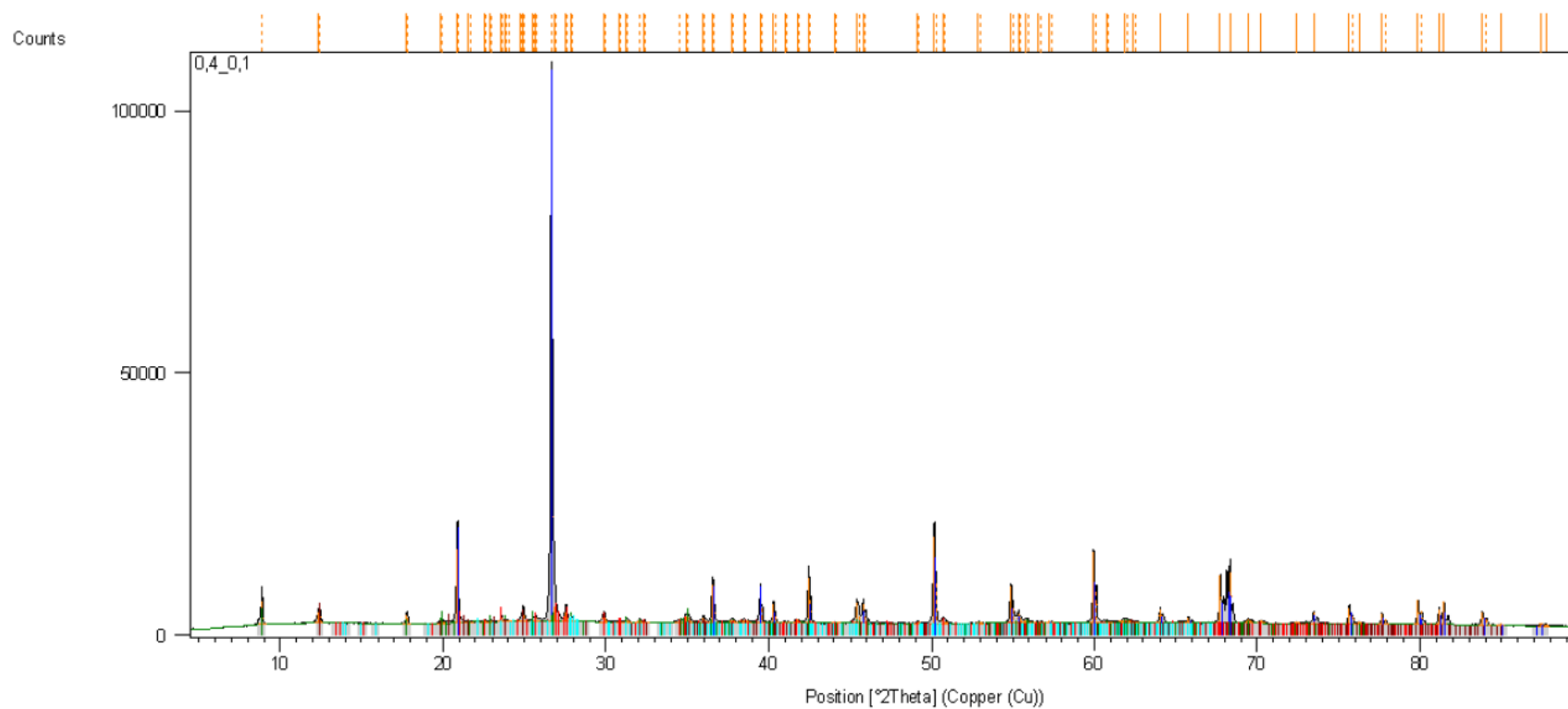
Peak List
Si O ₂ ; Silicon Oxide; Quartz; SQ: 56 [%]; Hexagonal; P3221
Al ₂ (Si ₂ O ₅) (OH) ₄ ; Aluminum Silicate Hydroxide; Kaolinite 1VTARG; SQ: 21 [%]; Anorthic; C1
K (Al Si ₃ O ₈); Potassium Aluminum Silicate; Orthoclase; SQ: 8 [%]; Monoclinic; C2/m
(K _{0.82} Na _{0.18}) (Fe _{0.03} Al _{1.97}) (Al Si ₃) O ₁₀ (OH) ₂ ; Potassium Sodium Iron Aluminum Silicate Hydroxide; Muscovite 2ITMRG#1; SQ: 12 [%]; Monoclinic; C2/c
Ti O ₂ ; Titanium Oxide; Anatase; SQ: 1 [%]; Tetragonal; I41/amd
(Na _{0.98} Ca _{0.02}) (Al _{1.02} Si _{2.98} O ₈); Sodium Calcium Aluminum Silicate; Albite; SQ: 2 [%]; Anorthic; C-1

Příloha 4: Difraktogram frakce menší než 0,063 mm nevytříděného slídového separátu.



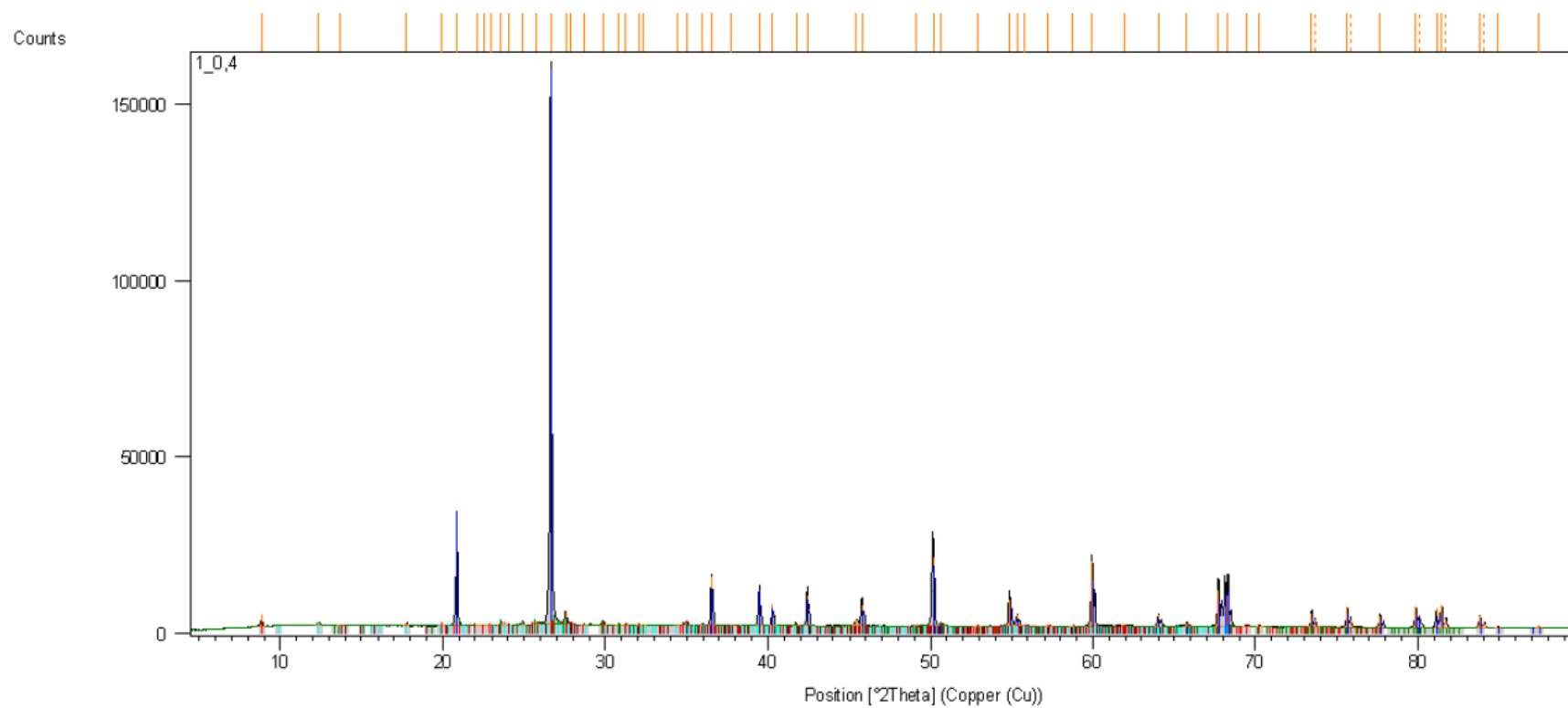
Peak List
Si O ₂ ; Silicon Oxide; Quartz; SQ: 61 [%]; Hexagonal; P3221
(K _{0.82} Na _{0.18}) (Fe _{0.03} Al _{1.97}) (Al Si ₃) O ₁₀ (OH) ₂ ; Potassium Sodium Iron Aluminum Silicate Hydroxide; Muscovite ZIMRG#1; SQ: 13 [%]; Monoclinic; C2/c
K (Al Si _{3.02} O ₈); Potassium Aluminum Silicate; Orthoclase; SQ: 6 [%]; Monoclinic; C2/m
Al ₂ (Si ₂ O ₅) (OH) ₄ ; Aluminum Silicate Hydroxide; Kaolinite 1VTA\RG; SQ: 15 [%]; Anorthic; C1
(Na _{0.98} Ca _{0.02}) (Al _{1.02} Si _{2.98} O ₈); Sodium Calcium Aluminum Silicate; Albite; SQ: 4 [%]; Anorthic; C-1

Příloha 5: Difraktogram frakce 0,063–0,10 mm nevytříděného slídového separátu.



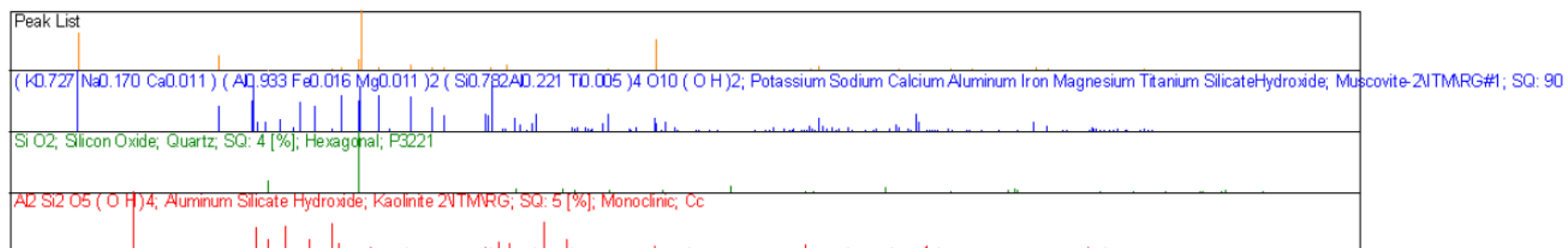
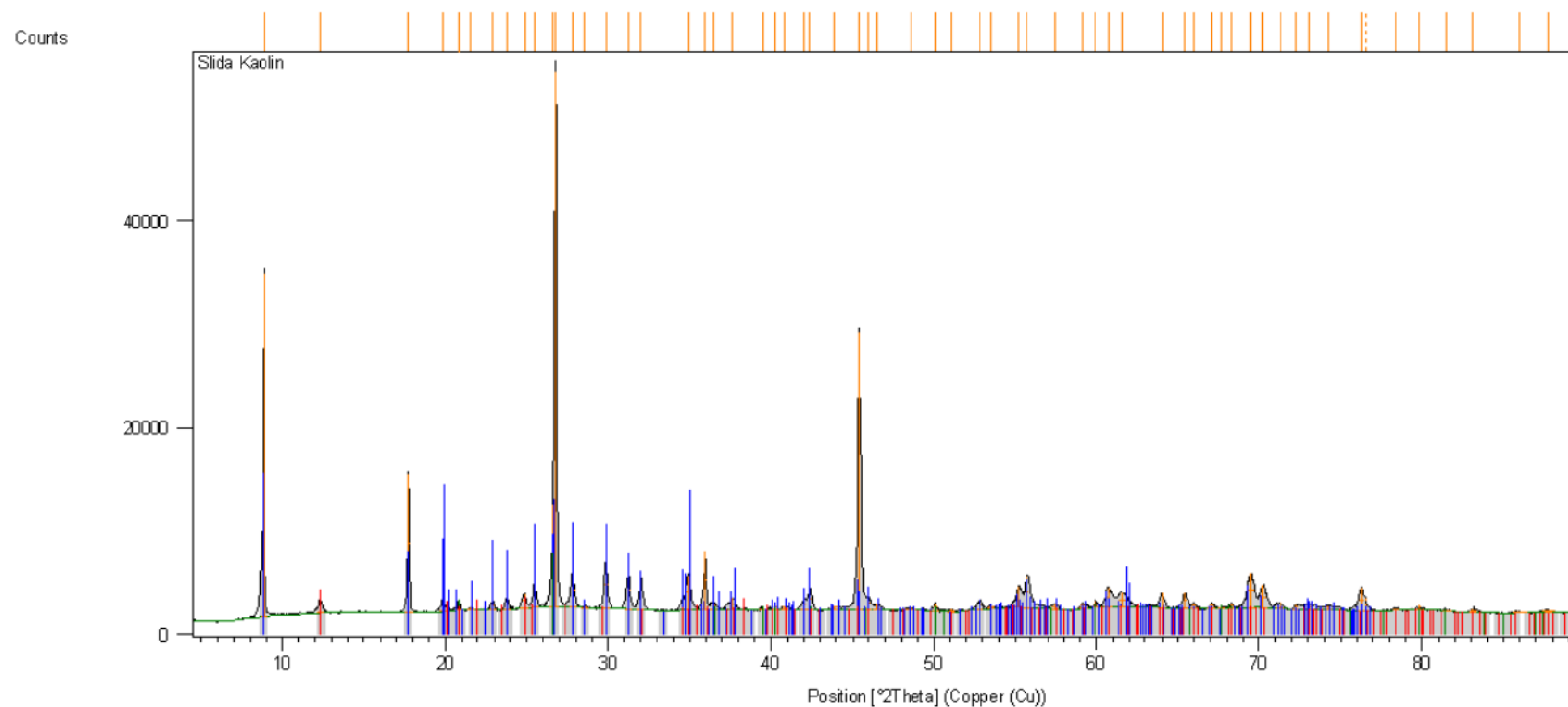
Peak List
Si O ₂ ; Silicon Oxide; Quartz; SQ: 65 [%]; Hexagonal; P3221
(K _{0.82} Na _{0.18})(Fe _{0.03} Al _{1.97})(Al ₃ Si ₃)O ₁₀ (OH) ₂ ; Potassium Sodium Iron Aluminum Silicate Hydroxide; Muscovite Z1TMRG#1; SQ: 15 [%]; Monoclinic; C2/c
K(Al ₃ Si ₃ O ₈); Potassium Aluminum Silicate; Orthoclase; SQ: 9 [%]; Monoclinic; C2/m
Al ₂ (Si ₂ O ₅)(OH) ₄ ; Aluminum Silicate Hydroxide; Kaolinite 1VTAIRG; SQ: 7 [%]; Anorthic; C1
Na(Al ₃ Si ₃ O ₈); Sodium Aluminum Silicate; Albite law; SQ: 4 [%]; Anorthic; C-1

Příloha 6: Difraktogram frakce 0,1–0,4 mm nevytříděného slídového separátu.

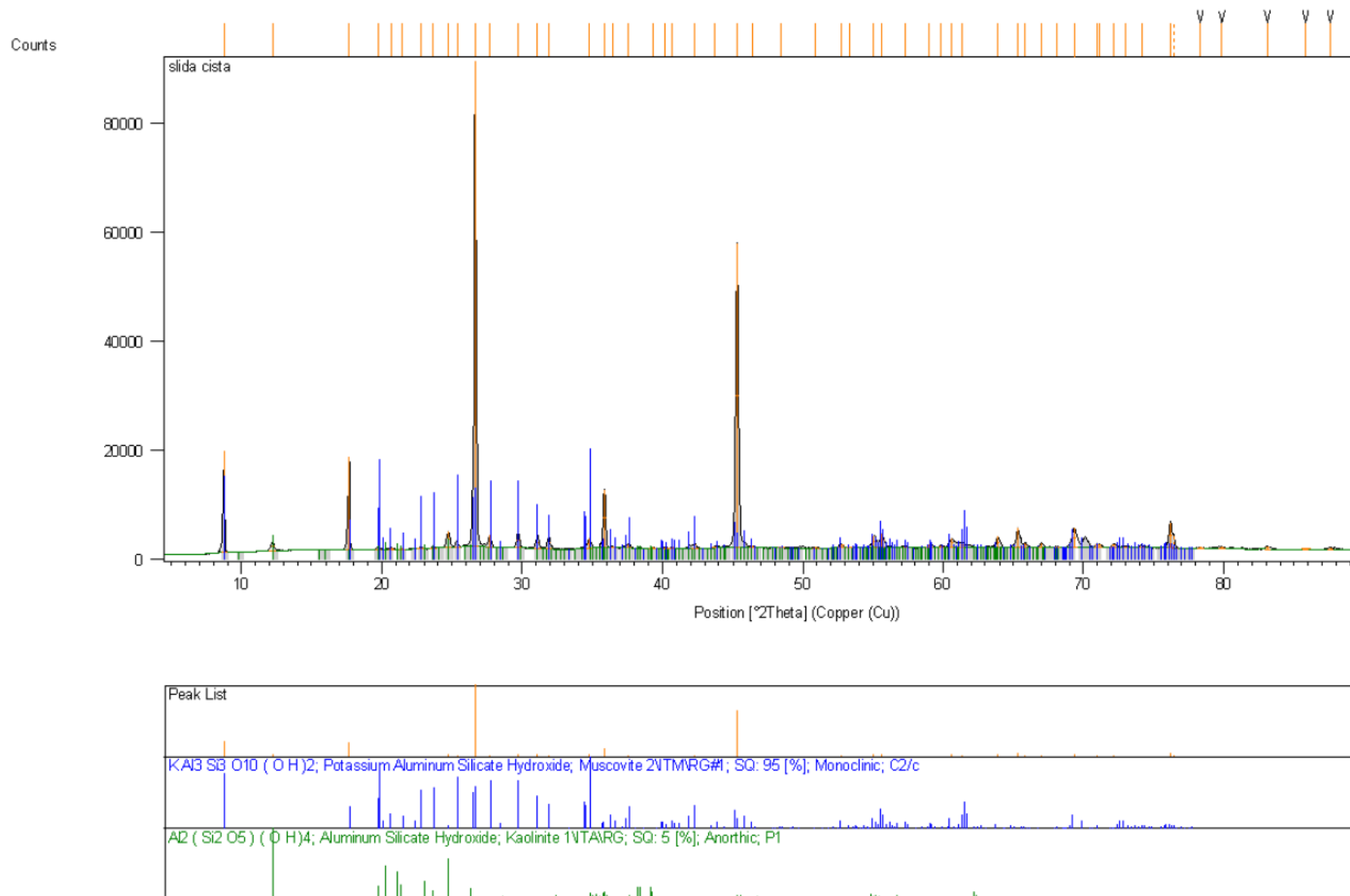


Peak List
Si O ₂ ; Silicon Oxide; Quartz; SQ: 84 [%]; Hexagonal; P3221
K (Al Si ₃ O ₈); Potassium Aluminum Silicate; Orthoclase; SQ: 5 [%]; Monoclinic; C2/m
(K _{0.82} Na _{0.18}) (Fe _{0.03} Al _{1.97}) (Al Si ₃) O ₁₀ (OH) ₂ ; Potassium Sodium Iron Aluminum Silicate Hydroxide; Muscovite 21TMRG#1; SQ: 7 [%]; Monoclinic; C2/c
Al ₂ (Si ₂ O ₅) (OH) ₄ ; Aluminum Silicate Hydroxide; Kaolinite 1VTAIRG; SQ: 2 [%]; Anorthic; P1
Na (Al Si ₃ O ₈); Sodium Aluminum Silicate; Albite; SQ: 2 [%]; Anorthic; C-1

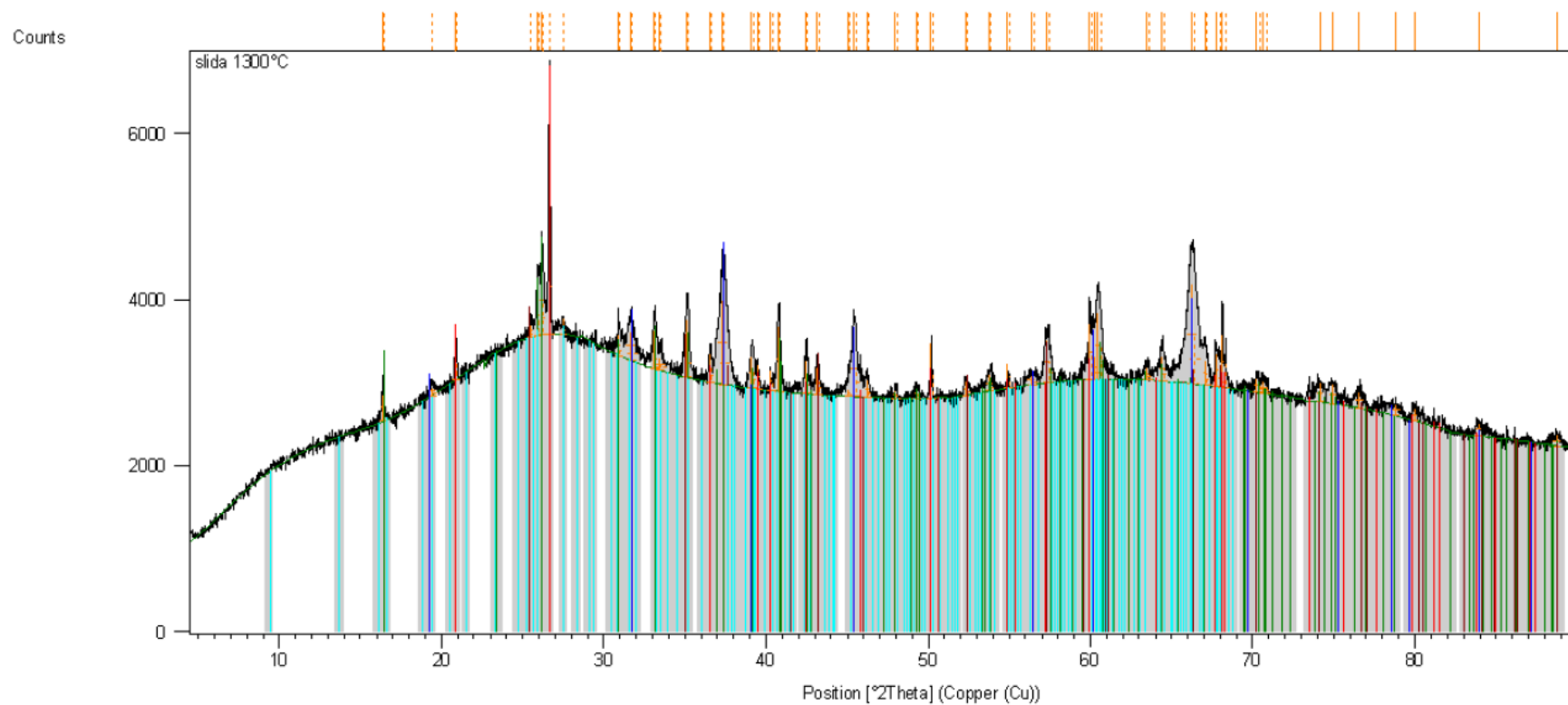
Příloha 7: Difraktogram frakce 0,4–1,0 mm nevytříděného slídového separátu.



Příloha 8: Difraktogram vytříděného slídového separátu před přečištěním.

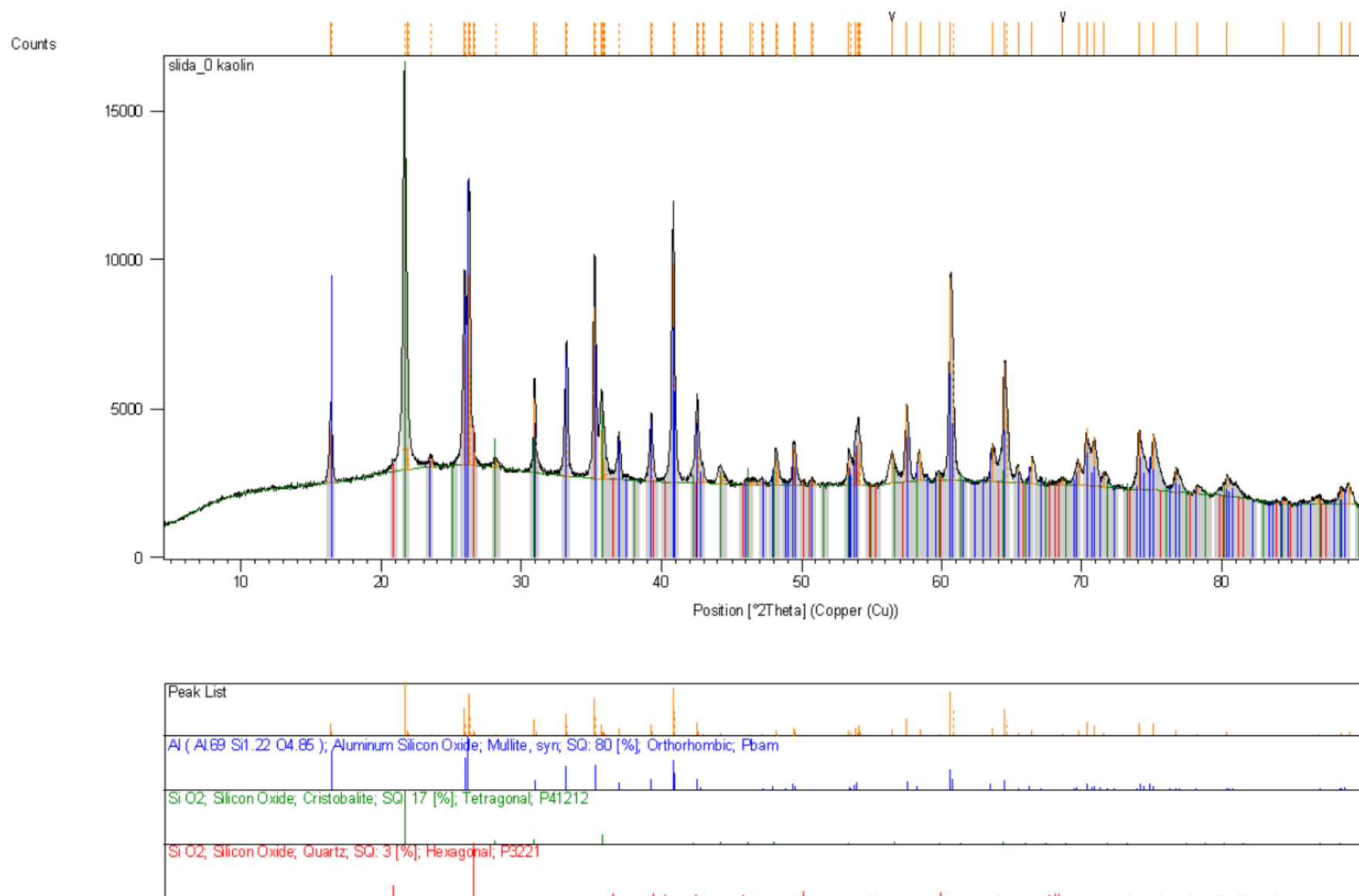


Příloha 9: Difraktogram vytríděného slídového separátu po pročištění.

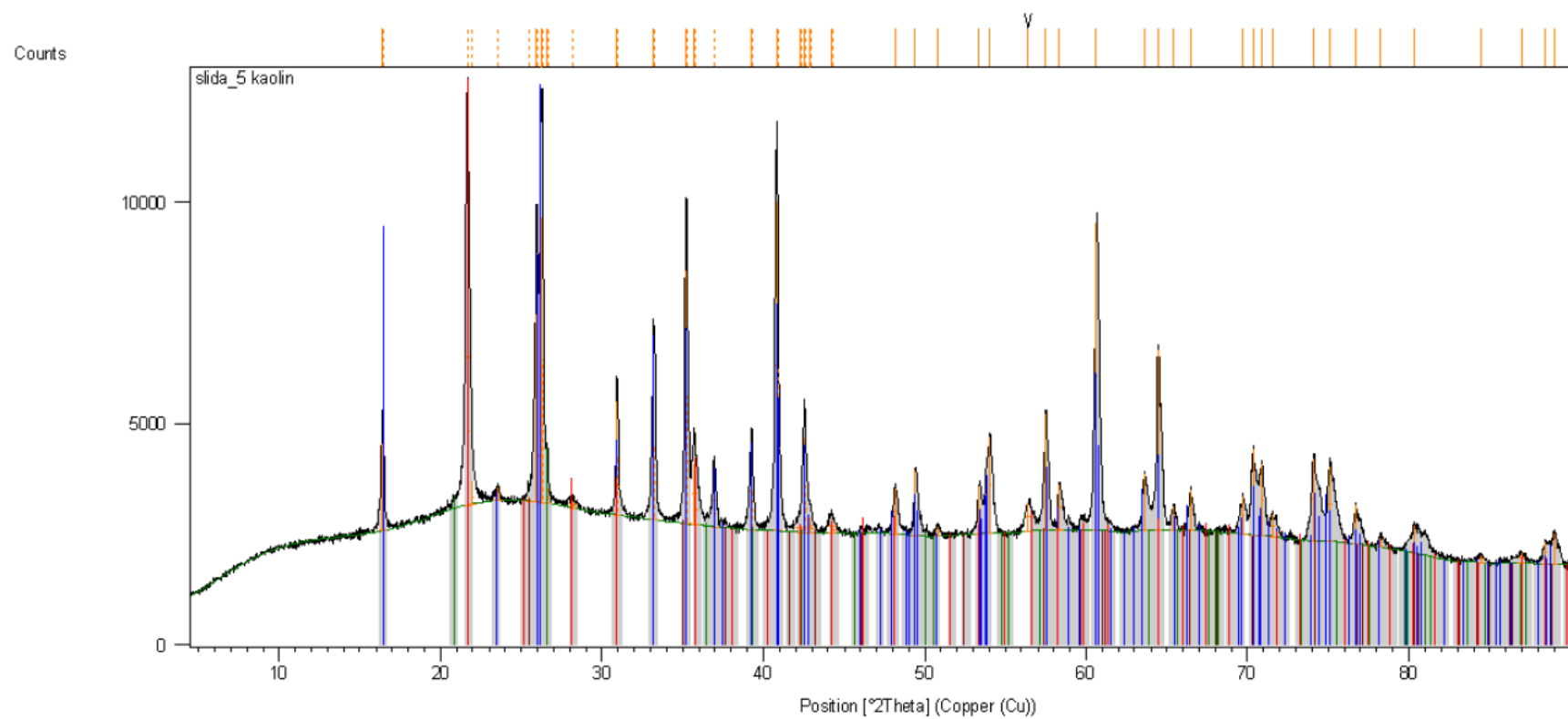


Peak List
(Mg _{0.4} Al _{0.6})Al _{1.8} O ₄ ; Magnesium Aluminum Oxide; Spinel; SQ: 25 [%]; Cubic; Fd-3m
Al (Al ₆₉ Si _{1.22} O _{4.85}); Aluminum Silicon Oxide; Mullite, syn; SQ: 36 [%]; Orthorhombic; Pbam
SiO ₂ ; Silicon Oxide; Quartz; SQ: 25 [%]; Hexagonal; P3121
Al ₂ O ₃ ; Aluminum Oxide; SQ: 12 [%]; Rhombohedral; R-3c
K (Al ₂ Si ₂ O ₆); Potassium Aluminum Silicate; Leucite; SQ: 2 [%]; Tetragonal; I41/a

Příloha 10: Difraktogram vytržiděného slídového separátu po výpalu na 1 300 °C.

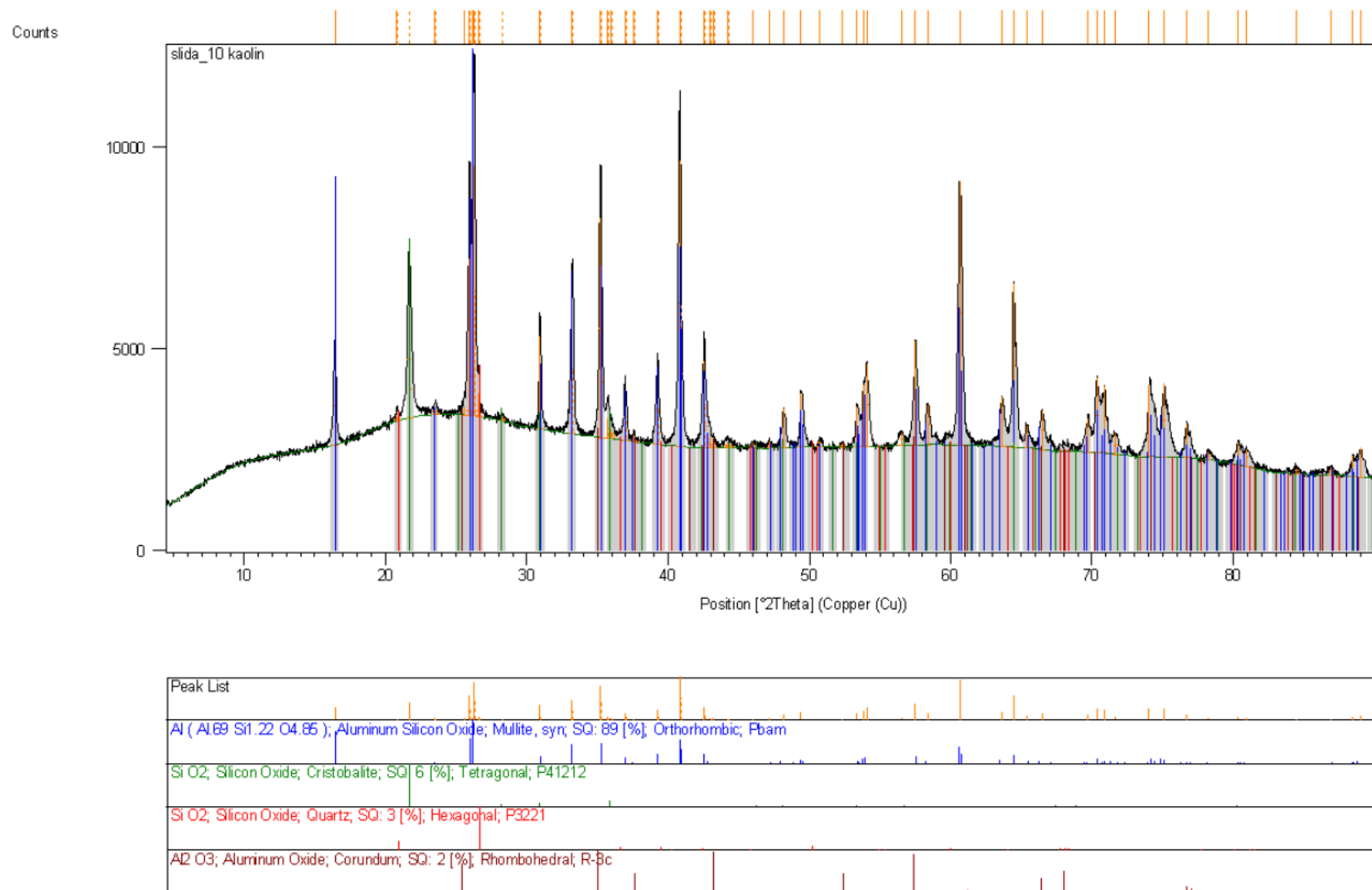


Příloha 11: Difraktogram kaolinového tělesa po výpalu na 1 300 °C.

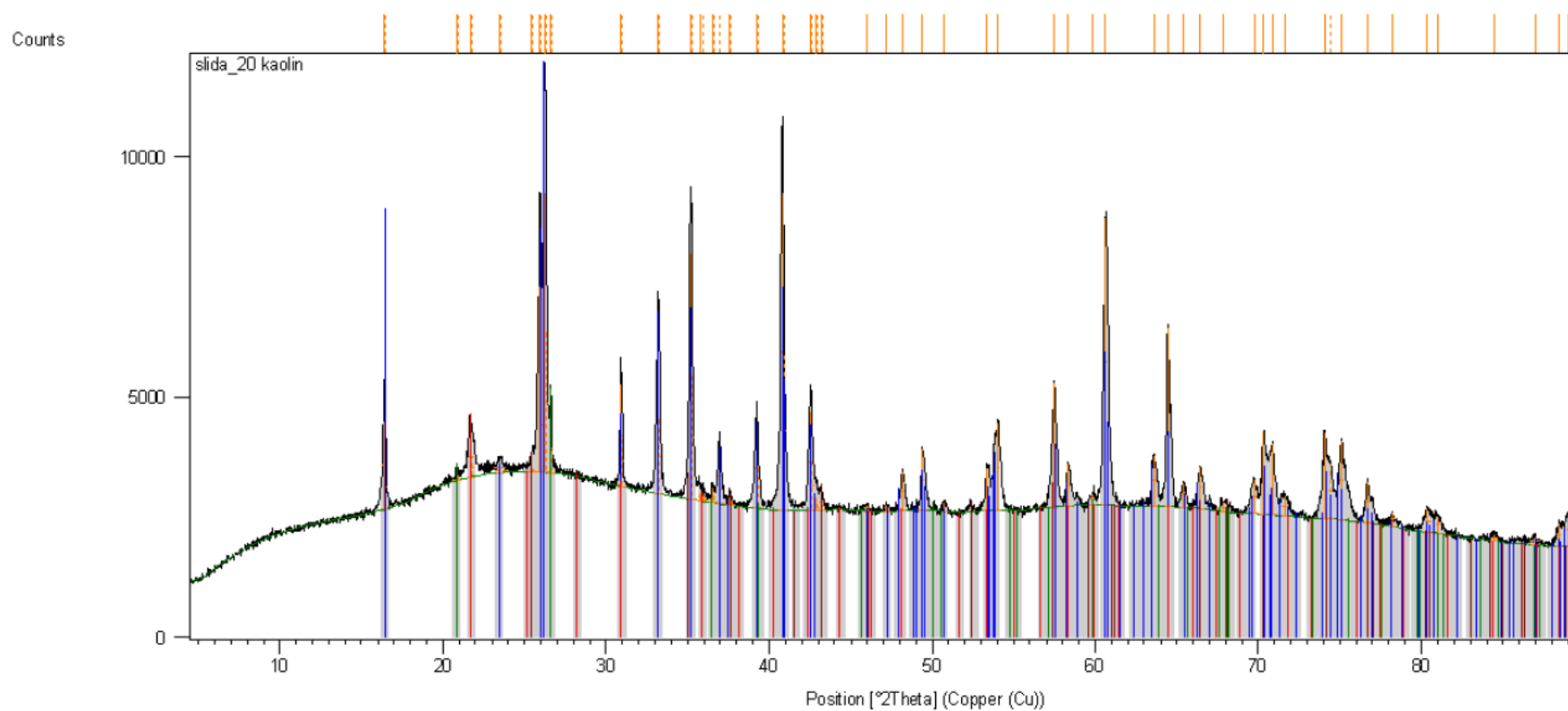


Peak List
Al (Al.69 Si1.22 O4.85); Aluminum Silicon Oxide; Mullite, syn; SQ: 84 [%]; Orthorhombic; Pbam
Si O2; Silicon Oxide; Quartz; SQ: 3 [%]; Hexagonal; P3121
Si O2; Silicon Oxide; Cristobalite; SQ: 12 [%]; Tetragonal; P41212
Al2 O3; Aluminum Oxide; Corundum, syn; SQ: 1 [%]; Rhombohedral; R-3c

Příloha 12: Difraktogram kaolinového tělesa s 5 hm. % slídového separátu po výpalu na 1 300 °C.

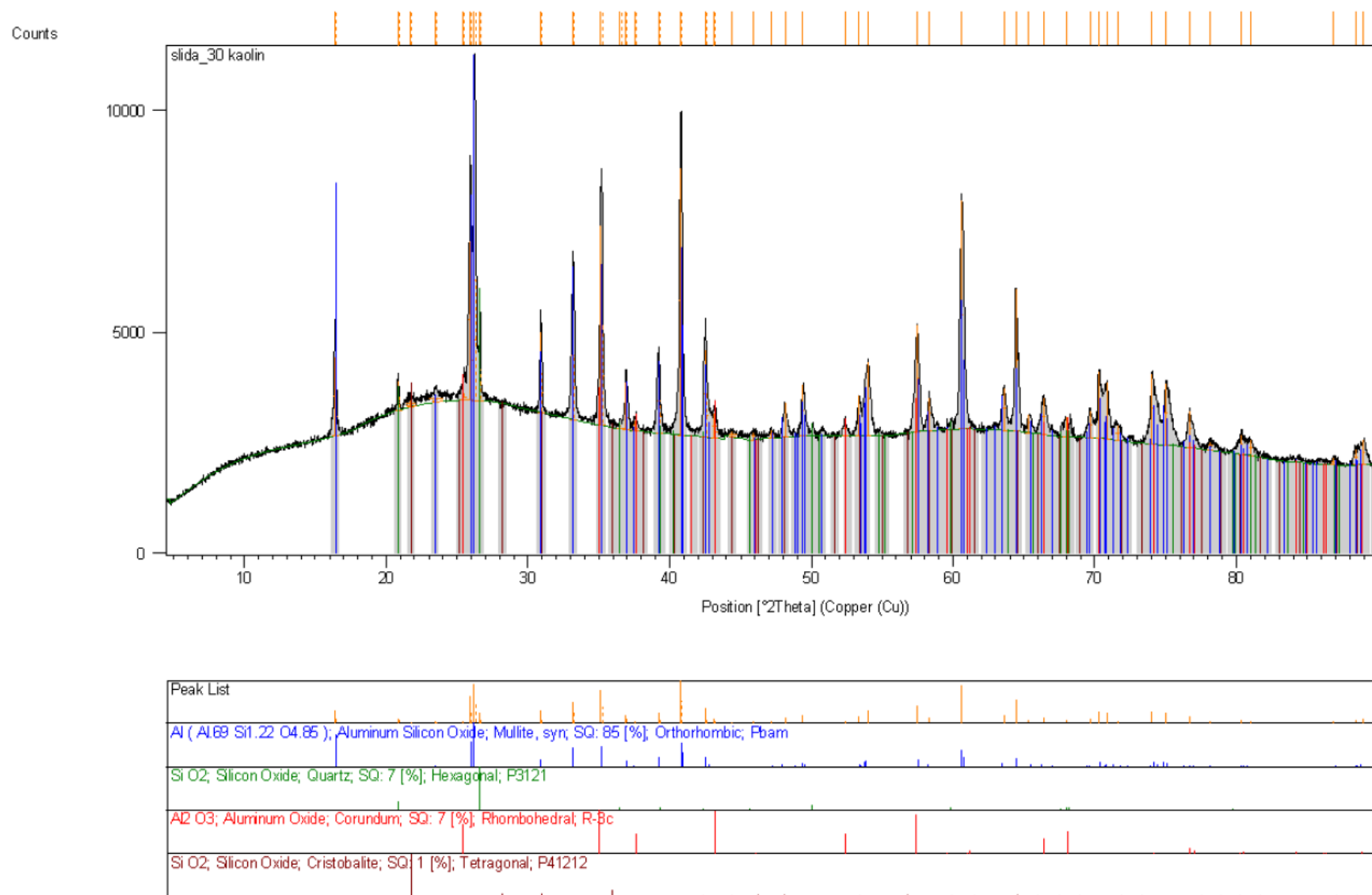


Příloha 13: Difraktogram kaolinového tělesa s 10 hm. % slídového separátu po výpalu na 1 300 °C.

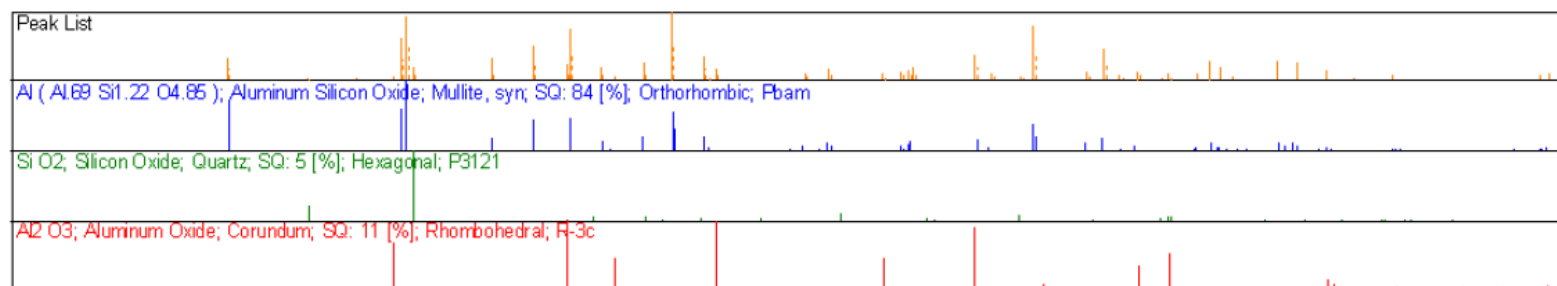
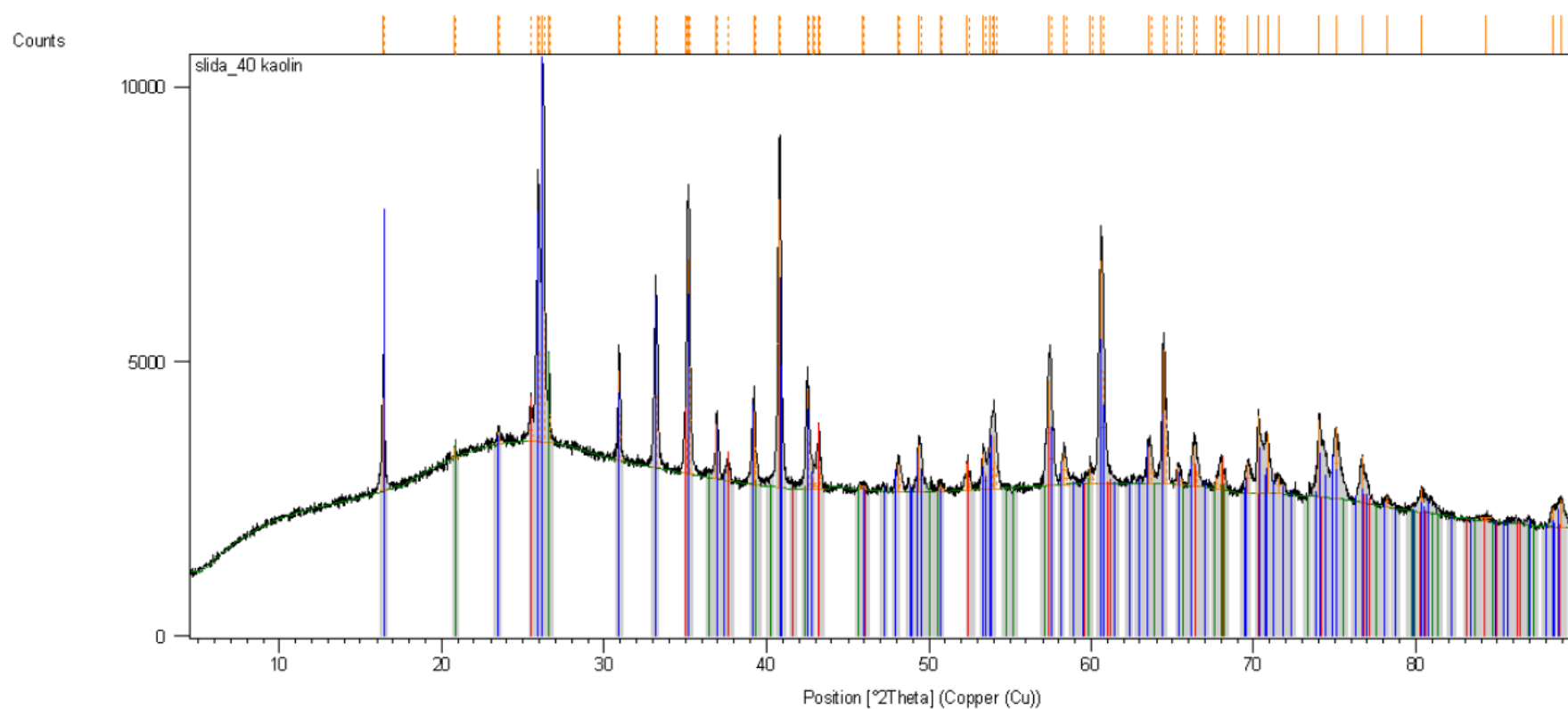


Peak List	
Al (Al69 Si1.22 O4.65); Aluminum Silicon Oxide; Mullite, syn; SQ: 89 [%]; Orthorhombic; Pbam	
Si O2; Silicon Oxide; Quartz; SQ: 5 [%]; Hexagonal; P3121	
Si O2; Silicon Oxide; Cristobalite; SQ: 2 [%]; Tetragonal; P41212	
Al2 O3; Aluminum Oxide; Corundum; SQ: 5 [%]; Rhombohedral; R-3c	

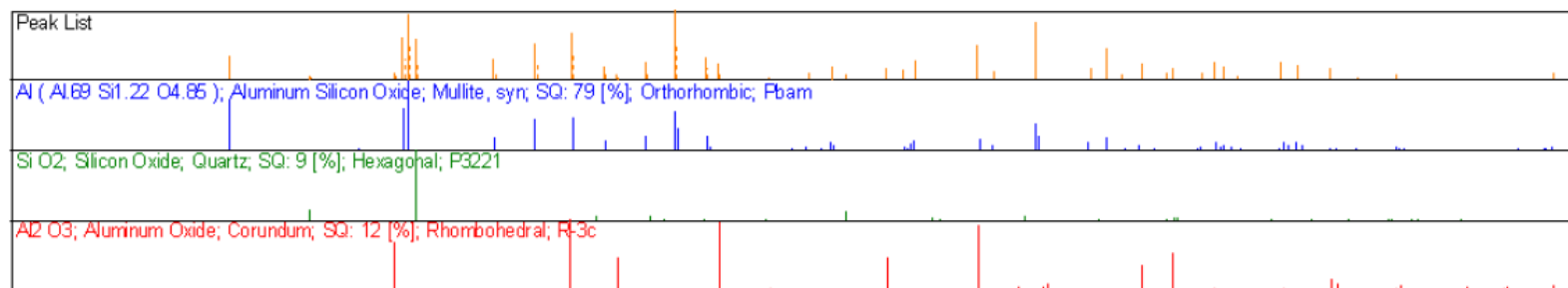
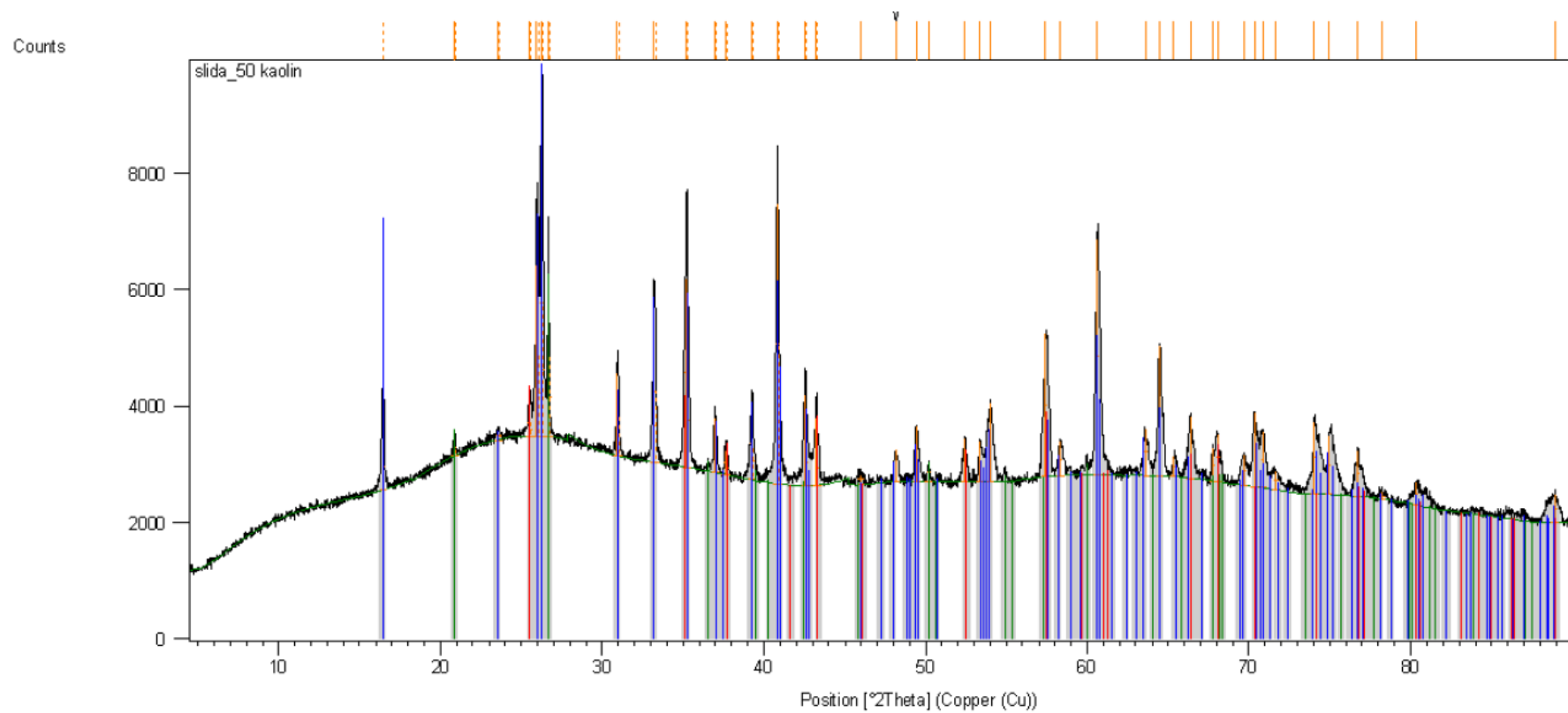
Příloha 14: Difraktogram kaolinového tělesa s 20 hm. % slídového separátu po výpalu na 1 300 °C.



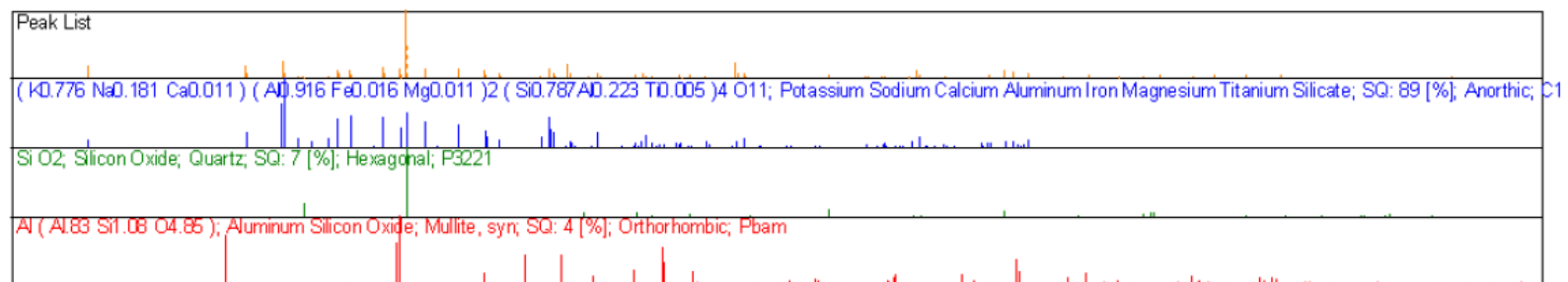
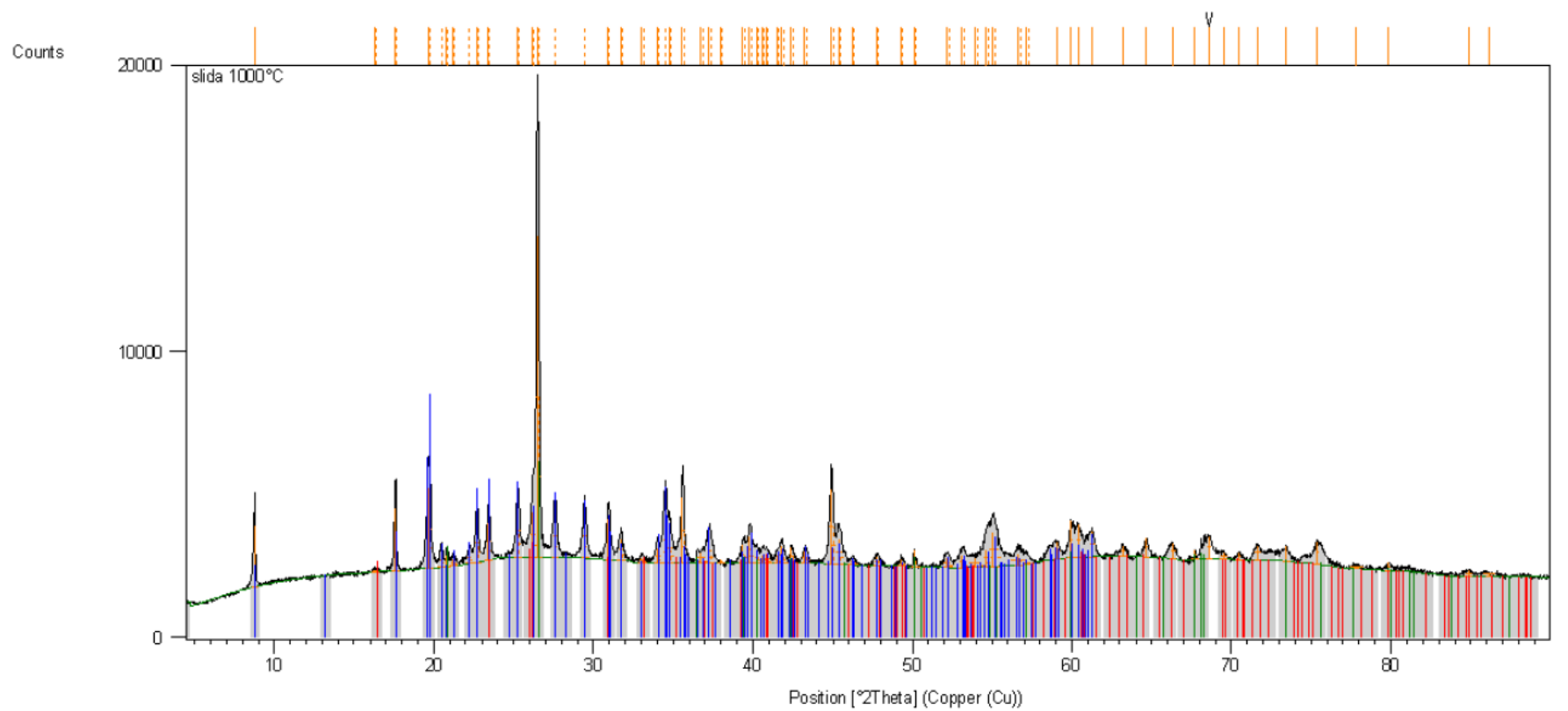
Příloha 15: Difraktogram kaolinového tělesa s 30 hm. % slídového separátu po výpalu na 1 300 °C.



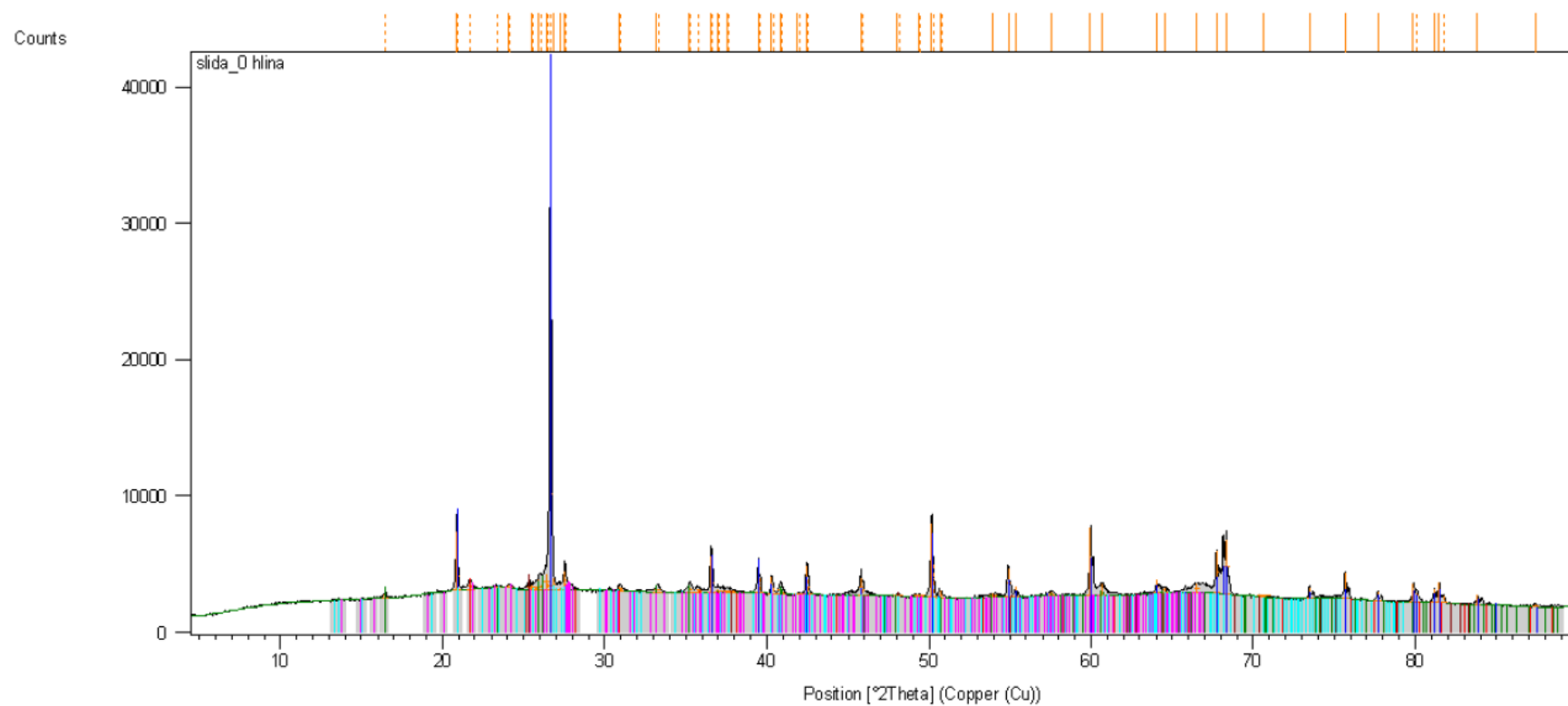
Příloha 16: Difraktogram kaolinového tělesa s 40 hm. % slídového separátu po výpalu na 1 300 °C.



Příloha 17: Difraktogram kaolinového tělesa s 50 hm. % slídového separátu po výpalu na 1 300 °C.

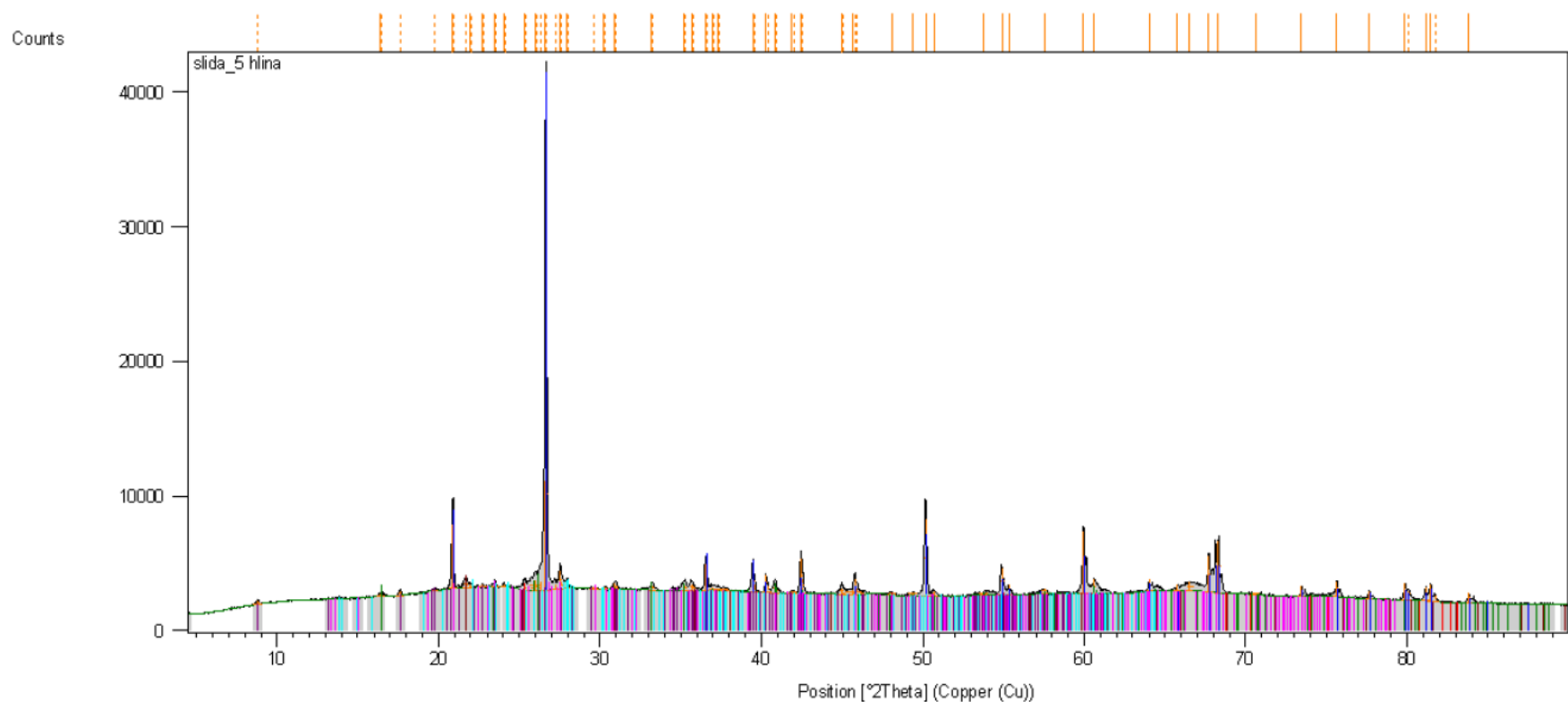


Příloha 18: Difraktogram vytržiděného slídivého separátu po výpalu na 1 000 °C.



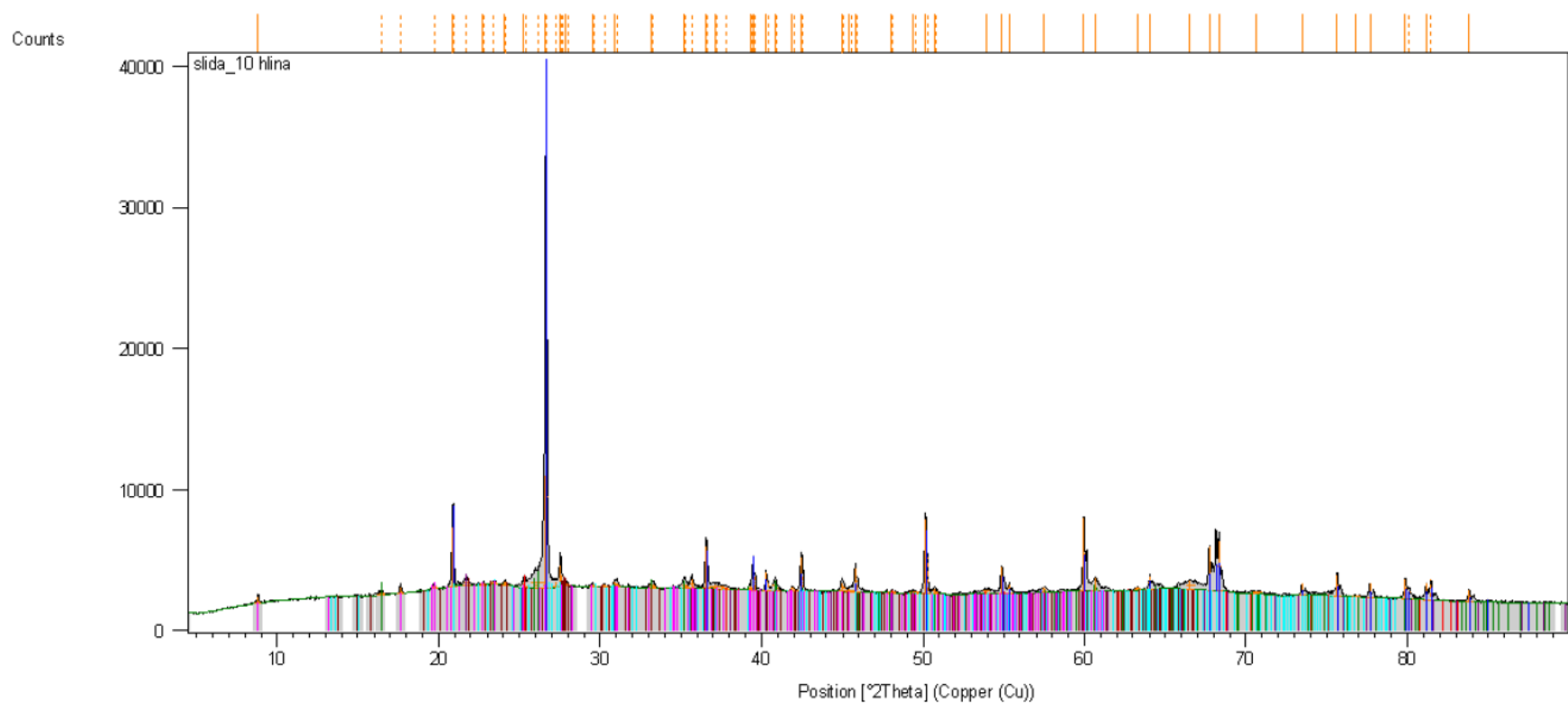
Peak List
Si O ₂ ; Silicon Oxide; Quartz; SQ: 79 [%]; Hexagonal; P3221
Al (Al ₆₉ Si _{1.22} O _{4.85}); Aluminum Silicon Oxide; Mullite, syn; SQ: 9 [%]; Orthorhombic; Pbam
Si O ₂ ; Silicon Oxide; Cristobalite; SQ: 1 [%]; Tetragonal; P41212
Ti O ₂ ; Titanium Oxide; Anatase, syn; SQ: 1 [%]; Tetragonal; I41/amd
KAl Si ₃ O ₈ ; Potassium Aluminum Silicate; Orthoclase; SQ: 3 [%]; Monoclinic; C2/m
Na (Al Si ₃ O ₈); Sodium Aluminum Silicate; Albite; SQ: 6 [%]; Anorthic; C-1

Příloha 19: Difraktogram tělesa z keramické hlíny po výpalu na 1 000 °C.



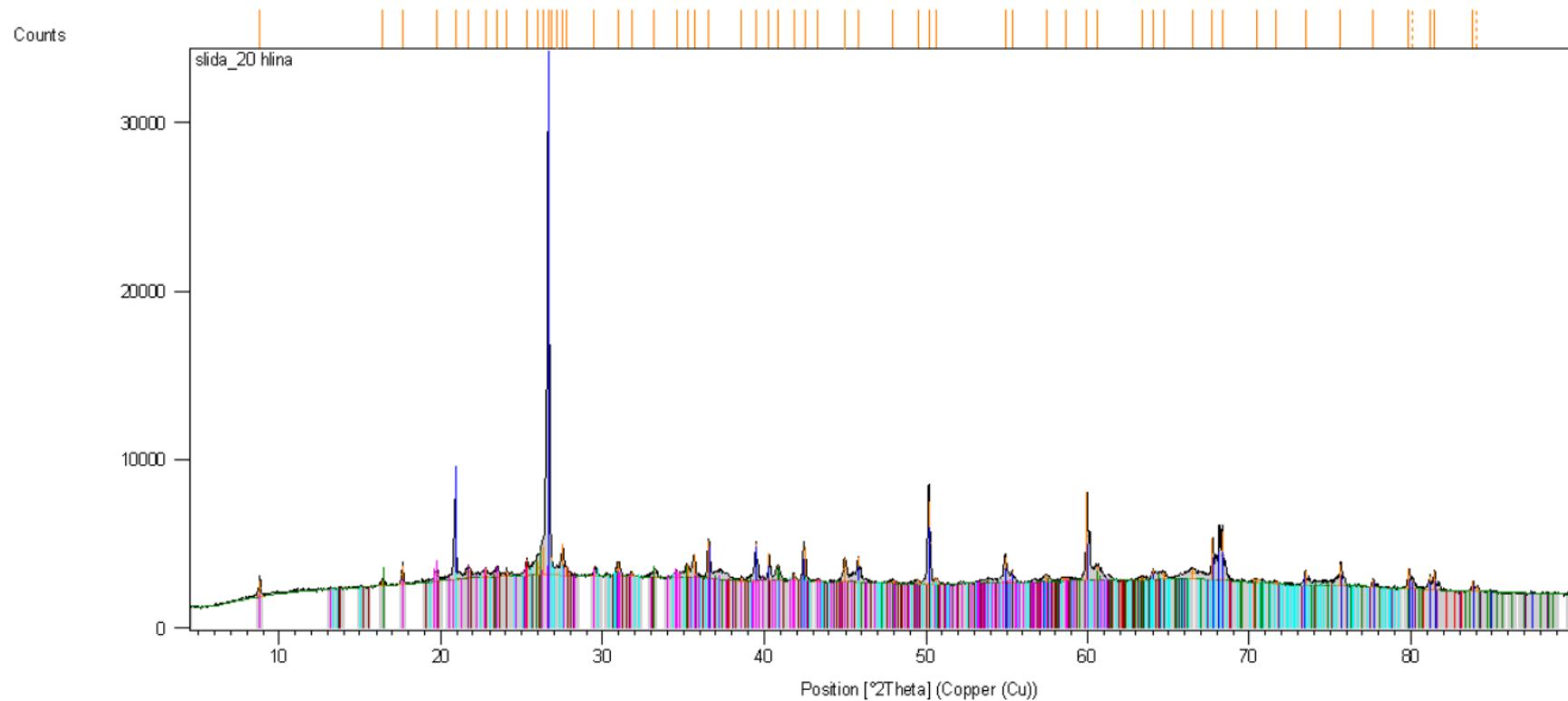
Peak List
Si O ₂ ; Silicon Oxide; Quartz; SQ: 71 [%]; Hexagonal; P3221
Al (Al ₆₉ Si _{1.22} O _{4.65}); Aluminum Silicon Oxide; Mullite, syn; SQ: 10 [%]; Orthorhombic; Pbam
Ti O ₂ ; Titanium Oxide; Anatase, syn; SQ: 1 [%]; Tetragonal; I41/amd
Si O ₂ ; Silicon Oxide; Cristobalite; SQ: 1 [%]; Tetragonal; P41212
Na (Al Si ₃ O ₈); Sodium Aluminum Silicate; Albite; SQ: 7 [%]; Anorthic; C-1
K Al Si ₃ O ₈ ; Potassium Aluminum Silicate; Orthoclase; SQ: 5 [%]; Monoclinic; C2/m
(K _{0.776} Na _{0.181} Ca _{0.011}) (Al _{0.916} Fe _{0.016} Mg _{0.011}) ₂ (Si _{0.787} Al _{0.223} Ti _{0.005}) ₄ O ₁₁ ; Potassium Sodium Calcium Aluminum Iron Magnesium Titanium Silicate; SQ: 5 [%]; Anorthic; C1

Příloha 20: Difraktogram tělesa z keramické hlíny s 5 hm. % slídového separátu po výpalu na 1 000 °C.



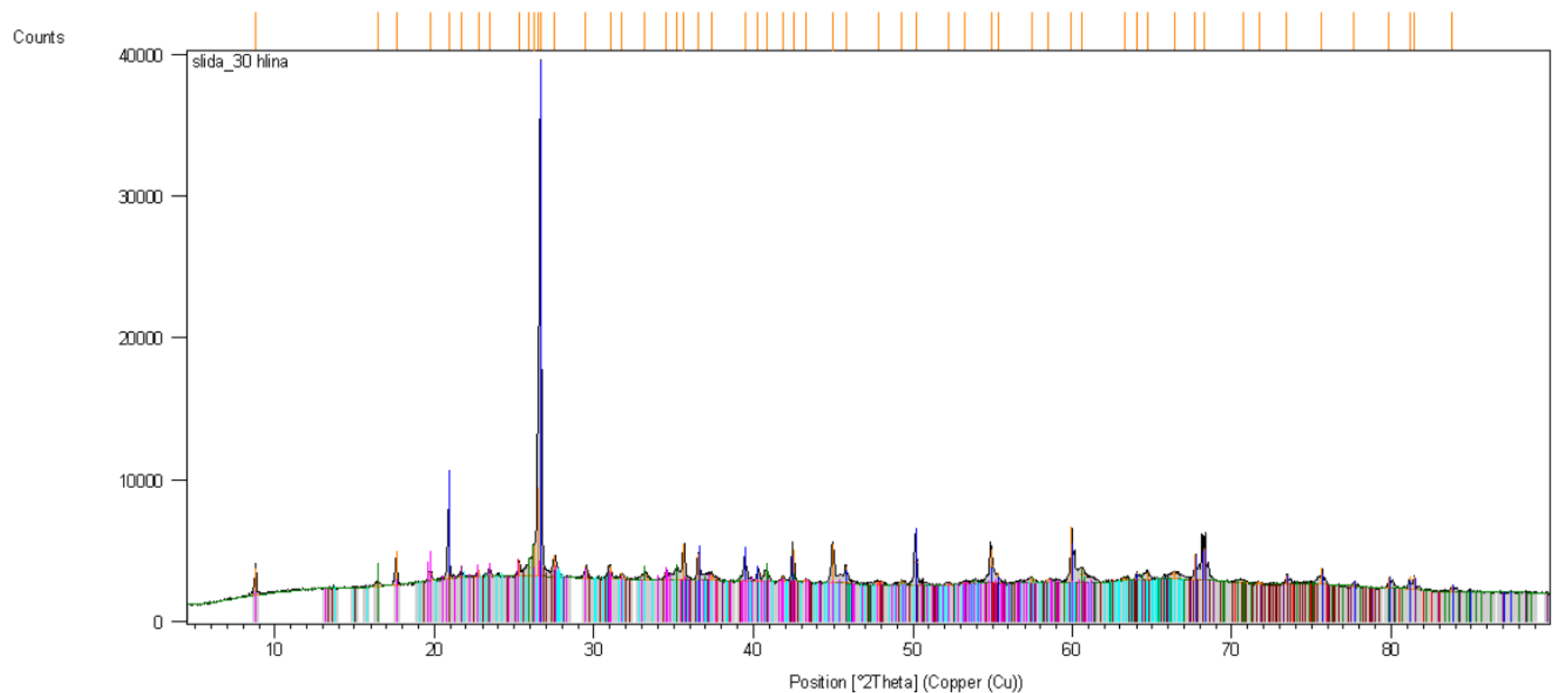
Peak List
Si O ₂ ; Silicon Oxide; Quartz; SQ: 71 [%]; Hexagonal; P3221
Al (Al ₆₉ Si _{1.22} O _{4.85}); Aluminum Silicon Oxide; Mullite, syn; SQ: 10 [%]; Orthorhombic; Pbam
Ti O ₂ ; Titanium Oxide; Anatase, syn; SQ: 1 [%]; Tetragonal; I41/amd
Na (Al Si ₃ O ₈); Sodium Aluminum Silicate; Albite; SQ: 6 [%]; Anorthic; C-1
KAl Si ₃ O ₈ ; Potassium Aluminum Silicate; Orthoclase; SQ: 4 [%]; Monoclinic; C2/m
(K _{0.776} Na _{0.181} Ca _{0.011}) (Al _{0.916} Fe _{0.016} Mg _{0.011}) ₂ (Si _{0.787} Al _{0.223} Ti _{0.005}) ₄ O ₁₁ ; Potassium Sodium Calcium Aluminum Iron Magnesium Titanium Silicate; SQ: 7 [%]; Anorthic; C1
Si O ₂ ; Silicon Oxide; Cristobalite; SQ: 1 [%]; Tetragonal; P41212

Příloha 21: Difraktogram tělesa z keramické hlíny s 10 hm. % slídového separátu po výpalu na 1 000 °C.



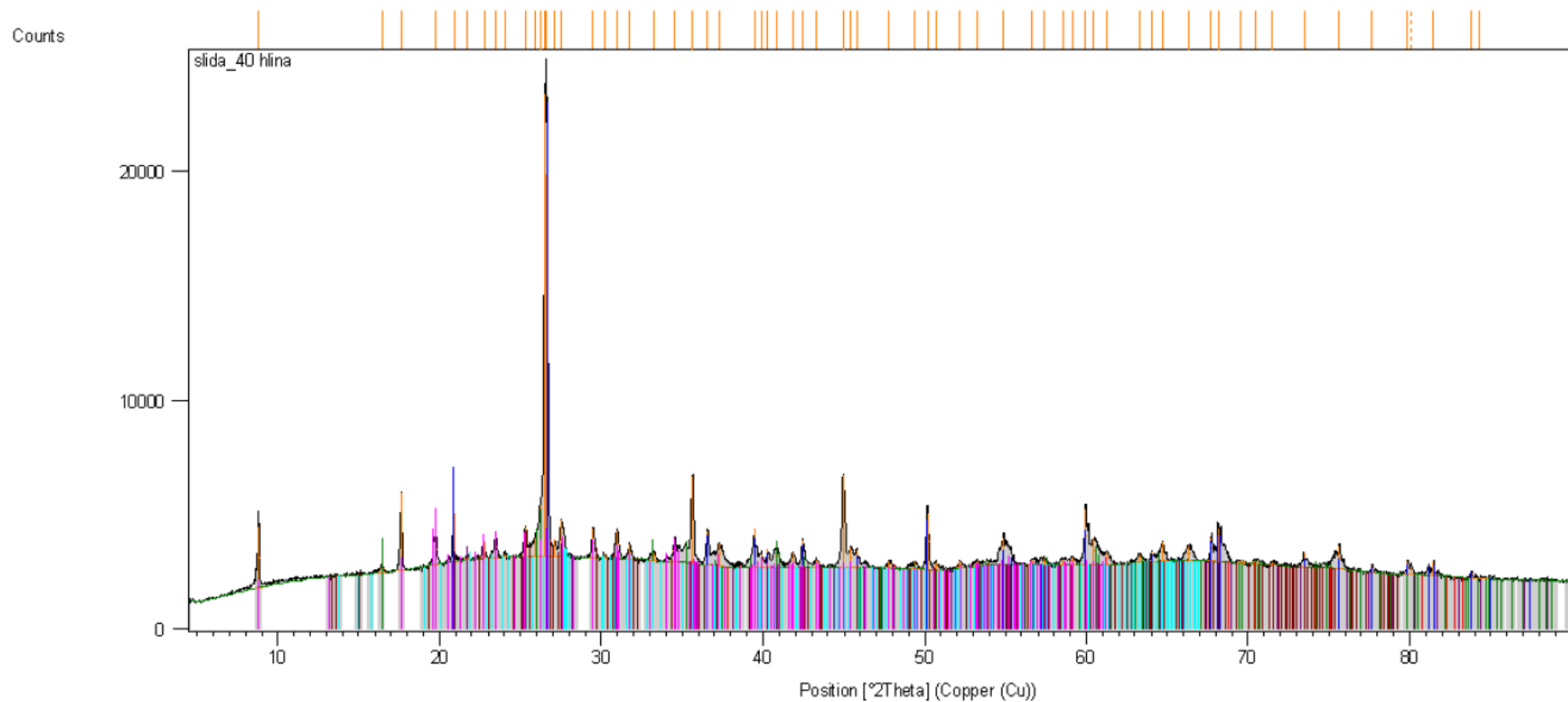
Peak List
Si O ₂ ; Silicon Oxide; Quartz; SQ: 58 [%]; Hexagonal; P3221
Al (Al ₆₉ Si _{1.22} O _{4.85}); Aluminum Silicon Oxide; Mullite, syn; SQ: 11 [%]; Orthorhombic; Pbam
Ti O ₂ ; Titanium Oxide; Anatase, syn; SQ: 1 [%]; Tetragonal; I41/amd
Na (Al Si ₃ O ₈); Sodium Aluminum Silicate; Albite high; SQ: 7 [%]; Anorthic; C-1
KAl Si ₃ O ₈ ; Potassium Aluminum Silicate; Orthoclase; SQ: 6 [%]; Monoclinic; C2/m
(K _{0.776} Na _{0.181} Ca _{0.011}) (Al _{0.916} Fe _{0.016} Mg _{0.011}) ₂ (Si _{0.787} Al _{0.223} Ti _{0.005}) ₄ O ₁₁ ; Potassium Sodium Calcium Aluminum Iron Magnesium Titanium Silicate; SQ: 16 [%]; Anorthic; C-1
Si O ₂ ; Silicon Oxide; Cristobalite; SQ: 1 [%]; Tetragonal; P41212

Příloha 22: Difraktogram tělesa z keramické hlíny s 20 hm. % slídového separátu po výpalu na 1 000 °C.



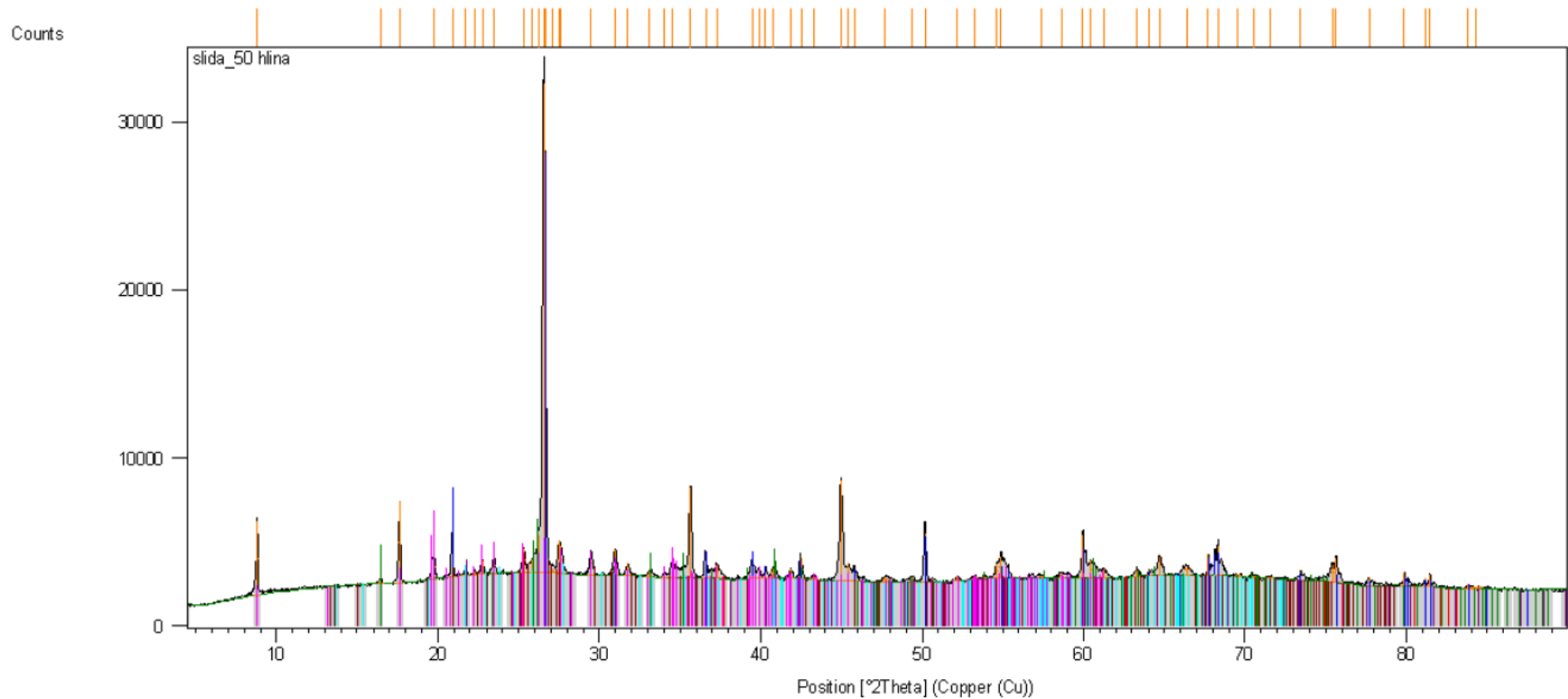
Peak List
Si O ₂ ; Silicon Oxide; Quartz; SQ: 54 [%]; Hexagonal; P3121
Al (Al ₆₉ Si _{1.22} O _{4.85}); Aluminum Silicon Oxide; Mullite, syn; SQ: 13 [%]; Orthorhombic; Pbam
Ti O ₂ ; Titanium Oxide; Anatase; SQ: 1 [%]; Tetragonal; I41/amd
KAl Si ₃ O ₈ ; Potassium Aluminum Silicate; Orthoclase; SQ: 4 [%]; Monoclinic; C2/m
Na (Al Si ₃ O ₈); Sodium Aluminum Silicate; Albite; SQ: 5 [%]; Anorthic; C-1
(K _{0.776} Na _{0.181} Ca _{0.011}) (Al _{0.916} Fe _{0.016} Mg _{0.011}) ₂ (Si _{0.787} Al _{0.223} Ti _{0.005}) ₄ O ₁₁ ; Potassium Sodium Calcium Aluminum Iron Magnesium Titanium Silicate; SQ: 22 [%]; Anorthic; C1
Si O ₂ ; Silicon Oxide; Cristobalite; SQ: 1 [%]; Tetragonal; P41212

Příloha 23: Difraktogram tělesa z keramické hlíny s 30 hm. % slídového separátu po výpalu na 1 000 °C.



Peak List
Si O ₂ ; Silicon Oxide; Quartz; SQ: 39 [%]; Hexagonal; P3121
Al (Al ₆₉ Si _{1.22} O _{4.85}); Aluminum Silicon Oxide; Mullite, syn; SQ: 16 [%]; Orthorhombic; Pbam
Ti O ₂ ; Titanium Oxide; Anatase, syn; SQ: 1 [%]; Tetragonal; I41/amd
KAl Si ₃ O ₈ ; Potassium Aluminum Silicate; Orthoclase; SQ: 5 [%]; Monoclinic; C2/m
Na (Al Si ₃ O ₈); Sodium Aluminum Silicate; Albite; SQ: 4 [%]; Anorthic; C-1
(K _{0.776} Na _{0.181} Ca _{0.011}) (Al _{0.916} Fe _{0.016} Mg _{0.011}) ₂ (Si _{0.787} Al _{0.223} Ti _{0.005}) ₄ O ₁₁ ; Potassium Sodium Calcium Aluminum Iron Magnesium Titanium Silicate; SQ: 34 [%]; Anorthic; C-1
Si O ₂ ; Silicon Oxide; Cristobalite; SQ: 1 [%]; Tetragonal; P41212

Příloha 24: Difraktogram tělesa z keramické hlíny s 40 hm. % slídového separátu po výpalu na 1 000 °C.



Peak List
Si O2; Silicon Oxide; Quartz; SQ: 33 [%]; Hexagonal; P3221
Al (Al.69 Si1.22 O4.85); Aluminum Silicon Oxide; Mullite, syn; SQ: 17 [%]; Orthorhombic; Pbam
Ti O2; Titanium Oxide; Anatase; SQ: 1 [%]; Tetragonal; I41/amd
KAl Si3 O8; Potassium Aluminum Silicate; Orthoclase; SQ: 5 [%]; Monoclinic; C2/m
Na (Al Si3 O8); Sodium Aluminum Silicate; Albite high; SQ: 5 [%]; Anorthic; C-1
(K0.776 Na0.181 Ca0.011) (Al0.916 Fe0.016 Mg0.011)2 (Si0.787 Al0.223 Ti0.005)4 O11; Potassium Sodium Calcium Aluminum Iron Magnesium Titanium Silicate; SQ: 39 [%]; Anorthic; C1
Si O2; Silicon Oxide; Cristobalite; SQ: 1 [%]; Tetragonal; P41212

Příloha 25: Difraktogram tělesa z keramické hlíny s 50 hm. % slídového separátu po výpalu na 1 000 °C.