

Univerzita Pardubice

Fakulta chemicko-technologická

Speciální keramika – výroba, využití

Martina Skalická

Bakalářská práce

2019

## ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

(PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

Jméno a příjmení: **Martina Skalická**  
Osobní číslo: **C15062**  
Studijní program: **B2802 Chemie a technická chemie**  
Studijní obor: **Chemie a technická chemie**  
Název tématu: **Speciální keramika - výroba, využití**  
Zadávající katedra: **Katedra anorganické technologie**

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

1. Proveďte literární rešerši v souvislosti se zadaným tématem.
2. Pomocí termomechanické analýzy stanovte koeficient délkové teplotní roztažnosti u vybraných vzorků keramik.
3. Získané informace a experimentální výsledky zpracujte a předložte formou bakalářské práce.

Rozsah grafických prací:

Rozsah pracovní zprávy:

Forma zpracování bakalářské práce: **tištěná**

Seznam odborné literatury:

Vedoucí bakalářské práce:

**doc. Ing. Pavla Honcová, Ph.D.**

Katedra anorganické technologie

Datum zadání bakalářské práce:

**20. února 2019**

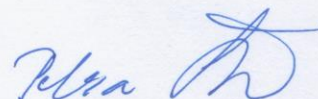
Termín odevzdání bakalářské práce:

**4. července 2019**



prof. Ing. Petr Kalenda, CSc.  
děkan

L.S.



prof. Ing. Petra Šulcová, Ph.D.  
vedoucí katedry

V Pardubicích dne 20. února 2019

Prohlašuji:

Tuto práci jsem vypracovala samostatně. Veškeré literární prameny a informace, které jsem v práci využila, jsou uvedeny v seznamu použité literatury. Byla jsem seznámena s tím, že se na moji práci vztahují práva a povinnosti vyplývající ze zákona č. 121/2000 Sb., autorský zákon, zejména se skutečností, že Univerzita Pardubice má právo na uzavření licenční smlouvy o užití této práce jako školního díla podle § 60 odst. 1 autorského zákona, a s tím, že pokud dojde k užití této práce mnou nebo bude poskytnuta licence o užití jinému subjektu, je Univerzita Pardubice oprávněna ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, které na vytvoření díla vynaložila, a to podle okolností až do jejich skutečné výše. Souhlasím s prezenčním zpřístupněním své práce v Univerzitní knihovně.

V Pardubicích dne 22. 5. 2019

Martina Skalická

## PODĚKOVÁNÍ

Ráda bych poděkovala své vedoucí práce doc. Ing. Pavle Honcové za množství cenných rad, připomínek a návrhů týkající se této bakalářské práce a za odborný dohled a vstřícnost při konzultacích. Dále bych chtěla poděkovat Ing. Petru Košťálovi za pomoc a ochotu při provádění a vypracování experimentální části a za poskytnuté materiály.

Diplomová práce vznikla za podpory projektu Modernizace praktické výuky a zkvalitnění praktických dovedností v technicky zaměřených studijních programech, reg. číslo CZ.02.2.67/0.0/0.0/16\_016/0002458 operačního programu Výzkum, vývoj a vzdělávání. Tento projekt je spolufinancován Evropskou unií.



EVROPSKÁ UNIE  
Evropské strukturální a investiční fondy  
Operační program Výzkum, vývoj a vzdělávání



## **ANOTACE**

Tato bakalářská práce je zaměřena na přípravu a využití speciální keramiky. První část je věnována historii keramiky a odlišnostem tradiční a speciální keramiky. Další část se zabývá technologickými postupy v keramice a je zaměřena na jednotlivé druhy speciální keramiky. Závěr práce popisuje experimentální část, ve které byla měřena délková teplotní roztažnost u čtyř vzorků keramiky.

## **KLÍČOVÁ SLOVA**

Keramika, technologické procesy, speciální keramika, délková teplotní roztažnost

## **TITLE**

Special ceramics – production, application

## **ANNOTATION**

This bachelor thesis is focused on the preparation and utilization of special ceramics. The first part is devoted to the history of ceramics and differences of traditional and special ceramics. The next part deals with technological procedures in ceramics and is focused on individual types of special ceramics. The last part of the work is the experimental part, in which the length thermal expansion of four samples of ceramics was measured.

## **KEYWORDS**

Ceramics, technological processes, special ceramic, length thermal expansion

# OBSAH

ÚVOD.....	11
<b>1 Keramika .....</b>	<b>12</b>
1.1 Historie keramiky .....	12
1.2 Klasická tradiční keramika .....	15
1.3 Speciální keramika.....	15
<b>2 Základní technologické procesy v keramice .....</b>	<b>16</b>
2.1 Metody tvarování keramiky.....	16
2.1.1 Lití keramiky ze suspenze .....	17
2.1.2 Plastické tvarování keramiky .....	18
2.1.3 Lisování keramiky .....	20
2.1.4 Tvarování keramiky za vyšších teplot.....	20
2.2 Sušení keramiky.....	21
2.3 Slinování keramiky .....	22
<b>3 Druhy speciálních keramik .....</b>	<b>22</b>
3.1 Konstruční keramické materiály.....	23
3.1.1 Oxidová keramika .....	23
3.1.2 Neoxidová keramika.....	28
3.2 Keramické materiály pro elektrotechniku.....	30
3.2.1 Dielektrická keramika .....	31
3.2.2 Piezoelektrické keramické materiály.....	34
3.2.3 Polovodičové keramické materiály .....	35
3.2.4 Feritová keramika – Ferity .....	36
3.3 Supravodivá keramika .....	37
<b>4 Experimentální část .....</b>	<b>38</b>
4.1 Koeficient teplotní roztažnosti.....	38
4.2 Termomechanický analyzátor.....	39
4.3 Termomechanická analýza .....	41

4.3.1	Měření teplotní roztažnosti hliníku (standardu) .....	41
4.3.2	Měření vzorků keramiky .....	41
4.4	Vzorky keramiky .....	42
<b>5</b>	<b>Výsledky .....</b>	<b>45</b>
5.1.1	Stanovení koeficientu délkové teplotní roztažnosti hliníku .....	45
5.1.2	Stanovení koeficientu teplotní roztažnosti vzorků .....	47
5.1.3	Výsledky a jejich porovnání .....	54
<b>Závěr</b>	<b>.....</b>	<b>56</b>



## Seznam obrázků

Obr. 1 Keramické nádoby [3].....	12
Obr. 2 Terakotová armáda (3.století př.n.l.) [4] .....	13
Obr. 3 Výrobky společnosti Thun 1794 a. s. [7].....	14
Obr. 4 Figurální porcelán [10].....	14
Obr. 5 Příklady využití speciální keramiky [12] .....	16
Obr. 7 Sádrové formy pro tvarování keramiky [14].....	17
Obr. 8 Schéma pro lití fólií [2].....	18
Obr. 9 Výrobky z keramiky připravené metodou točení.....	19
Obr. 10 Schéma tvarování keramiky metodou extruze [18] .....	20
Obr. 11 Příklady využití speciální keramiky [12, 19, 20].....	22
Obr. 12 Výrobky z oxidové keramiky [22].....	23
Obr. 13 Korundová keramika [24, 25] .....	26
Obr. 14 Keramické výrobky z karbidu křemíku [22].....	29
Obr. 15 Cermety [27] .....	30
Obr. 16 Porcelánový izolátor [12].....	32
Obr. 17 Podložka pro rezistor z cordieritové keramiky [12].....	34
Obr. 18 Piezoelektrický spínač [12].....	35
Obr. 19 Dvoudílné ferity v plastovém pouzdru [34].....	36
Obr. 20 Schéma termomechanického analyzátoru .....	39
Obr. 21 Termomechanický analyzátor Linseis .....	40
Obr. 22 Vzorky keramiky od firmy Witgert .....	42
Obr. 23 Vzorek zubního implantátu před vypálením v peci .....	43
Obr. 24 Závislost změny výšky vzorku hliníku na teplotě.....	45
Obr. 25 Závislost změny výšky vzorku Steinzeugmasse rot na teplotě .....	48

Obr. 26	Závislost změny výšky vzorku Steinzeugmasse extra schwarz na teplotě .....	49
Obr. 27	Závislost změny výšky vzorku vypáleného zubního implantátu na teplotě.....	51
Obr. 28	Závislost změny výšky vzorku nevypáleného zubního implantátu na teplotě.....	52

# ÚVOD

Keramické materiály jsou všude okolo nás. Používáme je všichni, ať už v domácnosti nebo v chemickém či jiném průmyslu. Vesměs se jedná o výrobky, které se vypalují z keramických směsí.

Keramika byla objevena už v 7. tisíciletí před n. l., kdy ji lidé používali především jako měchy a košíky, o něco později jako čínský porcelán. [1] O historii keramiky pojednává jedna z prvních kapitol této bakalářské práce.

V dnešní době je velmi moderní speciální keramika, která je hojně využívána pro své specifické vlastnosti. Používá se jako konstrukční materiály s vysokou izolační schopností, jako elektrokamika (materiály pro elektrotechniku), ale také jako biokompatibilní materiály v lékařském prostředí (kostní a zubní náhrady). [2]

Jednotlivým druhům keramiky byla věnována kapitola i v této práci, a to především konstrukčním keramickým materiálům, mezi které patří oxidová a neoxidová keramika, dále pak několika druhům elektrokamiky a supravodivé keramiky.

Důležité jsou základní technologické procesy, kterými se keramika vyrábí. Je známo několik metod tvarování keramiky, jako je lití, plastické tvarování či lisování keramiky. Výběr technologického procesu je velmi důležitý, protože pro každou výrobu jednotlivého druhu keramiky je vhodný jiný postup, který má částečně vliv i na výsledné vlastnosti vyrobené keramiky.

Při výběru keramiky jsou důležité její chemické, fyzikální, elektrické, mechanické a jiné vlastnosti. Těchto vlastností je celá řada. Mezi fyzikálně-chemické vlastnosti patří teplotní roztažnost.

Mezi cíle této práce patří seznámení čtenáře s druhy speciální keramiky, jejich výrobou a jejich použitím a změření délkové teplotní roztažnosti u čtyř vzorků keramiky. Při psaní této práce bylo čerpáno z literatury, která je uvedena na konci bakalářské práce.

# 1 Keramika

Slovo keramika má mnoho definic. Můžeme však říci, že keramika je z chemického hlediska nerozpustná polykrystalická látka, která byla získána pálením v peci za vysokých teplot z nekovových anorganických surovin. Obvykle se jedná o oxid hlinitý, slinulé karbidy kovů (wolfram, titan, ...), nitridy, boridy a křemičitany. [1, 2]



Obr. 1 Keramické nádobí [3]

## 1.1 Historie keramiky

Výraz keramika pochází z řeckého keramós, jenž označoval roh na pití vyrobený z keramiky. Později však začaly být všechny výrobky a nádoby vyrobené z pálené hlíny označovány jako keramika.

Keramika byla objevena přibližně v 7. tisíciletí před n. l. a byly to hlavně výrobky ve formě košíků nebo měchů. Zpočátku se vyskytovala pouze v sušené podobě, později i ve formě vypalované. Již v 6. tisíciletí před n. l. byl znám čínský porcelán. Ve 3. tisíciletí před n. l. byl objeven hrnčířský kruh, který velmi ovlivnil tvarování keramiky.



**Obr. 2 Terakotová armáda (3.století př.n.l.) [4]**

Za jedno z nejlepších období keramiky je považován středověk (6. – 16. století n. l.). Do Evropy se dostala jemná a hrubá režná keramika, ale také čínský porcelán. Na počátku 16. století přišli němečtí a slezští keramici s inovací, s tzv. vypalováním šedé hlíny velmi vysokým žářem, ze které získávali kameninu. [5]

V 17. a 18. století se již po Evropě vyskytuje několik výroben keramiky a porcelánu. V 19. století se objevují výroby keramiky i u nás v Čechách, hlavně na Karlovarsku, kde byly nalezeny ložiska kaolínu. Mezi nejvýznamnější výrobce keramiky v České republice patří firmy Thun 1794 a. s., Český porcelán, a. s. Dubí, Mefrit Mělník a společnost Laufen CZ s. r. o. [3]

Společnost Thun vznikla v roce 1794 a je největším českým výrobcem porcelánu. Jedná se o tvrdý porcelán s vysokou vypalovací teplotou okolo 1500 °C. Zabývá se hlavně výrobou porcelánů do domácností, do hotelů a výrobou porcelánu pro děti. [6]



Obr. 3 Výrobky společnosti Thun 1794 a. s. [7]

V roce 1864 byla založena akciová společnost Český porcelán Dubí, která je známá především výrobou ozdobného a užitkového porcelánu s proslulým cibulovým vzorem. Dále vyrábí hotelový porcelán a snídaňové sady. Denně je tato firma schopna vyrobit až 15 000 ks. Dceřinou společností Českého porcelánu je firma Royal Dux. Ta se zabývá výrobou figurálního porcelánu (vánoční ozdoby, betlémy, apod.). [8, 9]



Obr. 4 Figurální porcelán [10]

Největším prodejcem sanitární keramiky v České republice je společnost Laufen s. r. o. Tato společnost byla založena v roce 1999 švýcarskou společností Keramik Holding AG Laufen jako organizace prodávající sanitární keramiku českých výrobců Jihočeská keramika, a. s. Bechyně a Keramické závody a. s. Znojmo. [11]

Ve 20. století se začaly vyvíjet keramické hmoty se speciálními vlastnostmi (oxidová, neoxidová keramika, piezoelektrické materiály, feritová keramika ...), které se dnes používají v celé řadě průmyslových oborů. [1]

## **1.2 Klasická tradiční keramika**

Keramika je označována za nekovový anorganický materiál, jak už víme z definice keramiky. Klasická keramika je založena na bázi přírodních surovin, např. na bázi jílu apod. Mezi tradiční keramiku řadíme porcelánovou a hrnčířskou keramiku, ale také sanitární keramiku nebo obkladový materiál. [2]

## **1.3 Speciální keramika**

Jako speciální keramiku označujeme materiály, které mají své charakteristické vlastnosti, např. elektrické, dielektrické, magnetické, pyroelektrické, piezoelektrické, supravodivost atd. Vyrábí se ze synteticky připravovaných surovin, u kterých převládá obsah anorganických nekovových fází. Jejich výroba je často energeticky náročná.

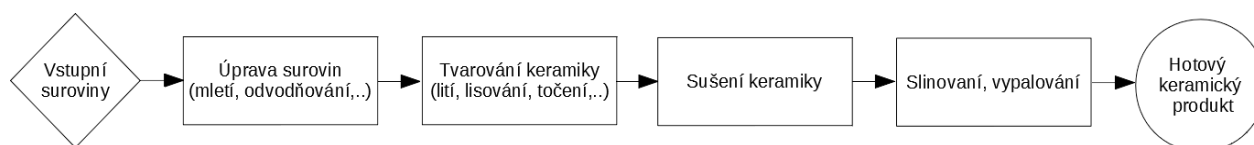
Jednu z největších skupin představují materiály pro elektrotechniku (elektrokeramika), hojně se také využívají materiály s vysokou izolační schopností nebo také biokompatibilní materiály, které se využívají především v lékařském prostředí. [2]



Obr. 5 Příklady využití speciální keramiky [12]

## 2 Základní technologické procesy v keramice

Na začátku všech technologických procesů je nezbytné opatřit vstupní suroviny. Vstupní suroviny se pro každý typ speciální keramiky liší, vždy ale musí mít vysokou čistotu. Technologické procesy začínají úpravou těchto vstupních surovin (např. mletí, odvodnění keramických suspenzí, vymrazování, apod.). Po úpravě vstupních surovin už přecházíme k samotnému tvarování keramiky (lití, lisování, točení, ...). Posledními technologickými procesy jsou sušení a vypalování keramiky na hotový koncový produkt. [2, 13]



### 2.1 Metody tvarování keramiky

Tvarování keramiky je jeden z technologických procesů, kdy připravujeme keramický produkt pomocí různých tvarovacích metod. Tvarování můžeme rozdělit dle technik na suché tvarování (vycházíme z granulovaného prášku) a mokré tvarování (výchozí hmotou je zde keramická břečka). Na tvarování můžeme použít formy nebo keramiku vytvarovat plasticky. [2]





**Obr. 6 Sádrové formy pro tvarování keramiky [14]**

### **2.1.1 Lití keramiky ze suspenze**

Lití keramiky je technologický proces, při kterém se používá disperzní činidlo. Disperzním činidlem může být 20 – 40 % vody nebo vhodné organické rozpouštědlo (nepolární kapalina). Disperzní směs s vodou se lije do pórovitých sádrových forem nebo pod tlakem do polymerních forem. Disperzní směs s organickým rozpouštědlem se nalévá na hladkou a nepórovitou podložku. [15]

#### **2.1.1.1 Lití a tlakové lití**

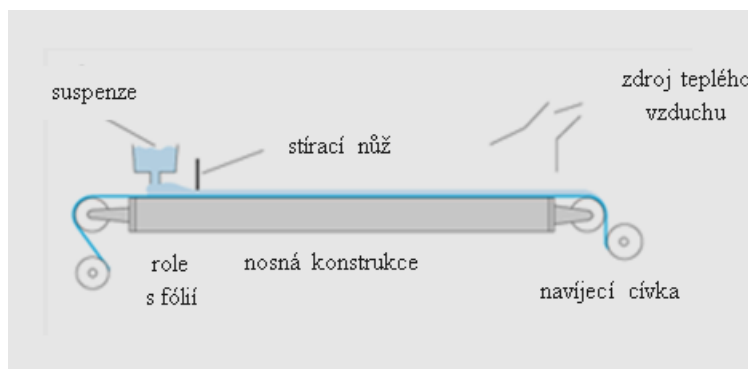
Výroba tělesa touto metodou probíhá odvodňováním tekutých suspenzí přes polopropustnou membránu (porézní polymer, sádra, ...). Keramická disperzní směs nebo-li břečka se nalije do porézní formy a pomocí kapilárních tlaků se kapalina ze suspenze absorbuje do formy. Ve formě se vytváří vrstva keramického materiálu, která se při sušení smršťuje a lze ji poté z formy lehce vyjmout. Tato metoda se používá hlavně pro tenkostěnné výrobky. [2]

### 2.1.1.2 Gelové lití

Při metodě gelového lití se využívá fázového přechodu (na gel) organických či vodných pojiv a umožňují tak lití suspenzí do neporézních forem. Metoda gelového lití se používá především pro výrobu tvarově složitějších těles, např. rotory turbín. [15]

### 2.1.1.3 Lití fólií

Keramická suspenze je při této metodě nanášena na nekonečně běžící pás a tloušťka vrstvy je kontrolována čepelí. Vznikají tenké keramické plátky a fólie, které se využívají u kondenzátorů jako dielektrika nebo v elektronice jako nosné destičky. [16]



Obr. 7 Schéma pro lití fólií [2]

### 2.1.2 Plastické tvarování keramiky

Při technologickém procesu plastického tvarování keramiky se používá keramické těsto s obsahem 17 – 27 % vody nebo keramická směs s obsahem 1 – 10 % rozpouštědla a organického pojiva. Plastického tvarování keramiky využívají metody točení, tažení a extruze. [2]

### 2.1.2.1 Točení

Tato technologická metoda plastického tvarování se používá hlavně pro výrobu rotačních tvarů s tenkými stěnami jako např. porcelán. Při výrobě se vychází z plastických směsí, které se umístí na hrnčířský kruh a točením se vytvaruje požadovaný tvar. [2, 17]



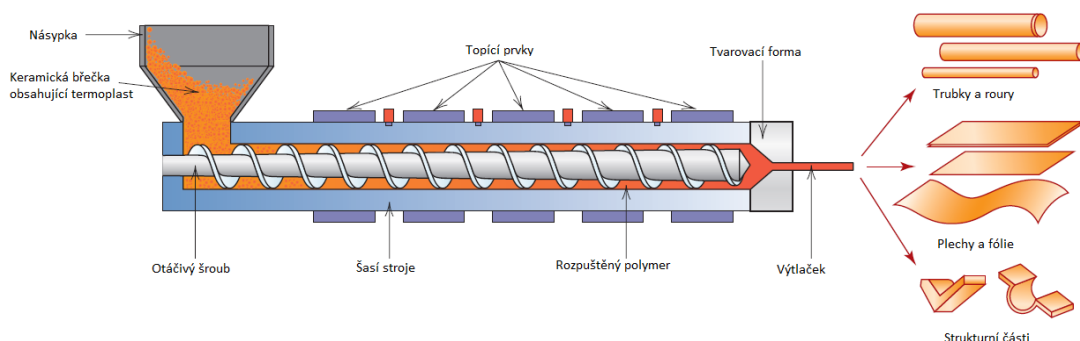
Obr. 8 Výrobky z keramiky připravené metodou točení

### 2.1.2.2 Tažení

Tažení je technologická metoda, kterou lze vytvarovat především symetrické tvary. Jedná se o metodu, kde se pomocí pístu protlačuje plastické těsto. Při této metodě jsou využívány pásové lisy. Touto metodou lze vytvořit mnoho produktů. Zpracovává tradiční hrubou keramiku (cihly) i pokročilou jemnou keramiku (korundové nosiče, apod.). [2]

### 2.1.2.3 Extruze

Mezi plastické tvarování se řadí i metoda extruze. Principem je vytlačování keramické směsi pomocí pístového nebo šroubového extruderu. Součástí keramické směsi je termoplast, který je při průchodu zařízením ohříván a dochází tak ke zpevnění výsledného tvarovaného výrobku. [2, 18]



Obr. 9 Schéma tvarování keramiky metodou extruze [18]

### 2.1.3 Lisování keramiky

Pro lisování keramiky se používají vlhké směsi s obsahem 15-18% vody s organickými lisovacími přísadami, polosuché směsi s obsahem vody 8-15% vody s bezvodým rozpouštědlem a organickými pojivy nebo suché směsi s obsahem 4-8% vody nebo organických pojiv. Nejpoužívanější metoda lisování je pomocí pístů (pístové lisování). Pístovým lisováním se tvarují především práškové směsi s malým obsahem vlhčiv do pístových uzavíratelných forem. Při této metodě tvarování probíhají 2 procesy, těmi jsou uspořádání částic směsi a deformace či lom částic. [2]

### 2.1.4 Tvarování keramiky za vyšších teplot

Při tvarování keramiky za vyšších teplot se používají zejména metody vstřikování (do 150 °C) a žárového lisování (nad 1000 °C).

#### 2.1.4.1 Vstřikování

Tato metoda je vhodná pro výrobky, které mají složitou geometrickou strukturu a jsou malé. Pro vstřikování se používá směs keramického prášku s pojivem na bázi vosků nebo polymerů. Tato směs se zahřeje na teplotu tání pojiva, vstříkne do formy, pojivo zatuhne a po ochlazení se výrobek vyjme z formy.

#### 2.1.4.2 Žárové lisování

Při této metodě se využívají velmi vysoké teploty 1200-2000 °C. Keramická směs se lisuje za vyšších tlaků a vysokých teplot v grafitové formě. Žárové lisování je vhodné pro přípravu oxidových i neoxidových výlisků. [2, 16]

## 2.2 Sušení keramiky

Proces sušení keramiky je velmi náročný na energii i technologii. U tohoto procesu musíme dbát na správný průběh, aby nedošlo ke vzniku trhlin či deformací. Při sušení se odstraňuje působením tepla voda ze surového výrobku zpracovaného tvarováním.

V keramických směsích rozlišujeme tři základní typy vod:

- **Fyzikálně vázaná, nebo-li voda volná** – voda, která se přidává ke směsi, aby vzniklo plastické těsto nebo licí hmota
- **Osmotická** – voda, která je osmoticky vázaná mezi částicemi hmoty materiálu
- **Chemicky vázaná** – pro odstranění této vody jsou nezbytné vyšší teploty, je to voda, která tvoří část krystalické mřížky

Při procesu sušení je nejdůležitější odstranit vodu fyzikálně vázanou. Ta se přidává ke keramické směsi, aby se z ní mohly tvarovat výrobky požadovaného tvaru. Při sušení probíhají základní fyzikální děje jako odpaření vody z povrchu sušeného tělesa, přestup tepla ze vzduchu do sušeného materiálu a transport vody z vnitřních vrstev k povrchu tělesa. [16]

## 2.3 Slinování keramiky

Slinování neboli spékání keramiky je technologický tepelný proces, při kterém dochází ke zpevnění tělesa a odstranění zbytků vody po sušení během výpalu. Nejdůležitější podmínkou pro slinování je, aby těleso při výpalu zachovalo svůj tvar. Výpal keramiky je velmi nákladný proces. [2, 16]

## 3 Druhy speciálních keramik

V dnešní době známe několik druhů speciálních keramik, jež se hojně využívají jako materiály nových technologií. Tyto materiály jsou oblíbené především pro své výjimečné vlastnosti (teplotní, elektromagnetické, optické, mechanické ...) a pro jejich výrobu, která je téměř ve všech případech ekologičtější než výroba některých kovů. Dále se materiály využívají v mnoha oblastech (elektronika, letectví a kosmonautika, komunikace, životní prostředí). Mají také obrovský význam v průmyslovém využití. [2]



Obr. 10 Příklady využití speciální keramiky [12, 19, 20]

### 3.1 Konstrukční keramické materiály

Do této skupiny konstrukčních (technických) keramických materiálů patří materiály z oxidové a neoxidové keramiky, keramika transformačně zpevněná a kompozitní materiály. Vlastnosti konstrukční keramiky se definují charakterem povrchu, strukturou a mikrostrukturou, chemickým složením a charakterem mřížky. Hlavní výhodou těchto materiálů je jejich vysoká tvrdost, odolnost vůči oxidaci a chemickým činidlům, ale také jejich lehkost a cena oproti kovům. Využívají se hlavně v technických aplikacích při extrémních podmínkách, např. ve strojírenství, energetice, metalurgii a chemii. [2, 16, 21]

#### 3.1.1 Oxidová keramika

Oxidová keramika je tvořena jedním oxidem, někdy také směsí menšího množství oxidů definovaných vlastností. Tato keramika má vysokou tvrdost, pevnost, odolnost vůči korozi a je výborným elektrickým izolátorem. Nevýhodou může být vyšší křehkost a slabší odolnost vůči teplotním šokům. Výchozí látkou při přípravě směsí je práškový oxid, který se namele suchým nebo mokřým způsobem se snahou směs co nejméně zkontaminovat nežádoucími příměsemi. Oxidová keramika se tvaruje plastickým způsobem s organickými plastifikátory, suchým lisováním nebo litím do forem. Občas se využívá i metod izostatického lisování, jako např. injekční vstřikování, lití na pás nebo horké lití pod tlakem. Slinování se provádí různými postupy jako je žárové lisování (slinování pod tlakem) nebo izostatické žárové lisování od teplot nad 1300 °C často i nad 1500 °C. Oxidová keramika se využívá pro funkční a konstrukční aplikace (součást vysokoteplotních zařízení). Nejpoužívanější oxidovou keramikou je korundová keramika. [2, 13]



Obr. 11 Výrobky z oxidové keramiky [22]

### 3.1.1.1 Korundová keramika

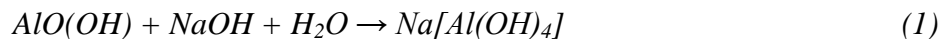
Základním oxidem této keramiky je oxid hlinitý. Tento oxid se vyskytuje v přírodě ve formě bauxitu a také ve formě korundu  $\alpha\text{-Al}_2\text{O}_3$  (rubín a safír). Korundová keramika se dělí do čtyř základních skupin dle obsahu oxidu hlinitého (80 – 99 hm.%). Vlastnosti korundové keramiky jsou ovlivňovány obsahem oxidu hlinitého, např. tvrdost, mechanická tvrdost a tepelná vodivost této keramiky roste se zvyšováním oxidu hlinitého. Obecně je korundová keramika velmi pevná, tvrdá, žáruvzdorná, chová se jako výborný izolant a je velmi dobře chemicky i teplotně odolná. [13]

#### Výroba korundové keramiky

V dnešní době se využívají tři základní výroby korundové keramiky. Nejvyužívanějším způsobem je Bayerův postup, dále se využívá termický rozklad kamence a chemické postupy, např. hydrolytické srážení z roztoku.

#### 1) Bayerův postup

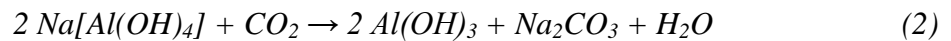
Bayerovým způsobem se připraví oxid hlinitý o čistotě 99,8 %. Tento postup je složen z pěti základních operací. Jako výchozí surovina se používá bauxit, který se v prvním kroku upravuje. Úprava bauxitu spočívá ve vymývání minerálů obsahující jílu, sušení bauxitu a jeho drcení. Druhým krokem je loužení, které probíhá dle rovnice (1).



Po této reakci následuje oddělení tzv. červeného kalu filtrací, který obsahuje nerozpustné sloučeniny železa, křemíku a titanu.



Následujícím krokem je srážení vzniklého komplexu při loužení. Srážení se může provádět dvěma způsoby. První z nich je klasické srážení zavedením  $\text{CO}_2$  dle rovnice (2).



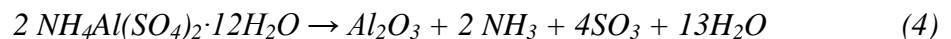
Druhý novější způsob se provádí zředěním roztoku a jeho ochlazením, následně se míchá v krystalizátoru s přidavkem zrn  $\text{Al}(\text{OH})_3$ . Při vhodných podmínkách polovina hliníku vykrytalizuje a zbylý roztok se recykluje.

Posledním krokem je kalcinace probíhající podle rovnice (3) při  $1200\text{ }^\circ\text{C}$ .



## 2) Termický rozklad kamence

Termickým rozkladem kamence lze připravit  $\text{Al}_2\text{O}_3$  vysoké čistoty až 99,98 %. Termický rozklad probíhá dle následující rovnice (4).



Před samotným rozkladem je nutno kamenec vyčistit. Čištění se provádí několikanásobnou rekrystalizací.

## 3) Hydrolytické srážení roztoku

Řízenou hydrolyzou alkoholických roztoků je možné připravit oxid hlinitý o čistotě vyšší než 99,99 % s různými požadavky, např. na tvar a velikost částic.

Hydrolyza probíhá dle rovnice (5):



Po hydrolyze následuje filtrace a kalcinace  $\text{Al}(\text{OH})_3$ .

## Použití korundové keramiky

- konstrukční materiál používaný za vysokých teplot – kelímky, lodičky,
- řezné plátky pro obrábění kovů
- izolátory zapalovacích svíček

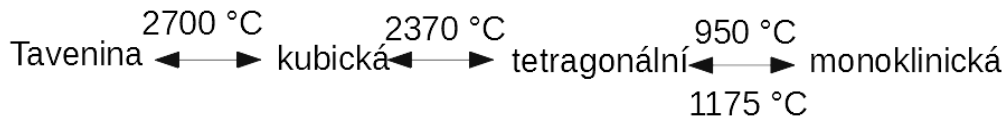
Výrobou korundové keramiky se zabývají české firmy. Nejvýznamnějšími výrobci jsou firmy Estcom CZ oxidová keramika a.s. a firma CeramTec. [1, 2, 23]



Obr. 12 Korundová keramika [24, 25]

### 3.1.1.2 Keramika na bázi oxidu zirkoničitého

Mezi další velmi rozšířený druh oxidové keramiky patří keramika na bázi oxidu zirkoničitého. Tato keramika má velmi vysoký bod tání (2710 °C) a strukturu, která umožňuje zhouževnatění. Oxid zirkoničitý je trimorfní, má monoklinickou, tetragonální a kubickou soustavu:



Modifikační přeměnu z tetragonální soustavy do monoklinické je nutno eliminovat přidávkem kubických oxidů (MgO, CaO,...), protože tato přeměna je doprovázena až 5% nárůstem objemu (čistý ZrO<sub>2</sub> by byl v keramice nepoužitelný).

Tato keramika je díky vlastnostem oxidu zirkoničitého nejodolnější materiál oxidové keramiky. Mezi její vlastnosti patří výborná korozní a chemická odolnost, odolnost vůči opotřebení, vysoká elektrická vodivost, ale i nízká tepelná vodivost, která negativně ovlivňuje odolnost vůči teplotním rázům. Používá se na kelímky k tavení žáruvzdorných kovů, na tlakové ventily, vysokoteplotní palivové články, kuchyňské nože, část ložisek a je nedílnou součástí chemického a důlního průmyslu. [23]

### Výroba oxidu zirkoničitého

Oxid zirkoničitý se vyskytuje v přírodě ve formě minerálů nazývaných badelleyt ( $ZrO_2$ ) a zirkon ( $ZrSiO_4$ ). Pro výrobu oxidu zirkoničitého se využívá minerál zirkon. Podstatou při výrobě je odstranění  $SiO_2$ . Používají se čtyři základní postupy výroby, kterými jsou termický rozklad a redukce, alkalické tavení, chlorace a rozklad v plazmovém hořáku.

#### 1) Termický rozklad a redukce

Termický rozklad zirkonu probíhá v elektrické peci při teplotě cca 1700 °C dle rovnice (6).

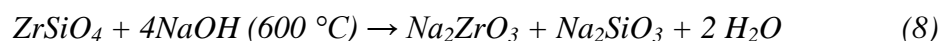


Po termickém rozkladu následuje oxidace probíhající podle rovnice (7).

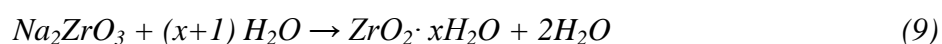


#### 2) Alkalické tavení

Alkalické tavení probíhá za přídavku alkálie, kterou může být hydroxid sodný, oxid vápenatý nebo uhličitan sodný za teploty 600 °C. Zirkon se převede na sloučeninu rozpustnou ve vodě podle rovnice (8).



Následuje hydrolyza zirkoničitanu sodného dle rovnice (9).



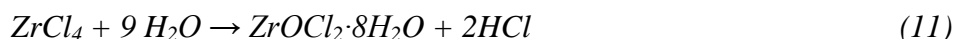
Vzniklý hydrát se podrobí termickému rozkladu.

### 3) Chlorace

Chlorace probíhá ve dvou krocích. Prvním z nich je zavedení zirkonu s uhlíkem (koksem) do šachtové pece. Pec je zahřívána na teplotu 800 – 1200 °C a je do ní zaváděn chlór. Reakce probíhá dle rovnice (10).



Vzniklé chloridy se rozdělí frakční destilací. Chlorid zirkoničitý se podrobí hydrolyze dle rovnice (11).



Vzniklý hydrát se opět podrobí termickému rozkladu.

### 4) Rozklad v plazmovém hořáku

Rozklad zirkonu v plazmovém hořáku probíhá při teplotě nad 1770 °C. Při této teplotě se zirkon rozkládá dle rovnice (12).



Při ochlazování získáváme  $\text{ZrO}_2$  a  $\text{SiO}_2$ , který se oddělí loužením v hydroxidu sodném.

#### 3.1.2 Neoxidová keramika

Do skupiny neoxidové keramiky patří široká škála materiálů přes karbidy, nitridy, boridy, silicidy apod. Tyto materiály vynikají především vysokou tvrdostí a vysokou teplotou tání nad 1800 °C. Využití této keramiky je velice široké (raketové trysky, řezné nástroje, elektrody pro tavení kovů, topné články...). Nejčastěji se jako neoxidová keramika používají materiály nitridů a boridů, přičemž karbid křemíku  $\text{SiC}$  je považován jako nejdůležitější konstrukční materiál neoxidové keramiky. [2, 13]

### 3.1.2.1 Keramika z karbidu křemíku

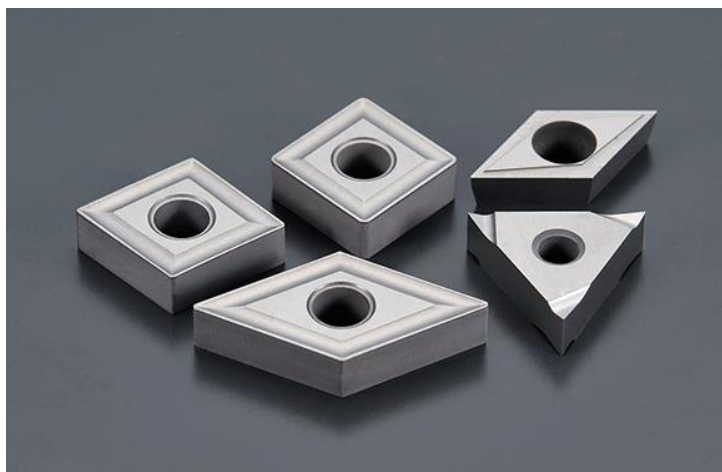
Karbid křemíku je nejtvrděší keramický materiál s výbornou tepelnou vodivostí, odolností vůči kyselinám a zásadám a vyskytuje se ve dvou modifikacích. Nízkoteplotní modifikace  $\beta$ -SiC je kubická a vysokoteplotní modifikace  $\alpha$ -SiC je hexagonální. Teplota přeměny se blíží 2100 °C a závisí na čistotě sloučeniny a na složení a tlaku atmosféry. Rozeznáváme několik druhů keramiky z karbidu křemíku podle jejich rozdílných postupů přípravy. Jsou to SiC s keramickou vazbou, SiC reakčně slinovaný, rekrystalovaný, žárově lisovaný a slinulý bez použití žárového lisování. Tyto druhy se liší obsahem SiC, způsobem a materiálem pojení a také teplotou výpalu. Veškerá keramika z karbidu křemíku má velmi vysokou tvrdost (na Mohrově stupnici hodnota 9,5). Keramika z karbidu křemíku je základním materiálem pro výrobu žáruvzdorných tvarových staviv, výhřevných odporových článků elektrických pecí, brusiv a používá se také jako konstrukční materiál mechaniky a tepelně namáhaných částí motorů a turbín. Karbid křemíku je odolný vůči korozi, abrazi a opotřebení třením. [2, 13]



Obr. 13 Keramické výrobky z karbidu křemíku [22]

### 3.1.2.2 Cermet

Cermet je kompozitní materiál vyráběný spékáním směsi prášků keramiky a kovu. Jedná se o karbid tvořený tvrdými částicemi na bázi titanu. Základním stavebním prvkem jsou částice karbonitridů titanu, které poskytují vyšší odolnost vůči otěru. Částice sekundárních tvrdých fází zvyšují odolnost vůči plastické deformaci a pojivo na bázi kobaltu má vliv na houževnatost materiálu. Cermety jsou žáruvzdorné materiály s výbornou pevností za tepla a chemickou stabilitou. Obvykle se používají jako břity u řezných nástrojů a k obrábění ve frézovacích nástrojích. [1, 2, 26]



Obr. 14 Cermety [27]

## 3.2 Keramické materiály pro elektrotechniku

V dnešní době se v elektrotechnickém průmyslu hojně využívají materiály z keramiky (piezokeramika, keramické izolanty, dielektrická keramika, polovodivá keramika, feritová keramika, ...). Tyto keramické materiály lze dělit na základě vodivosti na izolanty, polovodiče, vodiče a supravodiče, u kterých se provádí v posledních letech výzkum. Největší skupinu materiálů z keramiky v elektronice tvoří izolanty. Tyto funkční keramiky mají dobré elektrické, magnetické vlastnosti, díky kterým se používají v elektronice, silnoproudé elektronice a mikroelektronice. [2, 13, 28]

### **3.2.1 Dielektrická keramika**

Ideální dielektrikum obsahuje pouze vázané elektrické náboje, reálné dielektrikum však obsahuje i volné elektrické náboje. Dielektrickým parametrem je relativní permitivita, která udává, kolikrát je schopnost polarizace daného materiálu vyšší než schopnost polarizace vakua. Hlavní vlastností dielektrik je schopnost polarizovat se v elektrickém poli a nahromadit tak energii. Tohoto jevu využívají kondenzátory. Při polarizaci dielektrika dochází k narušení symetrie rozdělení elektrických nábojů v atomech dielektrika. Tento děj nastává po vložení dielektrika do elektrického pole.

Mezi dielektrickou keramiku řadíme keramiku na bázi kaolínů a jílu, dále hořčnatou keramiku a keramiku kondenzátorovou. [2, 13, 29, 30]

#### **3.2.1.1 Keramika na bázi kaolínů a jílu**

Mezi tuto keramiku řadíme porcelán, ultraporcelán, porcelit a kameninu.

Porcelán je materiál řazený mezi keramiku, který má nulovou nasákavost, relativně vysokou chemickou i mechanickou odolnost. Podle teploty výpalu rozlišujeme porcelán měkký a tvrdý. Tvrdý porcelán obsahuje skelnou fázi s krystaly korundu, křemene a mullitu. Jeho nevýhodou jsou větší dielektrické ztráty, při teplotě nad 400 °C přestává izolovat. Má vysokou elektrickou pevnost (schopnost odolávat namáhání elektrickým polem) a používá se jako izolátory pro nízké a vysoké napětí, kabelové koncovky apod. Ještě lepší vlastnosti má korundový porcelán, u kterého je písek v surovinách nahrazen korundem. Má lepší mechanické vlastnosti a regulovatelné řízení morfologie. Tyto izolátory se používají pro dálkové rozvody, tyčový spirálový závěsný izolátor a pro izolátory velmi vysokého napětí.

Ultraporcelán má dobré elektrické vlastnosti a vysokou mechanickou pevnost a tvrdost. Vyrábí se z oxidu hlinitého, kaolínu a uhličitanu barnatého s přídavkem uhličitanu vápenatého při teplotě výpalu 1360 °C. Používá se pro vysoko namáhané součástky pro vysokofrekvenční záření.

Porcelit nebo-li nízkoztrátový porcelán se vyrábí z křemene, kaolínu a oxidů alkalických zemin. Má výbornou odolnost vůči teplotním rázům a dobré elektrické vlastnosti. Používá se v kondenzátorech ve vysokofrekvenčních obvodech.

Kamenina má stejné složení jako porcelán, kdy hlavní surovinou jsou kameninové jíly. Má nižší teplotu výpalu a to v rozmezí (1150 – 1350) °C. Hlavní výhodou je dobrá tvarovatelnost, díky které lze vyrábět velké a složitější výrobky, které mají horší mechanickou pevnost. Používá se na nosiče odporových drátů a jako velké izolátory. [2, 13]



Obr. 15 Porcelánový izolátor [12]

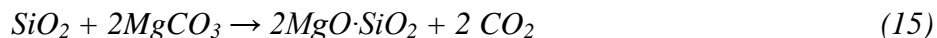
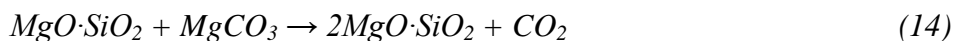
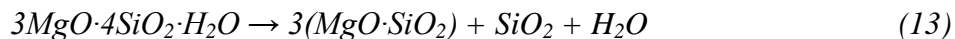
### 3.2.1.2 Hořčnatá keramika

Do skupiny hořčnaté keramiky patří materiály s vysokým obsahem mastku ve výrobní směsi. Jsou to forsteritová, cordieritová a steatitová keramika. Jednotlivé druhy se liší základní krystalickou fází, která vzniká při výpalu keramiky a svými vlastnostmi. Forsteritová keramika obsahuje jako základní krystalickou fází forsterit ( $2\text{MgO}\cdot\text{SiO}_2$ ), cordieritová keramika obsahuje cordierit ( $2\text{MgO}\cdot 2\text{Al}_2\text{O}_3\cdot 5\text{SiO}_2$ ) a steatitová keramika má jako základní krystalickou fází enstatit ( $\text{MgO}\cdot\text{SiO}_2$ ). [2, 13, 30]



### Forsteritová keramika

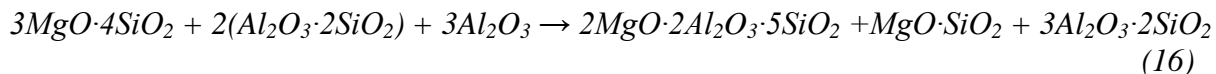
Syntéza forsteritu probíhá při velmi vysoké teplotě (1800 °C) a proto se jako výrobní směs používá mastek, jíl a uhličitán hořečnatý. Výroba probíhá dle rovnic (13, 14, 15).



Tato keramika má velmi dobrou žáruvzdornou odolnost a velmi dobré izolační a elektrické vlastnosti. Používá se hlavně na izolátory vakuových zařízení díky své vakuotěsnosti. [2, 13, 31]

### Cordieritová keramika

Směs pro přípravu minerálu cordierit ( $2MgO \cdot 2Al_2O_3 \cdot 5SiO_2$ ) obsahuje kalcinovaný mastek, metakaolinit (jíl) a oxid hlinitý. Cordierit vzniká reakcemi v pevném stavu dle rovnice (16). Spolu s cordieritem vzniká také enstatit a mullit.



Pokud chceme připravit cordierit bez dalších produktů, použijeme směs kalcinovaného mastku, metakaolinitu a oxidu hořečnatého. Postupuje se dle rovnice (17).



Tato keramika se používá především pro součástky v elektrotechnice, pro izolátory, nosiče odporů a předměty vystavované teplotním šokům (cordieritová keramika má nízký koeficient teplotní roztažnosti). V případě pórovitého materiálu se cordieritová keramika používá jako topné desky či topné spirály. Má dobré elektroizolační vlastnosti. [2, 13, 28, 31]



**Obr. 16 Podložka pro rezistor z cordieritové keramiky [12]**

### **Steatitová keramika**

Výrobní směs pro přípravu steatitové keramiky obsahuje vysoký obsah přírodního mastku, pórovinový jíl a tavivo (živec nebo tzv. bezalkalické tavivo –  $\text{BaCO}_3$ ). Tento druh keramiky se pro své dobré elektrické a mechanické vlastnosti používá na konstrukční izolační materiály, v silnoproudé elektronice jako izolační součástky, podpěrné izolátory a ve vysokofrekvenční elektrotechnice. Steatit se také používá v domácí elektronice, v automobilovém průmyslu, v letectví nebo jako katodové trubice. [2, 13, 28, 31]

### **3.2.2 Piezoelektrické keramické materiály**

Piezoelektrické keramické materiály jsou seskupením malých krystalků piezoelektrické látky, které jsou uspořádány nahodile. Jde tedy o polykrystalické látky, které se stávají piezoelektrickými až po jejich vystavení účinku vnějšího elektrického pole, které vyvolá jejich polarizaci. Dnes se jako piezoelektrické keramické materiály používají materiály na bázi roztoků titaničitanu olovnatého a zirkoničitanu olovnatého ( $\text{PbZrO}_3 - \text{PbTiO}_3$ ) s přísádky barya, stroncia, vápníku, antimonu, wolframu, apod. Jedná se o tzv. PZT keramiku. Tato keramika se syntetizuje při  $910\text{ }^\circ\text{C}$  a vypaluje zhruba při teplotě  $1210\text{ }^\circ\text{C}$ . Po vypálení se vzniklé polotovary obrábí na tvary o požadovaných rozměrech a pokovují se elektrody. Následuje polarizace PTZ keramiky vložením do elektrického pole. PZT keramika se dělí na dva typy: soft PZT a hard PZT.

Piezoelektrické keramické materiály se používají jako piezoelektrické měniče (reproduktory, mikrofony, ...), elektrooptické prvky a rezonanční prvky elektronických obvodů. [2, 13, 29]

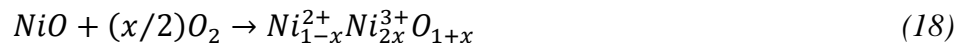


Obr. 17 Piezoelektrický spínač [12]

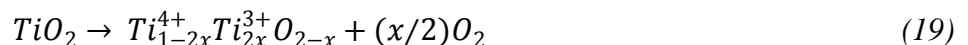
### 3.2.3 Polovodičové keramické materiály

Polovodiče jsou látky, které se za určitých podmínek mohou chovat jako izolanty nebo jako vodiče, kterými může procházet elektrický proud. Jsou to pevné látky, které mají elektrickou vodivost závislejší na vnitřních nebo vnějších podmínkách. Jejich elektrická vodivost je menší než u vodičů, ale větší než u izolantů. V keramice se jedná hlavně o oxidy s defektní strukturou závislejší na teplotě (s rostoucí teplotou roste i vodivost). V keramických polovodičích se elektrický náboj přesouvá pomocí iontové vodivosti (přes ionty). Polovodičové součástky jsou základním stavebním prvkem všech elektronických zařízení a přístrojů. Jsou to například diody, mikroprocesory, integrované obvody, tranzistory.

Polovodivost u keramiky lze vyvolat přebytkem nebo nedostatkem kyslíku v mřížce dielektrika. Díky tomu může vzniknout polovodivost typu p nebo n. Polovodivost typu p lze vyvolat přebytkem kyslíku např. v mřížce NiO dle rovnice (18).



Polovodivost typu n lze vyvolat nedostatkem kyslíku např. v mřížce TiO<sub>2</sub> dle rovnice (19).



Hojně využívanými součástkami jsou termistory a fotorezistory. [2, 13]

## Termistor

Termistor má elektrický odpor závislý na teplotě. Vyrábí se z oxidů kovů práškovou metalurgií. Za vysokých tlaků se tvarují a za vysokých teplot (cca 1000 °C) spékají. Termistory slouží jako teplotní čidla, lze je využít i na omezení proudu v obvodech (průchod většího množství proudu vyvolá ohřátí termistoru, který má tak díky tomu vyšší odpor). [2, 32]

### 3.2.4 Feritová keramika – Ferity

Ferity jsou keramické materiály tmavě šedé až černé barvy, které mají magnetické vlastnosti. Jsou chemicky inertní, křehké a velmi tvrdé. Obecné složení feritů je  $MeFe_2O_4$ , kde Me je jeden či více kovů (např. Zn, Mn, Cu, Ni, Co, Mg nebo Fe). Podmínkou vzniku feritů je výskyt nepárových elektronů alespoň u jednoho druhu kationtu v jeho elektronovém obalu. Ferity se dělí na dvě skupiny: magneticky měkké a magneticky tvrdé. [2, 13, 31, 33]



Obr. 18 Dvoudílné ferity v plastovém pouzdru [34]

#### 3.2.4.1 Magneticky měkké ferity

Magneticky měkké ferity mají obecný vzorec  $MeO \cdot Fe_2O_3$ , kde kovem může být nikl, mangan, zinek, měď, kobalt nebo hořčík. Používají se v televizní technice jako elektromagnety, v telefonní a osvětlovací technice, ve vysokofrekvenčních svářecích zařízeních nebo v radiokomunikačních systémech. Mezi nejznámější ferity patří spinelové ferity,  $Ni_2Zn$  a  $Mn_2Zn$ .

### 3.2.4.2 Magneticky tvrdé ferity

Magneticky tvrdé ferity jsou vyjadřovány obecným vzorcem  $MeO \cdot 6Fe_2O_3$ , kde je kovem stroncium, baryum či olovo. Tvrdé ferity jsou používány především jako permanentní magnety.

### 3.2.4.3 Příprava feritů

Feritové magnety se připravují metodou práškové metalurgie, kdy základní směs tvoří oxid železa s uhličitanem barnatým nebo strontnatým. Metodou suchého a mokrého lisování se připravují tvrdé ferity. Pro výrobu feritového prachu se využívají feritové granule připravené z uhličitanu strontnatého a oxidu železitého. Feritový prach se za mokra mísí a vzniklá směs se nechá předreagovat při teplotě nižší než vypalovací dle rovnice (20).



Poté následuje rozemletí a tvarování s přidavkem plastifikátoru. Vzniklý produkt se vypaluje při teplotách 1000-1400 °C. [2, 13]

## 3.3 Supravodivá keramika

Supravodiče jsou látky, které mají nulový odpor při vedení elektrického proudu při ochlazení pod kritickou teplotu. Díky tomuto jevu se supravodivá keramika využívá hlavně v oblasti výpočetní techniky, elektroniky. Používá se také pro zvýšení výkonů transformátorů, elektromotorů a také pro zdokonalení přístrojů na lékařské a fyzikální účely. Mezi dobré supravodiče řadíme kovové materiály, které za normálních podmínek nejsou magnetické a jsou považovány za špatné vodiče, např. nikl, olovo. Supravodivá keramika se nejčastěji připravuje reakcemi uhličitanů a oxidů v tuhé fázi. Kalcinace a žíhání probíhá při teplotě okolo 800 °C. [2, 35]

## 4 Experimentální část

Pro využití keramiky jsou klíčové její vlastnosti. Keramiku volíme podle chemických, fyzikálních, elektrických, mechanických a jiných vlastností, kterými mohou být např. žáruvzdornost, odolnost proti náhlé změně teploty, mechanická pevnost v ohybu, nasákavost, apod. Mezi fyzikálně-chemické vlastnosti patří například teplotní roztažnost, která byla v rámci experimentální části bakalářské práce změřena u několika vzorků keramiky. [1, 13]

### 4.1 Koeficient teplotní roztažnosti

Teplotní roztažnost materiálu je vyjadřována jako změna rozměrů tělesa, která je vyvolána změnou teploty za stálého tlaku. Teplotní roztažnost je charakterizována koeficientem délkové teplotní roztažnosti  $\alpha$  nebo koeficientem objemové teplotní roztažnosti  $\beta$ .

Koeficient délkové teplotní roztažnosti je definován rovnicí (21), kde  $l_0$  je původní délka tělesa a  $dl$  je změna délky tělesa při změně teploty  $dT$ .

$$\alpha = \frac{1}{l_0} \cdot \frac{dl}{dT} \quad (21)$$

Koeficient objemové teplotní roztažnosti je definován rovnicí (22), kde  $V_0$  je původní objem tělesa a  $dV$  je změna objemu tělesa při změně teploty  $dT$ .

$$\beta = \frac{1}{V_0} \cdot \frac{dV}{dT} \quad (22)$$

Mezi oběma koeficienty platí vztah, který je dán rovnicí (23).

$$\beta = 3\alpha \quad (23)$$

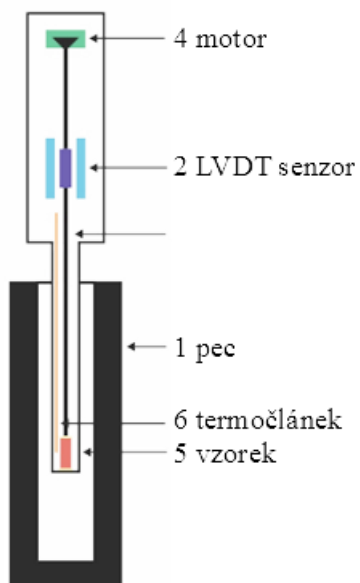
Vztah (23) platí pouze tehdy, pokud u daného typu materiálu nezávisí hodnota  $\alpha$  na směru, tj. látka je izotropní. Pro stanovení koeficientu délkové teplotní roztažnosti keramiky se používá dilatometr nebo termomechanický analyzátor. Příklady roztažností některých keramických materiálů jsou uvedeny v tabulce 1. [1, 13]

Tabulka 1 Teplotní roztažnosti keramických látek [1]

Látka	Rozmezí teplot [°C]	$\alpha \cdot 10^7$ [K <sup>-1</sup> ]
Kordieritové hmoty	20-200	11-12
Karbid křemíku SiC	20-1000	40-65
Korundové tvarovky	20-1000	70-75
Oxid hlinitý zrnitý	25-900	70-80
Oxid hořečnatý zrnitý	20-270	115-130
Porcelán standart	20-600	35-45
Hořečnatá keramika	20-600	70-90

## 4.2 Termomechanický analyzátor

Pro měření teplotní roztažnosti vzorků keramiky byl použit termomechanický analyzátor od německé firmy Linseis (obr. 19, 20).



Obr. 19 Schéma termomechanického analyzátoru

Termomechanický analyzátor je vybaven vertikálně orientovanou pecí, LVDT senzorem, který určuje přesnou polohu pohyblivého držáku vzorku, dále pak motorem, díky němuž lze posouvat držák a aplikovat na něj sílu a termočlánkem, který určuje teplotu v okolí vzorku.

Před vlastním měřením se provádí kalibrace termočlánku za pomoci tání čistých kovů. Postupuje se tak, že se kov vloží do pece a při určité teplotě roztaje. Kalibrace se provádí pro 4 kovy (Ga, Sn, Zn, Al). [36, 37]



**Obr. 20** Termomechanický analyzátor Linseis



## 4.3 Termomechanická analýza

### 4.3.1 Měření teplotní roztažnosti hliníku (standardu)

Na termomechanickém analyzátoru byla nejprve změřena teplotní roztažnost hliníku, který se dle normy ASTM (American Society for Testing and Material) používá jako kalibrační standard. Pro každé měření vzorku se naměřené hodnoty vztahují a přepočítávají ke standardu hliníku. Pro termomechanický analyzátor se pomocí změřených hodnot koeficientu teplotní délkové roztažnosti hliníku určí kalibrační konstanty. [36, 37]

#### 4.3.1.1 Postup měření standardu hliníku

Pomocí mikrometrického šroubu se změřila výška hliníkového válečku. Změřený hliníkový váleček (standard) se vložil mezi dvě křemenné destičky v termomechanickém analyzátoru. Následně se v počítači nastavil software pro měření dle tabulky 2. Hodnoty v tabulce 2 jsou určeny normou ASTM, která určuje rozsahy mezí, ve kterých se měří stanovení koeficientů délkové teplotní roztažnosti. Poté se pomocí automatického posuvu zajelo se standardem (hliníkovým válečkem) do pece termomechanického analyzátoru a spustilo se měření. [36, 37]

**Tabulka 2 Podmínky měření koeficientu teplotní délkové roztažnosti**

	ASTM norma	Zvolená hodnota
Aplikovaná síla	1 – 100 mN	20 mN
Rychlost ohřevu	2 – 10 K·min <sup>-1</sup>	2 K·min <sup>-1</sup>
Výška vzorku	2 – 10 mm	dle vzorku
Šířka a hloubka vzorku	max. 10 mm	dle vzorku

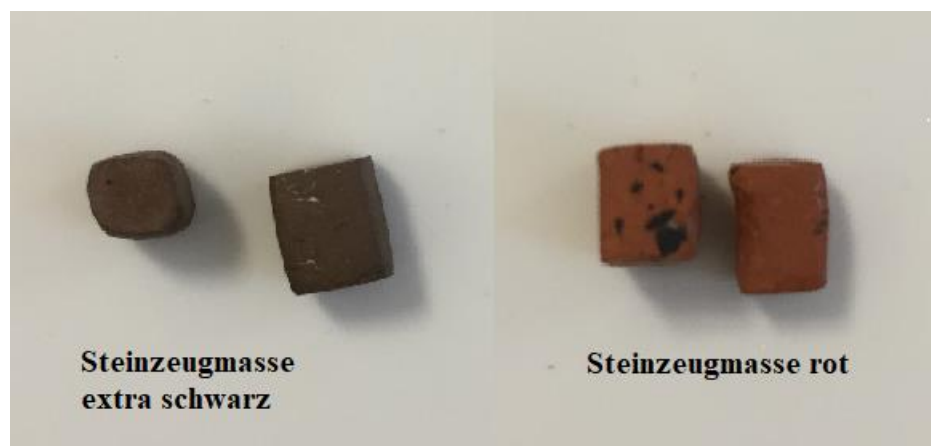
### 4.3.2 Měření vzorků keramiky

V případě měření vzorků keramiky byl postup totožný jako měření teplotní roztažnosti standardu hliníku. Teplotní délková roztažnost se určila pomocí kalibračních konstant určených z měření hliníkového standardu.

#### 4.4 Vzorky keramiky

V této bakalářské práci byly použity čtyři vzorky keramických materiálů. První dva vzorky jsou od německé firmy Witgert. Jedná se o keramiku z kategorie plastických těst, tj. červený vzorek keramiky Steinzeugmasse rot a šedý vzorek keramiky Steinzeugmasse extra schwarz. Složení obou keramik je uvedeno v tabulce 3. [38]

Pro měření pomocí termomechanického analyzátoru bylo nutno původně plastické těsto vytvarovat, pak předsušit a nakonec vypálit, aby vznikla keramická hmota. Vzorky byly ručně tvarovány, sušení probíhalo v sušárně Memmert UNB 400 při teplotě 100 °C po dobu 17 hodin. Výpal probíhal v peci Clasic 1013 dvoustupňově – nejprve byly vzorky ohřáty na teplotu 850 °C, rychlost ohřevu 10 K/min a výdrž 1 minuta; po ochlazení na 280 °C byly vzorky ohřáty na teplotu 1050 °C, rychlost ohřevu 10 K/min a výdrž 1 minuta; poté následovalo volné chladnutí na pokojovou teplotu. Vypálené vzorky byly následně broušeny pomocí korundového prášku tak, aby byly v měřeném směru plochy vzorku rovnoběžné.



Obr. 21 Vzorky keramiky od firmy Witgert

Jako třetí a čtvrtý vzorek byla použita keramika, která se používá na zubní implantáty. Jedná se o bloky, které jsou vyrobeny z lithium disilikátové sklokeramiky. Z těchto bloků se vytváří zub, který se nechá vykryštalizovat v keramické peci. Tyto keramické bloky jsou výrobkem firmy Ivoclar Vivadent a jejich obchodní název je IPS e-max CAD. Složení je opět uvedeno v tabulce 3. Pro měření délkové teplotní roztažnosti byl použit vzorek implantátu nevypálený a vypálený v peci. [39, 40]

Úprava vzorku pro získání rovnoběžných ploch v měřeném směru byla provedena již u nevypálené hmoty. Vypálení této hmoty bylo provedeno dvoustupňově v peci Clasic 1013 – nejprve byl vzorek ohřát na teplotu 400 °C, rychlost ohřevu 10 K/min a výdrž 30 min a následně ihned ohřát na teplotu 860 °C, rychlost ohřevu 10 K/min a výdrž 10 min; poté následovalo volné chladnutí na pokojovou teplotu. Vypálením se změnil zbarvení hmoty z fialové na bílou.



**Obr. 22** Vzorek zubního implantátu před vypálením v peci

**Tabulka 3 Chemické složení vzorků keramiky [38, 40]**

<b>Složení/typ</b>	<b>Steinzeugmasse extra schwarz [%]</b>	<b>Steinzeugmasse rot [%]</b>	<b>Zubní implantát [%]</b>
<b>SiO<sub>2</sub></b>	67,5	68,4	57-80
<b>Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub></b>	19,3	21,3	0-5
<b>TiO<sub>2</sub></b>	1,3	1,3	0
<b>Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub></b>	6,3	5,9	0
<b>CaO</b>	0,3	0,4	0
<b>MgO</b>	0,5	0,4	0-5
<b>Na<sub>2</sub>O</b>	0	0,2	0
<b>K<sub>2</sub>O</b>	0,9	0,2	0-13
<b>Mn<sub>3</sub>O<sub>4</sub></b>	3,7	0	0
<b>Li<sub>2</sub>O</b>	0	0	11-19
<b>P<sub>2</sub>O<sub>5</sub></b>	0	0	0-11
<b>ZrO<sub>2</sub></b>	0	0	0-8
<b>ZnO</b>	0	0	0-8

Pro stanovení koeficientu délkové teplotní roztažnosti je potřeba znát počáteční výšku vzorku. Tyto výšky jsou uvedeny v tabulce 4.

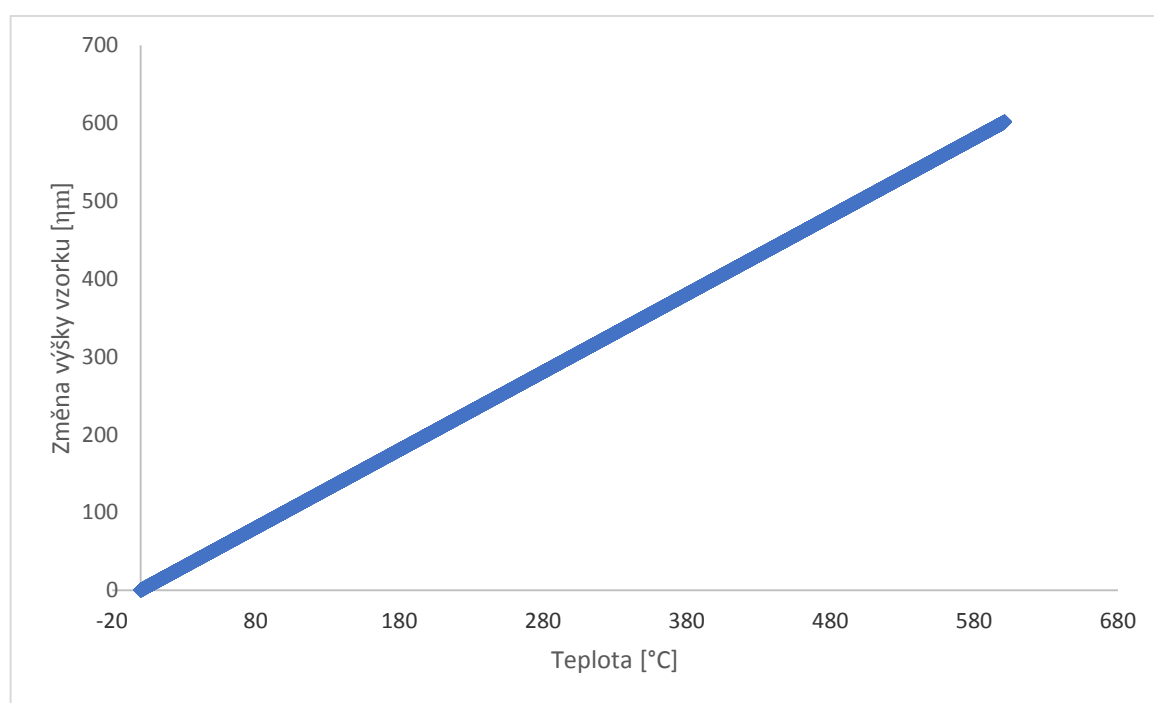
**Tabulka 4 Počáteční výšky vzorků**

<b>Vzorek keramiky</b>	<b>Počáteční výška vzorku [mm]</b>
Steinzeugmasse extra schwarz	6,869
Steinzeugmasse rot	7,706
Zubní implantát vypálený	6,366
Zubní implantát nevypálený	6,526

## 5 Výsledky

### 5.1.1 Stanovení koeficientu délkové teplotní roztažnosti hliníku

Termomechanický analyzátor zaznamenává změnu výšky vzorku v závislosti na teplotě. Koeficient délkové teplotní roztažnosti  $\alpha$  byl vypočítán z této závislosti (směrnice této závislosti v daném teplotním intervalu vztažená na původní délku vzorku). U měření jsou vždy použity křemenné destičky. Křemen má nízkou teplotní roztažnost, ale i přesto byla u jednotlivých měření odečtena hodnota baseline (měření, které probíhá bez vzorku), aby se eliminovala chyba měření.



Obr. 23 Závislost změny výšky vzorku hliníku na teplotě

Ze směrnice  $k_s$  se pomocí známé počáteční výšky vzorku  $l_0$  vypočítal koeficient teplotní roztažnosti pro daný teplotní interval podle rovnice (24).

$$\alpha = \frac{k_s}{l_0 \cdot 1000} \quad (24)$$

Měření standardu hliníku proběhlo třikrát. Vypočítané hodnoty koeficientů délkové teplotní roztažnosti pro hliník v určitých intervalech byly zprůměrovány a porovnány s tabelovanými hodnotami ( $\alpha_{tab}$ ). Následně se pomocí rovnice (25) určily kalibrační konstanty platné pro náš termomechanický analyzátor. Tabelované hodnoty pro hliník jsou uvedeny v ASTM normě. [36, 37]

$$k = \frac{\alpha_{tab}}{\alpha} \quad (25)$$

**Tabulka 5 Koeficienty délkové teplotní roztažnosti hliníku**

Teplota [°C]	Teplotní interval [°C]	$\alpha \cdot 10^6$ [°C <sup>-1</sup> ] měření 1	$\alpha \cdot 10^6$ [°C <sup>-1</sup> ] měření 2	$\alpha \cdot 10^6$ [°C <sup>-1</sup> ] měření 3	$\alpha \cdot 10^6$ [°C <sup>-1</sup> ] průměr
100	50-150	24,1	24,3	24,3	24,2
150	100-200	24,4	24,8	24,5	24,6
200	150-250	25,1	25,2	24,8	25,0
250	200-300	25,2	25,5	25,1	25,2
300	250-350	25,8	25,7	25,8	25,8
350	300-400	26,9	27,0	27,1	27,0
400	350-450	28,3	28,3	28,2	28,2
450	400-500	29,5	29,4	29,3	29,4
500	450-550	31,3	30,7	30,8	30,9
550	500-600	32,7	32,4	32,6	32,6

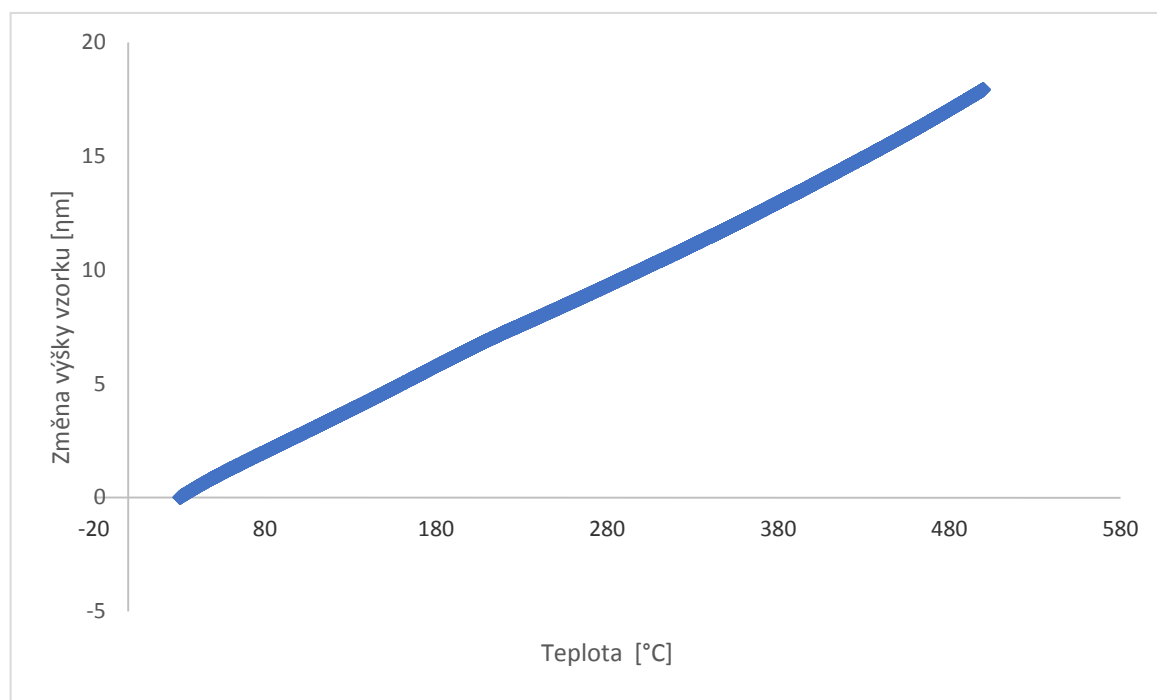
**Tabulka 6 Porovnání koeficientů délkové teplotní roztažnosti hliníku a kalibrační konstanta**

Teplota [°C]	$\alpha \cdot 10^6$ [°C <sup>-1</sup> ] experimentální data	$\alpha_{\text{tab}} \cdot 10^6$ [°C <sup>-1</sup> ] tabelované hodnoty	Kalibrační konstanta k
100	24,2	24,5	1,0123
150	24,6	25,5	1,0379
200	25,0	26,2	1,0462
250	25,2	26,8	1,0636
300	25,8	27,8	1,0786
350	27,0	29,2	1,0811
400	28,2	30,5	1,0799
450	29,4	31,8	1,0821
500	30,9	33,2	1,0727
550	32,6	35,3	1,0840

### 5.1.2 Stanovení koeficientu teplotní roztažnosti vzorků

Termomechanický analyzátor opět zaznamenával změny výšky jednotlivých vzorků v závislosti na teplotě. Koeficienty délkové teplotní roztažnosti  $\alpha$  byly z této závislosti vypočítány pomocí směrnice této závislosti v daném teplotním intervalu vztahované na původní délku vzorku. Pro každý vzorek proběhlo měření 2x a výsledné hodnoty byly zprůměrovány a upraveny o kalibrační konstanty z měření standardu pomocí odvozené rovnice (25).

### 5.1.2.1 Vzorek Steinzeugmasse rot



Obr. 24 Závislost změny výšky vzorku Steinzeugmasse rot na teplotě

Tabulka 7 Hodnoty měření vzorku Steinzeugmasse rot

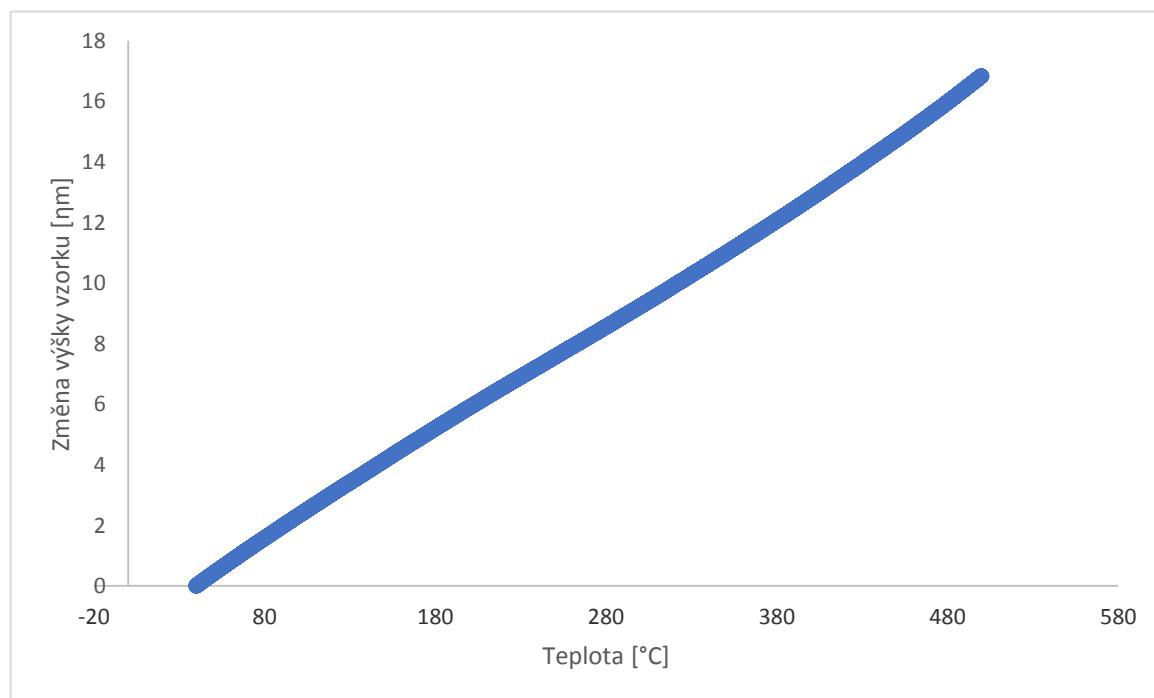
Teplota [°C]	Teplotní interval [°C]	Hodnota směrnice Měření 1	Hodnota směrnice Měření 2	$\alpha \cdot 10^6$ [°C <sup>-1</sup> ] měření 1	$\alpha \cdot 10^6$ [°C <sup>-1</sup> ] měření 2	$\alpha \cdot 10^6$ [°C <sup>-1</sup> ] průměr
100	50-150	0,03184	0,03701	4,13	4,80	4,47
150	100-200	0,02986	0,03809	3,87	4,94	4,41
200	150-250	0,03212	0,03675	4,17	4,77	4,47
250	200-300	0,03256	0,03442	4,23	4,47	4,35
300	250-350	0,03453	0,03547	4,48	4,60	4,54
350	300-400	0,03671	0,03725	4,76	4,83	4,80
400	350-450	0,03864	0,03928	5,01	5,10	5,06
450	400-500	0,04117	0,04176	5,34	5,42	5,38



**Tabulka 8** Výsledky měření vzorku Steinzeugmasse rot

Teplota [°C]	$\alpha \cdot 10^6$ [°C <sup>-1</sup> ] průměr	Kalibrační konstanta k	Steinzeugmasse rot $\alpha \cdot 10^6$ [°C <sup>-1</sup> ]
100	4,47	1,012318	<b>4,52</b>
150	4,41	1,037949	<b>4,58</b>
200	4,47	1,046239	<b>4,68</b>
250	4,35	1,063569	<b>4,62</b>
300	4,54	1,078619	<b>4,90</b>
350	4,80	1,081106	<b>5,19</b>
400	5,06	1,079919	<b>5,46</b>
450	5,38	1,082096	<b>5,82</b>

### 5.1.2.2 Vzorek Steinzeugmasse extra schwarz



**Obr. 25** Závislost změny výšky vzorku Steinzeugmasse extra schwarz na teplotě

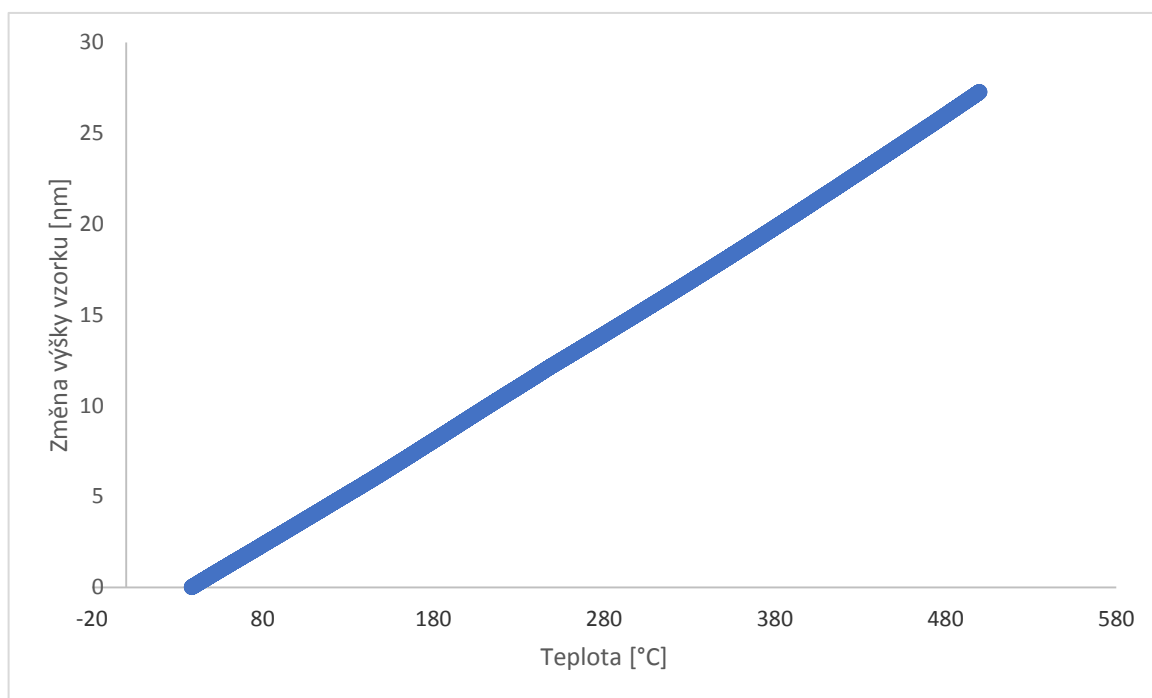
**Tabulka 9** Hodnoty měření vzorku Steinzeugmasse extra schwarz

Teplota [°C]	Teplotní interval [°C]	Hodnota směrnice Měření 1	Hodnota směrnice Měření 2	$\alpha \cdot 10^6$ [°C <sup>-1</sup> ] měření 1	$\alpha \cdot 10^6$ [°C <sup>-1</sup> ] měření 2	$\alpha \cdot 10^6$ [°C <sup>-1</sup> ] průměr
100	50-150	0,03718	0,03713	5,41	5,41	5,41
150	100-200	0,03568	0,03571	5,19	5,20	5,20
200	150-250	0,03568	0,0342	5,19	4,98	5,09
250	200-300	0,03347	0,03321	4,87	4,83	4,85
300	250-350	0,03405	0,03408	4,96	4,96	4,96
350	300-400	0,03587	0,0357	5,22	5,20	5,21
400	350-450	0,03796	0,03762	5,53	5,48	5,50
450	400-500	0,04014	0,04016	5,84	5,85	5,85

**Tabulka 10** Výsledky měření vzorku Steinzeugmasse extra schwarz

Teplota [°C]	$\alpha \cdot 10^6$ [°C <sup>-1</sup> ] průměr	Kalibrační konstanta k	Steinzeugmasse extra schwarz
100	5,41	1,012318	<b>5,48</b>
150	5,20	1,037949	<b>5,39</b>
200	5,09	1,046239	<b>5,32</b>
250	4,85	1,063569	<b>5,16</b>
300	4,96	1,078619	<b>5,35</b>
350	5,21	1,081106	<b>5,63</b>
400	5,50	1,079919	<b>5,94</b>
450	5,85	1,082096	<b>6,32</b>

### 5.1.2.3 Vzorek vypáleného zubního implantátu



Obr. 26 Závislost změny výšky vzorku vypáleného zubního implantátu na teplotě

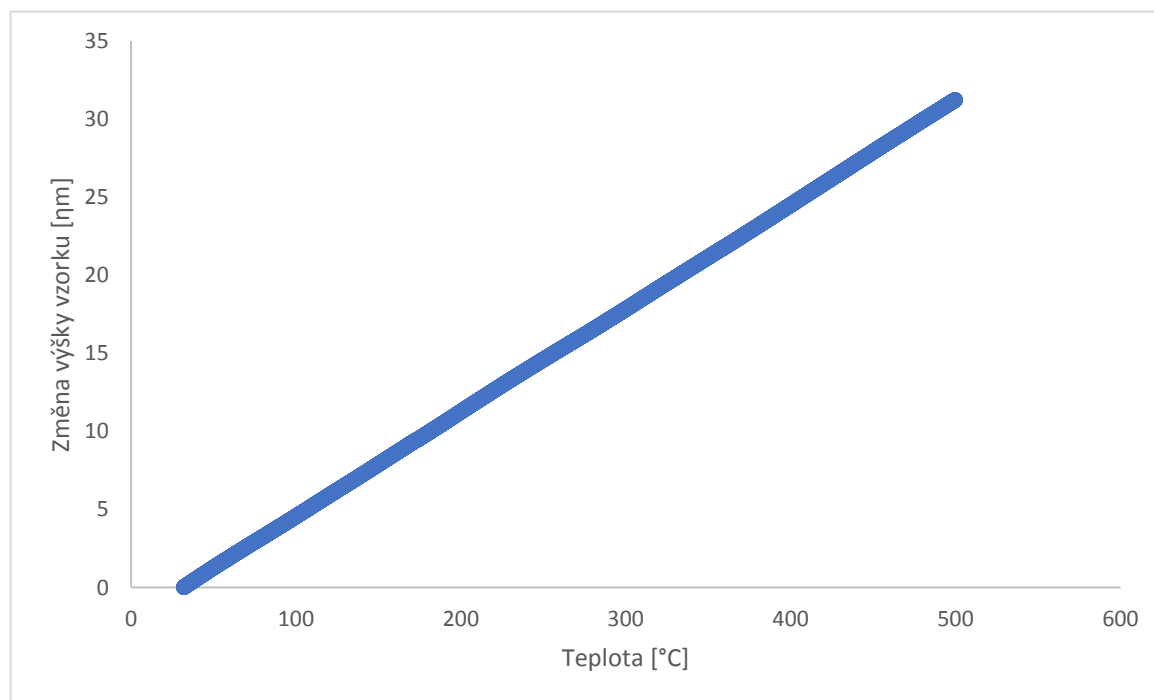
Tabulka 11 Hodnoty měření vzorku vypáleného zubního implantátu

Teplota [°C]	Teplotní interval [°C]	Hodnota směrnice Měření 1	Hodnota směrnice Měření 2	$\alpha \cdot 10^6$ [°C <sup>-1</sup> ] měření 1	$\alpha \cdot 10^6$ [°C <sup>-1</sup> ] měření 2	$\alpha \cdot 10^6$ [°C <sup>-1</sup> ] průměr
100	50-150	0,05651	0,05613	8,88	8,82	8,85
150	100-200	0,0572	0,05798	8,99	9,11	9,05
200	150-250	0,05793	0,05946	9,10	9,34	9,22
250	200-300	0,05737	0,05792	9,01	9,10	9,06
300	250-350	0,0579	0,0577	9,10	9,06	9,08
350	300-400	0,05995	0,05946	9,42	9,34	9,38
400	350-450	0,06159	0,06124	9,67	9,62	9,65
450	400-500	0,06332	0,06241	9,95	9,80	9,88

**Tabulka 12** Výsledky měření vzorku vypáleného zubního implantátu

Teplota [°C]	$\alpha \cdot 10^6$ [°C <sup>-1</sup> ] průměr	Kalibrační konstanta k	Zubní implantát $\alpha \cdot 10^6$ [°C <sup>-1</sup> ]
100	8,85	1,012318	<b>8,93</b>
150	9,05	1,037949	<b>9,45</b>
200	9,22	1,046239	<b>9,77</b>
250	9,06	1,063569	<b>9,68</b>
300	9,08	1,078619	<b>9,78</b>
350	9,38	1,081106	<b>10,10</b>
400	9,65	1,079919	<b>10,39</b>
450	9,88	1,082096	<b>10,61</b>

#### 5.1.2.4 Vzorek nevypáleného zubního implantátu



**Obr. 27** Závislost změny výšky vzorku nevypáleného zubního implantátu na teplotě

**Tabulka 13** Hodnoty měření vzorku nevypáleného zubního implantátu

Teplota [°C]	Teplotní interval [°C]	Hodnota směrnice Měření 1	Hodnota směrnice Měření 2	$\alpha \cdot 10^6$ [°C <sup>-1</sup> ] měření 1	$\alpha \cdot 10^6$ [°C <sup>-1</sup> ] měření 2	$\alpha \cdot 10^6$ [°C <sup>-1</sup> ] průměr
100	50-150	0,06579	0,06599	10,08	10,11	10,10
150	100-200	0,06516	0,06685	9,98	10,24	10,11
200	150-250	0,06517	0,06733	9,99	10,32	10,15
250	200-300	0,06146	0,06519	9,42	9,99	9,70
300	250-350	0,06256	0,06584	9,59	10,09	9,84
350	300-400	0,06602	0,06637	10,12	10,17	10,14
400	350-450	0,06744	0,06766	10,33	10,37	10,35
450	400-500	0,06377	0,06749	9,77	10,34	10,06

**Tabulka 14** Výsledky měření vzorku nevypáleného zubního implantátu

Teplota [°C]	$\alpha \cdot 10^6$ [°C <sup>-1</sup> ] průměr	Kalibrační konstanta k	Zubní implantát $\alpha \cdot 10^6$ [°C <sup>-1</sup> ]
100	10,10	1,012318	<b>10,22</b>
150	10,11	1,037949	<b>10,50</b>
200	10,15	1,046239	<b>10,62</b>
250	9,70	1,063569	<b>10,32</b>
300	9,84	1,078619	<b>10,61</b>
350	10,14	1,081106	<b>10,97</b>
400	10,35	1,079919	<b>11,18</b>
450	10,06	1,082096	<b>10,88</b>

### 5.1.3 Výsledky a jejich porovnání

V tabulce jsou shrnuty výsledné hodnoty z měření délkových teplotních roztažností jednotlivých vzorků. Největší délkovou teplotní roztažnost má nevypálený zubní implantát. Pokud srovnáme hodnoty vypáleného a nevypáleného zubního implantátu, tak hodnoty nevypáleného implantátu jsou nepatrně vyšší.

Hodnota délkové teplotní roztažnosti udávané výrobcem pro nevypálený zubní implantát v intervalu teplot (100 – 500 °C) je  $10,45 \pm 0,4 \cdot 10^{-6} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$ . Pro námi změřené vzorky zubních implantátů v intervalu (100 – 500 °C) jsou hodnoty délkové teplotní roztažnosti pro vypálený zubní implantát  $9,97 \cdot 10^{-6} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$  a pro nevypálený zubní implantát  $10,73 \cdot 10^{-6} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$ . Pokud bychom porovnali hodnotu udávanou výrobcem pro nevypálený zubní implantát a hodnotu z našeho měření, zjistíme, že naše hodnota s tolerancí  $0,4 \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$  odpovídá hodnotě udávané výrobcem.

Pokud srovnáme hodnoty délkových teplotních roztažností prvních dvou vzorků od německé firmy Witgert, můžeme říci, že hodnoty vzorku Steinzeugmasse extra schwarz jsou nepatrně vyšší než u vzorku Steinzeugmasse rot. Obě tyto keramiky jsou složeny převážně z oxidu křemičitého viz tabulka 3. Tabelovaná hodnota délkové teplotní roztažnosti je v intervalu teplot (20-1000 °C)  $4 - 6,5 \cdot 10^{-6} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$ . Pokud tuto hodnotu porovnáme s výslednými hodnoty z měření (tabulka 15) můžeme říci, že všechny hodnoty pro změřené teploty odpovídají tabelované hodnotě.

**Tabulka 15** Výsledné hodnoty délkových teplotních roztažností změřených vzorků

<b>Teplota [°C]</b>	<b>Steinzeugmasse rot <math>\alpha \cdot 10^6</math> [°C<sup>-1</sup>]</b>	<b>Steinzeugmasse extra schwarz <math>\alpha \cdot 10^6</math> [°C<sup>-1</sup>]</b>	<b>Zubní implantát vypálený <math>\alpha \cdot 10^6</math> [°C<sup>-1</sup>]</b>	<b>Zubní implantát nevypálený <math>\alpha \cdot 10^6</math> [°C<sup>-1</sup>]</b>
100	<b>4,52</b>	<b>5,48</b>	<b>8,93</b>	<b>10,22</b>
150	<b>4,58</b>	<b>5,39</b>	<b>9,45</b>	<b>10,50</b>
200	<b>4,68</b>	<b>5,32</b>	<b>9,77</b>	<b>10,62</b>
250	<b>4,62</b>	<b>5,16</b>	<b>9,68</b>	<b>10,32</b>
300	<b>4,90</b>	<b>5,35</b>	<b>9,78</b>	<b>10,61</b>
350	<b>5,19</b>	<b>5,63</b>	<b>10,10</b>	<b>10,97</b>
400	<b>5,46</b>	<b>5,94</b>	<b>10,39</b>	<b>11,18</b>
450	<b>5,82</b>	<b>6,32</b>	<b>10,61</b>	<b>10,88</b>

## Závěr

Po provedení literární rešerše byla vypracována bakalářská práce na téma: Speciální keramika. Informace byly čerpány ze zdrojů uvedených v seznamu literatury.

První část bakalářské práce seznamuje čtenáře s keramikou, její historií a rozdílem mezi tradiční keramikou a speciální keramikou. V této kapitole je zmínka i o firmách zabývajících se výrobou keramiky v České republice.

Druhá část je věnována základním technologickým procesům v keramice, mezi které patří metody tvarování, sušení a slinování keramiky. U každého technologického procesu byl uveden jeho stručný popis, pár příkladů použití a u některých i schéma daného procesu.

Hlavní částí této bakalářské práce je kapitola o speciální keramice, ve které jsou uvedeny některé druhy speciálních keramik. V každé podkapitole jsou o daném druhu speciální keramiky informace o jejich vlastnostech, výrobě a použití.

Poslední část bakalářské práce byla věnována experimentální části. V té byl pomocí termomechanické analýzy stanoven koeficient délkové teplotní roztažnosti u vybraných vzorků keramik. Jednalo se o dva vzorky od německé firmy Witgert (červený vzorek keramiky Steinzeugmasse rot a šedý vzorek keramiky Steinzeugmasse extra schwarz) a vzorek zubního implantátu (vypáleného a nevypáleného) od firmy Ivoclar vivadent, jehož obchodní název je IPS e-max CAD. Výsledné hodnoty délkových teplotních roztažností jsou uvedeny v tabulce 15. Získané hodnoty z měření byly porovnány s hodnotami tabelovanými. Všechny získané hodnoty se vešly do rozmezí tabelovaných délkových teplotních roztažností.



## Literatura

- [1] VALENTA, Ladislav. Keramická příručka. Horní Maršov: Vydavatelství technické literatury, 1999.
- [2] Speciální keramické materiály [online]. ostrava, 2013 [cit. 2018-11-08]. ISBN 978-80-248-3365-1. Dostupné z: [https://www.fmmi.vsb.cz/export/sites/fmmi/modin/cs/studijni-opory/resitelsky-tym-2-metalurgie/specialni-keramicke-materialy/Ovcacikova\\_Specialni-keramicke-materialy.pdf](https://www.fmmi.vsb.cz/export/sites/fmmi/modin/cs/studijni-opory/resitelsky-tym-2-metalurgie/specialni-keramicke-materialy/Ovcacikova_Specialni-keramicke-materialy.pdf)
- [3] Sklo a keramika CZ: Přehled firem [online]. 2014 [cit. 2018-12-03]. Dostupné z: <http://www.skloakeramika.cz/prehled-firem/18-porcelan-a-keramika/103-thun-1794-a-s.html>
- [4] The curse of Terracotta Army? Some of the myths that surround the First Emperor's Warriors. Echo [online]. [cit. 2018-12-03]. Dostupné z: <https://www.liverpoolecho.co.uk/whats-on/arts-culture-news/terracotta-army-liverpool-curse-myths-14226462>
- [5] O keramice: Co je keramika?. Asociace sklářského a keramického průmyslu ČR [online]. [cit. 2018-11-30]. Dostupné z: <https://askpcr.cz/o-keramice/co-je-keramika>
- [6] Sklo a keramika CZ: Thun 1794 a.s. [online]. [cit. 2018-12-03]. Dostupné z: <http://www.skloakeramika.cz/prehled-firem/18-porcelan-a-keramika/103-thun-1794-a-s.html>
- [7] Thun 1794 a. s.: Produkty [online]. [cit. 2018-12-03]. Dostupné z: <https://www.thun.cz/cz/info/5-produkty.html>
- [8] Český porcelán akciová společnost Dubí [online]. [cit. 2018-12-03]. Dostupné z: <http://www.cesky.porcelan.cz/>
- [9] Český porcelán akciová společnost Dubí: Eshop. Český porcelán akciová společnost Dubí [online]. [cit. 2018-12-03]. Dostupné z: <https://www.cesky.porcelan.cz/eshop/>
- [10] Royal Dux Bohemian: Eshop [online]. [cit. 2018-12-03]. Dostupné z: <https://eshop.royaldux.cz/>
- [11] Sklo a keramika CZ: Laufen CZ, s.r.o. [online]. [cit. 2018-12-03]. Dostupné z: <http://www.skloakeramika.cz/prehled-firem/18-porcelan-a-keramika/51-laufen-cz-s-r-o.html>
- [12] Keramika z oxidu hlinitého, steatitová keramika, výrobci dodavatelé. In: Čína porcelán [online]. [cit. 2019-02-04]. Dostupné z: <http://cz.ceramics-global.com/>
- [13] HANYKÝŘ, Vladimír a Jaroslav KUTZENDORFER. Technologie keramiky. 2000. ISBN 80-900860-6-3.
- [14] Sádrové formy. In: Výroba keramiky a sádrových forem: Hana Chaloupková [online]. 2010 [cit. 2019-02-04]. Dostupné z: <http://www.keramika-morava.cz/index.php?odkaz=formy>

- [15] VESELÝ J.: Příprava pokročilé keramiky metodou gelového lití, Bakalářská práce, Fakulta strojního inženýrství, Ústav materiálových věd a inženýrství, VUT Brno, 2007, s. 37.
- [16] HANYKÝŘ, V., HAVRDA, J.: Speciální technologie keramiky I. Fakulta chemické technologie. VŠCHT Praha. [http://old.vscht.cz/sil/keramika/Ceramic\\_Technology/SM-Lect-2-C.pdf](http://old.vscht.cz/sil/keramika/Ceramic_Technology/SM-Lect-2-C.pdf)
- [17] Keramika Rosice: Výroba točené užitkové keramiky [online]. 2012 [cit. 2018-12-03]. Dostupné z: <http://produktymoravy.cz/misto/nv-atelier/>
- [18] ROLEK, Ondřej. Modifikace mikrostruktury oxidu hlinitého pro balistické testování. Brno, 2015. Bakalářská práce. Vysoké učení technické v Brně. Vedoucí práce Ing. Jakub Roleček.
- [19] Kuchyňské potřeby: Japonské keramické nože. Kyocera: Japonské keramické nože [online]. 2019 [cit. 2019-02-04]. Dostupné z: <https://www.keramicke-noze.cz/japan--jpn/keramicky-nuz-s-cernou-cepeli-14-cm--drevena-rukojet-s-1-nytem/>
- [20] Žáruvzdorná a oteruvzdorná keramika: Karkor. Kerval a.s. Karlštejn [online]. [cit. 2019-02-04]. Dostupné z: <http://www.kerval.cz/produkty/zaruvzdorny-material-karkor/>
- [21] PÁNEK, Z. A kol.: Konstručná keramika. Bratislava: R&D Print, 1992, s. 162. ISBN 80-85488-00-0.
- [22] Materiály: Technická keramika od expertů na keramiku. CeramTec: The ceramic experts [online]. [cit. 2019-02-04]. Dostupné z: <https://www.ceramtec.cz/ceramic-materials/mixed-dispersion-ceramics/>
- [23] Oxidová keramika. Oxidová keramika [online]. VŠCHT [cit. 2019-02-04]. Dostupné z: [http://old.vscht.cz/sil/keramika/Ceramic\\_Technology/SM-Lect-8-C.pdf](http://old.vscht.cz/sil/keramika/Ceramic_Technology/SM-Lect-8-C.pdf)
- [24] Korundový kotouč. In: Extol: kotouče [online]. 2014 [cit. 2019-02-04]. Dostupné z: <http://www.extol-cz.cz/kotouce-extol/kotouc-lamelovy-sikmy-korundovy-p80-115mm-korund-extol-craft-26008>
- [25] Korundové žíhací a tavící kelímky. In: Estcom cz: oxidová keramika a.s. [online]. 2006 [cit. 2019-02-04]. Dostupné z: <http://www.estcom.cz/cs/produkty/korundove-zihaci-a-tavici-kelimky/>
- [26] BC. VANĚČEK, Stanislav. Cermety a jejich efektivní využití. Brno, 2009. Diplomová práce. Vysoké učení technické v Brně.
- [27] Cermet. In: Sandvik Coromat [online]. [cit. 2019-02-04]. Dostupné z: <https://www.sandvik.coromant.com/cs-cz/pages/default.aspx>
- [28] Moulson, A.; Herbert, J.: Electroceramics, Wiley, 2003
- [29] Piezoelektrická keramika. Encyklopedie fyziky: Elektřina a magnetismus [online]. 2006 [cit. 2019-02-04]. Dostupné z: <http://fyzika.jreichl.com/main/article/view/422-piezoelektricka-keramika>
- [30] KRATOCHVÍL, B., ŠVORČÍK, V., VOJTĚCH, D.: Úvod do studia materiálů. 1. vyd. Praha: VŠCHT, 2005. 190 s. ISBN 80-7080-568-4.

- [31] STC, Superior Technical Ceramics Corporation, Dostupné na WWW: <http://www.ceramics.net/>
- [32] Thermistor. In: Wikipedia: the free encyclopedia [online]. San Francisco (CA): Wikimedia Foundation, 2001 [cit. 2019-02-05]. Dostupné z: <https://cs.wikipedia.org/wiki/Thermistor>
- [33] DRÁPALA Jaromír, KURSA Miroslav. Elektrotechnické materiály, učební texty [online]. Ostrava: VŠB - Technická univerzita Ostrava 2012. ISBN 978-80-248-2570-0. [vid. 2. 4. 2016]. Dostupné z: <http://www.person.vsb.cz/archivcd/FMMI/ETMAT/Elektrotechnicke%20materialy.pdf>
- [34] Dvoudílné ferity v plastovém pouzdru. In: Transfer Multisort Elektronik: Electronic components [online]. [cit. 2019-02-05]. Dostupné z: [https://www.tme.eu/html/CZ/dvoudilne-ferity-v-plastovem-pouzdru-na-kulaty-kabel/ramka\\_1914\\_CZ\\_pelny.html](https://www.tme.eu/html/CZ/dvoudilne-ferity-v-plastovem-pouzdru-na-kulaty-kabel/ramka_1914_CZ_pelny.html)
- [35] Superconductivity. In: Wikipedia: the free encyclopedia [online]. San Francisco (CA): Wikimedia Foundation, 2001- [cit. 2019-02-05]. Dostupné z: <https://en.wikipedia.org/wiki/Superconductivity>
- [36] ASTM E831 – 14: Standard Test Method for Linear Thermal Expansion of Solid Materials by Thermomechanical Analysis
- [37] ASTM E2113 – 18: Standard Test Method for Length Change Calibration of Thermomechanical Analyzers
- [38] Arno Witgert: Produkty. *Arno Witgert* [online]. 2007 [cit. 2019-04-22]. Dostupné z: <https://www.witgert-tonbergbau.de/deutsch/produkte/>
- [39] Soral & Hanzlík dental: CAD/CAM. *Soral & Hanzlík dental: Keramické bločky* [online]. 2016 [cit. 2019-04-22]. Dostupné z: <http://shop.soralhanzlik.cz/produkt/ivoclar-ips-e-max-cad-cerec-inlab-ht-a2-c14-5/>
- [40] Ivoclar vivadent: Produkty. *Ivoclar vivadent: IPS e.max CAD* [online]. [cit. 2019-04-22]. Dostupné z: <http://www.ivoclarvivadent.cz/cs/p/pro-zubni-lekare/ips-emax-cad-chairside>