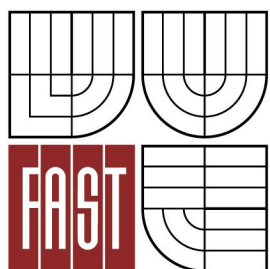




**VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ**  
BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



**FAKULTA STAVEBNÍ**  
**ÚSTAV TECHNOLOGIE STAVEBNÍCH HMOT A DÍLCŮ**  
FACULTY OF CIVIL ENGINEERING  
INSTITUTE OF TECHNOLOGY OF BUILDING MATERIALS AND COMPONENTS

# **POSOUZENÍ MOŽNOSTI VYUŽITÍ PŘÍSADY VUPPOR V LEHČENÉM ŠAMOTOVÉM STŘEPU**

DETERMINATION OF VUPPOR ADMIXTURE FOR THE REFRACTORY LIGHT WEIGHTING BODIES

**DIPLOMOVÁ PRÁCE**  
DIPLOMA THESIS

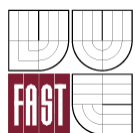
**AUTOR PRÁCE**  
AUTHOR

**BC. MARKÉTA SVOBODOVÁ**

**VEDOUCÍ PRÁCE**  
SUPERVISOR

**doc. Ing. RADOMÍR SOKOLÁŘ, Ph.D.**

BRNO 2015



# VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ FAKULTA STAVEBNÍ

<b>Studijní program</b>	N3607 Stavební inženýrství
<b>Typ studijního programu</b>	Navazující magisterský studijní program s prezenční formou studia
<b>Studijní obor</b>	3607T020 Stavebně materiálové inženýrství
<b>Pracoviště</b>	Ústav technologie stavebních hmot a dílců

## ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

<b>Diplomant</b>	Bc. Markéta Svobodová
<b>Název</b>	Posouzení možnosti využití přísady Vuppor v lehčeném šamotovém střepe
<b>Vedoucí diplomové práce</b>	doc. Ing. Radomír Sokolář, Ph.D.
<b>Datum zadání diplomové práce</b>	31. 3. 2014
<b>Datum odevzdání diplomové práce</b>	16. 1. 2015
V Brně dne 31. 3. 2014	

.....  
prof. Ing. Rostislav Drochytka, CSc., MBA  
Vedoucí ústavu

.....  
prof. Ing. Rostislav Drochytka, CSc., MBA  
Děkan Fakulty stavební VUT

## **Podklady a literatura**

- [1] Hanykýř, V., Kutzendorfer, J. Technologie keramiky. Vega 2001
- [2] Tomšů, F., Palčo, Š. Žárovzdorné materiály IV. Netvarové žárovzdorné materiály. ČSVTS - Silikátová společnost ČR, 2009
- [3] Kutzendorfer, J., Tomšů, F. Žárovzdorné materiály I. Základní pojmy, rodělení, vlastnosti. ČSVTS - Silikátová společnost ČR, 2008.

## **Zásady pro vypracování**

Lehčené tepelně izolační šamotové tvarovky se využívají například jako tepelná izolace nálitků ve slévárnách. Tématem diplomové práce je optimalizace složení stávající surovinové směsi pro výrobu lehčeného šamotu s obchodním názvem Izospar (Seeif Ceramic, a.s.) s cílem dosažení vyšších užitečných vlastností - objemová hmotnost  $650 \text{ kg.m}^{-3}$ , pevnost v tlaku  $1,2 \text{ MPa}$  a klasifikační teplota  $1300 \text{ }^\circ\text{C}$  při výrobě z plastického těsta. Pro účel snížení objemové hmotnosti střepe posuďte vhodnost využití nevyhořívajícího lehčiva Vuppor I (Výzkumný ústav petrochemický, a.s. Prievidza), který byl vyvinut primárně pro lehčení střepe cihlářského. Popište vliv obsahu příměsi Vuppor I na vlastnosti plastického těsta (rozdělavací voda, smrštění sušením, citlivost k sušení) a vypáleného střepe (pórovitost, pevnost, klasifikační teplota, součinitel tepelné vodivosti) z plaveného kaolínu DSA, kaolinitického žárovzdorného jílu MM a výrobní směsi Izospar.

## **Předepsané přílohy**

Licenční smlouva o zveřejňování vysokoškolských kvalifikačních prací

.....  
doc. Ing. Radomír Sokolář, Ph.D.  
Vedoucí diplomové práce

## **Abstrakt**

Lehčené šamotové výrobky jsou materiály používané pro výstavbu některých částí průmyslových pecí, zejména při výrobě železa, ale také v dalších odvětvích, kde se pracuje při vysokých teplotách. Na žáruvzdorné hmoty se kladou zvláštní požadavky. V teoretické části je zpracován přehled používaných surovin, výroba a vlastnosti lehčených šamotových výrobků, popis nevyhořívajícího lehčiva – chemické přísady VUPPOR I a informace o již dříve prováděných zkouškách zabývajících se touto tematikou. Praktická část je rozdělena na 4 etapy, kde jsou vyhodnoceny zkoušky, které byly prováděny na žáruvzdorných jílech s chemickou přísadou Vuppor I (vzorky jsou vylehčené i nevylehčené) – jedná se především o zkoušky citlivosti k sušení, objemové hmotnosti, pevnosti v tlaku, tepelněizolační vlastnosti atd.

## **Klíčová slova**

Lehčený šamotový střep, žáruvzdornost, přísada, lehčivo, Vuppor I, objemová hmotnost, pevnost

## **Abstract**

Lightweight refractory products are materials used for the construction of certain parts of industrial furnaces, especially for iron, but also in other sectors where is operated with high temperatures. There are special requests on refractories. The theoretical part contains an overview of used raw materials, production and properties of lightweight refractory products and description of not burnable lightener - chemical additives VUPPOR I and information about previously conducted trials dealing with these topics. The practical part is divided into four parts, which are evaluated by tests which were performed on a refractory clay with chemical additive Vuppor I (samples are lightened and not lightened) - it was primarily a test of sensitivity to drying, density, compressive strength, thermal insulating properties, etc.



## **Keywords**

Lightweight refractories, heat resistance, additive, lightener, Vuppor I, density, strength

## **Bibliografická citace VŠKP**

Bc. Markéta Svobodová *Posouzení možnosti využití přísady Vuppor v lehčeném šamotovém střepeu*. Brno, 2014. 118 s. Diplomová práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta stavební, Ústav technologie stavebních hmot a dílců. Vedoucí práce doc. Ing. Radomír Sokolář, Ph.D.

**Prohlášení:**

Prohlašuji, že jsem diplomovou práci zpracovala samostatně pod vedením doc. Ing. Radomíra Sokoláře, Ph.D. a že jsem uvedla všechny použité informační zdroje.

V Brně dne 7. 1. 2015

.....  
podpis autora  
Bc. Markéta Svobodová

**Poděkování:**

Na tomto místě bych chtěla poděkovat vedoucímu diplomové práce panu doc. Ing. Radomíru Sokolářovi, Ph.D. za odborné vedení a poskytování cenných rad při zpracování diplomové práce, dále také společnosti SEEIF Ceramic, a.s. za poskytnuté materiály.

## Obsah

1	Úvod.....	11
2	Cíl práce.....	12
3	Teoretická část.....	13
3.1	Žáruvzdorná keramika.....	13
3.2	Lehčená šamotová keramika.....	14
3.2.1	Výroba lehčených žáruvzdornin s použitím vyhořívajících přísad.....	15
3.2.2	Vlastnosti lehčených žáruvzdorných výrobků .....	16
3.3	Materiál pro výrobu lehčeného šamotového střepe.....	17
3.3.1	Žáruvzdorné jíly .....	17
3.3.2	Kaolíny.....	18
3.3.3	Lupky .....	18
3.3.4	Lehčiva .....	18
3.4	VUPPOR .....	20
3.4.1	Alternativní způsob vylehčení střepe pomocí přísady VUPPOR.....	20
3.4.2	VUPPOR I, VUPPOR II.....	21
3.4.3	Doposud zveřejněné výsledky použití chemické přísady VUPPOR..	22
3.5	Použití lehčených šamotových výrobků.....	29
3.6	Výsledky v zahraničních publikacích .....	30
3.6.1	Vývoj šamotové aluminosilikátového žáruvzdorného materiálu z kaolínu .....	30
3.6.2	Výroba anortitových žáruvzdorných izolačních tvarovek ze směsi jílu, recyklovaného odpadního papíru a pilin.....	33
4	Praktická část.....	38
4.1	Metodika zkoušek.....	38
4.1.1	Zkoušky vstupních surovin.....	38
4.1.2	Přetvárné (reologické) vlastnosti plastického těsta.....	39

4.1.3	Vlastnosti vysušeného výlisku .....	40
4.1.4	Vlastnosti vypáleného keramického střepu.....	41
4.2	Vstupní suroviny.....	43
4.2.1	Jíl MM .....	43
4.2.2	Jíl Fia .....	46
4.2.3	Kaolín DSA .....	48
4.2.4	LOVOSA.....	49
4.3	Příprava zkušebních těles .....	49
4.4	Výsledky experimentů .....	50
4.4.1	Etapa 1 .....	50
4.4.2	Diskuze výsledků etapy 1 .....	62
4.4.3	Etapa 2 .....	63
4.4.4	Diskuze výsledků etapy 2 .....	80
4.4.5	Etapa 3 .....	81
4.4.6	Diskuze výsledků etapy 3 .....	95
4.4.7	Etapa 4 .....	95
4.4.8	Diskuze výsledků etapy 4 .....	104
5	Závěr.....	105

# 1 Úvod

Lehčené šamotové výrobky se vytváří různými způsoby vylehčování, většinou na bázi aluminosilikátů. Nejčastějším způsobem vylehčení je přidavek vyhořívajících látek (piliny, mleté uhlí, koks a jiné odpadní látky). Pojivem ve směsi jsou žáruvzdorné jíly, někdy se přidává také ostřivo (vypálené lupky nebo drcený šamot atd.). Dalšími způsoby vylehčování jsou například napěnění výrobní směsi vzduchem, napěnění plynem, využití pórovitých ostřiv apod. Vlivem vylehčení se lehčený šamot vyznačuje malou objemovou hmotností, a jde tedy o vysoce pórovitý šamot. [6, 11]

Žáruvzdorné výrobky se staly samozřejmostí ve většině průmyslových odvětví, a proto si už ani neuvědomujeme jejich významnost. V dnešní době však závody vyrábějící tento druh materiálu mají neustálou snahu o jejich vylepšení. Tak je tomu i u firmy SEEIF Ceramic, a.s. Tato tuzemská společnost se snaží vyrovnat zahraniční konkurenci a vylepšovat užité vlastnosti svých výrobků. V současnosti se výzkum nejvíce zabývá vývojem izolační tvarovky Izospar, která se využívá například jako žáruvzdorná tepelná izolace nálitků ve slévárnách.

Již dříve byla vyvinuta chemická přísada Vuppor I (Výzkumný ústav petrochemický, a.s. Prievidza) jako nevyhořívající lehčivo cihlářských výrobků. Naskytla se však možnost využití této chemické přísady právě pro vylehčení žáruvzdorného střepe.

## 2 Cíl práce

Cílem práce je posoudit vhodnost využití nevyhořívajícího lehčiva Vuppor I za účelem vylepšení užitečných vlastností - snížení objemové hmotnosti, zvýšení pevnosti v tlaku, zlepšení hodnoty klasifikační teploty.

V teoretické části této práce bude předložen přehled používaných surovin, technologií a základních požadavků, které jsou kladeny na lehčený šamotový střepek, a vypracována rešerše zahraničních publikací zabývajících se tímto tématem.

Cílem praktické části této práce je odzkoušet a popsat vlastnosti plastického těsta a vypáleného střepu několika navržených receptur s přídavkem chemické přísady Vuppor I i bez něj, dále modifikovat stávající výrobní směs společnosti SEEIF Ceramic, a.s. pro výrobu izolační tvarovky Izospar.



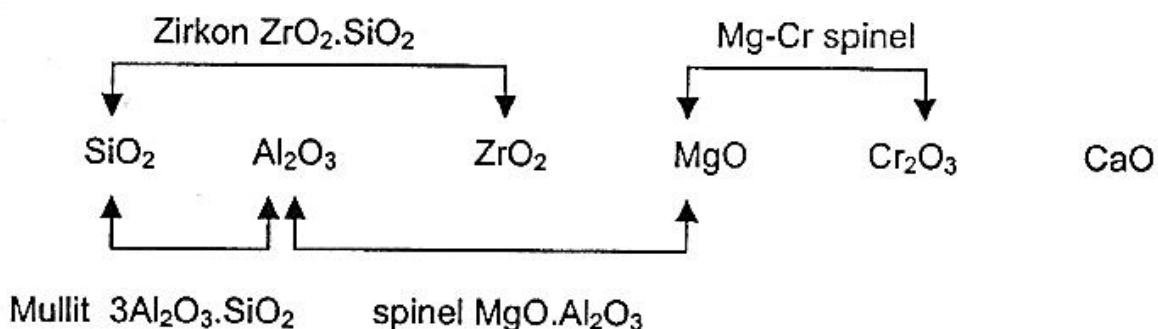
### 3 Teoretická část

V této části bude vypracován základní přehled vlastností lehčeného šamotového střepe, popis surovin a výroby, také bude popsána charakteristika chemické přísady VUPPOR a předložen popis výsledků zkoušek, které se zabývají tímto tématem u nás i v zahraničí.

#### 3.1 Žáruvzdorná keramika

Jedná se o konstrukční materiál technických tepelných agregátů, které jsou zařazeny mezi stavební výrobky. Jsou extrémně namáhány, a to především vysokými teplotami oproti stavivům pro pozemní a inženýrské stavby. Jejich odolnost v žáru (odstupňování deformační teploty) se měří žároměrkami ve tvaru komolého kužele s různým chemickým složením, na základě kterého můžeme odstupňovat deformační teplotu (žároměrky jsou složeny ze sloučenin hliníku a křemíku, které tají a měknou za vysokých teplot). Žáruvzdornost tohoto druhu keramiky je rovna nebo vyšší než 1500 °C, což odpovídá žároměrce 150. [2, 6, 11]

Pro výrobu ve velkém měřítku žáruvzdorných výrobků není zapotřebí jen dostatečná žáruvzdornost, ale také dostatečný výskyt i dostupnost surovin pro jejich výrobu za přijatelné ceny. Tyto dvě podmínky splňují především následující oxidy a jejich nejdůležitější žáruvzdorné sloučeniny [6]:



Obrázek 1: Žáruvzdornosti vyhovující oxidy [6]

S žáruvzdornými výrobky se nemůžou žádné jiné keramické výrobky srovnat kvůli jejich rozmanitosti střepe, mikrostruktúře, fyzikálním a chemickým vlastnostem. Žáruvzdorniny mají také důležité postavení v průmyslu vůbec.

Bez nich by nebylo možné provádět plno technologických procesů v oblasti vysokých teplot, jako např. v metalurgii. [2, 3]

### 3.2 Lehčená šamotová keramika

**Šamot** je hlinitokřemičitý materiál s obsahem  $\text{SiO}_2 < 93 \%$  a  $\text{Al}_2\text{O}_3 < 45 \%$ . Jedná se o vypálený žáruvzdorný jííl (jíilovinová zemina) samotný, nebo s přidavkem jiného nerostu, například kaolínu, případně s přidavkem chemikálií. Jelikož výrobek ze samotného surového jíilu by při sušení a pálení popraskal a zborčil by se, nelze z něj tím pádem vyrobit požadovaný tvar (příčinou je značné smrštění jíilů při sušení a pálení). Přidává se proto zrnitá pevná hmota snižující smrštění. Jedná se o ostřivo, nejčastěji vypálený a rozemletý lupek. [5, 11]

**Tvarová lehčená žáruvzdorná keramika** vyráběná na bázi  $\text{Al}_2\text{O}_3 - \text{SiO}_2$ , kvůli snadné dostupnosti surovin a kvůli malé měrné tepelné vodivosti materiálu v systému. Kromě těchto oxidů suroviny dále obsahují např.  $\text{CaO}$ ,  $\text{MgO}$ ,  $\text{TiO}_2$ , oxidy železa atd., které snižují klasifikační teplotu. [2]

Výrobky se rozdělují podle použití:

1. Izolační vyzdívky, které jsou z jedné nebo obou stran chráněny jinou vyzdívkou před stykem s plamenem.
2. Izolační vyzdívky, které přicházejí přímo do styku s plamenem nebo jsou v žárovém pásmu.

Vyrábějí se několika způsoby:

1. Použití vyhořívajících lehčiv (mleté uhlí, dřevěné piliny apod.).
2. Zpěnění břechky pěnotvornými látkami.
3. Nabývání a zkypření břechky chemickým způsobem (reakce mezi přísadami přidanými do břechky, velký vývin plynů). [1]

Nebo dalšími způsoby, jakými jsou: přidavek těkavých látek, přidavek lehčeného plniva (kuličkový korund, expandovaný perlit), kombinace různých způsobů. [2]

### **3.2.1 Výroba lehčených žáruvzdornin s použitím vyhořívajících přísad**

Pro lehčené žáruvzdorné materiály se používá běžná technologie lisování z plastické směsi, vytváření z drolenek neboli zavlhčených směsí lisováním, výjimkou je lití ze suspenze. Základní směs tvoří ostřivo s pojivovým jílem a vyhořívající příměsí. Nejvhodnější jsou příměsí nejlépe s nulovým obsahem popelovin. Důležitá je i škodlivost popelovin. Popeloviny obsahující oxidy alkalických kovů, kovů alkalických zemin a železa jsou nejvíce škodlivými látkami. [2, 3]

#### **Příprava hmot a vytváření z plastického těsta**

Obsah vody činí asi 16–20 %. Je více způsobů přípravy hmot - předdrcení a předemletí suroviny, společně nebo odděleně, za sucha nebo za mokra. Používají se kolové nebo válcové mlýny. Dále probíhá mísení v kolových nebo korytových mísičích, dále se hmota homogenizuje, případně odvzdušní (ve šnekovém lise) a pokračuje do odležárny. [4]

Vytváření probíhá ručně dusáním do dřevěných forem vyložených plechem s elektrickými nebo pneumatickými pěchy – u výrobků složitých tvarů, nebo vytváření přelisováním (lisování nižšími tlaky). [4]

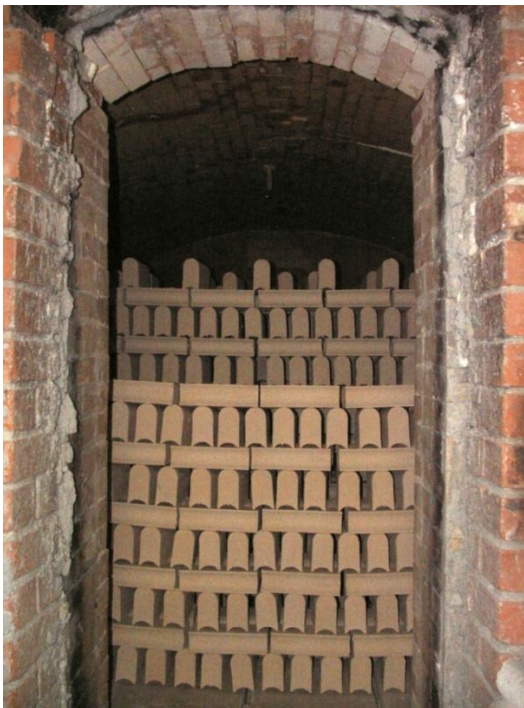
V některých závodech pro výrobu určitých typů výrobků nedochází k odležení a těsto jde přímo do šnekového lisu, ze kterého jsou tažené (horizontální tažení) hotové výrobky, které jsou oddělovány ocelovou strunou (podobně jako u tepelněizolačních tvarovek v cihlářském průmyslu, ale bez děrovaného ústí).

#### **Sušení:**

Kvůli velkému smrštění sušením se musí výrobky sušit pomaleji. Často volně ložené na podložkách. [4]

## Výpal:

Vypalování vysušených výrobků probíhá v komorových nebo tunelových pecích na teplotu 950–1500 °C. Celková doba výpalu je závislá na velikosti a tvaru výlisku, maximální teplotě a technických možnostech vypalovacího agregátu. [4]



Obrázek 2: Uložení tvarovek Izospar v komorové peci SEEIF Ceramics, a.s., Svitavy

### 3.2.2 Vlastnosti lehčených žáruvzdorných výrobků

Mezi důležité vlastnosti, které jsou požadovány u lehčených žáruvzdornin, patří především vysoká žáruvzdornost. Mají mít co nejmenší objemovou hmotnost, tím pádem co největší pórovitost s malými póry. Každopádně nemůžeme snižovat objemovou hmotnost neomezeně. Limitní je dopad na pevnost v tlaku, odolnost proti změnám teploty a únosnosti v žáru. Přihlíží se také ke smrštění sušením a pálením včetně citlivosti k sušení. Za výhody se považuje dobrá únosnost v žáru, dobrá odolnost proti změnám teplot, dobré tepelněizolační vlastnosti, velký výběr druhu, relativně velký teplotní rozdíl mezi pracovní teplotou a teplotou destrukce, relativně nízká cena a dostupnost. [1, 4]

Neméně důležitá je také klasifikační teplota, která se dá určit z trvalých délkových změn. Je definována jako teplota, při které jsou dosaženy trvalé

délkové změny při dané expozici určitou hodnotou. Obvykle se jedná o teplotu, při které je dosaženo trvalých délkových změn o 2 nebo 3 % za 4 nebo 24 hodin. [2]

Nevýhodou těchto výrobků je nízká odolnost vůči zásaditým agresivním látkám, trvalé dosmršťování při použití, měknutí a deformace výrobků v širokém teplotním intervalu. [3, 4]

### 3.3 Materiál pro výrobu lehčeného šamotového střepu

Suroviny tvárnivé – plastická část výrobní směsi: Žárové vlastnosti a plastičnost dodávají střepům žáruvzdorné jíly s přidavkem vazných jílu a kaolíny s velkým množstvím kaolinitu. V těchto surovinách požadujeme co nejmenší množství látek snižující žáruvzdorné vlastnosti, jedná se o taviva, tj. alkálie a  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ . Můžeme také použít jílovce a lupky, které je potřeba jemně pomlít. [4]

Suroviny netvárnivé – ostřicí část výrobní směsi: Jedná se o pálené žáruvzdorné jíly, jílovce, lupky, materiály z vlastní výroby závodu, kde je výhoda zpracování odpadu, ale také stejné složení ostřiva a daného materiálu. [4]

Přísady: Přísadou je zejména voda, lehčící přísady, dále sulfitový louh, plastifikátory, škrob, Lovosa, chemická přísada VUPPOR atd. [4]

#### 3.3.1 Žáruvzdorné jíly

Definice jílu podle ČSN 72 1330 je následující. Jedná se o sedimentární nebo reziduální zpevněnou horninu, kde je více než 50 % jíloviny (velikost zrna pod 0,002 mm). Zejména mineralogickým, granulometrickým, chemickým složením a vlhkostí jsou dány vlastnosti těchto jílu. [8]

Jíly obsahují zejména jílové minerály, a to skupiny kaolinitu, illitu a montmorillonitu. Kromě jílových minerálů obsahují také neplastické minerály, jako je křemen, oxidy a hydroxidy železa, slídy atd. Po přidání optimálního množství vody jíly tvoří plastické těsto. U žáruvzdorných jílu požadujeme optimální množství  $\text{Al}_2\text{O}_3$ , co nejméně  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  a nízký obsah alkálií. Sledujeme vaznost, která musí být co nejvyšší, požadujeme co nejmenší nasákavost po výpalu a žáruvzdornost minimálně 1580 °C. [8]

### 3.3.2 Kaolíny

Hlavní složkou kaolínů je kaolinit (20–40 %), dále obsahuje malé množství příměsí (křemen, slídu, zvětralé zrna živce atd.). Od plastických jílů se odlišují menší plastičností, jelikož jsou hrubozrnnější. Pro výrobu žáruvzdorné keramiky používáme nejjemnější *plavený kaolín*, který obsahuje téměř čistý minerál kaolinit, a oproti jílům obsahuje méně znečišťujících příměsí a jejich barva je bílá. Obsahuje až 45 %  $\text{Al}_2\text{O}_3$  a méně jak 1 %  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ , díky tomu se vyznačuje vysokou žáruvzdorností dosahující 1760 °C. Má však i své nevýhody, a to vysokou cenu, proto se používá jen u velmi kvalitních šamotových výrobků, kde slouží především pro zvýšení únosnosti v žáru a zvýšení žáruvzdornosti. Pro výrobu kyselých šamotových výrobků se využívá levnější varianta, a to neupravený, surový kaolín, kde je potřeba přidat i křemičitý písek jako ostřivo a živec nebo slídu jako tavivovou složku. [5, 11]

### 3.3.3 Lupky

Jedná se o zpevněné jíly mající lupenkovitou, vrstevnatou skladbu, čímž se mohou i rozpadat, ale dosahují větších pevností než samotný jíl. Z lupků a vody nelze vytvořit plastické těsto, nepoužívají se tedy jako pojiva, ale jako ostřiva. Při pálení lupek ztrácí spalitelné látky a chemicky vázanou vodu, čímž následně dosahuje vyšších mechanických vlastností. Pokud lupek vypálíme na dostatečně vysokou teplotu, smrští se natolik, že při dalším zatěžování vysokou teplotou (výrobku) je lupek ve výrobku zakomponovaný již objemově stálý a již se dále nesmršťuje, nebo jen mírně. Lupek plní funkci pevné kostry během sušení i pálení, dále zaručuje dobré mechanické i jiné užité vlastnosti výrobků. [11]

### 3.3.4 Lehčiva

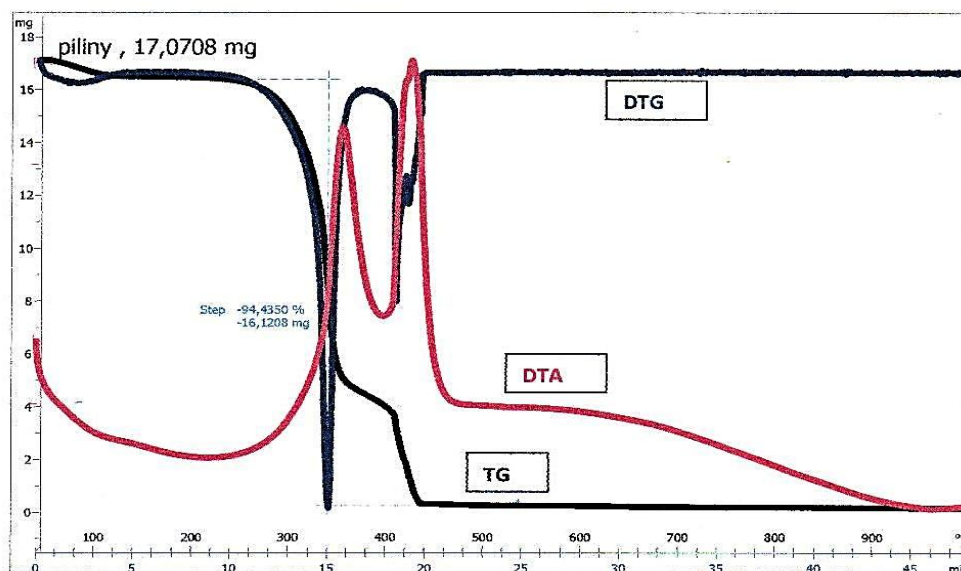
Lehčiva rozdělujeme podle toho, jestli na střep působí přímo, nebo nepřímo. Lehčiva nepřímá se vyznačují malou objemovou hmotností. Mohou být přírodní, např. křemelina, upravená, např. expandovaný perlit nebo odpady, kde se jedná o škváru. Lehčiva přímá vyhořívají v průběhu výpalu střepu a vytváří v něm malé dutiny. Jedná se látky obsahující organické látky, jako jsou dřevěné piliny, popílek, pěnový polystyren. [7]

### 3.3.4.1 Cenoféry

Cenoféry se řadí mezi lehčiva působící nepřímo. Jedná se o kulové, alumináto-silikátové částice o průměru 5–350  $\mu\text{m}$ . Cenoféry jsou žáruodolné plnivo, lehké, vhodné k vylehčování lehčených šamotových střepeů, protože snižují objemovou hmotnost a zvyšují izolační vlastnosti materiálu. Jsou průmyslově vyráběny, nebo se získávají plavením z popílku jako odpadní surovina. [13]

### 3.3.4.2 Dřevěné piliny

Standardně se dávkuje do 30 objemových procent z výrobní směsi, ale záleží na druhu výrobků. Běžně se používají smrkové piliny proseté sítím, aby bylo dosaženo rovnoměrné velikosti pórů. Smrkové piliny jsou nejvíce účinné lehčivo, které přímo vyhoří při výpalu šamotového střepeu. V poslední době se uvažuje o náhradě pilin z měkkého dřeva za piliny dubové či bukové kvůli zlepšení užitných vlastností střepeu. Nežádoucí vlastností dřevěných pilin je jejich nedostatek, vzrůstající cena a také to, že jsou zdrojem škodlivých emisí vznikajících při výpalu (oxid uhelnatý a siřičitý). Další možností je tedy využít jiná odpadní lehčiva s nižším obsahem škodlivých emisí, jako je například papírenský či čistírenský kal. [14]



Obrázek 3: Termická analýza vzorku smrkových pilin

## 3.4 VUPPOR

Chemická přísada s obchodním názvem VUPPOR byla vyvinuta v rámci spolupráce mezi Výzkumným ústavem petrochemickým, a.s. Prievidza a Katedrou materiálového inženýrství Stavební fakulty STU v Bratislavě v první polovině devadesátých let minulého století. Jedná se o přísadu na bázi kondenzátů aldehydů (polyelektrolyt). [15]

### 3.4.1 Alternativní způsob vylehčení střepeu pomocí přísady

#### VUPPOR

Chemická přísada VUPPOR byla navržena k využití pro cihlářské účely, všechny studie byly tedy prováděny na cihlářských zeminách. Na základě praktických zkoušek v této práci byla dokázána možnost využití i v šamotovém střepeu.

Objem pórů a distribuce velikosti pórů v cihlářském střepeu mají značný vliv na výsledné fyzikální vlastnosti výrobku, především objemové hmotnosti a tepelné vlastnosti. Vznik pórů v cihlářském střepeu je v první řadě způsoben ztrátou vody v procesu sušení a pálení, jejíž přítomnost ve výlisku může být v různé formě (fyzikálně – mechanicky, fyzikálně – chemický a chemický). Struktura pórů může být také ovlivněna mineralogickým a chemickým složením, ale i velikostí zrn použité suroviny. Změny v objemu pórů a distribuce velikosti pórů jsou také závislé na vypalovací teplotě a její výdrži. Pro zlepšení tepelněizolačních vlastností a snížení objemové hmotnosti keramických střepeů se dnes nejčastěji využívají vyhořívající lehčiva (piliny, polystyren, papírenský kal, uhelný prach atd.), ale i lehčiva, která nevyhořívají (vermikulit, perlit, keramzit atd.). Používání vyhořívajících lehčiv může způsobovat problémy, a to zejména zabezpečení rovnoměrné homogenity, uvolňování škodlivých plynů a zvýšení nákladů na výrobu (zařízení pro zpracování a dávkování atd.), v poslední době se objevuje i vznik tzv. černého jádra. V důsledku spalování lehčiv se často zvyšuje teplota ve střepeu, což vede ke snížení množství malých pórů, které představují právě základní faktor pro zlepšení tepelněizolačních vlastností. Tvorba pórů v keramickém střepeu vlivem odpaření velkého množství vody se jeví jako jednodušší způsob než výše uvedené. Její množství je však při výrobě



v pásmových nebo razicích lisech limitováno stanovenou plasticitou těsta (hodnota deformace podle Pfefferkorna), která je závislá na použitých surovinách (mineralogické složení, zrnitost, lehčiva). Při výrobě keramického střepu z plastického těsta vytlačováním činí obsah vody 20–30 % hmotnosti. Vhodným způsobem, jak zvýšit nebo snížit pracovní vlhkost těsta (technologické vody) při zachování konstantní plasticity těsta, je aplikace chemických, povrchově aktivních látek (např. elektrolyty a polyelektrolyty), které umí ovlivnit tloušťku (vodní) difuzní dvojvrstvy koloidní micely. Každopádně některé požadavky při použití povrchově aktivních látek musí být splněny – vysoký stupeň účinnosti (při malé dávce), musí být cenově přijatelný. Dále je výhodné, když povrchově aktivní látka v keramickém střepu vytváří póry současně při vyhořívání lehčiv. [16, 17]

### **3.4.2 VUPPOR I, VUPPOR II**

#### **Chemická přísada VUPPOR I:**

Jedná se o přísadu na bázi emulze bílé barvy, vyrobenou na bázi kondenzátů, aldehydů. Její hustota je 1 140 kg/m<sup>3</sup>, obsahuje 38 % sušiny. Aplikací této přísady v cihlářské surovině bylo možné ovlivnit některé technologické pochody a vlastnosti jako např.:

- zkrácení procesu sušení vlivem poklesu hodnoty citlivosti k sušení podle Bigota,
- zkrácení procesu pálení a snížení teploty výpalu zlepšením difúze vodních plynů v porézním systému střepu,
- zvýšení dávky vyhořívajících lehčiv již při malé dávce přísady bez vzniku tzv. černého jádra,
- výrazné snížení hodnoty součinitele tepelné vodivosti k střepu již při poměrně nízké dávce. [15]

K negativům této přísady patřila nejen vysoká cena, ale i to, že v procesu sušení při teplotě nad 70 °C se uvolňoval čpavek. Z tohoto důvodu její aplikace byla možná pouze v kanálových nebo v tunelových sušárnách. Na základě požadavků výrobců cihlářských výrobků, které vyžadovali zlepšení tepelně-

technických vlastností výrobků, byla vyvinuta, ve spolupráci s VUP Prievidza a SvF STU Bratislava, modifikovaná chemická přísada – VUPPOR II. [15]

### Chemická přísada VUPPOR II:

Tato chemická přísada je emulze pískové barvy, vyrobená na bázi nevyužitelné druhotné suroviny z výroby organických kyselin. Její hustota je 1 160 kg/m<sup>3</sup> a obsah sušiny má 54,9 %, hodnota pH je 6,5, teplota tuhnutí pod -20 °C. Tato přísada se připravila úpravou druhotné suroviny z chemického průmyslu za účelem získat přísadu podobných vlastností jako původní VUPPOR I a současně by měla být cenově výhodnější, ekologicky přijatelnější a použitelná ve všech typech sušáren. [15]

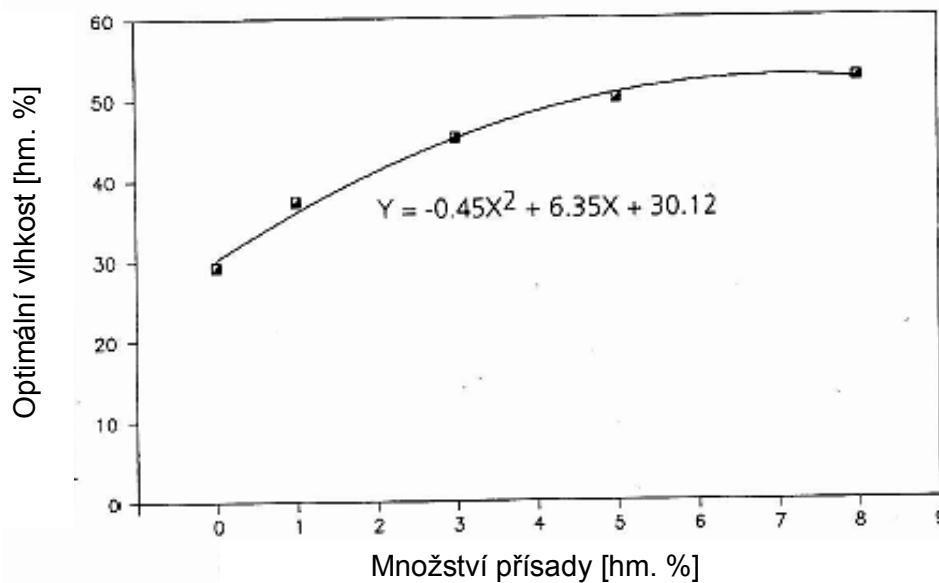
### 3.4.3 Doposud zveřejněné výsledky použití chemické přísady VUPPOR

Nejprve byly provedeny zkoušky na cihlářských střepích s chemickou přísadou VUPPOR I po jeho vzniku. Byly vyrobeny zkušební vzorky (100 x 50 x 20 mm) s přídatkem 0, 1, 3, 5 a 8 % přísady VUPPOR I. Nejvyšší dávka přísady způsobila špatnou zpracovatelnost materiálu, takže byla vyloučena z další fáze zkoušení. Účinky směsí s různým množstvím přísady na fyzikální vlastnosti plastického těsta a cihlářském střepu jsou uvedeny v následující tabulce. [17]

Tabulka 1: Vliv dávky přísady na vlastnosti výrobku [17]

Dávka přísady [hm. %] ze sušiny	0	1	3	5
Optimální vlhkost [%]	29,2	37,3	45,2	50,0
Smrštění sušením [%]	-8,1	-8,6	-9,4	-10,7
Smrštění pálením [%]	-0,2	-0,9	-1,6	-2,0
Snížení hmotnosti pálením [%]	11,8	12,1	13,6	15,3
Citlivost k sušení [-]	1,835	1,302	1,102	1,041
Pórovitost [%]	34,4	37,0	42,8	47,1
Objemová hmotnost [kg/m <sup>3</sup> ]	1707	1655	1534	1467
Pevnost v tlaku [MPa]	65,1	52,8	41,8	33,9
Součinitel tepelné vodivosti [W/(m·K)]	0,56	0,44	0,31	0,24

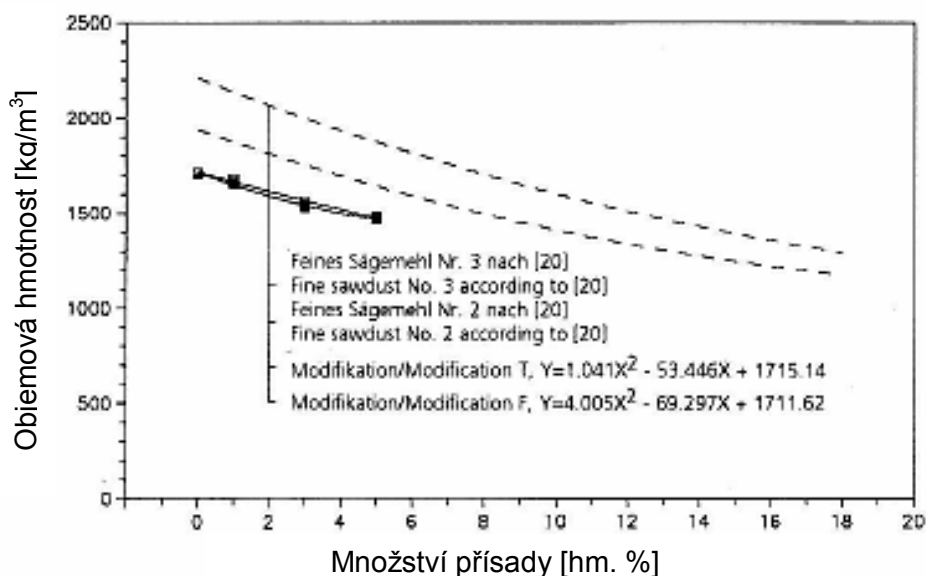
Vliv množství přísady na optimální vlhkost s konstantní plasticitou je uveden v obrázku č. 4.



Obrázek 4: Vliv množství přísady na optimální vlhkosti [17]

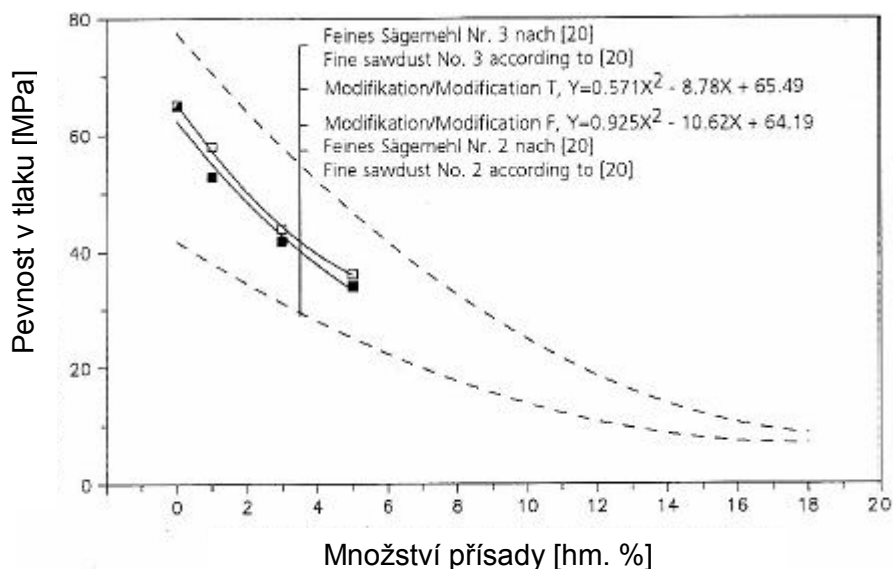
Výsledky ukazují významný nárůst vlhkosti i s malými dávkami přísady. Závislost mezi optimální vlhkostí a množstvím přísady je omezena kritickou dávkou (asi 7 %). Při vyšší dávce těsto postupně ztrácelo plasticitu a stávalo se křehkým. [17]

Se zvýšením obsahu vlhkosti by se dále dala očekávat vyšší smrštitelnost sušením a zvýšení citlivosti sušení, nicméně s 5% dávkou přísady se hodnota vlhkosti zvýšila 1,71krát ve srovnání s referenčním vzorkem, ale hodnota délkové změny sušením se zvýšila pouze 1,32krát. Také je zajímavý vliv přísady na citlivost sušení (podle Bigota). Jak se zvyšuje dávkování přísady, citlivost k sušení klesá. Zvýšení pórovitosti má za následek snížení objemové hmotnosti, což ukazuje i následující graf, kde jsou výsledky porovnány i se vzorky, kde byly použity piliny jako lehčivo. [17]



Obrázek 5: Snížení objemové hmotnosti v závislosti na množství přísady VUPPOR I [17]

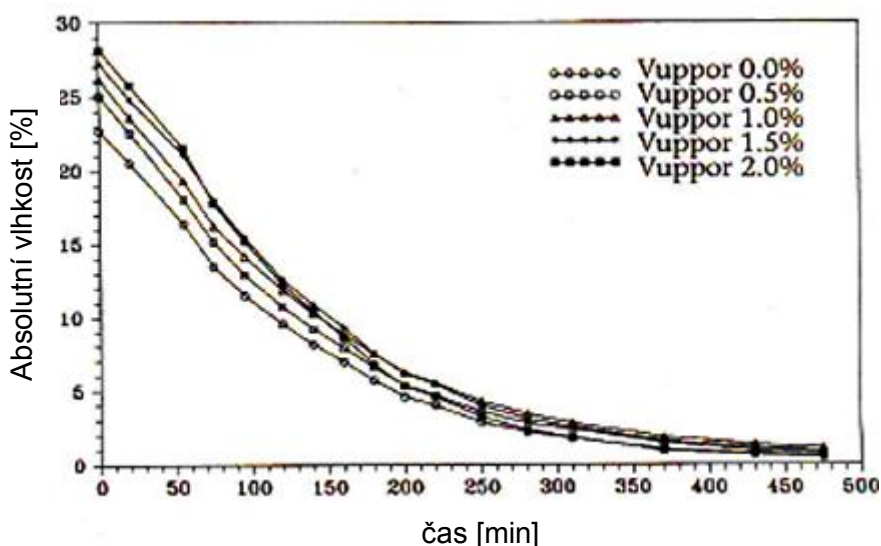
Dále můžeme vidět v grafu exponenciální závislost pevnosti v tlaku na dávkování příměsi. Je zřejmé relativně pomalejší snížení pevnosti v tlaku při použití VUPPORU při srovnání pevnosti v tlaku s výsledky vzorků, kde byly použity piliny. To je v souladu s poznatkou o vlivu velikosti pórů na pevnost. Zde po vyhoření organických látek vznikají větší makropóry ovlivňující pevnost. [17]



Obrázek 6: Snížení pevnosti v tlaku v závislosti na množství přísady VUPPOR I [17]

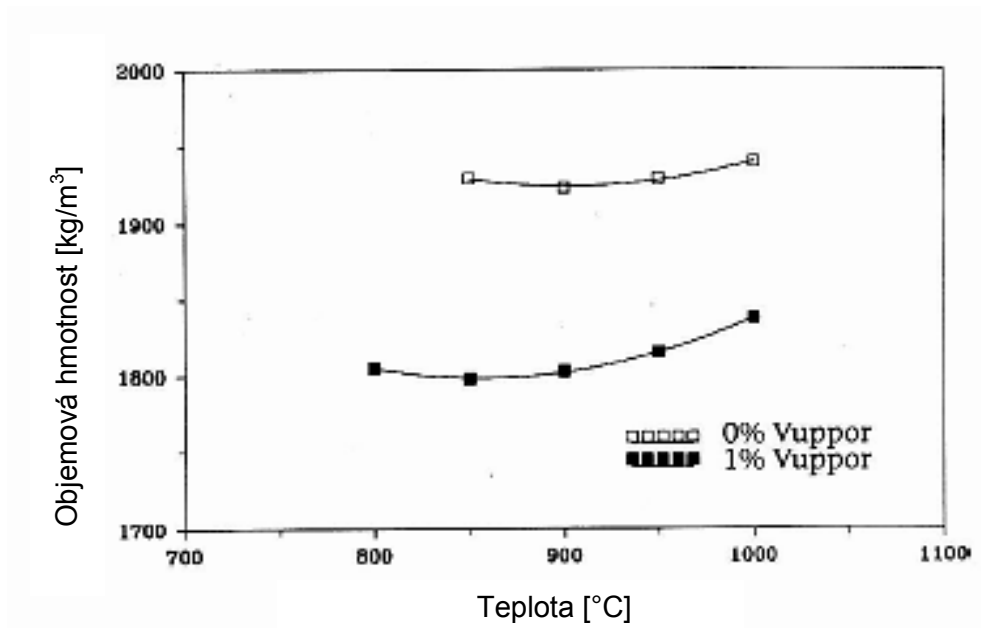
Výsledky ukázaly, že již malé množství dávky přísady má vysokou účinnost. Póry tvoří účinek povrchově aktivního činidla, a to zvýšením množství rozdělovací vody až o 20 %, která se během sušení odpaří, a tím se vytváří větší množství mikropórů, které jsou většinou spojeny navzájem pomocí malých kanálků. Kromě výrazného snížení objemové hmotnosti přísada VUPPOR snížila také součinitele tepelné vodivosti. Výsledky tedy dokazují, že přísada VUPPOR by mohla snížit vypalovací teplotu, snížit dobu sušení i dobu výpalu, ale zároveň zmenšit smrštění. [17]

Další výzkumy s přísadou VUPPOR I (0–2 %) dokázaly, že zvýšení vlhkosti těsta nemá negativní dopad na dobu sušení.

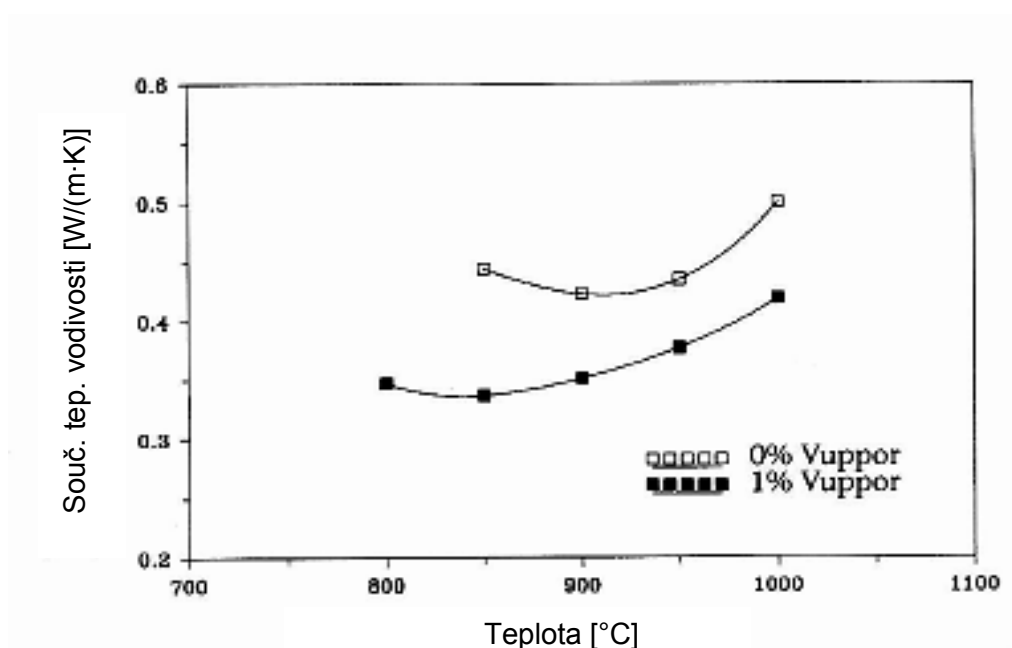


Obrázek 7: Závislost doby sušení v závislosti na dávce přísady VUPPOR I [18]

Účinek vypalovací teploty na objemovou hmotnost i součinitele tepelné vodivosti jsou uvedeny na obrázcích č. 8 a 9. Dávka již 1 % VUPPORU I má příznivý vliv na snížení objemové hmotnosti, navíc již při vypalovací teplotě 850 °C vykazuje nejnižší hodnoty. [18]



Obrázek 8: Závislost objemové hmotnosti na vypalovací teplotě [18]

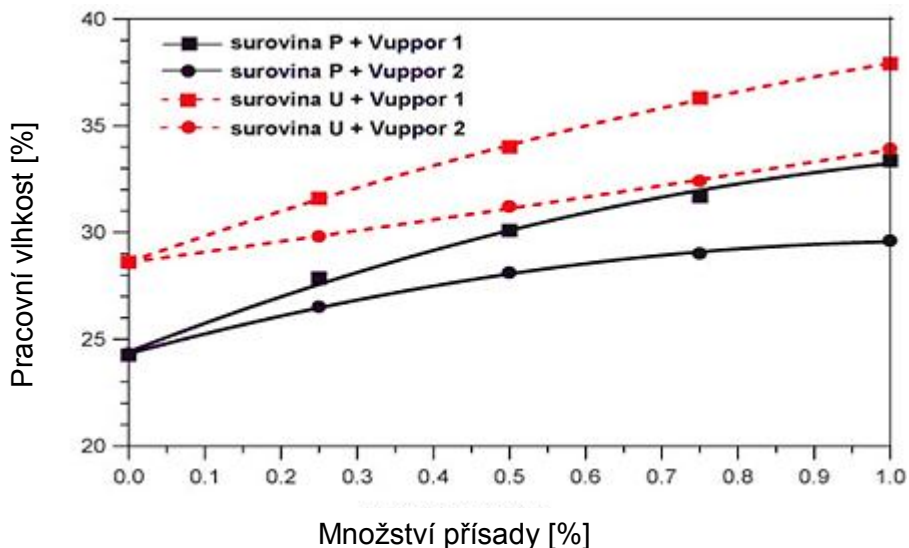


Obrázek 9: Závislost součinitele tepelné vodivosti na vypalovací teplotě [18]

Po vyvinutí chemické přísady VUPPOR II se prováděly testy její účinnosti v porovnání s přísadou VUPPOR I na neupravené (P) a upravené s přidavkem vyhořívajících lehčiv (U) cihlářské surovině. [15]

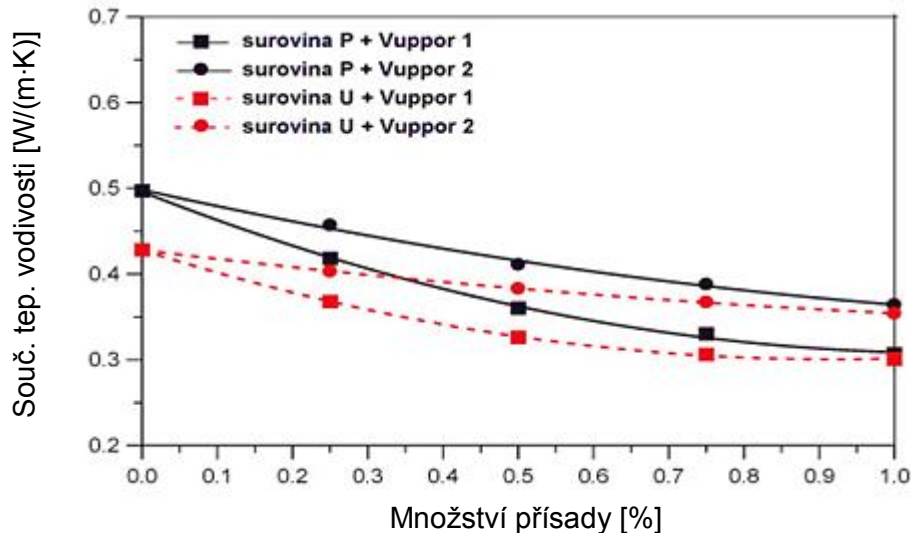
S rostoucí dávkou přísad VUPPOR I a II se zvyšovala pracovní vlhkost těsta jak s neupravenou, tak i s upravenou surovinou. Na první pohled je z následujícího

grafu vidět, že s přísadou VUPPOR I bylo dosaženo vyšší hodnoty pracovní vlhkosti než s přísadou VUPPOR II při stejné dávce přísady. Tento rozdíl měl vliv i na ostatní sledované vlastnosti. [15]



Obrázek 10: Závislost vlhkosti na dávce přísady VUPPOR I a VUPPOR II [15]

Při aplikaci obou přísad byl sledován pokles hodnoty citlivosti k sušení, což umožní zkrátit proces sušení bez vzniku trhlin. Podobně byl sledován pokles hodnoty součinitele tepelné vodivosti, což pozitivně ovlivní zlepšení tepelněizolačních vlastností hotového výrobku. Velmi zajímavým poznatkem z tohoto výzkumu je skutečnost, že s dávkou přísady se ztrácí rozdíl mezi surovinou bez a s vyhořívajícími lehkivými při sledování tepelné vodivosti. [15]



Obrázek 11: Závislost součinitele tepelné vodivosti na dávce přísady VUPPOR I a VUPPOR II [15]

Za pozornost stojí i pokles objemové hmotnosti střepe, který umožní snížení hmotnosti hotových výrobků a snížení přepravních nákladů. Mezi negativa aplikace přísady VUPPOR byl zařazen nepatrný nárůst celkové délkové změny a výrazný pokles pevnosti v tlaku. [15]

U vzorků, kde se aplikovala vyhořívající lehčiva, se zvýšila pórovitost výsušku vlivem odpařené vody. Způsobí v jeho nitru zvýšení vypalovací teploty (lepším přístupem kyslíku) a to má za následek menší nárůst pórovitosti oproti vzorkům bez vyhořívajících lehčiv. [15]

Na základě těchto zkoušek bylo vyhodnoceno jako ideální použití přísady VUPPOR II v objemu 0,5 % ze sušiny, jakožto ekologičtější a levnější náhrady své předchůdkyně přísady VUPPOR I. Každopádně VUPPOR II nebyl tak účinný, proto vznikl nový VUPPOR I, který skloubil kladné vlastnosti obou typů přísad. Nový VUPPOR I je velmi účinný a nevolňuje čpavek při sušení. [15]

Nový VUPPOR I je bílá nebo krémová vodní emulze s objemovou hmotností 1 150 kg/m<sup>3</sup>, hodnota pH 7–8, teplota tuhnutí 0 °C. Tento typ VUPPORU I byl použit pro zjištění využitelnosti pro lehčené šamotové výrobky v této diplomové práci.



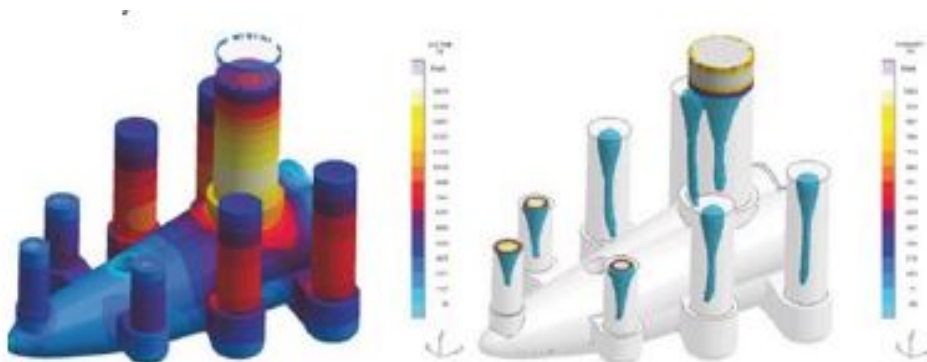
### 3.5 Použití lehčených šamotových výrobků

Ze všech žáruvzdornin je nejvíce uplatňovaný právě šamot, využití nachází ve všech odvětvích, které tepelně zpracovávají své výrobky, zejména pak při výrobě železa. Většinou tvoří celou vyzdívku, nebo alespoň část tepelného agregátu. Dále se se šamotovou vyzdívku setkáme u rotačních pecí při výrobě cementu, ve sklářské a keramické výrobě, při výrobě neželezných kovů, ale také v odvětvích, jako je energetika, chemický a petrochemický průmysl i spalovny. Obecně nejvíce pozornosti těmto materiálům věnují výrobní závody, kde se pracuje s taveninami a vysokými teplotami. Můžeme se setkat s klasickými tvary těchto výrobků, ale i s klíny pro rotační pece, radiálky, záklenky i speciální tvary. [4, 5]

V této práci byla veškerá pozornost věnována konkrétnímu výrobku Izospar společnosti SEEIF Ceramic, a.s. Jde o žáruvzdornou, lehčenou, tepelněizolační tvarovku různých tvarů (klíny, plátky, knihy atd.) s malou objemovou hmotností, dobrými tepelněizolačními vlastnostmi, se snadnou opracovatelností broušením a řezáním. Používá se jako tepelná izolace nálitků ve slévárnách, kde je po aplikaci tohoto výrobku zajištěno hospodárnější využití tekutého kovu, snížení pracnosti při výrobě forem a snížení nákladů na výrobu nálitků. [23]



Obrázek 12: Dva nálitky, částečně zaformované a obložené izolací IZOSPAR [12]



Obrázek 13: Proces tuhnutí odlitku směrem k nálitku (červeně - vysoká teplota, modře - nízká teplota, bíle tuhý kov) [12]

Největším konkurentem v tomto odvětví je rakouská společnost Rath AG. Následující tabulka ukazuje rozdílné technické parametry tohoto výrobku tuzemského a zahraničního výrobce.

Tabulka 2: Porovnání výrobku tuzemského a zahraničního výrobce [22,23]

	Izospar Seeif Ceramic, a.s.	Porrath FL24-06 Rath AG
Objemová hmot. [kg/m <sup>3</sup> ]	600-800	600
Klasifikační teplota [°C]	neuveveno	1350
Pevnost v tlaku [MPa]	min. 1	1,2
Obsah Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> [%]	35	37
Obsah SiO <sub>2</sub> [%]	59	56

### 3.6 Výsledky v zahraničních publikacích

Jak v České republice, tak i v zahraničí je neustálá snaha o zlepšení vlastností žáruvzdorných materiálů, ale i o získávání možností využití nových surovin pro jejich výrobu.

#### 3.6.1 Vývoj šamotové aluminosilikátového žáruvzdorného materiálu z kaolínu

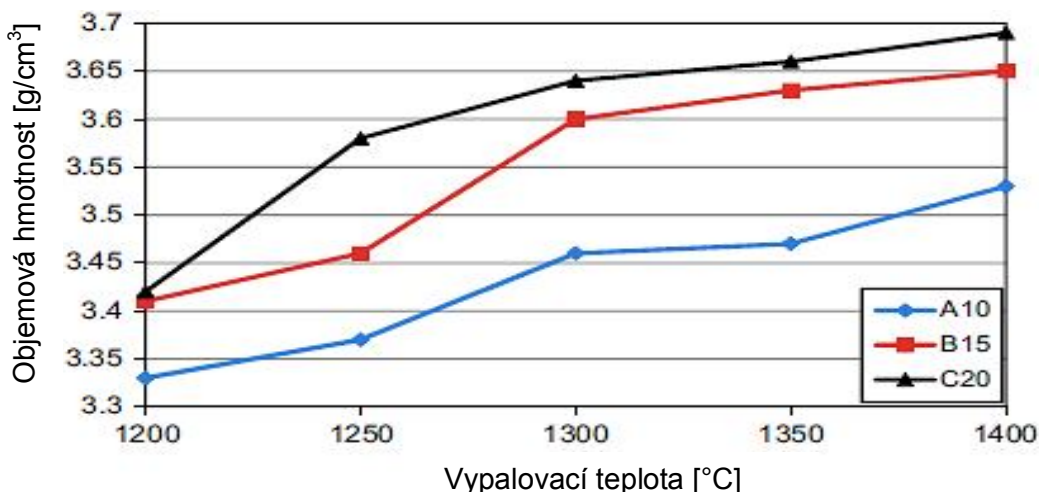
Kaolín až dosud nebyl využíván k výrobě žáruvzdorných výrobků vzhledem k jeho nízké plastičnosti, na základě získávání nových zkušeností ve výrobě žáruvzdorného materiálu byla však možnost použití kaolínu v šamotovém střepeu prozkoumána. [19]

Kaolín byl získán z ložiska v Ghaně. Z mineralogického hlediska se skládá z kaolinitu a gibbsitu a chemické charakteristiky naznačují, že je v něm obsaženo  $\text{SiO}_2$  a množství  $\text{Al}_2\text{O}_3$  se pohybuje mezi 31 a 45 %. Dále obsahuje nečistoty  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ,  $\text{TiO}_2$ ,  $\text{K}_2\text{O}$ ,  $\text{CaO}$ ,  $\text{MgO}$  a  $\text{Na}_2\text{O}$ . Chemické složení tedy ukazuje, že tento jíl může být použit pro výrobu šamotových hlinitokřemičitanových materiálů. Každopádně bylo potřeba vyřešit jeho nižší plasticitu a horší zpracovatelnost vytvářecí směsi. Aby byl tento jíl opravdu použitelný, je potřeba přidat pojivo, aby vyformované těsto udrželo svůj tvar při následném sušení a výpalu. Bylo využito místního ložiska jílu, které má dobré vlastnosti a obsahuje asi 41 % jílu a 47 % volného křemene, má dostatečnou plasticitu a dobrou zpracovatelnost. Směs jílu s kaolínem následně vytváří materiál vhodný pro výrobu šamotových žáruvzdorných výrobků. [19]

Byly připraveny tři surovinové směsi (A10, B15 a C20 – čísla značí procentuální zastoupení jílu ve směsi) vzorky byly tvarovány za polosucha, sušeny a vypalovány při teplotách 1200–1400 °C. Na vypálených vzorcích byla zkoumána zdánlivá pórovitost, objemová hmotnost, smrštění a pevnost v tlaku. [19]

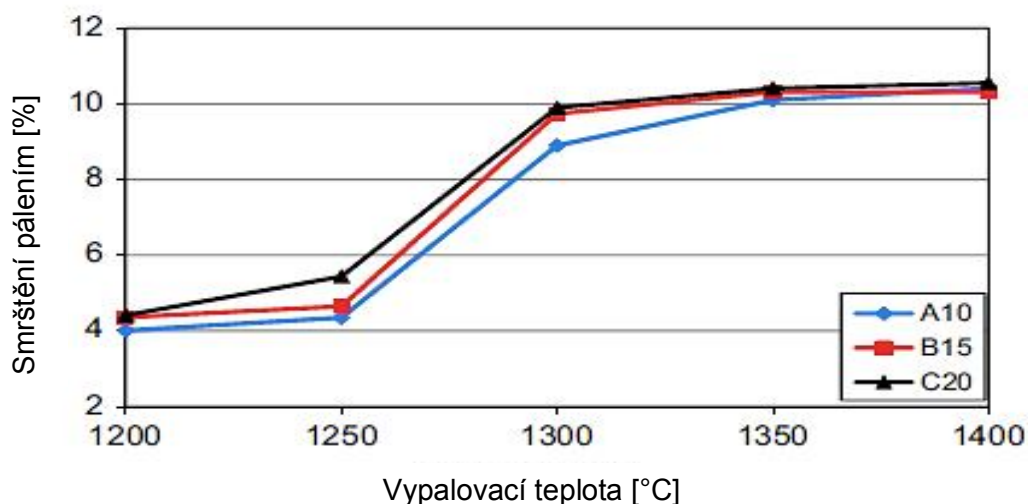
Zdánlivá pórovitost klesala se zvyšující se vypalující teplotou a množstvím pojiva. Uzavírání pórů při teplotách 1200–1300 °C je zapříčiněno přeměnou metakaolinitu na mulit a vznikem skelné fáze. Zmenšení pórovitosti snižuje objemovou hmotnost vzorků a zlepšuje mechanické vlastnosti. [19]

Objemová hmotnost se prudce zvýšila při vypalovacích teplotách 1200–1300 °C vzhledem k tvorbě vysoce viskózní křemičité fáze, která usnadňuje srážení primárního mullitu. Tvorba skelné fáze při vypalovací teplotě 1400 °C způsobené přítomností tavidel a alkalických oxidů ( $\text{CaO}$ ,  $\text{MgO}$ ,  $\text{Na}_2\text{O}$ ,  $\text{K}_2\text{O}$ ) vedla ke zhutnění a nárůstu objemové hmotnosti při vyšších teplotách. Objemová hmotnost tedy roste s vypalovací teplotou a množstvím pojiva. [19]



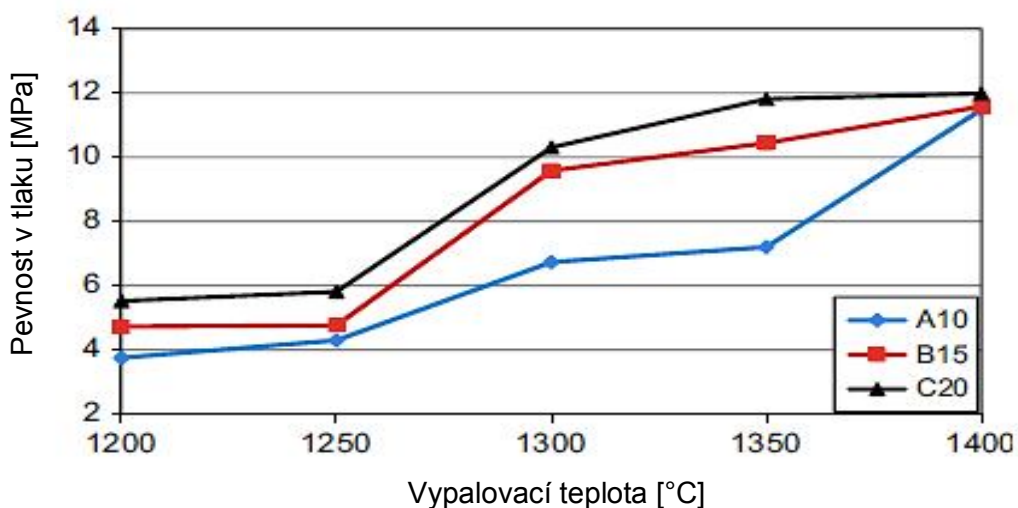
Obrázek 14: Vliv vypalovací teploty na objemovou hmotnost [19]

Smrštění pálením se postupně zvyšovalo při teplotách 1200–1250 °C, prudce vzrostlo z 1250 na 1300 °C a pak se opět mírně zvyšovalo od 1300 do 1400 °C pro všechny směsi. To znamená, že lze pozorovat tři stupně smrštění. Vzorky v konečném slinutí obsahují primární mullit, který byl vytvořen během tvorby skelné fáze, sekundární mullit, který byl vytvořen během chlazení, zpevněný cristobalit a křemen z pojivového materiálu. [19]



Obrázek 15: Vliv vypalovací teploty na smrštění pálením [19]

Pevnost v tlaku se zvětšovala se zvyšující se teplotou, a to zejména u směsi s největším množstvím pojiva. Při teplotách 1300–1400 °C došlo ke zvýšení množství vysoce žáruvzdorných fází (cristobalit a mullit), zpevnování vzorků v důsledku přítomnosti taviv, a tím se zvětšovala pevnost v tlaku. [19]



Obrázek 16: Vliv vypalovací teploty na pevnost v tlaku [19]

Zkoumané vlastnosti naznačují, že kaolín by mohl být použit k výrobě šamotových hlinitokřemičitanových žáruvzdorných materiálů pro aplikace do vysokých teplot, jako kelímky nebo pecní vyzdívky. [19]

### 3.6.2 Výroba anortitových žáruvzdorných izolačních tvarovek ze směsi jílu, recyklovaného odpadního papíru a pilin

Zahraniční norma klasifikuje žáruvzdorniny podle normy ASTM v závislosti na objemové hmotnosti a maximální provozní teplotě. Například skupiny 20 a 23 s vysokým obsahem CaO reprezentují anortit ( $\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 2\text{SiO}_2$ ) jako základní složku izolačních tvarovek s maximálním rozsahem teplot 1093–1260 °C. Anortitové žáruvzdorniny jsou vyrobeny převážně ze směsi jílu, sádrovce, pojiva a pilin. Směs tvrdne po vytvoření a poté se vypálí. Na tuto metodu je však nutné nazírat z hlediska životního prostředí. Pak zde vzniká problém – dochází k uvolňování sloučenin síry ze sádrovce, která je vysoce nežádoucí. Další možností je tuto žáruvzdorninu vytvořit ze směsi kaolinu a sádrové kaše s přídavkem pěnového perlitu, pilin nebo polystyrenu. Následně byla zkoušena možnost využít ke tvorbě anortitových lehčených žáruvzdorných výrobků směs jílu nebo šamotového žáruvzdorného jílu s recyklovaným odpadním papírem, celulóзовými vlákny a přídavkem pilin navíc jako ekologičtější formu. Zbytky zpracovaného papíru složeného z uhlíčitanu vápenatého jako zdroje oxidu vápenatého a jemná celulóзовá vlákna byly přidány do jílového systému

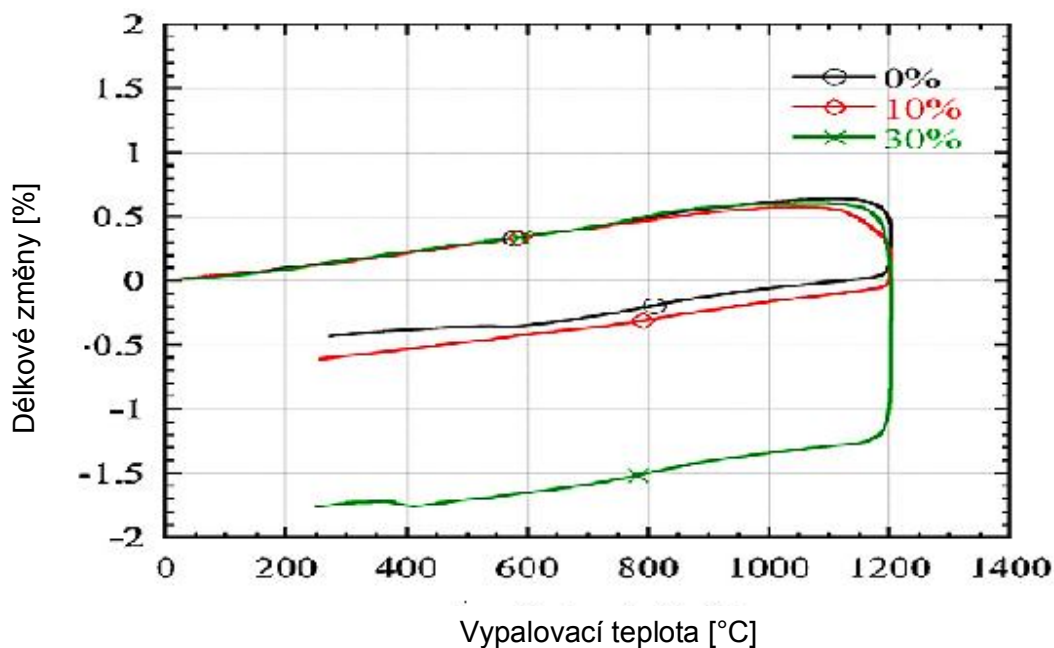
umožňujícího vytvořit anortitové složení. Mikroporézní struktura je zaručena pomocí spalování celulóзовých vláken a rozkladu uhličitanu vápenatého, zatímco přidáním pilin se zaručí makroporézní struktura. [20]

Experimentální část této studie spočívala ve tvorbě dvou směsí a zjištění užitečných vlastností po výpalu. Na první směs byl použit komerční jííl K244 a na druhou směs šamotový žáruvzdorný jííl, oba původem z Turecka. Jííly sloužily jako zdroj  $\text{Al}_2\text{O}_3$  a  $\text{SiO}_2$ . Vzorke byly vytvořeny pomocí lití kaše s celkovým obsahem vody 55–66 % v závislosti na množství pilin (10, 20 a 30 %). Vzorke z jíílu K244 byly vypalovány na teplotu 1200 °C, kde bylo pozorováno nejvíce anortitové fáze, křemen se při této teplotě úplně rozpustí a konečné složení je zcela anortitové. Kdežto u směsi, kde byl použit šamotový žáruvzdorný jííl, byla teplota výpalu 1200 °C příliš nízká na to, aby anortit vznikl, a jako optimální teplota byla zvolena 1300 °C. V následující tabulce jsou porovnány vlastnosti vzorků obou směsí po výpalu. [20]

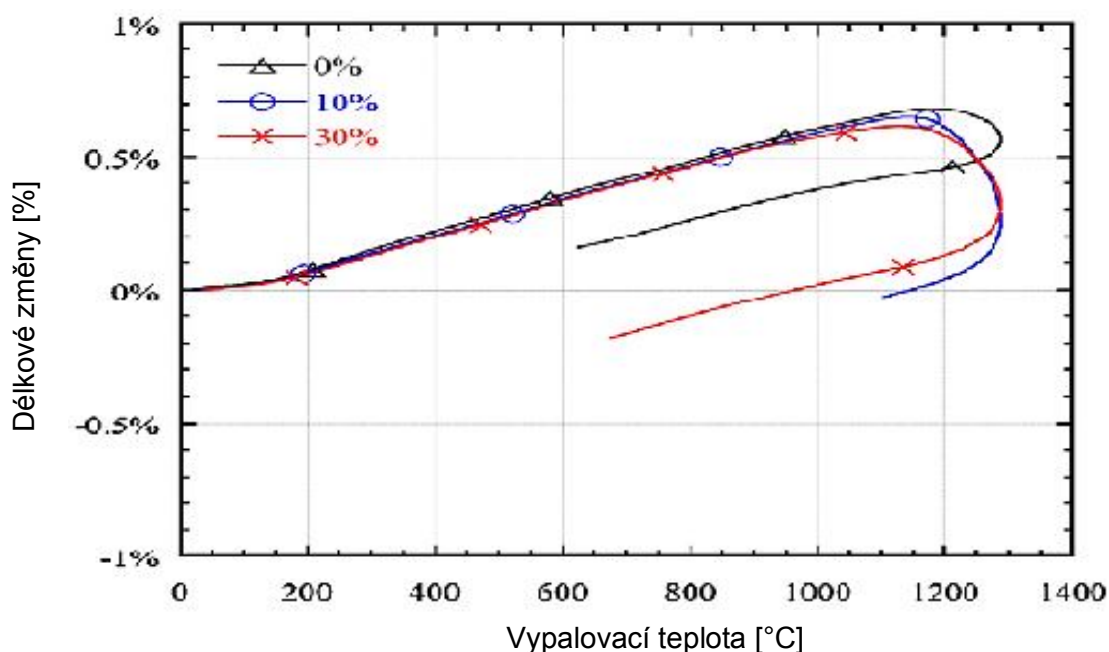
Tabulka 3: Fyzikální hodnoty obou směsí [20]

<b>Směs: Jíl K244 + recyklovaný odpadní papír + piliny</b>				
<b>Fyzikální vlastnosti</b>	<b>Hmotnostní poměr pilin</b>			
	<b>0%</b>	<b>10%</b>	<b>20%</b>	<b>30%</b>
<b>Objemová hmotnost [g/m<sup>3</sup>]</b>	1,30	1,09	0,93	0,87
<b>Zdánlivá pórovitost [%]</b>	48,20	55,50	57,00	57,50
<b>Součinitel tepelné vodivosti [W/(m·K)]</b>	0,39	0,30	0,23	0,20
<b>Pevnost v tahu za ohybu [MPa]</b>	15,30	7,04	4,97	4,49
<b>Směs: Šamotový jííl + recyklovaný odpadní papír + piliny</b>				
<b>Fyzikální vlastnosti</b>	<b>Hmotnostní poměr pilin</b>			
	<b>0%</b>	<b>10%</b>	<b>20%</b>	<b>30%</b>
<b>Objemová hmotnost [g/m<sup>3</sup>]</b>	1,12	0,92	0,75	0,64
<b>Zdánlivá pórovitost [%]</b>	56,90	64,70	71,80	74,10
<b>Součinitel tepelné vodivosti [W/(m·K)]</b>	0,25	0,19	0,15	0,13
<b>Pevnost v tahu za ohybu [MPa]</b>	2,74	1,84	1,10	0,61

Procento lineární změny vypalovaných porézních vzorků jsou uvedeny v následujících grafech.



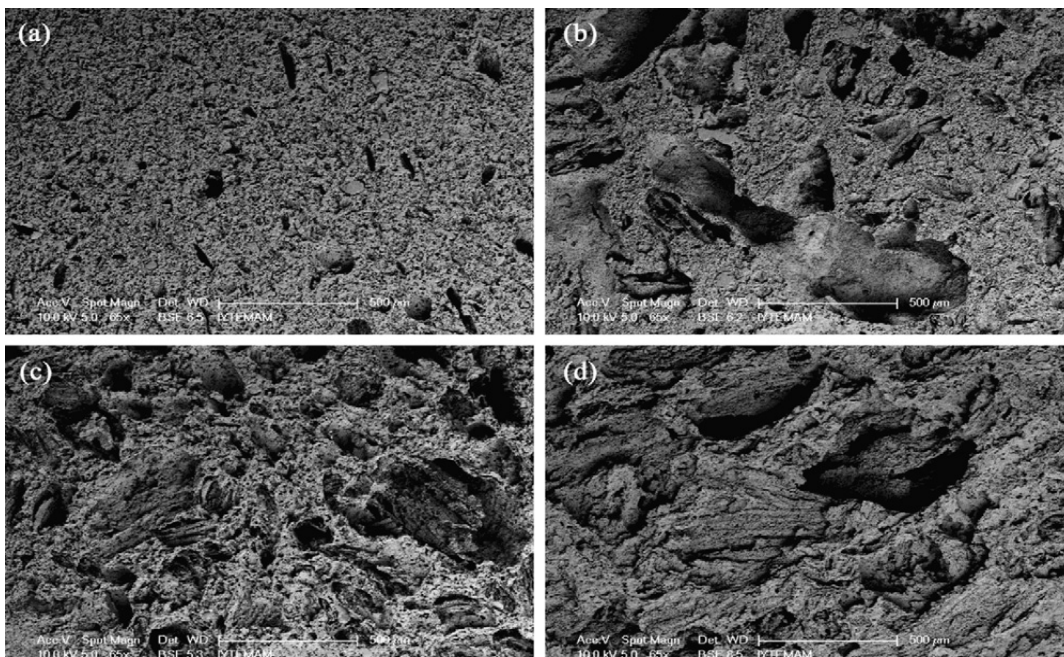
Obrázek 17: Vliv vypalovací teploty na délkové změny u směsi s jílem K244 [20]



Obrázek 18: Vliv vypalovací teploty na délkové změny u směsi se šamotovým jílem [20]

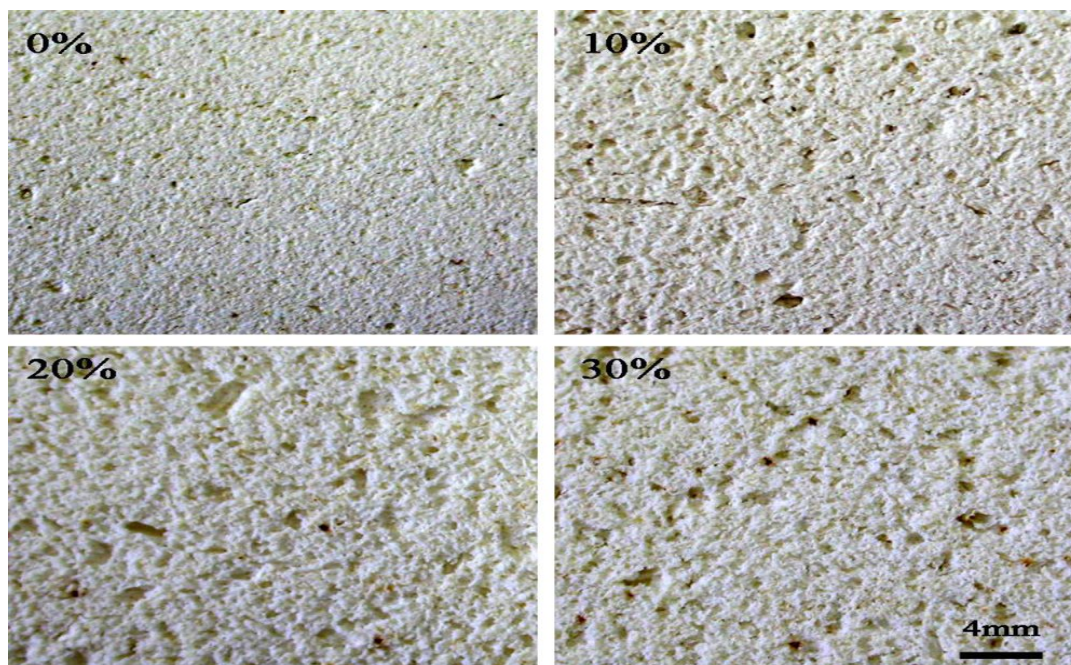
Jak je možné vidět na záznamu vzorku ze směsi s jílem K244 z rastrovacího elektronového mikroskopu, jsou zde póry velikosti 500  $\mu\text{m}$  tvořené pilinami, jakožto i mikropóry menší než 20  $\mu\text{m}$  vzniklé zřejmě rozkladem celulóзовých vláken a rozkladu uhličitanu vápenatého při výpalu. Tvorba vysoce porézní struktury poskytuje nižšího součinitele tepelné vodivosti. [20]





Obrázek 19: Fotografie ze SEM analýzy vzorku s jílem K244 a přidavkem pilin (a) 0 %, (b) 10 %, (c) 20 %, (d) 30 % [20]

Ilustrace změny velikosti pórů jako funkce pilin je znázorněna na obrázku 19. Velikost pórů je obvykle menší než 2 mm, ale občas se vyskytnou i větší póry.

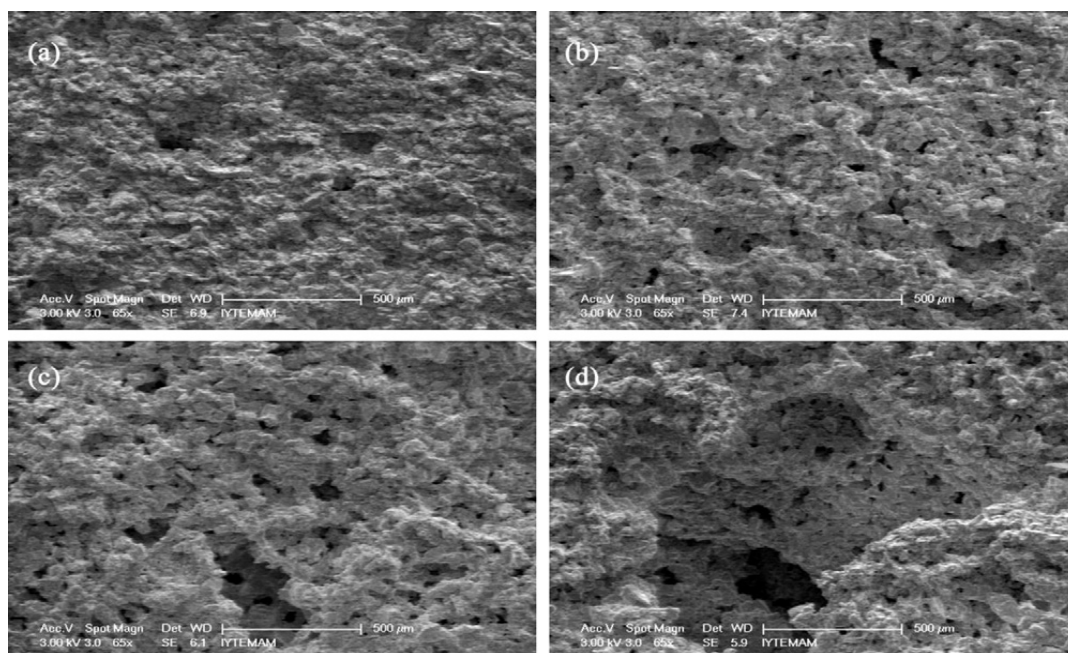


Obrázek 20: Znázornění pórovitosti u vzorků s šamotovým jílem [20]

Z fotografie rastrovacího elektronového mikroskopu vyplývá, že velikost pórů byla přibližně 20 µm, kromě toho se zde vyskytovaly i větší póry o velikosti



100  $\mu\text{m}$ . Další obrázky ukazují, že se zvyšujícím se objemovým množstvím pilin se zvyšuje i množství pórů. [20]



Obrázek 21: Fotografie ze SEM analýzy vzorku s šamotovým jílem a přidavkem pilin (a) 0 %, (b) 10 %, (c) 20 %, (d) 30 % [20]

Z této studie vyplývá, že výroba porézní a lehké izolační žáruvzdorné keramiky může být vytvářena ze směsi jílu (K244, šamotový), recyklovaného papíru (jinak ne příliš využitelného) a pilin. Recyklovaný papír se jeví jako vhodný alternativní zdroj suroviny pro výrobu toho druhu výrobků. Výsledky fyzikálních vlastností byly v požadovaných mezích v závislosti na pórovitosti a produkty byly stabilní při vysokých teplotách do 1100  $^{\circ}\text{C}$ . [20]

## 4 Praktická část

Praktická část popisuje metodiku prováděných zkoušek, popis vstupních surovin, popis jednotlivých směsí, jejich výsledky a následné vyhodnocení.

### 4.1 Metodika zkoušek

Celá praktická část byla provedena ve čtyřech etapách. Nejprve byly provedeny zkoušky na vstupních surovinách. Ze vstupních surovin a vody vzniklo plastické těsto, ze kterého byly vyrobeny vzorky, na kterých se zkoušela citlivost k sušení dle Bigota, smrštění sušením a objemová hmotnost výsušku. Vzorky byly následně vypáleny, většinou na 950 a 1200 °C. Na vypálených vzorcích byla provedena zkouška smrštění pálením a celkové, součinitele tepelné vodivosti a pevnost v ohybu nebo tlaku. V první etapě byla provedena zkouška interakce žádrůzorných jíílů, kaolínu a jejich vylehčených směsí s chemickou přísadou Vuppor. Ve druhé etapě byla snaha eliminovat smrštění sušením pomocí ostřiva lupku. V následující etapě byla zkoumána možnost využití dalších přísad (škorob a Lovosa) pro zlepšení reologických vlastností při tažení vzorků. V poslední etapě bylo zkoušeno vzájemné působení chemické přísady Vuppor se škorbem, resp. Lovosou. Na vzorcích poslední etapy byla navíc zkoušena klasifikační teplota.

#### 4.1.1 Zkoušky vstupních surovin

##### 4.1.1.1 Rentgenová difrakční analýza (RTG)

Tato laboratorní metoda je založena na difrakci (odrazu) paprsků na krystalické mřížce vzorku. Využívá se ke stanovení mineralogického složení látek a vychází ze spojení dvou principů:

- a) krystalografického uspořádání látek,
- b) interakce rentgenového záření s částicemi tvořící krystalickou mřížku látek.

Pomocí známých Millerových indexů identifikujeme rovnoběžné roviny, které jsou od sebe stejně vzdáleny a udávají polohu rovin v prostorové mřížce. Pokud známe hodnotu mezirovinných vzdáleností zkoumané látky stanovené rentgenovou difrakční analýzou a hodnoty souboru mezirovinných vzdáleností různých minerálů, můžeme určit, jaké minerály jsou v látce obsaženy nebo jaký

minerál ji tvoří. Graf této zkoušky se nazývá rentgenogram a udává závislost intenzity odražených paprsků RTG záření na úhel dopadu záření. [9]

#### **4.1.1.2 Termografické rozbor (DTA, TG) – ČSN 72 1083**

Zkouška se zkratkou DTA neboli difrakční termická analýza je založena na měření rozdílů teplot mezi zkoušeným vzorkem a inertním standardem při jejich zahřívání, kdy můžeme zachytit reakce exotermické (reakce, kdy se teplo uvolňuje – oxidace, krystalizace) a endotermické (reakce, kdy se teplo spotřebovává – dehydratace, dehydroxilace).

TG neboli termogravimetrická analýza zaznamenává úbytek hmotnosti – dehydrataci, dehydroxilaci, dekarbonataci atd. [9]

#### **4.1.1.3 Dilatometrická termická analýza (DKTA) – ČSN 72 1083**

Dilatometrická analýza slouží ke stanovení objemových změn látek v závislosti na teplotě. DKTA slouží ke stanovení mineralogického složení, přičemž je potřeba znát standardní křivky minerálů, které přicházejí v úvahu. Tuto metodu využijeme také ke sledování lineárních změn výrobní směsi sloužící jako podklad pro vytvoření pálící křivky keramických výrobků. Aby nedošlo k porušení výrobků vlivem napětí v místech významných délkových změn, upravujeme pálící křivku. [9]

### **4.1.2 Přetvárné (reologické) vlastnosti plastického těsta**

#### **4.1.2.1 Plastičnost podle Pfefferkorna – ČSN 72 1074**

Na Pfefferkornově přístroji se stanoví plastičnost vytvářecích těst na základě deformačního poměru. Zkouška probíhá tak, že si vytvoříme válečky z těsta o určité vlhkosti, o průměru  $33 \pm 0,5$  mm a výšce  $40 \pm 0,1$  mm. Váleček vložíme do přístroje a pustíme na něj závaží o hmotnosti 1200 g z výšky  $H_0=185$  mm a změříme výšku válečku po stlačení. Deformační poměr se vypočítá:  $d = \frac{h_n}{h_0}$  [-], kde  $h_0$  [mm] je výška válečku před a  $h_n$  [mm] po deformaci. Během zkoušky stanovíme také množství vody obsažené v těstě. [6]

#### 4.1.2.2 Stanovení vlhkosti pracovních surovin a výrobní směsi

Jedná se o stanovení fyzikálně-mechanicky vázané vody, která se odstraní sušením při teplotě 110 °C. Vlhkost stanovíme následujícím postupem: nejdříve zvážíme vlhký vzorek a následně se nechá vysušit v laboratorní sušárně do konstantní teploty. Vlhkost vypočítáme podle vzorce:

$w = \frac{m_w - m_s}{m_s} \cdot 100$  [%], kde  $m_w$  je hmotnost vlhkého vzorku [g] a  $m_s$  je hmotnost suchého vzorku [g]. [9]

#### 4.1.2.3 Citlivost k sušení – ČSN 72 1565 - 11

U výsušků můžeme vizuálně posoudit množství defektů (deformace, trhlinky) a tím zjistíme, jaká je citlivost k sušení. Pro vyhodnocení citlivosti k sušení využijeme Bigotovy křivky. Hodnoty pro vytvoření křivky získáme opakovaným měřením rozměrů. Naměřené hodnoty se vynesou do diagramu, a jestliže se smrštění již nemění, prodloužíme kolmou a šikmou část křivky. V bodě, kde se obě protnou, se nachází tzv. kritický bod. Dále vedeme z kritického bodu rovnoběžku s osou x, tu protne osa y a následně můžeme vyhodnotit jednotlivé oblasti sušení, množství vody smršťovací a vody pórové. [10]

Citlivost k sušení podle Bigota (CSB) vypočítáme:  $CSB = \frac{w_0 - w_k}{w_k}$  [-], kde  $w_0$  [%] je množství rozdělovací vody a  $w_k$  [%] je kritická vlhkost, která se stanovuje graficky v Bigotově křivce.

Vyhodnocení: CSB < 1 – zemina málo citlivá k sušení, CSB 1 – 1,5 – zeminy středně citlivé k sušení, CSB 1,5 – 2 – zeminy citlivé k sušení, CSB > 2 – zeminy silně citlivé k sušení. [9]

#### 4.1.3 Vlastnosti vysušeného výlisku

##### 4.1.3.1 Délková změna sušením – ČSN 72 1565 - 5

Během sušení výrobku dochází k odpařování vody a přibližování částic v mikrostruktuře, což se projeví délkovou a objemovou kontrakcí (smrštění). Čím více použijeme rozdělovací vody a čím více jemných zrn do 2 µm bude surovina obsahovat, tím větší bude kontrakce. Určíme smrštění sušením na vzorcích

velikosti 100x50x20 mm nebo 70x35x12 mm. Smrštění sušením vypočítáme:

$$DS = \frac{l_s - l_z}{l_z} \cdot 100 [\%], \text{ kde } l_s [\text{mm}] \text{ je délka po a } l_z [\text{mm}] \text{ před vysušením. [9]}$$

#### **4.1.4 Vlastnosti vypáleného keramického střepu**

##### **4.1.4.1 Objemová hmotnost ČSN – 72 1565 - 6**

Jednou ze základních zkoušek pro vypálený střep je objemová hmotnost, kterou vyjadřuje hmotnost objemové jednotky vysušeného vzorku zahrnující uzavřenou a otevřenou pórovitost. Pro výpočet objemové hmotnosti je potřeba vzorky zvážit a změřit. [8]

Výpočet objemové hmotnosti:  $OH = \frac{m}{V} [\text{kg/m}^3]$ , kde  $m$  [kg] je hmotnost vzorku a  $V$  [m<sup>3</sup>] je jeho objem.

##### **4.1.4.2 Délková změna pálením – ČSN 72 1565 - 5**

„Při výpalu probíhá řada reakcí a pochodů, při nichž dochází k dalšímu intimnímu přibližování a vzájemným reakcím jednotlivých částic přítomných složek směsi, což je v naprosté většině případů spojeno se zmenšováním objemu vypalovaného tělesa.“ [2]

Jestliže prvotní velikost výlisku byla dána velikostí formy ( $l_z = 100$  mm), můžeme hodnotu celkového smrštění DC vypočítat následovně:

$$DC = \frac{l_p - l_z}{l_z} \cdot 100 [\%], \text{ kde } l_p [\text{mm}] \text{ je délka trámečku po výpalu, } l_z [\text{mm}] \text{ je délka trámečku po vytvoření.}$$

Již známe hodnotu smrštění sušením DS a následně můžeme vypočítat smrštění pálením:

$$CP = DC - DS [\%], \text{ kde } DC [\%] \text{ je celkové smrštění a } DS [\%] \text{ je smrštění sušením. [9]}$$

#### 4.1.4.3 Součinitel tepelné vodivosti – ČSN EN 993 - 14

Pro lehčené šamotové výrobky jsou důležité tepelně-technické vlastnosti, a to zejména součinitel tepelné vodivosti, který zjišťujeme metodou topného drátu, s ohledem na objemovou hmotnost a pevnost.

Součinitel tepelné vodivosti je hlavní parametr při šíření tepla vedením. Hodnoty této veličiny se stanovují experimentálně (metodou horkého drátu na přístroji SHOTERM) a závisejí na mnoha činitelích, jako je například objemová hmotnost, druh a velikost pórů v mikrostruktuře atd. [7]

Součinitelem tepelné vodivosti je značen symbolem  $\lambda$  a jeho jednotka je [W/(m·K)].

#### 4.1.4.4 Pevnost v tlaku – ČSN 72 1565 - 8

Tato veličina je definována jako poměr největší dosažené síly potřebné k porušení zkušebního tělesa při namáhání tlakem a počátečního průřezu tělesa. Pevnost v tlaku vypočítáme podle vzorce:

$\sigma = \frac{F}{A}$  [MPa], kde F je maximální síla v okamžiku porušení [N] a A je zatěžovaná plocha zkušebního tělesa [mm<sup>2</sup>].

U žárových výrobků můžeme pevnost v tlaku stanovit navíc i při působení vysokých teplot nebo jako tzv. únosnost v žáru. Únosnost v žáru je teplota, při níž se zkoušené těleso deformuje do určitého stupně účinkem tlaku. [7]

#### 4.1.4.5 Pevnost v ohybu – ČSN 72 1565 - 7

Pevnost v ohybu R vyjadřuje schopnost materiálu odolávat působícímu napětí. Tato veličina charakterizuje každý materiál odpovídající maximálnímu zatížení, při kterém dochází ke zlomení. Pevnost v ohybu se vypočítá podle vzorce:

$R = \frac{3 \cdot F \cdot L}{2 \cdot b \cdot h^2}$  [MPa], kde F je zatížení v okamžiku porušení [N], L je vzdálenost podpěrných břitů [mm], b je šířka zkušebního vzorku [mm] a h nejmenší tloušťka zkušebního vzorku [mm]. [7]

## 4.2 Vstupní suroviny

Pro výrobu zkušebních vzorků byly použity dva druhy jílu, kaolin, smrkové a dubové piliny, chemická přísada VUPPOR I, škrob, dextrin, Lovosa (obchodní název pro karboxymethylcelulózu).

### 4.2.1 Jíl MM

Jedná se modrošedý žáruvzdorný kaolinitický jíl. Mezi jeho přední vlastnosti patří dobrá slínavost, vysoká hutnost a pevnost za sucha i po výpalu (pevnost v tlaku za studena činí 71,5 MPa – vypalovací teplota 1250 °C), ale také střední až vysoká vaznost. Materiál byl odebrán z lokality Borkovany. Žáruvzdornost tohoto jílu je 1650–1680 °C. [4]

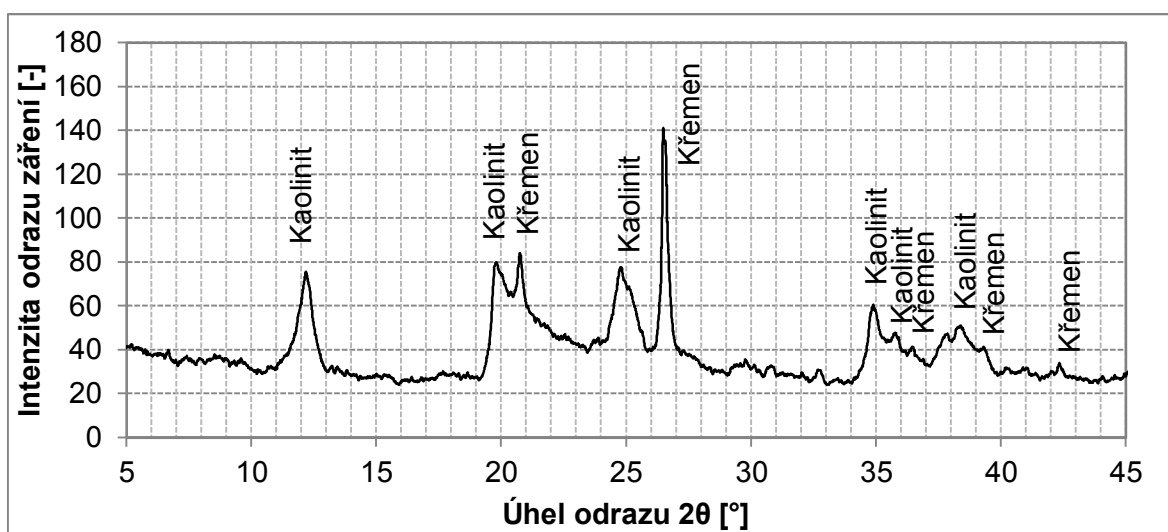
### Chemické složení

Tabulka 4: Chemické složení jílu MM

Obsah složky (hmotn. %)							
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	TiO <sub>2</sub>	CaO	MgO	Na <sub>2</sub> O	K <sub>2</sub> O	Zž
22,34	1,55	1,20	0,20	0,30	0,10	1,50	8,08

### Mineralogické složení

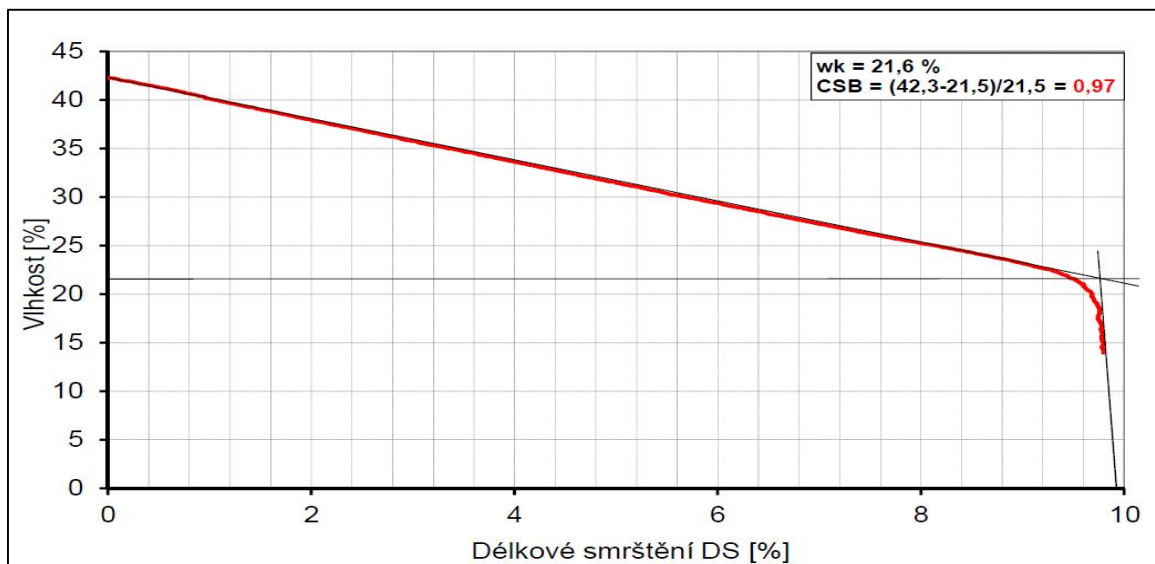
Jíl MM je mineralogicky složen pouze z křemene a kaolinitu.



Obrázek 22: Záznam RTG jílu MM

## Citlivost k sušení dle Bigota

Koeficient citlivosti k sušení podle Bogota jílu MM je 0,97, to znamená, že se jedná o materiál málo citlivý k sušení.

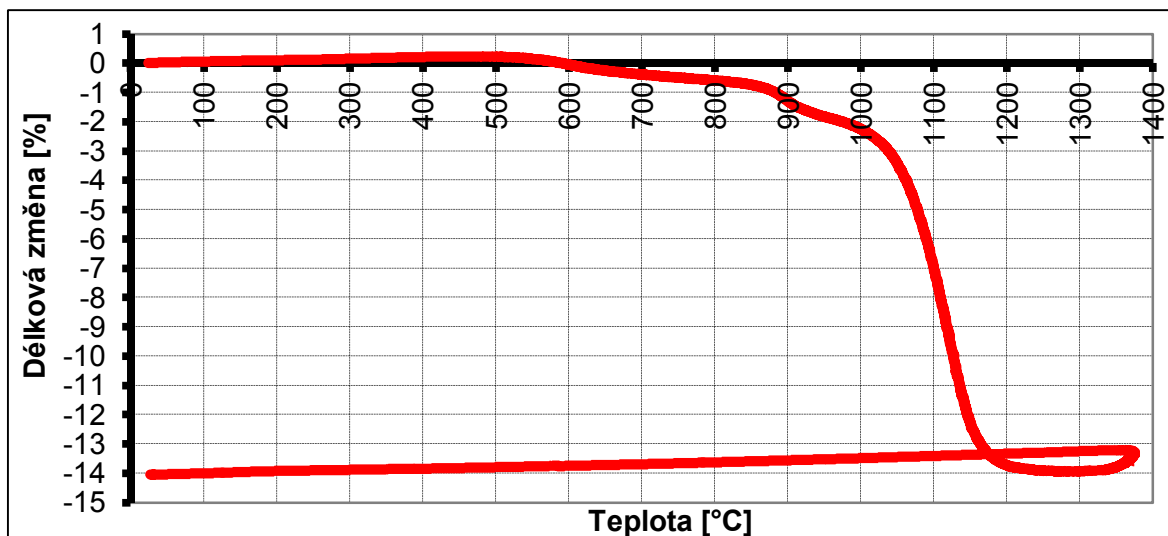


Obrázek 23: Bigotova křivka jílu MM

## Dilatometrická termická analýza (DKTA)

Do teploty výpalu přibližně 550 °C se vzorek z jílu MM mírně zvětšuje, maximálně 0,2 % v teplotním intervalu 400–500 °C, a to hlavně rozkladem kaolinitu. Následně dochází k mírnému smrštění, okolo 0,5 %, v rozmezí teplot 600–850 °C. Mezi teplotami 850–1200 °C se střep nejintenzivněji slinuje. K pozvolnému zhutňování střepu dochází v teplotním intervalu 1200–1300 °C a při teplotě 1300 °C je znát zvětšování objemu přibližně o 0,8 %.

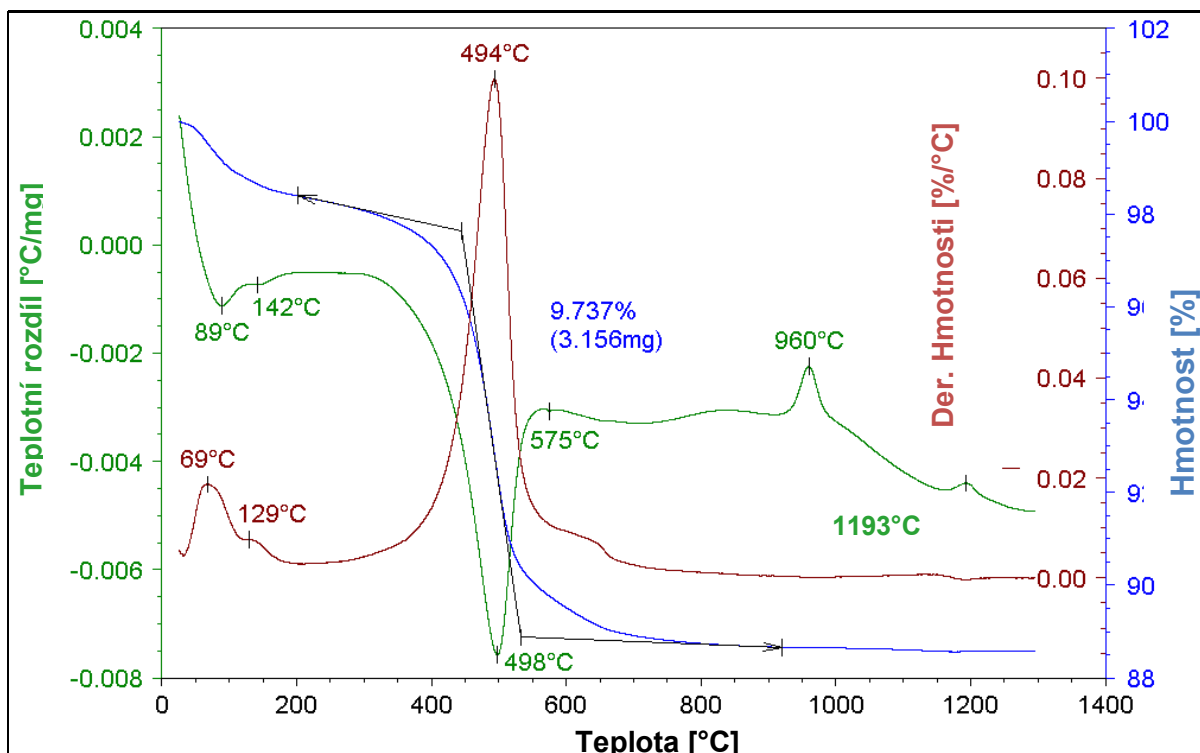




Obrázek 24: DKTA jílu MM

### Termografické rozbory (DTA, TG)

Hmotnost střepeu z jílu MM se do teploty 1300 °C snížila o 11,4 %. Nejdříve ze vzorku odchází kapilární a adsorbovaná voda. Následkem rozkladu jílových minerálů dochází k největšímu poklesu hmotnosti vzorku. Termická analýza vzorku z jílu MM je prototyp pro kaolinit, který je také hlavní složkou tohoto jílu. Ve vzorku se nacházejí organické látky, které vyhořívají, a analýza DTA ukazuje přítomnost křemene.



Obrázek 25: TG-DTA jílu MM

## Objemová hmotnost

Největšího slinutí jílu MM je dosaženo při teplotě výpalu 1250 °C, kdy dosahuje nejnižších objemových hmotností. Při dalším zvyšování vypalovací teploty se vzorky zvětšují a snižují svoji objemovou hmotnost.

Tabulka 5: Vliv vypalovací teploty na objemovou hmotnost

Teplota výpalu [°C]	1000	1050	1100	1150	1200	1250	1300	1350	1400
Objemová hmotnost [kg/m <sup>3</sup> ]	1746	2035	2375	2422	2448	2458	2404	2112	1945

### 4.2.2 Jíl Fia

Jíl Fia je žáruvzdorný jíl, pevnost v tlaku za studena činí 2,8 MPa (vypalovací teplota 1250 °C) a jeho žáruvzdornost je přibližně 1740 °C.

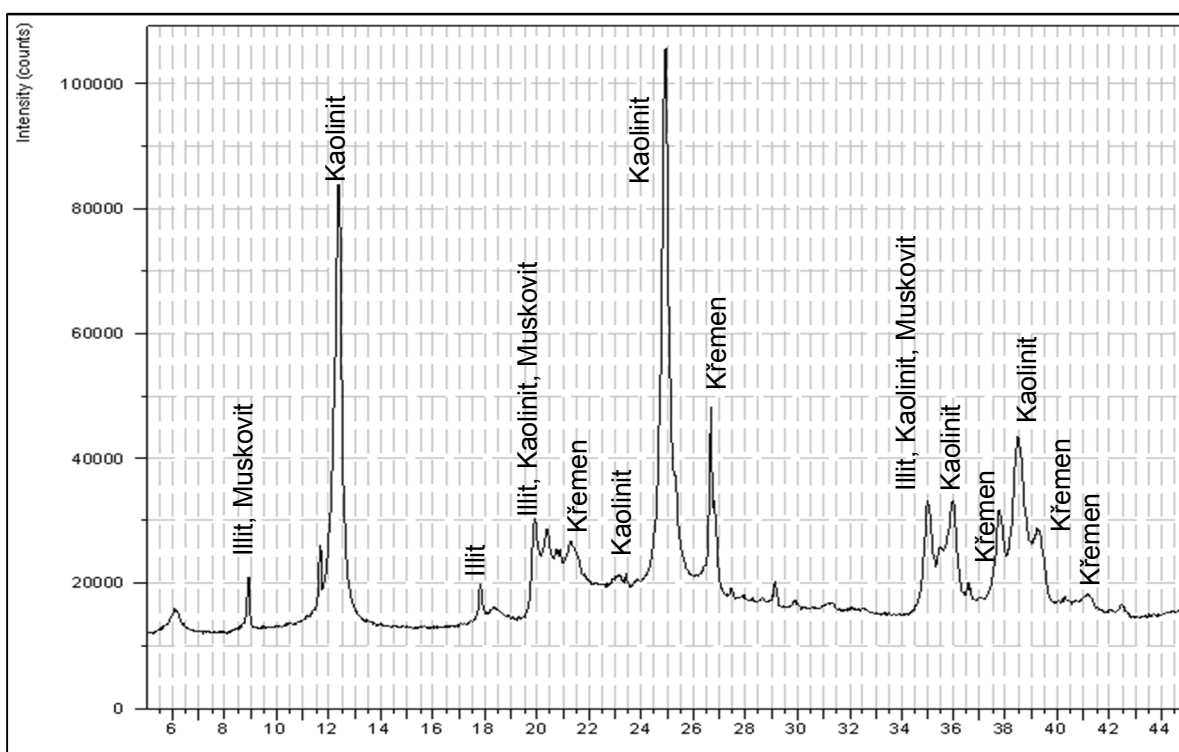
## Chemické složení

Tabulka 6: Chemické složení jílu Fia

Obsah složky (hmotn. %)								
SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	TiO <sub>2</sub>	CaO	MgO	K <sub>2</sub> O	Na <sub>2</sub> O	Zž
53,10	42,00	1,78	1,82	0,25	0,22	0,14	0,62	15,31

## Mineralogické složení

Jíl Fia je mineralogicky složen především z kaolinitu a křemene, dále je zde obsažen i illit a muskovit.

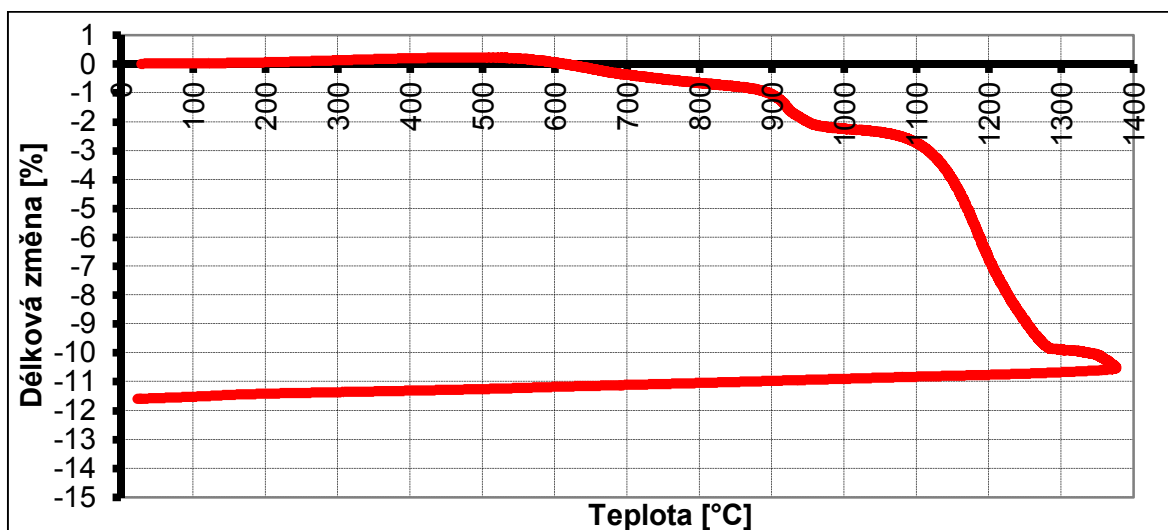


Obrázek 26: Záznam RTG jílu Fia

## Dilatometrická termická analýza (DKTA)

Podobně jako u jílu MM se jíl Fia mírně smršťuje do teploty 600 °C vlivem rozkladu kaolinitu, dále opět následuje smrštění a nejintenzivnější slnutí se odehrává v rozmezí teplot 800–1280 °C. K mírnému zhutňování střepe dochází mezi teplotami 1280–1350 °C a opět následuje mírné zvětšení objemu

max. o 0,9 %. Smrštění není tak výrazné jako u jílu MM, kde se hodnota smrštění rovná 14,01 % a u jílu Fia pouze 10,56 %.



Obrázek 27: DKT jílu Fia

#### 4.2.3 Kaolín DSA

Pro výrobu některých směsí byl použit kaolín DSA, jehož pevnost v tlaku za studena činí 39,3 MPa (vypalovací teplota 1250 °C).

#### Chemické složení

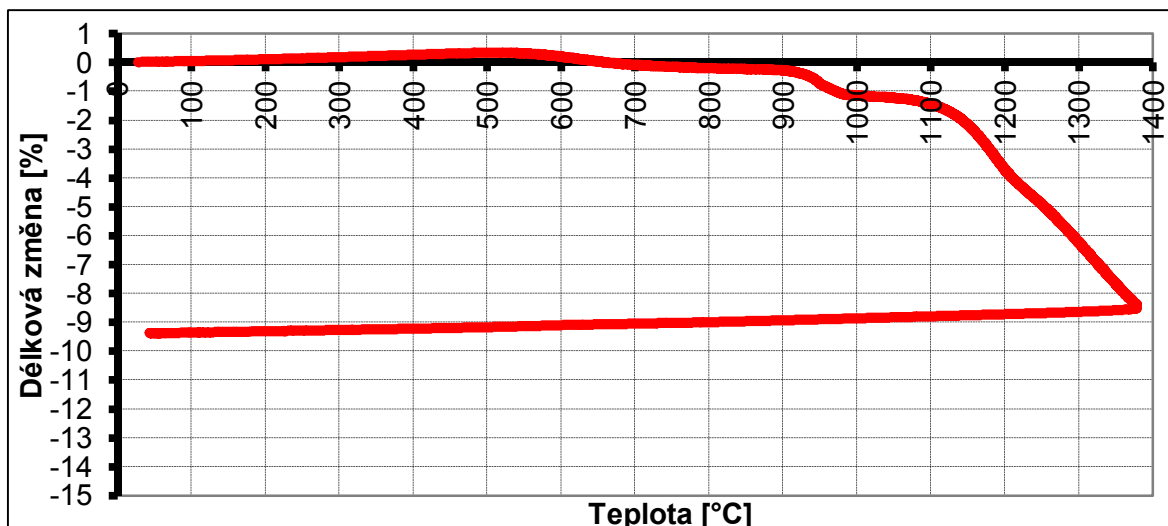
Tabulka 7: Chemické složení kaolínu DSA [2]

Obsah složky (hmotn. %)							
SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	TiO <sub>2</sub>	CaO	MgO	(K,Na <sub>2</sub> )O	Zž
50,0	34,0	0,7	1,0	0,2	0,3	2,3	11,5

Z mineralogického hlediska je kaolín tvořen především kaolinitem.

#### Dilatometrická termická analýza (DKTA)

Průběh DKTA je podobný jako u jílu, nejprve mírné zvětšení objemu do teploty 600 °C, nejintenzivnější slnutí v rozmezí teplot 900–1380 °C a následuje mírné zvětšení. Maximální smrštění 8,73 %.



Obrázek 28: DKTA kaolínu DSA

#### 4.2.4 LOVOSA

Karboxymethylcelulóza (KMC) – jedná se o sodnou sůl éterů celulózy a kyseliny glykolové. Lovosa v keramickém průmyslu působí jako zahušťovadlo glazur, pojivo a plastifikátor nebo zhušťovadlo některých keramických past. V poslední době se tato chemická přísada začala využívat i jako chemická přísada do žáruvzdorných výrobků pro zlepšení užitných vlastností. Lovosa TS 20 je sypká prášková hmota s velikostí zrn do 2 mm, účinná látka v sušině min. 64 %, maximální vlhkost 10 %. O kvalitě LOVOSY rozhoduje několik veličin: stupně polymerace, viskozita a stupeň atd. [21]

### 4.3 Příprava zkušebních těles

Přesně navážené komponenty byly zhomogenizovány v misce nebo v kolovém mlýně a následně byla přidávána voda až do vytvoření plastického těsta optimální konzistence, která byla ověřována u každé směsi na Pfefferkornově přístroji. Z vytvořených směsí se ihned vytvářely vzorky, jelikož chemická přísada Vuppor po odležení ztrácí své požadované vlastnosti. Ovšem směsi se škrobem a Lovosou byly uloženy v nepropustném igelitovém pytli po dobu 24 hodin.

Z každé výrobní směsi byly vytvořeny vzorky ručním stloukáním do mosazné formy (100x50x25/35 mm). Vzorky byly ponechány v laboratorním prostředí a poté

byly dosušeny v sušárně při teplotě 110 °C do konstantní hmotnosti. Vysušené vzorky byly vypáleny při teplotě 950 a 1200 °C.

## 4.4 Výsledky experimentů

### 4.4.1 Etapa 1

Prvním krokem v praktické části bylo definovat vliv chemické přísady Vuppor I na vstupní suroviny a určit optimální množství do výrobní směsi.

V této části byly připraveny 4 směsi, které byly vytvořeny ručně z jílu MM, Fia, kaolínu, pilin s přidavkem Vupporu v % z hmotnosti sušiny a vody. Jelikož směsi obsahovaly Vuppor, nebyly odleženy, protože Vuppor po nějaké době ve směsi ztrácí svou účinnost. Směsi jsou popsány v tabulkách níže.

Tabulka 8: Složení výrobní směsi z jílu MM

Označení	Surovina	Procentuální zastoupení na suchou směs [%]	Vlhkost suroviny w [%]	Vlhkost směsi w [%]
MM 1	Jíl MM	100	0	43,61
	VUPPOR I	0	-	
MM 2	Jíl MM	100	0	44,99
	VUPPOR I	0,25	-	
MM 3	Jíl MM	100	0	49,19
	VUPPOR I	0,5	-	
MM 4	Jíl MM	100	0	50,20
	VUPPOR I	0,75	-	
MM 5	Jíl MM	100	0	50,97
	VUPPOR I	1	-	

Tabulka 9: Složení výrobní směsi z kaolínu DSA

Označení	Surovina	Procentuální zastoupení na suchou směs [%]	Vlhkost suroviny w [%]	Vlhkost směsi w [%]
DSA 1	Kaolín DSA	100	9,3	35,97
	VUPPOR I	0	-	
DSA 2	Kaolín DSA	100	9,3	38,59
	VUPPOR I	0,25	-	
DSA 3	Kaolín DSA	100	9,3	41,01

	VUPPOR I	0,5	-	
DSA 4	Kaolín DSA	100	9,3	40,23
	VUPPOR I	0,75	-	
DSA 5	Kaolín DSA	100	9,3	42,05
	VUPPOR I	1	-	

Tabulka 10: Složení výrobní směsi S

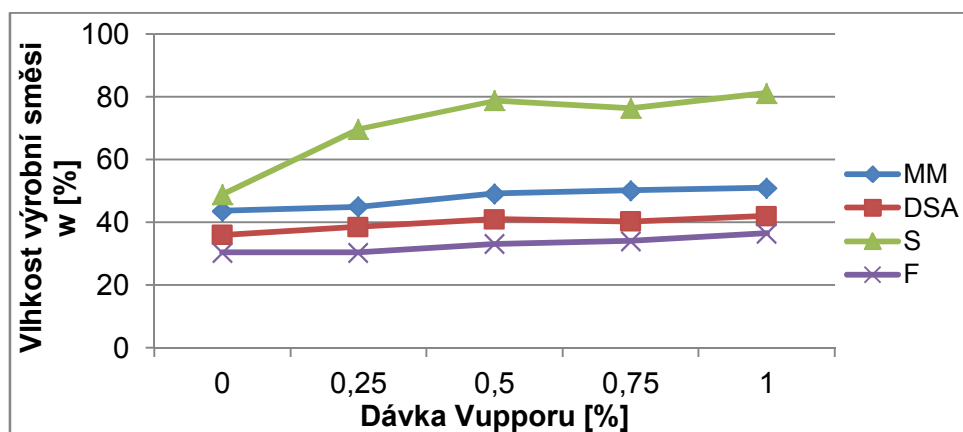
Označení	Surovina	Procentuální zastoupení na suchou směs [%]	Vlhkost suroviny w [%]	Vlhkost směsi w [%]
S 1	Jíl MM	41	0	49,00
	Kaolín DSA	32	9,3	
	piliny	27	20	
	VUPPOR I	0	-	
S 2	Jíl MM	41	0	69,80
	Kaolín DSA	32	9,3	
	piliny	27	20	
	VUPPOR I	0	-	
S 3	Jíl MM	41	0	78,87
	Kaolín DSA	32	9,3	
	piliny	27	20	
	VUPPOR I	0	-	
S 4	Jíl MM	41	0	76,40
	Kaolín DSA	32	9,3	
	piliny	27	20	
	VUPPOR I	0	-	
S 5	Jíl MM	41	0	81,17
	Kaolín DSA	32	9,3	
	piliny	27	20	
	VUPPOR I	0	-	

Tabulka 11: Složení výrobní směsi z jílu Fia

Označení	Surovina	Procentuální zastoupení na suchou směs [%]	Vlhkost suroviny w [%]	Vlhkost směsi w [%]
F 1	Jíl Fia	100	0	30,37
	VUPPOR I	0	-	
F 2	Jíl Fia	100	0	30,35
	VUPPOR I	0,25	-	
F 3	Jíl Fia	100	0	33,09
	VUPPOR I	0,5	-	
F 4	Jíl Fia	100	0	34,07

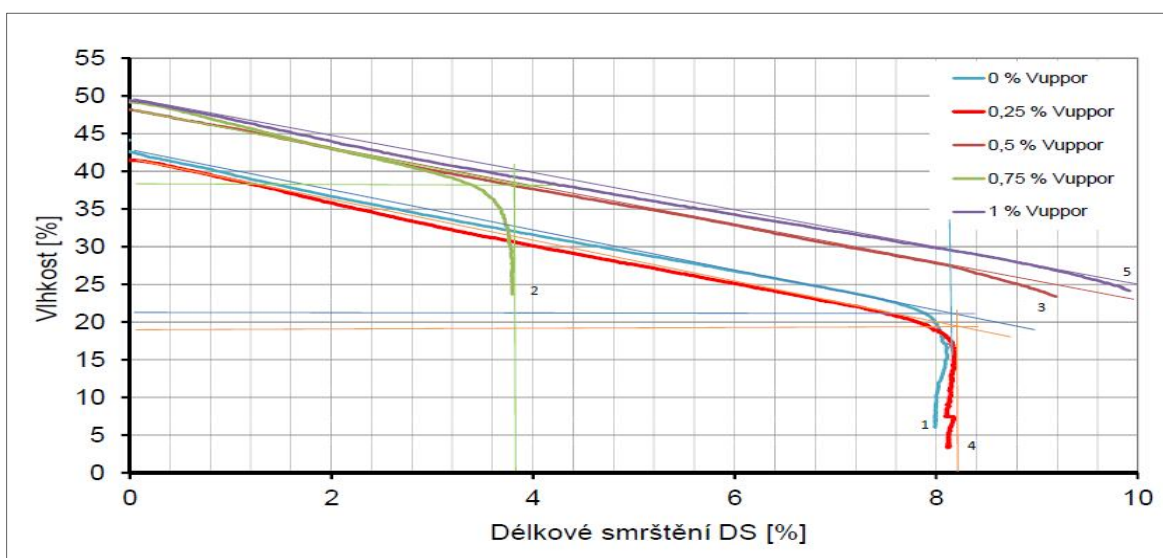
F 5	VUPPOR I	0,75	-	36,48
	Jíl Fia	100	0	
	VUPPOR I	1	-	

Jak bylo předpokládáno, se zvětšujícím se množstvím Vupporu se zvětšovalo množství vody, které bylo potřeba přidat ke směsím tak, aby jednotlivé směsi (MM, DSA, S a F) měly stejný deformační poměr dle Pfefferkorna. Tím pádem se zvětšovala i vlhkost směsí (již při malých dávkách přísady) a lze předpokládat, že vzorky s větším množstvím Vupporu budou pórovitější a budou mít menší objemovou hmotnost.



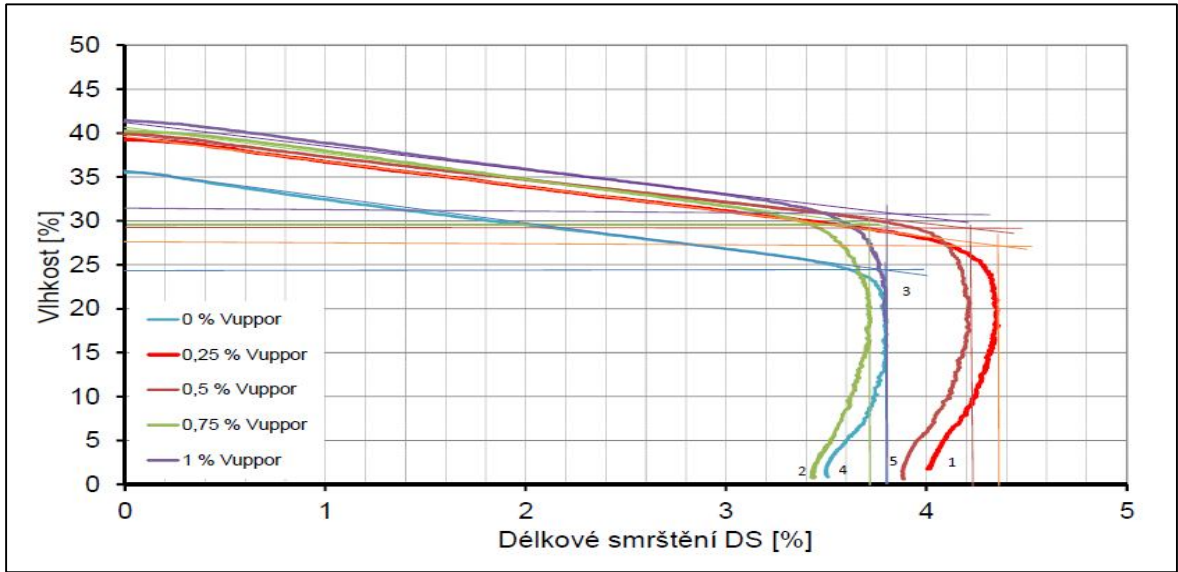
Obrázek 29: Vliv dávky Vupporu na vlhkost výrobní směsi

### Citlivost k sušení dle Bigota

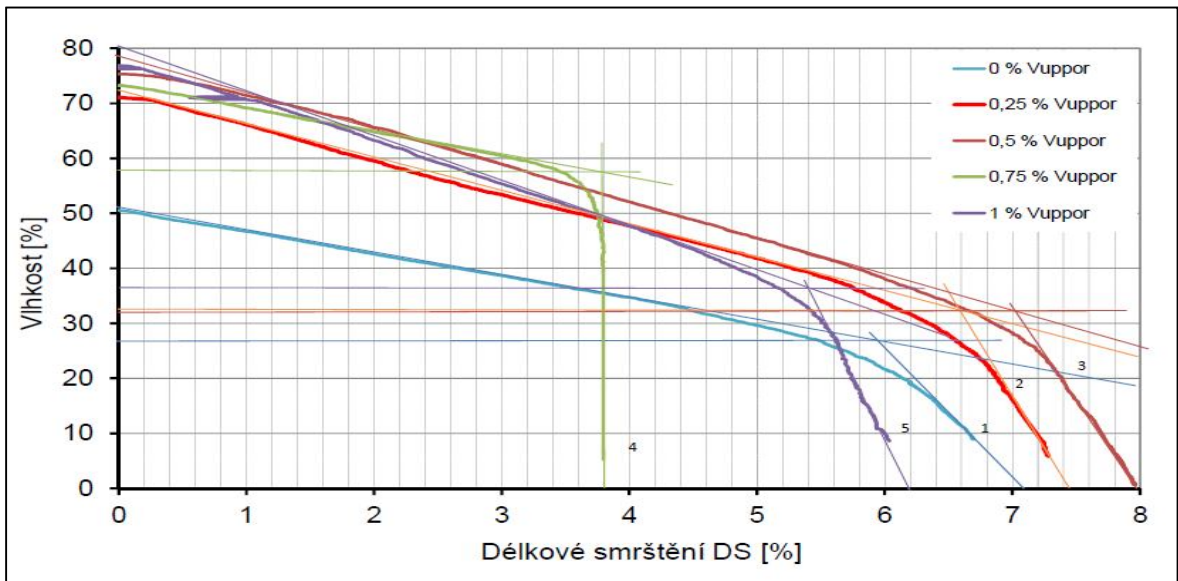


Obrázek 30: Bigotovy křivky směsi z jílu MM s různým množstvím Vupporu

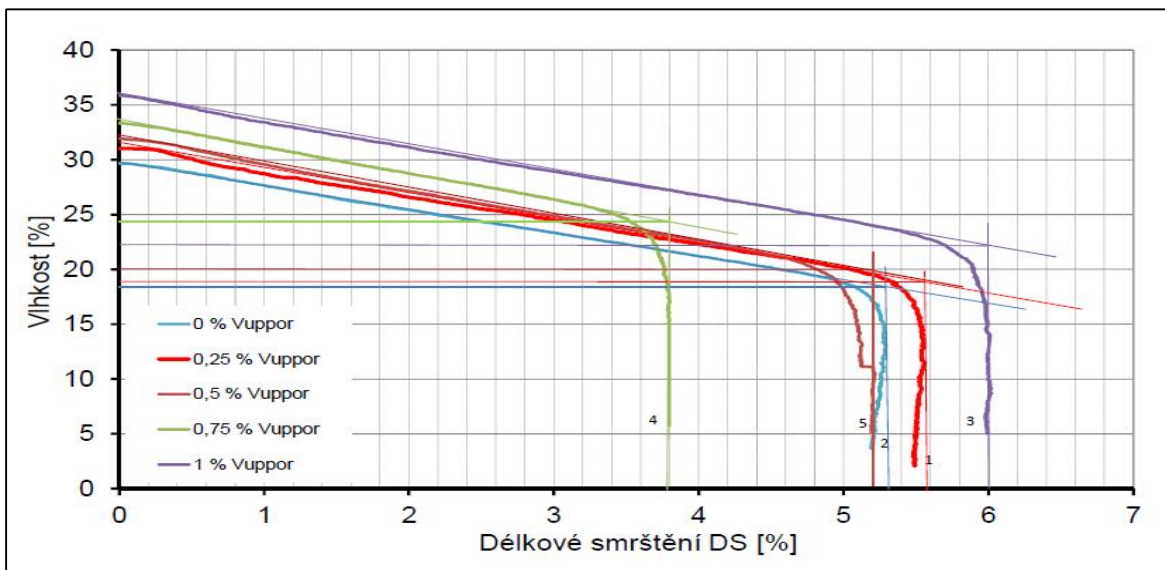




Obrázek 31: Bigotovy křivky směsi z kaolínu DSA s různým množstvím Vupporu

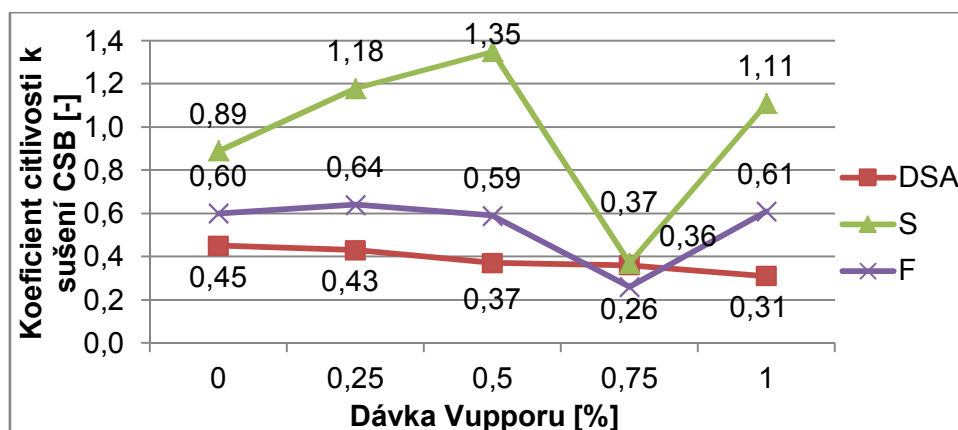


Obrázek 32: Bigotovy křivky směsi jílu MM, kaolínu a pilin s různým množstvím Vupporu



Obrázek 33: Bigotovy křivky směsi jílu Fia s různým množstvím Vupporu

Všechny 4 směsi se jeví jako materiály málo až středně citlivé k sušení.



Obrázek 34: Vliv dávky Vupporu na koeficient citlivosti k sušení

Z grafu vyplývá, že dávka Vupporu 0,75 % snižuje citlivost k sušení dle Bigota. Vhodný je přídavek Vupporu 0,75 % zejména u směsi jílu MM, kaolínu a pilin jako izolační žáruvzdorný materiál.

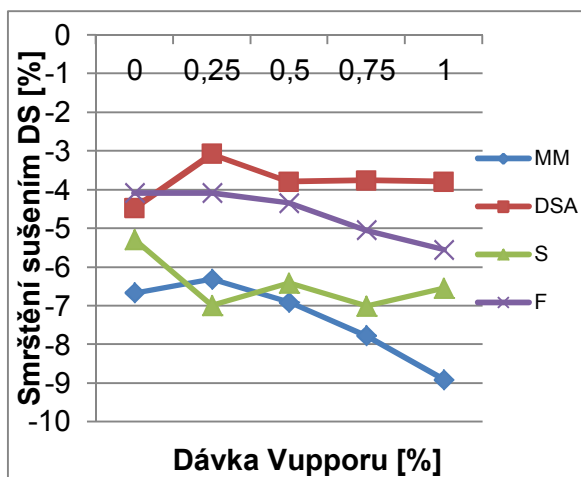
Z dalších výsledků bude patrné, že koeficient citlivosti k sušení nekoresponduje s hodnotami smrštění sušením. S největší pravděpodobností je to ovlivněno tím, že při zkoušce citlivosti k sušení dle Bigota je vzorek zahříván (při této zkoušce je vzorek měřen v sušárně při teplotě 35 °C a výkonem ventilátoru 15 %) a chemická přísada Vuppor (flokulant) se chová jako pojivová báze, která vytvoří určitou pevnou kostru ve vzorku a zabrání smrštění za vysokých teplot.

Oproti tomu vzorky, které byly změřeny pro výpočet citlivosti k sušení, byly vysoušeny bez zvýšení teploty při laboratorních podmínkách při teplotě přibližně 20 °C (poté dosušeny v sušárně).

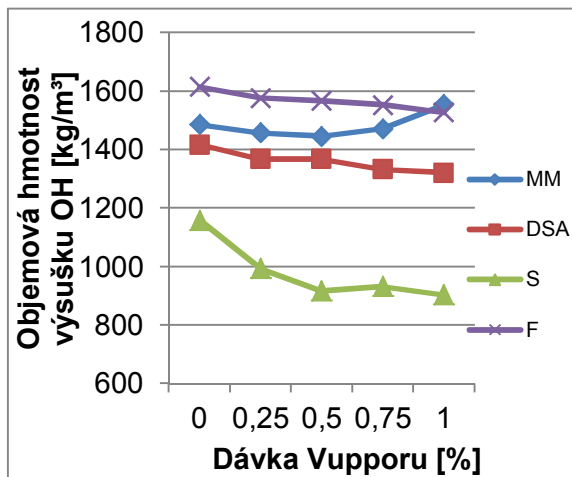
### Deformační poměr dle Pfefferkorna, smrštění sušením a objemová hmotnost výsušku

Tabulka 12: Vypočtené hodnoty deformačního poměru, průměrné smrštění sušení a objemová hmotnost výsušku

Označení	Deformační poměr dle Pfefferkorna [-]	Smrštění sušení DS [%]	Objemová hmotnost výsušku OH [kg/m <sup>3</sup> ]
MM 1	0,40	-6,66	1486
MM 2		-6,31	1457
MM 3		-6,90	1445
MM 4		-7,77	1471
MM 5		-8,91	1554
DSA 1	0,40	-4,47	1417
DSA 2		-3,07	1367
DSA 3		-3,79	1367
DSA 4		-3,76	1332
DSA 5		-3,79	1320
S 1	0,48	-5,28	1158
S 2		-6,99	993
S 3		-6,41	916
S 4		-7,00	932
S 5		-6,54	903
F 1	0,50	-4,08	1615
F 2		-4,08	1576
F 3		-4,34	1567
F 4		-5,04	1552
F 5		-5,55	1527



Obrázek 35: Vliv Vupporu na smrštění sušením



Obrázek 36: Vliv Vupporu na objemovou hmotnost výsušku

Dále by se dala očekávat vyšší smržitelnost sušením s přidávajícím množstvím Vupporu. Takový průběh smrštění je patrný u směsí hutných, z jílu MM a Fia, u kaolínu má malé množství Vupporu za následek zvýšení smrštění, poté tato hodnota klesá a je téměř konstantní. U směsi s vyhořívajícím lehkivem hodnoty kolísají a je patrné, že množství Vupporu 0,25 a 0,75 % vytváří mikrostrukturu, která snižuje smrštění sušením. Zvýšení smrštění sušením se tedy zvyšuje s přidávajícím množstvím Vupporu u hutných směsí, u vzorků vylehčených vodu nasákly piliny.

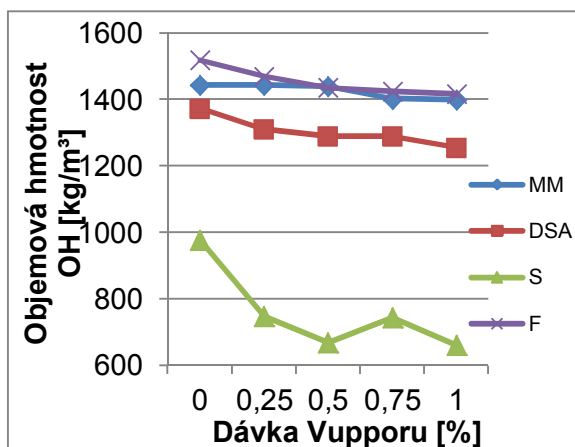
Objemová hmotnost výsušků směsí se s přidávajícím Vupporem snižuje, pouze u jílu MM se s větším množstvím Vupporu hodnota zvýšila. U směsi je patrný vliv Vupporu (vlivem většího množství rozdělovací vody, kterou směs přijme a která se během sušení vypaří a vytvoří v mikrostruktuře póry snižující objemovou hmotnost).

## Objemová hmotnost, smršťění pálením a celkové

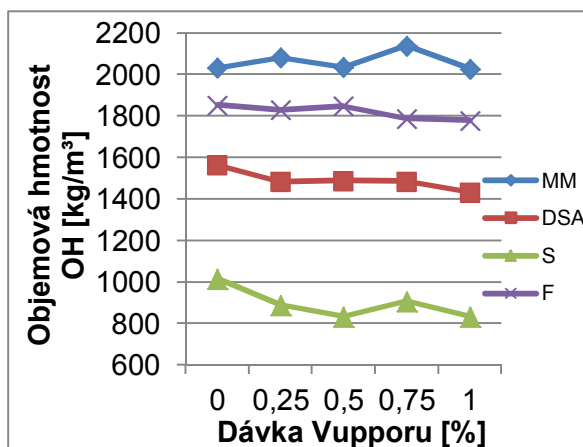
Tabulka 13: Vypočtené průměrné hodnoty objemové hmotnosti, smršťění pálením a smršťění celkové

Označení	Teplota výpalu [°C]	Objemová hmotnost OH [kg·m <sup>-3</sup> ]	Smršťění pálením DP [%]	Smršťění celkové DC [%]
MM 1	950	1444	-2,42	-8,58
	1200	2033	-10,91	-18,57
MM 2	950	1444	-3,63	-7,82
	1200	2083	-13,54	-20,51
MM 3	950	1440	-3,31	-9,96
	1200	2036	-13,42	-20,81
MM 4	950	1402	-2,75	-10,51
	1200	2139	-14,39	-22,19
MM 5	950	1399	-2,05	-10,18
	1200	2028	-9,4	-19,88
DSA 1	950	1373	-2,36	-7,00
	1200	1564	-6,44	-10,56
DSA 2	950	1311	-2,38	-5,18
	1200	1484	-6,52	-10,14
DSA 3	950	1289	-2,71	-6,68
	1200	1488	-7,09	-10,53
DSA 4	950	1289	-2,72	-6,00
	1200	1485	-6,00	-10,48
DSA 5	950	1256	-2,32	-6,68
	1200	1433	-6,74	-9,70
S 1	950	977	-2,77	-8,13
	1200	1017	-7,36	-12,47
S 2	950	748	-3,10	-9,85
	1200	890	-8,24	-15,70
S 3	950	669	-3,69	-10,59
	1200	835	-10,33	-15,75
S 4	950	744	-3,83	-10,69
	1200	909	-9,72	-17,01
S 5	950	661	-3,64	-10,31
	1200	835	-10,54	-16,81
F 1	950	1519	-2,52	-6,87
	1200	1852	-8,97	-12,50
F 2	950	1470	-2,44	-6,43
	1200	1829	-8,73	-12,99
F 3	950	1436	-2,41	-6,98
	1200	1848	-8,63	-12,50
F 4	950	1424	-2,17	-7,24

	1200	1788	-8,79	-13,77
F 5	950	1417	-2,58	-7,95
	1200	1778	-8,76	-14,68



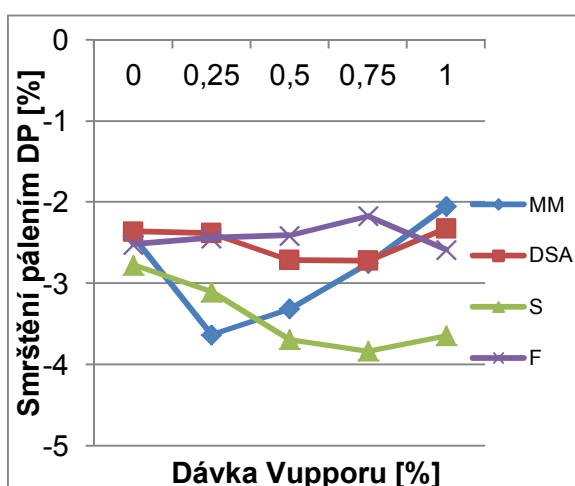
Obrázek 37: Vliv dávky Vupporu na objemovou hmotnost (výpal 950 °C)



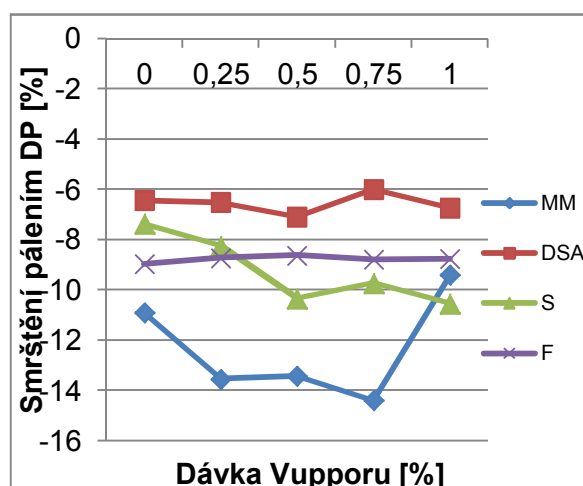
Obrázek 38: Vliv dávky Vupporu na objemovou hmotnost (výpal 1200 °C)

Objemová hmotnost vypálených vzorků na 950 °C se snížila vlivem chemické přísady, což je vhodné pro izolační žáruvzdorné prvky. Pouze u vzorků vylehčené směsi při přidavku 0,75 % Vupporu se hodnota mírně zvýšila, zřejmě vlivem snížení množství pórů u této dávky během výpalu.

Vzorky vypálené na 1200 °C mají celkově vyšší hodnotu objemové hmotnosti vlivem slinutí materiálu.

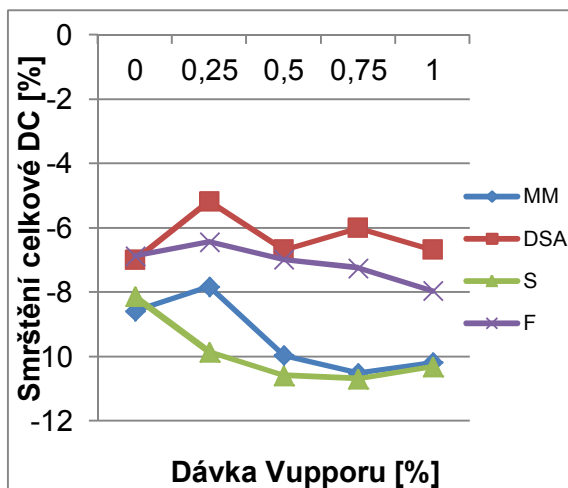


Obrázek 40: Vliv dávky Vupporu na smrštění pálením (výpal 950 °C)

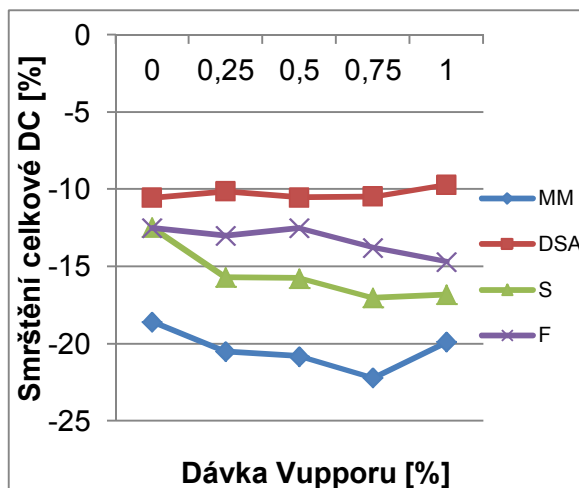


Obrázek 39: Vliv dávky Vupporu na smrštění pálením (výpal 1200 °C)

Na hodnoty smrštění pálením u směsí jílu Fia a kaolínu nemá Vuppor téměř vliv. U jílu MM při menší dávce přísady hodnotu zvyšuje, ovšem 1% dávka snižuje smrštění i oproti referenčnímu vzorku. U vylehčených vzorků se smrštění zvyšuje s přidávajícím Vupporem.



Obrázek 42: Vliv dávky Vupporu na smrštění celkové (výpal 950 °C)



Obrázek 41: Vliv dávky Vupporu na smrštění celkové (výpal 1200 °C)

Vuppor zvyšuje celkové smrštění vzorků s i bez vyhořívajících lehčiv.

Vzorky vypálené na 1200 °C mají celkově vyšší hodnotu objemové hmotnosti a smrštění pálením i celkové vlivem slinutí materiálu.

### Pevnost v ohybu, součinitel tepelné vodivosti a pevnost v tlaku

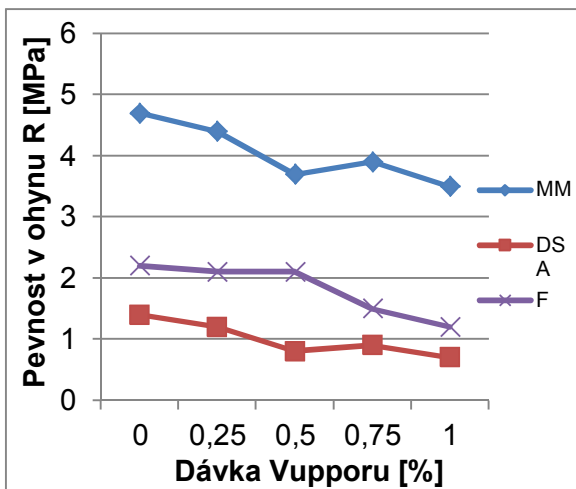
Nevylehčené vzorky byly zkoušeny na pevnost v tlaku, u vylehčených vzorků byl měřen součinitel tepelné vodivosti a pevnost v tlaku.

Tabulka 14: Vypočítané průměrné hodnoty pevnosti v ohybu, součinitele tepelné vodivosti a pevnosti v tlaku

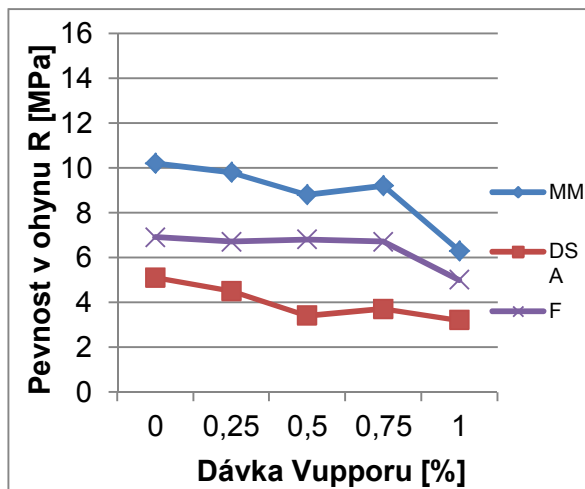
Označení	Teplota výpalu [°C]	Pevnost v ohybu R [MPa]
MM 1	950	4,7
	1200	10,2
MM 2	950	4,4
	1200	9,8
MM 3	950	3,7
	1200	8,8
MM 4	950	3,9

	1200		9,2
<b>MM 5</b>	950		3,5
	1200		6,3
<b>DSA 1</b>	950		1,4
	1200		5,1
<b>DSA 2</b>	950		1,2
	1200		4,5
<b>DSA 3</b>	950		0,8
	1200		3,4
<b>DSA 4</b>	950		0,9
	1200		3,7
<b>DSA 5</b>	950		0,7
	1200		3,2
<b>F 1</b>	950		2,2
	1200		6,9
<b>F 2</b>	950		2,1
	1200		6,7
<b>F 3</b>	950		2,1
	1200		6,8
<b>F 4</b>	950		1,5
	1200		6,7
<b>F 5</b>	950		1,2
	1200		5,0
<b>Označení</b>	<b>Teplota výpalu [°C]</b>	<b>Pevnost v tlaku <math>\sigma</math> [MPa]</b>	<b>Součinitel tepelné vodivosti <math>\lambda</math> [W/mK]</b>
<b>S 1</b>	950	1,9	0,2359
	1200	3,9	0,3646
<b>S 2</b>	950	1,3	0,1683
	1200	3,8	0,2812
<b>S 3</b>	950	1,0	0,1228
	1200	2,7	0,2485
<b>S 4</b>	950	1,3	0,1247
	1200	3,4	0,2538
<b>S 5</b>	950	0,9	0,1242
	1200	2,9	0,2721



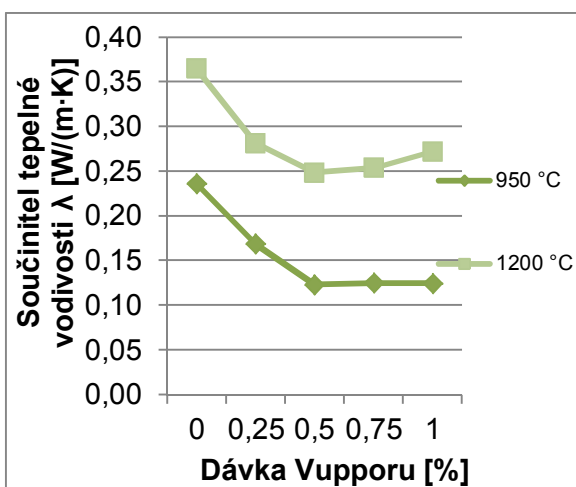


Obrázek 44: Vliv dávky Vupporu na pevnost v ohybu jílu MM, Fia a kaolínu (950 °C)

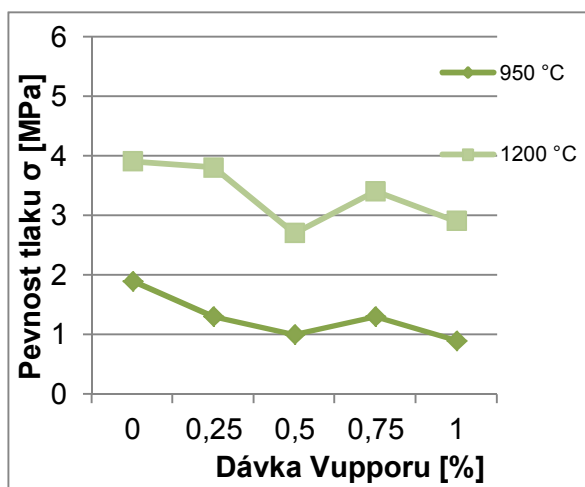


Obrázek 43: Vliv dávky Vupporu na pevnost v ohybu jílu MM, Fia a kaolínu (1200 °C)

Výsledné hodnoty pevností v ohybu korespondují s výsledky objemových hmotností. Stejně jak zvyšující dávka Vupporu snižovala objemovou hmotnost, tak Vuppor snižuje pevnost hutných směsí.



Obrázek 45: Vliv dávky Vupporu na součinitele tepelné vodivosti směsi jílu MM, kaolínu a pilin



Obrázek 46: Vliv dávky Vupporu na pevnost v tlaku směsi jílu MM, kaolínu a pilin

Z grafu je sledován klesající trend součinitele tepelné vodivosti, což kladně ovlivní zlepšení tepelněizolačních vlastností hotového výrobku. Oproti tomu je patrný negativní vliv chemické přísady na pevnost v tlaku této směsi jílu MM, kaolínu a pilin.

Vzorky této směsi vypálené na 1200 °C vykazovaly černá jádra, která ale Vuppor eliminoval a s jeho rostoucím množstvím se černá barva ztrácela.

#### 4.4.2 Diskuze výsledků etapy 1

V této etapě byly zkoušeny jednotlivé složky výrobní směsi s různými dávkami Vupporu a jedna směs s vyhořívajícím lehčivem (jíl MM, kaolín a piliny), která byla navrhována na základě informací o výrobní směsi výrobku Izospar.

Vzorky byly vypáleny na 950 a 1200 °C. Během výpalu dochází k přeměně tříkomponentního systému (zrna suroviny, vzduch v pórech a voda) na dvoukomponentní systém (pevná a plynná fáze). Vlivem výpalu za vysokých teplot dochází k ovlivnění mikrostruktury – zhutnění, slinování a následkem toho i k úbytku pórů. Vzorky tedy vypálené na vyšší vypalovací teplotu byly více slinuty a vykazovaly vyšší hodnoty objemové hmotnosti, smrštění a součinitele tepelné vodivosti a naopak vyšší vypalovací teplota zvyšují pevnost vzorků.

Nelze jednoznačně určit, jaké množství Vupporu je vhodné pro izolační žáruvzdorné prvky, protože každá daná vlastnost (citlivost k sušení dle Bigota, smrštění sušením, objemová hmotnost, pevnost atd.) vykazuje jinou reakci na tuto chemickou přísadu.

Mikrostruktura a její uspořádání, podíl různých fází a póry (velikost a množství), jako typický znak mikrostruktury, ovlivňují především fyzikálně-mechanické vlastnosti žáruvzdorných střepe. Póry tvoří účinek chemického, povrchově aktivního činidla, Vuppor, zvýšením rozdělovací vody. Tato voda se odpaří během sušení a pálení a vytváří mikropóry, obvykle spojené pomocí kanálků. Dávka Vupporu tedy poté snižuje objemovou hmotnost výsušku i vypálených vzorků (s čímž koresponduje negativní dopad Vupporu na lehčený šamotový střepe – snižuje pevnost) a součinitele tepelné vodivosti, které jsou vztaženy na pórovitou strukturu střepe.

Například u citlivosti k sušení dle Bigota se dávka Vupporu 0,75 % jeví jako optimální. Oproti tomu však Vuppor zvyšuje citlivost k sušení vlivem většího množství rozdělovací vody. Výsledky smrštění pálením nejsou jednoznačné, například u vylehčené směsi má Vuppor negativní vliv a hodnotu zvyšuje, což je

zřejmě způsobeno také vyhořívajícím lehčivem, pilinami. A naopak u nevylehčeného vzorku z jílu MM má Vuppor pozitivní vliv a smrštění pálením snižuje.

Výsledek zde jednoznačný není, ovšem pro další etapy musela být vybrána jedna dávka, kterou byla zvolena 0,75 % Vupporu z hmotnosti sušiny směsi.

#### 4.4.3 Etapa 2

Další etapa pojednává o modifikaci základní směsi pro výrobu Izosparu tak, aby se dosáhlo menší objemové hmotnosti ( $650 \text{ kg/m}^3$  a méně) a zvětšila se pevnost v tlaku (1,2 MPa a více) opět za použití chemické přísady Vuppor I, zvolené dávky 0,75 % ze suché směsi.

#### Základní parametry výrobku Izospar společnosti SEEIF ceramic, a.s.

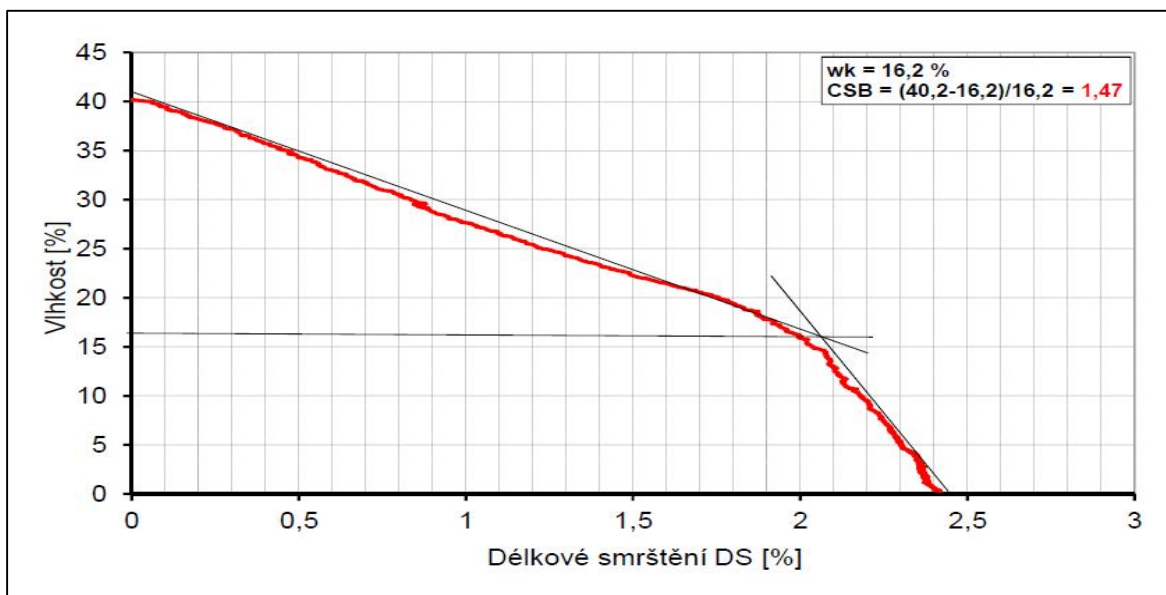
Celá zkouška tohoto materiálu proběhla v závodě společnosti SEEIF Ceramic, a.s. ve Svitavách. Zkouška se prováděla na tvarovkách (plátky s perem a drážkou "kniha") C 25 / 65 Z.

Zkoušená směs byla zhomogenizována v mísiči, poté je směs bez odležení vypuštěna z mísiče na dopravník vedoucí k násypce šnekového vakuového lisu. Vzorky jsou vysušeny a dále vypáleny na vypalovací teplotu  $950 \text{ }^\circ\text{C}$ .

Tabulka 15: Složení výrobní směsi

Označení	Surovina	Procentuální zastoupení na suchou směs [%]	Vlhkost suroviny w [%]	Vlhkost směsi w [%]
Izospar	Jíl MM	24	25	40,87
	Kaolín MKIII	53	11,5	
	piliny	23	42	

## Citlivost k sušení dle Bigota



Obrázek 47: Bigotova křivka Izosparu

Hodnota koeficientu k sušení je 1,47, materiál je tedy středně citlivý k sušení.

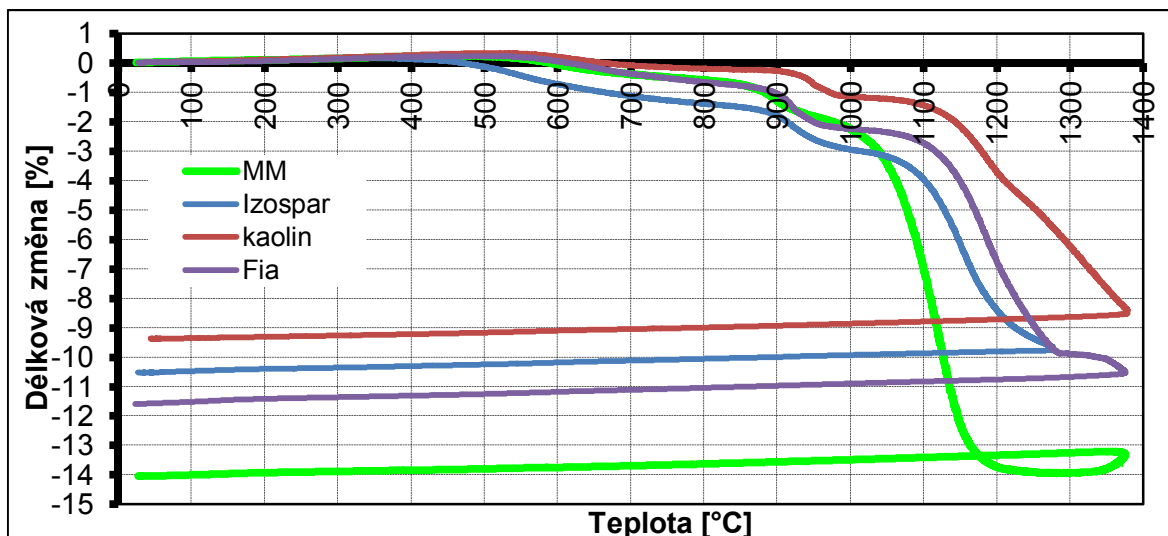
## Vlhkost, objemová hmotnost, smrštění a pevnost v tlaku

Tabulka 16: Vypočtené průměrné hodnoty Izosparu

Označení	Objemová hmotnost OH [%]	Smrštění sušením DS [%]	Smrštění pálením DP [%]	Smrštění celkové DC [%]	Pevnost v tlaku $\sigma$ [MPa]
Izospar	769	-1,74	-3,21	-4,95	0,8

Naší snahou je především snížit objemovou hmotnost a zvýšit pevnost v tlaku. Navíc vzorky po provedení zkoušky pevnosti v tlaku vykazovaly černá jádra, což by měl Vuppor též eliminovat.

## Dilatometrická termická analýza (DKTA)



Obrázek 48: Srovnání DKTA Izosparu a jeho vstupních surovin

U měření v dilatometru vstupních surovin a samotného výrobku je patrné, že smrštění nejvíce ovlivňuje jíl MM, jíl Fia má smrštění menší. Kaolín ve směsi napomáhá zabránit velkému smrštění. Samotný Izospar má celkové smrštění 9,89 %.

Součinitel tepelné vodivosti Izosparu je 0,1178 W/(m·K).

## Srovnání se zahraničními výrobky

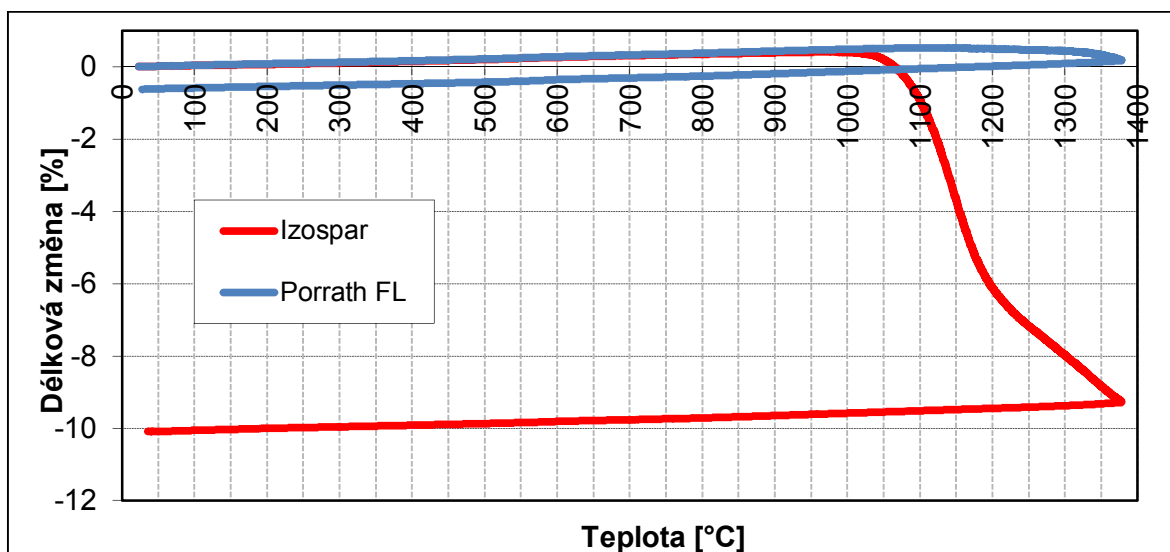
Pro srovnání byl k dispozici i jeden vzorek výrobku společnosti Rath AG, kde nebyla známa přesná receptura, ale na vypálených vzorcích byla vypočítána objemová hmotnost, stanovena pevnost v tlaku a dilatometrická termická analýza.

Tabulka 17: Vypočtené průměrné hodnoty objemové hmotnosti a pevnosti v tlaku

Označení	Objemová hmotnost OH [%]	Pevnost v tlaku $\sigma$ [MPa]
Porrath FL 24-06	677	1,3

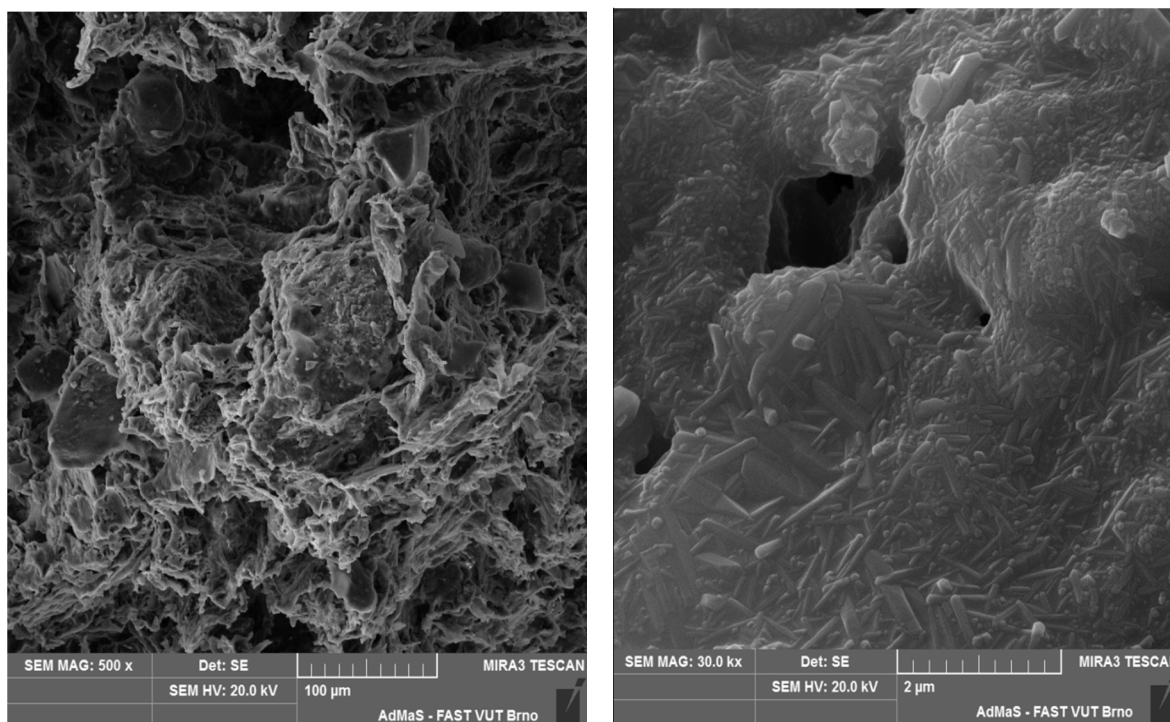
Z hodnot uvedených v tabulce je patrné, že zahraniční výrobek vykazuje mnohem lepších hodnot objemové hmotnosti a pevnosti v tlaku, takových, jakých

by bylo potřeba dosáhnout u českého Izosparu za ekonomicky přijatelných podmínek.



Obrázek 49: DKTA Izosparu a výrobku společnosti Rath

I z DKTA je patrné, že výrobek Porrath FL 24-06 má téměř nepatrné smrštění oproti Izosparu, což je způsobeno tím, že německý výrobek je vypalován na vyšší teplotu než Izospar, a tím pádem se dále za působení vysokých teplot nesmršťuje.



Obrázek 50: Snímek elektronového mikroskopu výrobku Porrath FL 24-06

Na snímcích elektronového mikroskopu je vidět, že konkurenční materiál nevyužívá cenoféry, dále jsou na snímcích vidět krystaly mullitu, podle kterých lze usuzovat, že materiál byl vypalován na teplotu minimálně 1200°C.

### Porovnání jednotlivých směsí s 0,75 % Vupporu

V této části byly vyrobeny vzorky ze tří směsí různého složení. Použité suroviny byly jíl MM a Fia, kaolín, piliny s nadvazbou lupku PGL 1-2 s přídavkem 0,75 % z hmotnosti sušiny a vody. Lupek měl za úkol ve vzorcích vytvořit určitou kostru, která měla vzorky podržet během sušení, a hodnoty smrštění sušení by neměly být tak velké. Směsi byly vytvořeny v kolovém mlýně a nebyly odleženy.

Tabulka 18: Složení výrobní směsi SL

Označení	Surovina	Procentuální zastoupení na suchou směs [%]	Vlhkost suroviny w [%]	Vlhkost směsi w [%]
SL 1	Jíl MM	41	0	51,87
	Kaolín DSA	32	9,3	
	piliny	27	20	
	Lupek PGL 1-2	15	0	
	VUPPOR I	0	-	
SL 2	Jíl MM	41	0	64,15
	Kaolín DSA	32	9,3	
	piliny	27	20	
	Lupek PGL 1-2	15	0	
	VUPPOR I	0,75	-	

Tabulka 19: Složení výrobní směsi FP

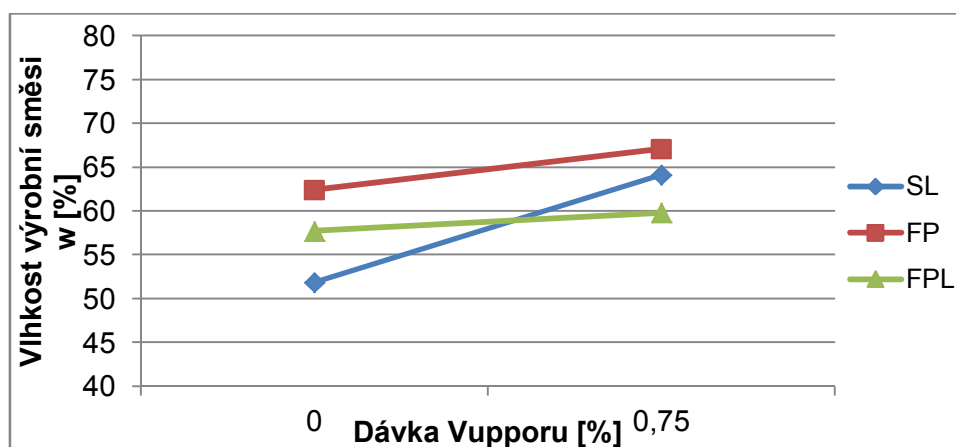
Označení	Surovina	Procentuální zastoupení na suchou směs [%]	Vlhkost suroviny w [%]	Vlhkost směsi w [%]
FP 1	Jíl Fia	73	0	62,38
	piliny	27	20	
	VUPPOR I	0	-	
FP 2	Jíl Fia	73	0	67,07
	piliny	27	20	
	VUPPOR I	0,75	-	

Tabulka 20: Složení výrobní směsi FPL

Označení	Surovina	Procentuální zastoupení na suchou směs [%]	Vlhkost suroviny w [%]	Vlhkost směsi w [%]
FPL 1	Jíl Fia	73	0	57,73
	piliny	27	20	
	Lupek PGL 1-2	15	0	
	VUPPOR I	0	-	
FPL 2	Jíl Fia	73	0	59,80
	piliny	27	20	
	Lupek PGL 1-2	15	0	
	VUPPOR I	0,75	-	

I u těchto směsí se projevily vliv povrchově aktivní látky Vupporu tím, že bylo potřeba přidat více vody při zachování stejného deformačního poměru těsta.

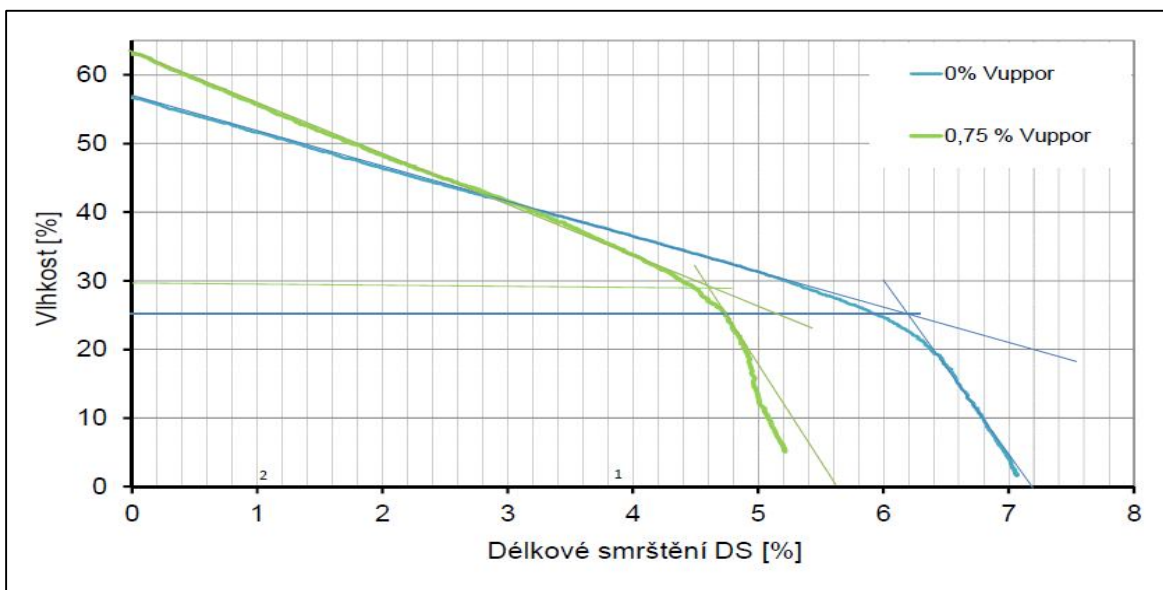
Vuppor zvyšuje vlhkost výrobních směsí, nejvíce potom u vzorků, kde byl použit jíl MM.



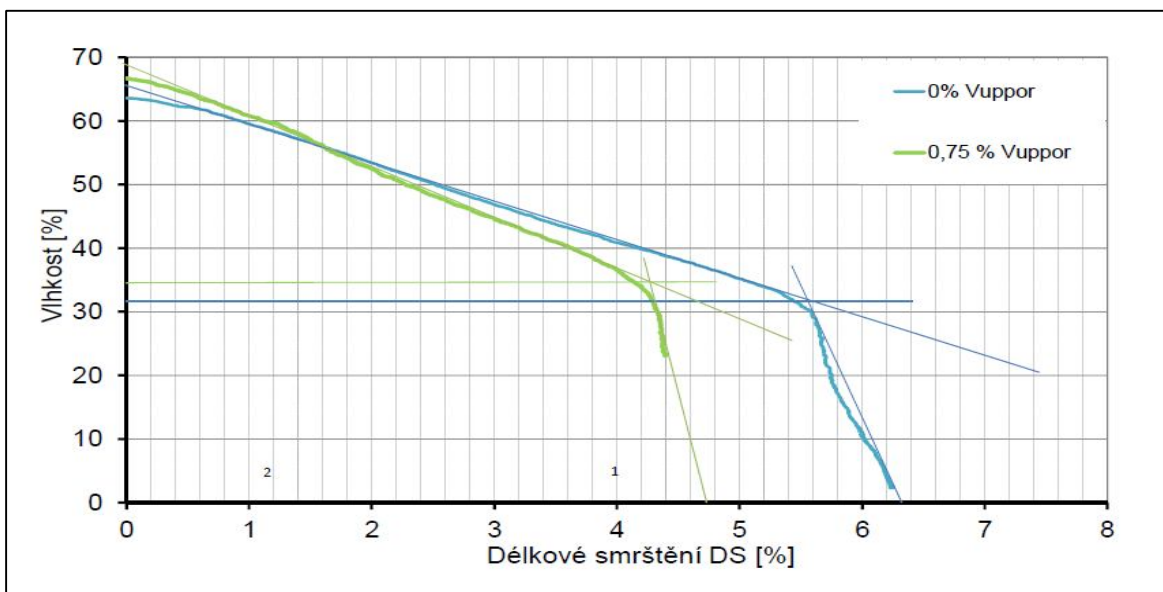
Obrázek 51: Vliv dávky Vupporu na vlhkost výrobní směsi



## Citlivost k sušení dle Bigota

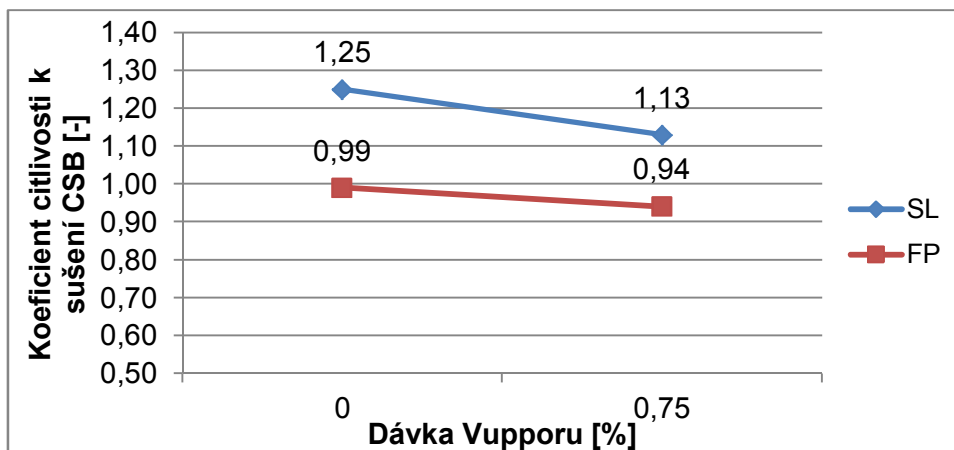


Obrázek 52: Bigotovy křivky směsi z jílu MM, kaolínu, pilin a lupku s různým množstvím Vupporu



Obrázek 53: Bigotovy křivky směsi z jílu Fia a pilin s různým množstvím Vupporu

Směs s ostřivem je středně citlivá k sušení, směs z jílu Fia a pilin je málo citlivá k sušení.



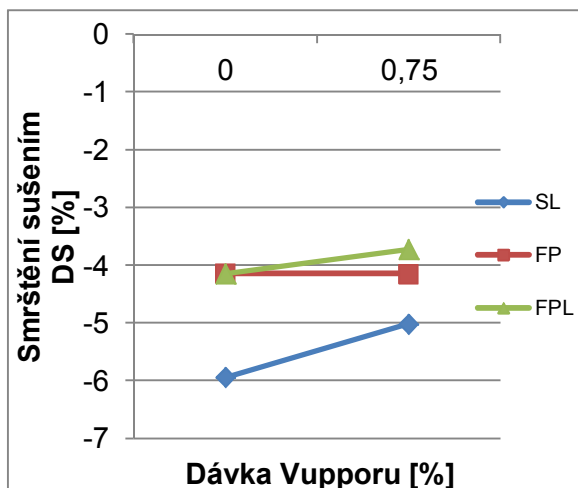
Obrázek 54: Vliv dávky Vupporu na koeficient citlivosti k sušení

Stejně jak tomu bylo v etapě I, dávka 0,75 % Vupporu snižuje citlivost k sušení. Toto snížení vlivem Vupporu je jedním z jeho předních vlastností v izolačních žáruvzdorných materiálech, které bylo definováno již dříve i pro cihlářský střeš.

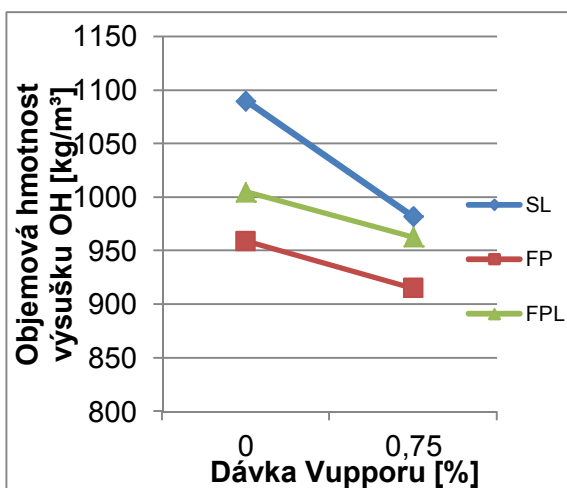
### Deformační poměr dle Pfefferkorna, smrštění sušením a objemová hmotnost výsušku

Tabulka 21: Vypočtené hodnoty deformačního poměru, průměrné smrštění sušením a objemová hmotnost výsušku

Označení	Deformační poměr dle Pfefferkorna [-]	Smrštění sušením DS [%]	Objemová hmotnost výsušku OH [kg/m <sup>3</sup> ]
SL 1	0,48	-5,94	1090
SL 2		-5,01	982
FP 1	0,48	-4,14	959
FP 2		-4,15	915
FPL 1	0,48	-4,14	1005
FPL 2		-3,72	963



Obrázek 55: Vliv dávky Vupporu na smrštění sušením



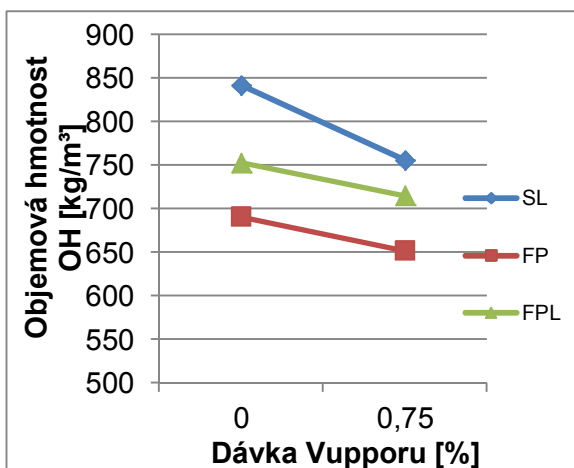
Obrázek 56: Vliv dávky Vupporu na objemovou hmotnost výsušku

I zde se na základě dřívějších zkoušek předpokládalo zvýšení vlhkosti výrobní směsi, nárůst smrštění sušením a snížení objemové hmotnosti výsušku s přidavkem chemické přísady. Velmi pozitivní je, že Vuppor v těchto směsích DS snižoval.

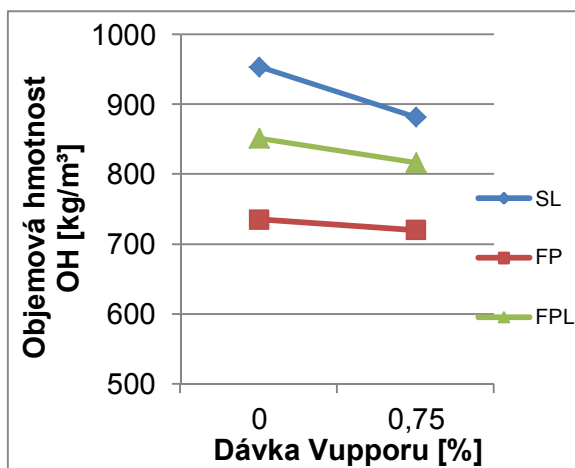
## Objemová hmotnost, smrštění pálením a celkové

Tabulka 22: Vypočtené průměrné hodnoty objemové hmotnosti, smrštění pálením a smrštění celkové

Označení	Teplota výpalu [°C]	Objemová hmotnost OH [kg·m <sup>-3</sup> ]	Smrštění pálením DP [%]	Smrštění celkové DC [%]
SL 1	950	842	-1,93	-7,87
	1200	954	-6,44	-12,00
SL 2	950	756	-2,73	-7,71
	1200	882	-8,03	-13,09
FP 1	950	691	-3,97	-7,64
	1200	735	-9,70	-10,02
FP 2	950	652	-4,15	-8,40
	1200	720	-9,72	-13,65
FPL 1	950	753	-2,68	-7,08
	1200	852	-6,85	-10,87
FPL 2	950	715	-2,89	-6,53
	1200	817	-6,88	-10,64

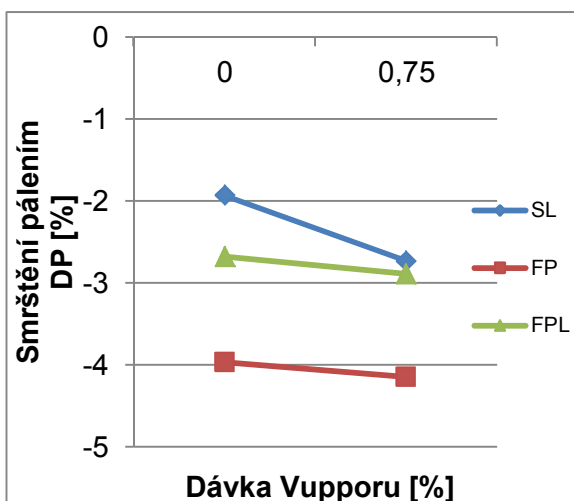


Obrázek 57: Vliv dávky Vupporu na objemovou hmotnost (výpal 950 °C)

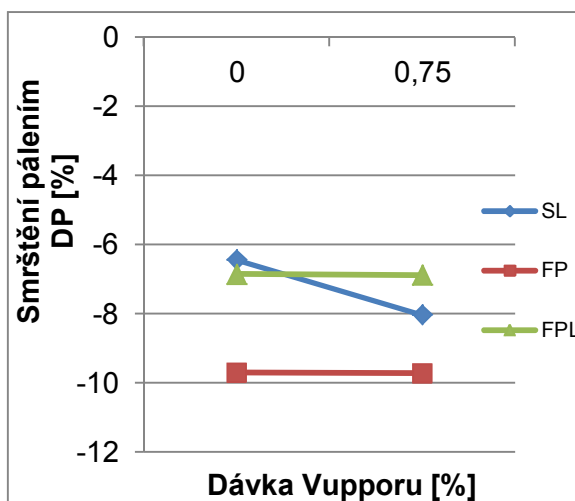


Obrázek 58: Vliv dávky Vupporu na objemovou hmotnost (výpal 1200 °C)

Vlivem Vupporu se snížila hodnota objemové hmotnosti, zejména u vzorků vypálených na 950 °C. Primární pórovitost dosahuje maxima okolo vypalovací teploty 900 °C, ovšem její podíl po zvýšení teploty rychle klesá a při dosažení určité teploty je pórovitost minimální. V tomto případě je vzorek již natolik slinutý (při vypalovací teplotě 1200 °C) a s minimální možnou pórovitostí, takže chemická přísada zde nemá již takový vliv. Objemovou hmotnost Vuppor nejvíce ovlivnil u vzorků bez ostřiva, kde chemická přísada zřejmě vytvořila pórovitou mikrostrukturu snižující objemovou hmotnost.

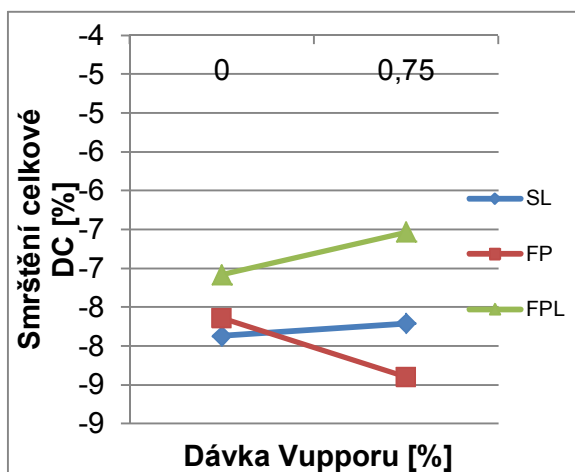


Obrázek 60: Vliv dávky Vupporu na smrštění pálením (výpal 950 °C)

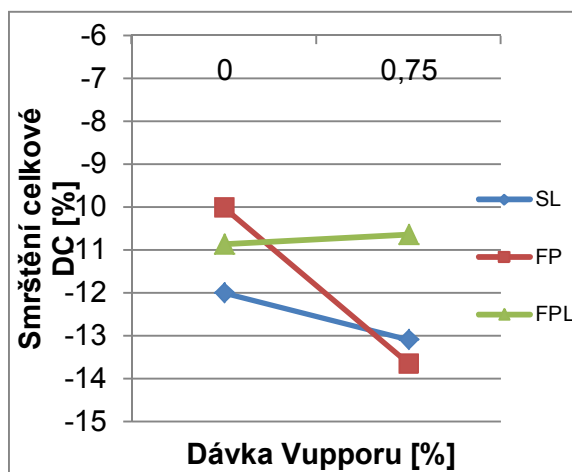


Obrázek 59: Vliv dávky Vupporu na smrštění pálením (výpal 1200 °C)

Vuppor nemá téměř žádný vliv na smrštění pálením u vzorků, kde byl použit jíl Fia. U vzorků s jílem MM Vuppor smrštění zvyšuje.



Obrázek 61: Vliv dávky Vupporu na smrštění celkové (výpal 950 °C)



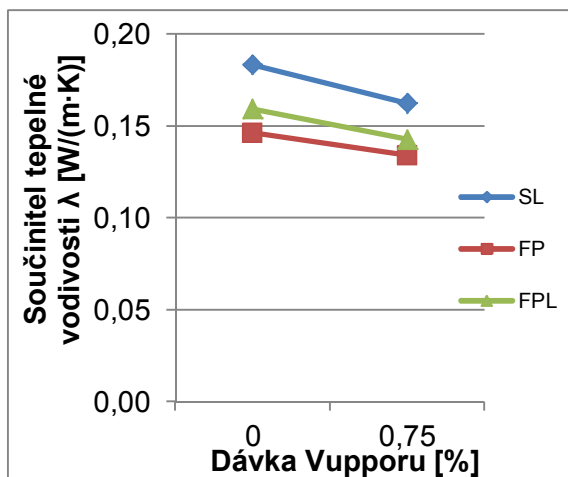
Obrázek 62: Vliv dávky Vupporu na smrštění celkové (výpal 1200 °C)

Mezi negativní aplikace Vupporu patří nepatrný nárůst celkového smrštění, který se vyskytl u vzorků ze směsi jílu Fia a pilin, které doposud vykazovaly kladné výsledky při použití chemické přísady.

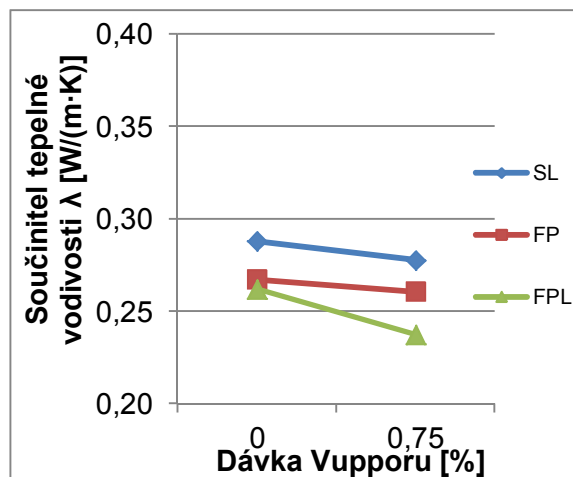
## Součinitel tepelné vodivosti, pevnost v tlaku

Tabulka 23: Naměřené průměrné hodnoty součinitele tepelné vodivosti a pevnosti v tlaku

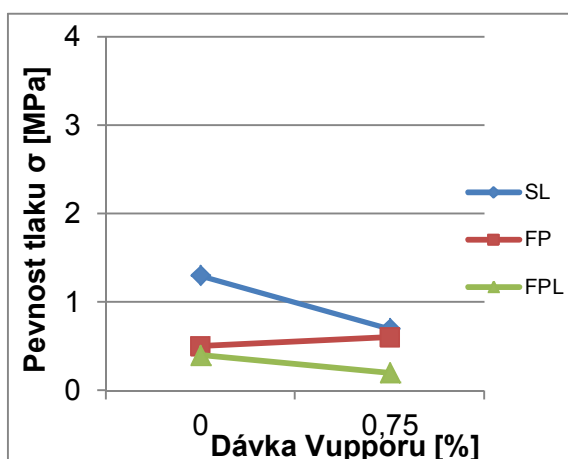
Označení	Teplota výpalu [°C]	Součinitel tepelné vodivosti $\lambda$ [W/(m·K)]	Pevnost v tlaku $\sigma$ [MPa]
SL 1	950	0,1834	1,3
	1200	0,2878	2,7
SL 2	950	0,1624	0,7
	1200	0,2776	2,0
FP 1	950	0,1462	0,5
	1200	0,2671	2,3
FP 2	950	0,1340	0,6
	1200	0,2605	1,7
FPL 1	950	0,1594	0,4
	1200	0,2621	1,5
FPL 2	950	0,1427	0,2
	1200	0,2375	1,1



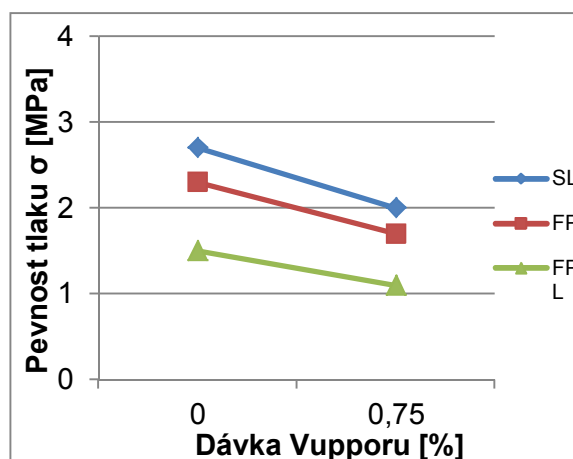
Obrázek 64: Vliv dávky Vuppor na součinitele tepelné vodivosti (950 °C)



Obrázek 63: Vliv dávky Vuppor na součinitele tepelné vodivosti (1200 °C)



Obrázek 65: Vliv dávky Vupporu na pevnost v tlaku (950 °C)



Obrázek 66: Vliv dávky Vupporu na pevnost v tlaku (1200 °C)

Pokles hodnoty součinitele tepelné vodivosti je způsoben distribucí pórů v mikrostruktuře vytvořené chemickou přísadou Vuppor, které ovšem vedou ke snížení pevnosti v tlaku.

Opět vzorky vypálené na 1200 °C vykazovaly hodnoty příslušné většímu slinutí vzorků.

### Poloprovodní zkouška Svitavy č. 1

V závodu SEEIF ceramic a.s. byla provedena poloprovodní zkouška výrobku Izospar za použití chemické přísady Vuppor i za přítomnosti Ing. Chromého z Výzkumného ústavu petrochemického, a.s. Prievidza, firmy, která Vuppor vyrábí.

Byly vytvořeny 2 výrobní směsi, složení je uvedeno v tabulce níže, s vlhkostí směsi 35–38 %.

*Tabulka 24: Složení výrobní směsi*

Označení	Surovina	Procentuální zastoupení na suchou směs [%]	Vlhkost směsi w [%]
PP 1.1	Jíl MM	34	35-38
	Kaolín MK II	34	
	piliny	32	
	VUPPOR I	0,75	
PP 1.2	Jíl Fia	68	35-38
	piliny	32	
	VUPPOR I	0,75	

Receptura PP 1.1 byla navržena na základě původní receptury využívané k výrobě Izosparu s přídavkem Vupporu. Ve druhé receptuře je jíl MM a kaolín nahrazen jílem Fia. Vuppor je do směsí dávkován procentuálně z hmotnosti suché směsi.

Nejprve se míchala směs PP 1.2 s deformačním poměrem dle Pfefferkorna 0,68. Na této hmotě bylo vyzkoušeno tažení vzorků. Hmota ovšem zůstala ve šneku a lis se musel rozebrat a vyčistit. Bylo tedy zkoušeno zmenšit plastičnost, aby šla hmota lépe táhnout, postupným přidáváním vody až na hodnotu deformačního poměru 0.41 stanovené na Pfefferkornově přístroji. Ovšem ani takto plastická hmota nešla táhnout, opět se zasekla ve šneku. Vuppor se v této směsi při provozu ukázal částečně jako pojivo, jelikož směs byla velmi lepivá.

Dále byla namíchána směs PP 1.1 s hodnotou deformačního poměru dle Pfefferkorna 0,69. Tato směs s mírnými problémy šla již táhnout.



*Obrázek 67: tažení vzorků směsi PP 1.1*

Vysušené a vypálené vzorky vykazovaly velmi špatné hodnoty objemové hmotnosti.

V závodu společnosti SEEIF ceramic a.s. probíhaly další poloprovozní zkoušky směsí s přídavkem Vupporu, ovšem tato přísada nezlepšovala požadované vlastnosti a navíc způsobovala problémy při tažení hmoty.

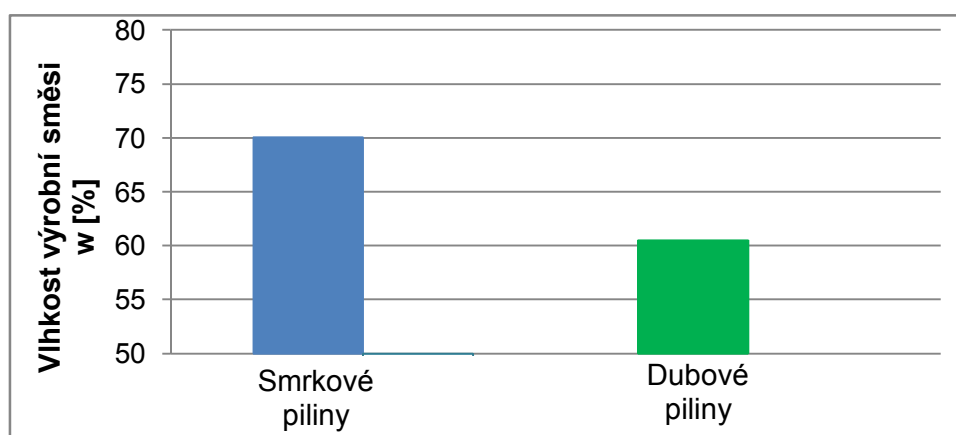
### **Směs Jíl MM + dubové a smrkové piliny**

Nepostradatelnou složkou při vylehčování lehčeného šamotového střepeu jsou piliny. Běžně se používají smrkové piliny (i v předešlých směsích byly použity smrkové piliny), ovšem nebyly doposud vyzkoušené piliny z tvrdého dřeva jako další alternativa vylehčení střepeu. Pro porovnání byly vytvořeny dvě směsi s jílem MM a s pilinami jednak smrkovými i dubovými. Smrkové i dubové piliny byly frakce 2 mm.



Tabulka 25: Složení výrobní směsi

Označení	Surovina	Procentuální zastoupení na suchou směs [%]	Vlhkost suroviny w [%]	Vlhkost směsi w [%]
MMS	Jíl MM	73	0	70,10
	Smrkové piliny	27	20	
MMD	Jíl MM	73	0	60,54
	Dubové piliny	27	21	

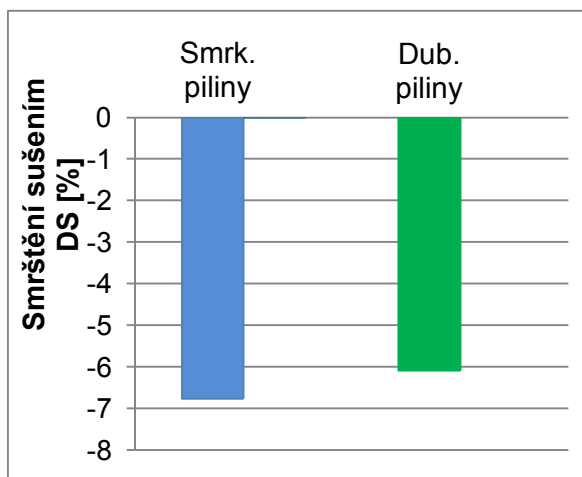


Obrázek 68: Porovnání vlhkosti směsí se smrkovými a dubovými pilinami

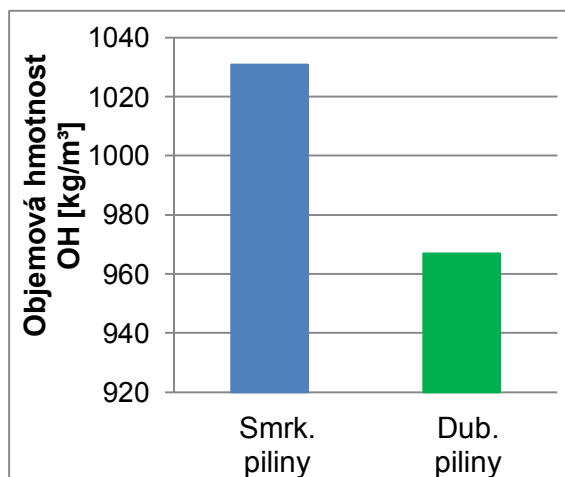
### Deformační poměr dle Pfefferkorna, smrštění sušením a objemová hmotnost výsušku

Tabulka 26: Vypočtené hodnoty deformačního poměru, průměrné smrštění sušením a objemová hmotnost výsušku

Označení	Deformační poměr dle Pfefferkorna [-]	Smrštění sušením DS [%]	Objemová hmotnost výsušku OH [kg/m <sup>3</sup> ]
MMS	0,48	-6,76	1031
MMD	0,48	-6,08	967



Obrázek 70: Porovnání smrštění sušením směsí se smrkovými a dubovými pilinami



Obrázek 69: Porovnání objemové hmotnosti výsušku směsí se smrkovými a dubovými pilinami

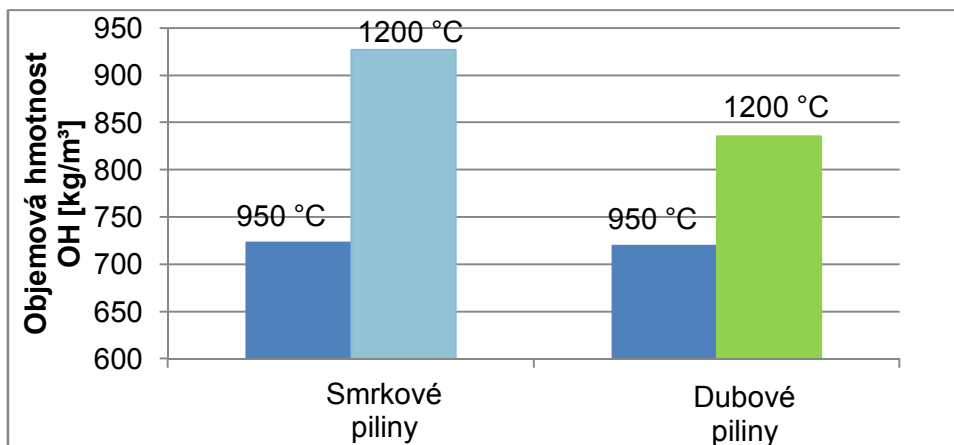
Při téměř stejné vlhkosti pilin byla vlhkost výrobní směsi s pilinami z tvrdého dřeva menší než s pilinami z měkkého dřeva. Smrkové piliny tedy nasáknou větší množství vody, které poté ovlivnilo i smrštění sušením. Dubové piliny také kladně snižují objemovou hmotnost výsušků, která je výrazně nižší než u vzorků se smrkovými pilinami. Dubové piliny zřejmě vytvoří ve vzorcích mikrostrukturu, která napomáhá k odpaření rozdělovací vody a tvorbě spojitě pórovitosti snižující objemovou hmotnost (což může být způsobeno tvarem pilin, sypnou hmotností atd.)

Vzorky s dubovými pilinami měly tmavě modré zbarvení (zřejmě vlivem třísloviny obsažené v dubové kůře). Vzorky se smrkovými pilinami tento jev nevykazovaly.

## Objemová hmotnost, smrštění pálením a celkové

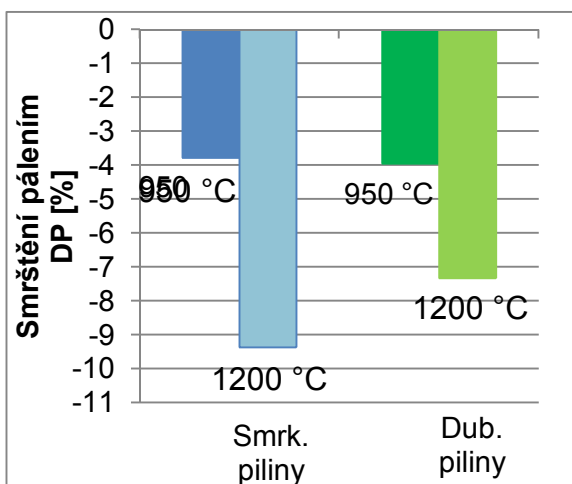
Tabulka 27: Vypočtené průměrné hodnoty objemové hmotnosti, smrštění pálením a smrštění celkové

Označení	Teplota výpalu [°C]	Objemová hmotnost OH [kg·m <sup>-3</sup> ]	Smrštění pálením DP [%]	Smrštění celkové DC [%]
MMS	950	723	-3,78	-10,56
	1200	927	-9,38	-16,11
MMD	950	720	-3,95	-9,83
	1200	836	-7,34	-13,81

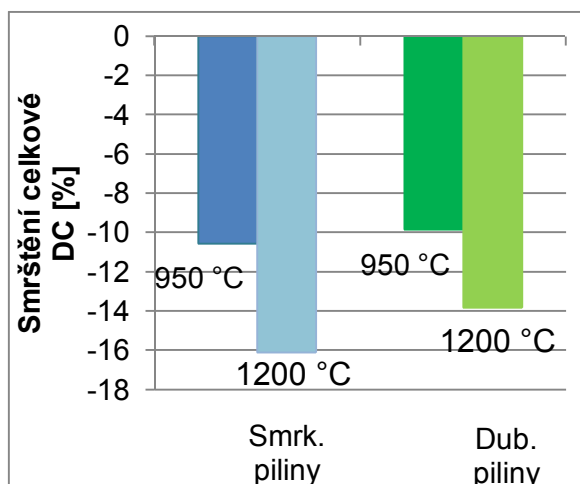


Obrázek 71: Porovnání objemové hmotnosti směsí se smrkovými a dubovými pilinami

Vzorky s dubovými pilinami vykazují nižší objemovou hmotnost po vypálení, což je zřejmě způsobeno tím, že dubové piliny déle hoří a zabraňují zmenšování pórů. Póry vznikají během výpalu, ale s přidávající vypalovací teplotou a vlivem slinutí zmenšují svůj objem, čemuž dubové piliny zabrání, oproti smrkovým, které rychle shoří a nic potom nebrání ve zmenšování pórů. Tento jev se odráží i u smrštění pálením i celkového, kde vzorky s pilinami z tvrdého dřeva vykazují menší smrštění než vzorky se smrkovými pilinami.



Obrázek 73: Porovnání smrštění pálením směsí se smrkovými a dubovými pilinami

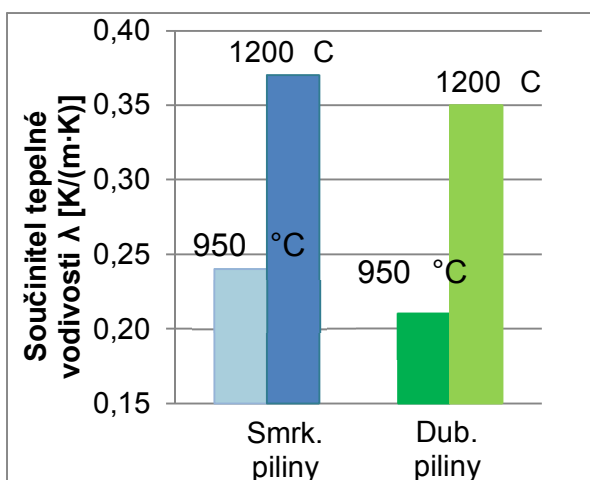


Obrázek 72: Porovnání smrštění celkového směsí se smrkovými a dubovými pilinami

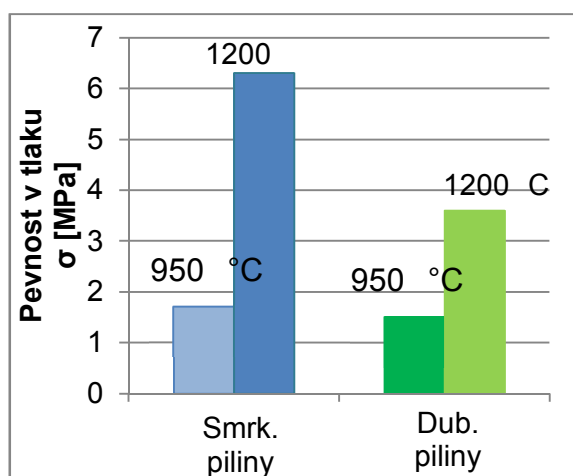
## Součinitel tepelné vodivosti, pevnost v tlaku

Tabulka 28: Naměřené průměrné hodnoty součinitele tepelné vodivosti a pevnosti v tlaku

Označení	Teplota výpalu [°C]	Součinitel tepelné vodivosti $\lambda$ [W/(m·K)]	Pevnost v tlaku $\sigma$ [MPa]
MMS	950	0,2362	1,7
	1200	0,3745	6,3
MMD	950	0,2068	1,5
	1200	0,3538	3,6



Obrázek 74: Porovnání součinitele tepelné vodivosti směsí se smrkovými a dubovými pilinami



Obrázek 75: Porovnání pevnosti v tlaku směsí se smrkovými a dubovými pilinami

Vzduch nacházející se v pórech má vliv na součinitele tepelné vodivosti. Pórovitější vzorky z dubových pilin snižují  $\lambda$  a jelikož pevnost žáruvzdorného střepu je funkcí pórovitosti, mají tyto vzorky i nižší pevnosti v tlaku.

Vzorky obou směsí vykazovaly černá jádra u obou vypalovacích teplot.

### 4.4.4 Diskuze výsledků etapy 2

Vlivem použití Vupporu bylo u směsí z jílů, pilin a lupku pozorováno zvýšení vlhkosti výrobní směsi, snížení citlivosti k sušení a objemové hmotnosti výsušku. Tyto parametry byly ovlivněny přijetím většího množství rozdělovací vody, která se během sušení vypařila a vytvořila spojitou pórovitost, vznikající v mikrostruktuře za syrova.

Jak ukazují výsledky po výpalu, Vuppor s jílem Fia vytvořil zřejmě mikrostrukturu s větším počtem malých pórů snižující objemovou hmotnost, která se odráží i na součiniteli tepelné vodivosti a na pevnosti v tlaku.

Vzorek bez ostřiva vykazuje vhodné parametry pro izolační žáruvzdorné prvky, zejména pak objemové hmotnosti po výpalu, ovšem nedostačující hodnoty pevnosti v tlaku, které při výpalu 950 °C nedosahují požadovaných 1,2 MPa.

V této etapě bylo také provedeno porovnání smrkových a dubových pilin pro výrobu lehčených žáruvzdornin. Výsledky jsou jednoznačně nakloněny dubovým pilinám. Tyto kladné výsledky jsou zřejmě zapříčiněny tím, že piliny z dubového dřeva déle hoří a zabraňují tak smršťování pórů během výpalu a zlepšují tak užité vlastnosti (opět s výjimkou pevnosti v tlaku).

I když Vuppor vykazoval některé pozitivní vlastnosti pro výrobu Izosparu (snížení citlivosti k sušení, smrštění sušením, objemovou hmotnost a součinitele tepelné vodivosti), podle očekávání měl i negativní dopad zejména na pevnost v tlaku.

Provozní závěr Vupporu je takový, že ve výrobních podmínkách společnosti SEEIF Ceramic, a.s. zhoršuje tažení a nepřispívá ke snížení objemových hmotností. Ovšem u velkých prvků do jisté míry potlačuje černé jádro tvarovek (neeliminuje ho zcela, ale zmenší jeho objem) a mírně zlepšuje povrch těchto velkých tvarovek (snížení počtu a velikosti trhlin). Směs s Vupporem jde táhnout u těchto velkých prvků patrně právě z důvodu jejich velikosti, tzn. že když u stejné směsi budou taženy menší Izospary, bude docházet k problémům.

#### **4.4.5 Etapa 3**

Přídavkem chemické přísady Vuppor I se sice snížila citlivost k sušení, objemová hmotnost a součinitel tepelné vodivosti ovšem stále nedosahovaly takové hodnoty, jak bylo očekáváno. Navíc se ukázalo, že směs s Vupporem funguje v provozních podmínkách jako „lepidlo“ ve směsi a nelze jej táhnout ve šnekovém lisu. Proto se v další etapě hledá možnost dalších aditiv pro zlepšení reologických vlastností pro tažení na šnekovém vakuovém lisu. Místo Vupporu byl použit škrob – Dextrin (jedná se o nízkomolekulární polysacharid vyráběný

hydrolyzou škrobů) a LOVOSA (jedná se o technickou karboxymethylcelulózu, sodnou sůl éterů celulózy).

### Porovnání směsí s různými dávkami škrobu a Lovosy

V etapě II byly vytvořeny ručně čtyři směsi s různým množstvím škrobu a Lovosy. Byly také porovnávány směsi s i bez vyhořívajících lehčiv. A jelikož v této etapě nebyl použit Vuppor, směsi (R a O) mohly být odleženy po dobu 24 hodin. Referenční vzorky byly použity z etapy I a II.

Tabulka 29: Složení výrobní směsi se škrobem

Označení	Surovina	Procentuální zastoupení na suchou směs [%]	Vlhkost suroviny w [%]	Vlhkost směsi w [%]
F 1	Jíl Fia	100	0	30,37
R 1	Jíl Fia	100	0	28,82
	škrob	1,5	-	
R 2	Jíl Fia	100	0	27,78
	škrob	3	-	
R 3	Jíl Fia	100	0	49,48
	škrob	5,5	-	

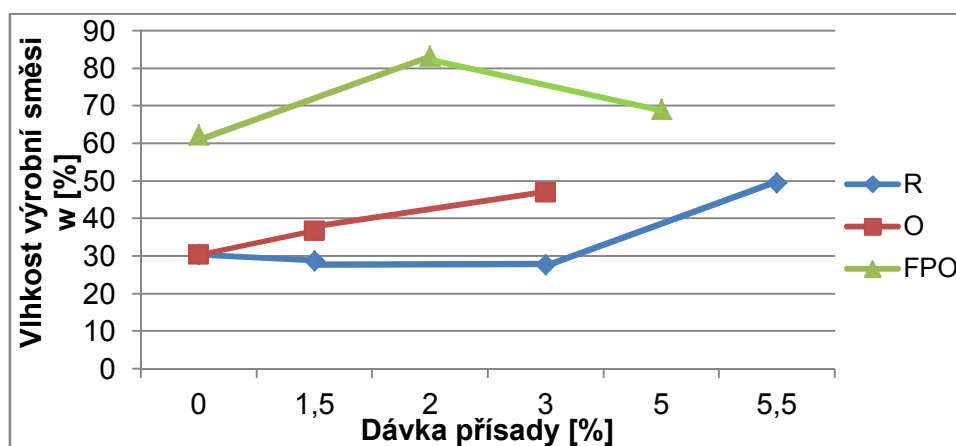
Tabulka 30: Složení výrobní směsi s Lovosou

Označení	Surovina	Procentuální zastoupení na suchou směs [%]	Vlhkost suroviny w [%]	Vlhkost směsi w [%]
F 1	Jíl Fia	100	0	30,37
O 1	Jíl Fia	100	0	36,82
	Lovosa	1,5	-	
O 2	Jíl Fia	100	0	46,91
	Lovosa	3	-	

Tabulka 31: Složení výrobní směsi vylehčené s Lovosou

Označení	Surovina	Procentuální zastoupení na suchou směs [%]	Vlhkost suroviny w [%]	Vlhkost směsi w [%]
FP 1	Jíl Fia	73	0	62,38

	piliny	27	20	
FPO 1	Jíl Fia	73	0	83,26
	piliny	27	20	
	Lovosa	2	-	
FPO 2	Jíl fia	73	0	69,13
	piliny	27	20	
	Lovosa	5	-	

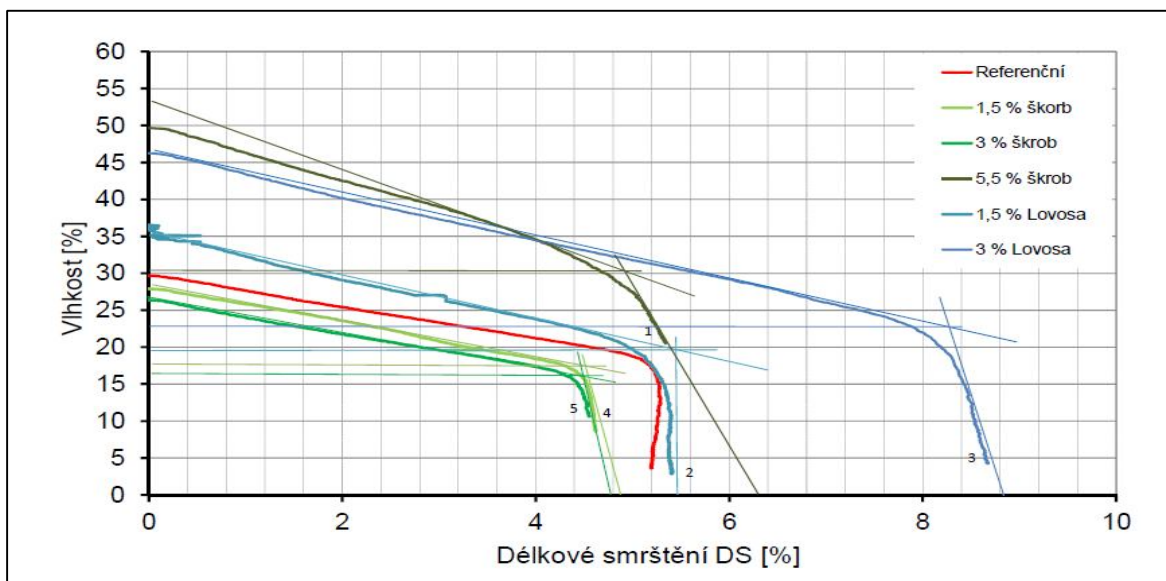


Obrázek 76: Vliv dávky přísady na vlhkost výrobní směsi

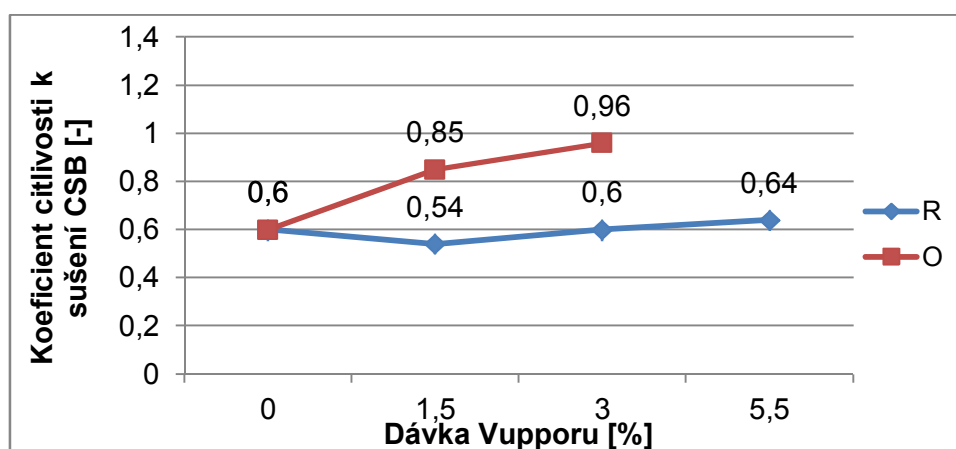
Škrob i Lovosa zvyšují vlhkost směsi sušením.

Směs se škrobem byla po odležení, podle předpokladů, lepivá (běžné použití dextrinů je pro lepidlové hmoty) a naopak směs s Lovosou byla drolivá a těžko soudržná hmota.

## Citlivost k sušení dle Bigota



Obrázek 77: Bigotovy křivky směsi jílu Fia s různým množstvím škrobu a Lovosy  
Všechny směsi jsou málo citlivé k sušení.



Obrázek 78: Vliv dávky přísady na koeficient citlivosti k sušení

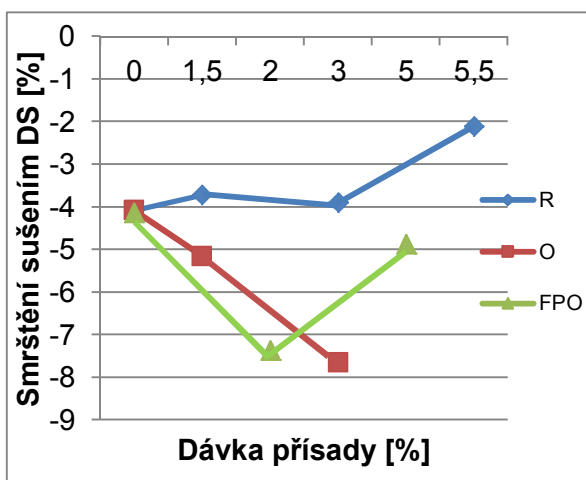
Přidávky Lovosy ve směsi O zvyšují citlivost k sušení dle Bigota výrazněji než škrob ve směsi R.



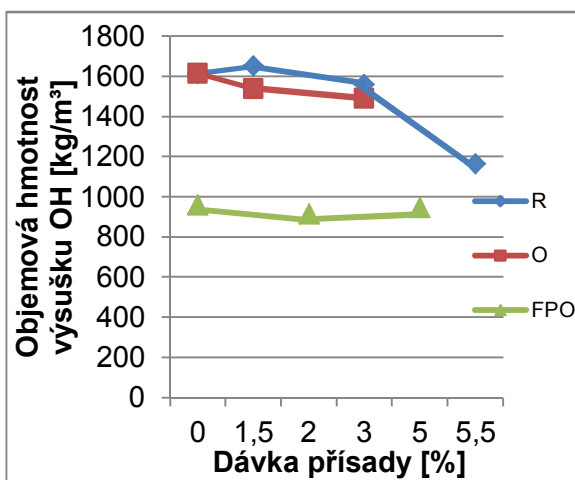
## Deformační poměr dle Pfefferkorna, smrštění sušením a objemová hmotnost výsušku

Tabulka 32: Vypočtené hodnoty deformačního poměru, průměrné smrštění sušením a objemová hmotnost výsušku

Označení	Deformační poměr dle Pfefferkorna [-]		Smrštění sušením DS [%]	Objemová hmotnost výsušku OH [kg/m <sup>3</sup> ]
	Před odležením	Po odležení		
F1	0,5		-4,08	1615
R 1	0,55	0,58	-3,72	1651
R 2	0,55	0,61	-3,89	1559
R 3	0,55	0,65	-2,11	1163
O 1	0,55	0,58	-5,15	1538
O 2	0,55	0,62	-7,65	1491
FP 1	0,48		-4,14	959
FPO 1	0,7	0,72	-7,37	915
FPO 2	0,7	0,71	-4,87	949



Obrázek 79: Vliv dávky přísady na smrštění sušením



Obrázek 80: Vliv dávky přísady na objemovou hmotnost výsušku

Škrob i Lovosa zvyšují vlhkost směsi a snižují objemovou hmotnost, ovšem opačný vliv mají tyto přísady při smrštění sušením, kdy škrob snižuje smrštění sušením. Oproti tomu Lovosa tyto hodnoty s přidávajícím množstvím zvyšuje.

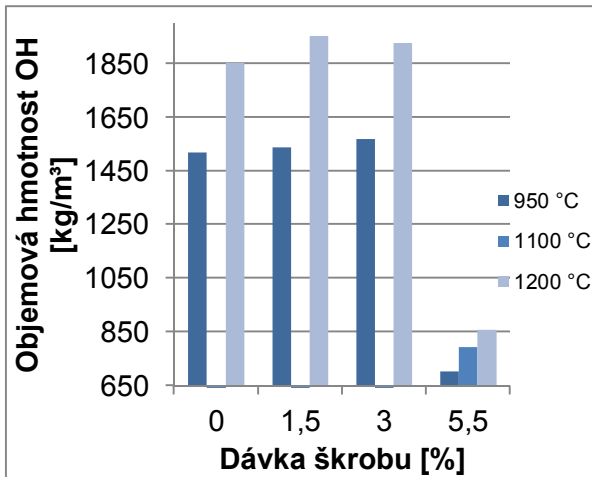
Tyto výsledky jsou zřejmě způsobeny tím, že škrob ve směsi po vypaření vody zabraňuje smršťování pórů během sušení.

U vzorků vylehčených se dávka 5 % Lovosy jeví jako ideální množství přísady, snižuje smrštění sušením a zachovává hodnoty objemové hmotnosti, které nezvyšuje, ovšem tato dávka je až příliš neekonomická.

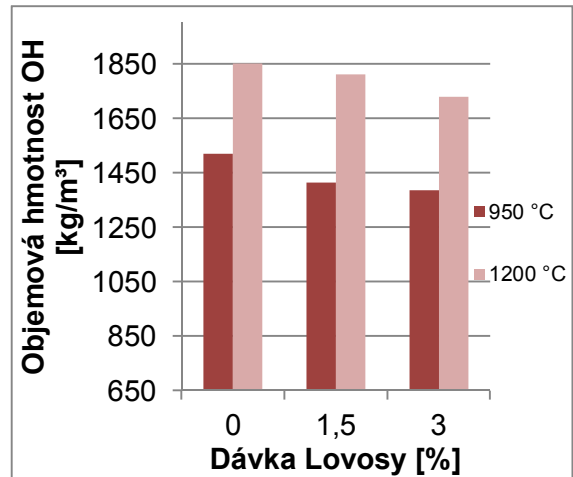
### Objemová hmotnost, smrštění pálením a celkové

Tabulka 33: Vypočtené průměrné hodnoty objemové hmotnosti, smrštění pálením a smrštění celkové

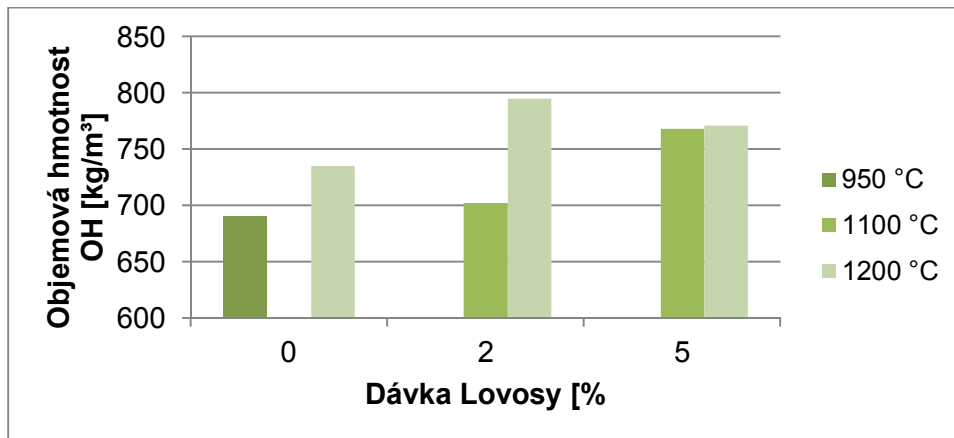
Označení	Teplota výpalu [°C]	Objemová hmotnost OH [kg·m <sup>-3</sup> ]	Smrštění pálením DP [%]	Smrštění celkové DC [%]
F 1	950	1519	-2,52	-6,87
	1200	1852	-8,97	-12,50
R 1	950	1537	-2,87	-6,50
	1200	1951	-9,45	-13,36
R 2	950	1567	-2,42	-6,61
	1200	1925	-9,90	-13,18
R 3	950	703	-4,41	-6,54
	1100	792	-8,01	-9,94
	1200	858	-9,29	-11,54
O 1	950	1414	-2,34	-7,31
	1200	1812	-9,38	-14,89
O 2	950	1387	-3,32	-10,64
	1200	1730	-8,60	-16,93
FP 1	950	691	-3,97	-7,64
	1200	735	-9,70	-10,02
FPO 1	1100	702	-7,91	-16,18
	1200	795	-11,72	-18,29
FPO 2	1100	768	-9,14	-14,32
	1200	771	-9,77	-14,32



Obrázek 81: Vliv dávky Lovosy na objemovou hmotnost směsi R

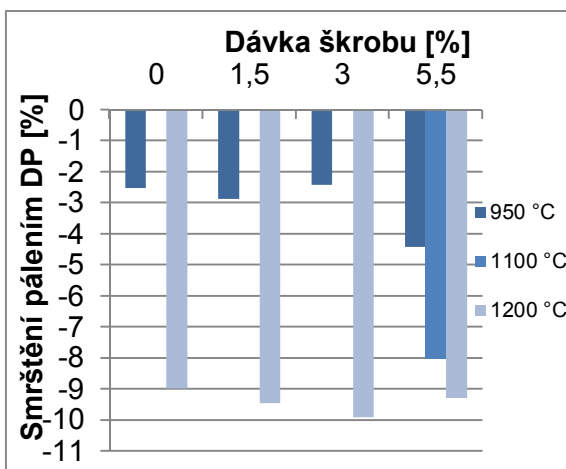


Obrázek 82: Vliv dávky Lovosy na objemovou hmotnost směsi O

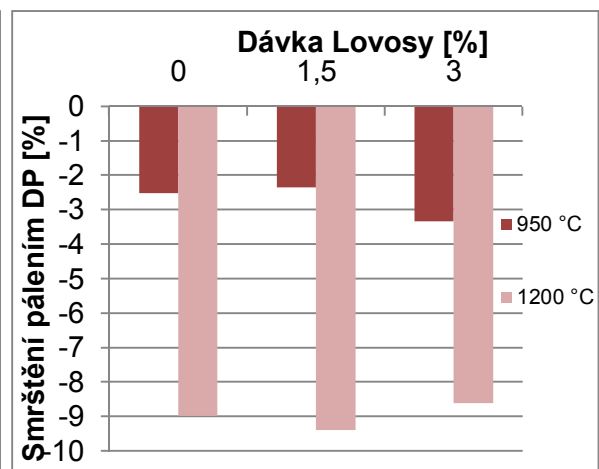


Obrázek 83: Vliv dávky Lovosy na objemovou hmotnost směsi FPO

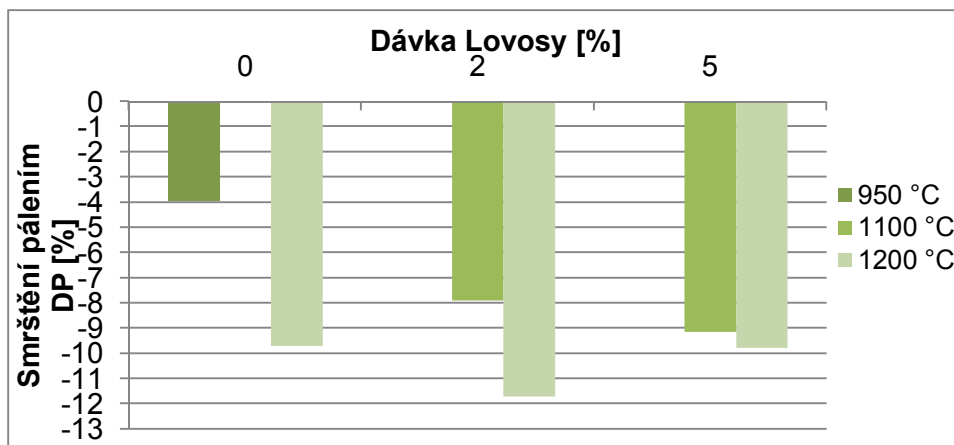
Lovosa objemovou hmotnost mírně snižuje, oproti tomu škrob ji mírně zvyšuje, ale téměř nezatelně.



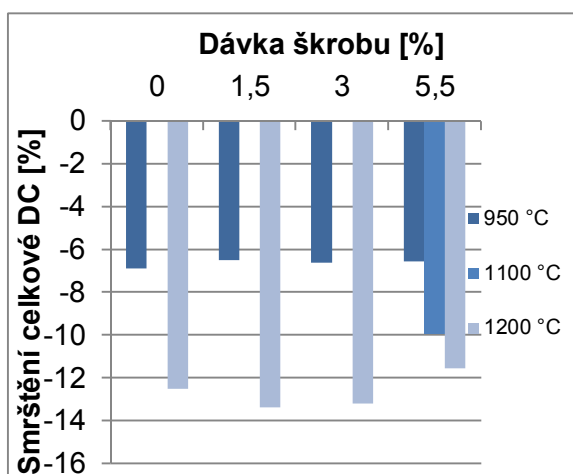
Obrázek 84: Vliv dávky škrobu na smršnění pálením směsi R



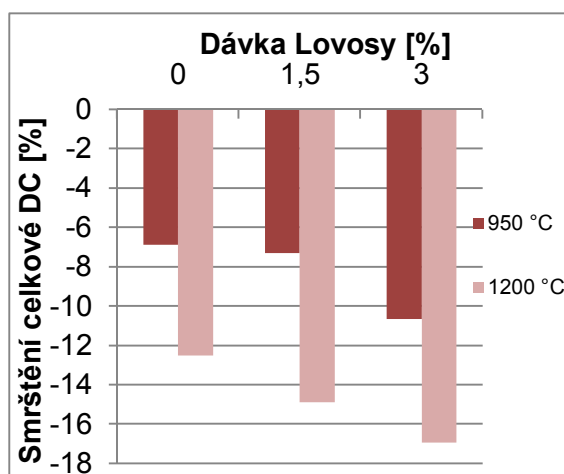
Obrázek 85: Vliv dávky Lovosy na smršnění pálením směsi O



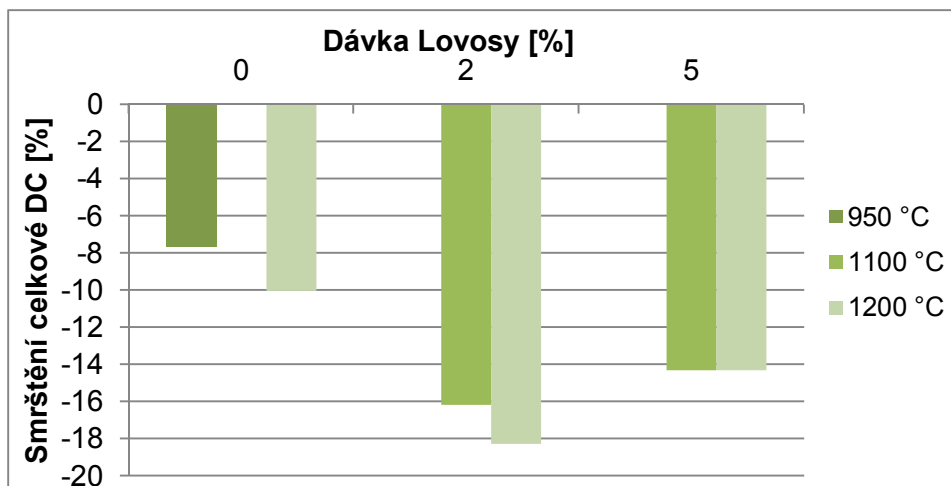
Obrázek 86: Vliv dávky Lovosy na smrštění pálením směsi FPO



Obrázek 88: Vliv dávky škrobu na smrštění celkové směsi R



Obrázek 87: Vliv dávky Lovosy na smrštění celkové směsi O



Obrázek 89: Vliv dávky Lovosy na smrštění celkové směsi FPO

Škrob versus Lovosa nemá výrazný vliv na objemovou hmotnost nevylehčených vzorků, pouze dávka 5,5 % snižuje objemovou hmotnost výrazněji než Lovosa (dávka je však neekonomická).

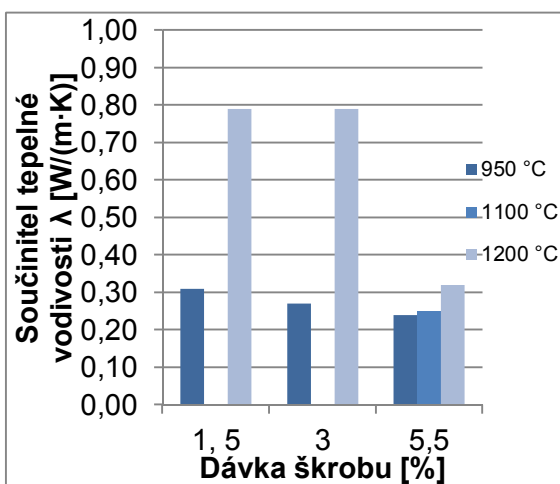
Složitější je to u vzorků vylehčených. Vzorky vypálené na 1100 °C zhoršují své vlastnosti při přidavku většího množství Lovosy, a naopak vzorky vypálené na 1200 °C své hodnoty zlepšují. Větší množství Lovosy zřejmě zvyšuje teplotu, při které je dosaženo maximálního množství pórů v mikrostruktuře.

### Součinitel tepelné vodivosti, pevnost v ohybu/tlaku

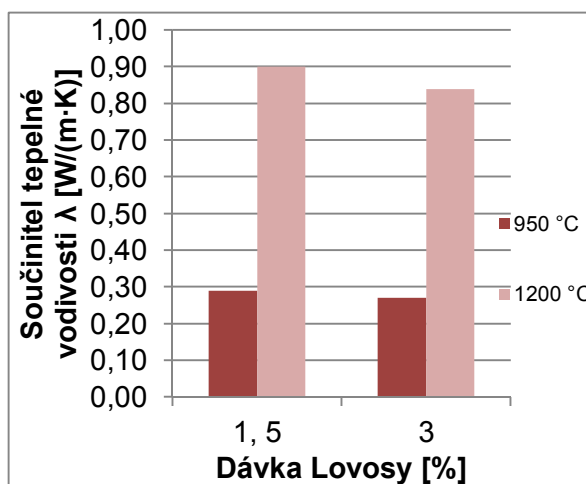
Tabulka 34: Naměřené průměrné hodnoty součinitele tepelné vodivosti a pevnosti ohybu a tlaku

Označení	Teplota výpalu [°C]	Součinitel tepelné vodivosti $\lambda$ [W/(m·K)]	Pevnost v ohybu R [MPa]
F 1	950	-	2,2
	1200	-	5
R 1	950	0,3062	1,8
	1200	0,7884	8,5
R 2	950	0,2731	1,5
	1200	0,7891	6,4
R 3	950	0,2352	1,4
	1100	0,2562	5,2
	1200	0,3165	6,9
O 1	950	0,2913	8,7
	1200	0,8934	1,6
O 2	950	0,2746	5,8

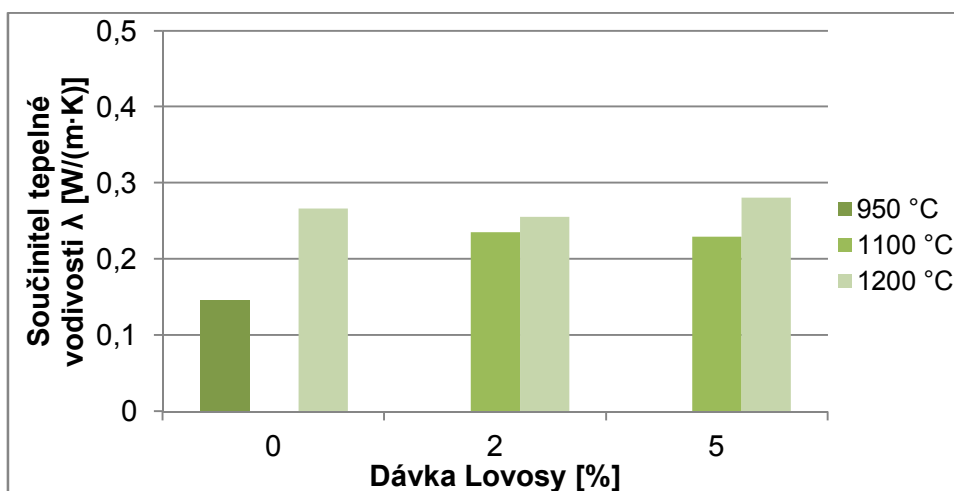
	1200	0,8377	1,5
Označení	Teplota výpalu [°C]	Součinitel tepelné vodivosti $\lambda$ [W/(m·K)]	Pevnost v tlaku $\sigma$ [MPa]
FP 1	950	0,1462	0,5
	1200	0,2671	2,3
FPO 1	1100	0,2355	2,3
	1200	0,2558	2,6
FPO 2	1100	0,2299	1,9
	1200	0,2808	2,5



Obrázek 90: Vliv škrobu na součinitele tepelné vodivosti směsi R

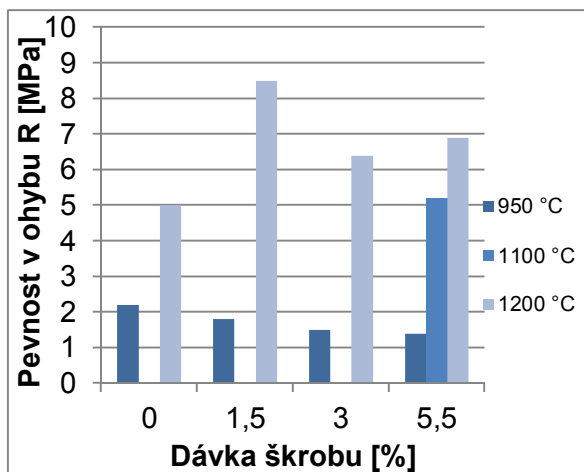


Obrázek 91: Vliv Lovosy na součinitele tepelné vodivosti směsi O

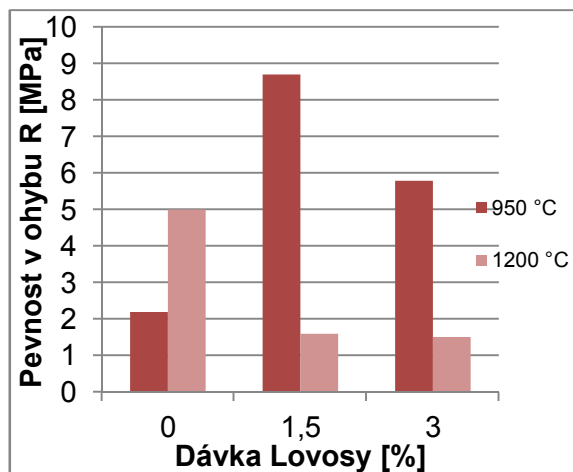


Obrázek 92: Vliv Lovosy na součinitele tepelné vodivosti směsi FPO

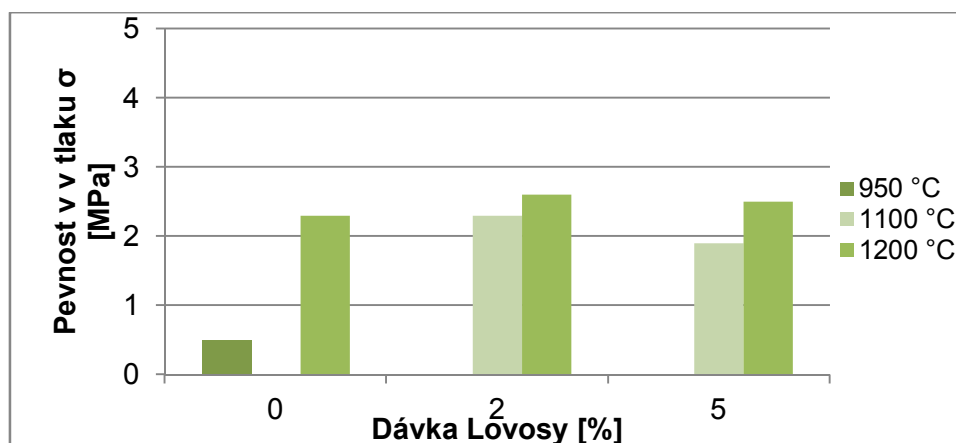
Zvětšující se množství přísady nemá podstatný vliv na součinitele tepelné vodivosti, pouze teplota výpalu opět negativně ovlivňuje tuto veličinu.



Obrázek 94: Vliv Lovosy na pevnost v ohybu směsi R



Obrázek 93: Vliv Lovosy na pevnost v ohybu směsi O



Obrázek 95: Vliv Lovosy na pevnost v tlaku směsi FPO

Mezi přísadami není výrazný rozdíl v pevnosti v ohybu a s narůstajícím množstvím dávky snižuje pevnost vzorků. Menší množství dávky přísady se jeví jako dostačující.

## Poloprovozní zkouška Svitavy č. 2

V závodu SEEIF Ceramic, a.s. byla prováděna druhá poloprovozní zkouška za použití škrobu a Dextrinu. Nejprve byla vytvořena směs jílu Fia, kaolínu a pilin v celkové navážce 700 kg, ovšem tato směs nešla táhnout a drolila se. Byl přidán jíl MM, ovšem ani tento přírůstek nepomohl ke správnému táhnutí výrobku. Byl tedy přidán škrob a následně i Dextrin, kdy po tomto přírůstku bylo možné syrový Izospar bez problémů táhnout.

Tabulka 35: Složení výrobní směsi

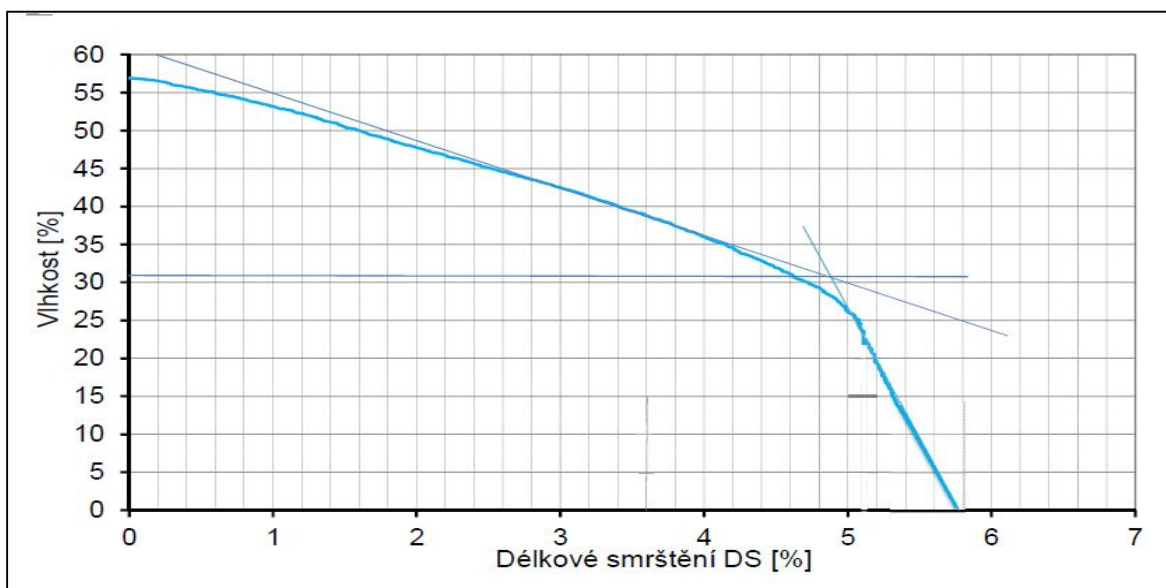
Označení	Surovina	Procentuální zastoupení na suchou směs [%]	Vlhkost směsi w [%]
PP 2	Jíl Fia	45	58,58
	Kaolín DSA	23	
	piliny	32	
	Přidavky materiálu		
	Jíl MM	3,50	
	škrob	0,12	
	Dextrin	0,27	

Deformační poměr podle Pfefferkona této směsi byla 0,7.

Byla odebrána syrová směs, ze které byly vytvořeny vzorky, které byly vypáleny na teploty 950, 110 a 1200 °C. Na vzorcích byly stanoveny hodnoty smrštění, objemové hmotnosti, součinitele tepelné vodivosti a pevnosti.

Smrštění sušením -2,34 % a objemovou hmotnost výsušku 994 kg/m<sup>3</sup>.

### Citlivost k sušení dle Bigota



Obrázek 96: Bigotova křivka směsi PP 2

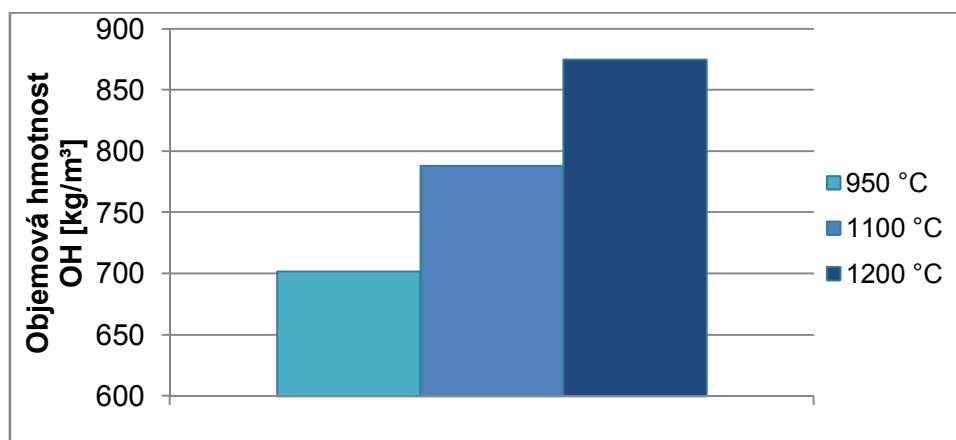
Hodnota koeficientu k sušení je 0,82, materiál je tedy málo citlivý k sušení.



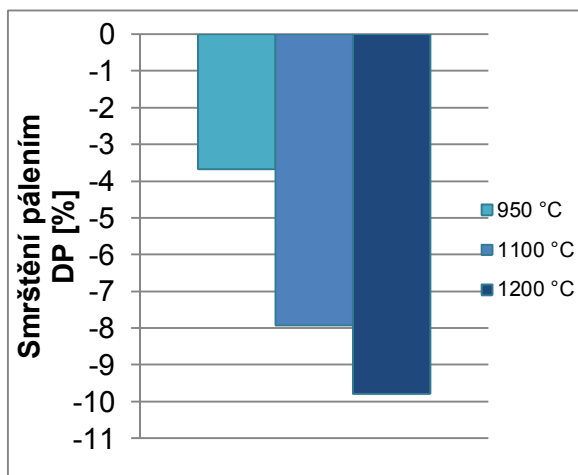
## Objemová hmotnost, smrštění pálením a celkové

Tabulka 36: Vypočtené průměrné hodnoty objemové hmotnosti, smrštění pálením a smrštění celkové

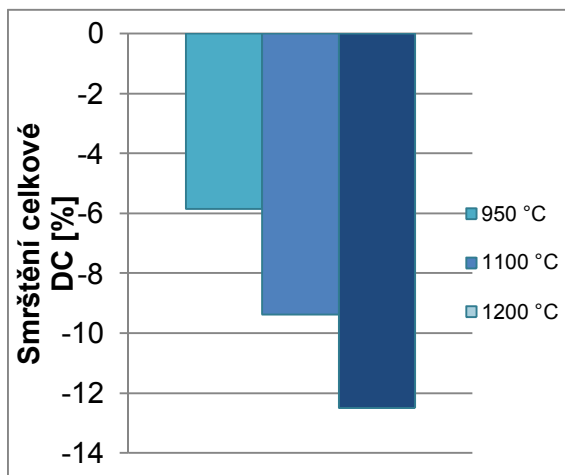
Označení	Teplota výpalu [°C]	Objemová hmotnost OH [kg·m <sup>-3</sup> ]	Smrštění pálením DP [%]	Smrštění celkové DC [%]
PP 2	950	702	-3,66	-5,85
	1100	788	-7,92	-9,38
	1200	875	-9,78	-12,49



Obrázek 97: Porovnání objemové hmotnosti střepe vypáleného na různé teploty



Obrázek 98: Porovnání smrštění pálením střepe vypáleného na různé teploty



Obrázek 99: Porovnání celkového smrštění střepe vypáleného na různé teploty

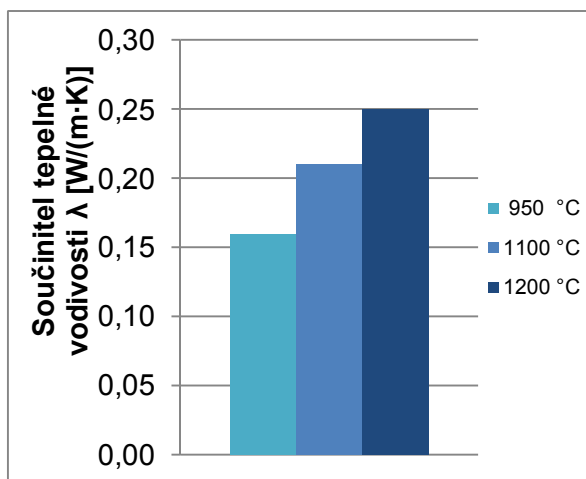
Jak již bylo patrné z předešlých výsledků, se zvyšující se teplotou výpalu se vlivem slnutí střepe zvyšuje i objemová hmotnost, smrštění pálením i celkové. Pro

snížení objemové hmotnosti lehčeného šamotového střepeč pro výpal se jeví teplota 950 °C (na kterou se také Izospar běžně vypaluje).

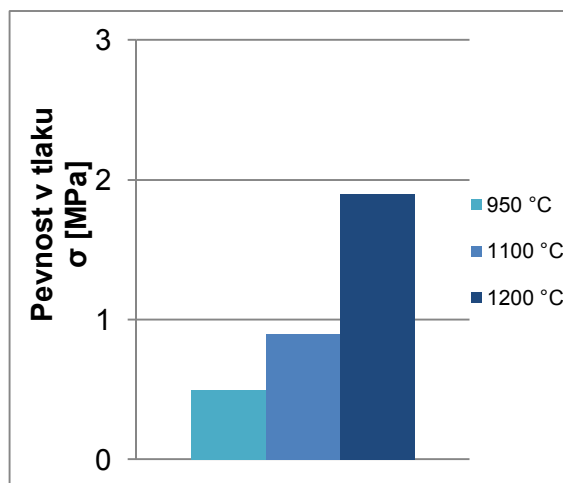
### Součinitel tepelné vodivosti, pevnost v tlaku

Tabulka 37: Naměřené průměrné hodnoty součinitele tepelné vodivosti a pevnosti v tlaku

Označení	Teplota výpalu [°C]	Součinitel tepelné vodivosti $\lambda$ [W/(m·K)]	Pevnost v tlaku $\sigma$ [MPa]
PP 2	950	0,1635	0,5
	1100	0,2148	0,9
	1200	0,2537	1,9



Obrázek 100: Porovnání součinitele tepelné vodivosti střepeč vypáleného na různé teploty



Obrázek 101: Porovnání pevnosti v tlaku střepeč vypáleného na různé teploty

Jak již bylo zmíněno, pevnost je funkcí pórovitosti a při větší vypalovací teplotě dochází ke slnutí vzorku a úbytku pórů v mikrostruktuře střepeč, a tím pádem je pevnost méně ovlivňována pórovitostí. Vzorky vypálené na vyšší teploty vykazují vyšší hodnoty, stejně tak i vyšší  $\lambda$ , což není vhodné pro Izospar.

U těchto vzorků je odbourán negativní vliv přísady Vuppor na celkové smrštění, ovšem ani škrob a Dextrin nepomohly ke zvýšení pevnosti v tlaku. Hodnoty objemové hmotnosti jsou srovnatelné s výsledky vzorků s Vupporem.

Pozitivním výsledkem této zkoušky je zlepšení technologických vlastností pro tažení výrobků, a to vlivem škrobu a Dextrinu.

#### **4.4.6 Diskuze výsledků etapy 3**

Druhá poloprovozní zkouška ve Svitavách měla za cíl modifikace směsi za účelem zlepšení reologických vlastností pro tažení ve šnekovém vakuovém lisu, kde škrob s Dextrinem měly pozitivní vliv na tažení. Ovšem výsledné hodnoty užitečných vlastností nedopadly úplně podle očekávání – objemová hmotnost se nesnížila tak, jak bylo očekáváno, a navíc pevnosti u vzorků vypálených na nižší teplotu byly příliš nízké. Zřejmě poměr jednotlivých přísad nebyl vhodně zvolen a nebyla vytvořena taková mikrostruktura střeptu, která by vyhovovala požadavkům na výrobek Izospar.

Při laboratorních zkouškách, kde byl porovnáván vliv dávky jednotlivých příměsí (škrobu a Lovosy) ve vzorcích nevylehčených a vylehčených, opět nedošlo k jednoznačným výsledkům pro jednu z přísad. Ovšem Lovosa ve vzorcích zvyšovala citlivost k sušení dle Bigota a smrštění sušením velmi podstatně oproti vzorkům se škrobem (Lovosa vzorky vysušovala). Přídavek Lovosy měl za následek, že se ve vzorcích vytvořila křusta, vzorky praskaly při sušení v laboratorních podmínkách a ještě více v sušárně.

Oproti tomu je velmi příznivá hodnota pevnosti v tlaku 2,3 MPa při objemové hmotnosti  $702 \text{ kg/m}^3$  u vzorků, které obsahují 2 % Lovosy vypálené na  $1100 \text{ }^\circ\text{C}$  a vylehčené pilinami. Lovosa má zřejmě vysoký stupeň účinnosti i při menší dávce a vytváří póry současně při vyhořívání pilin.

Jako ideálnější přísada pro zlepšení technologických i užitečných vlastností se jeví škrob více než Lovosa. Lovosa by mohla způsobit velké problémy v provozu. Oproti tomu škrob vykazuje vysokou účinnost i při malé dávce a výpalu na nižší teploty, což je výhodné i z ekonomického hlediska.

#### **4.4.7 Etapa 4**

V závěrečné části této práce bylo odzkoušeno zkombinovat přísady škrobu (pro zlepšení reologických vlastností směsi) s chemickou přísadou Vuppor I (pro snížení objemové hmotnosti).

## Porovnání jednotlivých směsí se škrobem (Lovosou) a Vupporem

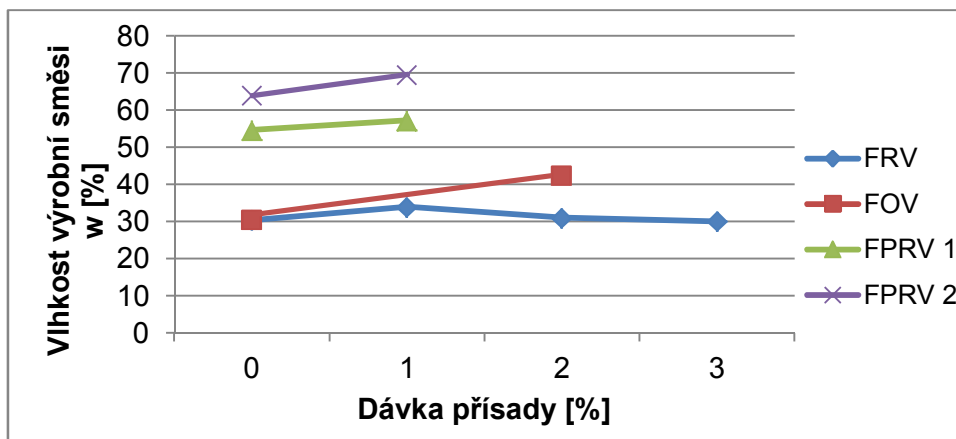
Směs nevylehčená byla tvořena ručně, vylehčená potom v kolovém mlýně z jílu Fia, škrobu, Lovosy, Vupporu (který byl opět přidáván v dávkách 0,75 % ze suché směsi), pilin a vodou. Ve vylehčené směsi byla standardní dávka pilin 27 % a jedna s větším množstvím 30 %. Směsi nebyly kvůli přidavku Vupporu odleženy.

Tabulka 38: Složení výrobní směsi FRV a FOV

Označení	Surovina	Procentuální zastoupení na suchou směs [%]	Vlhkost suroviny w [%]	Vlhkost směsi w [%]
F 1	Jíl Fia	100	0	30,37
FRV 1	Jíl Fia	100	0	33,91
	škrob	1	-	
	VUPPOR I	0,75	-	
FRV 2	Jíl Fia	100	0	30,97
	škrob	2	-	
	VUPPOR I	0,75	-	
FRV 3	Jíl Fia	100	0	30,03
	škrob	3	-	
	VUPPOR I	0,75	-	
FOV 1	Jíl Fia	100	0	42,35
	Lovosa	2	-	
	VUPPOR I	0,75	-	

Tabulka 39: Složení výrobní směsi FPRV

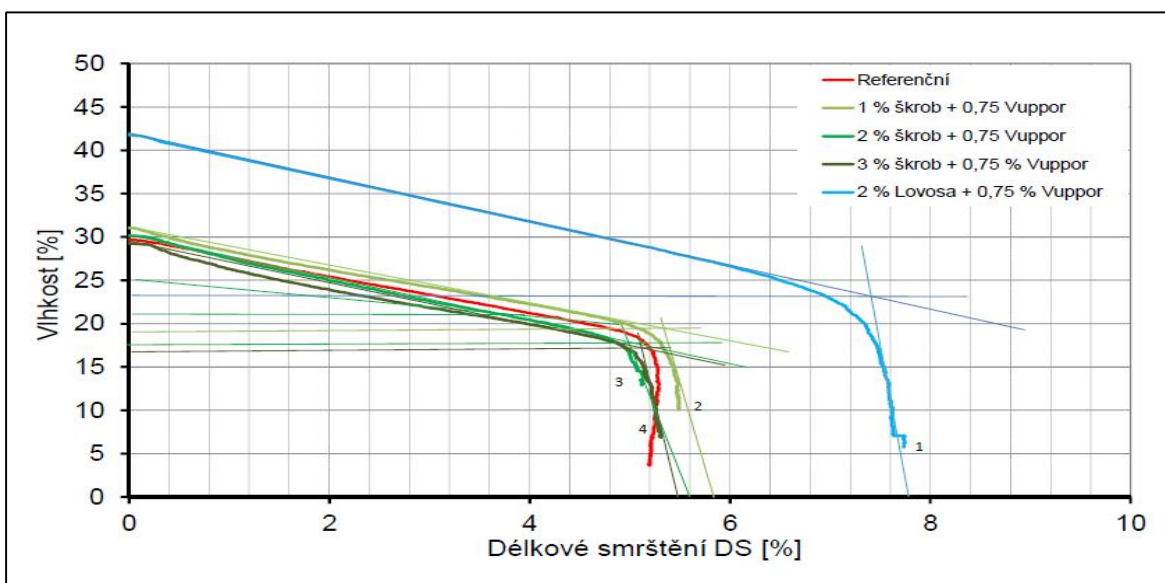
Označení	Surovina	Procentuální zastoupení na suchou směs [%]	Vlhkost suroviny w [%]	Vlhkost výrobní w [%]
Ref. FPRV 1	Jíl Fia	70	0	54,59
	piliny	30	20	
FPRV 1	Jíl Fia	70	0	57,18
	piliny	27	20	
	škrob	1	-	
Ref. FPRV 2	Jíl Fia	73	0	64,00
	piliny	27	20	
FPRV 2	Jíl Fia	30	0	69,61
	piliny	73	20	
	škrob	1	-	
	VUPPOR I	0,75	-	



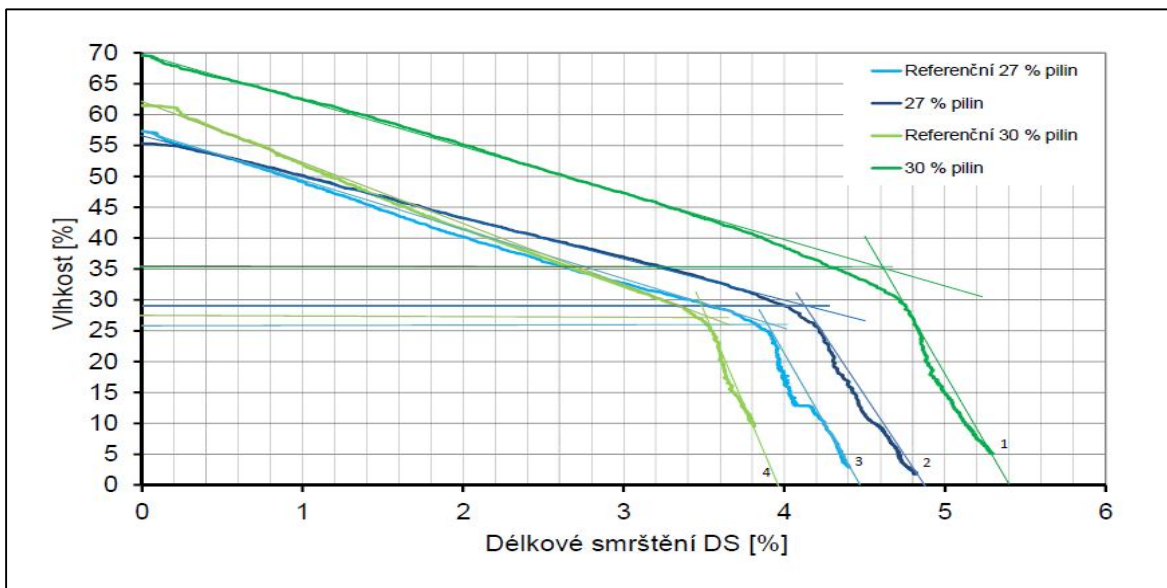
Obrázek 102: Vliv dávky přísad na vlhkost výrobní směsi

Dávky škrobu nemají téměř žádný vliv na vlhkost směsi, u vylehčených vzorků však tato přísada vlhkost zvyšuje.

### Citlivost k sušení dle Bigota

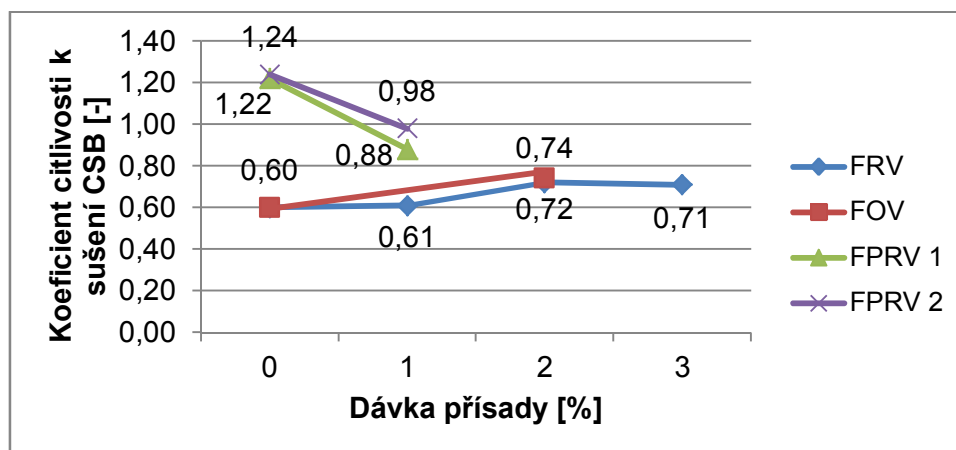


Obrázek 103: Bogotovy křivky směsi jílu Fia, škrobu/Lovosy, Vupporu



Obrázek 104: Bogotovy křivky směsi jílu Fia, škrobu, Vupporu a pilin

Směsi jsou málo citlivé k sušení. Pouze referenční vzorky vylehčených těst jsou středně citlivé k sušení.



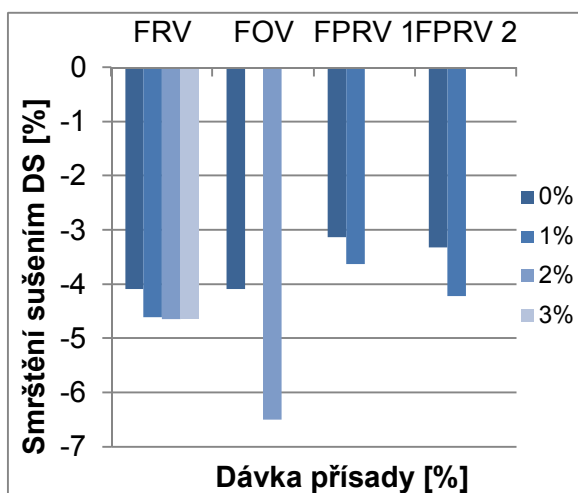
Obrázek 105: Vliv dávky přísad na koeficient citlivosti k sušení

Z grafu vyplývá, že u nevylehčených vzorků kombinace přísad škrobu/Lovosy a Vupporu citlivost k sušení zvětšuje, ovšem u směsí vylehčených je tomu naopak. Vuppor má zřejmě větší působnost na snížení citlivosti k sušení u vylehčených směsí, protože zvýšení citlivosti u nevylehčených vzorků zřejmě způsobil škrob/Lovosa, jak tomu bylo již v etapě 3.

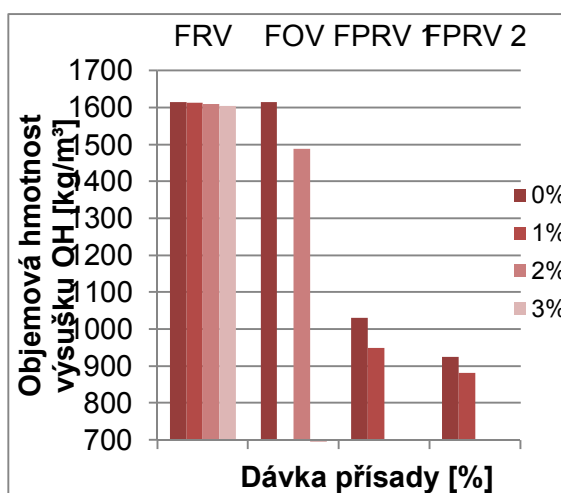
## Deformační poměr dle Pfefferkorna, smrštění sušením a objemová hmotnost výsušku

Tabulka 40: Vypočtené hodnoty deformačního poměru, průměrné smrštění sušením a objemová hmotnost výsušku

Označení	Deformační poměr dle Pfefferkorna [-]	Smrštění sušením DS [%]	Objemová hmotnost výsušku OH [kg/m <sup>3</sup> ]
F 1	0,5	-4,08	1615
FRV 1	0,55	-4,61	1615
FRV 2	0,55	-4,64	1631
FRV 3	0,55	-4,63	1666
FOV 1	0,55	-6,49	1490
Ref. FPRV 1	0,5	-3,13	1032
FPRV 1	0,5	-3,62	950
Ref. FPRV 2	0,5	-3,32	925
FPRV 2	0,5	-4,21	881



Obrázek 106: Vliv dávky přísady na smrštění sušením



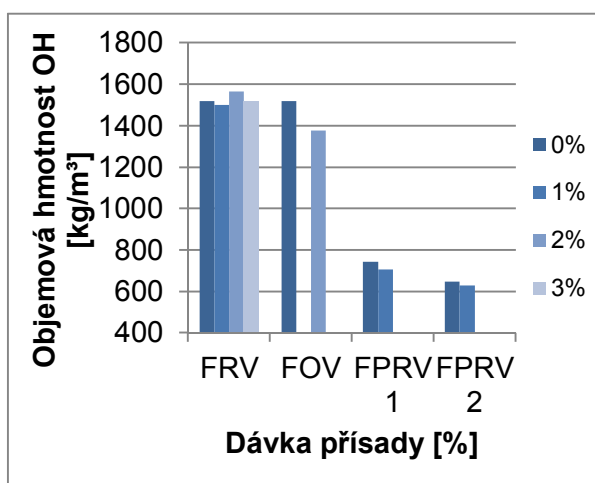
Obrázek 107: Vliv dávky přísady na objemovou hmotnost výsušku

Lovosa zvyšuje smrštění sušením výrazněji než škrob v tomto případě. Každopádně dávky přísad opět zvyšují smrštění sušením, oproti tomu přísady opět snižují objemovou hmotnost výsušku. V předešlé etapě škrob smrštění sušením zmenšoval, Vuppor má zřejmě větší působnost na tuto vlastnost než škrob.

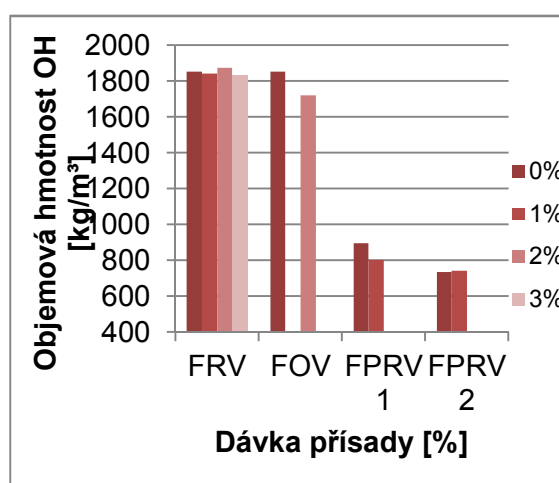
## Objemová hmotnost, smrštění pálením a celkové

Tabulka 41: Vypočtené průměrné hodnoty objemové hmotnosti, smrštění pálením a smrštění celkové

Označení	Teplota výpalu [°C]	Objemová hmotnost OH [kg·m <sup>-3</sup> ]	Smrštění pálením DP [%]	Smrštění celkové DC [%]
F 1	950	1519	-2,52	-6,87
	1200	1852	-8,97	-12,5
FRV 1	950	1503	-2,36	-7,22
	1200	1842	-9,16	-13,28
FRV 2	950	1566	-2,63	-7,51
	1200	1876	-9,02	-13,19
FRV 3	950	1518	-2,60	-7,17
	1200	1833	-9,12	-13,87
FOV 1	950	1377	-2,71	-9,28
	1200	1720	-8,90	-15,24
Ref. FPRV 1	950	745	-4,00	-7,22
	1200	897	-10,39	-13,42
FPRV 1	950	707	-4,04	-7,69
	1200	804	-8,17	-11,51
Ref. FPRV 2	950	649	-4,23	-7,75
	1200	737	-9,38	-12,50
FPRV 2	950	629	-4,53	-8,62
	1200	742	-9,13	-13,23



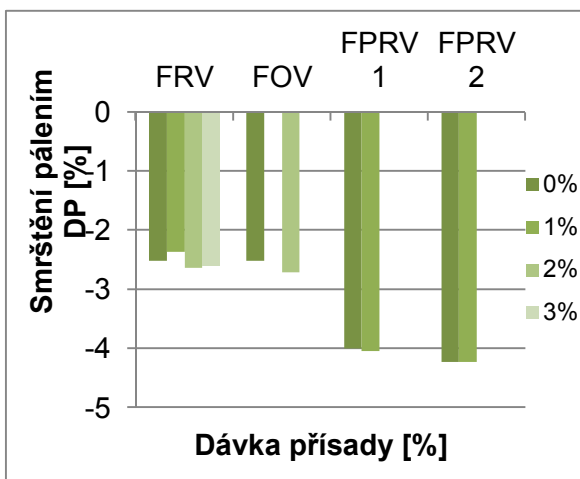
Obrázek 108: Vliv dávky přísad na objemovou hmotnost (950 °C)



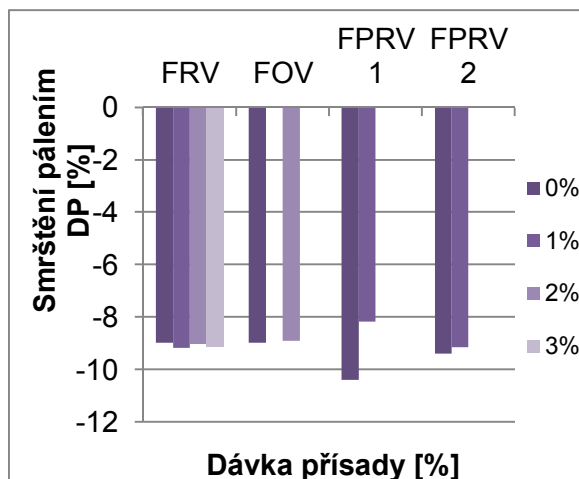
Obrázek 109: Vliv dávky přísad na objemovou hmotnost (1200 °C)

Nejvíce účinný je škrob s Vupporem ve směsi s 30 % pilin, kdy hodnota objemové hmotnosti dosahuje 629 kg/m<sup>3</sup> a vzorky byly vypálené na 950 °C.

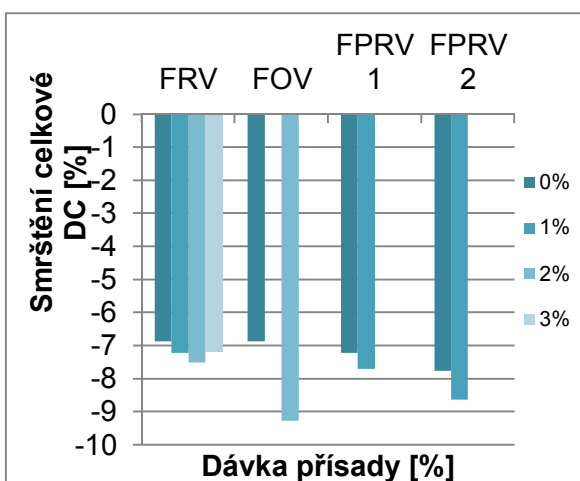




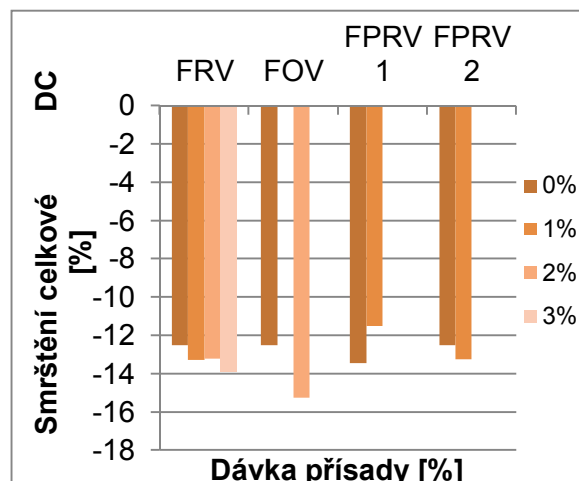
Obrázek 110: Vliv dávky přísad na smrštění pálením (950 °C)



Obrázek 111: Vliv dávky přísad na smrštění pálením (1200 °C)



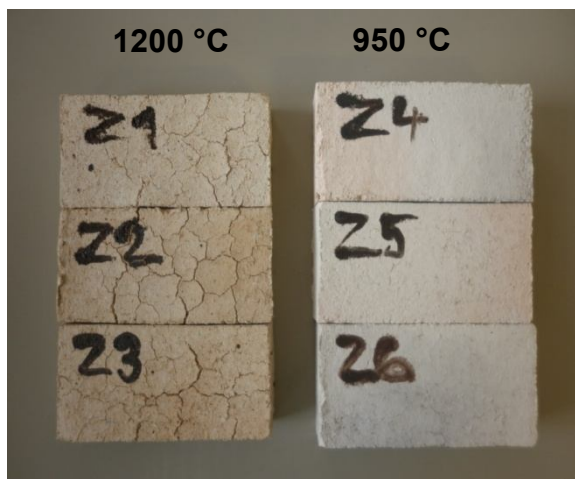
Obrázek 113: Vliv dávky přísady na smrštění celkové (950 °C)



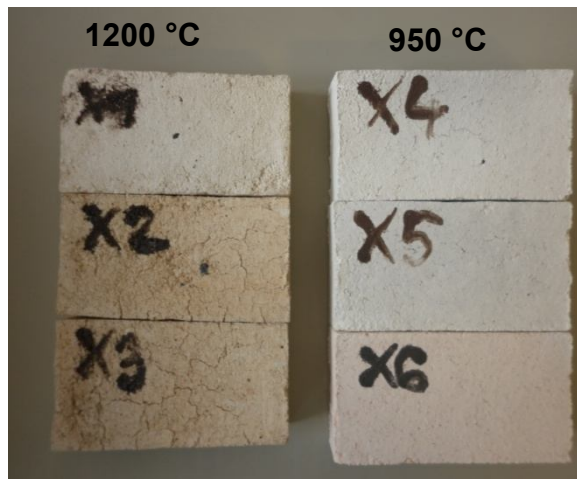
Obrázek 112: Vliv dávky přísady na smrštění celkové (1200 °C)

Lze konstatovat, že přísady ve směsích této etapy mají pozitivní vliv na smrštění pálením, kdy tuto hodnotu snižují, ovšem Vuppor zřejmě opět zvyšuje smrštění celkové.

Vzorky vypálené byly popraskané na povrchu, což mohlo ovlivnit některé výsledky.



Obrázek 114: Směs jílu Fia + 27 % pilin + 1 % škrobu + 0,75 % Vupporu



Obrázek 115: Směs jílu Fia + 30 % pilin + 1 % škrobu + 0,75 % Vupporu

Z obrázku je patrné, že u vzorků s 20 % pilin, vypálených na 1200 °C je výrazný vliv u vzorku, kde byla prováděna zkouška citlivosti k sušení dle Bigota (vzorek X1 je světlejší a s menším množstvím prasklin), u této zkoušky jsou vzorky sušeny při teplotě 35 °C, kdežto ostatní vzorky byly sušeny při laboratorní teplotě přibližně 20 °C, což mohlo ovlivnit některé následující hodnoty.

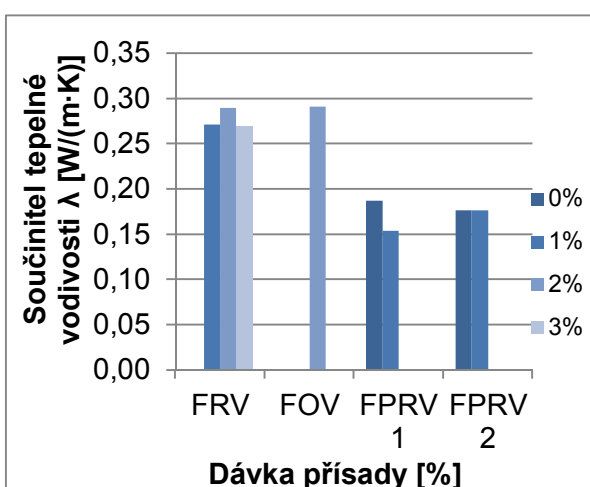
### Součinitel tepelné vodivosti, pevnost v ohybu a tlaku

Hodnoty součinitele tepelné vodivosti jsou ovlivněny trhlinami na povrchu vzorků.

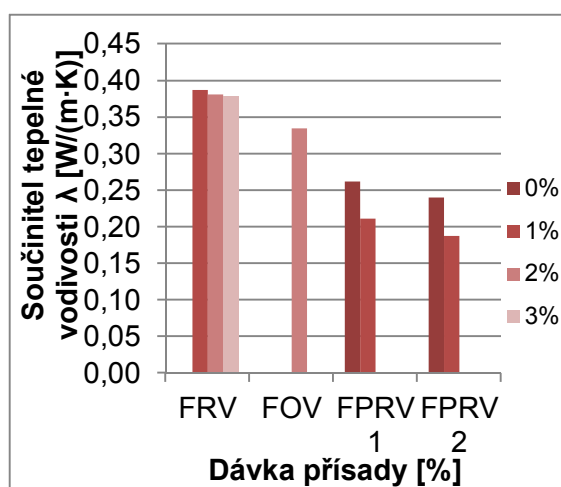
Tabulka 42: Vypočítané průměrné hodnoty součinitele tepelné vodivosti, pevnosti v ohybu a tlaku

Označení	Teplota výpalu [°C]	Součinitel tepelné vodivosti $\lambda$ [W/(m·K)]	Pevnost v ohybu [MPa]
F 1	950	-	2,2
	1200	-	6,9
FRV 1	950	0,2711	2,9
	1200	0,3872	6,1
FRV 2	950	0,2899	1,8
	1200	0,3816	5,3
FRV 3	950	0,2698	1,3
	1200	0,3786	4,4
FOV 1	950	0,2912	0,9
	1200	0,3346	4,6

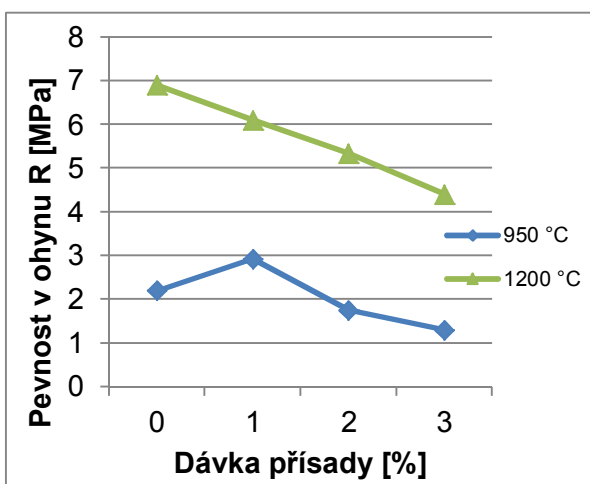
Označení	Teplota výpalu [°C]	Součinitel tepelné vodivosti $\lambda$ [W/(m·K)]	Pevnost v tlaku $\sigma$ [MPa]
Ref. FPRV 1	950	0,1870	0,5
	1200	0,2623	2,5
FPRV 1	950	0,1537	0,5
	1200	0,2110	2,1
Ref. FPRV 2	950	0,1767	0,4
	1200	0,2399	2,0
FPRV 2	950	0,1324	0,4
	1200	0,1877	1,8



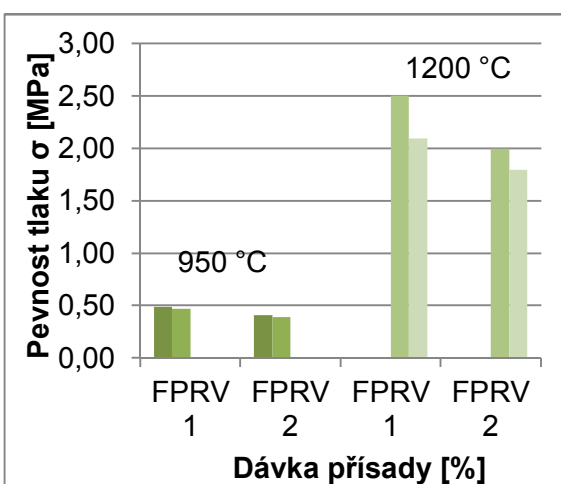
Obrázek 116: Vliv přísad na součinitele tepelné vodivosti (950 °C)



Obrázek 117: Vliv přísad na součinitele tepelné vodivosti (1200 °C)



Obrázek 118: Vliv škrobu na pevnost v ohybu



Obrázek 119: Vliv přísad na pevnost v tlaku

Opět se zde potvrdilo zlepšení tepelněizolačních vlastností a zhoršení pevnosti vlivem chemických přísad škrobu a Vupporu.

## Klasifikační teplota

Klasifikační teplota byla zkoušena na vzorku s 30 % pilin, který byl vypálen na 1200 °C, podle ČSN 72 6100. Hodnota klasifikační teploty byla naměřena v rozmezí 1350-1400 °C.

### 4.4.8 Diskuze výsledků etapy 4

V této etapě měla být navržena finální receptura pro výrobu lehčeného žáruvzdorného Izosparu. Chemické přísady opět zvyšovaly vlhkost výrobní směsi, snižovaly objemovou hmotnost výsušku i vypálených vzorků, dokonce i smrštění pálením a součinitele tepelné vodivosti. Vuppor má za následek snížení citlivosti k sušení u vylehčených vzorků. Ovšem ani kombinací škrobu s Vupporem se nepodařila zvýšit pevnost v tlaku, hodnota této veličiny s přidávajícím množstvím přísady klesá, což je opět v souladu se snižující se objemovou hmotností. Kladným výsledkem této etapy je, že Vuppor zcela vyloučil černá jádra, která se u vzorků vůbec nevytvořila.

Vylehčené vzorky vypálené na 950 °C vykazují velmi malé hodnoty pevnosti v tlaku, ovšem vzorky vypálené na 1200 °C dosahují vyšších hodnot při relativně nízkých hodnotách objemové hmotnosti. Nejlepší výsledky vykazují vzorky s 30 % pilin, kdy při objemové hmotnosti 742 kg/m<sup>3</sup> mají pevnost 1,8 MPa, ovšem vzorky vypálené na 1200 °C jsou popraskané, což by mohlo vést k problémům při užití výrobků v provozu.

## 5 Závěr

V praktické části byly navrženy různé směsi pro výrobu lehčeného žáruvzdorného výrobku Izosparu společnosti SEEIF Ceramic, a.s. ve Svitavách. Směsi byly nelehčené (zkoušky vstupních surovin) i vylehčené vyhořívajícím lehčivem, pilinami a modifikované chemickými přísadami, a to především přísadou Vuppor I, která byla přidávána za účelem dosažení vyšších užitných vlastností. Cílem bylo se ideálně dostat na hodnoty objemové hmotnosti  $650 \text{ kg/m}^3$ , pevnosti v tlaku 1,2 MPa a klasifikační teploty  $1300 \text{ }^\circ\text{C}$ , ale také snížit citlivosti k sušení, součinitele tepelné vodivosti, atd. Dále byly modifikovány škrobem, Dextrinem a Lovosou, které měly zlepšit reologické vlastnosti (které Vuppor zhoršoval) pro tažení Izosparu na šnekovém vakuovém lisu. A následné posouzení zda je ekonomicky reálné dosáhnout ideálních hodnot.

V první etapě praktické části byly navrženy směsi ze vstupních surovin (jíl MM a Fia, kaolín DSA) a jedna směs vylehčená (jíl MM, kaolín a piliny) byla navrhována na základě informací o originální receptuře společnosti SEEIF Ceramic, a.s. Vuppor byl přidáván v množství 0 %, 0,25 %, 0,5 %, 0,75 % a 1 % z hmotnosti sušiny. Vzorky byly vypáleny na  $950$  a  $1200 \text{ }^\circ\text{C}$ . Chemická přísada funguje v plastickém těstě jako flokulant, kde s přidávajícím množstvím roste i vlhkost. Ve vysušených vzorcích působí na pojivové bázi, která zafixuje póry v mikrostruktuře a snižuje tak citlivost k sušení. Mezi další kladné výsledky Vupporu v této části patří snížení objemové hmotnosti výsušků i vypálených vzorků, zlepšení tepelněizolačních vlastností a eliminace černého jádra u vylehčených vzorků. Negativní výsledky Vuppor vykazoval u zkoušky pevností, kde se vzhledem ke snižující se objemové hmotnosti snižovaly i hodnoty pevnosti v ohybu u nevylehčených vzorků a pevnosti v tlaku u vylehčených vzorků, a u zkoušky celkového smrštění, které zvyšoval. Pro další etapy byla následně zvolena dávka Vupporu 0,75 % z hmotnosti suché směsi.

V další etapě, v laboratorních podmínkách, byly navrženy dvě směsi (1. jíl MM, kaolín, piliny, 2. jíl Fia, piliny) s nadvazbou lupku PGL 1-2. Toto ostřívo mělo vytvořit kostru ve vzorcích a snížit tak hodnoty smrštění sušením, třetí směs byla tvořena pouze z jílu Fia a pilin bez lupku. Vuppor byl přidáván v množství 0,75 %

ze sušiny a vypalovací teplota vzorků byla 950 a 1200 °C. Tato chemická přísada opět snížila citlivost k sušení, objemové hmotnosti výsušků i vypálených vzorků, součinitele tepelné vodivosti a ostřivo mírně napomohlo ke snížení smrštění sušením. Mezi negativní vlastnosti se opět řadí snížení pevnosti v tlaku, ale i zvýšení hodnot délkové změny pálením a délkové změny celkové (pouze u směsi jílu Fia, pilin a lupku se hodnoty celkové délkové změny s Vupporem snižovaly). Jak ukazují výsledky po výpalu, Vuppor s jílem Fia vytváří mikrostrukturu s větším počtem malých pórů vhodných pro lehčený šamotový střep.

Dále byla provedena poloprovozní zkouška, a to ve výrobním závodu společnosti SEEIF Ceramic, a.s. ve Svitavách. Vuppor zde zhoršoval tažení na šnekovém vakuovém lisu a nesnižoval výrazně objemovou hmotnost.

Poslední zkoušky této etapy byly provedeny na vzorcích, kde byly použity smrkové a dubové piliny. Vzhledem k jejich porovnání můžeme uvažovat o možnosti použití pilin z tvrdého dřeva pro výrobu izolačních žáruvzdorných tvarovek pro zlepšení užitných vlastností.

Ve třetí etapě bylo použito dalších chemických přísad (škrob, Dextrin a Lovosa) s jílem Fia pro zlepšení technologických vlastností plastického těsta, které Vuppor zhoršoval. Vzorky byly vypáleny na 950, 1100 a 1200 °C. Co se týče výsledků užitných vlastností, mezi přísadami a množstvím jejich dávky není podstatný rozdíl. Velmi pozitivním výsledkem je pevnost v tlaku 2,3 MPa při objemové hmotnosti 702 kg/m<sup>3</sup> u vzorků, které obsahují 2 % Lovosy, jsou vypálené na 1100 °C a jsou vylehčené pilinami. Každopádně Lovosa vytvoří na vysušujících se vzorcích krustu a je velmi citlivá na sušení, proto není úplně vhodná do běžného provozu.

V poslední etapě byly navrženy dvě receptury s jílem Fia, kde se měl doplňovat Vuppor - pro zlepšení užitných vlastností se škrobem - pro zlepšení technologických vlastností. Jedna směs nevylehčená s různým množstvím škrobu (jedna směs se dvěma procenty Lovosy) a druhá vylehčená pilinami, kde byla zvolena dávka škrobu 1 % ze suché směsi jako účinná a ekonomická dávka.

Vuppor byl opět přidáván v dávce 0,75 % ze sušiny. V této etapě byla provedena také zkouška klasifikační teploty, která u vzorků splnila ideální hodnoty (1300 °C), naměřená klasifikační teplota byla dokonce v rozmezí 1350-1400 °C (u vzorků vypálených na 1200 °C). Ovšem celkově tato etapa nedosahovala očekávaných výsledků. Kombinace dvou přísad dohromady nepřinesla výrazné zlepšení oproti výsledkům jednotlivých přísad samostatně.

Aplikace chemické přísady Vuppor I pro výrobu lehčených šamotových výrobků, jako je Izospar, není z ekonomického hlediska vhodná - výrazně nezlepšuje užité vlastnosti v kombinaci s použitými materiály a navíc z technologického hlediska výrazně zhoršuje tažení výrobků z plastického těsta. V provozu společnosti SEEIF Ceramic, a.s. však Vuppor I našel své uplatnění v této oblasti keramiky a je využíván pro výrobu velkých tvarovek (jejich velikost umožňuje lepší tažení), kdy byl oceněn vliv Vupporu na snížení výskytu černého jádra snížení a zamezení vzniku trhlin.

# Seznam použitých zdrojů

## Literární zdroje

- [1] BUDNIKOV, Petro Petrovyč a kol. *Technologie keramiky a žárovzdorného zboží*. 1. vyd. Praha: Státní nakladatelství technické literatury, 1960, 600 s.
- [2] HANYKÝŘ, Vladimír a Jaroslav KUTZENDÖRFER. *Technologie keramiky*. 2. Vyd., V silikátovém svazu 1. Praha: Silikátový svaz, 2008, 387 s., s. barev. obr., příl. ISBN 978-80-86821-48-1. Vega, s.r.o., 2000. 287 s. ISBN 80-900860-6-3.
- [3] LACH, Vladimír. *Teoretické základy výroby pálených stavebních látek: keramika II*. 1. vyd. Brno: VUT, 1989, 131 s.
- [4] LANG, Karel. *Žárovzdorné materiály, díl 2*. 1. vyd. Praha: ČSVTS – Silikátová společnost České republiky, 2010, 128 s. ISBN 978-80-02-02244-2
- [5] NEVŘISOVÁ, Lenka. *Speciální keramika: Žárovzdorné materiály, Modul BJ14-M04*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, 2006. 68 s.
- [6] PYTLÍK, Petr a Radomír SOKOLÁŘ. *Stavební keramika: Technologie, vlastnosti a využití*. Brno: Akademické nakladatelství CERM, 2002, 287 s. ISBN 80-7204-234-3.
- [7] SOKOLÁŘ, R. *Keramika, Modul BJ01-M01*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, 2006, 176 s.
- [8] SOKOLÁŘ, Radomír, Lenka NEVŘISOVÁ, Lucie VODOVÁ a Simona GRYGAROVÁ. *Žárovzdorné jíly v ČR a metodika posuzování jejich vlastností*. 1. vyd. Brno: Akademické nakladatelství CERM, 2012, 183 s. ISBN 978-80-7204-817-5.
- [9] SOKOLÁŘ, Radomír a Lenka SMETANOVÁ. *Keramika – laboratoře, Modul BJ02-M01*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, 2006, 120 s.
- [10] VALENTA, Ladislav. *Keramická příručka*. 2. vyd. Praha: Silikátový svaz, 2007, 417 s. ISBN 978-80-86821-46-7.
- [11] VEJVODA, Josef. *Výroba žárovzdorného zboží*. 1. vyd. Praha: Státní nakladatelství technické literatury, 1957, 252 s., příl.



## Články v časopise

- [12] KALA, David. *Keramik*. SEEIF Ceramic, a.s., 2014, č. 5. s. 6.
- [13] NEVŘIVOVÁ, Lenka. *Cenosféry, nová možnost lehčení žárovzdomných materiálů*. Brno: VUT, 2004, 1 s. ISBN 80-214-2560-1.
- [14] SOKOLÁŘ, Radomír a Aleš PETRŮ. *Využití čistírenského kalu při lehčení cihlářského střepu*. Stavební obzor, 2009, roč. 18, č. 9, s. 266-269. ISSN 1210-4027
- [15] ŠVÉDA, Mikuláš. *Chemická přísada VUPPOR 2*. Keramický zpravodaj. 2011, roč. 27, č. 3, s. 11-15.
- [16] ŠVÉDA, Mikuláš a Ladislav KOMORA. *Odpad z výroby organických kyselin může zlepšit vlastnosti tehliarskych výrobkov*. Waste formum, 2011, roč. 7, č. 3, s. 72.
- [17] ŠVÉDA, Mikuláš, Lubomír BÁGEL and Ladislav KOMORA. *A new possibility for pore-forming in the clay body*. Zeegelindustrie international. 1996, vol. 49, no. 4, p. 277.
- [18] ŠVÉDA, Mikuláš, Ján RYBÁK and Zuzana GOMOLOVÁ. *Improvmnt of production and product characteristics with Vuppor*. Zeegelindustrie international. 1997, vol. 50, no. 3, p. 164.

## Články v elektronickém časopise

- [19] ANDREWS, Anthony, Joseph ADAM and Simon K. Z. GAWU. *Development of fireclay aluminosilicate refractory from lithomargic clay deposit. A review*. Science Direct [online]. 2012, [cit. 2014-1-3]. Dostupné z www: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0272884212006207>
- [20] SUTCU Mucahit, AKKURT Sedat, BAYRAM Alican and ULUCA Uluc. *Production of anorthite refractory insulating firebrick from mixtures and recycled paper waste with sawdust addition*. Science Direct [online]. 2012, [cit. 2014-1-3]. Dostupné z www: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0272884211007371>

## Internetové zdroje

- [21] LOVOCHEMIE Lovosice, [online]. [cit. 2014-9-12] Dostupné z www:  
<http://www.lovochemie.cz/Produkty/Produkt/LOVOSA-T20-TS20.html>
- [22] Rath group, [online]. [cit. 2014-29-4] Dostupné z www:  
<http://www.rath-group.com/en/products/>
- [23] SEEIF Ceramic, a.s., [online]. [cit. 2014-29-4] Dostupné z www:  
<http://www.seeifceramic.cz/pages/cs/vyroby/slevarny-oceli-a-litiny.php>

## Normy

ČSN 72 1074 - Stanovení optimální a pracovní vlhkosti keramických těst  
Pfefferkornovým přístrojem

CSN 72 1083 - Termické rozborů keramických surovin

ČSN 72 1330 - Jílové suroviny. Základní technické požadavky

ČSN 72 1565 1 – 14 - Zkoušení cihlářských zemin

ČSN EN 993 - 14 - Zkušební metody pro žárovzdorné výrobky tvarové hutné –  
Stanovení tepelné vodivosti metodou topného drátu

ČSN 72 6100 - Žárovzdorné malty, tmely a nátěry

## Seznam použitých zkratek a symbolů

RTG rentgenová difrakční analýza

DTA difrakční termická analýza

DKTA dilatometrická termická analýza

CSB citlivost k sušení podle Bigota [-]

DS délková změna sušením [%]

DP délková změna výpalem [%]

OH objemová hmotnost [ $\text{kg/m}^3$ ]

W vlhkost [%]

$\lambda$  součinitel tepelné vodivosti [ $\text{W}/(\text{m}\cdot\text{K})$ ]

R pevnost v ohybu [MPa]

$\sigma$  pevnost v tlaku [MPa]

# Seznam použitých tabulek a obrázků

## Tabulky

Tabulka 1: Vliv dávky přísady na vlastnosti výrobku [17].....	22
Tabulka 2: Porovnání výrobku tuzemského a zahraničního výrobce [22,23].....	30
Tabulka 3: Fyzikální hodnoty obou směsí [20] .....	34
Tabulka 4: Chemické složení jílu MM.....	43
Tabulka 5: Vliv vypalovací teploty na objemovou hmotnost .....	46
Tabulka 6: Chemické složení jílu Fia.....	47
Tabulka 7: Chemické složení kaolínu DSA [2].....	48
Tabulka 8: Složení výrobní směsi z jílu MM .....	50
Tabulka 9: Složení výrobní směsi z kaolínu DSA .....	50
Tabulka 10: Složení výrobní směsi S .....	51
Tabulka 11: Složení výrobní směsi z jílu Fia .....	51
Tabulka 12: Vypočtené hodnoty deformačního poměru, průměrné smrštění sušení a objemová hmotnost výsušku .....	55
Tabulka 13: Vypočtené průměrné hodnoty objemové hmotnosti, smrštění pálením a smrštění celkové .....	57
Tabulka 14: Vypočítané průměrné hodnoty pevnosti v ohybu, součinitele tepelné vodivosti a pevnosti v tlaku.....	59
Tabulka 15: Složení výrobní směsi.....	63
Tabulka 16: Vypočtené průměrné hodnoty Izosparu .....	64
Tabulka 17: Vypočtené průměrné hodnoty objemové hmotnosti a pevnosti v tlaku .....	65
Tabulka 18: Složení výrobní směsi SL .....	67
Tabulka 19: Složení výrobní směsi FP .....	67
Tabulka 20: Složení výrobní směsi FPL .....	68
Tabulka 21: Vypočtené hodnoty deformačního poměru, průměrné smrštění sušením a objemová hmotnost výsušku.....	70
Tabulka 22: Vypočtené průměrné hodnoty objemové hmotnosti, smrštění pálením a smrštění celkové .....	71

Tabulka 23: Naměřené průměrné hodnoty součinitele tepelné vodivosti a pevnosti v tlaku .....	73
Tabulka 24: Složení výrobní směsi.....	75
Tabulka 25: Složení výrobní směsi.....	77
Tabulka 26: Vypočtené hodnoty deformačního poměru, průměrné smrštění sušením a objemová hmotnost výsušku.....	77
Tabulka 27: Vypočtené průměrné hodnoty objemové hmotnosti, smrštění pálením a smrštění celkové .....	78
Tabulka 28: Naměřené průměrné hodnoty součinitele tepelné vodivosti a pevnosti v tlaku .....	80
Tabulka 29: Složení výrobní směsi se škrobem .....	82
Tabulka 30: Složení výrobní směsi s Lovosou .....	82
Tabulka 31: Složení výrobní směsi vylehčené s Lovosou .....	82
Tabulka 32: Vypočtené hodnoty deformačního poměru, průměrné smrštění sušením a objemová hmotnost výsušku.....	85
Tabulka 33: Vypočtené průměrné hodnoty objemové hmotnosti, smrštění pálením a smrštění celkové .....	86
Tabulka 34: Naměřené průměrné hodnoty součinitele tepelné vodivosti a pevnosti ohybu a tlaku .....	89
Tabulka 35: Složení výrobní směsi.....	92
Tabulka 36: Vypočtené průměrné hodnoty objemové hmotnosti, smrštění pálením a smrštění celkové .....	93
Tabulka 37: Naměřené průměrné hodnoty součinitele tepelné vodivosti a pevnosti v tlaku .....	94
Tabulka 38: Složení výrobní směsi FRV a FOV .....	96
Tabulka 39: Složení výrobní směsi FPRV .....	96
Tabulka 40: Vypočtené hodnoty deformačního poměru, průměrné smrštění sušením a objemová hmotnost výsušku.....	99
Tabulka 41: Vypočtené průměrné hodnoty objemové hmotnosti, smrštění pálením a smrštění celkové .....	100
Tabulka 42: Vypočítané průměrné hodnoty součinitele tepelné vodivosti, pevnosti v ohybu a tlaku .....	102

## Obrázky

Obrázek 1: Záruvzdornosti vyhovující oxidy [6] .....	13
Obrázek 2: Uložení tvarovek Izospar v komorové peci SEEIF Ceramics, a.s., Svitavy .....	16
Obrázek 3: Termická analýza vzorku smrkových pilin .....	19
Obrázek 4: Vliv množství přísady na optimální vlhkosti [17] .....	23
Obrázek 5: Snížení objemové hmotnosti v závislosti na množství přísady VUPPOR I [17] .....	24
Obrázek 6: Snížení pevnosti v tlaku v závislosti na množství přísady VUPPOR I [17] .....	24
Obrázek 7: Závislost doby sušení v závislosti na dávce přísady VUPPOR I [18].	25
Obrázek 8: Závislost objemové hmotnosti na vypalovací teplotě [18] .....	26
Obrázek 9: Závislost součinitele tepelné vodivosti na vypalovací teplotě [18] .....	26
Obrázek 10: Závislost vlhkosti na dávce přísady VUPPOR I a VUPPOR II [15]...	27
Obrázek 11: Závislost součinitele tepelné vodivosti na dávce přísady VUPPOR I a VUPPOR II [15] .....	28
Obrázek 12: Dva nálitky, částečně zaformované a obložené izolací IZOSPAR [12] .....	29
Obrázek 13: Proces tuhnutí odlitku směrem k nálitku (červeně - vysoká teplota, modře - nízká teplota, bíle tuhý kov) [12] .....	30
Obrázek 14: Vliv vypalovací teploty na objemovou hmotnost [19] .....	32
Obrázek 15: Vliv vypalovací teploty na smrštění pálením [19] .....	32
Obrázek 16: Vliv vypalovací teploty na pevnost v tlaku [19] .....	33
Obrázek 17: Vliv vypalovací teploty na délkové změny u směsi s jílem K244 [20]	35
Obrázek 18: Vliv vypalovací teploty na délkové změny u směsi se šamotovým jílem [20] .....	35
Obrázek 19: Fotografie ze SEM analýzy vzorku s jílem K244 a přídatkem pilin (a) 0 %, (b) 10 %, (c) 20 %, (d) 30 % [20] .....	36
Obrázek 20: Znázornění pórovitosti u vzorků s šamotovým jílem [20] .....	36
Obrázek 21: Fotografie ze SEM analýzy vzorku s šamotovým jílem a přídatkem pilin (a) 0 %, (b) 10 %, (c) 20 %, (d) 30 % [20] .....	37
Obrázek 22: Záznam RTG jílu MM .....	43

Obrázek 23: Bigotova křivka jílu MM .....	44
Obrázek 24: DKTA jílu MM.....	45
Obrázek 25: TG-DTA jílu MM .....	46
Obrázek 26: Záznam RTG jílu Fia.....	47
Obrázek 27: DKT jílu Fia .....	48
Obrázek 28: DKTA kaolínu DSA .....	49
Obrázek 29: Vliv dávky Vupporu na vlhkost výrobní směsi .....	52
Obrázek 30: Bigotovy křivky směsi z jílu MM s různým množstvím Vupporu .....	52
Obrázek 31: Bigotovy křivky směsi z kaolínu DSA s různým množstvím Vupporu.....	53
Obrázek 32: Bigotovy křivky směsi jílu MM, kaolínu a pilin s různým množstvím Vupporu.....	53
Obrázek 33: Bigotovy křivky směsi jílu Fia s různým množstvím Vupporu .....	54
Obrázek 34: Vliv dávky Vupporu na koeficient citlivosti k sušení .....	54
Obrázek 35: Vliv Vupporu na smrštění sušením .....	56
Obrázek 36: Vliv Vupporu na objemovou hmotnost výsušku.....	56
Obrázek 37: Vliv dávky Vupporu na objemovou hmotnost (výpal 950 °C).....	58
Obrázek 38: Vliv dávky Vupporu na objemovou hmotnost (výpal 1200 °C).....	58
Obrázek 39: Vliv dávky Vupporu na smrštění pálením (výpal 1200 °C) .....	58
Obrázek 40: Vliv dávky Vupporu na smrštění pálením (výpal 950 °C) .....	58
Obrázek 41: Vliv dávky Vupporu na smrštění celkové (výpal 1200 °C).....	59
Obrázek 42: Vliv dávky Vupporu na smrštění celkové (výpal 950 °C).....	59
Obrázek 43: Vliv dávky Vupporu na pevnost v ohybu jílu MM, Fia a kaolínu (1200 °C) .....	61
Obrázek 44: Vliv dávky Vupporu na pevnost v ohybu jílu MM, Fia a kaolínu (950 °C) .....	61
Obrázek 45: Vliv dávky Vupporu na součinitele tepelné vodivosti směsi jílu MM, kaolínu a pilin .....	61
Obrázek 46: Vliv dávky Vupporu na pevnost v tlaku směsi jílu MM, kaolínu a pilin .....	61
Obrázek 47: Bigotova křivka Izosparu .....	64
Obrázek 48: Srovnání DKTA Izosparu a jeho vstupních surovin.....	65
Obrázek 49: DKTA Izosparu a výrobku společnosti Rath.....	66

Obrázek 50: Snímek elektronového mikroskopu výrobku Porrath FL 24-06.....	66
Obrázek 51: Vliv dávky Vupporu na vlhkost výrobní směsi .....	68
Obrázek 52: Bigotovy křivky směsi z jílu MM, kaolínu, pilin a lupku s různým množstvím Vupporu .....	69
Obrázek 53: Bigotovy křivky směsi z jílu Fia a pilin s různým množstvím Vupporu .....	69
Obrázek 54: Vliv dávky Vupporu na koeficient citlivosti k sušení .....	70
Obrázek 55: Vliv dávky Vupporu na smrštění sušením .....	71
Obrázek 56: Vliv dávky Vupporu na objemovou hmotnost výsušku .....	71
Obrázek 57: Vliv dávky Vupporu na objemovou hmotnost (výpal 950 °C).....	72
Obrázek 58: Vliv dávky Vupporu na objemovou hmotnost (výpal 1200 °C).....	72
Obrázek 59: Vliv dávky Vupporu na smrštění pálením (výpal 1200 °C) .....	72
Obrázek 60: Vliv dávky Vupporu na smrštění pálením (výpal 950 °C) .....	72
Obrázek 61: Vliv dávky Vupporu na smrštění celkové (výpal 950 °C).....	73
Obrázek 62: Vliv dávky Vupporu na smrštění celkové (výpal 1200 °C).....	73
Obrázek 63: Vliv dávky Vuppor na součinitele tepelné vodivosti (1200 °C) .....	74
Obrázek 64: Vliv dávky Vuppor na součinitele tepelné vodivosti (950 °C) .....	74
Obrázek 65: Vliv dávky Vupporu na pevnost v tlaku (950 °C) .....	74
Obrázek 66: Vliv dávky Vupporu na pevnost v tlaku (1200 °C) .....	74
Obrázek 67: tažení vzorků směsi PP 1.1.....	76
Obrázek 68: Porovnání vlhkosti směsí se smrkovými a dubovými pilinami.....	77
Obrázek 69: Porovnání objemové hmotnosti výsušku směsí se smrkovými a dubovými pilinami.....	78
Obrázek 70: Porovnání smrštění sušením směsí se smrkovými a dubovými pilinami .....	78
Obrázek 71: Porovnání objemové hmotnosti směsí se smrkovými a dubovými pilinami.....	79
Obrázek 72: Porovnání smrštění celkového směsí se smrkovými a dubovými pilinami .....	79
Obrázek 73: Porovnání smrštění pálením směsí se smrkovými a dubovými pilinami .....	79



Obrázek 74: Porovnání součinitele tepelné vodivosti směsí se smrkovými a dubovými pilinami.....	80
Obrázek 75: Porovnání pevnosti v tlaku směsí se smrkovými a dubovými pilinami .....	80
Obrázek 76: Vliv dávky přísady na vlhkost výrobní směsi.....	83
Obrázek 77: Bigotovy křivky směsi jílu Fia s různým množstvím škrobu a Lovosy .....	84
Obrázek 78: Vliv dávky přísady na koeficient citlivosti k sušení .....	84
Obrázek 79: Vliv dávky přísady na smrštění sušením.....	85
Obrázek 80: Vliv dávky přísady na objemovou hmotnost výsušku .....	85
Obrázek 81: Vliv dávky Lovosy na objemovou hmotnost směsi R .....	87
Obrázek 82: Vliv dávky Lovosy na objemovou hmotnost směsi O .....	87
Obrázek 83: Vliv dávky Lovosy na objemovou hmotnost směsi FPO.....	87
Obrázek 84: Vliv dávky škrobu na smrštění pálením směsi R.....	87
Obrázek 85: Vliv dávky Lovosy na smrštění pálením směsi O .....	87
Obrázek 86: Vliv dávky Lovosy na smrštění pálením směsi FPO .....	88
Obrázek 87: Vliv dávky Lovosy na smrštění celkové směsi O.....	88
Obrázek 88: Vliv dávky škrobu na smrštění celkové směsi R .....	88
Obrázek 89: Vliv dávky Lovosy na smrštění celkové směsi FPO.....	89
Obrázek 90: Vliv škrobu na součinitele tepelné vodivosti směsi R.....	90
Obrázek 91: Vliv Lovosy na součinitele tepelné vodivosti směsi O .....	90
Obrázek 92: Vliv Lovosy na součinitele tepelné vodivosti směsi FPO.....	90
Obrázek 93: Vliv Lovosy na pevnost v ohybu směsi O.....	91
Obrázek 94: Vliv Lovosy na pevnost v ohybu směsi R.....	91
Obrázek 95: Vliv Lovosy na pevnost v tlaku směsi FPO .....	91
Obrázek 96: Bigotova křivka směsi PP 2.....	92
Obrázek 97: Porovnání objemové hmotnosti střepu vypáleného na různé teploty.....	93
Obrázek 98: Porovnání smrštění pálením střepu vypáleného na různé teploty....	93
Obrázek 99: Porovnání celkového smrštění střepu vypáleného na různé teploty	93
Obrázek 100: Porovnání součinitele tepelné vodivosti střepu vypáleného na různé teploty.....	94

Obrázek 101: Porovnání pevnosti v tlaku střepu vypáleného na různé teploty ....	94
Obrázek 102: Vliv dávky přísad na vlhkost výrobní směsi .....	97
Obrázek 103: Bogotovy křivky směsi jílu Fia, škrobu/Lovosy, Vupporu.....	97
Obrázek 104: Bogotovy křivky směsi jílu Fia, škrobu, Vupporu a pilin.....	98
Obrázek 105: Vliv dávky přísad na koeficient citlivosti k sušení .....	98
Obrázek 106: Vliv dávky přísady na smrštění sušením.....	99
Obrázek 107: Vliv dávky přísady na objemovou hmotnost výsušku .....	99
Obrázek 108: Vliv dávky přísad na objemovou hmotnost (950 °C) .....	100
Obrázek 109: Vliv dávky přísad na objemovou hmotnost (1200 °C) .....	100
Obrázek 110: Vliv dávky přísad na smrštění pálením (950 °C) .....	101
Obrázek 111: Vliv dávky přísad na smrštění pálením (1200 °C) .....	101
Obrázek 112: Vliv dávky přísady na smrštění celkové (1200 °C).....	101
Obrázek 113: Vliv dávky přísady na smrštění celkové (950 °C).....	101
Obrázek 114: Směs jílu Fia + 27 % pilin + 1 % škrobu + 0,75 % Vupporu .....	102
Obrázek 115: Směs jílu Fia + 30 % pilin + 1 % škrobu + 0,75 % Vupporu .....	102
Obrázek 116: Vliv přísad na součinitele tepelné vodivosti (950 °C) .....	103
Obrázek 117: Vliv přísad na součinitele tepelné vodivosti (1200 °C) .....	103
Obrázek 118: Vliv škrobu na pevnost v ohybu .....	103
Obrázek 119: Vliv přísad na pevnost v tlaku .....	103