

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

# VYUŽITÍ NEVYHOŘÍVAJÍCÍCH LEHČIV PRO LEHČENÍ CIHLÁŘSKÉHO STŘEPU

INCOMBUSTIBLE LIGHTWEIGHTING AGENTS FOR BRICK BODY

DIPLOMOVÁ PRÁCE  
DIPLOMA THESIS

AUTOR PRÁCE  
AUTHOR

BC. VOJTĚCH SUK

VEDOUCÍ PRÁCE  
SUPERVISOR

doc. Ing. RADOMÍR SOKOLÁŘ, Ph.D.



# 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. Vojtěch Suk
<b>Název</b>	Využití nevyhořívajících lehčiv pro lehčení cihlářského střepu
<b>Vedoucí diplomové práce</b>	doc. Ing. Radomír Sokolář, Ph.D.
<b>Datum zadání diplomové práce</b>	31. 3. 2015
<b>Datum odevzdání diplomové práce</b>	15. 1. 2016
V Brně dne 31. 3. 2015	

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

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

## Podklady a literatura

- [1] Hanykýt V., Kutzendörfer J., Technologie keramiky, Vega s.r.o. 2000, ISBN 80-900860-6-3
- [2] Sokolář, R. Keramika/Modul BJ01-M01. Brno: Vysoké učení technické, Fakulta stavební, [2006]. 176 s
- [3] Sokolář, R., Smetanová, L. Keramika - laboratoře/Modul BJ02-M01. Brno: Vysoké učení technické, Fakulta stavební, [2006]. 120 s.
- [4] Pytlík, P., Sokolář, R. Stavební keramika. Technologie, vlastnosti a využití. CERM Brno 2002, ISBN 80-7204-234-3
- [5] Valenta, L. Keramická příručka. Vydavatelství technické literatury. Horní Maršov 1999.

## Zásady pro vypracování

Cihlářská technologie se v posledních letech neustále potýká s hledáním vhodného a zejména ekonomicky vhodného druhu lehčiva. Pro další vylehčení střepu již nelze počítat se zvýšením obsahu vyhořívajících lehčiv (piliny, papírenský kal, petrokoks).

Cílem diplomové práce je:

- posoudit možnost využití aditiva Vuppor pro snížení objemové hmotnosti cihlářských střepů pro různé typy cihlářských zemin užívaných pro výrobu tepelně izolačních tvarovek typu THERM v ČR (Novosedly, Jezernice, Týn nad Vltavou),
- navrhnout příměs vhodného pojiva (škrob, karboxymethylcelulóza, akrylát), které by bylo schopno zvýšit účinnost Vupporu.
- posoudit vliv uvedených aditiv a jejich kombinací na vlastnosti plastického těsta (obsah rozdělovací vody, délkové změny sušením, citlivost k sušení, objemová hmotnost a pevnost výsušku) a vypáleného střepu (objemová hmotnost, pevnost, modul pružnosti, součinitel tepelné vodivosti, délkové změny výpalem).

Rozsah práce 50 - 60 stran.

## Struktura bakalářské/diplomové práce

VŠKP vypracujte a rozčleňte podle dále uvedené struktury:

1. Textová část VŠKP zpracovaná podle Směrnice rektora "Úprava, odevzdávání, zveřejňování a uchovávání vysokoškolských kvalifikačních prací" a Směrnice děkana "Úprava, odevzdávání, zveřejňování a uchovávání vysokoškolských kvalifikačních prací na FAST VUT" (povinná součást VŠKP).
2. Přílohy textové části VŠKP zpracované podle Směrnice rektora "Úprava, odevzdávání, zveřejňování a uchovávání vysokoškolských kvalifikačních prací" a Směrnice děkana "Úprava, odevzdávání, zveřejňování a uchovávání vysokoškolských kvalifikačních prací na FAST VUT" (nepovinná součást VŠKP v případě, že přílohy nejsou součástí textové části VŠKP, ale textovou část doplňují).

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

## **Abstrakt**

Tato diplomová práce se zabývá možností snížení objemové hmotnosti cihlářských střepeů pomocí chemické přísady Vuppor pro různé typy zemin, které se používají pro výrobu tepelně izolačních tvarovek typu THERM. Popisuje možnosti využití vhodných přísad (škrob, karboxymethylcelulóza, akrylátová disperze), které by byly schopny kombinací s přísadou Vuppor sledované vlastnosti vylepšit.

## **Klíčová slova**

cihářský výrobek, Vuppor, nevyhořívající lehčivo, objemová hmotnost, vylehčení, pórovitost, přísada

## **Abstract**

This diploma thesis deals with the possibility of reducing the density of the brick body using the chemical additive Vuppor for different types of soil, which are used for the production of thermal insulating products such as type THERM. Describes the availability of suitable additives (starch, carboxymethylcellulose, acrylic dispersion) that are capable of combining with the additive Vuppor to improve the observation properties.

## **Keywords**

brick body, Vuppor, lightweighting agents, density, lightening, porosity, additive



### **Bibliografická citace VŠKP**

Bc. Vojtěch Suk *Využití nevyhořívajících lehčiv pro lehčení cihlářského střepe.*  
Brno, 2016. 87 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 zpracoval samostatně pod vedením doc. Ing. Radomíra Sokoláře, Ph.D. a že jsem uvedl všechny použité informační zdroje.

V Brně dne 15.1. 2016

.....  
podpis autora

Bc. Vojtěch Suk

**Poděkování:**

Na tomto místě bych chtěl poděkovat vedoucímu diplomové práce panu doc. Ing. Radomíru Sokolářovi, Ph.D. za cenné rady, konzultace a odborné vedení při zpracování diplomové práce.

## Obsah

<b>1 Úvod</b> .....	<b>10</b>
<b>2 Cíl</b> .....	<b>11</b>
<b>3 Teoretická část</b> .....	<b>12</b>
<b>3.1 Cihlářské zeminy</b> .....	<b>12</b>
3.1.1 Cihlářské hlíny .....	12
3.1.2 Cihlářské jíly .....	13
<b>3.2 Technologický postup výroby</b> .....	<b>14</b>
3.2.1 Těžba.....	14
3.2.2 Příprava suroviny.....	14
3.2.3 Vytváření v cihlářství.....	14
<b>3.3 Proces sušení</b> .....	<b>15</b>
<b>3.4 Výpal výrobků</b> .....	<b>16</b>
<b>3.5 Tvarovky typu THERM</b> .....	<b>16</b>
<b>3.6 Lehčení výrobků</b> .....	<b>17</b>
3.6.1 Alternativní možnosti vylehčení - Vuppor .....	18
3.6.2 Rešerše dosavadních výsledků [12] [13].....	19
3.6.3 Rešerše dosavadních výsledků [14] .....	23
3.6.4 Rešerše dosavadních výsledků [15] .....	25
3.6.5 Rešerše dosavadních výsledků [26] .....	28
<b>4 Experimentální část</b> .....	<b>31</b>
<b>4.1 Metodika zkoušek</b> .....	<b>31</b>
<b>4.2 Zkoušky vstupních surovin</b> .....	<b>31</b>
4.2.1 Rengenová difrakční analýza (RTG) .....	31
4.2.2 Diferenční termická analýza (DTA) - ČSN 72 1083 .....	32
4.2.3 Dilatometrická termická analýza (DKTA) - ČSN 72 1083 .....	32
<b>4.3 Zkoušky plastického těsta (reologické vlastnosti)</b> .....	<b>32</b>
4.3.1 Plastičnost podle Pfefferkorna - ČSN 72 1074 .....	32
4.3.2 Stanovení vlhkosti pracovní směsi .....	33
4.3.3 Stanovení citlivosti k sušení - ČSN 72 1565 - 11.....	34
<b>4.4 Zkoušky na vysušeném vzorku</b> .....	<b>35</b>
4.4.1 Délková změna sušením - ČSN 72 1565 - 5 .....	35

<b>4.5</b>	<b>Zkoušky na vypáleném vzorku.....</b>	<b>35</b>
4.5.1	Délková změna pálením - ČSN 72 1565 - 5 .....	35
4.5.2	Objemová hmotnost - ČSN 72 1565 - 6.....	36
4.5.3	Zdánlivá pórovitost.....	36
4.5.4	Pevnost v tahu za ohybu - ČSN 72 1565 - 7 .....	36
4.5.5	Modul pružnosti v tahu za ohybu .....	37
4.5.6	Součinitel tepelné vodivosti - ČSN EN 993 - 14 .....	37
<b>4.6</b>	<b>ETAPA 1 .....</b>	<b>38</b>
4.6.1	Vlastnosti použitých cihlářských zemin.....	39
4.6.2	Vytváření zkušebních vzorků.....	41
4.6.3	Diskuze dosažených výsledků etapy 1 .....	54
<b>4.7</b>	<b>ETAPA 2 .....</b>	<b>55</b>
4.7.1	Zkoušené přísady .....	55
4.7.2	Vytváření zkušebních vzorků.....	57
4.7.3	Diskuze dosažených výsledků etapy 2 .....	74
<b>5</b>	<b>Závěr .....</b>	<b>76</b>

## 1 Úvod

Závažným světovým problémem, kterým je potřeba se zabývat, je možnost druhotného využívání odpadů. Ve všech oblastech průmyslu se hledají nová řešení, jak znovu zužítkovat materiály a produkty, které již splnily svoji primární úlohu. Z hlediska trvale udržitelného rozvoje již nelze počítat s ukládáním odpadů na skládky nebo jeho prostým spálením, neboť těmito neekologickými procesy se nenávratně poškozuje životní prostředí. Tato problematika se týká také cihlářského průmyslu. Z doposud běžně využívaných vyhořívajících lehčiv (dřevěné piliny, celulóznové kaly), jejichž přidavkem se dosahuje snížení objemové hmotnosti, se stává poměrně výhodná obchodní komodita. Z dřevěných pilin se dají vyrobit např. pelety s vysokou výhřevností. Proto je třeba hledat vhodné a ekonomicky výhodné druhy lehčiv. Jako jednou z možných variant se jeví vylehčování cihlářského střepeu nevyhořívajícími lehčivami, nebo vytvoření co nejvíce pórovité struktury již v průběhu sušení, za pomoci vhodných přísad a příměsí. Některé chemické přísady, jako třeba Vuppor, byly pro tyto účely již vyvinuty a v některých závodech se jich využívá.

## 2 Cíl

Cílem diplomové práce je posoudit možnost využití aditiva Vuppor, zejména pro snížení objemové hmotnosti cihlářského střepeu na zeminách, které se používají pro výrobu tepelně izolačních tvarovek typu THERM v ČR (Novosedly, Týn nad Vltavou, Jezernice). Dalším dílčím cílem je navrhnout vhodnou příměs, která by byla schopna vlastnosti Vupporu vylepšit a tím zvýšit jeho účinnost a posoudit účinky přísad a jejich kombinací na sledované vlastnosti na plastickém těstě a posléze na vypáleném střepeu.

V rámci teoretické části práce budou uvedeny výsledky získané rešerší odborné literatury a doposud zveřejněných prací, zabývajících se podobnou tematikou.

Experimentální část práce bude rozdělena na 2 etapy. V první etapě budou uvedeny výsledky návrhu různých množství Vupporu na zkoušených zeminách a změnu sledovaných vlastností vlivem přísady. Ve druhé etapě bude na vybrané zemině uveden návrh vhodných příměsí, které by mohly zvýšit účinek Vupporu a vliv jejich přítomnosti na vlastnosti plastického těsta (např. obsah rozdělovací vody, délkové změny, citlivost k sušení, objemová hmotnost) a vypáleného střepeu.

Pro zpracování diplomové práce bude použita metoda komparace, analýzy a syntézy získaných poznatků.

### 3 Teoretická část

#### 3.1 Cihlářské zeminy

Norma ČSN 72 1564 je definuje jako zplodiny přírodního rozkladu hornin, které jsou použitelné pro průmyslovou výrobu buď přímo, ve směsi nebo po vhodné úpravě. Ložiska a zásoby cihlářských zemín se nachází prakticky po celém území ČR. Těžba probíhá na přibližně 73 místech o ročním objemu cca 1,9 mil. m<sup>3</sup> za rok. Zásoby v ložiscích se odhadují na 1,7 miliard m<sup>3</sup> v asi 320 lokalitách. Cihlářské zeminy lze rozdělit podle několika hledisek. Jedním z nich je rozdělení podle obsahu jíloviny, z tohoto hlediska lze cihlářské zeminy rozdělit:

- na cihlářské hlíny s obsahem jíloviny 20 - 50 %
- cihlářské jíly s obsahem jíloviny > 50 %

Cihlářské jíly mohou být nezpevněné (vápnité jíly, slíny) nebo zpevněné (jílovce, slínovce, jílové břidlice). Podle obsahu CaCO<sub>3</sub> se cihlářské zeminy dělí:

- na vápenaté (uhličitanové) s obsahem CaCO<sub>3</sub> > než 5 %
- bezvápenaté s obsahem CaCO<sub>3</sub> do 5 %.

[1]

##### 3.1.1 Cihlářské hlíny

Jsou cihlářské zeminy s vyšším obsahem hrubších příměsí, které působí zároveň jako ostřivo. Jsou poměrně snadno zpracovatelné, umožňují snadné drcení a mletí. Obsah jíloviny 20 - 50 %. Již po vysušení vykazují značnou pevnost zaručující bezproblémovou manipulaci, po výpalu se k pevnosti přidává pórovitost a odolnost vůči povětrnosti. Hlíny lze rozdělit na:

- spraše - malý obsah jíloviny (kolem 20 %), středně plastické, sypké, převažuje prachovina, při výskytu CaCO<sub>3</sub> ve shlucích (cicvárech) mohou vznikat problémy při zpracování
- sprašové hlíny - navětralé spraše, více plastické, menší obsah CaCO<sub>3</sub>
- naplavené hlíny - jemné, plastické suroviny s nízkým obsahem hrubších částí, obsahují až 50 % jíloviny



- svahové a výšínové hlíny - složeny s vyššího množství hrubších příměsí, před použitím nutná úprava suroviny

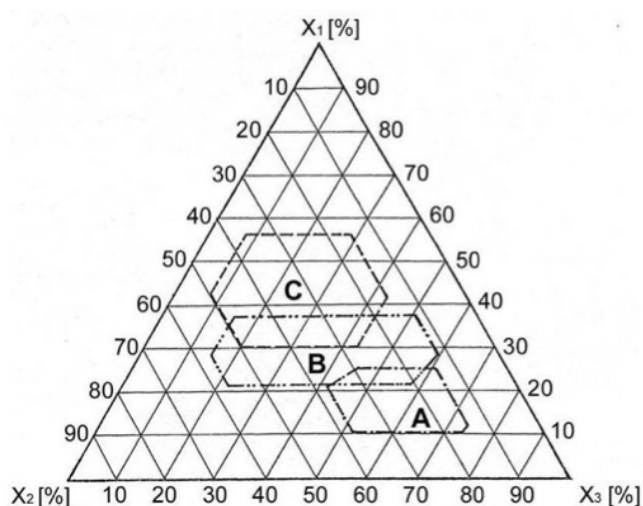
### 3.1.2 Cihlářské jíly

Obsahují více než 50 % jíloviny, mají malý obsah příměsí. Plasticita je oproti cihlářským hlínám vyšší díky jemnějším podílům. Do surovinové směsi se přidávají za účelem zlepšení tvárnosti těsta. Rozdělávání s vodou je pro vysokou soudržnost nesnadné.

[6]

Tabulka č. 1: Rozdělení cihlářských zemin

Vlastnost	A	B	C	D
Obsah těžce držitelných zrn nad 2 mm	<10 %	<5 %	<2 %	<2 %
Smrštění sušením [%]	3,5-5,0	4,0-7,0	5,0-8,0	5,0-8,5
Pevnost v tahu ohybem po výpalu [MPa]	>3	>5	>7	>7
Nasákavost [%]	>12	>12	>12	-
Škodlivost cicváru nesmí snižovat pevnost o více než 20 %, žádné povrchové odštěpky cicváru hlubší než 1 mm, mrazuvzdornost nejméně 25 zmrazovacích cyklů M25, žádná náchylnost k tvorbě výkvětů, jednotná barva vypáleného střepe				
Vhodnost suroviny: A – cihly plné a děrované, B – duté cihly a děrované tvarovky, C- tenkostěnné cihlářské výrobky, D – krytina a obkladové výrobky				



Obr. č. 1: Winklerův diagram: A - základní jednoduché výrobky (cihla plná), B - zdící děrované a velkorozměrové výrobky, C - tenkostěnné výrobky, krytina; X<sub>1</sub> - zrna pod 2 μm; X<sub>2</sub> - zrna 2 - 20 μm, X<sub>3</sub> - zrna nad 20 μm

Zdroj: ČSN 72 1564

## **3.2 Technologický postup výroby**

### **3.2.1 Těžba**

Cihlářské suroviny se těží z ložisek. Před otvirkou ložiska je nutný podrobný geologický průzkum, kterým se určí mocnost suroviny pro těžbu, její složení a minimální zásobu suroviny vyjádřenou na předpokládanou roční těžbu. Cihlářské zeminy se těží povrchově v jedné etáži v blízkosti cihelny, nejčastěji pomocí korečkového nebo lžicového rypadla. Zemina se poté dopraví pomocí polní drážky, pásovými dopravníky nebo nejčastěji nákladními automobily na haldy, kde dochází k částečné homogenizaci suroviny. Haldováním se surovina do určité míry promísí a tím se zlepší její stejnorodost.

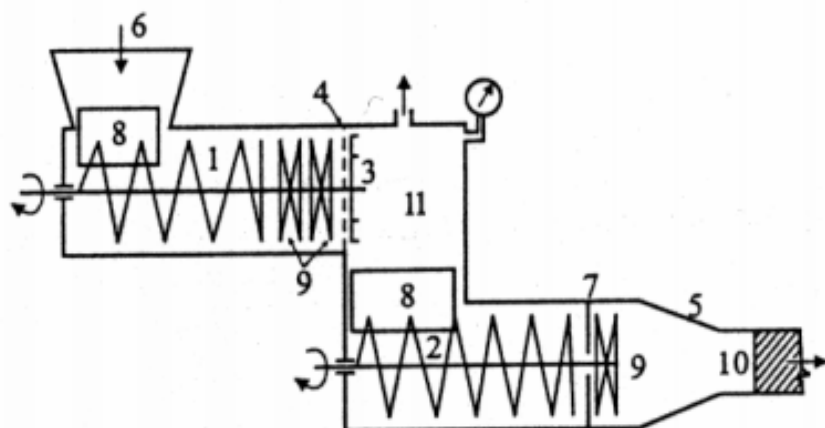
### **3.2.2 Příprava suroviny**

Prvním technologickým procesem při vytváření cihlářských prvků je příprava suroviny. Upravuje vlastnosti natěženého materiálu, aby byla v celém objemu výroby stabilní a optimální vlastnosti (změna množství rozdělovací vody, ostření, odvzdušnění, odležení, přidávání přísad). Zahrnuje také homogenizaci, drcení, mletí a mísení.

[2]

### **3.2.3 Vytváření v cihlářství**

Pro výrobu keramických tvarovek z plastického těsta se nejčastěji užívá tažení plastického těsta - extrudování na horizontálním šnekovém lisu. Těsto, které obsahuje 19 - 27 % vlhkosti je kontinuálně protlačováno skrz ústí šnekového lisu lisovacím tlakem 0,4 - 1,4 MPa. Šnekový lis ve výrobě cihlářských prvků plní funkci zhutňovací, homogenizuje, vytváří lisovací tlak, rozděluje rychlost výtlačku a tvoří hladký povrch. Pásmo vytlačené lisem je pomocí strun krájeno na požadovanou délku výrobku. Tvar a vnitřní dutiny výrobku jsou vytvořeny speciálně tvarovaným ústím na samotném konci lisu.



**Obr. č. 2:** Vakuový šnekový lis: 1 - mísící šnek, 2 - lisovací šnek, 3 - odřezávací rozeta ve vakuové komoře, 4 - protlačovací síto, 5 - lisovací hlava, 6 - podávací otvor, 7 - protinože, 8 - podávací válec, 9 - koncová hlava šneku, 10 - ústí lisu, 11 - vakuová komora



**Obr. č. 3:** Ústí šnekového lisu

[1] [7]

### 3.3 Proces sušení

Cihlářské výrobky z plastického těsta obsahují po vytvoření poměrně velkou část vody. Tuto vodu je nutno před výpalem z výrobku nezávadně odstranit, neboť při jejím rychlém úbytku by ho unikající voda poškodila. Sušárny používané v keramickém průmyslu fungují na principu odnímání vlhkosti z výlisků působením tepla. Nejčastěji se používají sušárny kanálové (kontinuální) nebo komorové (periodicky se zaváží). Jako sušící médium se využívá odpadního tepla z výpalu. Zvýšením rychlosti proudění vzduchu (z 1 na 5 m.s<sup>-1</sup>) rovnoměrně v podélném i příčném směru se zvýší rychlost sušení až o 50 %. Jako nejúčinnější intenzifikace sušícího procesu se jeví impulzivní rytmické sušení (pravidelné střídání intenzivního

proudění vzduchu podél výlisků a pomalého proudění v intervalech 2 až 3 minuty). Intenzifikací a efektivitou moderních sušáren lze sušící proces výrazně zkrátit (na cca 4-6 hodin).

**Tabulka č. 2:** Parametry základních typů sušáren

<b>Sušárna</b>	<b>Komorová</b>	<b>Kanálová</b>
Doba sušení [hod]	36 – 100	15 – 36
Spotřeba tepla [ $\text{kJ} \cdot \text{kg}^{-1} \text{H}_2\text{O}$ ]	4200 – 7500	3500 – 4600
Měrný výkon sušárny [ $\text{kg} \cdot \text{m}^{-3} \cdot \text{h}^{-1}$ ]	1,5 – 3	10 – 30
Hustota zavážky sušárny [ $\text{kg} \cdot \text{m}^{-3}$ ]	150 – 300	200 – 600
Rychlost proudění vzduchu [ $\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$ ]	0,5 – 1,0	1,0 – 5

[10]

### 3.4 Výpal výrobků

V průběhu tohoto technologického procesu získává cihlářský výrobek své konečné vlastnosti. Mění se fyzikální, chemické a mineralogické vlastnosti výsušku. Dochází ke ztrátě hmotnosti výrobku vlivem ochodu vody, vyhoření organických látek a termického rozkladu sloučenin. Výpal cihlářských výrobků probíhá při nižších teplotách (do 1000 °C), po dobu 10 - 30 hodin. Výpal má několik fází. V první fázi dochází k ohřátí výrobku z počáteční teploty na požadovanou teplotu výpalu, následuje fáze izotermické výdrže na této teplotě a postupnému ochlazování. Pro výpal se používá tunelových pecí, kde jsou pohybem pecního vozu výrobky zaváženy do jednotlivých tepelných pásem pece. Spotřeba tepla při výpalu činí 1,3 - 1,9 MJ. Proces výpalu představuje až 50 % nákladů za energii při výrobě cihlářských výrobků.

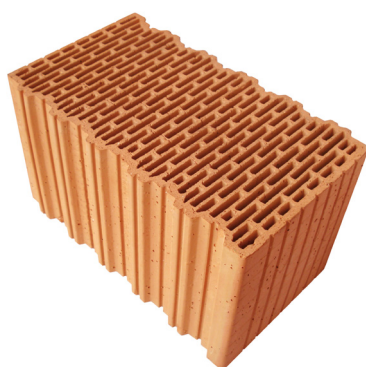
[9]

### 3.5 Tvarovky typu THERM

Cihelné zdivo má za sebou dlouhý vývoj v řádu tisíců let. V důsledku stoupajících požadavků na stavební materiály bylo třeba i keramické výrobky posouvat technologicky dál. Dnes se již díky moderním technologiím a automatizacím výrobních procesů (proces sušení, teplota výpalu) daří zajistit konstantní vlastnosti výrobků. Tvarovky typu THERM jsou posledním stupněm vývoje cihlářských výrobků a systémů. Využívají speciálních tvarů otvorů, vylehčení

struktury jemnými póry, zámkový systém zazubení atd, kterými splňuje současné požadavky na stavební dílo (tepelný odpor, dostatečnou pevnost, difuzi vodních par apod.). Zdivo z broušených tvarovek pro tloušťku stěny 440 mm, které se pokládá na lehkou neboli tepelněizolační maltu má maltovou spáru 1 až 3 mm a dosahuje stejných hodnot součinitele prostupu tepla  $U$  jako stěna z cihel plných pálených o tloušťce 2,36 m. Superizolační cihly jsou schopny plnit požadavky normy na doporučenou hodnotu součinitele prostupu tepla  $U_N=25 \text{ W}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{K}^{-1}$  a to bez použití dodatečných zateplovacích systému. Tvarovky typu THERM jsou standartně dodávány s pevnostmi 8, 10 a 15 MPa, které nejsou z hlediska stavebních materiálů nikterak vysoké, ale spolu s tepelně izolačními vlastnostmi tvoří ideální kompromis jako materiál pro stavbu. Vylehčením dutinami je také snížena hmotnost tvarovky, což zajišťuje rychlou a bezproblémovou manipulaci při výstavbě.

[23]



**Obr. č. 4:** Tvarovka POROTHERM 440 P+D

*Zdroj: [18]*

### 3.6 Lehčení výrobků

Lehčiva se přidávají do keramického těsta s cílem vytvořit pórovitou strukturu cihlářského výrobku. Tím se zlepší jeho tepelné vlastnosti a sníží se objemová hmotnost. Zvýšením pórovitosti však nepřímo úměrně klesá pevnost výrobku. Lehčiva lze rozdělit na:

- působící přímo - v průběhu výpalu vyhoří (obsahují organické složky, které nevydrží vysokou teplotu) a tím vytvoří pórovitou strukturu, nejčastěji se

používají různé odpady (dřevěné piliny, polystyren, korková drť, zemědělské odpady)

- působící nepřímo - suroviny, které mají samy o sobě nízkou objemovou hmotnost (přírodní - křemelina, odpadní - škvára, upravené - perlit)

[10]

### **3.6.1 Alternativní možnosti vylehčení - Vuppor**

Vhodným způsobem jak zvýšit nebo snížit pracovní vlhkost těsta při zachování konstantní plasticity (hodnota deformace dle Pfefferkorna) je aplikace chemických látek, které umí ovlivnit tloušťku (vodní) difuzní dvojvrstvé koloidní micely. Vznik těchto pórů a jejich provázané struktury ve střepech je způsoben v první řadě ztrátou vody v procesu sušení a pálení. Voda se ve výlisku může vyskytovat v různých formách (fyzikálně-mechanických, fyzikálně-chemických a chemických). Pórovitá struktura může být ovlivněna i mineralogickým, granulometrickým a chemickým složením použité cihlářské suroviny. Změna objemu pórů a jejich velikosti také závisí na stupni vypalovací teploty a její výdrži. Přídavek dnes nejčastěji používaných lehčiv (dřevěné piliny, papírenské kaly) s sebou může nést několik problémů - zabezpečení rovnoměrné homogenity výlisku, řezání pásma vytlačovaného lisem a také vznik tzv. černého jádra. Černé jádro je vnitřní oblast vypáleného střepu s jinou barvou (nejčastěji černou nebo šedou). Vznik černého jádra může být způsoben vysokým obsahem organických částic ve výrobku nebo příliš rychlým výpalem. Organické částice nedokonale vyhoří - neozoxidují, ale naopak karbonizují na teplotně odolné formy uhlíku, které již dále nevyhořívají. Černé jádro způsobuje nehomogenitu střepu a tím zhoršuje jeho vlastnosti.

[3] [11]

Jednou z těchto chemických přísad, která byla použita v této diplomové práci je Vuppor. Chemické přísady Vuppor 1 a 2 jsou výrobky z devadesátých let minulého století, které vznikly spoluprací Výzkumného ústavu pro petrochemii v Prievidzi a Katedry materiálového inženýrství Stavební fakulty STU v Bratislavě. Jejím cílem bylo ovlivnění některých technologických pochodů a vlastností cihlářské suroviny, např:

- zkrácení procesu sušení vlivem poklesu hodnoty citlivosti k sušení

- zkrácení procesu výpalu a snížení teploty výpalu zlepšením difuze plynů v pórovitém systému střepu
- zvýšení dávky vyhořívajících lehčiv už při malé dávce přísady bez vzniku černého jádra
- snížení hodnoty součinitele tepelné vodivosti  $\lambda$  keramického střepu už při poměrně nízké dávce

Vuppor 1 je emulze bílé barvy, vyrobená na bázi kondenzátů aldehydů (vyrobená z produktů ropy). Její hustota je  $1140 \text{ kg/m}^3$  a obsah sušiny je 38 %. Přísada je ředitelná vodou a je hygienicky vyhovující. Nevýhodou je vyšší cena a fakt, že v průběhu sušení při teplotě nad  $70 \text{ }^\circ\text{C}$  dochází k uvolňování čpavku, proto je její aplikace možná pouze v kanálových nebo tunelových sušárnách. Tento typ byl využit v experimentální části této práce. Předpokladem je, že by přísada měla zvýšit obsah rozdělovací vody a tím vylehčit střep v průběhu sušení a výpalu.

Vuppor 2 je emulze pískové barvy, vyrobená na bázi nevyužité druhotné suroviny z výroby organických kyselin. Její hustota je  $1160 \text{ kg/m}^3$  a obsahuje 54,9 % sušiny. Byla vyrobena s cílem dosažení podobných vlastností jako Vuppor 1, ale za přijatelnějších cenových a ekologických podmínek a použitelnosti ve všech typech sušáren.

[11]



Obr. č. 5: Příklad přísady VUPPOR

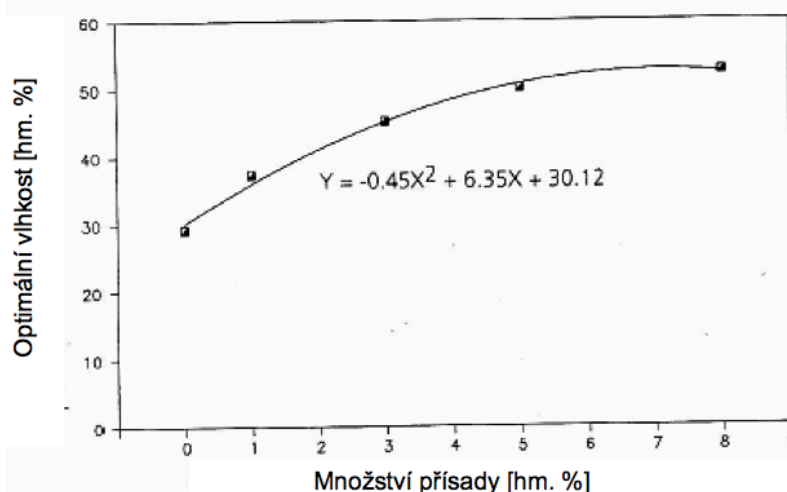
### 3.6.2 Rešerše dosavadních výsledků [12] [13]

První zkoušky s přísadou Vuppor 1 na cihlářských výrobcích byly provedeny po jejím vytvoření. Vzorky o rozměru  $100 \times 50 \times 20 \text{ mm}$  byly vyrobeny s množstvím

přísady 1, 3, 5 a 8 %. Přísada v množství 8 % však zhoršovala zpracovatelnost suroviny, těsto bylo křehké a vzorek byl z dalšího zkoušení vyřazen. Zjištěné vlastnosti jsou uvedeny v tabulce č. 3.

**Tabulka č. 3:** Vliv dávky na vlastnosti výrobku

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



**Obr. č. 6:** Vliv množství přísady na optimální vlhkost

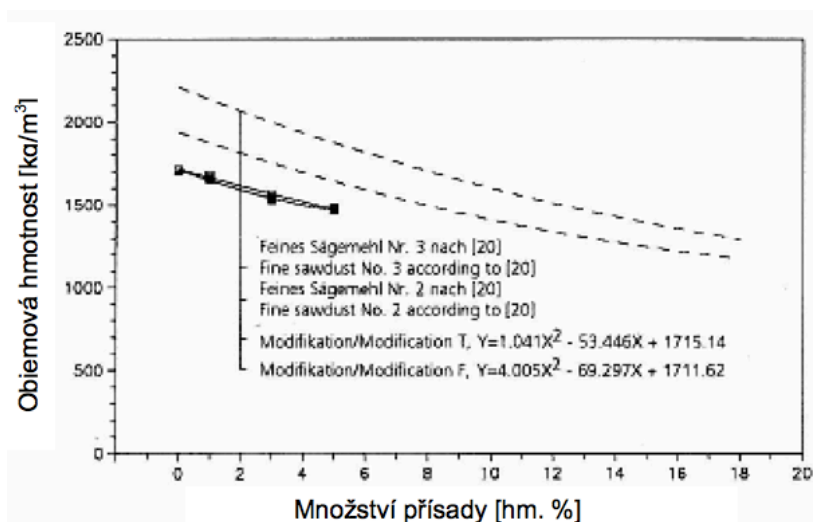
Zdroj: [17]

Z tabulky č. 3 i z obrázku č. 6 vidíme, že i s malou dávkou přísady se významně zvyšuje obsah vlhkosti ve vzorku. Mezi dávkou 5 a 8 % však není již tak výrazný nárůst vlhkosti, lze tedy říci, že hraniční dávkou Vupporu je 7 %. Ostatně vyšší dávka již zhoršovala zpracovatelnost směsi, jak již bylo uvedeno výše. Se zvyšující se dávkou klesá také citlivost k sušení CSB, snižuje se součinitel tepelné vodivosti a objemová hmotnost, vzrůstá pórovitost, což má za následek snižování pevnosti.



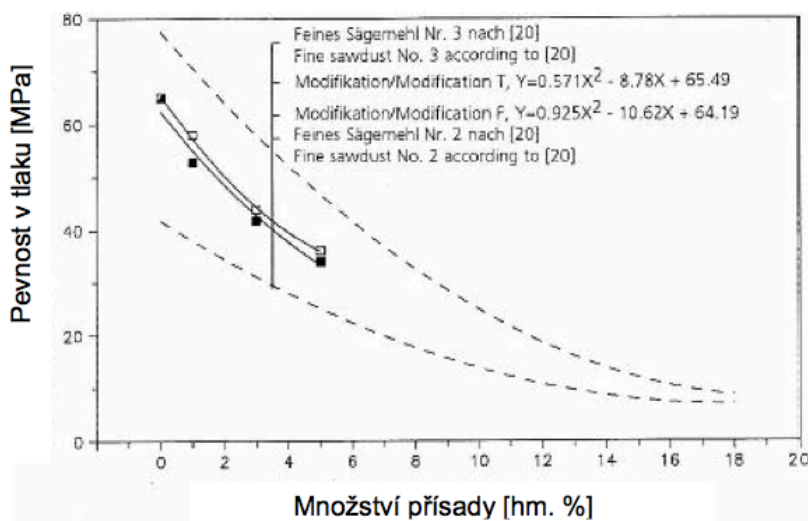
V dalším obrázku je vidět závislost objemové hmotnosti na množství přísady, kde ke vzorkům byly jako lehčivo přidány ještě piliny. Objemová hmotnost klesá se zvyšujícím se množstvím přísady.

[12]



**Obr. č. 7:** Snížení objemové hmotnosti v závislosti na množství přísady

Zdroj: [12]



**Obr. č. 8:** Závislost pevnosti v tlaku na množství přísady

Zdroj: [12]

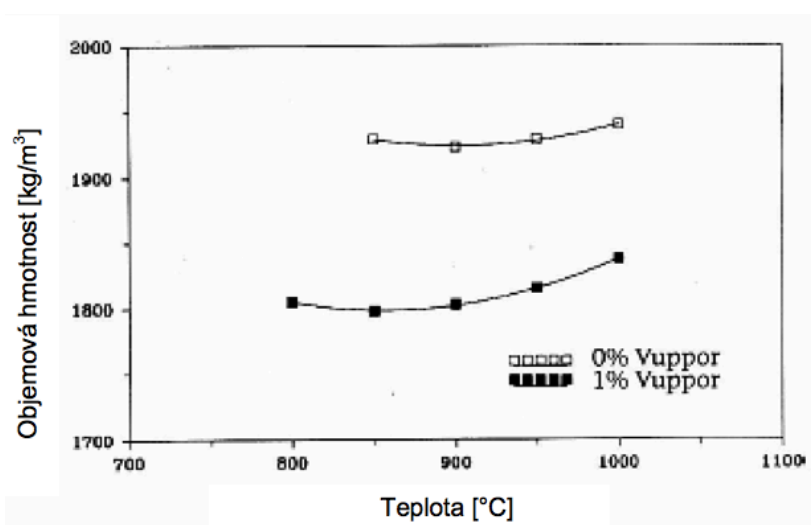
Na obrázku č. 8 je vidět, jak pevnost v tlaku exponenciálně klesá se zvyšujícím se dávkou přísady Vuppor 1. Vyhořením pilin vznikají větší makropóry než při aplikaci samotného Vupporu 1, což má za následek snižování pevnosti v tlaku, neboť struktura střeputy je ještě více pórovitá.

Povrchově aktivní činidlo obsažené v přísadě zvyšuje množství rozdělovací vody až o 20 %, působí již od malých dávek. Zvyšováním vlhkosti v těstě dochází k vytváření většího množství pórů, které jsou navzájem propojeny malými kanálky. Síť těchto pórů snižuje objemovou hmotnost výrobku a redukuje součinitel tepelné vodivosti.

[12]

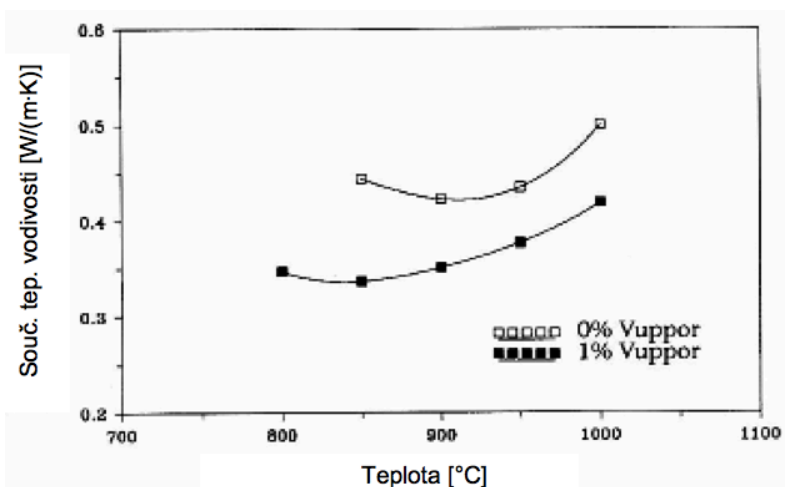
V dalším výzkumu dávka 1 % Vupporu 1 snižuje hodnoty objemové hmotnosti i součinitele tepelné vodivosti už při poměrně nízké vypalovací teplotě 850 °C.

[13]



Obr. č. 9: Závislost objemové hmotnosti na teplotě výpalu

Zdroj: [13]



Obr. č. 10: Závislost součinitele tepelné vodivosti na teplotě výpalu

Zdroj: [13]

### 3.6.3 Rešerše dosavadných výsledků [14]

Pro porovnání účinnosti Vupporu 1 a Vupporu 2 byl proveden výzkum na cihlářské surovině z lokality Hevlín. Surovina byla buď původní (P) nebo upravená vyhořívajícími lehčivými (U) a přidávaly se do ní dávky v hmotnostních procentech (0,25; 0,5; 0,75; 1,0) obou přísad.

**Tabulka č. 4:** Vlastnosti cihlářských surovin P

PŘÍSADA VUPPOR	DÁVKA	Wpr	DS	CŠ	DC	NV	ZP	$\rho_v$	$\lambda$	$R_{pd}$
	%	%	%	-	%	%	%	kg/m <sup>3</sup>	W/m.K	MPa
Bez V	0,00	28,6	-6,70	1,15	-6,60	23,0	37,4	1622	0,428	43,6
V1	0,25	31,6	-6,47	1,00	-6,75	26,8	41,6	1555	0,368	31,0
	0,50	34,0	-6,12	0,89	-6,74	29,5	44,4	1508	0,326	24,5
	0,75	36,9	-5,86	0,82	-6,70	31,6	46,4	1468	0,306	20,0
	1,00	37,9	-5,47	0,79	-6,47	32,8	47,6	1444	0,301	17,7
V2	0,25	29,8	-6,53	0,99	-6,50	24,9	39,6	1586	0,403	36,3
	0,50	31,2	-6,40	0,87	-6,54	26,5	41,4	1561	0,383	32,5
	0,75	32,4	-6,32	0,81	-6,65	28,1	43,2	1539	0,367	29,7
	1,00	33,9	-6,28	0,78	-6,89	29,5	45,0	1525	0,354	28,9

Wpr – pracovní vlhkost cesta

DS – dížková zmena sušením

CŠ – citlivost při sušení podľa Bigota

CD – dížková zmena celková

NV – nasiakavosť varom

PZ – zdanlivá pórovitosť

$\rho_v$  – objemová hmotnosť stanovená hydrostatickou metódou

$\lambda$  – súčiniteľ tepelnej vodivosti

$R_{pd}$  – pevnosť v tlaku

**Tabulka č. 5:** Vlastnosti cihlářských surovin U

PŘÍSADA VUPPOR	DÁVKA	Wpr	DS	CŠ	DC	NV	ZP	$\rho_v$	$\lambda$	$R_{pd}$
	%	%	%	-	%	%	%	kg/m <sup>3</sup>	W/m.K	MPa
Bez V	0,00	28,6	-6,70	1,15	-6,60	23,0	37,4	1622	0,428	43,6
V1	0,25	31,6	-6,47	1,00	-6,75	26,8	41,6	1555	0,368	31,0
	0,50	34,0	-6,12	0,89	-6,74	29,5	44,4	1508	0,326	24,5
	0,75	36,9	-5,86	0,82	-6,70	31,6	46,4	1468	0,306	20,0
	1,00	37,9	-5,47	0,79	-6,47	32,8	47,6	1444	0,301	17,7
V2	0,25	29,8	-6,53	0,99	-6,50	24,9	39,6	1586	0,403	36,3
	0,50	31,2	-6,40	0,87	-6,54	26,5	41,4	1561	0,383	32,5
	0,75	32,4	-6,32	0,81	-6,65	28,1	43,2	1539	0,367	29,7
	1,00	33,9	-6,28	0,78	-6,89	29,5	45,0	1525	0,354	28,9

Wpr – pracovní vlhkost cesta

DS – dížková zmena sušením

CŠ – citlivost při sušení podľa Bigota

CD – dížková zmena celková

NV – nasiakavosť varom

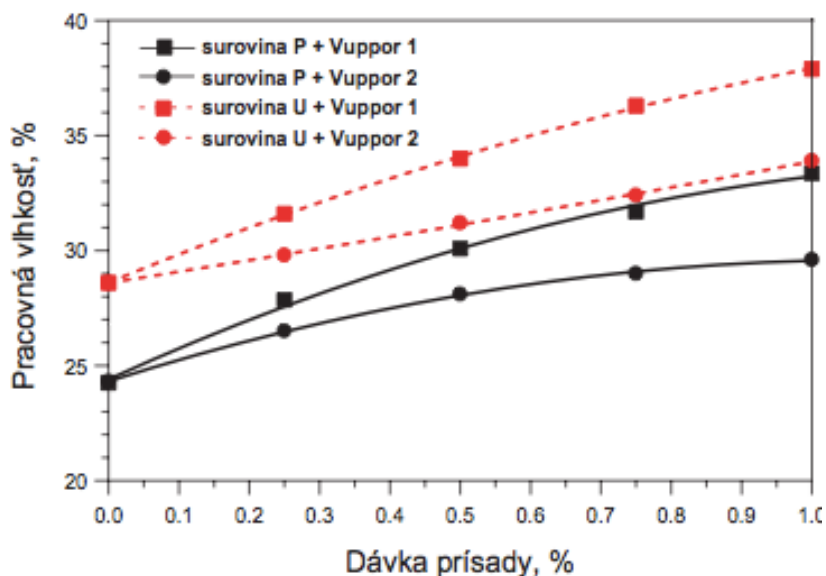
PZ – zdanlivá pórovitosť

$\rho_v$  – objemová hmotnosť stanovená hydrostatickou metódou

$\lambda$  – súčiniteľ tepelnej vodivosti

$R_{pd}$  – pevnosť v tlaku

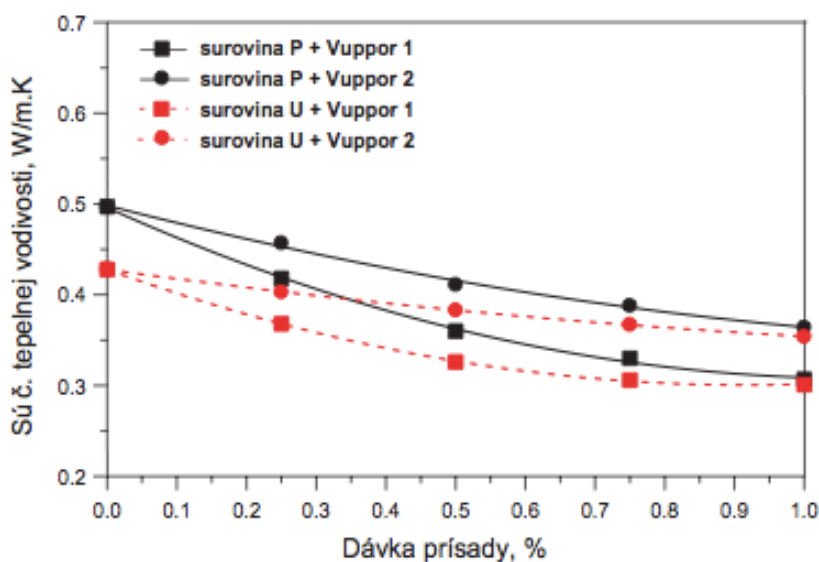
Se zvyšující se dávkou obou přísad Vuppor (1, 2) se rostla pracovní vlhkost těsta obou surovin, jak původní, tak upravené (viz obr. 11). Je však velmi zřetelné, že Vuppor 1 dosahoval v obou surovinách vyšších hodnot pracovní vlhkosti řádově o jednotky % při stejné dávce přísady.



**Obr. č. 11:** Vliv pracovní vlhkosti na dávku přísady

Zdroj: [14]

Z tabulek je zřejmé, že s přítomností přísady se snižovala hodnota citlivosti k sušení, což by znamenalo zkrácení doby sušení bez rizika vzniku trhlinek. Klesala také hodnota objemové hmotnosti a součinitele tepelné vodivosti, jak je vidět na obrázku č. 12. Opět se ukazuje, že s vyšší pórovitostí dochází ke snižování pevností v tlaku, nicméně hodnoty pevností v tlaku budou stále větší než například u pórobetonových tvárníc.



**Obr. č. 12:** Závislost součinitele tepelné vodivosti na dávce přísady

Zdroj: [14]

Zajímavým poznatkem tohoto výzkumu byla skutečnost, že s dávkou přísady se ztrácí rozdíl mezi surovinou bez a s vyhořívajícími lehčivými při sledování součinitele tepelné vodivosti. Ve vzorcích, kde byly aplikovány vyhořívající lehčiva, zvýšením pórovitosti výsušku zvýšením množství odpařené vody způsobilo v jeho vnitřku zvýšení vypalovací teploty lepším přístupem kyslíku. Toto zvýšení mělo za následek menší nárůst pórovitosti oproti vzorkům bez vyhořívajících lehčiv.

Vyhodnocením dosažených výsledků bylo jako ideální vybráno použití přísady Vuppor 2 v množství 0,5 % hm. ze sušiny, jakožto ekologičtější a ekonomičtější náhrady Vupporu 1. Účinnost Vupporu 2 však nebyla taková jako u typu 1, proto byla vyvinuta nová přísada Vuppor 1. Její vlastnosti byly vylepšeny a již nedochází k uvolňování čpavku při sušení.

[14]

#### **3.6.4 Rešerše dosavadních výsledků [15]**

Výzkum se zabýval posouzením vlivu různých druhů průmyslových odpadů na vybrané vlastnosti cihlářského střepu. Hlavním cílem bylo zlepšení hodnoty součinitele tepelné vodivosti cihlářského střepu a vytipování vhodné náhrady na bázi odpadu místo komerční chemické přísady Vuppor.

Základní cihlářská surovina byla z lokality Hevlín (stejně jako v případě výzkumu - viz 3.6.2) a již obsahovala vyhořívající lehčiva ve formě dřevěných pilin a celulózových kalů (z papírenského průmyslu). K surovině se přidávaly přísady v hmotnostních procentách 0; 1; 2; 4 a 6 % sušiny. Vuppor byl dávkován v množství 0,25; 0,5 a 1 %, neboť vyšší dávkování způsobovalo špatnou zpracovatelnost.

Tabulka č. 6: Označení, název a charakteristika prísad

Ozn.	Názov a charakteristika
SI	<b>Sirup</b> - zmes cukrov, slabožltej farby a tekutej konzistencie. Používa sa ako základná surovina pri výrobe ochutených sirupov. Sušina 33,3 % a hustota 1390 kg/m <sup>3</sup> .
DP01	<b>Lignosulfonáty</b> - vedľajší produkt pri výrobe celulózy v papierenskom priemysle. Látka hustej konzistencie, tmavohnedej farby na báze lignosulfonátu horečnatého. V stavebníctve sa už používa dlhšiu dobu ako plastifikátor do betónu. Sušina 53,5 % , hustota 1290 kg/m <sup>3</sup> .
DP02	<b>Lignosulfonáty</b> - vedľajší produkt pri výrobe celulózy v papierenskom priemysle. Práškový produkt, tmavohnedej farby na báze lignosulfonátu vápenatého. Hustota 550 kg/m <sup>3</sup> .
PESI	<b>PE-sirup</b> - odpadový produkt pri výrobe pentaerytritolu v závode Chemko, a.s. Strážské. Červenohnedá kvapalina, karamelového zápachu. Obsah sušiny 50 % a hustota 1180 kg/m <sup>3</sup> .
POL	<b>POLYKON</b> - je vedľajší produkt pri výrobe polyolov, vzniká polykondenzáciou formaldehydu s aldehydmi. Tmavohnedá látka málo tekutej konzistencie, ktorá je ľahko rozpustná vo vode. Obsah sušiny 80 % a hustota 1250 kg/m <sup>3</sup> .
ME	<b>Melasa</b> - vedľajší produkt, ktorý vzniká pri spracovaní cukrovej repy, z ktorej sa získava krištáľový cukor. Vzniká odstreďovaním zadinovej cukroviny. Táto látka málo tekutej konzistencie je tmavohnedej farby s obsahom cukru viac ako 50 %. Podiel melasy z objemu spracovanej cukrovej repy je takmer 2%, čo predstavuje ročnú produkciu v jednom Slovenskom cukrovare približne 10 tis. ton. Melasa sa v dnešnej dobe používa ako kŕmna alebo kvasná zmes pri výrobe alkoholu, pomocná látka pre výrobu droždia a kyseliny mliečnej. Ročná produkcia melasy nie je úplne využitá. Sušinu tvorí z 5-8% popolovina a z 8-12% bielkoviny. Obsah sušiny 41,7 % a hustota 1370 kg/m <sup>3</sup> .
VUP1	<b>VUPPOR1</b> – komerčný výrobok. Emulzia bielej farby, vyrobená na báze kondenzátov aldehydov. Sušina 40,2 % a hustota 1140 kg/m <sup>3</sup> .

Tabulka č. 7: Vlastnosti cihlářského střepeu

Pří sada	Dávka	SP	NV	PZ	P <sub>v</sub>	λ
	%	%	%	%	Kg/m <sup>3</sup>	W/m.K
<b>P</b>	0	16,39	30,55	44,46	1452	0,457
<b>SI</b>	1	17,46	30,98	44,94	1445	0,446
	2	18,50	31,79	45,71	1438	0,433
	4	21,68	32,90	46,78	1422	0,411
	6	24,05	33,63	47,65	1417	0,401
<b>DP01</b>	1	17,26	31,36	45,35	1446	0,442
	2	17,79	32,03	46,12	1440	0,428
	4	18,82	33,16	47,35	1428	0,407
	6	20,12	34,23	48,61	1420	0,394
<b>DP02</b>	1	17,02	31,15	45,11	1448	0,444
	2	17,61	31,85	45,96	1443	0,430
	4	18,67	32,96	47,23	1433	0,409
	6	19,83	33,81	48,15	1424	0,396
<b>PESI</b>	1	16,82	31,61	45,65	1444	0,440
	2	17,37	32,40	46,40	1432	0,425
	4	18,53	33,75	47,92	1420	0,405
	6	19,63	34,99	49,40	1412	0,389
<b>POL</b>	1	17,20	31,01	44,75	1443	0,448
	2	17,85	31,67	45,25	1429	0,437
	4	19,07	32,70	46,31	1416	0,423
	6	20,27	33,21	46,73	1407	0,412
<b>ME</b>	1	17,46	32,62	46,52	1426	0,416
	2	18,50	34,39	48,29	1404	0,385
	4	20,69	36,39	50,25	1381	0,358
	6	22,98	38,52	51,92	1348	0,344
<b>VUP1</b>	0,25	16,44	35,67	49,12	1377	0,401
	0,5	16,55	37,09	50,44	1364	0,390
	1	16,80	40,54	52,98	1307	0,353

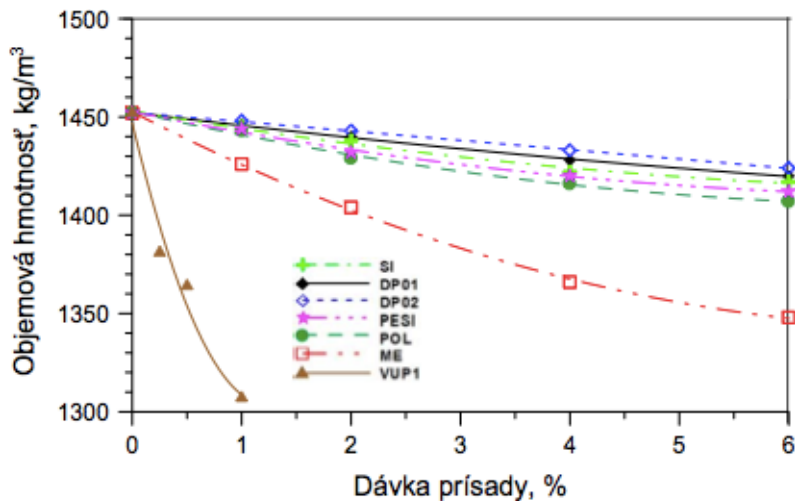
Legenda:

**SP** - strata pálením  
**NV** - nasiakavosť varom  
**PZ** - zdanlivá pórovitosť

**p<sub>v</sub>** - objemová hmotnosť stanovená hydrostatickou metódou  
**λ** - súčiniteľ tepelnej vodivosti

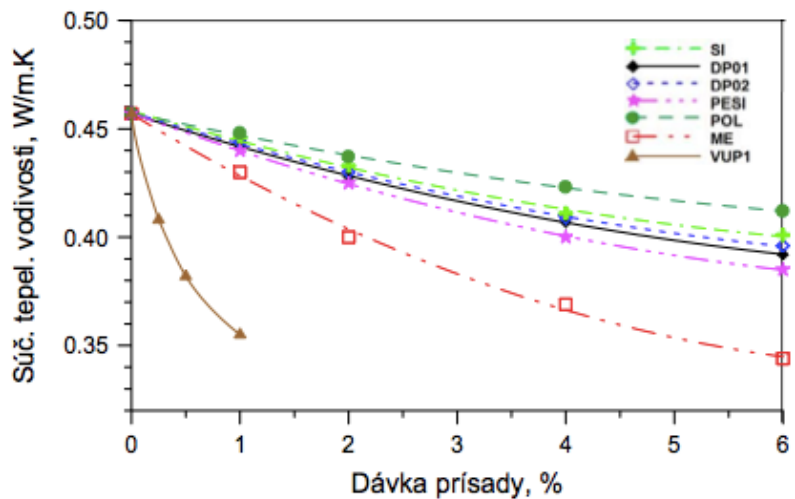
Z výsledků v tabulce č. 7 je zřejmé, že u všech vzorků se zvyšujícím se množstvím přísady roste pórovitost, ale tento nárůst není příliš výrazný. Vyšší dávkou přísady se snižuje objemová hmotnost (viz obr. č. 13) a klesá také součinitel tepelné vodivosti (viz obr. č. 14).





**Obr. č. 13:** Závislost objemové hmotnosti na dávce přísady

Zdroj: [15]



**Obr. č. 14:** Závislost součinitele tepelné vodivosti na dávce přísady

Zdroj: [15]

Jako nejvýhodnější přísada na bázi odpadů se z uvedených výsledků zdála být cukrová melasa, která dosáhla spolu s Vupporem téměř stejnou hodnotu součinitele tepelné vodivosti, na jehož snížení se tento výzkum primárně zaměřil.

[15]

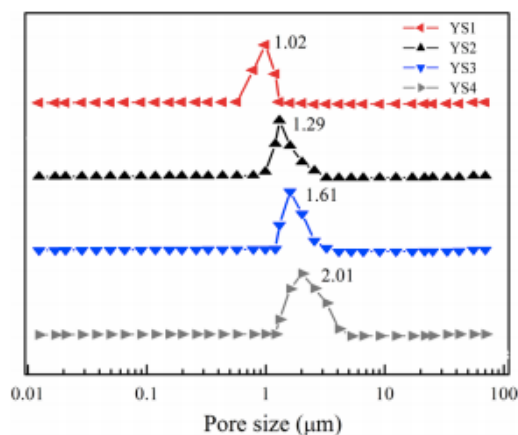
### 3.6.5 Rešerše dosavadních výsledků [26]

V této studii z Číny byl sledován vliv přidání různého množství bramborového škrobu na mikrostrukturu, mechanické vlastnosti a tepelnou vodivost pórovité keramiky na bázi  $Y_2SiO_5$ , která by podle autorů mohla být v budoucnosti vhodná vhodná jako izolant do prostředí s vysokými teplotami. Keramická matrice

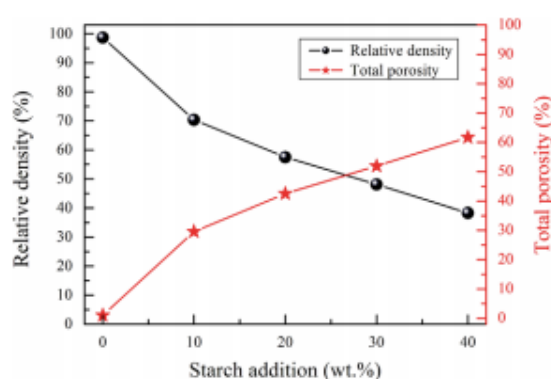


vytvořená z oxidu yttritího ( $Y_2O_3$ ), oxidu křemičitého ( $SiO_2$ ) a přísady byla kalcinována při  $1500\text{ }^\circ\text{C}$  a poté rozemleta. Z takto upravené směsi byly vytvářeny zkušební vzorky, referenční YS0 a s přidavkem 10% (YS1) 20% (YS2), 30% (YS3) a 40% (YS4) hm. škrobu, které byly lisovány tlakem 30 MPa do formy o průměru 15 mm. Poté byly vysušeny při  $70\text{ }^\circ\text{C}$  a vypáleny na  $1500\text{ }^\circ\text{C}$  v elektrické peci.

[25]



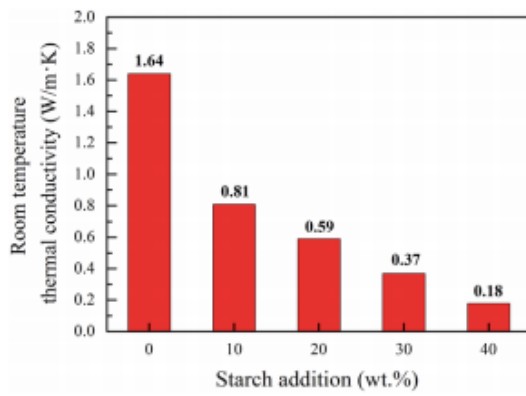
Obr. č. 15: Velikost pórů



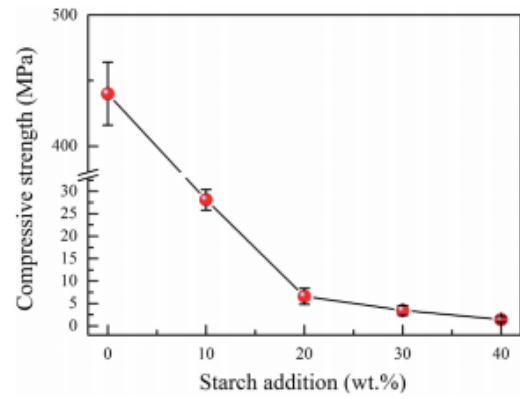
Obr. č. 16: Závislost relativní hustoty a pórovitosti na dávce škrobu

Zdroj: [25]

Jak je zřetelné z obr. č. 15 největší velikost pórů byla naměřena při největší dávce škrobu, tedy 40 % hm. podílu. Nárůst velikosti je oproti 10% dávce téměř dvojnásobný. Obrázek č. 16 ukazuje, že se zvyšující se dávkou přísady klesá relativní hustota a narůstá pórovitost, což koresponduje se zjištěnými velikostmi pórů z předešlého obrázku. Tento fakt potvrzuje i snížení součinitele tepelné vodivosti dle obrázku č. 17, kde hodnota u referenčního vzorku bez přísady činila  $1,64\text{ W}\cdot\text{m}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}$ , která skokově klesala v závislosti na obsahu přísady až na hodnotu  $0,18\text{ W}\cdot\text{m}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}$ . Studie také potvrzuje, že pevnost je závislá na pórovitosti, proto byl zaznamenán velký pokles hodnot pevnosti v tlaku oproti referenčnímu vzorku bez obsahu přísady (obr. č. 18).



**Obr. č. 17:** Závislost součinitele teplotní vodivosti na dávce škrobu



**Obr. č. 18:** Závislost pevnosti v tlaku na dávce škrobu

Zdroj: [25]

## **4 Experimentální část**

### **4.1 Metodika zkoušek**

Experimentální část byla rozdělena na dvě etapy. V první etapě byla na vybraných zeminách používaných pro výrobu tvarovek typu THERM z lokalit Týn nad Vltavou, Novosedly a Jezernice posuzována možnost aplikace chemické přísady Vuppor pro snížení objemové hmotnosti cihářských střepeň. Vzorky z plastického těsta se vysušily a byla na nich stanovena citlivost k sušení podle Bigota. Poté byly vzorky vypáleny na různé teploty a kromě změn objemové hmotnosti byla sledována ještě zdánlivá pórovitost, pevnost v tahu za ohybu a hodnoty součinitele tepelné vodivosti.

Ve druhé etapě byly na zemině z Novosedel zkoušeny přísady různých pojiv a přísad (vodní sklo, škrob, karboxymethylcelulóza, cukr, akrylátová disperze a cement), které by mohly spolu s Vupporem ještě zvýšit jeho účinnost. Vzorky byly vytvořeny z plastického těsta. Na výsušcích byla určena citlivost k sušení podle Bigota a smrštění sušením. Následoval výpal na teplotu 800 °C a bylo sledováno smrštění pálením, celkové smrštění, objemová hmotnost, zdánlivá pórovitost, pevnost v tahu za ohybu, součinitel tepelné vodivosti a modul pružnosti v tahu za ohybu.

### **4.2 Zkoušky vstupních surovin**

#### **4.2.1 Rengenová difrakční analýza (RTG)**

Slouží ke stanovení mineralogického složení zkoumaného materiálu. Vychází z principu difrakce rentgenového záření dopadajícího na krystalickou látku. Každý krystal vykazuje soubor rovnoběžných mřížkových rovin proložených v různých směrech. Mezirovinnou vzdálenost označovanou jako  $d$  lze pomocí této metody zjistit a známe-li hodnoty souboru mezerovitých vzdáleností pro různé minerály, lze na základě těchto hodnot identifikovat minerál ve zkoumaném vzorku.

[16]

#### **4.2.2 Diferenční termická analýza (DTA) - ČSN 72 1083**

Používá se k identifikaci jednotlivých složek zkoumané látky a společně s termogravimetrickou analýzou (TG) i ke kvantitativnímu určení složek. Principem DTA analýzy je zjišťování rozdílu nárůstu teploty zkoumaného vzorku a inertního materiálu, výsledkem je graf s píky (výstupky). Pokud je směr křivky v grafu vodorovný, znamená to, že vzorek má stejný teplotní přírůstek jako inertní materiál a ve vzorku nedochází k žádným změnám. Pík směřující dolů indikuje, že zkoumaný vzorek má menší teplotní přírůstek než inertní materiál a tudíž v něm došlo k endotermní reakci (např. uvolnění chemicky vázané vody). Exotermní reakci, jakou může být vyhořívání organických látek a větší teplotní přírůstek indikuje pík směřující nahoru. Z křivky lze identifikovat látku a popřípadě i stanovit její reakční teplo a sledovat mechanismus a kinetiku reakcí. Termogravimetrická analýza zaznamenává úbytky hmotnosti v průběhu zahřívání vzorku a umožňuje tak při znalosti příslušných chemických rovnic určení kvantitativního zastoupení složek.

[16]

#### **4.2.3 Dilatometrická termická analýza (DKTA) - ČSN 72 1083**

Používá se pro stanovení objemových změn zkoušených látek v závislosti na teplotě. Při znalosti standartních křivek materiálů, u kterých se předpokládá jejich přítomnost ve vzorku lze určit mineralogické složení zkoušené látky. Metoda se využívá také pro sledování lineárních změn výrobních směsí sloužících jako podklad pro určení pálicí křivky cihlářských výrobků.

[17]

### **4.3 Zkoušky plastického těsta (reologické vlastnosti)**

#### **4.3.1 Plastičnost podle Pfefferkorna - ČSN 72 1074**

Plastičnost vytvářecích těst byla stanovována na základě deformačního poměru na Pfefferkornově přístroji. Z keramického těsta byly vyrobeny zkušební válečky o průměru  $33 \pm 0,5$  mm a výšce  $40 \pm 0,1$  mm s určitým množstvím vlhkosti (rozdělovací vody). Zkušební přístroj (obr. č. 15) se pomocí stavěcích šroubů vyrovnal do vodorovné polohy. Vytvořené zkušební těleso bylo postaveno na

podložku a bylo na něj volně spuštěno závaží o hmotnosti 1200 g z výšky  $h_0 = 185$  mm. Poté byla změřena výška deformovaného tělesa. Výpočet deformačního poměru dle vztahu:

$$d = \frac{h_n}{h_0} \quad [-], \text{ kde}$$

$h_n$  výška válečku po deformaci [mm]

$h_0$  výška válečku před deformací [mm]

$d$  deformační poměr [-]



Obr. č. 19: Pfeifferkornův přístroj

[16]

#### 4.3.2 Stanovení vlhkosti pracovní směsi

Vlhkost materiálu představuje fyzikálně-mechanicky vázaná voda, kterou lze sušením odstranit. Zvážíme nejdříve vyrobený vzorek (vlhký), který nechaáme v laboratorní sušárně vysušit do konstatní hmotnosti při teplotě 110 °C. Vlhkost vypočítáme ze vztahu:

$$w = \frac{m_w - m_s}{m_s} \cdot 100 \quad [\%], \text{ kde}$$

$m_w$  hmotnost vlhkého vzorku [g]

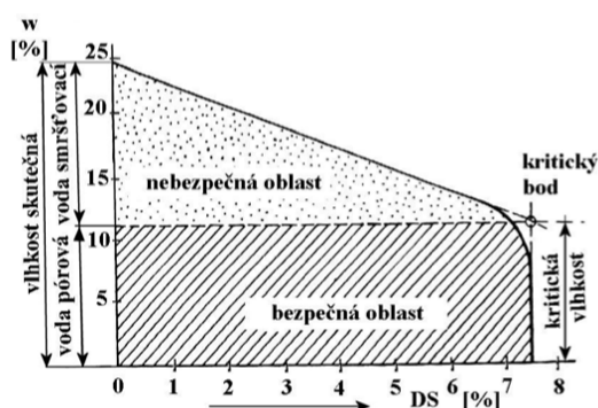
$m_s$  hmotnost vysušeného vzorku [g]

$w$  vlhkost [%]

[8]

### 4.3.3 Stanovení citlivosti k sušení - ČSN 72 1565 - 11

Metodou podle Bigota byla na zkušebních vzorcích stanovena kritická vlhkost  $w_k$  a koeficient citlivosti k sušení CSB. Při určování těchto vlastností sledujeme vzorek a v pravidelných časových intervalech měříme jeho hmotnost a smrštění. Na vzorcích byly hned po vyrobení vytlačeny obtisky pomocí posuvného měřidla a po dobu 48 hodin v pravidelném časovém intervalu byl měřen úbytek hmotnosti a smrštění vzorku. Hodnoty byly poté vyneseny do grafu a proložením přímkou Bigotovy křivky se určí kritický bod, který označuje také oblasti sušení - bezpečnou a nebezpečnou oblast, tedy množství vody smršťovací a vody pórové.



Obr. č. 20: Bigotova křivka

Zdroj: [17]

Koeficient citlivosti k sušení podle Bigota se poté vypočte vztahem:

$$CSB = \frac{w_r - w_k}{w_k} \quad [-], \text{ kde}$$

$w_r$  skutečná vlhkost těsta [%]

$w_k$  kritická vlhkost těsta [%]

CSB koeficient citlivosti k sušení podle Bigota [-]

Zemina lze podle velikosti koeficientu zatřídít do čtyř skupin:

CSB < 1 zemina málo citlivá k sušení

CSB = 1 - 1,5 zemina středně citlivá k sušení

CSB = 1,5 - 2 zemina citlivá k sušení

CSB > 2 zemina silně citlivá k sušení

[16][17]

## 4.4 Zkoušky na vysušeném vzorku

### 4.4.1 Délková změna sušením - ČSN 72 1565 - 5

V procesu sušení se obsažená voda ve výlisku odpařuje. Vlivem odpařování se k sobě částice přibližují a dochází ke smršťování. Čím více jemných částic a vody těsto obsahuje, tím větší délková změna v podobě kontrakce výlisku nastane. Při stanovení velikosti smrštění se změří výlisek ihned po odformování a stejný rozměr se změří po vysušení vzorku, kdy se již nesmršťuje. Délková změna se vypočítá ze vztahu:

$$DS = \frac{l_s - l_z}{l_z} \cdot 100 \quad [\%], \text{ kde}$$

$l_s$  délka vzorku po vysušení [mm]

$l_z$  délka vzorku před vysušením [mm]

$DS$  délková změna sušením [%]

[2][16]

## 4.5 Zkoušky na vypáleném vzorku

### 4.5.1 Délková změna pálením - ČSN 72 1565 - 5

Pokud známe délku vysušeného tělesa, můžeme po jeho výpalu zjistit délkovou změnu pálením. V průběhu výpalu dochází k řadě reakcí, které ve většině případů způsobují další kontrakce výrobku. Stejný rozměr jako u vysušku (délku) změříme i u vypáleného výrobku a délkovou změnu pálením vypočteme ze vztahu:

$$DP = \frac{l_p - l_s}{l_s} \cdot 100 \quad [\%], \text{ kde}$$

$l_p$  délka vzorku po vypálení [mm]

$l_s$  délka vzorku před vypálením [mm]

$DP$  délková změna pálením [%]

Celkovou délkovou změnu lze vypočítat:

$$DC = DP + DS \quad [\%], \text{ kde}$$

$DP$  délková změna pálením [%]

$DS$  celková změna sušením [%]

[2]

#### 4.5.2 Objemová hmotnost - ČSN 72 1565 - 6

Vyjadřuje poměr hmotnosti výrobku včetně dutin a pórů na jednotku objemu. Stanovení probíhá na vytárovaném závěsu pomocí hydrostatického vážení. Hmotnost nasáklého vzorku zjistíme tak, že vzorek necháme po dobu 2 hodin vařit (stále ponořený) a poté jej uložíme na 24 hodin do vodního prostředí. K výpočtu je třeba znát hmotnosti výrobku, které dosadíme do vztahu:

$$OH = \frac{m_s}{m_n - m_{nv}} \cdot \rho_v \quad [kg \cdot m^{-3}], \text{ kde}$$

$m_s$  hmotnost vysušeného výrobku [g]

$m_n$  hmotnost nasáklého výrobku [g]

$m_{nv}$  hmotnost nasáklého vzorku váženého hydrostaticky [g]

OH objemová hmotnost [ $kg \cdot m^{-3}$ ]

[2]

#### 4.5.3 Zdánlivá pórovitost

Udává poměr otevřených pórů k celkovému objemu vzorku včetně pórů.

$$PZ = \frac{(m_n - m_s)}{(m_n - m_{nv})} \cdot 100 = NV \cdot \frac{OH}{1000}, \text{ kde}$$

$m_s$  hmotnost vysušeného výrobku [g]

$m_n$  hmotnost nasáklého výrobku [g]

$m_{nv}$  hmotnost nasáklého vzorku váženého hydrostaticky [g]

NV nasákavost [%]

OH objemová hmotnost [ $kg \cdot m^{-3}$ ]

[2]

#### 4.5.4 Pevnost v tahu za ohybu - ČSN 72 1565 - 7

Vyjadřuje schopnost materiálu odolávat působícímu napětí. Veličina charakterizuje maximální zatížení, při němž dochází ke zlomení. Pevnost v trojbodovém ohybu se vypočítá dle vzorce:

$$R_t = \frac{3 \cdot F \cdot l}{2 \cdot b \cdot h^2} \quad [MPa], \text{ kde}$$



$F$	síla potřebná k porušení vzorku [N]
$l$	osová vzdálenost podpor [mm]
$b$	šířka vzorku [mm]
$h$	výška vzorku v místě porušení [mm]
$R_t$	pevnost v tahu za ohybu [MPa]

[2]

#### 4.5.5 Modul pružnosti v tahu za ohybu

Na vybraných vzorcích byl zkoušen modul pružnosti v tahu za ohybu. Měření probíhalo na přístroji Testometric M350-20CT s rychlostí zatěžování 5 mm/min a rozpětí podpěr 70 mm. Vzorky byly zabroušeny, změřila se tloušťka a šířka v mm a vzorek byl vložen do zkušebního zařízení. Výpočet modulu pružnosti v tahu za ohybu byl proveden podle vztahu:

$$\sigma = \frac{F}{S} \text{ [Pa]}, \text{ kde}$$

$$E = \frac{\sigma}{\varepsilon} \text{ [GPa]}, \text{ kde}$$

$\sigma$  napětí při namáhání v tahu [Pa]

$E$  Youngův modul pružnosti [GPa]

$F$  síla deformující těleso [N]

$\sigma$  mechanické napětí v tahu [Pa]

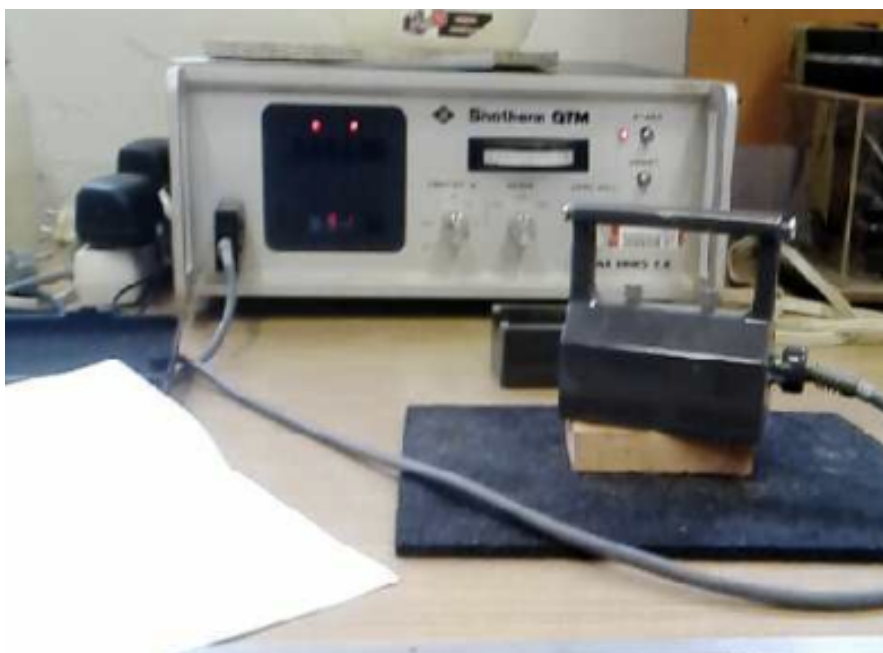
$S$  průřez tělesa kolmý na působící sílu [m<sup>2</sup>]

$\varepsilon$  poměrné prodloužení pod napětím

Jako síla  $F$  deformující těleso, byla brána vždy 80% hodnota maximální síly, při které došlo k deformaci vzorku.

#### 4.5.6 Součinitel tepelné vodivosti - ČSN EN 993 - 14

Každý materiál má charakteristickou tepelnou vodivost neboli schopnost materiálu vést teplo. Tato vlastnost se sleduje i u cihlářských výrobků, zejména u prvků pro vislé zdění (tvarovky typu THERM). Tepelná vodivost je charakterizována součinitelem tepelné vodivosti. Součinitel se stanovuje experimentálně - v případě této práce pomocí metody horkého drátu na přístroji Shoterm QTM od firmy Showa Denko. Značí se symbolem  $\lambda$  a jeho jednotkou je [W.m<sup>-1</sup>.K<sup>-1</sup>].



Obr. č. 21: Příklad přístroje Shoterm QTM

#### 4.6 ETAPA 1

V první etapě byly použity cihlářské zeminy z České republiky, všechny zeminy pocházejí z ložisek společnosti Wienerberger cihlářský průmysl, a.s.. Mapa ložisek, která pro výrobu společnost používá je na obrázku č. 22.



Obr. č. 22: Ložiska společnosti Wienerberger cihlářský průmysl a.s.

Zdroj: [18]

## Použité zeminy:

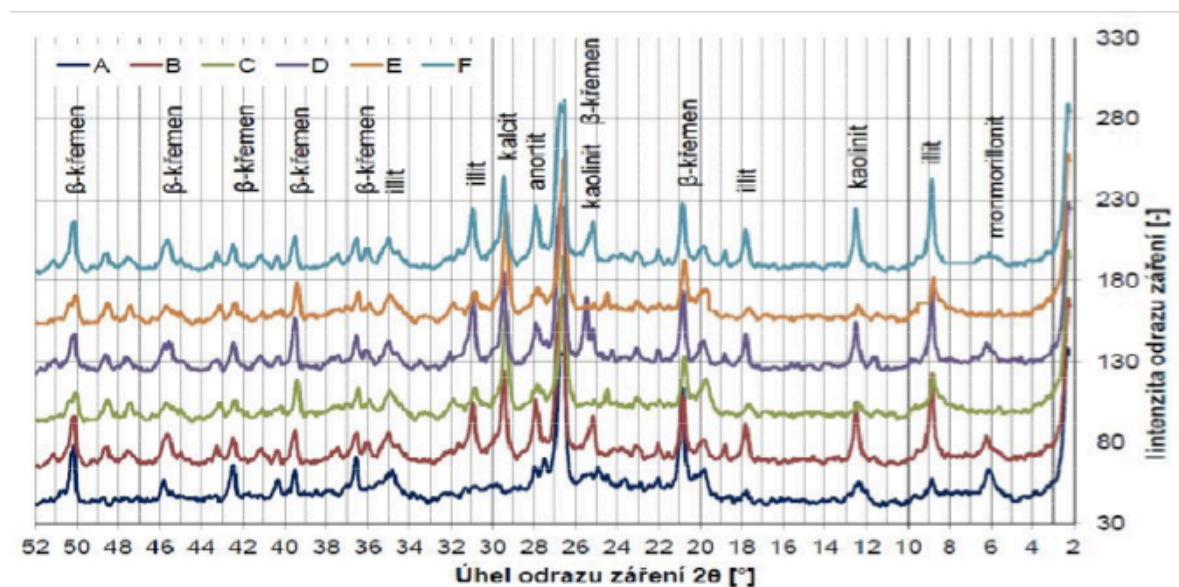
A. Týn nad Vltavou - nevápenatá zemina

B. Novosedly - vápenatá zemina

C. Jezernice - vápenatá zemina

### 4.6.1 Vlastnosti použitých cihlářských zemin

- rentgenová difrakční analýza (RTG)

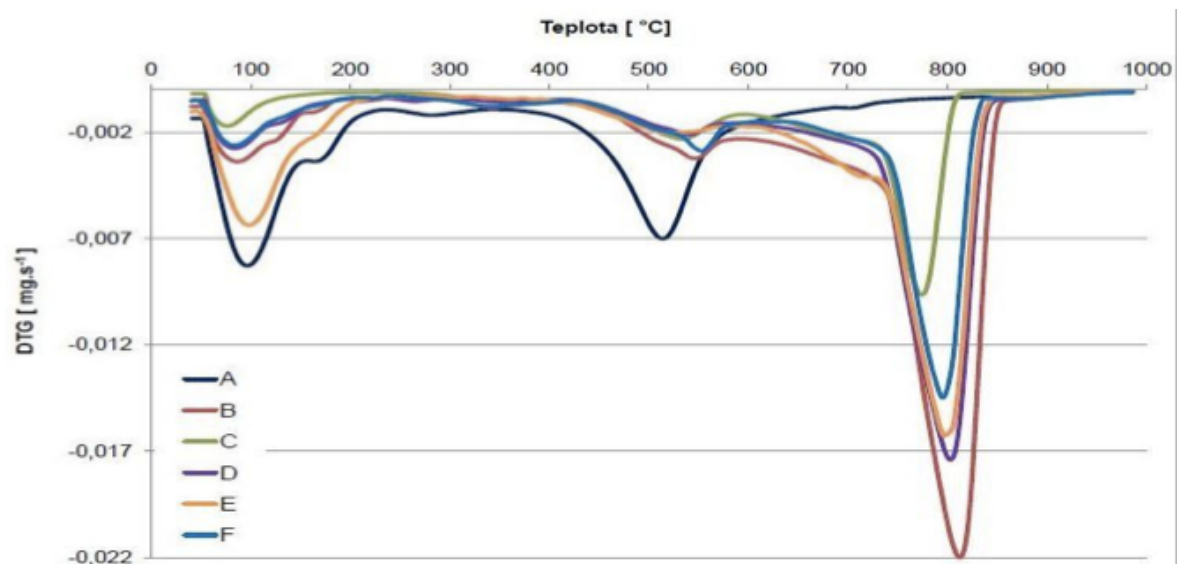


Obr. č. 23: RTG použitých zemin (A - Týn nad Vltavou, B - Novosedly, C - Jezernice)

Zdroj: [19]

Zkoušené zeminy (označení A - Týn nad Vltavou, B - Novosedly, C - Jezernice) obsahují hlavně křemen. Bezvápenatá zemina A dle očekávání neobsahuje kalцит, má malé množství anortitu a kaolinitu. Převládající složení u ostatních zemin je β-křemen, illit a montmorillonit.

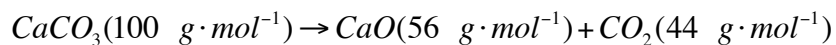
- derivační termografie (DTG)



**Obr. č. 24:** DTG použitých zemin

Zdroj: [19]

Do teploty cca 200 °C dochází u použitých zemin z dehydrataci - odchodu volně (fyzikálně) vázané vody. Kolem teploty 450 - 600 °C dochází k dehydroxylaci jílových minerálů. Dekarbonatace vápenatých zemí je z obr. č. 24 zřetelná v rozmezí teplot cca 730 - 850 °C. Dekarbonataci vápence lze popsat vztahem:

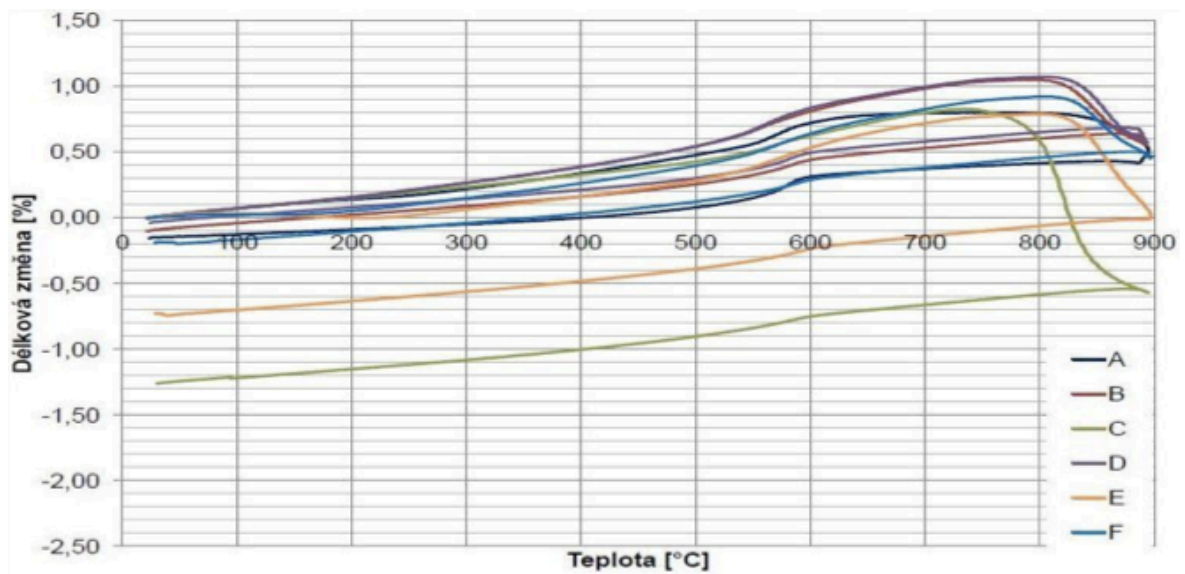


Procentuální a množství zastoupení  $CaCO_3$  v zeminách lze určit pomocí grafu DTA a vztahu:

$$mCaCO_3 = \frac{\Delta m}{44} \cdot 100 \text{ [g]}$$

Zemina B tedy obsahuje 15,0 %  $CaCO_3$  (10,5 g) a zemina C obsahuje 10,7 %  $CaCO_3$  (3,2 g).

- dilatometrická termická analýza (DKTA)



**Obr. č. 25:** DKTA použitých zemín

Zdroj: [19]

Největší smrštění v dilatometru měla zemina C (Jezernice), smrštění činilo 1,28 %. U zemín A (Týn nad Vltavou) a B (Novosedly) bylo téměř zanedbatelné, činilo 0,15 % a 0,10 %.

- chemická analýza

Chemickou analýzou se potvrdilo tvrzení, že zemina A je nevápenatá, obsah CaO byl 1,12 %. Zeminy B a C obsahují CaO v procentuálním zastoupení 9,80 % a 8,08 %.

**Tabulka č. 8:** Chemická analýza použitých zemín

Označení	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> [%]	CaO [%]	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> [%]	K <sub>2</sub> O [%]	MgO [%]	MnO [%]	Na <sub>2</sub> O [%]	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> [%]	SiO <sub>2</sub> [%]	SO <sub>3</sub> [%]	TiO <sub>2</sub> [%]
<b>A</b>	15,50	1,12	5,20	2,40	1,00	0,04	0,73	0,05	66,80	0,52	0,17
<b>B</b>	12,70	9,80	4,40	3,00	3,33	0,04	1,70	0,07	56,43	0,62	0,11
<b>C</b>	11,06	8,08	4,37	2,71	1,75	0,10	0,92	0,12	53,65	1,70	0,51

[19]

#### 4.6.2 Vytváření zkušebních vzorků

Nejprve byla každá zemina vysušena v sušárně při teplotě 50 °C po dobu 72 hodin. Poté byla namleta na kolovém mlýně a následně proseta přes síto s velikostí oka 2 mm.

Pro experimentální zkoušení byly vyráběny normalizované zkušební vzorky (ČSN 72 1565 - 4) o rozměrech 100x50x20 mm. Byly zhotoveny ručním vytvářením z plastického těsta při deformačním poměru 0,6 (na Pfefferkornově přístroji). Suchá směs se nejdříve řádně zhomogenizovala v laboratorním homogenizátoru. Tekutá přísada byla navážena a poté smíchána s malým množstvím rozdělovací vody, kvůli její lepší distribuci ve směsi. Těsto bylo pro ještě důkladnější smísení všech složek prolisováno válcovým mlýnem. Cihličky byly vytvářeny stloukáním těsta do formy pomocí gumové palice, povrch těsta byl překryt PVC folií. Přebytek těsta byl seříznut ocelovou strunou. Dno formy bylo kvůli snadnějšímu vyjmutí vzorku vyloženo papírem, který byl ihned po vytvoření cihelky odstraněn. Vzorky byly zváženy a některé označeny obtisky posuvného měřítka pro sledování délkové změny sušením. Poté byly zkušební vzorky umístěny na rošt a nechaly se volně vysychat. Před výpalem byly dosušeny do konstantní hmotnosti v laboratorní sušárně při teplotě 110 °C a opět zváženy. Poté byly vzorky vypalovány na různé teploty (800 °C, 850 °a 900 °C) při izotermické výdrž 120 min.

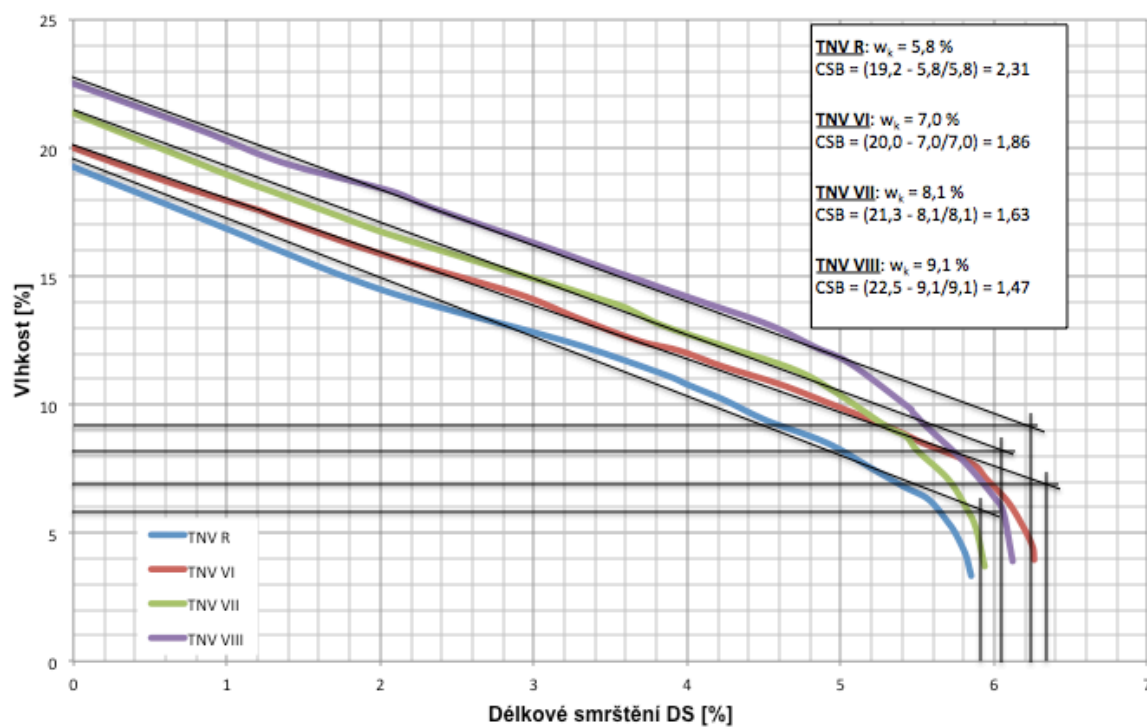
#### **Označení vzorků:**

<b>TNVR</b>	Týn nad Vltavou - referenční vzorek (bez Vupporu)
<b>TNVVI</b>	Týn nad Vltavou - 0,3 % hm. Vupporu
<b>TNVVII</b>	Týn nad Vltavou - 0,6 % hm. Vupporu
<b>TNVVIII</b>	Týn nad Vltavou - 1,0 % hm. Vupporu
<b>NR</b>	Novosedly - referenční vzorek (bez Vupporu)
<b>NVI</b>	Novosedly - 0,3 % hm. Vupporu
<b>NVII</b>	Novosedly - 0,6 % hm. Vupporu
<b>NVIII</b>	Novosedly - 1,0 % hm. Vupporu
<b>JR</b>	Jezernice - referenční vzorek (bez Vupporu)
<b>JVI</b>	Jezernice - 0,3 % hm. Vupporu
<b>JVII</b>	Jezernice - 0,6 % hm. Vupporu
<b>JVIII</b>	Jezernice - 1,0 % hm. Vupporu

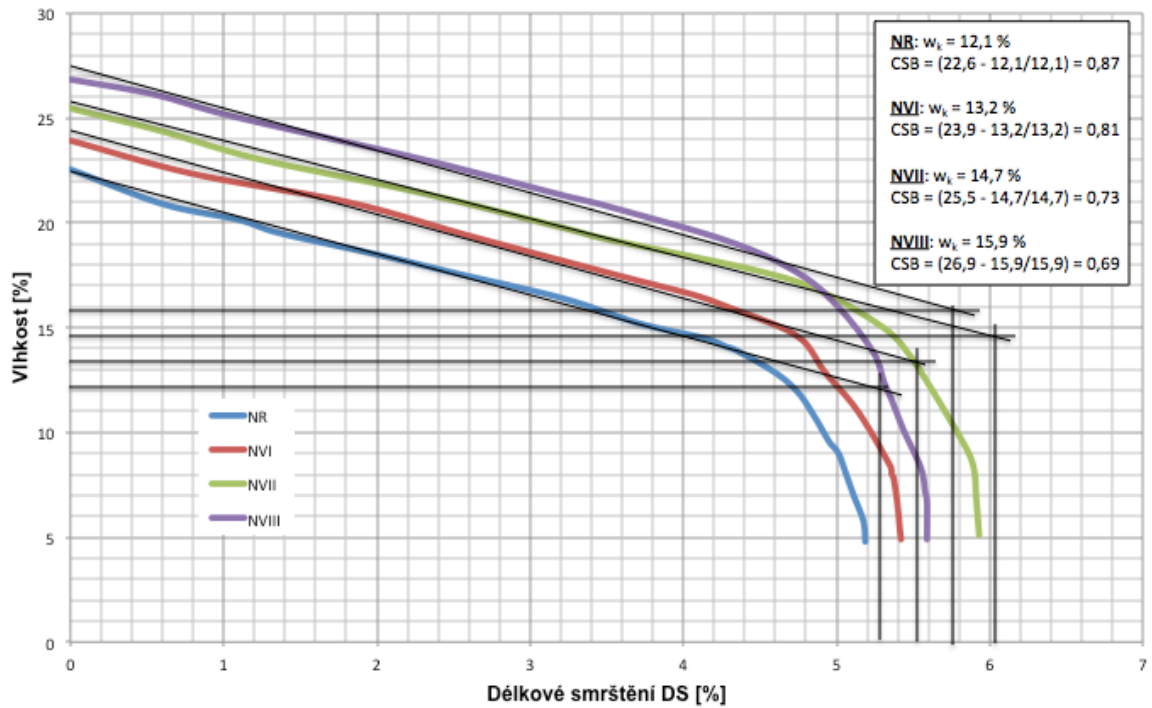
Tabulka č. 9: Základní charakteristiky zkušebních těst

OZN	VUPPOR [%]	W <sub>r</sub> [%]	W <sub>k</sub> [%]	CSB [-]	DS [%]
TNVR	-	19,2	5,8	2,31	-5,91
TNVVI	0,3	20,0	7,0	1,86	-6,33
TNVVII	0,6	21,3	8,1	1,63	-6,02
TNVVIII	1,0	22,5	9,1	1,47	-6,22
NR	-	22,6	12,1	0,87	-5,38
NVI	0,3	23,9	13,2	0,81	-5,52
NVII	0,6	25,5	14,7	0,73	-6,10
NVIII	1,0	26,9	15,9	0,69	-5,75
JR	-	29,1	8,0	2,63	-7,18
JVI	0,3	30,0	9,9	2,05	-7,58
JVII	0,6	34,5	11,2	2,01	-8,20
JVIII	1,0	37,5	13,8	1,72	-9,29

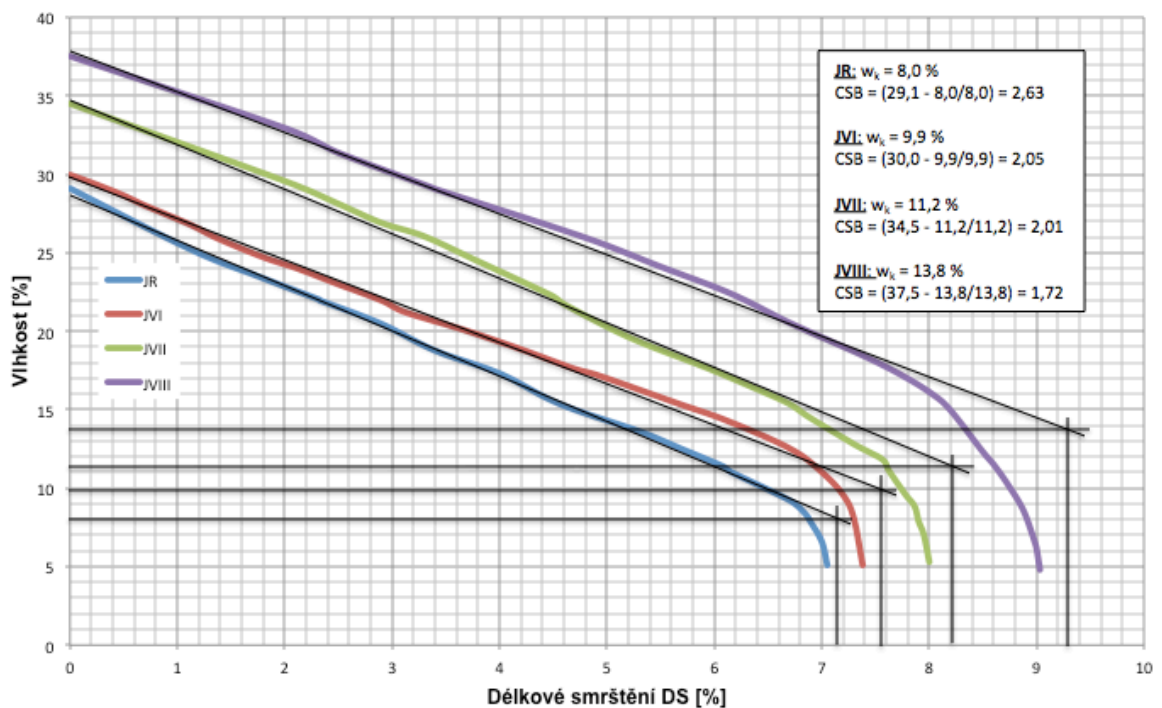
### Bigotovy křivky, citlivost k sušení



Obr. č. 26: Bigotovy křivky zeminy A - Týn nad Vltavou



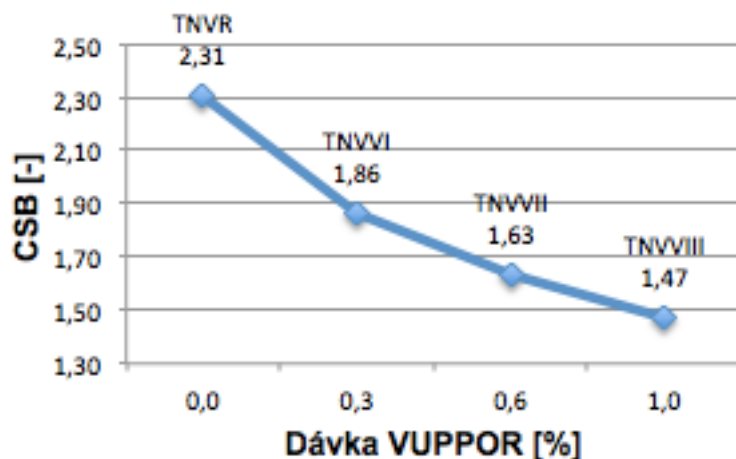
Obr. č. 27: Bigotovy křivky zeminy B - Novosedly



Obr. č. 28: Bigotovy křivky zeminy C - Jezernice

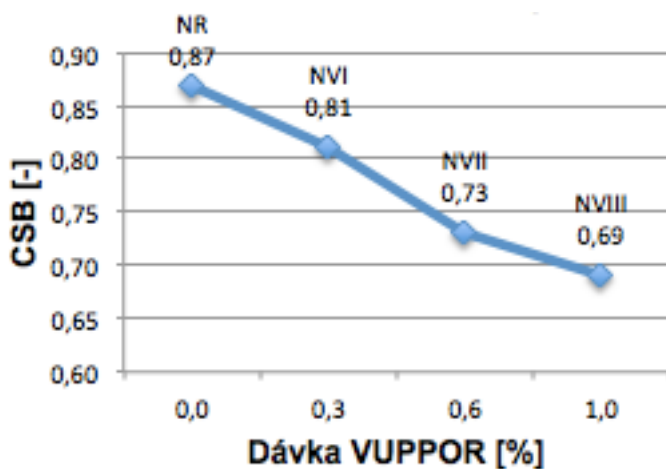
Jak je vidět na obrázcích (obr.č. 26-28) s Bigotovými křivkami zkoušených zemin, tak na grafech (obr. 29 - 31) platí předpoklad, že Vuppor snižuje citlivost k sušení.





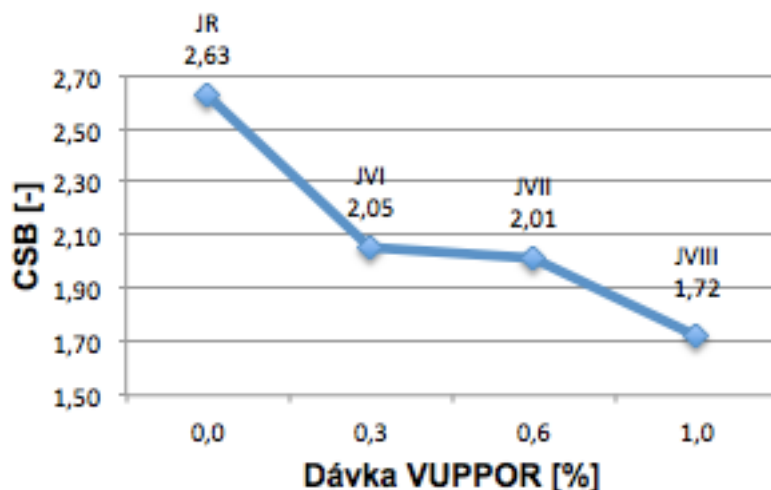
Obr. č. 29: Závislost koeficientu CSB na dávce Vuppore (A - Týn nad Vltavou)

U zeminy A z lokality Týn na Vltavou se hodnoty citlivosti k sušení CBS pohybují v hodnotách od 1,47 (vzorek s přídatkem 1,0 % Vuppore) do 2,31 (referenční vzorek). Zemina po zařídění tedy patří do skupiny středně citlivých k sušení až do zemin silně citlivých k sušení, v závislosti na dávce Vuppore.



Obr. č. 30: Závislost koeficientu CSB na dávce Vuppore (B - Novosedly)

Snížení citlivosti k sušení CSB u zeminy B z lokality Novosedly nebylo tak výrazné, ale přeci jenom je přídatkem Vuppore patrný. Zemina i při nulovém obsahu přísady patří do skupiny málo citlivých k sušení a koeficient zvyšujícím se obsahem přísady ještě klesá.



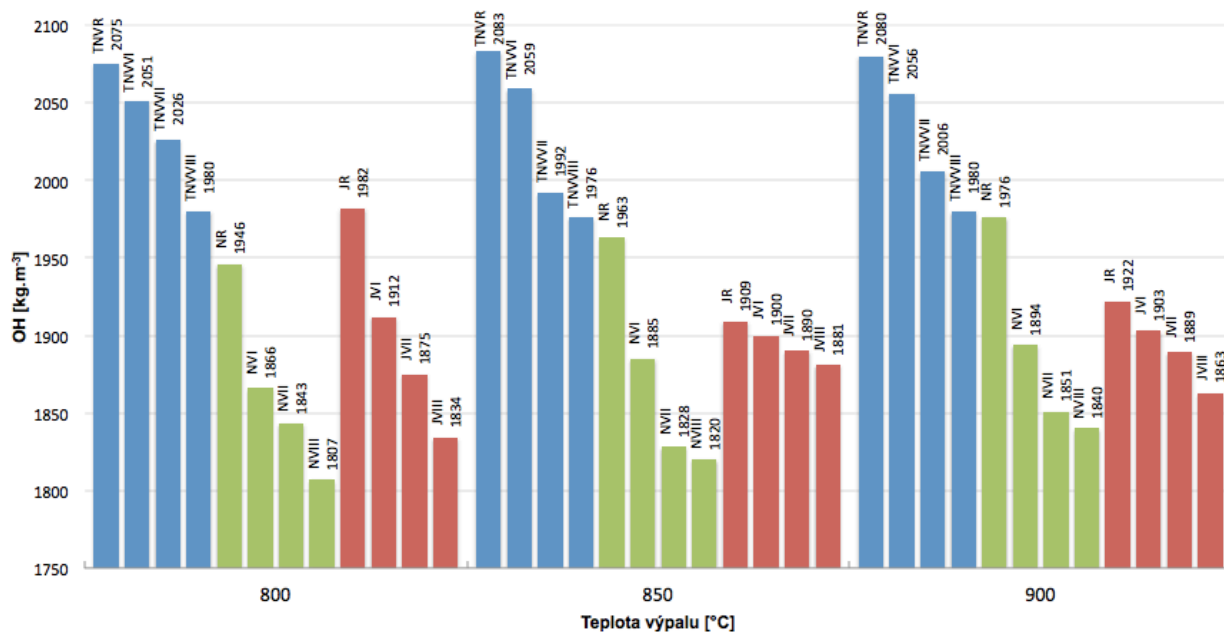
**Obr. č. 31:** Závislost koeficientu CSB na dávce VUPPORu (C - Jezernice)

Nejmarkantnější snížení koeficientu citlivosti k sušení CSB bylo dosaženo u zeminy z lokality C - Jezernice. Při vytváření zkušebních těles bylo obtížné zeminu zplastičnit, toho bylo dosaženo vyšším obsahem rozdělovací vody. U této zeminy došlo také, zřejmě právě i vlivem vyššího obsahu vlhkosti, k největšímu délkovému smrštění. Koeficient CSB byl snížen z referenční hodnoty 2,63 (zemina silně citlivá k smrštění) na hodnotu 1,72 (zemina citlivá k sušení), kdy těsto obsahovalo 1,0% přísady Vupporu a bylo již obtížně zpracovatelné. Další zvyšování dávky přísady by tedy možná mělo pozitivní vliv na snižování koeficientu CSB, ale nejspíše na úkor zpracovatelnosti.

**Tabulka č. 10:** Vypočtené a naměřené hodnoty

Teplota výpalu [°C]	OZN	VUPPOR [%]	OH [kg.m-3]	PZ [%]	R [MPa]	$\lambda$ [W.m-1.K-1]
800	TNVR	–	2075	29,20	3,9	0,4453
	TNVVI	0,3	2051	31,04	3,8	0,4385
	TNVVII	0,6	2026	31,97	3,3	0,4217
	TNVVIII	1,0	1980	32,86	3,2	0,4129
	NR	–	1946	26,31	8,7	0,4409
	NVI	0,3	1866	26,67	6,7	0,4287
	NVII	0,6	1843	31,16	5,9	0,4243
	NVIII	1,0	1807	33,77	3,9	0,4167
	JR	–	1982	21,11	10,2	0,4932
	JVI	0,3	1912	21,32	8,0	0,4797
	JVII	0,6	1875	22,09	7,6	0,4506
	JVIII	1,0	1834	22,57	7,1	0,4419
850	TNVR	–	2083	27,76	4,3	0,4813
	TNVVI	0,3	2059	29,92	5,5	0,4721
	TNVVII	0,6	1992	31,42	3,2	0,4637
	TNVVIII	1,0	1976	32,11	3,7	0,4509
	NR	–	1963	21,73	11,8	0,4761
	NVI	0,3	1885	26,37	9,7	0,4690
	NVII	0,6	1828	29,30	8,3	0,4521
	NVIII	1,0	1820	31,00	6,3	0,4503
	JR	–	1909	20,16	9,9	0,5290
	JVI	0,3	1900	20,61	9,5	0,5012
	JVII	0,6	1890	21,40	9,1	0,4831
	JVIII	1,0	1881	21,76	9,1	0,4658
900	TNVR	–	2080	27,57	5,1	0,4658
	TNVVI	0,3	2056	29,42	4,9	0,4603
	TNVVII	0,6	2006	30,43	4,3	0,4563
	TNVVIII	1,0	1980	32,36	4,1	0,4337
	NR	–	1976	21,09	11,4	0,4691
	NVI	0,3	1894	25,82	9,5	0,4613
	NVII	0,6	1851	28,63	8,3	0,4572
	NVIII	1,0	1840	30,34	5,5	0,4523
	JR	–	1922	19,98	10,6	0,5969
	JVI	0,3	1903	20,61	9,5	0,5724
	JVII	0,6	1889	20,17	8,7	0,5451
	JVIII	1,0	1863	19,74	8,3	0,4523

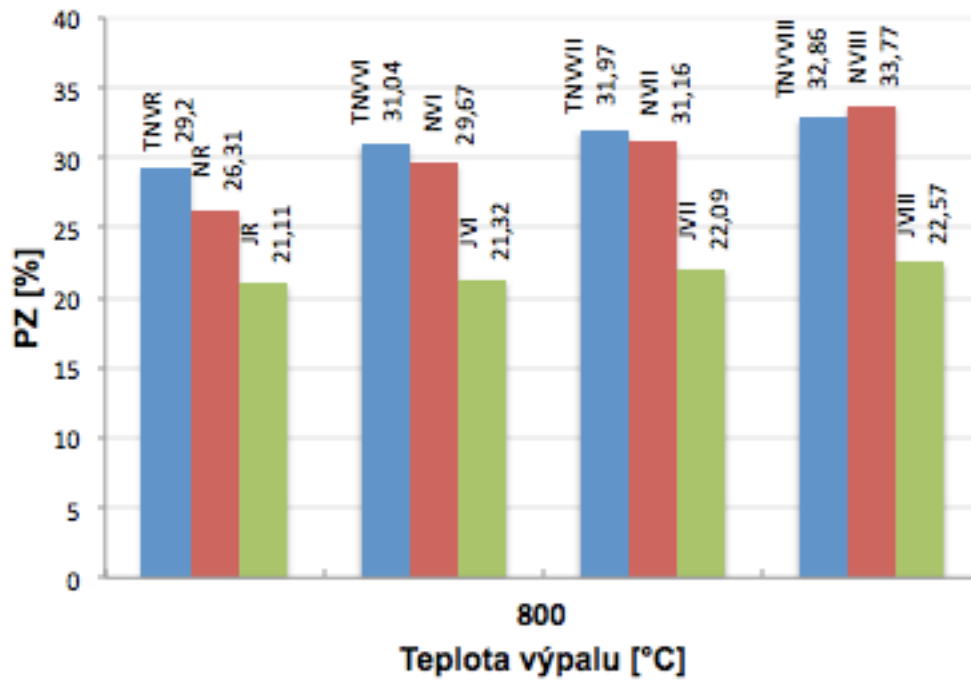
## Objemová hmotnost



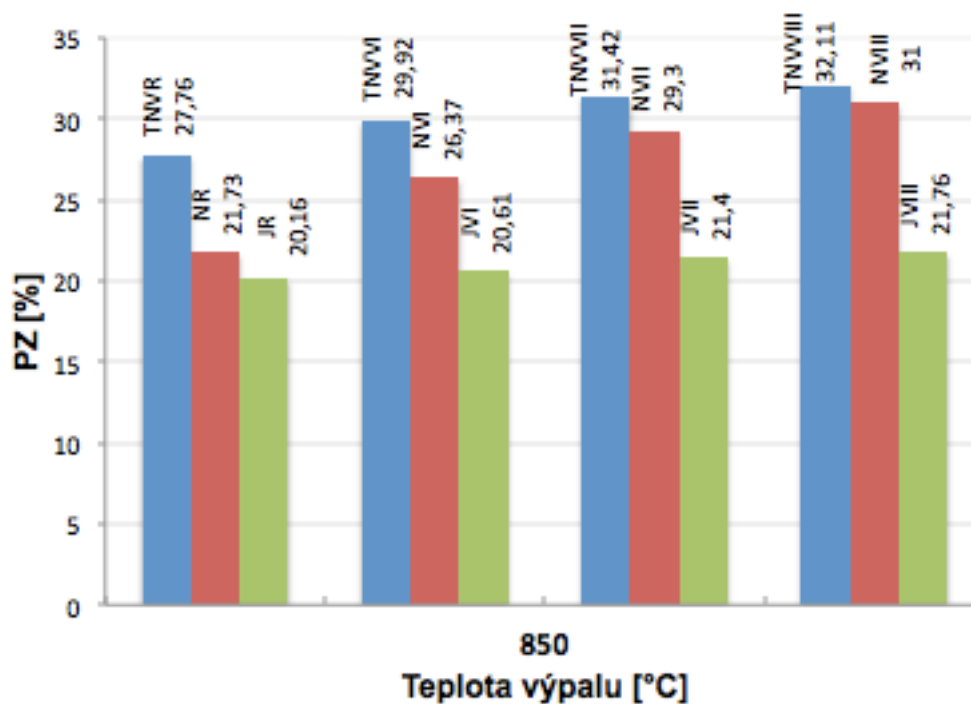
**Obr. č. 32:** Závislost objemové hmotnosti na teplotě výpalu

Při určování objemové hmotnosti vzorku s přísadou Vuppor byly zkušební vzorky vypalovány na různé teploty (800 °C, 850 °C a 900 °C). Jak je možno vyčíst z obrázku č. 32, který zobrazuje grafické znázornění všech zkoušených zemín je zjevné, že přítomnost přísady i v tom nejmenším množství (0,3 %), působí pozitivně na snižování objemové hmotnosti při každé teplotě výpalu, nezávisle na druhu zeminy. Se zvyšujícím se množstvím přísady klesaly hodnoty všech objemových hmotností. Nejvýraznějšího poklesu objemové hmotnosti bylo dosaženo u zeminy z Novosedel. U této zeminy byla také naměřena nejmenší hodnota a to u vzorku s obsahem 1,0 % Vupporu při teplotě výpalu na 800 °C, kdy hodnota činila 1807 kg.m<sup>-3</sup>. Referenční vzorek dosáhl při stejné teplotě hodnoty 1946 kg.m<sup>-3</sup>, což je poměrně výrazný rozdíl. Jako nejvýhodnější z hlediska žádoucího klesání objemové hmotnosti a také nejekonomičtější fungující teplota výpalu se pro tuto, ale i v podstatě pro zeminu z lokality Týn nad Vltavou jeví teplota nejnižší, tedy 800 °C. Na zeminu z lokality Jezernice teplota výpalu 800 °C působila nejlépe při obsahu 0,6 % a 1,0 % přísady Vuppor.

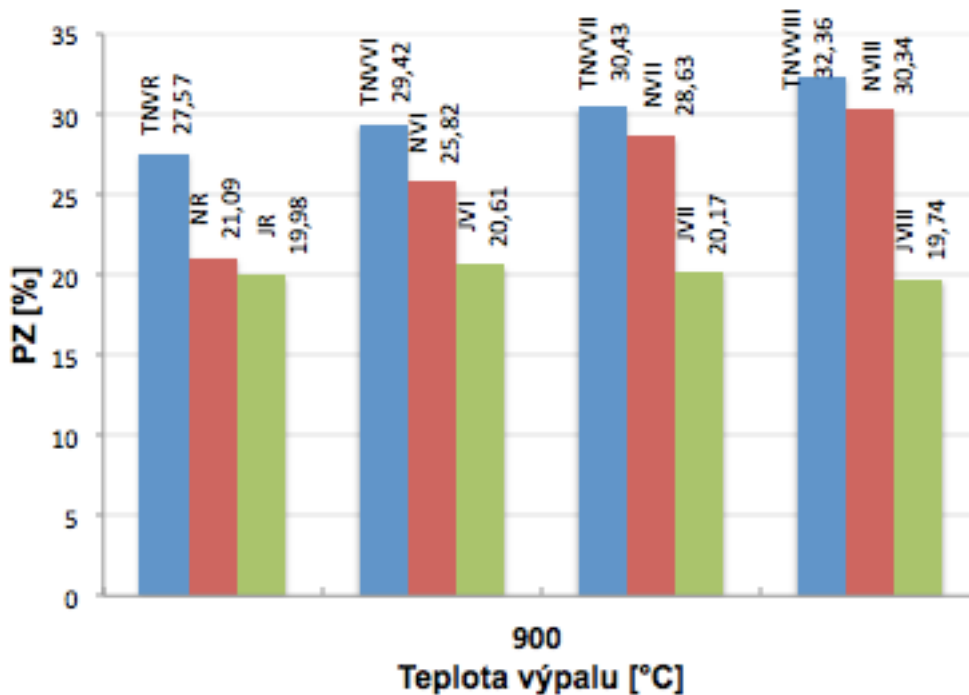
## Zdánlivá pórovitost



Obr. č. 33: Závislost zdánlivé pórovitosti na teplotě výpalu 800 °C



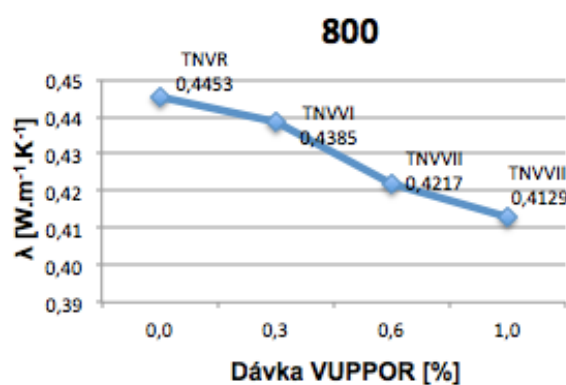
Obr. č. 34: Závislost zdánlivé pórovitosti na teplotě výpalu 850 °C



**Obr. č. 35:** Závislost zdánlivé pórovitosti na teplotě výpalu 900 °C

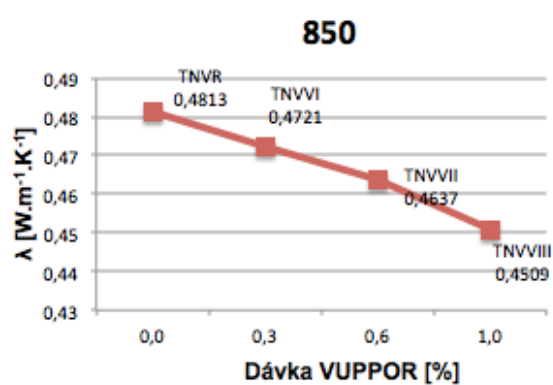
Zdánlivá pórovitost při rostoucí dávce přísady Vuppor roste. Stoupající tendenci mají všechny zkoušené zeminy nehledě na teplotu výpalu, pouze zemina Jezernice měla při výpalu na 900 °C zpočátku stoupající tendenci, ale s přidavkem 0,6 % Vupporu došlo k poklesu, který byl u dávky 1,0 % ještě větší. U zeminy z Jezernice byla pórovitost ze všech vzorků nezávisle na teplotě nejnižší, maximální hodnota byla 22,57 % při 1,0% přidavku Vupporu a výpalu na 800 °C. Naopak nejvyšších hodnot dosahovaly zeminy Týn nad Vltavou a Novosedly, jejichž maximum bylo dosaženo rovněž při 1,0% dávce Vupporu a teplotě 800 °C (32,86 % a 33,77 %).

## Součinitel tepelné vodivosti $\lambda$



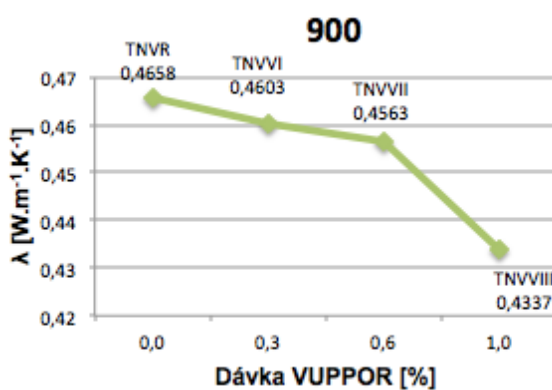
Obr. č. 36: Závislost  $\lambda$  na dávce Vupporu

teplota výpalu 800 °C - Týn n. Vltavou



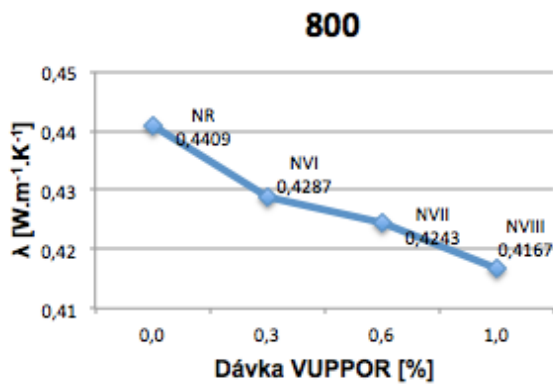
Obr. č. 37: Závislost  $\lambda$  na dávce Vupporu

teplota výpalu 850 °C - Týn n. Vltavou

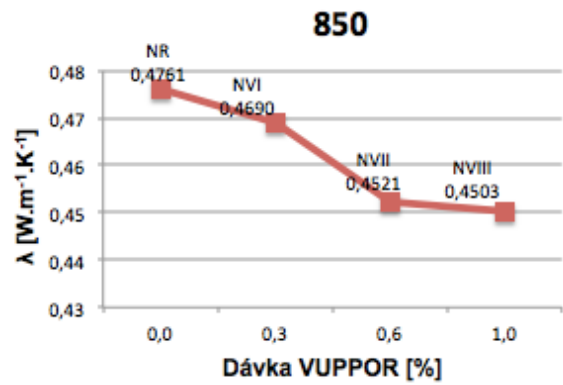


Obr. č. 38: Závislost  $\lambda$  na dávce Vupporu

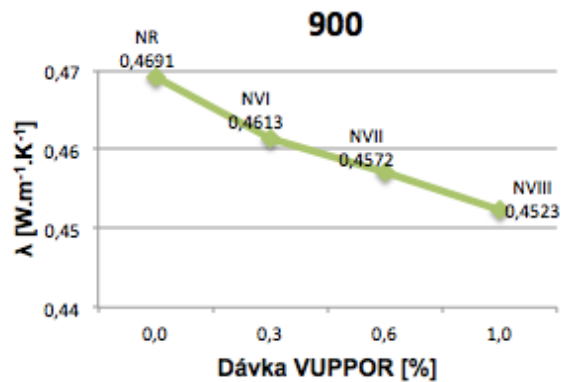
teplota výpalu 900 °C - Týn n. Vltavou



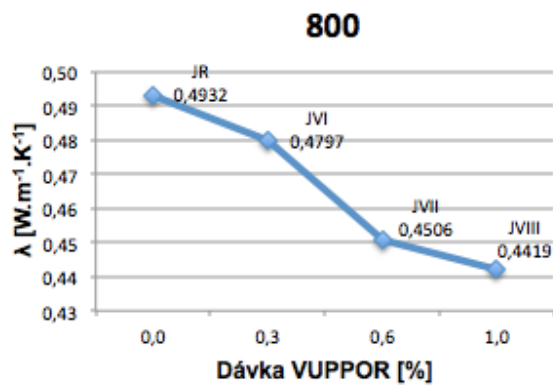
Obr. č. 39: Závislost  $\lambda$  na dávce Vupporu  
teplota výpalu 800 °C - Novosedly



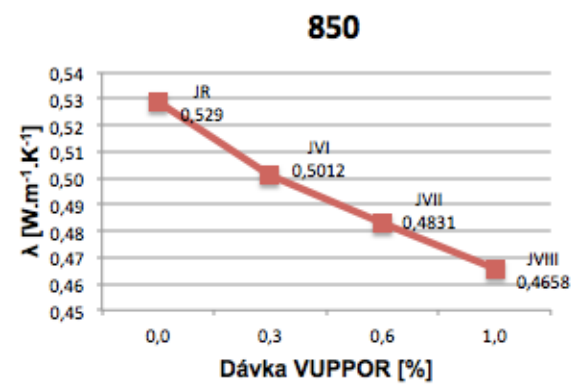
Obr. č. 40: Závislost  $\lambda$  na dávce Vupporu  
teplota výpalu 850 °C - Novosedly



Obr. č. 41: Závislost  $\lambda$  na dávce Vupporu  
teplota výpalu 900 °C - Novosedly

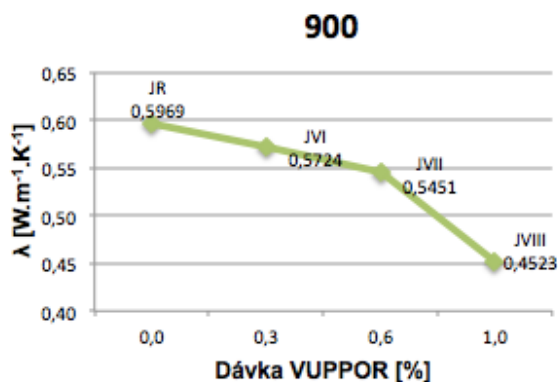


Obr. č. 42: Závislost  $\lambda$  na dávce Vupporu  
teplota výpalu 800 °C - Jezernice



Obr. č. 43: Závislost  $\lambda$  na dávce Vupporu  
teplota výpalu 850 °C - Jezernice

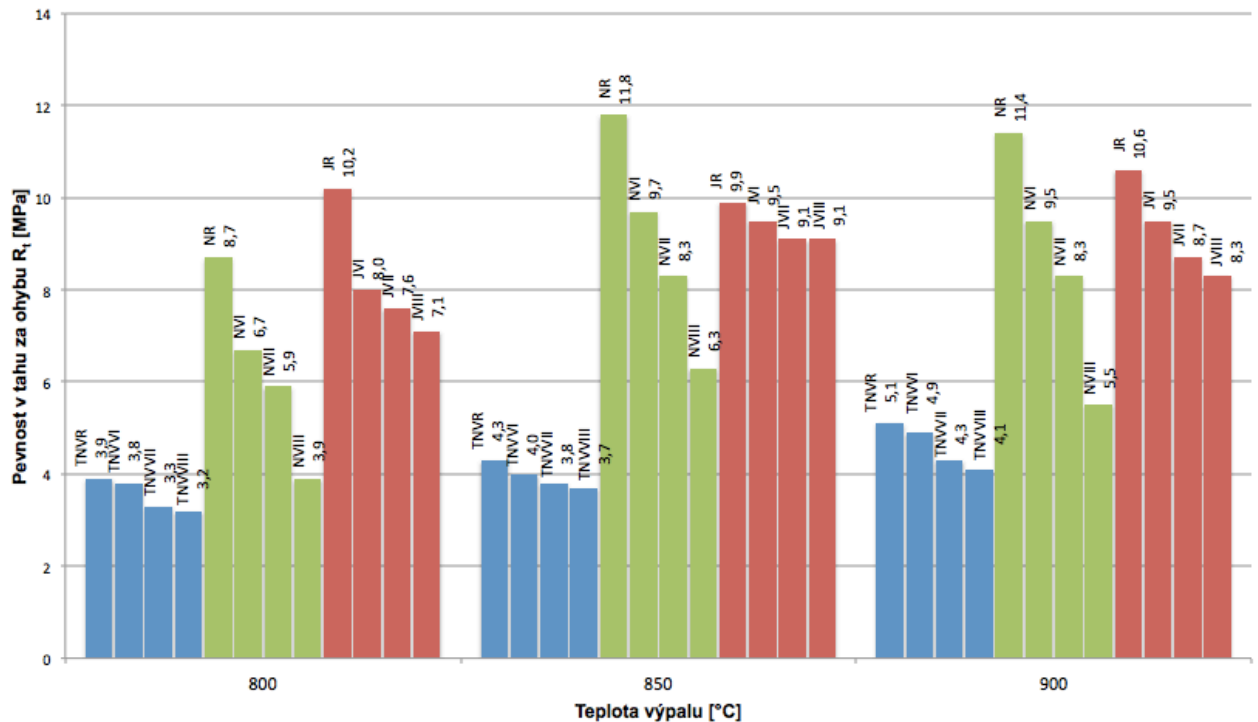




**Obr. č. 44:** Závislost  $\lambda$  na dávce Vupporu  
teplota výpalu 900 °C - Jezernice

Jednou z vlastností, kterou uvádí výrobce přísady Vuppor, je schopnost přísady snižovat hodnotu součinitele tepelné vodivosti  $\lambda$  již při poměrně malé dávce. Toto tvrzení se v rámci experimentálních pokusů potvrdilo. U všech zkoušených vzorků z každé zeminy docházelo s přidáním větší dávky přísady ke snižování hodnoty součinitele tepelné vodivosti  $\lambda$ . Nejmenší hodnotu tedy měly vzorky s obsahem 1,0 % Vupporu, nezávisle na teplotě výpalu, avšak jako nejvýhodnější se zdála být teplota 800 °C (u zeminy Týn nad Vltavou  $\lambda = 0,4129 \text{ W.m}^{-1}.\text{K}^{-1}$ , Novosedly  $\lambda = 0,4167 \text{ W.m}^{-1}.\text{K}^{-1}$  a Jezernice  $\lambda = 0,4419 \text{ W.m}^{-1}.\text{K}^{-1}$ ).

## Pevnost v tahu za ohybu



Obr. č. 45: Závislost pevnosti v tahu za ohybu na teplotě výpalu

Zkoušením pevností v tahu za ohybu bylo dosaženo výsledků, u nichž lze konstatovat, že se zvyšující se dávkou přísady klesá pevnost vzorku. Vysvětlením bude z velké míry fakt, že přidavkem Vupporu se rozšířila pórovitá struktura vzorku a proto vzorky s nejvyšším obsahem přísady (1,0 %) vykázaly nejmenší pevnosti. Toto tvrzení podporují i podobné výsledky z kapitoly 3.6.2. Na druhé straně nejpevnější se zdály být vzorky vyrobené pouze ze zkoušené zeminy a vody, tedy bez přidavku Vupporu, nejvýrazněji u zeminy Novosedly. U zeminy z Týna nad Vltavou a Jezernice nebyly rozdíly v pevnosti tak patrné.

### 4.6.3 Diskuze dosažených výsledků etapy 1

Etapa se zbývala zkoušením tří vybraných zemín, na kterých byl sledován vliv přidavku chemické přísady Vuppor. Výpal probíhal při různých teplotách (800 °C, 850 °C a 900 °C), což jsou běžné teploty, při kterých se vypalují cihlářské výrobky (i tvarovky typu THERM). Ačkoliv se rozdíl ve vypalovacích teplotách zdá být nepříliš velký, z dosažených výsledků je vidět, že určité rozdíly v jednotlivých záměsích nastaly. Teplota 800 °C se zdá být dobrým kompromisem při posuzování sledovaných vlastností. V případě zeminy z lokality Novosedly při ní

došlo k nejvýraznějšímu snížení objemové hmotnosti v závislosti na zvyšování dávky přísady Vuppor, zvyšovala se pórovitost střepe a klesala hodnota součinitele tepelné vodivosti, dosažené pevnosti v ohybu však byly nižší. Podobně fungovala teplota a dávkování přísady i na zeminu z Týna nad Vltavou, kde pórovitost a pevnosti v tahu byly ještě vyšší. Na vzorky ze zeminy Jezernice neměla přísada příliš velkou účinnost. Rozdíly objemových hmotností byly nejviditelnější také při teplotě výpalu 800 °C, kdy došlo k výraznějšímu poklesu. Při zvyšování teploty byly však hodnoty velmi podobné a zvyšování dávky nedělalo v hodnotách zásadnější rozdíly. Naměřené a vypočtené hodnoty ukazují, že přísada Vuppor má pozitivní vliv na vylepšování vlastností cihlářského střepe, které uvádí výrobce.

## **4.7 ETAPA 2**

Ve druhé etapě byla pro další zkoušení vybrána jako nejvhodnější zemina z lokality Novosedly, konkrétně s množstvím 1,0 % Vupporu. Zemina dosáhla v předchozí etapě nejslibnějších výsledků, které by mohly být ještě vylepšeny spolupůsobením Vupporu a dalších přísad. K této zemině bylo v každé záměsi přidáno vždy stejné množství přísady Vuppor (1,0 % hm.). Do plastických těst vytvořených z této receptury byly přidávány některé další přísady s cílem účinnost Vupporu ještě zvýšit a to sice: vodní sklo, bramborový škrob, Lovosa, řepný moučkový cukr, akrylátová disperze (SOKRAT) a cement. Přísady byly přidávány v množství 1,5 % hm. a 3,0 % hm. z navážky zeminy.

### **4.7.1 Zkoušené přísady**

#### **VUPPOR (NREF)**

Je emulze bílé barvy vyrobená na bázi kondenzátů aldehydů. Obsah sušiny 38 % a hustota 1140 kg/m<sup>3</sup> (viz 3.6.1).

#### **Vodní sklo (NV)**

Je vodný roztok alkalického křemičitanu sodného, draselného nebo lithného. Používá se ve slévárenství pro výrobu forem, ve stavebním průmyslu jako přísada pro nátěrové hmoty, tmely, maltové směsi atd. V keramice např. jako přísada do licích hmot pro výrobu užitkové a ozdobné keramiky.

### **Bramborový škrob (NS)**

Výroba nativního bramborového škrobu probíhá na principu izolace škrobových zrn od ostatních látek obsažených v bramborové hlíze. Škrob se z nastrouhaných brambor vypírá z otevřených buněk a dále se čistí, při použití značného množství vody.

### **LOVOSA TS20 (NL)**

Je směs sodné soli karboxymethylcelulózy, uhličitanu sodného a hydroxidu sodného. Využívá se jako stabilizační, lepící a pojivý prostředek např. při klížení papíru nebo jako lepidlo na tapety. V keramickém průmyslu ji lze využít jako zahušťovadlo do glazur, jako pojivo nebo plastifikátor do některých keramických směsí. Je to sypká prášková hmota s velikostí zrn do 0,5 mm, po rozpuštění ve vodě tvoří gel, který se dalším ředěním rozpustí na viskozní roztok.

[20]

### **Cukr (NC)**

Je produkt vyrobený z cukrové řepy. Vyluhovaný cukr z nařezané řepy v podobě šťávy se čistí, filtruje a čeří pomocí CaO, které neutralizuje výluhy rostlinných kyselin a vysráží je do zákalu, který se cedí a profiltruje v kalolisech. Pomocí vakuostroje nastane postupná řetězová krystalizace. Po zkrystalizování se hmota odstředí od nečistot (melasa) a poté se suší na výsledný produkt.

[22]

Cukr byl zkoušen jako alternativní přísada pro zjištění podobných vlastností jako jsou uvedeny ve výzkumu 3.6.4, kde byla zkoušena melasa. Ta je sice druhotným produktem při výrobě cukru, ale diskutabilní je její cena, která se dnes využívá ve zdravé výživě a jejíž cena se skoro vyrovná ceně za cukr.

### **SOKRAT (NA)**

Jedná se o nízkoviskózní kapalinu na bázi vodní disperze styrenakrylátového kopolymeru (SOKRAT 2802A). Mísí se s vodou v jakémkoliv poměru, po vytvrzení ve vodě nerozpustný. Používá se pro penetrační (zlepšení přidrženosti, pevnosti a pružnosti) a impregnační (zvyšuje odolnost vůči povětrnosti) aplikace. V keramickém průmyslu se používá jako ztekucovadlo do licích hmot.

## **Cement (NT)**

Je hydraulické pojivo vyrobené společným výpalem vápence a jílu při teplotě okolo 1450 °C. Po smíchání s vodou tvoří kaši, která v důsledku chemické reakce tuhne a tvrdne. Používá se pro výrobu betonu, malt, omítek a celé řady dalších produktů. V rámci této práce byl použit portlandský cement CEM I 32,5 z cementárny Mokrá.

Příspěvy byly do zkušebního plastického těsta přidávány s cílem podpořit tvorbu pórovité struktury a zároveň, aby jejich přítomnost zajistila pevné spojení jemných částic ve střepech díky jejich schopnostem dobré lepidlosti a přilnavosti. Tyto vlastnosti byly očekávány zejména u přísad cukru, Sokratu a cementu.

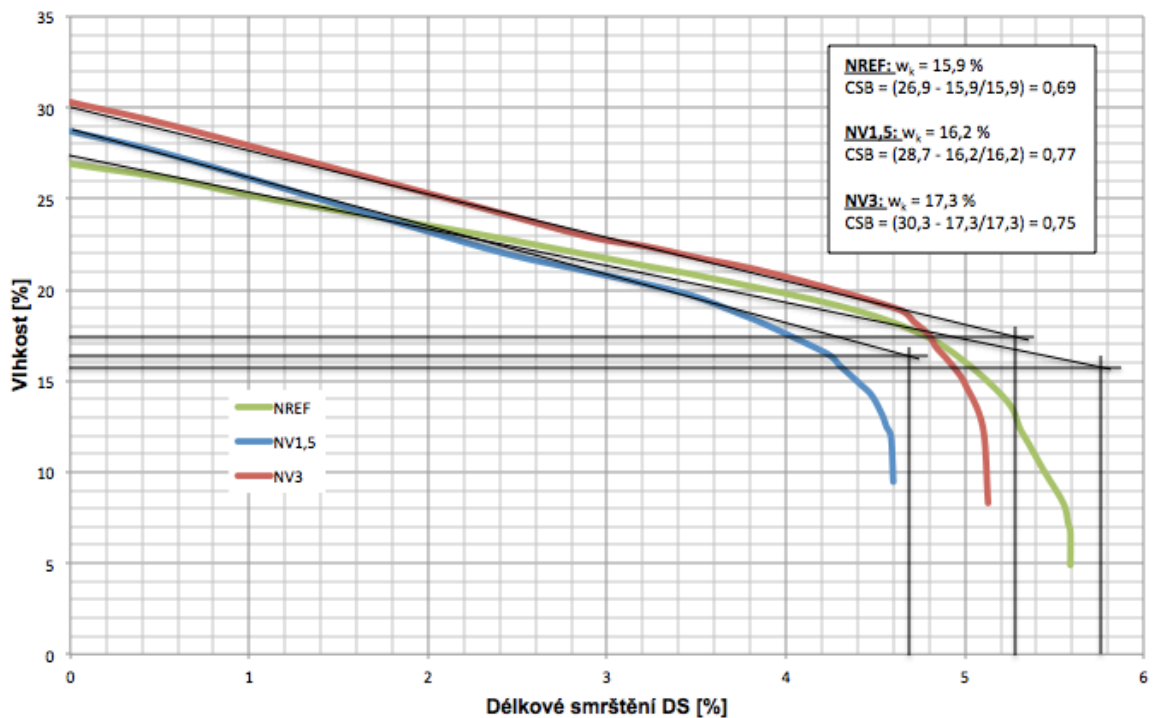
### **4.7.2 Vytváření zkušebních vzorků**

Příprava vzorků probíhala stejně jako v první etapě (viz 4.6.2), s tím rozdílem, že homogenizace u sypkých přísad probíhala již se zeminou v laboratorním homogenizátoru. Tekuté přísady byly naváženy a rozmíchány v malém množství rozdělovací vody, kvůli lepší distribuci v plastickém těstě. Všechna zkušební těsta byla vyrobena při deformačním poměru 0,6 (na Pfefferkornově přístroji) a pro lepší smísení všech surovin protlačena válcovým mlýnem. Po vytvoření zkušebních vzorků a jejich vysušení byly provedeny zkoušky na výsušcích a následoval výpal na jednotnou maximální teplotu pro všechny vzorky v nastaveném pálícím režimu (2 °C/min do teploty 600 °C - výdrž 60 min, poté 1,7 °C/min do maximální teploty 800 °C - výdrž 120 min). Po výpalu byly provedeny zkoušky na vypálených vzorcích.

## Označení vzorků

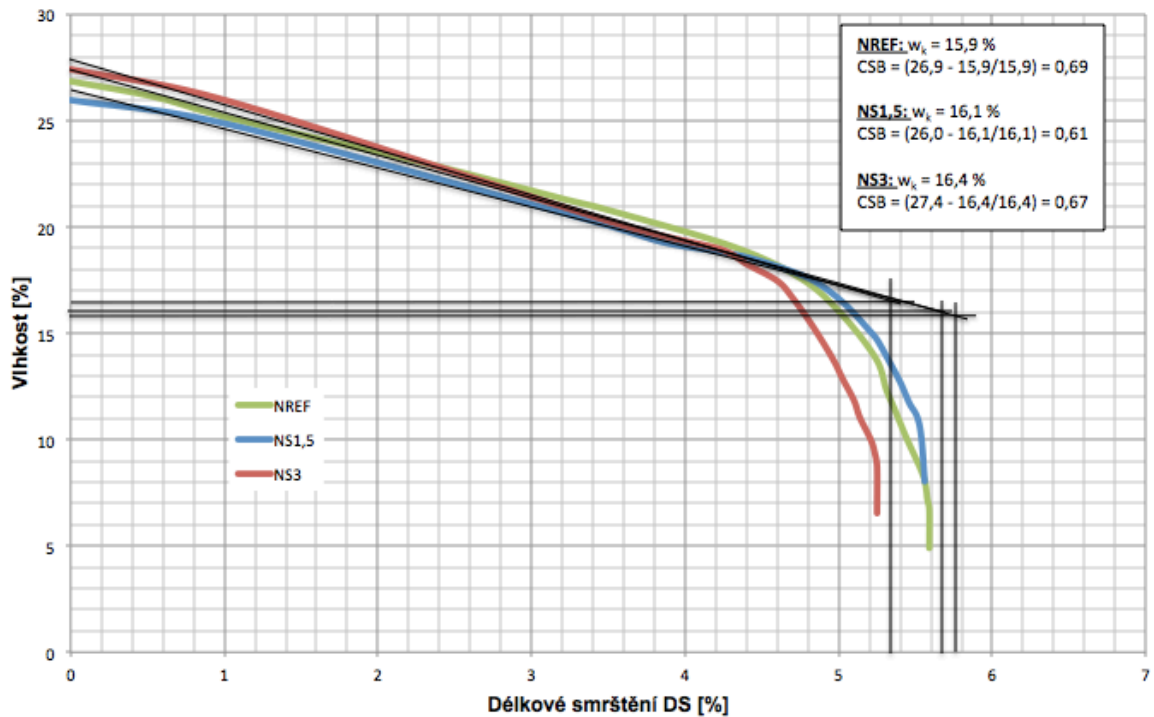
<b>NREF</b>	referenční vzorek - Vuppor 1,0 %
<b>NV1,5</b>	vzorek s 1,5% přídavkem vodního skla + 1,0 % Vuppor
<b>NV3</b>	vzorek s 3,0% přídavkem vodního skla + 1,0 % Vuppor
<b>NS1,5</b>	vzorek s 1,5% přídavkem bramborového škrobu + 1,0 % Vuppor
<b>NS3</b>	vzorek s 3,0% přídavkem bramborového škrobu + 1,0 % Vuppor
<b>NL1,5</b>	vzorek s 1,5% přídavkem Lovosy + 1,0 % Vuppor
<b>NL3</b>	vzorek s 3,0% přídavkem Lovosy + 1,0 % Vuppor
<b>NC1,5</b>	vzorek s 1,5% přídavkem cukru + 1,0 % Vuppor
<b>NC3</b>	vzorek s 3,0% přídavkem cukru + 1,0 % Vuppor
<b>NA1,5</b>	vzorek s 1,5% přídavkem Sokratu + 1,0 % Vuppor
<b>NA3</b>	vzorek s 3,0% přídavkem Sokratu + 1,0 % Vuppor
<b>NT1,5</b>	vzorek s 1,5% přídavkem cementu + 1,0 % Vuppor
<b>NT3</b>	vzorek s 3,0% přídavkem cementu + 1,0 % Vuppor

## Bigotovy křivky, citlivost k sušení



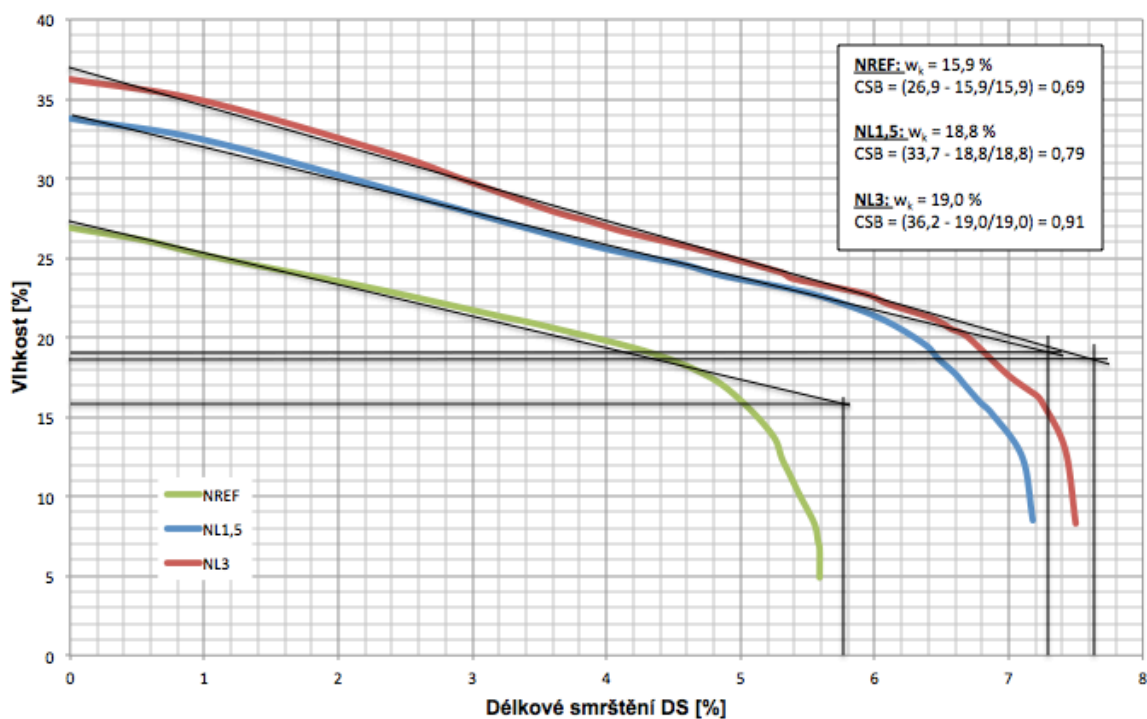
Obr. č. 46: Bigotovy křivky - vodní sklo

U přísady vodního skla se citlivost k sušení oproti referenčnímu vzorku mírně zvýšila, největší hodnotu koeficientu měla dávka přísady 1,5 %, ale rozdíl byl minimální. Zemina i s přísadou stále patří do skupiny málo citlivých k sušení.



**Obr. č. 47:** Bigotovy křivky - bramborový škrob

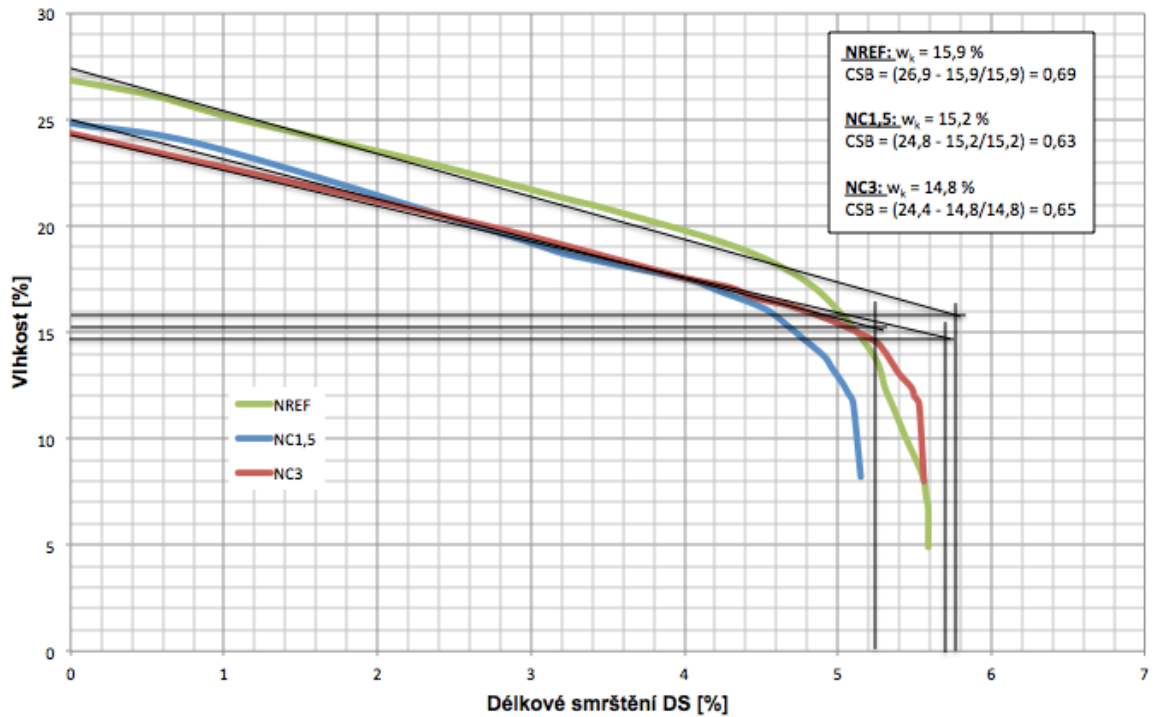
Hodnoty koeficientu CSB u přidavku bramborového škrobu do těsta byly velice podobné, stejně jako hodnoty smrštění sušením. Obsah rozdělovací vody v těstě byl prakticky stejný, nehledě na množství dávky přísady.



**Obr. č. 48:** Bigotovy křivky - Lovosa

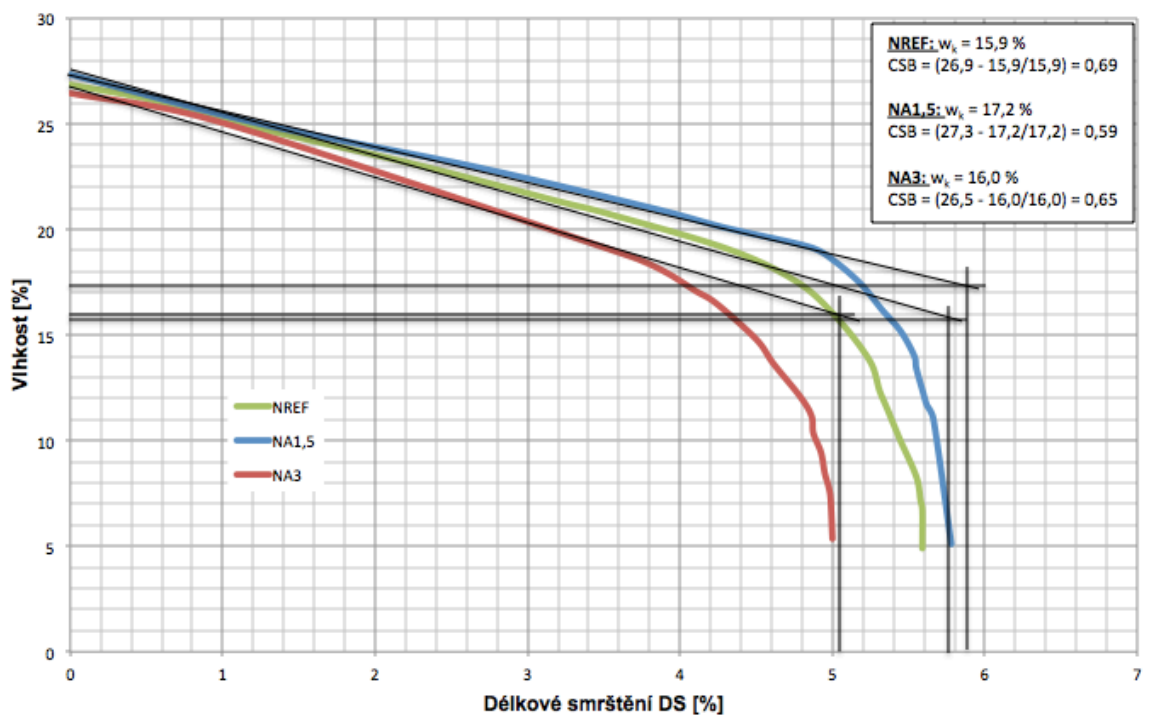
Výraznější zvýšení množství vlhkosti v těstě byl zaznamenán u přísady Lovosa. Oproti referenčnímu vzorku složenému pouze ze zeminy a 1,0% dávky Vupporu, se zvýšil obsah vody z 26,9 % na 33,7 % v případě 1,5% dávky Lovosy, hodnoty 36,2 % vody dosáhl vzorek s 3,0% přidavkem Lovosy. Při této dávce bylo těsto obtížně zpracovatelné, povrch po seříznutí přebytku těsta z formy strunou při vytváření byl potrháný. Jako hraniční pro zaručení dobré zpracovatelnosti směsi se tedy zdála být dávka 1,5 %.





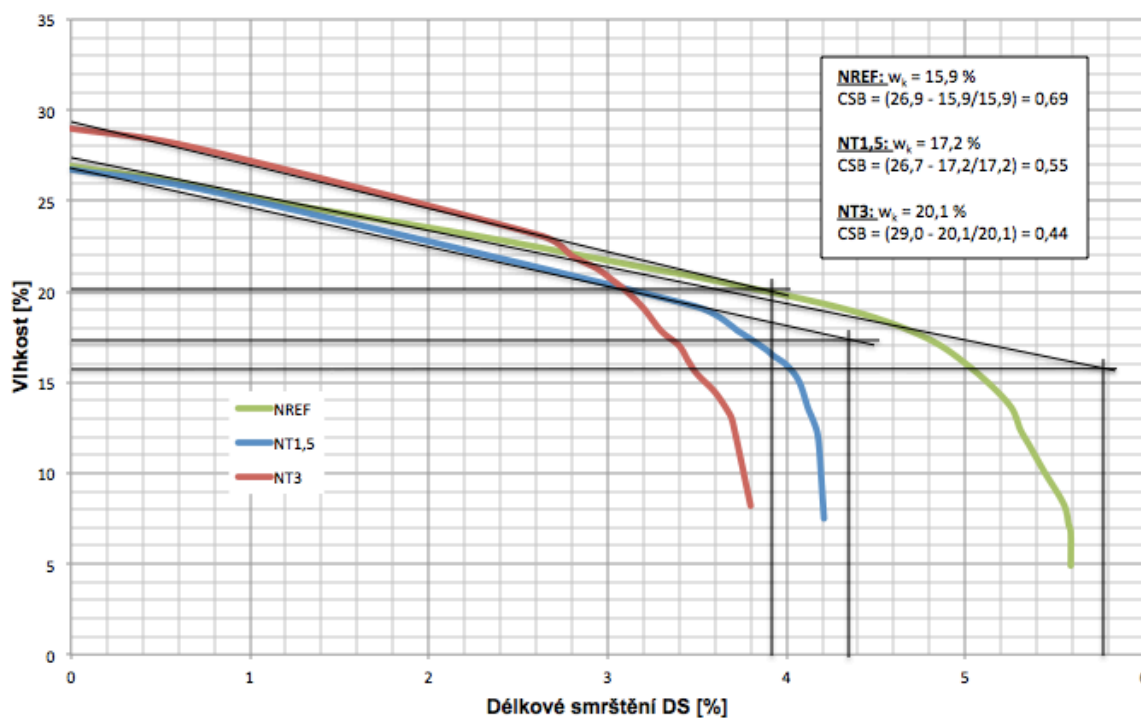
Obr. č. 49: Bigotovy křivky - cukr

Zemina Novosedly s přidavkem cukru neměla žádné výrazné změny v citlivosti k sušení ani ve smrštění sušením. Hodotny CSB byly podobné a zemina tak stále patří do skupiny zemin málo citlivých k sušení.



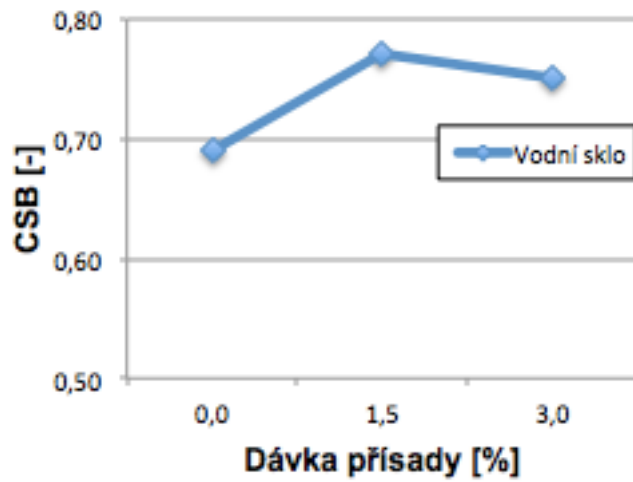
Obr. č. 50: Bigotovy křivky - Sokrat

Při 1,5% přídavku akrylátové disperze Sokrat došlo ke snížení koeficientu citlivosti CSB (0,59) oproti referenčnímu vzorku (0,69) avšak u 3,0% přídavku se koeficient CSB (0,65) vrátil blízko k hodnotě referenčního vzorku. Obsah rozdělovací vody u této přísady byl prakticky totožný.

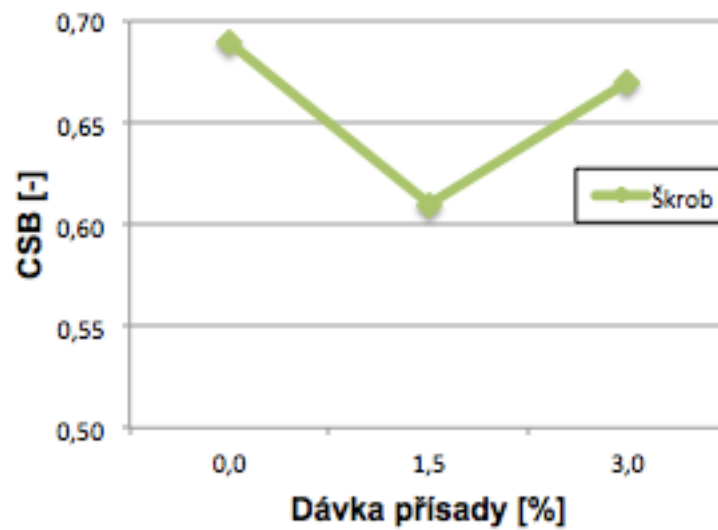


Obr. č. 51: Bigotovy křivky - cement

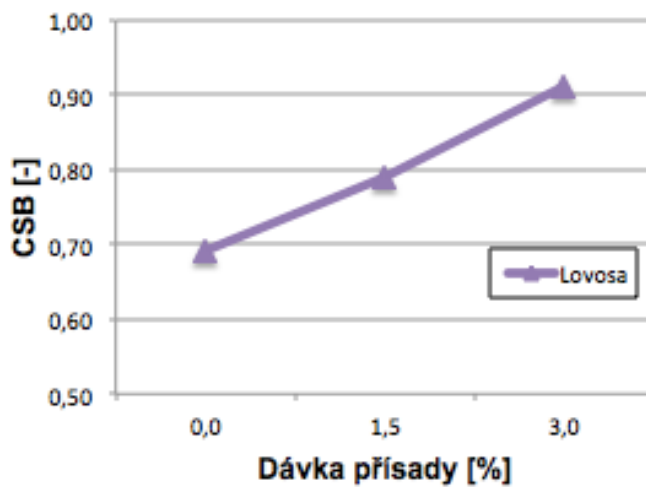
Obsah cementu ve zkoušeném těstě s Vupporem způsobil při velmi podobném obsahu vlhosti v těstě pokles koeficientu citlivosti k sušení CSB na hodnoty 0,55 u přídavku 1,5 % cementu a 0,44 u 3,0% obsahu cementu v těstě. Tím se snížilo i délkové smrštění sušením vzorku, které bylo nejmenší ze všech zkoušených přísad. Zemina patřila stále do skupiny málo citlivých k sušení.



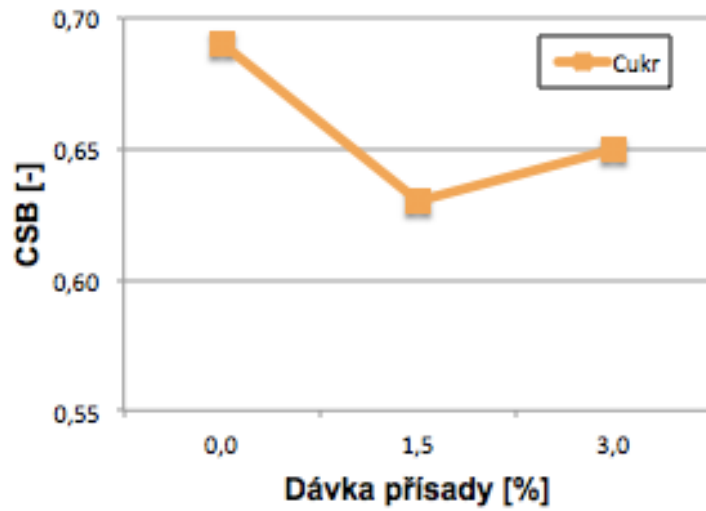
Obr. č. 52: Závislost koeficientu CSB na dávce přísady - vodní sklo



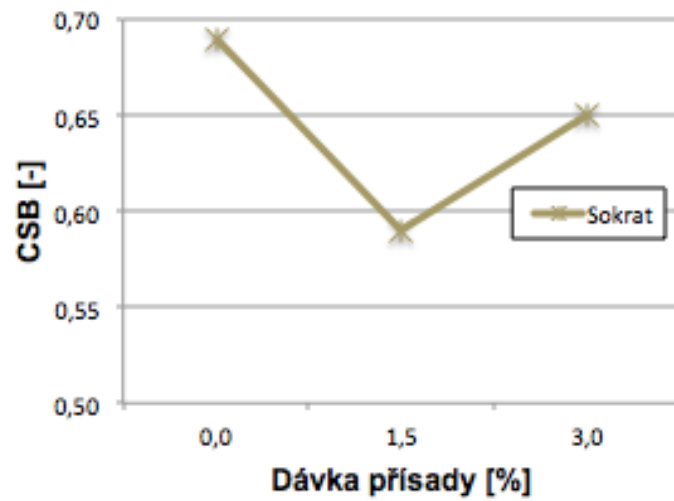
Obr. č. 53: Závislost koeficientu CSB na dávce přísady - bramborový škrob



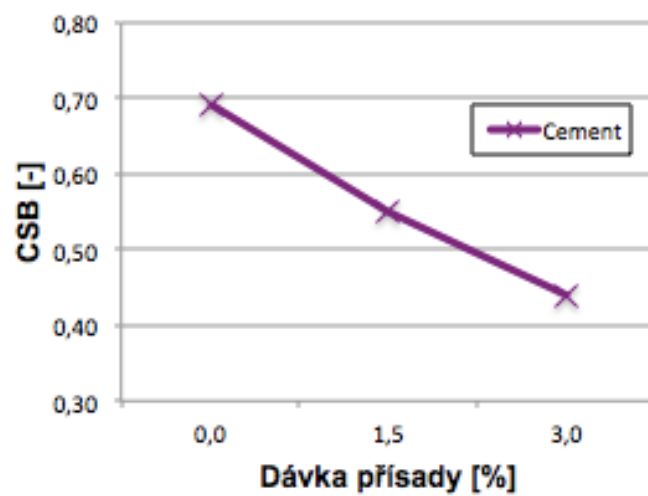
Obr. č. 54: Závislost koeficientu CSB na dávce přísady - Lovosa



Obr. č. 55: Závislost koeficientu CSB na dávce přísady - cukr



Obr. č. 56: Závislost koeficientu CSB na dávce přísady - Sokrat



Obr. č. 57: Závislost koeficientu CSB na dávce přísady - cement

Hodnoty koeficientu citlivosti k sušení CSB se oproti nulovému obsahu přísady chovaly různě. Buď měly zpočátku při zvyšujícím se obsahu (1,5 %) přísady klesavou tendenci (bramborový škrob, Sokrat, cukr) a poté se koeficient zvýšil a nebo zpočátku stoupavou tendenci a při 3,0% dávce opět klesající (vodní sklo). U přísady cementu byly naměřeny klesající hodnoty CSB při zvyšujícím se obsahu přísady a u Lovosy byl zaznamenán přesně opačný průběh hodnot (se zvyšující se dávkou přísady roste hodnota CSB). Tyto nejednotné tvary křivek (obr. č. 52 - 57) v průběhu sušení se dají nejspíše vysvětlit velkým rozdílem v dávce přísady, změny v chování tvaru křivek by se daly patrně lépe sledovat při více postupnějším přidávání aditiv.



**Obr. č. 58:** Vzorky po vysušení

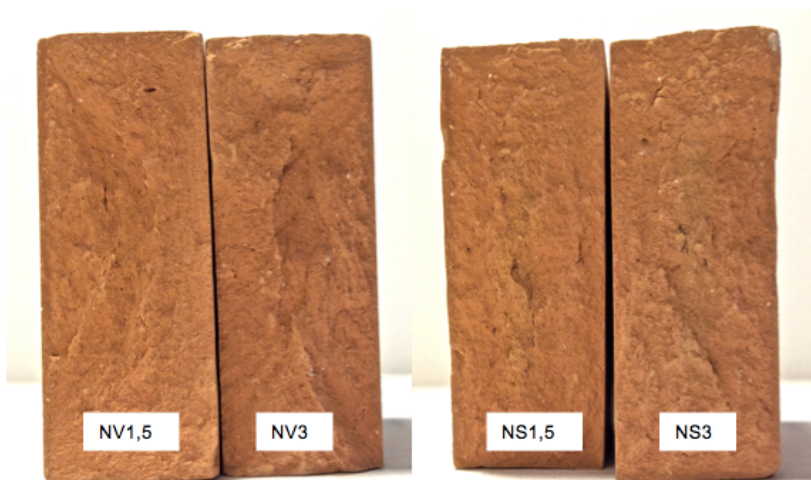


**Obr. č. 59:** Vzorky po výpalu (800 °C)

Na následujících obrázcích (č. 60 - 66) jsou zobrazeny vypálené zlomené vzorky po zkoušce pevnosti v tahu za ohybu.



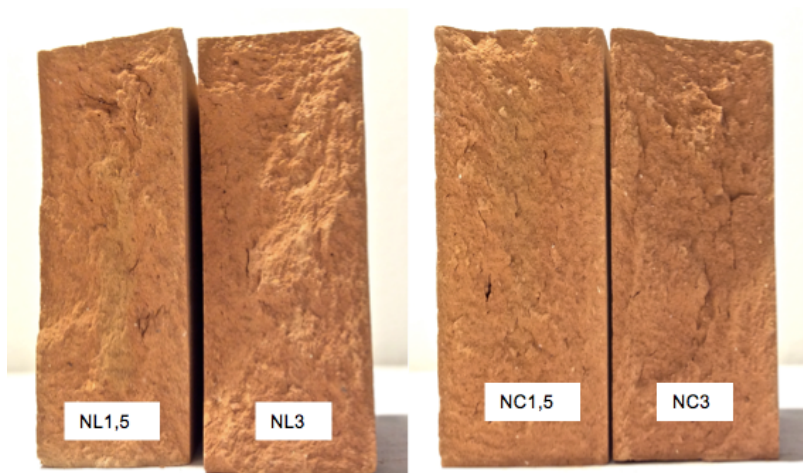
**Obr. č. 60:** Referenční vzorek



**Obr. č. 61:** Vzorek s obsahem vod. skla

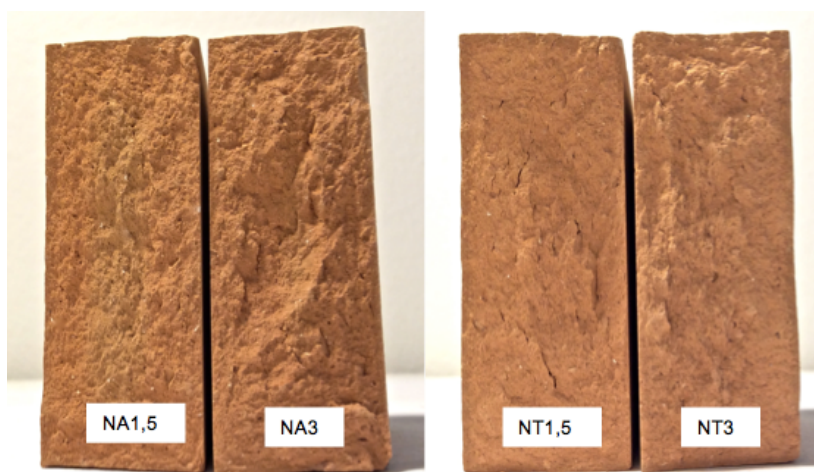
**Obr. č. 62:** Vzorky s obsahem br. škrobu





**Obr. č. 63:** Vzorky s obsahem Lovosy

**Obr. č. 64:** Vzorky s obsahem cukru



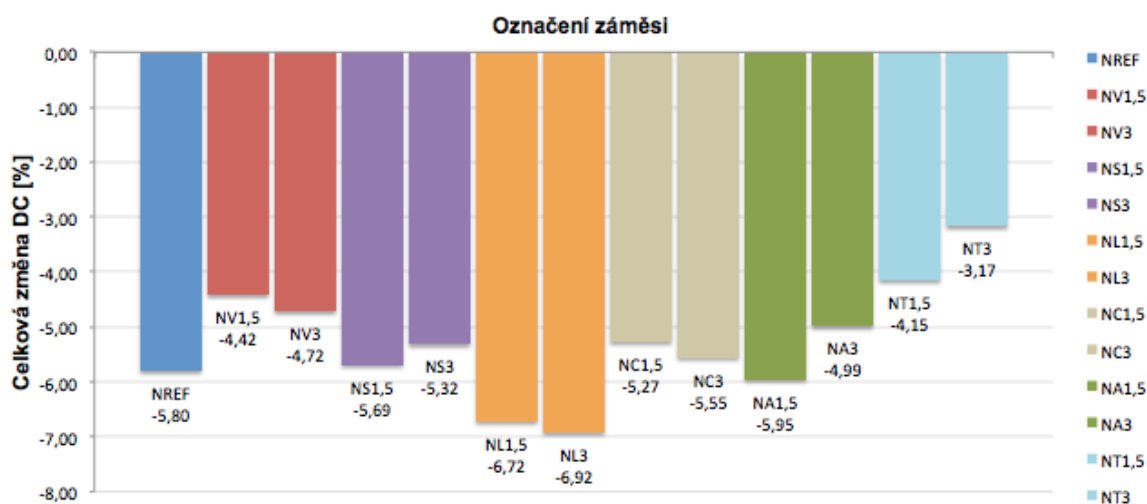
**Obr. č. 65:** Vzorky s obsahem Sokratu

**Obr. č. 66:** Vzorky s obsahem cementu

**Tabulka č. 11:** Naměřené a vypočtené hodnoty

OZN	Dávka přísady [%]	w <sub>r</sub> [%]	CSB [-]	DS [%]	DP [%]	DC [%]	PZ [%]	OH [kg.m-3]	R <sub>t</sub> [MPa]	λ [W.m-1.K-1]
NREF	-	26,9	0,69	-5,75	-0,05	-5,80	33,77	1807	3,90	0,4167
NV1,5	1,5	28,7	0,77	-4,67	0,25	-4,42	36,03	1635	3,55	0,3312
NV3	3,0	30,3	0,75	-5,29	0,57	-4,72	37,30	1617	5,52	0,3051
NS1,5	1,5	26,0	0,61	-5,66	-0,03	-5,69	38,87	1596	4,33	0,2963
NS3	3,0	27,4	0,67	-5,37	0,05	-5,32	42,02	1549	3,94	0,2495
NL1,5	1,5	33,7	0,79	-7,30	0,58	-6,72	35,82	1682	2,76	0,3259
NL3	3,0	36,2	0,91	-7,63	0,71	-6,92	36,77	1635	2,36	0,2963
NC1,5	1,5	24,8	0,63	-5,23	-0,04	-5,27	37,35	1626	4,73	0,3270
NC3	3,0	24,4	0,65	-5,69	0,13	-5,55	38,27	1622	5,12	0,2764
NA1,5	1,5	27,3	0,59	-5,88	-0,08	-5,95	39,23	1606	5,52	0,3110
NA3	3,0	26,5	0,65	-5,03	0,04	-4,99	41,21	1564	3,55	0,2680
NT1,5	1,5	26,7	0,55	-4,33	0,18	-4,15	36,15	1601	5,52	0,3336
NT3	3,0	29,0	0,44	-3,92	0,21	-3,71	38,99	1580	3,15	0,2998

## Délková změna

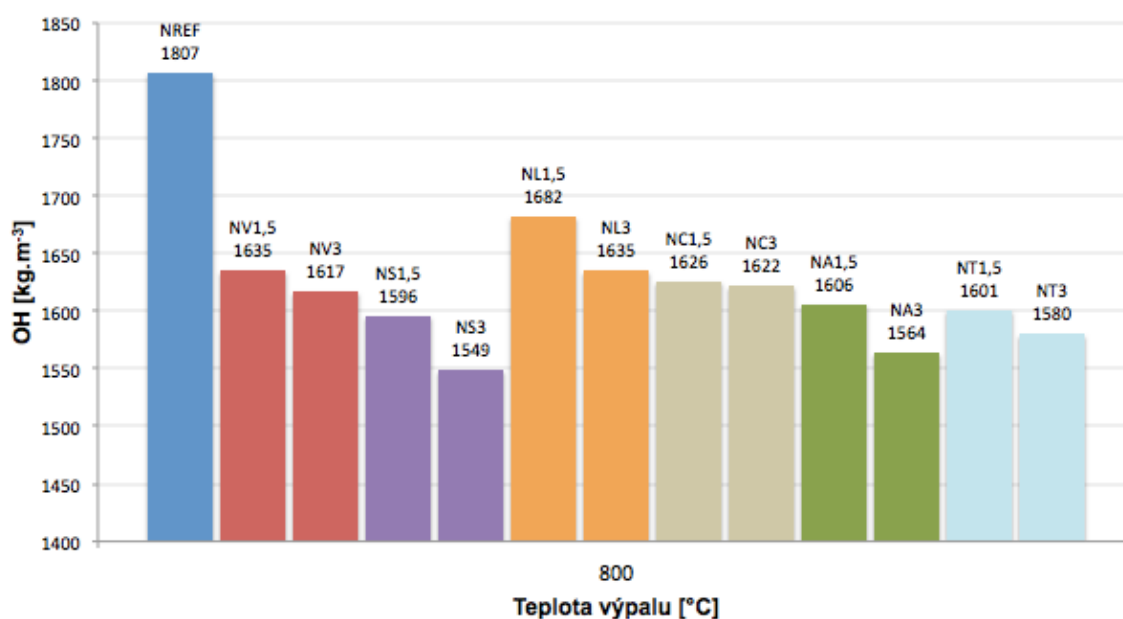


Obr. č. 67: Celková délková změna

Celková délková změna tvořená délkovou změnou sušením a pálením byla největší u vzorku NL3 vytvořeného z 3,0% přídatku Lovosy do těsta, v těsném závěsu byl i vzorek s 1,5% obsahem stejné přísady. U těchto dvou vzorků bylo nejzřetelnější smrštění sušením, v průběhu výpalu se vzorky mírně prodloužily. Velikost smrštění je pravděpodobně dána vysokým obsahem vlhkosti v rozdělovacím těstě, obsah vody u obou vzorků byl nejvyšší ze všech zkoušených přísad (33,7 % a 36,2 %). Hodnoty ostatních vzorků jsou podobné a nebyl zaznamenán výraznější výkyv ve výsledcích. Nejméně se smrštily vzorky NT1,5 a NT3 (cement), NV1,5 (vodní sklo). Kromě přísady Lovosa a 1,5% přídatku akrylátové disperze Sokrat u vzorku NA1,5 měly všechny zkoušené vzorky, nehledě na množství přísady, menší smrštění než referenční vzorek, který obsahoval pouze 1,0 % Vupporu. Příklad tedy mohly trochu hrát roli plniva, kde rozptýlené dotýkající se částice tvořily "kostru", která zabraňovala většímu smrštění.



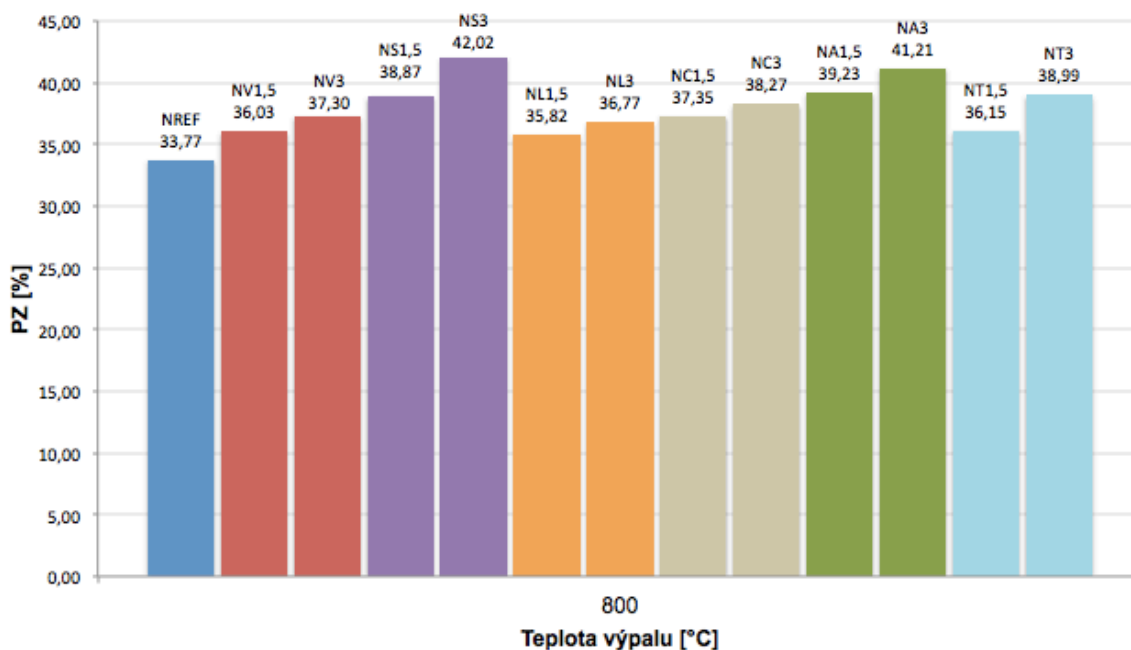
## Objemová hmotnost



Obr. č. 68: Závislost objemové hmotnosti na teplotě výpalu

Přítomnost přísad měla jednoznačný vliv na pokles objemové hmotnosti všech vzorků. Rozdíl mezi referenčním vzorkem NREF a vzorkem NS3, tedy s přidavkem bramborového škrobu, byl ve stovkách jednotek (1807 kg.m<sup>-3</sup> a 1549 kg.m<sup>-3</sup>). Přísada v podobě bramborového škrobu dosáhla velmi nízké hodnoty objemové hmotnosti již při 1,5% dávce (1596 kg.m<sup>-3</sup>). Nízké hodnoty vykazovaly také vzorky s přísadou Sokrat a s cementem, kde se snížení příliš neočekávalo. Nejvyšších objemových hmotnosti dosáhly vzorky s Lovosou (1682 kg.m<sup>-3</sup> a 1635 kg.m<sup>-3</sup>).

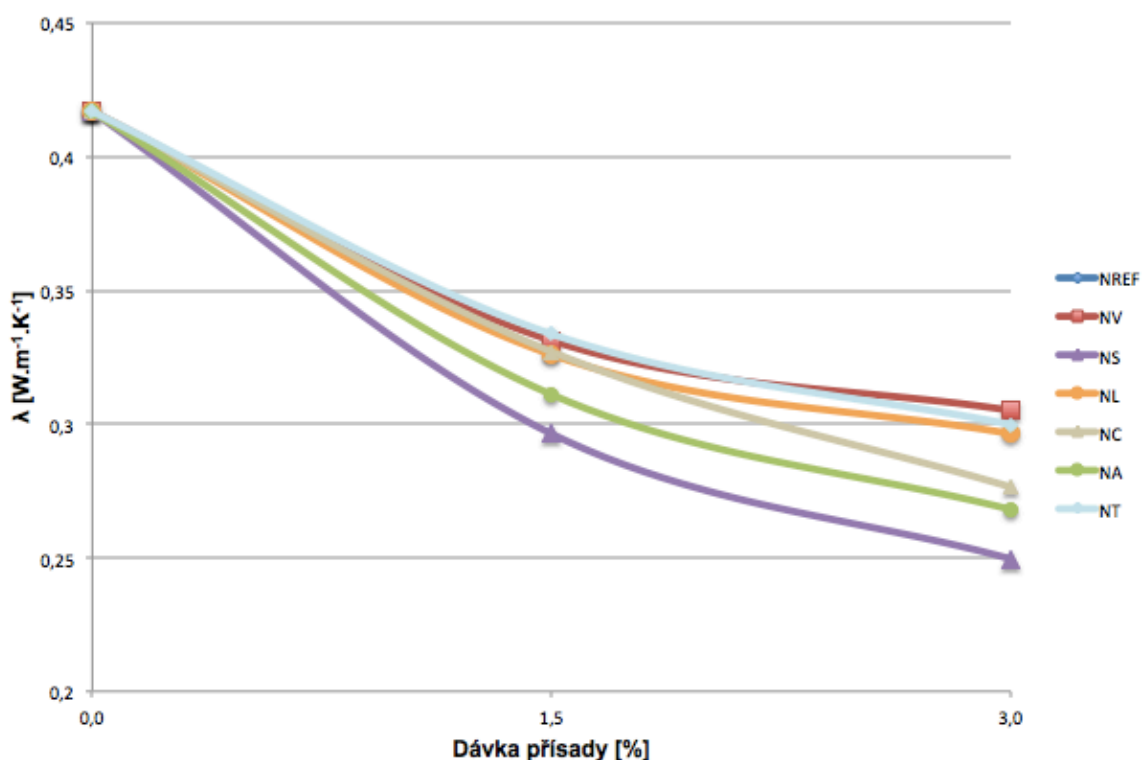
## Zdánlivá pórovitost



**Obr. č. 69:** Závislost zdánlivé pórovitosti na teplotě výpalu

Oproti referenčnímu vzorku u všech zkoušených přísad vzrostly hodnoty zdánlivé pórovitosti. Stejně jako u objemové hmotnosti, nejlepších výsledků dosáhly vzorky s 3,0% přídávkem bramborového škrobu a Sokratu. Rozdíly v pórovitosti mezi jednotlivými dávkami nebyly příliš patrné, byly maximálně v jednotkách procent. Po referenčním vzorku nejmenších hodnot dosáhly vzorky s Lovosou, kde malý obsah pórů koresponduje s vyšší objemovou hmotností.

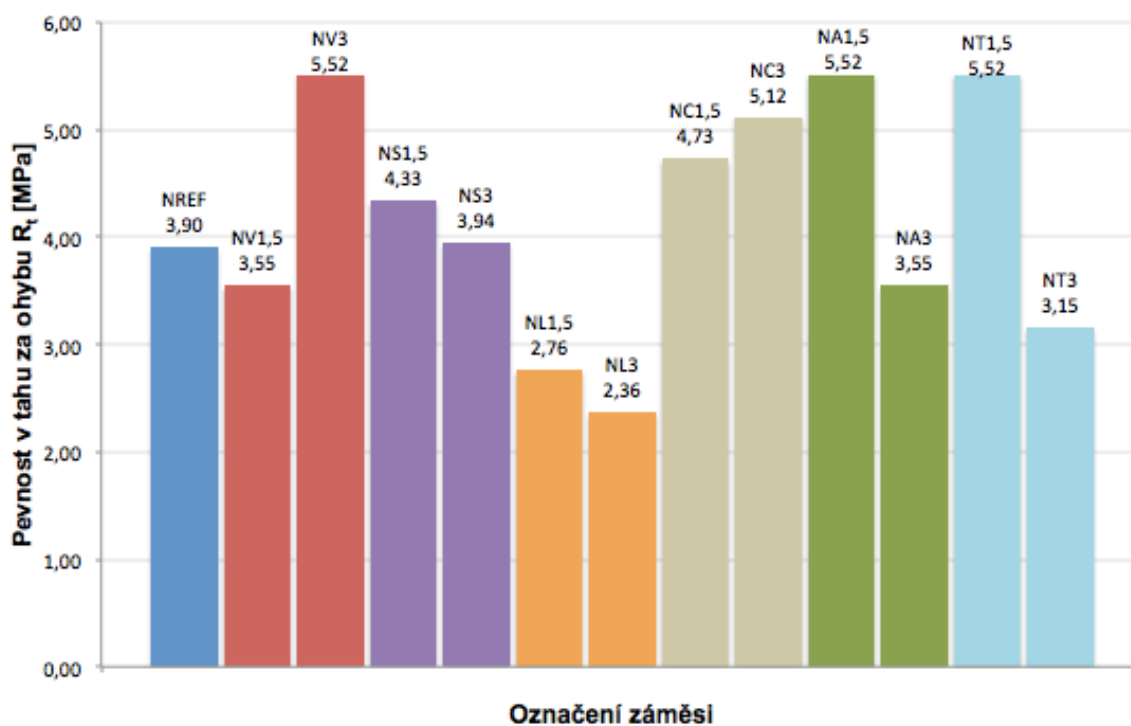
## Součinitel tepelné vodivosti



Obr. č. 70: Závislost součinitele tepelné vodivosti na dávce přísady

Nízký součinitel tepelné vodivosti  $\lambda$  je důležitým faktorem u keramických zděicích prvků a tedy i u tvarovek typu THERM. Přísada Vuppor již sama o sobě v první etapě potvrdila, že její přítomnost ve zkoušené zemině má pozitivní vliv na snižování tohoto součinitele. Ukázalo se, že přísady jsou více či méně schopné tento součinitel ještě snížit a některé poměrně podstatně. Nejvýraznějšího poklesu bylo dosaženo kombinací Vupporu a bramborového škrobu. Tam činila hodnota  $\lambda$  u 1,5% přídavku  $0,2963 \text{ W.m}^{-1}.\text{K}^{-1}$  a u 3,0 % přídavku došlo k dalšímu poklesu na  $0,2495 \text{ W.m}^{-1}.\text{K}^{-1}$ , což je již poměrně nízká hodnota. Na snížení součinitele  $\lambda$  má velký podíl pórovitost, která byla u tohoto vzorku největší. O něco vyšších hodnot dosáhla přísada Sokrat ( $0,3110 \text{ W.m}^{-1}.\text{K}^{-1}$  a  $0,2680 \text{ W.m}^{-1}.\text{K}^{-1}$ ), u vzorku NC s 3,0 % přísadou cukrem byla hodnota  $\lambda = 0,2764 \text{ W.m}^{-1}.\text{K}^{-1}$ . Je patrné, že se zvyšující se dávkou přísady klesá i hodnota součinitele tepelné vodivosti.

## Pevnost v tahu za ohybu



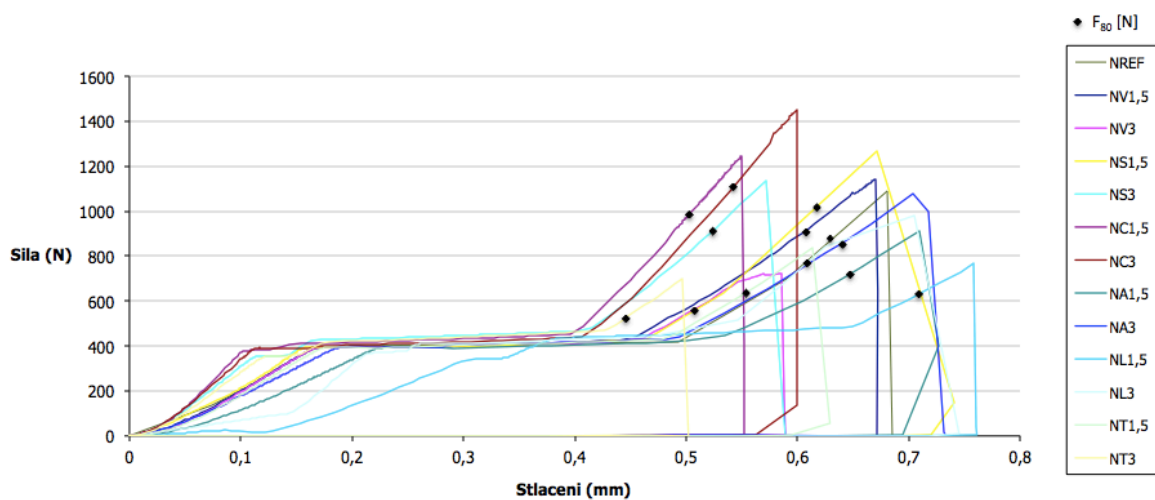
Obr. č. 71: Pevnosti v tahu za ohybu

Při určování pevnosti v tahu za ohybu nedosáhl žádný vzorek nějakého znatelného odklonu od ostatních dosažených pevností. Nejvyšší pevnost měly shodně vzorky NV3, NA3 a NT1,5 (5,52 MPa), nejmenších pevností dosáhly vzorky s Lovosou (NL1,5 = 2,76 MPa a NL3 = 2,36 MPa). U této posuzované vlastnosti nelze říci, že se zvyšujícím nebo snižujícím se obsahem přísady dochází k ovlivnění pevnosti v tahu za ohybu.

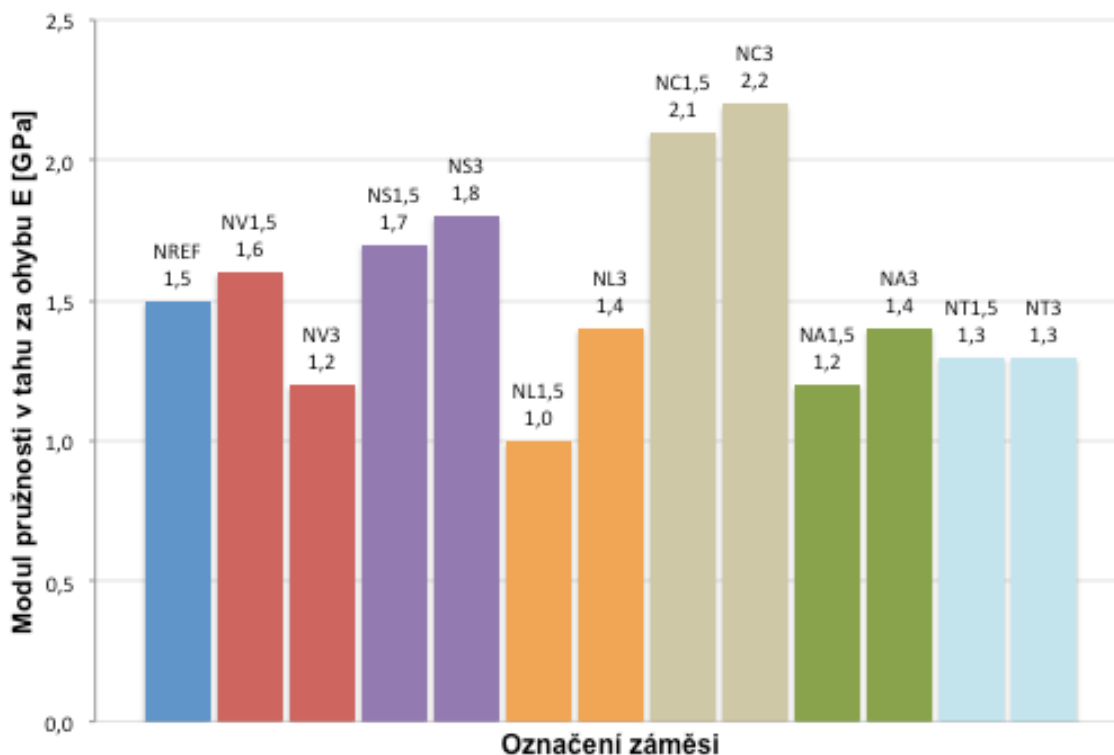
## Modul pružnosti v tahu za ohybu

Tabulka č. 12: Naměřené a vypočtené hodnoty

Označení	b [mm]	h [mm]	$F_{max}$ [N]	$F_{80\%}$ [N]	stlačení [mm]	E [GPa]
NREF	47,35	17,78	1091,239	872,991	0,685	1,5
NV1,5	47,25	17,85	1142,279	913,823	0,670	1,6
NV3	47,25	17,85	724,711	579,768	0,583	1,2
NS1,5	48,07	18,33	1266,137	1012,909	0,671	1,7
NS3	47,87	18,18	1137,179	909,743	0,572	1,8
NC1,5	47,86	18,15	1245,150	996,121	0,550	2,1
NC3	48,04	18,07	1453,934	1163,147	0,599	2,2
NA1,5	48,27	17,68	910,547	728,437	0,709	1,2
NA3	48,13	18,12	1077,751	862,200	0,704	1,4
NL1,5	46,32	16,76	765,605	612,484	0,758	1,0
NL3	46,47	17,3	982,430	785,944	0,705	1,4
NT1,5	48,25	17,91	839,940	671,952	0,613	1,3
NT3	48,53	17,74	701,960	561,568	0,497	1,3



Obr. č. 72: Graf závislosti zatížení na stlačení tělesa



**Obr. č. 73:** Modul pružnosti v tahu za ohybu E

Modul pružnosti v tahu za ohybu charakterizuje chování materiálu zatíženého tahovým napětím. Z obrázku č. 68 byla pro výpočet brána 80% hodnota maximální síly potřebné k deformaci zkušebního tělesa. Nejvyššího modulu pružnosti dosáhly vzorky NC1,5 a NC3 (2,1 GPa a 2,2 GPa) s přidavkem cukru. Naopak nejnižší hodnoty modulu pružnosti měl vzorek NL1,5 s obsahem Lovosy (1,0 GPa). Obecně řečeno hodnoty byly velmi podobné a nedá se s určitostí konstatovat, co nepatrně vyšší či nižší hodnoty modulu pružnosti v tahu za ohybu způsobilo.

#### 4.7.3 Diskuze dosažených výsledků etapy 2

Na zemině z lokality Novosedly byly zkoušeny různé přísady s cílem vylepšit účinky chemické přísady Vuppor, kterých bylo dosaženo v etapě 1. Celkově lze říci, že každá ze zkoušených přísad (vodní sklo, bramborový škrob, karboxymethylcelulóza - Lovosa, řepný cukr, akrylátová disperze - Sokrat, portlandský cement), určitým způsobem vylepšuje přísadu Vuppor. Při užším výběru, kde byly vybírány nejvýhodnější, nevhodnější a nejslibnější výsledky, nejlépe vychází přísada v podobě bramborového škrobu (podobně jako v uvedené studii, viz 3.6.5). V zásadních sledovaných vlastnostech (objemová hmotnost, pórovitost, součinitel tepelné vodivosti) dosahovala nejlepších výsledků.

Pozoruhodným jevem jsou také dosažené výsledky přísady řepného cukru, které se od přísad, od nichž se určité vlastnosti daly očekávat (škrob, Lovosa), příliš nelišily. Cukr poměrně výrazně při 3,0% dávce snížil hodnotu součinitele tepelné vodivosti, oproti referenčnímu vzorku klesla také objemová hmotnost.

Diskutabilní je však ekonomické hledisko zkoušených přísad. Vuppor sám o sobě je poměrně drahý (800 €/tuna - směnný kurz EURO = 27,02 Kč, tzn. 21 600 Kč/tuna) a proto by bylo vhodné ho kombinovat s některou přísadou, jejíž cena nebude tak vysoká. Zde by se nabízela možnost využití melasy jako v uvedeném výzkumu (viz 3.6.4), avšak cena melasy je poměrně proměnlivá a nelze zaručit bezproblémové složení, např. krmná řepná melasa (4000 Kč/tuna), která je poměrně levnou surovinou, ale lze zde očekávat rezidua po hnojení a chemických postřicích, které by mohly mít negativní vliv na vlastnosti a vzhled výrobku. Oproti tomu melasa v bio kvalitě, která se používá i jako náhradní sladidlo místo cukru, může dosahovat podobných, ba vyšších cen než samotný moučkový cukr (melasa 22 600 Kč/tuna, cukr - průměrná cena 19 000 Kč/tuna). Cena bramborového škrobu je zhruba podobná (24 000 Kč/tuna) a cementu CEM I 32,5 (3000 Kč/tuna). Zbývající přísady jsou vyráběny chemickou cestou a jejich cena je ještě vyšší než u předchozích přísad. Případná aplikace je tedy na zvážení všech hledisek ekonomické návratnosti a zhodnocení poměru cena/výkon.

[15][24][25]

## 5 Závěr

V první etapě experimentální části diplomové práce byl sledován vliv přítomnosti chemické přísady Vuppor na změnu vlastností vybraných zemin z lokalit Týn nad Vltavou, Novosedly a Jezernice. Primárním cílem bylo snížení objemové hmotnosti u těchto zemin, které se využívají pro výrobu tepelně izolačních tvarovek typu THERM v ČR. Příklad přísady Vuppor má podle výrobce schopnost snižovat hodnotu citlivosti k sušení, vytvářet pórovitou strukturu a tím snižovat teplotu výpalu díky zlepšení difuze plynů, redukovat přítomnost černého jádra u výrobků s obsahem vyhořívajících lehčiv a výrazně snižovat hodnotu součinitele tepelné vodivosti  $\lambda$ .

Dávkování přísady probíhalo v množství 0,3 %, 0,6 % a 1,0 % hmotnosti Vupporu k navážce zeminy. Přítomnost přísady u všech zkoušených zemin způsobila snižování koeficientu citlivosti k sušení podle Bigota. Toto snížení mělo za následek při 1,0% dávce Vupporu změnu zařazení zeminy z Týna nad Vltavou do kategorie středně citlivých k sušení, kdy koeficient činil 1,47. Zemina z Novosedel patřila i bez přítomnosti Vupporu u referenčního vysušeného vzorku k zeminám málo citlivým k sušení a přidáváním přísady se hodnota koeficientu ještě snižovala. K velkému snížení došlo u zeminy z lokality Jezernice, která byla poměrně těžko zpracovatelná, zemina se lepila a přítomnost Vupporu toto chování nezlepšovala. Nicméně rozdíl referenčního vzorku (CSB = 2,63) ke vzorku s obsahem 1,0 % přísady (CSB = 1,72) byl značný. Zemina se z kategorie silně citlivé k sušení zařadila k zeminám citlivým, což je výhodné a může v praxi zkrátit proces bezproblémového sušení.

Již od nejnižší dávky byl u všech zemin pozorován pokles hodnot objemové hmotnosti, což byl jeden z hlavních cílů této práce. Míra poklesu se s rostoucí dávkou přísady Vuppor ještě zvětšovala. Příklad splňovala požadovaný efekt a to při každé teplotě výpalu (800 °C, 850 °C, 900 °C). Nejvýraznějšího poklesu objemové hmotnosti bylo dosaženo při 1,0% dávce Vupporu, kde se jako efektivní i hlediska ekonomických nákladů při výrobě, kde výpal tvoří zásadní položku, osvědčila nejnižší teplota, tedy výpal na 800 °C. Rozdíly při vyšších teplotách nebyly u zemin z Novosedel a Jezernice nikterak výrazné, u zeminy z Týna nad Vltavou nebyly hodnoty objemových hmotností u každé teploty příliš odlišné.



Aplikace přísady měla vliv i na vytváření pórovité struktury ve střepe, kde byl opět se zvyšováním dávky Vupporu zaznamenán nárůst hodnot zdánlivé pórovitosti. Přísada při dávce 1,0 % nejlépe fungovala na zeminu z Novosedel (stejně jako u předchozích sledovaných vlastností), kde maximální hodnota zdánlivé pórovitosti dosáhla hodnoty  $PZ = 33,77 \%$  (referenční vzorek bez přítomnosti Vupporu  $PZ = 26,31 \%$ ) opět při teplotě výpalu  $800 \text{ }^\circ\text{C}$ . Podobné hodnoty vykazovala i zemina z Týna nad Vltavou (při 1,0 % Vupporu  $PZ = 32,86 \%$ , referenční vzorek  $PZ = 29,2 \%$ ), která se však při zvyšující se teplotě výpalu pomalu snižovala. Stejný trend sledovala i zemina z lokality Novosedly. Zemina Jezernice dosahovala nižších hodnot v řádu jednotek procent, ačkoli mírný nárůst zdánlivé pórovitosti byl u teplot  $800 \text{ }^\circ\text{C}$  a  $850 \text{ }^\circ\text{C}$  také zaznamenán. Vzorky z této zeminy včetně referenčního působily velmi slinutě, měly největší smrštění a proto u nich velká pórovitost nebyla ani očekávána. Dílčí cíl práce, tedy možnost snížení objemové hmotnosti pomocí aditiva Vuppor byl úspěšně naplněn.

Velmi zásadní vlastnosti u vylehčování cihlářského střepe je hodnota součinitele tepelné vodivosti  $\lambda$ . Jeho snižování patří k přednostem přísady Vuppor, alespoň tak to uvádí výrobce a tento fakt je třeba potvrdit. Bez ohledu na teplotu výpalu nebo dávce přísady toto tvrzení platilo bez výjimky na všechny zkoušené zeminy. Hodnotu součinitele  $\lambda$  se s přítomností vyššího množství Vupporu dařilo snižovat. Nejnižších hodnot tedy dosahovaly vzorky s 1,0 % obsahem Vupporu a to při každé teplotě výpalu. Jako nejvýhodnější se ale opět ukázala být teplota  $800 \text{ }^\circ\text{C}$ , jak z hlediska nejnižší teploty výpalu, tak z největšího rozdílu oproti referenčnímu vzorku, kde došlo ke snížení  $\lambda$  u zeminy z Týna nad Vltavou u referenčního vzorku  $TNVR = 0,4453 \text{ W}\cdot\text{m}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}$  na  $TNVIII = 0,4129 \text{ W}\cdot\text{m}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}$  (1,0% obsah Vupporu). U zeminy Novosedly z referenčních  $NR = 0,4409 \text{ W}\cdot\text{m}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}$  na  $NVIII = 0,4167 \text{ W}\cdot\text{m}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}$  a u zeminy Jezernice z hodnoty referenční  $JR = 0,4932 \text{ W}\cdot\text{m}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}$  na hodnotu  $JVIII = 0,4419 \text{ W}\cdot\text{m}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}$  u vzorku s 1,0 % Vupporu.

Pevnost v tahu za ohybu byla jak se zdá vlastnost, na kterou přítomnost přísady Vuppor nemá pozitivní vliv. U všech zemin nejvyšších hodnot pevností dosahovaly vzorky referenční a se zvyšující se dávkou přísady pevnost klesala. Vysvětlit si to lze zvýšenou mírou pórovitosti díky přísadě, která má tedy na pevnost kontraproduktivní efekt. Rozdíly v pevnostech v tahu za ohybu však nebyly příliš

výrazné a u zeminy z Týna nad Vltavou byly dokonce velmi konstatní, nehledě na teplotu výpalu.

Druhá etapa se zabírala možnostmi vylepšení vlastností střepu pomocí kombinace Vupporu a dalších přísad. Z první etapy byla jako nejvhodnější vybrána zemina z lokality Novosedly. Tato zemina měla největší potenciál pro vylepšení cílových vlastností, protože velmi dobře reagovala na přítomnost Vupporu ve střepu. Příprava těles probíhala tak, že každý vzorek obsahoval jednotnou 1,0% dávku Vupporu a k této receptuře byly přidávány další přísady v množství 1,5 % a 3,0 % z hmotnosti navážky. Zkoušené přísady byly následující: vodní sklo, bramborový škrob, Lovosa (karboxymethylcelulóza), řepný moučkový cukr, akrylátová disperze (Sokrat) a portlandský cement. Jednotná byla také teplota výpalu a to 800 °C.

Při určování koeficientu citlivosti k sušení podle Bigota žádná ze zkoušených přísad nepřesáhla hraniční hodnotu pro zeminu málo citlivou k sušení (všechny hodnoty <1). Nejvyšší obsah rozdělovací vody v těstě měla přísada Lovosa, kde obsah vody při 1,5% dávce činil 33,7 % a při 3,0 % dávce byl obsah vody 36,2 %. Vzorky z Lovosy měly také největší smrštění sušením a to právě díky vysokému obsahu vody v těstě. Těsto bylo při 3,0% obsahu přísady již obtížně zpracovatelné, požadované míry plasticity bylo dosaženo vysokým obsahem rozdělovací vody. Naopak nejmenších hodnot smrštění sušením dosáhly vzorky s cementem. To si lze možná vysvětlit tím, že rozptýlené částice cementu v keramické matici reagovaly s rozdělovací vodou, proběhlo rychlejší zatuhnutí ve struktuře záměsi a tím byla schopnost vzorku se smrstit eliminována.

Celková délková změna korespondovala s hodnotami smrštění sušením. Nejvíce se smrštily vzorky s Lovosou, s 1,5% obsahem Sokratu a škrobu, nejméně vzorky s přítomností cementu, vodního skla a cukru.

Stěžejní sledovanou vlastností byla objemová hmotnost. Od přísad bylo očekáváno její ještě větší snížení v kombinaci s Vupporem, než při pouhém složení zemina + Vuppor. Lze konstatovat, že očekávání bylo splněno překvapivě u všech přísad, u některých velmi výrazně. Jako nejvíce nadějná se ukázala být kombinace 1,0 % Vuppor a 3,0% dávka bramborového škrobu. Došlo u ní ke snížení oproti referenčnímu vzorku (zemina + 1,0 % Vuppor) z hodnoty 1807 kg.m<sup>-3</sup> na hodnotu 1549 kg.m<sup>-3</sup>, tedy snížení o 258 kg.m<sup>-3</sup>, což je poměrně zřetelný pokles. Špatně si nevedla ani nižší dávka stejné přísady, která s 3,0%

obsahem Sokratu dosáhla podobných hodnot ( $1596 \text{ kg.m}^{-3}$  a  $1564 \text{ kg.m}^{-3}$ ). Nízkých hodnot dosáhly také vzorky s cementem a vodním sklem, nejmenší rozdíl v objemových hmotnostech byl zaznamenán v 1,5% dávky Lovosy.

S hodnotami objemových hmotností korespondovaly hodnoty zdánlivých pórovitostí, kdy vzorky s nižší OH vykazovaly vyšší míru pórovitosti. Nejzřetelnějším důkazem byl vzorek NS3 (tedy 3,0% přítomnost bramborového škrobu), který měl pórovitost 42,02 %. Podobné hodnoty dosáhl také vzorek NA3 = 41,21 % (Sokrat). O něco větší zdánlivé pórovitosti než u referenčního vzorku (33,77 % - nejnižší hodnota) bylo dosaženo u vzorku NL1,5 (35,82 %), který měl největší objemovou hmotnost. Zde tedy platí, že vyšší objemová hmotnost znamená menší pórovitost.

Velmi pozitivní vliv měla přítomnost přísad i na pokles součinitele tepelné vodivosti  $\lambda$ , který byl zaznamenán u všech testovaných záměsí. Dobrou schopnost co nejvíce snížit hodnotu součinitele tepelné vodivosti prokázala opět přísada v podobě bramborového škrobu. Ta u 1,5% přídatku snížila referenční hodnotu ze  $0,4167 \text{ W.m}^{-1}.\text{K}^{-1}$  na  $0,2963 \text{ W.m}^{-1}.\text{K}^{-1}$  a při zvýšení dávky na 3,0 % bramborového škrobu ještě dokonce klesla na  $0,2495 \text{ W.m}^{-1}.\text{K}^{-1}$ , což se dá považovat za poměrně nízkou hodnotu. Podobný průběh s mírně vyššími součiniteli tepelné vodivosti byl zaznamenán u akrylátové disperze (Sokrat) a nízkou konečnou hodnotu měl při 3,0 % obsahu i cukr ( $0,2764 \text{ W.m}^{-1}.\text{K}^{-1}$ ). Nejmenší pokles byl zaznamenán u vodního skla a cementu, ale i u těchto přísad platí, že se zvyšující se dávkou přísady klesá hodnota součinitele tepelné vodivosti  $\lambda$ , nehmledě její druh.

V pevnostech v tahu za ohybu dosáhly stejné hodnoty (5,52 MPa) vzorky NV3 (vodní sklo), NA1,5 (Sokrat) a NT1,5 (cement). Ostatní vzorky měly hodnoty rozptýlené nezávisle na množství dávky přísady, proto zde nelze hledat přímé ovlivnění pevností v tahu za ohybu. Podobně je tomu i u modulů pružnosti v tahu za ohybu, kde kromě vzorků s přítomností vodního skla, můžeme konstatovat mírný nárůst modulu pružnosti E se zvyšující se dávkou přísady. Nejvyšší modul pružnosti v tahu za ohybu byl zaznamenán u vzorků NC1,5 a NC3 (2,1 a 2,2 GPa), nejnižší u vzorků NL1,5 (1,0 GPa), NV3 a NA1,5 (1,2 GPa).

Ukázalo se, že vybrané druhy přísad se zdály být vhodné pro kombinování s Vupporem, u kterého se potvrdila již dříve prokázaná účinnost. Jeho aplikace do plastického těsta ze zkoušených zemin se zdá být jistou zárukou snížení

objemové hmotnosti a má pozitivní vliv na další vlastnosti, které uvádí výrobce (pokles hodnoty citlivosti k sušení, snížení teploty výpalu, nižší hodnoty součinitele tepelné vodivosti, zvýšení pórovitosti střepe). Požadovaného snížení objemové hmotnosti (v kombinaci s Vupporem) a dalších vlastností dosáhly všechny přísady avšak z hlediska splnění cílů práce lze vyhodnotit jako nejvýhodněji působící aplikaci bramborového škrobu. Přítomnost škrobu způsobovala nejvýraznější změny ve vypáleném cihlářském střepe - zejména snížení objemové hmotnosti a součinitele tepelné vodivosti či zvýšení pórovitosti střepe. Další sledované vlastnosti se pohybovaly v rozmezí hodnot dosažených ostatními aditivy. Určitý efekt na klíčovou vlastnost - tedy snižování objemové hmotnosti cihlářského střepe v kombinaci s Vupporem měly všechny zkoušené přísady. Nejdůležitějším faktorem v případném zavedení aditiv do reálné výroby se tedy zdá být finanční náročnost aplikace vybrané přísady.

## Seznam použité literatury

- [1] PYTLÍK, P., SOKOLÁŘ, R.: *Stavební keramika, technologie, vlastnosti a využití*. CERM, s.r.o., Brno, 2002, 285 s. ISBM: 80-7204-234-3.
- [2] PYTLÍK, P. *Cihlářství*. 1. vyd. Brno: CERM, 1995. 264 s. ISBN 80-214-0612-7.
- [3] KORNMANN, M. *Clay bricks and roof tiles, Manufacturing and properties*. 1. vyd. Paris - France: Société de l'industrie minérale, 2007. 308 s. ISBN 2-9517765-6-X.
- [4] FRIC, M. *Možnosti zvýšení užitných vlastností lehčeného cihlářského střepe*. Diplomov práce. VUT FAST Brno, 2013.
- [5] SVOBODOVÁ, M. *Posouzení mořnosti využit prsady Vuppor v lehčenm řamotovm střepe*. Diplomov práce. VUT FAST Brno, 2015.
- [6] CSCM [online]. 2015 [cit. 27.12.2015]. Dostupné z WWW:  
<http://www.cscm.cz/napsali/cihlarske-hliny.pdf>
- [7] KERAMIKA [online]. 2015 [cit. 27.12.2015]. Dostupné z WWW:  
<http://geologie.vsb.cz/loziska/suroviny/keramika.html>
- [8] SVOBODOVÁ, M. *Charakteristika cihlářských zemin pouřivanch pro výrobu tepeln izolcnch tvarovek typu THERM*. Bakalřsk práce. VUT FAST Brno, 2013.
- [9] HANYKÝŘ, V., KUTZENDÖRFER, J. *Technologie keramiky*. 1. vyd. Hradec Krlov: Vega, 2000. 287 s. ISBN 80-900860-6-3.
- [10] SOKOLÁŘ, R. *Keramika – Modul BJ04 M01*. Brno: VUT FAST, 2006. 176 s.
- [11] řVEDA, M., KOMORA, L. *Odpad z výroby organických kyselín může zlepřit vlastnosti tehliarskch vrobkov*. Waste forum, 2011, ro. 7, . 3, s. 72.
- [12] řVEDA, M., BGEL, L., KOMORA, L. *A new possibility for pore-forming in the clay body*. Zeegelindustrie international. 1996, vol. 49, no. 4, p. 277.
- [13] řVEDA, M., RYBK, J., GOMOLOV, Z. *Improvmnt of production and product characteristics with Vuppor*. Zeegelindustrie international. 1997, vol. 50, no. 3, p. 164.

- [14] ŠVEDA, M. *Chemická přísada VUPPOR 2*. Keramický zpravodaj. 2011, roč. 27, č. 3, s. 11-15.
- [15] JANÍK, B., ŠVEDA, M. *Melasa a její využití v tehliarskom priemysle*. In RECYCLING 2014 : Možnosti a perspektivy recyklace stavebních odpadů jako zdroje plnohodnotných surovin. Sborník přednášek 19. ročníku konference. Brno, ČR, 13.-14.3.2014. Brno: Vysoké učení technické v Brně, 2014, s. 104--111. ISBN 978-80-214-4866-7.
- [16] SUK, V. *Bigotova křivka jako nástroj pro posuzování vlastností plastického těsta*. Bakalářská práce. VUT FAST Brno, 2014.
- [17] SOKOLÁŘ, R., SMETANOVÁ, L. *Keramika-laboratoře/Modul BJ02/M01*. Brno: VUT FAST, 2006.
- [18] WIENERBERGER [online]. 2015 [cit. 28.12.2015]. Dostupné z WWW:  
<http://www.wienerberger.cz/kontakty/v%C3%BDrobn%C3%AD-z%C3%A1vody-centr%C3%A1la>
- [19] SVOBODOVÁ, M. *Charakteristika cihlářských zemin používaných pro výrobu tepelně izolačních tvarovek typu THERM*. Bakalářská práce. VUT FAST Brno, 2013.
- [20] LOVOCHEMIE [online]. 2015 [cit. 28.12.2015]. Dostupné z WWW:  
<http://www.lovochemie.cz/cs/dokumenty-ke-stazeni/dokument/3ad13e82b25396eef08e2b91b5b1c83b8d63c318.pdf/LOVOSA%20TS20.pdf>
- [21] DENBRAVEN [online]. 2015 [cit. 28.12.2015]. Dostupné z WWW:  
[http://www.denbraven.cz/dokument-produkt/22/tl-09\\_S-T7\\_30-rev7-S2802A-Primes-do-stavebnich-smesi.pdf](http://www.denbraven.cz/dokument-produkt/22/tl-09_S-T7_30-rev7-S2802A-Primes-do-stavebnich-smesi.pdf)
- [22] HPS [online]. 2015 [cit. 28.12.2015]. Dostupné z WWW:  
<http://www.hps.cz/vyroba-cukru/>
- [23] CSCM [online]. 2015 [cit. 28.12.2015]. Dostupné z WWW:  
<http://www.cscm.cz/lexikon/kap1.pdf>
- [24] CZSO [online]. 2015 [cit. 28.12.2015]. Dostupné z WWW:

<http://www.czso.cz>

[25] ČNB [online]. 2015 [cit. 28.12.2015]. Dostupné z WWW:

[https://www.cnb.cz/cs/financni\\_trhy/devizovy\\_trh/kurzy\\_devizoveho\\_trhu/denni\\_kurz.jsp](https://www.cnb.cz/cs/financni_trhy/devizovy_trh/kurzy_devizoveho_trhu/denni_kurz.jsp)

[26] RUJIE, H., ZHAOLIANG Q., XIANGMENG, Ch. *Effects of starch addition amount on microstructure, mechanical properties and room temperature thermal conductivity of porous  $Y_2SiO_5$  ceramics*. Science Direct [online]. 2015, [cit. 8.1.2016]. Dostupné z WWW:

<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0272884215018970>

## **NORMY**

ČSN 72 1564 Cihlářské zeminy

ČSN 72 1083 Termické rozbory keramických surovin

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

ČSN 72 1565 - 5 Zkoušení cihlářských zemin. Stanovení délkových změn sušením  
a pálením

ČSN 72 1565 - 11 Zkoušení cihlářských zemin. Stanovení maximální porovnávací  
rychlosti nezávadného sušení. Stanovení kritické vlhkosti

## Seznam použitých tabulek a obrázků

### Tabulky

<b>Tabulka č. 1:</b> Rozdělení cihlářských zemin .....	13
<b>Tabulka č. 2:</b> Parametry základních typů sušáren [10] .....	16
<b>Tabulka č. 3:</b> Vliv dávky na vlastnosti výrobku [12] .....	20
<b>Tabulka č. 4:</b> Vlastnosti cihlářských surovin P [14] .....	23
<b>Tabulka č. 5:</b> Vlastnosti cihlářských surovin U [14].....	23
<b>Tabulka č. 6:</b> Označení, název a charakteristika přísad [15] .....	26
<b>Tabulka č. 7:</b> Vlastnosti cihlářského střepe [15] .....	27
<b>Tabulka č. 8:</b> Chemická analýza použitých zemin [19] .....	41
<b>Tabulka č. 9:</b> Základní charakteristiky zkušebních těst .....	43
<b>Tabulka č. 10:</b> Vypočtené a naměřené hodnoty .....	47
<b>Tabulka č. 11:</b> Naměřené a vypočtené hodnoty .....	67
<b>Tabulka č. 12:</b> Naměřené a vypočtené hodnoty .....	73



## Obrázky

<b>Obr. č. 1:</b> Winklerův diagram: A - základní jednoduché výrobky (cihla plná), B - zdící děrované a velkorozměrové výrobky, C - tenkostěnné výrobky, krytina; X <sub>1</sub> - zrna pod 2 μm; X <sub>2</sub> - zrna 2 - 20 μm, X <sub>3</sub> - zrna nad 20 μm .....	13
<b>Obr. č. 2:</b> Vakuový šnekový lis: 1 - mísící šnek, 2 - lisovací šnek, 3 - odřezávací rozeta ve vakuové komoře, 4 - protlačovací síto, 5 - lisovací hlava, 6 - podávací otvor, 7 - protinože, 8 - podávací válec, 9 - koncová hlava šneku, 10 - ústí lisu, 11 - vakuová komora [1].....	15
<b>Obr. č. 3:</b> Ústí šnekového lisu [7] .....	15
<b>Obr. č. 4:</b> Tvarovka POROTHERM 440 P+D [18] .....	17
<b>Obr. č. 5:</b> Přísada VUPPOR.....	19
<b>Obr. č. 6:</b> Vliv množství přísady na optimální vlhkost [12].....	20
<b>Obr. č. 7:</b> Snížení objemové hmotnosti v závislosti na množství přísady [12] .....	21
<b>Obr. č. 8:</b> Závislost pevnosti v tlaku na množství přísady [12] .....	21
<b>Obr. č. 9:</b> Závislost objemové hmotnosti na teplotě výpalu [13].....	22
<b>Obr. č. 10:</b> Závislost součinitele tepelné vodivosti na teplotě výpalu [13] .....	22
<b>Obr. č. 11:</b> Vliv pracovní vlhkosti na dávku přísady [14] .....	24
<b>Obr. č. 12:</b> Závislost součinitele tepelné vodivosti na dávce přísady [14].....	24
<b>Obr. č. 13:</b> Závislost objemové hmotnosti na dávce přísady [15].....	28
<b>Obr. č. 14:</b> Závislost součinitele tepelné vodivosti na dávce přísady [15].....	28
<b>Obr. č. 15:</b> Velikost pórů [25].....	29
<b>Obr. č. 16:</b> Závislost relativní hustoty a pórovitosti na dávce škrobu [25] .....	29
<b>Obr. č. 17:</b> Závislost součinitele tepelné vodivosti na dávce škrobu [25] .....	30
<b>Obr. č. 18:</b> Závislost pevnosti v tlaku na dávce škrobu [25] .....	30
<b>Obr. č. 19:</b> Pfefferkornův přístroj [16] .....	33
<b>Obr. č. 20:</b> Bigotova křivka [17] .....	34
<b>Obr. č. 21:</b> Přístroj Shoterm QTM .....	38
<b>Obr. č. 22:</b> Ložiska společnosti Wienerberger cihlářský průmysl a.s. [18].....	38
<b>Obr. č. 23:</b> RTG použitých zemin (A - Týn nad Vltavou, B - Novosedly, C - Jezernice) [19] ....	39
<b>Obr. č. 24:</b> DTG použitých zemin [19].....	40
<b>Obr. č. 25:</b> DKTA použitých zemin [19].....	41
<b>Obr. č. 26:</b> Bigotovy křivky zeminy A - Týn nad Vltavou .....	43

<b>Obr. č. 27:</b> Bigotovy křivky zeminy B - Novosedly .....	44
<b>Obr. č. 28:</b> Bigotovy křivky zeminy C - Jezernice .....	44
<b>Obr. č. 29:</b> Závislost koeficientu CSB na dávce Vupporu (A - Týn nad Vltavou) .....	45
<b>Obr. č. 30:</b> Závislost koeficientu CSB na dávce Vupporu (B - Novosedly).....	45
<b>Obr. č. 31:</b> Závislost koeficientu CSB na dávce VUPPORu (C - Jezernice) .....	46
<b>Obr. č. 32:</b> Závislost objemové hmotnosti na teplotě výpalu .....	48
<b>Obr. č. 33:</b> Závislost zdánlivé pórovitosti na teplotě výpalu 800 °C .....	49
<b>Obr. č. 34:</b> Závislost zdánlivé pórovitosti na teplotě výpalu 850 °C .....	49
<b>Obr. č. 35:</b> Závislost zdánlivé pórovitosti na teplotě výpalu 900 °C .....	50
<b>Obr. č. 36:</b> Závislost $\lambda$ na dávce Vupporu teplota výpalu 800 °C - Týn n. Vltavou.....	51
<b>Obr. č. 37:</b> Závislost $\lambda$ na dávce Vupporu teplota výpalu 850 °C - Týn n. Vltavou.....	51
<b>Obr. č. 38:</b> Závislost $\lambda$ na dávce Vupporu teplota výpalu 900 °C - Týn n. Vltavou.....	51
<b>Obr. č. 39:</b> Závislost $\lambda$ na dávce Vupporu teplota výpalu 800 °C - Novosedly .....	52
<b>Obr. č. 40:</b> Závislost $\lambda$ na dávce Vupporu teplota výpalu 850 °C - Novosedly .....	52
<b>Obr. č. 41:</b> Závislost $\lambda$ na dávce Vupporu teplota výpalu 900 °C - Novosedly .....	52
<b>Obr. č. 42:</b> Závislost $\lambda$ na dávce Vupporu teplota výpalu 800 °C - Jezernice .....	52
<b>Obr. č. 43:</b> Závislost $\lambda$ na dávce Vupporu teplota výpalu 850 °C - Jezernice .....	52
<b>Obr. č. 44:</b> Závislost $\lambda$ na dávce Vupporu teplota výpalu 900 °C - Jezernice .....	53
<b>Obr. č. 45:</b> Závislost pevnosti v tahu za ohybu na teplotě výpalu .....	54
<b>Obr. č. 46:</b> Bigotovy křivky - vodní sklo .....	58
<b>Obr. č. 47:</b> Bigotovy křivky - bramborový škrob .....	59
<b>Obr. č. 48:</b> Bigotovy křivky - Lovosa.....	60
<b>Obr. č. 49:</b> Bigotovy křivky - cukr .....	61
<b>Obr. č. 50:</b> Bigotovy křivky - Sokrat.....	61
<b>Obr. č. 51:</b> Bigotovy křivky - cement .....	62
<b>Obr. č. 52:</b> Závislost koeficientu CSB na dávce přísady - vodní sklo.....	63
<b>Obr. č. 53:</b> Závislost koeficientu CSB na dávce přísady - bramborový škrob .....	63
<b>Obr. č. 54:</b> Závislost koeficientu CSB na dávce přísady - Lovosa .....	63
<b>Obr. č. 55:</b> Závislost koeficientu CSB na dávce přísady - cukr .....	64
<b>Obr. č. 56:</b> Závislost koeficientu CSB na dávce přísady - Sokrat.....	64

<b>Obr. č. 57:</b> Závislost koeficientu CSB na dávce přísady - cement .....	64
<b>Obr. č. 58:</b> Vzorky po vysušení .....	65
<b>Obr. č. 59:</b> Vzorky po výpalu (800 °C).....	65
<b>Obr. č. 60:</b> Referenční vzorek .....	66
<b>Obr. č. 61:</b> Vzorek s obsahem vod. skla .....	66
<b>Obr. č. 62:</b> Vzorky s obsahem br. škrobu .....	66
<b>Obr. č. 63:</b> Vzorky s obsahem Lovosy .....	67
<b>Obr. č. 64:</b> Vzorky s obsahem cukru .....	67
<b>Obr. č. 65:</b> Vzorky se obsahem Sokratu .....	67
<b>Obr. č. 66:</b> Vzorky s obsahem cementu .....	67
<b>Obr. č. 67:</b> Celková délková změna .....	68
<b>Obr. č. 68:</b> Závislost objemové hmotnosti na teplotě výpalu .....	69
<b>Obr. č. 69:</b> Závislost zdánlivé pórovitosti na teplotě výpalu .....	70
<b>Obr. č. 70:</b> Závislost součinitele tepelné vodivosti na dávce přísady .....	71
<b>Obr. č. 71:</b> Pevnosti v tahu za ohybu .....	72
<b>Obr. č. 72:</b> Graf závislosti zatížení na stlačení tělesa .....	73
<b>Obr. č. 73:</b> Modul pružnosti v tahu za ohybu E .....	74