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

CHARAKTERISTIKA CIHLÁŘSKÝCH ZEMIN POUŽÍVANÝCH PRO VÝROBU TEPELNĚ IZOLAČNÍCH TVAROVEK TYPU THERM

CHARACTERIZATION OF BRICK CLAYS FOR THE PRODUCTION OF THERM BRICKS

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE
BACHELOR'S THESIS

AUTOR PRÁCE
AUTHOR
MARKÉTA SVOBODOVÁ

VEDOUCÍ PRÁCE
SUPERVISOR
doc. Ing. RADOMÍR SOKOLÁŘ, Ph.D.

BRNO 2013

VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ
FAKULTA STAVEBNÍ

Studijní program	B3607 Stavební inženýrství
Typ studijního programu	Bakalářský studijní program s prezenční formou studia
Studijní obor	3607R020 Stavebně materiálové inženýrství
Pracoviště	Ústav technologie stavebních hmot a dílců

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

Student	Markéta Svobodová
Název	Charakteristika cihlářských zemin používaných pro výrobu tepelně izolačních tvarovek typu THERM
Vedoucí bakalářské práce	doc. Ing. Radomír Sokolář, Ph.D.
Datum zadání bakalářské práce	30. 11. 2012
Datum odevzdání bakalářské práce	24. 5. 2013

V Brně dne 30. 11. 2012

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

Podklady a literatura

[1] Hanykýř 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

Pro výrobu tenkostěnných tepelně izolačních cihlářských tvarovek typu THERM se využívají cihlářské zeminy, které musí splňovat specifické požadavky. Významný vliv na vlastnosti vypáleného cihlářského střepu má především přítomnost kalcitu v cihlářské zemině.
V teoretické části práce zpracujte přehled základních požadavků, které jsou kladeny na cihlářské zeminy pro výrobu tenkostěnných cihlářských tvarovek a metodiku jejich stanovení.
V praktické části bakalářské práce s využitím dostupné literatury a provedených laboratorních analýz zpracujte databázi vlastností (mineralogické a chemické složení, granulometrie, citlivost k sušení, slínavost, termické analýzy apod.) cihlářských zemin používaných pro výrobu cihlářských tvarovek THERM v ČR a zahraničí a definujte z hlediska uvedeného použití výhody a nevýhody vápenatých a nevápenatých cihlářských zemin.
Rozsah práce 40 - 50 stran.

.....

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

Abstrakt

Bakalářská práce je zaměřena na porovnání cihlářských zemin, a to vápenatých a nevápenatých a následné určení, která z těchto zemin je vhodnější pro výrobu tenkostěnných tepelně izolačních tvarovek typu THERM. Rozhodující vliv má CaO obsažený ve vápenatých zeminách ve formě kalcitu.

V teoretické části je zpracován přehled používaných zemin v České republice, v zahraničí, požadavky a laboratorní zkoušky cihlářských zemin.

V praktické části byly provedeny zkoušky na vzorcích cihlářských zemin používaných v České republice. Mineralogické složení po výpalu je zřejmá odlišnost cihlářských zemin a to výskytem anortitu u vápenatých cihlářských zemin, což se projevilo na užitných vlastnostech cihlářských střepů. Na základě těchto zkoušek jsem provedla vyhodnocení nejvhodnějšího typu cihlářské zeminy pro zpracování na tvarovky THERM.

Klíčová slova

Cihlářská zemina, tepelně izolační tvarovky typu THERM, kalcit, anortit, užitné vlastnosti, keramický střep.

Abstract

The Bachelor´s thesis is focused on the comparison of brick claysthat arecalcium and non-calcium and then it determines which of these brick clays are suitable for production of thin wall thermal insulating fittings called THERM. The main influence has CaO contained in the calcium brick clay in the form of calcite.

In the theoretical part you can find an overview of the brick clays in the Czech Republic and abroad then requirements for clays and laboratory testing of bricks.

In the practical part of the work were performed tests on samples of brick clays used in the Czech Republic. Mineralogical composition differenceis obviousafter firing the brick clays.This difference is caused by occurrence of anorthite calcium brick clay which then reflects in the usefulproperty of brick shard. Based on these tests I make evaluationof the most suitable type of brick clay for processing theTHERMfittings.

Keywords

Brick clay, thermal insulating fittings called THERM, calcium, anorthite, useful property, brick shard.

Bibliografická citace VŠKP

SVOBODOVÁ, Markéta. *Charakteristika cihlářských zemin používaných pro výrobu tepelně izolačních tvarovek typu THERM.* Brno, 2013. 63 s. Bakalářská 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 bakalářskou práci zpracovala samostatně pod vedením doc. Ing. Radomíra Sokoláře, Ph.D.
Prohlašuji, že citace použitých pramenů je úplná, a že jsem v práci neporušila autorská práva (ve smyslu zákona č. 121/2000 Sb. O právu autorském a o právech souvisejících s právem autorským, ve znění pozdějších předpisů).

V Brně dne 24.5.2013

……

podpis autora
Markéta Svobodová

Poděkování:

Na tomto místě bych chtěla poděkovat vedoucímu bakalářské práce panu doc. Ing. Radomíru Sokolářovi, Ph.D. za odborné vedení a poskytování cenných rady při zpracování bakalářské práce.

Obsah

1 Úvod 12
2 Cíl práce 14
3 Teoretická část 15
3.1 Použité názvosloví 15
3.2 Cihlářské zeminy 15
3.2.1 Technické požadavky 16
3.2.2 Vlastnosti cihlářských zemin 19
3.2.2.1 Barva 19
3.2.2.2 Chemické složení 19
3.2.2.3 Mineralogické složení 20
3.2.2.3.1 Jílové minerály 20
3.2.2.3.2 Nejílové minerály 21
3.2.2.4 Granulometrické složení 21
3.2.2.5 Slínání 22
3.2.3 Cihlářské zeminy používané dříve v České republice 23
3.2.4 Opuky v cihlářských zeminách 24
3.2.4.1 Slídy v cihlářských zeminách 26
3.2.4.2 Slíny v cihlářských zeminách 26
3.2.5 Cihlářské zeminy používané v zahraničí 27
3.2.5.1 Cihlářské zeminy s přídavkem rýžových slupek 30
3.2.5.2 Zkoumání propustnost vodních par cihlářských výrobků 32
3.2.5.3 Cihlářské zeminy na Ukrajině 33
3.3 Výroba tenkostěnných tepelně izolačních tvarovek typu THERM 33
3.3.1 Požadované vlastnosti výrobků 34

3.4 Zkoušky cihlářských zemin 34
3.4.1 Stanovení mikrostruktury 35
3.4.1.1 Rentgenová difrakční analýza (RTG) 35
3.4.1.2 Termografické rozbory (DTA, TG) - ČSN 72 1083 35
3.4.1.3 Dilatometrická termická analýza (DKTA) - ČSN 72 1083 36
3.4.1.4 Chemické analýza - ČSN 72 0100 až 72 01200 36
3.4.2 Stanovení granulometrie 36
3.4.2.1 Sítový rozbor plavením - ČSN 72 1565 - 3 36
3.4.2.2 Sedimentační analýza - ČSN 72 1565 - 2 37
3.4.1 Přetvárné (reologické) vlastnosti plastického těsta 37
3.4.1.1 Plastičnost podle Pfefferkorna - ČSN 72 1074 37
3.4.2 Vlastnosti vysušeného výlisku 37
3.4.2.1 Délková změna sušením - ČSN 72 1565 - 5 37
3.4.2.2 Citlivost k sušení - ČSN 72 1565 - 11 38
3.4.1 Vlastnosti vypáleného keramického střepu 38
3.4.1.1 Popis vypálených vzorků 38
3.4.1.2 Objemová hmotnost, nasákavost, zdánlivá pórovitost a zdánlivá hustota - ČSN 72 1565 - 6 38
3.4.1.3 Délková změna pálením - ČSN 72 1565 - 5 39
3.4.1.4 Pevnost v ohybu - ČSN 72 1565 - 7 40
3.4.1.5 Součinitel tepelné vodivosti - 993 - 14 - 5 40
4 Praktická část 41
4.1 Zkoušky cihlářských zemin 42
4.2 Zkoušky plastického těsta 47
4.3 Zkoušky na vysušených a vypálených vzorcích 48
5 Závěr 56

Seznam použitých zdrojů 58

Seznam použitých tabulek a obrázků 61

1 Úvod

Cihlářské suroviny jsou tvořeny z cihlářské zeminy a ostatních látek, ze kterých vhodnou úpravou získáme výrobní směs pro vytváření cihlářských výrobků z jedné nebo více cihlářských zemin s vodou a potřebnou přísadou. [7]

Cihlářské zeminy běžně používané pro cihlářskou výrobu se skládají z většinou malého a proměnlivého množství jílových minerálů (kaolinitu, illitu, montmorillonitu, chloritu a jejich smíšených struktur). Větší část zeminy tvoří slídy, prachová zrna křemene a úlomky různých hornin včetně karbonátových. Tyto zeminy také obsahují rozptýlené oxidy železa udávající barvu střepu. V cihlářských zeminách můžeme také rozpoznat velké krystaly nebo zrna sádrovce $CaSO_4.2H_2O$ a kalcitu $CaCO_3$, které mají významný vliv na vlastnosti cihlářského výrobku po výpalu. [2]

Při návrhu cihlářského výrobku vycházíme z požadavků a účelu stěny, na základě kterého navrhneme vhodnou objemovou hmotnost tvarovky, která je důležitá z hlediska následné pevnosti a tepelného odporu (fyzikální a mechanické vlastnosti jsou definovány vzájemným vztahem objemové hmotnosti – pevnosti - tepelným odporem tvárnice).

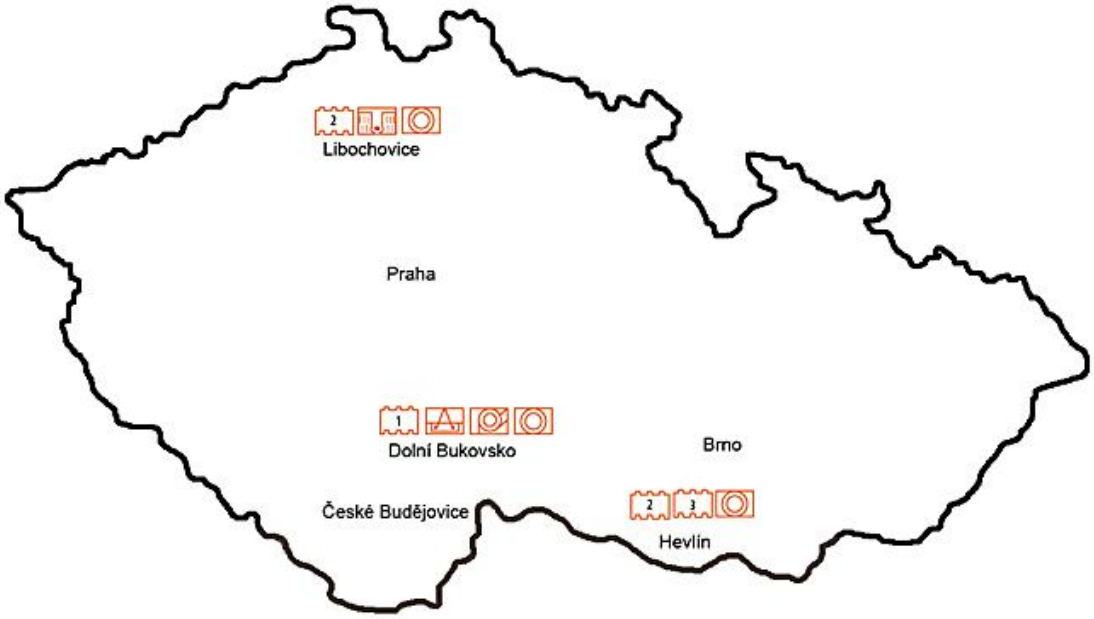
Zdící cihlářské výrobky rozdělujeme podle použití v konstrukci na zdící materiály pro vnější obvodové steny, pro vnitřní stěny a pro zvláštní použití. [5]

V dnešní době jsou cihlářské závody vysoce automatizovány, plně mechanizovány a stále snažící se o zdokonalení fyzikálně mechanických vlastností. Mezi největší cihlářské závody v České republice se řadí:

Wienerberger cihlářský průmysl, a. s.:

Obrázek č. 1: Mapa závodů společnosti Wienerberger [21]

HELUZ, cihlářský průmysl v.o.s.:



Obrázek č. 2: Mapa závodů společnosti Heluz [20]

KM Beta a.s, a další.

2 Cíl práce

Přítomnost kalcitu, tedy uhličitanu vápenatého $CaCO_3$ v cihlářských zeminách má významný vliv na vlastnosti vypálených cihlářských střepů. Cílem této práce je posouzení vhodnosti použití cihlářských vápenatých či nevápenatých zemin pro výrobu tenkostěnných tepelně izolačních tvarovek typu THERM.

V teoretické části této práce bude vypracován přehled používaných surovin, technologií, a základních požadavků, které jsou kladeny na cihlářské zeminy pro výrobu tenkostěnných cihlářských tvarovek a pro metodiku jejich stanovení. Popis těchto poznatků v České republice a zahraničí.

V praktické části této práce bude zpracován přehled vlastností cihlářských zemin pro výrobu cihlářských tvarovek THERM. Budou definovány výhody a nevýhody vápenatých a nevápenatých zemin s využitím již provedených laboratorních analýz a provedením doplňujících laboratorních zkoušek.

3 Teoretická část

V této části bakalářské práce bude vypracován popis surovin, výroby, zkoušek a vlastností cihlářských zemin pro výrobu tepelně izolačních tvarovek typu THERM.

3.1 Použité názvosloví

1. Cihlářská zemina – zplodina přírodního rozkladu, hornina, která je použitelná pro průmyslovou výrobu buď přímo, ve směsi a nebo po vhodné úpravě.
2. Cihlářské suroviny – cihlářská zemina a ostatní výchozí látky, z nichž se určitou úpravou připraví výrobní směs.
3. Přísada – látka přidávána v určitém poměru s cílem úpravy vlastností základní suroviny.
4. Výrobní směs – směs připravená z jedné nebo několika cihlářských zemin s vodou popř. přísadou, vhodná k vytváření cihlářských výrobků. [15]

3.2 Cihlářské zeminy

Cihlářské zeminy jsou použitelné pro cihlářskou výrobu po technologické úpravě nebo přímo a jedná se o veškeré zplodiny přírodních rozkladů hornin. Zeminy z různých lokalit se mezi sebou liší při porovnání fyzikálních, chemických a fyzikálně-chemických vlastností a podle toho, za jakých geologických podmínek vznikly se mezi sebou liší větší či menší mírou. Pro příslušný technologický postup musí cihlářské zeminy po rozmísení a rozdělání s vodou a případně po smíšení s vhodnými příměsemi poskytnout dostatečně tvárné těsto. Cihlářské zeminy rozdělujeme na:

a) suroviny kvarterní, což jsou spraše, sprašové hlíny,
b) suroviny nezpevněné terciérní, tj. jíly a slíny a zpevněné, tj. jílovce, slínovce a jílové břidlice. [4]

Zkouškami navazujícími na výrobní postup pro určitý druh výrobku stanovují technologické vlastnosti, podle kterých jsou posuzovány cihlářské zeminy.

Základním technologické zkoušky jsou:

a) zrnitost, kdy rozdělujeme zrna nad 50.10^{-6} m (makrogranulometrie) a pod 50.10^{-6} m (mikrogranulometrie),
b) potřebné množství rozdělávací vody,
c) smrštění sušením a pevnost po vysušení,
d) citlivost k sušení,
e) vlastnosti vzorků vypálených při teplotách od 900 °C do 1100 °C (podle druhu zeminy: nasákavost, zdánlivá pórovitost, objemová hmotnost, pevnost v tahu za ohybu i v tlaku, vzlínavost, smrštění pálením, škodlivost cicváru, výkvětotvornost, barva střepu. [4]

3.2.1 Technické požadavky

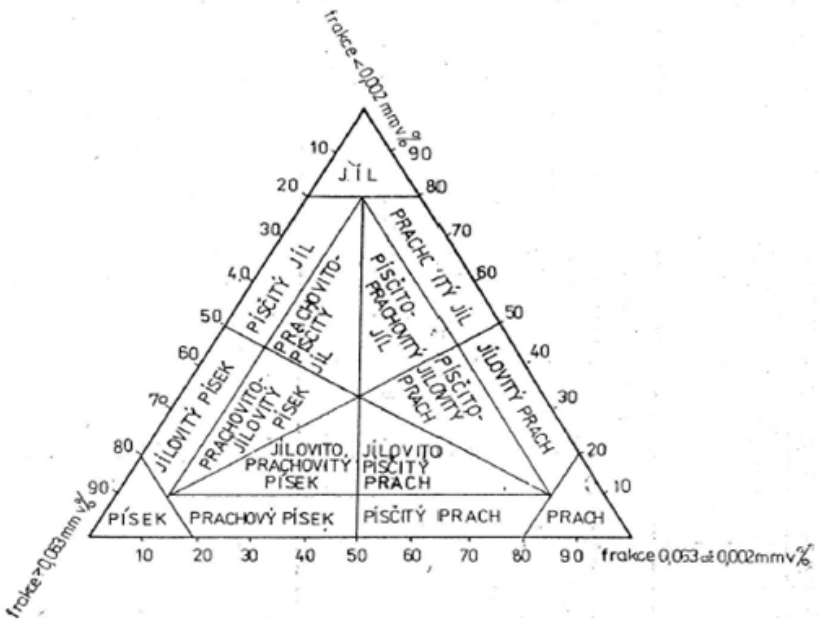
1. Cihlářské zeminy musí po úpravě a rozdělání s vodou a případně s dalšími přísadami vytvořit dostatečně tvárnou výrobní směs pro příslušný technologický postup
2. Požadavky na cihlářské zeminy určené pro plastický způsob výroby, tj. z tvárného těsta, při němž vlhkost výrobní směsi je zpravidla větší než 18 %.
3. Cihlářské zeminy a výrobní směsi se třídí podle technologických vlastností na 4 skupiny:

Tabulka č. 1: Základní a doporučené hodnoty pro cihlářské zeminy [15]

Vlastnost	Cihlářské zeminy skupiny			
	I	II	III	IV
	Hodnoty			
a) základní hodnoty				
obsah hrubých těžce drtitelných zrn nad 2 mm (křemen, tvrdé křemité horniny apod.) v %	<10	<5	<2	<2
oblast zařazení zeminy podle zrnitostního diagramu (ČSN 72 1565, část 2)	A	B	C	krytina C obklady B až C
délková změna sušením v %	-3,5 až -5,0	-4,0 až -7,0	-5,0 až -8,0	-5,0 až -8,5
pevnost v ohybu po výpalu V MPa	>3	>5	>7	>7
nasákavost	>12	>12	>12	
b) doporučené hodnoty				
škodlivost cicváru - max. úbytek pevnosti v %	<20	<20	<20	<20
pevnost v ohybu po sušení v MPa pro lícové a obkladové výrobky, krytinu	>2	>3	>3	>3
• povrchové odštěpky po cicváru, hlubší než 1 mm	žádné	žádné	žádné	žádné
•mrazuvzdornost	M25	M25	M25	M25
•náchylnost ke tvorbě výkvětů	žádná	žádná	žádná	žádná
•barva	jednotná	jednotná	jednotná	jednotná

4. Z cihlářských zemin skupiny III se dá odvodit použitelnost pro tenkostěnné výrobky
5. Cihlářské zeminy lze označovat v technické dokumentaci podle:

a) Petrografického zařazení podle zrnitosti (obr. 3).



Obrázek č. 3: Petrografické zařazení podle zrnitosti [15]

Hlavních jílových minerálů a jejich smíšených struktur v pořadí jejich obsahu – kaolinové (K), montmorillonitové (M), jíllové slídy (I)

b) Zrnitost nad 2 mm (Z)

číslice	1	2	3	4
v %	≤2	2 až 5	≤10	>10

c) Obsah uhličitanů (C)

číslice	1	2	3	4
v %	≤1	≤10	≤25	>25

d) Optimální vlhkost (W)

číslice	1	2	3	4
v %	≤20	≤25	≤30	>30

e) Smrštění sušením (DS)

číslice	1	2	3	4
v %	≤5	≤7	≤10	>10

f) Závislost smykového napětí na poměrné vlhkosti podle parametru a (a)

číslice	1	2	3	4
parametr a	>1,35	1,32 až 1,35	1,30 až 1,32	<1,30

g) Závislost smykového napětí na poměrné vlhkosti podle parametru m (m)

číslice	1	2	3	4
parametr m v MPa	$>1,5.10^3$	$<1,5.10^3$	$<5.10^2$	$<5.10^1$

[15]

3.2.2 Vlastnosti cihlářských zemin

Nízkotavitelné hlíny jsou hlavní surovinou pro výrobu stavební keramiky. Jedná se o skupinu polyminerálních přírodních směsí, které po rozdělání s vodou získávají plastické vlastnosti. Vypalovací teplota se pohybuje okolo 900 °C, kdy vzniká hmota podobná kameni. Uváděná teplota tavení nízkotavitelných hlín je 1350 °C. [1]

3.2.2.1 Barva

Barva hlín je velmi rozmanitá, odráží se v ní složení a množství příměsí. Podle oxidů železa má hlína barvu od žluté po hnědou. Hnědý odstín dodává oxid manganu a tmavé zabarvení ukazuje přítomnost organických směsí. Barva hlíny zesvětlí při vysychání. [1]

3.2.2.2 Chemické složení

Nízkotavitelné hlíny vykazují rozdílné chemické složení, ale díky množství rozborů prováděných na těchto hlínách můžeme uvést obsah nejdůležitějších oxidů v %:

Tabulka č. 2: Chemické složení cihlářských zemin [1]

SiO_2	$Al_2O_3+TiO_2$	Fe_2O_3	CaO	MgO	Na_2O+K_2O	z.ž.
60 – 80	5 – 20	3 – 15	0 – 25	0 – 3	1 – 5	4,3 – 15

Jelikož kvantitativní a kvalitativní složení zemin kolísá, nemůžeme přesně určit, jaký vliv na fyzikálně chemické vlastnosti mají jednotlivé oxidy, lze pouze soudit některé jejich vlastnosti. Velký obsah SiO_2 (nad 70 %) svědčí o přítomnosti písku a plastičnost takové zeminy je špatná. S rostoucím množstvím oxidu hlinitého roste množství jílových nerostů. Čím více obsahuje zemina Al_2O_3, tím se zlepšuje plastičnost a vzrůstá pevnost. Naproti tomu při větším obsahu další oxidů může být tato obecná podmínka porušena. Zemina bohatá na oxidy železa mají nízkou tavitelnost a zbarvení střepu je světle červené až tmavě hnědé. [1]

Pokud zemina obsahuje oxid vápenatý a hořečnatý můžeme předpokládat, že střep bude pórovitý: $CaCO_3$ obsahuje 44 % CO_2, uvolněného během pálení. Vápenec obsažený v zemině v podobě velkých zrn způsobuje porušení po vypálení. [1]

Při zahřívání oxidy alkalických kovů vytvářejí nízkotavitelné křemičitany, které následně vyplňují póry a střepy s velkým množstvím R_2O mají většinou dobrou slínavost. Můžeme tedy očekávat velké smrštění pálením. [1]

3.2.2.3 Mineralogické složení

Při posuzování technologických vlastností cihlářských zemin má významnou roli mineralogické složení. Je známo, že jílovinové zeminy jsou směsí jilových minerálů (což jsou nositelé plastičnosti) a nejílových minerálů (které mají neplastický charakter). [6]

3.2.2.3.1 Jílové minerály

1. Kaolinit - jedná se o dvojvrstvý nerost, který je složen z vrstvy tetraedrů Si–O a oktaedrů AL–O–OH. Rozeznáváme dva extrémní strukturní typy: triklinický (T) v dobře vyvinutých šestibokých lupencích a pseudomonoklinický (PM), který se vyznačuje menší pravidelností a vykazuje výtečnou plastičností. Halloysit je minerál podobný kaolinitu. [5]
2. Montmorillonit – jde o jílový trojvrstvý nerost. Ionty (např. Na^+, Ca^{2+}, Mg^{2+}) obklopené vrstvami vody jsou adsorbovány mezi základními trojvrstvami, což má značný vliv na vzdálenost základních trojvrstev (obvykle 1,4 nm). [6]

3. Illit – minerál se strukturou podobající se montmorillonitu, ovšem ionty hliníku nahradily křemíkové ionty v tetraedrech a to ve větší míře (až 20 %). Mezi základní trojvrstvou je elektrická negativita vyvážena draslíkovými ionty. Výhodný iontový poloměr draslíku pevně poutá jednotlivá trojvrství, z tohoto důvodu illit nebobtná, jak je tomu u montmorillonitu. Illit uděluje lepší plastičnost než kaolinit, proto je častým minerálem v cihlářských surovinách. [5]
4. Chlorit – udávají se dva strukturní typy chloritu – jedna skupina má strukturu analogickou struktuře kaolinitu, druhý typ se liší strukturou od všech ostatních jílových minerálů. [6]

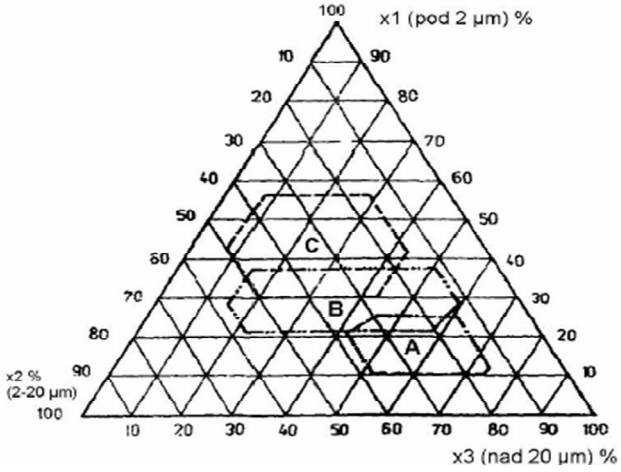
3.2.2.3.2 Nejílové minerály

V cihlářských zeminách jsou obsaženy také nejílové minerály. Jedná se převážně o větší zrna, která odpovídají pískovině nebo prachovině. Nejílové podíly jsou podle mineralogického složení zrna vzniklá v průběhu sedimentace (např. vysrážením chemickou reakcí) nebo zrna minerálů matečních hornin (nezvětralá). Vlastnosti zeminy jsou výrazně ovlivněny nejílovými minerály. Nepříznivě při výpalu v důsledku objemových změn, naopak kladný vliv mají při sušení, kdy snižují citlivost k sušení, smrštění sušením aj. Charakteristické zabarvení zemin je často způsobeno právě nejílovými minerály. Můžeme je identifikovat sítovým rozborem plavením – tvoří zbytek např. na sítě 0,063 mm.

Nejílové minerály jsou: slídy, křemen, živec, vápenec, dolomit, organické látky, hydroxidy železa a další minerály. [6]

3.2.2.4 Granulometrické složení

Při rozboru granulometrického složení zemin nás nejvíce zajímá obsah nejmenších podílů složených z jílových nerostů (pod 0,002 mm). Cihlářské zeminy posuzuje dle Winklerova diagramu.



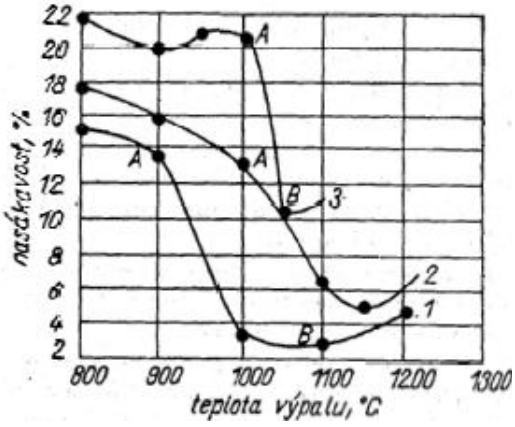
Obrázek č. 4: Zrnitostní diagram cihlářských zemin a výrobních směsí pro výrobky [16]

Vhodnost použití suroviny jsou následující: **A** – základní jednoduché výrobky, **B** – zdící mnoho děrované výrobky, **C** – tenkostěnné výrobky a krytina [16]

Pro zpracování této bakalářské práce mě budou nejvíce zajímat cihlářské zeminy spadající do kategorie **C**, tj. tenkostěnné výrobky a krytina.

3.2.2.5 Slínání

Jak bylo dříve uvedeno nízkotavitelné křemičitany během pálení vyplňují póry keramického střepu, zvětšují jeho hustotu a snižují jeho nasákavost. Teplota, při níž nastává intenzivní zhutnění hmoty se udává jako počátek slínání. Při teplotě pálení, při níž nasákavost střepu dosáhne 5 % dojde k úplnému slinutí. Na základě různého chemického a mineralogického složení probíhá slínání zemin různě. [1]



Obrázek č. 5: Charakteristické křivky změn nasákavosti střepu v závislosti na vypalovací teplotě [1]

Popis grafu: 1 – slínavá zemina, teplota tavení při 1280 °C, 2 – neslínavá zemina, teplota tavení při 1280 °C, 3 – vápenatá hlína, teplota tavení při 1180 °C.

Křivka vápenité zeminy v mezích teplot 900 – 1000 °C odpovídá rozkladu $CaCO_3$ můžeme pozorovat zvýšení nasákavosti v důsledku uvolnění CO_2. Jakmile skončí rozklad $CaCO_3$, zemina začíná slínat. Při nasákavosti 11 % (při teplotě 1080 °C) začíná deformace zeminy. Interval slínání je vyznačen teplotou na počátku (bod A) a při úplném slinutí (bod B). [1]

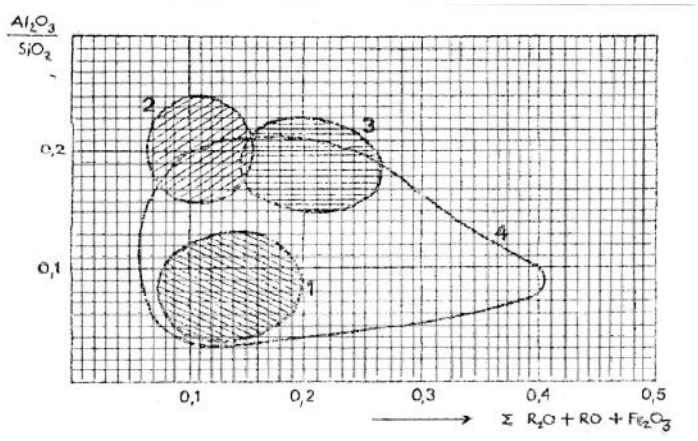
3.2.3 Cihlářské zeminy používané dříve v České republice

Součástí celkového hodnocení zeminy tvoří chemický rozbor. O vhodnosti či nevhodnosti může dát dostatečnou výpověď sám chemický rozbor:

Tabulka č. 3: Chemický rozbor dvou cihlářských zemin [14]

Zemina	z.ž.	SiO_2	$Al_2O_3 + TiO_2$	Fe_2O_3	CaO	MgO	K_2O	Na_2O
A	4,3	70,9	14,7	4,8	1,1	1,3	1,9	1,3
B	8,7	55,3	21,7	6,4	3,8	1,5	2,8	0,8

Rozdíly jsou značné, ovšem chemický rozbor může podat zpřesňující obraz, pokud je možný přepočet na mineralogické složení, popř. pokud se může vyjádřit molárně a posoudit poměr tavících oxidů + Fe_2O_3 k poměru Al_2O_3/SiO_2.



Obrázek č. 6: Oblast vhodnosti suroviny podle chemického složení [14]

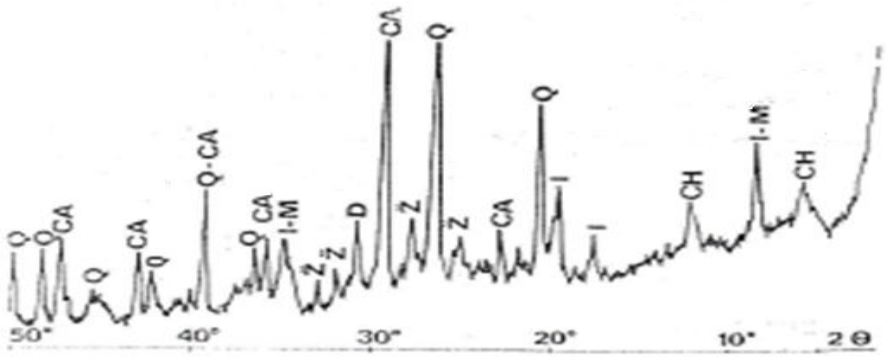
Pro cihlářské výrobky vhodná oblast č. 4. [14]

Nový koncept keramiky (NKK) – rozbor mikrostruktury střepu po výpalu s přihlédnutím k mikrostruktuře za syrova. Jedná se o význam mineralogického složení. Technické vlastnosti výrobků se odvozují od přímé korelace mezi mineralogickým složením výchozí surovinové směsi a parametry mikrostruktury keramického střepu na základě reakcí fází v surovině a tvorba nových fází jakou součástí mikrostruktury vypáleného střepu. [14]

Tabulka č. 4: Mineralogické rozbor cihlářských surovin [14]

Zemina	Křemen	Živec	Chlorit	Illit	Kalcit	Dolomit	%
A	39	17	15	10	10	4	95
B	20	17	14	26	11	7	95
C	47	14	23	11	-	-	95
D	41	22	20	12	-	-	95

Kalcit se vyskytuje v surovinách většinou dobrých technologických vlastností, pouze jen v některých zeminách. [14]



Obrázek č. 7: Příklad difraktogramu cihlářských surovin s větším obsahem kalcitu [15]

Mineralogické složení použitých cihlářských zemin má významný vliv na charakter a vznik mikrostruktur střepu a jejím prostřednictvím podle Nového konceptu keramiky na výchozí technické parametry cihlářského výrobku. [14]

3.2.4 Opuky v cihlářských zeminách

Opakovaně se setkáváme s mocnými ložisky opuky v hliništi. Pro posouzení vhodnosti použití zeminy obsahující opuky bude uveden referenční vzorek, odebraný z cihelny hliniště v severovýchodních Čechách. [13]

Tabulka č. 5: Chemický rozbor průměrného vzorku v % [13]

z.ž.	SiO_2	TiO_2	Al_2O_3	Fe_2O_3	CaO	MgO	K_2O	Na_2O	SO_3
20,56	41,23	1,02	10,42	4,05	16,7	4,64	1,36	0,17	0,2

Smštění sušením 9,6 %.

Tabulka č. 6: Vlastnosti vypálených cihelek [13]

Vypalovací teplota [°C]	850	950	1050
Vzhled	pravidelný tvar, rovné plochy, ostré hrany a rohy		plochy slabě otavené, s několika vybouleninami
Barva	velmi světe oranžová	světle oranžová	světle olivově zelená
Výkvěty	nepatrné bělavé skvrnky při horních koncích hran a rohů	-	-
Ztráta na váze pálením v %	19,2	19,8	20,5
Smrštění celkové v %	12,1	12,7	14,2
Nasákavost (váhová) v %	17,1	14,5	-

Zemina se vyznačuje větším množstvím jemně rozptýleného vápence. Surovinu je obtížné rozdělat na těsto. Těsto je z počátku krupičkovité a plastické. Vypálený střep je pevný. Zkušební cihelky ztrácejí značně na váze v žáru (ztráta oxidu uhličitého z uhličitanu vápenatého), mají přiměřené smrštění, nasákavost a relativně malou vzlínavost vypáleného střepu. [13]

Ručně nelze opuky zpracovat na výrobu obyčejných plných cihel. Avšak pokud opuky důkladně upravíme a použijeme strojní zpracování získáme z původně tvrdé opuky cennou surovinu, vhodnou pro cihly plné a tašky, ale především pro výrobu různých druhů tenkostěnného zboží. [13]

Musíme však brát v úvahu výskyt různých opuk, z nichž jsou některé nevhodné pro cihlářskou výrobu. Ze silně vápenatých opuk nelze dobrý keramický střep vůbec zhotovit. Lze se setkat opukou silně znečištěnou drobným stěrkem.

Takovouto kamenitou opuku nelze převést na plastické těsto ani po dlouhým odležení. [13]

3.2.4.1 Slídy v cihlářských zeminách

V zeminách určených pro výrobu keramického zboží je nežádoucí větší množství slídy, která snižuje kvalitu střepu v mnoha směrech. Zemina obsahující slídy je nevhodná pro výrobu tenkostěnných výrobků i obyčejných plných cihel. [11]

Pro určení vlastností zeminy obasahující slídy byly použity vzorky z okolí Třešti a z okolí Moravských Budějovic. Srovnáním vlastností vypálených vzorků ze samostné zeminy a směsi zeminy a slídy, zjišťujeme snížení jakosti. Pevnost v tlaku se výrazně snížila u vzorků vytvořených ze směsi zeminy a slídy. Celkové smrštění bylo nižší, ale za to nasákavost a vzlínatelnost stouply. Srovnání hodnot vzlínatelnosti vykazuje rozdíly jednak v použité směsi, ale také ve vypalovací teplotě. U střepu ze samotné zeminy hodnoty vzlínavosti se snižují s rostoucí vypalovací teplotou, naopak je tomu u střepu ze směsi zeminy a slídy, tj. zvýšení hodnot vzlínavosti s rostoucí vypalovací teplotou. Je tedy důležité se při výrobě tenkostěnných tepeleně izolačních tvarovek typu THERM vyhnout zeminám obsahující slídy. [11]

3.2.4.2 Slíny v cihlářských zeminách

Sliny bývají zpravidla uloženy v hliništích ve spodnějších vrstvách, pod odkrývkou tedy nacházíme zeminy chudší na $CaCO_3$. Pouze ojediněle se v České republice v cihlářství můžeme setkat se slíny obsahující vice naž 25 % $CaCO_3$, které by navíc byly vhodné pro výrobu cihlářského zboží. [12]

V hliništi kruhové cihelny v Žopech u Holešova, dnešní Zlínské cihelny s.r.o., se nachází slín patřící ke slínům nejbohatší na uhličitan vápenatý. Výška odkrytého hliniště je cca 12 m, z toho 3 m tvoří obyčejná žlutá hlína, 2 m žlutavý slín, 2 až 3 m modravý slín a 4 – 5 m slín světle zelenavě šedý. Pro porovnání jednotlivých vrstev budou uvedena jejich chemická složení:

Tabulka č. 7: Chemický rozbor jednotlivých vrstev v % [12]

Vrstva	z.ž.	SiO_2	TiO_2	Al_2O_3	Fe_2O_3	CaO	MgO	K_2O	Na_2O	SO_3
Hlína	5,49	62,13	1,21	19,10	5,75	0,76	1,34	3,72	0,60	0,02
Žlutý slín	15,77	45,77	0,85	13,82	4,45	12,24	4,55	2,24	0,37	0,03
Modrý slín	18,06	43,47	0,89	13,50	3,60	14,37	3,91	0,48	0,05	1,74
Slín světle zelenavě šedý	20,13	39,75	0,83	12,04	3,91	16,22	5,12	0,59	0,08	1,35

Nejvyšší vrstva hlíny obsahuje velmi malé množství uhličitanu vápenatého, něco přes 1 %. Hlína se po stránce chemického složení i technologických vlastností liší od zbývajících tří vrstev slínů. Procento uhličitanu vápenatého roste do hloubky, tzn. že u slínu světle zeleně šedého je obsah největší. Spodnější vrstvy dale obsahují větší podíl síranů tvořící výkvěty. Pevnost je u všech vrstev vesměs dobrá. Celkové smrštění klesá s narůstající hloubkou a u vápenatých zemin roste s narůstající vypalovací teplotou a u zeminy nevápenaté stoupá do 900 °C poté klesá a při vypalovací teplotě 110 °C dosahuje hodnoty 5,3 %. Nasákavost je největší u druhé vrstvy a to průměrně 24,9 % a nejmenší u vrstvy první a to průměrně 5,1 %, s narůstající vypalovací teplotou klesá u zemin vápenatých, u zemin vápenatých se snižuje do 900 °C, poté opět stoupá a při vypalovací teplotě 110 °C dosahuje hodnoty 29,1 %. [12]

3.2.5 Cihlářské zeminy používané v zahraničí

Studiem zahraničních publikací uvádějící zkoušky na cihlářských zeminách lze dojít k závěru, zda je výhodnější pro výrobu tenkostěnných tepelně izolačních cihlářských tvarovek typu THERM použít zeminy vápenité nebo nevápenité. [17]

Pro zkoušky byly použity dva typy zemin: vápenité zeminy (V) obsahuje významné množství uhličitanů: kalcit a dolomit s mikrokrystalickou texturou (průměr zrn do 4 μm). Velikost zrna se liší, ale nepřesáhly velikost 1 mm. Nevápenité zeminy (G) obsahující převážně křemičitany a postrádající uhličitany s vyšší koncentrací fylosilikátů (tj. jílové minerály). Vzorky byly vypalovány v elektrické troubě na teploty: 700, 800, 900, 1000, 1100 °C. [17]

Tabulka č. 8: Semikvantitaticní analýza (v %) nevápenité (G) a vápenité (V) zeminy a vzotky po výpalu mezi 700 a 1100°C [17]

Ozn.	Křemen	Fylosilikáty	Hematit	Mullit	Živec	Kalcit	Dolomit	Wolastonit + Diopsid	Gelenit	f
G	50	40	-	-	10	-	-	-	-	-
G7	50	40	5	-	5	-	-	-	-	-
G8	50	30	5	-	5	-	-	-	-	10
G9	50	30	5	tr.	<5	-	-	-	-	10
G10	50		<10	tr.	5[a]	-	-	-	-	35
G11	50		10	tr.	Tr[a]	-	-	-	-	<40
V	40	30	-	-	5	15	<10	-	-	-
V7	40	30	-	-	10	15	<5	-	-	-
V8	40	25	tr.	-	10	-	-	-	<10	15
V9	40	20	5	-	5	-	-	-	10	20
V10	40	-	5	-	10[b]	-	-	<5	10	<30
V11	40	-	5	tr.	15[b]	-	-	<10	5	25

f=nekrystalická fáze G/V: syrová zeminy, G7/V7-výpal na 700°C, G8/V8-výpal na 800°C, G9/V9-výpal na 900°C, G10/V10-výpal na 1000°C, G11/V11-výpal na 1100°C, tr.=stopy, [a]-Sanidin, [b]-Anortit

Tabulka č. 9 shrnuje hlavní mineralogii, texturu a pórovité rozdíly mezi těmito dvěma typy surovin (tj. s a bez uhličitanů). Při zkouškách se potvrdilo, že pórovitost vzorku a vývoj při výpalu je parametr přímo spojený s mineralogickým složením výchozího materiálu. [17]

Tabulka č. 9: Shrnutí mineralogických a fyzikálně-mechanických charakteristik vápenatého a nevápenatého střepu vypalované na různé teploty [17]

Typ střepu	Minerální fáze	Pórovitost	Trvanlivost
Vápenitý	•Ca (Mg) , křemičitany	•↑ mikropóry (< 1 μm)	•↓ odolnost proti solím, povětrnostním podmínkám a rozmrazovacím cyklům
	•tvorba taveniny (900-1000 °C)	•↑trhlina (cicváry)	•ztráta díky mikropórovistosti (ΔP=2γ/r)
Nevápenitý	•↑ Mullit + tavení	•↑ makropóry (> 1 μm)	•rozsáhlé tavení = izotropická/homogení textura=absence slabých rovin
	•první tavení při 900 °C	•pórovitost ↓ se ↑ teplotou	•↑↑ trvanlivost díky omezenému počtu mikropórů
	•tavení ↑↑ 1100°C	•↓ propojení pórů	

↑ =vysoký/bohatý, ↑↑ =velice vysoký/velice bohatý, ↓ =malý/snížený,
ΔP =krystalizační tlak (sůl nebo led v pórech poloměru r), γ = mezifázová

Hlavní problém výrobků z vápenatých zemin je přítomnost velkého množství malých pórů (r <1 μm) a vznik trhlin, které postupují rychle v průběhu času (výsledky ultrazvukové vyšetření). Trhliny vynikly z portlanditových zrn a póry s r <1 μm, tvořené rozkladem $CaC0_3$ a transformace do CaO jsou výsledkem zvýšení hodnoty absorpce vody s pomalejším sušením. V kontrastu vzorky z nevápenité zeminy ukazují jasný pokles hodnot absorpce vody a rychlejší schnutí se zvyšující se teplotou výpalu. K trhlinám nedochází ve vápenatých cihlách vypalovaných při 700 °C a 1100 ° C, v prvním případě, protože uhličitany prochází mineralogickými změnami, a ve druhém případě z důvodu značného zeskelnatění. [17]

Měření ultrazvukem bylo cenné pro detekci rozdílů v pórovitosti a zeskelnatění s ohledem na vypalování a pro vyhodnocení cihelné anizotropie. Stručně řečeno, jedná se o nedestruktivního postupu pro hodnocení technické kvality. [17]

Je třeba poznamenat, že při s přihlédnutím ke všem údajům o parametrech a vlastnostech těchto keramických střepů, stejně jako náklady na energii při jejich výrobě, jsou tvarovky nejvyšší kvality vyrobeny z nevápenité zeminy vypálených

na teplotu okolo 1000 °C. V kontrastu, surovina s asi 20 % uhličitanů, nevytváří kvalitní tvarovku dokud teplota nedosáhne 1100 °C. Obecně řečeno, nevápenité zeminy vypálený na teplotu ≥1000 °C mají nejlepší technické parametry, které jsou používány jako indikátory kvality a trvanlivosti. Pokud jsou vysoké podíly uhličitanů v zemině, vyšší teplota výpalu musí vést k získání podobné kvality. [17]

3.2.5.1 Cihlářské zeminy s přídavkem rýžových slupek

V zahraničí se také zabývali cihlářskými zeminami a jaký vliv mají rýžové slupky na pevnosti a tepelné vodivosti vypálených cihel. Pro tyto zkoušky byly použity rýžové slupky z Turecka. Rýžové slupky ve dvou formách (mleté a hrubé) nahradily 5, 10 a 15 % objemu cihlářské zeminy. Byly srovnávány vzorky obsahující rýžové slupky se vzorkem referenčním - bez rýžových slupek, na který byla použita zemina určená jako vápenatá (obsah CaO je větší než 9 %). [19]

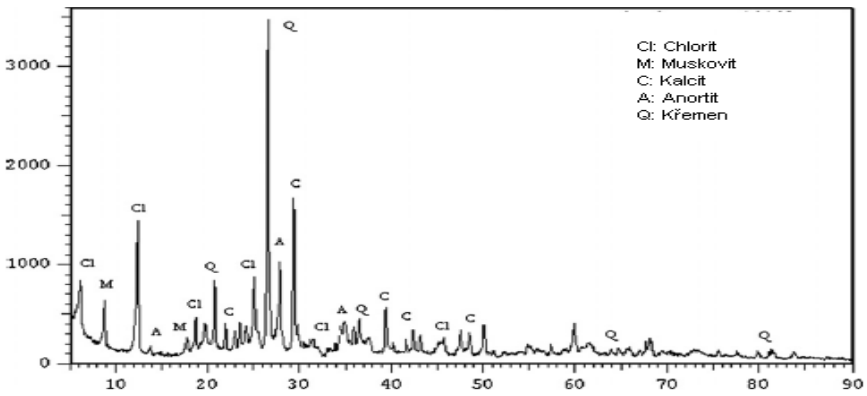
Tabulka č. 10: Chemické složení cihlářské zeminy [19]

SiO_2	Al_2O_3	Fe_2O_3	MgO	CaO	Na_2O	K_2O	TiO_2	MnO	SO_3	P_2O_5	z.ž.
42,4	15,9	8,97	5,19	9,93	1,1	2,51	1,12	0,209	0,56	0,208	11,7

Tabulka č. 11: Vlastnosti rýžových slupek [19]

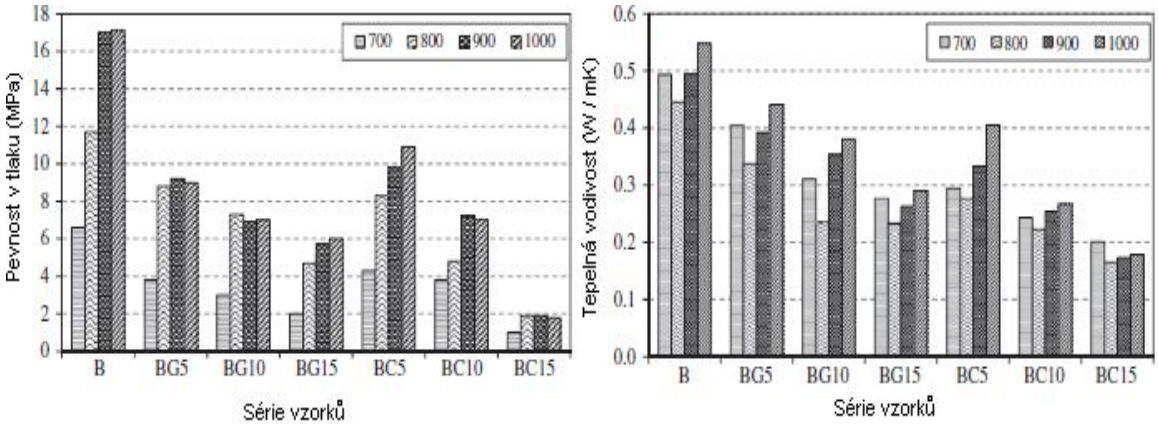
Nejblžší analýza	(hmot. %)	Konečná analýza	(hmot. %)	Dílčí analýza	(hmot. %)
Těkavé látky	59,5	Uhlík	44,6	Celulóza	34,4
Vlhkost	7,9	Vodík	5,6	Hemicelulóza	29,3
Popílek	17,1	Kyslík	49,3	Lignin	19,2

RTG analýza ukázala, že zemina obsahuje křemen, muskovit, chlorit a vápenec.



Obrázek č. 8: RTG analýza použité zeminy [19]

Zkoušky prokázaly, že vzorky s 5 % a 10 % rýžových slupek ve vzorku vykazují pevnost v tlaku 7 - 10 MPa. Tyto hodnoty jsou menší, než má referenční vzorek, ale stále splňují oba vzorky požadavky normy TS EN 772-1. Referenční vzorek (B) má největší pevnost v tlaku. Pevnost se snižuje se zvyšujícím se množstvím přidaných rýžových slupek. Toto snížení bylo větší u vzorků s hrubými rýžovými slupkami (BC). V souvislosti s pevností v tlaku, lze hrubé rýžové slupky lze použít až do hmotnostního množství 10 %, a mleté rýžové slupky do 15 %. Se vzrůstající teplotou výpalu vzrůstala i pevnost v tlaku. Nejvyšší hodnota tepelné vodivosti byla 0,548 W / m·K pro vzorek referenční při 1000 °C. Bylo zjištěno, že vzorky s přidanými hrubými rýžovými slupkami mají nižší tepelnou vodivost než vzorky z přidanými mletými rýžovými slupkami. [19]



Obrázek č. 9, 10: Graf pevnosti v tlaku a tepelné vodivosti vypálených vzorků [19]

Z výsledků zkoušek bylo zjištěno, že vzorky s 15 % hrubých rýžových slupek jsou křehké a nemají dostatečnou pevnost. Závěrem lze vyhodnotit, že zemina

s přídavkem 10 % rýžových slupek je optimální složení pro výrobu tenkostěnných tvarovek. [19]

3.2.5.2 Zkoumání propustnost vodních par cihlářských výrobků

Paropropustnost cihel byla experimentálně měřena tak, aby byl získán reprezentativní příklad pro průmyslové výrobky. Statistický model byl nastaven tak, aby se dala předpovídat s rozumnou přesností a spolehlivostí, paropropustnost na základě otevřené pórovitosti, objemové hmotnosti, velikost uzavřených a otevřených pórů a jemných částic cihlářské zeminy. [18]

Tabulka č. 12: Chemické a mineralogické složení použitých cihlářských zemin [18]

% hmot.	A	AT	CA	D	F	LM	LS	MA	MO	S	SL
SiO_2	50,24	50,12	54,55	41,95	55,84	53,05	45,47	64,63	52,58	63,14	58,88
TiO_2	0,64	0,70	0,89	0,59	0,66	0,74	0,64	0,66	0,74	0,71	1,02
Al_2O_3	12,56	14,78	17,01	10,54	14,27	14,06	11,38	16,10	13,09	16,32	21,24
Fe_2O_3	4,71	5,56	6,39	4,00	5,77	5,14	4,23	5,25	5,51	6,02	7,46
MnO	0,10	0,10	0,16	0,08	0,15	0,09	0,08	0,11	0,13	0,15	0,15
MgO	2,73	3,86	2,89	3,06	3,73	2,42	2,59	1,26	2,28	3,28	0,75
CaO	11,62	7,45	3,83	17,95	5,70	8,74	16,13	1,60	9,28	0,54	0,19
Na_2O	1,20	1,18	0,84	0,95	1,12	2,47	1,04	0,70	0,87	1,08	0,54
K_20	2,26	2,86	3,44	2,10	2,35	1,07	2,28	2,25	2,33	2,62	3,57
P_2O_5	0,16	0,15	0,19	0,17	0,17	0,17	0,20	0,06	0,12	0,13	0,07
z.ž.	13,53	13,24	9,84	18,58	9,90	11,77	16,46	7,37	12,30	6,05	6,06
Org. látky	0,9	2,6	0,5	1,2	1,2	0,7	1,7	1,9	1,9	1,7	<0,1
Illit	22	28	33	20	12	25	22	16	22	27	19
Kaolinit	4	tr.	4	2	11	4	3	18	3	6	31
Clorit	4	6	3	4	14	9	4	6	8	12	-
Smektit	tr	10	tr.	tr.	2	tr.	tr.	tr.	8	tr.	-
Křemen	29	24	30	24	29	29	26	39	29	36	27
Živec	10	8	10	8	9	9	9	11	6	12	14
Kalcit	17	8	tr	27	16	16	25	3	17	-	-
Dolomit	8	10	10	9	tr.	tr.	7	tr.	tr.	-	-
Fe oxidy	4	5	6	3	4	4	4	4	4	4	7

Paropropustnost byla experimentálně stanovena na vzorcích vyrobených z široké škály surovin. Získané hodnoty jsou v rozmezí 3 - 13 x10^{-12} kg·m^{-1}·s^{-1}·Pa^{-1}. [18]

3.2.5.3 Cihlářské zeminy na Ukrajině

Ukrajina má velká množství ložisek jednotlivých jílových surovin, které jsou vhodné pro výrobu různých keramických výrobků. Zeminy, které se vyskytují na jihozápadě a v některých případech i v centrálních oblastech Ukrajiny, se vyznačují vysokou plasticitou, průměrnou citlivostí k sušení a přítomnost rozptýlení uhličitanu vápenatého a oxidů prvků zemin alkalických (K a Na). Přispívají k dobrému sušení a k dobrým vypalovací vlastnosti ve výrobě těžkých jílovitých produktů. Pálené výrobky mají nasákavost max. 15 %. S nárůstem obsahu montmorillonitu se citlivost sušení se zvyšuje. Používají se pro výrobu vysoce kvalitních keramických děrovaných cihel a dutých bloků, pálených střešních tašek a drenážních trub. Hlíny, spraš a hobliny v procentech 10 - 30, musí být přidán do skupiny těchto zemin. Odpady z přípravy uhlí a také popel, struska a zbytky z elektráren jsou vynikající přísady. Další typy zemin nacházejících se na Ukrajině nejsou vhodné pro výrobu tepelně izolačních tvarovek. [10]

3.3 Výroba tenkostěnných tepelně izolačních tvarovek typu THERM

Výroba tenkostěnných tepelně izolační tvarovky řadících se do hrubé keramiky, prožívá v posledních letech velký rozkvět. Výrobní závody, jako např. Heluz, Wienerberrger aj. se předhánějí v nabídce a snaží se o výrobu tvarovek s co nejlepšími tepelně technickými vlastnostmi, které zároveň musí splňovat požadavky na pevnost těchto výrobků.

Cihlářské zeminy pro výrobu tepelně izolačních tvarovek typu THERM stejně, jako jiné zeminy pro výrobu keramiky, je potřeba v natěženém stavu upravit a homogenizovat. Musíme získat směs požadovaných vlastností a vhodné konzistence. Následně z takto připravených směsí (plastická těsta s obsahem vlhkosti až 25 %) jsou tvarována tělesa požadovaného tvaru s různě tvarovanými dutinami vytvořenými pomocí protlačování přes ústí většinou šnekového lisu.

Vytvořená tělesa se musí nejdříve vysušit a následně se pálí, většinou při teplotě do 900 °C, kdy keramické materiály získávají své optimální vlastnosti. Výrobky použité v konstrukcích jsou přijatelné pro životní prostředí. Při výrobě mohou využít a spotřebovat mnoho průmyslových odpadů, které po uplynutí jejich životnosti jsou schopné recyklace. [5]

3.3.1 Požadované vlastnosti výrobků

Definicí vlastností cihlářských střepů je zejména jeho pórovitost a to především otevřená. Nejdůležitější vlastnosti cihlářských výrobků řadíme do několika skupin podle ČSN 72 2600:

a) vzhled a geometrické požadavky (rozměrová tolerance, pravoúhlost, deformace),
b) hmotnost a nasákavost,
c) mechanické vlastnosti: pevnost v tlaku (označená písmenem P a pevností v MPa), v tahu ohybem, lomová pevnost,
d) trvanlivost (mrazuvzdornost - označená M a počtem zmrazovacích cyklů), škodlivost cicvárů, tvorba výkvětů). [7]

Při výrobě tenkostěnných tepelně izolačních tvarovek typu THERM je snaha vytvořit výrobek s co nejlepšími tepelně izolačními vlastnostmi, vysokou pevností, kterou mimo jiné ovlivňuje i objemová hmotnost.

Technická příručka společnosti Heluz například udává následující tepelně izolační požadavky na cihelné zdivo: akumulace tepla, součinitel tepelné vodivosti, tepelný odpor vrstvy materiálu, tepelný odpor konstrukce, odpor konstrukce při prostupu tepla, součinitel prostupu tepla, měrná tepelná kapacita, součinitel tepelné vodivosti, tepelná jímavost, teplotní faktor vnitřního povrchu, vlhkostní parametry, faktor difúzního odporu aj. Dále zde řeší mechanické vlastnosti a akustické vlastnosti výrobků. [20]

3.4 Zkoušky cihlářských zemin

,,Neustále narůstající požadavky, které uživatelé kladou na úroveň technických vlastností keramických výrobků a zejména na dodržování jejich stálosti

a reprodukovatelnosti, vedly k vývoji široké řady specifických metod a postupů ke stanovení a kontrole požadovaných parametrů a vyústily nakonec zákonitě ucelenou soustavu technických norem pro řízení jakosti. Specifické zkušební předpisy lze najít v příslušných normách.'' [2]

3.4.1 Stanovení mikrostruktury

3.4.1.1 Rentgenová difrakční analýza (RTG)

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

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

Pomocí známých Millerových indexů identifikujeme rovnoběžné roviny, které jsou od sebe stejně vzdáleny a udávají polohu rovin v prostorové mřížce. Pokud známe hodnotu mezirovinných vzdáleností zkoumané látky stanovené rentgenovou difrakční analýzou a hodnoty souboru mezirovinných vzdáleností různých minerálů, můžeme určit, jaké minerály jsou v látce obsaženy nebo jaký minerál jí tvoří. Graf této zkoušky se nazývá rentgenogram a udává závislost intenzity odražených paprsků RTG záření na úhel dopadu záření. [8]

3.4.1.2 Termografické rozbory (DTA, TG) - ČSN 72 1083

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

TG neboli termogravimetrická analýza během analýza zaznamenává úbytek hmotnosti – dehydrataci, dehydroxilaci, dekarbonataci, atd.[6]

3.4.1.3 Dilatometrická termická analýza (DKTA) - ČSN 72 1083

Dilatometrická analýza sloužící ke stanovení objemových změn látek v závislosti na teplotě. DKTA slouží při stanovení mineralogického složení, přičemž je potřeba znát standardní křivky minerálů, které přicházejí v úvahu. Tuto metodu využijeme také ke sledování lineárních změn výrobní směsi sloužící jako poklad pro vytvoření pálící křivky keramických výrobků. Aby nedošlo k porušení výrobků vlivem napětí v místech významných délkových změn upravujeme pálící křivku. [8]

3.4.1.4 Chemické analýza - ČSN 72 0100 až 72 01200

Pro stanovení složek zeminy (jílovitých minerálů) má chemická analýza poměrně malý význam. Avšak jí používáme pro určení škodlivých látek v zemině, které jsou škodlivé, pokud se vyskytují jako větší zrna. Zjišťujeme hrubý křemen, vápenaté konkrece, pyrit, markasit, velké krystaly sádrovce, organické látky (ztráta žíháním a vyloučením ostatních chemických reakcí), rozpustné sloučeniny (zvláště jejich sulfáty). Také stanovujeme koncentraci vodíkových iontů suspense a výměnnou kapacitu (VKA). VKA je schopnost jílovitých zemin nahrazovat přírodně adsorbované kationty jinými kationty (a to zejména amonnými). [4]

3.4.2 Stanovení granulometrie

3.4.2.1 Sítový rozbor plavením - ČSN 72 1565 - 3

Pro zkoušku plavením používáme síta s velikostí ok 0,063 mm, přes které plavíme zeminy. Principem metody je oddělení zrn pod 0,063 mm proplavováním zeminy sítem této velikosti, kdy následně určujeme procentuální množství zrn propadlých sítem o velikosti otvorů d: $y = 100 \cdot \left(\frac{d}{D} \right)$ [%], kde y je procentové množství zrn propadlých sítem o velikosti otvorů d [mm] a D je velikost teoretického největšího zrna v množině vzorků, která se určí jako průsečík proložené přímky s hodnotou y = 100 % [mm] a zbytek na sítě 0,063 mm: $z = \frac{mz}{m} \cdot 100$ [%], kde m_z [g] je hmotnostní podíl vzorku, který zůstal na sítě 0,063 mm po plavení a m [g] je navážka vzorku. Výsledkem zkoušky je křivka zrnitosti. [8]

3.4.2.2 Sedimentační analýza - ČSN 72 1565 - 2

Při sedimentační analýze využíváme Andearsenovi metody, ve které pomocí pipety stanovujeme dobu pádu částic t [s]. Do suspense s velikostí zrn do 0,05 mm musíme přidat peptizátor pro zamezení shlukování částic. Jelikož je měření poměrně časově náročné (částice 50 μm sedimentují 70 hodin) využíváme zkráné metody pro cihlářské zeminy (stanovení zrn 0–20 a 0–2 μm). Rozborem určíme procentuální obsah částic velikostí 0-2 μm, 2-20 μm, 20-63 μm. Procentuální frakce se vynesou do Winklerova trojúhelníkového diagramu a určíme k jakému účelu použití je zemina vhodná. [5]

3.4.1 Přetvárné (reologické) vlastnosti plastického těsta

3.4.1.1 Plastičnost podle Pfefferkorna - ČSN 72 1074

Na Pfefferkornově přístroji stanoví plastičnost vytvářecích těst na základě deformačního poměru. Zkouška probíhá tak, že si vytvoříme válečky z těsta o určité vlhkosti o průměru 33 ± 0,5 mm a výsky 40 ± 0,1 mm. Váleček vložíme do přístroje a pustíme na něj závaží o hmotnosti 1200 g z výšky Ho=185 mm a změříme výšku válečku po stlačení. Deformační poměr se vypočítá: $d = \frac{hn}{h0}$ [-], kde h_0 [mm] je výška válečku před a h_n [mm] po deformaci. Během zkoušky stanovíme take množství vody obasažené v těstě. [5]

3.4.2 Vlastnosti vysušeného výlisku

3.4.2.1 Délková změna sušením - ČSN 72 1565 - 5

Během sušení výrobku dochází k odpařování vody a přibližování částic v mikrostruktuře, což se projeví délkovou a objemovou kontrakcí (smrštění). Čím více použijeme rozdělávací vody a jemných zrn do 2 μm bude surovina obsahovat, tím větší bude kontrakce. Určíme smrštění sušením na cihelkách velikosti 100x50x20 mm nebo 70x35x12 mm. Smrštění sušením vypočítáme: $DS = \frac{ls - lz}{lz} \cdot 100$ [%], kde l_s [mm] je délka po a l_z [mm] před vysušením. [8]

3.4.2.2 Citlivost k sušení - ČSN 72 1565 - 11

U výsušků můžeme vizuálně posoudit množství defektů (deformace, trhlinky) a tím jaká je citlivost k sušení. Pro vyhodnocení citlivosti k sušení využijeme Bigotovy křivky. Hodnoty pro vytvoření křivky získáme opakovaným měřením rozměrů. Naměřené hodnoty se vynesou do diagramu, a jestliže se smrštění již nemění, prodloužíme kolmou a šikmou část křivky a v bodě, kde se obě protnou, se nachází tzv. kritický bod. Dále vedeme z kritického bodu rovnoběžku s osou x a protne se osa y, a následně můžeme vyhodnotit jednotlivé oblasti sušení, množství vody smršťovací a vody pórové. [9]

Citlivost k sušení podle Bigota (CSB) vypočítáme: $CSB = \frac{W0-Wk}{Wk}$ [-], kde w_o [%] je množství rozdělávací vody a w_k [%] je kritická vlhkost, která se stanovuje graficky v Bigotově křivce.

Vyhodnocení: CSB < 1 – zemina málo citlivá k sušení, CSB 1 – 1,5 – zeminy středně citlivé k sušení, CSB 1,5 – 2 – zeminy citlivé k sušení, CSB > 2 – zeminy silně citlivé k sušení. [8]

3.4.1 Vlastnosti vypáleného keramického střepu

3.4.1.1 Popis vypálených vzorků

V závislosti na výši vypalovací teplotě sledujeme vzorky – kontrolujeme ostré hrany a rohy, pravidelný tvar a rovné plochy. Dále popisujeme barvu vzorků, která je ovlivněna množstvím barvících oxidů (zejména oxid železitý, který dává střepu barvy od nažloutlé po tmavočervenou). Pokud je v zemině obsaženo $CaCO_3$ ovlivňuje zbarvení oxidem železitým (čím více CaO je v zemině obsaženo, tím více ovlivňuje červené zbarvení způsobené Fe_2O_3, kdy se zbarvení mění ve žluté se zelenavým odstínem). Prostředí v peci je dalším faktorem ovlivňující zbarvení. [8]

3.4.1.2 Objemová hmotnost, nasákavost, zdánlivá pórovitost a zdánlivá hustota - ČSN 72 1565 - 6

Jednou ze základních zkoušek pro vypálený střep je objemová hmotnost a nasákavost. Vypálené vzorky zvážíme (s přesností na setinu gramu) a následně

vaříme 2 hodiny v destilované vodě. Poté zkoušené vzorky uložíme do vody, kde je ponecháme po dobu 24 hod. Po uplynutí této doby znovu zvážíme – hydrostatickým vážením a na vzduchu.

Výpočet objemové hmotnosti: $OH = \frac{ms}{mn-mnv} . \rho_{H_2O}$ [kg.m^{-3}],

Výpočet nasákavosti: $NH = \frac{mn-ms}{ms} . 100$ [%], kde m_s [g] je hmotnost vysušeného vzorku, m_n [g] je hmostnost nasáklého vzorku váženého na vzduchu, m_{nv} [g] je hodnota hmotnosti hydrostatického vážení, ρ_{H_2O} [kg.m^{-3}] je hustota vody. [2]

Poměrem objemu otevřených pórů vypáleného vzorku a jeho celkového objemu včetně pórů nám udává zdánlivou pórovitost, kterou vypočítáme:

$PZ = \frac{mn-ms}{mn-mnv} . 1000 = NV. \frac{OH}{1000}$ [%]. [5]

Poměr hmotnosti vysušeného vzorku k jeho objemu včetně pórů nám udává zdánlivou hustotu, kterou vypočítáme: $ZH = \frac{ms}{ms-mn} . 1000$ [kg.m^{-3}].

Zdánlivá hustota se rovná měrné hmotnosti, jestliže zkušební vzorek nemá uzavřené póry. [8]

3.4.1.3 Délková změna pálením - ČSN 72 1565 - 5

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

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

$DC = \frac{lp-lz}{lz} . 100$ [%], kde l_p [mm] délka trámečku po výpau, l_z [mm] délka trámečku po vytvoření.

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

CP = DC - DS [%], kde DC [%] celkové smrštění a DS [%] smrštění sušením. [8]

3.4.1.4 Pevnost v ohybu - ČSN 72 1565 - 7

Stejně jako u pevnosti vysušených vzorku se pevnost v ohybu vypáleného vzorku vypočte podle následujícího vztahu: $R = \frac{3.\ F.l}{2.b.h^2}$ [MPa], kde F [N] je zatížení v okamžiku porušení tělíska, l [mm] je vzdálenost podpěrných břitů, b [mm] je šířka průřezu zkušebního tělesa, h [mm] výška průřezu zkušebního tělesa. Jedná se o hodnotu udávající schopnost střepu vzdorovat účinkům působících napětí. [6]

3.4.1.5 Součinitel tepelné vodivosti - 993 - 14 - 5

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

,,Tepelná vodivost stavebních materiálů souvisí především s jejich objemovou hmotností a vlhkostí. Schopnost látky vést teplo se popisuje součinitelem tepelné vodivosti λ [$W.m^{-1}.K^{-1}$], který udává kolik tepla ve wattech se přenese 1 m^2 materiálu do vzdálenosti 1 m při teplotním rozdílu 1 K. Nejnižší tepelnou vodivost (nejnižší λ tzn. nejvyšší tepelně izolační schopnosti) má materiál s nízkou objemovou hmotností s nulovou vlhkostí a opačně.'' [7]

4 Praktická část

V této části bakalářské práce budou vyhodnoceny zkoušky na cihlářských zeminách podle normy ČSN 72 1565. Pro tyto zkoušky byly použity vzorky zemin dostupných v České republice. Jedná se o vzorky z vápenaté a nevápenaté cihlářské zeminy, kdy výstupem praktické části bude vyhodnocení výhod a nevýhod těchto zemin pro výrobu tepelně izolačních tenkostěnných tvarovek typu THERM.

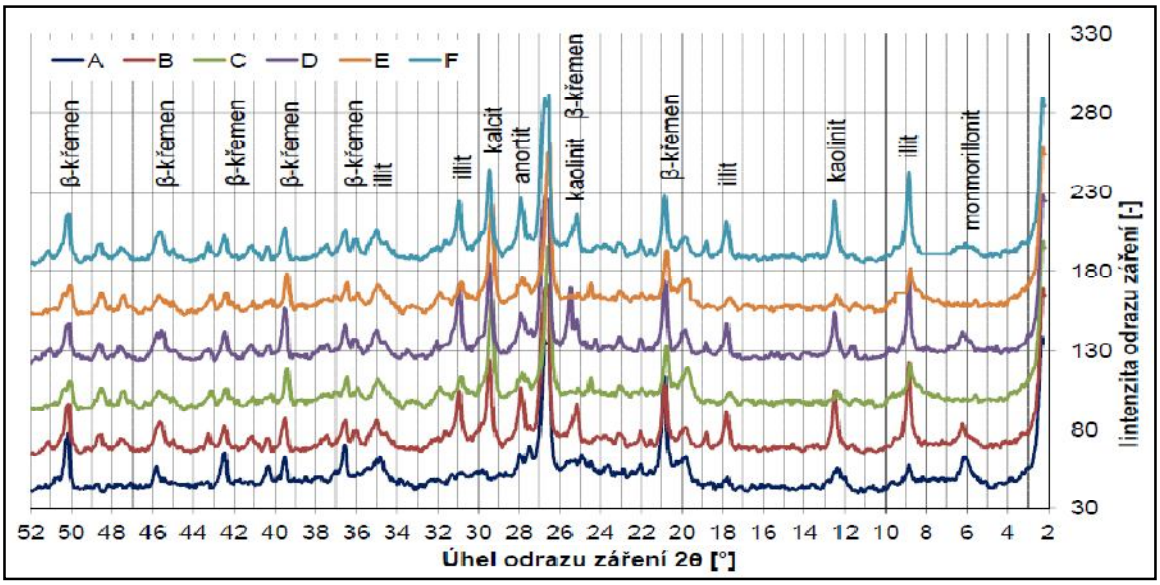
Použité zeminy byly z lokalit:

A. Týn nad Vltavou – Nevápenatá zemina
B. Novosedly – odběr č. 1 – Vápenatá zemina
C. Jezernice – Vápenatá zemina
D. Novosedly – odběr č. 2 – Vápenatá zemina
E. Boleráz – Vápenatá zemina
F. Hevlín – Vápenatá zemina

Zeminy A – E jsou z ložisek společnosti Wienerberger cihlářský průmysl, a. s., a zemina F je z ložiska společnosti HELUZ, cihlářský průmysl v.o.s.

4.1 Zkoušky cihlářských zemin

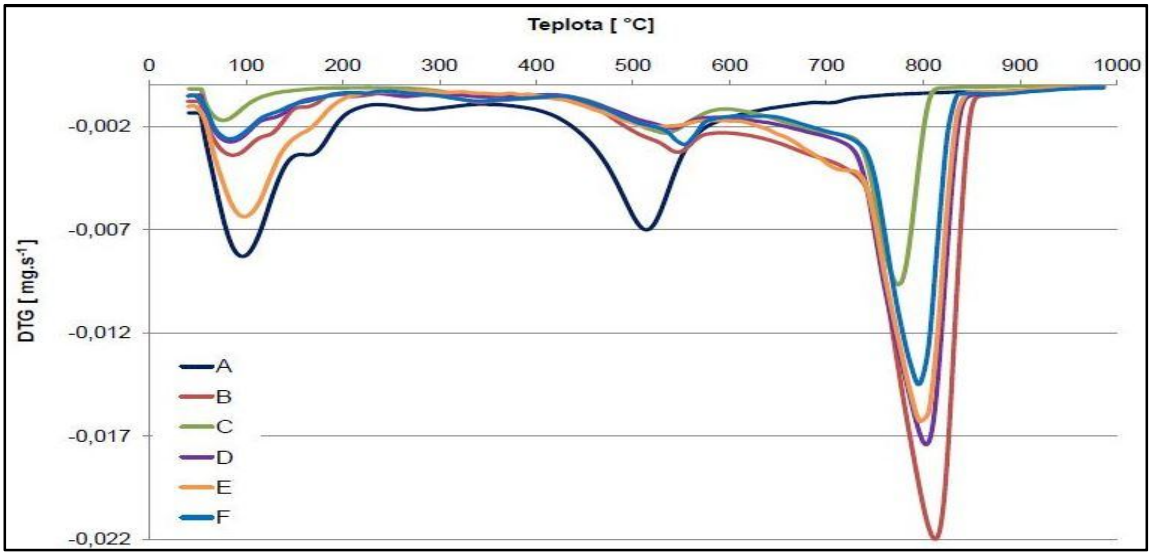
1. Rentgenová difrakční analýza (RTG)



Obrázek č. 11: Rentgenogram zkoušených zemin [3]

Zeminy použité pro zkoušky obsahují zejména křemen. Zemina A dle očekávání neobsahuje kalcit, anortit a ani mnoho anortitu. Další minerály jsou v zeminách vápenatých i nevápenatých stejné a to především křemen, dale i illit a montmorillonit.

2. Derivační termografie (DTG)



Obrázek č. 12: DTG zkoušených zemin [3]

U vzorku A, z nevápenaté zeminy do teploty až asi 200 °C dochází k odchodu fyzikálně vázané vody – dehydrataci. Do teploty asi od 450 – 550 °C dochází k dehydroxylaci. U ostatních vzorků z vápenatých zemin k dehydrataci dochází do teploty asi 180 °C . Při teplotách 460 – 600 °C k dehydroxilaci jílových minerálů.

Při teplotách 740 – 840 °C dochází u vápenatých zemin k dekarbonataci vápence.

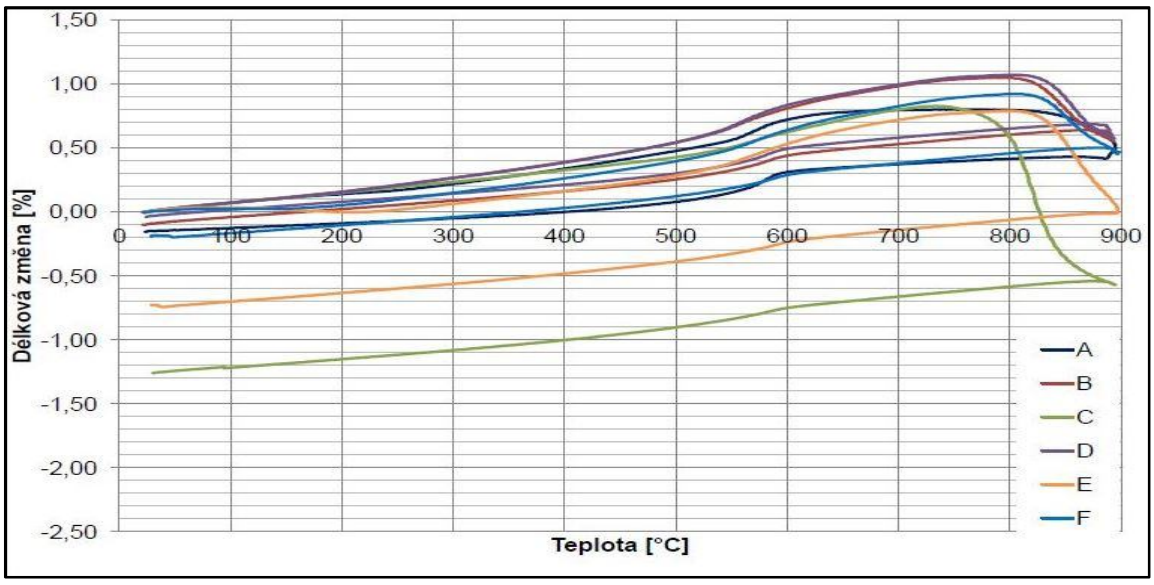
$$CaCO_3\ (100\ g{\cdot}mol^{-1}) \rightarrow\ CaO\ (56\ g{\cdot}mol^{-1}) + CO_2\ (44\ g{\cdot}mol^{-1})$$

Podle grafu DTA, lze určit množství a procentuální zastoupení vápence v jednotlivých zeminách.

$$m\ CaCO_3 = \frac{\Delta\ m}{44} \cdot 100\ \ [g]$$

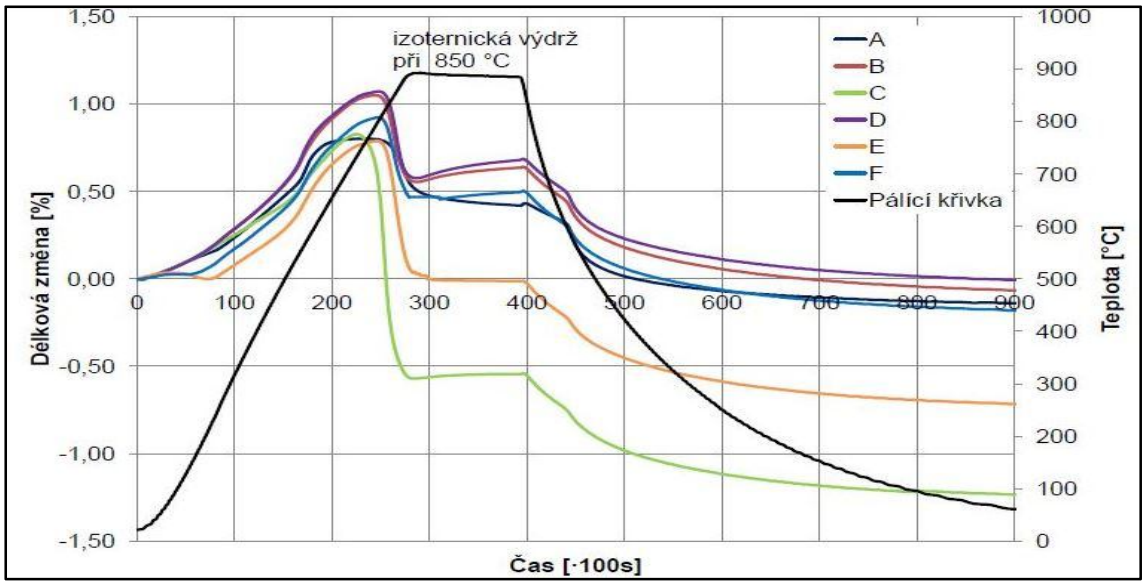
V zemině B je 15,0 % $CaCO_3$ (10,5 g), v zemině C je 10,7 % $CaCO_3$ (3,2 g), v zemině D je 16,2 % $CaCO_3$ (8,2 g), v zemině E je 14,8 % $CaCO_3$ (7,5 g), v zemině F je 14,3 % $CaCO_3$ (5,9 g).

3. Dilatometrická termická analýza (DKTA)



Obrázek č. 13: DKTA zkoušených zemin [3]

Při měření v dilatometru bylo naměřeno největší smrštění u vzorku ze zeminy C a to 1,28 %, dále u vzorku ze zeminy E a to 0,72 %. U ostatních vzorků bylo smrštění téměř nepodstatné a to u vzorku F 0,19 %, u vzorku z nevápenaté zeminy A 0, 15 %, u vzorku B 0, 10 % a u vzorku D 0,03 %.



Obrázek č. 14: DKTA zkoušených zemin s výdrží 2 hodiny při 850 °C [3]

Při vypalovacím režimu s výdrží 2 hodiny při 850 °C došlo k menšímu smrštění. Největší smrštění bylo v dilatometru neměřeno u vzorku ze zeminy C a to o 1, 26 %, dále u vzorku ze zeminy E a to 0,77 %. U ostatních vzorků bylo smrštění výrazně menší, u vzorku ze zeminy F 0, 17 %, u vzorku z nevápenaté zeminy A 0, 15 %, u vzorku ze zeminy B o 0,1 % a u vzorku ze zeminy D o 0,04 %.

4. Chemická analýza

Tabulka č. 13: Chemická analýza jednotlivých zemin

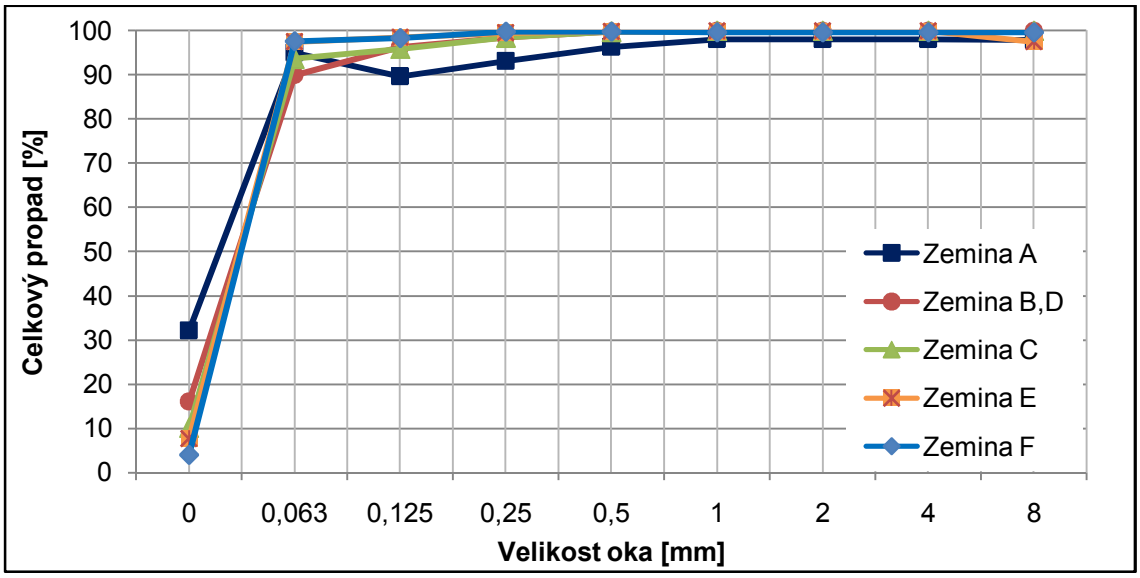
Vzorek	Al_2O_3	CaO	Fe_2O_3	K_2O	MgO	MnO	Na_2O	P_2O_5	SiO_2	SO_3	TiO_2
					[%]						
Zemina A	15,50	1,12	5,20	2,40	1,00	0,04	0,73	0,05	66,80	0,52	0,17
Zemina B	12,70	9,80	4,40	3,00	3,33	0,04	1,70	0,07	56,43	0,62	0,11
Zemina C	11,06	8,08	4,37	2,71	1,75	0,10	0,92	0,12	53,65	1,70	0,51
Zemina D	12,11	8,81	4,37	2,79	2,50	0,06	0,83	0,14	50,70	0,99	0,56
Zemina E	14,24	8,36	5,76	2,67	4,05	0,08	0,67	0,12	46,36	0,40	0,38
Zemina F	14,11	8,36	5,72	2,66	4,04	0,08	0,67	0,12	46,07	0,39	0,38

Dále i chemická analýza potvrdila minimální obsah CaO (1,12 %) v zemině A, ostatní vzorky (B – F) jsou vápenaté zeminy s obsahem CaO v rozmezí od 8,08 – 9,80 %.

5. Sítový rozbor plavením

Tabulka č. 14: Sítový rozbor plavením

velikost ok [mm]	podsítné [%]	podsítné [%]	podsítné [%]	podsítné [%]	podsítné [%]
	Zemina A	Zemina B, D	Zemina C	Zemina E	Zemina F
>8	97,9	99,9	99,9	97,4	99,6
4-8	98,0	99,9	99,9	99,9	99,6
2-4	98,0	99,9	99,9	99,9	99,6
1-2	98,1	99,9	99,9	99,9	99,6
0,5-1	96,3	99,8	99,7	99,8	99,8
0,25-0,5	93,0	98,5	98,4	99,4	99,8
0,125-0,25	89,6	96,3	95,8	98,4	98,3
0,063-0,125	95,0	89,6	93,6	97,4	97,6
<0,063	32,1	16,0	10,1	7,7	4,0



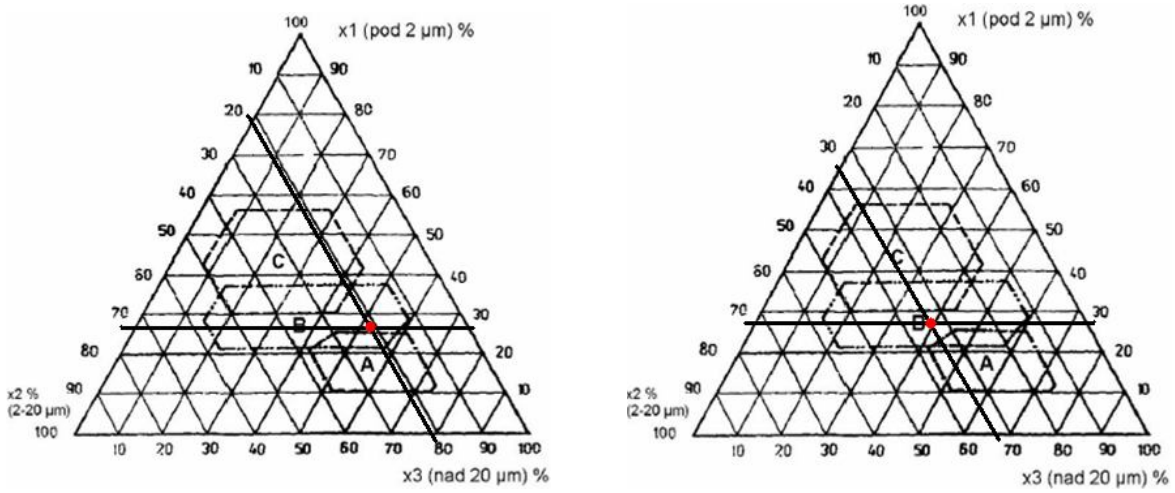
Obrázek č. 15: Srovnání křivek zrnitosti zkoušených zemin

Největší propad na sítě okem <0,063 mm (odplavených částic) bylo u nevápenaté zeminy A a to 32,1 %. Nejmenší propad na sítě okem <0,063 mm (odplavených částic) bylo u zeminy F a to 4,0 %. Křivky zrnitosti u všech zemin je v podstatě stejná.

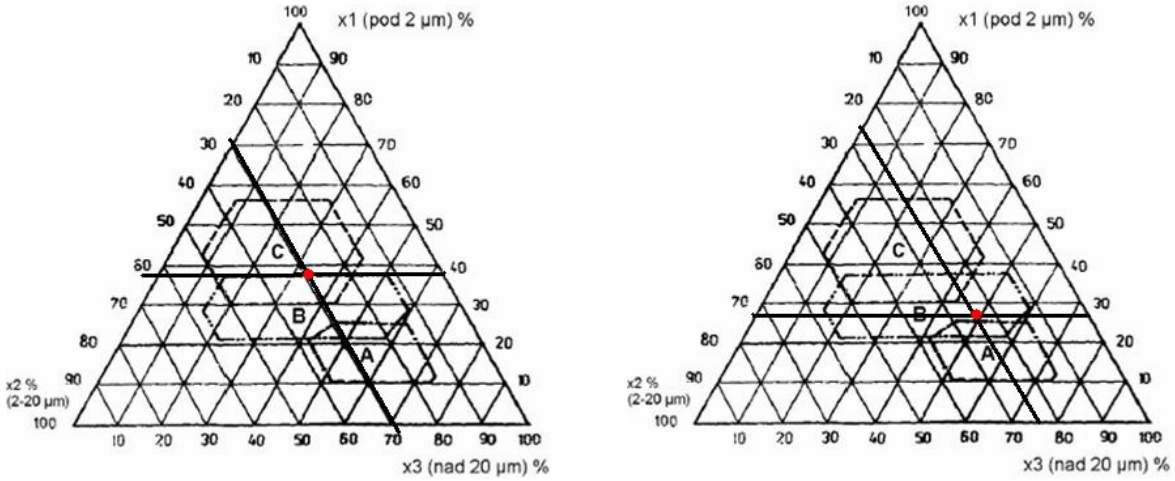
6. Sedimentační analýza

Tabulka č. 15: Vypočtené hodnoty pro zakreslení do Winklerova diagramu

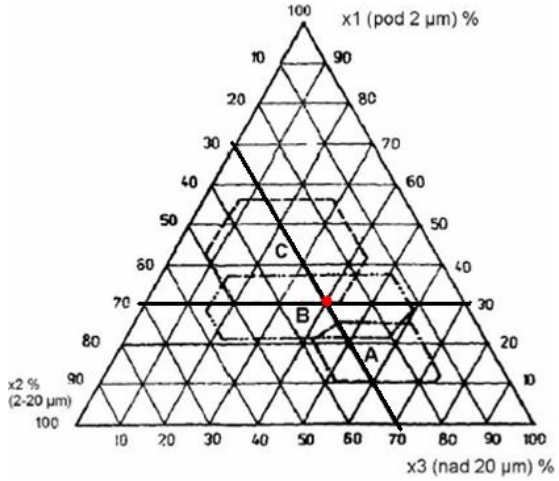
Velikost zrn [µm]	Obsah zrn [%] Zemina A	Obsah zrn [%] Zemina B, D	Obsah zrn [%] Zemina C	Obsah zrn [%] Zemina E	Obsah zrn [%] Zemina F
0 - 2	27,5	27,6	38,4	26,7	30,0
2 - 20	20,9	33,9	29,5	25,1	29,2
20 - 63	51,6	38,4	32,1	48,2	51,9



Obrázek č. 16, 17: Winklerův diagram zemina A a B, D



Obrázek č. 18, 19: Winklerův diagram zemina C a E



Obrázek č. 20: Winklerův diagram zemina F

Zeminy A, B, D, E zapadají do kategorie B, tj. zdící mnohoděrované výrobky a zemina C do kategorie C, tj. tenkostěnné výrobky a krytina. Zemina E je na rozhraní kategorie C a B.

4.2 Zkoušky plastického těsta

1. Plastičnost těsta podle Pfefferkorna

Tabulka č. 16: výpočet deformačního poměru dle Pfefferkorna na zkoušených zeminách

Vzorek	h0 [mm]	hn [mm]	d [-]	w_i [%]
A	40,0	22,3	0,56	29,4
B	39,6	25,1	0,63	27,5
C	39,0	24,0	0,60	44,6
D	39,6	22,7	0,57	27,8
E	39,6	26,0	0,66	30,1
F	39,8	21,0	0,53	35,6

Téměř největší deformační poměr, s nejmenší pracovní vlhkostí byl naměřen u zeminy B, tzn. je nejplastičtější a nejmenší deformační poměr, s téměř nejvyšší pracovní vlhkostí u zeminy F, tzn. je nejméně plastický.

4.3 Zkoušky na vysušených a vypálených vzorcích

1. Popis vypálených vzorků

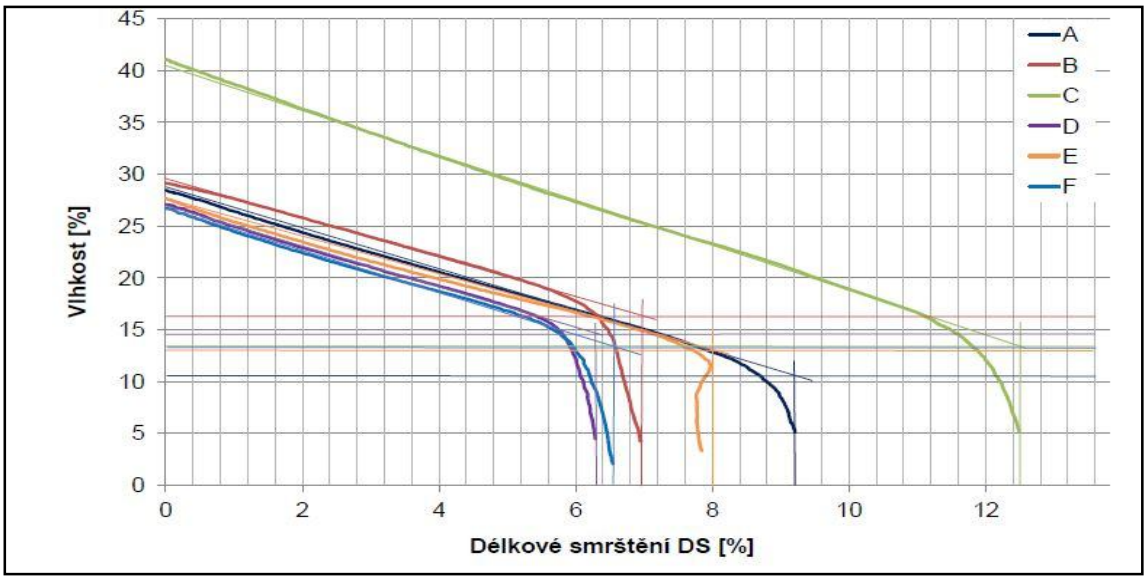
Obrázek č. 21: Vzorky vypálené na teplotu 850 °C

Obrázek č. 22: Vzorky vypálené na teplotu 950 °C

Obrázek č. 23: Vzorky vypálené na teplotu 1050 °C

Zbarvení vzorků se lišilo. Nejtmavší zbarvení měly vzorky zeminy A z Týna nad Vltavou, kdy se jedná o nevápenatou zeminu. Zbarvení bylo cihlově až tmavě červené. Nejsvětlejší vzorky B byly z vápenité zeminy, z Hevlína. Dále světlého zbarvení byly vzorky B a D z vápenité zeminy, z Novosedel. Zemina E byla o něco tmavší, kdy se jedná o neurčenou zeminu z Bolerázu. Vzorky C ze zeminy z Jezernici vykazovaly světlé skvrny a praskliny a při teplotě výpalu 1050 °C měla tato vápenitá zemina nejtmavší zbarvení mírně do hnědočervena.

2. Citlivost k sušení



Obrázek č. 24: Bigotovi křivky zkoušených zemin [3]

Tabulka č. 17: Vypočtené hodnoty citlivosti k sušení podle Bigota

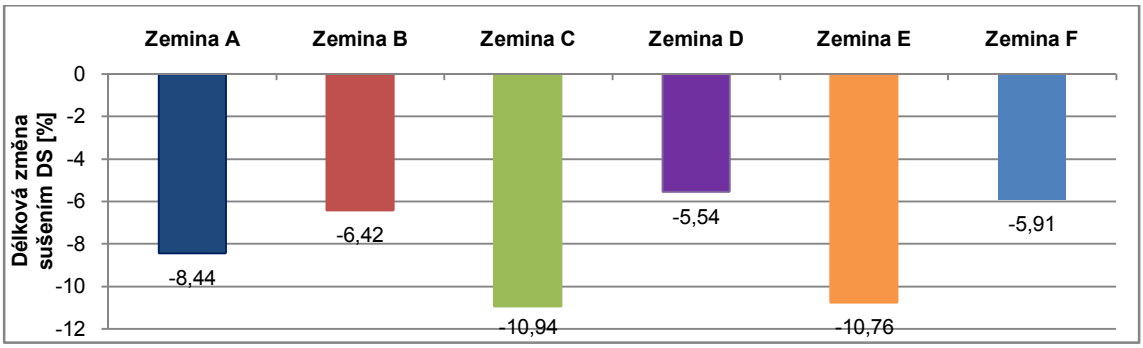
Vzorek	CSB [-]
Zemina A	1,65
Zemina B	0,79
Zemina C	2,00
Zemina D	0,84
Zemina E	1,69
Zemina F	1,45

Z Bigotovy křivky vyplývá, že plastická těsta vytvořené ze zemin B a D jsou málo citlivá k sušení, zemina F je středně citlivá k sušení a nevápenatá zemina A spolu se zeminami C a E jsou citlivé k sušení.

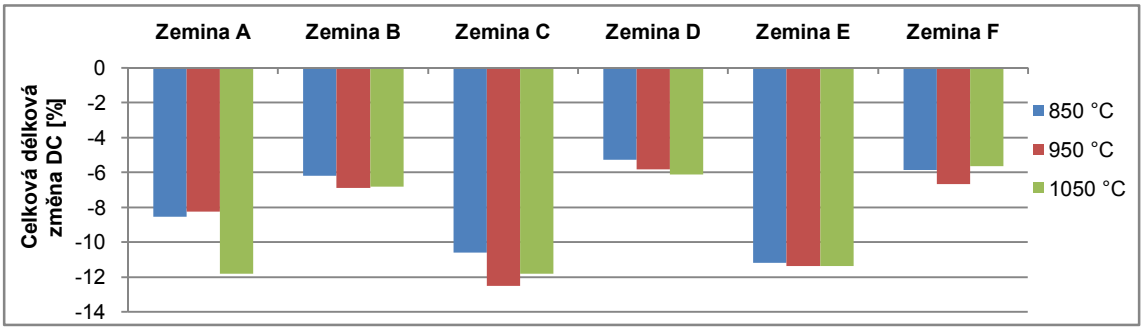
3. Délková změna sušením, celková a pálením

Tabulka č. 18: Vypočtené hodnoty délkové změny sušením, celková a pálením zkoušených vzorků

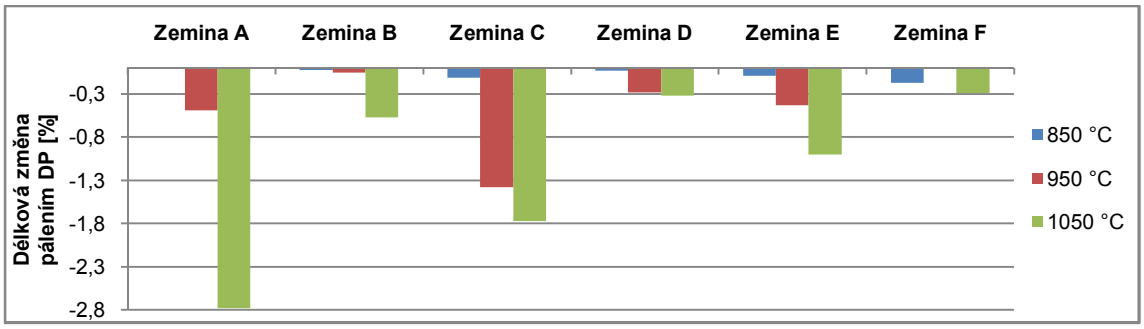
Teplota výpalu [°C]	Ø DS [%]	Ø DC [%]	Ø DP [%]
Zemina A			
850	-8,44	-8,55	0,01
950		-8,23	-0,49
1050		-11,79	-2,78
Zemina B			
850	-6,42	-6,18	-0,02
950		-6,90	-0,05
1050		-6,80	-0,57
Zemina C			
850	-10,94	-10,58	-0,11
950		-12,50	-1,38
1050		-11,81	-1,77
Zemina D			
850	-5,54	-5,29	-0,03
950		-5,83	-0,28
1050		-6,13	-0,32
Zemina E			
850	-10,76	-11,18	-0,09
950		-11,36	-0,43
1050		-11,35	-1,00
Zemina F			
850	-5,91	-5,88	-0,17
950		-6,66	-0,01
1050		-5,65	-0,29



Obrázek č. 25: Grafické srovnání délkové změny sušením zkoušených vzorků



Obrázek č. 26: Grafické srovnání celkové délkové změny zkoušených vzorků



Obrázek č. 27: Grafické srovnání délkové změny pálením zkoušených vzorků

Největší smrštění sušení bylo naměřeno u zeminy C a to 10,94 % a nejmenší u zeminy D a to 5,54 %.

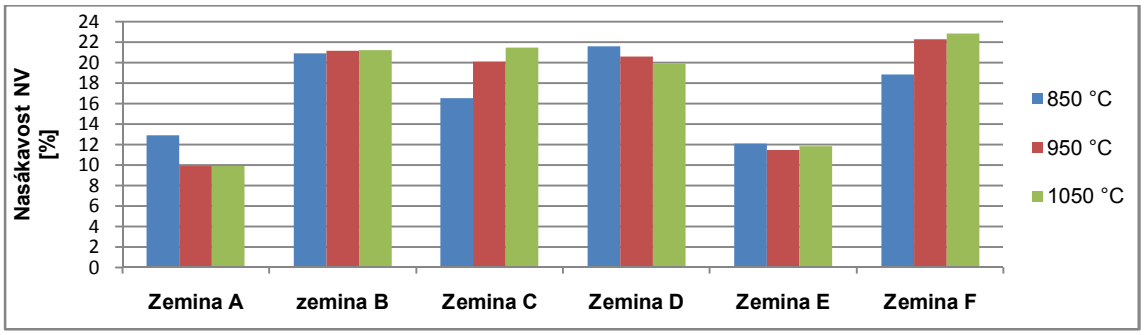
Při porovnání celkové délkové změny, u vzorků D a E s narůstající vypalovací teplotou se zvětšuje celkové smrštění. Zemina A při nárůstu teploty výpalu na 950 °C zmenší celkové smrštění a u teploty výpalu 1050 °C zvětší. U zemin B, C, F je tomu přesně obráceně, při nárůstu teploty výpalu na 950 °C zvětší celkové smrštění a u teploty výpalu 1050 °C zmenší. Největší celkové smrštění vykazuje nevápenatá zemina A při výpalu na teplotu 1050 °C.

Při porovnání délkové změny pálením, u vzorků A, B, C, D a E s narůstající vypalovací teplotou se zvětšuje smrštění pálením. Zemina F opět vykazuje výchylku na vypalovací teplotě 950 °C, kdy je smrštění pálením téměř nulové a při vypalovací teplotě 1050 °C je téměř stejné, jen o něco málo větší, jako u vypalovací teploty na 850 °C. Největší celkové smrštění vykazuje nevápenitá zemina A při výpalu na teplotu 1050 °C.

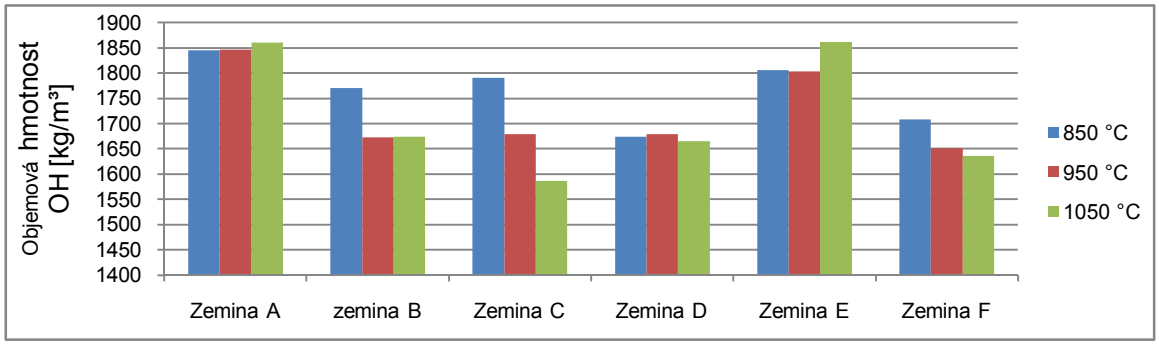
4. Užitné vlastnosti vypáleného keramického střepu

Tabulka č. 19: Vypočtené hodnoty užitných vlastností zkoušených vzorků

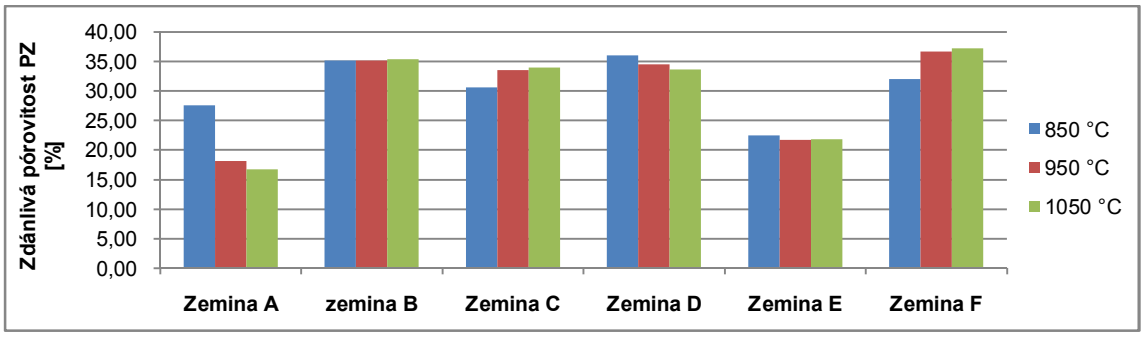
Teplota výpalu [°C]	Ø NV [%]	Ø OH [kg/m³]	Ø PZ [%]	Ø ZH [kg/m³]	Ø R [MPa]	Ø λ [W/m·K]
Zemina A						
850	12,87	1 844	27,61	2419	7,1	0,7366
950	9,89	1 845	18,20	2257	8,0	-
1050	9,03	1 859	16,78	2234	15,2	0,9153
Zemina B						
850	20,90	1 769	35,22	2609	9,5	0,5184
950	21,11	1 672	35,28	2583	8,1	-
1050	21,17	1 673	35,42	2591	11,8	0,6939
Zemina C						
850	16,51	1 790	30,68	2587	8,7	0,6323
950	20,07	1 678	33,60	2526	12,6	-
1050	21,45	1 586	34,02	2404	21,4	0,9576
Zemina D						
850	21,58	1 674	36,13	2621	9,2	0,645
950	20,58	1 679	34,55	2566	10,7	-
1050	19,88	1 695	33,69	2556	10,6	0,9457
Zemina E						
850	12,09	1 805	22,53	2405	14,9	0,582
950	11,45	1 802	21,76	2430	17,1	-
1050	11,79	1 861	21,86	2382	18,7	0,6678
Zemina F						
850	18,80	1 707	32,05	2515	8,3	0,4265
950	22,24	1 651	36,70	2608	12,5	-
1050	22,80	1 635	37,28	2607	10,7	0,6754



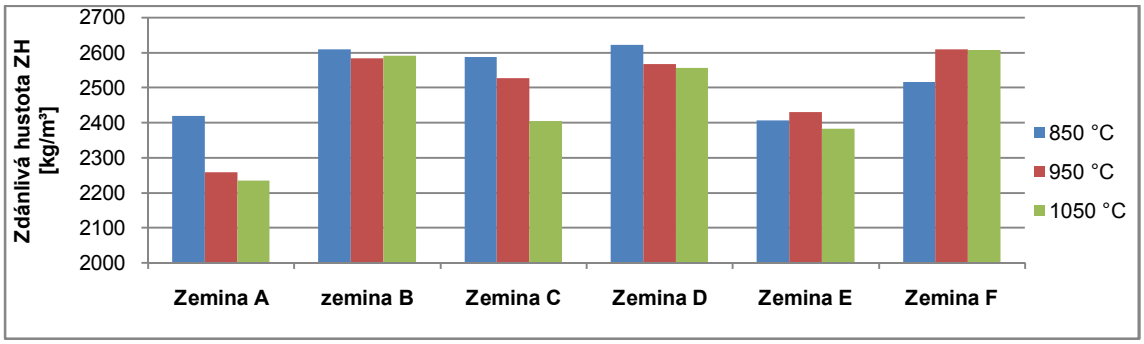
Obrázek č. 28: Grafické porovnání nasákavost zkoušených vzorků



Obrázek č. 29: Grafické porovnání objemové hmotnosti zkoušených vzorků



Obrázek č. 30: Grafické porovnání zdánlivé pórovitosti zkoušených vzorků



Obrázek č. 31: Grafické porovnání zdánlivé hustoty zkoušených vzorků

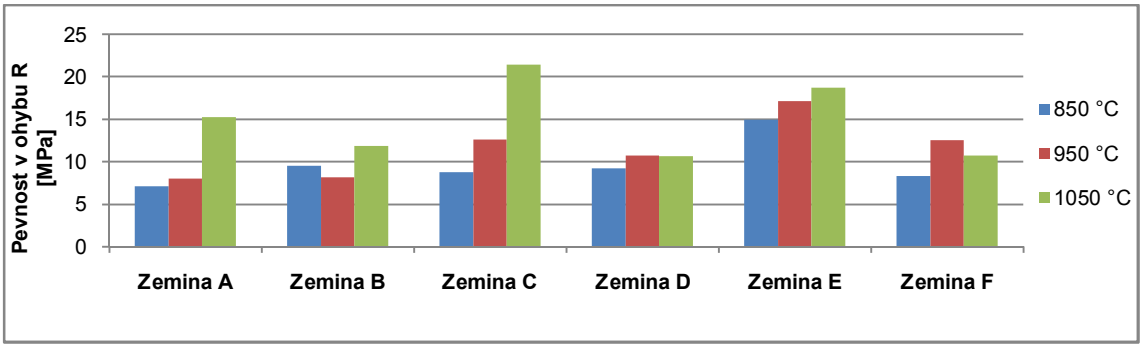
Výsledky nemají vždy klesající nebo stoupající trend se zvyšující se vypalovací teplotou, největší výchylky jsou u vzorků ze zeminy E. Tyto výsledky mohly být způsobeny nepřesnosti měření.

Nasákavost se vzrůstající teplotou zvyšovala u vzorků B, C a F, u vzorků D klesala, ale měla by klesat stejně jako zemina B, u vzorku E při vypalovací teplotě 950 °C klesl a při 1050 °C stoupla. U vzorku z nevápenaté zeminy A nasákavost s narůstající vypalovací teplotou lineárně klesala.

Objemová hmotnost se vzrůstající teplotou klesala u vzorků B, C a F, u vzorků E tomu bylo naopak. U vzorku D nejsou naměřeny výrazné změny objemové hmotnosti v závislosti na vypalovací teplotu U vzorku z nevápenaté zeminy A byla objemová hmotnost nejvyšší a s narůstající vypalovací teplotou lineárně stoupala.

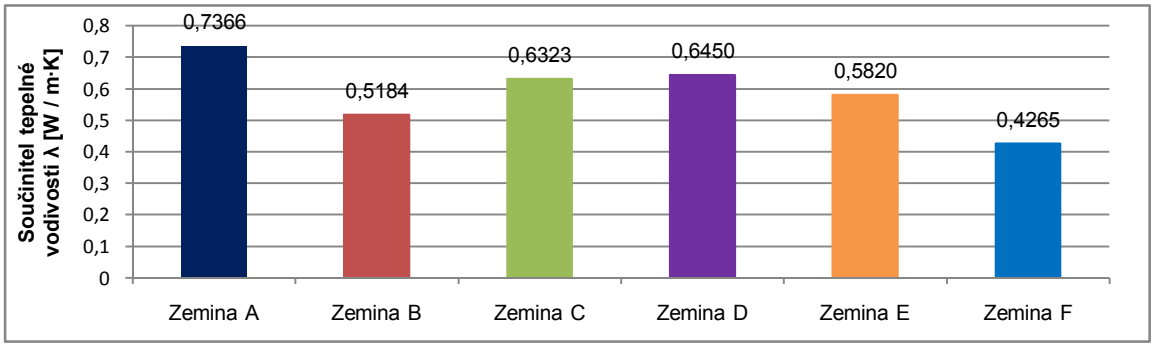
Zdánlivá pórovitost se vzrůstající teplotou stoupala u vzorků B, C a F, u vzorků, u vzorků D klesala, ale měla by klesat stejně, jako zemina B. Klesající trend byl i u vzorku E. U vzorku z nevápenaté zeminy A zdánlivá pórovitost s narůstající vypalovací teplotou lineárně klesala.

Zdánlivá hustota se vzrůstající teplotou klesala u vzorků A, C a D, u vzorků E a F nebyl opět lineární průběh, a to při vypalovací teplotě 950 °C stoupla a při 1050 °C klesla. U vzorku ze zeminy B tomu bylo přesně naopak, když by měl vykazovat stejné charakteristiky jako vzorek ze zeminy D.



Obrázek č. 32: Grafické porovnání pevnosti v ohybu zkoušených vzorků

Výsledky porovnání pevnosti v ohybu zkoušených vzorků opět není úplně u všech vzorků lineárně klesající nebo stoupající se stoupající vypalovací teplotou. Pevnost v ohybu stoupá se stoupající vypalovací teplotou u vzorku z nevápenaté zeminy A stejně jako vzorky z vápenatých zemin C, D, E. U vzorku B při teplotě výpalu 950 °C pevnost klesá a na teplotě výpalu 1050 °C opět roste a je větší než na teplotě výpalu 850 °C. Přesně obráceně je tomu u vzorku F při teplotě výpalu 950 °C pevnost stoupá a na teplotě výpalu 1050 °C klesá, ale je větší než na teplotě výpalu 850 °C.



Obrázek č. 33: Grafické porovnání součinitele tepelné vodivosti zkoušených vzorků

V grafu jsou znázorněny hodnoty součinitele tepelné vodivosti vzorků vypálených na 850 °C, což je běžná vypalovací teplota v cihelných závodech. Největší hodnoty součinitele tepelné vodivosti dosahuje vzorek z nevápenaté zeminy A s hodnotou 0, 7366 W/K·m a nejmenší vzorek z vápenaté zeminy F s hodnotou 0,4265 W/K·m. V tabulce jsou uvedeny součinitelé tepelné vodivosti u vzorků s vypálených na 850 °C a 1050 °C. Se vzrůstající vypalovací teplotou roste i součinitel tepelné vodivosti.

5 Závěr

Cílem bakalářské práce bylo definovat vlastnosti cihlářských zemin běžně používaných pro výrobu tenkostěnných tepelně izolačních tvarovek typu THERM v České republice. Pro zkoušky byly použity zeminy od dvou největších výrobců tvarovek a to Wienerberger cihlářský průmysl, a. s. a HELUZ, cihlářský průmysl v.o.s. Zkoušky byly provedeny na vápenatých a nevápenatých zeminách a právě množství CaO ovlivňuje užitné vlastnosti cihlářského střepu po výpalu.

Na základě rentgenové difrakční analýzy se prokázala absence kalcitu u nevápenaté zeminy A, oproti ostatním použitým zeminám, kde je kalcit obsažen. Což dokazuje zkouška DTG i chemická analýza, kde je uveden minimální obsah CaO v nevápenaté zemině A, oproti vzorkům z vápenaté zeminy, které obsahovaly v průměru 8,5 % CaO.

Při zkoušce DKTA při izotermické výdrži 850 °C došlo ke smrštění vzorku z nevápenaté zeminy A, naproti tomu u ostatních vzorků vápenatých zemin došlo k prodloužení. Tato objemová změna je zřejmě způsobena vyšším obsahem CaO, což má za následek tvorbu anortitu. Anortit, který vzniká při výpalu vzorků z vápenatých zemin vede ke změně mnoha vlastností vypáleného keramického střepu.

Nevápenatá zemina obsahovala nejvíce jemných podílů <0,063 mm. Na základě zkoušky citlivosti k sušení dle Bigota není jednoznačný rozdíl mezi vzorky z vápenaté a nevápenaté zeminy. U zkoušky celkového smrštění a smrštění pálením vykazuje nevápenatá zemina relativně vysoké hodnoty při vypalovací teplotě 1050 °C, ovšem vápenatá zemina C a E má větší celkové smrštění při vypalovacích teplotách 850 a 950 °C. Každopádně výrazné jsou délkové smrštění celkové a pálením, kdy největších hodnot dosahuje nevápenatá zemina při výpalu na 1050 °C.

Vzorek z nevápenaté zeminy má oproti vápenatým zeminám nízké hodnoty nasákavosti, zdánlivé pórovitosti a zdánlivé hustoty, kdy dosahuje největších hodnot při vypalovací teplotě na 850 °C. Naproti tomu nejvyšší objemovou

hmotnost. Čemuž odpovídá i to, že vzorek v nevápenaté zeminy dosahuje nejvyšších hodnot součinitele teplené vodivosti.

Nejmenší hodnoty pevnosti dosahuje vzorek z nevápenaté zeminy a to především při nižších vypalovacích teplotách. Vyšší pevnosti u vápenatých zemin je zřejmě způsobeno anortitem vzniklým při výpalu.

Měřítkem pro vyhodnocení zkoušených cihlářských zemin jsou hodnoty při vypalovací teplotě 850 °C, což je dnes běžně používaná teplota pro výpal tepelně izolačních tvarovek typu THERM. Pro tyto tvarovky jsou důležité hodnoty objemové hmotnosti, v souvislosti s tepelně izolačními vlastnostmi a pevností. V České republice se běžně používají vápenaté cihlářské zeminy. Vhodnost jejich použití se prokázala i zkouškami v této práci.

Seznam použitých zdrojů

Literární zdroje

[1] BUDNIKOV, P. P. a kol. *Technologie keramiky a žáruvzdorného zboží.* 1. Vyd. Praha: Státní nakladatelství technické literatury, 1960. 600 s.

[2] HANYKÝŘ, V., KUTZENDÖRFER, J. *Technologie keramiky.* 1. vyd. Praha: Vega, s.r.o., 2000. 287 s. ISBN 80-900860-6-3.

[3] NEČASOVÁ, Z. *Možnosti urychlení doby odležení cihlářských zemin.* Diplomová práce. Brno: Vysoké učení technické v Brně, 2012. Vedoucí práce doc. Ing. Radomír Sokolář, Ph.D.

[4] PYTLÍK, P. *Cihlářství.* Brno: Akademické nakladatelství CERM, s.r.o., 1995. 264 s. ISBN 80-214-0612-7.

[5] PYTLÍK, P., SOKOLÁ, R. *Stavební keramika. Technologie, vlastnosti a využití*, Brno: Akademické nakladatelství CERM s.r.o., 2002. 287 s. ISBN 80-7204-234-3.

[6] SOKOLÁŘ, R. *Keramika. Modul BJ01-M01.* Brno: Vysoké učení technické v Brně, 2006. 176 s.

[7] SOKOLÁŘ, R. *Speciální keramika. Modul BJ14-M01.* Brno: Vysoké učení technické v Brně, 2006. 67 s.

[8] SOKOLÁŘ, R., SMETANOVÁ, L. Keramika – laboratoře. Modul BJ02-M01. Brno: Vysoké učení technické v Brně, 2006. 120 s.

[9] VALENTA, L. *Keramická příručka.* 2. vyd. Praha: Silikátový svaz, 2007. 417 s. ISBN 978-80-86821-46-7.

Časopisy

[10] ACHMEDNABIEV, R., KEHLBREIER H. *Clays in the Ukraine.* Zeegelindustrie inernational. 1997, roč. 32. 84 s.

[11] MATĚJKA, J. *Slída v hlínách. STAVIVO: Odborný časopis věnovaný zájmům veškerého průmyslu staviv. 1932, roč. 10.*

[12] MATĚJKA, J. *Slíny z hliniště kruhové cihelny v Žopech u Holešova. STAVIVO: Odborný časopis věnovaný zájmům veškerého průmyslu staviv. 1932, roč. 10.*

[13] MATĚJKA, J. *Vlastnosti a zpracování tak zvané opuky v cihlářství. STAVIVO: Odborný časopis věnovaný zájmům veškerého průmyslu staviv. 1932, roč. 10.*

[14] LACH, V. *Některé poznatky o mineralogickém složení cihlářských zemin. STAVIVO: Odborný časopis věnovaný zájmům veškerého průmyslu staviv. 1974, roč. 52.*

Normy

[15] ČSN 72 1565 – CIHLÁŘSKÉ ZEMINY. Společná ustanovení.

[16] ČSN 72 1565, část 2 – STANOVENÍ ZRNITOSTI SEDIMENTACÍ

Článek v elektronickém časopise

[17] CULTRONE G., SEBESTIÁN E., TORRE M., CAZALLA O., RODRIGUEZ-NAVARRO C. *Influence of mineralogy and temperature on the porosity of briks.* Scienece Direct [online]. 2004, [cit. 1. 3. 2013]. Dostupné z www: http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0955221903002498

[18] DONDI, A., PRINCICPI, P., RAIMONDO, M., ZANARINI, G. *Water vapour permeability of clay bricks.* Scienece Direct [online]. 2003, [cit. 15. 3. 2013]. Dostupné z www: http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0950061802001174

[19] GÖRHAN, G., SIMSEK, O*. Porous clay bricks manufactured with rice husks.* Scienece Direct [online]. 2012, [cit. 15. 3. 2013]. Dostupné z www: http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S095006181200788X

Internetové zdroje

[20] *Heluz cihlářský průmysl v.o.s.*, [online]. [cit. 9. 2. 2013]. Dostupné z www: http://www.heluz.cz/o-firme/vyrobni-zavody/

[21] Wienerberger cihlářský průmysl, a. s., [online]. [cit. 1. 3. 2013]. Dostupné z www: http://www.wienerberger.cz/kontakty/výrobní-závody-centrála

Seznam použitých tabulek a obrázků

Tabulky

Tabulka č. 1: Základní a doporučené hodnoty pro cihlářské zeminy [15] 17
Tabulka č. 2: Chemické složení cihlářských zemin [1]..... 19
Tabulka č. 3: Chemický rozbor dvou cihlářských zemin [14] 23
Tabulka č. 4: Mineralogické rozbor cihlářských surovin [14]..... 24
Tabulka č. 5: Chemický rozbor průměrného vzorku v % [13] 25
Tabulka č. 6: Vlastnosti vypálených cihelek [13] 25
Tabulka č. 7: Chemický rozbor jednotlivých vrstev v % [12]..... 27
Tabulka č. 8: Semikvantitaticní analýza (v %) nevápenité (G) a vápenité (V) zeminy a vzotky po výpalu mezi 700 a 1100°C [17] 28
Tabulka č. 9: Shrnutí mineralogických a fyzikálně-mechanických charakteristik vápenatého a nevápenatého střepu vypalované na různé teploty [17]..... 29
Tabulka č. 10: Chemické složení cihlářské zeminy [19] 30
Tabulka č. 11: Vlastnosti rýžových slupek [19]..... 30
Tabulka č. 12: Chemické a mineralogické složení použitých cihlářských zemin [18] 32
Tabulka č. 13: Chemická analýza jednotlivých zemin..... 44
Tabulka č. 14: Sítový rozbor plavením 45
Tabulka č. 15: Vypočtené hodnoty pro zakreslení do Winklerova diagramu 46
Tabulka č. 16: výpočet deformačního poměru dle Pfefferkorna na zkoušených zeminách..... 47
Tabulka č. 17: Vypočtené hodnoty citlivosti k sušení podle Bigota..... 49
Tabulka č. 18: Vypočtené hodnoty délkové změny sušením, celková a pálením zkoušených vzorků..... 50
Tabulka č. 19: Vypočtené hodnoty užitných vlastností zkoušených vzorků..... 52

Obrázky

Obrázek č. 1: Mapa závodů společnosti Wienerberger [21] 13
Obrázek č. 2: Mapa závodů společnosti Heluz [20]..... 13
Obrázek č. 3: Petrografické zařazení podle zrnitosti [15] 18
Obrázek č. 4: Zrnitostní diagram cihlářských zemin a výrobních směsí pro výrobky [16] 22
Obrázek č. 5: Charakteristické křivky změn nasákavosti střepu v závislosti na vypalovací teplotě [1]..... 22
Obrázek č. 6: Oblast vhodnosti suroviny podle chemického složení [14] 23
Obrázek č. 7: Příklad difraktogramu cihlářských surovin s větším obsahem kalcitu [15] 24
Obrázek č. 8: RTG analýza použité zeminy [19] 31
Obrázek č. 9, 10: Graf pevnosti v tlaku a tepelné vodivosti vypálených vzorků [19] 31
Obrázek č. 11: Rentgenogram zkoušených zemin [3] 42
Obrázek č. 12: DTG zkoušených zemin [3] 42
Obrázek č. 13: DKTA zkoušených zemin [3] 43
Obrázek č. 14: DKTA zkoušených zemin s výdrží 2 hodiny při 850 °C [3]..... 44
Obrázek č. 15: Srovnání křivek zrnitosti zkoušených zemin..... 45
Obrázek č. 16, 17: Winklerův diagram zemina A a B, D..... 46
Obrázek č. 18, 19: Winklerův diagram zemina C a E 46
Obrázek č. 20: Winklerův diagram zemina F..... 47
Obrázek č. 21: Vzorky vypálené na teplotu 850 °C 48
Obrázek č. 22: Vzorky vypálené na teplotu 950 °C 48
Obrázek č. 23: Vzorky vypálené na teplotu 1050 °C 48
Obrázek č. 24: Bigotovi křivky zkoušených zemin [3]..... 49
Obrázek č. 25: Grafické srovnání délkové změny sušením zkoušených vzorků .. 50
Obrázek č. 26: Grafické srovnání celkové délkové změny zkoušených vzorků.... 51
Obrázek č. 27: Grafické srovnání délkové změny pálením zkoušených vzorků ... 51
Obrázek č. 28: Grafické porovnání nasákavost zkoušených vzorků 52
Obrázek č. 29: Grafické porovnání objemové hmotnosti zkoušených vzorků..... 53
Obrázek č. 30: Grafické porovnání zdánlivé pórovitosti zkoušených vzorků 53

Obrázek č. 31: Grafické porovnání zdánlivé hustoty zkoušených vzorků 53
Obrázek č. 32: Grafické porovnání pevnosti v ohybu zkoušených vzorků 54
Obrázek č. 33: Grafické porovnání součinitele tepelné vodivosti zkoušených vzorků 55