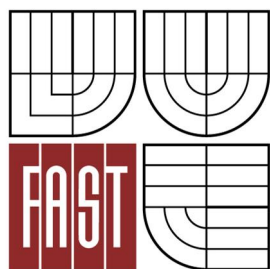




VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ
BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



FAKULTA STAVEBNÍ
ÚSTAV TECHNOLOGIE STAVEBNÍCH HMOT A DÍLCŮ

FACULTY OF CIVIL ENGINEERING
INSTITUTE OF TECHNOLOGY OF BUILDING MATERIALS AND COMPONENTS

MOŽNOSTI ZVÝŠENÍ MRAZUVZDORNOSTI CIHLÁŘSKÉHO STŘEPU

POSSIBILITIES TO INCREASE THE FROST RESISTANCE OF BRICK BODY

DIPLOMOVÁ PRÁCE
MASTER'S THESIS

AUTOR PRÁCE
AUTHOR

Bc. ŠTĚPÁN KERŠNER

VEDOUCÍ PRÁCE
SUPERVISOR

doc. Ing. RADOMÍR SOKOLÁŘ, Ph.D.

BRNO 2014



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ FAKULTA STAVEBNÍ

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

ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

Diplomant	Bc. Štěpán Keršner
Název	Možnosti zvýšení mrazuvzdornosti cihlářského střepu
Vedoucí diplomové práce	doc. Ing. Radomír Sokolář, Ph.D.
Datum zadání diplomové práce	31. 3. 2013
Datum odevzdání diplomové práce	17. 1. 2014
V Brně dne 31. 3. 2013	

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

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

Podklady a literatura

- [1] Pytlík, P., Sokolář, R. Stavební keramika. Technologie, vlastnosti a využití. CERM Brno 2002, ISBN 80-7204-234-3
- [2] ŠVEDA, M. Effect of water absorption on frost resistance of clay roofing tiles. British Ceramic Transactions, Vol. 102, No. 1, 2003, S. 43-45.
- [3] SADUNAS, A, MATSCHJULAITIS, R., KITSCHAITE, A. Methodische Fragen der Bestimmung struktureller Eigenschaften grobkeramischer Erzeugnisse mit hoher Frostbeständigkeit. ZI Ziegelindustrie International, Jahrgang. 44, No. 7, 1991, S. 361-363.
- [4] Šveda, M. The effect of Antika admixture on the frost resistance of clay roofing tiles. Ziegelindustrie International. 2002, vol. 55, no. 10, p.29-33.
- [5] Šveda, M. Mrazuvzdornost pálené krytiny s redukčním jádrem. Silika. 2003. Vol. 13, no. 5-6, s. 152-155.

Zásady pro vypracování

Zvýšení mrazuvzdornosti cihlářského střepu, požadované např. v technologii výroby lícových cihel nebo pálených střešních tašek, je realizovatelné snížením nasákavosti střepu, resp. zvýšením mediánu poloměru pórů ve vypáleném střepu. Cíle diplomové práce je možno definovat v následujících bodech:

- v teoretické části vypracujte rešerši shrnující dosavadní poznatky v oblasti možnosti zvýšení mrazuvzdornosti cihlářského střepu,
- v praktické části nejprve definujte dostupné prostředky, kterými by bylo možno ekonomicky zvýšit mrazuvzdornost střepu pálených střešních tašek v podmínkách jediného českého výrobce (TONDACH Česká republika s.r.o.),
- experimentálně ověřte výše navržené možnosti zvýšení mrazuvzdornosti střepu pro surovinovou směs z cihelny Šlapanice a Hranice. Mimo mrazuvzdornosti je třeba také sledovat další významné vlastnosti střepu (prosákavost, pevnost v ohybu, barva střepu, výkvětotvornost) i plastického těsta (obsah rozdělovací vody, citlivost k sušení, smrštění sušením),
- posuďte vliv navržených úprav pro zvýšení mrazuvzdornosti střepu na distribuci velikosti pórů ve střepu v závislosti na teplotě výpalu a vyhodnoťte předpoklad mrazuvzdornosti střepu podle dostupných teoretických modelů,
- proveďte ekonomické vyhodnocení navržených úprav.

Předepsané přílohy

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

Abstrakt

Diplomová práce se v teoretické a praktické části zabývá možností zvýšení mrazuvzdornosti keramického střeptu. V teoretické části jsou shrnuty dosavadní poznatky v oblasti mrazuvzdornosti keramického střeptu. Praktická část je rozdělena do dvou oblastí. V první oblasti je experimentálně posuzován vliv vypalovací teploty (820 °C a 1020 °C) a doby výdrže (2, 4 a 6 hodin) výpalu na mrazuvzdornost a řadu dalších parametrů cihlářského střeptu ze surovinových směsí používaných pro výrobu střešní tašky v závodech TONDACH Šlapanice a TONDACH Dolní Jirčany. V druhé oblasti praktické části jsou navrženy dvě modifikace surovinové směsi používané pro výrobu střešní tašky v závodu TONDACH Šlapanice – jílu GE a zeolitu – a jsou experimentálně ověřeny jejich účinky na vzorcích alternativně vypálených v peci určené pro výpal zdělicích prvků a v peci určené pro výpal střešních tašek TONDACH Šlapanice.

Klíčová slova

Mrazuvzdornost, střešní tašky, jílu GE, zeolit

Abstract

This thesis, which comprises of a theoretical and a practical part, deals with possible means of increasing ceramic body frost resistance. The current state of research in the field of ceramic body frost resistance is summarized in the theoretical part. The practical part is divided into two sections. In the first section, the influence of firing temperature (820 °C and 1020 °C) and duration (2, 4 and 6 hours) on frost resistance and several other parameters is assessed by means of experiment, using a specimen of brick body made of mixes currently used in roof tile production by TONDACH Šlapanice and TONDACH Dolní Jirčany factories. In the second section of the practical part, two modifications are introduced of the mixture currently used in roof tile production in the TONDACH Šlapanice factory – GE clay and zeolite supplements were added, the effects of which are verified by means of experiment using specimens fired in a kiln designated for ceramic masonry blocks and alternatively in a kiln used for firing TONDACH Šlapanice roof tiles.

Keywords

Frost resistance, roof tiles, GE clay, zeolite

Bibliografická citace VŠKP

KERŠNER, Štěpán. *Možnosti zvýšení mrazuvzdornosti cihlářského střepu*. Brno, 2013. 90 s., 0 s. příl. 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 a že jsem uvedl všechny použité informační zdroje.

V Brně dne 17.1.2014

.....
podpis autora

Štěpán Keršner

Poděkování

Děkuji svému vedoucímu diplomové práce panu doc. Ing. Radomíru Sokoláři, Ph.D. za pomoc a konzultace během zpracovávání mé práce, společnosti TONDACH za umožnění použití jejich suroviny a strojního zařízení a nadaci RUDOLF za podporu.

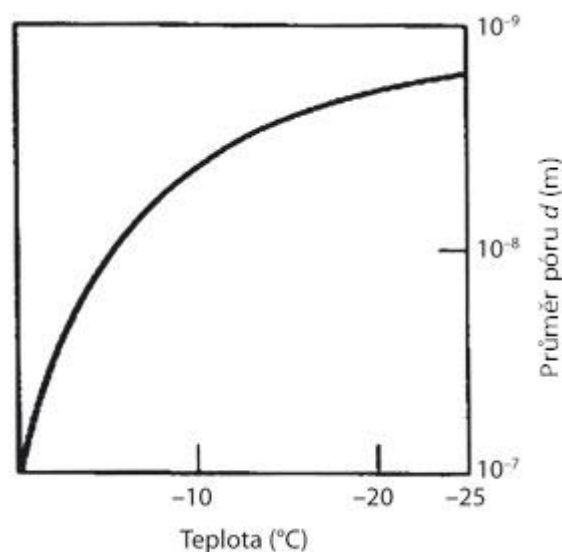
1 Obsah

1	Obsah.....	8
2	Úvod	10
2.1	Cíl práce	12
3	Teoretická část.....	13
3.1	Dosavadní poznatky v oblasti mrazuvzdornosti keramického střepu.....	13
4	Praktická část.....	20
4.1	Navržené prostředky pro zvýšení mrazuvzdornosti keramického střepu	20
4.1.1	Cíl praktické části	20
4.1.2	Zvýšení mrazuvzdornosti úpravou technologie.....	21
4.1.3	Zvýšení mrazuvzdornosti úpravou složení směsi.....	22
4.2	Metodika zkoušek	24
4.2.1	Zkoušky na plastickém těstě.....	24
4.2.2	Zkoušky na vypáleném střepu	26
4.3	Použité suroviny a jejich vlastnosti	33
4.3.1	Referenční směs TONDACH Šlapanice.....	33
4.3.2	Směs Jirčany	36
4.3.3	Jíl GE.....	38
4.3.4	Zeolity.....	40
4.3.5	Označení směsí	41
4.4	Postup provádění, příprava zkušebních vzorků	41
4.5	Naměřené a vypočtené hodnoty.....	43
4.5.1	Citlivost k sušení	43
4.5.2	Možnosti zvýšení mrazuvzdornosti úpravou technologie výroby.....	46
4.5.3	Možnosti zvýšení mrazuvzdornosti úpravou směsi.....	62
4.5.4	Barva střepu	76
4.6	Vyhodnocení předpokladu mrazuvzdornosti navržených úprav.....	77
4.6.1	Zvýšení mrazuvzdornosti úpravou technologie.....	77
4.6.2	Zvýšení mrazuvzdornosti úpravou složení směsi.....	77
4.7	Ekonomické vyhodnocení navržených úprav	80
5	Závěr.....	81
6	Seznam použitých zkratk a symbolů	82
7	Seznam obrázků.....	83

8	Seznam tabulek.....	85
9	Seznam grafů.....	86
10	Seznam použitých zdrojů.....	88

2 Úvod

Od mnoha keramických výrobků se požaduje, aby byly schopny odolávat účinkům mrazu. Jedná se o takové výrobky, které jsou při praktickém použití vystaveny přímým účinkům povětrnosti či vlivu nízkých teplot. Působení mrazu se projevuje zejména na vlhkém, resp. vodou nasyceném střepe. Negativní účinek zmrazování spočívá ve vzniku napětí, které působí při přeměně skupenství kapalné vody na pevný led, který, jak známo, zaujímá větší objem, nežli voda zaujímala před zmrznutím (relativní změna objemu cca 9 %). Účinek mrazu je postupný, voda proniká zpravidla od povrchových vrstev střepe postupně do vrstev vnitřních, přičemž v praxi se jedná pouze o jednu stranu, která je mrazu vystavena (vnější strana zdi, povrch střechy apod.). V závislosti na klesající teplotě voda nejprve zamrzá v pórech s větším průměrem a s klesající teplotou postupně zamrzá v pórech, které mají průměr menší [1]. Keramický výrobek následně promrzá, přičemž hloubka promrznutí odvisí od záporné teploty a trvání působení daných podmínek. Agresivita zmrazovacích cyklů je také závislá



Obr. 1: Postup zamrzání vody v pórech v závislosti na jejich velikosti a venkovní teplotě [1].

na rychlosti střídání zmrazování a rozmrazování. Za určitých podmínek dochází k poškození výrobků působením mrazu. Destrukční proces keramického střepe lze rozdělit do tří fází. V první fázi dochází k zaplnění míst, ve kterých vznikly defekty, vodou. Ve druhé fázi vede přeměna vody na led za současného zvětšení objemu k porušení vazeb vnitřní struktury materiálu. V třetí fázi je tato destrukce již vizuálně zjistitelná a dochází k dalšímu prohlubování poškození [2].

Poškození mohou být různá. Od vlasových trhlinek, oprýskávání částí povrchu, lístkování až po větší lomy a případně i celkové poškození a rozpad keramického střepe. To, do jaké míry bude keramický střepe odolný proti působení mrazu, závisí na mnoha parametrech. Patří mezi ně složení směsi, velikost, tvar a distribuce pórů, teplota výpalu, nasákavost střepe a další.

Mrazuvzdornost je tedy jedním z hlavních faktorů ovlivňujících jakost výrobku a je i znakem jeho kvality. Proto je samozřejmě nutné, u výrobků, u kterých se předpokládá použití v prostředí, ve kterém budou vystaveny působení mrazu (v cihlářské výrobě u nás se jedná zejména o střešní krytinu), jejich odolnost zkoušet.

Metody zkoušení mrazuvzdornosti keramického střepe rozdělujeme na přímé a nepřímé. Přímé metody spočívají v umístění vzorků do speciálních zmrazovacích zařízení, kde jsou v cyklech namáhány působením mrazu a rozmrazovány. Konkrétní metodiku určují vždy příslušné normy. Nevýhodou těchto zkoušek je zejména časová náročnost. Metody nepřímé slouží pouze k pomocným účelům odhadování chování výrobků při působení mrazu. Tyto metody odhadují mrazuvzdornost na základě parametrů nasákavosti a pórovitosti. Hlavní výhoda těchto metod spočívá v rychlém provedení, není však zaručena přesnost výsledků a je možno vyvodit i chybné závěry. Tyto metody se proto používají pouze jako doplňkové.

Mrazuvzdorností jako takovou, zejména u střešních tašek, se proto zabývají cihláři již dlouhou dobu. Dlouho před zavedením automatických zkušebních mrazících zařízení se tato vlastnost zkoušela vystavováním zkušebních těles na mrazu ve venkovních prostorech, regulátorem intenzity a časových údobí zmrazování a rozmrazování byla v tomto případě samozřejmě příroda.

V současné době jsou ovšem kladeny na střešní tašky mnohem vyšší nároky, nežli tomu bylo dříve. Pro ilustraci: u obyčejné tažené tašky bobrovky bylo dle dnes již neplatné ČSN 72 2682 [3] z roku 1981 požadováno pouze 25 cyklů, nyní je již u obdobné střešní krytiny požadavek na výdrž minimálně 150 cyklů [4]. Nutno však zmínit, že metodika testování se samozřejmě oproti dřívější době změnila. Pro úplnost je vhodné dodat, že po dobu životnosti výrobků – 100 let – proběhne v našich klimatických podmínkách asi 750 cyklů [5].

Technologie výroby střešní tašky se neustále zdokonaluje, a když byly dle [6] experimentálně posuzovány a srovnávány dvě sady pálených střešních tašek – tažené bobrovky – z roku 1988 a 2003, byl prokázán výrazný posun v kvalitě.

2.1 Cíl práce

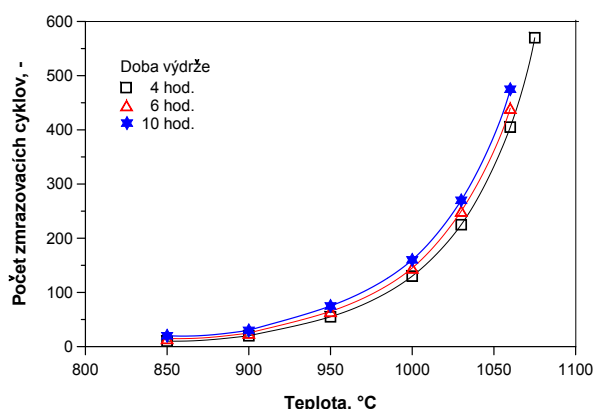
Diplomová práce v teoretické části nejprve shrnuje dosavadní poznatky v oblasti mrazuvzdornosti keramického střepe a dále je navrženo a experimentálně posouzeno několik možností, jak mrazuvzdornost zvýšit.

Praktická část diplomové práce je rozdělena na dvě hlavní větve: možnosti zvýšení mrazuvzdornosti úpravou technologie, ve které je experimentálně testován vliv vypalovací teploty a doby výdrže na mrazuvzdornosti keramického střepe u surovinových směsí, používaných pro výrobu střešní tašky v závodech TONDACH Šlapanice a Jirčany a zvýšení mrazuvzdornosti úpravou směsi, ve které byly navrženy a experimentálně ověřeny dvě modifikace surovinové směsi TONDACH Šlapanice – korekční surovinou GE jílem a zeolity.

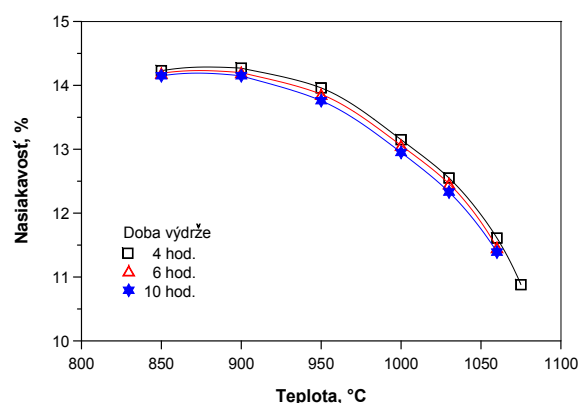
3 Teoretická část

3.1 Dosavadní poznatky v oblasti mrazuvzdornosti keramického střepe

Mrazuvzdornost keramického střepe lze ovlivnit mnoha faktory. Jedním z těchto základních je teplota výpalu výrobků. S rostoucí teplotou roste odolnost výrobků proti působení mrazu. Nevýhodou zvyšování teploty výpalu je ovšem výrazný růst nákladů. V [7] byly testovány vzorky, které byly vypáleny na různé teploty při jejich různých výdržích a poté podrobeny zmrazovacím cyklům (viz obr. 2 a obr. 3). S rostoucí teplotou výpalu se u sledovaných vzorků zvyšovala jejich odolnost proti působení mrazu. Z obr. 2 je však patrné, že zvyšování doby výdrže nemělo na mrazuvzdornost větší vliv a z ekonomického hlediska je tedy spíše nevýhodné a je vhodnější, chceme-li dosáhnout maximální mrazuvzdornosti, raději zvýšit teplotu výpalu a použít kratší dobu výdrže [7].

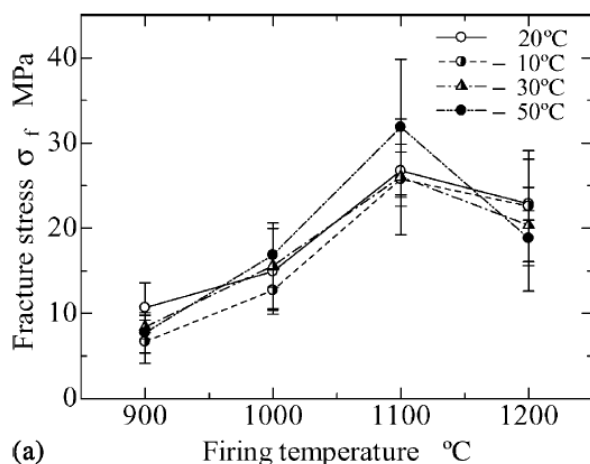


Obr. 2: Vliv teploty výpalu a doby výdrže na mrazuvzdornost keramického střepe [7].

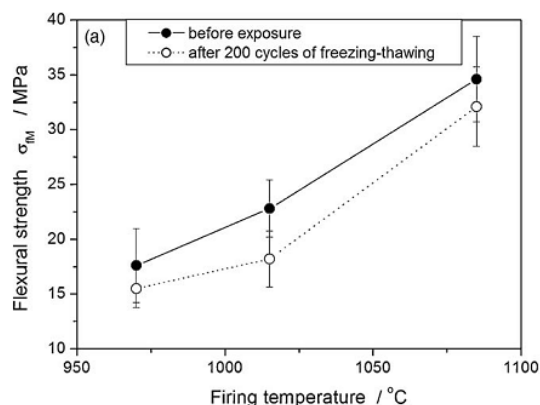


Obr. 3: Vliv teploty výpalu a doby výdrže na nasákavost varem [7].

S rostoucí teplotou výpalu také klesá nasákavost keramického střepe a roste jeho pevnost v tahu za ohybu [8] (viz obr. 4 a 5). S rostoucí teplotou výpalu většinou klesá i nasákavost, která je nepřímým ukazatelem mrazuvzdornosti. Čím méně je vzorek nasákový, tím větší má předpoklad k vyšší mrazuvzdornosti. Neplatí to však obecně a i více nasákový vzorek může být mrazuvzdorný [7].

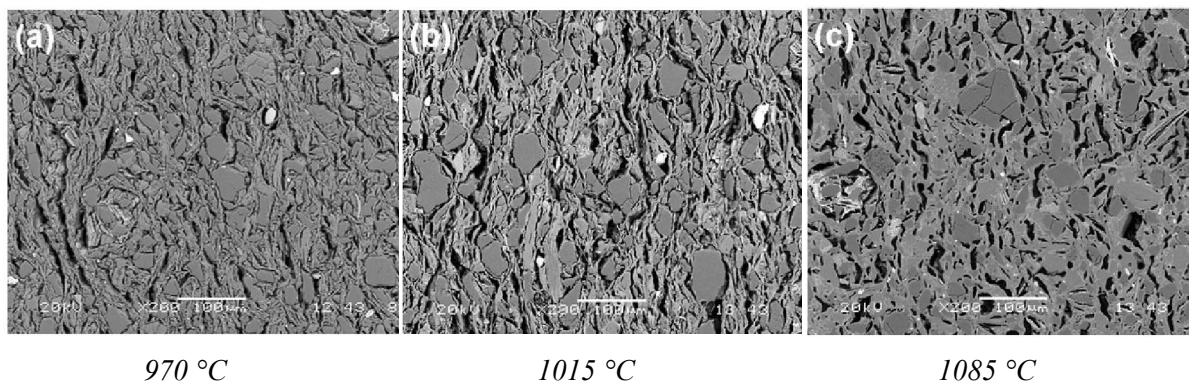


Obr. 4: Vliv teploty výpalu na pevnosti v tahu za ohybu keramického střepu stanovené na vzorcích po ukončení zmrazovacích cyklů probíhajících při různých teplotách [8].



Obr. 5: Vliv vypalovací teploty na pevnosti v tahu za ohybu před a po zmrazovacích cyklech [8].

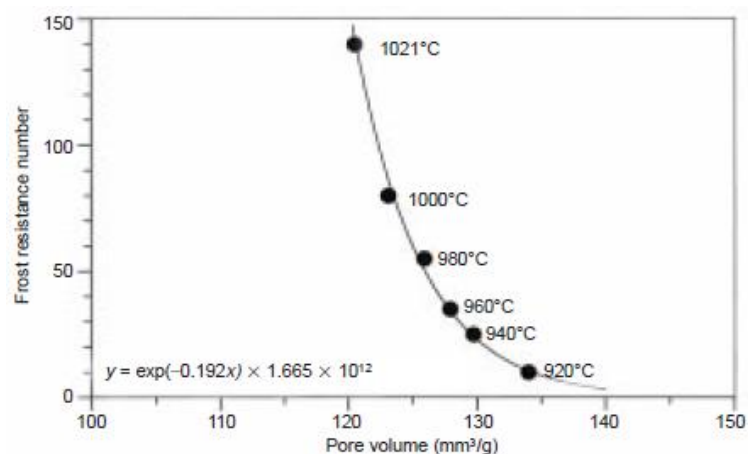
Během výpalu dochází vlivem slinování ke zpevnění střepu a vytvoření nové mikrostruktury, což má za následek získání požadovaných fyzikálních a mechanických vlastností. Výše maximální teploty výpalu tento proces slinování samozřejmě ovlivňuje, jak je patrné z obrázku č. 6.



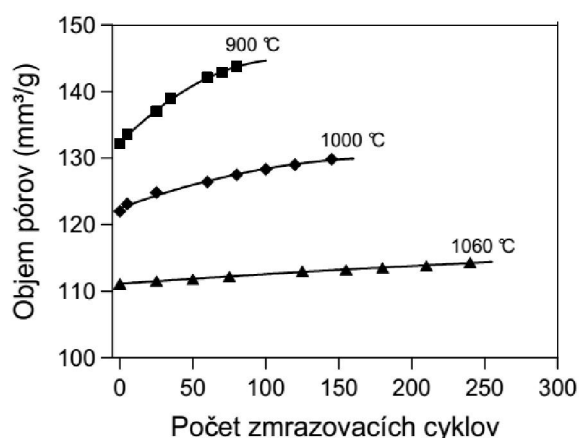
Obr. 6: Obrázky z rastrovacího elektronového mikroskopu leštěných řezů střešních tašek vypálených na různé teploty [9].

Důležité je také věnovat pozornost objemu pórů a mediánu poloměru pórů a to nejen ve vztahu k vypalovací teplotě, ale i změnám, které nastávají v keramickém střepu během působení zmrazovacích cyklů. S rostoucí teplotou výpalu klesá objem pórů a medián poloměru pórů se naopak zvyšuje [10], [11]. V průběhu opakovaného zmrazování vzorků probíhá změna pórového systému. Objem malých pórů se postupně zmenšuje a objem velkých pórů naopak roste, což má za následek, že dochází k postupnému růstu mediánu

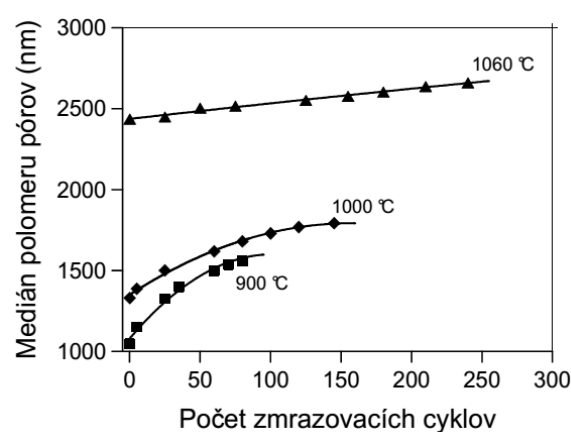
poloměru pórů, dá se tedy říct, že cihlářský stěp „*má snahu přizpůsobit svoji pórovou strukturu tak, aby co nejlépe odolával působení zmrazovacích cyklů*“ [11]. Jestliže chceme dosáhnout vyšší mrazuvzdornosti keramického stěpu, je potřeba výrazně snížit objem pórů a naopak zvýšit medián poloměru pórů [11] (viz obr 7 až 9).



Obr. 7: Závislost mrazuvzdornosti keramického stěpu na objemu pórů [mm³/g] [10].

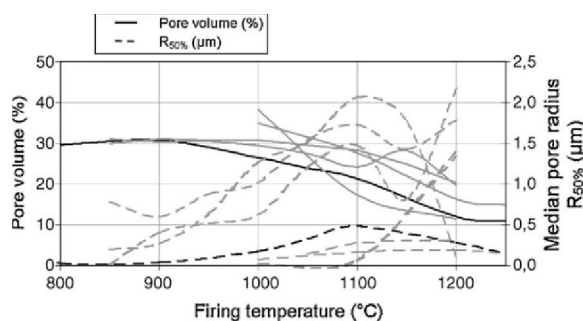


Obr. 8: Závislost objemu pórů na počtu zmrazovacích cyklů a teplotě výpalu [11].

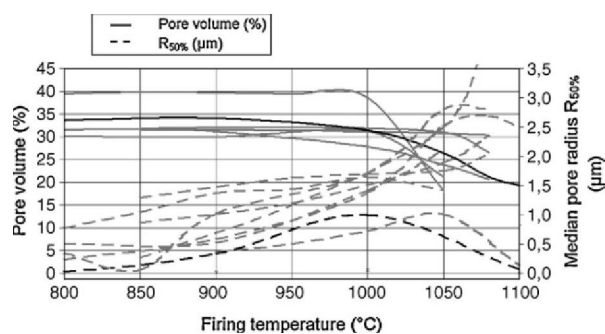


Obr. 9: Závislost mediánu poloměru pórů na počtu zmrazovacích cyklů a teplotě výpalu [11].

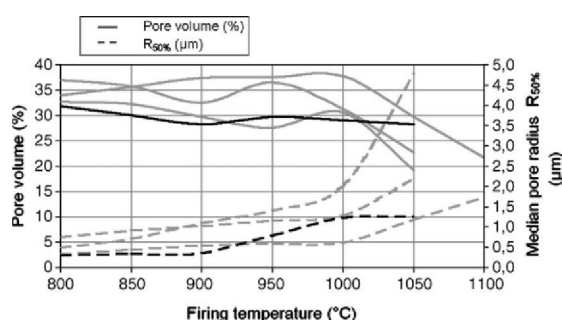
Vztahem teploty výpalu k mediánu poloměru pórů a objemu pórů se obsáhle zabývala práce [12], která zkoumala vliv druhu jílu na pórovou strukturu keramického stěpu. Na obrázcích 10 až 13 je vidět, že maximálního mediánu poloměru pórů (a tedy potenciálně větší mrazuvzdornosti) dosahují různé typy jílu při různých teplotách, a nejvyšší teplota výpalu vždy neznamena maximální medián poloměru pórů.



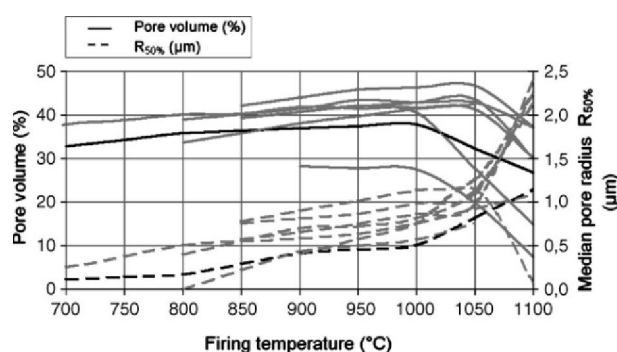
Obr. 10: Závislost objemu pórů a mediánu poloměru póru na vypalovací teplotě u kaolinitických jíílů [12].



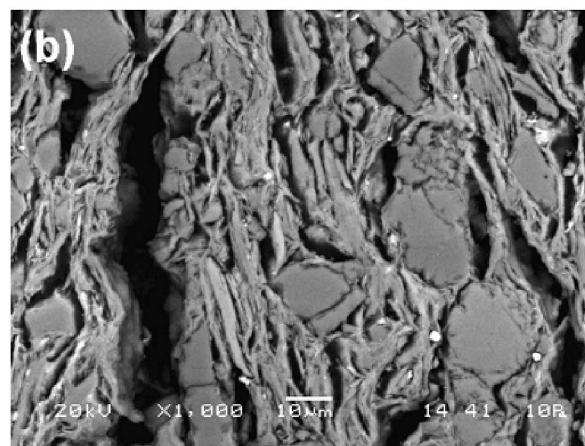
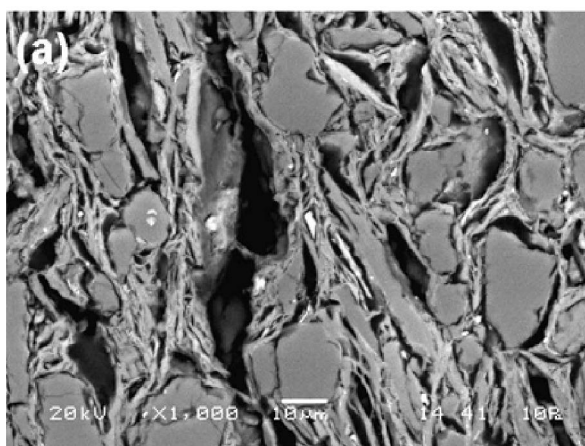
Obr. 11: Závislost objemu pórů a mediánu poloměru póru na vypalovací teplotě u illito-kaolinitických jíílů [12].



Obr. 12: Závislost objemu pórů a mediánu poloměru póru na vypalovací teplotě u smíšených jíílů, obsahujících bobtnavé jíílové minerály [12].



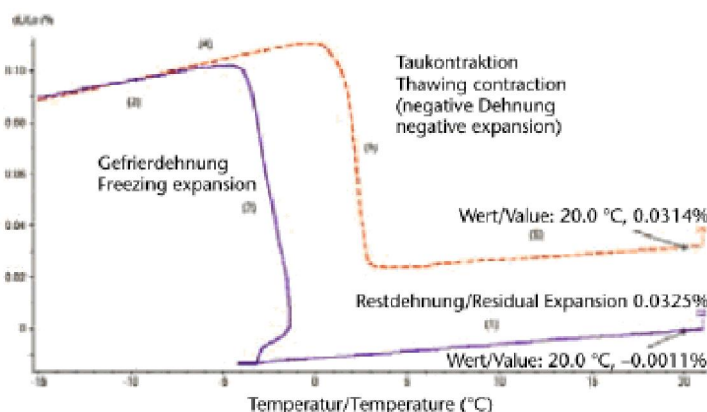
Obr. 13: Závislost objemu pórů a mediánu poloměru póru na vypalovací teplotě u jíílů, obsahujících karbonáty (kalcit a dolomit) [12].



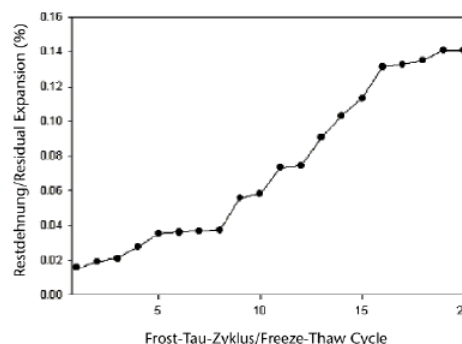
Obr. 14: Obrázky z rastrovacího elektronového mikroskopu leštěných řezů střešních tašek, vypálených na 970 °C (a) před započatím zmrazování, (b) po 200 zmrazovacích cyklech [9].

Práce [13] se zabývala nevratnou expanzí keramického střepe, který byl namáhán zmrazovacími cykly. Keramický střepe při zmrazování a rozmrazování vykazuje délkové

změny a vlivem měnící se teploty se smršťuje a roztahuje. Průběh délkových změn vzorku vlivem měnící se teploty znázorňuje obr. 15. K těmto délkovým změnám, které jsou vratné, se přidává i zbytková nevratná expanze. Bylo testováno, zda by tato nevratná expanze, která se pohybuje od 0,01 % do 0,08 % (v prvních 5 cyklech), mohla vypovídat o mrazuvzdornosti keramického střepe. Průběh narůstající nevratné expanze ukazuje obr. č. 16.



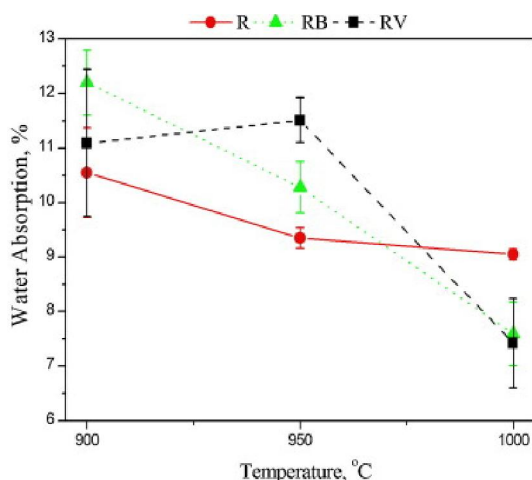
Obr. 15: Typický průběh délkových změn vodou nasycených vzorků při zmrazování a rozmrazování.



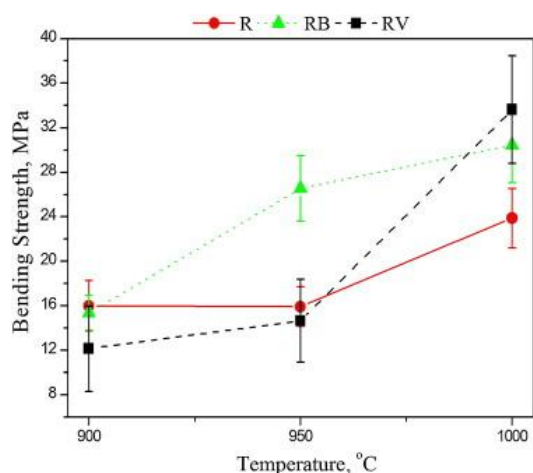
Obr. 16: Nárůst nevratné expanze keramického střepe vlivem narůstajících zmrazovacích cyklů.

Zbytková expanze se přisuzuje efektu přerušování vazeb v mikrostruktuře keramického střepe vlivem zmrazování, je měřítkem množství poškození keramického střepe vlivem zmrazování a má tendenci se zvyšovat s rostoucím počtem cyklů. Statistická analýza ukázala, že však neexistuje prokazatelná spojitost mezi zbytkovou expanzí a fyzikálními vlastnostmi zkoušených vzorků [13].

Možný potenciál ve zlepšení mrazuvzdornosti keramického střepe představuje použití boritanů. V práci [14] byl testován přídavek odpadu na bázi boru (SBW), který pochází ze zpracování rudy, a boritan obsahující Evansit®, což je komerčně dostupná mikrokrytalická suspence, která obsahuje sodík, pentaborát a borax. Odpadní bor i Evansit® byly přidány v množství, které odpovídá 0,6 % hm. B_2O_3 v suché směsi. Bylo zjištěno, že přídavek těchto látek při vyšších teplotách výpalu (1000 °C), mimo jiné, snižuje nasákavost (až o 18 %) a zvyšuje pevnosti v tahu za ohybu (až o 40,8 %). Vypálené vzorky s přídavkem boritanů vykazovaly menší pórovitost, s větším počtem uzavřených pórů, nežli vzorky referenční [14] viz obr. 17 až 19.

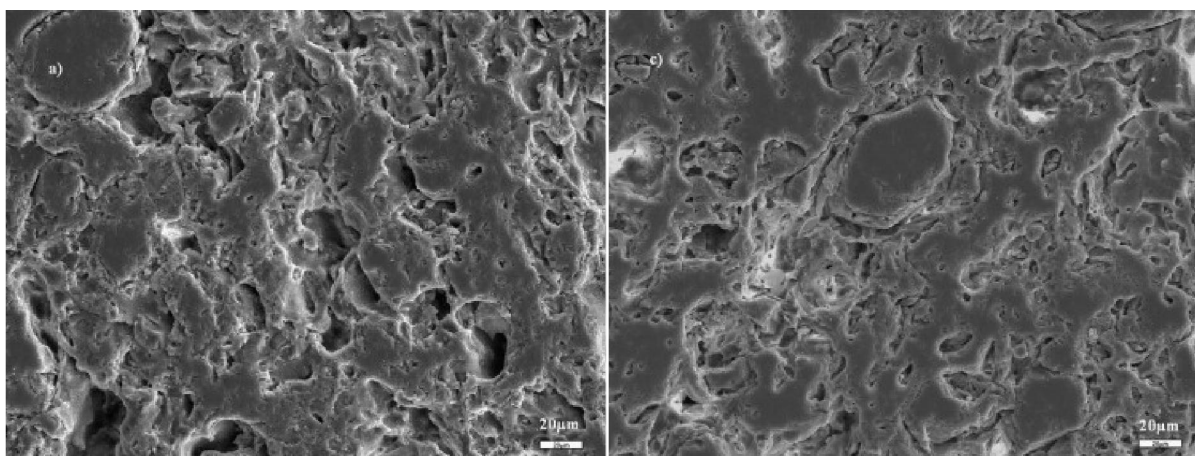


Obr. 17: Závislost nasákavosti na teplotě výpalu referenčních vzorků (R) a vzorků s přidavkem boritanů (RB, RV) [14].



Obr. 18: Závislost pevnosti v tahu za ohybu na teplotě výpalu referenčních vzorků (R) a vzorků s přidavkem boritanů (RB, RV) [14].

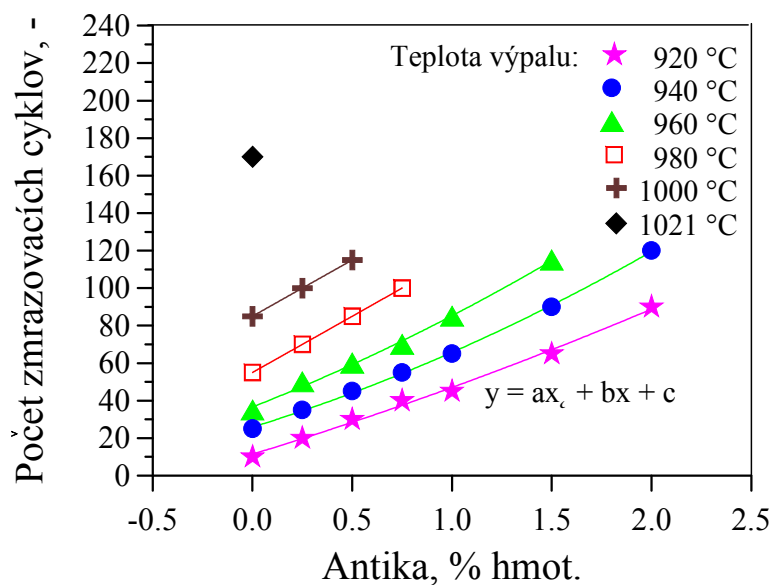
Jako možné tavivo byl přidavek boraxu testován i v bakalářské práci [15]. Střep s přidavkem boraxu vykazoval lepší vlastnosti nežli střep referenční, zejména u vzorků, které byly vypáleny na vyšší teploty výpalu (1050 °C). Tyto vzorky měly kompaktnější slinutí střepu, nižší nasákavost a vzlínavost.



Obr. 19: Obrázky z elektronového mikroskopu, změna struktury vzorku bez přidání boritanů (vlevo) a s přidáním boritanů (vpravo), vypálených na 1000 °C [14].

V cihlářském průmyslu jsou běžně používána taviva za účelem snížení teploty výpalu. Použití taviv také může mít pozitivní vliv na zvýšení mrazuvzdornost keramického střepu. Jako účinné nízkotavitelné tavivo, které má vliv na zvýšení mrazuvzdornosti střepu, lze použít přísadu Antika [16]. Antika je uměle vyrobené tavivo na bázi solí alkalických kovů. Použití tohoto taviva výrazně ovlivňuje pórovou strukturu cihlářského střepu již od nízkých dávek (0,25 %). Zvyšování dávky má za následek pokles objemu pórů

a naopak zvýšení mediánu poloměru pórů, což umožňuje při konstantní vypalovací teplotě zvýšit mrazuvzdornost výrobku [16], [17] viz obr. 20.



Obr. 20: Vliv dávky přísady Antika na mrazuvzdornost keramického střepe při různých vypalovacích teplotách [16].

4 Praktická část

4.1 Navržené prostředky pro zvýšení mrazuvzdornosti keramického střepe

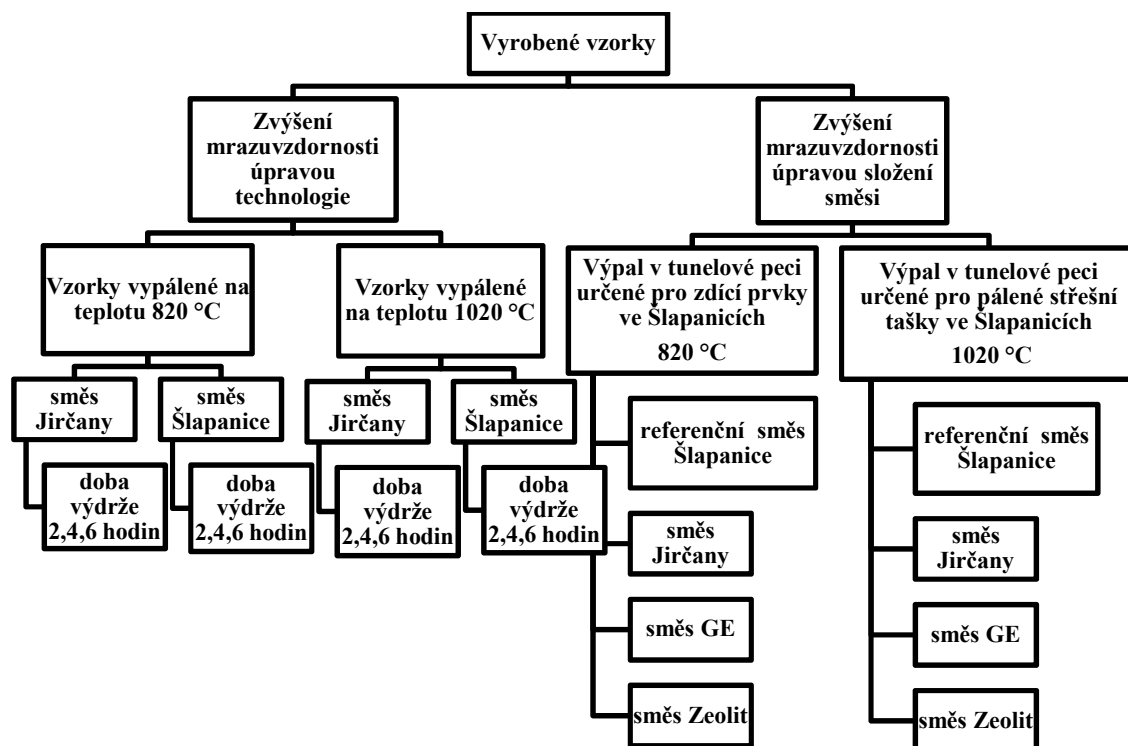
4.1.1 Cíl praktické části

Praktická část diplomové práce se dělí na dvě hlavní oblasti (detailně viz schéma obr. 21):

- zvýšení mrazuvzdornosti úpravou technologie,
- zvýšení mrazuvzdornosti úpravou složení směsi.

V oblasti zvýšení mrazuvzdornosti úpravou technologie je experimentálně zkoušen vliv délky výdrže a maximální teploty výpalu na vzorky vyrobené ze dvou směsí podle receptury používaných v závodu TONDACH Šlapanice a TONDACH Dolní Jirčany.

V druhé oblasti – zvýšení mrazuvzdornosti úpravou složení směsi – byla s ohledem na možnost zvýšení mrazuvzdornosti modifikována směs, která se používá ve výrobním závodě TONDACH Šlapanice, zeolity a jílem GE, přičemž vzorky byly vypáleny ve dvou různých pecích: v peci určené pro výpal zděicích prvků TONDACH Šlapanice a v peci určené pro výpal střešních tašek TONDACH Šlapanice.



Obr. 21: Schéma praktické části diplomové práce.

4.1.2 Zvýšení mrazuvzdornosti úpravou technologie

Jak již bylo uvedeno v předchozí kapitole, vypalovací teplota má zásadní vliv na mrazuvzdornost keramického střeptu. Vypálením téže suroviny na různé vypalovací teploty dostaneme výrobky s odlišnými vlastnostmi. Výpal je zároveň ekonomicky velmi nákladný a vyšší vypalovací teplota se promítne ve výsledné ceně produktu.

Prof. Matějka v roce 1930 prováděl experiment [18], při kterém zkoušel tehdejší střešní tašky vypalovat na teploty v rozmezí 750–1100 °C u deseti různých, u nás tehdy používaných, směsí. Dle jeho pozorování bylo zjištěno, že vzorky vypáleny na teploty 800–850 °C vykazovaly větší nepropustnost střeptů vůči vodě nežli vzorky, které byly vypáleny v teplotách, které jsou pro pálení cihlářských výrobků obvyklé. Matějka dále uvádí, že snížením vypalovací teploty nedošlo ani k podstatnému snížení pevnosti testovaných vzorků, naopak říká, že výpalem na nižší teploty se omezí vznik vnitřních napětí, které střepty vypáleny na teploty vyšší dělá křehčími. Zkoušky mrazuvzdornosti prokázaly, že vzorky, které byly vypáleny na nižší vypalovací teploty, nevykazovaly podstatné snížení odolnosti vůči mrazu, dokonce „v několika případech bylo shledáno, že krytiny v nižších žárech vypálené, byly vůči mrazu odolnější a že zejména tam, kde se jevil u krytin sklon k tvoření miskovitých odprýsklin kol větších zrněk ve střeptu obsažených, byly výsledky s krytinami níže pálenými příznivější“ [18].

Matějka dále poznamenává, že snížení vypalovací teploty – asi na 850 °C – lze doporučit závodům, které získávají po vypálení v žárech 900 až 1050 °C krytiny velmi propustné, které se musí uměle impregnovat.

V první oblasti praktické části diplomové práce byly tyto závěry otestovány pro současné surovinové směsi, které používá jediný výrobce pálených střešních tašek u nás, společnost TONDACH.

Vzorky připravené ze surovinové směsi TONDACH Šlapanice a ze surovinové směsi, která byla navržena dle složení používaného v závodu TONDACH v Dolních Jirčanech (podrobněji o těchto směsích je pojednáno v kapitole 4.3), byly vypáleny na teploty 820 a 1020 °C, s různými výdržemi: 2, 4 a 6 hodin. Tyto vzorky byly dále podrobeny zkouškám uvedeným v kapitole 4.2.

4.1.3 Zvýšení mrazuvzdornosti úpravou složení směsi

V praktické části byly dále zvoleny dvě různé příměsi, kterými byly modifikovány původní surovinové směsi, používané v závodě TONDACH Šlapanice (procentuální zastoupení vstupních surovin směsi je uvedeno v kapitole 4.3). Jako potenciálně zlepšující mrazuvzdornost byly navrženy zeolity a jíl GE.

4.1.3.1 Použití zeolitů z hlediska zlepšení mrazuvzdornosti střepu

V práci [19] byly připraveny vzorky z jílu používaného v cihelně Nitrianské Pravno s přídavkem 10 % zeolitu a byl proveden výpal na teplotu 1060 °C. Přidání zeolitu mělo za výsledek zvýšení objemové hmotnosti po výpalu a také zvýšení mediánu poloměru póru (obr. 22), které, jak Šveda uvádí [10], [11] (viz kapitola 3.1), zvyšuje předpoklad mrazuvzdornosti vzorků.

Ingredient	Bulk density mm ³ /g	Median pore radius nm
without ingredients	97,3 (100,0 %)	2026 (100,0 %)
Z 10 %	100,3 (103,1%)	2056 (101,5 %)
ZNF 10 %	110,0 (113,1 %)	2466 (121,7 %)
ZPF 10 %	120,9 (124,3 %)	1806 (89,1 %)

Obr. 22: Objemová hmotnost a medián poloměru pórů vzorků bez použití zeolitů (without ingredients) a s použitím 10 % zeolitů (Z 10 %) od firmy ZEOCEM Bystré [19].

V diplomové práci byla tedy jedna sada vzorků vyrobena s přídavkem zeolitu a následně byly experimentálně zkoušeny vlastnosti uvedené v kapitole 4.2.

4.1.3.2 Jíl GE

Druhou surovinou, kterou byly modifikovány vzorky z cihelny TONDACH Šlapanice, byl jíl GE.

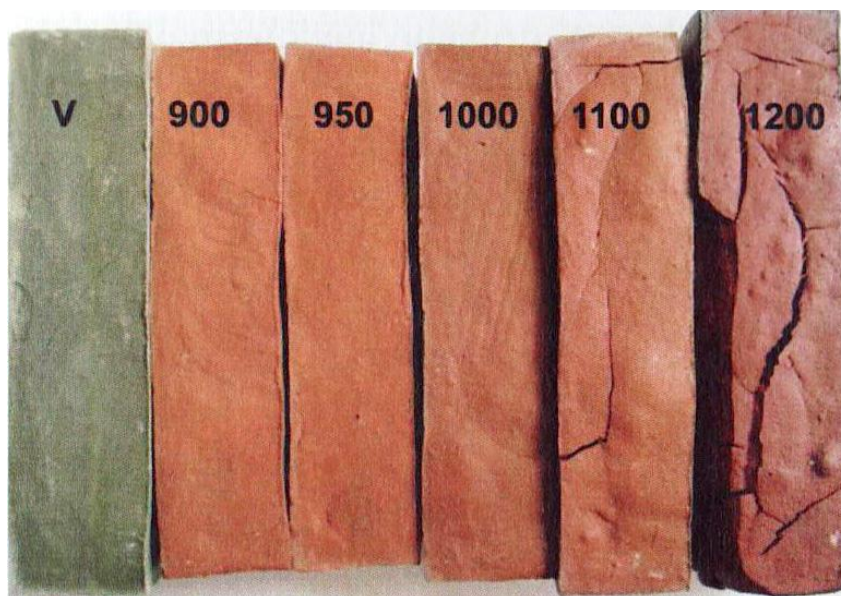
Jíl GE patří mezi slévárenské jíly. Jedná se o vazný jíl s velmi nízkou teplotou slinutí – 950 °C. Při této teplotě střep nabývá maximální objemové hmotnosti (je nejhutnější). Právě nízká teplota slinutí by mohla napomáhat vyšší mrazuvzdornosti cihlářského střepu.

V diplomové práci byly vlastnosti vzorků s příměsí jílu GE experimentálně ověřeny. Podrobněji jsou vlastnosti jílu GE a složení směsi uvedeny v kapitole 4.3.

Jak je dále uvedeno v kapitole 4.3, v surovinové směsi používané v cihelně TONDACH Šlapanice se pracuje s 11% zeminy, která se používá jako surovina korekční za účelem snížení výkvětovitosti, nasákavosti a barevné úpravy střešních tašek. Vzhledem k tomu,

že se tato zemina musí dovážet z Dolních Jirčan u Prahy, bylo by ekonomicky zajímavé najít její substituci.

Jíl GE vyhovuje i po stránce barevné, má vysokou barvicí schopnost, po výpalu barví střep do tónů červené až hnědé barvy. Barvu jílu v závislosti na teplotě výpalu ukazuje obrázek č. 23.



Obr. 23: Barva samotného jílu GE po výpalu na různé teploty [20].

4.2 Metodika zkoušek

4.2.1 Zkoušky na plastickém těstě

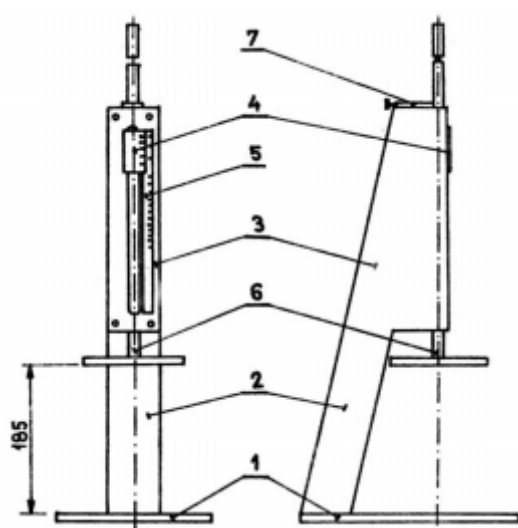
4.2.1.1 Stanovení optimální vlhkosti keramických těst Pfefferkornovým přístrojem (ČSN 72 1074)

Z plastického těsta se pomocí normové formy zhotoví zkušební válečky o výšce $h_0=40$ mm a průměru 33 mm. Výška se měří s přesností na 0,01 mm. Samotné měření plastičnosti se provádí na Pfefferkornově přístroji. Měření je založeno na deformaci těchto zkušebních válečků, která nastává dopadem desky o hmotnosti 1192 g z výšky 185 mm zkušebního přístroje. Poměr výšky válečku před deformací (h_0) a po ní (h_i) se označuje jako tzv. deformační poměr.

$$d = \frac{h_i}{h_0}$$

d	deformační poměr	[-]
h_0	výška válečku před deformací	[mm]
h_i	výška válečku po deformaci	[mm]

Všechny zkušební vzorky v diplomové práci byly vytvořeny o deformačním poměru $d=0,8$.



Legenda

- 1 podložka
- 2 nosný rám
- 3 uložení vodící tyče
- 4 nonius
- 5 milimetrová stupnice
- 6 vodící tyč s padací deskou
- 7 spoušť

Obr. 24: Schéma Pfefferkornova deformačního přístroje.

4.2.1.2 Citlivost k sušení

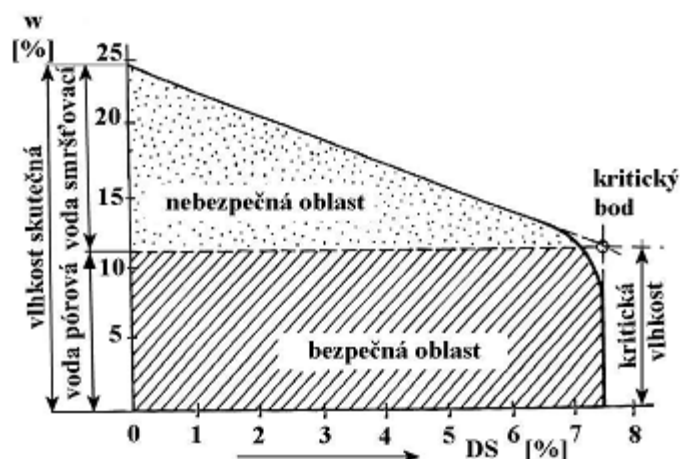
Z plastického těsta se vytvoří zkušební vzorky, které se zváží s přesností na 0,01 g. Poté se tyto vzorky postaví svojí druhou největší plochou na váhu a nechají se volně sušit v laboratorních podmínkách. Speciální laserový přístroj snímá v pravidelných intervalech postupné délkové změny, které při sušení vznikají. Současně se také zaznamenávají změny hmotnosti. Jestliže se již délka přestane měnit, dosuší se vzorky v sušárně na teplotu 110 °C.

Dle hodnot zjištěných měření se nejprve spočítá vlhkost vzorku w_i a smrštění sušením DS_i při každém jednotlivém měření. Tyto získané hodnoty se vynesou do grafu a získá se tzv. *kritická vlhkost* směsi w_k a následně se výpočtem stanoví citlivost směsi k sušení CSB.

$$w_i = \frac{(m_w - m_s)}{m_s} \cdot 100 [\%]$$

$$CSB = \frac{(w_r - w_k)}{w_k} [-]$$

w_i	vlhkost vzorku při daném měření	[%]
CSB	citlivost k sušení podle Bigota	[-]
m_w	hmotnost vlhkého vzorku při daném měření	[g]
m_s	hmotnost vysušeného vzorku	[g]
w_r	skutečná vlhkost těsta	[%]
w_k	kritická vlhkost	[%]



Obr. 25: Bigotova křivka.

CSB suroviny je poté vyhodnoceno dle následující tabulky:

Tab. 1: Vyhodnocení citlivosti k sušení.

CSB < 1	surovina je málo citlivá k sušení
CSB ∈ (1;1,5)	surovina je středně citlivá k sušení
CSB ∈ (1,5;2)	surovina je citlivá k sušení
CSB > 2	surovina je velmi citlivá k sušení

4.2.1.3 Délková změna sušením

Délka vzorků se změří před sušením a po vysušení posuvným měřidlem s přesností na 0,01 mm. Výsledky se vyhodnotí dle vzorce:

$$DS = \frac{l_s - l_z}{l_z} \cdot 100 [\%]$$

l_z délka vzorku po vylisování [mm]

l_s délka vzorku po vysušení [mm]

4.2.2 Zkoušky na vypáleném střepu

4.2.2.1 Délková změna výpalem

Vzorky jsou změřeny posuvným měřidlem s přesností na 0,01 mm po vysušení a měření se opakuje po výpalu. Výsledky se vyhodnotí dle vzorce:

$$DP = \frac{l_p - l_s}{l_s} \cdot 100 [\%]$$

l_p délka vzorku po výpalu [mm]

l_s délka vzorku po vysušení [mm]

4.2.2.2 Ztráta hmotnosti pálením

Zkušební vzorky jsou zváženy před výpalem a po jejich vypálení. Výsledky se vyhodnotí dle vzorce:

$$ZP = \frac{m_s - m_p}{m_s} \cdot 100 [\%]$$

m_s hmotnost vzorku po vysušení [g]

m_p hmotnost vzorku po výpalu [g]

4.2.2.3 Objemová hmotnost

Objemová hmotnost udává hmotnost vysušeného střepu na jednotku objemu. Nasáknutý vzorek je zvážen nejprve hydrostaticky a poté běžným laboratorním způsobem na vzduchu. Objemová hmotnost se vypočte dle vzorce:

$$OH = \frac{m_s}{m_n - m_{nv}} \cdot 1000 [kg/m^3]$$

m_s hmotnost vysušeného vzorku [g]

m_n hmotnost nasáklého vzorku [g]

m_{nv} hmotnost vzorku nasáklého a zváženého hydrostaticky [g]

4.2.2.4 Zdánlivá pórovitost

Hodnota zdánlivé pórovitosti udává poměr objemu otevřených a uzavřených pórů vzorku k jeho celkovému objemu včetně pórů. Vzorky se zváží hydrostaticky a klasickým způsobem na vzduchu a poté se vypočte zdánlivá pórovitost dle vzorce:

$$PZ = \frac{(m_n - m_s)}{(m_n - m_{nv})} \cdot 100 [\%]$$

m_s hmotnost vysušeného vzorku [g]

m_n hmotnost nasáklého vzorku [g]

m_{nv} hmotnost vzorku nasáklého a zváženého hydrostaticky [g]

4.2.2.5 Zdánlivá hustota

Zdánlivá hustota udává hmotnost vysušeného vzorku na jednotku objemu včetně uzavřených pórů. Vzorky jsou zváženy hydrostaticky a klasickým způsobem na vzduchu a zdánlivá hustota se vypočte dle vzorce:

$$ZH = \frac{m_s}{m_s - m_{nv}} \cdot 1000 [kg/m^3]$$

m_s hmotnost vzorku po vysušení [g]

m_{nv} hmotnost vzorku nasáklého a zvážení hydrostaticky [g]

4.2.2.6 Nasákavost za studena

Předem zvážené vysušené zkušební vzorky se uloží do nádoby s vodou s podmínkou vyloučení vzájemného dotýkání a nutností zůstat celým svým objemem pod hladinou. Ve vodě se nechají uloženy 24 hodin. Poté se vzorky vyjmou z vody, povrch se jemně otře hadříkem a vzorky se zváží.

Vyhodnocení pobíhá dle vzorce:

$$NS = \frac{m_n - m_s}{m_s} \cdot 100 [\%]$$

m_n hmotnost nasáklého vzorku [g]

m_s hmotnost vysušeného vzorku [g]

4.2.2.7 Prosákavost

4.2.2.7.1 Možnosti zkoušení

Prosákavost patří mezi jedno z nejdůležitějších hledisek, podle kterého hodnotíme kvalitu pálených střešních tašek.

Dle EN 539-1 lze prosákavost zkoušet dvěma metodami.

Zkušební metoda č. 1 spočívá v určení množství vody, která proteče za 48 hodin přes 1 cm^2 povrchu střešní pálené tašky nebo tvarovky pod tlakem vodního sloupce o výšce 10 cm, který je v průběhu zkoušky konstantní.

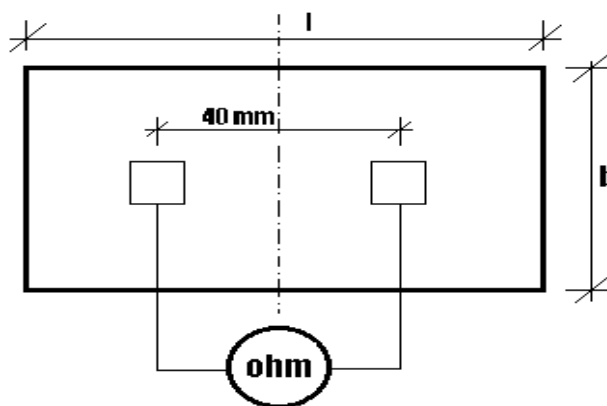
Dle zkušební metody č. 2 se prosákavost střešních tašek a tvarovek stanoví jako doba, za kterou začnou odpadávat kapky při působení vody na povrchu tašky, který je obvykle vystaven povětrnosti.

Pálené tašky a tvarovky se zařadí do jedné ze dvou kategorií prosákavosti, které jsou uvedeny v sestupném pořadí. Tašky a tvarovky pro střechy, které jsou zařazené do kategorie 2, se musí používat pouze s pojistnou hydroizolací.

4.2.2.7.2 Přímá zkouška prosákavosti

Tato metoda je založena na měření změny elektrického odporu při zatížení zkušební vzorku sloupcem vody. Na lící stranu se provede přilepení nádoby beze dna a tuto nádobku naplníme vodou do výšky 85 mm. Na spodní stranu zkušební vzorku se umístí dvě měděné elektrody, pomocí kterých měříme v pravidelném intervalu změny elektrického odporu ve vzorku (viz obr. 26). Za prosáknutý vzorek se považuje ten, u kterého se změní hodnota měřeného elektrického odporu z nekonečna na měřitelnou hodnotu (cca $100\text{ m}\Omega$).

Vzorek, který neprosákne do 2 hodin, vyhovuje zkoušce prosákavosti.



Obr. 26: Schéma pro měření odporu rubu střepu při zkoušce prosákavosti (l , b jsou rozměry vzorku).

4.2.2.8 Barva střepu

Barva střepu je hodnocena vizuálně, na denním světle.

4.2.2.9 Stanovení náchylnosti keramického střepu ke tvorbě výkvětů (ČSN 72 1565-13)

Principem zkoušky je rozpuštění solí, které jsou obsaženy ve vypáleném zkušebním vzorku, v destilované vodě a transport vzniklých roztoků na jeho povrch. Tímto způsobem se nahromadí výkvěty na povrchu keramického střepu a je možné popsat jejich intenzitu, polohu a zbarvení.

Postup zkoušky: Zkušební vzorek se umístí do misek, ve kterých je nalita destilovaná voda, která dosahuje do výše 10 mm od spodního okraje vzorku. Takto se vzorek nechá v misce po dobu 7 dní, přičemž je potřeba průběžně dolévat odpařenou vodu. Po 7 dnech se provede vyhodnocení.

4.2.2.10 Vzlinavost

Vzlinavost je fyzikální jev, kdy je výchozí látka schopna vést kapalinu vzhůru (proti směru gravitačních sil) působením sil kapilárních. Rychlost vzlinavosti keramických výrobků závisí zejména na průměru kapilár a vlastnostech kapaliny. Ze vzlinavosti lze usuzovat i na prosákavost keramického střepu.

Samotná vzlinavost se určuje tak, že se vzorek postaví na výšku do misky s plochým dnem, kam se nalije 10 mm destilované vody. Poté následuje měření výšky vzlinutí v určitých časových intervalech (v této diplomové práci se jednalo o 5ti minutové intervaly) po dobu 90 minut a hodnoty se vynesou do grafu.

Podle Matějky činí mezní hodnota vzlinutí 50 mm za 90 minut.

4.2.2.11 Pevnost v tahu za ohybu

Princip zkoušky spočívá ve vystavování zkušebních těles ohybovému momentu od zatížení, přenášeného prostřednictvím horního zatěžovacího a spodních podpěrných válečků. Jedná se o maximální zatížení, při kterém dojde k lomu.

Zkušební vzorky se vysuší do ustálené hmotnosti, změří se a poté se položí na podpěrné válečky tak, aby oba okraje vzorku rovnoměrně válečky přesahovaly. Zatěžovací síla působí kolmo na zkušební vzorek uprostřed rozpětí podpěrných válečků až do porušení vzorku.

Pevnost v tahu za ohybu se vypočítá dle následujícího vztahu:

$$\sigma = \frac{3 \cdot F \cdot l}{2 \cdot b \cdot h^2} \text{ [MPa]}$$

F	síla v okamžiku porušení vzorku	[N]
l	vzdálenost podpěrných válečků	[mm]
b	šířka zkušební vzorku	[mm]
h	výška (tloušťka) zkušební vzorku	[mm]

4.2.2.12 Metoda vysokotlaké rtuťové porozimetrie

4.2.2.12.1 Princip rtuťové porozimetrie

Metoda rtuťové porozimetrie je založena na jevu kapilární deprese. Při ponoření pórovitého materiálu do kapaliny, která jej nesmáčí (úhel smáčení má větší než 90°) – rtuti, může tato kapalina vniknout do pórů pouze působením vnějšího tlaku.

Při postupném zvyšování tlaku vniká rtuť do pórů o stále menším poloměru. Jestliže při současném zvyšování tlaku měříme objem úbytku rtuti (která je tlačena do pórů), můžeme zjistit rozdělení objemu pórů podle velikosti.

4.2.2.13 Mrazuvzdornost

Postup zkoušení mrazuvzdornosti cihlářských zemin je uveden v ČSN 72 1565-14: *Zkoušení cihlářských zemin. Stanovení mrazuvzdornosti*.

Vytvořené vzorky jsou nasáknuty varem (minimálně 2 hodiny) a umístěny do plátěných sáčků. Takto zabalené trámečky jsou poté vloženy do zmrazovacího zařízení předem ochlazeného na teplotu $-20\text{ }^\circ\text{C} \pm 3\text{ }^\circ\text{C}$, kde jsou ponechány po dobu 6 hodin. Po 6 hodinách se trámečky vyjmou a rozmrazí se vodou o teplotě $+15\text{ }^\circ\text{C}$ až $30\text{ }^\circ\text{C}$, přičemž se rozmrazují minimálně 2 hodiny (pro rozmrazování se trámečky ze sáčku nevyjímají).

Zmrazování je ukončeno po 15, 20, 25 cyklech (dle určení) nebo při prvním porušení vzorku. Po ukončení zmrazování se popíše vzhled trámeček a provede se vysušení při teplotě $110\text{ }^\circ\text{C}$ a následné vychladnutí v exsikátoru.

Změny vzhledu trámeček se hodnotí následující stupnicí:

Tab. 2: *Vyhodnocení změn vzhledu zkušebních trámeček.*

0	beze změn
1	trhlíny způsobující pouze povrchové porušení, neprostupují celou tloušťkou střepu
2	odštěpování hlubší než 2 mm
3	povrchové odlupování
4	lístkování (odlupování vrstev v plochách) nebo praskliny v celé tloušťce střepu

Každý trámeček se vyhodnotí číslem ze stupnice a provede se vyhodnocení daného zmrazovacího cyklu (v normě je uvedeno 5 trámeček v sáčku) aritmetickým průměrem.

Jestliže nedošlo při rozmrazování k rozpadu trámečků, stanoví se na nich pevnost v ohybu dle ČSN 72 1656-7. Následuje výpočet poklesu pevnosti v ohybu po zkoušce mrazuvzdornosti.

Vzorek má předpoklad pro mrazuvzdornost, jestliže pevnost v ohybu neklesla o více než 20% a popis vzhledu je ohodnocen číslem 0 až 1,9.

ČSN 72 1564 doporučuje třídu mrazuvzdornosti M25 pro všechny třídy cihlářských zemin.

4.3 Použité suroviny a jejich vlastnosti

4.3.1 Referenční směs TONDACH Šlapanice

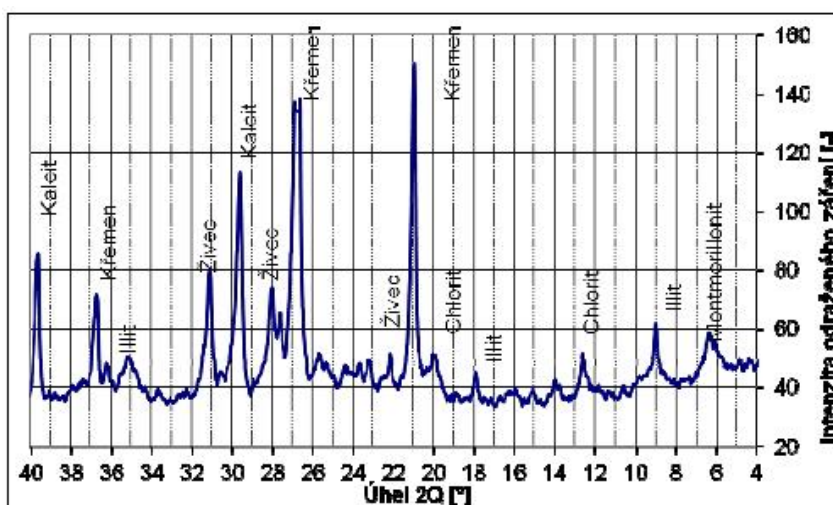
Pro sadu referenčních vzorků, na kterých byla testována změna výdrže a teploty výpalu, byly použity základní cihlářské suroviny běžně používané pro výrobu střešních tašek firmy TONDACH – závod Šlapanice.

Používaný krytinářský jíl je prachovitý vápnitý jíl s obsahem jíloviny kolem 53 %. Sprašová hlína je prachovitá (obsah prachoviny kolem 26 %) s nižším obsahem jíloviny asi 26 %. Sprašová hlína z Dolních Jirčan je nevápnitá surovina s obsahem jíloviny asi 36 % a používá se jako korekční surovina do výchozí směsi z důvodů snížení výkvětovitosti a zejména barevné úpravy střešních tašek.

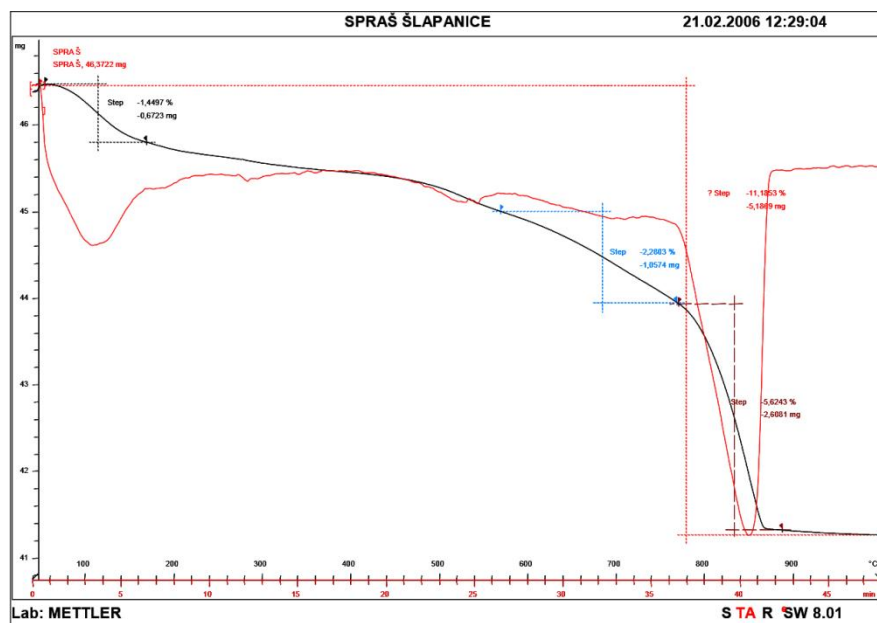
V diplomové práci bylo v případě této směsi pracováno přímo s nudličkami z protlačovacího mísidla z cihelny TONDACH Šlapanice.

4.3.1.1 Spraš Šlapanice

- mineralogické složení (zjištěné RTG analýzou, viz obr. 27): illit, chlorit, kalcit, křemen, živec
- termická analýza: kolem 120 °C dehydratace jílových minerálů, největší endoprodleva má minimum cca při 850 °C (dekarbonatace CaCO_3)
- celková ztráta pálením: 11,19 %
- obsah CaCO_3 je 12,8 %
- granulometrie: 0–2 μm 35,2 %; 2–20 μm 25,3 %; >20 μm 39,5 % [21]



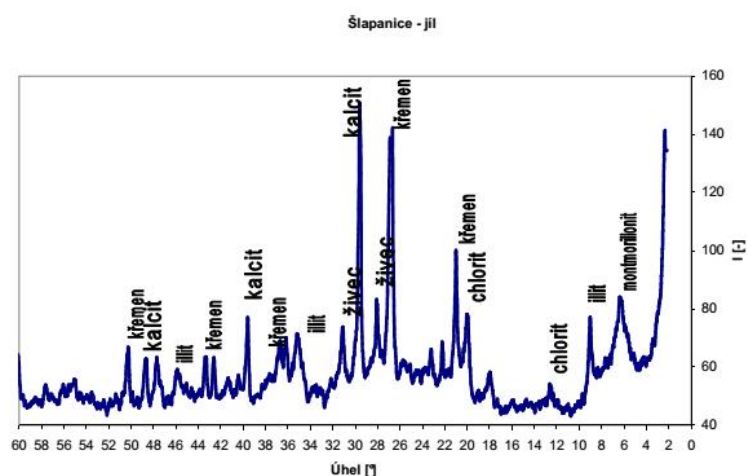
Obr. 27: RTG Spraš – Šlapanice[21].



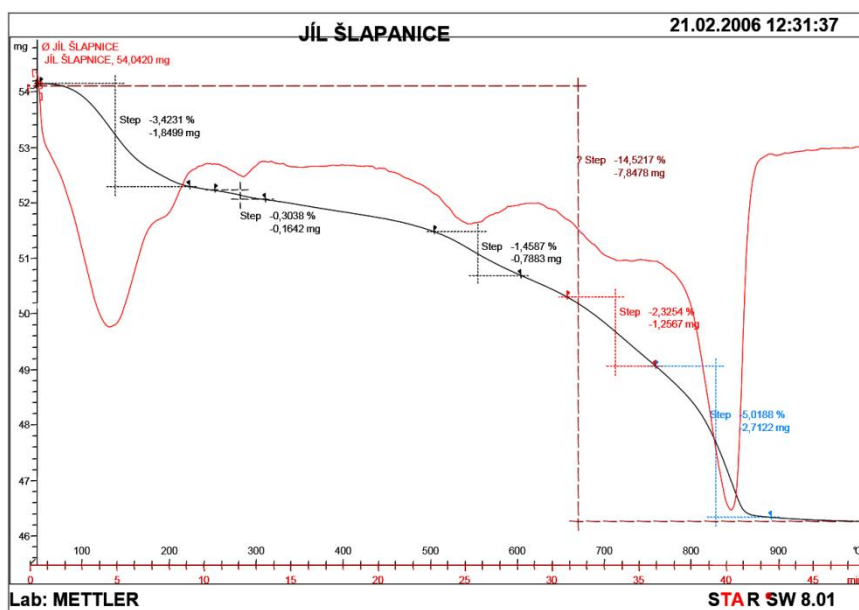
Obr. 28: DTA Spráš – Šlapanice [21].

4.3.1.2 Jíl Šlapanice

- mineralogické složení (zjištěné RTG analýzou, viz obr. 29): illit, montmorillonit, chlorit, kalcit, křemen, živec
- termická analýza: dehydratace jílových minerálů probíhá cca do 250 °C, dehydroxylace jílových minerálů od 500 °C, s maximem okolo 550 °C; největší endoprodleva má minimum cca při 850 °C (dekarbonatace CaCO_3)
- celková ztráta pálením: 14,52 %
- obsah CaCO_3 je 11,4 %
- granulometrie: 0–2 μm 26,8 %; 2–20 μm 41,6 %; >20 μm 31,6 % [21]



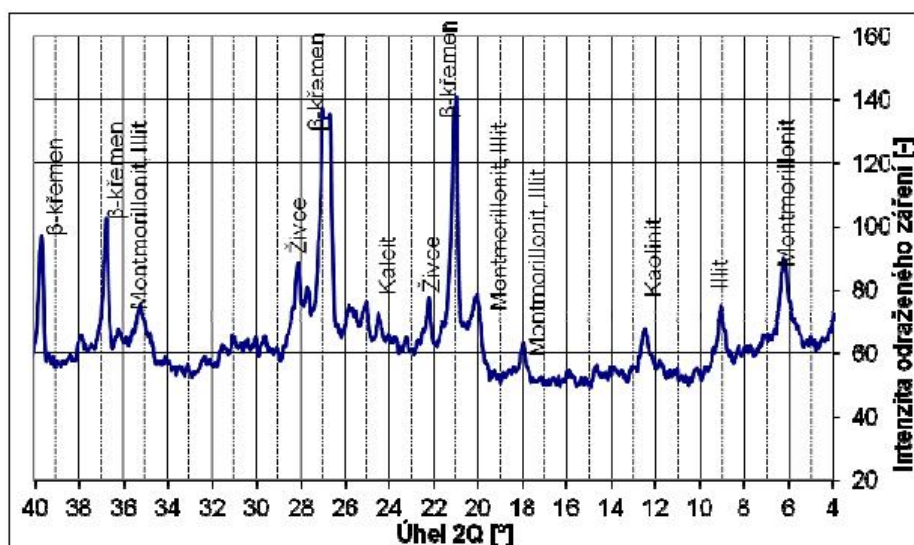
Obr. 29: RTG Jíl – Šlapanice [21].



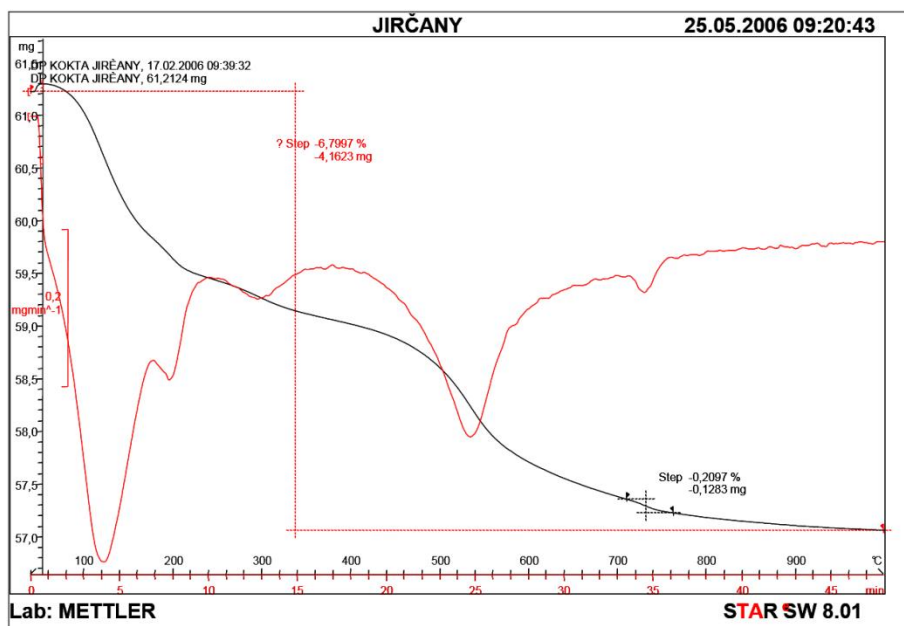
Obr. 30: DTA Jíl – Šlapanice [21].

4.3.1.3 Korekční surovina Jirčany

- mineralogické složení (zjištěné RTG analýzou, viz obr. 31.): illit, montmorillonit, chlorit, křemen, živec
- termická analýza: dehydratace jílových minerálů probíhá cca do 240 °C, dehydroxylace jílových minerálů od 480 °C, s maximem okolo 540 °C.
- celková ztráta pálením: 6,80 %
- zemina neobsahuje CaCO_3
- granulometrie: 0–2 μm 35,8 %; 2–20 μm 26,8 %; >20 μm 37,4 % [21]



Obr. 31: RTG – Zemina Jirčany [21].



Obr. 32: DTA – Zemina Jirčany [21].

Použitá směs měla tedy následující složení:

Tab. 3: Složení směsi Šlapanice

Surovina	
Krytinářský jíl TONDACH Šlapanice	43 %
Sprašová hlína TONDACH Šlapanice	46 %
Surovina Jirčany	11 %

4.3.2 Směs Jirčany

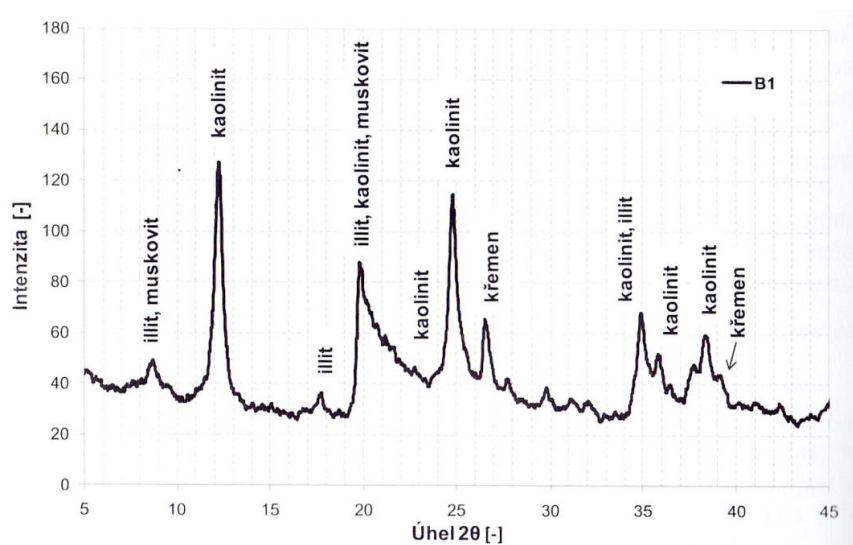
Pro porovnání byly vytvořeny i vzorky, jejichž směs byla navržena dle skutečné receptury, podle které byly vyráběny střešní tašky v Jirčanech.

Vlastnosti suroviny Jirčany již byly zmíněny výše.

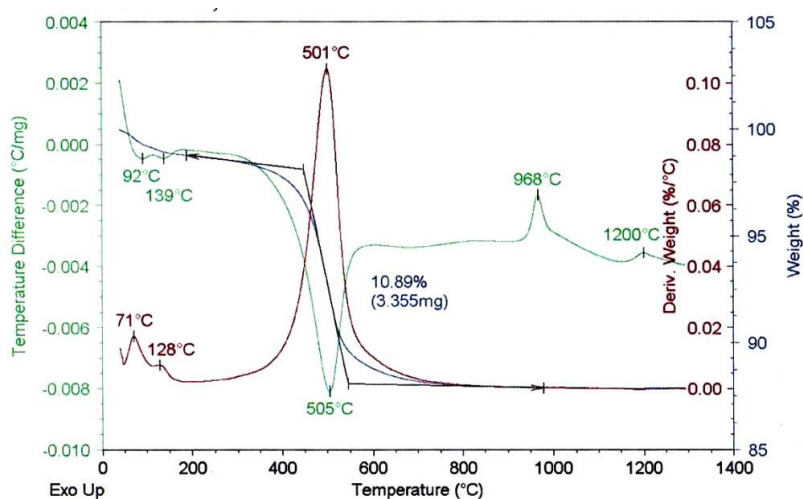
Surovina jíl B1 [20].

- mineralogické složení: kaolinit, ilit, slída a malé množství křemene
- granulometrie: zbytek na síť 0,063 mm se pohybuje do 0,5 % a je tvořen pouze křemennými zrny
- rozdělovací voda: 43,8 %
- délková změna sušením: -8,7 %

- CSB¹: 1,16



Obr. 33: RTG – Jíl B1 [20].



Obr. 34: Simultánní TG-DTA – jíl B1 [20].

Záměs měla následující složení:

Tab. 4: Složení směsi Jirčany

Surovina	
Jíl B1	17 %
Zemina Jirčany	83 %

¹ CSB – citlivost k sušení dle Bigota

4.3.3 Jíl GE

Jíl GE (z německého Grün Erde – zelená země) patří mezi slévárenské jíly. Jedná se o vazný jíl s velmi nízkou teplotou slinutí. Dříve se tento jíl používal zejména jako slévárenský formovací jíl (v současné době pro výrobu forem na odlévání litiny), díky velkému obsahu montmorillonitu jako jíl těsnící (cemento-jílové injektáže) a také například jako ucpávkový jíl při sanacích vodních staveb.

V keramické technologii se jílu GE využívá jako plastifikační přísady, která podporuje slinutí střepu a také je pro svoji červenou barvu po výpalu používán k barevné korekci v keramických hmotách. Jíl GE má nízkou teplotu slinutí – 950 °C). Při této teplotě střep nabývá maximální objemové hmotnosti (je nejhutnější). Mezi jeho nevýhody, vzhledem k jeho vyššímu obsahu montmorillonitu, patří zejména větší množství potřebné rozdělovací vody a z něho plynoucí větší délková změna sušením a větší citlivost k sušení. Při výpalu probíhá již od 800 °C výrazné smršťování střepu, které končí při teplotě 1030 °C. Poté již následuje výrazné nadýmání střepu, které je provázeno zvýšením pórovitosti vypalovaného střepu.

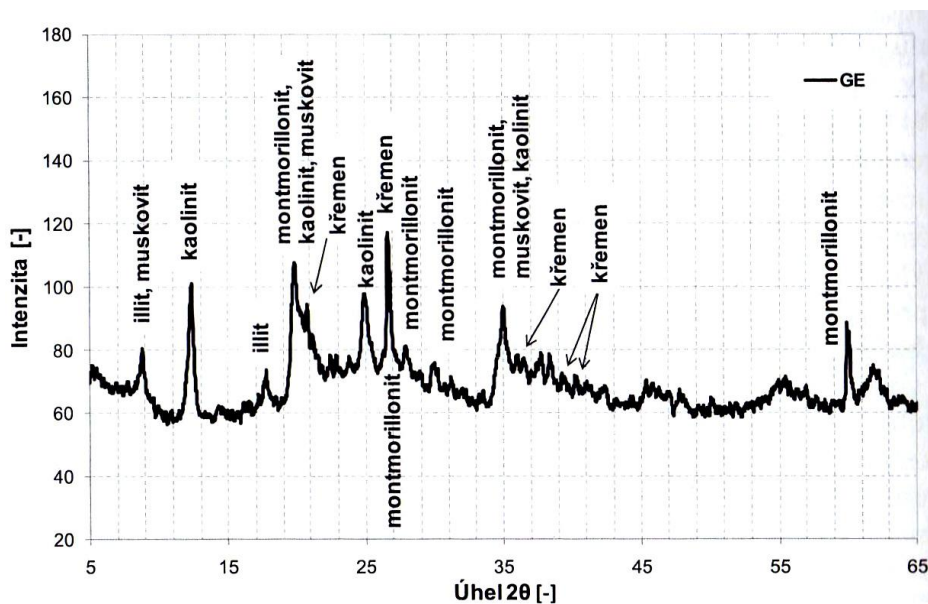
Montmorillonitické jíly se dnes nacházejí a těží v podloží vazných jílu v severozápadní části Chebské pánve v okolí Skalné. Vlastnosti jílu GE se liší v závislosti na hloubce, ve které se nacházejí.



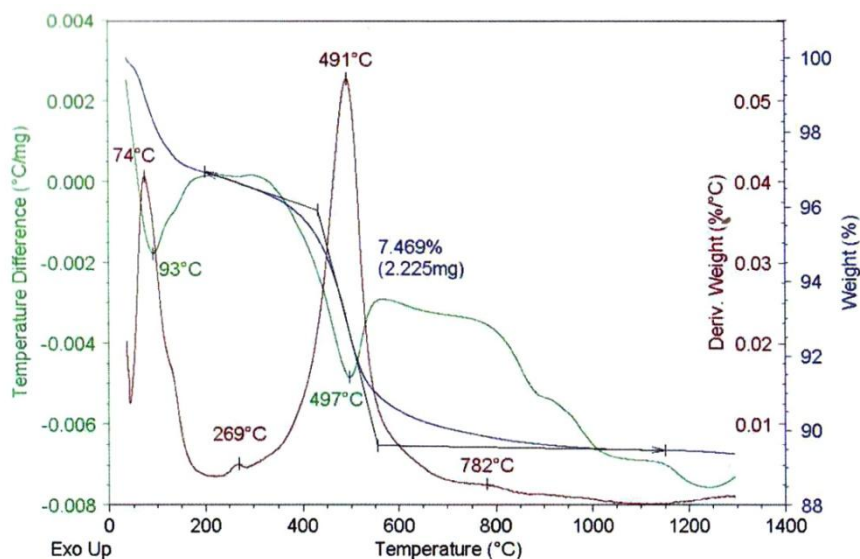
Obr. 35: Aktuální ložisko jílu GE, fotografie: Ing. Radek Černý.

Charakteristické vlastnosti jílu GE [20]

- mineralogické složení: montmorillonit, illit, kaolinit a křemen
- granulometrie: zbytek na síti 0,063 mm se pohybuje od 0,19–2,40 %
- rozdělovací voda: 58,4%
- délková změna sušením: -15,0%
- CSB²: 2,38



Obr. 36: RTG – Jíl GE [20].



Obr. 37: Simultánní TG-DTA – Jíl GE [20].

² CSB – citlivost k sušení dle Bigota

V praktické části diplomové práce byla modifikována receptura pálených střešních tašek TONDACH Šlapanice. Do původní výrobní směsi se dávákuje, jak již bylo výše zmíněno, cca 11 % jirčanské suroviny. U této skupiny vzorků byla proto nahrazena korekční jirčanská zemina jílem GE a byly posuzovány vlastnosti uvedené v kapitole 4.2.

Použitá směs měla tedy následující složení:

Tab. 5: Složení směsi GE

Surovina	
Krytinářský jíl TONDACH Šlapanice	43 %
Sprašová hlína TONDACH Šlapanice	46 %
Jíl GE	11 %

4.3.4 Zeolity

Zeolity jsou hlinito-křemičité minerály, které mají mikroporézní strukturu. Jedinečnost zeolitů spočívá v jejich prostorovém uspořádání atomů, které vytvářejí kanálky a dutiny konstantních rozměrů. Mezi hlavní přírodní formy zeolitů patří minerál klinoptilolit. Zeolity nacházejí široké uplatnění v chemickém průmyslu, zemědělství, lékařství a v neposlední řadě také ve stavebnictví [22], [23].

V diplomové práci byl použit přírodní zeolit od firmy ZEOCEM, a.s. z lokality Nižný Hrabovec na Slovensku, produkt: Zeobau.

Tab. 6: Mineralogické a chemické složení produktu Zeobau

Mineralogické složení	Chemické složení
• klinoptilolit 84 % • illit (jílová slída) 4 % • kristobalit 8 % • rutil 0,1–0,3 % • plagioklas 3–4 % • stopy křemene	• SiO₂ 65–71,3 % • Al₂O₃ 11,5–13,2 % • CaO 2,7–5,2 % • K₂O 2,2–3,4 % • Fe₂O₃ 0,7–1,9 % • MgO 0,6–1,2 % • Na₂O 0,2–1,3 % • TiO₂ 0,1–0,3 %

Pro jednu sadu vzorků bylo do referenční směsi, používané v cihelně TONDACH Šlapanice, uvedené v kapitole 4.3.1, přidáno 10 % zeolitu.

4.3.5 Označení směsí

V praktické části jsou jednotlivé směsi, které jsou uvedeny v předchozích kapitolách, označovány následovně:

Tab. 7: Označení směsí.

Směs	Označení
Referenční směs TONDACH Šlapanice	Šlapanice
Směs Jirčany (jíl B1 + zemina Jirčany)	Jirčany
Směs substituující korekční jirčanskou surovinu jílem GE	GE
Směs s přídavkem 10 % zeolitů	Zeolit

4.4 Postup provádění, příprava zkušebních vzorků

Surovina byla nabrána na hliništi. Poté byla vysušena v sušárně při teplotě 60 °C. Hrubá úprava probíhala na čelistovém drtiči. Následovala homogenizace v kolovém mlýně. V kolovém mlýně jsou dva běhouny válcového tvaru volně upevněny na společné hřídeli. Vykonávají valivý pohyb po pevné kruhové podložce, kde je přiváděna surovina a zároveň dávkována voda. Mletí probíhá jak rozmačkáváním na vnějších okrajích běhounu, kde dochází ke smýkání i rozemíláním.

Plastické těsto bylo připraveno tak, že se dávkovala voda takovým způsobem, aby byl dodržen deformační poměr $d=0,8$ dle ČSN 72 1074. Dále proběhlo odležení minimálně 24 hodin.

Poslední krok úpravy probíhal na válcovém mlýně. Válcový mlýn je tvořen dvěma válci, které se otáčejí rozdílnou rychlostí. Materiál je přiváděn mezi tyto dva válce a rozdrobňuje se třením. Vzdálenost mezi válci je regulovatelná a určuje výslednou velikost částic.



*Obr. 38: Používaná technologická linka, kolový
a válcový mlýn.*



*Obr. 39: Forma na vytváření laboratorních
vzorků.*

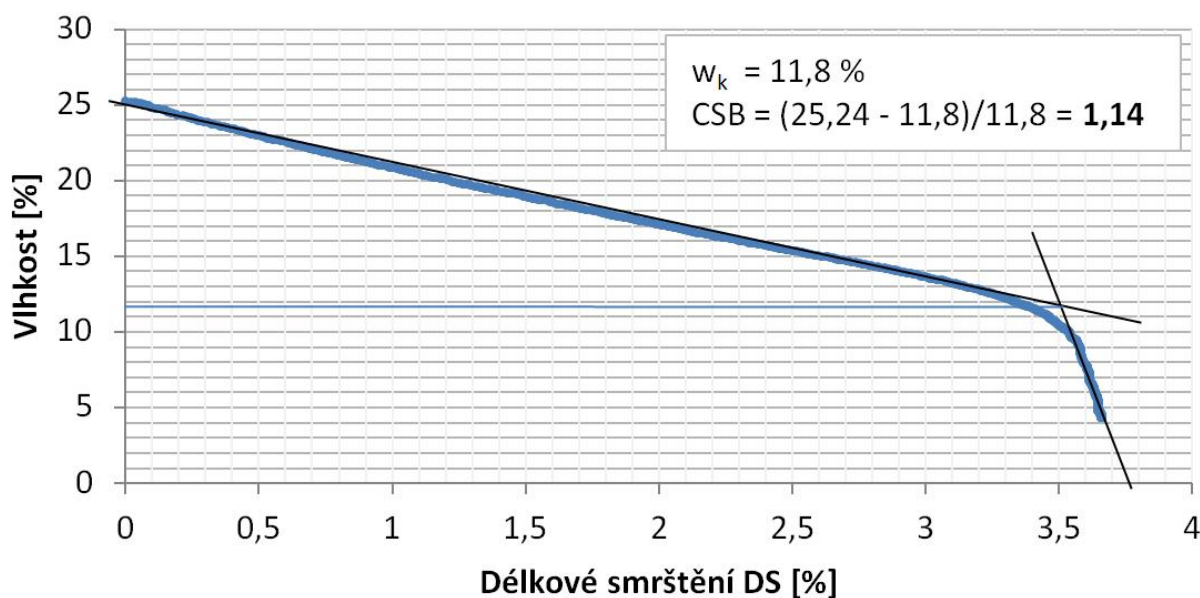
Za pomoci formy byly vtlačováním vytvořeny vzorky o rozměrech 100×50×15 mm, které byly vysušeny v laboratorních podmínkách a dosušeny při 110 °C v laboratorní sušárně. Vzorky byly dále vypáleny na dané teploty a výdrže, které popisuje obr. 21 v kapitole 4.1.1. Vzorky byly změřeny a zváženy vysušené, nasáklé a hydrostaticky. Část vzorků byla zmrazována dle normy ČSN 72 1565-14 (přesný popis uveden v kapitole 4.2.2.13) a na části byla stanovena prosákavost, výkvětovitost, vzlínavost, pevnost v tahu za ohybu a další zkoušky.

Na vzorcích všech sérií bylo provedeno 50 zmrazovacích cyklů dle ČSN 72 1565-14, přičemž byly jednotlivé vzorky, na kterých se objevily nepřípustné vady, vyřazovány v průběhu cyklování. Po ukončení 50 cyklů byly vybrány pouze ty série, jejichž všechny vzorky zůstaly neporušeny, či bez nepřípustných vad, a byly podrobeny opětovným zkouškám objemové hmotnosti, nasákavosti, vzlínivosti a poté pevnosti v tahu za ohybu a tyto hodnoty byly porovnány s původními před započatím zmrazování.

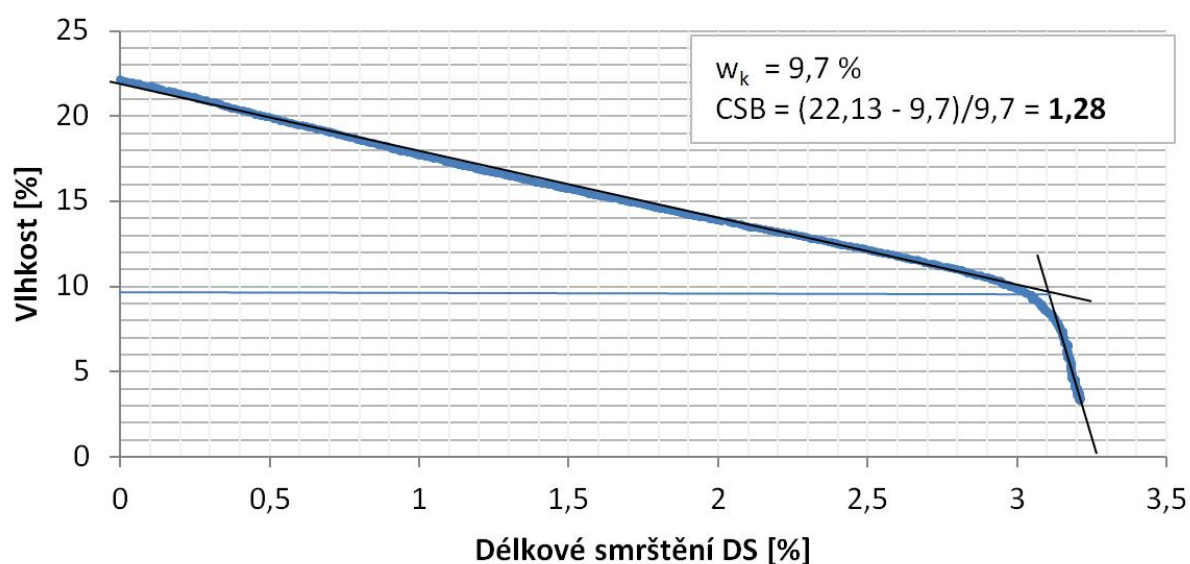
4.5 Naměřené a vypočtené hodnoty

4.5.1 Citlivost k sušení

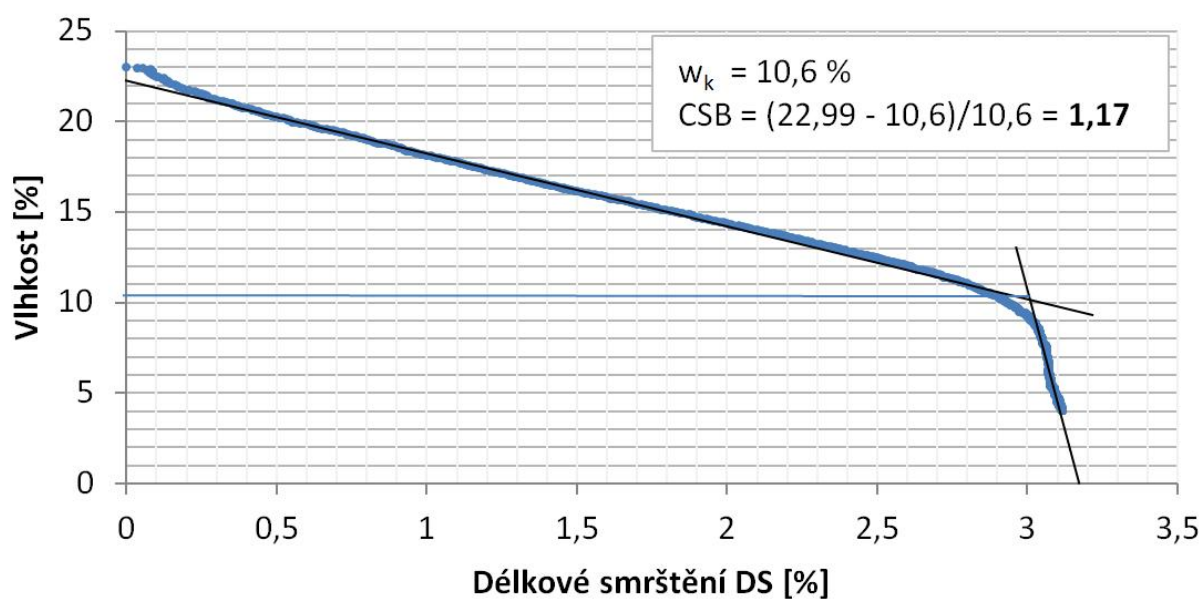
Určení citlivosti k sušení, kritického bodu a oblasti bezpečného a nebezpečného sušení bylo stanoveno graficky dle vyhodnocení bigotových křivek.



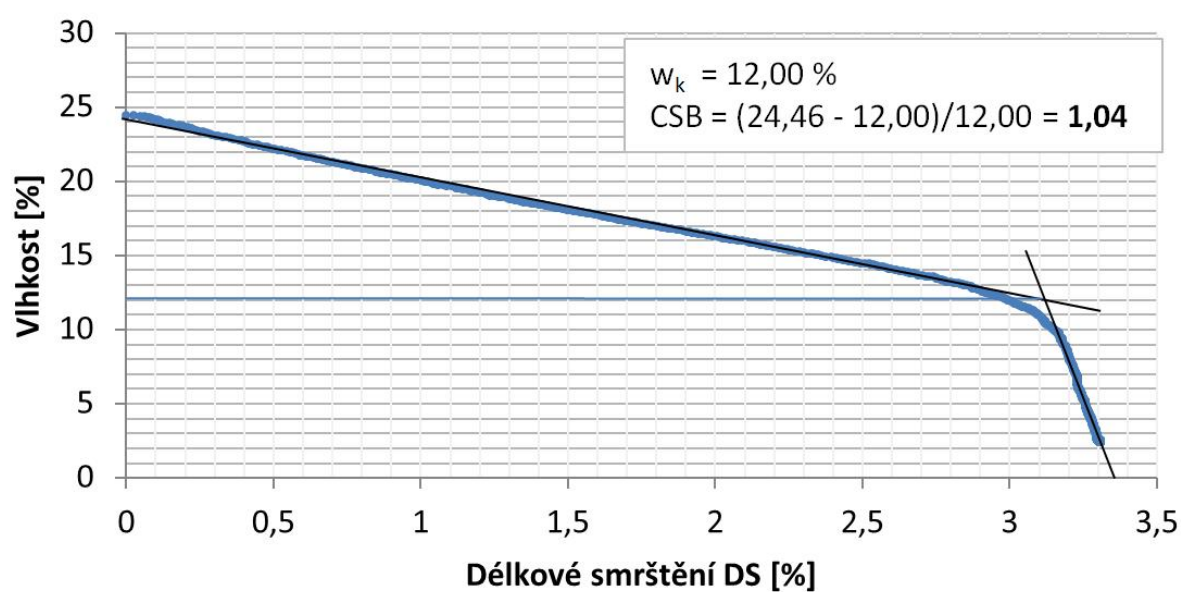
Obr. 40: Bigotova křivka směsi Šlapanice.



Obr. 41: Bigotova křivka směsi Jirčany.

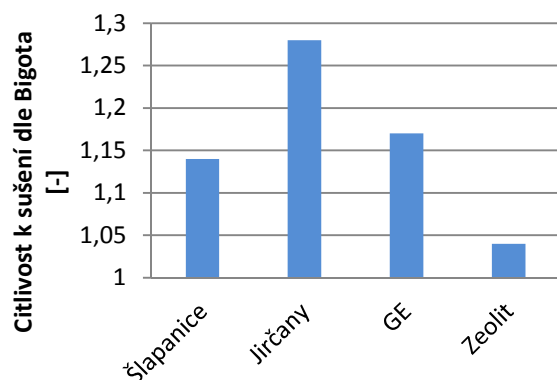


Obr. 42: Bigotova křivka směsi GE.

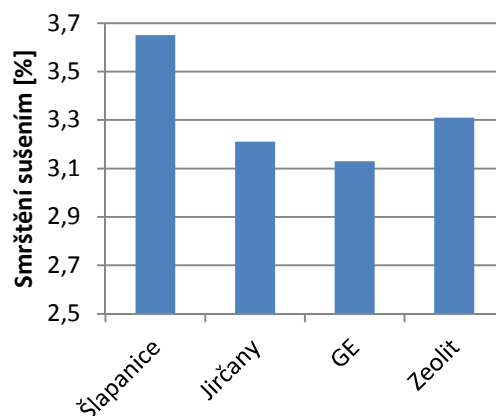


Obr. 43: Bigotova křivka směsi Zeolit.

Z bigotových křivek byla odečtena kritická vlhkost a vypočtena citlivost k sušení dle Bigota (CSB) pro jednotlivé směsi. Výsledky uvádí tab. 8 a graf 1.



Graf 1: Citlivost k sušení dle Bigota.



Graf 2: Smrštění sušením.

Tab. 8: Naměřené a vypočtené hodnoty CSB a smrštění sušením

Surovinová směs	CSB [-]	w _k [%]	smrštění sušením [%]
Šlapanice	1,14	11,8	3,65
Jirčany	1,28	9,7	3,21
GE	1,17	10,6	3,13
Zeolit	1,04	12,0	3,31

Velké smrštění výlisků při sušení vzorků je nežádoucí, proto platí, že čím menší smrštění sušením vzorek má, tím lépe. O tom, jak moc je vzorek citlivý k sušení, nás informuje CSB – citlivost k sušení dle Bigota. Čím je toto bezrozměrné číslo menší, tím je vzorek méně citlivý k sušení.

Ze zkoušených vzorků byla nejméně citlivá k sušení směs s přídavkem Zeolitů (CSB 1,04). Nejméně příznivě dopadla směs Jirčany, jejíž hodnota CSB byla nejvyšší ze všech zkoušených směsí (CSB 1,28), tato směs tedy byla nejvíce citlivá k sušení. Podle tabulky 1 spadají všechny vyrobené směsi do surovin středně citlivých k sušení ($CSB \in (1;1,5)$).

Všechny směsi měly malé hodnoty smrštění sušením, které se pohybovaly v rozmezí 3,13–3,65 %, což bylo dáno nižším obsahem roztělovací vody.

4.5.2 Možnosti zvýšení mrazuvzdornosti úpravou technologie výroby

4.5.2.1 Smrštění výpalem

Při výpalu dochází k délkovým změnám vypalovaného tělesa. Tyto délkové změny u zkoušených vzorků, v závislosti na vypalovací teplotě a době výdrže, popisuje následující tabulka.

Tab. 9: Hodnoty smrštění sušením v závislosti na teplotě výpalu a doby výdrže [%]

820 °C	Délka výdrže [hodiny]			1020 °C	Délka výdrže [hodiny]		
vzorek	2 h	4 h	6 h	vzorek	2 h	4 h	6 h
Šlapanice	0,17	0,10	-0,02	Šlapanice	-0,15	-0,15	-0,11
Jirčany	0,08	0,04	0,11	Jirčany	-3,41	-3,85	-3,83

Při teplotě výpalu 820 °C při teplotách výdrže 2 a 4 hodiny se vzorky nesmršťovaly, ale naopak, v případě obou testovaných směsí docházelo k jejich mírnému zvětšování v nejdelším rozměru. Vzorky směsi Šlapanice se při teplotě výpalu 820 °C začaly smršťovat až při době výdrže 6 hodin, přičemž vzorky směsi Jirčany se v žádné z testovacích dob výdrže smršťovat ani nezačaly.

V případě výpalu na teplotu 1020 °C, se již všechny vzorky standardně smršťovaly. Jirčanská směs měla podstatně větší smrštění nežli směs Šlapanická. Při této teplotě výpalu měly největší smrštění sušením vzorky směsi Šlapanice při době výdrže 2 a 4 hodiny, vzorky směsi Jirčany při době výdrže 4 hodiny. Při nižší teplotě výpalu, zejména při krátkých dobách výdrže, dochází tedy k zvětšování v nejdelším rozměru.

4.5.2.2 Ztráta hmotnosti pálením

Ztráta hmotnosti pálením vyjadřuje procentuální úbytek hmotnosti vypálených vzorků oproti vzorkům v syrovém stavu po vysušení. Výsledky jsou uvedeny v tabulce č. 10.

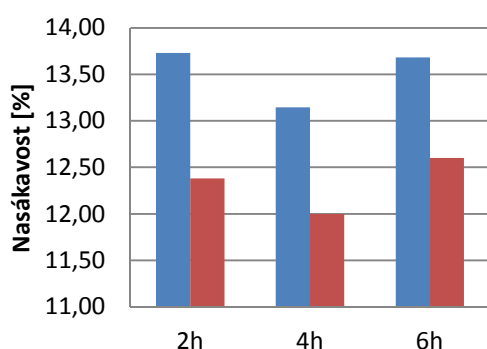
Tab. 10: Hodnoty ztráty hmotnosti pálením v závislosti na teplotě výpalu a doby výdrže [%]

820 °C	Délka výdrže [hodiny]			1020 °C	Délka výdrže [hodiny]		
vzorek	2 h	4 h	6 h	vzorek	2 h	4 h	6 h
Šlapanice	10,01	10,05	10,09	Šlapanice	10,19	10,15	10,01
Jirčany	6,90	6,74	6,75	Jirčany	7,05	6,99	7,02

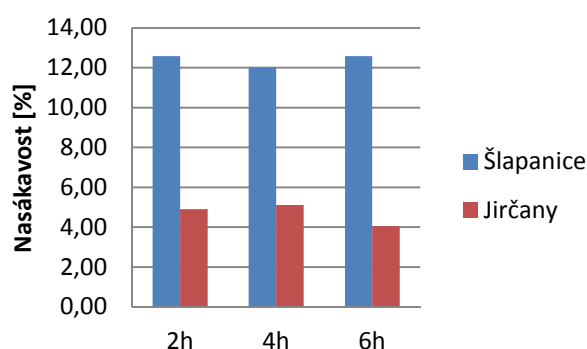
Doba výdrže měla jen malý vliv na ztrátu hmotnosti pálením. Vzorky vyrobené ze směsi Šlapanice měly větší ztrátu hmotnosti pálením nežli vzorky ze směsi Jirčany.

4.5.2.3 Nasákavost

Nasákavost vyjadřuje schopnost vzorků přijímat vodu. Je dána poměrem přijatého hmotnostního množství kapaliny k hmotnosti vysušeného vzorku v procentech a vyjadřuje se v procentech. Obecně platí, že čím menší nasákavost, tím lépe. Z hodnot nasákavosti lze nepřímo odhadovat mrazuvzdornost daných vzorků. Čím je nasákavost menší, tím je větší předpoklad mrazuvzdornosti, neplatí to však vždy a i vzorek více nasákavý může být mrazuvzdorný [7].



Graf 3: Nasákavost vzorků při teplotě výpalu 820 °C v závislosti na době výdrže.



Graf 4: Nasákavost vzorků při teplotě výpalu 1020 °C v závislosti na době výdrže.

Tab. 11: Nasákavost v závislosti na teplotě výpalu a doby výdrže [%]

820 °C	Délka výdrže [hodiny]			1020 °C	Délka výdrže [hodiny]		
vzorek	2 h	4 h	6 h	vzorek	2 h	4 h	6 h
Šlapanice	13,73	13,15	13,68	Šlapanice	12,58	12,01	12,57
Jirčany	12,38	12,00	12,60	Jirčany	4,90	5,11	4,05

Vzorky vypálené na teplotu 1020 °C vykazovaly menší nasákavosti nežli vzorky vypálené na teplotu 820 °C. V případě obou teplot výpalu měly vzorky směsi Jirčany menší nasákavost nežli vzorky směsi Šlapanice.

Při výpalu na teplotu 820 °C s dobou výdrže 2, 4 a 6 hodin dosahovaly nejnižší nasákavosti vzorky, které měly dobu výdrže 4 hodiny. Jak u Šlapanické surovinové směsi, tak u směsi Jirčanské tedy vykazovaly vzorky vypálené na teplotu 820 °C s výdrží 4 hodin nejmenší

nasákavost. Z naměřených hodnot vyplývá, že při dané teplotě výpalu je delší doba výdrže již nevhodná, protože se nasákavost vzorků zase zvyšuje.

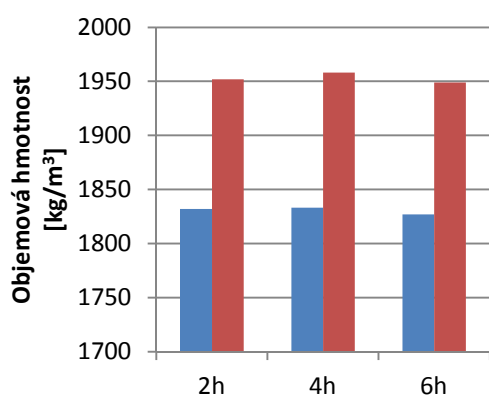
Pro teplotu výpalu 820 °C je tedy, z hlediska co nejnižší nasákavosti, nejvhodnější doba výdrže 4 hodiny.

V případě výpalu na teplotu 1020 °C měly nejmenší nasákavost vzorky směsi Jirčany při době výdrže 6 hodin, vzorky Šlapanice při době výdrže 4 hodiny.

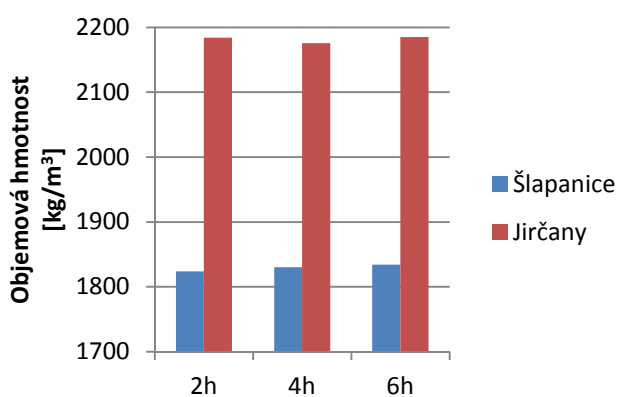
S rostoucí teplotou výpalu klesá nasákavost, vliv doby výdrže je však spíše malý.

4.5.2.4 Objemová hmotnost

Objemové hmotnosti vyrobených vzorků vyjadřuje hmotnost objemové jednotky materiálu i s uzavřenými dutinami a póry. Objemová hmotnost byla stanovena za pomoci hydrostatického vážení. Vypočtené hodnoty jsou uvedeny v grafu 5,6 a tab. 12



Graf 5: Objemová hmotnost vzorků při teplotě výpalu 820 °C v závislosti na době výdrže.



Graf 6: Objemová hmotnost vzorků při teplotě výpalu 1020 °C v závislosti na době výdrže.

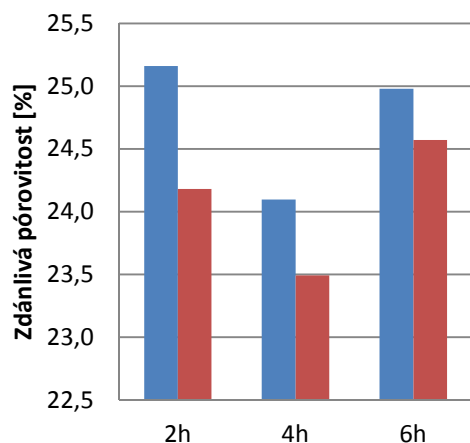
Tab. 12: Objemová hmotnost v závislosti na teplotě výpalu a doby výdrže [kg/m³]

820 °C	Délka výdrže [hodiny]			1020 °C	Délka výdrže [hodiny]		
vzorek	2 h	4 h	6 h	vzorek	2 h	4 h	6 h
Šlapanice	1832	1833	1827	Šlapanice	1824	1830	1834
Jirčany	1952	1963	1949	Jirčany	2184	2176	2185

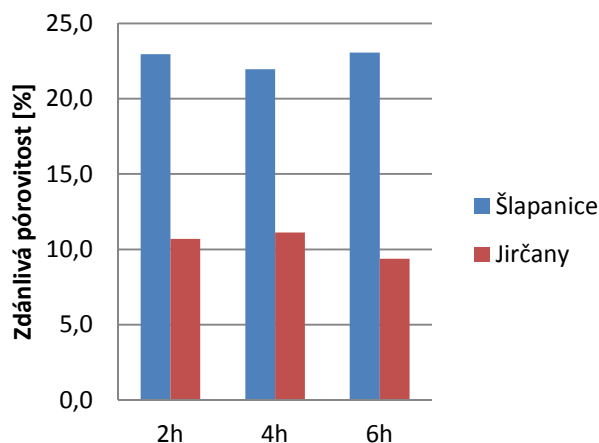
Vzorky ze surovinové směsi Jirčany vykazovaly po výpalu – v případě obou teplot – větší objemovou hmotnost nežli vzorky ze směsi Šlapanice. Rozdíly mezi objemovými hmotnostmi v závislosti na délce výdrže byly malé.

4.5.2.5 Zdánlivá pórovitost

Zdánlivá pórovitost vyjadřuje poměr objemu otevřených pórů a dutin vzorku k jeho objemu včetně pórů a dutin.



Graf 7: Zdánlivá pórovitost vzorků při teplotě výpalu 820 °C v závislosti na době výdrže.



Graf 8: Zdánlivá pórovitost vzorků při teplotě výpalu 1020 °C v závislosti na době výdrže.

Tab. 13: Zdánlivá pórovitost v závislosti na teplotě výpalu a doby výdrže [%]

820 °C	Délka výdrže [hodiny]			1020 °C	Délka výdrže [hodiny]		
vzorek	2 h	4 h	6 h	vzorek	2 h	4 h	6 h
Šlapanice	25,2	24,1	25,0	Šlapanice	22,9	22,0	23,1
Jirčany	24,2	23,5	24,6	Jirčany	10,7	11,1	9,4

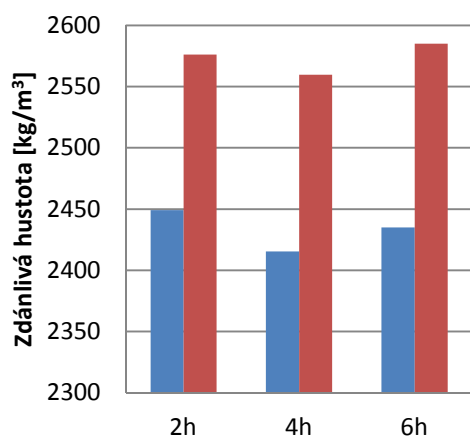
S rostoucí teplotou výpalu dochází ke snížení zdánlivé pórovitosti.

V případě teploty výpalu 820 °C měly obě směsi nejnížší zdánlivou pórovitost při délce výdrže 4 hodiny. Při teplotě výpalu 1020 °C měla směs Šlapanice zdánlivou pórovitost nejnížší a směs Jirčany naopak tyto hodnoty nejvyšší.

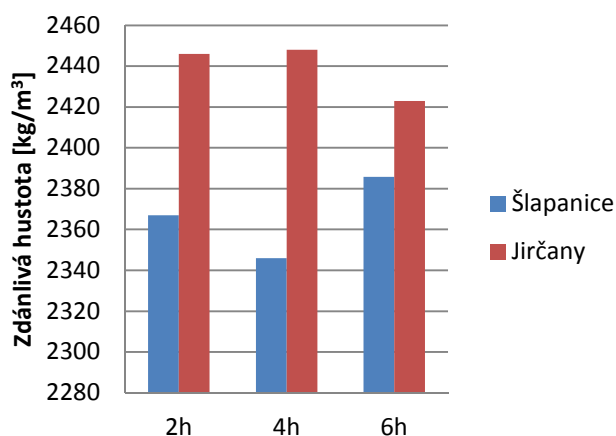
Vzorky vypálené na vyšší teplotu vykazovaly menší zdánlivou pórovitost nežli vzorky, vypáleny na teplotu nižší. Vzorky vyrobené ze směsi Jirčany měly při obou teplotách nižší zdánlivou pórovitost nežli vzorky vyrobené ze směsi Šlapanice.

4.5.2.6 Zdánlivá hustota

Zdánlivá hustota se stanovuje společně se stanovením objemové hmotnosti a zdánlivé pórovitosti a udává hmotnost vysušeného vzorku na jednotku jeho objemu včetně uzavřených pórů.



Graf 9: Zdánlivá hustota vzorků při teplotě výpalu 820 °C v závislosti na době výdrže.



Graf 10: Zdánlivá hustota vzorků při teplotě výpalu 1020 °C v závislosti na době výdrže.

Tab. 14: Zdánlivá hustota v závislosti na teplotě výpalu a doby výdrže [%]

820 °C	Délka výdrže [hodiny]			1020 °C	Délka výdrže [hodiny]		
vzorek	2 h	4 h	6 h	vzorek	2 h	4 h	6 h
Šlapanice	2449	2415	2435	Šlapanice	2367	2346	2386
Jirčany	2576	2560	2585	Jirčany	2446	2448	2423

S rostoucí teplotou výpalu dochází ke snížení zdánlivé hustoty.

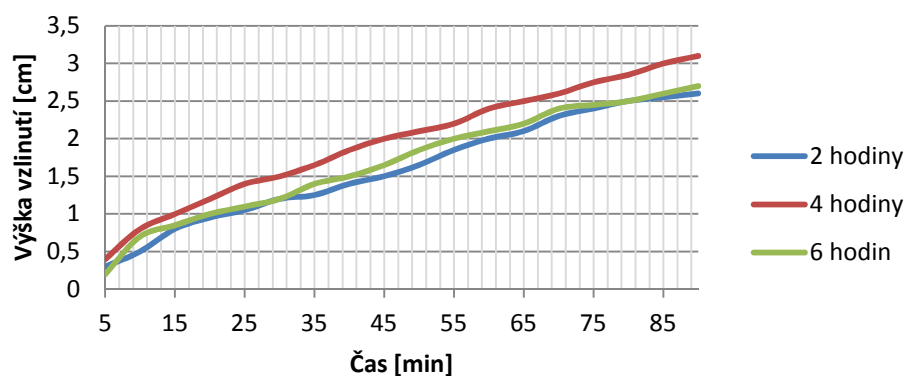
Při teplotě výpalu 820 °C dosáhly maximální zdánlivé hustoty šlapanické i jirčanské vzorky při době výdrže 4 hodiny.

V případě teploty výpalu 1020 °C měly nejnížší zdánlivou hustotu vzorky vyrobené ze šlapanické směsi při délce výdrže 4 hodiny, vzorky ze směsi Jirčany měly nejnížší zdánlivou hustotu při délce výdrže 6 hodin.

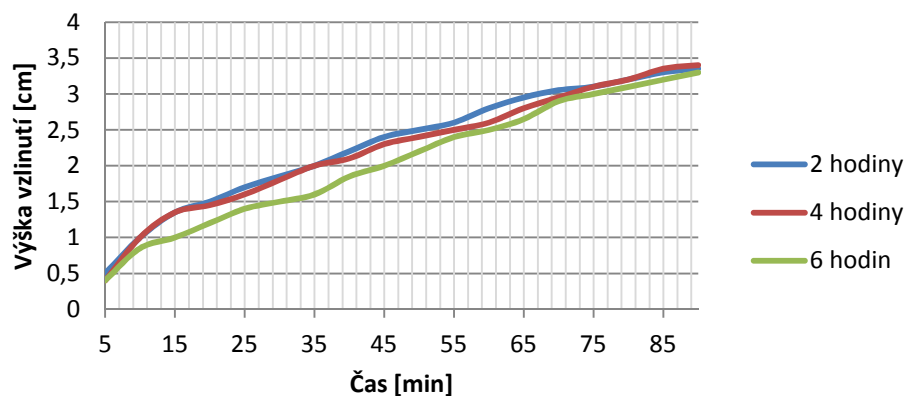
U obou teplot výpalu vykazovaly jirčanské vzorky větší zdánlivou hustotu nežli vzorky šlapanické.

4.5.2.7 Vztlínavost

Je vlastnost všech pórovitých materiálů, v nichž je voda schopna vnikat do otevřených pórů i proti směru působení gravitační síly účinkem kapilárních sil. Rychlost vztlínání závisí zejména na průměru kapilár, na viskozitě a povrchovém napětí kapaliny i na styčném úhlu. Čím rychleji voda vztlíná, tím je větší předpoklad, že vypálený střep bude mít nižší prosákavost.



Graf 11: Vztlínavost vzorků směsi Šlapanice vypálené na teplotu 820 °C v závislosti na různé době výdrže.



Graf 12: Vztlínavost vzorků směsi Šlapanice vypálené na teplotu 1020 °C v závislosti na různé době výdrže.

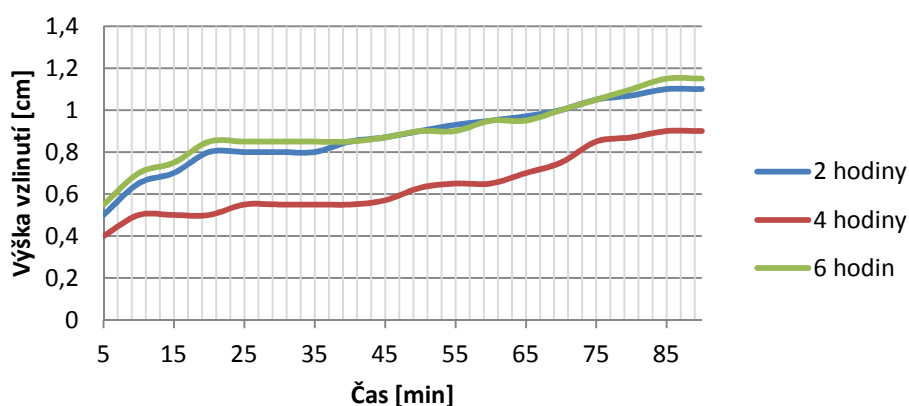
Vzorky připravené ze směsi Šlapanice vypálené na teplotu 820 °C vykazovaly nižší vztlínání, nežli vzorky vypálené na teplotu 1020 °C.

V případě teploty 820 °C se jeví jako optimální doba výdrže 2 hodiny, protože při této výdrži dosahovaly vzorky nejvyšší vztlínavosti. Nejvyšší vztlínání při dané teplotě měly vzorky, u kterých byla doba výdrže 4 hodiny.

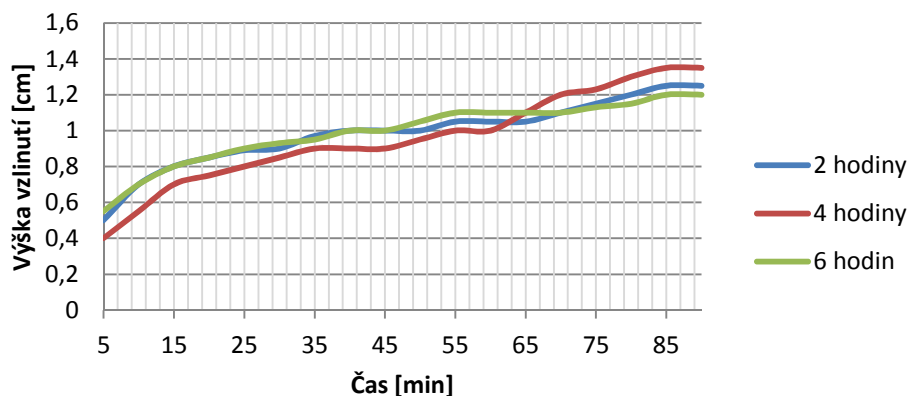
Vzorky vypálené na teplotu 1020 °C měly po 90 minutách výšku vzlinutí téměř shodnou. Jako nejvhodnější se také jeví použití nejkratší testované doby výdrže – 2 hodiny.

Pro obě teploty výpalu u směsi Šlapanice je tedy optimální – z hlediska vzlinavosti – nejkratší doba výdrže 2 hodiny.

Podle Matějky činí mezní hodnota vzlinutí 50 mm za 90 minut. Toto kritérium splňují všechny vzorky.



Graf 13: Vzlinavost vzorků směsi Jirčany vypálené na teplotu 820 °C v závislosti na různé době výdrže.



Graf 14: Vzlinavost vzorků směsi Jirčany vypálené na teplotu 1020 °C v závislosti na různé době výdrže.

Vzorky připravené ze směsi Jirčany vykazovaly podstatně menší výšku vzlinutí nežli vzorky připravené ze směsi Šlapanice, přičemž nejnižší výšku vzlinutí měly vzorky vypálené na teplotu 820 °C.

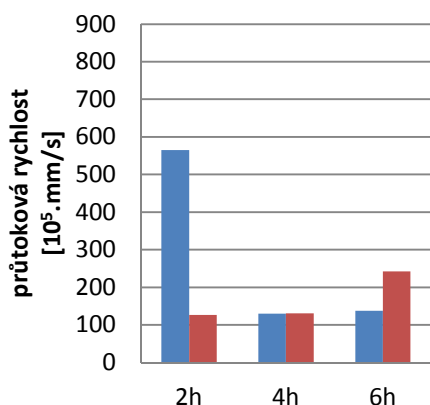
U vzorků vypálených na teplotu 820 °C bylo dosaženo nejmenší výšky vzlinutí při době výdrže 4 hodiny. Naproti tomu vzorky vypálené na teplotu vyšší – 1020 °C – měly při době výdrže 4 hodiny vzlinutí nejvyšší. Nejmenší vzlinutí měly při teplotě výpalu 1020 °C vzorky při době výdrže 6 hodin, nicméně výška vzlinutí se při této vyšší teplotě výpalu s dobou výdrže prakticky neměnila.

Nižší teplota výpalu měla pozitivní vliv na vzlínavost keramického střepe. Nejmenšího vzlinutí dosahovaly střepy pálené na nižší teplotu s kratší dobou výdrže (2–4 hodiny).

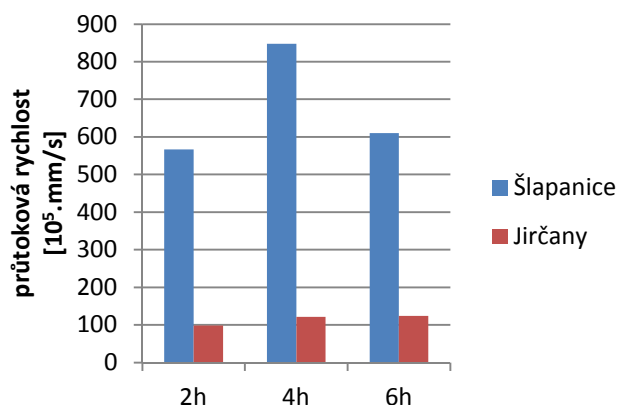
Kritérium mezní hodnoty vzlinutí 50 mm za 90 minut podle Matějky splňují všechny vzorky.

4.5.2.8 Prosákavost

Prosákavost patří mezi jedno z nejdůležitějších hledisek, podle kterého hodnotíme kvalitu pálených střešních tašek.



Graf 15: Prosákavost vzorků při teplotě výpalu 820 °C v závislosti na době výdrže.



Graf 16: Prosákavost vzorků při teplotě výpalu 1020 °C v závislosti na době výdrže.

Výsledky měření ukazují grafy 15, 16 a tabulka 15 (tučně jsou v tabulce vyznačeny vzorky, které vyhověly zkoušce prosákavosti dle kritéria neprosáknutí minimálně 2 hodiny).

Zkušební vzorky vyrobené ze směsi Šlapanice měly při teplotách výpalu 820 °C a 1020 °C a při době výdrže 2 hodiny prakticky stejnou průtokovou rychlost. S vzrůstající dobou výdrže již potom vzorky vypálené na teplotu 820 °C oproti vzorkům vypáleným na teplotu vyšší vykazovaly několikanásobně menší průtokovou rychlost (v případě výdrže 4 hodiny

se jednalo o více než 650 % rozdíl). Nejmenší průtokové rychlosti dosáhly vzorky této směsi, vypálené na teplotu 820 °C s dobou výdrže 4 hodiny.

Tab. 15: Naměřené doby průsaku a vypočtené průtokové rychlosti

vzorek	teplota výpalu [°C]	délka výdrže [h]	měřená doba průsaku [s]	vypočtená průtoková rychlost [mm/s]	výška vzlinutí za 90 min [mm]
Šlapanice	1020	2	2520	0,00567	3,4
Šlapanice	1020	4	1680	0,00848	3,4
Šlapanice	1020	6	2340	0,00610	3,3
Šlapanice	820	2	2520	0,00565	2,6
Šlapanice	820	4	10980	0,00130	3,1
Šlapanice	820	6	10320	0,00138	2,7
Jirčany	1020	2	14280	0,00099	1,3
Jirčany	1020	4	11520	0,00122	1,4
Jirčany	1020	6	11340	0,00124	1,2
Jirčany	820	2	11040	0,00126	1,1
Jirčany	820	4	10740	0,00131	0,9
Jirčany	820	6	5880	0,00242	1,2

Vzorky vyrobené ze směsi Jirčany vykazovaly opačný trend. U všech zkoušených dob výdrže měly tyto vzorky menší průtokovou rychlost při výpalu na teplotu 1020 °C, nežli vzorky vypálené na teplotu nižší, přičemž největší rozdíl byl u doby výdrže 6 hodin, při které byla průtoková rychlost při teplotě výpalu 820 °C téměř o 100 % větší, nežli u vzorků vypálených na teplotu 1020 °C při stejné výdrži.

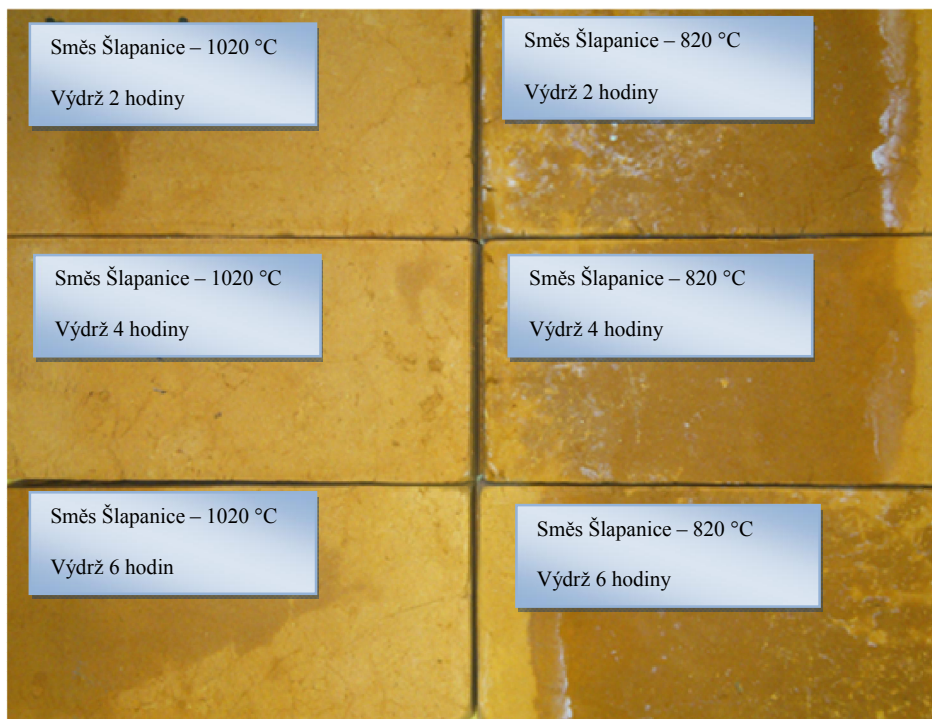
Jednotlivé směsi jsou při stejných teplotách výpalu mezi sebou srovnány v grafu 15 a 16. V případě teploty výpalu 820 °C vykazovaly šlapanické vzorky nejrychlejší průtokovou rychlost při době výdrže 2 hodiny, naopak jirčanské vzorky při této době výdrže měly průtokovou rychlost nejnižší. Při teplotě výpalu 1020 °C měly vzorky vyrobené ze směsi Jirčany několikanásobně menší rychlosti průsaku oproti vzorkům šlapanickým ve všech použitých dobách výdrže.

Některé hodnoty, které se odchyľují od ostatních v dané sérii (Šlapanice 820 °C, 2 hodiny výdrž a Jirčany 820 °C, 6 hodin výdrž) však mohou být zatíženy chybou z důvodu nedokonalého zhutnění vzorku, nebo podobných vnitřních defektů.

Pro porovnání je v tabulce 15 uvedena i výška vzlinutí za 90 minut.

4.5.2.9 Výkvětotvornost

Výkvětotvornost je zachycena na fotografiích v následujícím obrázku 44 a 45.



Obr. 44: Výkvětotvornost vzorků směsi Šlapanice.



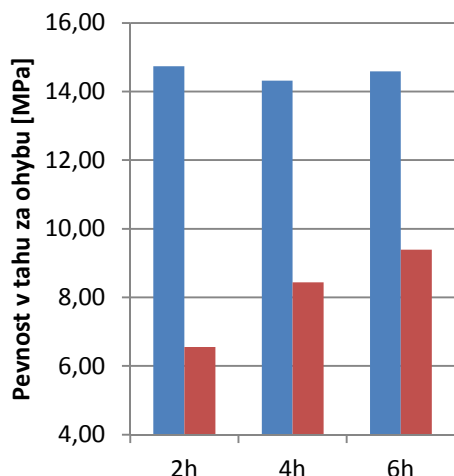
Obr. 45: Výkvětotvornost vzorků směsi Jirčany.

Výkvěty byly patrné zejména u směsi Šlapanice při nižší teplotě výpalu 820 °C. Nejvíce výkvětů bylo u této teploty a při nejnižší testované době výdrže (2 hodiny).

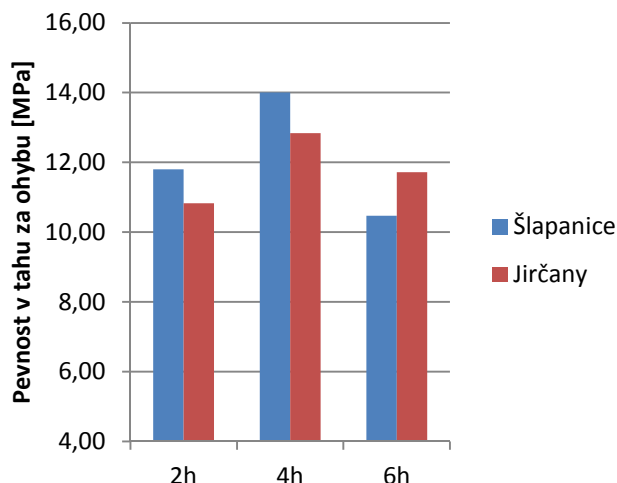
U vzorků vyrobených ze směsi Jirčany byla výkvětovitost nízká.

4.5.2.10 Pevnost v tahu za ohybu

Na nezmrazovaných vzorcích byla provedena zkouška pevnosti v tahu za ohybu. Výsledky zkoušky uvádí grafy 17, 18 a tabulka 16.



Graf 17: Pevnost v tahu za ohybu vzorků při teplotě výpalu 820 °C v závislosti na době výdrže.



Graf 18: Pevnost v tahu za ohybu vzorků při teplotě výpalu 1020 °C v závislosti na době výdrže.

Tab. 16: Pevnost v tahu za ohybu v závislosti na teplotě výpalu a doby výdrže [MPa]

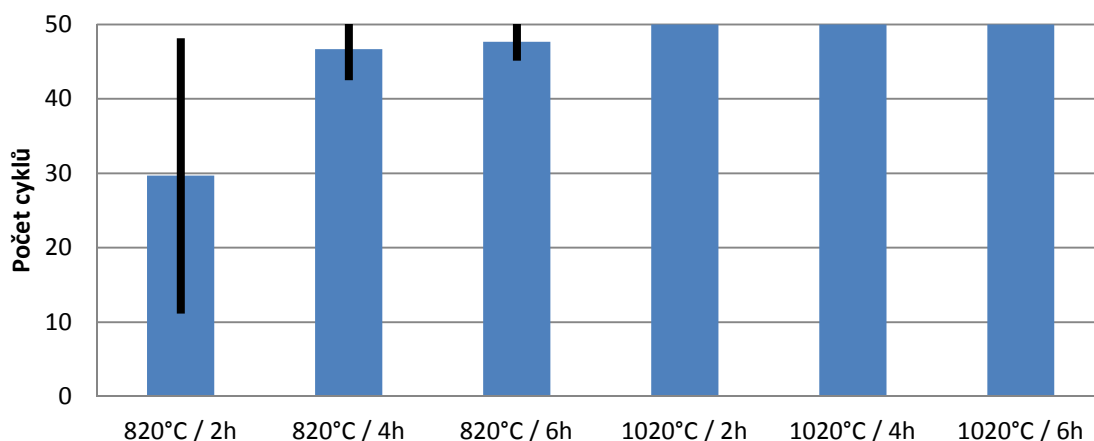
820 °C	Délka výdrže [hodiny]			1020 °C	Délka výdrže [hodiny]		
vzorek	2 h	4 h	6 h	vzorek	2 h	4 h	6 h
Šlapanice	14,74	14,31	14,58	Šlapanice	11,80	14,00	10,47
Jirčany	6,56	8,44	9,39	Jirčany	10,38	12,83	11,72

V případě teploty výpalu 820 °C dosahovaly vzorky směsi Šlapanice vyšších pevností v tahu za ohybu nežli vzorky směsi Jirčany.

Při teplotě výpalu 1020 °C již nebyl rozdíl v pevnosti vzorků v závislosti na směsi tak velký. Nejvyšších pevností dosahoval střep, u kterého byla na této teplotě dodržena výdrž 4 hodiny.

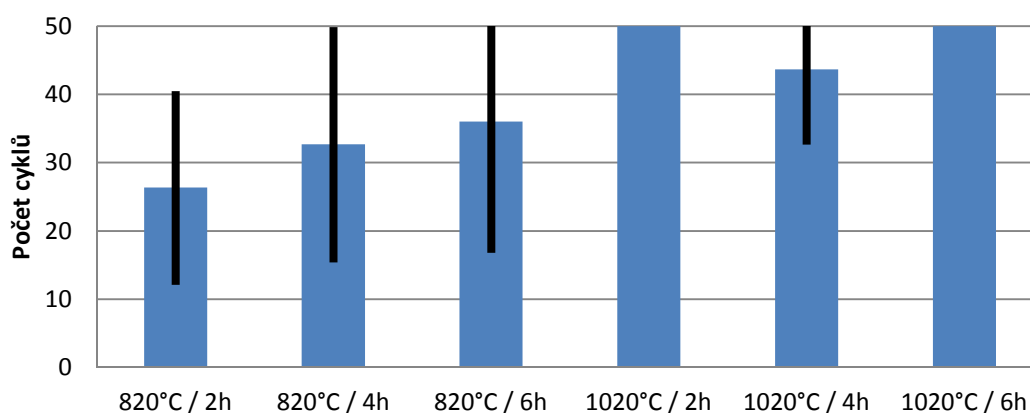
4.5.2.11 Účinek zmrazování na vzorky

Po provedení 50 cyklů byly vybrány ty série, u nichž všechny vzorky nevykazovaly nepřípustné vady, a byly opětovně provedeny zkoušky nasákavosti, objemové hmotnosti, vztlakovosti a pevnosti v tahu za ohybu. Průměrné výdrže vzorků daných sérií se směrodatnými odchylkami jsou uvedeny v grafu 19 a 20.



Graf 19: Průměrná výdrž zmrazovaných vzorků směsi Šlapanice v závislosti na vypalovací teplotě a době výdrže.

Vzorky směsi Šlapanice vypálené na nižší teplotu vykazovaly menší odolnost proti mrazu. Nejméně odolné byly vzorky s nejkratší dobou výdrže – 2 hodiny. Vzorky vypálené na teplotu 820 °C s dobou výdrže 4 a 6 hodin již však měly nepřípustné vady až po 40 cyklech a některé ze vzorků vydržely i všech 50 cyklů – splnily s velikou rezervou třídu mrazovzdornosti M25 dle ČSN 72 1564, kterou tato norma doporučuje pro všechny třídy cihlářských zemin.



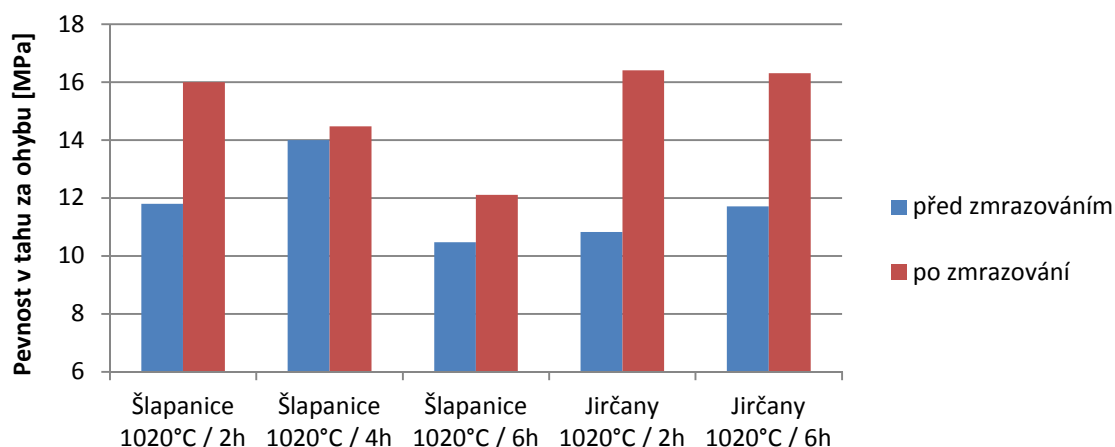
Graf 20: Průměrná výdrž zmrazovaných vzorků směsi Jirčany v závislosti na vypalovací teplotě a době výdrže.

Vzorky směsi Šlapanice vypálené na teplotu 1020 °C odolaly všem zmrazovacím cyklům bez nepřípustných vad ve všech testovaných dobách výdrže.

V případě směsi Jirčany se nepřípustné vady u některých vzorků vypálených na teplotu 820 °C objevily již v rozmezí 10–20 cyklů. Rozptýl hodnot byl ale značný. Se vzrůstající dobou výdrže na této teplotě odolnost proti zmrazování mírně rostla.

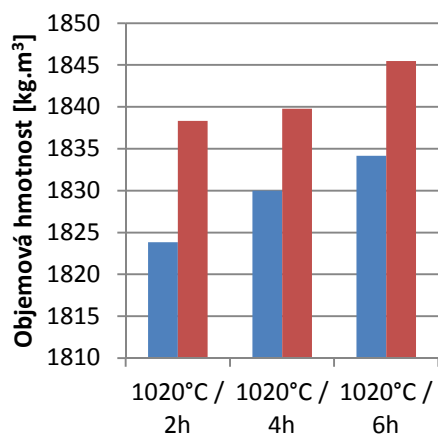
Vzorky vypálené na teplotu 1020 °C na tom již byly odolnější. Při době výdrže 2 a 6 hodin na této teplotě odolaly všem 50 zmrazovacím cyklům všechny vzorky. V případě doby výdrže 4 hodiny pravděpodobně způsobila poněkud nižší odolnost celku mírná textura u jednoho ze vzorků dané série.

Po 50 cyklech byly na vzorcích opětovně provedeny zkoušky objemové hmotnosti, nasákavosti, vztlínivosti a pevnosti v tahu za ohybu. Výsledky zkoušek jsou uvedeny v následujících grafech.

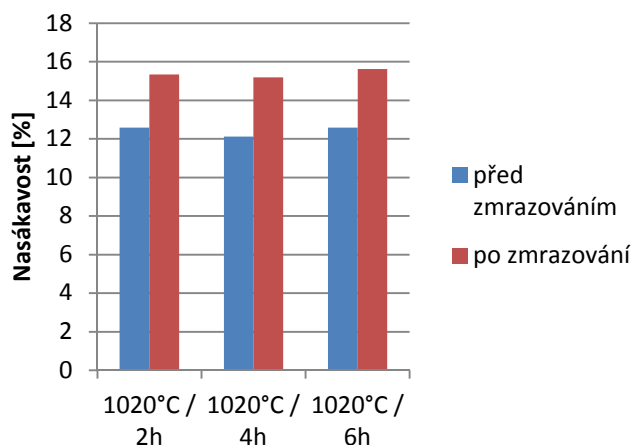


Graf 21: Porovnání pevností v tahu za ohybu sérií, jejichž všechny vzorky nevykazovaly po dokončení cyklování nepřípustné vady.

Všechny vzorky, které prošly zmrazováním, měly vyšší pevnosti v tahu za ohybu oproti vzorkům nezmrazovaným.

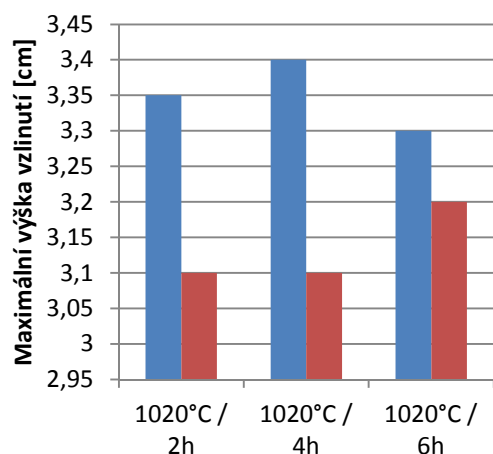


Graf 22: Objemová hmotnost vzorků směsi Šlapanice vypálených na 1020 °C v závislosti na době výdrže před a po zmrazování.

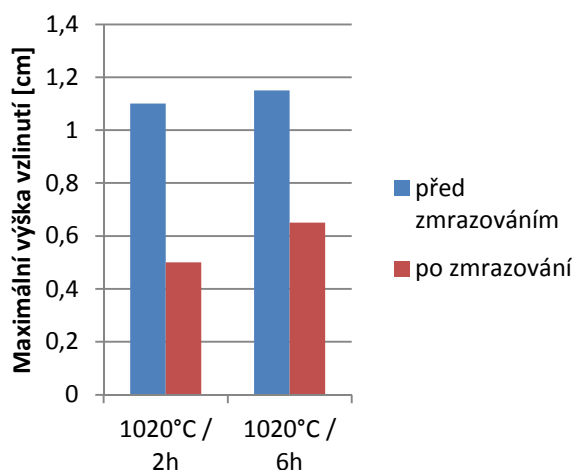


Graf 23: Nasákavost hmotnost vzorků směsi Šlapanice vypálených na 1020 °C, v závislosti na době výdrže před a po zmrazování.

Opětovné zkoušky objemové hmotnosti po zmrazování ukázaly, že šlapanická směs, vypálená na teplotu 1020 °C, vykazuje trend v nárůstu objemové hmotnosti v závislosti na délce výdrže. Nejvyšších objemových hmotností po zmrazování tedy dosahovaly vzorky s nejdelší dobou výdrže. Po provedených cyklech se také zvýšila nasákavost všech vzorků. Změny v závislosti na délce výdrže však nebyly velké. Naopak hodnoty vzlinutí po 90 minutách byly – oproti hodnotám původním před započítáním zmrazování – menší.

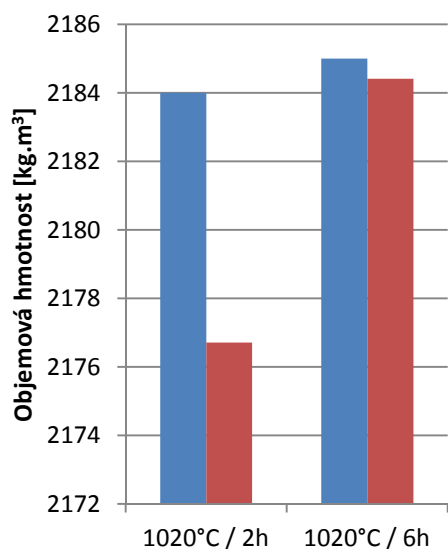


Graf 24: Maximální výška vzlinutí po 90 minutách vzorků směsi Šlapanice, vypálených na 1020 °C, v závislosti na době výdrže, před a po zmrazování.

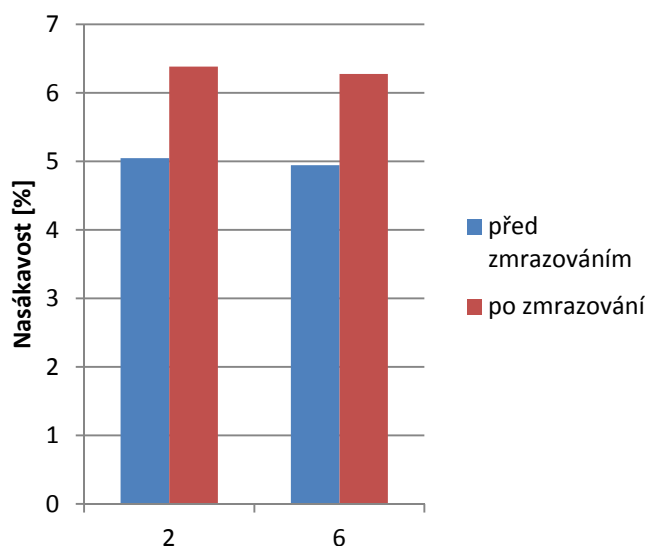


Graf 25: Maximální výška vzlinutí po 90 minutách vzorků směsi Jirčany, vypálených na 1020 °C, v závislosti na době výdrže, před a po zmrazování.

U vzorků směsi Jirčany byl naměřen mírný úbytek objemové hmotnosti vlivem zmrazování a zvýšení nasákavosti (viz graf 26 a 27). Výška vzlinutí však byla nižší oproti vzorkům nezmrazovaným.



Graf 26: Objemová hmotnost vzorků směsi Jirčany, vypálených na 1020 °C, v závislosti na době výdrže, před a po zmrazování.



Graf 27: Nasákavost hmotnost vzorků směsi Šlapanice, vypálených na 1020 °C, v závislosti na době výdrže, před a po zmrazování.

Shrnutí

Vzorky směsi Šlapanice vypálené na 820 °C nevydržely všech 50 cyklů. U nejkratší z testovaných dob výdrže na této teplotě – 2 hodiny – nastal rozpad prvních vzorků v sérii již při 10–20 cyklech. Ovšem vzorky vypálené na tuto teplotu s delší dobou výdrže – 4 a 6 hodin, již splňují alespoň třídu mrazuvzdornosti M25 dle ČSN 72 1564, kterou tato norma doporučuje pro všechny třídy cihlářských zemin.

Vzorky této směsi vypálené na vyšší teplotu – 1020 °C – již všechny odolaly všem 50 cyklům. Z ekonomického hlediska je tedy delší doba výdrže při této teplotě spíše nevhodná a plně dostačuje, z hlediska mrazuvzdornosti, doba výdrže 2 hodiny.

Vzorky směsi Jirčany vypálené na teplotu 820 °C neodolaly všem cyklům. U všech tří testovaných výdrží na této teplotě došlo k porušení prvních vzorků v daných sériích již při 10–20 cyklech.

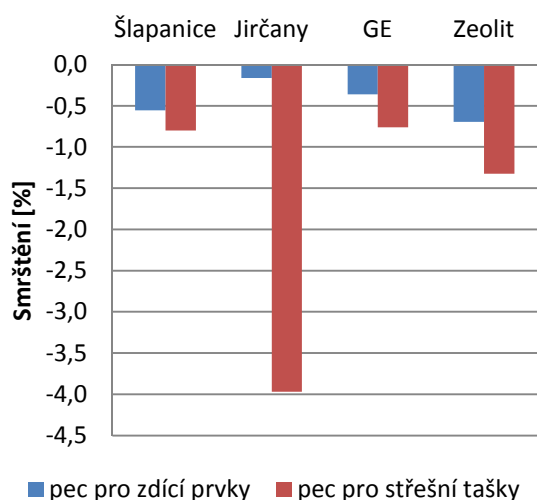
Vzorky této směsi vypálené na teplotu 1020 °C vykazaly již vyšší odolnost proti mrazu. Všem 50 cyklům odolaly vzorky vypálené na této teplotě s dobou výdrže 2 a 6 hodin. Nižší odolnost série, která byla vypálená s dobou výdrže 4 hodiny, způsobil pravděpodobně jeden vzorek s mírnou texturou, která byla patrně příčinou jeho „předčasné“ destrukce a ovlivnila tak statisticky celou sérii. Obecně lze však tuto směs považovat při této teplotě výpalu za mrazuvzdornou a stejně jako v případě směsi šlapanické dostačuje, z hlediska mrazuvzdornosti, doba výdrže 2 hodiny.

U téměř všech testovaných vzorků byl patrný trend v nárůstu objemové hmotnosti po cyklování oproti vzorkům nezmrazovaným (výjimku tvořila směs Jirčany, vypálená na 1020 °C), nárůst hodnot nasákavosti a zmenšení hodnot výšky maximálního vzlinutí po 90 minutách. Nárůst objemové hmotnosti vlivem zmrazování u šlapanické směsi je pravděpodobně způsoben vápenatým zatažením střepu při jeho opakovaném kontaktu s vodou [25]. Tento jev nenastává u jirčanských vzorků vyrobených z nevápenaté zeminy.

Vzorky vypálené na nižší teploty odolávaly méně účinkům mrazu, u některých sérií nastal rozpad prvních vzorků v již v rozmezí 10–20 cyklů. Z grafů č. 19 a č. 20 je však patrný trend mírného zvyšování odolnosti proti mrazu v závislosti na délce výdrže u obou směsí.

4.5.3 Možnosti zvýšení mrazuvzdornosti úpravou směsi

4.5.3.1 Smrštění výpalem



Tab. 17: Smrštění výpalem vzorků u testovaných směsí v závislosti na zvolené peci [%]

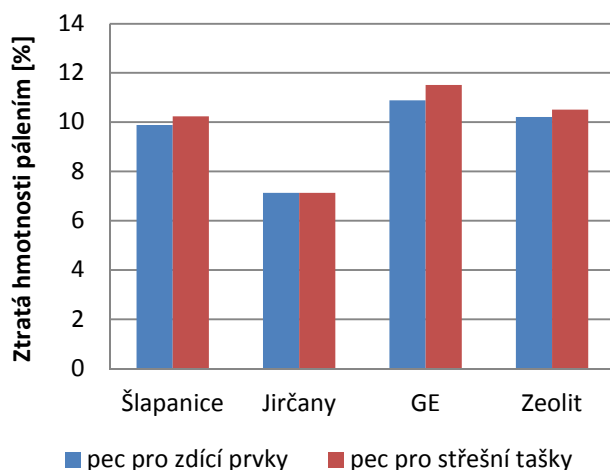
vzorek	Pec pro zdící prvky	Pec pro střešní tašky
Šlapanice	-0,56	-0,80
Jirčany	-0,17	-3,97
GE	-0,36	-0,76
Zeolit	-0,69	-1,32

Graf 28: Smrštění výpalem vzorků u testovaných směsí v závislosti na zvolené peci.

Největší smrštění výpalem měla v tunelové peci, určené pro výpal zdících prvků, směs s přídavkem zeolitů. Nejmenší smrštění vykazovaly vzorky připravené ze směsi Jirčany.

V tunelové peci pro výpal střešních tašek, tedy v peci s vyšší maximální teplotou, měla směs Jirčany naopak smrštění největší. Nejmenšího smrštění dosahovaly v této peci vzorky ze směsi GE.

4.5.3.2 Ztráta hmotnosti pálením



Tab. 18: Ztráta hmotnosti pálením vzorků testovaných směsí v závislosti na zvolené peci [%]

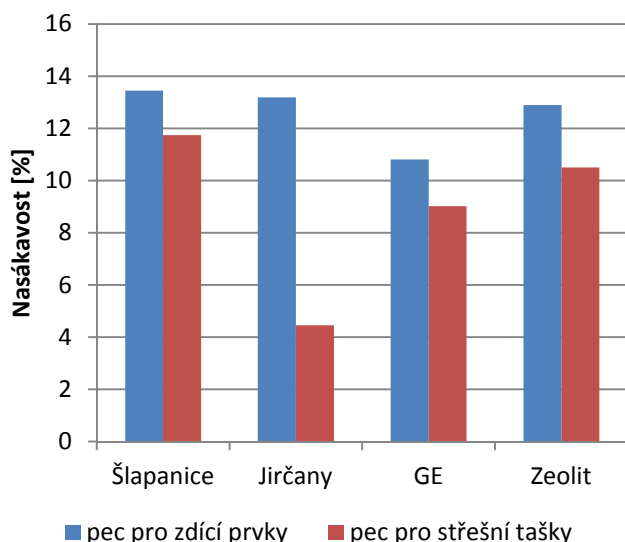
vzorek	Pec pro zdící prvky	Pec pro střešní tašky
Šlapanice	9,88	10,24
Jirčany	7,13	7,13
GE	10,88	11,52
Zeolit	10,21	10,51

Graf 29: Ztráta hmotnosti pálením vzorků u testovaných směsí v závislosti na zvolené peci.

Naměřené a vypočtené hodnoty uvádí graf 29 a tabulka 18.

V případě pece pro zdící prvky i pece pro výpal střešní tašky dosahovaly největší ztráty hmotnosti pálením vzorky vyrobené ze směsi GE.

4.5.3.3 Nasákavost



Tab. 19: Nasákavost vzorků u testovaných směsí v závislosti na zvolené peci [%]

vzorek	Pec pro zdící prvky	Pec pro střešní tašky
Šlapanice	13,4	11,7
Jirčany	13,2	4,5
GE	10,8	9,0
Zeolit	12,9	10,5

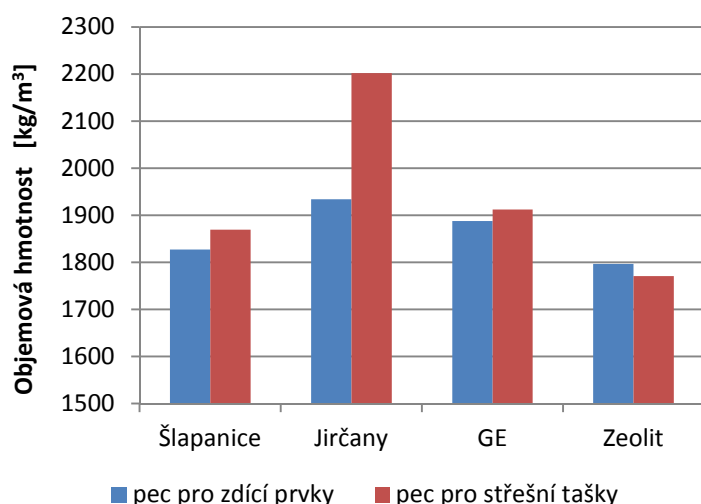
Graf 30: Nasákavost vzorků u testovaných směsí v závislosti na zvolené peci.

V případě výpalu vzorků v peci, určené pro výpal zdících prvků, dosahovaly největší nasákavosti vzorky směsi Šlapanice. Nejmenší nasákavost vykazovaly vzorky směsi GE.

Vzorky vypálené na vyšší teplotu, v peci určené pro výpal střešních tašek, měly hodnoty nasákavosti nižší. Nejvyšší hodnoty nasákavosti měly vzorky vyrobené ze směsi Šlapanice a nejnižší ze směsi Jirčany.

Pro srovnání byly v obou pecích vypáleny i střešní tašky TONDACH (Brněnka 14, režná) a byla u nich změřena nasákavost. Nasákavost střešních tašek vypálených v peci, určené pro výpal zdících prvků, byla 12,5 % (laboratorně, ručně připravené vzorky měly 13,4 %) a při výpalu v peci určené pro výpal střešních tašek, měly 11,23 % (laboratorní vzorky 11,7 %).

4.5.3.4 Objemová hmotnost



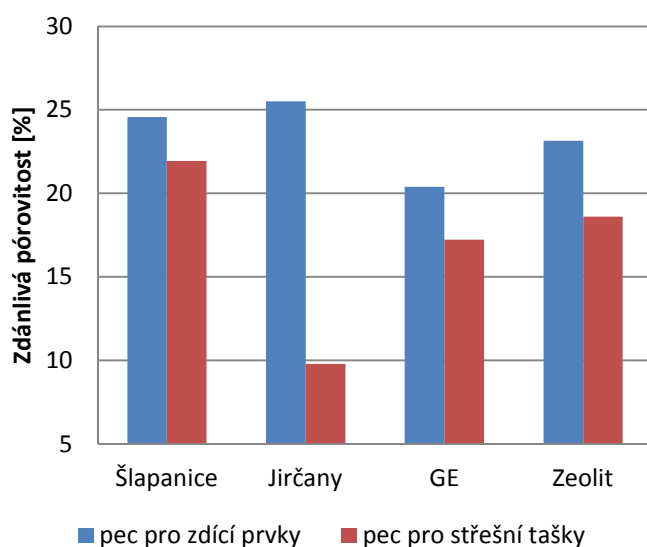
Tab. 20: Objemová hmotnost vzorků u testovaných směsí v závislosti na zvolené peci [kg/m³]

vzorek	Pec pro zdící prvky	Pec pro střešní tašky
Šlapanice	1827	1869
Jirčany	1934	2202
GE	1888	1912
Zeolit	1797	1771

Graf 31: Objemová hmotnost vzorků u testovaných směsí v závislosti na zvolené peci.

V případě tunelové pece pro výpal zdících prvků i pece pro výpal střešních tašek měly největší objemovou hmotnost vzorky vyrobené ze směsi Jirčany. Nejmenší objemovou hmotnost vykazovaly vzorky s přidavkem zeolitu.

4.5.3.5 Zdánlivá pórovitost



Tab. 21: Zdánlivá pórovitost vzorků u testovaných směsí v závislosti na zvolené peci [%]

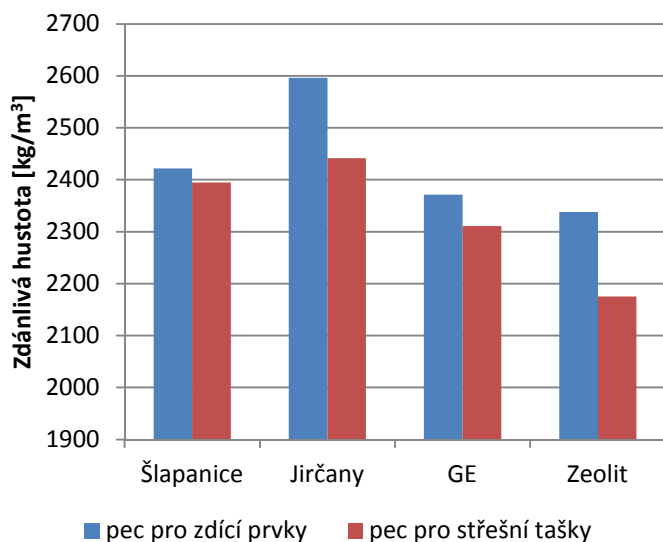
vzorek	Pec pro zdící prvky	Pec pro střešní tašky
Šlapanice	24,57	21,94
Jirčany	25,50	9,80
GE	20,39	17,24
Zeolit	23,15	18,60

Graf 32: Zdánlivá pórovitost vzorků u testovaných směsí v závislosti na zvolené peci.

Ze vzorků, vypálených v peci určené pro výpal zdících prvků, měly největší zdánlivou pórovitost vzorky ze směsi Jirčany. Naopak nejnížší zdánlivou pórovitost měly vzorky vyrobené ze směsi GE. V případě vzorků, vypálených v peci určené pro výpal střešních

tašek, měly největší zdánlivou pórovitost vzorky vyrobené ze směsi Šlapanice a nejnižší vzorky Jirčany.

4.5.3.6 Zdánlivá hustota



Tab. 22: Zdánlivá hustota vzorků u testovaných směsí v závislosti na zvolené peci [kg/m³]

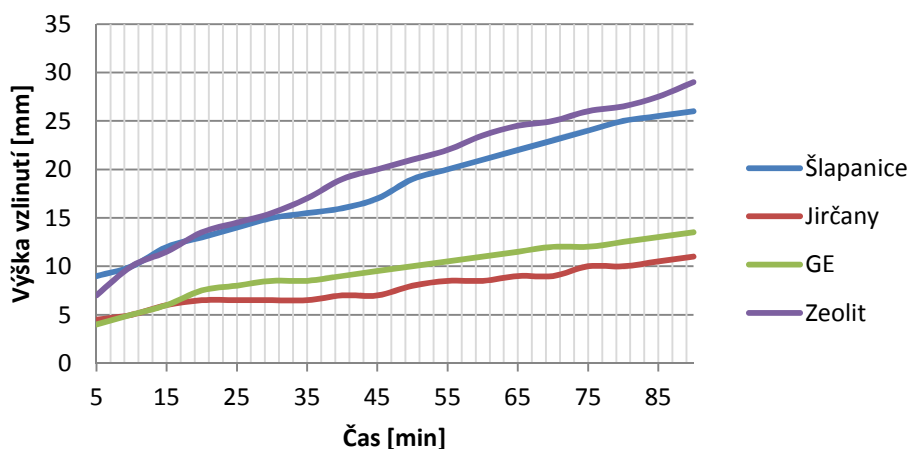
vzorek	Pec pro zdící prvky	Pec pro střešní tašky
Šlapanice	2422	2395
Jirčany	2596	2441
GE	2371	2311
Zeolit	2338	2175

Graf 33: Zdánlivá hustota vzorků u testovaných směsí v závislosti na zvolené peci.

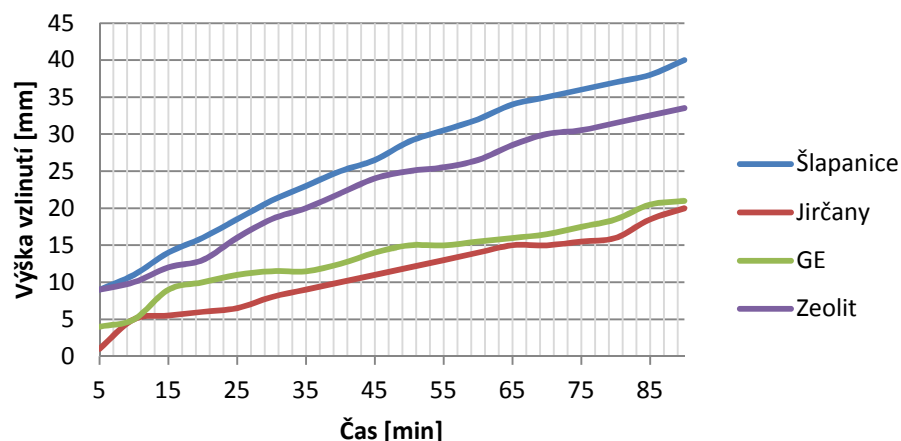
V obou případech výpalu v různých pecích vykazovaly vzorky připravené ze směsi Jirčany nejvyšší zdánlivé hustoty. Nejnižší zdánlivou hustotu měly vzorky směsi Zeolit.

4.5.3.7 Vztlínavost

Vztlínavost patří mezi velmi důležitá kritéria pro hodnocení vhodnosti směsi pro výrobu pálených střešních tašek. Naměřené hodnoty vztlínivosti jsou vyneseny v grafech 34 a 35.



Graf 34: Vztlínivost vzorků vypálených v peci určené pro výpal zdících prvků TONDACH Šlapanice.



Graf 35: Vzlínávanost vzorků vypálených v peci určené pro výpal střešních tašek TONDACH Šlapanice.

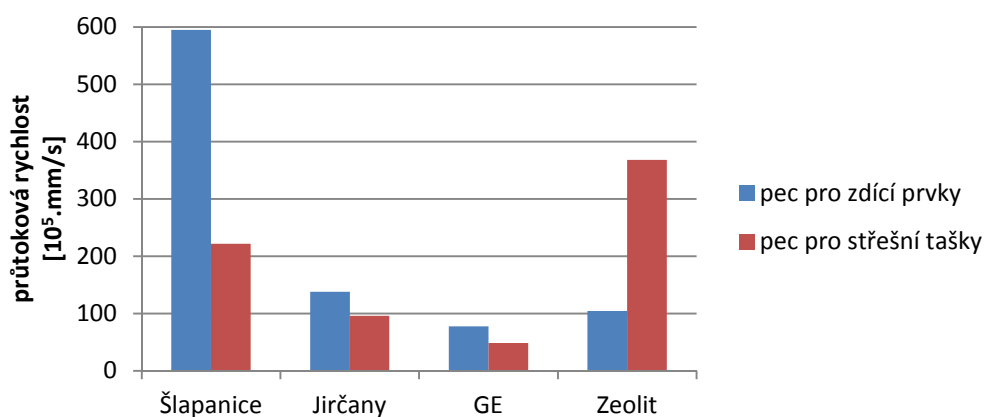
Vzorky, vypálené v peci určené pro výpal zdících prvků, vykazovaly nižší výšku vzlinutí, oproti vzorkům vypáleným v peci určené pro výpal střešních tašek.

Nejvyššího vzlinutí za 90 minut dosahovaly vzorky směsi Šlapanice a Zeolit, nejnižší výšku vzlinutí měla směs Jirčany.

Velká výška vzlinutí u vzorků vyrobených ze směsi Zeolit, zejména u výpalu na nižší teplotu – v peci určené pro výpal zdících prvků (820 °C), je patrně způsobena vlivem mikroporézní struktury zeolitu. Naopak při této nižší teplotě výpalu dobře funguje jíl GE, který má nízkou teplotu slinutí a vytváří tedy, i v případě této nižší teploty, velmi hutný střeš.

Podle Matějky činí mezní hodnota vzlinutí 50 mm za 90 minut. Toto kritérium splňují všechny vzorky. Z hlediska vzlínávanosti jsou tedy navržené směsi GE a Zeolit vhodné pro výrobu střešních tašek.

4.5.3.8 Prosákavost



Graf 36: Průtoková rychlost vzorků u testovaných směsí v závislosti na zvolené peci.

Naměřené a vypočtené hodnoty jsou uvedeny v grafu č. 36 a tabulkách 23 a 24 (tučně jsou v tabulkách vyznačeny vzorky, které vyhověly zkoušce prosákavosti dle kritéria neprosáknutí minimálně 2 hodiny).

Tab. 23: Prosákavost vzorků vypálených v peci určené pro výpal střešních tašek

vzorek	měřená doba průsaku [s]	vypočtená průtoková rychlost [mm/s]	výška vzlinutí za 90 min [mm]
Šlapanice	6420	0,00222	40
Jirčany	14520	0,00096	20
GE	28920	0,00048	21
Zeolit	3780	0,00368	33,5

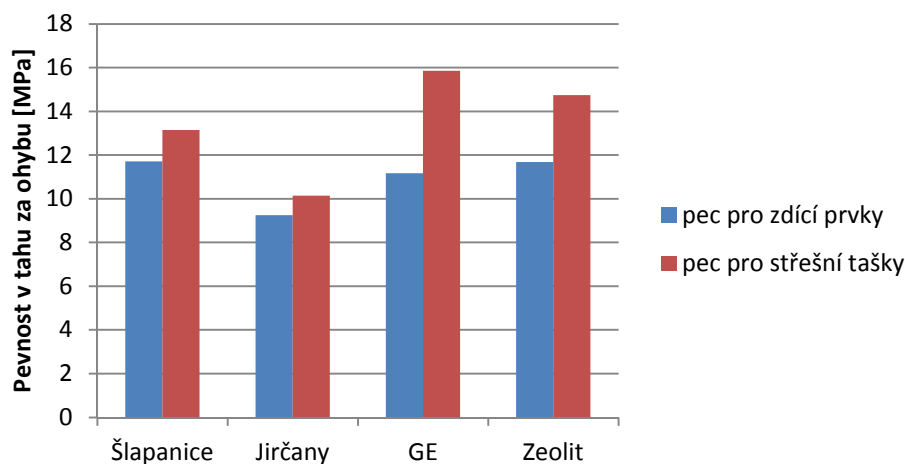
Tab. 24: Prosákavost vzorků vypálených v peci určené pro výpal zdících prvků

vzorek	měřená doba průsaku [s]	vypočtená průtoková rychlost [mm/s]	výška vzlinutí za 90 min [mm]
Šlapanice	2400	0,00595	26
Jirčany	10080	0,00138	11
GE	18360	0,00077	13,5
Zeolit	13560	0,00104	29

Nejnižší prosákavosti vykazovaly vzorky vyrobené ze směsi GE. U všech směsí, kromě směsi Zeolit, měly vzorky vypáleny v peci určené pro výpal zdících prvků větší prosákavost nežli vzorky vypáleny v peci určené pro výpal střešních tašek.

V případě směsi Zeolit dosahovaly nižší prosákavosti vzorky vypálené v peci určené pro výpal zdících prvků.

4.5.3.9 Pevnost v tahu za ohybu



Graf 37: Pevnosti v tahu za ohybu vzorků u testovaných směsí v závislosti na zvolené peci.

Vzorky vypálené v peci určené pro výpal střešních tašek dosahovaly obecně vyšších pevností než vzorky vypálené v peci určené pro výpal zdících prvků. V případě pece s nižší maximální teplotou výpalu měly nejvyšší hodnoty pevnosti v tahu za ohybu vzorky směsi Šlapanice a Zeolit. V peci určené pro výpal střešních tašek, tedy v peci s vyšší maximální teplotou, dosahovaly nejvyšších pevností v tahu za ohybu vzorky směsi GE.

4.5.3.10 Výkvětovost



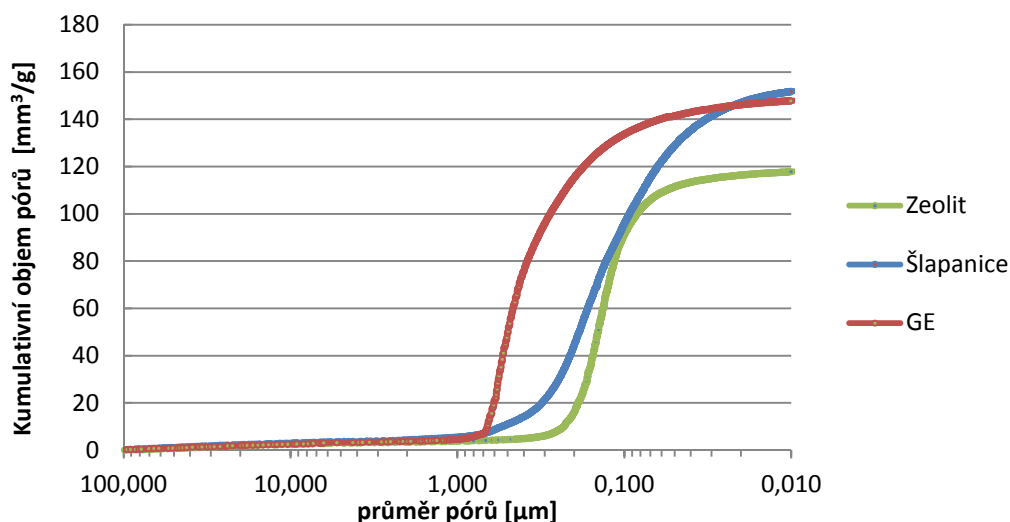
Obr. 46: Výkvětovost vzorků jednotlivých směsí v závislosti na použité peci.

Nízká výkvětovost byla patrná na vzorku směsi Jirčany, který byl vypálen v peci určené k výpalu zdících prvků, tedy s nižší vypalovací teplotou. Obecně byla výkvětovost všech vzorků, zejména těch, vypálených na vyšší vypalovací teplotu, nízká.

4.5.3.11 Distribuce pórů

Parametry distribuce pórů byly zjišťovány na vzorcích, které byly již dříve podrobeny jiným zkouškám, došlo mimo jiné i k jejich nasáknutí vodou. Výsledné hodnoty jsou proto ovlivněny z důvodu tohoto dřívějšího máčení vzorků. Jak bylo zjištěno [25], máčené vzorky dosahují, oproti vzorkům nemáčeným, v případě vápenaté zeminy podstatně

nižšího objemu pórů a nižšího mediánu poloměru pórů, zejména u nižších vypalovacích teplot, oproti vzorkům nemáčeným.



Graf 38: Křivka distribuce velikosti pórů v závislosti na použité směsi na vzorcích vypálených v peci určené pro výpal zdících prvků.

Vzorky, které byly vypáleny v peci určené pro výpal zdících prvků, tedy v peci s nižší maximální teplotou, dosahovaly menších hodnot objemu pórů a mediánu poloměru pórů oproti ekvivalentním vzorkům vypálených v peci pro výpal střešních tašek. Menší objem pórů při této nižší teplotě je pravděpodobně způsoben zatažením střepu³ v případě použité vápenaté zeminy.

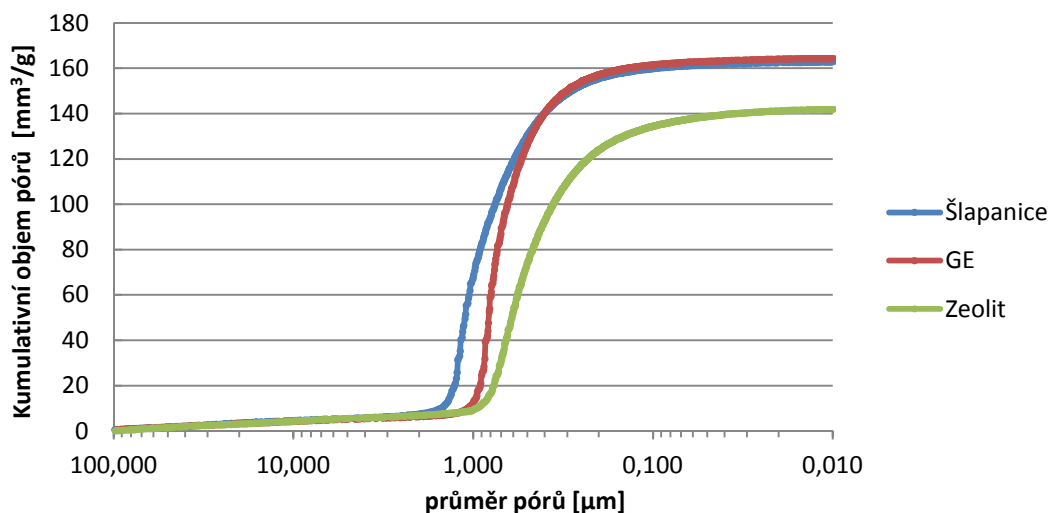
Tab. 25: Zjištěný objem pórů a medián poloměru pórů jednotlivých směsí vypálených v peci určené pro výpal zdících prvků

820 °C	Objem pórů [mm ³ /g]	Medián poloměru póru [μm]
směs		
Referenční	152	0,069
Zeolit	118	0,068
GE	148	0,206

Nejnižšího objemu pórů dosahovaly vzorky směsi Zeolit. Vlivem máčení vzorků patrně hydratoval volný CaO ve vápenaté zemině a vyplnil mikrostrukturu vytvořenou zeolitem.

³ Hydratace volného oxidu vápenatého ve střepu při současném zvětšení objemu a uzavření kapilárních pórů [24].

Tento jev měl pravděpodobně za následek i změnu dalších vlastností, které jsou popisované v následujících kapitolách (zvýšení objemové hmotnosti vzorků směsi Zeolit po zmrazování a snížení vztlakovosti po zmrazování vlivem utěsnění struktury).



Graf 39: Křivka distribuce velikosti pórů v závislosti na použité směsi na vzorcích vypálených v peci určené pro výpal střešních tašek.

Vzorky vypálené v peci určené pro výpal střešních tašek dosahovaly vyššího objemu pórů a vyššího mediánu poloměru pórů oproti vzorkům vypáleným v peci určené pro výpal zdících prvků, tedy oproti peci s nižší vypalovací teplotou. Zvýšení objemu pórů je způsobeno pravděpodobně vyšší teplotou, která měla za následek, v případě použité dané vápenaté zeminy, rozklad obsažených uhličitánů.

Tab. 26: Zjištěný objem pórů a medián poloměru pórů jednotlivých směsí vypálených v peci určené pro výpal střešních tašek

1020 °C	Objem pórů [mm ³ /g]	Medián poloměru póru [μm]
směs		
Referenční	163	0,452
Zeolit	142	0,258
GE	164	0,427

Vzorky vypálené v peci určené pro výpal střešních tašek, tedy v peci s vyšší maximální teplotou, dosahovaly vyšších hodnot mediánu poloměru pórů oproti vzorkům vypálených v peci určené pro výpal zdících prvků, tedy v peci s nižší maximální teplotou. S rostoucí teplotou výpalu byl naměřen růst mediánu poloměru pórů. Vzorky s vyšším mediánem

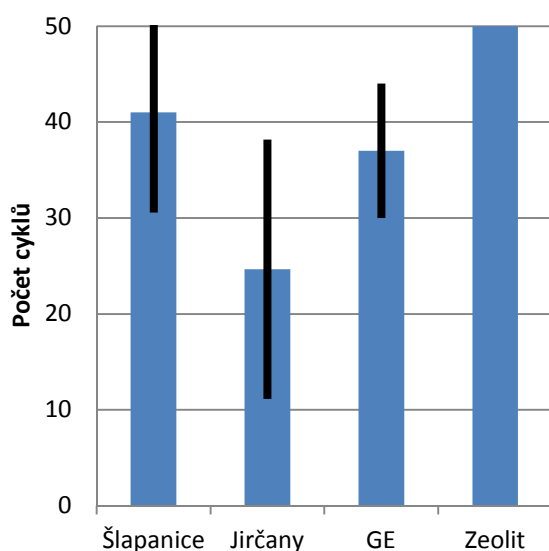
poloměru pórů dosahovaly vyšší odolnosti proti působení mrazu. Z důvodu dřívějšího máčení v kombinaci s vápenatou surovinou a malého počtu testovaných vzorků však nelze vyvodit z daných naměřených hodnot jasnou závislost mezi mediánem poloměru pórů, objemem pórů a výslednou mrazuvzdorností.

4.5.3.12 Účinek zmrazovacích cyklů

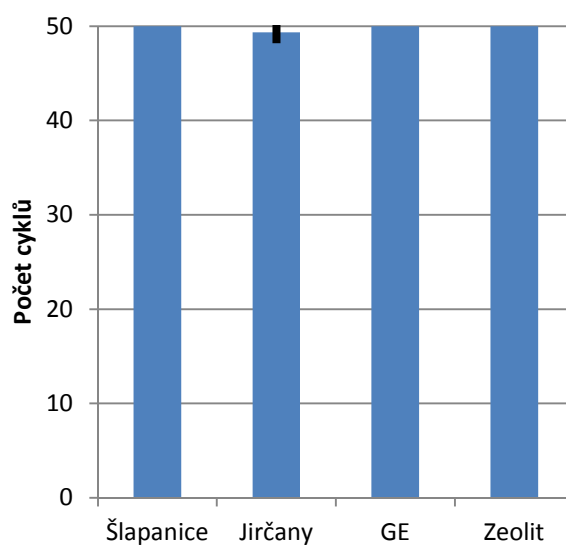
Po 50 cyklech, provedených dle ČSN 72 1565-14, byl vyhodnocen účinek zmrazovacích cyklů na jednotlivé série vzorků.

Vzorky vypálené v peci určené pro výpal střešních tašek obecně odolávaly lépe působícím zmrazovacím cyklům nežli vzorky vypálené v peci určené pro výpal zdících prvků (průměrnou výdrž cyklů se směrodatnou odchylkou zobrazuje graf 40 a 41.).

Výjimku tvoří směs Zeolit, jejíž série jako jediná vypálená na nižší teplotu odolala všem 50 cyklům.



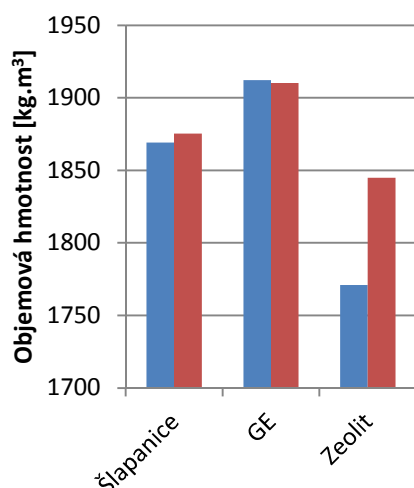
Graf 40: Průměrná výdrž zmrazovaných vzorků jednotlivých směsí vypálených v peci určené pro výpal zdících prvků.



Graf 41: Průměrná výdrž zmrazovaných vzorků jednotlivých směsí vypálených v peci určené pro výpal střešních tašek.

4.5.3.12.1 Série vzorků vypálených v peci určené pro výpal střešních tašek

Ze sérií, na kterých proběhlo zmrazování, byly vybrány ty série, jejichž žádný vzorek nevykazoval nepřipustné vady a byly provedeny opětovné zkoušky objemové hmotnosti, nasákavosti, vzlínivosti a pevnosti v tahu za ohybu a bylo provedeno porovnání těchto sérií s hodnotami před zmrazováním. Naměřené a vypočtené hodnoty referenční směsi a směsí navržených u vzorků vypálených v peci určené pro výpal střešních tašek uvádějí následující grafy.

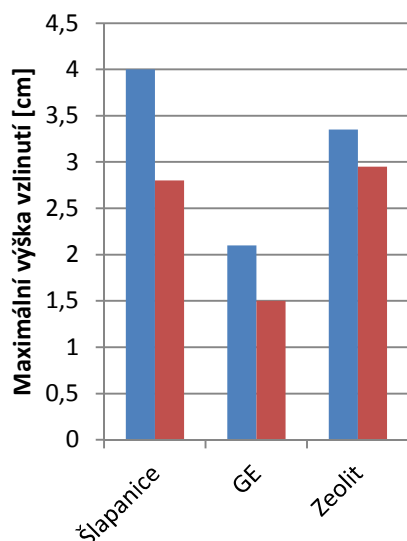


Graf 42: Změna objemové hmotnosti vzorků vypálených v peci určené pro výpal střešních tašek.

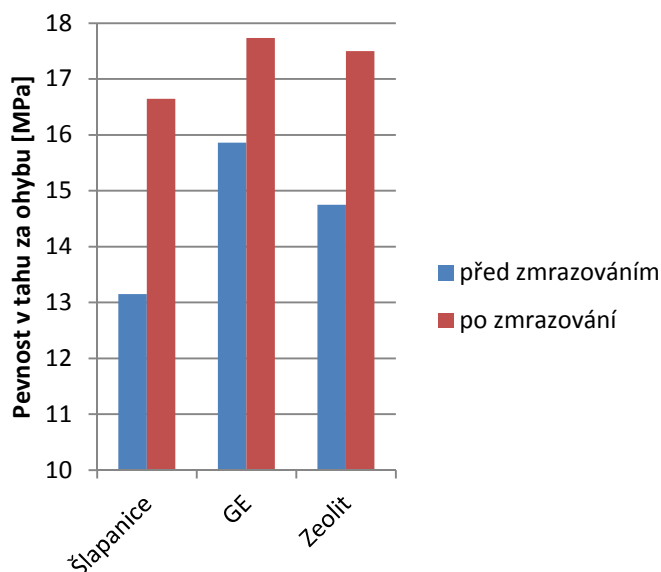


Graf 43: Změna nasákavosti vzorků vypálených v peci určené pro výpal střešních tašek.

Na vzorcích vystavených účinkům zmrazování se zvýšila objemová hmotnost, nasákavost a snížila se výška maximálního vzlinutí oproti vzorkům nezmrazovaným. Výjimku tvoří vzorky směsi GE, u kterých byl změřen po zmrazování malý úbytek objemové hmotnosti. Tyto nárůsty objemových hmotností a snížení vzlínivosti by mohly být způsobeny tzv. „zatažením střepu“. Tento jev byl popisován Matějkou [24] a je způsoben patrně hydratací volného oxidu vápenatého ve střepu při současném zvětšení objemu a uzavření kapilárních pórů. Tento proces nastává samozřejmě pouze v případě použití vápenaté cihlářské zeminy a při relativně nižší teplotě výpalu, kdy volné CaO vzniklé rozkladem vápence ještě netvoří stabilní sloučeniny anortitu a galenitu.



Graf 44: Změna maximální výšky vzlinutí vzorků vypálených v peci určené pro výpal střešních tašek.



Graf 45: Změna pevnosti v tahu za ohybu vzorků vypálených v peci určené pro výpal střešních tašek.

Vzorky všech směsí vykazovaly po dokončení 50 cyklů vyšší pevnosti v tahu za ohybu oproti vzorkům nezmrazovaným.

Jedenáctiprocentní náhrada Jirčanské suroviny jílem GE se ukázala v případě výpalu v peci určené pro výpal střešních tašek jako použitelná. Tyto vzorky vykazovaly stejnou odolnost proti zmrazovacím cyklům jako referenční směs Šlapanice, přičemž některé jejich vlastnosti se oproti této referenční směsi ukázaly jako ještě vhodnější (nižší nasákavost, vyšší objemová hmotnost a vyšší pevnost).

Vzorky směsi Zeolit odolaly 50 cyklům obdobně jako vzorky směsi Šlapanice. Z ekonomického hlediska je tedy tato varianta méně vhodná.

4.5.3.12.2 Série vzorků vypálených v peci určené pro výpal zdících prvků

Ze sérií vzorků, které byly vypáleny v peci určené pro výpal zdících prvků na maximální teplotu 820 °C, odolala všem 50 cyklům pouze série směsi Zeolit.



Obr. 47: Účinek zmrazovacích cyklů na vzorcích směsi Šlapanice (nahore) a Zeolit (dole) při výpalu na teplotu 820 °C.

Tyto vzorky vykazovaly po zmrazování také zvýšení objemové hmotnosti, ale na rozdíl od výše uvedených vzorků vypálených na vyšší teplotu v peci určené pro výpal střešních tašek, měly dokonce nižší nasákavost a jejich vzlínavost byla – na vzorcích, které byly vystaveny 50 zmrazovacím cyklům – v podstatě nulová (voda nevzlínala nad výšku vodní hladiny). Na vzorcích se po celou dobu cyklování neobjevila jediná vada a vizuálně, co se týče defektů, vzorky po zmrazování vypadaly totožně se vzorky před zmrazováním.

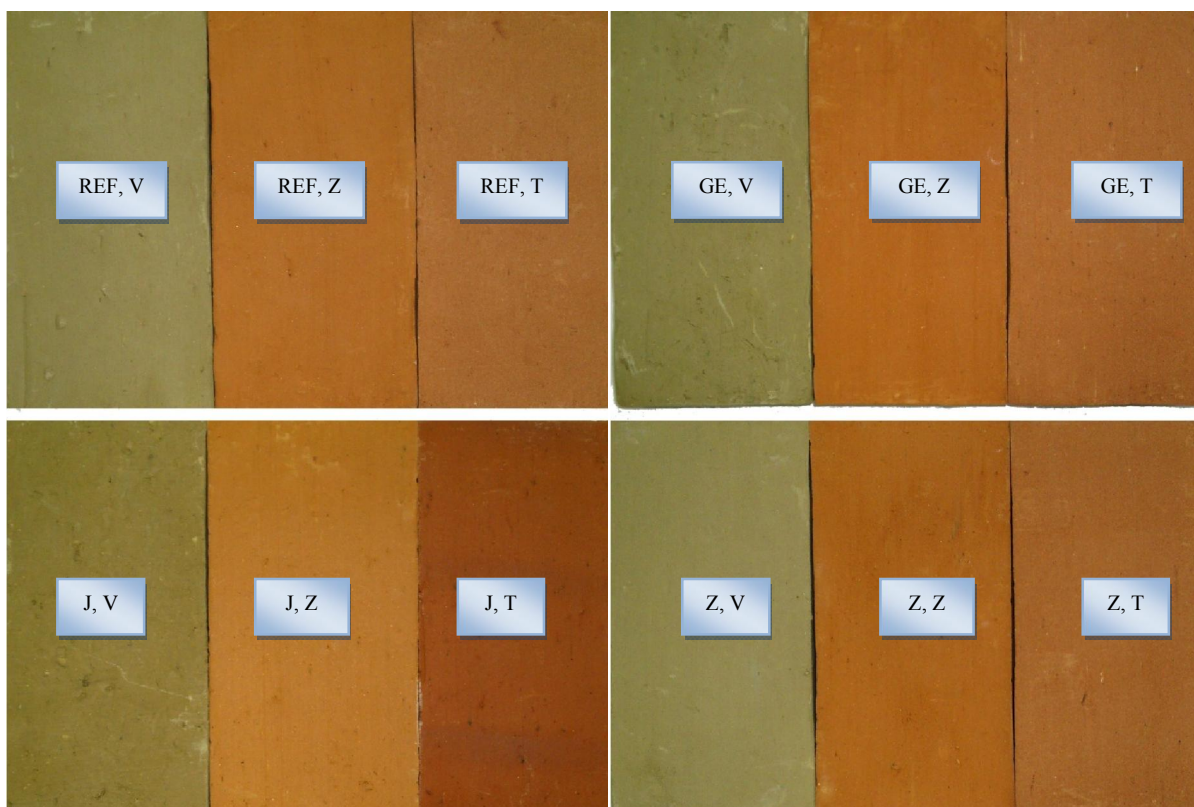
Vzorky směsi GE, které byly vypáleny v peci určené pro výpal zdících prvků, neodolaly všem 50 cyklům. Tyto vzorky však vydržely 25 cyklů, splnily tedy třídu mrazovzdornosti M25 dle ČSN 72 1564, kterou tato norma doporučuje pro všechny třídy cihlářských zemin.

V případě pece určené pro výpal zdících prvků se tedy ukázala jako použitelná varianta směs Zeolit která jako jediná ze série takto testovaných směsí, odolala všem 50 cyklům. Navíc na ní bylo po provedených cyklech zjištěno snížení nasákavosti (z 12,9 % na 11,4 %) a zvýšení objemové hmotnosti (z 1797 kg/m³ na 1853 kg/m³).

Desetiprocentní přídavek zeolitu do referenční Šlapanické směsi tedy umožňuje tyto výrobky pálit na teplotu nižší o 200 °C.

4.5.4 Barva střepe

Barva je důležité kritérium pro hodnocení střešních tašek, ačkoliv na funkci nemá vliv. Estetický dojem hraje důležitou roli pro zákazníka, který požaduje střešní tašku „tradičních“ červeno-hnědých barev.



Obr. 48: Barevnost vzorků, legenda:

první znaky: REF — referenční směs, J — směs Jirčany, GE — směs GE, Z — směs Zeolit;
druhé znaky: V — vysušený vzorek před výpalem, Z — vzorek vypálen v peci určené pro výpal
zdíček prvků v Šlapanicích, T — vzorek vypálen v peci určené pro výpal střešních tašek ve
Šlapanicích.

Výpalem vzorky získaly tradiční oranžovo-hnědou barvu. Vzorky vyrobené ze směsi Jirčany vypálené v peci určené pro výpal střešní krytiny byly o poznání tmavší, více sytější do červena než ostatní, jinak se ale vypálené ani vysušené vzorky od sebe barvou příliš nelišily.

Přihlédneme-li k požadavkům zákazníka, který, jak je obecně známo, žádá pálenou tašku tradičních červeno hnědých barev, lze konstatovat, že vzorky navržených směsí GE a Zeolit splňují toto kritérium.

4.6 Vyhodnocení předpokladu mrazuvzdornosti navržených úprav

4.6.1 Zvýšení mrazuvzdornosti úpravou technologie

V první části diplomové práce, ve které byl zkoumán vliv výdrže a vypalovací teploty na vlastnosti keramického střepe, bylo zjištěno, že v případě obou surovinových směsí, které byly vypáleny na nižší teplotu 820 °C, se vzrůstající dobou výdrže vzrůstala i odolnost proti mrazu. Vzorky vypálené na tuto teplotu však 50 zmrazovacích cyklů dle ČSN 72 1564 nevydržely, ovšem vzorky vyrobené ze směsi Šlapanice při této teplotě a delších dobách výdrže (4, 6 hodin) vydržely více než 40 zmrazovacích cyklů.

V případě nižší teploty výpalu má tedy doba výdrže zásadní vliv na odolnost proti mrazu a se vzrůstající dobou výdrže rostly i počty cyklů, jimž vzorky odolaly bez nepřipustných vad.

U teploty výpalu 1020 °C již doba výdrže neměla větší vliv na odolnost proti mrazu těchto vzorků a vzorky obou směsí vypálené na tuto teplotu s nejkratší zvolenou dobou výdrže (2 hodiny) odolaly všem 50 zmrazovacím cyklům dle ČSN 72 1564.

4.6.2 Zvýšení mrazuvzdornosti úpravou složení směsi

V druhé části diplomové práce, ve které byla modifikována surovinová směs, která se používá v cihelně TONDACH Šlapanice pro výrobu střešních tašek, jílem GE a Zeolity, bylo zjištěno, že z hlediska odolnosti proti mrazu jsou obě možnosti, které jsou v diplomové práci navrženy, aplikovatelné a funkční při výpalu v peci určené pro výpal střešních tašek.

4.6.2.1 Modifikace jílem GE

Varianta, ve které byla nahrazena Jirčanská korekční surovina jílem GE v peci určené pro výpal zdících prvků, nedosáhla z hlediska mrazuvzdornosti příznivějších výsledků, nežli ekvivalentní referenční směs. Naopak v peci určené pro výpal zdících prvků se už ukázala tato substituce jako rovnocenná, přičemž některé vlastnosti vykazovala oproti směsi referenční příznivější (vyšší objemová hmotnost, nižší nasákavost, nižší výška maximálního vzlinutí po provedených cyklech). Tyto vzorky vypálené v peci pro výpal střešních tašek již odolaly všem 50 cyklům dle ČSN 72 1564.

Náhrada jílem GE funguje tedy jen v peci určené pro výpal střešních tašek, ve zdící peci však splňuje směs třídu M25 dle ČSN 72 1564, kterou tato norma doporučuje pro všechny třídy cihlářských zemin.

4.6.2.2 Modifikace směsi zeolitem

Desetiprocentní přídavek zeolitů do původní směsi používané v cihelně TONDACH Šlapanice zásadně ovlivnil její vlastnosti. V diplomové práci bylo zjištěno, že tento 10% přídavek zeolitu do referenční Šlapanické směsi umožňuje tyto výrobky pálit na teplotu nižší o 200 °C při zachování stejné odolnosti proti mrazu oproti vzorkům referenčním, které jsou vypáleny v peci určené pro výpal střešních tašek, tedy s vyšší teplotou, a nadto zlepšení některých jejích vlastností – zejména vztlínivosti. Patrně vlivem mikrostruktury zeolitu v kombinaci s použitou vápenatou zeminou a z ní plynoucí vlastnosti „zatažení střepu“ tyto vzorky s přídavkem zeolitu vypáleny na nižší teplotu, tedy v peci určené pro výpal zdících prvků, dokonce nevykazovaly žádnou vztlínivost po provedených cyklech.

Směs s přídavkem zeolitu jako jediná z testovaných směsí, které byly vypáleny na nízkou teplotu – 820 °C – v peci určené pro výpal zdících prvků, odolala všem 50 cyklům dle ČSN 72 1564.

S jevem zatažení střepu⁴ u vápenaté suroviny patrně souvisí i obecně zvýšení objemové hmotnosti a snížení maximální výšky vztlínutí, které proběhlo u všech vzorků testovaných po proběhnutí zmrazovacích cyklů nezávisle na konkrétní směsi.

Přídavek zeolitu do původní směsi měl tedy, zejména při výpalu v peci určené pro výpal zdících prvků, za následek výrazné zvýšení mrazuvzdornosti vzorků a jeho aplikace také zlepšila další vlastnosti vypáleného a zmrazovaného střepu (zvýšení objemové hmotnosti, snížení nasákavosti a razantní snížení vztlínivosti po proběhnutých cyklech), způsobené pravděpodobně vlivem zatažení střepu u vápenaté zeminy v kombinaci s nižší vypalovací teplotou.

Vzorky s přídavkem zeolitu, které byly vypálené v peci určené pro výpal střešních tašek, dosahovaly také vysoké mrazuvzdornosti, k použití vyšší vypalovací teploty však není ekonomický důvod.

⁴ Hydratace volného oxidu vápenatého ve střepu při současném zvětšení objemu a uzavření kapilárních pórů [24].

Těchto 50 provedených cyklů nemělo na vzorcích směsi, do kterých byl přidán zeolit, ani vizuálně ani mechanicky devastační účinek a lze tedy předpokládat, že by tyto vzorky vydržely mnohem více dalších cyklů.

4.7 Ekonomické vyhodnocení navržených úprav

Navržené úpravy by měly za následek zvýšení ceny střešních tašek. Jednotlivé cenové srovnání použitých korekčních surovin je uvedeno v následujících odstavcích.

Jíl GE, který se těží v západních Čechách poblíž Sokolova, prodává firma LB MINERALS, s.r.o. v několika různých variantách (GEC, GEM, GEP). Cena všech těchto variant je, v případě čerstvě těženého, volně loženého jílu, 350 Kč/t a v případě sušeného, mletého jílu 1650 Kč/t.

Cena zeolitu se liší v závislosti na množství a požadované jemnosti částic a pohybuje se od 100–450 eur/t (2750–12350 Kč/t). K této ceně je samozřejmě nutno započítat dopravu na místo závodu. Od firmy ZEOCEM, a.s., která se nachází na východním Slovensku, je vzdálenost k hranicím s Českou republikou 340 km. Je ovšem nutno podotknout, že přídavek zeolitu by umožnil snížení vypalovací teploty výrobků o 200 °C.

5 Závěr

V první části diplomové práce byl zkoumán vliv délky výdrže a výše maximální vypalovací teploty na mrazuvzdornost vzorků.

U vzorků obou testovaných směsí vypálených na 820 °C bylo zjištěno, že s dobou výdrže roste i odolnost proti mrazu. Ovšem ani při maximální testované době výdrže, 6 hodin, vzorky nevydržely všech 50 cyklů dle ČSN 72 1564.

Na vyšší teplotě výpalu, 1020 °C, již vzorky odolaly 50 cyklům dle ČSN 72 1564 i při nejkratší době výdrže, 2 hodiny. Z hlediska maximální odolnosti proti působení mrazu při této vypalovací teplotě tedy stačí nejkratší z testovaných dob výdrže – 2 hodiny.

V druhé části diplomové práce byly navrženy dvě modifikace původní surovinové směsi, používané k výrobě střešních tašek TONDACH Šlapanice.

Z hlediska odolnosti proti mrazu jsou obě možnosti navržené v diplomové práci aplikovatelné a funkční při výpalu v peci určené pro výpal střešních tašek. Zvyšují mrazuvzdornost a zlepšují některé další vlastnosti výrobku oproti referenční směsi – větší pevnost v tahu za ohybu, nižší výška vzlinutí, omezení zvýšení nasákavosti – vlivem zmrazování.

Nejdůležitější poznatek byl učiněn u vzorků směsí, ve kterých byl přidáván zeolit a tyto vzorky byly páleny na nízké teploty – v peci určené pro výpal zdích prvků TONDACH Šlapanice – s maximální teplotou výpalu 820 °C. Bylo zjištěno, že tento 10% přídavek zeolitu do referenční Šlapanické směsi umožňuje tyto výrobky pálit na teplotu nižší o 200 °C při zachování stejné odolnosti proti mrazu oproti vzorkům referenčním, které jsou vypáleny v peci určené pro výpal střešních tašek s maximální teplotou výpalu 1020 °C, a nadto nabízí zlepšení některých vlastností – zejména snížení vzlinavosti po provedených cyklech, která je u těchto vzorků, patrně díky zatažení střepu, téměř nulová.

Obě navržené modifikace původních směsí dále zlepšují výkvětovost, snižují nasákavost a neovlivňují negativně barvu.

6 Seznam použitých zkratek a symbolů

<i>DS</i>	<i>délková změna sušením</i>
<i>DP</i>	<i>délková změna výpalem</i>
<i>ZP</i>	<i>ztráta hmotnosti výpalem</i>
<i>OH</i>	<i>objemová hmotnost</i>
<i>PZ</i>	<i>zdánlivá pórovitost</i>
<i>ZH</i>	<i>zdánlivá hustota</i>
<i>NV</i>	<i>nasákavost</i>
<i>CSB</i>	<i>citlivost k sušení podle Bigota</i>
<i>RTG</i>	<i>prášková rentgenová difrakce</i>
<i>DTA</i>	<i>diferenční termická analýza</i>
<i>TG</i>	<i>termogravimetrie</i>
w_k	<i>kritická vlhkost</i>

7 Seznam obrázků

<i>Obr. 1: Postup zamrzání vody v pórech v závislosti na jejich velikosti a venkovní teplotě [1].</i>	10
<i>Obr. 2: Vliv teploty výpalu a doby výdrže na mrazuvzdornost keramického střepu [7].</i>	13
<i>Obr. 3: Vliv teploty výpalu a doby výdrže na nasákavost varem [7].</i>	13
<i>Obr. 4: Vliv teploty výpalu na pevnosti v tahu za ohybu keramického střepu stanovené na vzorcích po ukončení zmrazovacích cyklů probíhajících při různých teplotách [8].</i>	14
<i>Obr. 5: Vliv vypalovací teploty na pevnosti v tahu za ohybu před a po zmrazovacích cyklech [8].</i>	14
<i>Obr. 6: Obrázky z rastrovacího elektronového mikroskopu leštěných řezů střešních tašek vypálených na různé teploty [9].</i>	14
<i>Obr. 7: Závislost mrazuvzdornosti keramického střepu na objemu pórů [mm^3/g] [10].</i>	15
<i>Obr. 8: Závislost objemu pórů na počtu zmrazovacích cyklů a teplotě výpalu [11].</i>	15
<i>Obr. 9: Závislost mediánu poloměru pórů na počtu zmrazovacích cyklů a teplotě výpalu [11].</i>	15
<i>Obr. 10: Závislost objemu pórů a mediánu poloměru póru na vypalovací teplotě u kaolinitických jílu [12].</i>	16
<i>Obr. 11: Závislost objemu pórů a mediánu poloměru póru na vypalovací teplotě u illito-kaolinitických jílu [12].</i>	16
<i>Obr. 12: Závislost objemu pórů a mediánu poloměru póru na vypalovací teplotě u smíšených jílu, obsahujících bobtnavé jílové minerály [12].</i>	16
<i>Obr. 13: Závislost objemu pórů a mediánu poloměru póru na vypalovací teplotě u jílu, obsahujících karbonáty (kalcit a dolomit) [12].</i>	16
<i>Obr. 14: Obrázky z rastrovacího elektronového mikroskopu leštěných řezů střešních tašek, vypálených na 970 °C (a) před započítáním zmrazování, (b) po 200 zmrazovacích cyklech [9].</i>	16
<i>Obr. 15: Typický průběh délkových změn vodou nasycených vzorků při zmrazování a rozmrazování.</i>	17
<i>Obr. 16: Nárůst nevratné expanze keramického střepu vlivem narůstajících zmrazovacích cyklů.</i>	17
<i>Obr. 17: Závislost nasákavosti na teplotě výpalu referenčních vzorků (R) a vzorků s přidavkem boritanů (RB, RV) [14].</i>	18
<i>Obr. 18: Závislost pevnosti v tahu za ohybu na teplotě výpalu referenčních vzorků (R) a vzorků s přidavkem boritanů (RB, RV) [14].</i>	18
<i>Obr. 19: Obrázky z elektronového mikroskopu, změna struktury vzorku bez přidání boritanů (vlevo) a s přidáním boritanů (vpravo), vypálených na 1000 °C [14].</i>	18
<i>Obr. 20: Vliv dávky přísady Antika na mrazuvzdornost keramického střepu při různých vypalovacích teplotách [16].</i>	19
<i>Obr. 21: Schéma praktické části diplomové práce.</i>	20
<i>Obr. 22: Objemová hmotnost a medián poloměru pórů vzorků bez použití zeolitů (without ingredients) a s použitím 10 % zeolitů (Z 10 %) od firmy ZEOCEM Bystré [19].</i>	22
<i>Obr. 23: Barva samotného jílu GE po výpalu na různé teploty [20].</i>	23
<i>Obr. 24: Schéma Pfeifferkornova deformačního přístroje.</i>	24
<i>Obr. 25: Bigotova křivka.</i>	26
<i>Obr. 26: Schéma pro měření odporu rubu střepu při zkoušce prosákavosti (l, b jsou rozměry vzorku).</i>	29
<i>Obr. 27: RTG Spraš – Šlapanice [21].</i>	33
<i>Obr. 28: DTA Spraš – Šlapanice [21].</i>	34
<i>Obr. 29: RTG Jíl – Šlapanice [21].</i>	34
<i>Obr. 30: DTA Jíl – Šlapanice [21].</i>	35
<i>Obr. 31: RTG – Zemina Jirčany [21].</i>	35
<i>Obr. 32: DTA – Zemina Jirčany [21].</i>	36
<i>Obr. 33: RTG – Jíl B1 [20].</i>	37
<i>Obr. 34: Simultánní TG-DTA – jíl B1 [20].</i>	37
<i>Obr. 35: Aktuální ložisko jílu GE, fotografie: Ing. Radek Černý.</i>	38
<i>Obr. 36: RTG – Jíl GE [20].</i>	39
<i>Obr. 37: Simultánní TG-DTA – Jíl GE [20].</i>	39

<i>Obr. 38: Používaná technologická linka, kolový a válcový mlýn.....</i>	<i>42</i>
<i>Obr. 39: Forma na vytváření laboratorních vzorků.....</i>	<i>42</i>
<i>Obr. 40: Bigotova křivka směsi Šlapanice.....</i>	<i>43</i>
<i>Obr. 41: Bigotova křivka směsi Jirčany.....</i>	<i>43</i>
<i>Obr. 42: Bigotova křivka směsi GE.....</i>	<i>44</i>
<i>Obr. 43: Bigotova křivka směsi Zeolit.....</i>	<i>44</i>
<i>Obr. 44: Výkvětotvornost vzorků směsi Šlapanice.....</i>	<i>55</i>
<i>Obr. 45: Výkvětotvornost vzorků směsi Jirčany.....</i>	<i>55</i>
<i>Obr. 46: Výkvětotvornost vzorků jednotlivých směsí v závislosti na použité peci.....</i>	<i>69</i>
<i>Obr. 47: Účinek zmrazovacích cyklů na vzorcích směsi Šlapanice (nahore) a Zeolit (dole) při výpalu na teplotu 820 °C.....</i>	<i>75</i>
<i>Obr. 48: Barevnost vzorků, legenda:</i>	<i>76</i>

8 Seznam tabulek

Tab. 1: Vyhodnocení citlivosti k sušení.	26
Tab. 2: Vyhodnocení změn vzhledu zkušebních trámečků.	31
Tab. 3: Složení směsi Šlapanice.	36
Tab. 4: Složení směsi Jirčany.	37
Tab. 5: Složení směsi GE.	40
Tab. 6: Mineralogické a chemické složení produktu Zeobau.	40
Tab. 7: Označení směsí.	41
Tab. 8: Naměřené a vypočtené hodnoty CSB a smrštění sušením.	45
Tab. 9: Hodnoty smrštění sušením v závislosti na teplotě výpalu a doby výdrže [%].	46
Tab. 10: Hodnoty ztráty hmotnosti pálením v závislosti na teplotě výpalu a doby výdrže [%].	46
Tab. 11: Nasákavost v závislosti na teplotě výpalu a doby výdrže [%].	47
Tab. 12: Objemová hmotnost v závislosti na teplotě výpalu a doby výdrže [kg/m ³].	48
Tab. 13: Zdánlivá pórovitost v závislosti na teplotě výpalu a doby výdrže [%].	49
Tab. 14: Zdánlivá hustota v závislosti na teplotě výpalu a doby výdrže [%].	50
Tab. 15: Naměřené doby průsaku a vypočtené průtokové rychlosti.	54
Tab. 16: Pevnost v tahu za ohybu v závislosti na teplotě výpalu a doby výdrže [MPa].	56
Tab. 17: Smrštění výpalem vzorků u testovaných směsí v závislosti na zvolené peci [%].	62
Tab. 18: Ztráta hmotnosti pálením vzorků testovaných směsí v závislosti na zvolené peci [%].	62
Tab. 19: Nasákavost vzorků u testovaných směsí v závislosti na zvolené peci [%].	63
Tab. 20: Objemová hmotnost vzorků u testovaných směsí v závislosti na zvolené peci [kg/m ³].	64
Tab. 21: Zdánlivá pórovitost vzorků u testovaných směsí v závislosti na zvolené peci [%].	64
Tab. 22: Zdánlivá hustota vzorků u testovaných směsí v závislosti na zvolené peci [kg/m ³].	65
Tab. 23: Prosákavost vzorků vypálených v peci určené pro výpal střešních tašek.	67
Tab. 24: Prosákavost vzorků vypálených v peci určené pro výpal zdících prvků.	67
Tab. 25: Zjištěný objem pórů a medián poloměru pórů jednotlivých směsí vypálených v peci určené pro výpal zdících prvků.	70
Tab. 26: Zjištěný objem pórů a medián poloměru pórů jednotlivých směsí vypálených v peci určené pro výpal střešních tašek.	71

9 Seznam grafů

Graf 1: Citlivost k sušení dle Bigota.	45
Graf 2: Smrštění sušením.	45
Graf 3: Nasákavost vzorků při teplotě výpalu 820 °C v závislosti na době výdrže.	47
Graf 4: Nasákavost vzorků při teplotě výpalu 1020 °C v závislosti na době výdrže.	47
Graf 5: Objemová hmotnost vzorků při teplotě výpalu 820 °C v závislosti na době výdrže.	48
Graf 6: Objemová hmotnost vzorků při teplotě výpalu 1020 °C v závislosti na době výdrže.	48
Graf 7: Zdánlivá pórovitost vzorků při teplotě výpalu 820 °C v závislosti na době výdrže.	49
Graf 8: Zdánlivá pórovitost vzorků při teplotě výpalu 1020 °C v závislosti na době výdrže.	49
Graf 9: Zdánlivá hustota vzorků při teplotě výpalu 820 °C v závislosti na době výdrže.	50
Graf 10: Zdánlivá hustota vzorků při teplotě výpalu 1020 °C v závislosti na době výdrže.	50
Graf 11: Vzlínavost vzorků směsi Šlapanice vypálené na teplotu 820 °C v závislosti na různé době výdrže.	51
Graf 12: Vzlínavost vzorků směsi Šlapanice vypálené na teplotu 1020 °C v závislosti na různé době výdrže.	51
Graf 13: Vzlínavost vzorků směsi Jirčany vypálené na teplotu 820 °C v závislosti na různé době výdrže.	52
Graf 14: Vzlínavost vzorků směsi Jirčany vypálené na teplotu 1020 °C v závislosti na různé době výdrže.	52
Graf 15: Prosákavost vzorků při teplotě výpalu 820 °C v závislosti na době výdrže.	53
Graf 16: Prosákavost vzorků při teplotě výpalu 1020 °C v závislosti na době výdrže.	53
Graf 17: Pevnost v tahu za ohybu vzorků při teplotě výpalu 820 °C v závislosti na době výdrže.	56
Graf 18: Pevnost v tahu za ohybu vzorků při teplotě výpalu 1020 °C v závislosti na době výdrže.	56
Graf 19: Průměrná výdrž zmrazovaných vzorků směsi Šlapanice v závislosti na vypalovací teplotě a době výdrže.	57
Graf 20: Průměrná výdrž zmrazovaných vzorků směsi Jirčany v závislosti na vypalovací teplotě a době výdrže.	57
Graf 21: Porovnání pevností v tahu za ohybu sérií, jejichž všechny vzorky nevykazovaly po dokončení cyklování nepřípustné vady.	58
Graf 22: Objemová hmotnost vzorků směsi Šlapanice vypálených na 1020 °C v závislosti na době výdrže před a po zmrazování.	59
Graf 23: Nasákavost hmotnost vzorků směsi Šlapanice vypálených na 1020 °C, v závislosti na době výdrže před a po zmrazování.	59
Graf 24: Maximální výška vzlinutí po 90 minutách vzorků směsi Šlapanice, vypálených na 1020 °C, v závislosti na době výdrže, před a po zmrazování.	59
Graf 25: Maximální výška vzlinutí po 90 minutách vzorků směsi Jirčany, vypálených na 1020 °C, v závislosti na době výdrže, před a po zmrazování.	59
Graf 26: Objemová hmotnost vzorků směsi Jirčany, vypálených na 1020 °C, v závislosti na době výdrže, před a po zmrazování.	60
Graf 27: Nasákavost hmotnost vzorků směsi Šlapanice, vypálených na 1020 °C, v závislosti na době výdrže, před a po zmrazování.	60
Graf 28: Smrštění výpalem vzorků u testovaných směsí v závislosti na zvolené peci.	62
Graf 29: Ztráta hmotnosti pálením vzorků u testovaných směsí v závislosti na zvolené peci.	62
Graf 30: Nasákavost vzorků u testovaných směsí v závislosti na zvolené peci.	63
Graf 31: Objemová hmotnost vzorků u testovaných směsí v závislosti na zvolené peci.	64
Graf 32: Zdánlivá pórovitost vzorků u testovaných směsí v závislosti na zvolené peci.	64
Graf 33: Zdánlivá hustota vzorků u testovaných směsí v závislosti na zvolené peci.	65
Graf 34: Vzlínavost vzorků vypálených v peci určené pro výpal zdících prvků TONDACH Šlapanice.	65
Graf 35: Vzlínavost vzorků vypálených v peci určené pro výpal střešních tašek TONDACH Šlapanice.	66
Graf 36: Průtoková rychlost vzorků u testovaných směsí v závislosti na zvolené peci.	67
Graf 37: Pevnosti v tahu za ohybu vzorků u testovaných směsí v závislosti na zvolené peci.	68
Graf 38: Křivka distribuce velikosti pórů v závislosti na použité směsi na vzorcích vypálených v peci určené pro výpal zdících prvků.	70

<i>Graf 39: Křivka distribuce velikosti pórů v závislosti na použité směsi na vzorcích vypálených v peci určené pro výpal střešních tašek.</i>	<i>71</i>
<i>Graf 40: Průměrná výdrž zmrazovaných vzorků jednotlivých směsí vypálených v peci určené pro výpal zdích prvků.</i>	<i>72</i>
<i>Graf 41: Průměrná výdrž zmrazovaných vzorků jednotlivých směsí vypálených v peci určené pro výpal střešních tašek.</i>	<i>72</i>
<i>Graf 42: Změna objemové hmotnosti vzorků vypálených v peci určené pro výpal střešních tašek.</i>	<i>73</i>
<i>Graf 43: Změna nasákavosti vzorků vypálených v peci určené pro výpal střešních tašek.</i>	<i>73</i>
<i>Graf 44: Změna maximální výšky vzlinutí vzorků vypálených v peci určené pro výpal střešních tašek.</i>	<i>74</i>
<i>Graf 45: Změna pevnosti v tahu za ohybu vzorků vypálených v peci určené pro výpal střešních tašek.</i>	<i>74</i>

10 Seznam použitých zdrojů

- [1] Vady keramických fasád způsobené mrazem. SOKOLÁŘ, Radomír. [online]. [cit. 2014-01-10]. Dostupné z: <http://www.asb-portal.cz/stavebnictvi/rekonstrukce-staveb/vady-keramickych-fasad-zpusobene-mrazem-1067.html>
- [2] MAČIULAITIS, Romualdas a Asta KIČAITĖ. Peculiarities of Destruction Mechanism in Ceramic Products under Simulated Exploitation Conditions. *MATERIALS SCIENCE (MEDŽIAGOTYRA)*. 2006, roč. 12, č. 4. ISSN 1392–1320.
- [3] ČSN 72 2682. *Taška tažená obyčejná - bobrovka (TO)*. Praha: Úřad pro normalizaci a měření, 1981.
- [4] ČSN EN 539-2: *Pálené střešní tašky pro skládané krytiny. Stanovení fyzikálních charakteristik – Část 2: zkouška mrazuvzdornosti*. Brusel: Evropský výbor pro normalizaci, 1999.
- [5] PYTLÍK, Petr. *Cihlářství*. Brno: Akademické nakladatelství CERM, 1995, 264 s. ISBN 80-214-0612-7.
- [6] SOKOLÁŘ, Radomír. *Pálená střešní krytina dříve a dnes*. VUT Brno, 2003.
- [7] ŠVEDA, M. Vplyv vypalovacej teploty a doby výdrže na mrazuvzdornosť pálenej krytiny, *Silika*, 2004, roč. 14, č. 3-4, s. 85-91.
- [8] IKEDA, Kiyohiko, Hyung-Sun KIM, Koichi KAIZU a Atsushi HIGASHI. Influence of firing temperature on frost resistance of roofing tiles. *Journal of the European Ceramic Society*. 2004, roč. 24, č. 14, s. 3671-3677. ISSN 09552219. DOI: 10.1016/j.jeurceramsoc.2003.12.014.
- [9] *Frost resistance of clay roofing tiles: Case study Vilma DucmanCeramics International 37 (2011) 85–91*
- [10] ŠVÉDA, M. Frost resistance of brick. *American Ceramic Society Bulletin: The Magazine for Technology, Engineering, Manufacturing*. Westerville: American Ceramic Society Bulletin, 2001, roč. 80, č. 9. ISSN 0002-7812.
- [11] Mrazuvzdornost' pálených krytín M. Šveda R. Sokolář 2IX. International Scientific Conference of Faculty of Civil Engineering IV. International PhD. Conference Young Scientist 2012 Faculty of Civil Engineering, May 23 – 25, 2012
- [12] FREYBURG, S. a A. SCHWARZ. Influence of the clay type on the pore structure of structural ceramics. *Journal of the European Ceramic Society*. 2007, Volume 27, Issues 2–3, Pages 1727–1733. DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.jeurceramsoc.2006.04.1>

- [13] ERIC J. SEAVERTON, ARLINGTON, MA (USA), DENIS A. BROSNAN, CLEMSON, SC (USA). Expansion Phenomena During Freezing of Saturated Bricks and Implications on Frost Resistance. *Ziegelindustrie International*. Wiesbaden: Bauverlag GmbH, 2001, roč. 54, č. 4, s. 12-19.
- [14] A. CHRISTOGEROU, T. KAVAS, Y. PONTIKES, C. RATHOSSI, G.N. ANGELOPOULOS, *Evolution of microstructure, mineralogy and properties during firing of clay-based ceramics with borates*, Ceramics International, Volume 36, Issue 2, March 2010, Pages 567-575, ISSN 0272-8842, <http://dx.doi.org/10.1016/j.ceramint.2009.09.039>.
- [15] VONDŘÍČKOVÁ, Veronika. *Taviva pro cihlářskou technologii: bakalářská práce*. Brno, 2010. 45 s. Vysoké učení technické v Brně. Fakulta stavební. Ústav technologie stavebních hmot a dílců. Vedoucí bakalářské práce doc. Ing. Radomír Sokolář, Ph.D.
- [16] ŠVEDA, M. Využitie nízkotavitelného taviva na zvýšenie mrazuvzdornosti pálenej krytiny, VEGA, č. projektu 1/9057/02.
- [17] ŠVEDA, M., The effect of Antika admixture on the frost resistance of clay roofing tiles *Ziegelindustrie International*. 2002, no. 10, p. 29-33
- [18] Matějka, J. Důležitost odborného pálení krytiny. *Stavivo*, roč. 1930, str. 735
- [19] KERESTÚR, Matej a Mikuláš ŠVEDA. The use of zeolite dust in the brick industry. In: *First International Conference for PhD Students in Civil Engineering and Architecture : CE - PhD 2012*. Cluj-Napoca, Romania: Technical University of Cluj-Napoca, 2012.
- [20] SOKOLÁŘ, Radomír, Lenka NEVŘIVOVÁ, Lucie VODOVÁ a Simona GRYGAROVÁ. *Žárovzdorné jílky v ČR a metodika posuzování jejich vlastností*. Vyd. 1. Brno: Akademické nakladatelství CERM, 2012, 183 s. ISBN 978-80-7204-817-5.
- [21] VONDŘÍČKOVÁ, V. Uplatnění kamenné prosívky jako ostřiva ve střepe pálených střešních tašek [online]. Brno: Vysoké učení technické v Brně. Fakulta stavební. 2011.
- [22] Zeolite. In: *Wikipedia: the free encyclopedia* [online]. San Francisco (CA): Wikimedia Foundation, 2001- [cit. 2013-10-04]. Dostupné z: <http://en.wikipedia.org/wiki/Zeolite>
- [23] Zeolite. In: *Encyclopedia Britannica* [online]. 2006 [cit. 2013-10-04]. Dostupné z: <http://www.britannica.com/EBchecked/topic/656561/zeolite>

- [24] Matějka, J. Příspěvek k poznání postupu přirozeného zatažení pálené krytiny na střeších. *Stavivo* 1932, no. 1
- [25] SOKOLÁŘ, R. Vliv kalcitu na zatažení a nevratnou vlhkostní roztažnost cihlářského střepu, 2 část, *Silis*, 2009, roč. 25, č. 2, s. 10.