



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

FAKULTA STAVEBNÍ

FACULTY OF CIVIL ENGINEERING

ÚSTAV TECHNOLOGIE STAVEBNÍCH HMOT A
DÍLCŮ

INSTITUTE OF TECHNOLOGY OF BUILDING MATERIALS AND COMPONENTS

MRAZUVZDORNOST PÁLENÝCH
STŘEŠNÍCH TAŠEK S OHLEDEM
NA METODIKU LABORATORNÍHO
ZKOUŠENÍ

FROST RESISTANCE OF CLAY ROOFING TILES - METHODOLOGY
OF LABORATORY TESTING

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

BACHELOR'S THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

Ingrid Khongová

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

doc. Ing. RADOMÍR SOKOLÁŘ, Ph.D.

BRNO 2017



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ FAKULTA STAVEBNÍ

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

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

Student	Ingrid Khongová
Název	Mrazuvzdornost pálených střešních tašek s ohledem na metodiku laboratorního zkoušení
Vedoucí práce	doc. Ing. Radomír Sokolář, Ph.D.
Datum zadání	30. 11. 2016
Datum odevzdání	26. 5. 2017

V Brně dne 30. 11. 2016

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

Mrazuvzdornost pálených střešních tašek je jedním z nejdůležitějších znaků jejich kvality. Občas je možno narazit na paradoxní rozpor mezi laboratorními výsledky a realitou. Taška s nižší mrazuvzdorností podle normové zkoušky v praxi bez problémů funguje a naopak.

Cíle bakalářské práce je možno definovat v následujících bodech:

- v teoretické části vypracujte rešerši shrnující dosavadní poznatky v oblasti zkoušení mrazuvzdornosti cihlářského střepe, definujte hlavní zásady výroby mrazuvzdorného cihlářského střepe a navrhnete dostupné technologická opatření nezbytná pro zvýšení jeho mrazuvzdornosti,
 - popište a porovnejte celosvětově používané metody stanovení mrazuvzdornosti pálených střešních tašek a jejich historický vývoj,
 - v praktické části práce porovnejte parametry (základní fyzikálně mechanické vlastnosti, mikrostruktura) tuzemských střešních tašek vykazujících nesoulad mezi provozní a laboratorní mrazuvzdorností.
- Doporučený rozsah práce 40 - 50 stran.

STRUKTURA BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

VŠKP vypracujte a rozčleňte podle dále uvedené struktury:

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

doc. Ing. Radomír Sokolář, Ph.D.

Vedoucí bakalářské práce

ABSTRAKT

Tato bakalářská práce je zaměřena na mrazuvzdornost pálených střešních tašek. Mrazuvzdornost se řadí mezi nejdůležitější parametry, od kterých se odvíjí její odolnost a životnost. Přímé laboratorní metody jsou velice časově náročné a je tedy velká snaha o zdokonalení nepřímých metod, které by s velkou pravděpodobností určily, zda je zkoušená pálená střešní taška mrazuvzdorná či nikoli. Hlavním cílem této práce je shrnutí dosavadních poznatků o problému mrazuvzdornosti, popis výroby mrazuvzdorného cihlářského střepu a popis používaných metod ke stanovení mrazuvzdornosti. Praktická část se zabývá různými zkouškami, které nám poskytují informace o mikrostruktuře a vlastnostech keramického střepu.

ABSTRACT

This bachelor's work is focusing on a frost resistance of clay roofing tiles. Frost resistance is among the most important parameters, which is derive from its resistance and lifespan. Direct laboratory methods are very time-consuming so there is a great effort to improve indirect methods, which could most likely determine if tested clay roofing tile is frost resistance or not. Main targer of this bachelor's work is to summary present knowledge about a issue of frost resistance, description of making frost resistance brick body and description of used methods establishing frost resistance. Practical part is focused on a different tests, which give us informations about microstructure and characteristic of a ceramic body.

KLÍČOVÁ SLOVA:

Pálená střešní taška, keramika, mrazuvzdornost, pórovitost, přímé a nepřímé metody.

KEYWORDS:

Clay roofing tile, ceramics, frost resistance, porosity, direct and indirect methods.

BIBLIOGRAFICKÁ CITACE VŠKP

Ingrid Khongová *Mrazuvzdornost pálených střešních tašek s ohledem na metodiku laboratorního zkoušení*. Brno, 2017. 57 s., 0 s. příl. Bakalářská práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta stavební, Ústav technologie stavebních hmot a dílců. Vedoucí práce doc. Ing. Radomír Sokolář, Ph.D.

PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že jsem bakalářskou práci zpracovala samostatně a že jsem uvedla všechny použité informační zdroje.

V Brně dne 25. 5. 2017

Ingrid Khongová

autor práce

Poděkování

Tímto bych ráda poděkovala doc. Ing. Radomíru Sokoláři, Ph.D., jako vedoucímu mé bakalářské práce za odborné vedení, poskytnutí podkladů, pomoc při zkouškách a za cenné připomínky. Dále bych chtěla poděkovat Ing. Lence Nevřivové, Ph.D., za stanovení vysokotlaké rtuťové porozimetrie a Ing. Karlu Dvořákovi, Ph.D., který mi pomáhal se zkouškou rentgenové difrakční analýzy.

Obsah

1	Úvod	11
2	Dosavadní poznatky v oblasti zkoušení mrazuvzdornosti keramického střeptu	12
3	Výroba mrazuvzdorného keramického střeptu – střešní taška	18
3.1	Cihlářské suroviny	18
3.2	Cihlářské zeminy	18
3.3	Příprava surovinové směsi	20
3.4	Vytváření	20
3.5	Sušení	21
3.6	Výpal	21
4	Technologické opatření pro zvýšení mrazuvzdornosti	22
5	Metody sloužící k posuzování mrazuvzdornosti pálené střešní tašky	24
5.1	Nynější zkoušení mrazuvzdornosti	24
5.1.1	Zkušební metoda (Jednotná evropská zkušební metoda)	24
5.2	Dříve používané metody	26
5.2.1	Zkušební metoda A	26
5.2.2	Zkušební metoda B	27
5.2.3	Zkušební metoda C	28
5.2.4	Zkušební metoda D	29
5.2.5	Zkušební metoda E	30
5.3	Nasákavost střeptu	31
5.4	Koeficient nasycení střeptu	31
5.5	Saturační poměr	31
5.6	Maageho faktor mrazuvzdornosti	32
5.7	Nepřímé stanovení mrazuvzdornosti podle mediánu poloměru pórů	32

6	Zkoušení mrazuvzdornosti betonových tašek.....	33
6.1	Mrazuvzdornost.....	33
6.2	Mechanická odolnost (příčná únosnost)	34
6.3	Prosákavost.....	36
7	Metodika experimentu.....	38
7.1	Nasákavost.....	39
7.1.1	Nasákavost za atmosférického tlaku.....	39
7.1.2	Nasákavost varem.....	39
7.1.3	Nasákavost vakuovým způsobem.....	40
7.2	Objemová hmotnost.....	40
7.3	Zdánlivá pórovitost.....	40
7.4	Zdánlivá hustota	41
7.5	Stanovení distribuce velikosti pórů.....	41
7.6	Vzlínavost.....	41
7.7	Navlhavost a vysýchavost.....	42
7.8	Prosákavost.....	42
7.9	Stanovení mineralogického složení	42
7.10	Stanovení součinitele délkové teplotní roztažnosti.....	43
7.11	Stanovení mrazuvzdornosti (dle ČSN 73 1322)	43
8	Vyhodnocení.....	44
8.1	Nasákavost, objemová hmotnost, zdánlivá pórovitost a zdánlivá hustota.....	44
8.2	Distribuce velikosti pórů.....	46
8.3	Vyhodnocení nepřímých metod.....	46
8.4	Vyhodnocení vzlínavosti.....	47
8.5	Navlhavost a vysýchavost.....	48
8.6	Prosákavost.....	49
8.7	Mineralogické složení.....	50

8.8	Součinitel délkové teplotní roztažnosti.....	51
8.9	Zkouška mrazuvzdornosti.....	51
8.10	Shrnutí.....	52
9	Závěr.....	53
10	Seznam použitých zdrojů.....	54
11	Seznam použitých zkratk a symbolů.....	57

1 Úvod

Problematikou mrazuvzdornosti se již zabývala spousta lidí a stále je to oblast, která není dostatečně prozkoumána. V dnešní době už naštěstí máme více informací k tomu, abychom byli schopni vyrobit pálenou střešní tašku, která by byla odolná vůči mrazu a její životnost by byla výrazně delší, ale i přes tyto veškeré informace a poznatky se stává, že některé střešní tašky nevyhoví.

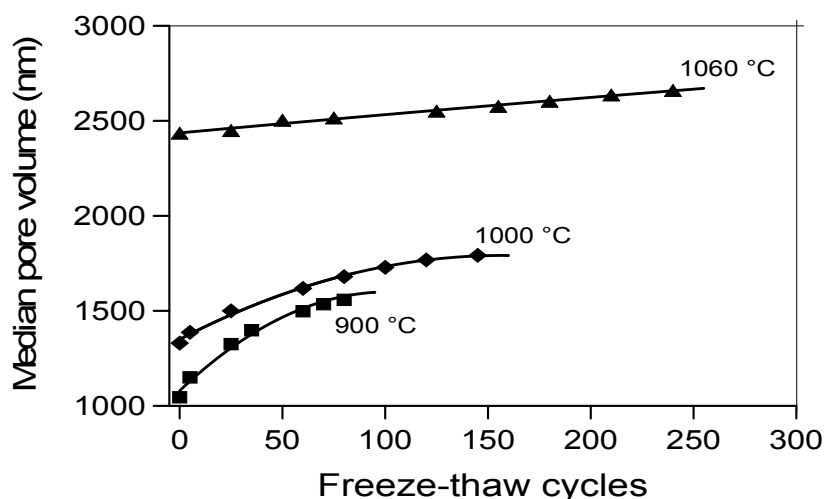
Mnoho autorů se mrazuvzdorností zabývali a stále se obraceli právě na pórovitost keramického střepu, nejspíše v systému pórovitosti tkví klíč k úspěchu a ke zdárnému vyřešení odolnosti proti mrazu. Pórovitost, je díky působení celé řady vlivů velice různorodá, a proto je velmi obtížné najít či vypočítat různé závislosti v chování. Spousta nepřímých metod je právě založena na principu pórovitosti a doteď není vymyšlen žádný empirický vztah, který by byl natolik spolehlivý, aby určil, zda se jedná o mrazuvzdorný výrobek či nikoli.

Pro stanovení mrazuvzdornosti jsou tedy předepsány určité přímé metody, které se snaží co nejvíce simulovat klimatické podmínky, a tímto způsobem jsme schopni určit, zda daný výrobek vyhoví i v provozu při běžných přírodních podmínkách.

2 Dosavadní poznatky v oblasti zkoušení mrazuvzdornosti keramického střepe

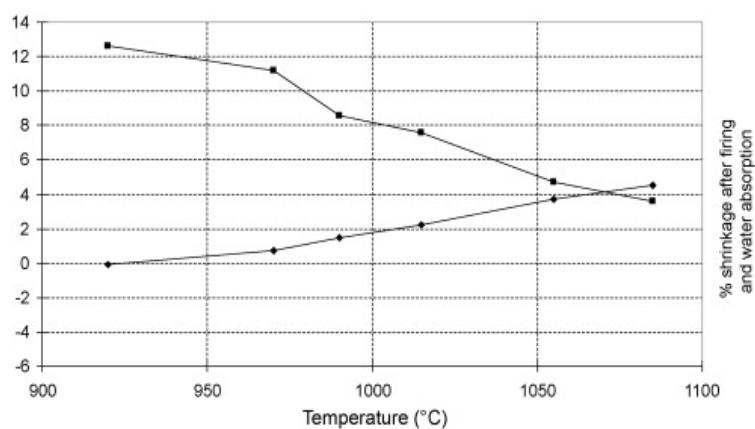
K nejdůležitějším vlastnostem keramického střepe řadíme mrazuvzdornost, která do jisté míry vypovídá o jeho kvalitě a životnosti. Mrazuvzdornost je tedy schopnost odolávat nízkým teplotám a klimatickým změnám bez narušení střepe. Podle [1] existují vazby mezi pórovitostí, distribucí pórů a pevností v tahu, jež ovlivňují mrazuvzdornost. Vysoká pórovitost a nízká pevnost v tahu naznačuje nižší odolnost keramického střepe proti mrazu. Póry jako takové, nám mnohé vypovídají a ze statistických analýz je zřejmé, že velikost pórů by měla být větší než 3 μm , protože právě tato velikost pórů představuje menší nebezpečí při vystavení mrazu. Voda obsažená v pórech při vystavení zmrazovacích cyklů se mění v led, zvyšuje svůj objem přibližně o 9 % a v pórech dochází ke vzniku napětí. Což může mít za následek vznik mikrotrhlin, které se mohou postupně spojovat, až dojde ke vzniku trhliny [4]. Vzniklý tlak v pórech převážně závisí na stupni nasycení pórů, hrubosti stěn a na jejich velikosti [6]. Pórovitou strukturou se zabývají i v práci [2], kde je více kladen důraz na objem pórů a medián poloměru pórů. Pórovitá struktura keramického střepe se mění v průběhu cyklického působení mrazu, kdy při určité hranici objem malých pórů klesá a naopak objem velkých pórů narůstá, čímž dochází ke zvětšení mediánu poloměru pórů a vyšší mrazuvzdornosti. Lze tedy vyvodit, že by měl nízký objem pórů a vysoká hodnota mediánu poloměru pórů zvyšovat mrazuvzdornost. Z grafu 1 je zřejmé, že čím vyšší hodnota mediánu poloměru pórů, tím zkušební vzorek odolá více zmrazovacím cyklům a také je zde závislost, že s vyšší teplotou výpalu vzrůstá hodnota mediánu poloměru pórů [2].

Graf 1: Znárodnění závislosti mediánu poloměru pórů na počtu zmrazovacích cyklů [2]

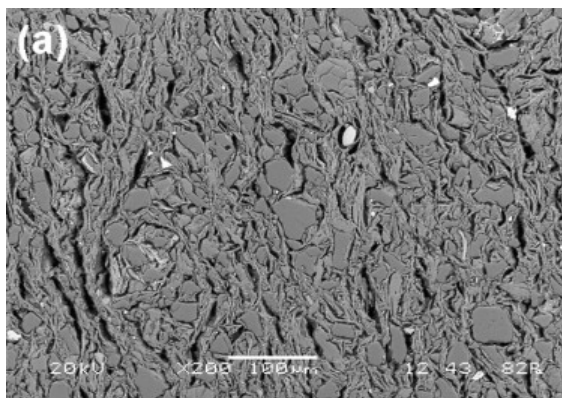


Dalším důležitým faktorem při posouzení mrazuvzdornosti je již zmíněná vypalovací teplota. Graf 2 zobrazuje vliv teploty výpalu na vlastnosti keramického střepu. S rostoucí teplotou výpalu dochází k většímu smrštění keramického střepu a zároveň k menší nasákavosti [3].

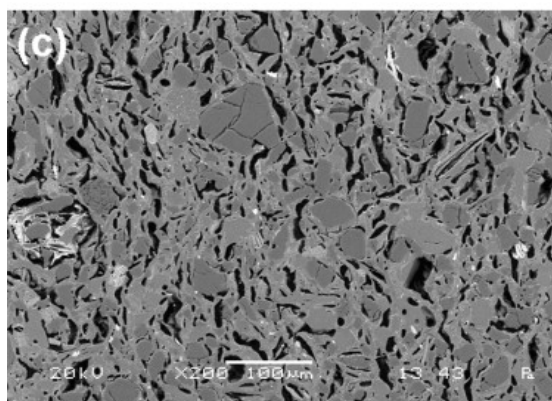
Graf 2: Vliv teploty výpalu na smrštění a nasákavosti [3]



Dále s vyšší teplotou dochází ke snížení zdánlivé pórovitosti a ke snížení objemu pórů [5]. Obrázek 1 zobrazuje mikrostrukturu zkoušeného vzorku, který byl vypálen při teplotě 970 °C. Na zkoušeném vzorku je obsaženo více menších pórů. Na obrázku 2, je vyobrazena opět mikrostruktura keramického střepu, ale při vyšší teplotě výpalu na 1085 °C. Ze snímku je patrné, že došlo ke zvětšení pórů. Na základě zjištění těchto poznatků odehrávajících se v mikrostruktuře keramického střepu lze předpokládat, že při vyšší vypalovací teplotě dochází ve střepu ke zvětšování pórů a zároveň ke snížení objemu pórů, což má za následek dosažení vyšších pevností v ohybu.



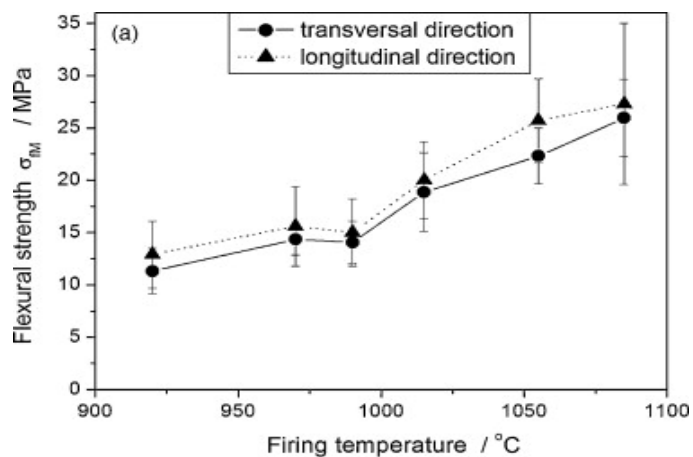
Obr. 1: Mikrostruktura vzorku při teplotě výpalu 970 °C [3]



Obr. 2: Mikrostruktura vzorku při teplotě výpalu 1085 °C [3]

Vypalovací teplota tedy ovlivňuje i mechanické vlastnosti keramického střepe. V grafu 3 je znázorněna pevnost v ohybu závislá na stupni výpalu. S vyšší teplotou výpalu se zvyšuje pevnost v ohybu, jak v podélném, tak i v příčném směru.

Graf 3: Vliv teploty výpalu na pevnosti v ohybu [3]



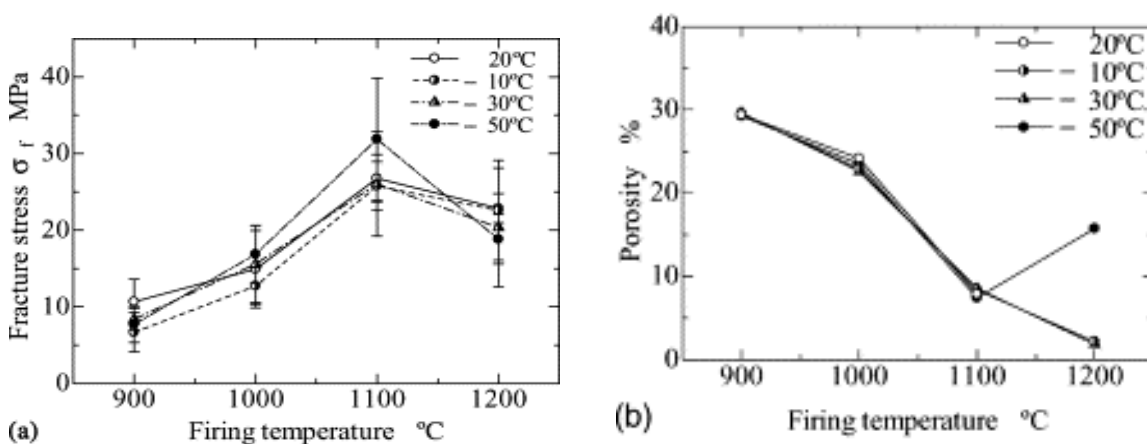
V tabulce 1 jsou vypsány teploty výpalu a následné vyhodnocení, kdy byla střešní taška vystavena přímým zmrazovacím cyklům (dle EN 539-2, metoda C). Z výsledků je patrné, že vyšší teplota výpalu přispívá ke zvýšení mrazuvzdornosti. Pálená střešní taška je při teplotě výpalu vyšší jak 990 °C schopna odolat více jak 200 zmrazovacím cyklům [3].

Tab. 1: Závislost teploty výpalu na zmrazovacích cyklech [3]

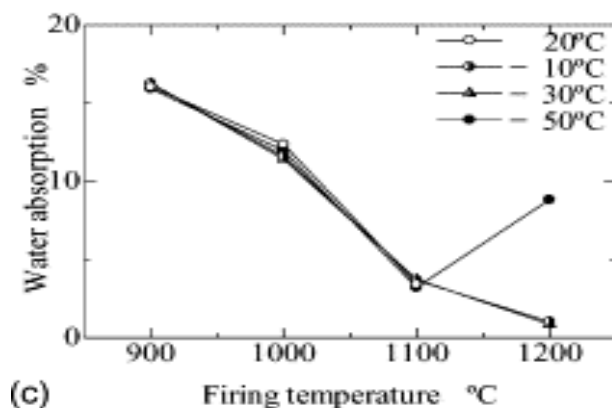
Teplota výpalu (°C)	Nasákavost (%)	Odolnost po 50 cyklech	Odolnost po 100 cyklech	Odolnost po 150 cyklech	Odolnost po 200 cyklech	Odolnost po 550 cyklech
920	14,1	ano	ne	ne	/	/
970	13,4	ano	ano	ne	/	/
990	12,0	ano	ano	ano	ano	ano
1015	10,7	ano	ano	ano	ano	ano
1055	7,9	ano	ano	ano	ano	ano
1085	5,9	ano	ano	ano	ano	ano

Mechanickými vlastnostmi se zabývají i v práci [26], kde s vyšší teplotou rostla odolnost vůči tvrdosti dle Vickerse, tvrdost byla měřena na zkušebních vzorcích, které byly vystaveny zmrazovacím cyklům dle EN 539 – 2 a získané výsledky byly srovnány se vzorky, jež nebyly vystaveny zmrazovacím cyklům. Tvrdost dle Vickerse byla po zmrazovacích cyklech menší a s rostoucí teplotou výpalu vzrůstala [26]. Trend, že s vyšší vypalovací teplotou se zlepšují vlastnosti keramického střepu (snížení nasákavosti a pórovitosti, zvýšení pevnosti v ohybu), platí pouze do určité teploty. V [7] se zabývají teplotou výpalu v závislosti na mrazuvzdornosti pálené střešní tašky. Byly zvoleny čtyři teploty výpalu: 900 °C, 1000 °C, 1100 °C a 1200 °C a zmrazovací cykly při –10 °C, –30 °C a –50 °C. Ze získaných výsledků znázorněných v grafu 4 a 5 vyplývá, že ke zlepšení vlastností dochází přibližně do teploty 1100 °C. Nad teplotu 1200 °C a následným vystavením zmrazovacími cykly dochází ke zhoršení pevnosti v ohybu, ke zvýšení nasákavosti a ke zvýšení pórovitosti [7].

Graf 4: Závislost vlivu vypalovací teploty na pevnosti v ohybu (a), pórovitosti (b) po ukončení zmrazovacích cyklů za různých teplot [7]

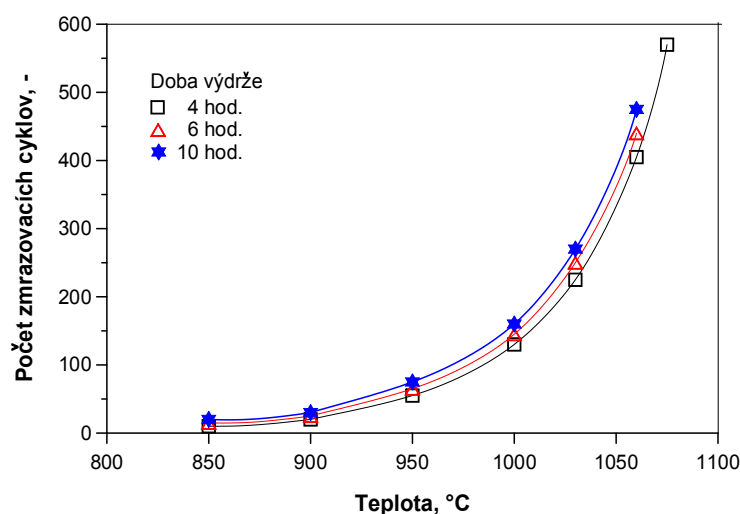


Graf 5: Závislost vlivu vypalovací teploty na nasákavost (c) po ukončení zmrazovacích cyklů za různých teplot [7]



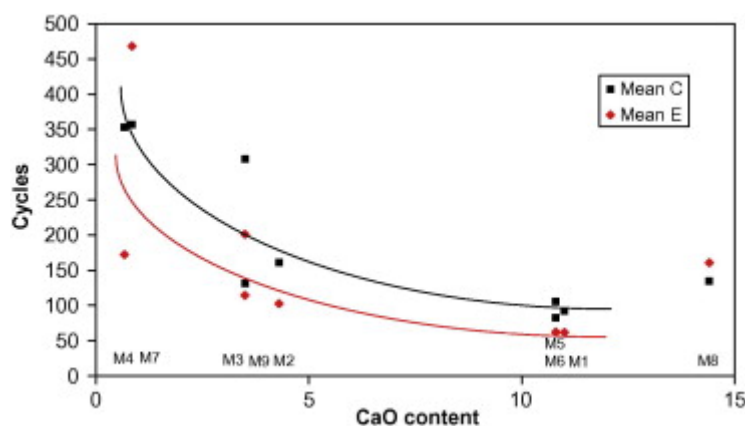
Nejen teplota výpalu, ale i doba výdrže má vliv na mrazuvzdornost keramického střepe. Samotný výpal je energeticky náročný proces, tudíž je důležité z hlediska ekonomiky znát kompromis mezi délkou teplotní výdrže a získání požadovaných vlastností keramického střepe. Graf 6 znázorňuje dobu výdrže teploty v závislosti na počtu zmrazovacích cyklů. Z tohoto grafu je zřejmé, že nebyly shledány markantní rozdíly při použití vyšší doby výdrže a bylo by tedy ekonomicky výhodnější využít nižší dobu výdrže teploty, aniž by se výrazně snížila mrazuvzdornost [5].

Graf 6: Závislost doby výdrže a teploty výpalu na mrazuvzdornosti [5]



Kromě teploty výpalu má vliv na mrazuvzdornost složení směsi, konkrétně mineralogické složení jíly. V [4] poukazují, že keramický stěp, který obsahuje jíly chudé na CaCO_3 dosahuje vyšší mrazuvzdornosti, než keramický stěp, ve kterém jsou jíly s větším podílem CaCO_3 . Tato závislost je vyobrazena v grafu 7, kde jsou znázorněny výsledky vyhodnocení zmrazovacích cyklů pomocí metod C a E na střešní tašce.

Graf 7: Závislost množství CaCO_3 na zmrazovacích cyklech [16]



Výše uvedené faktory ovlivňují schopnost mrazuvzdornosti keramického stěpu. Jeden z primárních, který tuto vlastnost nejvíce ovlivňuje je medián poloměru pórů, dalším z nich pak může být teplota výpalu, která zvyšuje i mechanické vlastnosti a samozřejmě i složení suroviny [5]. Snahou je získat dostatečně spolehlivý vzorec, po kterém by se ze získaných informací o pórovitosti keramického stěpu, dala s vysokou přesností stanovit jeho mrazuvzdornost. Tento poznatek by značně zjednodušil a urychlil vyhodnocení mrazuvzdornosti, aniž by bylo zapotřebí užití časově náročných laboratorních zkoušek [8, 14].

3 Výroba mrazuvzdorného keramického střepeu – střešní taška

3.1 Cihlářské suroviny

K výrobě střešních tašek používáme cihlářské suroviny, které se dělí na plastické a neplastické suroviny. Plastické suroviny po rozdělání s vodou vytváří tvárné těsto, které lze zpevnit následným sušením a pálením. Mezi plastické suroviny řadíme jílovité zeminy, což jsou sedimenty, které vznikly zvětráváním hornin s převažujícím obsahem jílovitých materiálů. Neplastické suroviny pouze upravují chování směsi při vytváření, sušení a výpalu. Ovlivňují mikrostrukturu keramického střepeu, a tudíž působí na výsledné vlastnosti vypáleného střepeu. Dle jejich funkce se dají rozdělit na ostřiva, lehčiva a taviva. Z neplastických surovin se pro výrobu mrazuvzdorného keramického střepeu používají ostřiva [9].

Ostřiva – nejsou schopna s vodou vytvářet plastické těsto. Ovlivňují tvárlivost těsta, snižují citlivost k sušení a smrštění sušením, během výpalu působí i na teplotu slinutí a snižuje smrštění pálením. Ostřiva mohou být přírodní povahy (křemenný písek, křemelina, ...) nebo to mohou být průmyslové vedlejší produkty (popílek, struska, kaly, ...).

3.2 Cihlářské zeminy

Jsou definovány jako veškeré zplodiny z přírodního rozkladu, které se využívají pro průmyslovou výrobu. Cihlářské zeminy rozeznáváme jako kvarterní (spraše a sprašové jíly), tercierní nezpevněné (jíly a slíny) a zpevněné (jílovce, slínovce). Z jílovitých minerálů zde převážně najdeme illit, dále křemen, živec, slídu a vápenec. Za nepříznivé jsou považovány v cihlářských zeminách vápencová zrna, díky kterým může dojít ke vzniku cicváru, jež způsobují snížení pevnosti a povrchové poškození [9]. Cihlářské zeminy mají dle normy ČSN 72 1564 po úpravě a rozdělání s vodou tvořit dostatečně tvárnou výrobní směs. Výše uvedená norma, také vymezuje požadavky na cihlářské zeminy určené pro výrobu z plastického těsta, jež má vlhkost větší jak 18 %. Dále lze zeminy a výrobní směsi rozdělit dle technologických vlastností do čtyř skupin [18].

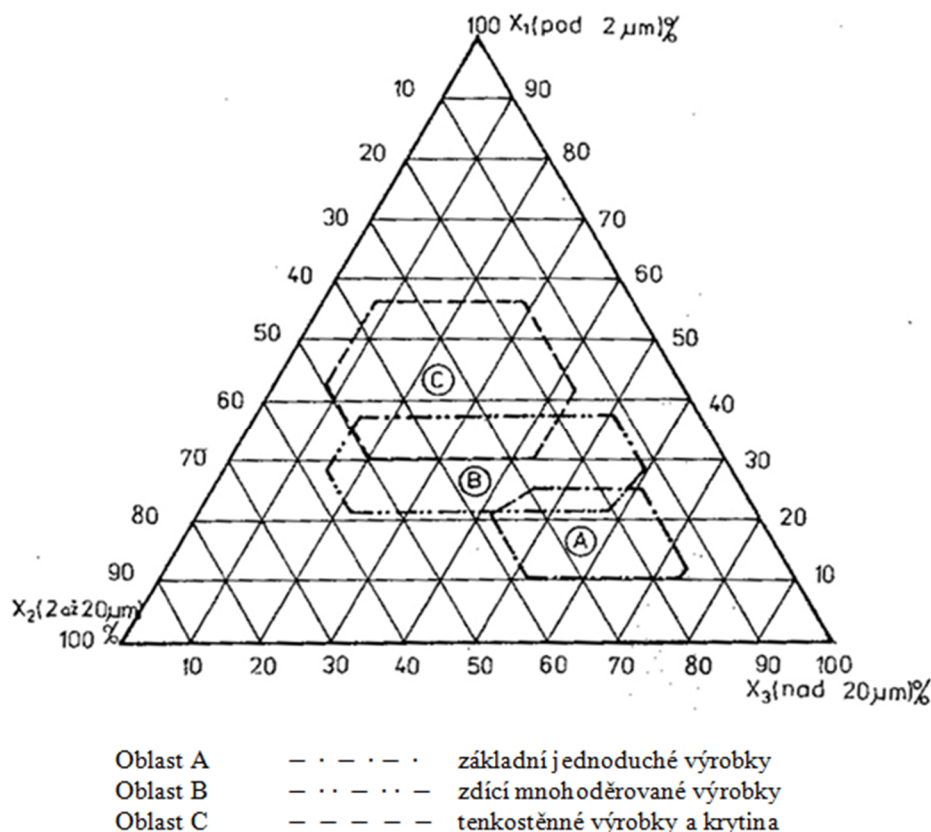
- skupina I – použití pro základní a jednoduché výrobky (př. cihla plná pálená)
- skupina II – použití pro zdící mnohoděrované výrobky
- skupina III – použití pro tenkostěnné výrobky
- skupina IV – použití pro krytinu a obkladové prvky.

Přičemž každá skupina má svoje základní a doporučené hodnoty, viz tabulka č. 2 [18].

Tab. 2: Základní a doporučené hodnoty pro cihlářské zeminy [18]

vlastnost	cihlářské zeminy skupiny			
	I	II	III	IV
	hodnoty			
a) základní hodnoty				
obsah hrubých těžce držitelných zrn nad 2 mm (křemen, tvrdé křemité horniny apod.) v %	< 10	< 5	< 2	< 2
oblast zařazení zeminy podle zrnitostního diagramu (ČSN 72 1565, část 2)	A	B	C	krytina C obklady B až C
délková změna sušením v %	-3,5 až -5,0	-4,0 až -7,0	-5,0 až -8,0	-5,0 až -8,5
pevnost v ohybu po výpalu v MPa	> 3	> 5	> 7	> 7
nasákavost v %	> 12	> 12	> 12	> 12
b) doporučené hodnoty				
škodlivost cicváru - max. úbytek pevnosti v %	< 20	< 20	< 20	< 20
pevnost v ohybu po sušení v MPa pro lícové a obkladové výrobky, krytinu	> 2	> 3	> 3	> 3
— povrchové odštěpky po cicváru, hlubší než 1 mm	žádné	žádné	žádné	žádné
— mrazuvzdornost	M 25	M 25	M 25	M 25
— náchylnost ke tvorbě výkvětů	žádná	žádná	žádná	žádná
— barva	jednotná	jednotná	jednotná	jednotná

Zeminy lze také zařadit podle ČSN 72 1565 - 2 do zrnitostního diagramu obr. 3, kdy se vypočtené zrnitostní podíly zrn v % zaokrouhlí na celé číslo a vynesou se do zrnitostního diagramu cihlářských zemin a výrobních směsí pro výrobky. Po následném zařazení je určena použitelnost pro daný výrobek [19].



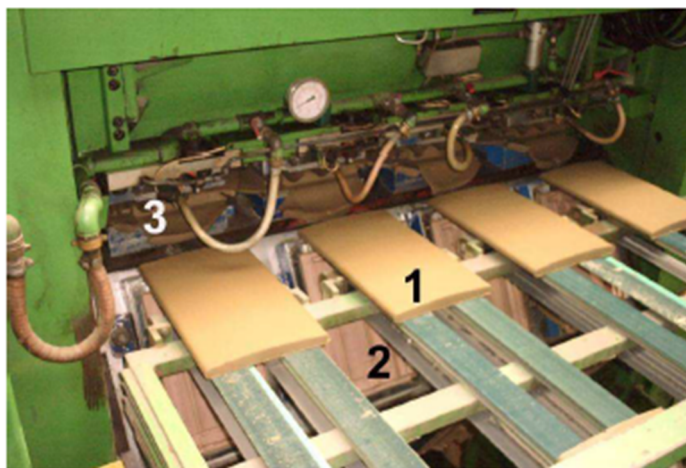
Obr. 3: Zrnitostní diagram cihlářských zemin a výrobních směsí pro výrobky [19]

3.3 Příprava surovinové směsi

Jedná se o vytvoření plastického těsta s optimální vlhkostí. Příprava směsi je řízena dávkováním podavačů cihlářské zeminy (po haldování a odležení), případně i příměsí. Takto nadávkované suroviny putují do kolového mlýna, kde dochází ke mletí a míšení za přídavku vody. Po této přípravě postupuje směs do odležovací věže, aby došlo k rovnoměrnému rozložení vlhkosti. Po odležení (24 hod.) je homogenizována v mísidle a následně vstupuje do šnekového lisu [10].

3.4 Vytváření

Pálená střešní taška se může vyrábět tažením (na šnekovém lisu) či ražením (pomocí revolverového lisu). Plastické těsto se vytváří na vakuovém šnekovém lisu, kde dochází ke zhutnění a homogenizaci [11]. Během vakuování se zvyšuje tuhost těsta a mění se distribuce pórů, která může zvýšit mrazuvzdornost [10]. Z ústí lisu je vytlačěn nekonečný pás, který se pomocí odřezávačů dělí na výlisky o požadovaném rozměru (plástve). U střešní tašky vyráběné ražením, dochází k přelísování vytvořených pláství. Revolverový lis je nejčastěji opatřen sádrovými formami (mohou být i kovové či s gumovou fólií), které dávají finální vzhled raženým taškám [11].



Obr. 4: Vstup pláství (1) do revolverového lisu, usazení pláství na formu (2) a přelisování razníkem (3) s lícovým reliéfem tašky [10]

3.5 Sušení

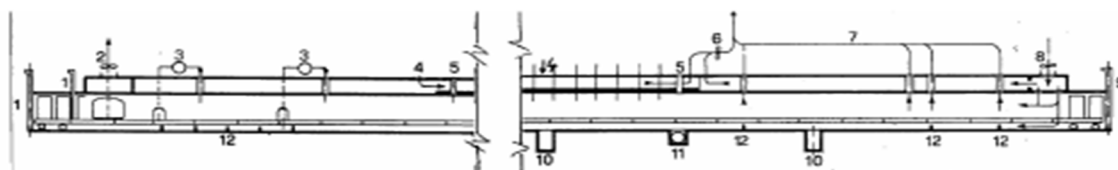
Významný technologický úsek, ve kterém dochází k odstranění či snížení vlhkosti pomocí působením tepla a to na hodnotu, jež připouští technologie výpalu. Z výlisku se stává výsušek a ztrácí schopnost přetváření. V mikrostruktúře dochází ke sblíživání částic díky ztrátě vody a vytváří se kapilární pórovitost [11]. Pro technologii sušení je důležité stanovit citlivost k sušení, aby nedocházelo ke vzniku trhlinek a deformací. Proces sušení probíhá v sušárnách, které můžeme rozdělit na periodické a kontinuální. Mezi periodické sušárny řadíme přírodní sušárny a nadpecní sušárny, které se již nepoužívají, v současné době se nejvíce využívají komorové sušárny. Kontinuální sušárny jsou opatřeny dopravním prostředkem, který zajišťuje pohyb výlisků, mohou být kanálové nebo jednovrstvé rychlosušárny (spíše pro jemnou keramiku) [11].

3.6 Výpal

Probíhá při teplotě 930 – 1050 °C, kdy dochází k přeměně mikrostruktury střepu z výsušku do vypáleného stavu. Nejdříve dochází k uvolnění fyzikálně vázané vody (do 300 °C), což způsobuje smrštění a pórovitost. Rychlost ohřívání závisí na vzniku napětí ve střepu, je regulována tak, aby nedocházelo ke vzniku trhlin či odlupování [9]. V dalším kroku dochází k odstranění chemicky vázané vody (450 – 650 °C), k reakcím v tuhém stavu (800 – 900 °C) a rozkladu nejílových minerálů. Následuje zhutnění (800 – 1100 °C), ve kterém dochází ke smršťování střepu a objevuje se i první tavenina. Po značném zhutnění následuje slinování, smršťování se značně zpomaluje, roste podíl taveniny a střep získává termoplastické vlastnosti. Posledním krokem je ochlazování až na teplotu okolí [11]. Výpal probíhá v tunelové peci, výjimečně v periodických pecích a v poslední době je více častý

výpal ve válečkových pecích, i když je válečková pec primárně určena k výpalu keramických obkladových prvků.

Tunelová pec – při výpalu v tunelové peci dochází k zajíždění výrobků v pecních vozech. Režim výpalu je rozdělen do zón: předehřev výsušků a samotný vjezd tunelového pecního vozíku, žárové pásmo, kde je dosaženo maximální teploty pomocí systémů hořáků a chladicí zóna se současným výjezdem tunelových pecních vozů [9].



- | | |
|--|---|
| 1 vstupní portál | 7 získávání teplého vzduchu z pálícího kanálu |
| 2 ventilátor pro odtah kouřových plynů | 8 protitlakový ventilátor |
| 3 ventilátor převádějící kouřové plyny | 9 výjezdí portál |
| 4 otvory pro ochlazující vzduch | 10 inspekční kanál pod pecištěm |
| 5 přepážka | 11 ventilátor pro ochlazování podvozků |
| 6 získávání teplého vzduchu | 12 stěnové diafragmy |

Obr. 5: Podélný řez tunelové pece [9]

Periodické pece – využití těchto pecí bylo převážně v minulosti, dnes se již výjimečně uplatňují pouze pro zvláštní výrobky nebo malé objemy [10].

4 Technologické opatření pro zvýšení mrazuvzdornosti

Jak již bylo zmíněno, tak zvýšením mrazuvzdornosti se dosáhne vyšší teplotou výpalu, ideální teplota výpalu je kolem 1100 °C, dále je to otázka pórovitosti, kdy by měl mít keramický střep nízký objem pórů a zároveň vysokou hodnotu mediánu poloměru pórů a samozřejmě také hraje důležitou roli složení surovin [1, 5, 15]. V práci [12] poukazují, že faktorů, jež ovlivňují mrazuvzdornost, je vícero. Za možné činitele uvádějí například způsob úpravy suroviny, zrnitost výrobní směsi, způsob vytváření aj. Kvalita střepu se však oproti dřívějším dobám značně zlepšila (výsledky vycházejí z pozorování mikrostruktury střepu) a to díky jemnějšímu mletí surovin a urychlením výpalu. Tyto poznatky vyplývají z práce [13], kde jsou uvedeny různé zkoušky týkající se problematiky mrazuvzdornosti střešní tašky na vzorku tažené bobrovky vyrobené v roce 1988 a na

vzorku střešní tašky vyrobené z roku 2003. Výsledky ze zkoušek jasně prokázaly, že došlo k posunu a ke zlepšení kvality střešních tašek.

Zajímavé výsledky byly shledány i v práci [17], kde technologie výpalu střešních tašek byla prováděná při výpalu: 750, 800, 850, 900, 950, 1000 a 1010 °C. Bylo zkoušeno 10 různých druhů tašek z několika cihelen, na kterých bylo zjišťováno: vzhled, barva, nasákavost, pevnost tahu za ohybu, prosákavost a odolnost proti mrazu. Ze získaných výsledků se došlo k závěru, že při výpalu střešních tašek na 800 a 850 °C jsou tašky méně prosákavé, než při výpalu na 900 a 1000 °C. Při zkoušení nasákavosti varem se nezaznamenaly žádné pravidelnosti a nebyly shledány žádné závislosti. Pevnost v tahu za ohybu se se snižující teplotou výpalu výrazně nezměnila, nejnižší možná teplota výpalu je 850 °C, při dalším snížení teploty výpalu pod 850 °C docházelo k výraznějším snížení pevností v tahu za ohybu. Lze tedy snížit teplotu vypalovacího žáru (do 850 °C), aniž by došlo k obavám, že by nižší teplota výpalu výrazně ohrozila pevnost střešní tašky. Zkouška mrazuvzdornosti ukázala, že střešní tašky vypálené při nižší teplotě vykazovaly velmi podobné odolnosti proti mrazu a v některých případech byla mrazuvzdornost dokonce vyšší.

Bylo by vhodné se i touto myšlenkou zabývat a vytvořit experimentální práci, která by se zaměřila na výpal tašky při nižších teplotách a zároveň by docházelo ke zkoušení a sledování vlastností, jež ovlivňují mrazuvzdornost. Možný „problém“, by nejspíše byl ve vzhledu, protože střešní taška pálená při teplotě 850 °C ztrácí svoji charakteristickou cihlovou barvu. Tento problém by se mohl týkat zasetého stereotypu o utkvělé představě „klasicky vypadající“ pálené střešní tašky, alespoň ze začátku by to mohlo odrazovat v oslovování potencionálních zákazníků, kteří by „novému“ vzhledu moc nedůvěřovali. Ovšem kdyby se z výsledků tohoto experimentu potvrdilo, že nižší teplota výpalu zvyšuje mrazuvzdornost, byl by to velký ekonomický přínos pro výrobu pálených tašek [17].

5 Metody sloužící k posuzování mrazuvzdornosti pálené střešní tašky

Metody, které slouží ke stanovení mrazuvzdornosti lze rozdělit na:

- přímé
- nepřímé.

Přímé metody

Přímé metody jsou stavěny na co nejméně podobném napodobení přírodního působení, kterému bude střešní pálená taška vystavena. Simulace klimatických podmínek probíhá formou zmrazovacích a rozmrazovacích cyklů ve speciálním zařízení. Nasycená střešní taška se zmrazuje a následně rozmrazuje vlivem teplé vody, přesný zkušební postup a počet cyklů je dán příslušnou normou. Během doby životnosti střešní tašky (100 roků), proběhne cca 750 cyklů, jímž by měla odolat [9]. Přímé metody jsou relativně spolehlivým ukazatelem mrazuvzdornosti, avšak díky časové náročnosti a ne vždy možné realizaci těchto zkoušek, je snaha o zdokonalení nepřímých metod, které by určily mrazuvzdornost v kratším časovém úseku [20].

5.1 Nynější zkoušení mrazuvzdornosti

ČSN EN 539 – 2: Pálené střešní tašky pro skládané střešní krytiny – Stanovení fyzikálních charakteristik – Část 2: Zkouška mrazuvzdornosti

Od října 2013 se mrazuvzdornost pálených střešních tašek zkouší pouze podle jedné zkušební metody – Jednotná evropská zkušební metoda.

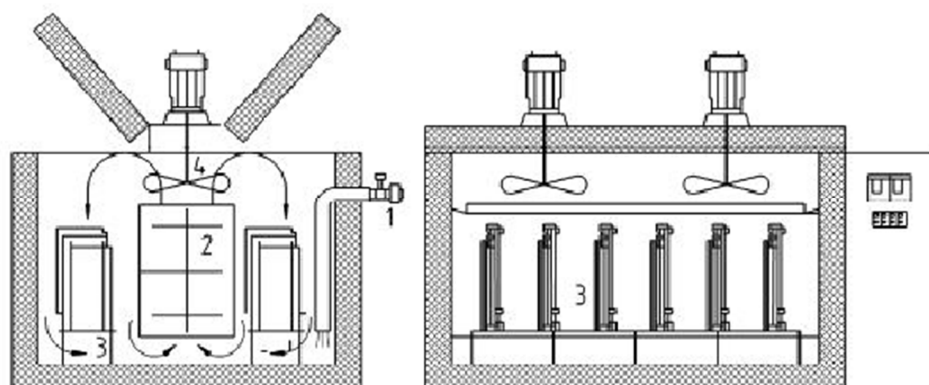
Předmětem normy je popis zkušební metody pro stanovení mrazuvzdornosti pálených střešních tašek a tvarovek, kterou používají všechny členské státy CEN.

5.1.1 Zkušební metoda (Jednotná evropská zkušební metoda)

Zkušební tělesa jsou tašky či tvarovky, které se zkouší ve stavu, v jakém jsou dodávány na trh. Pokud se jedná o zkušební tělesa, která byla odebrána ze stavby, tak při vyhodnocování zkoušky se mají zohlednit podmínky, kterým byly vystaveny.

Podstata zkoušky: Zkušební tělesa se ponoří do vody na 7 dnů, pak následuje přikrytí rubové strany vlhkou textilií a takto připravené zkušební tělesa se umístí do mrazicí komory, kde jsou vystaveny mrazicím cyklům. Zmrazování probíhá na vzduchu a rozmrazování vlivem vody, která působí současně na celém povrchu zkušebního tělesa,

počet cyklů závisí na dané úrovni. Po zkoušce následuje vyhodnocení vzniklých vad, které se na zkoušeném výrobku během působení zmrazování mohly vyskytnout.



1 přívod vody
2 výměník tepla

3 připevnění střešní tašky
4 ventilátor

Obr. 6: Zmrazovací a rozmrazovací zařízení [21]

Postup: Zkušební vzorek je složen ze šesti zkušebních těles, které jsou pokud možno bez vad. Tyto vzorky se z rubové strany přikryjí vlhkou lněnou textilií a uloží se na rošt zkušebního zařízení. Pak následují samotné zmrazovací a rozmrazovací cykly. Zmrazování probíhá při teplotě $(-16 \pm 3) \text{ }^\circ\text{C}$ a doba výdrže na této teplotě činí alespoň 30 minut, rozmrazování zkušebních těles je docíleno rovnoměrným ponořením do vody o teplotě $5 \text{ }^\circ\text{C}$ až $17 \text{ }^\circ\text{C}$ (doba rozmrazování je v rozmezí 25 až 40 min.), voda se napouští ode dna a to v takové rychlosti, aby nejpozději po 15 minutách byla hladina vody 50 mm nad zkušebními tělesy.

Podle normy ČSN EN 1304 se mrazuvzdornost dělí do různých úrovní [23]:

Tab. 3: Úrovně mrazuvzdornosti a počet cyklů používané v různých státech [23]

Země	Úroveň mrazuvzdornosti	Počet cyklů
Rakousko, Dánsko, Belgie, Francie, Německo, Maďarsko, Nizozemsko, Polsko, Španělsko, Švýcarsko a Spojené království	1	150
Itálie, Španělsko, Portugalsko a Řecko	2	90
	3	30
Pokud není země uvedena v seznamu a pokud se zkoušení vyžaduje, zkouší se výrobek podle úrovně platných v dané zemi. ^{NP}		

^{NP} V ČR se pro hodnocení použije úroveň 1: nejméně 150 cyklů.

Po ukončení požadovaných cyklů, dochází ke zhodnocení stavu zkušebních těles dle následující tabulky. Zkušební těleso vyhoví, pokud všechny střešní tašky po daných cyklech neobsahují vady popsané jako nepřijatelné z tabulky 4.

Tab. 4: Vyjádření výsledků [21]

		Líc	Rub
1	kráterek	-	-
2	vlasová trhlina	-	-
3	okrajová trhlina	-	-
4	povrchová trhlina	x	x ^a
5	poškození povrchu (odprýsknutí, odštěpek, odloupení povrchu, rozpad povrchu)	x	x ^a
6	prasklina	x	x
7	odpadnutí vystouplých částí	x	x
8	lom	x	x
9	lístkování	x	x
10	odpad všech závěsných ozubů		x
x = nepřijatelné - = přípustné			
^a Pokud stupeň poškození naznačuje, že není zajištěna funkčnost výrobku.			

U závěsných ozubů se kontrolují, zda si zachovaly svůj tvar a plní danou funkci. Pokud má střešní taška navržen jeden či více ozubů, musí po zkoušce mrazuvzdornosti zůstat nepoškozen minimálně jeden závěsný ozub [21].

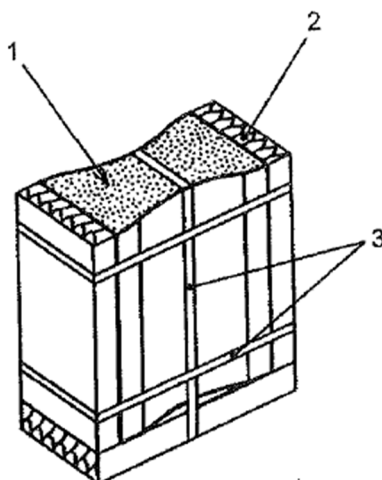
5.2 Dříve používané metody

Předchozí norma ČSN EN 539 – 2 z roku 2006, umožňovala více metod, které sloužily ke stanovení a posouzení mrazuvzdornosti pálené střešní tašky. Existovalo 5 zkušebních metod (A, B, C, D a E).

5.2.1 Zkušební metoda A

Podstatou této metody bylo, že zkušební sada o 6 vzorcích byla ponořena do vody za současného působení absolutního atmosférického tlaku $4 \cdot 10^4$ Pa. Následně byly zkušební tělesa staženy pružnými pásky se vzájemným odstupem alespoň 50 mm, vzniklá mezera je vyplněna štěrkem o velikosti 2 až 4 mm. Takto připravené vzorky (viz obrázek 7) jsou vystaveny 24 zmrazovacím cyklům, 12 cyklů při teplotě vzduchu $(-15 \pm 1) ^\circ\text{C}$ a dalších 12 cyklů při teplotě $(-5 \pm 0,5) ^\circ\text{C}$ ve fázi zmrazení. V průběhu rozmrazování jsou zkušební vzorky ponořeny do vody o teplotě $(15 \pm 3) ^\circ\text{C}$. Zmrazovací fáze trvá 8 hodin \pm 6 minut,

rozmrazovací fáze trvá 4 hodiny \pm 6 minut. Po ukončení cyklů dochází k vizuálnímu posouzení, zda zkoušené vzorky nejeví známky poškození po účinku mrazu [22].



- 1 štěrk
- 2 destička s extrudované pěny s uzavřenými póry
- 3 pružná páska

Obr. 7: Zkušební uspořádání mezi dvěma taškami [22]

5.2.2 Zkušební metoda B

V České republice se používala metoda B, kdy podstatou této zkoušky je nasáknutí zkušebních těles a jednostrannému namáhání povrchu mrazem, jež simuluje přírodní podmínky. Předem připravených 6 zkušebních těles je umístěno na rošt (tak aby lícová strana byla namáhána) do programovatelné mrazničky. Následuje přímé zmrazení, kdy nejnižší teplota (-15 ± 2) °C se udržuje tak dlouho, až se teplota referenční tašky udrží po dobu alespoň 30 minut při (-15 ± 2) °C, po zmrazení přichází rozmrazování zkušebních těles rovnoměrným postřikem lící strany vodou o teplotě 5 až 10 °C. Objem vody je nastaven tak, aby vodní hladina po 15 minutách byla 50 mm nad zkušebními tělesy, nejmenší objem vody je 8,5 l/kg zkušebního tělesa. Zkušební tělesa se ponechají ve vodě nejméně dalších 15 minut po úplném roztátí námrazy. Po každých 50 cyklech se zkušební vzorky vizuálně hodnotí a zaznamenávají se případné vzniklé vady, zkušební sada vyhoví, pokud po 150 cyklech nevykazuje žádné zkušební těleso vady popsané v níže uvedené tabulce [22].

Tab. 5: Seznam vad [22]

		Líc	Rub
1	kráterek	-	-
2	vlasová trhlina	-	-
3	okrajová trhlina	-	-
4	povrchová trhlina	x	- ^b
5	začínající odlupování	x	- ^b
6	odloupnutí	x	- ^b
7	odprýsknutí	x	- ^b
8	prasklina	x	x
9	lom	x	x
10	rozvrstvení	x	x
x nepřijatelné - = přijatelné			
^b Jako nepřijatelné se posuzuje vada tašky na rubové straně, pokud tato vada snižuje funkčnost tašky v drážce anebo celku.			

5.2.3 Zkušební metoda C

Sada 10 zkušebních těles + 3 zkušební tělesa, které umožní stanovit úbytek hmotnosti vlivem vylučování rozpustných solí během zkoušky, se umístí do podtlakové nádoby, aby bylo možné postupné ponoření do vody a vytvoří se podtlak $6,13 \cdot 10^4 \text{ Pa} \pm 0,13 \cdot 10^4 \text{ Pa}$. Výše uvedený absolutní tlak se udržuje 1 hodinu, dále se napustí do nádoby voda, aby po 30 minutách byla zkušební tělesa zcela ponořena. Po napouštění podtlakové nádoby vodou se udržuje absolutní tlak dalších 30 minut. Po vytvoření podtlaku se zkušební tělesa ponechají v nádobě po dobu 2 hodin až 2 hodin 15 minut. Takto připravená tělesa se umístí do mrazničky a provedou se zmrazovací cykly. Voda se v nádrži během 50 minut ochladí na teplotu $(4 \pm 2) \text{ }^\circ\text{C}$ (účelem je omezení odparu vody nasáknuté zkušebními tělesy před zmrazovací fází), voda se vypustí a pokračuje zmrazovací fáze, dokud teplota referenční tašky nedosáhne teploty $(-15 \pm 5) \text{ }^\circ\text{C}$. Pro simulaci proudění vzduchu během této fáze zkoušky, se používají ventilátory. Následuje rozmrazování, kdy se do nádrže napouští voda o teplotě $(12 \pm 3) \text{ }^\circ\text{C}$, dokud nebudou zkušební tělesa zcela ponořena, ve vodě se ponechají po dobu 10 minut. Teplota vody je udržována ohříváním a směřováním, aby teplota referenční tašky byla na konci této fáze $(12 \pm 3) \text{ }^\circ\text{C}$. Celková doba každého zmrazovacího cyklu trvá zhruba 3 hodiny a zkušební tělesa jsou namáhána 50 cykly. Po ukončení požadovaných cyklů se zkušební tělesa suší, nechají se zchladnout v laboratorních podmínkách a lehkým okartáčováním se zbaví špatně přilnutých částí. Zkušební tělesa se zváží, vypočte se hmotnostní úbytek a zaznamenají se případné vzniklé

vady. Pokud je hmotnostní úbytek mezi 1% a 3% počáteční hmotnosti pro jedno či více zkušebních těles a pokud zkušební těleso nevykazuje žádné vady, postup je následovný:

Tři doplňková zkušební tělesa se vysuší při teplotě $(110 \pm 5) ^\circ\text{C}$ a to do ustálené hmotnosti, hmotnost se zaznamená a následně se třikrát po sobě ponoří do vody (každé ponoření trvá 24 hodin), po každém ponoření se tělesa suší po dobu 24 hodin při teplotě $(110 \pm 5) ^\circ\text{C}$. Na konci třetího sušení se zkušební tělesa zváží, hmotnost se zaznamená a vypočítá se aritmetický průměr úbytku hmotnosti každého zkušebního tělesa. Korigovaný úbytek hmotnosti se získá rozdílem úbytku hmotnosti pro každé z deseti zkušebních těles a aritmetickým úbytkem hmotnosti doplňkového tělesa. Pokud je obdržená hodnota menší jak 1 % pro jedno či více zkušebních těles, uvede se tato hodnota do protokolu, pokud je obdržená hodnota větší jak 1 % pro jedno nebo více zkušebních těles, opakuje se výše uvedený postup znovu.

Zkušební tělesa vyhoví metodě pro mrazuvzdornost, pokud žádné ze zkušebních těles nevykazuje následující vady:

- rozvrstvení
- lom
- výlom vystouplých částí
- prasklina
- drolení
- povrchová trhlina.

A pokud žádné ze zkušebních těles nevykazuje úbytek hmotnosti větší jak 1 % původní hmotnosti [22].

5.2.4 Zkušební metoda D

Zkušební sada je z takového počtu zkušebních těles, aby došlo k vyskládání celé plochy zkušebního zařízení. Před samotnou zkouškou se tělesa vysuší po dobu 24 hodin při teplotě $(110 \pm 5) ^\circ\text{C}$ a chladí při laboratorní teplotě. Celé zkušební tělesa se ponoří na dobu nejméně 7 dnů a nejvýše 8 dnů do vody o teplotě $(20 \pm 5) ^\circ\text{C}$. Následně se vyskládají na dřevěné latě ve vhodných vzdálenostech.

Pokud se jedná o ploché tašky (jmenovité rozměry 265 x 165 mm), je jejich uspořádání ze 7 řad po 3 zkušebních tělesech. Tašky se pokládají ve vzdálenosti 100 mm se vzájemným podélným a příčným překrytím, jež je doporučeno od výrobce. Aby bylo dosaženo

obdélníkové plochy, tak se řady střídavě doplní celými taškami nebo půltaškami, nikdy se zkušební tělesa neřezají.

Když zkoušíme ploché tašky (jiných než jmenovitých rozměrů), tak zkušební uspořádání obsahuje tolik tašek, které pokryjí plochu nejméně 650 x 850 mm. Tašky se umístí tak, aby bylo dodrženo délkové a boční překrytí stanovené výrobcem.

Jestliže se jedná o tašky ražené, tažené a vlnovky, tak zkušební uspořádání musí odpovídat typu zkoušené tašky, které zahrnuje drážky či překrytí. Zkušebních vzorků je tolik, aby došlo k pokrytí plochy nejméně o rozměru 650 mm x 850 mm. Dle typu zkoušené tašky se položí na sraz, s překrytím nebo spojením na drážky. Obdélníkové plochy je dosaženo doplněním tašek celých nebo užití půltašek. Zkoušené tašky se nesmí řezat.

Takto připravené tašky se podrobují zmrazovacím a rozmrazovacím cyklům. Zmrazování probíhá po dobu (150 ± 3) minut, teplota vzduchu nad zkušebními tělesy klesne během 45 minut na (-15 ± 3) °C a teplota na konci zmrazovací fáze nesmí být větší než -2 °C. Rozmrazování trvá po dobu (20 ± 5) minut, kdy se hornímu povrchu zkušebních těles předává teplo sáláním či prouděním, které je následované postřikem vodou po dobu (10 ± 1) minut průtokovou rychlostí 8 l/minut. Teplota na spodní straně zkušebních těles musí mít nejméně na konci postřikování $+3$ °C. Po skončení 100 zmrazovacích cyklů se jednotlivé zkušební tělesa zkontrolují, jestli neobsahují případně vzniklé vady. Zkušební sada je považována za mrazuvzdornou, pokud žádné ze zkušebních těles nevykazuje vadu jako:

- odprýsknutí
- prasklina
- povrchová trhлина na okraji zkušebního tělesa rovnoběžná s hlavní rovinou zkušebního tělesa
- rozvrstvení.

Nezávisle na rozměrech se kráterky nepovažují za nepřípustné vady vlivem mrazu [22].

5.2.5 Zkušební metoda E

Zkušební metoda E je totožná se současně platnou zkušební metodou, viz 5.1.1 Zkušební metoda (Jednotná evropská zkušební metoda).

Nepřímé metody

Nepřímé metody jsou založeny na vlastnostech keramického střepe, jako je nasákavost vody keramického střepe, kapilaritě, pórovitosti (velikosti a rozdělení pórů, objemové zastoupení). Na základě těchto vlastností se provádějí jednoduché zkoušky a ze získaných výsledků se určuje mrazuvzdornost. Také existuje vyhodnocení mrazuvzdornosti pomocí matematických vztahů, které jsou empiricky sestaveny na základě vyhovujících parametrů, pro splnění kritéria mrazuvzdornosti. Je tedy snahou sestavit matematický vzorec, který by co nejspolehlivěji určit, zda zkoušená střešní taška je schopna odolat účinkům mrazu, což je velmi náročné, protože na mrazuvzdornost působí spousta faktorů, jež mohou tuto vlastnost ovlivnit [1, 8, 14].

5.3 Nasákavost střepe

Dle ČSN 72 2603 se nasákavost udává v hmotnostních procentech vysušeného vzorku a slouží k posouzení schopnosti cihlářských výrobků přijímat vodu [24]. Obecně platí, že čím je nižší nasákavost, tím je vyšší předpoklad mrazuvzdornosti keramického střepe [11].

5.4 Koeficient nasycení střepe

Koeficient nasycení střepe, také znám pod zkratkou KNS. Jedná se o poměr nasákavosti při atmosférickém tlaku (též nazývána nasákavost „za studena“) a nasákavosti stanovené za pomoci varu. Získaná hodnota slouží k informativnímu posouzení mrazuvzdornosti. Pokud je výsledná hodnota nasycení $\leq 0,85$, lze předpokládat, že výrobek bude schopen odolávat účinkům mrazu. Nižší hodnota KNS totiž vypovídá o větším procentu nezaplňených otevřených pórů, ve kterých může docházet k rozpínání ledu [13].

5.5 Saturační poměr

Saturační poměr je obdobou KNS a je stanoven níže uvedeným vzorcem. Pokud je hodnota T do 0,75, pak lze keramický střepe označit jako mrazuvzdorný, jestliže T leží v intervalu 0,75 – 0,85, jedná se o nejistý předpoklad k mrazuvzdornosti. Keramický střepe s hodnotou $T > 0,85$ se považuje za nemrazuvzdorný [34].

$$T = \frac{m_{n,n} - m_{t,r}}{m_{n,v} - m_{t,r}} [-]$$

$m_{n,n}$... hmotnost vzorku nasáklého vodou za normálního tlaku [kg]

$m_{n,v}$... hmotnost vzorku nasáklého za podtlaku [kg]

$m_{t,r}$... hmotnost suchého vzorku [kg].

5.6 Maageho faktor mrazuvzdornosti

Toto hodnocení je založeno na distribuci pórů zkoušeného vzorku, nejčastěji se využívá k získání požadovaných informací vysokotlaká rtuťová porozimetrie [10]. Distribuce pórů má totiž dle předchozích studií zásadní vliv na mrazuvzdornost keramického střepu [13]. Maage definoval mrazuvzdornost podle faktoru F následovně:

$$F = \frac{3,2}{PV} + 2,4 \cdot P_3 [-]$$

PV ... celkový objem pórů [$\text{m}^3 \cdot \text{g}^{-1}$]

P_3 ... podíl pórů o průměru $> 3 \mu\text{m}$ z PV [%].

Faktor F představuje více přesné vyjádření hodnoty KNS, jeho vyhodnocení je zobrazeno v níže uvedené tabulce 6 [8].

5.7 Nepřímé stanovení mrazuvzdornosti podle mediánu poloměru pórů

Bentrup také vytvořil teoretický model pro nepřímé stanovení mrazuvzdornosti keramického střepu. Tento model staví mrazuvzdornost na limitních hodnotách mediánu poloměru pórů ($r_{50\%}$), jež je zobrazeno v tabulce 6 [11].

Tab. 6: Přehled kritérií nepřímého posuzování dle Maageho a Bentrupa [10]

	Friese, Bentrup		F
	Jedno stanovení $r_{50\%}$	Průměr ze tří měření $r_{50\%}$	
mrazuvzdornost	$r_{50\%} > 1 \mu\text{m}$	$r_{50\%} > 1.65 \mu\text{m}$	> 70
nejistá mrazuvzdornost		$0.60 < r_{50\%} < 1.65 \mu\text{m}$	55 - 70
nemrazuvzdornost	$r_{50\%} < 1 \mu\text{m}$	$r_{50\%} < 0.60 \mu\text{m}$	< 55

6 Zkoušení mrazuvzdornosti betonových tašek

Pro srovnání konkurenčních tašek, je v této práci popsána i metoda stanovení mrazuvzdornosti betonových tašek. Betonové tašky musí navíc vyhovět požadavkům na prosákavost a únosnost.

Dle normy ČSN EN 490 mohou být betonové tašky: úžlabní, drážkové (jedná se o profilovanou či plochou střešní tašku, která má boční drážky nebo boční a navíc i hlavové drážky), bez drážkování, s pravidelnou patní hranou (má po šířce konstantní nebo rovnoměrně se měnící závěsnou délku) a s nepravidelnou patní hranou (po šířce má proměnlivou závěsnou hranu) [25].

6.1 Mrazuvzdornost

Zkušební tělesa jsou celé tašky staré alespoň 28 dnů. Zkoušené tašky se umístí na 3 dny do nádoby, která je naplněná vodou o teplotě $(20 \pm 5) ^\circ\text{C}$, po uplynulé době se tašky vyjmou a otřou se vlhkou textilií, aby se odebrala nadbytečná voda z povrchu. Následně se tašky umístí ve svislé poloze do zmrazovací komory. Aby bylo zajištěno volné proudění vzduchu, tak jsou tašky od sebe umístěny ve vzdálenosti ≥ 40 mm, vzdálenost mezi povrchem svislých ploch komory a povrchem tašek je ≥ 100 mm, vzdálenost mezi dnem komory a spodním okrajem tašky je ≥ 30 mm a vzdálenost stropu komory od horního okraje tašky je ≥ 100 mm. Je provedeno 25 zmrazovacích cyklů, každý cyklus je složen z ochlazovací fáze, zmrazovací a rozmrazovací fáze.

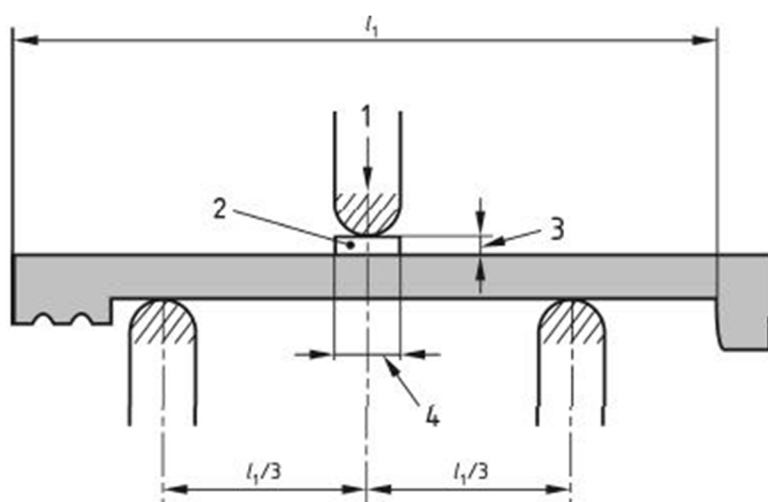
Ve fázi ochlazování tašek se teplota vzduchu v mrazícím zařízení sníží během 2 hodin ± 30 minut na $(-20 \pm 5) ^\circ\text{C}$. Následuje zmrazení tašek a to po dobu 1 hodiny a 15 minut, teplota vzduchu se udržuje při $(-20 \pm 5) ^\circ\text{C}$. Při rozmrazování se tašky ihned po fázi zmrazování ponoří na 1 hodinu až 2 hodiny do vody. Teplota vody je udržována na $(20 \pm 5) ^\circ\text{C}$, (cyklus lze přerušit pouze na konci rozmrazovací fáze a přerušení cyklu nesmí být delší než 96 hodin). Po 25 zmrazovacích cyklech se na taškách provedou následující kroky:

- tašky se skladují po dobu 7 dní při teplotě $15 ^\circ\text{C}$ až $30 ^\circ\text{C}$ a relativní vlhkosti, která by měla být nejméně 30 %
- po skončení výše uvedeného bodu se na taškách provede zkouška prosákavosti
- po zkoušení prosákavosti se na taškách provede zkouška příčné únosnosti.

Výsledkem jsou získané hodnoty ze zkoušek prosákavosti a příčné únosnosti [25].

6.2 Mechanická odolnost (příčná únosnost)

Podstatou zkoušky je stanovení mechanické odolnosti. Zkušební zařízení má dvě zaoblené kovové podpory, které jsou umístěné ve stejné horizontální rovině. Středů jsou od sebe vzdálené $2/3$ závěsné délky zkoušené tašky. Jedna horní zaoblená kovová podpora je umístěna uprostřed osové vzdálenosti dolních podpor. Podpory musí být kruhové či obdélníkové s jednou zaoblenou stranou (zaoblená část má poloměr od 10 mm do 20 mm). Nejmenší šířka podpor je 20 mm. Délka podpor nesmí být menší než šířka zkoušené tašky. Zkušební zařízení je nakalibrováno, aby udávalo hodnoty v rozmezí $\pm 3\%$ od skutečné hodnoty.

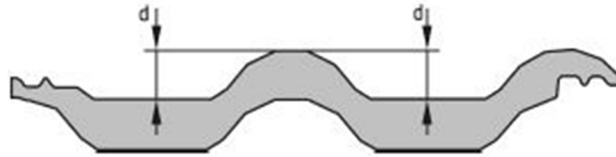


- 1 zatížení
- 2 pružná podložka (o délce, která je rovná alespoň šířce tašky, o šířce alespoň 20 mm, tloušťce (10 ± 5) mm a tvrdosti (50 ± 10) dle Shore
- 3 $10 \text{ mm} \pm 5 \text{ mm}$
- 4 $\geq 20 \text{ mm}$

Obr. 8: Zkušební zařízení [25]

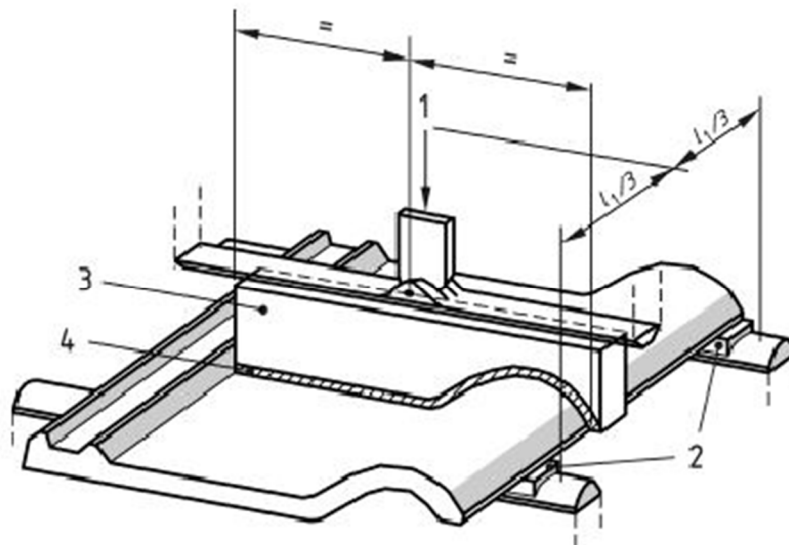
Pozn. údaje o určení tvrdosti podle Shore jsou uvedeny v ISO 7619, část 1 a 2.

Zkoušené tašky se uloží alespoň na 24 hodin při teplotě 15 °C až 30 °C a relativní vlhkosti neméně 30 % tak, aby vzduch proudil po všech stranách tašky. Následně se změří výška profilu, pokud je výška profilu d uvedena výrobcem menší jak 20 mm, změří se výšky profilů všech tašek a vypočte se průměrná hodnota, viz obr. 9.



Obr. 9: Měření výšky profilu tašky [25]

Zkoušená taška se položí na dolní podpory zkušebního zařízení lící stranou nahoru. Pokud se taška nenachází ve stabilní poloze, posune se do takové polohy, aby pevná podpora byla v místě střešní latě. Úhel mezi osami horní a dolní pevné podpory nesmí být větší než 10° (využívají se vyrovnávací podložky). U hladkých a plochých tašek se pružná podložka umístí mezi horní podporu a zkoušenou tašku, u profilovaných tašek se používá vyrovnávací kus, který je uložen mezi horní podporu a tašku (když je vyrovnávací kus ze dřeva či kovu, umístí se mezi něj a tašku pružná podložka). Taška je ve zkušební zařízení umístěna tak, aby nebyla zatížena boční drážka a aby zatížení působilo ve středu krycí šířky.



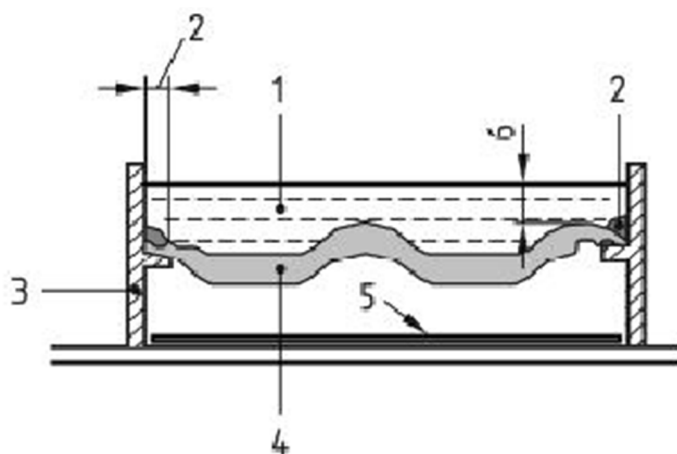
- 1 zatížení
- 2 vyrovnávací podložky
- 3 vyrovnávací kus
- 4 pružná podložka

Obr. 10: Umístění tašky při zatěžování [25]

Zatěžování probíhá skrz horní podporu a to do porušení, rychlost zatížení je mezi 1500 N/minutu až 6500 N/minutu. Po zatěžování se zaznamená největší síla s přesností 10 N, Pokud je tíha podložek na lící straně větší než 5 N, je tato tíha zahrnuta do celkové působící síly [25].

6.3 Prosákavost

Tašky určené ke zkoušení se uloží na dobu alespoň 20 hodin při teplotě 15 °C až 30 °C a relativní vlhkosti 30 % tak, aby vzduch mohl volně proudit po všech stranách. Na nebo okolo tašky se vodotěsně připojí nepropustný rám, aby byl na okraji pokryt pás o šířce nejvíce 15 mm. V případě zkoušení tašek drážkových se šířkou boční drážky menší nebo rovnou 30 mm, nesmí být šířka těsnění větší jak polovina šířky boční drážky. Otvory na zkušební tašce se musí utěsnit nepropustným materiálem. Pokud má taška dekorativní úpravu, odstraní se z povrchu okolo vnějšího okraje, aby bylo zajištěno vodotěsného připojení k rámu. Sklon tašky při zkoušce musí být nejvýše 10°. Na tašky je nalita voda do výšky 10 mm až 15 mm nad nejvyšším bodem tašky. Taška je umístěna po dobu 20 hodin \pm 5 minut při teplotě 15 °C až 30 °C při relativní vlhkosti 30 %, je vhodné použít zařízení ke zjištění odkapávání vody. Výsledkem je zjištění, zda během 20 hodin \pm 5 minut odkáply ze spodní strany tašky kapky vody [25].



- 1 voda
- 2 těsnící materiál o šířce nejvýše 15 mm
- 3 nepropustný materiál
- 4 střešní taška
- 5 zrcadlo

Obr. 11: Zkušební zařízení pro zkoušku prosákavosti [25]

Praktická část

Cílem praktické části je srovnání parametrů, které by charakterizovaly mrazuvzdornost zkoušených tašek. Pálené střešní tašky byly dodány od jednoho výrobce TONDACH, z výrobních závodů: Šlapanice, Stod a Hranice.

Cihelna Šlapanice – střešní taška (Brněnka 14) [37]

Tab. 7: Technické údaje



Obr. 12: Střešní taška Brněnka 14

Celková šířka	245 mm
Celková délka	405 mm
Krycí šířka	200 mm
Krycí délka	280-340 mm
Hmotnost 1 ks	3,0 kg
Barva	světle oranžová
Povrchová úprava	režná

Cihelna Stod – střešní taška (Stodo 12) [35]

Tab. 8: Technické údaje



Obr. 13: Střešní taška Stodo 12

Celková šířka	275 mm
Celková délka	433 mm
Krycí šířka	230 mm
Krycí délka	343-363 mm
Hmotnost 1 ks	3,6 kg
Barva	oranžová
Povrchová úprava	režná

Tab. 9: Technické údaje



Obr. 14: Střešní taška Románská 12

Celková šířka	280 mm
Celková délka	465 mm
Krycí šířka	223 mm
Krycí délka	365–380 mm
Hmotnost 1 ks	3,6 kg
Barva	tmavě oranžová
Povrchová úprava	režná

7 Metodika experimentu

Cílem experimentální části je srovnání získaných hodnot z daných zkoušek a následné vyhodnocení střešních tašek z hlediska mrazuvzdornosti. Nepřímé metody byly stanoveny na zkušebních vzorcích, které se získaly nařezáním střešních tašek. Přímá metoda mrazuvzdornosti byla stanovena na celých střešních taškách. Zkouška nasákavosti byla stanovena na 2 sadách vzorků. 1 sada byla podrobena postupně všem třem způsobům nasákavosti (za atmosférického tlaku, varem a vakuovou metodou), 2 sada vzorků byla vystavena nasákavosti separátně (tedy pouze za atmosférického tlaku, varem nebo pomocí vakuové metody).

Zkušební vzorky jsou označeny následovně: š – střešní taška Brněnka, s - střešní taška Stodo a h – střešní taška Románská.

7.1 Nasákavost

Je jedním z parametrů, jež charakterizuje mikrostrukturu keramického střepu a to převážně její pórovitost. Tato zkouška se řadí mezi jednu z nejčastějších zkoušek prováděných v keramice. Vysoká nasákavost ukazuje na pórovitou strukturu, zatímco keramický střep, který je slinutý a hutný vykazuje nízkou nasákavost.

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

m_n ... hmotnost vzorku po zkoušce nasákavosti [g]

m_s ... hmotnost vysušeného vzorku [g].

Na zkušebních vzorcích (keramických střepch) byla nasákavost stanovena 3 způsoby:

- nasákavost za atmosférického tlaku
- nasákavost varem
- nasákavost vakuovým způsobem.

7.1.1 Nasákavost za atmosférického tlaku

Zkušební vzorky se vysuší do ustálené hmotnosti a zaznamená se jejich hmotnost a vloží se do exikátoru. Po vychladnutí se postaví na výšku na dno nádoby a postupně se zalévají vodou – do 1/3 výšky po dobu 6 hodin, do 2/3 výšky na 16 hodin. Následně jsou vodou přelity, aby byly minimálně 20 mm pod hladinou, a takto se ponechají po dobu 24 hodin [27].

7.1.2 Nasákavost varem

Zkoušené vzorky byly vysušeny při 110 °C do ustálené hmotnosti, následně byla zaznamenána jejich hmotnost a uložily se na rošt do varné nádoby s vodou tak, aby se nedotýkaly stěn nádoby a ani vzájemně mezi sebou. Vzorky jsou zcela ponořeny a během půl hodiny až jedné hodiny se přivedou k varu, který je udržován po dobu 2 hodin. Odpařená voda během varu se doplňuje tak, aby vzorky byly 20 mm pod hladinou vody, po skončení varu se nechá voda se vzorky vychladit na teplotu místnosti. Jednotlivé vzorky jsou odebírány, na povrchu otírány vlhkou tkaninou a váženy [28].

7.1.3 Nasákavost vakuovým způsobem

Vysušené vzorky při 110 °C do ustálené hmotnosti se zváží a uloží se do exikátoru, aby se nedotýkaly stěn nádoby a ani vzájemně mezi sebou. Z exikátoru se pomocí vývěvy odčerpá vzduch a čeká se 10 minut. Vzorky se zalejí do poloviny vodou, v nádobě je udržován stále podtlak (10 minut). Následně jsou vzorky zality vodou úplně, hladina vody je 2 cm nad nejvyšším vzorkem, po 15 minutách je zrušen podtlak a následuje hydrostatické vážení. Vzorky se hydrostaticky zváží a vrací se zpět do nádoby s vodou, po hydrostatickém vážení následuje vážení na vzduchu, kdy se povrch vzorků otírá vlhkou tkaninou a ihned se váží [28].

7.2 Objemová hmotnost

U keramických střepeň je nejčastěji stanovena pomocí hydrostatického vážení. Objemová hmotnost se vyjadřuje v $\text{kg} \cdot \text{m}^{-3}$, udává hmotnost vysušeného vzorku včetně uzavřených a otevřených pórů, je vždy menší než měrná hmotnost [27].

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

m_n ... hmotnost nasáklého vzorku váženého na vzduchu [g]

m_s ... hmotnost vysušeného vzorku [g]

m_{nv} ... hmotnost vzorku při hydrostatickém vážení [g]

ρ_v ... hustota kapaliny, v níž je prováděno hydrostatické vážení ($1000 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-3}$).

7.3 Zdánlivá pórovitost

Stanovuje se společně s nasákavostí a objemovou hmotností, zdánlivá pórovitost je přesnějším ukazatelem pórovitosti mikrostruktury, udává poměr objemu otevřených pórů k celkovému objemu zkušebního vzorku včetně pórů [27].

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

m_n ... hmotnost nasáklého vzorku váženého na vzduchu [g]

m_s ... hmotnost vysušeného vzorku [g]

m_{nv} ... hmotnost vzorku při hydrostatickém vážení [g].

7.4 Zdánlivá hustota

Zdánlivá hustota udává hmotnost vysušeného vzorku na jednotku jeho objemu a to včetně uzavřených pórů. Pokud zkoušený vzorek nemá žádné uzavřené póry, je zdánlivá hustota rovna měrné hmotnosti. Zdánlivá hustota se současně stanovuje s nasákavostí, objemovou hmotností a zdánlivou pórovitostí [27].

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

m_n ... hmotnost nasáklého vzorku váženého na vzduchu [g]

m_s ... hmotnost vysušeného vzorku [g]

m_{nv} ... hmotnost vzorku při hydrostatickém vážení [g]

ρ_v ... hustota kapaliny, v níž je prováděno hydrostatické vážení ($1000 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-3}$).

7.5 Stanovení distribuce velikosti pórů

Ke stanovení distribuce a velikosti pórů se používá vysokotlaká rtuťová porozimetrie. Princip spočívá ve vnikání rtuti do otevřených pórů za rovnoměrně se zvyšujícího tlaku. Určení velikosti pórů je založeno na chování nesmáčivých kapalin v kapilárách (úhel smáčení větší než 90°), kde dochází k vyvolávání kapilární deprese.

Přístroj sloužící ke stanovení vysokotlaké porozimetrie se nazývá porozimetr, který bývá umístěn v kovové skřínce. Výsledkem měření je distribuce jednotlivých pórů a celkový objem pórů. Také tato metoda poskytuje další cenné informace o pórovitém systému zkoušeného vzorku [29].

7.6 Vzlínavost

Pokud je neslinitý stěp v kontaktu s kapalinou, začne kapalina vnikat vlivem kapilárních sil do otevřených pórů i přes působení gravitační síly. Tato vlastnost je označována jako vzlínavost. Rychlost je závislá na průměru kapilár a vlastnostech dané kapaliny. Pokud jsou ve stěpu trhlinky, projeví se to v rozdílnosti vzlínání, protože trhlínkami vzlíná kapalina mnohem rychleji, než ostatními kapilárami. Mezní hodnotou je vzlínutí 50 mm/90 min.

Vysušený zkušební vzorek je ocejchovaný po 1 mm a postaví se do misky s vodou tak, aby hladina vody byla ve výšce 5 mm od spodního okraje vzorku. Od vložení vzorku do vody, se měří výška vzlinutí v určitých časových intervalech, ze získaných hodnot se sestaví grafická závislost a střep je posuzován dle kritéria 50 mm/90 min [27].

7.7 Navlhavost a vysýchavost

Tyto zkoušky jsou pouze orientační a slouží k získání dalších informací o chování zkušební vzorku. Navlhavost je stanovena postupným měřením hmotnosti keramického střepu, který je uložen v nádobě s vodou, měření je dokončeno, když je hmotnost vzorku ustálena. Vysýchavost je opakem navlhavosti, vodou nasycený keramický střep je uložen v místnosti při normálních podmínkách a je opět vážen do ustálené hmotnosti.

7.8 Prosákavost

Prosákavost pálených střešních tašek se stanovuje dle normy ČSN EN 539 – 1, ve které jsou popsány dvě metody. První metoda spočívá ve stanovení množství vody, která prosákne 1 cm² povrchu keramického střepu za 48 hodin při působení tlaku vodního sloupce výšky 10 cm. Druhá metoda stanovuje dobu, kdy odkápnou první kapka při působení vody na povrch tašky. Prosákavost lze stanovit i nepřímou, pomocí vzlinavosti. Měří se množství kapaliny, které protéklo kapilárou v určitém časovém intervalu.

Při zkoušení prosákavosti byla použita obdoba normové zkoušky, protože tato zkouška byla stanovována na vyříznutém vzorku střešní tašky. Pomocí lepidla se na zkoušený vzorek nalepila nádoba, do které se nalila voda, při čemž došlo k působení tlaku vodního sloupce. Ve spod zkušební vzorku byly umístěny elektrody a při prosáknutí došlo k vychýlení, jež bylo zaznamenáno v PC. Následně se stanovil čas prosáknutí a tloušťka zkoušeného vzorku [32, 33].

7.9 Stanovení mineralogického složení

Metoda rentgenové analýzy založená na difrakci se používá ke stanovení mineralogického složení všech látek, jež mají krystalický charakter. Rentgenová difrakční analýza vychází ze spojení dvou principů – krystalografického uspořádání látek a interakce rentgenového záření s částicemi tvořícími krystalovou mřížku látek. Roviny rovnoběžné a od sebe stejně vzdálené, jsou identifikovány známými Millerovými indexy, které udávají polohu v prostorové mřížce. Mezirovinná vzdálenost je značena d a může být doplněna dle

potřeby Millerovými indexy. Pokud známe hodnoty mezivzrostů vzdáleností různých minerálů a hodnoty mezivzrostů vzdáleností zkoumaného vzorku, lze z těchto hodnot určit, jaký minerál či minerály jsou obsaženy ve zkoumaném vzorku.

Zařízení pro rentgenovou difrakční analýzu se nazývá difraktograf, který je obecně složen ze tří částí (stabilizovaného zdroje záření, goniometru pro posuv vzorku a detektoru, detekčního a registračního zařízení). Získaný záznam je označován jako difraktogram, na ose x jsou hodnoty úhly dopadu 2θ , na ose y je znázorněna intenzita odražených paprsků RTG záření. Vyhodnocení rentgenogramu je založeno na vyznačení hodnot úhlů, pak následuje stanovení mezivzrostů vzdáleností a určení minerálů dle kartotéky ASTM, ISCD nebo COD [29, 30].

7.10 Stanovení součinitele délkové teplotní roztažnosti

Pomocí kontrakčně dilatometrické termické analýzy (DKTA) se stanovují nevratné změny jako důsledek fyzikálních a chemických procesů v průběhu zahřívání a následném ochlazení. Při dilatometrickém měření se tedy zaznamenávají změny zkoušeného vzorku v závislosti na teplotě. Kontrakčně dilatometrická termická analýza se také využívá ke stanovení mineralogického složení u keramických látek, ke sledování změn výrobních směsí a to jako podklad k určení pálicích křivek [29].

7.11 Stanovení mrazuvzdornosti (dle ČSN 73 1322)

Z důvodu časové náročnosti a chybějícího zkušebního zařízení ke stanovení mrazuvzdornosti pálených střešních tašek, se tato zkouška provedla dle normy ČSN 73 1322: Stanovení mrazuvzdornosti betonu. Vodou nasycené střešní tašky se umístily do zkušebního zařízení, kde byly vystaveny zmrazovacím cyklům. Jeden zmrazovací cyklus se skládal ze 4 hodin zmrazování (teplota při -15 °C) a 2 hodin rozmrazování ($+20\text{ °C}$). Pálené střešní tašky byly vystaveny 100 cyklům [31].

8 Vyhodnocení

8.1 Nasákavost, objemová hmotnost, zdánlivá pórovitost a zdánlivá hustota

Tab. 10: 1 sada - Výsledné hodnoty nasákavosti, objemové hmotnosti, zdánlivé pórovitosti a zdánlivé hustoty

vzorek	$\emptyset NV_{atm.}$ [%]	$\emptyset NV_{var}$ [%]	$\emptyset NV_{vakuu.}$ [%]	OH [kg/m ³]	$\emptyset OH$ [kg/m ³]	PZ [%]	$\emptyset PZ$ [%]	ZH [kg/m ³]	$\emptyset ZH$ [kg/m ³]
š1a	10,86	13,08	14,53	1830	1840	26,99	26,68	2510	2510
š1b				1840		26,36		2500	
h1a	6,49	9,15	9,71	2000	1970	19,49	19,08	2490	2430
h1b				1930		18,67		2370	
s1a	6,56	8,01	8,95	2100	2100	18,59	18,75	2580	2580
s1b				2090		18,92		2580	

Je zde určitý předpoklad, že nasákavost za studena by měla mít nejnižší hodnotu, naopak nejvyšší hodnota nasákavosti by měla být za pomoci vakuové metody. Tento předpoklad se u zkoušených vzorků potvrdil. Nejvyšší hodnoty nasákavosti byly u tašky Brněnky, taška Stodo má nejnižší nasákavost a vysokou objemovou hmotnost, která způsobena na základě přídavku korekčního jílu B1, díky němuž je střep slinutý.

V následující tabulce 11, je ještě zobrazena korigovaná nasákavost vztažena na hmotnost vzorků po vysušení. U všech zkušebních keramických střepů se mírně snížila oproti původní hodnotě nasákavosti.

Tab. 11: Korigovaná nasákavost

vzorek	$\emptyset NV_{atm.}$ [%]	$\emptyset NV_{var}$ [%]	$\emptyset NV_{vakuu.}$ [%]
š1a š1b	10,73	12,95	14,40
h1a h1b	6,47	9,13	9,69
s1a s1b	6,55	7,99	8,93

Níže uvedené výsledky v tabulkách 12, 13 a 14 jsou z 2 sady zkušebních vzorků, kde nasákavost byla stanovována separátně.

Tab. 12: Nasákavost za atmosférického tlaku

vzorek	m_s [g]	m_n [g]	$NV_{atm.}$ [%]
š2a	110,65	122,67	10,86
h2a	46,57	49,91	7,17
s2a	103,86	110,85	6,73

Tab. 13: Nasákavost varem

vzorek	m_s [g]	m_n [g]	NV_{var} [%]
š2b	189,56	213,30	12,52
h2b	58,38	63,74	9,18
s2b	64,78	70,11	8,23

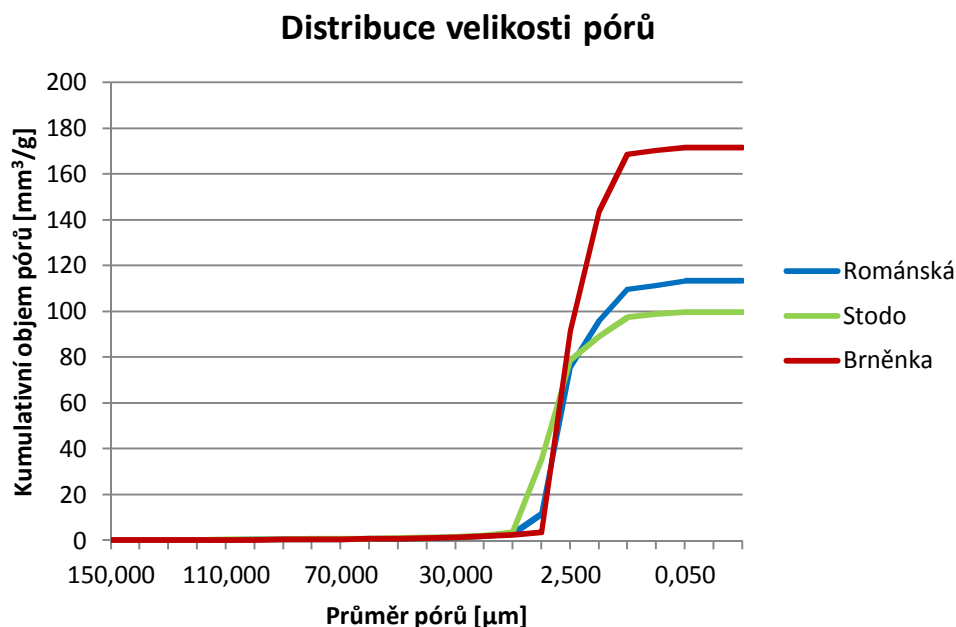
Tab. 14: Nasákavost pomocí vakuové metody

vzorek	m_s [g]	m_{no} [g]	$NV_{vakuu.}$ [%]
š2c	103,12	120,06	16,43
h2c	89,64	98,88	10,31
s2c	60,04	66,12	10,13

Ze získaných hodnot je opět nejvyšší nasákavost u střešní tašky Brněnky, taška Románská a Stodo mají nasákavost podstatně menší. Na základě teoretických předpokladů lze konstatovat, že vysoká nasákavost může negativně ovlivnit mrazuvzdornost, z tohoto hlediska se jeví jako nejnáchylnější střešní taška Brněnka.

8.2 Distribuce velikosti pórů

Graf 8: Křivky distribuce velikosti pórů střešních tašek



8.3 Vyhodnocení nepřímých metod

Tab. 15: Vyhodnocení nepřímých metod: Maageho faktor mrazuvzdornosti, medián poloměru pórů, saturační poměr, koeficient nasycení střepeu

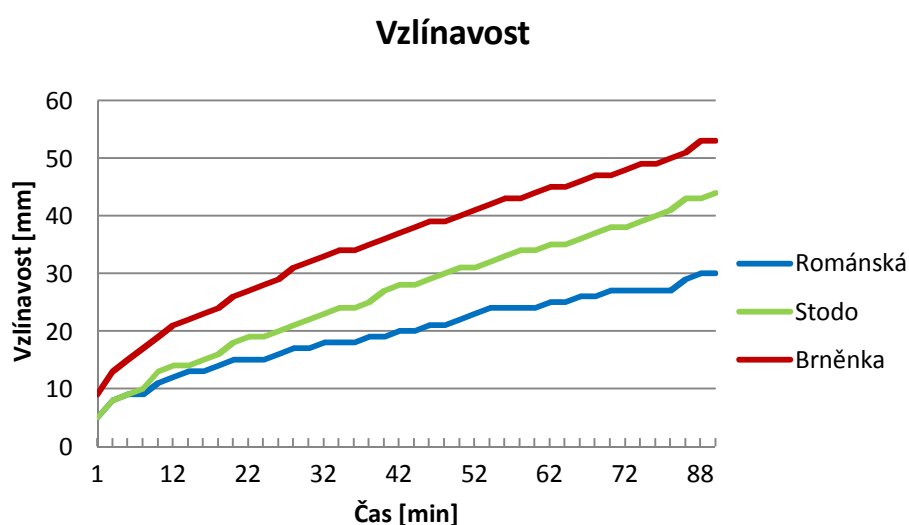
vzorek	F	$r_{50\%}$ [μm]	T	KNS	objem pórů [mm^3/g]
š	23	0,386	0,75	0,83	171
s	59	0,508	0,73	0,82	99
h	38	0,541	0,69	0,71	113

Podle Maageho kritéria (viz tabulka 6, str. 32) by střešní tašky Brněnka a Románská byly označeny za nemrazuvzdorné. U pálené střešní tašky Stodo by byla mrazuvzdornost nejistá, protože hodnota F spadá do intervalu 55 – 70. Podle vypočtené hodnoty mediánu poloměru pórů by žádná ze zkoušených tašek nemohla být označena jako mrazuvzdorná, protože všechny střešní tašky měly hodnotu $r_{50\%}$ menší jak $0,60 \mu\text{m}$, tudíž by se vyhodnotily jako nemrazuvzdorné. Dále byl stanoven saturační poměr, podle této metody by tašky Románská a Stodo byly mrazuvzdorné a u tašky Brněnky by byla mrazuvzdornost nejistá. Jako poslední je uveden koeficient nasycení střepeu, u všech střešních tašek byla

hodnota $KSN \leq 0,85$, na základě tohoto vyhodnocení jsou všechny zkoušené tašky mrazuvzdorné. Ke zvýšení mrazuvzdornosti také dochází, pokud je nízký objem pórů a vysoká hodnota mediánu poloměru pórů, na základě tohoto předpokladu by vyšší mrazuvzdornost vykazovaly tašky Stodo a Románská.

8.4 Vyhodnocení vzlínavosti

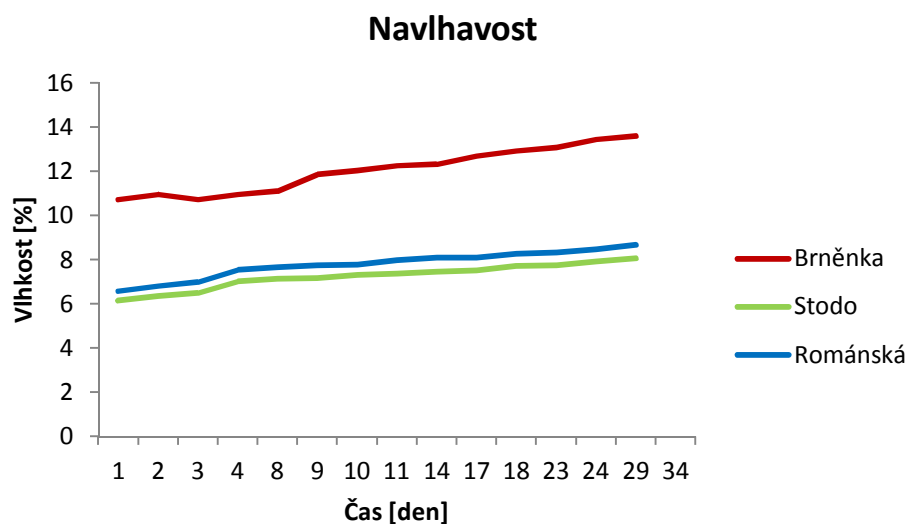
Graf 9: Znárodnění vzlínavosti střešních tašek



Vzlínání převážně závisí na průměru kapilár a na výskytu mikrotrhlinek v keramickém střepe. Zkouška vzlínavosti je posuzována dle Matějкова kritéria (50 mm/90 min). Ze získaných výsledků lze dojít k závěru, že pálené střešní tašky Stodo a Románská vyhovují požadovanému kritériu (obě hodnoty byly pod 50 mm/90 min) a střešní pálená taška Brněnka tuto hodnotu 50 mm překročila. Na trhu se nevyskytují žádné střešní tašky s touto překračující hodnotou vzlínavosti, vhodným opatřením je ponoření tašek do hydrofobizačního prostředku.

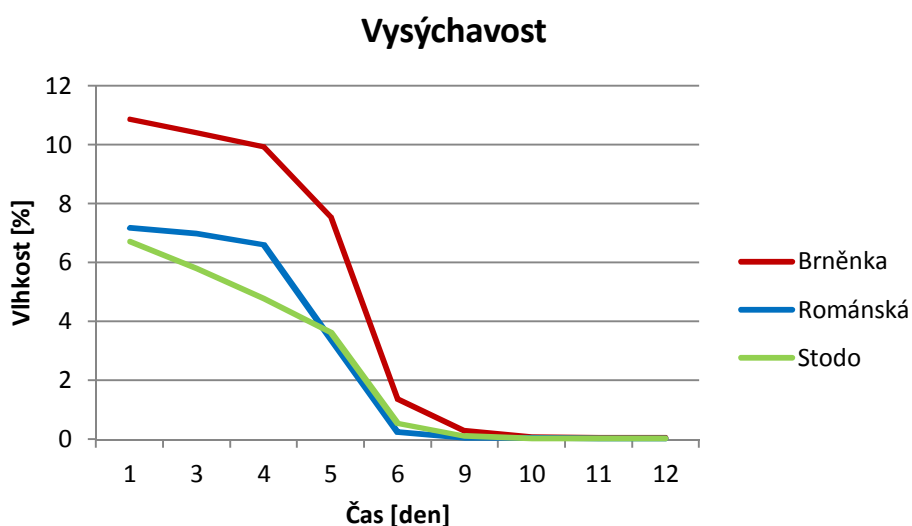
8.5 Navlhavost a vysýchavost

Graf 10: Znárodnění navlhavosti zkušebních vzorků



Z grafu 10 je patrné, že největší navlhavost má střešní taška Brněnka, taška Stodo a Románská vykazují velmi podobné hodnoty navlhavosti, které jsou podstatně nižší než u zkoušené tašky z výrobního závodu Šlapanice.

Graf 11: Zobrazení vysýchavosti zkušebních vzorků



Tab. 16: Medián vysýchavosti

vzorek	medián vysýchavosti [den]
š	5,4
h	5
s	5,2

Vysýchavost je opakem navlhavosti a udává rychlost odevzdávání vody do okolního prostředí. Vysýchavost probíhá daleko rychleji, než navlhavost. Pro větší přehlednost byl stanoven medián vysýchavosti, který vyjadřuje čas, při které se dosáhne poloviční vlhkost keramického střepe. Nejrychleji dosáhla poloviční vlhkosti taška Románská, opakem byla střešní taška Brněnka, které dosažení poloviční vlhkosti trvalo nejdéle.

8.6 Prosákavost

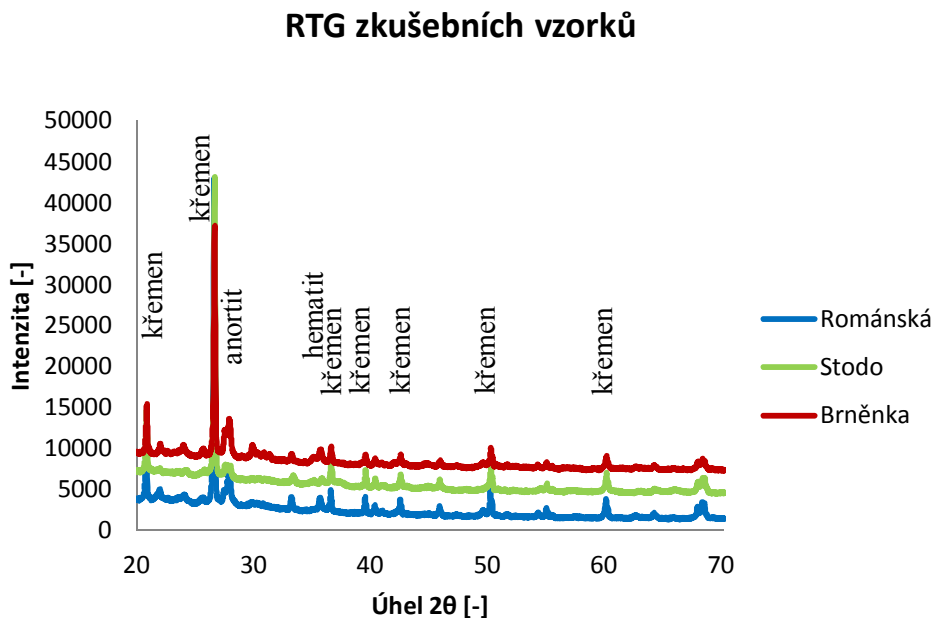
Tab. 17: Výsledné hodnoty zkoušky prosákavosti

vzorek	tloušťka [mm]	čas prosáknutí [min]	rychlost prosákavosti [mm/min]
h	7,2	23	0,33
š	10,4	21	0,50
s	8,7	54	0,17

U zkoušení prosákavosti nebyl stanoven faktor prosákavosti, ale rychlost prosákavosti. Nejrychlejší prosákavost byla u zkoušeného vzorku střešní tašky Brněnky a naopak nejpomalejší prosákavost byla u vzorku střešní tašky Stodo.

8.7 Mineralogické složení

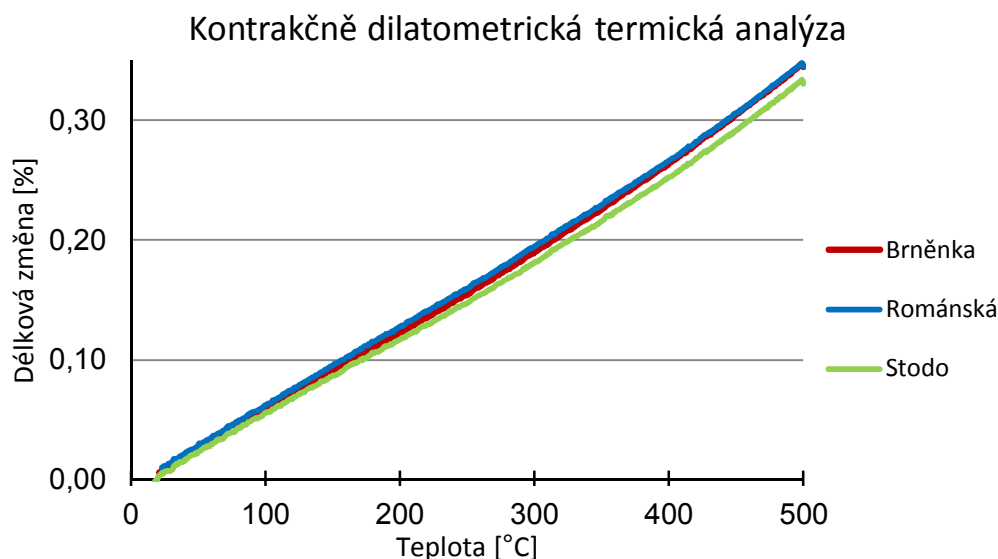
Graf 12: Vyhodnocení mineralogického složení střešních tašek



Pro RTG analýzu byly zkušební vzorky pomlety a získané hodnoty úhlů a intenzit se vynesly do grafické závislosti. Pak již následovalo určení mineralogického složení dle RTG tabulek. Nejvíce vyskytující se minerál je křemen, který byl nalezen u všech zkušebních vzorků. U střešních tašek Brněnka a Románská byl nalezen anortit a to díky tomu, že surovinová směs obsahuje vápenaté minerály. Románská střešní taška měla vyšší výskyt hematitu, díky kterému má charakteristické tmavší zbarvení.

8.8 Součinitel délkové teplotní roztažnosti

Graf 13: DKTA zkoušených vzorků



Z hlediska teplotní dilatace charakterizuje každou látku součinitel délkové teplotní roztažnosti, z grafu je patrné, že tento součinitel bude u zkoušených vzorků velmi podobný. V tabulce 18 jsou zobrazeny konkrétní hodnoty.

Tab. 18: Součinitel délkové teplotní roztažnosti

vzorek	α [K ⁻¹]
š	$7,10 \cdot 10^{-6}$
s	$6,86 \cdot 10^{-6}$
h	$7,52 \cdot 10^{-6}$

8.9 Zkouška mrazuvzdornosti

Přímá metoda mrazuvzdornosti byla stanovena dle zkoušení mrazuvzdornosti betonu. Po ukončení požadovaných cyklů (100 cyklů) došlo k vizuálnímu posouzení, ani jedna ze zkoušených tašek nevykazovala vady, které jsou uvedeny v tabulce 4 na str. 26. Na základě tohoto vizuálního posouzení, by se všechny zkoušené střešní tašky označily jako mrazuvzdorné.

8.10 Shrnutí

Na střešních taškách byla stanovena řada zkoušek, cílem bylo srovnat parametry, které by charakterizovaly mrazuvzdornost zkoušených tašek.

Střešní taška Brněnka měla nejvyšší nasákavost, navlhavost a nejpomaleji dosáhla poloviční vlhkosti při vysychání. Na základě Maageho faktoru a mediánu poloměru pórů by tato střešní taška byla označena jako nemrazuvzdorná, dle saturačního poměru by mrazuvzdornost nebyla jistá, podle KSN je taška mrazuvzdorná.

Střešní taška Stodo vykazuje podobné výsledky ze zkoušek nasákavosti a navlhavosti jako střešní taška Románská, rychlost prosáknutí byla ze všech zkoušených vzorků nejmenší. Taška Stodo podle nepřímé metody mediánu poloměru pórů byla vyhodnocena jako nemrazuvzdorná, Maageho faktor spadl do intervalu 55 – 70, tudíž by mrazuvzdornost nebyla jistá. Podle saturačního poměru a KNS je taška mrazuvzdorná.

Románská taška byla na základě Maageho faktoru a mediánu poloměru pórů označena za nemrazuvzdornou, podle výpočtu saturačního poměru a KNS by byla vyhodnocena jako mrazuvzdorná. Hodnoty nasákavosti a navlhavosti má podstatně nižší než Brněnka a při vysychání dosáhla nejrychleji poloviční vlhkosti.

Jako poslední byla stanovena mrazuvzdornost přímou metodou, po ukončení požadovaných 100 cyklů došlo k vizuálnímu posouzení, všechny tašky vyhověly a byly označeny jako mrazuvzdorné.

9 Závěr

V této práci byly obecně shrnuty dosavadní poznatky o problematice mrazuvzdornosti a popis výroby mrazuvzdorného cihlářského střepe. Jsou zde také uvedeny přímé a nepřímé metody, které slouží k určení mrazuvzdornosti střešních tašek. Jedna kapitola také pojednává o zkoušení mrazuvzdornosti betonových tašek, princip zkoušení betonových tašek je od těch „klasických“ pálených střešních tašek podstatně rozdílný, betonové tašky musí navíc splnit požadavky na únosnost a prosákavost.

Praktická část je zaměřena na zkoušky vypovídající o fyzikálně mechanických vlastnostech a mikrostruktuře keramického střepe. Tyto zkoušky lze zařadit do nepřímých metod, které nám poskytují doplňkové informace o možném chování keramického střepe při působení mrazu. Podle Maageho faktoru a mediánu poloměru pórů by ani jedna pálená střešní taška nevyhověla, protože žádná z nich neměla hodnotu F vyšší jak 70. Dle saturačního poměru jsou všechny tašky kromě Brněnky mrazuvzdorné, jako mrazuvzdorné je lze označit i na základě KNS, kde všechny tašky měly hodnotu $KNS \leq 0,85$.

Při použití přímé metody (i když byla stanovována dle mrazuvzdornosti určené pro betonové výrobky), všechny zkušební vzorky požadavkům na mrazuvzdornost vyhověly. Z hlediska vyhodnocení nepřímých metod nebyla mrazuvzdornost jednoznačně stanovena, protože výsledky jednotlivých metod byly rozdílné, podle některých by střešní tašky byly mrazuvzdorné a jiné nikoli.

I z tohoto menšího experimentu v rámci této práce je patrné, že mrazuvzdornost z hlediska nepřímých metod není jednoznačně určitelná, rozhodujícím posouzením mrazuvzdornosti jsou tedy metody přímé. Na keramický střepe působí mnoho faktorů, které mrazuvzdornost ovlivňují a někdy i přes vyhovující výsledky z přímých metod, výrobky v běžném provozu neobstojí. Snahou je zdokonalení nepřímých metod, aby se mrazuvzdornost keramického střepe mohla určit na základě jednoduchých zkoušek a dosazením do empirického vztahu.

10 Seznam použitých zdrojů

- [1] MAAGE, M. *Frost resistance and pore size distribution in bricks. Part 2.* Ziegelindustrie International, vol. 43, 1990, pp. 582–588.
- [2] ŠVEDA, M a SOKOLÁŘ, R. *The Effect of Firing Temperature on the Irreversible Expansion, Water Absorption and Pore Structure of a Brick Body During Freeze-Thaw Cycles.* Materials science (Medžiagotyra). Vol. 19, No. 4. 2013, pp. 465 – 470.
- [3] DUCMAN, V., SEVER ŠKAPIN, A., RADEKA, M. a RANOGAJEC, J. *Frost resistance of clay roofing tiles: Case study.* Ceramics International, Volume 37, Issue 1, January 2011, pp. 85-91
- [4] SÁNCHEZ DE ROJAS, M.I., MARÍN, F.P., FRÍAS, M., VALENZUELA E., RODRÍGUEZ O. *Influence of freezing test methods, composition and microstructure on frost durability assessment of clay roofing tiles.* Construction and Building Materials, Volume 25, Issue 6, June 2011, pp. 2888 – 2897
- [5] ŠVEDA, M. *Vplyv režimu pálenia a pórovej štruktúry pálenej krytiny na jej mrazuvzdornosť.* Silika, roč. 14, č. 3-4, 2004, s. 85-91.
- [6] FRANKE, L. and BENTRUP H. *Evaluation of the frost resistance of bricks in regard to long service life. Part 1.* Ziegelindustrie International, vol. 46, 1993, pp. 483 – 492.
- [7] IKEDA, K, KIM, H., KAIZU, K. and HIGASHI, A. *Influence of firing temperature on frost resistance of roofing tiles.* Journal of the European Ceramic Society. Volume 24, Issue. 14, 2004, pp. 3671 – 3677.
- [8] MAAGE, M. *Frost resistance and pore size distribution in bricks. Part 1.* Ziegelindustrie International, vol. 43, 1990, pp. 472 – 481.
- [9] PYTLÍK, P. *Cihlářství.* Brno: Akademické nakladatelství CERM, 1995, 264 s. ISBN 80-214-0612-7.
- [10] SOKOLÁŘ, R. *Speciální keramika: Cihlářská výroba. / Modul BJ4-M01 / Brno: Vysoké učení technické, Fakulta stavební, 2006. 67 s.*
- [11] SOKOLÁŘ, R. *Keramika. / Modul BJ01-M01 / Brno: Vysoké učení technické, Fakulta stavební, 2006, 176 s.*

- [12] LACH, V. and VOBORSKÝ, Z., *About the problem of frost-resistance of roof tiles*. Loggie, 1991, 1, pp. 73-81.
- [13] SOKOLÁŘ, R. *Pálená střešní krytina dříve a dnes*. Keramický zpravodaj, 2006, roč. 22, č. 1, s. 14 – 17.
- [14] ŠVEDA, M., UNČÍK, S. *The Effect of the Pore Structure of a Brick Body on Black Core Formation in Roofing Tiles*, Manual 2008 / Tile & Brick International, pp. 30 – 35.
- [15] MAAGE, M. *Frost resistance and pore size distribution in bricks. Part 1*. Ziegelindustrie International, vol. 43, 1990, pp. 472 - 481.
- [16] ŠVEDA, M. a SOKOLÁŘ, R. Evaluation of frost resistance of brick body, *Sklář a keramik*, roč. 63, č. 1 – 2, 2013, s. 3 – 6.
- [17] MATĚJKA, J. Důležitost odborného pálení krytiny, *Stavivo*, 1930, s. 735 – 740.
- [18] ČSN 72 1564: *Cihlářské zeminy. Společná ustanovení*. Praha: Úřad pro normalizaci a měření, 1986.
- [19] ČSN 72 1565 - 2: *Zkoušení cihlářských zemin. Stanovení zrnitosti sedimentací*. Praha: Úřad pro normalizaci a měření, 1986.
- [20] ŠVEDA, M. *Frost resistance of brick*. American Ceramic Society Bulletin 80 (9), 2001, pp. 46 – 48.
- [21] ČSN EN 539 – 2: *Pálené střešní tašky pro skládané střešní krytiny – Stanovení fyzikálních charakteristik – Část 2: Zkouška mrazuvzdornosti*. Brusel: Evropský výbor pro normalizaci, 2013.
- [22] ČSN EN 539 – 2: *Pálené střešní tašky pro skládané střešní krytiny – Stanovení fyzikálních charakteristik – Část 2: Zkouška mrazuvzdornosti*. Brusel: Evropský výbor pro normalizaci, 2006.
- [23] ČSN EN 1304: *Pálené střešní tašky a tvarovky – Definice a specifikace výrobku*. Brusel: Evropský výbor pro normalizaci, 2013.
- [24] ČSN 72 2603: *Skúšanie tehliarskych výrobkov. Stanovenie hmotnosti, objemovej hmotnosti a nasiakavosti*. Praha: Úřad pro normalizaci a měření, 1979.

- [25] ČSN EN 490 ed. 2: *Betonové tašky a tvarovky pro střešní krytiny a obklady stěn - Specifikace výrobku*. Brusel: Evropský výbor pro normalizaci, 2012.
- [26] SIDJANIN, L., RANOGAJEC, J., RAJNOVIC, D. and MOLNAR, E. *Influence of firing temperature on mechanical properties on roofing tiles*. Materials & Design, Volume 28, Issue 3, 2007, pp. 941–947.
- [27] SOKOLÁŘ, R. a SMETANOVÁ, L. *Keramika – laboratoře. / Modul BJ02-M01 /*. Brno: Vysoké učení technické, Fakulta stavební, 2006. 120 s.
- [28] ČSN 72 1565-6: *Zkoušení cihlářských zemin. Stanovení ztráty hmotnosti pálením, nasákavosti, zdánlivé pórovitosti a objemové hmotnosti*. Praha: Úřad pro normalizaci a měření, 1986.
- [29] LACH V., DAŇKOVÁ M. *Mikrostruktura stavebních látek*, VUT Brno, 1991, s. 178.
- [30] FRIDRICHOVÁ, M., DVOŘÁK, K., GAZDIČ, D., HÁJKOVÁ, I. *Maltoviny. / Modul BJ16-M02 /*, VUT v Brně, 2014, s. 133.
- [31] ČSN 73 1322: *Stanovení mrazuvzdornosti betonu*. Praha: Vydavatelství Úřadu pro normalizaci a měření, 1969.
- [32] ČSN EN 539 - 1: *Pálené střešní tašky pro skládané krytiny - Stanovení fyzikálních charakteristik - Část 1: Zkouška prosákavosti*. Praha: Český normalizační institut, 2006.
- [33] SOKOLÁŘ, R. *Vývoj norem a kvality střešních pálených tašek*. Silika, č. 1 -2, 2007, s. 36 – 40.
- [34] DIN 52251-3: *Indirekte Prüfverfahren zur Prüfung der Frostwiderstandsfähigkeit von Dachziegeln; Bestimmung des Tränkungswertes*, 1987.
- [35] Tondach: *Střešní krytina* [online]. TONDACH: © 2015 [cit. 23.5.2017]. Dostupné z: <http://www.tondach.cz/stresni-krytina/stodo-12?cover=00>
- [36] Tondach: *Střešní krytina* [online]. TONDACH: © 2015 [cit. 23.5.2017]. Dostupné z: <http://www.tondach.cz/stresni-krytina/romanska-12?cover=00>
- [37] Tondach: *Střešní krytina* [online]. TONDACH: © 2015 [cit. 23.5.2017]. Dostupné z: <http://www.tondach.cz/stresni-krytina/brnenka-14?cover=00>

11 Seznam použitých zkratk a symbolů

$NV_{\text{atm. var, vakuu}}$ – nasákavost (za atmosférického tlaku, varem, vakuovou metodou)

OH – objemová hmotnost

PZ – zdánlivá pórovitost

ZH – zdánlivá hustota

RTG - rentgenová difrakční analýza

F – Maageho faktor

P_3 – podíl pórů o průměru $> 3 \mu\text{m}$ z PV

PV – celkový objem pórů

m_n – hmotnost nasáklého vzorku váženého na vzduchu

m_s – hmotnost vysušeného vzorku

m_{nv} – hmotnost vzorku při hydrostatickém vážení

ρ_v – hustota kapaliny, v níž je prováděno hydrostatické vážení

KNS – koeficient nasycení střepe

DKTA – kontrakčně dilatometrická termická analýza

T – saturační poměr

α – teplotní součinitel délkové roztažnosti

$m_{n,m}$ – hmotnost vzorku nasáklého vodou za normálního tlaku

$m_{n,v}$ – hmotnost vzorku nasáklého za podtlaku

$m_{t,r}$ – hmotnost suchého vzorku.