



**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

# **METODIKA POSUZOVÁNÍ MRAZUVZDORNOSTI CIHLÁŘSKÝCH STŘEPŮ**

DETERMINATION OF FROST RESISTANCE OF BRICK BODIES

**BAKALÁŘSKÁ PRÁCE**  
BACHELOR'S THESIS

**AUTOR PRÁCE**  
AUTHOR

**ŠTĚPÁN KERŠNER**

**VEDOUCÍ PRÁCE**  
SUPERVISOR

**doc. Ing. RADOMÍR SOKOLÁŘ, Ph.D.**



# 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** Štěpán Keršner

**Název** Metodika posuzování mrazuvzdornosti  
cihlářských střepeň

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

**Datum zadání  
bakalářské práce** 30. 11. 2011

**Datum odevzdání  
bakalářské práce** 25. 5. 2012

V Brně dne 30. 11. 2011

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

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

## **Podklady a literatura**

- [1] LACH, V. - VOBORSKÝ, Z.: O problému mrazuvzdornosti pálené krytiny. Loggie, roč. 1°, č.2, 1991, s. 73-81
- [2] MAAGE, M.: Frostbeständigkeit und Porengrößenverteilung in Ziegeln. ZI Ziegelindustrie International, Jahrgang 43, No.9, 1990, S.472-481, Teil 2, Vol. 43, No. 10, 1990, S. 582- 588
- [3] ŠVEDA, M.: Effect of water absorption on frost resistance of clay roofing tiles. British Ceramic Transactions, Vol. 102, No. 1, 2003, S. 43-45
- [4] FRANKE, L. – BENTRUP, H.: Beurteilung der Frostwiderstandsfähigkeit im Hinblick auf lange Lebensdauer. Ziegelindustrie International, Jahrgang 46, No. 7/8, 1993, S. 483-492; No. 9, S. 529-536
- [5] 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

## **Zásady pro vypracování**

Zkoušení mrazuvzdornosti cihlářských střepů podle ČSN 72 1565-14 je částečně založeno na subjektivním posouzení vzhledu zkušebního vzorku během zmrazovacích cyklů. Zejména u cihlářských střepů vypálených na nižší teploty bývá často vznik defektů (trhlin) nepříliš dobře zřetelný.

Cílem bakalářské práce je:

- shrnout všechny dostupné a používané metody přímého a nepřímého posuzování mrazuvzdornosti cihlářských střepů,
- navrhnout metodiku objektivního posouzení destrukce cihlářských střepů během probíhajících zmrazovacích cyklů.

Předpokládaný rozsah práce asi 40 stran

## **Předepsané přílohy**

Licenční smlouva o zveřejňování vysokoškolských kvalifikačních prací

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

## **Abstrakt**

Práce se zaměřuje na shrnutí a popis současných testovacích metod určování mrazuvzdornosti keramického střepe a to jak metod přímých, které zatěžují vzorky pravidelným cyklováním, tak metod nepřímých, které usuzují na mrazuvzdornost dle parametrů nasákavosti a pórovitosti. Zkoušení mrazuvzdornosti keramického střepe je založeno na subjektivním posouzení vzhledu zkušebního vzorku během zmrazovacích cyklů, práce se proto dále zabývá metodikou objektivního posouzení destrukce cihlářských střepeů během probíhajících zmrazovacích cyklů pomocí ultrazvukové metody.

## **Klíčová slova**

Mrazuvzdornost, přímé metody, nepřímé metody, ultrazvuk.

## **Abstract**

This theses focuses on the summarization and description of contemporary frost resistance of brick bodies testing methods, including direct methods, which use repeated freeze-thaw cycling, as well as indirect methods, which determine frost resistance by means of water absorption and porosity parameters. Frost resistance testing of brick bodies is based on the subjective visual assessment of the specimen, over the course of the freeze-thaw cycles. Therefore, this paper also inquiries into the methodology of assessing objectively the destruction of brick bodies during freeze-thaw cycles, using ultrasound.

## **Keywords**

Frost resistance, freeze-thaw cycling, direct methods, indirect methods, ultrasound.

## **Bibliografická citace VŠKP**

KERŠNER, Štěpán. *Metodika posuzování mrazuvzdornosti cihlářských střepeů*. Brno, 2012. 45 s., 48 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 diplomovou práci zpracoval samostatně, a že jsem uvedl všechny použité, informační zdroje.

V Brně dne 8. 5. 2012

.....  
podpis autora

## **Poděkování**

Děkuji svému vedoucímu bakalářské práce panu doc. Ing. Radomíru Sokoláři, Ph.D. za pomoc a konzultace během zpracovávání mé práce a panu doc. Ing. Jiřímu Brožovskému, CSc. za pomoc s měřením vzorků.

# Obsah

1. Cíl práce .....	9
2. Úvod .....	10
3. Vyšetřování mrazuvzdornosti.....	11
4. Dosavadní poznatky v oblasti mrazuvzdornosti keramického střepu .....	12
5. Metody posuzování mrazuvzdornosti keramického střepu .....	15
5.1 Metody přímé .....	15
5.1.1 Cihlářské zeminy .....	15
5.1.2 Cihlářské výrobky (mimo pálené tašky) .....	16
5.1.2.1 Zkoušení dle ČSN 72 2601 .....	18
5.1.2.2 Zkoušení podle ASTM C67-11 .....	19
5.1.2.3 Zdící prvky – rozdělení .....	20
5.1.2.4 Zdící prvky – zkoušení dle předběžné normy ČSN P CEN/TS 772-22 .....	20
5.1.3 Pálené střešní tašky .....	22
5.1.3.1 Zkušební metoda B – Česká republika.....	23
5.1.3.2 Zkušební metoda E – Jednotná evropská zkušební metoda .....	24
5.1.3.3 Zkušební metoda A .....	26
5.1.3.4 Zkušební metoda C.....	27
5.1.3.5 Zkušební metoda D .....	29
5.1.4 Keramické obkladové prvky .....	30
5.1.4.1 Zkoušení podle ČSN EN ISO 10545-12 .....	30
5.1.4.2 Zkoušení podle ASTM C1026-10 .....	30
5.1.5 Komínové prvky.....	31
5.2 Metody nepřímé.....	32
5.2.1 Nasákavost střepu.....	32
5.2.2 Koeficient nasycení střepu .....	32
5.2.3 Saturační poměr T .....	32
5.2.4 Metoda vysokotlaké rtuťové porozimetrie .....	33
5.2.4.1 Princip rtuťové porozimetrie .....	33
5.2.4.2 Maage faktor mrazuvzdornosti.....	34
5.2.4.3 Bentrup .....	34
5.2.5 Zkouška stupně nasycení.....	35
5.2.6 Dilatometrické měření.....	35



6.	Praktická část.....	36
6.1	Ultrazvuková impulsová metoda .....	36
6.2	Metodika provedení .....	36
6.3	Naměřené a vypočtené hodnoty .....	37
6.4	Diskuze výsledků.....	37
7.	Závěr.....	40
8.	Literatura .....	41
9.	Seznam použitých zkratk a symbolů .....	44
10.	Seznam příloh.....	45
	Příloha č. 1: Klasifikace vad.....	46

# 1. Cíl práce

Předkládaná bakalářská práce si bere za cíl shrnutí a popis současných metod testování mrazuvzdornosti a dále možností objektivního posouzení destrukce cihlářského střepu vlivem zmrazovacích cyklů za pomoci ultrazvukové metody.

Práce se po úvodu ve dvou kapitolách stručně věnuje dřívějšímu vyšetřování mrazuvzdornosti a dosavadním poznatkům v oblasti zkoumání mrazuvzdornosti keramického střepu. Podrobněji jsou rozebrány jednotlivé metody posuzování mrazuvzdornosti a to jak přímé, tak nepřímé. Následuje praktická část, která se zabývá vyhodnocením vybraného experimentu na vzorcích keramiky, které byly zmrazovány, a byla na nich měřena rychlost průchodu ultrazvukových vln.

## 2. Úvod

Keramika, řecky „pro hrnčářství“ [1], představuje anorganický nekovový materiál, vyrobený za vysokých teplot. První použití keramiky se objevuje již ke konci paleolitu. Jedná se tedy o materiál z historického hlediska dlouho používaný pro celou řadu užitkových i stavebních výrobků. Postupem času byly na keramické stavební výrobky kladeny určité požadavky, které měly zaručit jejich jakost: nasákavost, pevnost, objemová hmotnost apod.

Klíčovou vlastností keramického střepu je jeho odolnost proti působení mrazu a mrazuvzdornost jako taková má zásadní vliv na samotnou trvanlivost výrobku. Mrazuvzdornost je také znakem dobré kvality výrobků. Jestliže voda vniká do pórů materiálu a je poté vystavena mrazu, dochází vlivem fyzikálních sil ke zvětšování objemu, rozpínání ledu a vzniknuvší tlak může způsobovat mikrotrhliny či větší porušení materiálu. To, do jaké míry bude keramický střep odolný, je závislé na základních parametrech, jako je složení směsi, velikost a tvar pórů, jejich distribuce či teplota výpalu [2]. Základní možností zvýšení mrazuvzdornosti výrobků je mimo jiné zajištění nízké nasákavosti keramického střepu, vhodná distribuce pórů (i více nasákavý střep může být mrazuvzdorný, jestliže má póry vhodně rozložené) či zamezení vzniku textury keramického střepu při vytváření [3]. Vznik textury je obecně hlavním nebezpečím pro mrazuvzdornost, takže se při vytváření musíme nejprve zaměřit na odstranění vzniku textury a teprve potom se věnovat zlepšení distribuce pórů [4].

### 3. Vyšetřování mrazuvzdornosti

Jak již bylo zmíněno, mrazuvzdorností se cihláři zabývají již dlouhou dobu. Jako jedna z klíčových vlastností byla zkoumána ještě před příchodem automatických cyklovacích mrazících zařízení pouze za pomoci přírody. Například střešní tašky se při testování vystavovaly působení „skutečnému“ mrazu ve venkovních prostorách. Pan František Wawerka v roce 1932 popisuje „testování“ mrazuvzdornosti takto [5]: „... Abych se přesvědčil, zdali tašky pálené v nižších žárech budou také mrazuvzdorné, což je zásadní požadavek kladený na hliněnou krytinu, podrobena byly mrazení, k čemuž letošní zima byla velmi příznivá. Tašky ponořeny do horké vody (60–80 °C), ponechány v ní 1–2 hod., teplota udržována na stejné výši, pak vysazeny byly venku mrazu; po 4–5 hod. mrazení dány znovu do horké vody, což se opakovalo celkem 33 krát. Nočním mrazům vysazeny byly vždy od 4 hod. odpol. do 8 hod. ráno. Za celou dobu mrazení neobjevila se ani nejmenší známka poruchy...“

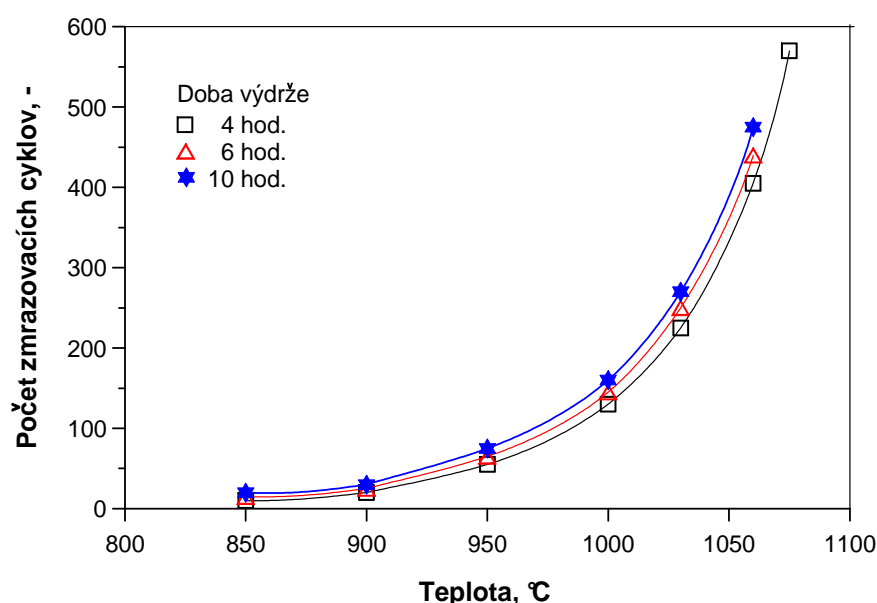
V současné době jsou kladeny na střešní tašky mnohem větší nároky, než tomu bylo dříve. Například u obvyčejné tažené tašky bobrovky se podle dnes již neplatné ČSN 72 2682 [6] z roku 1981 požadovalo pouze 25 cyklů, aby byla dodržena podmínka mrazuvzdornosti. Dnes je u obdobné střešní krytiny požadovaná výdrž nejméně 150 cyklů [7]. Je potřeba ovšem zmínit, že se metodika testování oproti dřívější době změnila.

Podle [8] byly experimentálně posuzovány dva soubory pálených střešních tašek – tažené bobrovky – z roku 1988 a 2003 a byl prokázán výrazný posun v kvalitě (pevnost, pórovitost, nepřímo mrazuvzdornost a prosákavost).

Střešní taška prodělala vlivem zdokonalování technologie výroby velký skok dopředu ve své kvalitě, nejen co se týká mrazuvzdornosti. Proto také dnes již neplatí místy stále zakořeněná podmínka z výše zmíněné normy z roku 1981, že „pálenou bobrovku lze použít pouze do nadmořské výšky 600 m. n. m.“ [6].

## 4. Dosavadní poznatky v oblasti mrazuvzdornosti keramického střepe

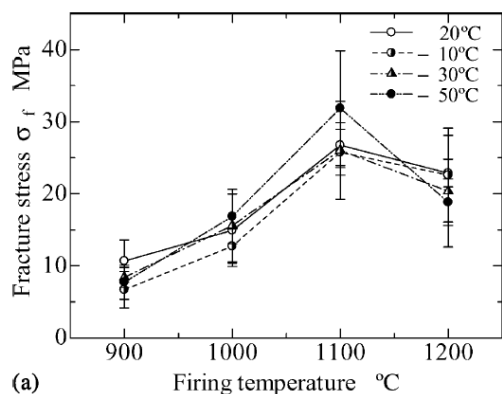
Důležitým faktorem, kterým lze ovlivnit výslednou mrazuvzdornost keramického střepe při výrobě, je teplota výpalu výrobků. S rostoucí teplotou výpalu roste i odolnost proti působení mrazu. Zároveň klesá nasákavost střepe, zdánlivá pórovitost a klesá i objem pórů (graf 3, 4). Při zvyšování vypalovací teploty dochází k plynulému růstu hodnoty mediánu poloměru pórů<sup>1</sup> [9]. Z grafu 1 je však patrné, že zvyšování doby výdrže nemělo na mrazuvzdornost větší vliv a je tedy z ekonomického hlediska spíše nevýhodné. Pokud chceme dosáhnout maximální mrazuvzdornosti, je výhodnější zvýšit vypalovací teplotu a nechat kratší dobu výdrže [9].



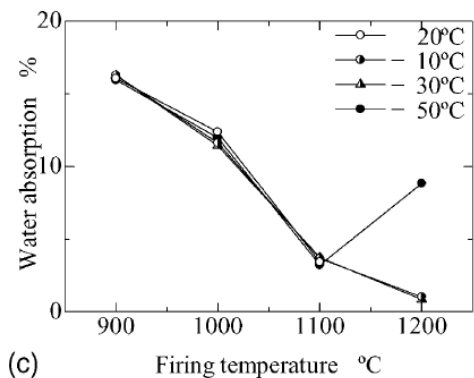
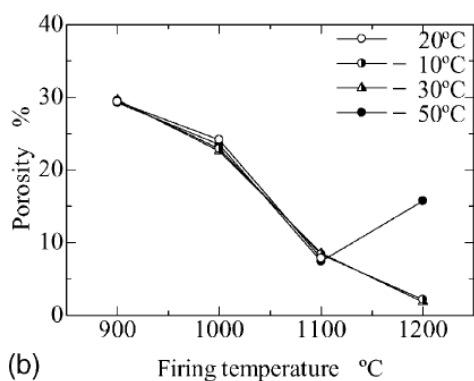
Graf 1: Vliv teploty výpalu a doby výdrže na mrazuvzdornost keramického střepe [9].

Také mechanické vlastnosti se s rostoucí teplotou výpalu zlepšují [10]. Avšak pouze do určité meze. Podle [11] se od teploty výpalu více jak 1100°C některé vlastnosti, které ovlivňují mrazuvzdornost, vlivem zmrazovacích cyklů, opět zhoršují – zvyšuje se nasákavost a pórovitost. Tato skutečnost byla zjištěna u vzorků, které byly zmrazovány na velmi nízké teploty okolo -50°C. Vzorky vypálené na 1100°C po ukončení cyklování vykazovaly vyšší pevnosti, stanovené čtyřbodovým ohybem, nežli vzorky vypálené na teplotu 1200°C [11] – viz graf 2.

<sup>1</sup> Medián poloměru pórů znamená, že více jak 50% objemu pórů má stejný nebo menší poloměr.



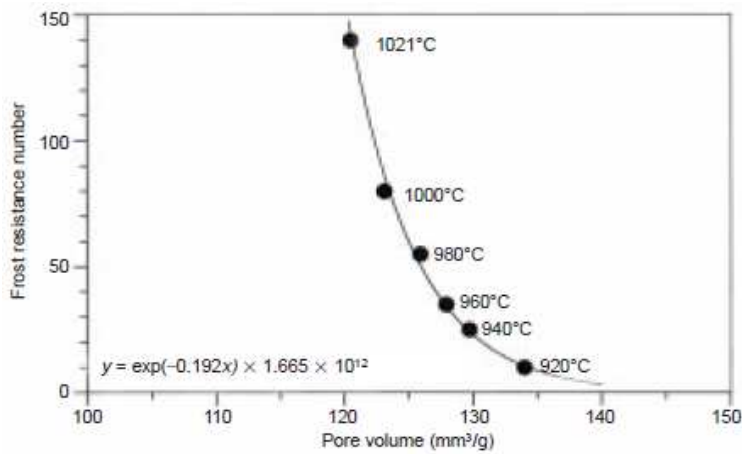
Graf 2: Vliv teploty výpalu na pevnosti v tahu za ohybu keramického střepu, stanovené na vzorcích po ukončení zmrazovacích cyklů probíhajících při různých teplotách [11].



Graf 3: Vliv vypalovací teploty na pórovitost (b) a nasákavost (c) stanovené na vzorcích po ukončení zmrazovacích cyklů probíhajících při různých teplotách [11].

Švéda [12,13] dále uvádí, že rozhodující vliv na mrazuvzdornost má hodnota mediánu poloměru pórů. Jestliže chceme dosáhnout vyšší mrazuvzdornosti keramického střepu, je potřeba výrazně snížit objem pórů a naopak zvýšit medián poloměru pórů, čehož – jak píše Švéda – lze docílit použitím přísady Antika (nízko tavitelné tavivo připravené na bázi solí alkalických kovů). Přidání tohoto taviva bude mít tedy za následek zvyšování odolnosti proti

působení mrazu při konstantní vypalovací teplotě [12]. Samotná modifikace objemu pórů ovšem vliv na mrazuvzdornost nemá [13].



Graf 4: Závislost mrazuvzdornosti keramického střepu na objemu pórů ( $\text{mm}^3/\text{g}$ ) [13].

Když voda vniká do keramického střepu, který má nepříznivé parametry výše zmíněných vlastností, a poté zamrzá, hrozí vlivem vzniklého tlaku tvorba trhlin. Podle [14] je tlak způsobený rozpínáním ledu v těchto pórech pouze jedním z faktorů, dalším je tlak, který vzniká od kapalné fáze. Je proto potřeba se zaměřit také na schopnost vody pohybovat se v objemu pórů resp. v systému jako celku [14].

Univerzální řešení, které by pomocí parametrů pórové struktury dokázalo přesně určit mrazuvzdornost keramického střepu, zřejmě neexistuje. V každém případě je potřeba brát v potaz zejména medián poloměru pórů, který pravděpodobně sehrává primární funkci, a dále objem těchto pórů. Samozřejmě, mezi hlavní vlivy patří také chemické a mineralogické složení suroviny a použitých přísad [9].

## 5. Metody posuzování mrazuvzdornosti keramického střepe

Metody posuzování mrazuvzdornosti keramického střepe obecně rozdělujeme na:

- přímé a
- nepřímé.

### 5.1 Metody přímé

Přímé metody spočívají v umístění vzorků z posuzovaného materiálu do speciálních zmrazovacích zařízení, která napodobují přímé působení mrazu a vody, kterému by byly vzorky vystaveny v exteriéru. Postupy zkoušení přímými metodami jsou dány v příslušných normách. Nevýhodou přímých metod je zejména časová náročnost, způsobena opakovanými cykly zmrazování a rozmrazování. Toto cyklování se pohybuje většinou v řádech desítek cyklů (podrobněji uvedeno dále). Pro úplnost je vhodné poznamenat, že po dobu životnosti výrobků – 100 roků – proběhne v našich klimatických podmínkách asi 750 cyklů [4].

#### 5.1.1 Cihlářské zeminy

Postup zkoušení mrazuvzdornosti cihlářských zemin je uveden v *ČSN 72 1565-14: Zkoušení cihlářských zemin. Stanovení mrazuvzdornosti* [15].

Vzorky – trámečky o rozměrech 120 mm × 20 mm × 20 mm – se uloží na rošt do varné nádoby tak, aniž by se vzájemně dotýkaly a aby byly zcela ponořeny. Voda v nádobě se vzorky se uvede do varu, který je udržován 2 hodiny. Nasáklé vzorky jsou následně vyjmuty a nechány okapat (popř. se otře povrch vlhkou utěrkou) a umístěny po 5 kusech do mokrého plátěného sáčku, který se uzavře gumičkou. Zabalené trámečky jsou poté vloženy do zmrazovacího zařízení předem ochlazeného na teplotu  $-20^{\circ}\text{C} \pm 3^{\circ}\text{C}$ , kde jsou ponechány po dobu 6 hodin. Po 6 hodinách se trámečky vyjmou a rozmrazí se vodou o teplotě  $+15^{\circ}\text{C}$  až  $30^{\circ}\text{C}$ , 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  $110^{\circ}\text{C}$  a následné vychladnutí v exsikátoru. Změny vzhledu trámeček se hodnotí stupnicí uvedenou v tabulce 1.



Každý trámeček se ohodnotí číslem ze stupnice a provede se vyhodnocení daného zmrazovacího cyklu (5 trámečků 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 za ohybu po zkoušce mrazuvzdornosti.

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

Tab. 1: Vyhodnocení změn vzhledu zkušebních trámečků.

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

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

### 5.1.2 Cihlářské výrobky (mimo pálené tašky)

Podle normy ČSN 72 2600: *Cihlářské výrobky. Společná ustanovení* [16] se třídí cihlářské výrobky s ohledem na mrazuvzdornost dle tabulky 2.

Tab. 2: Požadavky na mrazuvzdornost cihlářských výrobků.

Výrobky	Vyhověly	Označení	Použití
nemrazuvzdorné	/	/	pro zdivo (konstrukce) chráněné proti povětrnostním nebo jiným vlivům
mrazuvzdorné	15 cyklům	M 15	pro omítané zdivo při exponovaném použití

Výrobky	Vyhověly	Označení	Použití
mrazuvzdorné	25 cyklům	M 25	pro režné zdivo, pálenou krytinu a v konstrukcích, kde je tento požadavek předepsán
mrazuvzdorné	50 cyklům	M 50	pro zvláštní, mrazem namáhané zdivo (konstrukce)

Podmínky mrazuvzdornosti cihlářských výrobků v ČSN 72 2600 uvádí tabulka 3.

Tab. 3: Podmínky mrazuvzdornosti cihlářských výrobků dle ČSN 72 2600.

Prvky	Pro omítané zdivo	Pro režné zdivo a obklady
mrazuvzdorné	<p>a) vzorek nevykazuje po zkoušce mrazuvzdornosti změnu vůči původnímu stavu</p> <p>b) vzorek vykáže pouze nepodstatné změny (odštěpky do hloubky max. 5 mm, trhlinky, změnu zvuku) a hodnota pevnosti naměřená po zkoušce mrazuvzdornosti neklesne o více než 20% vůči průměrným odpovídajícím hodnotám naměřeným před zkouškou mrazuvzdornosti ve vysušeném stavu</p>	<p>Na žádném vzorku se po zkoušce mrazuvzdornosti neprojeví viditelné změny vůči původnímu stavu, průměrná hodnota pevnosti nebo lomového zatížení (únosnosti) neklesne vůči průměrným odpovídajícím hodnotám naměřeným před zkouškou mrazuvzdornosti ve vysušeném stavu o více než 20% a u krytiny nenastane změna zvuku</p>
nemrazuvzdorné	pokud nejsou splněny všechny podmínky mrazuvzdornosti (za podstatné viditelné změny se považují praskliny, odlomení rohů, rozpůlení, vrstevnatý rozpad a další typy porušení, ohrožující funkčnost výrobku)	

### 5.1.2.1 Zkoušení dle ČSN 72 2601

Postup zkoušení mrazuvzdornosti cihlářských výrobků dle normy *ČSN 72 2601 Skúšanie tehliarských výrobkou, zmena 3, príloha A* [17] je následující.

Tato zkouška mrazuvzdornosti se používá pro výrobky vyráběné podle ČSN 72 2600, s výjimkou pálených střešních tašek, pro které platí ČSN EN 539-2.

Mrazuvzdornost se zjišťuje na 5 zkušebních tělesech. Vzorky se nechají nasáknout vodou a vloží se do mrazícího prostoru, který je předem ochlazený na teplotu  $-20^{\circ}\text{C} \pm 3^{\circ}\text{C}$  tak, aby se vzájemně nedotýkaly. Při udržování teploty  $-20^{\circ}\text{C}$  se vzorky nechají v mrazícím prostoru po dobu 16 hodin. Poté se vzorky vyjmou a rozmrazí se v nádobě naplněné vodou, jejíž teplota se udržuje na hodnotě  $+15^{\circ}\text{C}$  až  $+30^{\circ}\text{C}$ . Rozmrazuje se nejméně po dobu 2 hodin.

Po každém 5. cyklu se zkušební vzorky zkontrolují a zaznamenají se zjištěné změny jejich vzhledu. Totéž je provedeno i po skončení předepsaného počtu cyklů, přičemž jsou poté vzorky vysušeny do ustálené hmotnosti.

Na vzorcích se provedou zkoušky pevnosti nebo únosnosti.

Jestliže na vzorcích po zkoušce nastaly vzhledové změny, posoudí se dle příslušné normy platné pro zkoušený výrobek. Každý vzorek je hodnocen samostatně.

Pokud jsou poškození většího rozsahu než připouští norma, považuje se výsledek zkoušky mrazuvzdornosti za nevyhovující a v dalších zkouškách se nepokračuje (změny zjevně způsobené rozhašením cicvárů<sup>2</sup> se nepovažují za porušení vlivem mrazu).

Vzorky, které vyhovují z hlediska vzhledu (tabulka 1), se podrobují zkoušce pevnosti nebo únosnosti. Jestliže průměrná pevnost nebo únosnost nepoklesla o více než 20% oproti průměrné pevnosti nebo únosnosti zjištěné na vzorcích, na kterých nebyla zkouška prováděna, považuje se výsledek zkoušky mrazuvzdornosti za vyhovující.

---

<sup>2</sup> Zbylý kousek vápna, obsažený ve vypálených cihlách.

### 5.1.2.2 Zkoušení podle ASTM C67-11

Pro porovnání je níže uvedena obdobná metoda testování keramických cihel a keramických tvárnic dle *ASTM C67-11: Sampling and Testing Brick and Structural Clay Tile* [18].

Tato metoda používá jako zkušební vzorky polovinu cihel či tvarovek po pěti kusech (případně vyřezaný prvek, který má na délku minimálně 4 palce (101,6 mm), z každého tohoto vzorky).

Zkouška začíná vysušením a zvážením vzorků. Vzorky se pouhým okem vyšetří, zdali se na nich nenacházejí trhlinky a jiná poškození. Každá případná trhlinka se označí fixem. Poté se vzorky ponoří do vody na  $4 \pm 0,5$  h. Po této době se vzorky vyjmou a umístí do zmrazovací nádrže čelní stranou dolů. Následně se do této zmrazovací nádrže se vzorky nalije voda tak, aby bylo každé těleso ponořeno minimálně 0,5 palce (12,7 mm). Nádrž se vzorky a vodou se umístí do mrazicí komory na  $20 \pm 1$  h, kde jsou vzorky ochlazovány vzduchem na teplotu  $-9^{\circ}\text{C}$ . Po 20 hodinách se vzorky vyjmou a umístí se do rozmrazovací nádrže s vodou o teplotě  $24^{\circ}\text{C} \pm 5,5^{\circ}\text{C}$ , kde jsou ponechány po dobu  $4 \pm 0,5$  h. Tento cyklus se opakuje celý pracovní týden. Dále se vzorky suší  $44 \pm 1$  h v sušárně a následuje vyšetření na přítomnost trhlin a jiných poškození.

Tento proces se opakuje do té doby, než je dosaženo 50 cyklů. Testování je přerušeno, vyskytnou-li se během průběhu cyklování na vzorcích trhliny, nebo zdali je pravděpodobné, že vzorky ztratily více než 3% původní hmotnosti před počátkem zkoušky<sup>3</sup>. Po dokončení testu, případně při jeho přerušení z důvodů výše uvedených, se vzorek vysuší a zváží.

Poté se provede výpočet úbytku hmotnosti vlivem zmrazování a rozmrazování a opět se vyšetří povrch, zdali se na něm nevyskytují trhliny či jiná poškození, která vznikla vlivem zkoušky.

Prvek se považuje za nemrazuvzdorný, jestliže úbytek hmotnosti překračuje předem určené meze nebo se během testování objevily na vzorcích trhliny, jejichž délka přesahuje předem stanovené meze. Jestliže ani jeden z problémů výše uvedených nenastal, vzorek je považován za mrazuvzdorný.

---

<sup>3</sup> Na základě vizuálního pozorování.

### 5.1.2.3 Zdíci prvky – rozdělení

Evropská norma ČSN EN 771-1 ve *Specifikaci zdících prvků – část 1: Pálené zdící prvky* [19], rozeznává dva druhy zdících prvků (tabulka 4):

Tab. 4: Rozdělení zdících prvků dle ČSN EN 771-1.

Označení	Popis
LD	Pálený zdící prvek s nízkou objemovou hmotností určený pro použití ve zdivu, které je chráněno proti pronikání vlhkosti
HD	Zdíci prvky, určené pro nechráněné resp. neomítané zdivo

Pro prvky, patřící do třídy HD, musí výrobce deklarovat míru agresivity prostředí z hlediska vlivu mrazuvzdornosti dle následujících skupin (tabulka 5).

Tab. 5: Kategorie mrazuvzdornosti dle ČSN EN 771-1.

Kategorie mrazuvzdornosti		Počet zmrazovacích cyklů dle ČSN 72 2601
F0	neagresivní prostředí	0
F1	mírně agresivní prostředí	15 nebo 25
F2	silně agresivní prostředí	50

### 5.1.2.4 Zdíci prvky – zkoušení dle předběžné normy ČSN P CEN/TS 772-22

*ČSN P CEN/TS 772-22 Zkušební metody pro zdící prvky – Část 22: Stanovení mrazuvzdornosti pálených zdících prvků* [20].

Podle této normy se zkouška provádí na zkušebním panelu, který je složený z pálených zdících prvků. Pro výplň spár se používají buď pěnová pryž nebo malta.

Zdíci prvky se ponoří do vody na 7 dní. Po vyjmutí se zabudují do zkušebního panelu s použitím pěnový pryže s uzavřenými póry o tloušťce 10 mm ± 2 mm nebo za použití rychle tuhnutí malty s hlinitanovým cementem (dávkování objemově, cement : písek 1:4). Zdíci prvky se musí uspořádat tak, aby svislé spáry v jedné vrstvě zdiva byly přibližně nad středy celých zdících prvků ve vrstvě pod ní (běhounová vazba). Poloviční zdící prvky a konce vrstev zdiva musí být orientovány tak, aby neřezaný konec zdícího prvku (styčná plocha)

tvorily část povrchu stěny, který má být vystaven zmrazovacím cyklům. Všechny plochy stěny kromě lícové, která bude vystavena působením cyklů, musí být uzavřeny v přiléhavém opláštění z pěnového polystyrenu s objemovou hmotností menší nebo rovnou  $50 \text{ kg/m}^3$  a o minimální tloušťce 50 mm na zadní straně a 25 mm po obvodu zkušební stěny. Takto se zhotoví zkušební panel o rozměrech mezi  $0,25 \text{ m}^2$  a  $0,5 \text{ m}^2$ .

V případě použití maltových spár by měla být zkouška zahájena do 30 minut po vyjmutí panelu z nádrže s vodou, v případě pryžových výplní spár se jedná o dobu 2 hodin. Jakmile je panel umístěn v přístroji, je potřeba před započítáním cyklů ošetřit postřikováním plochu lícového povrchu panelu. Jedná se o postřikování povrchu vodou o teplotě okolního prostředí, v množství  $6 \pm 0,5 \text{ l/min}$  na metr šířky zkušebního panelu po dobu 15 minut. Zaplavení vnějšího povrchu panelu musí být nepřerušované. Toto se zajistí použitím přímkové řady trysek v horní části zařízení.

Následuje již samotné cyklování. První časový úsek zmrazování musí trvat  $6 \text{ h} \pm 5 \text{ min}$ . Každý následující časový úsek zmrazování musí trvat  $120 \text{ min} \pm 5 \text{ min}$ . Teplota vzduchu se měří ve vzdálenosti  $30 \text{ mm} \pm 10 \text{ mm}$  od středu povrchu panelu a musí poklesnout z  $20^\circ\text{C} \pm 3^\circ\text{C}$  na  $-15^\circ\text{C} \pm 3^\circ\text{C}$  v době, mezi 20 až 30 minutami. Tato teplota  $-15^\circ\text{C} \pm 3^\circ\text{C}$  musí být udržována dalších 90 až 100 minut tak, aby celková délka časových úseků zmrazování byla výše uvedených  $120 \text{ min} \pm 5 \text{ min}$ . Poté je na řadě rozmrazovací cyklus. Teplota se musí zvýšit z  $-15^\circ\text{C} \pm 3^\circ\text{C}$  na  $20^\circ\text{C} \pm 3^\circ\text{C}$  v době 15 až 20 minut. Celkový čas působení teplého vzduchu včetně doby vzestupu teploty musí být  $20 \pm 1 \text{ min}$ . Dále je na řadě postřikování vodou. Tato doba trvá  $120 \text{ s} \pm 10 \text{ s}$ , přičemž se voda rozstříkuje rovnoměrně po celé délce horní hrany panelu. Voda se dodává v již uvedeném množství  $6 \pm 0,5 \text{ l/min}$  na metr šířky zkušební stěny a musí mít teplotu  $+18^\circ\text{C}$  až  $+25^\circ\text{C}$ . Na konci postřikování se po dobu 2 minut nechá voda ze systému odtéci. Takto probíhá jeden cyklus, který se následně opakuje.

Po ukončení 100 cyklů se panel nechá úplně rozmrznout a zaznamenají se veškerá viditelná poškození na ploše, která je vystavena působením cyklů. Jestliže se objeví viditelné poškození nebo je zjištěno začínající odlupování již v průběhu zkoušky, musí se zaznamenat počet cyklů, kdy byla závada poprvé objevena. Zkušební panel se vyhodnotí podle tabulky 6.

Tab. 6: Typy poškození podle ČSN P CEN/TS 772-22.

Popis poškození	Typ
Žádné	0
Vydrolení (např. cicváry)	1
*Vlasová trhlina $\leq 2$ mm	2
*Okrajová trhlina	3
*Povrchová trhlina $> 2$ mm	4
Průběžná trhlina	5
Štípání, odlupování, odprýskávání	6
Lom	7
Odštípnutí okraje, rozlupování (lístkování)	8
*Pokud se vlasové trhliny, menší trhliny nebo povrchové trhliny objeví společně s rozlupováním a tato skutečnost může být potvrzena rozříznutím cihly, potom se poškození uvádí jako rozlupování (lístkování).	

Stanoví se počet zdících prvků (nebo polovičních zdících prvků) ve zkoušeném panelu, u kterých došlo k poškození typu č. 4 a výše (viz tabulka 6) mezi počátečním prozkoumáním, po prozkoumání v požadované době a po 100 cyklech. Pokud se neobjeví poškození typu 4 nebo vyšší u žádného ze zdících prvků nebo polovičních zdících prvků, jsou zdící prvky považovány za vhodné k použití v nepříznivých podmínkách prostředí, kategorie F2 (tabulka 5). Vyhodnocení zkoušky je uvedeno ve výsledném protokolu.

### 5.1.3 Pálené střešní tašky

Norma ČSN EN 1304: Pálené střešní tašky a tvarovky – definice a specifikace výrobků [21] v příloze C rozděluje použití různých zkušebních metod (A až D) dle dané země – viz tabulka 7. Jednotlivé metody, jsou popsány v normě ČSN EN 539-2 [7].

Jestliže není země uvedena v seznamu, zkouší se výrobek metodou, která je platná v dané zemi (například národní normou).

Jak je zřejmé z tabulky 7, Česká republika byla zařazena do oblasti s uplatněním metody B, která je uvedena v normě ČSN EN 539-2.

Tab. 7: Rozdělení zkoušek mrazuvzdornosti pálených střešních tašek pro různé země podle ČSN EN 1304.

Země	Zkušební metoda pro mrazuvzdornost
Belgie, Lucembursko, Nizozemí	A
Rakousko, Česká republika, Dánsko, Finsko, Německo, Maďarsko, Irsko, Norsko, Švédsko, Švýcarsko	B
Francie, Řecko, Itálie, Španělsko, Portugalsko	C
Irsko, Spojené království	D

### 5.1.3.1 Zkušební metoda B – Česká republika

Podle ČSN EN 539-2. *Pálené střešní tašky pro skládané krytiny. Stanovení fyzikálních charakteristik – Část 2: zkouška mrazuvzdornosti* [7] probíhá zkoušení následovně:

Podstata zkoušky spočívá v nasáknutí zkušebních těles a jednostranným působením mrazu na jejich povrch, aby se dosáhlo simulace přirozených procesů zmrazování a rozmrazování, jak je tomu při namáhání prvků v exteriéru. Zkouška probíhá v programovatelné mrazničce se skrápěcím zařízením, do prvního výrazného poškození, nejdéle však do 150 cyklů. Předem připravených 6 zkušebních těles se umístí do mrazničky a zavěsí se ve dvou řadách na stojan rubovými stěnami k sobě. Pro zamezení vysychání zkušebních těles během zmrazování se povrch každého tělesa postříkuje vodou (5 sekund postřikování v intervalech 5 minut, průtokové množství každé trysky je 4,5 l/min). Postřik probíhá tak dlouho, až teplota vzduchu dosáhne 0°C. Poté se zkušební tělesa zmrazí na nejnižší teplotu  $-15^{\circ}\text{C} \pm 2^{\circ}\text{C}$  a ta je udržována tak dlouho, aby se teplota referenční tašky udržela na  $-15^{\circ}\text{C} \pm 2^{\circ}\text{C}$  po dobu alespoň 30 minut. Potom probíhá rozmrazování. Zkušební tělesa se rozmrazují rovnoměrným postřikem lící strany vodou o teplotě 5°C až 10°C, přičemž objem vody se nastaví tak, aby vodní hladina po 15 minutách byla přibližně 50 mm nad zkušebními tělesy (nejmenší objem vody je 8,5 l/kg zkušebního tělesa). Po rozmrazení se tělesa nechají ve vodě po dobu nejméně dalších 15 minut a celý cyklus se opakuje.



Po každých 50 cyklech a po dokončení zkoušky se zkušební tělesa zkontrolují pouhým okem, zda neobsahují vady. Je zaznamenán druh, místo a rozsah vzniklých vad, které se při stanoveném počtu cyklů objeví.

Zkušební sada vyhoví zkoušce, jestliže po 150 cyklech nevykazuje žádné zkušební těleso nepřijatelné vady, jako jsou trhliny, odlupování, lom, lístkování, praskliny či odprýsknutí (uvedeny v následující tabulce 8 a příloze 1).

Tab. 8: Seznam vad dle ČSN EN 539-2.

Č.	Vada	Líc (u)	Rub (l)
1	kráterek	-	-
2	vlasová trhlina	-	-
3	okrajová trhlina	-	-
4	povrchová trhlina	×	- <sup>b</sup>
5	odprýsknutí	×	- <sup>b</sup>
6	odloupnutí povrchu	×	- <sup>b</sup>
7	poškození povrchu	×	- <sup>b</sup>
8	prasklina	×	×
9	lom	×	×
10	rozlítkování	×	×
<p>× = nepřijatelné - = přijatelné</p> <p><sup>b</sup> Jako nepřijatelná se posuzuje vada tašky na rubové straně, pokud tato vada snižuje funkčnost tašky v drážce anebo celku</p>			

Dále existuje zkušební metoda „E“, která se používá ve všech členských státech EU podle požadavků každého státu.

### 5.1.3.2 Zkušební metoda E – Jednotná evropská zkušební metoda

Podstata zkoušky spočívá v tom, že se zkušební tělesa postupně ponoří do vody na dobu 7 dnů a následně se rubová strana překryje vlhkou textilií a tělesa se umístí do mrazící komory, kde jsou podrobována zmrazovacím cyklům. Zkušební tělesa jsou zmrazována na vzduchu a rozmrazována působením vody současně na celém povrchu. Při zkoušce se zaznamenávají vady, které se během cyklování vyskytly na výrobku.

Šest zkušebních těles se před samotným zkoušením přikryje kusem lněné textilie na rubové straně. Před položením na zkušební těleso musí být textilie vlhká. Poté se zkušební tělesa umístí na rošty do mrazícího zařízení. Zkušební tělesa se zmrazí na teplotu  $-16^{\circ}\text{C} \pm 3^{\circ}\text{C}$ , přičemž tuto teplotu musí taška udržet alespoň po dobu 30 minut. Po zmrazení se tělesa rovnoměrně rozmrazí ponořením do vody, která musí mít teplotu  $+5^{\circ}\text{C}$  až  $+17^{\circ}\text{C}$ . Voda se napouští ode dna zkušební komory tak, aby nejpozději v 15 minutách byla vodní hladina ve výšce minimálně 50 mm nad zkušebními tělesy. Doba rozmrazování je  $30 \pm 5$  min.

Tab. 9: Vyjádření výsledků zkoušky mrazuvzdornosti, metoda E dle ČSN EN 539-2, oprava.

Č.	Vady	Líc	Rub
1	krátek	-	-
2	vlasová trhlina	-	-
3	okrajová trhlina	-	-
4	povrchová trhlina	×	× <sup>a</sup>
5	poškození povrchu (odprýsknutí, oštěpek, odloupení povrchu, rozpad povrchu)	× <sup>a</sup>	× <sup>a</sup>
6	prasklina	×	×
7	odpadnutí vylouplých částí	×	×
8	lom	×	×
9	lístkování (rozlupování)	×	×
10	odpadnutí všech vystouplých částí	×	×
<sup>a</sup> pokud typ a stupeň vad povrchu ovlivňuje těleso tašky nebo tvarovky × = nepřijatelné - = přípustné			

Po zkoušce se tělesa zkontrolují po všech stranách pouhým okem a pro každé těleso se zaznamená druh, místo a rozsah vzniklých vad způsobených mrazem.

Zkušební sada vyhoví zkoušce mrazuvzdornosti, při

- Úrovni 1: nejméně 30 cyklů, pokud po 30 cyklech žádná z tašek neobsahuje vady popsané jako nepřijatelné dle tabulky 9;

- Úrovni 2: nejméně 90 cyklů, pokud po 90 cyklech žádná z tašek neobsahuje vady popsané jako nepřijatelné dle tabulky 9;
- Úrovni 3: nejméně 150 cyklů, pokud po 150 cyklech žádná z tašek neobsahuje vady popsané jako nepřijatelné dle tabulky 9.

U závěsných ozubů se kontroluje, zda si zachovaly tvar a zdali plní svou funkci. Pokud byly tašky navrženy s jedním nebo více ozuby, musí po zkoušce mrazuvzdornosti zůstat nepoškozen nejméně jeden závěsný ozub.

Podle této zkušební metody se jako nepřípustný vliv mrazu vyhodnocují zřetelné a pouhým okem viditelné vady uvedené v tabulce 9.

V České republice se pro hodnocení používá úroveň 3, tedy nejméně 150 cyklů.

Pro úplnost jsou dále uvedeny i další zkušební metody podle ČSN EN 539-2, které se používají v ostatních zemích Evropské unie (rozdělení dle tabulky 7).

### **5.1.3.3 Zkušební metoda A**

Podle tabulky 7 se tohoto zkušebního postupu využívá v Belgii, Lucembursku a Nizozemí.

Zkušební sada je nejprve ponořena do vody za působení absolutního atmosférického tlaku  $4 \cdot 10^4$  Pa a nechá se nasáknout. Zkušební tělesa se stáhnou k sobě dvěma pružnými pásky nebo obdobným materiálem a umístí se rubovými stranami k sobě s mezerou přibližně 50 mm mezi nejbližšími body. Tato mezera se vyplní štěrkem. Poté se tyto vzorky vystaví 24 zmrazovacím cyklům, které se skládají z 12 cyklů zmrazování při teplotě vzduchu  $-15^{\circ}\text{C} \pm 3^{\circ}\text{C}$  a následuje 12 cyklů při teplotě vzduchu  $-5^{\circ}\text{C} \pm 0,5^{\circ}\text{C}$ . V průběhu rozmrazovací fáze jsou zkušební vzorky ponořeny ve vodě o teplotě  $+18^{\circ}\text{C} \pm 2^{\circ}$ , přičemž každá zmrazovací fáze trvá 8 hodin a rozmrazovací 4 hodiny. Po dokončení zkoušky mrazuvzdornosti se tělesa důkladně opláchnou v čisté vodě a vysuší se. Následuje stanovení vad vzniklých vlivem mrazu: vizuální kontrola pouhým okem.

Zkušební sada se považuje za mrazuvzdornou, pokud žádné ze zkušebních těles nevykazuje vady jako:

- odpadnutí vystouplých částí,
- povrchová trhлина/trhliny nebo prasklina/praskliny,
- lom,

- odprýsknutí nebo poškození povrchu,
- rozpad povrchu,
- rozlupování,
- odloupení povrchu,
- zda každé zkušební těleso má jeden neporušený ozub (tato podmínka se vztahuje jen na zkušební tělesa s jedním nebo více závěsnými ozuby před zkouškou).

Pokud má těleso na jednom ze čtyř okrajů vlasovou trhlinu, rozřízne se pro kontrolu vnitřního rozlupování.

Malé poškození jako je odprýsknutí, rozpad povrchu či odloupení povrchu se nepovažují za nepřijatelné vady vlivem mrazu, pokud splňují následující podmínky:

- poškozená plocha je menší než 200 mm<sup>2</sup>,
- průměrná hloubka je menší než 2 mm a největší lokální hloubka je 3 mm,
- poškození nesouvisí s vnitřním rozlupováním (stanoví se rozřezáním).

#### **5.1.3.4 Zkušební metoda C**

Tato zkušební metoda se používá podle tabulky 7 v těchto zemích: Francie, Řecko, Itálie, Španělsko a Portugalsko.

Zkušební sada se skládá z 10 resp. 13 zkušebních těles (3 zkušební tělesa za účelem stanovení úbytku hmotnosti vlivem vylučování rozpustných solí během zkoušky). Nejprve se provede vysušení zkušebních vzorků. Po vysušení se provede vážení. Poté jsou vzorky umístěny na hranu do podtlakové nádoby tak, aby v průběhu zkoušky bylo umožněno jejich postupné ponoření do vody. Následně se vytvoří podtlak  $6,13 \cdot 10^4 \text{ Pa} \pm 0,13 \cdot 10^4 \text{ Pa}$ . Podtlak se udržuje po dobu jedné hodiny a následně je do nádoby napuštěna voda tak, aby byla po přibližně 30 minutách zkušební tělesa zcela ponořena. Po vyjmutí z podtlakové nádoby se zkušební tělesa vloží do nádoby s vodou, která je umístěna uprostřed mrazničky a provedou se následující zmrazovací a rozmrazovací cykly:

Voda v nádobě se během 50 minut ochladí na teplotu  $+4^\circ\text{C} \pm 2^\circ\text{C}$  (z důvodu omezení odparu vody nasáknuté zkušebními tělesy před zmrazovací fází), poté se voda vypustí a pokračuje zmrazovací fáze, dokud teplota měřena teplotním čidlem uprostřed měřící referenční tašky nedosáhne  $-15^\circ\text{C} \pm 5^\circ\text{C}$ . Pro proudění vzduchu v mrazničce v této fázi se používá ventilátorů.

Dále následuje opětovné napuštění vody o teplotě  $+12^{\circ}\text{C} \pm 3^{\circ}\text{C}$ , dokud nejsou tělesa zcela ponořena a zkušební tělesa se ponechají ve vodě po dobu 10 minut. Teplota vody se udržuje ohříváním nebo směřováním tak, aby teplota uprostřed měřicí referenční tašky dosáhla na konci této fáze hodnoty  $+12^{\circ}\text{C} \pm 3^{\circ}\text{C}$ . Celková doba jednoho cyklu je přibližně 3 hodiny.

Zmrazovací a rozmrazovací cykly se bez přerušení opakují 50 krát. Po dokončení 50 cyklů se tělesa vysuší a všechny povrchy se lehkým okartáčováním zbaví uvolněných a špatně přilnutých částí. Po okartáčování se zkušební tělesa zvaží.

Dále následuje zaznamenání vad a u každého tělesa se vypočítá úbytek hmotnosti vlivem vzniklých vad.

Pokud je úbytek hmotnosti mezi 1% a 3% počáteční hmotnosti pro jedno nebo více zkušebních těles a pokud těleso nevykazuje žádné vady dle dále uvedených kritérií, postupuje se následovně:

Tři výše zmíněná doplňková tělesa se vysuší v sušárně až do dosažení konstantní hmotnosti a provede se vážení v suchém stavu. Následně se třikrát po sobě ponoří do vody, kdy ponoření trvá 24 hodin a po každém ponoření se zkušební tělesa suší po dobu 24 hodin.

Na konci třetího sušení se tělesa zvaží a vypočítá se aritmetický průměr úbytku hmotnosti každého zkušebního tělesa. Tento úbytek hmotnosti se odečte od každého úbytku hmotnosti původních 10 zkušebních těles a dostaneme tzv. “korigovaný” úbytek hmotnosti.

Pokud je tato hodnota větší než 1% pro jedno nebo více zkušebních těles, provedou se na třech doplňkových tělesech další tři cykly ponoření do vody a vysušení. Vypočítá se nový aritmetický průměr úbytku hmotnosti vztažený k počáteční hmotnosti a vypočítá se nový korigovaný úbytek hmotnosti. Tato obdržaná hodnota se uvede v protokolu o zkoušce.

Zkušební tělesa vyhoví zkoušce mrazuvzdornosti, pokud žádné ze zkušebních těles nevykazuje následující vady:

- rozlupování,
- lom,
- výlom vystouplých částí,
- prasklina,
- rozpad povrchu,

- povrchová trhлина,
- každé z 10 zkušebních těles si zachovalo alespoň jeden nepoškozený závěsný ozub (platí pouze pro tělesa, která mají před zkoušením jeden nebo více závěsných ozubů), a dále žádné ze zkušebních těles nevykazuje úbytek hmotnosti větší než 1% jeho původní hmotnosti.

### 5.1.3.5 Zkušební metoda D

Tato zkušební metoda se používá podle tabulky 7 v Irsku a Spojeném království.

Zkouška začíná sušením zkušebních těles po dobu 24 hodin a následným ponořením na dobu nejméně 7 dnů do vody o teplotě  $+20^{\circ}\text{C} \pm 5^{\circ}\text{C}$ . Poté se vzorky vyrovnají do programovatelné mrazničky pokládáním na měkké dřevěné latě ve vhodných vzdálenostech na izolovanou plechovou tabuli. Mezi touto tabulí a latěmi se ponechá mezera o šířce nejméně 9 mm tak, aby voda mohla před odtokem z mrazicí komory stéct po její dolní straně. Dále se tělesa vystaví zmrazovacím a rozmrazovacím cyklům. Každý cyklus se skládá z části zmrazovací, kdy zmrazování probíhá po dobu přibližně 150 minut, teplota vzduchu nad zkušebním uspořádáním klesne během 45 minut na  $-15^{\circ}\text{C} \pm 3^{\circ}\text{C}$  a teplota na konci zmrazování měřená čidlem, umístěným mezi zkušebním tělesem a laťováním, nesmí být větší než  $-2^{\circ}\text{C}$ . Dále následuje část rozmrazovací po dobu přibližně 20 minut, kdy se hornímu povrchu zkušebního uspořádání předává teplo sáláním nebo prouděním, následované postřikem vodou po dobu cca 10 minut průtokovým množstvím 8 l/min. Teplota měřená čidlem na spodní straně zkušebního uspořádání musí být na konci postřikování nejméně  $+3^{\circ}\text{C}$ . Poté se provede vypouštění vody ze systému.

Po dokončení 100 zmrazovacích cyklů se jednotlivá zkušební tělesa zkontrolují, zda neobsahují vady. Poznamenejme, že kontrolu zkušebních těles lze provést i před dokončením 100 zmrazovacích cyklů.

Zkušební sada se považuje za mrazuvzdornou, pokud žádné ze zkušebních těles nevykazuje vadu jako:

- poškození povrchu,
- prasklina,
- povrchová trhлина na okraji zkušebního tělesa rovnoběžná s rovinou zkušebního tělesa,

- rozlupování.

Pro doplnění tématu je v dalších podkapitolách uvedeno i zkoušení keramických obkladových a komínových prvků.

#### **5.1.4 Keramické obkladové prvky**

Podle *ČSN EN 14411 Keramické obkladové prvky – Definice, klasifikace, charakteristiky a označování* [22] je mrazuvzdornost požadována u všech lisovaných a tažených obkladových prvků, které mají nasákavost do 3% (dle tabulky třídění podle skupin nasákavosti se jedná o skupinu I). U ostatních skupin se mrazuvzdornost nepožaduje, ale připouští se zkušební postup, takže i prvky skupin vyšších nasákavostí mohou být mrazuvzdorné, jestliže vyhoví předepsané zkoušce.

##### **5.1.4.1 Zkoušení podle ČSN EN ISO 10545-12**

Samotné zkoušení upravuje *ČSN EN ISO 10545-12: Keramické obkladové prvky – část 12: Stanovení odolnosti proti vlivu mrazu* [23].

Zkušební vzorky se uloží do vakuové nádoby, aniž by se dotýkaly stěn či navzájem. Pomocí vývěvy se sníží tlak vzduchu z atmosférického tlaku na tlak  $40 \text{ kPa} \pm 2,6 \text{ kPa}$  a při tomto tlaku se nádoba naplní vodou tak, aby byly vzorky v nádobě ponořeny nejméně 50 mm pod hladinou vody, čímž dojde k nasycení vzorků. Podtlak se udržuje dalších 15 minut a nakonec se vyrovná na atmosférický tlak. Poté jsou vzorky zmrazovány na teplotu  $-5^\circ\text{C}$  při výdrži 15 minut. Dále následuje ponoření prvků do vody či jejich sprchování, čímž dojde k rozmrazení na teplotu  $+5^\circ\text{C}$ , která by měla mít opět výdrž 15 minut. Teplota je měřena termočlánkem, který je zaveden do vzorku. Tento cyklus se opakuje nejméně stokrát. Po těchto 100 cyklech (případně v průběhu zkoušení, předpokládá-li se, že je možné, že k poškození došlo dříve) jsou vzorky zkontrolovány pouhým okem, zdali nedošlo k zjevným vadám a současně se zaznamená změna nasákavosti, ke které došlo po těchto provedených cyklech.

Výrobek se považuje za mrazuvzdorný, jestliže po provedených 100 cyklech nevykazuje zjevné vady.

##### **5.1.4.2 Zkoušení podle ASTM C1026-10**

Pro porovnání je zde uvedena obdobná standardní zkušební metoda pro měření odolnosti keramických dlaždic proti zmrazování a rozmrazování dle *ASTM C1026-10: Standard Test Method for Measuring the Resistance of Ceramic Tile to Freeze-Thaw Cycling* [24].

Deset náhodně vybraných zkušebních vzorků se nejprve zváží, poté se nechají nasáknout vodou po dobu 24 hodin a varem po dobu 5 hodin (zaznamená se i hmotnost po nasáknutí varem) a jsou do nich umístěny termočlánky. Poté se vzorky umístí do zmrazovacího zařízení tak, aby se nedotýkaly jeho stěn. Teplota vody se pak zchladí na  $-18^{\circ}\text{C}$  během 6 až 8 hodin. Následuje vyjmutí vzorků ze zmrazovacího zařízení a jejich umístění do nádoby s vodou o teplotě  $+10$  až  $+16^{\circ}\text{C}$  po dobu minimálně 30 minut. Poté se vzorky vyjmou z vody, otrou a provede se jejich vizuální posouzení (přítomnost povrchových vad). Tento postup se opakuje pětkrát. Po pátém cyklu se provede zvážení vzorku a vizuální kontrola je provedena za pomoci černého inkoustu (v případě glazovaných vzorků) nebo v ultrafialovém světle (v případě neglazovaného vzorku). Případné změny se zaznamenají. Vzorky, na kterých se objevily vady, jsou z cyklování odstraněny. Dále probíhají cykly, jak bylo popsáno výše a každý 5. cyklus se provede kontrola za pomoci inkoustu nebo ultrafialového světla. V tomto postupu se pokračuje do 150. cyklu nebo do té doby, než budou všechny dlaždice vyřazeny.

Výsledná zpráva obsahuje popis poškození, výčet poškozených vzorků a případné poznámky.

### **5.1.5 Komínové prvky**

Komínové prvky se zkouší podle ČSN EN 14297: *Komíny – zkoušení mrazuvzdornosti komínových výrobků* [25]. Zkouška se provádí na celých konstrukčních dílech, nejméně šesti.

Zkušební prvky se nejprve suší 48 hodin. Poté se ochladí na pokojovou teplotu a zváží se. Následuje umístění do vody v otevřené nádobě tak, aby  $\frac{1}{4}$  zkušebního prvku byla pod vodou. Po dvou hodinách se voda doplní tak, aby sahala do  $\frac{1}{2}$  výšky zkušebních těles. Stejný proces se opakuje až do úplného ponoření zkušebních prvků. Vzorky se nechají ponořené ve vodě o teplotě  $+10^{\circ}\text{C}$  až  $+25^{\circ}\text{C}$  po následujících 7 dní. Poté se zkušební tělesa z vody vyjmou a odstraní se přebytečná voda z povrchu. Do prostředního ze zkušebních vzorků se umístí teplotní snímač do otvoru, vyvrtaného v místě s největší tloušťkou tělesa a opatří se krytem. Následuje ponoření těles do zkušební komory na dřevěné latě tak, aby kolem nich mohl volně cirkulovat vzduch. Poté se započne se zmrazovací fází. Po dobu 2 hodin se udržuje teplota v komoře na  $-20^{\circ}\text{C}$  ( $-15^{\circ}\text{C}$  na teplotním snímači uvnitř prvku). Poté se teplota zvýší na  $+10^{\circ}\text{C}$  a vzorky jsou zapouštěny vodou (či zkrápěny tak, aby byl dokonale pokryt povrch těles vodou) po dobu následujících 10 až 40 minut. Tím končí rozmrazovací fáze. Zmrazovací a rozmrazovací fáze tvoří cyklus, který se následně opakuje, kolikrát je požadováno, přičemž se provádí nejméně 25 cyklů. Vždy po 25 cyklech se zkušební tělesa prozkoumávají se zaměřením na viditelné odchyly. Zkouška se ukončí, vyskytnou-li se nepřijatelné odchyly,



kteřé jsou specifikovány v příslušných výrobkových normách. Zaznamenává se každé poškození – jeho poloha, i jeho velikost. Výsledkem zkoušky je protokol s vyhodnocením, uvedeným počtem cyklů a závěr, zda zkušební tělesa vyhovují zkoušce mrazuvzdornosti dle odpovídající výrobkové normy.

## 5.2 Metody nepřímé

Dále uvedené nepřímé metody slouží pouze k pomocným účelům a předběžnému odhadování chování výrobků při působení mrazu. Tyto metody odhadují mrazuvzdornost na základě parametrů nasákavosti a pórovitosti. Hlavní výhoda těchto metod spočívá v možnosti rychlého provedení, avšak není zaručena přesnost výsledků a je možno vyvodit i chybné závěry.

### 5.2.1 Nasákavost střeput

Obecně platí, že čím menší nasákavost, tím větší je pravděpodobnost vyšší mrazuvzdornosti střeput.

### 5.2.2 Koeficient nasycení střeput

Koeficient nasycení střeput (KNS) je v podstatě poměr mezi nasákavostí za studena po 24 hodinách a nasákavostí varem po pěti hodinách. Dle výsledného poměru nasákavostí můžeme informativně provést klasifikaci uvedenou v tabulce 10.

Tab. 10: Koeficient nasycení střeput (KNS): vyhodnocení.

KNS	Vyhodnocení
KNS < 0,74	vysoká pravděpodobnost mrazuvzdornosti materiálu
0,74 < KNS < 0,84	nejistá mrazuvzdornost
KNS > 0,84	nížká pravděpodobnost mrazuvzdornosti materiálu

### 5.2.3 Saturační poměr T

Saturační poměr (anglicky *saturation factor S*) je v podstatě obdobou KNS. Jedná se o poměr otevřených pórů naplněných vodou za atmosférického tlaku a ve vakuu 30 mbar.

Saturační poměr  $T$  dle DIN 52251-3 [26,27] se uvádí s přesností na dvě desetinná místa a vyčísľuje se podle vztahu:

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

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

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

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

Postup stanovení hmotnosti resp. nasákavosti za normálního tlaku je uveden v DIN 52251-2 [28]. Nejprve vzorek vysušíme při teplotě  $110^{\circ}\text{C} \pm 5^{\circ}\text{C}$  a zváží. Poté se vzorky vloží do nádoby a nádoba se naplní vodou tak, aby hladina vody sahala do  $\frac{1}{4}$  vzorku a v tomto stavu se nechá hodinu nasakovat. Po hodině se hladina zvýší do  $\frac{1}{2}$  vzorku. Takto postupné zvyšování hladiny s hodinovými přestávkami pokračuje až do úplného zatopení vzorku vodou tak, aby se nacházela hladina vody  $20 \pm 5$  mm nad vzorkem. Zkušební tělesa se ponechají ve vodě po dobu 4 dnů, načež se zváží ( $m_{n,n}$ ) a provede se vyhodnocení nasákavosti.

Stanovení hmotnosti resp. nasákavosti za podtlaku ošetřuje také německá norma DIN 52251-2 [29]. Vzorky se nechají vysušit a poté se umístí do vývěvy. Následující dvě hodiny se ve vývěvě sníží tlak na hodnotu  $30 \pm 0,5$  mbar s výdrží na dvě hodiny. Poté se provede, stále za sníženého tlaku, napuštění vody do vývěvy tak, aby vodní hladina byla nad vzorkem ve výšce  $20 \pm 5$  mm s výdrží jedné hodiny. Následně se provede vyrovnání na normální atmosférický tlak, stanovení hmotnosti nasáklého vzorku za podtlaku ( $m_{n,v}$ ) a vyhodnocení nasákavosti za podtlaku.

Pro předpoklad mrazuvzdornosti keramického střepu se požaduje hodnota  $T$  do 0,75. To v podstatě znamená, že led bude „mít k dispozici“ 25% objemu pórů, do kterých se může rozpínat. Jestliže se hodnota  $T$  pohybuje mezi 0,75–0,85 jedná se potom o nejistý předpoklad k mrazuvzdornosti. Keramický střep s hodnotami vyššími nežli 0,85 se považuje za nemrazuvzdorný.

## **5.2.4 Metoda vysokotlaké rtuťové porozimetrie**

### **5.2.4.1 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  $90^{\circ}$ ) – rtuti, může tato kapalina vniknout do pórů pouze působením vnějšího tlaku. Při zvyšování tlaku rtuť postupně vniká do pórů o menším poloměru. Při současném zvyšování tlaku a měření objemu úbytku rtuti (která je tlačena do pórů) lze tedy zjistit rozdělení objemu pórů podle velikosti.

### 5.2.4.2 Maage faktor mrazuvzdornosti

Tzv. Maage faktor mrazuvzdornosti ( $DF$ ) je založený na experimentálních výsledcích a statistickém modelu, kde hrají hlavní roli dvě proměnné a to celkový objem pórů a podíl pórů, které jsou větší než 3 mikrometry.

Výpočet se provádí dle následujícího vztahu:

$$DF = \left(\frac{3,2}{PV}\right) + (2,4 \times P_3)$$

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

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

Vyhodnocení podle hodnoty  $DF$  uvádí tabulka 11.

Tab. 11: Maage faktor: vyhodnocení.

Maage faktor ( $DF$ )	Vyhodnocení
$DF > 70$	vysoká pravděpodobnost mrazuvzdornosti materiálu
$55 < DF < 70$	nejistá mrazuvzdornost
$DF < 55$	nízká pravděpodobnost mrazuvzdornosti materiálu

### 5.2.4.3 Bentrup

Bentrup [4] naopak usuzuje na mrazuvzdornost dle limitních hodnot mediánu poloměru pórů.

Rozdělení uvádí následující tabulka 12.

Tab. 12: Pravděpodobnost mrazuvzdornosti na základě mediánu poloměru pórů dle Bentrupa.

Medián poloměru pórů $r_{50\%}$	Vyhodnocení
$r_{50\%} > 1,65 \mu\text{m}$	vysoká pravděpodobnost mrazuvzdornosti materiálu
$0,60 < r_{50\%} < 1,65 \mu\text{m}$	nejistá mrazuvzdornost
$r_{50\%} < 0,60 \mu\text{m}$	nízká pravděpodobnost mrazuvzdornosti materiálu

Nutno však podotknout, že na základě těchto dvou měření podle metodiky popsané v 5.2.4.2. a 5.2.4.3 lze dostat odlišné výsledky [9].

### **5.2.5 Zkouška stupně nasycení**

Cihly jsou nasyceny vodou ve vakuu a pak jsou postupně vysoušeny a je u nich stanovována nasákavost ( $N_A$ ). Pro každé  $N_A$  se určí modul pružnosti  $E_0$ , cihla se podrobí 6 zmrazovacím cyklům a opět se určí modul pružnosti ( $E_6$ ). Následuje sestavení závislosti mezi relativním modulem pružnosti  $E_6/E_0$  a nasákavostí  $N_A$ .

Kritický stupeň nasycení  $N_{KR}$  odpovídá zlomu křivky, kdy dochází k prudkému poklesu poměru  $E_6/E_0$ , resp. se tento poměr výrazně odchyľuje od hodnoty 1.

Podmínkou mrazuvzdornosti je  $N_{KR} \leq 0,91$  [4].

### **5.2.6 Dilatometrické měření**

Spočívá v měření roztažnosti nasycených vzorků po zamrznutí po určitém počtu cyklů a měření zbytkové roztažnosti po rozmrznutí (po 50 cyklech). Za mrazuvzdorné jsou považovány takové materiály, které mají žádnou nebo minimální zbytkovou roztažnost ( $\mathcal{E}_R < 0,05$  promile) [4].

## 6. Praktická část

Současná metodika testování, jak bylo uvedeno v předcházejících kapitolách, je založena na posouzení vzhledu zkušebních vzorků během zmrazovacích cyklů – vizuální kontrole, zdali vzorek nevykazuje nepřijatelné vady (uvedené v příloze 1). Jedná se o postup značně subjektivní. Bylo by tedy výhodné mít nedestruktivní metodu použitelnou pro vyšetřování keramického střepu, která by dokázala objektivně posoudit destrukci cihlářských střepů během probíhajících zmrazovacích cyklů. Jednou z možností je použití ultrazvukových impulzů.

V praktické části bylo proto zkoušeno chování šíření ultrazvukových vln na dále specifikovaných vzorcích, které byly vystaveny působení mrazu.

### 6.1 Ultrazvuková impulsová metoda

Podstatou metody je opakované vysílání krátkých ultrazvukových impulzů (ve stavebnictví je užíváno ultrazvukového vlnění s kmitočty v rozmezí od 20 kHz do 150 kHz) do zkoušeného materiálu a jejich následné vyhodnocení: zjištění impulzové rychlosti resp. časového zpoždění odezvy impulsu a jeho velikosti. Z těchto měřených údajů lze usoudit na velikost a umístění vady, která se ve zkušebním vzorku případně nachází.

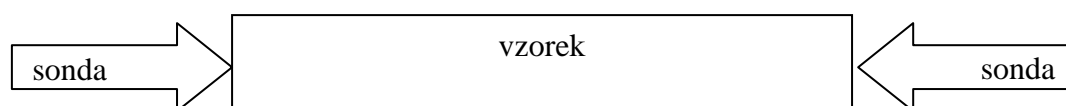
Ultrazvukové sondy se přikládají na očištěný zkušební vzorek. Aby byl zajištěn přenos impulsu mezi sondou a materiálem, používá se tenká vrstva akustického vazebního prostředku (např. plastelína, sklářský tmel, či speciální vodivé gely). Jestliže by byly sondy pokládány přímo na zkušební vzorek, vznikala by na rozhraní sondy a materiálu malá vzduchová mezera, která by měla značný vliv na odraz ultrazvukových vln a jejich utlumení tak, že by citlivost snímače nestačila na jejich příjem. Vyslaný ultrazvukový impuls prochází vždy určitou dobu kromě samotného vzorku také konstrukcí sondy a akustickým vazebním prostředkem. Tuto dobu označujeme jako tzv. „mrtvý čas“. Abychom zjistili pouze čas, který ultrazvukové vlnění potřebuje na průchod zkušebním vzorkem, musíme o mrtvý čas upravit všechny naměřené údaje. Mrtvý čas je zjišťován na kalibračním vzorku – etalonu – jehož časová charakteristika je přesně známá [30].

### 6.2 Metodika provedení

Poskytnuté vzorky z provozů Šlapanice, Hranice a Jirčany, o rozměrech  $2,7 \times 2,7 \times 18$  cm, vypálené na teploty 800, 900 a 1000°C, které byly dříve určeny k jiným experimentům, byly podrobeny v souladu s ČSN 72 2601 [17] 10 zmrazovacím cyklům. Jedná se o vzorky

vytvořené ze směsí používaných při výrobě pálené střešní tašky společnosti Tondach, jediného výrobce pálených střešních tašek v České republice. U vzorků byla změřena doba průchodu ultrazvukových vln před cyklováním a po provedených cyklech a to jak na suchých, tak i nasáklých vzorcích (po cyklování byly změřeny jen ty vzorky, které nevykazovaly trhliny při prohlédnutí pouhým okem, ostatní byly vyřazeny z měření). Také byla zjišťována objemová hmotnost za pomoci hydrostatického vážení.

Sondy byly umístěny naproti sobě v tzv. přímém uspořádání sond, viz obrázek 1.



Obr. 1: Schéma přímého uspořádání sond.

Vyhodnocení resp. výpočet rychlosti šíření ultrazvukových vln byl proveden v souladu s ČSN 73 1371 [31] podle následujícího vztahu:

$$v_L = \frac{L}{T}$$

$v_L$  – rychlost impulsu [ $km \cdot s^{-1}$ ],

$L$  – délka měřicí základny (délka vzorku) [ $mm$ ],

$T$  – čas, který uplyne při průběhu impulsu měřicí základnou [ $\mu m$ ].

Na základě obdobné metody, uvedené v ČSN 73 1380: *Zkoušení odolnosti betonu proti zmrazování a rozmrazování – porušení vnitřní struktury* [32], která je určena pro testování betonových prvků, byly použity pouze hodnoty, které byly naměřeny na nasáklých vzorcích, protože s nimi také pracuje uvedená norma.

### 6.3 Naměřené a vypočtené hodnoty

V tabulce 13 jsou uvedeny naměřené a vypočtené hodnoty objemové hmotnosti (OH) a rychlosti průchodu ultrazvukových impulsů vzorkem ( $v_L$ ) před zmrazováním a po zmrazování, relativní změna rychlosti průchodu ultrazvukového impulsu v procentech (vztaženo k rychlosti před zmrazováním).

### 6.4 Diskuze výsledků

Předpoklad, že po provedeném cyklování vystavování mrazu budou nevyřazené vzorky, které neměly pouhým okem viditelné vady (uvedeny v příloze č. 1) vykazovat nižší rychlosti

průchodu ultrazvukových vln, se nenaplnil. Naopak tyto testované vzorky po deseti zmrazovacích cyklech vykazovaly vyšší rychlosti průchodu ultrazvukových vln (viz poslední sloupec tabulky 13, v některých případech až o přibližně 8%) a dokonce mírně zvýšenou objemovou hmotnost. Z provedeného měření nelze ani určit závislost mezi teplotou výpalu, rychlostí průchodu ultrazvukových vln a mrazuvzdorností jako takovou, protože výsledky kolísaly a v některých případech, například u vzorků vyrobených ze surovinové směsi Jirčany a Šlapanice, se prokázaly vzorky vypálené na nižší teplotu (800 a 900°C) jako více mrazuvzdorné<sup>4</sup> než vzorky, vypálené na teplotu 1000°C, které byly vyřazeny z důvodů trhlin během cyklování.

Tab. 13: Tabulka naměřených a vypočtených hodnot měřených vzorků.

Původ vzorků	Označení vzorku	OH před zmrazováním [kg.m <sup>3</sup> ]	OH po zmrazování [kg.m <sup>3</sup> ]	$v_L$ [km.s <sup>-1</sup> ] před zmrazováním	$v_L$ [km.s <sup>-1</sup> ] po zmrazování	Relativní změna rychlosti průchodu [%]
Šlapanice	Š1	2190	2160	3,25	3,26	100,3
	Š2	2190	2150	3,36	3,29	97,9
	Š4	2090	2130	3,20	3,32	103,8
Hranice	H1	2100	2130	2,87	2,96	103,1
	H2	2120	2140	2,87	3,03	105,6
	H6	2130	2150	2,91	3,06	105,2
	H5	2110	2090	3,04	3,18	104,6
	H9	2110	2150	3,02	3,16	104,6
	H10	2100	2140	3,02	3,09	102,3
	H3	2100	2140	2,93	3,04	103,8
	H4	2100	2140	3,09	3,21	103,9
Jirčany	H11	2100	2140	3,11	3,18	102,3
	J1	2130	2160	2,08	2,18	104,8
	J2	2120	2160	2,40	2,58	107,5
	J3	2140	2180	2,46	2,67	108,5

Zvýšení objemové hmotnosti a s tím patrně související zvýšení rychlosti průchodu ultrazvukových vln vzorkem po provedeném cyklování lze z části vysvětlit „zatažením“<sup>5</sup> vzorku v případě vápenaté suroviny a vlhkostní roztažností v případě suroviny nevápenaté [33,34], nicméně je potřeba se problematikou dále zabývat ve větším měřítku. Nepřesné výsledky mohly vzniknout z toho důvodu, že testované vzorky byly už před započítáním

<sup>4</sup> Na základě vizuálního posouzení na přítomnost vad uvedených v příloze 1.

<sup>5</sup> Hydratace zrn volného CaO, vzniklá zrna Ca(OH)<sub>2</sub> zvýší svůj objem a tím dojde k uzavření kapilárních pórů [33].

zmrazování použity na řadu jiných experimentů, které mohly ovlivnit jejich fyzikálně mechanické vlastnosti (některé vzorky vykazovaly již před započítáním cyklování trhliny).

Zkoušku lze tedy považovat, alespoň vzhledem k testování na těchto vzorcích, za neprůkaznou a je potřeba se jí nadále věnovat. Pro upřesnění by bylo nutno provést více testů, např. určení pevnostních charakteristik, a zejména zvýšit počet vzorků a testovaných vlastností.



## **7. Závěr**

V bakalářské práci byly nastíněny dosavadní poznatky v oblasti posuzování mrazuvzdornosti keramického střepe. A dále shrnuty a popsány současné metody testování mrazuvzdornosti keramického střepe a to jak metody přímé, tak metody nepřímé, jak je uvádějí dostupné normové dokumenty.

V praktické části byl vyhodnocen experiment na řadě cihlářských vzorků, které se podrobovaly zmrazovacím a rozmrazovacím cyklům a byla na nich měřena doba průchodu ultrazvukových impulzů. Podle naměřených hodnot se nepotvrdil předpoklad nižší rychlosti průchodu ultrazvukových impulzů u vzorků po zmrazovacích cyklech, naopak vzorky vykazaly mírně zvýšenou objemovou hmotnost a rychlost doby průchodu impulzů. Je tedy potřeba se problematice dále věnovat.

## 8. Literatura

- [1] [Http://cs.wikipedia.org/wiki/Keramika](http://cs.wikipedia.org/wiki/Keramika). In: *Wikipedia: the free encyclopedia* [online]. San Francisco (CA): Wikimedia Foundation, 2001- [cit. 2012-05-20].
- [2] SÁNCHEZ DE ROJAS, M.I., F.P. MARÍN, M. FRÍAS, E. VALENZUELA a O. RODRÍGUEZ. Influence of freezing test methods, composition and microstructure on frost durability assessment of clay roofing tiles. *Construction and Building Materials*. 2011, roč. 25, č. 6, s. 2888-2897. ISSN 09500618. DOI: 10.1016/j.conbuildmat.2010.12.041.
- [3] SOKOLÁŘ, Radomír. Sklář a keramik. *Zajištění a zkoušení mrazuvzdornosti keramických střepů*. 2007, roč. 57, 1-2. ISSN 0037-637X.
- [4] PYTLÍK, Petr. *Cihlářství*. Brno: Akademické nakladatelství CERM, 1995, 264 s. ISBN 80-214-0612-7.
- [5] WAWERKA, František. Závislost jakosti pálené krytiny na výši vypalovacího žáru. *Stavivo*. 1936, roč. 13, č. 10.
- [6] ČSN 72 2682. *Taška tažená obyčejná - bobrovka (TO)*. Praha: Úřad pro normalizaci a měření, 1981.
- [7] ČSN EN 539-2: *Pálené střešní tašky pro skládané krytiny. Stanovení fyzikálních charakteristik – Část 2: zkouška mrazuvzdornosti*. Brusel: Evropský výbor pro normalizaci, 1999.
- [8] SOKOLÁŘ, Radomír. *Pálená střešní krytina dříve a dnes*. VUT Brno, 2003.
- [9] ŠVEDA, Mikuláš. Vplyv vypalovacej teploty a doby výdrže na mrazuvzdornosť pálenej krytiny, *Silika*, 2004, roč. 14, č. 3-4, s. 85-91.
- [10] SIDJANIN, Lepasava, Jonjaua RANOGAJEC, Dragan RAJNOVIC a Elvira MOLNAR. Influence of firing temperature on mechanical properties on roofing tiles. *Materials*. 2007, roč. 28, č. 3, s. 941-947. ISSN 02613069. DOI: 10.1016/j.matdes.2005.10.002.
- [11] 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.

- [12] ŠVEDA, Mikuláš. Využitie nízkotaviteľného taviva na zvýšenie mrazuvzdornosti pálenej krytiny, VEGA, č. projektu 1/9057/02.
- [13] ŠVÉDA, Mikuláš. 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.
- [14] WARDEH, G. a B. PERRIN. Freezing-thawing phenomena in fired clay materials and consequences on their durability. *Construction and Building Materials*. 2008, roč. 22, č. 5, s. 820-828. ISSN 09500618. DOI: 10.1016/j.conbuildmat.2007.01.004.
- [15] ČSN 72 1565-14: *Zkoušení cihlářských zemin. Stanovení mrazuvzdornosti*. Praha: Úřad pro normalizaci a měření, 1985.
- [16] ČSN 72 2600: *Cihlářské výrobky: Společná ustanovení*. Praha: Úřad pro normalizaci a měření, 1988.
- [17] ČSN 72 2601: *Skúšanie tehliarských výrobkou*. Praha: Český normalizační institut, 1993.
- [18] ASTM C67-11: *Sampling and Testing Brick and Structural Clay Tile*. American Association State Highway and Transportation: 2011.
- [19] ČSN EN 771-1: *Specifikace zdících prvků – část 1: Pálené zdící prvky*. Brusel: Evropský výbor pro normalizaci, 2011.
- [20] ČSN P CEN/TS 772-22: *Specifikaci zdících prvků – část 1: Pálené zdící prvky*. Praha: Český normalizační institut, 2006.
- [21] ČSN EN 1304: *Pálené střešní tašky a tvarovky - Definice a specifikace výrobku*. Praha: Český normalizační institut, 2005.
- [22] ČSN EN 14411: *Keramické obkladové prvky – Definice, klasifikace, charakteristiky a označování*. Brusel: Evropský výbor pro normalizaci, 2004.
- [23] ČSN EN ISO 10545-12: *Keramické obkladové prvky – část 12: Stanovení odolnosti proti vlivu mrazu*. Praha: Český normalizační institut, 1998.
- [24] ASTM C1026-10: *Standard Test Method for Measuring the Resistance of Ceramic Tile to Freeze-Thaw Cycling*. American Association State Highway and Transportation: 2010.

- [25] ČSN EN 14297: *Komíny – zkoušení mrazuvzdornosti komínových výrobků*. Praha: Český normalizační institut: 2005.
- [26] DIN 52251-3: *Indirekte Prüfverfahren zur Prüfung der Frostwiderstandsfähigkeit von Dachziegeln; Bestimmung des Tränkungswertes*, 1987.
- [27] DIN 52251-5: *Indirekte Prüfverfahren zur Prüfung der Frostwiderstandsfähigkeit von Dachziegeln; Bestimmung der Trocken- und Brennschwindung*, 1978.
- [29] DIN 52251-2: *Indirekte Prüfverfahren zur Prüfung der Frostwiderstandsfähigkeit von Dachziegeln; Bestimmung der Wasseraufnahme*, 1987.
- [30] KOPEC, Bernard. *Nedestruktivní zkoušení materiálů a konstrukcí: (Nauka o materiálu IV)*. 1. vyd. Brno: Akademické nakladatelství CERM, 2008, 571 s. ISBN 978-80-7204-591-4.
- [31] ČSN 731371: *Nedestruktivní zkoušení betonu - Ultrazvuková impulzová metoda zkoušení betonu*. Praha: Český normalizační institut: 2011.
- [32] ČSN 731380: *Zkoušení odolnosti betonu proti zmrazování a rozmrazování – porušení vnitřní struktury*. Praha: Český normalizační institut: 2007.
- [33] SOKOLÁŘ, Radomír. Vliv kalcitu na zatažení a nevratnou vlhkostní roztažnost cihlářského střepu (část 1.). *Keramický zpravodaj*. 2009, č. 1. ISSN 1210-2520.
- [34] SOKOLÁŘ, Radomír. Vliv kalcitu na zatažení a nevratnou vlhkostní roztažnost cihlářského střepu (část 2.). *Keramický zpravodaj*. 2009, č. 2. ISSN 1210-2520.

## 9. Seznam použitých zkratek a symbolů

$DF$  – Maage faktor mrazuvzdornosti

$PV$  – celkový objem pórů

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

$r_{50\%}$  – medián poloměru pórů

$v_L$  – rychlost impulzu

$L$  – délka měřící základny (délka vzorku)

$T$  – čas, který uplyne při průběhu impulzu měřící základnou

$N_{KR}$  – kritický stupeň nasycení

$N_A$  – nasákavost

$E_0$  – modul pružnosti stanovený na vzorcích před zmrazováním

$E_6$  – modul pružnosti stanovený na vzorcích po 6 zmrazovacích cyklech

$\mathcal{E}_R$  – zbytková roztažnost po rozmrznutí

$KNS$  – koeficient nasycení střepu

$T$  – saturační poměr

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

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

$m_{t,r}$  – hmotnost suchého vzorku

$OH$  – objemová hmotnost

## **10. Seznam příloh**

Příloha č. 1: klasifikace vad

## Příloha č. 1: Klasifikace vad

Vysvětlení v textu použitých termínů

Následující obrázky jsou převzaty z normy ČSN EN 539-2 [7].

### Kráterek (pit)

Dle definice ČSN EN 1304 [21] je kráterek vada povrchu, která se vyskytuje na viditelné straně výrobku a která se projevuje odpadnutím části materiálu střepu o středním průměru větším než 7 mm, obvykle způsobena zapínáním částic např. vápence nebo pyritu.



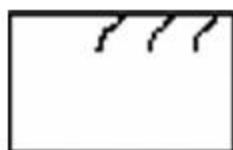
### Vlasová trhlina (hair crack)

Povrchová trhlina o šířce menší nebo rovné 0,20mm



### Okrajová trhlina (nascent crack)

Trhlina na okraji tašky, která mírně prochází do střepu



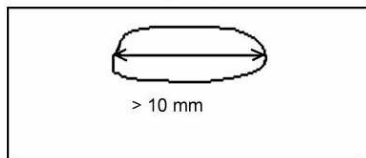
### Povrchová trhlina (surface crack)

Trhlina širší než 0,20mm a delší než 3cm, která neprochází celým střepem



### Poškození povrchu (surface damage)

Odpadnutí části střepu, jejíž jeden rozměr je větší než 10mm z povrchu výrobku, přičemž povrchová plocha zkušebního tělesa zůstává nezměněna



### Odprýsknutí (scaling)

Nadzvednutí povrchu, začínající vylamováním nebo trhliny, která značí začátek poškození



### Odštěpek (chip)

Oddělení části materiálu střepu



### Odloupnutí povrchu (peeling)

Ztráta části povrchové vrstvy zkušebního tělesa



### Rozpad povrchu (flaking)

Významná ztráta materiálu celé nebo části tloušťky střepu





### **Prasklina (structural crack)**

Dle ČSN EN 1304 je prasklina vada struktury, projevující se trhlinou přes celou tloušťku výrobku, která je viditelná pouhým okem.



### **Odpadnutí vystouplých částí (loos of ribs)**

Odpadnutí materiálu střepu z vystouplých částí v rozsahu, který má vliv na jejich funkci



### **Lom (break)**

ČSN EN 1304 definuje lom jako vadu struktury, projevující se rozlomením výrobku na dvě nebo více částí.



### **Rozlupování jinak též lístkování (delamination)**

Poškození střepu rozpadem podle paralelních ploch

