

ZMRZLINSKA ODPORNOST GRADBENE KERAMIKE THE FROST RESISTANCE OF CERAMIC BUILDING MATERIALS

Tinkara Kopar, Vilma Ducman

Zavod za gradbeništvo Slovenije, Dimičeva 12, 1000 Ljubljana, Slovenija
tinkara.kopar@zag.si

Prejem rokopisa - received: 2002-11-18; sprejem za objavo - accepted for publication: 2003-02-26

Ena pomembnejših lastnosti gradbene keramike, ki je izpostavljena različnim vremenskim razmeram, je odpornost proti zmrzovanju. Predvsem odpornost proti zmrzovanju vpliva na trajnostno dobo strešnikov, fasadne opeke in keramičnih ploščic za zunanje oblaganje. Za določitev odpornosti proti zmrzovanju se uporabljajo različne preskusne metode, s katerimi skušamo predvideti vedenje materialov v okolju, kjer prihaja do zmrzovanja. Način, kako se keramični materiali odzivajo v takem okolju, je odvisen od različnih dejavnikov. Na osnovi večletnih izkušenj pri preskušanju odpornosti proti zmrzovanju smo karakterizirali vrste poškodb glede na vpliv različnih faktorjev pri proizvodnji teh materialov, kot so sestava in lastnosti izhodne surovine in faze proizvodnega procesa. Predstavljeni so tudi primeri poškodb vgrajenih keramičnih materialov.

Ključne besede: odpornost proti zmrzovanju, gradbena keramika, keramične ploščice, opečni strešniki, fasadne opeke, trajnostna doba

Frost resistance is one of the more important properties of building ceramics intended for outdoor use. Products, such as clay roofing tiles, facing bricks and ceramic tiles, which are constantly exposed to weathering, have to be frost-resistant to have a long service life. In order to predict the frost-resistance of ceramic products, certain laboratory tests have to be performed. How ceramic building materials react to frost action depends on several different variables. On the basis of the results of several years' experience in frost-resistance tests, an attempt has been made to characterize the frost damage occurring during these tests in relation to manufacturing factors, such as the type of material, its composition and properties, and the production method. Some cases of in-situ frost damage are presented at the end.

Key words: frost-resistance, ceramic building materials, ceramic tiles, clay roofing tiles, facing bricks, service life, durability

1 UVOD

Trajnost keramičnih gradbenih materialov je odvisna od različnih spremenljivk; ena od njih je odpornost proti zmrzovanju. Nanjo vplivata dva faktorja: vremenski pogoji, ki jim je material izpostavljen, in vedenje materiala v teh razmerah.

V splošnem velja, da so za nastanek zmrzlinških poškodb potrebne nizke temperature in visoka stopnja vlažnosti (t. i. visoka stopnja nasičenja).¹ Takim pogojem ustreza nekaj dni močnega deževja, ki jim sledijo dnevi z nizkimi temperaturami.^{1,2,3} Ker ima Slovenija zelo pestre klimatske razmere, ostro gorsko podnebje v Alpah, celinsko podnebje na severovzhodu in submediteransko v Primorju, se ti vplivi med seboj mešajo, kar vodi do velikih klimatskih razlik na zelo majhnih razdaljah in v relativno kratkih časovnih intervalih. V takih razmerah je možnost nastanka zmrzlinških poškodb v zimskem času velika. Porozen material, kar gradbena keramika je, se napoji z vodo in ko temperatura pade pod 0 °C, se prične zmrzovanje. Pri zmrzovanju je sprememba vode v led povezana s povečanjem volumna. Če v porozni strukturi ni dovolj prostora, lahko povečanje pritiska v porah, ki je povezan s povečanjem volumna, povzroči nastanek poškodb.

Na vedenje gradbene keramike v takih vremenskih razmerah vplivajo tako sestava in lastnosti izhodne surovine kot proizvodni proces.⁴ Glina, primerna za proizvodnjo zmrzlinško odpornih izdelkov, mora vsebo-

vati določene vrste glinenih mineralov in določeno porazdelitev delcev. Končno odpornost proti zmrzovanju pa določa še proizvodni proces s specifičnimi tehnološkimi parametri oblikovanja, sušenja, žganja in hlajenja, ki lahko vplivajo na nastanek dodatnih nepravilnosti v materialu.⁵ Vse te spremenljivke vplivajo tako na lastnosti keramične črepinje - velikost in porazdelitev velikosti por, obliko por in trdnost strukture kot tudi na lastnosti površine.

Vedenje gradbene keramike med zmrzovanjem se določa z različnimi metodami, s katerimi poskušamo napovedati, ali bo material utrpel zmrzlinške poškodbe. V splošnem jih razdelimo na dve skupini: direktne in indirektno metode. Direktne metode temeljijo na direktnem izpostavljanju vzorcev ponavljajočim se ciklom zmrzovanja in tajanja v komorah za zmrzovanje v točno določenih razmerah, ki simulirajo naravne vremenske razmere. Preskušanje se največkrat opravlja po metodah EN 539-2⁶ (za opečne strešnike) in EN ISO 10545-12⁷ (za keramične ploščice). Po obeh metodah vzorce najprej napojimo z vodo in jih nato izpostavimo kontroliranim ciklom zmrzovanja in tajanja. Če vzorci prestanejo določeno število ciklov, jih obravnavamo kot odporne proti zmrzovanju.

Indirektno metode temeljijo na dejstvu, da poroznost, velikost, porazdelitev in oblika por bistveno vplivajo na odpornost proti zmrzovanju. Razširjeni sta predvsem dve metodi, in sicer po Maageju⁸ in ASTM C67⁹.

Pri metodi po ASTM C 67 določimo na osnovi določitve t. i. faktorja nasičenja "S" odpornost proti zmrzovanju. Faktor nasičenja je razmerje med vpijanem vode po 24-urnem namakanju v hladni vodi in vpijanem vode po kasnejšem 5-urnem namakanju v vreli vodi. Razvrstitev odpornosti proti zmrzovanju je naslednja:

$S < 0,74$ - velika verjetnost, da bo material odporen tudi v najzahtevnejših klimatskih razmerah

$0,74 < S < 0,84$ - negotovo območje

$S > 0,84$ - odpornost proti zmrzovanju je malo verjetna

Druga indirektna metoda, metoda po Maageju temelji na merjenju porazdelitve por z živosrebrnim porozimetrom. Maage je predložil enačbo, po kateri izračunamo faktor odpornosti (DF):

$$DF = (3,2/PV) + (2,4 \times P3)$$

Spremenljivka PV pomeni celotni volumen por oziroma volumen vtisnjenega Hg (cm^3/g), spremenljivka P3 pa delež por, večjih od 3 μm . Na osnovi izračunanega faktorja velja okvirno naslednja razvrstitev:

$DF > 70$ - velika verjetnost, da bo material odporen tudi v najzahtevnejših klimatskih razmerah

$55 < DF < 70$ - negotovo območje

$DF < 55$ - odpornost proti zmrzovanju je malo verjetna.

Rezultati indirektnih metod nam dajo podatek o poroznosti vzorca in/ali o velikosti in porazdelitvi por ter njihovi površini. Tako ima po Maggeju⁸ velik vpliv na odpornost proti zmrzovanju delež velikih por. Po njegovi razlagi so najbolj vplivne pore, večje od 3 μm . Šveda¹⁰ je eksperimentalno povezal odvisnost mediane radija por, poroznosti in odpornosti proti zmrzovanju. Ugotovil je, da višja vrednost mediane por pri konstantni poroznosti pomeni višjo odpornost proti zmrzovanju ter nasprotno nižjo zmrzlinško odpornost. Tako lahko rečemo, da odpornost proti zmrzovanju keramičnega materiala povečujemo, če zmanjšujemo poroznost in hkrati povečujemo vrednost mediane por oziroma povečujemo delež velikih por. Na te parametre najbolj vplivamo s temperaturo žganja in časom vzdrževanja maksimalne temperature. V splošnem velja, da se s povečanjem temperature žganja znižuje poroznost, hkrati pa se pri daljšem zadrževalnem času pri določeni temperaturi žganja doseže rast večjih por.

Tako direktne kot indirektna metode imajo svoje prednosti in slabosti. Direktne metode so zelo dolgotrajne, vendar pokažejo dejansko odpornost materiala, z indirektnimi metodami pa lahko v kratkem času dobimo oceno odpornosti proti zmrzovanju, vendar gre le za napoved odpornosti. Prav tako so indirektna metode uporabne pri razvijanju surovinskih mas za opečno industrijo, saj lahko že pri majhnih laboratorijskih vzorčkih predvidimo odpornost proti zmrzovanju in tako lažje definiramo režim žganja za proizvodnjo končnih izdelkov.

V prispevku so prikazani rezultati preskušanj gradbene keramike po direktnih in indirektnih metodah ter korelacija med obema vrstama metod.

2 EKSPERIMENTALNO DELO

EN 539-2: šest izbranih vzorcev celih strešnikov napojimo z vodo tako, da jih najprej pustimo od 15 do 20 ur pri relativni vlagi od 95 do 100%, tako jih izpostavimo škropljenju z vodo 6 ur in jih nato položimo v vodo za nadaljnjih 15 do 18 ur. Po napojitvi z vodo jih nato v klimatski komori ohladimo do $-15\text{ }^\circ\text{C}$ s tem, da jih zadržujemo v območju okrog $0\text{ }^\circ\text{C}$ cca 35 minut. Po 30 minutah vzdrževanja temperature $-15\text{ }^\circ\text{C}$ vzorce zalije voda z maksimalno temperaturo $+10\text{ }^\circ\text{C}$, kjer ostanejo 30 minut. Cikla zmrzovanja in tajanja se izmenjujeta do poškodb ali do 150 ponovitev. Vzorce temeljito pregledamo po vsakih 50 ponovitvah ter ovrednotimo morebitne poškodbe.

EN ISO 10545-12: 10 vzorcev keramičnih ploščic napojimo z vodo pri tlaku 60 kPa. Napojene vzorce postavimo v zmrzovalno komoro. S konstantno hitrostjo, ki ne presega $20\text{ }^\circ\text{C}/\text{h}$ znižujemo temperaturo, dokler ne doseže vrednosti pod $-5\text{ }^\circ\text{C}$. Po 20 minutnem vzdrževanju minimalne temperature vzorce zalije voda s temperaturo nad $+5\text{ }^\circ\text{C}$, kjer jih ponovno pustimo 20 minut. Cikla zmrzovanja in tajanja se izmenjujeta do nastanka poškodb ali do 100 ponovitev.

ASTM C67: pet celih vzorcev strešnikov ali opeke posušimo do konstantne mase in jih nato namakamo v hladni vodi 24 ur in sthamo; vzorce takoj nato damo še v vrelo vodo za 5 ur. Koeficient nasičenja izračunamo iz razmerja med vpijanem vode po 24 urah in po dodatnem 5-urnem vretju.

Metoda Maage: na koščku vzorca (nekaj gramov) določimo celotno poroznost in deleže posameznih por z živosrebrnim porozimetrom pri naslednjih pogojih: maks. tlak 200 MPa in $\theta 130^\circ$.

3 REZULTATI IN DISKUSIJA

V praksi se za napoved odpornosti proti zmrzovanju največkrat uporabljajo direktne preskusne metode, saj se predvideva, da s simulacijo naravnih pogojev za zmrzovanje v rezultatu zajamemo kar največ različnih spremenljivk, ki vplivajo na končno odpornost. Ker pa so ti preskusi zelo dolgotrajni, saj preskus navadno traja od 20 do 25 dni, vključujejo veliko dela in truda, se čedalje bolj uveljavljajo indirektna preskusna metoda, s katerimi v bistveno krajšem času lahko dobimo podatek o napovedi odpornosti proti zmrzovanju.

V tabeli 1 so predstavljeni rezultati določitve odpornosti proti zmrzovanju za posamezne vzorce, za katere smo določili odpornost tako z indirektno metodo po Maageju in/ali ASTM standardu kot tudi z direktno metodo izpostavitve materiala ciklusom zmrzovanja in tajanja. V tabeli 1 so zbrani podatki o 14 vzorcih in pri

Tabela 1: Korelacija med indirektnimi in direktnimi preskusnimi metodami**Table 1:** Correlation between indirect and direct testing methods

Oznaka vzorca	Vpijanje pred preskusom proti zmrzovanju (%)	Predvidena odpornost po Maage-ju				Predvidena odpornost po ASTM-u			Odpornost proti zmrzovanju po direktni preskusni metodi (EN 539-2 ali EN ISO 10545-12)	
		Volumen por (cm ³ /g)	Delež por >3 µm (%)	Faktor DF	Predvidena odpornost	Vpijanje z namak. 24 ur (%)	Faktor S	Predvidena odpornost	Odpornost	Nastanek poškodb
KP1	1,2	0,046	7,3	88	DA	1,3	0,77	NE/DA	DA	-
KP2	6,9	0,063	1,9	55	NE/DA	-	-	-	NE	pri 100 ciklih
KP3	3,8	0,037	1,6	94	DA	-	-	-	DA	-
KP4	3,8	0,035	2,0	97	DA	-	-	-	DA	-
KP5 *	4,0	-	-	-	-	4,1	0,71	DA	-	-
OP1	11,0	0,138	1,4	27	NE	-	-	-	NE	pri 100 ciklih
OP2	11,0	0,145	0,7	24	NE	9,8	0,84	NE	NE	pri 50 ciklih
OP3	12,6	0,168	1,1	22	NE	12,0	0,89	NE	NE	pri 100 ciklih
OP4	11,6	0,184	1,4	24	NE	10,8	0,87	NE	NE	pri 150 ciklih
OP5	11,2	0,150	1,1	24	NE	10,1	0,84	NE	NE	pri 100 ciklih
OP6	12,0	-	-	-	-	11,5	0,89	NE	NE	pri 50 ciklih
OP7	12,4	-	-	-	-	10,9	0,84	NE	NE	pri 100 ciklih
OP8	7,2	-	-	-	-	6,4	0,76	NE/DA	NE	pri 150 ciklih
OP9	4,8	-	-	-	-	4,3	0,87	NE	NE	pri 150 ciklih

Legenda: OP - opečni izdelek

DA - odporno proti zmrzovanju

NE/DA - prehodno območje

KP - keramične ploščice

NE - neodporno proti zmrzovanju

* poškodbe in-situ

Tabela 2: Odvisnost predvidene odpornosti proti zmrzovanju od temperature žganja**Table 2:** Dependency of assumed frost resistance on firing temperature

Temperatura žganja (°C)	Predvidena odpornost po ASTM-u		
	Vpijanje z namak. 24 ur (%)	Faktor S	Predvidena odpornost
867	12,9	0,95	NE
904	12,7	0,95	NE
950	11,3	0,86	NE
992	10,4	0,89	NE
1040	7,5	0,80	NE/DA
1092	3,6	0,68	DA
1135	1,6	0,84	NE/DA
1178	0,86	0,86	NE/DA
1218	1,2	0,75	NE/DA

Legenda: DA - odporno proti zmrzovanju

NE/DA - prehodno območje

NE - neodporno proti zmrzovanju

vseh, razen pri vzorcu KP5, je ujemanje med indirektno in direktno metodo zelo dobro. Pri vzorcu KP5 so poškodbe nastale na vlečenih talnih keramičnih ploščicah in-situ. Tudi vzorci so bili preskušeni po tem, ko so bili odvzeti z objekta, tako da se je verjetno v letih izpostavljenosti vremenskim nepravilnostim spremenila tudi poroznost, kar lahko vpliva na rezultate indirektno metode po ASTM. Pri tem vzorcu tudi ni bilo izvedena direktna metoda zmrzovanja. Na splošno se lahko zgodi, da vzorci po direktni in indirektni metodi izkazujejo odpornost proti zmrzovanju, kasneje pa se in-situ pokaže drugače, saj nobena od metod ne more popolnoma simulirati vseh naravnih pogojev, kot so nihanja temperature, stopnja nasičenosti z vlago, trajanje izpostavljenosti, prisotnost raznih soli, dodatne mehanske obremenitve.

Na **diagramu 1** so prikazane porazdelitve poroznosti za vzorec KP4, ki ima faktor po Maageju 97 in je bil odporen proti zmrzovanju tudi po direktni metodi, nadalje vzorec KP2, ki nakazuje samo pogojno odpornost proti zmrzovanju (Maagejev faktor 55 in dejanske poškodbe po 100 ciklih) ter za vzorec OP3, ki ima faktor po Maageju 22 in kjer je dejansko prišlo do poškodb že po 50 ciklih zmrzovanja. Z diagrama je razvidno, da ima vzorec KP4 največji delež por pri velikosti por 0,1 µm in tudi najnižjo poroznost. Vzorec KP2 ima največji delež por velikosti 1,7 µm, v vzorcu OP3 pa so pore velikosti 0,7 µm. Po Maageju so ključnega pomena za odpornost proti zmrzovanju pore velikosti nad 3 µm. Vzorci KP2, KP4 in OP3 so imeli zelo različno vpojnost vode (masni deleži so bili pri KP2

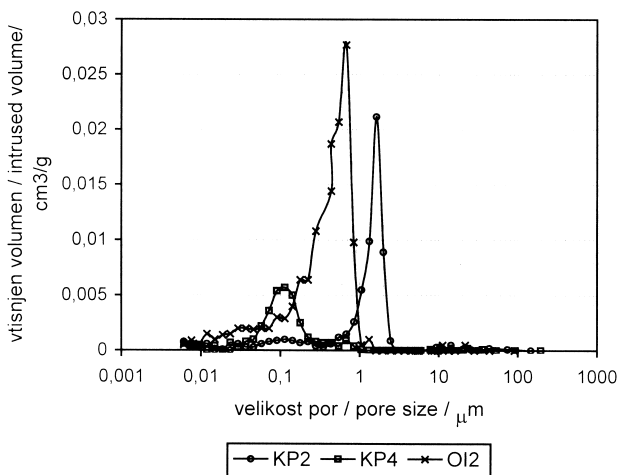


Diagram 1: Porazdelitev por v vzorcih KP2, KP4 in OI2
Diagram 1: Pore distribution of samples KP2, KP4 in OI2

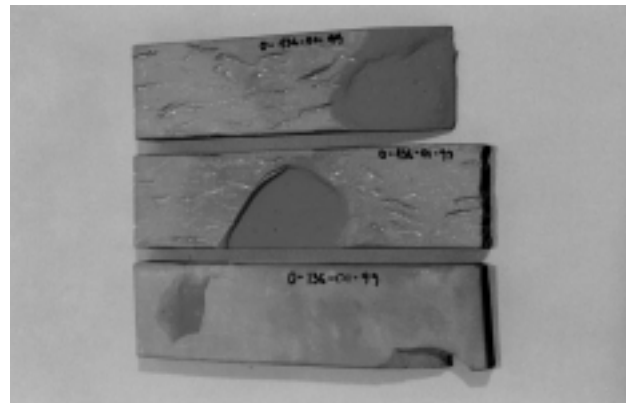
6,9 %, KP4 3,8 % in OI2 11,0 %), vendar imajo podoben delež por nad 3 μm (KP2 1,9 %, KP4 2,0 % in OI2 0,7 %). Tako ugotavljamo, da ima vzorec KP4 najnižje vpijanje vode in posledično poroznost ter hkrati največji delež por nad 3 μm. Zato doseže najvišji faktor po Maageju ter nakazuje odpornost proti zmrzovanju. Predvideno odpornost proti zmrzovanju smo potrdili še z direktno metodo.

S prilagajanjem procesa žganja močno vplivamo na končno odpornost gradbene keramike, saj s tem spreminjamo poroznost in porazdelitev velikosti por. Odvisnost temperature žganja in napovedi odpornosti proti zmrzovanju (faktor S po ASTM C67 standardu) je prikazana v tabeli 2. Iz tabele 2 je razvidno, da se z višanjem temperature žganja znižuje poroznost vzorcev, kar se izraža v nižjem vpijanju vode, vendar le do določene temperature. Nato pride do napihovanja vzorca zaradi razpada prisotnih komponent, kar pripelje zopet do zvišanja vpijanja vode. Faktor nasičenja S doseže



Slika 1: Luščenje tanke plasti površine črepinje po preskusu zmrzovanja

Figure 1: Peeling of thin surface layer of clay body after frost-resistance test



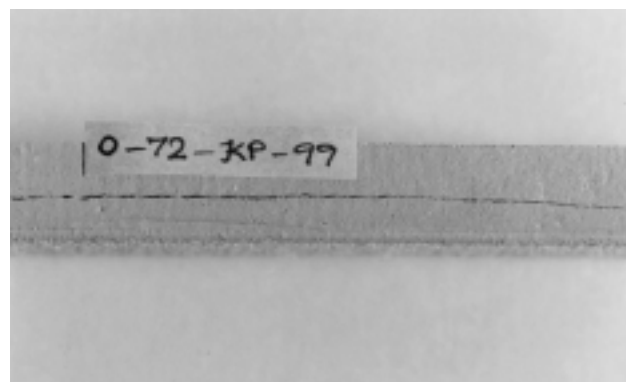
Slika 2: Odkrusenje stožčastih delov črepinje po preskusu na zmrzovanje

Figure 2: Chipping - breaking-off of cone-shaped pieces of clay body after frost-resistance test

najbolj ugodno vrednost ($S = 0,68$) pri temperaturi žganja 1092 °C.

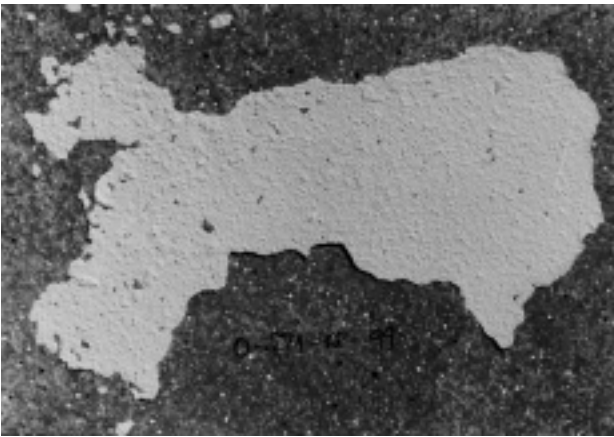
Vendar pa zgolj s procesom žganja ni moč vedno vplivati na končno odpornost proizvoda proti zmrzovanju. Proizvodnja gradbene keramike je kompleksen proces z velikim številom spremenljivk. Vsaka faza procesa od izbire in priprave surovine, homogenizacije, oblikovanja (suho stiskanje in vlečenje), sušenja in končno žganja ter ohlajanja prispeva h končnim lastnostim materiala. Podatek, ali na neodpornost proti zmrzovanju vplivajo tudi druge faze procesa, tako lahko lažje dobimo iz rezultatov direktnih preskusnih metod, saj iz vrste in obsega poškodb lahko sklepamo na vzrok za neodpornost. V nadaljevanju je prikazanih nekaj značilnih poškodb gradbene keramike, ki smo jih ugotovili pri laboratorijskem preskušanju, kakor tudi poškodb, ki so nastale in-situ.

Značilna poškodba stiskanih opečnih izdelkov je luščenje tanke plasti površine, kot je prikazano na sliki 1. Vzrok za nastanek take zmrzlinke poškodbe je v večini primerov v neustreznem žganju (prenizka temperatura in/ali prekratek zadrževalni čas) in plasti nečistoč na površini izdelka, kot je npr. apno⁵. Zaradi slabega



Slika 3: Razslojevanje črepinje po preskusu na zmrzovanje

Figure 3: Lamination of ceramic body after frost-resistance test



Slika 4: Luščenje glazure loščenih keramičnih ploščic po preskusu na zmrzovanje

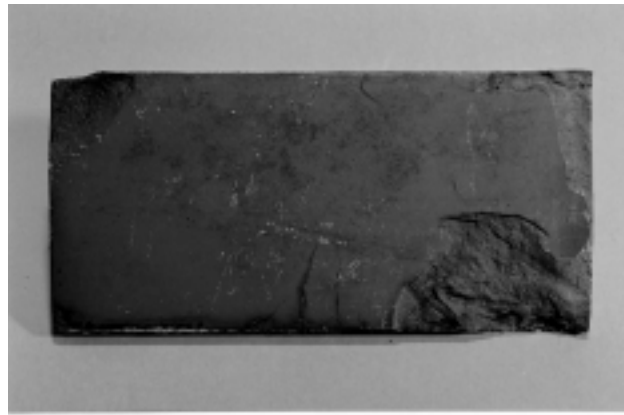
Figure 4: Peeling of the glaze of glazed ceramic tiles after frost-resistance test

žganja ali pregrobih zrn del apna ne reagira s komponentami gline. Prosto apno lahko migrira na površino in deluje kot nečistoča. Zaradi drugačne sestave površine kot drugega dela črepinje dobimo spremenjen sistem por na površini. Pri izpostavitvi takih izdelkov ostrim vremenskim razmeram pride do luščenja vrhnje plasti.

V primeru nehomogene osnovne mase kljub dobrim razmeram v drugih fazah procesa dobimo gradbeno keramiko neodporna proti zmrzovanju. V tem primeru so poškodbe v obliki odkrušenih stožčastih delov črepinje. Primer prikazuje **slika 2**. Zaradi dveh ali celo več sistemov poroznosti v isti enoti, različnih skrčkov in raztezkov posameznih delov črepinje pride do neodpornosti proti zmrzovanju⁵. Lahko pa do take poškodbe pri izpostavitvi zmrzovanju pride tudi zaradi prenizke temperature žganja. Mehanska trdnost črepinje je nižja in zato lahko črepinja popusti pod povečanim pritiskom v porah, ki je posledica spremembe volumna vode pri zmrznenju.⁴

Poškodba, značilna za vlečeno gradbeno keramiko, je tudi razslojevanje. Primer je prikazan na **sliki 3**. V osnovi sta dva vzroka za nastanek takšnih poškodb. Prvi je v sestavi surovine: fine gline, bogate s kaolinskimi minerali kažejo nagnjene k tvorjenju slojevite strukture⁵. Drugi vzrok je lahko slab vakuum pri oblikovanju izdelkov⁵. V tem primeru dobimo drobne nevidne razpoke, ki se v nadaljnjih fazah procesa, sušenju in žganju, povečajo in po izpostavitvi vlagi in nizkim temperaturam pride do razslojevanja.

Poseben primer zmrzlinjskih poškodb na strešnikih je odpadanje t. i. noskov (nosek je štrleči del na spodnji strani strešnika, ki je namenjen za fiksiranje na ostrešje). Praviloma gre v takšnem primeru za tehnološko napako pri stiskanju, še posebej, če je črepinja v drugem delu odporna proti zmrzovanju. Na mestih, kjer so t. i. noski, je tudi najdebelejša plast materiala, tako da poleg doseganja enakomernega pritiska pri oblikovanju lahko



Slika 5: Poškodbe vgrajenih izdelkov

Figure 5: In-situ frost damage

tudi v fazi sušenja pride do vnosa drobnih razpok v tem delu, ki kasneje povzročijo odpadanje noska.

Tip poškodb, značilnih zgoj za stiskane loščene keramične ploščice, pa je luščenje glazure. V tem primeru z indirektnimi metodami ne dobimo pravega rezultata, saj je vzrok za nastanek poškodbe povezan s šibkim ali nepopolnim stikom med črepinjo in glazuro. Čeprav je v takih primerih sama črepinja lahko odporna proti zmrzovanju, pa voda, ki vdre v stično cono med glazuro in črepinjo, med zmrzovanjem povzroči dviganje in kasneje luščenje glazure. V večini primerov je vzrok v t. i. drugem žganju glazure, ki navadno poteka pri nižji

temperaturi. Primer luščenja glazure je prikazan na **sliki 4**.

Kljub predhodnemu preskušanju v laboratoriju pa vseeno lahko pride do pojava poškodb na že vgrajenih izdelkih. Primeri so prikazani na **sliki 5**. Prvi razlog je, da direktne preskusne metode, ki se standardno uporabljajo v laboratorijih, v vseh primerih niso popolnoma zanesljive, so dolgotrajne, kar pomeni, da je možnost izvedbe vseh preskušanj omejena, drugi razlog pa je v vgradnji teh materialov, saj mora biti ves sistem vgradnje odporen proti zmrzovanju, da ne dopušča penetracije vode v material in s tem v zimskem času povzroči možnost nastanka zmrzlinških poškodb.

4 SKLEP

Za zunanjo gradbeno keramiko je odpornost proti zmrzovanju bistvenega pomena, saj vpliva na trajnost materiala. Za določitev odpornosti proti zmrzovanju so na voljo direktne in indirektna metode. Iz rezultatov opravljenega dela je razvidno, da je korelacija med direktnimi in indirektnimi metodami dokaj zanesljiva; pri direktnih metodah lahko že iz tipa poškodbe sklepamo na njen vzrok, prednost indirektnih pa je, da v relativno kratkem času dajo dokaj zanesljivo napoved zmrzlinške odpornosti, s čimer so v veliko pomoč pri razvijanju mas in postavljanju režima žganja. Vsekakor pa je najboljša kombinacija obeh vrst preskušanja, saj

tako zanesljiveje napovemo zmrzlinško odpornost materiala in zmanjšamo možnost vgradnje nekakovostnega proizvoda.

5 LITERATURA

- ¹ M. C. Phillipson, W. Stupard, The determination of the freezing point of water in a porous masonry material. *Masonry International*, (1998) 1, 17-20
- ² C. Beardmore, R. W. Ford, Winter weather records relating to potential frost failure of brickwork. *Brit. Ceram. T & J.* (1986) 1, 7-8
- ³ L. J. A. R. van der Klugt, Frost testing by uni-directional freezing. *Brit. Ceram. T & J.* (1986) 1, 8-12
- ⁴ W. Bender, F. Häändle, The frost resistance of ceramic building materials. *Annual for the brick and tile, structural ceramics and clay pipe industries*, 1991, 86-100
- ⁵ L. J. A. R. van der Klugt, Technological factors influencing the frost susceptibility of clay building materials. *Annual for the brick and tile, structural ceramics and clay pipe industries*, 1993, 24-33
- ⁶ EN 539-2: Clay roofing tiles for discontinuous laying - Determination of physical characteristics - Part 2: Test of frost resistance
- ⁷ EN ISO 10545-12: Ceramic tiles - Part 4: Determination of frost resistance
- ⁸ M. Maage, Frost resistance and pore size distribution of bricks, *Ziegelindustrie*, (1990) 9, 472-481; (1990) 10, 582-588
- ⁹ ASTM C67-99a: Standard test methods for sampling and testing brick and structural clay tile
- ¹⁰ D. N. Winslow, C. L. Kilgour, R. W. Cooks, Predicting the durability of bricks, *Ziegelindustrie*, (1990) 9, 487-492
- ¹¹ M. Šveda, Frost resistance of bricks, *American Cer. Soc. Bull.*, 80 (2001) 9, 46-48