

NEW EQUATIONS FOR PREDICTING THE FROST RESISTANCE OF CERAMIC PRODUCTS BY DEFORMATIONAL PARAMETERS

A. Kičaitė & R. Mačiulaitis

To cite this article: A. Kičaitė & R. Mačiulaitis (2011) NEW EQUATIONS FOR PREDICTING THE FROST RESISTANCE OF CERAMIC PRODUCTS BY DEFORMATIONAL PARAMETERS, Statyba, 7:2, 131-137, DOI: [10.1080/13921525.2001.10531714](https://doi.org/10.1080/13921525.2001.10531714)

To link to this article: <https://doi.org/10.1080/13921525.2001.10531714>



Published online: 30 Jul 2012.



Submit your article to this journal [↗](#)



Article views: 46

NAUJOS KERAMINIŲ GAMINIŲ ATSPARUMO ŠALČIUI PROGNOZAVIMO LYGTYS NAUDOJANT DEFORMACINIUS RODIKLIUS

A. Kičaitė, R. Mačiulaitis

Vilniaus Gedimino technikos universitetas

1. Įvadas

Lietuvoje bei kitose Baltijos ir Šiaurės šalyse pastatų fasaduose dažnai galima matyti keraminių apdailos plytų suirimų, kurie atsiranda dėl kritulių, šalčio ir šilumos poveikio [1].

Vienas iš svarbiausių rodiklių, charakterizuojančių keraminių gaminių ilgalaikiškumą, yra jų atsparumas šalčiui. Šį rodiklį galima nustatyti tiesioginiais ir sparčiais metodais.

Keraminių gaminių atsparumo šalčiui tyrimai tiesioginiais metodais užtrunka nuo kelių savaitių iki keliolikos mėnesių. Greitai, per kelias ar keliolika parų, keraminių gaminių atsparumą šalčiui galima įvertinti tik sparčiais metodais [2, 3].

Objektyviausiai prognozuoti keraminių gaminių atsparumą šalčiui galima tik kompleksiskai, įvertinant daugelį gaminio savybių. Greitai prognozuoti keraminių gaminių atsparumą šalčiui galima pagal: 1) porų ir kapiliarų dydį bei jų kiekybinį pasiskirstymą; 2) struktūrinius ir deformacinius rodiklius; 3) fizikines, mechanines ir struktūrines charakteristikas [4].

Tyrinėtojai [5] parengė tūrinį dilatometrinių metodą keraminėms plytelėms tirti. Jie nustatė, kad geriau išdegtos plytelės mažiau deformuojasi ir yra atsparesnės šalčiui. Tačiau toks metodas nebuvo pakankamai objektyvus ir perspektyvus, kadangi ir tiesioginiai kalibravimui atsparumo šalčiui rodikliai taip pat buvo nustatomi tūriniu šaldymo metodu. Tokiu atveju procesai, vykstantys keraminiame gaminyje, neatspindi procesų, vykstančių gaminį šaldant natūrinėmis eksploatacijos sąlygomis [1–3].

Pastaruoju metu tiek dilatometriniams, tiek tiesioginiams tyrimams vis plačiau taikomas vienpusis šaldymo principas. Vienas iš naujų dilatometrinių prietaisų, kuriuo galima nustatyti daugelį deformacinių rodiklių

šaldant iš vienos pusės, yra prietaisas DUM-01 [2, 3, 6]. Juo galima įvertinti gaminių vidinės struktūros pokyčius, kurie ir yra susiję su įtempimais ir deformacijomis, atsiradusiais bandinius šaldant bei atšildant iš vienos pusės. Tai leidžia gerokai tiksliau spręsti apie keraminių plytų eksploatacinį atsparumą šalčiui.

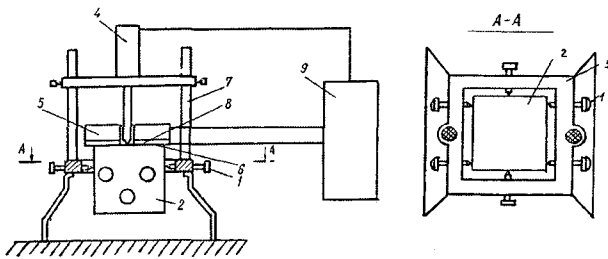
Todėl aktualu toliau tobulinti sparčiuosius prognozavimo metodus, remiantis keraminio gaminio deformaciniais ir struktūriniais rodikliais bei jų sąryšiu su atsparumu šalčiui, kuris nustatomas vienpusio šaldymo būdu, taip pat naujai pagrįsti tokių metodų deformacinius rodiklius.

2. Tyrimo metodika ir aparatūra

Kurdami naują spartųjį eksploatacinio atsparumo šalčiui metodą ištyrėme keturių gamyklų 40 keraminių (paprastų ir apdailos) plytų, pagamintų pagal plastinio ir pussausio presavimo technologijas, bandinius. Plytos buvo pjaunamos pusiau ir atitinkamai naudojamos tiesioginiams atsparumo šalčiui bandymams bei jų deformacijų ir struktūros tyrimams.

Keraminių plytų puselių įmirkio rodiklis buvo nustatomas pagal LST 1272-92:1992 (W_{48} po 48 h). Toliau iš anksto įmirkytos pusplytės buvo tiriamos specialiu dilatometriniu prietaisu DUM-01 (1 pav.). Bandymo eiga buvo tokia: iš anksto įmirkytą bandinį (pusplytę) iš šonų fiksuojame šešiais srieginiais laikikliais pasirinktinai ta puse (galine ar šonine plokštuma) į viršų, kuri bus statinio fasade. Viršutinės bandinio plokštumos centre atremiamas deformacijų matavimo daviklis ir ant paviršiaus nuleidžiamas mikrošaldytuvas.

Tiriamą sluoksnio storis yra 15 mm ir jis sutampa su plytos ištisiniu sluoksniu, nesiekiančiu technologinių tuštumų. Būtent tokia sluoksnyje vyksta



1 pav. Vienpusio šaldymo ir atšildymo dilatometrinio prietaiso DUM-01 schema: 1 – srieginiai laikikliai; 2 – tiriamasis bandinys su šilumos izoliacija aplink; 3 – pagrindas, 4 – deformacijos matavimo daviklis; 5 – mikrošaldytuvas; 6 – temperatūros daviklis; 7 – kreipiamosios; 8 – bandinio šaldomasis paviršius; 9 – deformacijų matavimo ir užrašymo įrenginys

Fig 1. The scheme of unilateral freezing/heating dilatometer DUM-01 unit: 1 – bolts; 2 – test specimen with thermal insulation around; 3 – base; 4 – deformation sensor, 5 – freezer unit; 6 – temperature sensor; 7 – guides; 8 – freezing surface of the specimen; 9 – deformation measuring unit

plytų paviršiaus irimai pastatų fasaduose [2]. Šaldymo ir atšildymo ciklai buvo atliekami pagal specialų režimą (3 šaldymo ir atšildymo ciklai per 7–8 h). Jų metu buvo matuojamas bandinio linijinis pailgėjimas ar susitraukimas (linijinė deformacija) šilumos srauto nutekėjimo ir pritekėjimo kryptimi. Savirašiu nuolat fiksuotas deformacijų kitimas laikui bėgant. Kadangi deformacijos kreivės buvo įvairaus pobūdžio, atskaitos tašku (nuliui) laikyta pradinė nusistovėjusios kreivės dalis (po 10–15 min) prieš pradėdant bandinio pirmąjį šaldymą. Iš šių kreivių buvo skaičiuojami tokie absoliutieji deformaciniai rodikliai: Δh_1 – didžiausia bendra linijinė deformacija 1-ajame cikle šaldant, μm ; Δh_2 – didžiausia bendra linijinė deformacija 2-ajame cikle šaldant, μm ; Δh_3 – didžiausia bendra linijinė deformacija 3-ajame cikle šaldant, μm ; Δh_{11} – didžiausia liekamoji deformacija 1-ajame cikle šildant, μm ; Δh_{21} – didžiausia liekamoji deformacija 2-ajame cikle šildant, μm ; Δh_{31} – didžiausia liekamoji deformacija 3-ajame cikle šildant, μm .

Deformaciją (kreivės apibrėžtą plotą) išreiškus sąlyginiais ploto vienetais (cm^2) skiriami sąlyginiai deformaciniai rodikliai s_1, s_2, s_3, s_4 (s_1, s_2 yra 1-ojo ciklo rodikliai šaldant ir atšildant, s_3, s_4 – atitinkamai 2-ojo ciklo rodikliai šaldant ir atšildant). Nauji integraliniai deformaciniai rodikliai leidžia parodyti energetinį ardyimo mechanizmo pobūdį.

Preliminarūs tyrimai parodė, jog buvo fiksuojamos deformacinių rodiklių teigiamos ir neigiamos reikšmės atskaitos taško atžvilgiu.

Tiesioginiai keraminių pusplyčių atsparumo šalčiui bandymai buvo atliekami vienpusio šaldymo būdu pagal LST 1272-92:1992, p. 3.8.3. Vandenyje iš anksto įmirkyti bandiniai mūro fragmente buvo 8 h šaldomi minus ($15\text{--}20$) $^{\circ}\text{C}$ temperatūroje, tada 8 h atšildomi liečiant mūro fragmentą.

Tiesioginių bandymų metu buvo stebėta ir fiksuota keraminių pusplyčių šaldomojo paviršiaus suirimo dinamika. Suirimo pradžia laikytas ciklas, kai šaldomojo bandinio paviršiaus nuyra ne mažiau kaip 3% (pagal LST 1413.12:1998), atsparumo šalčiui rodiklis M_1 . Nuo pirmųjų matomų suirimo požymių iki visiško paviršiaus suirimo praeina tam tikras laiko tarpas. Suirimo pabaiga laikytas ciklas, kai praktiškai suyra visas šaldomasis paviršius (atsparumo šalčiui rodiklis M_2).

3. Tyrimo rezultatai ir jų aptarimas

3.1. Keraminio gaminio irimo proceso ypatumai ir deformacinių rodiklių vertės kitimas

Apskritai statybinę keraminę medžiagą galima priskirti kvazitrapioms medžiagoms. Drėgmė, esanti jos porose ir kapiliaruose, dar sumažina keraminės medžiagos trapumą. Keraminiam gaminiui sugeriant drėgmę vyksta ir jo brinkimo procesas dėl skeičiančiojo viršslėgio pasireiškimo. Tai gali turėti didelės įtakos atsparumo šalčiui rodiklio vertėms. Vandenyje įmirkyto šaldomo bandinio suirimas nėra staigus aktas. Kinetiniu aspektu prieš atsirandant pirmiesiems suirimo požymiams keraminio bandinio vidinėje mikrostruktūroje vyksta žymūs pokyčiai. Defektų zonose vystosi įtempimai ir didėja deformacijos. Keraminio gaminio linijinis deformavimas veikiant daugkartiniam vienpusiam šaldymui bei atšildymui sukelia medžiagos nuovargio ir liekamųjų deformacijų sankaupas. Besikaupiančios liekamosios deformacijos charakterizuoja keraminio gaminio mikrostruktūros suirimo laipsnį [1–3].

Charakteringų bandinių pagrindiniai deformaciniai rodikliai pateikti 1 lentelėje. Paprastai išryškėja bendra tendencija, kad kuo didesnės teigiamos deformacinių rodiklių reikšmės, tuo mažiau tokie bandiniai atlaiko vienpusio šaldymo ir šildymo ciklą (M_1, M_2). Pavyzdžiui, 2-asis bandinys nuo pirmųjų suirimo požymių iki visi-

1 lentelė. Charakteringų keraminių gaminių pagrindiniai deformaciniai ir atsparumo šalčiui rodikliai

Table 1. Main deformation and frost resistance parameters of typical ceramic samples

Bandinio šifras	$\Delta h_1/\Delta h_{1p}$, μm	$\Delta h_2/\Delta h_{2p}$, μm	$\Delta h_3/\Delta h_{3p}$, μm	s_1/s_2 , cm^2	s_3/s_4 , cm^2	M_1 , ciklai	M_2 , ciklai
1	13,8/3,5	18,0/4,0	21,0/5,0	70,81/13,28	93,15/17,45	40	68
2	11,4/1,8	15,60/3,0	16,20/4,8	46,63/7,77	63,21/13,26	56	84
3	6,3/2,4	9,3/2,4	11,1/6,9	38,46/12,81	42,49/24,27	86	167
4	6,0/2,5	13,8/6,3	17,7/8,4	34,14/8,87	75,23/24,45	149	388
5	1,2/0,3	4,2/1,5	4,8/1,8	5,04/1,10	24,38/8,0	152	252
6	0,6/0,3	2,1/2,1	3,3/3,0	3,89/1,53	12,4/7,89	130	330
7	1,0/1,0	1,2/1,1	1,5/1,4	3,48/2,22	4,83/2,90	390	680
8	-1,8/-2,0	-1,8/-2,2	-2,4/-3,0	-6,18/-10,49	-7,76/-8,04	155	266
9	-1,5/-0,60	-3,0/-2,9	-3,9/-3,1	-6,20/-3,65	-20,70/-16,66	271	500
10	-2,1/-1,2	-1,8/-1,6	-2,1/-1,8	-8,7/-4,8	-7,32/-7,20	229	398
11	-0,6/-1,2	-1,2/-1,8	-1,5/-2,1	-3,06/-4,73	-4,63/-8,1	201	327

ko šaldomojo paviršiaus suirimo dar atlaikė 28 vienpusio šaldymo ciklus (1 lent.). 7-asis bandinys, kurio deformacinių rodiklių reikšmės teigiamos, tačiau mažos, ne tik išlaikė daugiau ciklų iki suirimo pradžios, jam visiškai suirti reikėjo daugiau laiko, tai yra 290 ciklų.

Tai galima paaiškinti tuo, kad keraminių bandinių irimo procesas yra sudėtingas ir labai susijęs su struktūros nevienalytiškumu [2, 3]. Gaminiai, kurių defektai ir struktūros netolygumai koncentruojasi tiriamajame paviršiuje ir jų yra daug, suyra gana greitai. Kai defektų paviršiaus sluoksnyje yra nedaug, irimo procesas prasideda vėliau ir vyksta ilgiau, tokie bandiniai išlaiko daugiau ciklų.

Kaip matyti iš 1 lentelės, kitais atvejais deformacinių rodiklių reikšmės yra neigiamos (1 lentelės 8–11 bandiniai). Tokių bandinių, kurių deformacinių rodiklių reikšmės yra neigiamos, buvo mažiau negu bandinių, kurių deformacinių rodiklių reikšmės teigiamos. Vyrąja tendencija, kad kuo didesnės neigiamos deformacinių rodiklių vertės, tuo toks keraminis gaminys atsparesnis šalčiui. Pavyzdžiui, gana dideliu atsparumu šalčiui pasižymi 9-asis bandinys, turintis neigiamas deformacinių rodiklių reikšmes, – visiškai suiro po 500 ciklų (1 lent.).

Skirtingo ženklo deformacinių rodiklių vertes galima paaiškinti tuo, kad keraminių gaminių makro- ir mik-

rostruktūros skiriasi, ir nevienodai vyksta vandens migracijos ir fazinių virsmų procesai.

Kai fiksuojamos deformacinių rodiklių vertės yra teigiamos ir didelės, tada, matyt, dominuoja vandens migracija ir kaupimasis bei vandens virsmas į ledą paviršinių sluoksnių defektų zonose arba didesnėse pavojingose porose. Jose susidaręs ledas sukelia lokalinius įtempimus, kurie pradeda ardyti keraminio gaminio paviršiaus sluoksnio mikrostruktūrą, atsirandant lokalinėms linijinėms deformacijoms. Kai šaldant atsiradę vidiniai struktūros pokyčiai yra negrįžtami, išryškėja žymios liekamosios deformacijos. Cikliškai šaldant ir atšildant liekamosios deformacijos kaupiasi, kol viršijama stiprio riba ir tuomet gana greit prasideda keraminio bandinio paviršiaus irimas – išryškėja būdingi irimo požymiai (sluoksniavimasis, ištrupėjimas, aižėjimas).

Kai deformacinių rodiklių neigiamos vertės didelės, vyksta priešingi procesai. Vanduo ciklinio poveikio metu palapsniui pašalinamas iš pavojingos paviršiaus zonos vykstant migracijos, garavimo, desorbcijos ir sublimacijos procesams. Tuomet keraminėse pusplytėse ir fiksuojame neigiamas linijines deformacijas (1 lentelės 8 ir 11 bandiniai). Tokiais atvejais vanduo, likęs paviršinio sluoksnio porose ir kapiliaruose, turi pakankamai vietos šaldomas plėstis, todėl nesukelia įtempimų keraminiame bandinyje, o bandinio deformacijos tampa neigiamos.

Tai, kad gaminiai mūre, įskaitant keramines plytas, gali trauktis, yra žinoma [7]. Bet neabejotina, kad toks efektas vienpusio ciklinio šaldymo ir atšildymo atvejais yra nustatytas pirmą kartą. Tačiau šis procesas, būdingas dilatometrinių tyrimų atveju, iš dalies pasireiškia ir tiesioginių standartinių atsparumo šalčiui bandymų metu.

Procesus, vykstančius keraminiame bandinyje, galime bandyti paaiškinti ir energetiniu požiūriu.

Fiksuojamas sąlyginių deformacinių rodiklių (s_1, s_2, s_3, s_4) teigiamas vertes galime bandyti paaiškinti kaip išsiskiriančią energiją, kuri yra sunaudojama vandens migracijai, sankaupoms bei ledo lęšių susidarymui defektų zonose ir keraminės medžiagos paviršiaus sluoksnio destrukcijai.

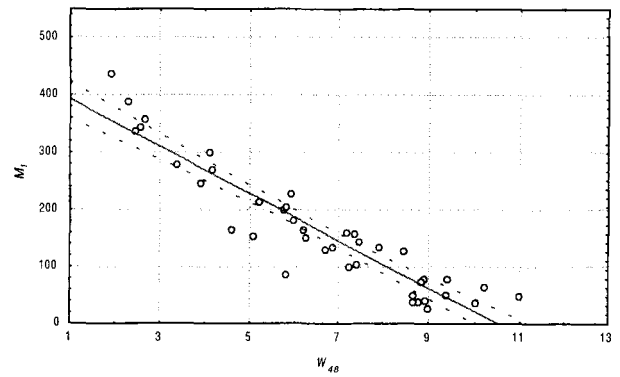
Kai sąlyginių deformacinių rodiklių vertės neigiamos, mūsų manymu, sugerama energija yra naudojama tam, kad išsklaidytų drėgmę iš keraminės medžiagos defektų zonų ir desorbuotų vandenį iš jos porų ir kapiliarų, todėl energijos, kuri sukeltų sluoksnio suirimą, nebelyka.

Atliekant tiesioginius keraminių pusplyčių bandymus vienpusio šaldymo ir atšildymo būdu galimybė pasireikšti neigiamoms deformacijoms yra ribota, todėl, kad paviršiniai sluoksniai cikliškai pasipildo vandeniu lietinant bandinių paviršių atšildymo metu. Tačiau ir šiais atvejais yra daug didesni tokių keraminių bandinių atsparumo šalčiui rodikliai bei gerokai ilgesnė viso vienpusiai šaldomo paviršiaus suirimo eiga, kadangi ir tada paviršiaus sluoksniuose pasireiškia porų ir kapiliarų vandens išsklaidymas.

3.2. Struktūrinių ir deformacinių rodiklių naudojimas keraminių gaminių sparčiajai atsparumo šalčiui prognozei

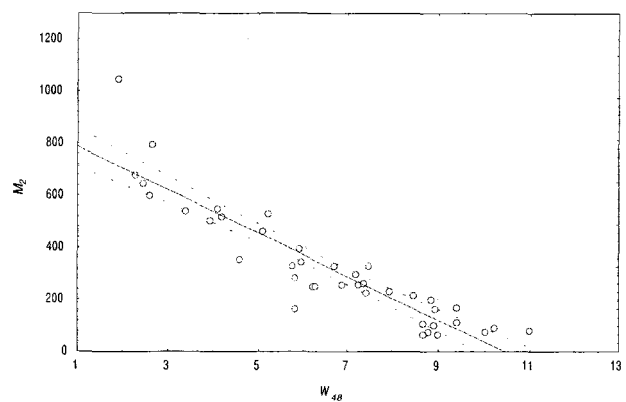
Keraminiėje šukėje susidarančių įtempimų dydžiai užšalant joje vandeniui įtakos turi keraminio gaminio vandens įmirkis. Todėl vienas iš svarbiausių rodiklių, naudotų kuriant spartųjį metodą, – pasirinktas vandens įmirkio rodiklis W_{48} . Tas rodiklis yra tiesiai proporcingas efektyvių porų kiekiui keraminiėje šukėje. Mūsų atveju visi bandiniai patenka į sritį, kur poringumas neviršija 26% (pagal tūrį) [2], nes tiriamųjų bandinių vandens įmirkio rodiklio vertės kito nuo 2,27 iki 10,99%.

Ištirtų bandinių atsparumo šalčiui rodiklių priklausomybė nuo vandens įmirkio pateikta 2 ir 3 paveiks-



2 pav. Atsparumo šalčiui rodiklio priklausomybė nuo vandens įmirkio. Tiesinės regresijos lygis $M_1 = 434,83 - 41,29W_{48}$

Fig 2. Relationship between frost resistance and water saturation. Regression equation $M_1 = 434,83 - 41,29W_{48}$



3 pav. Atsparumo šalčiui rodiklio priklausomybė nuo vandens įmirkio. Tiesinės regresijos lygis $M_2 = 872,52 - 83,59W_{48}$

Fig 3. Relationship between frost resistance and water saturation. Regression equation $M_2 = 872,52 - 83,59W_{48}$

luose. Abiem atvejais išryškėja tokia bendra tendencija – kuo mažesnis gaminio įmirkio rodiklis, tuo jis atsparesnis šalčiui. Vandens įmirkio rodiklis ypač gerai koreliuoja su atsparumo šalčiui rodikliais M_1, M_2 , ir tai matome iš 2 ir 3 paveiksluose pateiktų duomenų. Tarp atsparumo šalčiui rodiklio M_1 ir vandens įmirkio W_{48} koreliacijos koeficientas $-0,9329$. Tarp atsparumo šalčiui rodiklio M_2 ir vandens įmirkio rodiklio W_{48} jis yra $-0,9143$. Šie rezultatai sutampa su žinomų tyrimų rezultatais [2]. Tačiau, kai efektyvus poringumas viršija 26%, paprastai vandens įmirkio rodiklis W_{48} tampa tiesiogiai proporcingas eksploataciniam atsparumui šalčiui, kai didėja ir atvirų porų bei kapiliarų matmenys ir bendras poringumas [2, 3].

2 lentelė. Keraminių bandinių deformacinių ir atsparumo šalčiui rodiklių koreliacijos koeficientų matrica

Table 2. Correlation coefficients matrix of deformational and frost resistance factors of ceramic specimens

	Δh_1	Δh_2	Δh_3	Δh_{1l}	Δh_{2l}	Δh_{3l}	s_1	s_2	s_3	s_4	M_1	M_2
Δh_1	1,00	0,92	0,84	0,60	0,53	0,40	0,97	0,63	0,88	0,45	-0,68	-0,69
Δh_2	-	1,00	0,97	0,61	0,68	0,51	0,93	0,65	0,98	0,56	-0,69	-0,69
Δh_3	-	-	1,00	0,61	0,73	0,63	0,87	0,64	0,96	0,61	-0,65	-0,66
Δh_{1l}	-	-	-	1,00	0,84	0,74	0,69	0,96	0,63	0,86	-0,36	-0,42
Δh_{2l}	-	-	-	-	1,00	0,84	0,61	0,85	0,69	0,89	-0,44	-0,50
Δh_{3l}	-	-	-	-	-	1,00	0,48	0,74	0,50	0,81	-0,37	-0,44
s_1	-	-	-	-	-	-	1,00	0,72	0,92	0,52	-0,66	-0,67
s_2	-	-	-	-	-	-	-	1,00	0,67	0,87	-0,43	-0,51
s_3	-	-	-	-	-	-	-	-	1,00	0,58	-0,68	-0,68
s_4	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1,00	-0,30	-0,39
M_1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1,00	0,96
M_2	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1,00

Deformacinių ir atsparumo šalčiui rodiklių tarpusavyo sąryšio duomenys pateikti 2 lentelėje. Iš 2 lentelės matyti, kad dauguma deformacinių rodiklių stipriai koreliuoja tarpusavyje. Gerais koreliaciniais ryšiais su atsparumo šalčiui rodikliu pasižymi absoliutieji deformaciniai rodikliai. Pavyzdžiui, Δh_2 koreliacijos koeficientai su M_1 ir M_2 atitinkamai yra -0,69. Sąlyginiai deformaciniai rodikliai s_1 ir s_3 , kurie išreiškiami plotais, taip pat stipriai koreliuoja su atsparumo šalčiui rodikliais. Kaip matome iš 2 lentelės, koreliacijos koeficientai deformacinio rodiklio s_1 su atsparumo šalčiui rodikliu M_1 yra -0,66, o su M_2 atitinkamai -0,67. Ši preliminari analizė (2 ir 3 pav. bei 2 lent.) parodė, kad panašių savybių keraminių plytų aibės eksploatacinį atsparumą šalčiui (M_1 ir M_2) būtų galima prognozuoti naudojant vandens įmirkio bei absoliučiuosius ir sąlyginius deformacinius rodiklius. Toliau buvo svarbu nustatyti optimalias prognozavimo lygtis.

Atlikus gautų tyrimų rezultatų regresinę analizę išvestos formulės, kurios leidžia prognozuoti keraminių gaminių suirimo pradžią ir pabaigą (3 lent.) pagal empirines lygtis. Kaip matyti iš 3 lentelės, prognozuoti keraminių gaminių atsparumą šalčiui galima naudojant tiek vienos, tiek kitos grupės deformacinius rodiklius, taip pat ir vandens įmirkio rodiklį.

(1), (3), (5), (7) lygtys yra skirtos prognozuoti keraminių gaminių atsparumą šalčiui pagal suirimo pradžią, o (2), (4), (6), (8) formulės – atitinkamai pagal suirimo pabaigą.

Tikėtina, kad ((1), (2) lygtys, 3 lent.) tinka prognozuoti keraminių plytų eksploatacinį atsparumą šalčiui, o, atsižvelgiant į empirinių lygčių daugiamačio koreliacijos koeficiento ir dispersijos faktinius dydžius, tai prognozuoti galima gana tiksliai, tačiau paklaidos tikimybė yra didesnė, kai naudosime tik absoliučiuosius deformacinius rodiklius. Tuo tarpu naudojant vien sąlyginius deformacinius rodiklius ((3), (4) lygtys, 3 lent.) prognozės tikslumo tikimybė mažesnė, o galimos paklaidos tam tikrais atvejais laukiamos mažesnės.

Kai įvertiname ir keraminių gaminių įmirkį W_{48} bei deformacinius rodiklius, situacija keičiasi ((5–8) lygtys, 3 lent.). Tokiu atveju optimaliomis galima laikyti empirines lygtis, kuriose prognozuojant sienų keramikos gaminių atsparumą šalčiui naudojamas vandens įmirkio rodiklis (W_{48}) bei sąlyginiai deformaciniai rodikliai (s_1, s_2, s_3, s_4). Šiuo atveju lygčių daugiamačio koreliacijos koeficientai yra didžiausi, o dispersijos mažai skiriasi, kai lygtyse naudojami absoliutieji deformaciniai rodikliai.

Taigi keraminių gaminių atsparumo šalčiui prog-

3 lentelė. Keraminių plytų eksploatacinio atsparumo šalčiui prognozavimo empirinės lygtys

Table 3. Empirical equation for rapid frost resistance forecast of ceramic bricks

Lygties Nr.	Empirinė lygtis	Daugiamatės koreliacijos koeficientas R, dispersija, %
1	$M_1 = \exp(5,46507 - 0,09889 \Delta h_1 - 0,57520 \Delta h_2 + 0,026570 \Delta h_3 + 0,267663 \Delta h_{1l} - 0,074504 \Delta h_{2l} - 0,05116 \Delta h_{3l})$	0,75808 57,468
2	$M_2 = \exp(6,12117 - 0,11264 \Delta h_1 - 0,248520 \Delta h_2 + 0,028927 \Delta h_3 + 0,247346 \Delta h_{1l} - 0,070875 \Delta h_{2l} - 0,05893 \Delta h_{3l})$	0,78271 61,264
3	$M_1 = \exp(5,42214 - 0,01448 s_1 + 0,011476 s_2 - 0,01818 s_3 + 0,013415 s_4)$	0,73388 53,858
4	$M_2 = \exp(6,07272 - 0,01783 s_1 + 0,011315 s_2 - 0,01349 s_3 + 0,007576 s_4)$	0,74148 54,979
5	$M_1 = \exp(6,4314 - 0,2058 W_{48} - 0,02443 \Delta h_1 - 0,01976 \Delta h_3 + 0,009608 \Delta h_{1l} + 0,021045 \Delta h_{3l})$	0,97175 94,431
6	$M_2 = \exp(7,0834 - 0,2049 W_{48} - 0,03275 \Delta h_1 - 0,01226 \Delta h_3 - 0,004258 \Delta h_{1l} + 0,011584 \Delta h_{3l})$	0,97321 94,714
7	$M_1 = \exp(6,4001 - 0,1948 W_{48} - 0,0096 s_1 + 0,018276 s_2 - 0,00449 s_3 - 0,01009 s_4)$	0,97521 95,104
8	$M_2 = \exp(7,1319 - 0,2087 W_{48} - 0,015956 s_1 + 0,02273 s_2 + 0,001297 s_3 - 0,00715 s_4)$	0,97779 95,607

nozė naudojant W_{48} rodiklius ir sąlyginius deformacinius rodiklius s_1, s_2, s_3, s_4 yra patikima ir gana tiksli. Be to, tokiu atveju atliekant tyrimus pakanka dviejų šaldymo ir atšildymo ciklų, taip pagreitiname bandymus ir sumažiname darbo sąnaudas.

Visais atvejais išryškėja ta pati tendencija (3 lent.), jog didesni koreliacijos koeficientai gaunami prognozuojant bandinių suirimo pabaigą nei suirimo pradžią. Tai sutampa su ankstesnių tyrimų rezultatais [2].

Pasinaudojus išvestomis formulėmis keraminių dirbinių atsparumą šalčiui galima nustatyti per gana trumpą laikotarpį (3–5 paras, įskaitant bandinių išdžiovinimą iki pastovios masės).

4. Išvados

1. Skirtingos struktūros įmirkytų keraminių pusplyčių, jas vienpusiai šaldant ir atšildant, deformacinių rodiklių vertės kinta plačiu diapazonu.

Neigiamos absoliučiujių bei sąlyginių deformacinių rodiklių vertės vienpusio ciklinio šaldymo ir atšildymo metu eksperimentiškai fiksuotos pirmą kartą. Tokių keraminių gaminių eksploatacinis atsparumas šalčiui yra gana didelis.

2. Išvestos naujos empirinės eksploatacinio atsparumo šalčiui prognozavimo lygtys gana mažo poringumo keraminėms paprastoms ir apdailos plytoms. Optimaliai prognozuoti tokių gaminių charakteringo suirimo pradžią ir pabaigą ciklinio vienpusio šaldymo ir atšildymo atveju galima pagal vandens įmirkio (W_{48}) bei sąlyginius deformacinius (s_1, s_2, s_3, s_4) rodiklius. Minimali prognozavimo trukmė tokiu atveju yra 3 paras.

Literatūra

1. А. С. Садунас, Р. В. Мачюлайтис, А. Ю. Каминскас. Проблема эксплуатационной морозостойкости кирпича и реальные пути её решения // Строительные материалы, 1984, № 9, с. 25–36.
2. Р. В. Мачюлайтис. Морозостойкость и долговечность изделий фасадной керамики. Вильнюс: Техника, 1997. 308 с.
3. А. Садунас. Aliumosilikatinių dirbinių ilgaamžiškumas. Vilnius: VPU leidykla, 1997. 252 p.
4. А. Кічайтė. Keraminių gaminių atsparumo šalčiui sparčiųjų prognozavimo metodų raida // Statyba, V t., Nr. 3. Vilnius: Technika, 1999, p. 222–228.
5. О. Д. Парашенко, К. А. Валешко, П. М. Гуденко, Д. Н. Квасницкая. Экспресс-метод определения морозостойкости керамических материалов. Реф. инф., серия "Промышленность стеновых материалов,

пористых заполнителей и местных вяжущих". Вып. 3. М.: ВНИИЭСМ, 1975. 75 с.

6. А. Садунас, Р. Мачюлайтис, Д. Буре. Долговечность строительной керамики. Вильнюс: ЛитНИИТИ, 1987. 36 с.
7. G. Marčiukaitis, J. Valivonis. Mūro susitraukimo deformacijų įvertinimas, analizuojant pastatų vidinių sienų supleišėjimą // Statyba, VI t., Nr. 1. Vilnius: Technika, 2000, p. 11–16.

Įteikta 2000 08 25

NEW EQUATIONS FOR PREDICTING THE FROST RESISTANCE OF CERAMIC PRODUCTS BY DEFORMATIONAL PARAMETERS

A. Kičaitė, R. Mačiulaitis

Summary

One of the important parameters describing durability is the resistance to frost. It can be determined by direct and rapid prediction methods. Investigations by direct methods last from some days to several months. Frost resistance of ceramic products can be estimated fast by rapid prediction methods.

One of important directions of the rapid prediction methods is the dilatometric method, which is sensitive to the changes of internal structure and related to tensions and deformation by freezing and thawing. One of dilatometric apparatus is DUM-01, which can establish many deformation parameters by one-sided freezing of ceramic bricks.

Clay bricks made by plastic extrusion and by semi-dry pressing were tested.

We have estimated what values of deformative parameters of ceramic bricks change in a wide range from negative

to positive. The bigger the positive values of deformation parameters, the less number of ceramic samples is resistant to frost.

We think that the observed negative values of deformation parameters appear because of water migration in ceramic bricks from defective zones. The ice formed in large pores does not destroy ceramic products and they have possibility to shrink.

It was established that objective forecast for the frost resistance of ceramic bricks must be carried out using water absorption and two groups of deformation parameters.

Prediction methods according to structural and deformational properties have been developed. Testing by these methods lasts 3 days.

Rapid prediction methods for frost resistance of ceramics products are more convenient and prospective due to structural and deformational properties.

.....
Asta KIČAITĖ. Doctor, Senior Assistant. Dept of Building Materials. Vilnius Gediminas Technical University, Saulėtekio al. 11, LT-2040 Vilnius, Lithuania. E-mail: stsm@st.vtu.lt

Doctor (technical sciences, 1991). Author of 19 publications. Research interests: durability, frost resistance and other properties of building materials and products.

.....
Romualdas MAČIULAITIS. Doctor Habil, Professor. Head of Dept of Building Materials. Vilnius Gediminas Technical University, Saulėtekio al. 11, LT-2040 Vilnius, Lithuania. E-mail: romualdas.maciulaitis@st.vtu.lt

Doctor (technical sciences, 1980). Doctor Habil (technical sciences, 1993). Professor (1999). Author of 120 publications. Research interests: durability, frost resistance and other properties of building materials and products, fire protection and processes.