

THE DEVELOPMENT OF METHODS FOR RAPID PREDICTION OF FROST RESISTANCE OF CERAMIC PRODUCTS

A. Kičaitė

To cite this article: A. Kičaitė (1999) THE DEVELOPMENT OF METHODS FOR RAPID PREDICTION OF FROST RESISTANCE OF CERAMIC PRODUCTS, *Statyba*, 5:3, 222-228, DOI: [10.1080/13921525.1999.10531466](https://doi.org/10.1080/13921525.1999.10531466)

To link to this article: <https://doi.org/10.1080/13921525.1999.10531466>



Published online: 26 Jul 2012.



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



Article views: 44

KERAMINIŲ GAMINIŲ ATSPARUMO ŠALČIUI SPARČIŲJŲ PROGNOZAVIMO METODŲ RAIDA

A. Kičaitė

1. Įvadas

Viena iš seniausių dirbtinių statybinių medžiagų yra keraminės plytos. Žinoma, kad šią statybinę medžiagą žmonės naudojo jau 3 tūkstantmetyje pr. Kr. [1]. Yra daug pastatų, sumūrytų iš keraminių plytų, kurie stovi jau keletą amžių nė kiek nenukentėję. Atidžiau pasižvalgę į pastatus, statytus pastaraisiais dešimtmečiais, jų fasaduose neretai pastebime plytų suirimą. Tokias sienas jau reikia renovuoti, taigi labai aktualu, kad neatsparios šalčiui plytos nepakliūtų į mūrą.

Keraminių plytų atsparumą šalčiui gana tiksliai galima nustatyti tiesioginiais šaldymo metodais. Šiuo metu paplitusius tiesioginius šaldymo metodus galima suskirstyti į dvi grupes pagal taikomas metodikas: 1) pagrįstas klasikiniu tūriniu bandinių šaldymu; 2) kurios remiasi vienpusio šaldymo principo taikymu.

Tūrinio šaldymo atveju vienu metu gali suirti visi keraminio bandinio paviršiai, bet tokių suirimų realiomis sąlygomis nepastebime. Vienpusio šaldymo atveju paprastai suyra tik vienas paviršius ir geriau modeliuojamos natūrinės sąlygos [2, 3].

Daugelio mokslininkų nuomone, metodika, kuri remiasi tūriniu šaldymu, neleidžia įvertinti faktinio keraminių gaminių atsparumo šalčiui [4–7].

Šie tyrimai tiesioginiais šaldymo metodais užtrunka nuo kelių savaičių iki kelių mėnesių. Per tokį ilgą laiką plytos atsiduria ne tik statybos aikštelėje, bet ir mūro sienoje. Todėl vis svarbesnę reikšmę įgyja spartieji prognozavimo metodai ir ypač tokie, kurių rezultatai leidžia prognozuoti atsparumą šalčiui eksploatacijos sąlygomis.

2. Keraminių gaminių atsparumo šalčiui sparčiųjų prognozavimo metodų skirstymas

Keraminių gaminių atsparumas šalčiui yra svarbi ir labai sudėtinga jų savybė, priklausanti nuo išorinio

eksploatacinio poveikio bei fizikinių-cheminių ir mechaninių keraminių gaminių savybių. Visas šias savybes lemia technologiniai faktoriai, jų gamybos parametrai.

Norint pagaminti atsparias šalčiui keramines plytas, reikia parinkti optimalią žaliavų sudėtį ir tinkamiausią degimo proceso režimą [2, 3, 8]. Keraminių gaminių atsparumui šalčiui įtakos turi aliumosilikatinių žaliavų cheminė ir mineraloginė sudėtis, formavimo ir džiovavimo sąlygos [2, 9]. Vokiečių autorių duomenimis [10], visus faktorius, turinčius įtakos atsparumo šalčiui rodikliui, galima suskirstyti į dvi grupes priklausomai nuo:

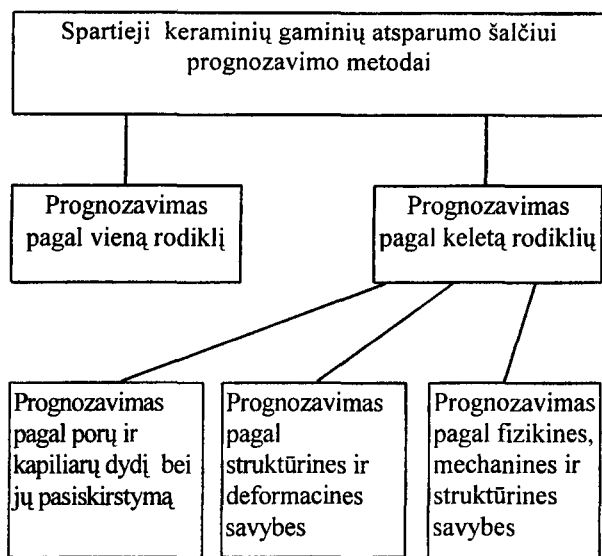
- 1) žaliavos cheminės, mineraloginės, granulometrinės sudėties;
- 2) gamybos technologinių faktorių (naudojamos įrangos ir gamybos būdų).

Šie mokslininkai suskaičiuoja apie 50 įvairių faktorių, kurie turi didesnės ar mažesnės įtakos keraminių gaminių atsparumui šalčiui [10].

Akivaizdu, kad keraminių gaminių atsparumo šalčiui problema yra sudėtinga. Reikia analizuoti, tyrinėti ir surasti svarbiausius rodiklius, turinčius sąryšį su atsparumu šalčiui. Šaldant įmirkytus vandeniu keraminius gaminius, atsiranda įtempimai ir deformacijos, priklausantys nuo porų dydžio ir jų kiekio, išotinio vandens koeficiento, pakilimo kapiliarais, rezervinių ir pavojingų porų santykio, mechaninio atsparumo ir kt.

Sparčiausias prognozavimo metodais tuo tiksliau galima numatyti keraminių gaminių atsparumą šalčiui, kuo tiksliau įvertintos medžiagų savybės, kurios šaldymo metu geriau parodo užšalancio vandens ardomąjį poveikį poringame kūne.

Dabartiniu metu keraminių gaminių atsparumo šalčiui sparčiuosius prognozavimo metodus galima skirstyti pagal prognozei naudojamų rodiklių kiekį ir pagal nustatomas charakteristikas (žr. pav.).



Keraminių gaminių atsparumo šalčiui sparčiųjų prognozavimo metodų klasifikacijos schema

The scheme of classification of rapid prediction methods for frost resistance of ceramic products

Keraminių gaminių atsparumas šalčiui, nustatytas sparčiaisiais metodais, naudojant tikrai vieną rodiklį, pasirodė neobjektyvus (pvz., didelių prognozavimo netikslumų buvo pastebėta, kai apie atsparumą šalčiui buvo sprendžiama tik pagal įsotinimo vandeniui koeficientą [11, 12]).

Kaip matyti iš pav., objektyviausiai keraminių gaminių atsparumą šalčiui galima prognozuoti metodais, įvertinančiais daugelį gaminio savybių:

- 1) porų ir kapiliarų dydį bei jų pasiskirstymą;
- 2) struktūrinius ir deformacinius rodiklius;
- 3) fizikines, mechanines ir struktūrines charakteristikas.

3. Keraminių gaminių atsparumo šalčiui prognozavimo pagal porų ir kapiliarų dydį bei pasiskirstymą analizė

Keraminių gaminių struktūra sudaryta iš kietosios fazės (kristalinės ir stiklo) ir tuštumų bei porų derinio. Keraminės šukės struktūra priklauso nuo kristalinės, stiklo, dujų fazių fizikinės-cheminės prigimties bei kiekių santykio ir pasiskirstymo visoje masėje [13]. Keraminuose gaminiuose poros ir kapiliarai yra nevienodo skersmens, taigi vanduo užšąla skirtingose temperatūrose. Pagal kapiliarinio vandens užšalimo dėningumą: kuo mažesnis kapiliaro spindulys, tuo mažesnė jo užšalimo tikimybė, esant vienodai neigiamai temperatūrai [12, 14]. Pavojingų įtempimų ir deformacijų atsiradimo galimybė mažesnė palankios struktūros gaminiuose, kuriuose yra rezervinių porų, sutei-

kiančių erdvę perteklinės drėgmės migracijai [2, 3].

Mokslininkai pagal porų ir kapiliarų skersmenį bei jų kiekį bando vertinti keraminių gaminių atsparumą šalčiui. A. Ravaglioli [12] mano, kad, jei yra daugiau kaip 40% porų, kurių skersmuo mažesnis kaip 0,25 μm ir 40-45% porų, kurių skersmuo didesnis kaip 1,4 μm, tai toks keraminis gaminy bus atsparus šalčiui. Jeigu dominuoja poros, kurių skersmuo tarp 0,25 ir 1,4 μm, tai medžiaga bus neatspari šalčiui.

A. S. Berkmanas ir I. G. Melnikova [14] atsparumą šalčiui vertina pagal rezervinių ir pavojingų porų kiekį. Jų nuomone, poros, kurių spindulys didesnis negu 200 μm, yra rezervinės, nuo 200 μm iki 0,1 μm – pavojingos. Jei jų spindulys yra mažesnis kaip 0,1 μm, tai jos priskiriamos nepavojingoms.

M. Nakamura keraminiams gaminiams pavojingomis laiko poras, kurių spindulys mažesnis kaip 0,1 μm [15].

L. Franke, H. Bentrupas pateikia dar kitokį vertinimą [16]. Jeigu keraminame gaminyje poros, kurių spindulys mažesnis kaip 0,60 μm, sudaro 50%, tai jis neatsparus šalčiui ir priešingai – kai vidutinis porų spindulys yra didesnis kaip 1,65 μm, keraminis gaminy laikomas atsparus šalčiui.

M. Maage nustatė [17], kad keraminuose gaminiuose poros, kurių skersmuo mažesnis kaip 3 μm, pavojingesnės, negu poros, kurių skersmuo didesnis kaip 3 μm. Taikant statistinę analizę, buvo išvesta matematinė formulė:

$$F = 3,2/PV + 2,4 \times P3, \quad (1)$$

F – apskaičiuotas atsparumas šalčiui; PV – užpildytų porų tūris; $P3$ – porų >3 μm nuo visos PV procentinė dalis. Keraminių gaminių atsparumas šalčiui vertinamas taip, kai:

- $F > 70$ – bandiniai yra atsparūs šalčiui,
- $F 55-70$ – pereinama sritis,
- $F < 55$ – bandiniai yra neatsparūs šalčiui.

Dažniausiai porų dydžiai buvo nustatomi gyvsidabrio porometrijos metodu. Tokiems tyrimams imant 1–2 g bandinėlį galima geriausiai įvertinti tikrai gaminio mikrostruktūrą. Tačiau tada visai neatsižvelgiama į dideles poras ir defektus, darančius įtaką dirbinių eksploataciniam atsparumui šalčiui [18]. Mokslininkų nustatytų pavojingų ir rezervinių porų skirtingumą galima paaiškinti nevienodomis keraminių gaminių atsparumo šalčiui nustatymo metodikomis. Vienos paremtos tūrinio, kitos – vienpusio šaldymo principais.

4. Keraminių gaminių atsparumo šalčiui prognozavimo pagal fizikines-mechanines ir struktūrines savybes raidos įvertinimas

Prognozavimo pagal keletą fizikinių-mechaninių charakteristikų metodui skirtas vokiečių mokslininkų darbas [19]. Čerpių atsparumo šalčiui prognozei buvo išvesta lygtis:

$$FSn \approx \frac{r^{0,17}}{T^3 P^2 \operatorname{tg} \alpha} \cdot \frac{\sigma_{zul}}{\sqrt{E}} \cdot \frac{B}{D}, \quad (2)$$

FSn – atsparumo šalčiui skaičius, r – vidutinis porų spindulys, T – vakuumavimo būdu nustatytas įmirkio koeficientas, σ_{zul} – stiprumo koeficientas, nustatytas pagal stiprio tempiant ir lenkiant rodiklius, P – bendrasis bandinio poringumas (nustatomas iš vandens įmirkio duomenų vakuumavimo metodu), $\operatorname{tg} \alpha$ – porų ir kapiliarų išsidėstymo pagal dydį integralinės kreivės užlinkimo kampas, E – medžiagos tampros modulis, B/D – santykis tarp čerpės paviršiaus ploto ir jos pločio (storio). Manoma, kad kai $FSn < 11$, bandiniai esti neatsparūs šalčiui, 11–35 – pereinamojo pobūdžio, > 35 – atsparūs šalčiui. Ši lygtis pritaikyta tik čerpių atsparumui šalčiui prognozuoti.

Mokslininkai [14, 16] tyrė keraminių gaminių stiprumines charakteristikas (tokias kaip stiprį tempiant, lenkiant, dinaminį tampros modulį, ultragarso sklidimo greitį ir jo slopinimo koeficientą), bandydami nustatyti jų sąryšį su atsparumu šalčiui rodikliu. Tokių rodiklių ryšys su atsparumu šalčiui nebuvo stiprus, todėl tokie metodai nėra perspektyvūs.

Keraminių gaminių prognozavimo metodus kūrė ir Lietuvos mokslininkai: A. Sadūnas, R. Mačiulaitis, R. Šiaučiulis, A. Kaminskas, D. Būrė ir kt. Jie atliko nuodugnius tyrimus ir parengė nemaža sparčiųjų prognozavimo metodų (žr. lent. [2, 3, 7, 20–35]).

Pirmieji metodai (3, 4 empirinės lygtys) buvo sukurti, nustačius koreliacinį ryšį tarp atsparumo šalčiui rodiklio ir struktūrinių bei stipruminių charakteristikų [21–23]. Pats atsparumo šalčiui rodiklis buvo nustatomas tūrinio būdu, tačiau vertinamas pagal charakteringus suirimus [20, 23].

Atliekant vėlesnius tyrimus (5 ir 6 lygtys), keraminių gaminių atsparumas šalčiui tiesiogiai buvo nustatomas vienpusiu šaldymo metodu pagal GOST 7025-78, p. 5 [36]. Toliau vienpusio šaldymo atveju vertinimo kriterijumi buvo pasirinkti keramikos gaminių

būdingi eksploatacijos sąlygomis paviršiniai suirimo požymiai. Tais metodais nustatytas koreliacinis ryšys tarp eksploatacinio atsparumo šalčiui ir struktūrinių bei stipruminių charakteristikų [3, 24, 25, 31, 34].

Tobulinant tiesioginį vienpusio šaldymo būdą buvo sukurta speciali patikimesnė šaldymo metodika [3, 25–31]. Ji taikyta ir nustatant koreliacinį ryšį tarp atsparumo šalčiui rodiklio (pagal specialią vienpusio šaldymo metodiką) ir vien struktūrinių charakteristikų (7–10 empirinės lygtys).

Vieni spartieji metodai skirti tik vienos gamyklos keraminiams gaminiams (žr. 4, 6 empirines lygtis). Kiti metodai daug universalesni, tinkantys netgi kelioms gamykloms.

Universaliausi yra paskutiniai metodai (7–10 lygtys), nes jie buvo sukurti tiriant daugelio gamyklų gaminius, pagamintus skirtingose šalyse. Jais įvertinama ir suirimo dinamika.

Iš stipruminių ir struktūrinių rodiklių, kurie pateikiami aukščiau minėtuose metoduose, dėsningų pokyčių galima spręsti apie gamybos technologijos įtaką atsparumo šalčiui rodikliui [3, 34]:

- pagal struktūrinės charakteristikos ir dinaminio rezervo charakteristikos rodiklių pasikeitimus galima spręsti, ar gamybai naudojamas tinkamas mažo dispersiškumo molis;

- pagal struktūros nevienalytiškumo laipsnio, struktūros anizotropiškumo laipsnio ir medžiagos vienetinio tūrio suardymo smūgiais darbo rodiklių pasikeitimus galima įvertinti, ar gerai homogenizuota formavimo masė ir ar naudojama kiek galima mažesnio drėgnumo masė;

- pagal medžiagos vienetinio tūrio suardymo smūgiais darbo, struktūros nevienalytiškumo laipsnio, struktūros anizotropiškumo laipsnio rodiklių pasikeitimus galima įvertinti džiovinimo režimo ypatumus;

- pagal įsotinimo vandeniui koeficiento, vandens sugėrimo, atsparumo ribos lenkiant, vienetinio tūrio suardymo smūgiais darbo rodiklių pasikeitimus galima spręsti apie degimo kokybę ir pan.

Iš šių dėsningumų taip pat akivaizdu, kad keraminių gaminių atsparumui šalčiui turi įtakos ne vienas technologinis faktorius ir ne vienas parametras.

Pagal struktūrinius rodiklius prognozė užima ilgesnį laiką (8–12 parų). Taikant kitus sparčiuosius keraminių gaminių prognozavimo metodus atsparumą šalčiui galima įvertinti per 3–4 dienas [2, 3, 21, 22, 25, 33].

Keraminių plytų atsparumo šalčiui prognozavimo sparčiaisiais metodais empirinės lygtys
 Empirical equations for the methods for rapid forecast of ceramic brick resistance

Prognozavimo rodikliai	Empirinė lygtis	Pastabos
<p>M – atsparumas šalčiui (tūrinio šaldymo ciklai) R_1 – atsparumo riba lenkiant H – kapiliarinio drėkinimo fronto greitis A – medžiagos vienetinio tūrio suardymo smūgiais darbas q/H^2 – struktūros charakteristika e – natūrinio logaritmo pagrindas x, y, z, d – laipsnių rodikliai</p>	$M = e^y \frac{R_1^x A^z}{(q/H^2)^d} \quad (3)$ <p>R=0,955, S=±20%</p>	Kelių gamyklų produkcijai
<p>Rodikliai tie patys, kaip ir 3 lygtyje t, y, z – laipsnių rodikliai</p>	$M = k_3 H^t R_1^y A^z \quad (4)$ <p>R=0,95, S=±32%</p>	Vienos gamyklos produkcijai
<p>M – eksploatacinis atsparumas šalčiui A – medžiagos vienetinio tūrio suardymo smūgiais darbas q/H^2 – struktūros nevienalytiškumo charakteristika $\Delta H/H_{vid}$ – struktūros koeficientas K_H – įsotinimo vandeniu koeficientas</p>	$M = e^{0,705} \frac{R_1^{0,727} A^{0,903}}{(q/H^2)^{0,553} (\Delta H/H_{vid})^{0,839} K_H^{10,561}} \quad (5)$ <p>R=0,9797, S=±20,24%</p>	Kelių gamyklų produkcijai
<p>h_2^2/g_1 – dinaminio rezervo charakteristika C – struktūros anizotropiškumo charakteristika</p>	$M = 5,9 \cdot 10^7 \frac{(h_2^2/g_1)^{1,456}}{(q/h_{min}^2)^{0,979} \cdot K_H^{7,346} \cdot C^{1,840} W_{48}^{6,375}} \quad (6)$ <p>R=0,9916, S=±20,87%</p>	Vienos gamyklos produkcijai
<p>M_1 – eksploatacinis atsparumas šalčiui (pagal suirimo pradžia, kai $W_3 \leq 26\%$) P_{II} – poringos erdvės rezervas D – sąlyginis porų ir kapiliarų sienelių storis N_h – struktūros nevienalytiškumo laipsnis G_1 – kapiliarinio masės srauto greitis vakuume šaldymo kryptimi G_2 – kapiliarinio masės srauto greitis vakuume statmena jai kryptimi g_2 – kapiliarinio masės srauto greitis šaldymo kryptimi W_3 – efektyvus poringumas</p>	$M_1 = e^{-1,464} \frac{P_{II}^{1,068} D^{1,345} G_1^{0,275} G_2^{0,663}}{N_h^{0,285} g_2^{0,830}} \quad (7)$ <p>R=0,9377, S=±37,43%</p>	Įvairių gamyklų produkcijai
<p>M_2 – eksploatacinis atsparumas šalčiui (pagal suirimo pabaigą, kai $W_3 \leq 26\%$)</p>	$M_2 = e^{-1,450} \frac{P_{II}^{1,465} D^{0,759} G_1^{0,384} G_2^{0,852}}{N_h^{0,168} g_2^{1,034}} \quad (8)$ <p>R=0,9624, S=±30,51%</p>	Įvairių gamyklų produkcijai
<p>M_1 – eksploatacinis atsparumas šalčiui (pagal suirimo pradžia, kai $W_3 \geq 26\%$)</p>	$M_1 = e^{-2,983} \frac{P_{II}^{1,642} D^{2,332} G_1^{0,695} g_2^{0,779}}{N_h^{0,334} G_2^{1,145}} \quad (9)$ <p>R=0,9651, S=±26,01%</p>	Įvairių gamyklų produkcijai
<p>M_2 – eksploatacinis atsparumas šalčiui (pagal suirimo pabaigą, kai $W_3 \geq 26\%$)</p>	$M_2 = e^{-2,758} \frac{P_{II}^{1,813} D^{2,135} G_1^{0,178} g_2^{1,335}}{N_h^{0,395} G_2^{0,517}} \quad (10)$ <p>R=0,9753, S=±22,65%</p>	Įvairių gamyklų produkcijai

5. Keraminių gaminių atsparumo šalčiui prognozavimo metodų pagal struktūrinius ir deformacinius rodiklius analizė

Užšalant vandeniui keraminiame gaminyje atsiranda įtempimai ir deformacijos. Deformacijos susijusios su keraminio gaminio atsparumu šalčiui.

R. B. Angenickaja [37] pagal išmatuotų linijinių deformacijų reikšmes apskaičiavo mechanines įtampas ir palygino jas su gaminių atsparumo lenkimui rodikliais.

O. D. Paračenko kartu su kitais mokslininkais [38] naudojo kvarcinį dilatometrą plytelių ir kitų keraminių medžiagų sparčiai atsparumo šalčiui prognozei. Metodas kalibruotas pagal tūrinio šaldymo rezultatus. Nustatyta, kad geriau išdegtos plytelės atlaiko daugiau šaldymo ciklų ir mažiau deformuojasi.

Buvo pastebėtos didelės teigiamos deformacijos [39, 40] keraminių gaminių, kurie pasižymėjo didesniu įsotinimo vandeniui koeficientu (0,9), turėjo tekstūros defektų ir buvo nepakankamai išdegti.

Minėti dilatimetriniai metodai buvo tobulinami tūrinio šaldymo pagrindu.

Vienpusio šaldymo principo taikymas dilatimetriniams tyrimams, ypač modeliuojant eksploatacines klimatinės sąlygas, atvėrė plačias galimybes keraminių gaminių atsparumo šalčiui sparčiai prognozei. Sparčiam eksploatacinio atsparumo šalčiui prognozavimui buvo sukonstruotas prietaisas DUM-1, kuriuo galima nustatyti daugelį deformacinių rodiklių [2, 3, 41, 42].

Žinoma empirinė lygtis [41], kurioje taikomi tokie deformaciniai rodikliai:

$$M = e^{5,399 - (325\Delta H - 1497a - 308b + 2Vg) \cdot 100}, \quad (11)$$

ΔH – gaminio paviršiaus sluoksnio deformacija per vieną ciklą, a , b – atitinkamai bendrosios ir liekamosios deformacijos (sluoksnyje) padidėjimas per vieną ciklą, Vg – deformacijos greitis.

11 lygties daugiamatės koreliacijos koeficientas $R=0,9600$, o paklaida $S=\pm 22,80\%$.

Vieno bandinio matavimo trukmė siekia 5 h, neįskaitant įmirkio vandeniui 48 h. Prietaisu DUM tyrimai atliekami automatiškai.

Atlikus tolesnius tyrimus nustatyta [2], kad eksploatacinį atsparumą šalčiui optimaliai aprašo lygtis:

$$M = \exp(k_0 - k_1\Delta H_1 - k_2K_H + k_3N), \quad (12)$$

ΔH_1 – gaminio paviršiaus sluoksnio deformacija per vieną ciklą, N – dinaminio rezervo rodiklis, K_H – įsotinimo vandeniui koeficientas.

12 lygties daugiamatės koreliacijos koeficientas $R=0,993$, o paklaida $S=\pm 5,52\%$.

Ši lygtis taikoma keraminiams gaminiams, kurių žaliavų sudėtis ir gamybos technologijos panašios.

Pagal šiuos metodus (11 ir 12 lygtis) keraminių gaminių atsparumą šalčiui galima pakankamai operatyviai prognozuoti.

Perspektyvu šiuos metodus toliau tobulinti ir plėtoti.

6. Išvados

1. Norint numatyti keraminių gaminių, skirtų pastatų sienoms ir konstrukcijoms, atsparumą šalčiui, būtina prognozei taikyti vienpusiu šaldymu grindžiamus metodus.

2. Spartieji prognozavimo metodai, kai remiasi didesniu rodiklių skaičiumi, yra daug patikimesni ir geriau parodo keraminių gaminių atsparumą šalčiui.

3. Spartieji prognozavimo metodai leidžia pakankamai greitai įvertinti keraminių gaminių atsparumą šalčiui, juos taikant galima sustabdyti nekokybiškos produkcijos patekimą į statybą.

4. Dilatimetriniai metodai lengvai pritaikomi ir turi platesnio panaudojimo perspektyvą.

Literatūra

1. Технология глиняного кирпича / Под ред. М. Н. Наумова. М., 1969. 43 с.
2. A. Sadūnas. Aliumosilikatinių dirbinių ilgaamžiškumas. Vilnius: VPU, 1997. 252 p.
3. Р. В. Мачолайтис. Морозостойкость и долговечность изделий фасадной керамики. Вильнюс: Техника, 1997. 308 с.
4. B. Butterworth. Laboratory test and the durability of bricks. The recording comparison and use of outdoor exposure test // Trans. Brit. Ceram. Soc., 1964, Vol. 63, No 11, p. 615-628.
5. T. Ritchie, J. Davison. Moisture content and freeze-thaw cycles of masonry materials // Journ. Material., 1968, Vol. 13, No. 3, p. 658-671.
6. Ф. В. Ушков. Долговечность наружных отделочных слоев при одностороннем воздействии отрицательных температур // Сушка и увлажнение строительных материалов и конструкций: Сборник ВСНТО. М., 1957, с. 77-91.
7. А. С. Садунас, Р. А. Шяучюлис. Ускоренное определение морозостойкости керамического черепка // Строительные материалы, 1972, № 1, с. 31-33.
8. D. Hauck, E. Hilker, M. Ruppik. Einfluss der

- Feuerführung auf Frostwiderstandfähigkeit // Ziegelindustrie International, 1990, No 9, S. 501-507.
9. R. Šiaučius, A. Sadūnas, R. Giraitis. Granulimetrinės sudėties įtaka keraminių dirbinių eksploataciniam atsparumui šalčiui // Statybinių medžiagų technologija: Konferencijos „Naujos statybinės medžiagos, konstrukcijos ir technologijos statyboje“, įvykusios Vilniuje 1991 m. vasario 6-8 d., medžiaga. V: Technika, 1991, p. 3-6.
 10. W. Bender, F. Händle. Frostwiderstandfähigkeit keramischer Baustoffe // Ziegelindustrie International, 1990, No 9, S. 467-469.
 11. A. C. Садунас, Р. В. Мачюлайтис, А. П. Кичайте. Изменение величины коэффициента водонасыщения в процессе одностороннего замораживания-оттаивания // Рекомендации по ускорению научно-технического прогресса в производстве строительных материалов и изделий. Киев, 1987, с. 94-99.
 12. A. Ravaglioli. 19 - Evaluation of the frost resistance of pressed ceramic product based on the dimensional distribution of pores // Trans. and British. Ceram. Soc., 1976, Vol. 75, No 5, p. 92.
 13. A. Balandis, V. Jasiukevičius, M. Martynaitis, K. Strazdas. Silikatų technologijos pagrindai. Vilnius: Mokslo ir enciklopedijos I-kla, 1995. 438 p.
 14. А. С. Беркман, И. Г. Мельникова. Структура и морозостойкость стеновых материалов. Л.: Госстройиздат, 1961. 166 с.
 15. M. Nakamura. Indirect Evaluation of Frost Susceptibility of Building Materials // Am. Ceram. Soc. Bull. 1988, No 12, p. 1964-1965.
 16. L. Franke, H. Bentrup. Beurteilung der Frostwiderstandfähigkeit von Ziegeln in Hinblick auf lange Lebensdauer // Ziegelindustrie International, 1993, No 9, S. 483-492.
 17. M. Maage. Frostbeständigkeit und Porengrößenverteilung in Ziegeln // Ziegelindustrie International, 1990, No 9, S. 472-480.
 18. А. П. Кичайте, А. С. Садунас, Р. В. Мачюлайтис, Г. П. Станкявичюс. Особенности грубокерамических изделий высокой эксплуатационной морозостойкости // Материалы III республиканской конференции молодых ученых и специалистов „Повышение эффективности в строительстве и промышленности строительных материалов“. Рига: РПИ, 1990, с. 19-20.
 19. C. O. Pels Leusden. Zur Frostanspruchung von Dachziegeln // Toind. - Ztg., 1974, No 11, S. 291-294.
 20. А. С. Садунас, Р. А. Шяучюлис. Критерий морозостойкости. Морозостойкость как функция капиллярного радиуса // Сб. тр. ВНИИ теплоизоляция. Вып. 4. Вильнюс, 1970, с. 196-213.
 21. Э.-А. В.-Л. Каминскас. Исследование экспресс-методов определения морозостойкости пористокапиллярного керамического тела пластического формования: Автореф. дис... канд. техн. наук. Вильнюс, 1974. 26 с.
 22. Инструкция по скоростным методам определения морозостойкости строительного кирпича // ВНИИ теплоизоляция. Вильнюс, 1974. 12 с.
 23. А. С. Садунас, Р. А. Шяучюлис. Новая методика морозостойкости грубокерамического черепка пластического формования. Морозостойкость как функция структуры и прочности изделий // Сб. тр. ВНИИ теплоизоляция. Вып. 5. Вильнюс, 1971, с. 115-131.
 24. А. С. Садунас, Р. В. Мачюлайтис. Прогнозирование эксплуатационной морозостойкости керамических материалов // Промышленность стеновых материалов, пористых заполнителей и местных вяжущих. М.: ВНИИЭСМ, 1989. 57 с.
 25. Р. В. Мачюлайтис. Основы прогнозирования эксплуатационной морозостойкости изделий стеновой керамики. Вильнюс: ЛУГ, 1993. 39 с.
 26. R. Maciulaitis. Frost resistance and long service life of ceramic facade products. Part 2 // Ziegelindustrie International, 1994, No 6, p. 419-428.
 27. R. Maciulaitis. Frost resistance and long service life of ceramic facade products. Part 3 // Ziegelindustrie International, 1995, No 6, p. 423-440.
 28. R. Maciulaitis. Frost resistance and long service life of ceramic facade products. Part 4 // Ziegelindustrie International, 1995, No 7-8, p. 474-486.
 29. R. Maciulaitis. Frost resistance and long service life of ceramic facade products. Part 5 // Ziegelindustrie International, 1997, No 7, p. 427-433.
 30. А. с. 1588130 СССР, МКИ G 01 N 33/38. Способ определения морозостойкости стеновых материалов / Р. В. Мачюлайтис, А. С. Садунас, В. А. Могучов, Ю. Д. Ясин, А. П. Кичайте, Г. П. Станкявичюс. № 44993171 23-33. Заявл. 19.09.88; Зарегистрировано в Госреестре 22.04.90. 5 с.
 31. R. Mačiulaitis. Keraminės medžiagos atsparumo šalčiui artimose eksploatacinėse sąlygose. 8. Naujas prognozavimo metodas // Priedų ir antrinių žaliavų panaudojimas statybinėse medžiagose: Darbų rinkinys / Termoizoliacijos institutas. Vilnius, 1994, p. 102-110.
 32. А. Садунас, Р. Мачюлайтис, Д. Буре. Долговечность строительной керамики. Вильнюс: ЛитНИИТИ, 1997. 36 с.
 33. А. Садунас, Р. Мачюлайтис, А. Кичайте, Д. Буре. Комплексное решение оценки эксплуатационной морозостойкости грубокерамических изделий // 10. Internationale Baustoff- und Silikattagung: Tagungsbericht. Sekt. 3. Weimar, 1988, S. 202-207.
 34. R. Mačiulaitis. Fasadinės keramikos atsparumas šalčiui ir ilgaamžiškumas. Vilnius: Technika, 1996. 132 p.
 35. А. С. Садунас, Р. В. Мачюлайтис, А. П. Кичайте. Возможность прогнозирования эксплуатационной морозостойкости керамических изделий на основании ряда физико-механических свойств // Конференция молодых ученых химико-технологического факультета РПИ. Рига: РПИ, 1989, с. 118.
 36. ГОСТ 7025-78. Материалы стеновые и облицовочные. Методы определения водонасыщения и морозостойкости.
 37. Р. Б. Ангеницкая. Пути повышения и методы испытания морозостойкости керамических строительных материалов // Труды совещания по морозостойкости керамических изделий. Рига, 1957, с. 81-100.
 38. 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. 37 с.
 39. B. Butterworth, E. Carter. Laboratory test and durability of bricks. VIII. Frost dilatometry: modified methods //

- Trans. Brit. Ceram. Soc. 1967, Vol. 66, No 1, p. 1-12.
40. A. Watson. 42 - Laboratory test and durability of bricks VI: The mechanism of frost action on bricks // Trans. Brit. Ceram. Soc., 1964, Vol. 63, No 11, p. 663-680.
41. A. Sadunas, D. Bure, R. Matschjulaitis. Neue über Frosbeständigkeit der grobkeramischen Steinerzeugnisse // 12. Internationale Baustofftagung: Tagung bericht. Band 2. Weimar, 1994, S. 221-231.
42. Р. В. Мачюлайтис, Д. А. Буре. Комплексный контроль эксплуатационной морозостойкости стеновых керамических материалов // ЭО/ВНИИЭСМ. Сер. 4. Пром. керам. стеновых материалов и пористых заполнителей, 1990, № 2, с. 11-15.

Įteikta 1999 06 15

THE DEVELOPMENT OF METHODS FOR RAPID PREDICTION OF FROST RESISTANCE OF CERAMIC PRODUCTS

A. Kičaitė

S u m m a r y

One of important parameters determining the quality of ceramic products is the resistance to frost. Frost resistance of ceramic brick can be determined exactly by direct unilateral freezing methods. Investigations by these methods last from some days to several months. Therefore rapid prediction methods become more important.

Rapid methods for predicting frost resistance of ceramic products give more detailed data if chosen properties of materials that reflect better destructive action of water during freezing in a ceramic body are more exact.

Nowadays the methods for rapid prediction are divided according to the quantity of parameters used for prediction and according to the established characteristics. The prediction of frost resistance of ceramic products can be carried out using a parameter or some parameters. The prediction methods using some parameters are divided into three groups:

1) the prediction of frost resistance of ceramic products according to the size of pores and their distribution;

2) the prediction for frost resistance of ceramic products according to physical, mechanical and structural properties;

3) the prediction for frost resistance of ceramic products according to structural and deformation properties.

The analysis leads to the following conclusions:

- for prediction of frost resistance of ceramic products during the service life, it is necessary to use methods based on unilateral freezing;

- rapid methods of prediction based on usage of more parameters are much more reliable and better correspond to frost resistance of ceramic products;

- rapid methods of prediction allow to determine quickly frost resistance and to stop the delivery of poor products to construction sites;

- dilatometric methods are more comfortable and therefore more prospective.

Asta Kičaitė. Doctor, Senior Researcher. Dept of Building Materials. Vilnius Gediminas Technical University (VGTU), Saulėtekio al. 11, 2040 Vilnius, Lithuania.

Doctor (technical sciences, 1991). Author of 17 publications. Research interests: durability, frost resistance and other properties of building materials and products.