

FROST RESISTANCE ASSESSMENT FOR ROOF CERAMIC TILE

Habil Dr Eng A. Sadūnas , Dr Rer Nat. H. Mörtel , Dr Eng. A. Cimmers , Hab Dr Eng. V. Švinka & Dr Eng. D. Būrė

To cite this article: Habil Dr Eng A. Sadūnas , Dr Rer Nat. H. Mörtel , Dr Eng. A. Cimmers , Hab Dr Eng. V. Švinka & Dr Eng. D. Būrė (2000) FROST RESISTANCE ASSESSMENT FOR ROOF CERAMIC TILE, Statyba, 6:1, 46-54, DOI: [10.1080/13921525.2000.10531563](https://doi.org/10.1080/13921525.2000.10531563)

To link to this article: <https://doi.org/10.1080/13921525.2000.10531563>



Published online: 26 Jul 2012.



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



Article views: 47

ÜBER DIE BESTIMMUNG DER FROSTBESTÄNDIGKEIT KERAMISCHER DACHZIEGEL UND ZIEGEL

A. Sadūnas, H. Mörtel, A. Cimmers, V. Švinka, D. Būrė

1. Einleitung

Bis heute gibt weder die Literatur noch Euro-Standard keine eindeutige Antwort, wie man rationell die Frostbeständigkeit der Dachziegel bestimmen kann [1-5]. Es gibt keine einmütige Gesichtspunkt weder in West- noch in Osteuropa, obwohl in der letzten Zeit jedoch die Tendenz, die die Methode einseitiger Befrostung-Tauen bevorzugt, zu bemerken ist. Es gibt auch keine eindeutige Meinung über die grundlegende und weitere Wassersättigung. Einige Wissenschaftler meinen, daß eine 48-stündige grundlegende Wassersättigung im kalten Wasser genug ist, andere – daß der Wassersättigung durch Beregnen nötig ist, dritte geben den Vorzug der Methode, nach der zuerst die Luft aus den Proben unter Vakuum beseitigt wird und nur dann die Wassersättigung folgt.

Über letztere Methode kommen jedoch am meisten Zweifel, weil es keine solche Wassersättigung der Dachziegel in der Natur gibt. Es entsteht Gefahr, durch solche Methode die Qualität der Erzeugnisse zu nivellieren, besonders wenn sie relativ viel geschlossenen Poren haben.

Expresßmethoden zur Vorhersage der Frostbeständigkeit der Dachziegel basieren in Westeuropa auf einige physikalische Kennwerte: auf die Menge der Reserveporen (die als das Verhältnis der durch Kaltwasserlagerung erzielten Wasseraufnahme und der unter einem Vakuum erzielter Wasseraufnahme zu sehen ist), d.h. auf Koeffizient T; auf den Wasserhaushaltswert; auf das Luft- und Brennschwindmaß [1]. Hauptexpresßmethode zur Vorhersage der Frostbeständigkeit ist die Methode der Verteilung von Poren und Kapillaren nach der Größe [5-10]. Jedoch werden sichere Kriterien (z. B. wie große Poren sollten als Reserveporen bezeichnet werden) nach dieser Methode auch nicht festgestellt. In der Westeuropa herrscht aber die Meinung vor, daß die Erzeugnisse, die $\geq 10\%$ (Volumen) Poren und Kapillaren mit Durchmesser mehr als $1\mu\text{m}$ haben, in Exploationbedingungen frost-

beständig sind [5, 7, 8, 10]. Jedoch ist von gewissen Wissenschaftlern von USA festgestellt [6], daß die nicht zerstörte Ziegel von alten Gebäuden (nach der langen Exploation) die groben Poren (Durchmesser mehr als $1-2\mu\text{m}$) haben und frostbeständig sind. Dieser Kennwert ist aber in die Standarden von USA (ASTM) nicht eingetagen. Es gibt auch solche Fälle, wenn nicht gebrannte keramische Erzeugnisse obengenannten Bedingungen entsprechen, aber sich beim ersten Regensturm zerstören. Daraus folgt, daß die Frostbeständigkeit der Erzeugnisse nur nach diesem nur einzigem Kennwert nicht beurteilt werden kann. Der Widerspruch solcher Daten wurde auch in unseren Arbeiten festgestellt [9].

2. Proben und Untersuchungsmethoden

Für die Forschungen wurden sowohl die Dachziegel, Ziegel und die Halbfertigerzeugnisse von Firma "Lode" als auch die Dachziegel von Firma "Palemono keramika" gewählt. Die Halbfertigerzeugnisse von Firma "Lode" wurden in den experimentellen Ofen des Instituts "Termoizoliacija" gebrannt.

Folgende Kennwerte wurden bestimmt:

- 1) W_{48} – Wasseraufnahme (nach 48 Stunden in kaltem Wasser oder durch Beregnen);
- 2) K_{is} – Sättigungskoeffizient (S-Wert), d.h. das Verhältniss zwischen Wasseraufnahme nach 48 Stunden und der Wasseraufnahme nach zusätzlichem 4stündigem Kochen;
- 3) K_{vak} – analoger Koeffizient, Trenkungswert (T-Wert), d.h. das Verhältniss zwischen Wasseraufnahme nach 48 Stunden und der Wasseraufnahme nach Vakuumieren;
- 4) die Geschwindigkeit der Kapillarwassersauge (die Menge der Masse in Zeiteinheit oder die Höhe der Wassersättigung in 1 Stunde in verschiedenen Richtungen in Beziehung auf die Formung der Dachziegel);

- 5) Δh – relativer Deformationswert der wassergesättigten Probe (die Platte von ~ 5 mm Dicke) nach 4 Frost-Tau Zyklen bei der einseitigen Befrostung;
- 6) die Verteilung der Poren und Kapillaren nach der Größe (ist nach der Methode der Quecksilberporosimetrie an der Universität Erlangen-Nürnberg bestimmt);
- 7) Frostbeständigkeit, die sowohl nach GOST 7025-91, P.8 (mehrmaliger direkter Frost-Tau Wechsel, einseitige Befrostung) als auch nach dem speziellen Regime [11, 12], (Bild 1-2) bestimmt wurde;
- 8) Frostbeständigkeit, die nach GOST 7025-91, P.7 (allseitige Befrostung) bestimmt wurde.
- 9) Der Texturkennwert für Ziegel.

Für einseitige Befrostung wurde die Anlage KHDU (Bild 1) benutzt. Die Befrostung wurde nach im Bild 2 vorgelegtem Schema durchgeführt [11, 12].

Alle Untersuchungen von Frostbeständigkeit wurden bis Zerstörung mehr als 5 cm² der Probenoberfläche durchgeführt, ausschließlich die allseitige Befrostung, die nach den 300 Zyklen abgebrochen wurde, weil fast alle Proben keine Zerstörungen bekommen haben (mit Ausnahme der Dachziegel 1 und 2 von Firma "Palemono keramika", die nach 276 und mehr Zyklen zerstört wurden – Tabellen 1 und 3). Das ist durch erhöhte

Wasserverdunstung von der großen Oberfläche der Proben zu erklären. Längsläufige, nicht durchgehende Risse in der Dachziegeln von firma "Lode" wurden in Betracht nicht gezogen. Solche Risse könnte man aber auf die Proben 7-10 nach 95-170 FTW (Frost-Tau-Wechsel) (Tabelle 1) und auf die Proben 11 und 14 nach 210 FTW

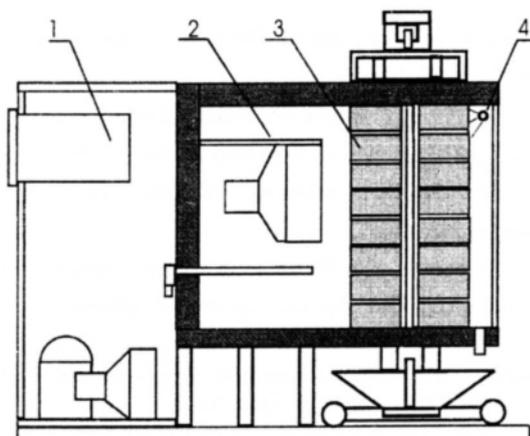


Bild 1. Prinzipskizze der Befrostung und Beregnungsanlage Typ KhDU-2: 1 – Steuerabschnitt; 2 – Frostkammer; 3 – Prüfkörper; 4 – Tautvorrichtung mit Beregnungssystem

Fig 1. Diagram showing the operating principle of freezing and spraying plant type KhDU-2: 1 – control section; 2 – freezing chamber; 3 – specimen; 4 – defreezing device with spraying system

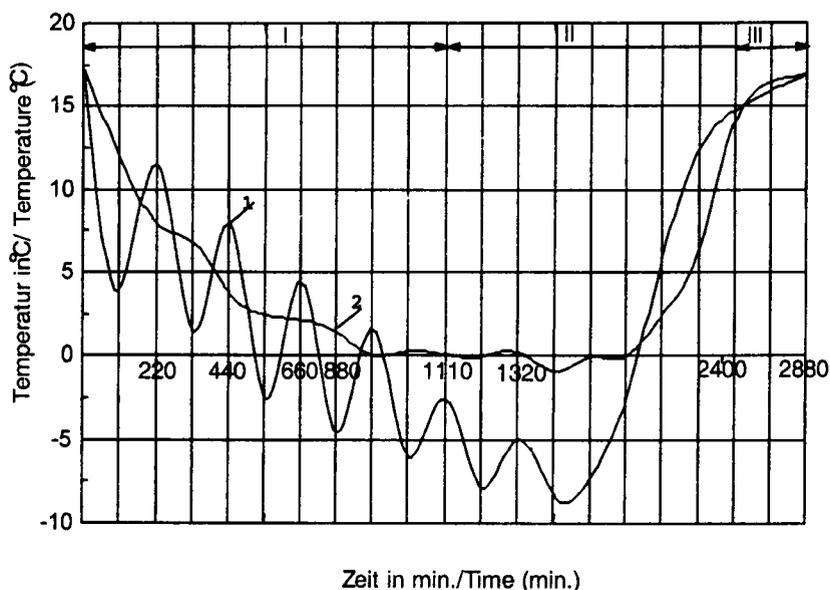


Bild 2. Charakteristischer Temperaturverlauf im Prüfkörper im Verlauf eines Zyklus: 1 – Temperaturkurve im Befrostungskörper im Abstand 20 mm von der Oberfläche; 2 – im Abstand von 115 mm von der Oberfläche; I – Abschnitt der wechselnden Befrostung; II – Auftauen in Feuchtluft; III – Auftauen durch Beregnen

Fig 2. Characteristic temperature curve in the specimen during one cycle: 1 – at a distance of 20 mm from the surface; 2 – at a distance of 115 mm from the surface; I – period of alternating freezing; II – thawing out in moist air; III – thawing out by spraying

(Tabelle 1) bemerken. Dieselbe Meinung über erwähnte Risse gibt es auch im Projekt von Europa-Normen für Dachziegel.

3. Laboruntersuchungen und Ergebnisse

Die Ergebnisse (die wichtigsten Kennwerte, die für Korrelation-Regression Analysis nach Computerprogramm verwendet wurden) sind in Tabellen 1–4 und auf dem Bilder 3–4 vorgelegt.

Bei der Bearbeitung der in der Tabelle 1 vorgelegten Daten nach der Korrelation-Regression Analyse wurden folgende Korrelation-Matrix (Tabelle 2) und die Gleichungen 1 und 2 erzeugt.

Besonders gute Korrelation besteht zwischen Frostbeständigkeit und Deformationswerten ($R=-0,948$ nach

der Tabelle 2). Weiter folgen diese zweidimensionale Werte (mit Abnahme): $W_{48} - M_E$, $K_{vak} - M_E$, $K_{is} - M_E$. Vorgelegte Kennwerte haben jedoch gute Korrelation auch untereinander.

Deshalb Rechnungsgleichung 1 sieht so aus:

$$M_E = e^{9,42+0,485 \cdot W(48)+5,112 \cdot K(is)-16,34 \cdot K(vak)-0,025 \cdot \Delta h} \quad (1)$$

Tariertes Fehler der S-Werte (nach der Gleichung) ist $S_f = \pm 20,9\%$, Koeffizient vielfältiger Korrelation $R = -0,9858$, Koeffizien nach Fischer $F=35,6$. Leider sind die Korrelationkoeffizienten für $W_{48} - K_{is}$ 0,836, für $W_{48} - K_{vak}$ 0,9875 und für $K_{is} - K_{vak}$ 0,9075; und deshalb Koeffizienten für W_{48} und K_{is} in der Gleichung (1) ihrem physikalischen Sinn nicht entsprechen. (d.h. sie

Tabelle 1. Physikalisch-mechanische Kennwerte und Frostbeständigkeit (Zyklen von einseitiger und dreiseitiger Befrostung) der Dachziegeln von Firma "Lode"

Table 1. Physical-mechanical indexes and frost resistance (Cycles of one-side and three-side freezing)

Probe-index	W_{48} , %	K_{is}	K_{vak}	Δh , μm	M_E (Zyklen der einseitigen Befrostung)	M_E (Zyklen der dreiseitigen Befrostung)
1	11,33	0,9093	0,8971	130	4	-
2	11,01	0,9070	0,8890	115	10	-
3	10,20	0,9135	0,8640	15	65	-
4	10,07	0,9180	0,8702	13,5	80	-
5	9,40	0,9107	0,8231	8,5	181	>300
6	8,99	0,9267	0,8114	7,8	224	>300
7	6,53	0,8536	0,6841	5,16	270	>300
8	6,33	0,8264	0,6748	3,95	270	>300
9	6,21	0,8065	0,6523	3,25	276	>300
10	6,12	0,7969	0,6451	4,22	352	>300
11	5,76	0,7137	0,6089	2,0	374	>300
12	5,60	0,7226	0,5975	2,42	405	>300
13	5,43	0,7448	0,5921	2,25	425	>300
14	4,96	0,5695	0,5276	2,25	471	>300

Tabelle 2. Korrelation-Matrix zwischen $W_{48} - K_{is} - K_{vak} - \Delta h - M_E$

Table 2. Correlation matrix of $W_{48} - K_{is} - K_{vak} - \Delta h - M_E$

	W_{48}	K_{is}	K_{vak}	Δh	M_E
W_{48}	1,000	0,8360	0,9875	0,7028	-0,8655
K_{is}	-	1,000	0,9075	0,4094	-0,5999
K_{vak}	-	-	1,000	0,6264	-0,8106
Δh	-	-	-	1,000	-0,9480

würden negative Werte haben, wie auch die Koeffizienten der Korrelation mit M_E).

Nach physikalischem Sinn eignet jedoch besser die Gleichung (2):

$$M_E = e^{8,46 - 4,04 \cdot K(vak) - 0,0248 \cdot \Delta h} \quad (2)$$

Für diese Gleichung $S_t = \pm 23\%$, $R = 0,9857$. Diese Gleichung ist für Schnellvoraussage der Frostbeständigkeit von Dachziegeln Firma "Lode" geeignet.

Nach Gleichung (2) errechnete Werte der Frostbeständigkeit kann man mit tatsächlichen Werten vergleichen (Bild 3). Offenbar, daß die Werte ziemlich ähnlich sind.

Analoge Berechnungen wurden für Dachziegel von Firma "Palemono keramika" durchgeführt (nach der Daten von Tabelle 3).

Nach Korrelation-Regression Analyse wurde folgende Korrelation-Matrix erzeugt (Tabelle 4).

Aus den Daten der Korrelation-Matrix folgt, daß die beste Korrelation zwischen $\Delta h - M_E$ ($r = -0,95$) ist. Weiterhin folgen weitere Daten. Bei weiterer Berechnung entsteht folgende Gleichung:

$$M_E = e^{6,79 + 0,016 \cdot W(48) + 0,1732 \cdot K(is) - 2,16 \cdot K(vak) - 0,063 \cdot \Delta h} \quad (3)$$

$$S_t = \pm 15,7\%; R = 0,9398; F = 8,57.$$

Wie im Fall mit dem Dachziegel "Lode", entsprechen die Werte der Korrelationkoeffizienten für W_{48} und K_{is} ihrem physikalischen Sinn auch nicht (wegen schon besprochenen guten Korrelation zwischen den in Berechnung verwendeten Werten). Deshalb paßt die Gleichung (4) hier besser an:

$$M_E = e^{6,90 - 1,95 \cdot K(vak) - 0,0597 \cdot \Delta h} \quad (4)$$

$$\text{Für diese Gleichung } S_t = \pm 15,8\%; R = 0,9534.$$

Tabelle 3. Hauptdaten der Dachziegel von Firma "Palemono keramika"

Table 3. The main indexes of roof tile of company "Palemono keramika"

Probe-index	W_{48} , %	K_{is}	K_{vak}	Δh , μm	M_E (Zyklen der einseitigen Befrostung)	M_E (Zyklen der dreiseitigen Befrostung)
1	11,50	0,9530	0,8470	21,9	50	276
2	11,89	0,9659	0,8438	17,75	57	283
3	11,50	0,9565	0,8370	21,6	62	-
4	11,70	0,9602	0,8438	17,7	68	-
5	9,03	0,8423	0,7601	4,95	140	>300
6	7,59	0,8612	0,6728	6,8	156	>300
7	7,85	0,8786	0,7613	4,62	178	>300
8	7,02	0,8632	0,6428	5,5	170	>300
9	8,50	0,8449	0,7410	4,81	170	>300
10	8,33	0,8436	0,7230	4,12	187	>300
11	6,80	0,8520	0,640	5,2	213	>300
12	7,61	0,8816	0,6352	5,12	270	>300

Tabelle 4. Korrelation-Matrix für Dachziegel von Firma "Palemono keramika"

Table 4. Correlation matrix of indexes of roof tiles of company "Palemono keramika"

	W_{48}	K_{is}	K_{vak}	Δh	M_E
W_{48}	1,000	0,8893	0,9433	0,9319	-0,9281
K_{is}	-	1,000	0,7816	0,9299	-0,8814
K_{vak}	-	-	1,000	0,8365	-0,8777
Δh	-	-	-	1,000	-0,9500

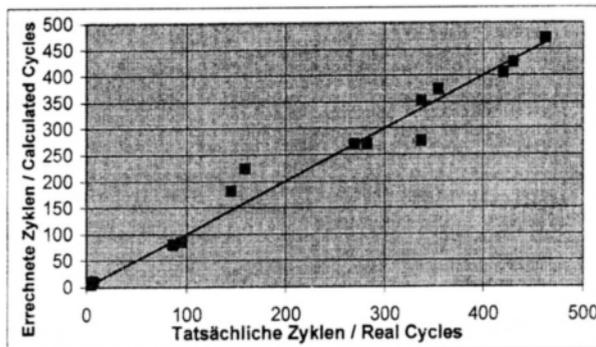


Bild 3. Das Verhältnis zwischen errechneten und tatsächlichen Zyklenmengen der einseitigen Befrostung der Dachziegel von Firma "Lode"

Fig 3. Relation of real and calculated cycles for tiles manufactured by company "Lode"

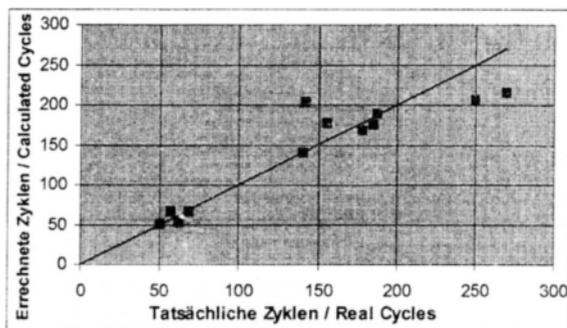


Bild 4. Das Verhältnis zwischen errechnete und tatsächliche Menge der Zyklen der einseitigen Befrostung der Dachziegel von Firma "Palemono keramika"

Fig 4. Relation of real and calculated cycles for tiles manufactured by company "Palemono keramika"

Die nach Gleichung (4) errechneten und tatsächlichen Werte kann man auf Bild 4 (Firma "Palemono keramika") vergleichen.

Zusammenfassend die Gleichungen (2) und (4) und die Werte der Korrelation-Matrixen für beide Arten von Dachziegeln ist zu betonen, daß die Dachziegel bei unbedeutenden Deformationen bei Befrostung sehr frostbeständig sind. Bei Reduzierung des Koeffizienten K_{vak} nimmt die Menge der Reserveporen und sowie die Frostbeständigkeit zu. Dasselbe gilt auch für die Wassersättigung: je kleiner die Wassersättigung ist, desto größer ist der Sintergrad der Erzeugnisse und desto mehr sind Erzeugnisse frostbeständig. Leider ist die Errechnung der Gleichungen, die alle bedeutsame Kennwerte enthalten, beschwerlich, und das läßt sich durch gute Korrelation zwischen diesen Kennwerten erklären.

Es ist zu betonen, daß K_{vak} des Dachziegels mit großer Menge der Karbonate (Firma "Palemono keramika", CaO+MgO bis zu 15%) bei Sinterung wesentlich mehr abnimmt, als im Fall des Dachziegels mit unbedeutender Menge von Karbonaten (Firma "Lode").

Für die Bestimmung der Frostbeständigkeit der Dachziegel ist die einseitige Befrostung (gegen allseitiger Befrostung) bevorzuglich, weil die Bedingungen bei einseitiger Befrostung sehr ähnlich den Exploationsbedingungen auf dem Dach der Gebäude sind. Wie schon erwähnt, haben alle untersuchten Dachziegel 300 Zyklen allseitiger Befrostung ausgehalten (ausschließlich zwei Dachziegelproben von firma "Palemono keramika"), obwohl viele Proben eine niedrigere Frostbeständigkeit bei einer einseitigen Befrostung gewiesen haben.

Die Ergebnisse der Verteilung von Poren und Kapillaren nach der Größe (für Dachziegel) sind eindeutig nicht zu interpretieren. Dachziegel von Firma "Lode", die manchmal besonders viel groben Poren enthalten (Bild 7), erwiesen sich als sehr frostbeständig (270 Zyklen), und die Kurven der Verteilung der Poren von Proben 7-14 (Tabelle 1) sind sehr ähnlich. Dachziegel von Firma "Palemono keramika", die geringe Menge groben Poren enthalten ($W_{48} > 10\%$) (Bild 5), erwiesen sich als nicht frostbeständig (57 Zyklen). Die anderen Dachziegel von Firma "Palemono keramika", die mehr gesinternt sind und bei den die Verteilung von Poren und Kapillaren sehr ähnlich ist (Probe 7 in Bild 6 nach Tabelle 3), erwiesen sich jedoch mehr frostbeständig

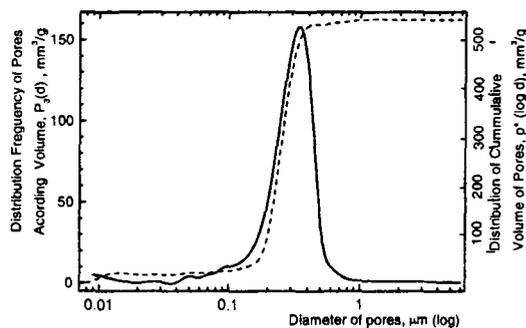


Bild 5. Dachziegel von Firma "Palemono keramika", die nach 57 Zyklen zerstört wurde (s.a. Probe 2, Tabelle 3, wo an der Ordinatachse Summenverteilung, an der andere Ordinatachse Häufigkeitsverteilung; Summen Porosität $P_o = 163,3 \text{ mm}^3/\text{g}$, $\rho = 1,94 \text{ g/cm}^3$, Porosität = 31,7%)

Fig 5. Tile of company "Palemono keramika" destroyed in cycle 57, (see Table 3, sample 2). X axis: diameter of pores; Y(1) distribution of cumulative size of pores; Y(2) distribution frequency of pores according to size

(170 Zyklen). Bei letzter Probe $W_{48} < 10\%$. Das kann man durch die Zersetzung der feindispersichen Karbonate und durch die folgende Bildung der größeren Mengen geschlossener Reserveporen erklären. Deshalb K_{vak} Werte sind in diesem Fall niedriger und betragen $\sim 0,63-0,76$.

Außerdem wurde die Frostbeständigkeit der Hartbrandziegel (ohne Löcher) und der Klinkerziegel von Firma "Lode" nach physikalischen Kennwerten bestimmt.

Für die Berechnung der prognostizierter Frostbeständigkeit der Hartbrandziegel wurde die von uns früher approbierte empirische Gleichung für die karbonatarmen Tonen (Korrelation-Regression Analysis) benutzt [9, 11]:

$$M_E = \frac{e^{6,144} \cdot N}{W_{48}^2 \cdot K_{is}^5 \cdot \sqrt{C}} \quad (5)$$

Bei einseitige Befrostung ist die Frostbeständigkeit der Hartbrandziegel ziemlich groß. Nur eine Probe (Nr. 5) mit prognostizierte Frostbeständigkeit 233 Zyklen wurde wegen großes Teksturkennwert, großes K_{is} -Wert und niedriges N -Wert nach 251 Zyklen zerstört. Für die Probe Nr. 3 ist aber die prognostizierte Frostbeständigkeit 1200 Zyklen.

Übrigens ist die nach die Queqsilberporosimetrie bestimmte Verteilung von Poren und Kapillaren nach der Größe dieser Proben ganz ähnlich. Der mittleren Radius von Poren und Kapillaren ist $0,896 \mu\text{m}$ für die Probe Nr. 3 und $0,875 \mu\text{m}$ für die Probe Nr. – d.h. auch ähnlich (Bilder 8–9).

Bei der Prüfung der Daten mit Korrelation – Regression Analysis an den Computer wurden mittlere

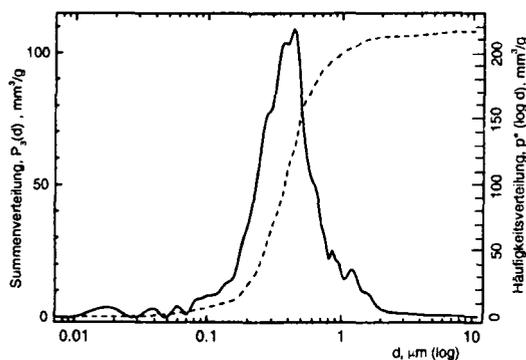


Bild 6. Dachziegel von Firma "Palemono keramika", die nach 178 Zyklen zerstört wurde (s.a. Probe 7, Tabelle 3; Vol. $P_o = 108,677 \text{ mm}^3/\text{g}$, $\rho = 2,59 \text{ g/cm}^3$, $P = 21,95\%$)

Fig 6. Tile of company "Palemono keramika" destroyed in cycle 178, (see Table 3, sample 7)

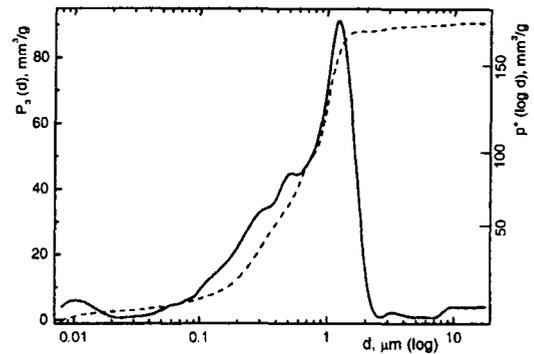


Bild 7. Dachziegel von Firma "Lode", die nach 270 Zyklen zerstört wurde (s.a. Probe 8, Tabelle 1). $P_o = 91,14 \text{ mm}^3/\text{g}$, $\rho = 2,05 \text{ g/cm}^3$, $P = 18,7\%$

Fig 7. Tile of company "Lode" destroyed in cycle 270, (see Table 1, sample 8)

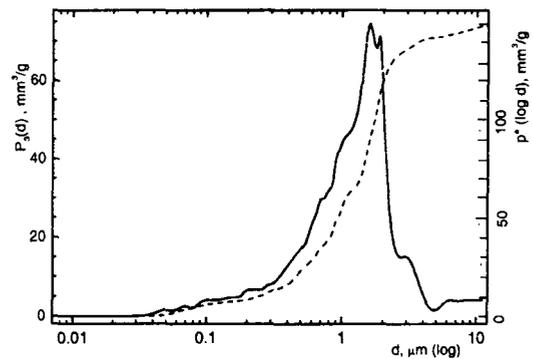


Bild 8. Vollziegel von Firma "Lode" (Prognostizierende Frostbeständigkeit >1200 FTW – s.a. Probe 3, Tabelle 5; $P_o = 76,11 \text{ mm}^3/\text{g}$, $\rho = 2,58 \text{ g/cm}^3$, $P = 16,44\%$, $z_{ekv} = 0,896 \mu\text{m}$)

Fig 8. Solid brick of company "Lode". Predicted frost resistance more than 1200 cycles (see Table 5, sample 3)

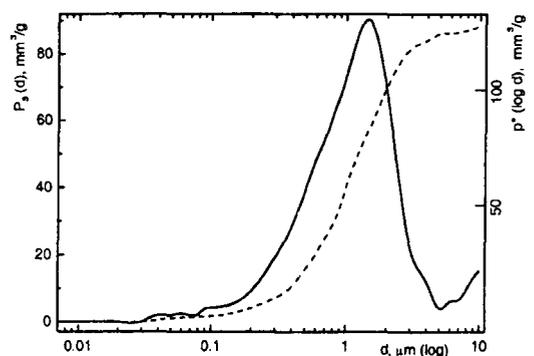


Bild 9. Vollziegel von Firma "Lode" (Probe Nr. 5, Tabelle 5). Prognostizierte Frostbeständigkeit 232 Zyklen, tatsächliche Zyklen 252 FTW. $P_o = 91,08 \text{ mm}^3/\text{g}$, $\rho = 2,61 \text{ g/cm}^3$, $P = 19,21\%$, $z_{ekv} = 0,875 \mu\text{m}$

Fig 9. Solid brick of company "Lode". Predicted frost resistance 232 cycles (see Table 5, sample 5). The brick was destroyed in cycle 252

Tabelle 5. Die wichtigste physikalisch-mechanische Kennwerte und Frostbeständigkeit (errechnete und ermittelte nach einseitiger Befrostung) der Hartbrandziegeln und Klinkerziegel von Firma "Lode"

Table 5. The main physical-mechanical indexes and frost resistance of bricks (calculated cycles and real frost resistance under the one-side freezing)

Probe-index	$W_{48}, \%$	K_{ts}	C	N	$\Delta h, \mu\text{m}$	M_E (prognostizierte Zyklen)	M_E (Zyklen der einseitigen Befrostung)
Hartbrandziegel							
1	7,02	0,8561	1,40	16,07	4,69	367	>300
2	7,31	0,8661	1,365	16,28	5,81	328	>300
3	5,02	0,7575	1,365	14,38	4,25	1200	>300
4	6,83	0,9094	1,225	15,58	4,37	298	>300
5	6,81	0,8642	1,5	9,96	4,19	233	251
Klinkerziegel							
	4,90	0,6632	*	*	2,87	>300	-
	4,23	0,6457	*	*	2,42	>300	-

C – der Teksturkennwert; N – der dynamischen Kennwert; er hat ein Zusammenhang mit der Frostbeständigkeit der Ziegel:

$N = H^2 / q_1$. H – die Höhe der Wasseraufnahme, $\text{cm} \cdot \text{St}^{-1}$; q_1 – die Menge der Wasseraufnahme, g in cm^2 pro Stunde.

* – es war keine Sinne für Bestimmung.

Fehler $S_{tar} = \pm 1,7\%$ und Koeffizient vielfältiger Korrelation $R = 0,9995$ bestimmt. Obwohl wurden die Potenzen in Gleichung etwas verändert, aber ist sie ganz ähnlich mit verwendeter Gleichung und sieht so aus:

$$M_E = \frac{e^{6,438} \cdot N^{0,9755}}{W_{48}^{1,93} \cdot K_{ts}^{4,93} \cdot C^{0,451}} \quad (6)$$

Im Fall der nicht voll gebrannten Proben (Dachziegel von Firma "Lode") ist der Unterschied zwischen den Kurven der Verteilung von Poren und Kapillaren nach der Größe für die Probe Nr. 2 und für die Probe Nr. 4 (Tabelle 1) gering, und mittlere equivalente Radien dieser Proben sind entsprechend $0,41\mu\text{m}$ und $0,43\mu\text{m}$.

4. Zusammenfassung

1) Aufgrund der Daten in der wissenschaftlichen Literatur und der eigenen Untersuchungen kann man solche Schlussfolgerung machen:

2) Für die Bestimmung der Frostbeständigkeit von **Dachziegel** ist besser das Verfahren des einseitigen Frost-Tau-Wechsels geeignet (im Vergleich zu dem Verfahren des allseitigen Frost-Tau-Wechsels). Einseitiger Frost-Tau-Wechsel entspricht besser den Exploitationsbedingungen auf dem Dach.

3) Es ist zweckmäßig, andere Feuchtigkeit- und Temperaturregime, die besser den Exploitationsbedingungen entsprechen würden, zu modellieren.

4) Die Verwendung des nur eines physikalischen Kennwertes ist für die Bestimmung der Frostbeständigkeit unakzeptabel. Dafür eignet sich besser die komplexe Verwendung der physikalischen Kennwerte der Scherbe, besonders Deformationskennwerte bei Befrostung, Wassersättigungskoeffizient (T) bei Vakuum u.a.

5) Diese Behauptung wird auch durch die Prognostizierung der Frostbeständigkeit der **Vollziegel** nach vier physikalische Kennwerte gut bestätigt. Die Verteilung von Poren und Kapillaren nach der Größe dieser Proben ähnlich sind (mittlere Radien fast dieselbe sind), aber die Zahlen der Zyklen von dieser Proben sogar fünfmal sich unterscheiden (Bild 8, 9).

6) Die Methode der einseitige Frost-Tau-Wechsel ist im Fall der Ziegel, besonder Vollziegel, den Exploitationsbedingungen noch näher, im Vergleich mit allseitiger Befrostung im Fall der Dachziegel oder anderer dünnwändigen Ziegel.

7) Als indirekte Kriterien der Frostbeständigkeit von Ziegel gelten auch die bestimmte physikalische Kennwerte der Scherbe nach Gleichung (5).

Literatur

1. H. Kolkmeier. Betrachtung zur Prüfung der Froswiderstandsfähigkeit von Dachziegel // Handbuch für die Ziegelindustrie – Jahrbuch. Wiesbaden–Berlin, 1991, S. 41–55.
2. F. Peake, R. W. Ford. Calibration of the BCLR panel freezing test against exposure site results // Ziegelindustrie, 1988, 41, Nr. 10, S. 500–507.
3. R. Smith. Aktualisierung der europäischen Ziegelnormen // Ziegelindustrie, 1991, 44, Nr. 11, S. 591–596.
4. A. Sadūnas, D. Burė, R. Matschjulaitis. Neue über Frostbeständigkeit der grobkeramischen Steingerzeugnisse // 12. Internationale Baustofftagung. Weimar, 1994, Bd. 2, S. 222–231.
5. M. Albenque. Wirkung der Geometrie von Dachziegeln auf ihre Frostbeständigkeit // Handbuch für die Ziegelindustrie – Jahrbuch. Wiesbaden–Berlin, 1992, S. 182–188.
6. G. C. Robinson. The relationship between pore structure and durability of Brick // Am. Ceram. Soc. Bull, 1984, 63, p. 295–300.
7. A. Revaglioli, G. Evaluation of the frost resistance of pressed ceramic product based on the dimensional distribution of pores // Trans Brit. Ceram. Soc., 1976, 75, Nr. 5, p. 92.
8. A. Watson. Laboratory test and durability of bricks // Trans Brit. Ceram. Soc., 1967, 66, Nr. 1, p. 1–12.
9. A. Sadūnas, R. Matschjulaitis, A. Kitschaite. Methodische Fragen der Bestimmung structureller Eigenschaften grobkeramischen Erzeugnisse mit hoher Frostbeständigkeit // Ziegelindustrie, 1991, 44, Nr. 7, S. 361–363.
10. M. Maage. Frostbeständigkeit und Porengrößenverteilung in Ziegel // Ziegelindustrie, 1990, 43, Nr. 9, S. 472–480; Nr. 10, S. 582–588.
11. A. Sadūnas. Aliumosilikatinių dirbinių ilgaamžiškumas. Vilnius: VPU, 1997. 185 p.
12. R. Mačiulaitis. Frost Resistance and Durability of Ceramic Façade Products. Vilnius: Technika, 1996. 132 p.

Įteikta 1999 10 20

APIE KERAMINIŲ ČERPIŲ IR PLYTŲ ATSPARUMO ŠALČIUI NUSTATYMĄ

A. Sadūnas, H. Mörtel, A. Cimmers, V. Švinka, D. Burė

Santrauka

Iki šiol nei Vakarų, nei Rytų Europoje dar nėra bendro požiūrio į čerpių, o iš dalies ir į plytų atsparumo šalčiui nustatymo būdą, jis nepažengė toliau už Europos standarto projektą. Jame siūlomi net keturi variantai, kaip nustatyti čerpių atsparumą šalčiui. Tačiau vis labiau linkstama čerpių atsparumą šalčiui nustatyti jas šaldant iš vienos pusės.

Iš greitų keraminių dirbinių atsparumo šalčiui prognozavimo metodų dažnai orientuojamasi į tuos, kai nustatomos pavienės čerpių fizikinės savybės: vandens įmirkis, įsotinimo koeficientas, porų ir kapiliarų pasiskirstymas medžiagoje pagal jų dydį ir kai kurie kiti rodikliai. Tačiau tai netenkina nei mokslininkų, nei statybininkų praktikų.

Todėl aktualu toliau tirti atsparumo šalčiui vertinimo kriterijus.

Trijuose instituteuose ištirtos dviejų AB čerpių bei vienos AB pilnavidurių gerai išdegtų plytų atsparumas šalčiui. Nustatyta, kad vienpusis šaldymo ir atitirpinimo metodas artimesnis čerpių, o ypač plytų, eksploatacinėms sąlygoms (tūrinio šaldymo atžvilgiu).

Atsparumo šalčiui neįmanoma prognozuoti pagal kurį nors vieną šukės fizikinį rodiklį (pvz., pagal porų pasiskirstymo pagal dydį duomenis). Geriau tinka prognozė pagal kelis fizikinius keraminių dirbinių savybių rodiklius.

FROST RESISTANCE ASSESSMENT FOR ROOF CERAMIC TILE

A. Sadūnas, H. Mörtel, A. Cimmers, V. Švinka, D. Burė

Summary

Up today in Europe there is no unanimous opinion which method is necessary for a correct assessment of roof ceramic tile frost resistance corresponding to the climatic conditions of application.

Even the latest EU standards offer four methods of the assessment of the frost resistance for roof ceramic tile. Those standards refer to investigations carried out in various West Europe countries.

Aluminosilicate laboratories of Vilnius Pedagogical University by cooperating with Erlangen-Nuremberg University and Riga Technical University have carried out investigation of roof ceramic tile frost resistance by applying two different methods (three-side and one-side freezing-thawing). Besides, deformations under one-side freezing-thawing and others physical-mechanical indices of the ceramic tile were investigated.

Referring to the results of investigation of tiles manufactured by CO Lode (Latvia) and CO "Palemono keramika" (Lithuania), we have proved that three-side freezing-thawing method is erroneous for estimating frost resistance of the roof ceramic tile.

Research of frost resistance of roof tile and brick is carried out at three research institutes. Tiles were tested using one-side and three-side (volume) freezing. In addition, rapid frost resistance evaluation method was determined using deformation measurement under cyclic frost-thawing process, textures and water adsorption, saturation coefficient under boiling conditions or vacuum environment of the samples tested. One-side freezing-thawing method using water or artificial rain for thawing of samples was determined as the mostly suitable testing method. Distribution of sizes of pores and capillars was determined as not tightly bound.

The equations 2 and 4 indicate the possibility to forecast frost resistance of roof tile by two physical parameters: deformation size and water coefficient saturation in vacuum.

Frost resistance of solid brick in one-sided freezing-method corresponds to the service conditions in brick walls better than for roof tile. Rapid forecast of frost resistance of solid brick is possible by the use of four physical parameters according to equation 5.

Antanas SADŪNAS. Habil Dr Eng, Professor. Vilnius Pedagogical University. Dept of Chemistry, Studentų g. 39, LT-2034, Vilnius, Lithuania.

Author and co-author of more than 270 scientific articles, 4 monographs and 40 inventions. Research interests: chemical thermodynamics, kinetics and heterogeneous catalysis, technology of ceramics and durability. Lectures in Moscow, St Petersburg, Helsinki, Weimar, Hamburg, Riga, Kiev, Tallinn etc. Scientific research ordered by Finland Society of Ceramics,

cooperative research with Erlangen University (Germany) and Riga Technical University (Latvia).

Heinrich MÖRTEL. Dr Rer Nat. Head of Ceramics and Glass Dept Laboratory of Raw Materials. Institute of Materials Science in Friedrich Alexander Nurnburg-Erlangen University. Institute für Werkstoffwissenschaften, Marten Str. 5, D-91058 Erlangen.

Author and co-author of many scientific articles. Research visits to two universities in USA. Head of co-operative scientific research and lectures in several universities of Egypt, Ukraine, South Korea, Latvia, Lithuania etc. Participant of many international conferences. Member of editorial board of several journals in Germany. Research interests: raw materials and technology of concrete, glass, lime and ceramics, microscopy of materials.

Andris CIMMERS. Dr Eng. Deputy director. Riga Technical University. Head of Glass and Ceramics Laboratory. Riga Techniskas Universitatis, Institute of Silicate Materials, Azenes str. 14, LV1048, Riga, Latvia.

Research interests: enamel, glaze, building ceramics materials and technology. More than 40 scientific articles, lectures at international conferences in Germany, Italy, Lithuania etc. Many research works in collaboration with Germany universities. Active participant of the introduction of research results into Latvia's factories and companies of building materials industry.

Visvaldis SHVINKA. Hab Dr Eng. Professor. Riga Technical University. Dept of Silicate Technology. Riga Techniskas Universitatis, Institute of Silicate Materials, Azenes str. 14, LV1048, Riga, Latvia.

Author and co-author of more than 100 scientific articles. Research interests: materials of aluminosilicates and technology of ceramic materials. Lectures in Germany, Italy, Lithuania, Russia, Estonia etc. Author and co-author of 10 inventions; co-operative scientific research with some German universities.

Domas BURĖ. Dr Eng. Senior Researcher. Vilnius Pedagogical University. Dept of Chemistry, Studentų g. 32, LT-2034, Vilnius, Lithuania.

Research interests: building materials properties, their frost resistance. Author of more than 30 scientific articles, 15 inventions. An active participant in co-operative research at Nuremberg-Erlangen (Germany) and Riga (Latvia) universities.