

Agata Stolarska¹, Agata Poniecka², Marta Rosołek³

OCENA KINETYKI WYSYCHANIA ZAPRAW NA SPOIWIE CEMENTOWYM O ZMIENNYM W/C W ODMIENNYCH WARUNKACH TEMPERATUROWYCH

Wprowadzenie

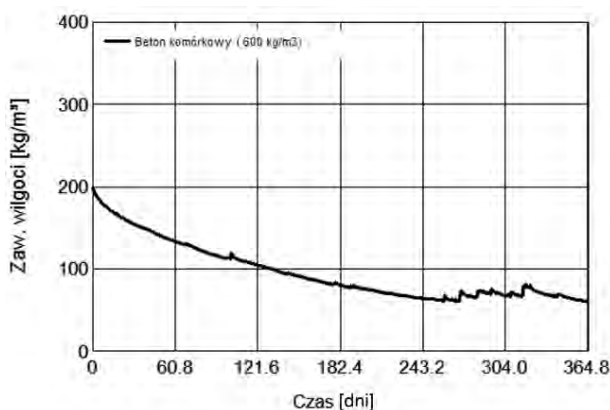
Zaprawa budowlana, jako składowa przegród budowlanych, jest również źródłem ich zawilgocenia technologicznego. Wpływa także na tempo wysychania całej przegrody, co przekłada się z kolei na zapotrzebowanie budynku na ciepło. Analizy dotyczące tempa wysychania wilgoci technologicznej ze ścian zewnętrznych w powiązaniu z efektywnością energetyczną budynków podejmowane są między innymi w pracach [1-3]. Pomocnym narzędziem do oceny stanu wilgotnościowego przegród oraz do wykonywania symulacji dotyczących ich wysychania może być program WUFI [2, 4, 5]. Można w nim bowiem założyć określone warunki klimatu wewnętrznego oraz zewnętrznego w zadanym przedziale czasowym symulacji. Przykładowy wynik takich obliczeń odniesionych do muru z betonu komórkowego w trakcie rocznego procesu wysychania przedstawiono na rysunku 1.

Symulacje eksperymentalne nad kinetyką wysychania między innymi zaprawy cementowej zaprezentowano natomiast w pracy [6]. Autor wspomnianej pracy na podstawie przeprowadzonych badań na próbkach o wymiarach 4 x 4 x 4 cm wyznaczył krzywe wysychania oraz prędkości wysychania. W przytaczanym artykule proces usuwania wilgoci z materiału jednorodnego równomiernie nasyconego opisywany jest dwuetapowo. Pierwszy etap charakteryzuje się stałą szybkością wysychania, a odprowadzenie wody następuje z powierzchni całkowicie zawilgoconej. Z kolei w drugim etapie wysychania rozkład migrującej cieczy jest uzależniony od porowatej struktury materiału, czego konsekwencją są różne siły kapilarne występujące w porach o różnej wielkości i różnym kształcie [6].

¹ Zachodniopomorski Uniwersytet Technologiczny w Szczecinie, Wydział Budownictwa i Architektury, e-mail: siwinska@zut.edu.pl

² Zachodniopomorski Uniwersytet Technologiczny w Szczecinie, Wydział Budownictwa i Architektury, e-mail: agata14-91@o2.pl

³ Zachodniopomorski Uniwersytet Technologiczny w Szczecinie, Wydział Budownictwa i Architektury, e-mail: marta_tita@o2.pl



Rys. 1. Symulacja wysychania z wilgoci technologicznej przegrody z betonu komórkowego

W niniejszym artykule podjęto się z kolei oceny wpływu warunków temperaturowych na wysychanie zapraw charakteryzujących się odmiennym stosunkiem wodno-cementowym i zastosowanym cementem. Temperatura i wilgotność powietrza w miejscu wykonania elementu są czynnikami wpływającymi na dojrzewanie i wysychanie zapraw.

1. Eksperyment

Przedmiotem eksperymentu były zaprawy cementowe. Próbkę zapraw o wymiarach 4 x 4 x 16 cm zostały zróżnicowane poprzez zastosowanie trzech różnych cementów: dwóch cementów portlandzkich CEM I 42,5R oraz CEM I 52,5R i cementu hutniczego CEM III/A 42,5N. Do badań przyjęto zaprawy o trzech różnych stosunkach wodno-cementowych. Były to wskaźniki w/c równe 0,5; 0,55 oraz 0,6. Do przygotowania zapraw użyto piasku z wytwórni Bielinek, który został wysuszony do stałej masy w $+105^{\circ}\text{C}$. Wykorzystano również wodę wodociągową o temperaturze $+20^{\circ}\text{C}$, która przez 24 godziny przed badaniem przechowywana była w laboratorium.

W pierwszej kolejności wykonano podstawowe badania trzech testowanych cementów, a mianowicie: oznaczenie konsystencji normowej oraz początku i końca czasu wiązania, oznaczenie wytrzymałości cementu na rozciąganie przy zginaniu i ściszenie odpowiednio po 2 i 28 dniach. Następnie wykonano oznaczenie plastyczności metodą stolika rozplwu i badanie gęstości objętościowej. Stwardniałe zaprawy poddano oznaczeniu gęstości objętościowej po rozformowaniu oraz przed badaniem wytrzymałości (po 7 i 28 dniach), a także przeprowadzono ocenę ich nasiąkliwości. Od momentu rozformowania próbki były kondycjonowane nad wodą. Badania wytrzymałości zostały przeprowadzone po 7 i 28 dniach, co umożliwiło zaobserwowanie dynamiki wzrostu parametrów wytrzymałościowych. Szczegółowe wyniki tych pomiarów zawarte są w pracach [7, 8].

Głównym etapem prac laboratoryjnych było czteromiesięczne doświadczenie poświęcone ocenie kinetyki wysychania zapraw na spoiwie cementowym. Bezpośrednio po rozformowaniu 3 próbki umieszczono w odmiennych warunkach temperaturowych, tj. w termostatach utrzymujących temperaturę $+5^{\circ}\text{C}$ oraz $+30^{\circ}\text{C}$, a także w laboratorium, w którym temperatura utrzymywała się na poziomie $+20^{\circ}\text{C} \pm 0,5^{\circ}\text{C}$. Stanowiska badawcze przedstawiono na rysunku 2.



Rys. 2. Kondycjonowanie próbek [7, 8]

Boki próbek nie zostały zaizolowane w celu oceny procesu wysychania z całej ich powierzchni. Łącznie przeanalizowano więc 27 przypadków zróżnicowanych rodzajem cementu, wskaźnikiem w/c oraz temperaturą (tab. 1). Badanie polegało na cyklicznych pomiarach masy badanych zapraw. Na początku czynność ta wykonywana była z częstotliwością co 30 minut, po czym odstępy czasowe między kolejnymi pomiarami masy próbek były wydłużane najpierw do 1 h, następnie do 2 h, 3 h, 24 h, 48 h, 1 tygodnia, a na końcu 2 tygodni. Odstępy czasowe pomiarów zwiększane były w momencie, gdy dwa kolejne ważenia nie wykazywały istotnej zmiany masy próbek. Dane pomiarowe zebrane zostały w formie tabelarycznej [7, 8] i na ich podstawie wyznaczono wykresy przedstawiające zmianę masy próbek odniesioną do ich powierzchni w czasie kondycjonowania w trzech warunkach temperaturowych.

2. Wyniki i analiza badań

Wynik podstawowych badań potwierdziły deklarowane przez producenta parametry testowanych cementów oraz podawane w literaturze właściwości zapraw [9, 10]. W tabeli 1 zebrano wyniki obliczeń dotyczące wilgotności zapraw określone bezpośrednio po rozformowaniu w_1 [%] oraz po zakończonych badaniach w_2 [%], czyli po upływie 2594 h kondycjonowania w określonych warunkach temperaturowych. W tabeli zamieszczono również nasiąkliwość zapraw n [%]. Zestawienie porównania otrzymanych wielkości zamieszczono na rysunku 3.

TABELA 1

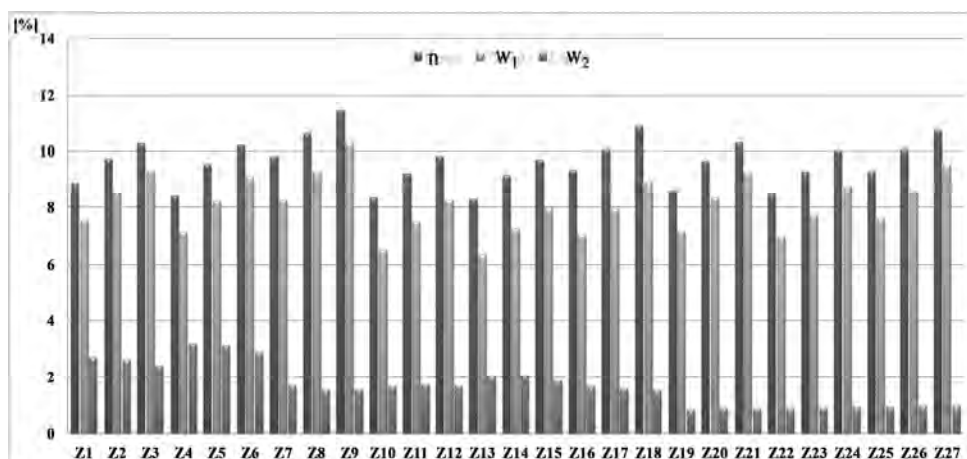
Wilgotność i nasiąkliwość zapraw

Cement	w/c	Zaprawa	T = 5°C			Zaprawa	T = 20°C			Zaprawa	T = 30°C		
			w ₁ [%]	w ₂ [%]	n [%]		w ₁ [%]	w ₂ [%]	n [%]		w ₁ [%]	w ₂ [%]	n [%]
CEM I 42,5R	0,5	Z1	7,5	2,7	8,9	Z10	6,5	1,6	8,3	Z19	7,1	0,8	8,6
	0,55	Z2	8,6	2,6	9,7	Z11	7,5	1,7	9,2	Z20	8,3	0,9	9,6
	0,6	Z3	9,3	2,4	10,3	Z12	8,3	1,7	9,8	Z21	9,2	0,8	10,3
CEM I 52,5R	0,5	Z4	7,1	3,2	8,4	Z13	6,3	2,0	8,3	Z22	7,0	0,9	8,4
	0,55	Z5	8,2	3,1	9,5	Z14	7,2	2,0	9,1	Z23	7,7	0,9	9,3
	0,6	Z6	9,1	2,9	10,2	Z15	8,0	1,9	9,7	Z24	8,7	0,9	10,0
CEM III/A 42,5N	0,5	Z7	8,3	1,7	9,8	Z16	7,0	1,6	9,3	Z25	7,6	0,9	9,3
	0,55	Z8	9,3	1,5	10,6	Z17	7,9	1,6	10,1	Z26	8,6	0,9	10,0
	0,6	Z9	10,3	1,5	11,4	Z18	8,9	1,5	10,9	Z27	9,5	1,0	10,7

Z zestawienia na rysunku 3 wynika, iż nasiąkliwość zapraw dla każdego zastosowanego cementu rośnie ze wzrostem wskaźnika w/c. Największą nasiąkliwość uzyskały zaprawy na cemencie hutniczym przy w/c = 0,6. Analogicznie wygląda wilgotność próbek zapraw określona bezpośrednio po rozformowaniu. Natomiast w przypadku wilgotności w₂ oddziaływanie wskaźnika w/c na wyniki jest nieznaczne. Większe znaczenie ma rodzaj zastosowanego cementu i temperatury kondycjonowania próbek. W temperaturze T = +5°C najmniejszą wilgotność osiągnęły zaprawy na cemencie CEM III/A 42,5N. Dwukrotnie większą wilgotność miały zaprawy na cemencie CEM I 52,5R. Przy temperaturze +20°C również największą wilgotnością charakteryzowały się zaprawy na cemencie hutniczym, a zaprawy na cementach portlandzkich uzyskały zbliżone do siebie wartości. Odmienne wyglądają wyniki dla T = +30°C. W tym przypadku wszystkie testowane zaprawy uzyskały zbliżone wyniki, tj. około 1%.

Zauważono, iż zwiększenie wskaźnika w/c skokowo o wartość 0,05, niezależnie od zastosowanego cementu i przyjętych warunków temperaturowych, skutkuje wzrostem uzyskiwanej różnicy między wartościami początkowej i końcowej wilgotności o około 1% wilgotności masowej. Największy spadek zawilgocenia z w₁ na w₂, wynoszący blisko 9%, wystąpił w grupie zapraw wykonanych na cemencie hutniczym w najwyższej z testowanych temperatur.

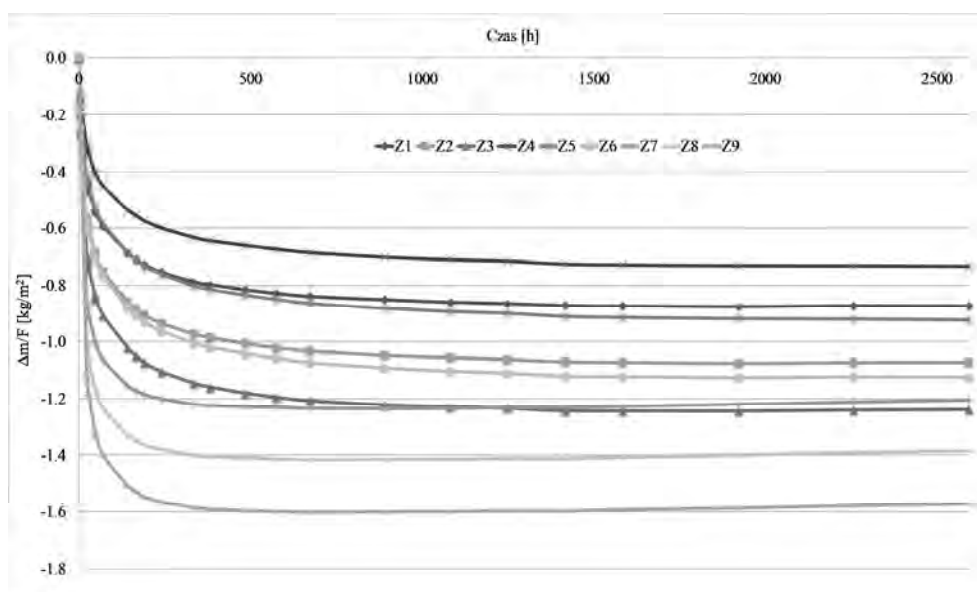
Na podstawie kilkumiesięcznych obserwacji procesu wyznaczono graficzne odwzorowania (rys. 4-6) przedstawiające tempo ubytku masy odniesione do powierzchni testowanych kompozytów $\Delta m/F$ [kg/m²] w zależności od warunków kondycjonowania. Nieznaczne wahania na wykresach można wytłumaczyć cyklicznym otwieraniem termostatów w celu wykonania pomiarów. Z kolei na wyniki zapraw kondycjonowanych w temperaturze +20°C miały wpływ czynniki panujące w laboratorium, czyli otwieranie okien i centralne ogrzewanie.

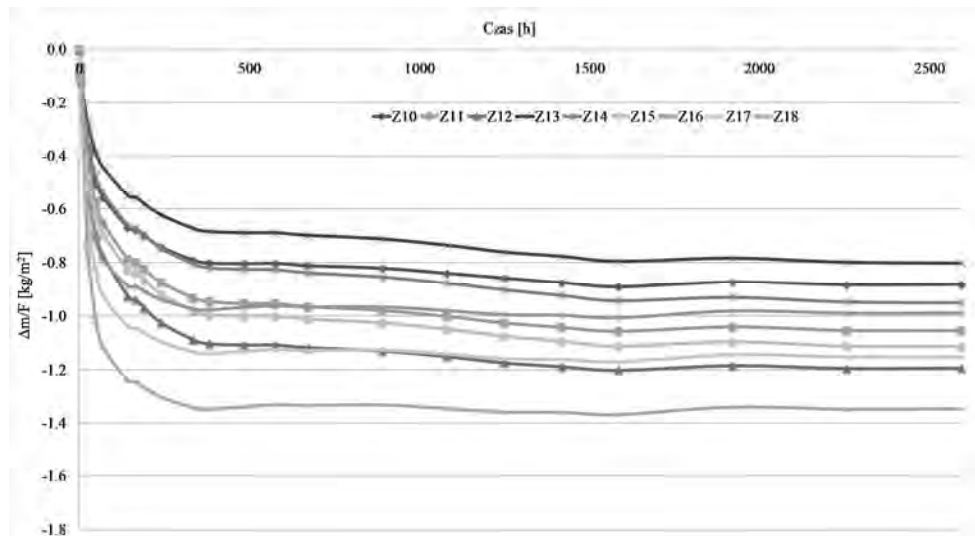
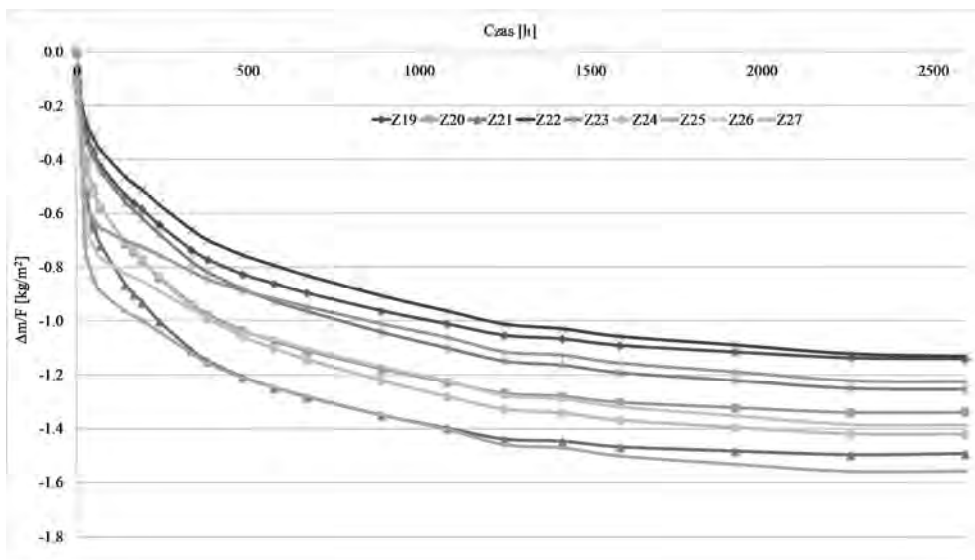


Rys. 3. Porównanie nasiąkliwości i wilgotności zapraw

Jak widać na trzech zestawieniach, największy spadek zawilgocenia występuje zawsze na początku kondycjonowania. Próbkę kondycjonowaną w temperaturze $+5^{\circ}\text{C}$ stosunkowo szybko, bo już po około 300 h od rozpoczęcia doświadczenia ustabilizowały swoją masę. Najdłużej proces ten przebiegał w najwyższej temperaturze. Stabilizacja następowała dopiero po upływie około 2000 h.

Porównując uzyskane wykresy dla tych samych cementów, ale odmiennych w/c widać, iż wzrost tego wskaźnika skutkuje zwiększeniem intensywności oddawania wilgoci.

Rys. 4. Zmiana masy zapraw Z1÷Z9 w czasie w temperaturze $T = +5^{\circ}\text{C}$

Rys. 5. Zmiana masy zapraw Z10÷Z18 w czasie w temperaturze $T = +20^\circ\text{C}$ Rys. 6. Zmiana masy zapraw Z19÷Z27 w czasie w temperaturze $T = +30^\circ\text{C}$

Analiza wpływu rodzaju zastosowanego cementu przy tym samym wskaźniku w/c wykazuje, iż najintensywniej proces ten przebiega w wypadku zastosowania cementu hutniczego. Zależność ta potwierdza się przy każdej temperaturze. Jednak przy najniższej temperaturze nastąpił najgwałtowniejszy spadek. Najwolniej natomiast proces przebiega dla cementu CEM I 52,5R.

Podsumowanie

Wyniki badań zaprezentowane w artykule dostarczają danych na temat przebiegu procesu wysychania zapraw wykonanych z różnych cementów, przy różnym w/c i w odmiennych warunkach temperaturowych. Dokonano oceny kinetyki wysychania 27 zapraw. Zostały one podzielone na trzy grupy charakteryzujące się wysychaniem w innych warunkach temperaturowych, mianowicie: +5°C, +20°C i +30°C. W każdej grupie zaprawy zróżnicowane były dodatkowo rodzajem zastosowanego cementu (CEM I 42,5R, CEM I 52,5R, CEM III/A 42,5N), a także stosunkiem wodno-cementowym (w/c = 0,5, w/c = 0,55, w/c = 0,6).

Podsumowując, można stwierdzić, że proces wysychania zapraw jest w dużym stopniu uzależniony od temperatury, w której próbki dojrzewają, a następnie wysychają. Wpływa to nie tylko na ubytek masy, ale również na charakter procesu. Im niższa temperatura, w zakresie rozpatrywanych temperatur dodatnich, tym szybsza stabilizacja ubytku masy próbek. Zmienność temperatury wpływa w dużym stopniu na proces wysychania, co doskonale można zauważyć na przykładzie próbek dojrzewających w temperaturze +20°C. Stosunek wodno-cementowy zdecydowanie mniej wpływa na wysychanie (zależy od niego tylko wielkość ubytku masy), ale w zdecydowanie większym stopniu na właściwości zapraw, na które również duży wpływ wywiera rodzaj zastosowanego cementu. Należy więc przy wykonywaniu tego typu kompozytów brać pod uwagę nie tylko rodzaj cementu czy stosunek wodno-cementowy, ale również warunki temperaturowe, w których będą one dojrzewać.

Planowana jest kontynuacja eksperymentu i przeprowadzenie analogicznych pomiarów dla próbek z zaizolowanymi pobocznkami, które oddawałyby wilgoć tylko z dwóch powierzchni.

Literatura

- [1] Witczak K., Tempo wysychania wilgoci technologicznej ze ścian zewnętrznych a efektywność energetyczna budynków, *Materiały Budowlane* 2017, 1, 62-64.
- [2] Wesołowska M., Kaczmarek A., Zapotrzebowanie na ciepło w pierwszych latach eksploatacji budynku, *Inżynier Budownictwa* 2015, 4, 114-118.
- [3] Garbalińska H., Siwińska A., Oszacowanie niekorzystnych zmian w bilansie cieplnym budynku wywołanych zawilgoceniem ścian zewnętrznych, *Inżynieria i Budownictwo* 2005, 5, 241-243.
- [4] Kaczmarek A., Wesołowska M., Czas wysychania ścian jednowarstwowych z wilgoci technologicznej, *Materiały Budowlane* 2016, 3, 52-53.
- [5] Bobociński A., Pogorzelski J., Analiza procesu wysychania ścian z zewnętrznym systemem izolacji cieplnej, *Prace Instytutu Techniki Budowlanej* 2001, 30, 2, 29-44.
- [6] Kucharczyk A., Wysychanie materiałów porowatych w układach warstwowych - badania eksperymentalne, *Roczniki Inżynierii Budowlanej - Zeszyt 13/2013*, Komisja Inżynierii Budowlanej Oddział Polskiej Akademii Nauk w Katowicach, 85-88.
- [7] Poniecka A., Ocena kinetyki wysychania oraz opis matematyczny tempa ubytku masy wybranych zapraw na spoiwie cementowym o zmiennym w/c, praca magisterska, Szczecin 2016.

- [8] Rosołek M., Ocena kinetyki wysychania oraz opis matematyczny tempa ubytku masy wybranych zapraw na spoiwie cementowym w odmiennych warunkach temperaturowych, praca magisterska, Szczecin 2016.
- [9] PN-EN 197-1:2012: Cement. Część 1: Skład, wymagania i kryteria zgodności dotyczące cementów powszechnego użytku.
- [10] Cement, kruszywa, beton w ofercie Grupy Góraźdze. Rodzaje, właściwości, zastosowanie, Praca zbiorowa pod kierunkiem Z. Giergicznego, Chorula 2015.

Streszczenie

W artykule przedstawiono ocenę wyników badań procesu wysychania zapraw cementowych zróżnicowanych rodzajem zastosowanego cementu oraz wskaźnikiem wodno-cementowym. Założono trzy poziomy wskaźnika w/c, a mianowicie 0,5; 0,55 oraz 0,6. Kondycjonowanie przygotowanych zapraw odbywało się przy trzech poziomach temperatury: +5, +20 oraz +30°C. Dane pomiarowe pozwoliły na sporządzenie wykresów przedstawiających tempo ubytku masy próbek zapraw cementowych w 27 ocenianych wariantach.

Słowa kluczowe: zaprawy budowlane, cement, kinetyka wysychania

Evaluation of the drying kinetics of selected cement mortars with variable w/c in different temperature conditions

Abstract

The article presents an assessment of the results of the research process drying of cement mortars which are diversified by type of the cement and water-cement ratio w/c. It was assumed three levels of the w/c ratio, namely 0.5; 0.55 and 0.6. Conditioning of the prepared mortars was carried out at three levels of temperature: +5, +20 and +30°C. Measurement data enabled the determination of graphs depicting the rate of weight loss samples of cement mortars in 27 cases evaluated.

Keywords: mortars, cement, drying kinetics