

BADANIA WŁAŚCIWOŚCI FIZYCZNYCH ZAPRAW I ŚCIAN MUROWANYCH W CELU PROGNOZOWANIA ICH TRWAŁOŚCI

Konrad WITCZAK*, Dariusz GAWIN*

* Politechnika Łódzka, Katedra Fizyki Budowli i Materiałów Budowlanych
Al. Politechniki 6, 90-924 Łódź, e-mail: konrad.witczak@p.lodz.pl, gawindar@p.lodz.pl

Streszczenie: W pracy przedstawiono zakres wykonanych oraz planowanych badań laboratoryjnych, a także ich wybrane wyniki, dotyczące właściwości fizycznych i wytrzymałościowych oraz struktury wewnętrznej zapraw i ścian murowanych. Badania obejmują również materiały murowe, tj. współczesną i historyczną cegłę ceramiczną pełną oraz beton komórkowy. Wyniki badań zostaną wykorzystane do prognozowania trwałości elementów budowlanych, poddanych oddziaływaniu zmiennego klimatu zewnętrznego, za pomocą opracowywanego modelu numerycznego sprzężonych zjawisk ciepłno-wilgotnościowych i degradacji mechanicznej w elementach budowlanych.

Słowa kluczowe: Trwałość, zaprawy, konstrukcje murowe, procesy ciepłno-wilgotnościowe, badania laboratoryjne.

1. WPROWADZENIE

Najbardziej popularnym materiałem budowlanym w XIX i na początku XX wieku, tj. w okresie rozkwitu Łodzi fabrykanczej, była cegła ceramiczna, łączona w początkowym okresie na zaprawę wapienną, a następnie na zaprawę wapienną z dodatkami pucolanowymi oraz zaprawę cementowo-wapienną [1]. Te same zaprawy stosowane były również do tynkowania ceglanych fasad budynków. Także obecnie cegła ceramiczna oraz wymienione rodzaje zapraw znajdują szerokie zastosowanie, nie tylko w nowo wznoszonych budynkach, ale także w inwestycjach o charakterze renowacyjnym. Często jednak we współczesnych rozwiązaniach konstrukcji murowych spotyka się przykłady, w których destrukcja wyprawy tynkarskiej lub muru jest w dużo bardziej zaawansowanym stadium niż w obiektach o charakterze zabytkowym. Bezpośrednią przyczyną zniszczenia omawianych struktur murowych są zmienne warunki atmosferyczne, tj. naprzemienne oddziaływanie ujemnych i dodatnich temperatur, obecność wilgoci w porach materiałów budowlanych w wyniku opadów atmosferycznych, a także działanie promieniowania słonecznego, wpływającego na zwiększenie amplitudy wahań temperatury na powierzchniach zewnętrznych przegród [2]. Celem prezentowa-

nych tu badań, wykonanych w ramach projektu Nr. 4 T07E 032 30, jest przeanalizowanie różnic właściwości 3 rodzajów zapraw oraz wpływu, jaki wywierają na nie proporcje ich składników, w kontekście trwałości konstrukcji murowych i wypraw tynkarskich. W pracy badano dwie grupy materiałów budowlanych: pierwszą z nich stanowiły dwie zaprawy cementowo-wapienne i jedna zaprawa cementowa, drugą natomiast cegły ceramiczne, współczesne oraz historyczne, pochodzące z jednego z najbardziej znanych w Łodzi zespołu rezydencjonalno-fabrycznego. Część badań dotyczących mrozoodporności wykonano także dla betonu komórkowego odmiany 600.

2. CECHY WYTRZYMAŁOŚCIOWE ZAPRAW I ELEMENTU MUROWEGO

Konstrukcje murowe stanowią połączenie co najmniej dwóch grup materiałów: elementów murowych i spoiw (zapraw murarskich). Często mur pokryty jest tynkiem, stanowiącym dodatkową warstwę osłonową. O trwałości tej wielo-materiałowej konstrukcji decydują przede wszystkim parametry wytrzymałościowo-strukturalne poszczególnych grup materiałów ją tworzących, tym bardziej, że są one wszystkie narażone na równoczesne oddziaływanie zmiennych warunków atmosferycznych.

Głównym czynnikiem wpływającym na trwałość konstrukcji murowej jest dobór zaprawy murarskiej o odpowiednich cechach dla danego elementu murowego. Zaprawa taka powinna odznaczać się niższymi parametrami wytrzymałościowymi od elementów murowych. Transport wilgoci w postaci dyfuzji pary wodnej czy podciągania kapilarnego powinien także być znacznie intensywniejszy przez zaprawę aniżeli przez elementy murowe. Zamarzająca wówczas w murze woda przyspiesza degradację zaprawy, a nie np. cegiel jako elementów murowych. Również w aspekcie ekonomicznym jest to lepsze



Fot. 1. Przykład zastosowania w murze zbyt mocnej i szczelnej zaprawy.

Fot. 1. Example of a masonry wall with too strong and not enough permeable mortar.



Fot. 2. Fragment muru ze zniszczoną warstwą wierzchnią cegieł.

Fot. 2. The piece of a masonry wall with destroyed finishing layer of bricks.



Fot. 3. Fragment muru z wykwitem soli występującym na licu cegły.

Fot. 3. The piece of a masonry wall with efflorescence on the bricks.



Fot. 4. Fragment muru z wykwitem soli na zaprawie.

Fot. 4. The piece of a masonry wall with efflorescence on the mortar.

rozwiązanie, gdyż znacznie łatwiej oraz taniej wykonuje się ewentualne naprawy ubytków zapraw niż cegieł czy innych elementów murowych, zwłaszcza w obiektach o charakterze zabytkowym. Niestety takich właściwości nie mają często stosowane obecnie zaprawy, w których jako spoiwo stosuje się głównie cement portlandzki. Kilka przykładów takich nieprawidłowych rozwiązań pokazano poniżej na fotografiach 1-4.

3. BADANIA WŁAŚCIWOŚCI ZAPRAW

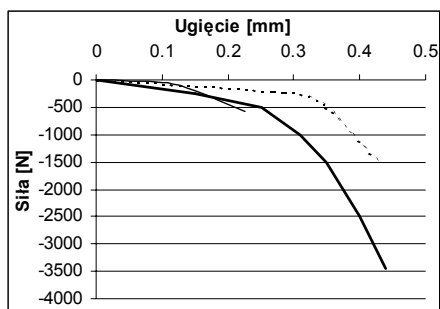
W niniejszym rozdziale przedstawiono wyniki badań wytrzymałości na zginanie i ściskanie oraz skurczu liniowego wybranych zapraw. Badanie wytrzymałości na zginanie przeprowadzono na beleczkach w wymiarach 40 x 40 x 160 mm, po 3 beleczki dla każdej zaprawy. Badanie wytrzymałości na ściskanie wykonano na połówkach bełek pochodzących z badań wytrzymałości na zginanie. Badania wykonano po 28 dniach twardnienia zapraw. Próbkę przechowywane były w temperaturze otoczenia 20 ± 2 °C i wilgotności względnej powietrza 95 ± 3 %.

Badane zaprawy miały następujący skład:

- Zaprawa cementowa (zaprawa A): cement 538 kg/m³, piasek 0.9 m³/m³, woda 277 dm³/m³;
- Zaprawa cementowo-wapienna (zaprawa B): cement 265 kg/m³, wapno 74 kg/m³, piasek 0.99 m³/m³, woda 280 dm³/m³;
- Zaprawa cementowo – wapienna (zaprawa C): cement 190 kg/m³, wapno 106 kg/m³, piasek 0.95 m³/m³, woda 310 dm³/m³;

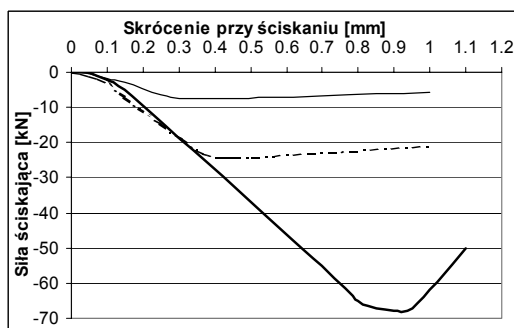
Rysunek 1 przedstawia graficznie wyniki badań wytrzymałości na zginanie i ściskanie w/w zapraw. Na wykresach pokazano wartości średnie dla każdego rodzaju zaprawy. Na podstawie badań stwierdzono, że zaprawy typu A i B odznaczały się podobną maksymalną wartością ugięcia w trakcie zginania: zaprawa A – 0.44 mm przy maksymalnej sile 3456 N, zaprawa B – 0.43 przy maksymalnej sile 1510 N. Maksymalna średnia wartość ugięcia dla zaprawy C wyniosła 0.23 mm przy maksymalnej sile 575 N. Wyniki badań wytrzymałości na ściskanie dla analizowanych zapraw przedstawiono graficznie na rys. 2. oraz zestawiono w tablicach 1-3.

Dla omawianych zapraw zbadano również skurcz w okresie dojrzewania. Dla każdej zaprawy wykonano po 9 bełek o wymiarach 40 x 40 x 160 mm. Belki rozformowano po 24 godzinach. Przez kolejne 2 dni próbki przechowywane były pod szczelnym, foliowym przykryciem, po 3 dniach od wylania zapraw, umieszczono po 3 belki dla każdej zaprawy w komorze klimatycznej o wilgotności względnej 55%, w eksykatorze o wilgotności 75% oraz w kuwecie pod powierzchnią wody. Odczytu zmian długości bełek dokonywano przy użyciu aparatu Graf-Kaufmana po 1, 3, 7, 14 i 28 dniach od momentu ich wylania.



Rys. 1. Wykresy „siła – ugięcie” przy badaniu wytrzymałości na zginanie dla analizowanych zapraw: typu A - linia gruba, typu B - linia przerywana, typu C - linia cienka.

Fig. 1. Flexural strength for the three analyzed types of mortar: A - thick line, B - dashed line, C – thin line.



Rys. 2. Porównanie średnich wartości sił ściskających i odkształceń przy ściskaniu dla trzech badanych zapraw: typu A - linia gruba, typu B - linia przerywana, typu C - linia cienka.

Fig. 2 Comparison of the compressive forces and displacements for the three analyzed types of mortar: A - thick line, B - dashed line, C – thin line.

Tab. 1. Wytrzymałość na ściskanie zaprawy A
Tab. 1. Compressive strength of the mortar A

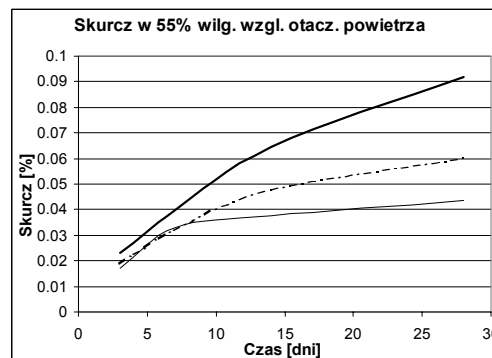
L.p	Etykieta próbki	Maksymalna siła [kN]	Wytrzymałość na ściskanie [MPa]
1	10 A - 1	66,431	41,52
2	10 A - 2	65,012	40,63
3	11 A - 1	64,518	40,32
4	11 A - 2	67,342	42,09
5	12 A - 1	63,857	39,91
6	12 A - 2	65,669	41,04
średnia		65,280	40,80

Tab. 2. Wytrzymałość na ściskanie zaprawy B
Tab. 2. Compressive strength of the mortar B

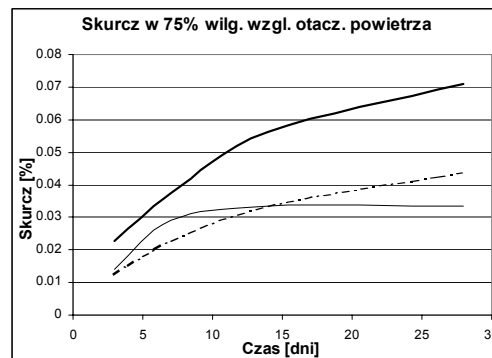
L.p	Etykieta próbki	Maksymalna siła [kN]	Wytrzymałość na ściskanie [MPa]
1	10 B - 1	22,823	14,26
2	10 B - 2	22,480	14,05
3	11 B - 1	22,997	14,37
4	11 B - 2	23,990	14,99
5	12 B - 1	20,922	13,08
6	12 B - 2	21,405	13,38
średnia		22,436	14,02

Tab. 3. Wytrzymałość na ściskanie zaprawy C
Tab. 3. Compressive strength of the mortar C

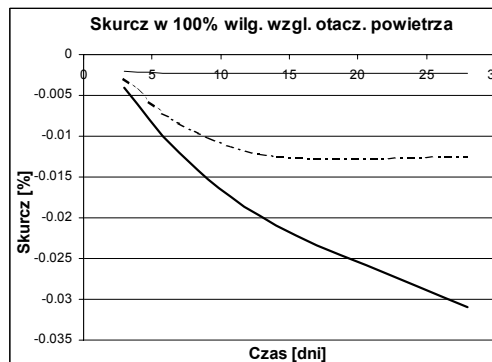
L.p	Etykieta próbki	Maksymalna siła [kN]	Wytrzymałość na ściskanie [MPa]
1	10 C - 1	7,703	4,81
2	10 C - 2	7,625	4,77
3	11 C - 1	7,076	4,42
4	11 C - 2	7,632	4,77
5	12 C - 1	7,709	4,82
6	12 C - 2	7,241	4,53
średnia		7,497	4,69



a



b



c

Rys. 3. Porównanie skurczu trzech badanych zapraw dojrzewających w środowisku o różnej wilgotności względnej powietrza: a) 55%, b) 75 %, c) pod powierzchnią wody (100%).

Fig. 3. Comparison of the shrinkage of analyzed types of mortar maturing at different RH: a) 55%, b) 75%, c) under water .

Wyniki badań dla poszczególnych zapraw dojrzewających w środowisku o 3 różnych wartościach wilgotności

względnej powietrza przedstawiono graficznie na rys. 3. Zwiększenie ilości wapna hydratyzowanego w zaprawie i równoczesne zmniejszenie ilości cementu powoduje osłabienie wytrzymałości zapraw. W badaniach wytrzymałości na rozciąganie okazało się, że zaprawa B (max. obciążenie: 1510 N, max ugięcie: 0.43 mm), pomimo ponad dwukrotnie mniejszej wytrzymałości na zginanie w stosunku do zaprawy A (max. obciążenie: 3456 N, max ugięcie: 0.44 mm), wykazała podobną zdolność do odkształcania się przy zginaniu. Zaprawa C (max. obciążenie: 575 N, max ugięcie: 0.23 mm) wykazała znacznie mniejszą wytrzymałość na zginanie, jak również 2-krotnie mniejsze odkształcenie od pozostałych zapraw przy maksymalnym obciążeniu.

Wytrzymałości na ściskanie zapraw cementowo-wapiennych w stosunku do zaprawy cementowej okazały się ponad 3-krotnie mniejsze dla zaprawy B i prawie 9-krotnie mniejsze dla zaprawy C.

Badanie skurczu zapraw w okresie twardnienia wykazały znacznie mniejszy skurcz zapraw z dodatkiem wapna, zarówno w środowiskach o niskich wilgotnościach względnych, jak również dla próbek dojrzewających w wodzie. Zaprawa C wykazała większy skurcz w początkowym okresie twardnienia od zaprawy B. Prawdopodobnie było spowodowane odsychaniem większej ilości wody zarobowej w zaprawie C ($310 \text{ dm}^3/\text{m}^3$) w porównaniu do zaprawy B ($280 \text{ dm}^3/\text{m}^3$). Efekt ten częściowo mógł być zmniejszony poprzez większą ilość wapna, które ma lepszą zdolność retencji wilgoci od cementu. Jediną zaprawą, dla której nastąpiło ustalenie skurczu już w okresie twardnienia, była zaprawa C. Zjawisko to dotyczyło próbek dojrzewających w środowisku o wilgotności względnej powietrza wynoszącej 75 % oraz w wodzie.

4. DALSZE BADANIA

Aktualnie prowadzone są m. in. badania struktury porowatości analizowanych materiałów (porozymetria rтciowa i mikroskopia elektronowa) oraz wpływu cykli zamrażania i odmrażania na przyczepność trzech omawianych zapraw do podłoża. Planowana ilość cykli, po których mierzona jest siła, przy której następuje oderwanie zaprawy od podłoża (metodą „pull-of”), wynosi 25, 50 i 100. Początkowo, jako podłożo planowano także zastosowanie beton komórkowy klasy 600 i cegłę ceramiczną pełną klasy 15, jednak w trakcie badań dla zaprawy cementowej (zaprawa A) okazało się, że beton komórkowy uległ znacznej degradacji (fot. 5) co mogło spowodować uszkodzenie komory, a warstwa zaprawy cementowej odspoiła się już pod wpływem samych cykli zamrażania-odmrażania. W związku z tym, zdecydowano, że dalsze badania prowadzone będą jedynie dla cegły ceramicznej. Prowadzone są ponadto badania izoterm sorpcji dla wymienionych rodzajów zapraw oraz cegły ceramicznej, współcz-

snej i historycznej. Planowane są także badania przepuszczalności pary wodnej i podciągania kapilarnego dla wymienionych materiałów budowlanych, a także dodatkowo dla zapraw, z których nastąpiło „odciągnięcie kapilarne” wilgoci z mokrej zaprawy przez materiał, z którego zbudowany jest element murowy (tj. przez cegłę lub beton komórkowy).



Fot. 5. Odspojona od betonu komórkowego warstwa zaprawy cementowej po 25 cyklach zamrażania – odmrażania.

Fot. 5. Delaminated from the cellular concrete, a layer of cement mortar after 25 cycles of freezing – thawing.

TESTING PHYSICAL PROPERTIES OF MORTARS AND MASONRY WALLS TO PREDICT THEIR DURABILITY

Summary: Laboratory tests, performed and planned, concerning physical and strength properties, as well as inner structure of some mortars and masonry walls, as well as their results, are presented. The tests concern also in part materials the masonry walls are made of, i.e. historical and modern ceramic brick, and cellular concrete. The results will be used to predict durability of a building envelope, exposed to external climate conditions, by means of numerical model of coupled hygro-thermal and degradation phenomena in building elements.

Literatura

- [1] Domasłowski W., Kęsy-Lewandowska M., J.W. Łukasiewicz, *Badania nad konserwacją murów ceglanych*, Wydawnictwo UMK, Toruń, 2004
- [2] Brocken H.J.P., *Moisture transport in brick masonry: the gray area between bricks*, Ph. D. thesis, Technical University of Eindhoven, Eindhoven, 1998

Podziękowania

Przedstawione badania zostały wykonane w ramach grantu Nr 4 T07E 032 30 „Modelowanie naprężeń i degradacji zewnętrznych warstw przegród budowlanych poddanych oddziaływaniu zmiennych warunków cieplno-wilgotnościowych klimatu zewnętrznego i wewnętrznego”, finansowanego przez Ministerstwo Nauki i Szkolnictwa Wyższego w latach 2006-2008.