

## ROLA ZAPRAWY MURARSKIEJ W KSZTAŁTOWANIU INTEGRALNOŚCI MURU LICOWEGO

Maria WESOŁOWSKA

*Uniwersytet Technologiczno-Przyrodniczy w Bydgoszczy, Wydział Budownictwa i Inżynierii Środowiska  
ul. S. Kaliskiego 7, 85-796 Bydgoszcz,  
e-mail: marysia@utp.edu.pl*

**Streszczenie:** W pracy zaprezentowano wyniki badań wybranych zapraw budowlanych. Przeanalizowano zmiany struktury wynikające z wprowadzenia dodatków do zapraw i określono ich wpływ na integralność muru.

**Słowa kluczowe:** Integralność muru, struktura zapraw budowlanych.

### 1. WPROWADZENIE

Podstawowym warunkiem integralności muru jest zachowanie spójności w obrębie połączenia elementu ceramicznego i zaprawy, zapewniającej właściwą ochronę przed wilgocią. Zaprawa powinna zabezpieczać przed wnikaniem wody do wnętrza muru i umożliwić jej wyprowadzenie poza obręb muru (np. po intensywnych długotrwałych deszczach). W obiektach historycznych te właściwości były zapewniane intuicyjnie [1]. Stąd stan zachowania murów nadziemna wielu zabytkowych obiektów ceglanych jest bardzo dobry (rys. 1).



Rys. 1. Stan zachowania murów Stacji Pomp Miejskich Wodociągów w Bydgoszczy (rok budowy - 1900)

Fig. 1. The condition of the walls of the Municipal Waterworks Pumping Station in Bydgoszcz (built in 1900)

We współczesnych konstrukcjach murów licowych stosuje się cegły klinkierowe o niskiej nasiąkliwości (do 6%) i cementowe zaprawy budowlane, których własności są modyfikowane poprzez wprowadzanie wapna lub domieszek chemicznych (np. plastyfikatorów, domieszek napowietrzających). Ich zastosowanie jest dopuszczalne pod warunkiem spełnienia wymagań normowych dla zapraw:

- Dla materiału stwardniałego: absorpcja wody, przepuszczalność pary wodnej, odporność na zamrażanie-odmrażanie, wytrzymałość na ściskanie, współczynnik przewodzenia ciepła, wytrzymałość spoiny, zawartość chlorków,
- Dla zarobu: czas zachowania właściwości roboczych, zawartość powietrza, konsystencja, proporcja składników.

Należy zwrócić uwagę, że w zakresie badań normowych nie są wyszczególnione cechy, które decydują o integralności muru: początkowa absorpcja wody stwardniałej zaprawy, własności podłoża (materiału ceramicznego) w zakresie absorpcji wody, struktura materiału ceramicznego i stwardniałej zaprawy. Niniejsza praca przedstawia analizę struktury wybranych zapraw w aspekcie kształtowania integralności muru.

### 2. PROCEDURA BADAŃ

Do oceny przyjęto cegłę klinkierową pełną (250x120x65mm) i trzy różne rodzaje zapraw na bazie cementu. Skład materiałowy przyjętych zapraw przedstawiono w tab.1.

Ilość wody użyta do wykonania zapraw wynikała z polskich wytycznych normowych [7]. Przyjęto konsystencję zapraw właściwą dla wykonania murów

licowych na elementach o nasiąkliwości do 6%, tj. 6-8 według stożka Abramsa.

Tabela 1. Skład zapraw przyjętych do badań  
Table 1. Composition of mortars used for tests

Rodzaj zaprawy	Skład zaprawy (objętościowy)			
	cement CEM I 42.5N	Wapno hydratyzowane CL 90-S wg [6]	Piasek 0/2 wg [5]	Plastyfikator g/kg masy cementu
Cementowa 1	1	-	3,5	-
Cementowa 2	1	-	3,5	0,32
Cementowo-wapienna	1	1,25	6,75	-

Wykorzystano trzy rodzaje próbek:

- do badań własności klinkieru – cegły klinkierowe bez drążeń,
- do badań własności zapraw - beleczi 40x40x160mm, pielęgnowane zgodnie z wytycznymi normowymi [7]
- do oceny integralności - próbki zespolone, wykonane jednostopniowo z dwóch cegieł klinkierowych, połączonych spoiną wsporną wkłesłą o grubości 1cm; po zespoleniu próbki zostały zabezpieczone przed nadmiernym wysychaniem na okres 48 godzin, a następnie sezonowane przez rok w warunkach laboratoryjnych.

Wszystkie materiały przed badaniem wysuszono do stałej masy.

Zakres badań elementów składowych muru obejmował ocenę

- absorpcji kapilarnej wykonanej na 6 próbkach (dla cegieł klinkierowych w dwóch układach: przez podstawę i lico cegły),
- parametrów struktury i rozkładu porowatości.

Badania absorpcji kapilarnej przeprowadzono, zgodnie z wytycznymi normowymi [10], [11] na połówkach próbek (beleczek i elementów klinkierowych). Wysuszone do stałej masy próbki umieszczono w kuwecie z rusztem tak, że były zanurzone w wodzie na stałą głębokość 5 +1mm. Po czasie nasycania (odpowiednio po 1, 4, 9, 16, 25, 36, 49... min) próbki wyjmowano, wycierano powierzchnię, która była zanurzona w wodzie i ważono. Na podstawie oznaczenia masy wody absorbowanej przez próbkę materiału wyznaczono:

- początkową absorpcję wody w kg/m<sup>2</sup>min

$$c_{wis} = \frac{m_{so,s} - m_{dry,s}}{A_s \cdot t} \cdot 10^3 \quad (1)$$

- absorpcję wody spowodowaną podciąganiem kapilarnym w kg/m<sup>2</sup>√min

$$c_{ws} = \frac{m_{so,s} - m_{dry,s}}{A_s \cdot \sqrt{t_{so}}} \cdot 10^3 \quad (2)$$

gdzie:

$m_{so,s}$  - masa próbki po nasączeniu w czasie  $t$ , [g],

$m_{dry,s}$  - masa próbki po wysuszeniu, [g],

$t_{so}$  - czas nasycania, [min],

$A_s$  - powierzchnia całkowita próbki zanurzona w wodzie

— dla zapraw formowanych w beleczi  $A_s=40 \times 40=1600\text{mm}^2$ ,

— dla cegły klinkierowej podciągającej kapilarnie przez podstawę  $A_s=120 \times 125=15000\text{mm}^2$ ,

— dla cegły klinkierowej podciągającej kapilarnie przez lico  $A_s=65 \times 125=8125\text{mm}^2$ ,

W celu porównania wpływu warunków formowania zaprawy w spoinie na parametry struktury, z próbek zespolonych wycięto zaprawę z części środkowej (C) i skrajnej (B) a następnie pokruszono do odpowiedniej wielkości reprezentatywnej.

Do wyznaczenia parametrów struktury i rozkładu porowatości wykorzystano metodę porozymetrii rtęciowej.

Pomiary wykonano przy użyciu aparatu Autopore 9220 w zakresie ciśnień od atmosferycznego do 414 MPa, co pozwoliło na pomiar objętości i rozkładu wymiarów porów w zakresie promieni od ok. 7000 nm do 3 nm. Zgodnie z klasyfikacją IUPAC [8], wyróżniony zakres obejmuje: makropory (średnica porów 7000 – 50 nm) i mezopory (średnica porów 50 – 3 nm). Poza zasięgiem pomiaru znajdują się mezopory o najmniejszych wymiarach (3-2nm) i mikropory (<2nm).

Na podstawie pomiaru objętości rtęci penetrującej w pory przy określonym ciśnieniu równowagowym, wyznaczono rozkład objętości porów w funkcji ich promieni korzystając z prawa Washburna, wiążącego wielkość porów z ciśnieniem [4]:

$$\Delta p = - \frac{2\gamma \cos\theta}{r} \quad (3)$$

gdzie:

$r$  - promień porów

$\theta$  - graniczny kąt zwilżania rtęci

$\gamma$  - napięcie powierzchniowe rtęci

$\Delta p$  - różnica ciśnienia rtęci i ciśnienia gazu w porach  $\Delta p = p_1 - p_0$

Objętość rtęci penetrującej do porów jest mierzona, jako funkcja zastosowanego ciśnienia. Przed pomiarem próbka jest dokładnie ewakuowana, co pozwala na pominięcie ciśnienia  $p_0$ . (ponieważ  $p_1 \gg p_0$ ) i przyjęcie we wzorze Washburna  $\Delta p = p_1 = p$ . Postać końcowa równania wynika z porównania sił działających w kapilarach cylindrycznych: siły działającej z zewnątrz na przekrój kapilary  $\pi r^2 p$  i siły napięcia powierzchniowego wzdłuż obwodu kapilary równą  $-2\pi r \cos\theta$ . Stąd:

$$r = -\frac{2\gamma \cos\theta}{p} \quad (4)$$

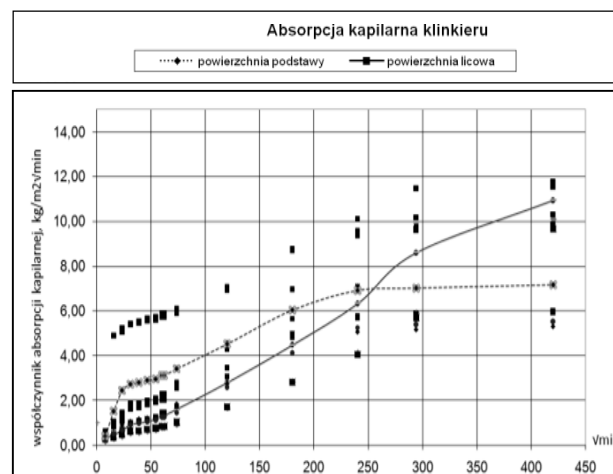
Proporcjonalność promieni porów do działającego ciśnienia jest spełniona przy założeniach, że pory mają kształt cylindryczny, napięcie powierzchniowe i kąt zwilżania rtęci są stałe podczas analizy, badany materiał nie ulega deformacji pod wpływem ciśnienia.

Oprócz rozkładu wymiarów porów na podstawie analizy porozymetrycznej wyznaczono gęstość materiałów w rtęci przy ciśnieniu 0,1 MPa i 414 MPa. Przy ciśnieniu 0,1 MPa rtęć nie penetruje do wnętrza próbek, a jedynie je obmywa, czyli zmierzona wartość jest gęstością objętościową. Pod ciśnieniem 400 MPa rtęć może penetrować pory szersze niż 3 nm w materiale, zatem zmierzona wartość  $dP$  jest gęstością pozorną (*apparent density*) uwzględniającą pory mniejsze niż 3 nm.

### 3. WYNIKI BADAŃ I Dyskusja

#### 3.1. Właściwości klinkieru

Otrzymane dla 6 prób wyniki absorpcji kapilarnej (rys.2) wskazują, że jednostkowe próbki charakteryzują znaczne różnice przy podciąganiu przez powierzchnię podstawy. Jest to szczególnie widoczne w fazie początkowej, w której dynamika narastania zawilgocenia jest bardzo wysoka. Dla próbek podciągających przez powierzchnię licową rozpiętość wyników jest niewielka a dynamika podciągania w analogicznym okresie bardzo niska. W przedłużonym czasie badania otrzymane wyniki wskazują na spowolnienie procesu podciągania przez powierzchnię podstawy i utrzymanie stałej prędkości w przypadku podciągania przez powierzchnię licową.



Rys.2. Absorpcja kapilarna klinkieru  
Fig. 2. Capillary absorption of clinker

Tabela 2. Podstawowe właściwości klinkieru  
Table 2. Basic properties of clinker

Gęstość objętościowa	Porowatość	Średni objętościowy wymiar porów	Początkowa absorpcja wody
$\frac{kg}{m^3}$	%	$\mu m$	$\frac{kg}{m^2} \cdot min$
2,2306	11,51	3,3627	1,70

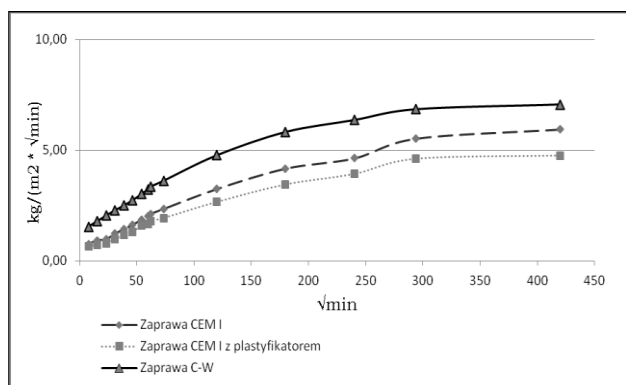
Wyznaczona na podstawie porozymetrii rtęciowej porowatość ogólna dla uśrednionej próbki klinkieru jest znacznie wyższa niż zbadana makroskopowo nasiąkliwość (5%). Wynika z tego, że w przypadku klinkieru zastosowanie uśrednionej próbki jest zbyt dużym uogólnieniem.

#### 3.2. Właściwości wybranych zapraw

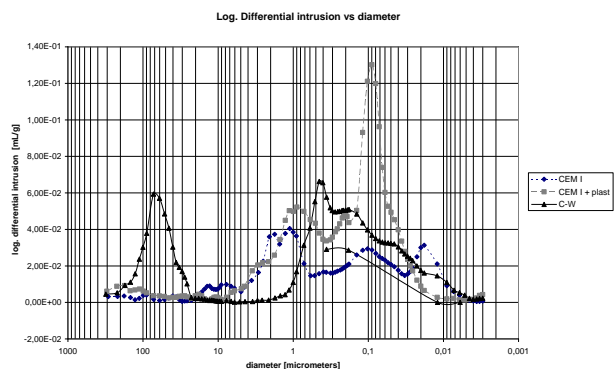
Badane zaprawy, z których praktycznie wyeliminowano wapno mają w stosunku do badanego klinkieru znacznie niższą nasiąkliwość i współczynnik absorpcji wody (tab.3). Najmniejsze różnice w stosunku do klinkieru wykazuje zaprawa cementowo-wapienna. Występuje również zgodność absorpcji kapilarnej.

Tabela 3. Podstawowe właściwości badanych zapraw  
Table 3. Basic properties of tested mortars

Materiał badany	Parametry struktury (na podstawie badań porozymetrycznych)			Współczynnik absorpcji wody wg PN EN1015-18
	Gęstość objętościowa	Porowatość	Średni objętościowy wymiar porów	
	$\frac{kg}{m^3}$	%	$\mu$	$\frac{kg}{m^2} \cdot \sqrt{min}$
Cementowa 1	1,8372	14,87	0,3163	0,77
Cementowa 2	1,9577	23,08	0,1790	0,66
c-w	2,0527	21,43	0,3201	1,55



Rys. 3 Absorpcja kapilarna badanych zapraw  
Fig. 3. Capillary absorption of tested mortars



Rys. 4. Rozkład porowatości w badanych zaprawach  
Fig. 4. Porosity distribution in the tested mortars

Przeprowadzone pomiary ilości i wielkości otwartych porów w zaprawach formowanych w bełeczki wykazały, że zaprawa cementowa bez dodatków charakteryzuje się niską porowatością, kształtowaną przez pory o dużych średnicach ( $1 \cdot 10^3 nm$ ).

Dodatek plastyfikatora spowodował wyraźny wzrost porowatości (tab. 3), w której dominujące średnice wynoszą  $1 \cdot 10^3 nm$  i  $0,09 \cdot 10^3 nm$ .

Wapno w zaprawie cementowej generuje porowatość zbliżoną do zaprawy z plastyfikatorem, ale rozkład porowatości jest bimodalny. Obok średnicy  $0,3 \cdot 10^3 nm$  funkcjonują również pory o średnicy  $70 \cdot 10^3 nm$ .

Wyniki uzyskane w badaniach dwóch zapraw uformowanych w spoinie i w bełeczkach podano w Tabeli 4. Porowatość zapraw C-W i Cementowej 2 jest o 2% i 3% wyższa w przypadku materiałów formowanych w bełeczkach.

Tabela 4. Wyniki porozymetrii rtęciowej dla wybranych zapraw  
Table 4. Results of mercury porosimetry tests for selected mortars

	Zaprawy ze spoiny próbki zespolonej				Zaprawy z bełeczek normowych	
	C-W		Cementowa 2		C-W	Cementowa 2
	C	B	C	B		
porowatość[%]	19.39	19.66	18.22	17.43	21.43	21.50
Gęstość szkieletu, [g/cm³]	2.60	2.62	2.48	2.53	2.61	2.50
Gęstość objętościowa, [g/cm³]	2.092	2.104	2.028	2.086	2.053	1.961
Całkowita powierzchnia porów, [m²/g]	3.862	4.494	7.034	6.550	5.537	3.129
Mediana średnicy porów (objętość), [µm]	0.623	0.573	10.31	7.118	0.320	0.2891
Mediana średnicy porów (powierzchnia), [µm]	0.016	0.0152	0.0056	0.0075	0.018	0.1402

Najniższą i najwyższą gęstość mają materiały z centralnych i bocznych części spoiny, podczas gdy materiały utwardzone w beleczkach mają gęstość pomiędzy skrajnymi wartościami. W obu przypadkach zaprawy formowane w beleczkach mają większą całkowitą objętość porów mierzoną w [ml / g]. Mediany objętościowe średnicy porów zapraw utwardzonych w beleczkach są niższe niż w przypadku zapraw ze spoiny.

#### 4. PODSUMOWANIE

W pracy zaprezentowano wyniki badań trzech zapraw cementowych pod kątem ich roli w kształtowaniu integralności muru licowego. Porównano własności zapraw pobranych z beleczek normowych i ze spoiny próbek zespolonych. Ustalono, że dodatek plastyfikatora do zaprawy cementowej powoduje znaczny wzrost porowatości przy utrzymaniu średnicy dominującej z dodatkowym wzrostem jej udziału w porowatości ogólnej.

W zaprawie cementowej stwierdzono wysoki udział porowatości, odpowiadającej za przepływ kapilarny. Zastąpienie plastyfikatora wapnem generuje strukturę zaprawy z niskim udziałem porów odpowiadających za przepływ kapilarny. Przekłada się to na początkową absorpcję wody, która w przypadku zaprawy cementowo-wapiennej jest zbliżona do badanego klinkieru. Dla zaprawy cementowo-wapiennej struktura w warstwie środkowej i skrajnej spoiny jest zbliżona. Zaprawa z plastyfikatorem wykazuje znacznie niższą gęstość objętościową w warstwie skrajnej spoiny. W efekcie powstaje powierzchnia zespolenia, która decyduje o niskiej jakości połączenia. Potwierdzeniem są badania przepuszczalności gazowej zapraw i migracji wody na powierzchniach zespolenia [2],[3].

Na podstawie otrzymanych wyników należy stwierdzić, że badania realizowane na beleczkach normowych nie pozwalają ocenić przydatności zaprawy do łączenia konkretnych elementów murowych. Bardziej miarodajne wyniki dają badania spoiny, ponieważ struktura zapraw w spoinie jest pochodną ich urabialności i decyduje o integralności muru.

#### FUNCTION OF MORTAR IN GENERATION OF FACING WALL INTEGRITY

**Summary:** In the work there are presented results of tests of selected mortars. Changes of structure were analyzed resulting from introduction of additions to mortars and their impact were defined on integrity of masonry.

#### Literatura

- [1] Moropoulou A. at all *Investigation of the technology of historic mortars*. Journal of Cultural Heritage Vol. 1, Issue 1, January 2000, ss. 45–58
- [2] Wesołowska M., Pawełkowski K., Kempieński M., Kaczmarek M. *Compatibility of masonry components from gas permeability tests*. Proceeding of 8th International Masonry Conference 2010 in Dresden
- [3] Wesołowska M., Kaczmarek A. *Migracja wody na powierzchni połączenia klinkier – zaprawa*. Materiały Budowlane, nr 9/2011 ss. 36-39
- [4] Washburn, E.W., 1921. Note on a method of determining the distribution of pore size in a porous material. Proc. Natl. Acad. Sci. USA. 7(4):115–116.
- [5] PN-EN 13139:2003 Kruszywa do zaprawy
- [6] PN-EN 459-1:2012 -Wapno budowlane -- Część 1: Definicje, wymagania i kryteria zgodności
- [7] PN-B-10104 Wymagania dotyczące zapraw murarskich ogólnego przeznaczenia. Zaprawy o określonym składzie materiałowym, wytwarzane na miejscu budowy
- [8] IUPAC Reporting Physisorption Data, Pure Appl. Chem., 57 (1985) 603J
- [9] PN-EN 998-2:2004 *Wymagania dotyczące zapraw do murów. Zaprawa murarska*
- [10] PN-EN772-11 *Metody badań elementów murowych. Określenie absorpcji wody elementów murowych z betonu kruszywowego, kamienia sztucznego i kamienia naturalnego spowodowanej podciąganiem kapilarnym oraz początkowej absorpcji wody elementów murowych ceramicznych*
- [11] PN-EN 1015-18:2003 *Metody badań zapraw do murów. Określenie współczynnika absorpcji wody spowodowanej podciąganiem kapilarnym stwardniałej zaprawy*
- [12] PN-EN 480-5:2008 *Domieszki do betonu, zaprawy i zaczynu. Metody badań. Oznaczanie absorpcji kapilarnej*