

dr inż. Piotr Matysek*
mgr inż. Michał Witkowski*

Ocena wpływu wilgotności na wytrzymałość murów ceglanych

Podczas oceny stanu technicznego budynków, np. które znalazły się w sytuacji powodziowej, coraz częściej pojawia się pytanie o wpływ zawilgocenia na nośność ścian ceglanych. Powszechnie jest przekonanie, że tradycyjne konstrukcje ceglane charakteryzują się „dużym zapasem nośności” i że jej obniżenie na skutek dużego zawilgocenia murów nie stanowi zagrożenia bezpieczeństwa. Stwierdzenie to może jednak nie być prawdziwe np. w przypadku obiektów przebudowywanych, w których zmieniono funkcje użytkowe czy wykonano nadbudowę, co związane jest ze zwiększeniem obciążeń na ściany. W trakcie przebudowy często następuje powiększenie otworów i redukcja przekroju filarów (wykonywanie witryn w ścianach parteru), a to powoduje wzrost obciążeń i wyciężenia w konstrukcji ceglanej.

Dotychczas opracowano szereg metod badawczych pozwalających określić poziom wilgotności konstrukcji ceglanych [1], [2], [3], [4], [5], natomiast zdecydowanie mniej jest badań dotyczących wpływu poziomu zawilgocenia na wytrzymałość cegieł, zapraw i murów. Cegły i zaprawa w stanie wilgotnym wykazują mniejszą wytrzymałość mechaniczną niż w stanie suchym, co jest spowodowane osłabieniem połączeń pomiędzy kryształami siatki strukturalnej. Spadek wytrzymałości na ściskanie materiału spowodowany zawilgoceniem określa współczynnik rozmiękania wyrażony stosunkiem wytrzymałości na ściskanie w stanie nasycenia wodą do wytrzymałości w stanie suchym. W przypadku większości materiałów w kapilarno-porowatych współczynnik ten wynosi $0,6 \div 0,9$.

Norma PN-EN 772-1 [6] zaleca wyznaczać znormalizowaną wytrzymałość na ściskanie elementów murowych wg zależności:

$$f_b = \eta_w \cdot \delta \cdot f_B$$

gdzie:

f_B – średnia wytrzymałość na ściskanie badanych elementów murowych;

η_w – współczynnik uwzględniający stan zawilgocenia badanych elementów;

δ – współczynnik przeliczeniowy uwzględniający wpływ „efektu skali” elementów murowych.

Zgodnie z normą PN-EN 772-1 [6] w przypadku elementów murowych nasyconych wodą (w stanie mokrym) należy przyjmować

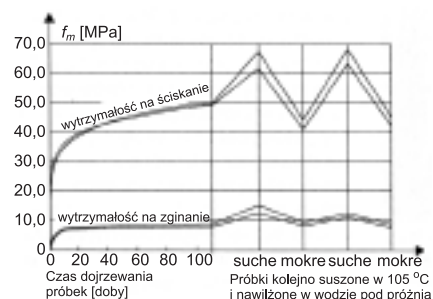
współczynnik $\eta_w = 1,2$, a elementów w stanie powietrzno-suchym równy 1,0. Oznacza to, że badając elementy murowe w stanie mokrym, można się spodziewać ok. 20% spadku wytrzymałości na ściskanie. Norma nie różnicuje współczynników ze względu na rodzaj materiału elementów murowych.

Pierwsze wyniki badań doświadczalnych na ceglach w różnym stanie wilgotności pobranych z budynków zlokalizowanych w 10 miejscowościach opublikowano w USA [7] w 1909 r. Próbkę zostały zanurzone w wodzie na okres jednego tygodnia. Wszystkie z wyjątkiem dwóch wykazały spadek wytrzymałości w porównaniu z próbkami badanymi w stanie powietrzno-suchym. Wytrzymałość na ściskanie cegieł w stanie mokrym wynosiła średnio 0,85 wytrzymałości określonej na próbkach w stanie powietrzno-suchym. Badania na próbkach rdzeniowych cegieł wycinanych z konstrukcji historycznych przedstawiono w pracy [8]. Stosunek wytrzymałości na ściskanie rdzeni ceglanych o różnym stopniu wilgotności do wytrzymałości próbek wysuszonych do stałej masy wynosił 0,75 – 1,25. Stwierdzono, że zmiana wytrzymałości na ściskanie nie zależy tylko od stopnia nasycenia porów, ale także od struktury porów w czerepie ceramicznym.

Wyniki badań własnych na ceglach historycznych przedstawiono w tabeli 1. Badania cegieł ręcznie formowanych (XIV – XIX w.) prowadzono na rdzeniach $\phi = 50 \text{ mm/h} = 50 \text{ mm}$,

$\phi = 30 \text{ mm/h} = 30 \text{ mm}$ oraz próbkach kostkowych o bokach 45 i 60 mm. Ze względów konserwatorskich nie było możliwe pobieranie większych elementów. Przed badaniem próbki rdzeniowe przechowywano przez co najmniej 7 dni w wodzie. We wszystkich przypadkach wytrzymałość na ściskanie cegieł w stanie mokrym była mniejsza niż w stanie powietrzno-suchym i wynosiła 0,84 wytrzymałości w stanie powietrzno-suchym.

Na rysunku [9] przedstawiono wpływ zawilgocenia na wytrzymałość zaprawy cementowej. Współczynnik rozmiękania wyznaczony z wykresu wynosi ok. 0,65. Nieco mniejsze wartości współczynnika rozmiękania uzyskano w badaniach amerykańskich – dla zapraw cementowych ok. 0,9, a dla zapraw cementowo-wapiennych 0,74 [10]. Największego spadku wytrzymałości należy się spodzie-



Zależność wytrzymałości na ściskanie i zginanie zaprawy cementowej w stanie suchym i zawilgoconym [9]

Tabela 1. Wpływ wilgotności na wytrzymałość cegieł ceramicznych wypalanych – badania własne

Rodzaj cegieł	Rodzaj elementu badawczego	Liczba elem. próbnych w stanie pow.-suchym [szt.]	Wilgotność w stanie pow.-suchym [%]	Liczba elem. próbnych w stanie mokrym [szt.]	Nasiąkliwość masowa [%]	Wytrzymałość na ściskanie [MPa]		Stosunek wytrzymałości $f_B^{(m)}/f_B^{(p/s)}$
						$f_B^{(p/s)}$	$f_B^{(m)}$	
Cegły palcówki (XIV – XVI wiek)	walce pk (odwarty) $\phi = 50 \text{ mm}$; $h = 50 \text{ mm}$	5	0,65	5	17,8	13,2	11,1	0,84
	walce pk (odwarty) $\phi = 30 \text{ mm}$; $h = 30 \text{ mm}$	5	0,62	5	–	11,8	11,5	0,97
	walce ws (odwarty) $\phi = 30 \text{ mm}$; $h = 30 \text{ mm}$	8	0,54	8	17,8	16,2	13,1	0,81
Cegły saskie (przełom XVII i XVIII wiek)	kostki o boku ok. 45 mm	3	0,54	3	19,8	19,7	14,3	0,73
Cegły XIX-wieczne (lata 80. XIX wieku)	kostki 60 mm	6	–	6	15,0	17,6	15,5	0,88

pk – rdzenie wycięte prostopadle do spoin wspornych; ws – rdzenie wycięte równolegle do spoin wspornych; $f_B^{(m)}$ – średnia wytrzymałość na ściskanie badanych cegieł w stanie mokrym; $f_B^{(p/s)}$ – średnia wytrzymałość na ściskanie badanych cegieł w stanie suchym

* Politechnika Krakowska

CANASTOL

Woda pod kontrolą

- środki hydrofobizujące do układów cementowych (tynki, zaprawy klejowe, szpachle)
- redukcja wykwitów (tynki, fugi)
- optymalizacja kosztów związanych z hydrofobizacją układu



RETENMAIER Polska Sp. z o.o.  Włókna prosto z natury

www.jrs.pl

Al. Jerozolimskie 181, Ochota Office Park, 02-222 Warszawa
tel. centrala: (022) 608 51 00, fax: (022) 608 51 51 • www.jrs.pl

wać w przypadku zapraw wapiennych na spoiwie niehydraulicznym. Długotrwały kontakt z wodą powoduje zmniejszenie spójności zaprawy i obniża przyczepność do cegieł. Gwałtowna redukcja wytrzymałości ze wzrostem wilgotności jest charakterystyczna dla zapraw glinianych i cegieł suszonych (niewypalanych). Brak jest jednak szerszych badań na ten temat. Z danych zamieszczonych w pracach [11], [12] można wnioskować o 5 – 6-krotnym spadku wytrzymałości gliny i cegieł niewypalanych w stanie wysokiej wilgotności środowiska w stosunku do stanu powietrzno-suchego. Materiały te nie nadają się do stosowania na obszarach zagrożonych powodzią. Z tego powodu w Polsce zachowało się niewiele obiektów z cegieł niewypalanych, a w zachowanych budowlach mury fundamentowe i cokołowe są wykonane zwykle z kamienia lub cegły palonej.

W tabeli 2 przedstawiono wyniki badań wpływu wilgotności na wytrzymałość na ściskanie i odkształcalność murów ceglanych. W murach na zaprawie wapiennej spadek wytrzymałości wynosił nawet 40%. Mniejsze spadki obserwowano w przypadku murów na zaprawie cementowej (14%) i cementowo-wapiennej (20%). Są to znacznie większe wartości niż wynikające z prostego przelicze-

Tabela 2. Wpływ wilgotności na wytrzymałość murów z cegły wypalanej

Rodzaj muru	Sposób realizacji stanu dużego zawilgocenia muru	Wilgotność masowa muru [%]	$f^{(m)}/f^{(p/s)}$
Filary ceglane na zaprawie wapiennej [13]	zanurzenie w wodzie przez 2 miesiące	stan p/s: 3,02 stan m: 15,05	0,71
Filary ceglane na zaprawie wapiennej [8]	bd.	stan p/s: 3,5 stan m: 14,26	0,76
	bd.	stan p/s: 3,5 stan m: 15,81	0,60
Filary ceglane na zaprawie cementowo-wapiennej [10]	48 godzin w pomieszczeniu z systemem zraszaczy	bd.	0,80
Filary ceglane na zaprawie cementowej [10]		bd.	0,86

$f^{(m)}$ – średnia wytrzymałość na ściskanie murów ceglanych w stanie mokrym; $f^{(p/s)}$ – średnia wytrzymałość na ściskanie murów ceglanych w stanie suchym; bd. – brak danych

nia wytrzymałości murów ze wzorów normowych z uwzględnieniem odpowiedniej redukcji wytrzymałości cegieł i zapraw. Świadczy to o wpływie dodatkowych czynników, które należy brać pod uwagę przy analizie murów w wysokim stanie wilgotności. Obok zmiany parametrów odkształceniowych można wymienić także zmiany na styku cegła-zaprawa w spoinach muru, które decydują w znacznej mierze o zarysowaniu i nośności ścian.

Przedstawione wyniki badań i analizy dotyczyły przypadków zmian właściwości mechanicznych murów na skutek znacznego zawilgocenia w krótkim czasie. Jak pokazuje praktyka, niebezpieczna może być również fa-

za nagłego suszenia ścian, generująca skurcz i powodująca powstanie mikropęknięć wpływających na spadek wytrzymałości murów. Osobnym problemem są zjawiska krystalizacji soli w strukturze materiałów murowych oraz procesy destrukcyjne związane z działaniem mrozu. W dłuższym czasie skutkują one obniżeniem wytrzymałości murów. W konstrukcjach użytkowanych przez wiele dziesiątków czy setek lat proces zmian wilgotności ma charakter niestabilizowany i może powodować narastanie defektów struktury murów, prowadząc do wyraźnych uszkodzeń konstrukcji wymagających wykonania napraw (dokończenie na str. 19)