

BADANIA I STUDIA – RESEARCH AND STUDIES

Bohdan Lewicki*

OCENA BEZPIECZEŃSTWA ISTNIEJĄCYCH KONSTRUKCJI MUROWYCH

Omówiono czynności związane z oceną bezpieczeństwa istniejących konstrukcji murowych. Podane zostały wskazówki dotyczące wyznaczania wytrzymałości na ściskanie elementów murowych i zaprawy użytych do wykonania muru oraz oceny na tej podstawie wytrzymałości charakterystycznej istniejącego muru, a także dotyczące wyznaczania wartości częściowego współczynnika bezpieczeństwa muru. Omówiono sposób oceny bezpieczeństwa konstrukcji murowych na podstawie badań za pomocą poduszek ciśnieniowych.

1. Ustalenia ogólne

- (1) Ocena bezpieczeństwa istniejącej konstrukcji jest niezbędna
- przed zamierzoną zmianą użytkowania obiektu, co w następstwie powoduje inne obciążenie ustroju nośnego – większe niż dotychczas lub innego rodzaju – albo kiedy obiekt, zaprojektowany jako tymczasowy, ma być nadal użytkowany – dłużej niż pierwotnie zamierzono,
 - przed podjęciem przebudowy istniejącego obiektu, podczas której do istniejącego ustroju nośnego mają być dodane nowe elementy konstrukcyjne,
 - przed podjęciem naprawy obiektu, którego ustrój nośny został uszkodzony na skutek wypadku lub innego oddziaływania wyjątkowego,
 - kiedy na skutek zaobserwowanych zmian w elementach ustroju nośnego obiektu, na przykład rys w ścianie czy przemieszczeń większych niż dopuszczalne, lub też z innego powodu zachodzi wątpliwość, czy nośność konstrukcji jest dostateczna.

(2) Zgodnie z § 2.1 „Rozporządzenia w sprawie warunków technicznych, jakim powinny odpowiadać budynki i ich usytuowanie” [1] wymagania podstawowe zawarte w tym rozporządzeniu obowiązują zarówno przy projektowaniu i realizacji nowych budynków, jak i podczas późniejszych zmian zachodzących w tych budynkach. W związku z tym przy ocenie bezpieczeństwa istniejących konstrukcji obowiązują podane w PN kryteria oceny i związane z nimi metody, wykazujące że kryteria te zostały dotrzymane. Dopusz-

*prof. dr inż.

czone w § 2.2 „Rozporządzenia w sprawie warunków...” spełnienie wymagań podstawowych ”w inny sposób niż podano w rozporządzeniu” nie zwalnia rzeczoznawcy w przypadku „innego sposobu oceny” od konieczności nawiązania do mających znaczenie podstawowe kryteriów oceny podanych w PN, wskazanych przez MSWiA jako obowiązujące.

(3) Zawarte w PN ustalenia szczegółowe dotyczące projektowania i obliczania konstrukcji ukierunkowane są głównie na projektowanie nowo wznoszonych obiektów i w związku z tym nie uwzględniają w pełni problematyki oceny bezpieczeństwa konstrukcji istniejących. Problematyka ta uwzględniona została natomiast w ISO 2394 [2] (aktualnie w trakcie ustanawiania jako PN/ISO) i ustalenia podane w tej normie należy uważać za ustalenia będące uzupełnieniem PN dotyczących projektowania konstrukcji – w zakresie oceny konstrukcji istniejących.

Zgodnie z ustaleniami podanymi w normie [2] analiza istniejącej konstrukcji, czyli wyznaczanie sił wewnętrznych, oraz jej wymiarowanie, czyli obliczeniowe wyznaczanie nośności i sztywności konstrukcji, powinny być oparte na ogólnych zasadach podanych w aktualnych PN. Przepisy, które obowiązywały w czasie, kiedy projektowano konstrukcję, mają znaczenie historyczne i służą jedynie do orientacji oceniającego daną konstrukcję. Specyfika oceny bezpieczeństwa istniejącej konstrukcji wyraża się w tym, że dokonując analizy konstrukcji należy się posłużyć danymi odpowiadającymi jej aktualnemu stanowi, a do wymiarowania konstrukcji trzeba przyjąć cechy wytrzymałościowe materiału stwierdzone podczas oględzin konstrukcji na miejscu.

Oddziaływania oczekiwane w zamierzonym okresie użytkowania budynku przyjmuje się zgodnie z obowiązującymi PN.

(4) Konstrukcje murowe, których dotyczy niniejszy artykuł, znajdują zastosowanie przede wszystkim jako ściany konstrukcyjne budynków, w związku z czym przedmiotem artykułu jest ocena bezpieczeństwa murowanych ścian nośnych w istniejących budynkach. Podane zalecenia mogą jednak służyć do oceny innego rodzaju konstrukcji murowych.

2. Metodyka opracowania oceny

(1) Dokonując oceny bezpieczeństwa konstrukcji należy zacząć od zapoznania się z dokumentacją konstrukcyjną obiektu – jeżeli jest dostępna – oraz od oględzin konstrukcji na miejscu w celu stwierdzenia:

– jaki jest ustrój nośny budynku, z jakich elementów konstrukcyjnych się składa (należy określić ich wymiary, rodzaj materiału, wzajemne usytuowanie oraz połączenia), jakiego rodzaju obciążeń należy oczekiwać w przewidywanym okresie użytkowania, czy zapewnione jest należyte przekazywanie tych obciążeń na grunt, jakie miejsca w konstrukcji są podczas tych czynności najbardziej obciążone (i dlatego trzeba im poświęcić szczególną uwagę), czy zapewniona jest spójność wewnątrzna całego ustroju i jego sztywność przestrzenna, czyli geometryczna niezmienność pod działaniem obciążeń poziomych;

– jaki jest stan materiałowy konstrukcji budynku, jakie rysy można zaobserwować w murze i o jakiego rodzaju siłach wewnętrznych rysy te świadczą;

– **jakiego rodzaju badania** będą potrzebne w celu określenia warunków przekazywania obciążeń na elementy konstrukcji będące przedmiotem oceny, a także w celu określenia własności wytrzymałościowych tych elementów konstrukcji.

Kiedy na skutek wypadku lub innych oddziaływań wyjątkowych uszkodzony został ustrój nośny obiektu i zachodzi konieczność jego naprawy, zadaniem eksperta jest stwierdzenie – już podczas pierwszej bytności na miejscu – czy konstrukcja może pozostać w obecnym stanie do czasu podjęcia naprawy, a także jakich doraźnych zabezpieczeń czy też wzmocnień należy dokonać, aby uszkodzona konstrukcja mogła dotrwać do czasu podjęcia naprawy.

Podjęcie naprawy konstrukcji może być konieczne także wówczas, jeżeli w czasie wizji lokalnej stwierdzono, że połączenia jej elementów nie spełniają wymagań podanych w PN lub nie są zgodne z ogólnymi zasadami sztuki inżynierskiej (np. „zestawienie w dotyk”, bez przewiązania murarskiego czy innego połączenia ścian różnie obciążonych). Nieprawidłowości takie nie zawsze stanowią zagrożenie bezpieczeństwa konstrukcji, z reguły jednak powodują powstanie rys w ścianie, co obniża wartość użytkową budynku.

(2) Po zebraniu danych pozwalających na ustalenie modelu konstrukcji odpowiadającego aktualnemu stanowi rzeczy i zamierzonym warunkom użytkowania oraz po uzyskaniu aktualnych danych wytrzymałościowych można przystąpić do wyznaczenia sił wewnętrznych występujących w konstrukcji budynku w sytuacji trwałej, w zmienionych warunkach użytkowania, względnie po zamierzonej przebudowie czy naprawie – a jeżeli trzeba to i w sytuacji przejściowej, w czasie przebudowy lub naprawy konstrukcji – a następnie przejść do oceny nośności konstrukcji, odpowiednio do stwierdzonych na miejscu cech wytrzymałościowych materiału.

Bardzo istotne jest ustalenie „warunków brzegowych” rozpatrywanych elementów konstrukcji, a więc w przypadku ściany murowej – sposobu przekazywania obciążenia z górnej kondygnacji, sposobu oparcia stropu na ścianie, a także – jeżeli występują obciążenia skupione – sposobu przyłożenia tych obciążeń.

Jeżeli w ścianie zaobserwowano rysy, należy ustalić, czy i w jakiej mierze rysy wpływają na zachowanie się ustroju nośnego budynku. Bardzo ważne jest ustalenie przyczyny występowania rys.

W zakresie analizy konstrukcji murowej i obliczania nośności jej elementów obowiązują ustalenia zawarte w PN-87/B-03002. Za wytrzymałość obliczeniową muru R_m przyjmuje się iloraz wytrzymałości charakterystycznej muru R_{mk} i częściowego współczynnika bezpieczeństwa γ_m , a w przypadku małych przekrojów muru – także γ_{m1} – podanych w PN.

Wyznaczenie na podstawie wizji lokalnej wytrzymałości charakterystycznej na ściskanie muru R_{mk} jest podstawowym zadaniem eksperta oceniającego bezpieczeństwo istniejącej konstrukcji.

W realizacji tego zadania ekspert kieruje się ustaleniami ogólnymi, podanymi w PN-87/B-03002, uzupełnionymi o wnioski wynikające z poczynionych obserwacji i badań, jak

o tym mowa w p.3. Możliwe są również pewne korekty wartości γ_m , zgodnie z sugestiami podanymi w p.4.

(3) Porównanie obliczeniowych wartości sił wewnętrznych, wywołanych przez przewidywane oddziaływania na budynek w zamierzonym okresie użytkowania, z obliczeniową nośnością elementów konstrukcji wyznaczoną odpowiednio do oszacowanych właściwości materiału w istniejącej konstrukcji, stanowi podstawę oceny bezpieczeństwa konstrukcji. W zależności od tej oceny formułuje się wnioski dotyczące:

- możliwości zamierzonej zmiany użytkowania obiektu – w stanie obecnym lub po wzmocnieniu konstrukcji – względnie potrzeby pewnych ograniczeń w tym zakresie,
- możliwości zamierzonej przebudowy obiektu i dodania nowych elementów konstrukcji,
- zakresu niezbędnych napraw uszkodzonej konstrukcji.

(4) Z oceną bezpieczeństwa łączy się ocena stanu granicznego użytkowalności konstrukcji, a więc nadmiernej szerokości rys w murze, a także możliwości uszkodzenia muru na skutek ugięć przyległych belek lub wsporników itp.

W PN-87/B-03002 został podany wzór na sprawdzenie pojawiania się rys w murach mimośrodowo ściskanych. Potrzeba sprawdzenia takiego przypadku nie występuje jednak często. Większe znaczenie ma sprawdzanie szerokości rys w ścianach poddanych ścinaniu w swojej płaszczyźnie, jak to ma miejsce w budynkach usytuowanych na terenach działalności górniczej lub w bardzo wyjątkowych ścianach usztywniających z uwagi na obciążenia poziome. Wskazówki w tym względzie można znaleźć w PrPN-B-03002 [3], które w dużej mierze zostały sformułowane na podstawie badań prowadzonych przez katedrę konstrukcji żelbetowych Politechniki Śląskiej [4].

Potrzeba obliczeniowego wykazania, że warunek nieprzekroczenia stanu granicznego używalności został dotrzymany, należy do przypadków szczególnych. Z reguły zabezpieczenie przed rysami w ścianie uzyskuje się przez odpowiednie zabiegi konstrukcyjne, przede wszystkim przez podział budynku dylatacjami na części, oddylatowanie nieocieplonego stropodachu od ścian, na których spoczywa, oddylatowanie ściany od stropu, jeżeli strop na ścianie nie może się oprzeć itp.

Bardzo istotną rzeczą jest także zwrócenie uwagi na odkształcalność przyległych części muru. Wzmacnianie konstrukcji murowej, wykonanej z nie bardzo mocnych elementów murowych na słabej zaprawie, fragmentami wykonanymi ze znacznie mocniejszych elementów murowych na mocnej zaprawie, bez oddylatowania nowych fragmentów muru od dawnych, względnie bez sztywnej przewiązki wyrównującej odkształcenia, prowadzi z reguły do powstania rysy w miejscu styku obu rodzajów muru [5].

3. Ocena wytrzymałości charakterystycznej muru

(1) Wytrzymałość charakterystyczną muru R_{mk} w istniejących konstrukcjach wyznacza się zwykle na podstawie znajomości wytrzymałości średniej na ściskanie elementów murowych f_B i zaprawy f_m , korzystając z podanej w PN zależności

$$R_{mk} = f(f_B f_m) \quad (1)$$

dla poszczególnych rodzajów elementów murowych i zaprawy.

Prawidłowa ocena wartości f_B jest bardzo istotna, ponieważ błąd w ocenie f_B rzędu 50% prowadzi do błędu w ocenie R_{mk} rzędu 30%, a tej samej wielkości błąd w ocenie f_m powoduje błąd w ocenie R_{mk} rzędu 10%.

Drugi sposób oceny R_{mk} – na podstawie znajomości wytrzymałości średniej muru R_m , wymaga oceny niejednorodności wytrzymałościowej muru.

W obu przypadkach miarodajna do oceny bezpieczeństwa konstrukcji jest wytrzymałość muru w strefie najbardziej wyętej. Identyfikacja wyników badań muru ze stanem muru w strefie najbardziej wyętej jest podstawowym elementem oceny bezpieczeństwa konstrukcji. Trudno w tym względzie o szczegółowe wskazówki. Decyduje wiedza i doświadczenie eksperta.

(2) Informację wstępną na temat stanu wytrzymałościowego muru uzyskuje ekspert na podstawie oględzin muru po zdjęciu tynku. Określa rodzaj zastosowanych elementów murowych, ich stan, wiązanie elementów w murze i rodzaj użytej zaprawy. Jeżeli stan elementów murowych jest zadowalający (np. brak jakichkolwiek oznak obecności margla w elementach ceramicznych lub podobnych oznak świadczących o postępującej korozji muru), a ekspert jest w stanie oszacować „na oko” wytrzymałość użytych elementów murowych (np. kiedy są to pustaki określonego typu o znanej wytrzymałości na ściskanie), a także wytrzymałość zaprawy (np. skrobiąc ją ostrym narzędziem) – może na tej podstawie, posługując się danymi zamieszczonymi w PN-87/B-03002, określić wytrzymałość charakterystyczną muru R_{mk} , a następnie – wytrzymałość obliczeniową R_m . Wartości R_{mk} podane w PN-87/B-03002 odpowiadają wytrzymałości charakterystycznej na ściskanie muru z elementów produkowanych w latach 1950-1990. Wytrzymałość na ściskanie muru wykonanego z elementów produkowanych we współczesnych zakładach o zmodernizowanej technologii jest wyraźnie wyższa. Przy ocenie bezpieczeństwa istniejącej konstrukcji, zwłaszcza jeśli jest to ocena „na oko”, lepiej pozostać przy dolnej obwiedni wyników.

(3) Dokładniejszą informację na temat wytrzymałości elementów murowych użytych do wykonania muru uzyskuje się poddając badaniu poszczególne elementy wyjęte z muru. Wyjęty element czyści się z zaprawy i bada w prasie w sposób przepisany w PN dla badań wytrzymałości na ściskanie takich elementów.

Badany w prasie element murowy powinien być nieuszkodzony. Drobne ukruszenia naroży należy uzupełnić odpowiednio mocną zaprawą, tak aby uzyskany wynik – iloraz siły niszczącej przez przekrój brutto – można było uważać za „normową” wytrzymałość na ściskanie elementu murowego.

Wilgotność badanego elementu powinna być w miarę możliwości identyczna z wilgotnością muru.

Zgodnie z PN-70/B-12016 w celu określenia wytrzymałości elementów murowych należy zbadać nie mniej niż osiem elementów. Do oceny wytrzymałości muru w istniejącej konstrukcji może wystarczyć mniejsza liczba elementów murowych, jednak nie mniej niż 3. Kiedy liczba badanych elementów jest mniejsza niż 6, za wytrzymałość średnią należy przyjmować 0,9 wartości średniej arytmetycznej.

Wytrzymałość zaprawy szacuje się najczęściej „na oko”, drapiąc ją ostrym narzędziem, aby przekonać się o jej rodzaju i wytrzymałości, co zaleca się czynić z niedomiarem. Bliższe

informacje uzyskuje się pobierając próbki zaprawy z muru i badając ich skład chemiczny. Kiedy spoiny są dużej grubości i próbki zaprawy mają dostateczne wymiary, można badać ich wytrzymałość na ściskanie i przeliczać uzyskane wyniki na „normową” wytrzymałość zaprawy, określoną na połówkach beleczek o wymiarach $40 \times 40 \times 160$ mm.

Znając „normowe” wartości f_B i f_m można określić – postępując się PN-87/B-03002 – „normową” wartość R_{mk} .

(4) Kiedy mur wykonany jest z cegły pełnej, zamiast wyjmować cegłę z muru, można wycinać wiertłem rdzeniowe próbki i na podstawie ich wytrzymałości na ściskanie określać wytrzymałość cegły.

W Rosji jest to metoda standardowa. Próbki rdzeniowe mają średnicę 60 mm, a przelicznik wytrzymałości próbki na wytrzymałość cegły wynosi (według informacji uzyskanej od k.n.t. A.Labosina z CNISK w Moskwie):

0,90 – kiedy cegły w murze nie wykazują rys,

0,85 – kiedy rysy dają się zaobserwować.

Aktualnie w ITB prowadzone są badania w celu oceny wiarygodności tej metody.

(5) Kiedy niezbędne jest ściślejsze określenie wytrzymałości charakterystycznej muru, a przede wszystkim, kiedy chodzi o wytrzymałość muru, dla którego w PN-87/B-03002 nie ma podanej wartości R_{mk} , wycina się próbki muru z konstrukcji i poddaje się je badaniu wytrzymałościowemu. W wyniku otrzymuje się wytrzymałość średnią muru R , na podstawie której, szacując wartość v_m wskaźnika zmienności muru, ustala się wytrzymałość charakterystyczną muru.

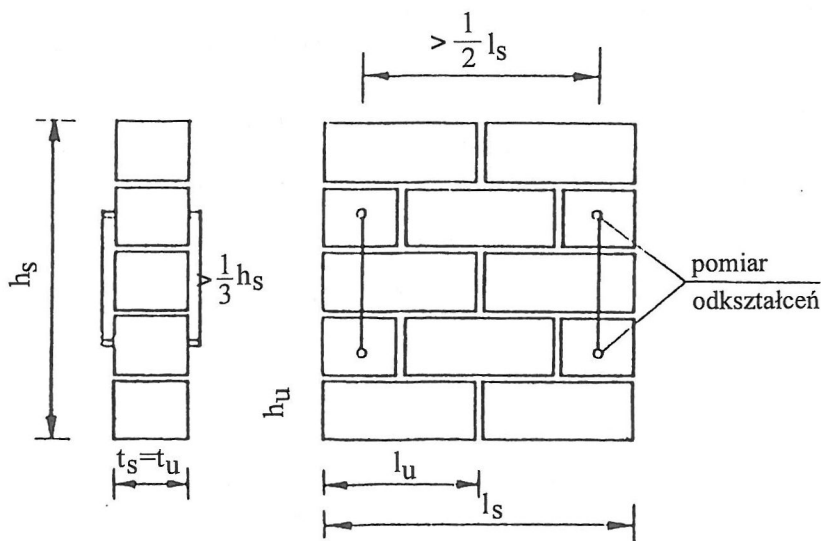
Jest rzeczą oczywistą, że próbki muru nie można wycinać z miejsca najbardziej wyciężonego, ponieważ łączyłoby się to z zagrożeniem konstrukcji. Trzeba jednak, aby były podstawy do utożsamiania próbki muru z murem w miejscach wyciężonych.

W celu uzyskania pełnej informacji konieczne jest, aby próbka muru składała się przynajmniej z dwóch elementów murowych i łączącej je zaprawy, a więc aby była dostatecznie duża, tak żeby na podstawie badania takiej próbki można było – stosując odpowiednie przeliczniki – określić „normową” wytrzymałość muru na ściskanie, której dotyczą wartości R_{mk} i wzory obliczeniowe podane w PN.

Wytrzymałość „normowa” muru na ściskanie to wytrzymałość badana na elementach próbnym o wymiarach jak na rysunku 1 i w tablicy 1. Na takich elementach próbnym dokonuje się również pomiaru odkształceń w celu wyznaczenia wartości E modułu sprężystości muru.

Jeżeli element próbny składa się z mniejszej liczby elementów murowych i nie występuje w nim spoina pionowa, to uzyskuje się z takich badań wytrzymałość wyższą o 15–25% i więcej, odpowiednio do rodzaju i wymiarów elementów murowych.

Pobranie z muru próbki o dostatecznie dużych wymiarach i jej transport do laboratorium w sposób wykluczający możliwość jej rozdzielania na części jest bardzo kłopotliwym zadaniem (pomijając trudności w znalezieniu w konstrukcji odpowiedniego miejsca, z którego można by wyjąć dostatecznie dużą próbkę bez zagrożenia bezpieczeństwa całej konstrukcji). Tego rodzaju badania wytrzymałości muru podejmuje się zwykle tylko w szczególnych przypadkach, kiedy zastosowanie innych metod oceny R_{mk} nie jest możliwe lub dość wiarygodnie.



Rys. 1. „Normowe” elementy próbne do badania wytrzymałości muru na ściskanie

Tablica 1. Wymiary „normowych” elementów próbnych do badania wytrzymałości muru na ściskanie (wymiary w mm)

Wymiary elementu murowego		Wymiary murowego elementu próbnego			
l_u	h_u	długość l_s	wysokość h_s	szerokość t_s	
≥ 300	≥ 150	$l_s \geq 2 l_u$	$h_s \geq 5 h_u$	$5 t_s \leq h_s \leq 8 t_u$ $h_s \geq l_s$	$t_s = t_u$
	> 150		$h_s \geq 3 h_u$		
> 300	≤ 150	$l_s \geq 1,5 l_u$	$h_s \geq 5 h_u$		
	> 150		$h_s \geq 3 h_u$		

(6) Aby uniknąć trudności związanych z wycinaniem i badaniem dużych części muru, stosuje się również wycinanie próbek rdzeniowych z muru, w których skład wchodzi część elementów murowych i łączącej je zaprawy. Średnica tego rodzaju próbek musi być jednak odpowiednio duża, nie mniejsza niż 150 mm.

Próbki muru wycinane w kierunku poziomym prostopadle do płaszczyzny ściany [6] mają ograniczoną przydatność z uwagi na trudności w ustaleniu przeliczników wytrzymałości muru uzyskanej z badania próbki na „normową” wytrzymałość muru. W pełni przydatne są natomiast próbki wycinane w kierunku pionowym, zgodnie z kierunkiem działania obciążenia. Wyników uzyskanych z badań takich próbek nie należy jednak utożsamiać z wytrzymałością „normową” muru, której dotyczą wzory na wytrzymałość muru podawane przez różnych autorów [7], lecz należy posługiwać się w tym celu

odpowiednimi współczynnikami przeliczeniowymi. Wartości tych współczynników zależą – jak można przypuszczać – nie tylko od wymiarów próbki, lecz również od rodzaju cegły i zaprawy.

(7) Wartości R_{mk} podane w PN-87/B-03002 wyznaczono na podstawie uzyskanych z badań wytrzymałości średnich, aproksymowanych wzorem Oniszczyka [8]. Jest to wzór dość złożony. Przyjęty w PrPN-B-03002 [3] za Eurokodem 6 [9] wzór potęgowy w postaci:

$$f_k = K f_b^{0,65} f_m^{0,25} \quad (2)$$

gdzie: f_k – wytrzymałość charakterystyczna muru na ściskanie,
 K – parametr doświadczalny,
 f_b – średnia „normowa” wytrzymałość na ściskanie elementów murowych,
 f_m – średnia wytrzymałość na ściskanie zaprawy

jest wzorem dogodniejszym do stosowania.

Trzeba jednak dodać, że występująca we wzorze (2) „normowa” wytrzymałość na ściskanie elementów murowych f_b jest inna niż w dotychczasowych PN, a mianowicie jest to iloczyn wytrzymałości elementu murowego wyznaczanego jako siła niszcząca przez pole przekroju elementu murowego (czyli jak – według PN – dla elementów murowych o wymiarach większych niż cegła zwykła) i współczynnika przeliczeniowego δ , sprowadzającego wytrzymałość elementu murowego o wymiarach takich, jakie ma, do wytrzymałości zastępczego elementu o wysokości i mniejszym wymiarze poziomym równych 100 mm.

Wartości współczynnika przeliczeniowego δ zostały podane w tablicy 2.

Tablica 2. Wartości współczynnika δ

Wysokość elementu, mm	Mniejszy wymiar poziomy elementu, mm				
	50	100	150	200	250 lub więcej
50	0,85	0,75	0,70	–	–
65	0,95	0,85	0,75	0,70	0,65
100	1,15	1,00	0,90	0,80	0,75
150	1,30	1,20	1,10	1,00	0,95
200	1,45	1,35	1,25	1,15	1,10
250 lub więcej	1,55	1,45	1,35	1,25	1,15

Dużą dogodność przy korzystaniu ze wzoru (2) stanowi możliwość posługiwania się do wyznaczania wartości f_b również wynikami badań wytrzymałości połówek cegieł (połówkę cegły łatwiej wyjąć ze ściany niż całą cegłę).

Postępując się wzorem (2), wartości R_{mk} podane w PN-87/B-03002 można aproksymować – przy założeniu, że wskaźnik zmienności v_m , którym posłużono się przy opracowaniu wartości R_{mk} podanych w PN-87/B-03002 [8], ustalony dla wzoru Oniszczyka, można przyjąć również dla wzoru (2) – w sposób następujący [10]:

- dla murów z cegieł ceramicznych pełnych, z cegieł wapienno-piaskowych i z cegieł kratówek (według terminologii zastosowanej w PrPN – murów z elementów murowych grupy 1 o objętości otworów nie większej niż 25%) wskaźnik zmienności $v_m = 0,15$

$$R_{mk} = 0,30 f_b^{0,65} f_m^{0,25} \quad (3)$$

- dla murów z pustaków ceramicznych (elementów murowych grupy 2 o objętości otworów od 25 do 50%) wskaźnik zmienności $v_m = 0,22$

$$R_{mk} = 0,28 f_b^{0,65} f_m^{0,25} \quad (4)$$

- dla murów z cegły dziurawki (elementów murowych grupy 3) wskaźnik zmienności $v_m = 0,22$

$$R_{mk} = 0,25 f_b^{0,65} f_m^{0,25} \quad (5)$$

Podane wyżej wartości R_{mk} dotyczą murów bez spoiny podłużnej w środku ściany. Obecność takiej spoiny obniża wartość R_{mk} o 15%.

Wytrzymałość średnią muru na ściskanie \bar{R}_m wyznacza się ze wzoru

$$\bar{R}_m = \frac{R_{mk}}{1 - 1,64 v_m} \quad (6)$$

gdzie v_m – jak podano przy omówieniu wzorów od (3) do (5).

Prawie identyczne wartości parametru K dla wartości R_{mk} ustalił D. Pume [11] na podstawie badań muru z cegieł czeskich produkowanych w latach 1955-1992.

W PrPN-B-03002 parametry K we wzorach na f_k – czyli na R_{mk} według oznaczenia w PN-87/B-03002 – są nieco wyższe, co łączy się z wyższymi wartościami γ_m w PrPN niż w PN. Do czasu wprowadzenia nowej PN – co nastąpi, jak można przypuszczać, nie prędzej niż w roku 2000 – obowiązuje PN-87/B-03002 i do tej normy nawiązują wartości liczbowe podane w niniejszym artykule.

(8) Postępowanie się przy wyznaczaniu wytrzymałości charakterystycznej muru istniejącej konstrukcji wartościami R_{mk} podanymi w normach projektowania konstrukcji, w PN-87/B-03002, względnie obliczonymi ze wzorów (3), (4), (5), stanowi w większości przypadków oszacowanie dolne tych wartości. „Normowe” wartości R_{mk} odnoszą się do wyników badań murów wykonanych z zastosowaniem różnych elementów murowych należących do grupy elementów, której dotyczą podane wartości R_{mk} , w związku z czym – biorąc pod uwagę błąd modelu – potrzeba dodatkowego zapasu bezpieczeństwa.

W konkretnej konstrukcji murowej, wykonanej z elementów murowych tej samej produkcji, zróżnicowanie wytrzymałości muru jest zwykle mniejsze niż przyjęto do wyznaczenia „normowych” wartości R_{mk} , co można wykorzystać do oceny bezpieczeństwa takiej konstrukcji.

Do oceny jednorodności wytrzymałościowej muru w istniejącej konstrukcji są bardzo przydatne badania sklerometryczne za pomocą młotka Schmidta – na ściskanie elemen-

tów murowych w murze [12], jako uzupełnienie badania wytrzymałości na ściskanie jednego czy dwóch elementów murowych wyjętych z muru.

Sposób wykorzystania badań sklerometrycznych do wyznaczania wytrzymałości charakterystycznej muru R_{mk} , który można zalecić, przedstawia się następująco:

Badania sklerometryczne muru wykonuje się w kilku miejscach, co najmniej w trzech, nie tylko w części muru, z której pobrano elementy do badania wytrzymałości, lecz również w innych, także – jeżeli to możliwe – w miejscach najbardziej wyęzonych, dokonując każdorazowo co najmniej sześciu odczytów. Bada się również sklerometrycznie element czy elementy pobrane z muru i na tej podstawie kalibruje się przelicznik wskazań młotka Schmidta określających wytrzymałość na ściskanie elementów murowych badanych w murze. Oblicza się wartość średnią wytrzymałości na ściskanie elementów murowych (z reguły będzie to wartość inna niż wytrzymałość na ściskanie elementu wyjętego z muru i zbadanego w prasie) i na tej podstawie – wytrzymałość średnią muru \bar{R}_m , korzystając ze wzorów (3), (4), (5). Wyznacza się także wskaźnik zmienności v_e wytrzymałości na ściskanie elementów murowych uzyskany z badań sklerometrycznych.

Na temat wpływu niejednorodności wytrzymałościowej elementów murowych na niejednorodność wytrzymałościową muru mamy niewiele wiadomości. Z badań K. Kirtschiga [13] wynika, że przy $v_e \leq 0,15$ wskaźnik zmienności prawidłowo wykonanego muru wynosi $v_m \leq 0,10$. Podobnie niskie rozrzuty wytrzymałości muru uzyskiwano w ITB, a także w innych placówkach badawczych w przypadku dużej jednorodności wytrzymałościowej elementów murowych.

Można zatem przyjąć, że kiedy $v_e \leq 0,15$, to wytrzymałość charakterystyczna R_{mk} jest równa 0,85 wytrzymałości średniej muru obliczonej ze wzorów od (3) do (5). Oznacza to wzrost wartości R_{mk}

dla muru z elementów grupy 1 – o 13%,

dla muru z elementów grupy 2 i 3 – o 33%.

Dla $v_e \geq 0,15$, a szczególnie dla $v_e \geq 0,25$, należy pozostać przy wartościach R_{mk} , określonych za pomocą wzorów od (3) do (5). Oznacza to dużą niejednorodność wytrzymałościową elementów murowych i konieczność zwrócenia szczególnej uwagi (potrzebę dodatkowych badań sklerometrycznych) na wyęzione miejsca w murze.

(9) Jednorodność wytrzymałościową muru można określić także za pomocą innych metod nieniszczących, na przykład metod ultradźwiękowych [12], [14], [15]. Wydaje się jednak, że badania sklerometryczne są prostsze w realizacji, szczególnie jeśli chodzi o mury z cegły, pustaków i bloczków. Metody ultradźwiękowe niezastąpione są natomiast w badaniach struktury wewnętrznej muru, poszukiwaniu słabych miejsc itp., co ma szczególne znaczenie w przypadku oceny bezpieczeństwa murów o większej grubości w budynkach zabytkowych.

4. Częściowy współczynnik bezpieczeństwa γ_m

(1) W przeciwieństwie do wytrzymałości charakterystycznej R_{mk} , wyznaczonej na podstawie danych statystycznych, częściowy współczynnik bezpieczeństwa γ_m jest

wartością nominalną, przyjmowaną do norm głównie na podstawie tradycji i doświadczenia [16]. Współczynnik ten uwzględnia:

- możliwość wystąpienia wytrzymałości niższych niż R_{mk} ,
- błąd współczynnika przeliczeniowego stosowanego do określenia wytrzymałości materiału w konstrukcji na podstawie badania próbki,
a w przypadku muru dodatkowo
- błąd in minus wzoru (2) określającego wytrzymałość muru jako funkcji samej tylko wytrzymałości na ściskanie elementów murowych i zaprawy, z pominięciem dalszych czynników, jak na przykład wytrzymałość elementów murowych na rozciąganie.

Wartości γ_m podane w PN znajdują swoje uzasadnienie w tradycji naszego budownictwa i, jak uczy praktyka, zapewniają należyte – łącznie z określonymi w PN pozostałymi wartościami częściowych współczynników bezpieczeństwa, a także wymaganiami konstrukcyjnymi – bezpieczeństwo konstrukcji projektowanych zgodnie z PN.

Ocena bezpieczeństwa istniejących konkretnych konstrukcji różni się jednak od zapewnienia bezpieczeństwa konstrukcji projektowanych i stąd możliwość, a niekiedy i konieczność odstępstw od „normowych” wartości γ_m , jeżeli ekspert uzna to za uzasadnione na podstawie wyników badań.

(2) Generalną wskazówką do ewentualnej korekty wartości γ_m^* w konkretnym przypadku jest orientacja na wartość globalnego współczynnika γ_o wyrażona za pomocą wzoru

$$\gamma_o = \frac{\gamma_f \gamma_m}{j} \quad (7)$$

gdzie: γ_f, γ_m – częściowe współczynniki bezpieczeństwa obciążenia (γ_f) i materiału (γ_m),
 j – stosunek wytrzymałości charakterystycznej do wytrzymałości średniej muru.

Zgodnie z PN-67/B-03002 globalny współczynnik bezpieczeństwa γ_o , oznaczony w tej normie przez k , wynosił 2,5. Przyjmując na wyczucie inżynierskie, że nawet przy bardzo jednorodnym murze, kiedy $j = 0,85$, wartość γ_o powinna być nie mniejsza niż 2,0, uzyskuje się ze wzoru (7) przy uśrednionej wartości $\gamma_f = 1,25$

$$\gamma_m \geq 1,3 \quad (8)$$

i to jest granica dolna, do której można redukować wartości γ_m w przypadku dużej jednorodności wytrzymałościowej muru, dotyczącej również miejsc najbardziej wyężonych. Warunkiem jest tu jednak, aby przy tak niskiej wartości γ_m nie pojawiły się w murze rysy pod obciążeniem charakterystycznym, co może się zdarzyć przy słabej zaprawie.

*Wartość γ_m , podobnie jak omawiana dalej wartość γ_o , nie uwzględnia „dodatkowego współczynnika materiałowego γ_{m1} ”, jak się go określa w PN-87/B-03002, który jest wielkością oddzielną, uwzględniającą niepewności związane z małym przekrojem muru.

(3) Wartość γ_m przedstawia się niekiedy [16] w postaci iloczynu jako

$$\gamma_m = \gamma_{ma} \gamma_{mb} \gamma_{mc} \quad (9)$$

w którym poszczególne czynniki γ_{mi} odpowiadają wymienionym wyżej niepewnościom uwzględnianym przez wartość γ_m .

Iloczynowa postać γ_m nie ma żadnego uzasadnienia teoretycznego, jest jednak dogodnym podejściem do kalibracji wartości γ_m , odpowiednio do warunków występujących w rozpatrywanej konstrukcji.

Kiedy jednorodność wytrzymałościowa muru, a przynajmniej elementów murowych, jest dobrze rozeznana w całej konstrukcji, we wzorze (7) można przyjąć (jest to moja sugestia, do rozważenia przez eksperta, który ją może przyjąć lub nie) $\gamma_{ma} = 1,15$, a kiedy rozeznanie to jest niepełne – $\gamma_{ma} \geq 1,3$.

Wartość współczynnika γ_{mb} , uwzględniającego błąd oceny wytrzymałości muru na ściskanie, na podstawie badania próbki szacowałbym na

$\gamma_{mb} =$ od 1,05 do 1,07, kiedy – stosując metody nieniszczące – stwierdzono, że mur w strefach najbardziej wyężonych jest równie dobry, jak w pozostałych częściach ściany, i $\gamma_{mb} \geq 1,20$, kiedy takich badań nie przeprowadzono.

Parametry doświadczalne, zarówno we wzorze Oniszczyka, którym posłużono się do wyznaczenia wartości R_{mk} w PN-87/B-03002, jak i w potęgowym wzorze (2) przyjętym w PrPN-B-03002, wyznaczone zostały z pewnym zapasem, w związku z czym w zwykłych warunkach, kiedy mur wykonano prawidłowo, z należyтым przewiązaniem elementów murowych, a grubość spoin jest jednakowa i nie większa niż 18 mm, można przyjąć $\gamma_{me} \approx$ od 1,00 do 1,03. Kiedy jednak w badanej konstrukcji zaobserwowano istotne odchylenia w wykonaniu muru, należy przyjąć $\gamma_{me} \geq 1,15$.

(4) Przy pełnym rozeznaniu wytrzymałościowym muru, kiedy wartość R_{mk} ustalona została na podstawie badań wytrzymałości wyjętych z muru elementów murowych, a w uzupełniających badaniach sklerometrycznych stwierdzono należytą jednorodność wytrzymałościową muru, przyjąć można wartości γ_m niższe niż podano w PN-87/B-03002, nawet $\gamma_m = 1,3$, jeżeli nie zachodzi obawa pojawienia się rys w murze.

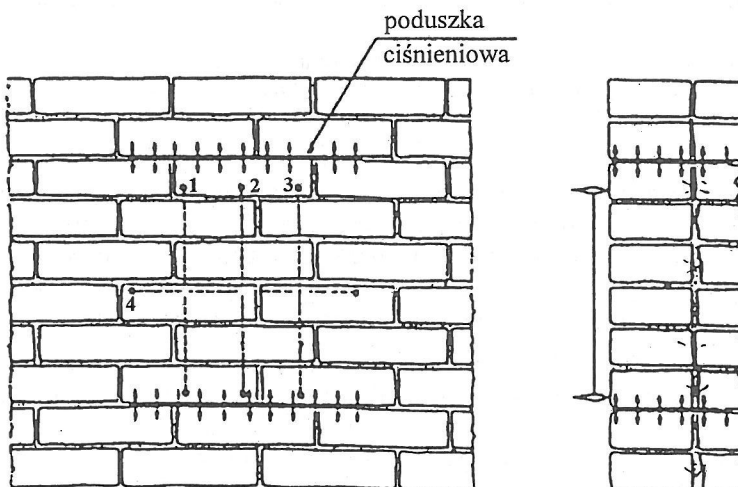
Przy niepełnej informacji na temat jednorodności wytrzymałościowej muru, a także przy stwierdzonym niestarannym wykonawstwie, może zachodzić potrzeba przyjęcia wartości γ_m większych niż podane w PN-87/B-03002.

5. Ocena bezpieczeństwa konstrukcji na podstawie badań za pomocą poduszek ciśnieniowych

(1) W krajach Europy Zachodniej i USA w celu oceny bezpieczeństwa istniejących konstrukcji murowych podejmuje się badania muru na ściskanie za pomocą poduszek ciśnieniowych (flat jacks), wprowadzanych w spoiny poziome muru, opróżnione uprzednio z zaprawy (rys. 2).

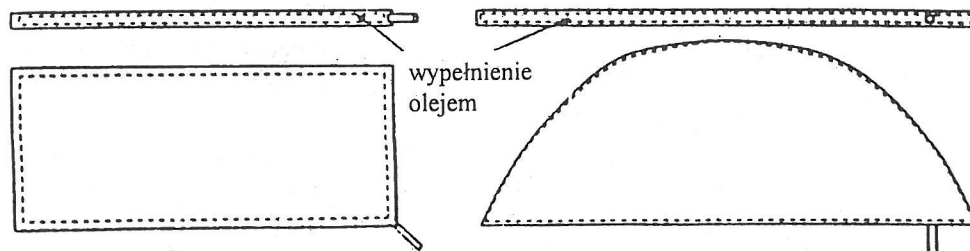
Nieco wiadomości na temat tej metody podano już w naszym piśmiennictwie [17], [18], ale praktycznie nie znalazła ona dotychczas u nas zastosowania. Odmienność tej metody

w stosunku do klasycznej oceny bezpieczeństwa konstrukcji na podstawie znajomości wytrzymałości muru polega na tym, że w przypadku tej metody przedmiotem badania jest nie wytrzymałość muru, ale możliwość bezpiecznego przeniesienia przez mur określonej siły, odpowiadającej przewidywanemu obciążeniu konstrukcji. Zachodzi tu więc analogia do obciążenia próbnego konstrukcji, kiedy przedmiotem badania jest nie nośność konstrukcji, ale możliwość bezpiecznego przeniesienia określonego obciążenia konstrukcji.



Rys. 2. Badanie muru za pomocą poduszek ciśnieniowych [20]
1, 2, 3, 4 – czopiki do pomiaru odkształceń

(2) W myśl ustaleń RILEM [19], [20] stosowane do badań poduszki ciśnieniowe mają kształt prostokątny o stosunku boków 1 : 2 lub zaokrąglony, aby lepiej dopasować się do opróżnionego piłą tarczową miejsc w spoinie (rys. 3).



Rys. 3. Stosowane poduszki ciśnieniowe [19], [20]

Poduszki są wykonane ze stali nierdzewnej o grubości od 0,8 do 1,0 mm i mają grubość około 10 mm. Pole powierzchni poduszki powinno wynosić co najmniej 80 000 mm².

Spoiny poziome, w które mają być wprowadzone poduszki ciśnieniowe, opróżnia się z zaprawy za pomocą piły tarczowej na głębokość nie mniejszą niż 2/3 grubości muru. Spoiny oddalone są od siebie od 430 do 500 mm, co odpowiada w przybliżeniu długości poduszki.

Na powierzchni muru wydzielonej przez spoiny, w których umieszczone są poduszki ciśnieniowe, nakleja się czopiki do pomiaru – za pomocą tensometru nasadowego – odkształcenia muru pod działaniem naprężenia wywołanego przez poduszki ciśnieniowe (rys. 2).

Obie poduszki ciśnieniowe są zasilane przez jedną pompę.

Naprężenia σ_p wywołane w murze wyznacza się [20] ze wzoru

$$\sigma_p = K_m K_a p \quad (10)$$

gdzie: K_m – wartość stała uwzględniająca charakterystykę geometryczną poduszki i sztywność spawanego połączenia blach poduszki na obwodzie; wielkość tę wyznacza się skalując poduszkę w prasie wytrzymałościowej,

K_a – stosunek pola pustej spoiny po usunięciu zaprawy do pola poduszki,

p – ciśnienie wywołane w poduszce przez pompę zasilającą.

Pomiary prowadzi się zwykle do naprężenia w murze odpowiadającego maksymalnemu obciążeniu badanego elementu konstrukcji w przewidywanych warunkach użytkowania obiektu lub niewiele większego. Z reguły naprężenie to nie przekracza 0,5 szacowanej wytrzymałości muru. Badania można też doprowadzić do naprężenia bliskiego wytrzymałości, ale nie zawsze jest to potrzebne z uwagi na cel badania, a ponadto przy większym wytężeniu pojawiają się rysy w murze.

W trakcie badania prowadzony jest pomiar odkształceń muru. Wyraźne odchylenie wykresu σ (ϵ) od prostej jest – obok pojawienia się rys w murze – oznaką znacznego wytężenia muru i powoduje zwykle przerwanie badania.

Znajomość związku σ (ϵ) i wynikającego stąd modułu sprężystości ma istotne znaczenie w przypadku ewentualnej przebudowy czy dobudowy nowych elementów konstrukcji. Różna odkształcalność przyległych elementów jest zawsze źródłem pojawiania się rys w miejscu połączeń.

Posługując się poduszkami ciśnieniowymi można badać także wielkość naprężeń ściskających, występujących aktualnie w murze [19]. Tego rodzaju badania stosowane są od lat w geotechnice w celu określenia naprężeń w górotworze i zapewne stąd przeniesiono tę metodę do badania muru.

(3) Jakkolwiek na temat metody badania muru za pomocą poduszek ciśnieniowych istnieją już ustalenia RILEM [19], [20], nie wszystkie kwestie dotyczące interpretacji wyników badań można uznać za wyjaśnione.

Zgodnie z normą [20] naprężenia σ_p określone za pomocą wzoru (10) można uważać za naprężenia w stanie jednoosiowym, a błąd w oszacowaniu tej wielkości nie przekracza 15%. Można mieć wątpliwości, czy tak jest istotnie we wszystkich przypadkach. Sama metoda jest jednak bardzo interesująca i warto byłoby podjąć ją również w kraju, wyjaśniając jednocześnie jeszcze nie dość czytelne szczegóły interpretacyjne wyników badań.

6. Podsumowanie

1. Ocena bezpieczeństwa istniejącej konstrukcji powinna być oparta na ogólnych zasadach zapewnienia niezawodności konstrukcji podanych w obowiązujących polskich normach.

2. Przyjęty do analizy istniejącej konstrukcji jej model obliczeniowy powinien odpowiadać stwierdzonemu podczas wizji lokalnej stanowi faktycznemu, a cechy wytrzymałościowe muru przyjmowane do obliczeń sztywności i nośności konstrukcji należy ustalać na podstawie obserwacji i badań muru w istniejącej konstrukcji, z uwzględnieniem miejsc najbardziej wyężonych, odpowiednio do warunków przyszłego użytkowania obiektu.

3. Wstępną informację na temat stanu wytrzymałościowego muru uzyskuje ekspert na podstawie oględzin muru po zdjęciu tynku. Jeżeli informacja ta nie wystarcza do oceny bezpieczeństwa konstrukcji, wytrzymałość charakterystyczną muru R_{mk} określa się zwykle na podstawie badania wytrzymałości na ściskanie elementu murowego pobranego z muru, a także badania jednorodności wytrzymałościowej muru. Metodę wyznaczania wartości R_{mk} istniejącej konstrukcji podano w p.3.

4. Podane w PN wartości współczynnika γ_m można – a niekiedy trzeba – korygować odpowiednio do wyników badań muru istniejącej konstrukcji. Wskazówki w tym względzie podano w p.4.

5. Stosowane w krajach Europy Zachodniej i USA badanie na ściskanie muru za pomocą poduszek ciśnieniowych (flat jacks) pozwala na ocenę bezpieczeństwa konstrukcji bez potrzeby wyznaczania uprzednio wytrzymałości muru. Metoda ta wydaje się bardzo atrakcyjna i należałoby zainteresować się nią również w Polsce.

Piśmiennictwo

- [1] Rozporządzenie ministra GPIB z dnia 14 grudnia 1994 w sprawie warunków technicznych, jakim powinny odpowiadać budynki i ich usytuowanie (Dz.U. nr 10, 1955) z kolejnymi uzupełnieniami z dnia 4 kwietnia 1996 i 30 września 1997
- [2] PrPN-ISO 2394 Ogólne zasady niezawodności konstrukcji
- [3] PrPN-B-03002 Niezbrojone konstrukcje murowe. Projektowanie i obliczenia konstrukcji – w trakcie ustanawiania przez PKN jako PN
- [4] Kubica J.: Ściany z cegły w złożonym stanie obciążenia; rozprawa doktorska, Politechnika Śląska, 1996
- [5] Janowski Z.: Nośność i trwałość konstrukcji murowych w obiektach zabytkowych. Konferencja „Inżynieryjne problemy odnowy staromiejskich zespołów zabytkowych”. Kraków, maj 1998
- [6] Wittig W. i in.: Experimentelle und theoretische Untersuchungen zur Zuverlässigkeit von Mauerwerkskonstruktionen. *Bauplanung – Bautechnik*, 1988
- [7] Kaczmarczyk S., Mierzwa J.: Ocena wytrzymałości muru na podstawie badań próbek rdzeniowych. Konferencja „Inżynieryjne problemy odnowy staromiejskich zespołów zabytkowych”. Kraków, maj 1998

- [8] Lewicki B., Gajownik R., Jarmontowicz R., Sieczkowski J.: Obliczenia statyczne konstrukcji murowych według normy PN-87/B-03002. *Inżynieria i Budownictwo*, 3, 1988
- [9] ENV-1996-1-1995 Eurokod 6. Projektowanie konstrukcji murowych. Część 1-1. Reguły ogólne. Reguły dla murów niezbrojonych, zbrojonych i sprężonych. ITB, Warszawa 1995
- [10] Lewicki B. i in.: Podstawy projektowania konstrukcji murowych niezbrojonych i zbrojonych według Eurokodu 6; proj. bad. nr 7T07E 012 08 – KBN, 1998
- [11] Pume D.: Compressive strength of masonry made of Czech clay units produced between 1955 and 1992. *Acta Politechnica (Praha)*, 3, 1994
- [12] Runkiewicz L.: Ocena jakości materiałów w obiektach zabytkowych. Konferencja „Inżynieryjne problemy odnowy staromiejskich zespołów zabytkowych”. Kraków, maj 1998
- [13] Kirtschig K.: Zur Beschreibung der Mauerwerksdruckfestigkeit über die mittlere oder charakteristische Steindruckfestigkeit. 9th Intern. Brick/Block Masonry Conference, Berlin 1991
- [14] Kuczyński W., Samujło H.: Zastosowanie aparatury ultradźwiękowej do oceny wytrzymałości murów ceglanych. *Inżynieria i Budownictwo*, 10, 1961
- [15] Runkiewicz L., Rodzik W.: Badania nieniszczące wytrzymałości murowanych obiektów zabytkowych. *Inżynieria i Budownictwo*, 2, 1990
- [16] Lewicki B.: Obliczanie konstrukcji metodą częściowych współczynników bezpieczeństwa w ujęciu Eurokodów. *Prace Instytutu Techniki Budowlanej – Kwartalnik*, 4, 1995
- [17] Ciesielski R.: Nowe możliwości analizy i diagnostyki budowli zabytkowych. *Inżynieria i Budownictwo*, 9, 1998
- [18] Matysek P.: Metody określania wytrzymałości na ściskanie murów ceglanych w obiektach zabytkowych. Konferencja „Inżynieryjne problemy odnowy staromiejskich zespołów zabytkowych”. Kraków, maj 1998
- [19] RILEM LUMD2: In-situ stress tests on masonry based on the flat jacks: 1991
- [20] RILEM LUMD3: In-situ strength/elasticity tests on masonry based on the flat jack: 1991

SAFETY ESTIMATION OF EXISTING MASONRY STRUCTURES

Summary

Activities connected with safety estimation of existing masonry structures are discussed in the paper. Methods of defining compression strength of masonry units and of mortar in existing structure are given as well recommendation for establishing of characteristic strength and partial factor γ_m . Safety estimation based on tests making use of flat jacks is discussed.

Praca wpłynęła do Redakcji 7 I 1999