

BADANIA I STUDIA – RESEARCH AND STUDIES

Bohdan Lewicki\*

## DIAGNOSTYCZNA WYTRZYMAŁOŚĆ OBLICZENIOWA BETONU I MURU

Diagnostyczna wytrzymałość obliczeniowa materiału  $f_d$  została przedstawiona jako funkcja wytrzymałości średniej  $f_m$ , współczynnika zmienności  $v_x$  i błędu  $\Delta_d$  metody zastosowanej w celu określania wytrzymałości materiału. Dokonano przeglądu stosowanych metod badania wytrzymałości betonu i muru w istniejących konstrukcjach i oszacowano wielkość błędu  $\Delta_d$  metody. Znając wartości  $v_x$  i  $\Delta_d$ , można wyznaczyć z tablic 3–4 wartości częściowego współczynnika bezpieczeństwa  $\gamma_{cd}$  i  $\gamma_{md}$  decydujące o diagnostycznej wytrzymałości betonu  $f_{cd}$  i muru  $f_d$ .

### 1. Wprowadzenie

(1) Bezpieczeństwo istniejącej konstrukcji budowlanej ocenia się obliczeniowo w ten sam sposób, w jaki stwierdza się bezpieczeństwo konstrukcji projektowanej. Wymagane – czyli społecznie akceptowalne – prawdopodobieństwo nieprzekroczenia stanu granicznego nośności jest w obu przypadkach takie samo, a dotrzymanie tego wymagania umożliwia normowa metoda częściowych współczynników bezpieczeństwa. Jakkolwiek w definicji bezpieczeństwa konstrukcji mówi się o „społecznie akceptowalnym prawdopodobieństwie nieprzekroczenia stanów granicznych”, to normy projektowania nie zawierają żadnej probabilistycznej miary w tym względzie, a wyrażają ją poprzez system normowych wartości obliczeniowych oddziaływań i wytrzymałości materiału.

Odmienne przyjmuje się natomiast do obliczeń bezpieczeństwa konstrukcji projektowanych i istniejących wartości wielkości zmiennych występujących w metodzie częściowych współczynników bezpieczeństwa, przede wszystkim – obliczeniową wytrzymałość materiału  $f_d$  równą

$$f_d = \frac{f_k}{\gamma_m} \quad (1)$$

gdzie:  $f_k$  – wytrzymałość charakterystyczna materiału, 5% kwantyl rozkładu statystycznego wytrzymałości materiału,

$\gamma_m$  – częściowy współczynnik bezpieczeństwa.

\* prof. dr inż., dr h.c.

Projektant przyjmuje do swoich obliczeń podane w normach wartości  $f_d$ , stanowiące uogólnienie wieloletnich doświadczeń i tradycji, spełniającej oczekiwanie społeczne. Rzeczoznawca przeprowadza natomiast badania diagnostyczne i na tej podstawie może dowiedzieć się więcej o istniejącej konstrukcji niż projektant wie o konstrukcji, która ma być zrealizowana dopiero w przyszłości. Na podstawie przeprowadzonych badań rzeczoznawca może więc w konkretnym przypadku przyjąć do obliczeń inne wartości  $f_k$  i  $\gamma_m$  niż podane w normie, a stąd i inne, diagnozowane wartości  $f_d$ , zapewniające lepiej zachowanie normowego prawdopodobieństwa nieprzekroczenia stanu granicznego nośności, niż gdyby się posłużył wartościami  $f_k$  i  $\gamma_m$  podanymi w normie. Stosowane metody badań diagnostycznych mają jednak różną wiarygodność, którą trzeba uwzględnić przy ustalaniu wartości  $f_d$ . Wiarygodność metod badań wytrzymałości betonu i muru oraz sposób wyznaczania na podstawie uzyskanych wyników badań diagnostycznej wytrzymałości obliczeniowej obu tych materiałów są przedmiotem niniejszego opracowania.

Obiektywnymi przesłankami do wyznaczenia diagnostycznej wartości  $f_d$  jest wytrzymałość średnia materiału  $f_m$  i wskaźnik zmienności tej wytrzymałości  $v_x$ , uzależniony od średniego odchylenia standardowego  $s$  zbioru wyników badań wytrzymałości materiału – wzór (5), patrz dalej, p.4 (1). Ustalenie tych wartości jest podstawowym celem badań diagnostycznych. Jeżeli brak podanych wyżej danych, pozostaje tylko ocena wytrzymałości obliczeniowej materiału „na oko” doświadczonego inżyniera, czyli zależna od jego intuicji.

Doświadczenie inżyniera jest zawsze niezbędne przy ocenie bezpieczeństwa istniejącej konstrukcji i tego przede wszystkim wymaga się od rzeczoznawcy. Sama znajomość obiektywnych przesłanek tu nie wystarcza, choć jest pomocna w podejmowaniu racjonalnych decyzji.

I taki jest cel zaleceń podanych w niniejszym artykule: pomoc rzeczoznawcy w jego autonomicznych decyzjach dotyczących wytrzymałości obliczeniowej betonu i muru w istniejącej konstrukcji.

(2) Podstawowe ustalenia dotyczące konstrukcji z betonu zawiera PN-B- 03264:1999, a konstrukcji murowych – PN-B-03002:1999. Sposób wyznaczania wytrzymałości betonu względnie muru podają specjalistyczne PN, powoływane w normach projektowania konstrukcji. I tylko tak ustalone wartości są miarodajne do obliczeń wykazujących spełnienie normowych warunków bezpieczeństwa konstrukcji. Odstępstwo od normowego sposobu badania elementów próbnych w celu wyznaczenia wytrzymałości materiału – nie mówiąc już o innym kształcie elementów próbnych – wymaga współczynników korekcyjnych, sprawdzających uzyskane wyniki do wartości, które uzyskano by przestrzegając ściśle wymagań normowych.

Na uzależnienie wytrzymałości betonu i muru od warunków wyznaczania tych wartości trzeba zwrócić szczególną uwagę przy ocenie metod badań diagnostycznych i wiarygodności podawanych wzorów określających wytrzymałość materiału na podstawie przeprowadzonych badań. Kiedy brak wyraźnej informacji, że punktem odniesienia jest wytrzymałość betonu, a szczególnie wytrzymałość muru, ustalona w sposób normowy, trzeba uznać, że jest tu możliwy systemowy błąd oceny i należy uwzględnić ten fakt przy ustalaniu wartości  $\gamma_m$ .

## 2. Wiarygodność metod badania wytrzymałości betonu

(1) Wytrzymałość betonu wyznacza się ściskając w prasie kostki lub walce betonowe, w związku z czym najbardziej wiarygodną metodą określenia wytrzymałości betonu w istniejącej konstrukcji jest pobranie z tej konstrukcji odpowiedniej próbki betonu, kostki lub walca, i zbadanie jej wytrzymałości w prasie. Ponieważ wytrzymałość betonu uzyskana z badania próbek zależy od kształtu i wymiarów próbek, wyniki badań próbek betonu pobranych z konstrukcji trzeba przeliczyć na wytrzymałość normowych kostek o boku 150 mm ( $f_{c,cube}$ ) lub walców o średnicy 150 mm i długości 300 mm ( $f_{c,cyl} = f_c$ ).

Najczęściej stosowanym sposobem pobierania próbek betonu z konstrukcji jest ich wycinanie odwiertnicami z wiertłami koronkowymi [1]. W zależności od średnicy wiertła uzyskuje się walce o średnicy od 10 mm do 200 mm, najczęściej  $\phi$  50 i  $\phi$  100 mm. Długość powinna być dostatecznie duża, aby wysokość próbki stawianej do prasy była nie mniejsza od jej średnicy.

Przed zbadaniem próbki w prasie usuwa się zwykle jej część przypowierzchniową grubości  $\geq 0,2$  średnicy próbki, z reguły o innej wytrzymałości niż beton w głębszej części konstrukcji. Po takim zabiegu uzyskany wynik badania próbki odwzorowuje lepiej wytrzymałość betonu, miarodajną do oceny nośności konstrukcji.

Dokładność wyznaczania wytrzymałości średniej betonu na odwiertach z istniejącej konstrukcji szacuje się na  $\pm 10\%$  [2]. Trzeba jednak dodać, że na wytrzymałość próbek ma wpływ wiele czynników ubocznych.

Próbki odwiercone w kierunku równoległym do kierunku betonowania konstrukcji wykazują wytrzymałości do 10% wyższe od wytrzymałości próbek odwiercanych w kierunku prostopadłym. Większy wpływ na wytrzymałość próbek ma jednak – podobnie zresztą jak i przy badaniu próbek formowanych ze świeżego betonu – sposób przygotowania powierzchni wspornych, na które oddziałuje siła w prasie. Próbki ze szlifowanymi powierzchniami wspornymi wykazują wytrzymałość od 10% do 15% większą niż próbki wyprawiane zaprawą i od 20% do 25% większą niż próbki ściskane poprzez warstwy piasku (kapsle piaskowe).

Wytrzymałość próbek, których wysokość jest równa średnicy próbki, jest o około 20% większa od wytrzymałości próbki o wysokości równej dwóm średnicom próbki.

Podsumowując relacjonowane wyżej wyniki badań L. Brunarski [1] stwierdza, że wytrzymałości odwiertów o średnicy 50 mm i 100 mm, ściskanych równoległe do kierunku betonowania, mało się różnią od wytrzymałości kostek normowych o boku 150 mm. Współczynniki przeliczeniowe na wytrzymałość  $f_{c,cube}$  wynoszą: w przypadku odwiertów o średnicy 50 mm równej wysokości walca – 1,08, w przypadku odwiertów  $\phi$  100 – 1,05. Mimo że liczność relacjonowanych badań była znaczna,  $n \approx 1500$ , wartości te „należy traktować jako orientacyjne i w znacznym stopniu zależne od techniki wycinania odwiertów i próbek oraz warunków przeprowadzania badań” [1].

(2) Obok badania odwiertów pobranych z konstrukcji wytrzymałość betonu w konstrukcji można wyznaczać również metodami nieniszczącymi, sklerometrycznymi lub ultradźwiękowymi.

Metody sklerometryczne mają na celu określenie twardości betonu w miejscu, do którego przykłada się sklerometr, i na tej podstawie jest oceniana wytrzymałość betonu na ściskanie jako funkcja twardości betonu. Rozróżnia się metody nacisku i metody odcisku.

Dużą zaletą badań sklerometrycznych jest łatwość ich wykonania i możliwość ustalania wytrzymałości betonu w różnych miejscach konstrukcji, w tym również w miejscu jej dużego wyężenia. Są więc one bardzo przydatne do oceny jednorodności wytrzymałościowej betonu w całej konstrukcji. Błąd bezwzględny oceny wytrzymałości betonu nie odgrywa w tym przypadku większej roli, bo współczynnik jednorodności – czyli stosunek wytrzymałości charakterystycznej  $f_k$  do wytrzymałości średniej  $f_{cm}$

$$k = \frac{f_k}{f_{cm}} \quad (2)$$

– jest wielkością bezwymiarową i stąd można oczekiwać, że wynikający z niewłaściwego wyskalowania wskaźnika sklerometru błąd w ocenie wartości  $f_k$  znosi się tu – albo przynajmniej redukuje do minimum – z błędem w ocenie wartości  $f_{cm}$ . Wadą metod sklerometrycznych jest to, że nie uwzględniają różnicy między wytrzymałością betonu na powierzchni i wewnątrz elementu.

Zasady metody nacisku wykorzystuje się stosując młotek Schmidta. Zwolniony z zaczepu trzpień sklerometru uderza w beton, a następnie odskakuje na określoną wysokość, zwaną liczbą odbicia. Przy odpowiednim wyskalowaniu wskaźnika sklerometru liczba odbicia pozwala określić wytrzymałość betonu w badanym miejscu.

Szywność badanej części konstrukcji powinna być na tyle mocna, aby uniemożliwić wytracanie energii uderzenia trzpienia na pobudzenie drgań konstrukcji. Głównym wymaganiem jest jednak należyte wyskalowanie wskaźnika przyrządu, odpowiednio do rodzaju betonu, którego wytrzymałość ma być przedmiotem badań, a przede wszystkim – rodzaju i cech sprężystych kruszywa, a także jego składu granulometrycznego. Istotny jest też kąt, pod jakim ustawia się sklerometr w stosunku do badanego podłoża. Jeżeli wszystkie wymagania metody zostały spełnione, dokładność oceny wytrzymałości betonu można szacować na  $\pm 10\%$  [2]. Przy nieprawidłowym wyskalowaniu przyrządu błąd oszacowania może być bardzo duży.

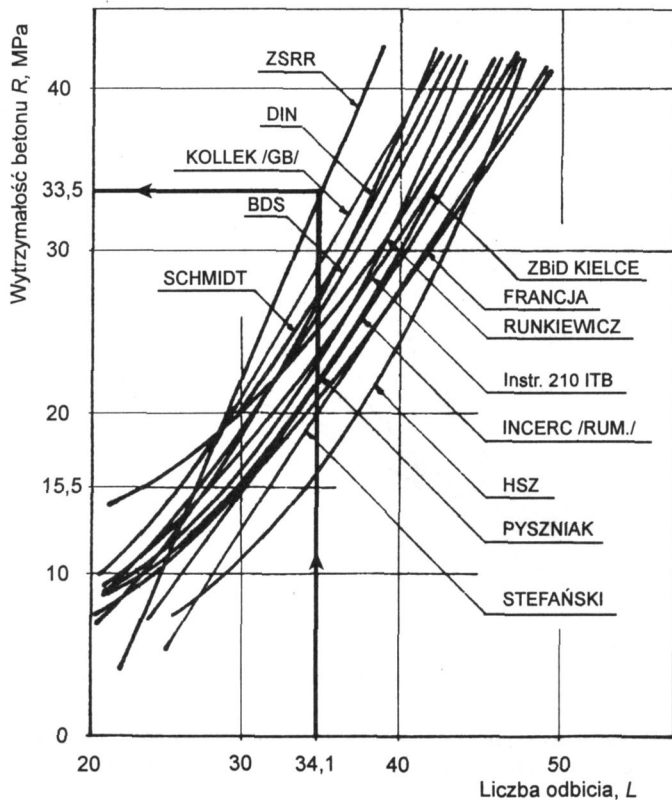
Pogląd na różnice w ocenie wytrzymałości betonu ustalonej za pomocą młotka Schmidta, a stąd i na wiarygodność metody, daje rysunek 1, ilustrujący zestawione przez L. Runkiewicza „przykładowe zależności empiryczne dla sklerometrów Schmidta” [2].

Sądząc z rysunku 1, błąd oszacowania wartości  $f_c$  może sięgać 50%, a nawet więcej, jeżeli wziąć pod uwagę możliwość, że nie we wszystkich przedstawionych przykładach (szczególnie zagranicznych) wartość  $f_c$  oznacza wytrzymałość betonu określoną w ten sam sposób.

Na zasadzie metody odcisku jest zbudowany młotek Poldiego. Twardość betonu ocenia się na podstawie pomiaru średnicy wcisku kulki  $\phi 20$  mm w badane miejsce betonu. Ograniczenia w posługiwaniu się młotkiem Poldiego są analogiczne do ograniczeń w posługiwaniu się młotkiem Schmidta. Głównym wymaganiem jest należyte wyskalowanie przyrządu.

Metody ultradźwiękowe są oparte na związku między prędkością fali ultradźwiękowej w ośrodku stałym a własnościami sprężystymi tego ośrodka. W ośrodkach jednorodnych i przestrzennie nieograniczonych występują tylko fale podłużne i poprzeczne. Kiedy jednorodność ośrodka jest zaburzona, a jego wymiary są ograniczone – jak to się dzieje w praktyce – występuje jednocześnie kilka rodzajów fal, co sprawia, że występujące tu zależności są znacznie bardziej złożone niż te, na których oparto metody sklerometryczne.

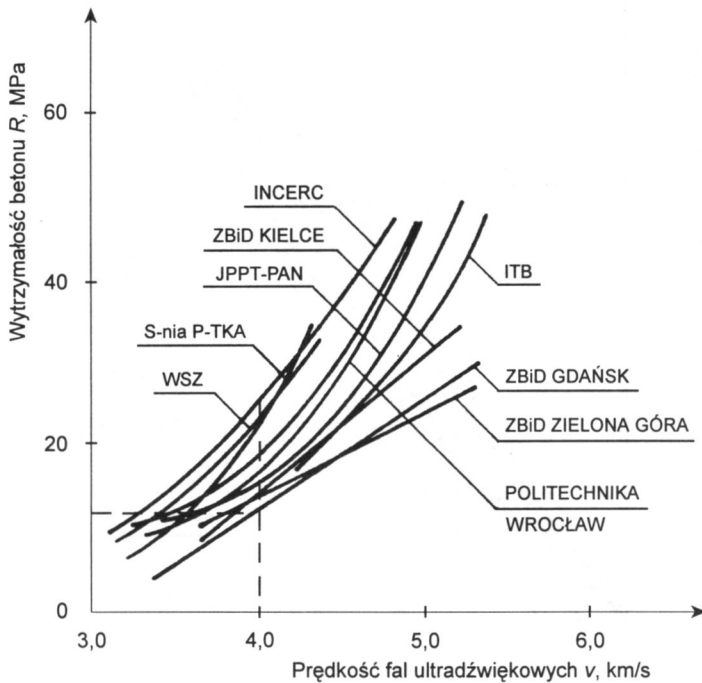




Rys. 1. Różnice oceny wytrzymałości betonu, badanej młotkiem Schmidta [2]  
 Fig 1. Differences in concrete strength tested by sclerometric Schmidt hammer [2]

Stosowane w praktyce metody ultradźwiękowe upraszczają z reguły problem do pomiaru prędkości  $v$  fali podłużnej. Aparatura pomiarowa składa się z sondy nadawczej i odbiorczej. Najczęściej ustawia się je na przeciwległych stronach badanego elementu i mierzy się czas przejścia impulsu. Znając drogę impulsu, określa się prędkość przejścia fali podłużnej i na tej podstawie – posługując się uprzednio ustalonymi zależnościami – przyjmuje się wytrzymałość betonu. Dokładność pomiaru czasu przejścia fali szacuje Brunarski [1] na 2,5%. Nie ten czynnik decyduje jednak o dokładności oceny wytrzymałości betonu. Podobnie jest w przypadku metod sklerometrycznych – aparatura pomiarowa wymaga wyskalowania, odpowiednio do rodzaju badanego betonu, co ogranicza zakres przypadków, kiedy można spodziewać się dokładnych wyników, analogicznie jak przy posługiwaniu się metodami sklerometrycznymi.

Różnice w ocenie wytrzymałości betonu metodą ultradźwiękową ilustrują przedstawione na rysunku 2 „przykłady charakterystycznych zależności  $\frac{f}{c}$ ” zebrane przez Runkiewicza [2].



Rys. 2. Różnice w ocenie wytrzymałości betonu badanej metodą ultradźwiękową [2]  
 Fig. 2. Differences in concrete strength tested by ultrasonic method [2]

Podobnie jak w przypadku metod sklerometrycznych błąd oszacowania wartości  $f_c$  może sięgać, jak się zdaje, 50%.

Dużą zaletą metody ultradźwiękowej jest możliwość uzyskania informacji dotyczącej jakości betonu wewnątrz konstrukcji, wykrycia wad strukturalnych itp. Posługiwanie się aparaturą pomiarową wymaga jednak odpowiednich kwalifikacji. Sama aparatura jest też droższa niż młotek Schmitta czy Poldiego i to jest zapewne główny powód, że metody ultradźwiękowe stosuje się obecnie znacznie rzadziej niż metody sklerometryczne [1].

(3) Wytrzymałość betonu można również badać dziabiąc go – jak pisze B. Bukowski [3] – młotkiem murarskim:

- bardzo słabe betony  $f_c \approx 5$  MPa dają się łatwo rozkruszyć ostrzem młotka murarskiego; już lekkie dziabanie wykrusza piasek i kamyki,
- słabsze betony  $f_c \approx 10$  MPa kruszą się również, ale już z pewnym oporem,
- średnie betony  $f_c \approx 20$  MPa nie rozpadają się po dziabaniu młotkiem, tylko odpadają płytkami,
- mocne betony  $f_c > 20$  MPa rozpryskują się tylko przy silnych uderzeniach ostrzem młotka.

„Badanie betonu tym sposobem i trafna ocena wytrzymałości wymagają naturalnie pewnej wprawy” – dodaje Bukowski.

Podobne wskazówki, zestawione w tablicy 1, podaje z własnej praktyki Brunarski [1], zastrzegając jednak, że wyniki takiej oceny „nie mogą być przyjmowane do sprawdzających obliczeń statycznych ustroju konstrukcyjnego”. Dopuszczyłbym taką ocenę, jednak pod warunkiem, że dokona jej rzeczoznawca o odpowiednim doświadczeniu, a błąd oceny zostanie ustalony na 30% (w przypadku praktyka o dużym doświadczeniu w posługiwaniu się taką metodą) do 50% (w przypadku praktyka o przeciętnym doświadczeniu).

Tablica 1. Orientacyjna ocena wytrzymałości betonu w konstrukcji [1]

Table 1. Rough estimation of concrete strength in the structure [1]

Dźwięk po uderzeniu zwykłym młotkiem	Ślady po próbie		Odczyt na skali młotka Schmidta	Hipotetyczna wytrzymałość betonu, nie niższa niż, MPa
	młotkiem	przecinakiem		
Głuchy	głębokie wgniecenie z kruszącymi się krawędziami	beton daje się ciąć i rozsypuje się	powyżej 30	?
Przygłuszony	wgniecenie; przy uderzeniu o krawędź beton odłamuje się dużymi kawałkami	przecinak zagłębia się na 0,5 cm; beton rysuje się na głębokość od 1 mm do 15 mm	powyżej 30	10
Czysty	pozostaje ślad na powierzchni; beton odłamuje się małymi kawałkami	beton daje się odkuwać płatkami; widoczne ślady rysowania	powyżej 35	15
Metaliczny	prawie nie ma śladu; przy uderzeniu o krawędź beton odłamuje się płatkami	pozostaje ślad przecinaka; rysy słabo widoczne	powyżej 40	20

Trzeba też dodać, że górną granicą oceny wytrzymałości betonu badanej za pomocą zwykłego młotka jest 20 MPa. Określenie wytrzymałości betonu  $f_c > 20$  MPa wymaga posłużenia się dokładniejszą metodą badania, najlepiej poprzez pobranie odwiertów.

### 3. Wiarygodność metod badania wytrzymałości muru

(1) Podobnie jak w przypadku konstrukcji betonowych najbardziej wiarygodną metodą określania wytrzymałości muru w istniejącej konstrukcji jest zbadanie wytrzymałości próbek muru z niej pobranych. Normowe elementy próbne muru mają jednak – jak już wspomniano wyżej – stosunkowo duże wymiary, w związku z czym pobranie z istniejącej konstrukcji próbek muru o takich wymiarach rzadko jest możliwe. Dodatkową trudność stanowi zapewnienie bezpiecznego transportu wyciętych elementów próbnych w warunkach gwarantujących, że elementy te nie rozsypią się w drodze na części.

Kiedy wycina się z muru próbki prostopadłościowe o mniejszych wymiarach niż normowe, ich wytrzymałość należy przeliczyć na wytrzymałość normową, a w tym celu

niezbędne jest posłużenie się nie zawsze znanymi współczynnikami korekcyjnymi, ustalonymi statystycznie. Przedział wartości tych współczynników jest duży. Stosunek wytrzymałości próbki złożonej z dwóch elementów murowych do wytrzymałości normowej muru może się wahać od 1,3 do 1,8 [4], a nawet i bardziej, zależnie od wymiarów i wytrzymałości elementów murowych oraz grubości i wytrzymałości zaprawy.

W przypadku muru z nieperforowanych elementów murowych (cegły pełnej, bloczków z betonu komórkowego) można wycinać odwiertnikami próbki walcowe z muru, analogicznie jak w przypadku konstrukcji betonowych. Próbki takie powinny zawierać zarówno część elementu murowego, jak i część spoiny wypełnionej zaprawą, w związku z czym średnica próbek powinna być możliwie duża. W piśmiennictwie podawane są niekiedy dość optymistyczne oceny metody – nawet przy średnicy próbek 125 mm – kiedy próbki pobierane były w kierunku prostopadłym do spoin wspornych [5].

Optymizm ten wydaje się jednak nie zawsze uzasadniony. Obszerne badania stosunku wytrzymałości próbek o średnicy 150 mm pobieranych w kierunku prostopadłym do płaszczyzny ściany – a więc równoległym do spoin wspornych – do wytrzymałości muru wyznaczonej na normowych elementach próbnych przeprowadził W. Wittig [6]. Nie podaje on jednak błędów metody, lecz stwierdza jedynie, że jest to metoda bardziej wiarygodna niż metody nieniszczące, których błąd oceny może sięgać do  $\pm 30\%$ .

Badania wytrzymałości odwiertów murowych można prowadzić w różny sposób, co nie pozostaje bez wpływu na uzyskane wyniki. Współczynniki przeliczeniowe próbka/wytrzymałość normowa muru należy wyznaczać posługując się normowymi elementami próbnymi. W żadnym razie nie wolno posługiwać się w tym celu normowymi wzorami do obliczenia wytrzymałości muru na ściskanie.

(2) Jeśli chodzi o zastosowanie metod nieniszczących do wyznaczania wytrzymałości muru, to metoda ultradźwiękowa góruje tu zdecydowanie nad metodą sklerometryczną. Pomiar prędkości przepływu fali ultradźwiękowej integruje element murowy i zaprawę w materiał quasi-homogeniczny, tak jak się to zakłada w obliczeniach konstrukcji, a przy dostatecznej liczbie wyników można także ustalać jednorodność wytrzymałościową muru. Metodą sklerometryczną można natomiast wyznaczyć jedynie wytrzymałość cegły zastosowanej do wykonania muru. Do tego celu metoda sklerometryczna jest w pełni przydatna.

Podstawowy problem to – jak zawsze w przypadku nieniszczących metod badania – należyte wyskalowanie przyrządu. Prędkość fal ultradźwiękowych przechodzących przez mur jest bardzo bliska prędkości przechodzenia przez cegłę, co ułatwia skalowanie przyrządu [2]. Przy interpretacji wyników badań trzeba też zwrócić uwagę na wpływ czynników ubocznych, takich jak wilgotność i obciążenie muru [7], [8]. Z tego zapewne powodu Wittig [6] tak nisko ocenił – o czym już wspomniano wyżej – wiarygodność badań nieniszczących w przypadku konstrukcji murowych.

(3) Drogą, którą postępuje się najczęściej w praktyce, jest ocena wytrzymałości muru istniejącej konstrukcji na podstawie znajomości wytrzymałości na ściskanie elementów murowych  $f_B$  i zaprawy  $f_m$  [9]. Dodatkowymi czynnikami uwzględnianymi w ocenie wytrzymałości muru to jego struktura, a więc prawidłowość wiązania elementów, obecność lub brak spoiny podłużnej w murze, grubość spoin wspornych itp.

Zgodnie z PN-B-03002:1999 wytrzymałość charakterystyczną muru na ściskanie  $f_k$  wyznacza się ze wzoru

$$f_k = K f_b^{0,65} f_m^{0,25} \quad (3)$$

gdzie:  $K$  – współczynnik wyznaczony empirycznie, którego wartości podane w normie stanowią „uogólnienie zebranych wyników badań”,

$f_b$  – „znormalizowana” wytrzymałość na ściskanie elementów murowych – iloczyn wartości  $f_B$  i wartości  $\delta$  podanego w PN-B-03002:1999 współczynnika sprowadzającego wytrzymałość  $f_B$  do wytrzymałości  $f_b$  kostki o boku 100 mm,

$f_B$  – iloraz siły niszczącej  $F_{\max}$  przez pole przekroju  $A_{br}$ ,

$f_m$  – wytrzymałość na ściskanie zaprawy.

Jak widać ze wzoru (3), decydujące znaczenie dla wytrzymałości muru ma wytrzymałość na ściskanie elementów murowych. Dwukrotny wzrost wartości  $f_b$  powoduje wzrost  $f_k$  o 57%, a dwukrotny wzrost wartości  $f_m$  – tylko o 19%, czyli trzy razy mniej. Przy ocenie wytrzymałości muru na ściskanie trzeba więc przede wszystkim starać się ocenić możliwie dokładnie wartości  $f_b$ .

Najbardziej wiarygodną metodą określenia wytrzymałości elementu murowego, jakkolwiek nie zawsze możliwą do zastosowania, jest wyjęcie takiego elementu z badanej konstrukcji i wyznaczenie wartości  $f_b$  na podstawie znajomości  $f_B$  zgodnie z wymaganiami normy.

W przypadku nieperforowanych elementów murowych zamiast wyjmować cały element można pobrać odwiertnicą próbkę walcową materiału, z którego zostały wykonane elementy murowe, i na tej podstawie wyznaczyć wytrzymałość  $f_B$  elementu murowego.

Średnica odwiertów wynosi zwykle 50 mm. Współczynnik przeliczający wytrzymałość odwiertu na wytrzymałość cegły  $f_B$  szacuje się na 0,90 [9], a dokładność oceny wartości  $f_B$  na  $\pm 0\%+15\%$ .

Wytrzymałość cegły można badać także młotkiem Schmidta, jeżeli przyrząd pomiarowy został należycie wyskalowany. W takim przypadku dokładność oceny wartości  $f_B$  wynosi  $\pm 10\%$ , przy niedokładnym wyskalowaniu  $\pm 30\%$ . Młotek Poldiego jest do tego nieprzydatny [7].

W celu wyznaczenia wartości  $f_k$  ze wzoru (3) od wartości  $f_B$  należy oczywiście przejść na wartości  $f_b$ .

Wytrzymałość zaprawy na ściskanie ustala się z reguły „na wycucie”, skrobiąc ją ostrym narzędziem. Podobnie, oglądając tylko i postukując młotkiem, ustala się zwykle również  $f_B$  pustaków (w terminologii PN-B-03002:1999 – elementów murowych grupy 2). W tym celu niezbędna jest jednak dostateczna znajomość rodzaju pustaków stosowanych w budownictwie w latach, kiedy wznoszono budynek.

Dokładność oceny wartości  $f_b$  badanych „na oko” pustaków wynosi  $\pm 30\%+50\%$ .

Podane w PN-B-03002:1999 wartości współczynnika  $K$  zawierają – szczególnie w odniesieniu do murów z pustaków (elementów murowych gatunku 2) – pewien dodatkowy zapas bezpieczeństwa z uwagi na różnorodność kształtu elementów murowych zgrupo-

wanych w jednym gatunku muru [16]. Jest to już jednak dalsze zagadnienie, którego nie sposób uwzględnić w tak grubej ocenie diagnostycznej wytrzymałości muru, jaką jest ocena oparta na normowym wzorze (4).

Kiedy błąd oceny wartości  $f_b$  wynosi  $\pm 15\%$ , błąd oceny in plus wartości  $f_k$  ustalonej z normowego wzoru (4) można szacować na mniej niż 10%, a kiedy błąd oceny  $f_b$  wynosi  $\pm 30\%$  – na mniej niż 15%.

Oddzielny problem to jednorodność wytrzymałościowa muru. Jednorodności tej nie można utożsamiać z jednorodnością wytrzymałościową elementów murowych. K. Kirtschig [10] uzyskał dla prawidłowo wykonanego muru z elementów murowych o współczynniku jednorodności  $v_{xB} = 0,15$  współczynnik jednorodności muru  $v_m = 0,10$ . Podobne, wyraźnie niższe wartości  $v_{xT}$  w stosunku do  $v_{xB}$  uzyskano także w badaniach ITB i wielu innych placówek naukowo-badawczych.

Wobec stosunkowo małych wymiarów elementów murowych w porównaniu z wymiarami konstrukcji i występującego z natury rzeczy przemieszania mocniejszych i słabszych elementów murowych niejednorodność wytrzymałościowa muru pozostaje – praktycznie rzecz biorąc – bez wpływu na wartość  $v_{xm}$ .

O jednorodności wytrzymałościowej muru decyduje przede wszystkim jakość jego wykonania (odchyłki wymiarów i kształtu elementów murowych, prawidłowość wiązania, grubość spoin itp.) i z tego punktu widzenia należy oceniać wartości  $v_{xm}$ .

Wykonanie muru niezgodne ze sztuką murarską, przemurówki uprzednio wykonanych otworów występujące w starych murach i podobne wady konstrukcji nie pozwalają na traktowanie muru jako materiału homogenicznego, co stanowi podstawę normowych obliczeń bezpieczeństwa konstrukcji – por. niżej p.6 (1).

#### 4. Zależności ogólne dotyczące wytrzymałości obliczeniowej

(1) Jak powiedziano na wstępie – wzór (1) – wytrzymałość obliczeniowa materiału jest ilorzem jego wytrzymałości charakterystycznej  $f_k$  i częściowego współczynnika bezpieczeństwa  $\gamma_m$ .

Wytrzymałość charakterystyczną betonu na ściskanie  $f_{ck}$  wyraża – przy założeniu statystycznego rozkładu normalnego, jak to się zwykle czyni – wzór

$$f_{ck} = f_{cm} \left( 1 - k_n v_x \right) \quad (4)$$

gdzie:  $f_{cm}$  – „normowa” wytrzymałość średnia betonu,

$k_n$  – współczynnik zależny od liczby próbek względnie liczby wykonanych pomiarów (tabl. 2)

$v_x$  – współczynnik zmienności (iloraz średniego odchylenia standardowego i wartości średniej).

„Normowa” wytrzymałość betonu na ściskanie to – jak wspomniano na wstępie – wytrzymałość  $f_{c,cyl}$  badana na walcach o średnicy 150 mm i wysokości 300 mm. Jeżeli ustalono ją badając próbki o innych wymiarach, to wynik uzyskany z tych badań należy sprowadzić do  $f_{c,cyl}$ .



Tablica 2. Wartości współczynnika  $k_n$   
Table 2. Values of  $k_n$  coefficient

$n$	3	5	10	20	30	$\infty$
$v_x$ znana	1,89	1,80	1,72	1,68	1,67	1,64
$v_x$ nieznana	3,37	2,33	1,92	1,76	1,78	1,64

Odnosnie do współczynnika  $k_n$  w Eurokodzie 1990 [11] rozróżnia się (w załączniku „Wymiarowanie wspomaganie badaniami”) dwa przypadki:

- kiedy współczynnik zmienności  $v_x$  jest znany na podstawie wcześniejszych informacji, przy czym „podobieństwo warunków ocenia się kierując się rozsądkiem inżynierskim”,
- kiedy współczynnik zmienności  $v_x$  nie jest znany a priori i trzeba go określić na podstawie uzyskanych wyników badań.

Jakkolwiek istnieje uzasadnienie teoretyczne w tym względzie, rozróżnienie obu przypadków nie jest dość jasne. W raportach z badań laboratoryjnych przyjmuje się z reguły wartości  $k_n$  dla „ $v_x$  znane” i podobnie można by postępować w przypadku badań diagnostycznych. W dyskusji wypowiedzane są jednak również poglądy przeciwne.

Rozstrzyga sprawę zalecenie, aby  $n > 20$ , o co nietrudno, kiedy jednorodność wytrzymałościową betonu bada się metodami sklerometrycznymi. Kiedy  $n > 20$ , bez większego błędu można już przyjąć  $k_n \approx 1,64$ .

Analogiczne zależności obowiązują też w przypadku muru, z tym że wytrzymałość charakterystyczną – zgodnie z PN-B-03002:1999 – oznacza się jako  $f_k$ , a „normową” wytrzymałość średnią –  $f_{mv}$ .

Ustalając na podstawie badań diagnostycznych wartości  $f_{ck}$  względnie  $f_k$  ze wzoru (5), „normową” wartość  $f_{cm}$  lub  $f_{mv}$  wyznacza się odpowiednio do uzyskanej z badań wartości średniej, bez żadnej korekty dotyczącej błędu metody pomiaru, podobnie jak i współczynnik zmienności  $v_x$ . Błąd oceny, specyficzny dla różnych diagnostycznych metod badania wytrzymałości materiału, uwzględnia się natomiast w wartości  $\gamma_m$ .

(2) Współczynnik  $\gamma_m$  jest wielkością ustalaną deterministycznie, na podstawie doświadczeń i tradycji projektowania, bez podziału ilościowego na poszczególne części składające się wspólnie na całość. Kiedy wprowadza się taki podział, ma on charakter arbitralny.

Najprostszym podejściem, wywodzącym się z ogólnej koncepcji metody częściowych współczynników bezpieczeństwa, jest założenie, że wartość  $\gamma_m$  stanowi iloczyn szeregu czynników, z których każdy reprezentuje inną grupę zjawisk, uwzględnianych w wartości  $\gamma_m$ . Podejście takie przyjęto między innymi w podręczniku bezpieczeństwa konstrukcji CEB [12]. Jest ono również w pełni przydatne do ustalania diagnostycznej wytrzymałości obliczeniowej materiału istniejącej konstrukcji.

Wartość  $\gamma_m$  (w przypadku betonu –  $\gamma_c$ , w przypadku muru –  $\gamma_m$ ) wyraża ogólnie wzór

$$\gamma_m = \gamma_{m1} \gamma_{m2} \quad (5)$$

W przypadku  $\gamma_{m1}$  uwzględnia się możliwość wystąpienia wytrzymałości materiału mniejszej niż charakterystyczna, a przy  $\gamma_{m2}$  – możliwość błędu oceny wytrzymałości

materiału, w tym różnice między wytrzymałością mierzoną na próbce i w konstrukcji, błąd metody pomiaru i inne.

Wartość  $\gamma_{m1}$  można interpretować [12], [13] jako stosunek 5% do 0,5% kwantyla rozkładu statystycznego, czyli

$$\gamma_{m1} = \frac{1 - 1,64 v_x}{1 - 2,57 v_x} \quad (6)$$

Jeżeli  $v_x = 0,10$  to  $\gamma_{m1} = 1,15$ , a jeżeli  $v = 0,20$  to  $\gamma_{m1} = 1,38$ .

Wzór (6) dotyczy wytrzymałości betonu. Nie ma jednak żadnych przeszkód merytorycznych, aby wzór ten nie dotyczył również wytrzymałości muru.

Błąd metody badań diagnostycznych zawiera się w części  $\gamma_m$  oznaczonej we wzorze (5) przez  $\gamma_{m2}$ . Jest to ta część  $\gamma_{m2}$  w wartości  $\gamma_m$ , ustalonej do projektowania konstrukcji, która uwzględnia różnicę między wytrzymałością materiału w próbce i w konstrukcji. Rozwijając zapis (5) można przyjąć, że

$$\gamma_{m2} = \gamma_{m2,1} \gamma_{m2,2} \quad (7)$$

gdzie  $\gamma_{m2,1}$  uwzględnia jako  $\gamma_{m2,1PN}$  różnicę  $\Delta_{PN}$  między wytrzymałością materiału w próbce i w konstrukcji ( $\gamma_{m2,1PN}$ ) względnie jako  $\gamma_{m2,1d}$  błąd  $\Delta_d$  metody diagnostycznej, natomiast  $\gamma_{m2,2}$  – dalsze błędy oceny wytrzymałości materiału, i zapisać następnie, że „diagnostyczna” wartość  $\gamma_{m2,1d}$  to

$$\gamma_{m2,1d} = 1 + \Delta_d \quad (8a)$$

a „normowa” wartość  $\gamma_{m2,1PN}$  to

$$\gamma_{m2,1PN} = 1 + \Delta_{PN} \quad (8b)$$

## 5. Diagnostyczna wytrzymałość obliczeniowa betonu

(1) **Czynnik  $\gamma_{c1d}$** : Kiedy wytrzymałość betonu bada się na odwiertach pobranych z konstrukcji, można obniżyć wartość współczynnika  $\gamma_c$  – zgodnie z prEN 13791 [14] – mnożąc  $\gamma_c = 1,5$  przez 0,85, z tym jednak, że współczynnik zmienności wytrzymałości betonu badanej na odwiertach nie może być większy niż  $v_x = 0,10$ . Wartością graniczną, poniżej której nie można już schodzić, jest  $\gamma_c = 1,3 = \gamma_{cmin}$ . Ustalenia prEN [14] są przywołane również w normie [15].

Zalecenie prEN [14] można uwzględnić w interpretacji czynnika  $\gamma_{m1}$  we wzorze (5).

Kiedy wytrzymałość charakterystyczną betonu ustala się na podstawie badań próbek pobranych z konstrukcji, prawdopodobieństwo, że w konstrukcji wystąpi wytrzymałość betonu niższa niż ustalona wytrzymałość charakterystyczna, jest odpowiednio mniejsze niż kiedy wytrzymałość betonu bada się na próbkach pobranych z zarobu betonu i fakt ten stanowi zapewne podstawę przedstawionej wyżej redukcji wartości  $\gamma_c$ .

Jeżeli są spełnione wymagania prEN [14], można przyjąć (wartość diagnostyczna), że

$$\begin{aligned}\gamma_{m1} &= \gamma_{c1d} = 1,0 \\ \gamma_{m2} &= \gamma_{c2d} = 1,3\end{aligned}\quad (9)$$

Jeżeli natomiast wytrzymałość betonu bada się na próbkach pobranych z zarobu, to (wartość normowa)

$$\begin{aligned}\gamma_{c1PN} &= \frac{1,5}{1,3} = 1,15 \\ \gamma_{c2PN} &= 1,3\end{aligned}\quad (10)$$

Wartość  $\gamma_{c2}$  jest w obu przypadkach równa 1,30, czyli  $\gamma_{c2PN} = \gamma_{c2d}$

Zalecenie [14] ograniczone do przypadku, kiedy  $v_x < 0,10$ , można by rozszerzyć na  $v_x \geq 0,10$ , posługując się wzorem (6). Przyjmując, że

$$\gamma_{c1d} = \frac{1 - 1,64 v_x}{1 - 2,57 v_x} \frac{1}{1,15} \geq 1,0 \quad (11)$$

można w ten sposób wyrazić – przy założeniu, że  $\gamma_{c2d} \geq 1,30$  – zmienność wartości  $\gamma_{c1d}$  jako funkcję  $v_x$ .

(2) **Czynnik  $\gamma_{c2d}$** : Udział w normowej wartości  $\gamma_c$  różnicy między wytrzymałością betonu na ściskanie mierzoną na próbce i wytrzymałością w konstrukcji można szacować na  $\Delta_{PN} = 0,10$  [13] i stąd  $\gamma_{c2,1PN} = 1,10$ .

Iloraz  $\frac{\gamma_{c2PN}}{\gamma_{c2,1PN}} = \frac{1,30}{1,10} = 1,18$  to pozostałe błędy oceny wytrzymałości betonu, poza błędem metody pomiaru, uwzględniane przez  $\gamma_{c2}$ .

Błąd  $\Delta_d$  diagnostycznych metod badania wytrzymałości betonu jest zawsze, jak przedstawiono to w rozdziałach 2 i 3,  $\Delta_d \geq 0,10$ , w związku z czym czynnik  $\gamma_{c2d}$ , będący funkcją  $\Delta_d$  zgodnie ze wzorem (8a), to

$$\gamma_{c2,1d} \geq 1,10 \quad (12)$$

Czynnik  $\gamma_{c2,2d} = 1,18 = \gamma_{c2,2PN}$ .

(3) **Diagnostyczne wartości  $\gamma_{cd}$** : przyjmując przedstawione wyżej założenia, zależność wartości  $\gamma_c$ , ustalonej na podstawie badań diagnostycznych, od stwierdzonej w konstrukcji zmienności wytrzymałościowej betonu, scharakteryzowanej przez wartość  $v_x$ , i dokładności metody diagnozowania (błąd metody –  $\Delta_d$ ), można określić tak, jak podano w tabelicy 3.

Badając jednorodność wytrzymałościową betonu trzeba zwrócić szczególną uwagę na miejsca najbardziej wyciężone w konstrukcji, czyli takie, w których – jak wynika z analizy konstrukcji – należy się spodziewać wystąpienia największych naprężeń. Z miejsc takich nie wolno pobierać odwiertów, w związku z czym trzeba posłużyć się tu metodami nieniszczącymi.

Redukcja wartości  $\gamma_{c1d}$  do 1,00 wymaga posłużenia się dostatecznie dokładnymi metodami badania – zarówno wytrzymałości średniej betonu, jak i jego współczynnika zmienności. W związku z tym wartości  $\gamma_{cd}$  dla  $\Delta_d$  w tablicy 3 ujęto w nawias.

Tablica 3. Diagnostyczne wartości  $\gamma_{cd}$  w funkcji wartości  $v_x$  i  $\Delta_d$   
 Table 3. Diagnostic  $\gamma_{cd}$  values, dependent on  $v_x$  and  $\Delta_d$

$v_x$	$\gamma_{c1d}$	$\Delta_d$	$\gamma_{c2,1d}$	$\gamma_{c2,2}$	$\gamma_{cd}$
0,10	1,00	0,10	1,10	1,18	1,30
		(0,30)	(1,30)	1,18	(1,53)
0,15	1,07	0,10	1,10	1,18	1,39
		0,30	1,30	1,18	1,64
		0,50	1,50	1,18	1,89
0,20	1,20	0,10	1,10	1,18	1,56
		0,30	1,30	1,18	1,84
		0,50	1,50	1,18	2,12

## 6. Diagnostyczna wytrzymałość obliczeniowa muru

(1) Przedstawiona wyżej metodyka wyznaczania diagnostycznej wytrzymałości obliczeniowej betonu może – generalnie rzecz biorąc – znaleźć zastosowanie również do diagnostycznej oceny wytrzymałości muru. W tym przypadku mamy jednak zwykle znacznie mniej danych liczbowych, a także przemyśleń metodycznych, w związku z czym podane niżej – w konkluzji wywodów – wartości  $\gamma_m$  należy traktować jako oszacowania autorskie. Oszacowania te dotyczą poza tym wyłącznie murów o dostatecznie regularnym wiązaniu i strukturze, aby można je było przyjąć w interpretacji wyników badań jako materiał homogeniczny, podobnie jak beton.

Mury zabytkowe o nieregularnej strukturze i wiązaniu traktowane są wprawdzie w obliczeniach diagnostycznych z reguły również jak materiał homogeniczny, ale to już bardzo duże uproszczenie „na oko eksperta”, nie przystające do ogólnych założeń metody częściowych współczynników bezpieczeństwa.

(2) Do wyznaczenia diagnostycznej wartości  $\gamma_m$  jako wyjściową normową wartość  $\gamma_m$  przyjęto  $\gamma_m = 1,7$ , odnoszącą się zgodnie z PN-B-03002:1999 do murów kat. I/A, to jest z elementów murowych kategorii produkcji I i kategorii wykonania A. W przypadku murów kat. I/B (kategoria wykonania B)  $\gamma_m = 2,2$ . Stosunek obu wartości  $\gamma_m$ ,  $\frac{2,2}{1,7} = 1,30$ , odpowiada mniej więcej zróżnicowaniu wartości  $\gamma_{m1}$  obliczonych ze wzoru (6) dla  $v_m = v_x = 0,10$  (kat. A) i  $v_x = 0,22$  (kat. B).

Zakładając, że w przypadku muru kat. I/A, w przypadku którego  $\gamma_{mPN} = 1,7$ , jest  $v_m = 0,10$  i  $\Delta_{PN} = 0,15$ , można zapisać, że

$$\gamma_{m1PN} = 1,15 \quad \text{– zob. wzór (6)}, \quad \gamma_{m2,1PN} = 1,15 \quad \text{– zob. wzór (8b)}$$

i stąd uzyskuje się  $\gamma_{2,2PN} = 1,29$ .

Jeżeli  $v_m = 0,22$ , to  $\gamma_{m1PN} = 1,45$  i w związku z tym

$$\gamma_{m,P,N} = \gamma_{m1PN} \gamma_{m2,1PN} \gamma_{m1,2PN} = 1,45 \cdot 1,15 \cdot 1,29 = 2,151 \approx 2,2$$

Kiedy wartość  $\gamma_m$  wyznacza się na podstawie wyników badań diagnostycznych, przyjmuje się – analogicznie jak w przypadku konstrukcji z betonu – że jeśli  $v_x = 0,10$ , to

$$\gamma_{m1d} = 1,0 \quad (13)$$

Kiedy  $v_x > 0,10$ , wartość  $\gamma_{m1d} > 1,0$  wyznacza się ze wzoru (11). Odnosnie do wartości  $\gamma_{m2,1d}$  obowiązuje wzór (8a).

W przypadku kiedy wartość  $v_x$  ustala się na podstawie oceny jakości robót murarskich, wartość  $\Delta_d$  uwzględnia nie tylko błąd metody pomiaru wytrzymałości muru, ale i błąd oceny wartości  $v_x$ .

(3) Kiedy wytrzymałość muru jest badana na odwiertach murowych – p. 3 (1), wytrzymałość charakterystyczną  $f_k$  wyznacza się ze wzoru (4). Błąd oszacowania wytrzymałości średniej muru będzie wynosił  $\Delta_d \approx \pm 20\%$  [6].

Jeżeli liczba odwiertów  $v > 20$ , wartość  $v_x$  ustala się na podstawie wyników badań wytrzymałości odwiertów. Dobrze jest jednak skonfrontować uzyskany wynik z oceną jakości wykonania robót murowych.

Przy takich założeniach oraz wartościach  $v_x$  i  $\Delta_d$  wartości diagnostyczne  $\gamma_{md}$  mieszczą się w przedziale od 1,55 do 2,00, jak podano w tablicy 4.

Tablica 4. Diagnostyczne wartości  $\gamma_{md}$  w przypadku ustalenia wytrzymałości średniej muru na odwiertach – elementy murowe kat. I

Table 4. Diagnostic  $\gamma_{md}$  values in case when the mean masonry strength was established on cores

$v_x$	$\gamma_{m1d}$	$\Delta_d$	$\gamma_{m2,1d}$	$\gamma_{m2,2d}$	$\gamma_{md}$
1,10	1,00	0,20	1,20	1,29	1,55
		0,30	1,30	1,29	1,68
1,20	1,20	0,20	1,20	1,29	1,86
		0,30	1,30	1,29	2,01

(4) Kiedy wytrzymałość muru jest ustalana na podstawie badań wytrzymałości na ściskanie elementów murowych i normowego wzoru (3), stanowiącego „uogólnienie zebranych wyników badań”, oraz oceny jakości robót, poszczególne czynniki składające się na wartość  $\gamma_{md}$  można szacować jak niżej:

$\gamma_{m1d}$  – ze wzoru (11),

$g_{m2,1d}$  – błąd oceny wartości  $f_k$  wynikający z błędu oceny  $f_b$ ,  
 $\gamma_{m2,2PN}$  – iloraz  $\frac{\gamma_{m2PN}}{\gamma_{m2,1PN}}$

Przypadek kiedy  $v_x < 0,10$  i  $\gamma_{m1d} = 1,0$  praktycznie tu już nie występuje. Jeżeli  $v_x \approx 0,20$ , to  $\gamma_{m1d} = 1,20$ . Jeśli błąd oceny wartości  $f_b$  wynosi  $\pm 15\%$ , błąd oceny  $f_k$  ze wzoru (3) szacuje się na  $\pm 10\%$  – p. 3(3), w konsekwencji czego  $\gamma_{m2,1d} = 1,10$ . Jeżeli błąd oceny  $f_b$  jest rzędu  $\pm 30\%$ , to  $\gamma_{m2,1d} = 1,15$ .

Wyliczone na tej podstawie wartości  $\gamma_{md}$  mieszczą się w przedziale od 1,55 do 1,90, a więc są to wartości podobne do podanych w tablicy 4. Nie wynika to jednak z podobnej wiarygodności oceny wytrzymałości muru na podstawie badań odwiertów i na podstawie wzoru normowego, a raczej z oceny wyraźnie „po bezpiecznej stronie” wytrzymałości charakterystycznej muru, prezentowanej przez wzór (3) z normowymi wartościami  $K$ . Wartość  $f_k$  wyznaczana na podstawie badań odwiertów muru jest z reguły większa niż obliczana ze wzoru (3) i normowych wartości  $K$ .

## 7. Podsumowanie

Diagnostyczna wytrzymałość obliczeniowa materiału została przedstawiona jako funkcja stwierdzonej na podstawie badań istniejącej konstrukcji wytrzymałości średniej materiału  $f_m$ , współczynnika zmienności  $v_x$  oraz błędu  $\Delta_d$  metody, którą posłużono się do wyznaczenia wartości  $f_m$  i  $v_x$ .

Dokonano przeglądu diagnostycznych metod badania wytrzymałości na ściskanie betonu i muru oraz oceniono wiarygodność poszczególnych metod, określając rząd wielkości błędu wyników pomiaru.

Znając na podstawie przeprowadzonych badań wartości  $v_x$  oraz wielkość  $\Delta_d$  błędu metody, którą zastosowano do badań, rzeczoznawca – posługując się danymi zawartymi w tablicach 3–5 – może wyznaczyć zarówno w przypadku betonu, jak i muru wartości  $\gamma_{cd}$  i  $\gamma_{md}$  częściowego współczynnika bezpieczeństwa, którymi należy się posłużyć w obliczeniach sprawdzających bezpieczeństwo diagnozowanej konstrukcji.

## Bibliografia

- [1] Brunarski L.: Ocena wytrzymałości betonu w konstrukcji. *Prace Instytutu Techniki Budowlanej – Kwartalnik* 2–3 (106–107), 1998
- [2] Runkiewicz L.: Diagnostyka i wzmacnianie konstrukcji żelbetowych. Politechnika Świętokrzyska, Kielce 1999
- [3] Bukowski B.: Technologia betonów i zapraw, część 2. Teoria i projektowanie betonu. Instytut Techniki Budowlanej, Warszawa 1947
- [4] Jasiński R., Drobiec Ł., Kubica J.: Influences of shape and size specimen elements on load capacity and deformation of unreinforced clay brick masonry compression – 12th Intern. Brick/Block Masonry Conf., Madrid, June 2000



- [5] Karczmarczyk S., Mierzwa J.: Ocena wytrzymałości muru na podstawie badań próbek rdzeniowych. Konferencja „Inżynierskie problemy odnowy staromiejskich zespołów zabytkowych”, Kraków, maj 1998
- [6] Wittig W. i inni: Experimentelle und theoretische Untersuchungen zur Zuverlässigkeit von Mauerwerkskonstruktionen. *Bauplanung-Bautechnik*, 8, 1988
- [7] Runkiewicz L., Rodzik W.: Badania nieniszczące wytrzymałości murowanych obiektów zabytkowych. *Inżynieria i Budownictwo*, 2, 1990
- [8] Kuczyński W., Samuń H.: Zastosowanie aparatury ultradźwiękowej do oceny wytrzymałości murów ceglanych. *Inżynieria i Budownictwo*, 10, 1961
- [9] Lewicki B.: Ocena bezpieczeństwa istniejących konstrukcji murowych. *Prace Instytutu Techniki Budowlanej – Kwartalnik*, 4 (108), 1998
- [10] Kirtschig K.: Zur Beschreibung der Mauerwerkfestigkeit bei der mittleren oder charakteristischen Steindruckfestigkeit – 9th Intern. Brick/Block Masonry Conf., Berlin 1991
- [11] EN 1990:2002 Eurocode-Basis of design
- [12] Ferry Borges J., Mathieu H.: Manual-Securite des Structures. *CEB Bull. d'Information*, 128, Janvier 1980
- [13] Lewicki B.: Obliczanie konstrukcji metodą częściowych współczynników bezpieczeństwa w ujęciu eurokodów. *Prace Instytutu Techniki Budowlanej – Kwartalnik*, 4 (96), 1995
- [14] prEN13791/Dec. 1999 – Assessment of concrete compressive strength in structures or in structural elements
- [15] prEN 1992-1-1/Oct.2001 – Eurocode 2 – Design of concrete structures. General rules and rules for buildings
- [16] Lewicki B., Jarmontowicz R., Kubica J.: Podstawy projektowania niezbrojonych konstrukcji murowych. ITB, seria „Monografie”, Warszawa 2001

## DIAGNOSTIC DESIGN STRENGTH OF CONCRETE AND MASONRY

### Summary

Diagnostic design strength of structural materials has been presented as function of the mean strength  $f_m$  of the material in existing structure, of coefficient of variation  $v_x$  for the material strength and of test error  $\Delta_d$  of the applied testing method. Common test methods to determine the concrete and masonry strength in existing structure have been reviewed and their test error  $\Delta_d$  assessed. When  $v_x$  and  $\Delta_d$  values are known, partial factors  $\gamma_{cd}$  and  $\gamma_{md}$ , governing the diagnostic design strength of concrete  $f_{cd}$  and of masonry  $f_d$  may be taken from tables 3 to 4.

*Praca wpłynęła do Redakcji 16 VII 2002*