

Lesław BRUNARSKI*

OCENA WYTRZYMAŁOŚCI BETONU W KONSTRUKCJI

W artykule przedstawiono wyniki kilkuletnich badań prowadzonych w ITB, a także przeprowadzono ocenę stosowanych w kraju metod i procedur badawczych oraz wiarygodności oszacowań wytrzymałości betonu na ściskanie w istniejących konstrukcjach. W szczególności omówiono kwestie: warunków prowadzenia badań metodami nieniszczącymi, sposobu pobierania odwiertów z konstrukcji i przygotowania z nich próbek, wpływu różnych czynników, takich jak kierunek wycinania odwiertów w stosunku do kierunku betonowania, sposób przygotowania powierzchni próbek, warunki ich przechowywania, wymiary (średnica i wysokość) próbek oraz inne – na oznaczaną w prasie wytrzymałość betonu na ściskanie, możliwości stosowania próbek-odwiertów o małych średnicach (poniżej 100 mm) oraz próbek sandwichowych. Artykuł stanowi poprawioną wersję referatu przedstawionego na IV Konferencji naukowo-technicznej „Warsztat pracy rzeczoznawcy budowlanego” odbywającej się w Kielcach, w dniach 27-29 kwietnia 1998 r.

1. Wprowadzenie

Oszacowanie właściwości materiałów konstrukcyjnych jest jednym z podstawowych zadań diagnostyki konstrukcji, związanej z oceną istniejących konstrukcji budowlanych lub inżynierskich [1].

Z reguły diagnostyka betonu w istniejących konstrukcjach żelbetonowych powinna obejmować jednocześnie jego wytrzymałość i właściwości osłonne w stosunku do zbrojenia [2]. W konstrukcjach z betonu występuje bowiem spadek właściwości osłonnych otuliny betonowej, spowodowany procesami wywołanymi wodą i substancjami chemicznymi, wprowadzonymi do betonu wraz z jego składnikami albo pochodzącymi ze środowiska zewnętrznego. Powstające wtedy produkty korozji zbrojenia powodują z kolei niszczenie otuliny, a zatem widoczną już destrukcję betonu. Stąd zasadą powinno być równoczesne badanie diagnostyczne cech mechanicznych i osłonnych betonu *in situ*.

Wymagania szczegółowe dotyczące badania tych ostatnich cech ustalone zostały w normie PN-88/B-01807 [3] w p. 3.3.2 w sposób następujący: „Wytrzymałość betonu na ściskanie należy oceniać za pomocą metod niszczących lub nieniszczących według przedmiotowych norm, w zależności od rodzaju betonu. Próbkę betonu powinny być wycięte z konstrukcji i badane w laboratorium. Pobierając je należy z tych części konstrukcji, w których osłabienie przekroju nie ma istotnego wpływu na nośność konstrukcji”.

*prof. dr inż.

Podany zapis jest zgodny z zamieszczonym w p. 5.1 PN-88/B-06250 *Beton zwykły* [4]: „W uzasadnionych przypadkach przeprowadzić można dodatkowe badania wytrzymałości betonu na próbkach wyciętych z konstrukcji lub elementu, albo badania nieniszczące wytrzymałości betonu według PN-74/B-062561 [5] lub PN-74/B-06262 [6]. Jeżeli wyniki badań dodatkowych będą pozytywne, to beton można uznać za odpowiadający wymaganej klasie”. Powtarzający się termin „badania dodatkowe” świadczy, że sformułowanie dotyczy w zasadzie dodatkowej kontroli jakości betonu podczas odbioru robót, nie zaś badań diagnostycznych istniejących konstrukcji. W praktyce – wobec braku innych uregulowań prawnych – zapis normowy wykorzystywany jest w diagnostyce budowlanej i często dość dowolnie interpretowany.

Z analizy polskich norm dotyczących badań nieniszczących betonu [5], [6] wynika, że w badaniach diagnostycznych, a więc jeżeli z reguły nie dysponuje się równaniami regresji (krzywymi skalowania) danego betonu, wymagane jest sprawdzenie hipotetycznej krzywej skalowania na podstawie badań próbek wyciętych z danej konstrukcji. Odstępstwo od tego wymagania uwarunkowane jest w punktach 4.3 obu wymienionych norm zasadą: „stosowanie hipotetycznej krzywej regresji bez badań sprawdzających może nastąpić tylko pod warunkiem należytego jej uzasadnienia dla badanego betonu przez upoważnioną placówkę naukowo-badawczą”. Zasada ta jest niestety bardzo często łamana, a tymczasem z doświadczeń uzyskanych w ciągu ponad 30-letniego stosowania wymienionych metod nieniszczących wiadomo, że w przypadku niesprawdzenia krzywej skalowania oszacowanie wytrzymałości betonu może być obarczone dużym błędem (nawet ponad 100-procentowym)).

Odnosnie do kwestii oceny wytrzymałości betonu w konstrukcji jednoznaczne sformułowanie zawiera projekt normy europejskiej PrEN-206:1996-17 [7]: „mogą być wymagane dodatkowe badania według ISO 7034 [8] na próbkach wyciętych z wykonanej konstrukcji lub mogą być przeprowadzone łączne badania na wyciętych próbkach i badania nieniszczące konstrukcji według przedmiotowych norm ISO [9], [10] i [11]” – a więc według zasad europejskiej normy dotyczącej betonu wyklucza się ocenę wytrzymałości betonu *in situ* tylko na podstawie badań nieniszczących, dopuszcza się natomiast te badania jako towarzyszące badaniom próbek wyciętych z konstrukcji.

Zalecane obecnie metody i warunki oceny powinny być zharmonizowane z wymaganiami norm ISO/EN, stąd przyjęto zasadę, że podstawą wiarygodnej oceny wytrzymałości *in situ* mogą być tylko wyniki bezpośredniego badania w maszynie wytrzymałościowej próbek wyciętych z konstrukcji albo wyniki takich badań i towarzyszących badań metodami nieniszczącymi. Zasada ta jest zresztą zgodna z wymaganiami dotychczasowych norm polskich, które nie dopuszczają stosowania tzw. krzywych skalowania bez ich sprawdzenia na próbkach z danego betonu lub bez ich uzasadnienia przez upoważnioną placówkę naukowo-badawczą. Niestety, zasada ta jest często łamana. Warto tu podkreślić, że w praktyce ITB odstępstwa od obligatoryjnej zasady każdorazowego sprawdzania krzywej skalowania na próbkach-odwiertach są uwarunkowane szczegółową procedurą (wymagane jest naukowo umotywowane uzasadnienie na piśmie, zweryfikowane przez osoby upoważnione).

2. Warunki prowadzenia badań betonu metodami nieniszczącymi

2.1. Technika badań nieniszczących

Podstawowymi metodami nieniszczącymi badań betonu są: metoda sklerometryczna, ultradźwiękowa i tzw. pull-out (metoda lokalnej ekstrakcji betonu).

Na wstępie, aby nie było nieporozumień, warto wyjaśnić rolę pewnych instrumentalnych prób orientacyjno-jakościowych, wykonywanych na przykład za pomocą młotka o masie 0,5 kg i ostrego przecinaka ślusarskiego. Wielu rzeczoznawców dokonuje orientacyjnej oceny wytrzymałości betonu na podstawie objawów destrukcji obserwowanych na powierzchni betonowej po uderzeniach młotkiem bezpośrednio w beton lub w przecinak przystawiony ostrzem do betonu, albo po zarysowaniu tej powierzchni silnie naciskanym przecinakem. Każdy stosujący takie sposoby ma swoje zasady oceny. Przykładowa ocena stosowana przez autora podana jest w tablicy 1. Taka ocena orientacyjna może być użyteczna, ale należy z całą mocą podkreślić, że wyniki oceny na podstawie podanej tablicy nie mogą stanowić ani podstawy orzeczenia o klasie odbieranego betonu, ani nie mogą być przyjmowane do sprawdzających obliczeń statycznych ustrojów konstrukcyjnych.

Tablica 1. Orientacyjna ocena wytrzymałości betonu w konstrukcji na podstawie prób dokonywanych za pomocą młotka zwykłego lub młotka Schmidta, albo przecinaka ślusarskiego*

Dźwięk po uderzeniu zwykłym młotkiem	Ślady po próbie		Odczyt na skali młotka Schmidta	Hipotetyczna wytrzymałość betonu nie niższa niż, MPa
	młotkiem	przecinakem		
1	2	3	4	5
Głuchy	głębokie wgniecenie z kruszącymi się krawędziami	beton daje się ciąć i rozsypuje się	poniżej 30	?
Przysłuszony	wgniecenie; przy uderzeniu o krawędź beton odłamuje się dużymi kawałkami	przecinak zagłębia się na 0,5 cm; beton rysuje się na głębokość 1–1,5 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
*Uwaga: wyniki oceny orientacyjnej nie mogą być przy odbiorze podstawą stwierdzenia zgodności wytrzymałości betonu na ściskanie z wymaganiami PN-88/B-06250 ani nie mogą być przyjmowane do sprawdzających obliczeń statycznych ustroju konstrukcyjnego				

Do najczęściej stosowanych należą **metody sklerometryczne**. Sklerometria, czyli próba twardości, polega na określeniu odporności betonu na działanie sił skupionych. W zależności od sposobu wywołania nacisku oraz przyjętej miary odporności rozróżnia się metody statyczne lub dynamiczne oraz metody pomiaru odkształceń trwałych na powierzchni betonu lub metody określania reakcji sprężystej betonu (wielkości odskoku masy uderzającej w beton).

W praktyce krajowej stosowana jest głównie metoda dynamiczna, realizowana za pomocą młotków (sklerometrów) Schmidta typu N. Zasada badania polega na określeniu powierzchniowej twardości betonu przez pomiar odskoku masy uderzającej. Uderzenie w młotkach Schmidta typu N wywołane jest układem sprężyn, przy czym moment siły wynosi 2,25 Nm. Miarą jest tzw. liczba odbicia L , którą odczytuje się bezpośrednio po uderzeniu na skali młotka Schmidta lub na urządzeniu rejestrującym (zapis na taśmie papierowej lub cyfrowy). Wytrzymałość betonu na ściskanie R określa się pośrednio z uprzednio wyznaczonych równań lub wykresów (krzywych skalowania) zależności $R-L$. Zależności te otrzymuje się stosując metodę statystycznej analizy korelacyjnej wyników badania próbek betonowych, zwaną skalowaniem dokładnym, albo metodę doboru hipotetycznej krzywej skalowania badanego betonu, zwaną skalowaniem przybliżonym. Zgodnie z przedmiotową normą [6] hipotetyczna krzywa skalowania każdorazowo musi być sprawdzona za pomocą wyników próby ściskania w maszynie wytrzymałościowej serii próbek wyciętych z badanej konstrukcji. Jak wynika z zapisu normy [6] cytowanego w p.1, nie upoważnia się osób fizycznych, a więc i rzeczoznawców, do odstępstwa od przeprowadzenia badań sprawdzających.

Oceny wytrzymałości wykonywane za pomocą młotków Schmidta bez sprawdzonych krzywych skalowania, na przykład według danych w kolumnie 4 tablicy 1, mają charakter wyłącznie prób jakościowo-orientacyjnych, podobnie jak w przypadku innych metod instrumentalnych opisanych w tej tablicy.

Główną zaletą popularnych w kraju młotków Schmidta jest łatwość pomiarów liczby odbicia i możliwość ich przeprowadzenia przez jedną osobę. Podstawowym mankamentem metody sklerometrycznej – w odniesieniu do istniejących konstrukcji – jest konieczność każdorazowych kontrolnych badań sprawdzających zależności $R-L$ na pewnej liczbie odwiertów oraz fakt, że oszacowanie dotyczy przypowierzchniowej warstwy betonu (grubości około 3 cm), różniącego się zwykle od betonu w warstwach głębiej położonych.

Metoda ultradźwiękowa polega na oszacowaniu pośrednim wytrzymałości betonu w konstrukcji na podstawie pomiarów prędkości rozchodzenia się ultradźwiękowych fal podłużnych w betonie.

W badaniach betonu metodą ultradźwiękową, obecnie znacznie rzadziej stosowaną w kraju niż metoda sklerometryczna, wykorzystywane są tzw. betonoskopy, które wytwarzają impulsy ultradźwiękowe o częstotliwościach od 30 do 500 kHz i odbierają je po przejściu określonej drogi w betonie. Urządzenia te zapewniają pomiary czasu t przejścia impulsu w zakresie od 20 do 2500 mikrosekund, z błędem nie większym niż 2,5%. Najczęściej stosowanym układem geometrycznym badania jest ustawienie ultradźwiękowych sond nadawczej i odbiorczej na przeciwległych stronach elementu konstrukcyjnego, a więc pomiar czasu t przejścia impulsu na skroś niego. Znając drogę

impulsu S , prędkość rozchodzenia się ultradźwiękowych fal podłużnych V określa się ze znanego wzoru $V = S/t$.

Wytrzymałość betonu na ściskanie R wyznacza się pośrednio z krzywych skalowania $R-V$, tak samo jak to opisano w przypadku metody sklerometrycznej. Zgodnie z przedmiotową normą [5], przy doborze hipotetycznej krzywej skalowania $R-V$ obowiązują identyczne wymagania jak w przypadku zależności $R-L$.

Metoda ultradźwiękowa pozwala oszacować beton w wewnętrznych partiach, co stanowi jej zaletę w stosunku do metody sklerometrycznej. Jednak z uwagi na większą pracochłonność (posługiwanie się nią wymaga zatrudnienia minimum dwóch osób przy pomiarach czasu i drogi impulsów) oraz pozostałe mankamenty, takie same jak w przypadku metody sklerometrycznej, nie jest ona obecnie popularna w kraju.

Metody pull-out polegają na lokalnych, wykonywanych *in situ* próbach wytrzymałościowych, takich jak na przykład ekstrakcja zabetonowanych, wbitych lub przyklejanych trzpieni stalowych, albo odłamywanie krawędzi betonu. Manekamentem tych metod jest to, że są one częściowo destrukcyjne, pozostają w swej istocie tylko metodami pośrednimi (wymagającymi weryfikacji krzywych skalowania), a ponadto do ich stosowania niezbędne są specjalne urządzenia mechaniczne. Stąd metody te nie we wszystkich krajach są tolerowane, a w Polsce stosuje się je sporadycznie i nie są znormalizowane.

Reasumując należy podkreślić, że metodą szeroko stosowaną jest nieniszcząca metoda sklerometryczna. Ponieważ zasady oceny wytrzymałości betonu na podstawie badań nieniszczących nie zależą od metody, w dalszej części pracy ograniczono się do speyfikacji badania za pomocą młotków Schmidta typu N.

2.2. Interpretacja wyników badań nieniszczących

W wyniku badań nieniszczących elementu lub fragmentu konstrukcji uzyskuje się zbiór o licznosci n danych X_i (np. liczb odbicia L_i lub prędkości fal ultradźwiękowych V_i w poszczególnych miejscach pomiaru). Znając wiarygodną zależność (krzywą skalowania) $R-X$, można oszacować wytrzymałość betonu R_{xi} w każdym zbadanym miejscu konstrukcji, a następnie obliczyć średnią wartość R_{xm} oraz odchylenie standardowe wytrzymałości ze znanych wzorów

$$R_{xm} = \frac{\sqrt{\sum R_{xi}}}{n}, \quad s_{R_x} = \sqrt{\frac{\sum (R_{xi} - R_{xm})^2}{n-1}} \quad (1)$$

Pominięto tu procedurę obliczania średniej wartości i odchylenia standardowego wielkości mierzonej X_i , a następnie na podstawie tych danych wyznaczania według wzorów podanych w przedmiotowych normach [5], [6] średniej wartości i odchylenia standardowego wytrzymałości w elemencie lub fragmencie konstrukcji. Procedura ta w zastosowaniu do istniejących konstrukcji jest ograniczona do przypadków, gdy krzywą skalowania można opisać tylko za pomocą równania prostej lub paraboli drugiego stopnia.

Istotnym zagadnieniem pozostaje sprawdzenie wiarygodności skorygowanej współczynnikiem C_k przyjętej zależności hipotetycznej (krzywej skalowania)

$$R_{xi} = C_k f(X_i) \quad (2)$$

Zgodnie z przedmiotowymi normami badań nieniszczących [5], [6] o wiarygodności zależności (2) świadczy spełnienie warunku wyrażonego za pomocą wzoru

$$v_k = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n \left(\frac{R_{xip} - R_{ip}}{R_{xip}} \right)^2}{n-1}} \leq 0,12 \quad (3)$$

w którym:

- R_{xip} – wytrzymałość i -tej próbki oszacowana z krzywej skalowania, MPa,
- R_{ip} – wytrzymałość i -tej próbki wyznaczona w maszynie wytrzymałościowej, MPa,
- n – liczba próbek kontrolnych.

W praktyce krajowej korygowanie hipotetycznej krzywej skalowania dokonuje się za pomocą współczynnika obliczanego z wzoru

$$C_k = \frac{R_{mp}}{R_{xmp}} \quad (4)$$

w którym:

- R_{mp} – średnia rzeczywista wytrzymałość na ściskanie serii n próbek kontrolnych zbadanych w maszynie wytrzymałościowej,
- R_{xmp} – średnia wytrzymałość tych próbek oszacowana na podstawie hipotetycznej krzywej skalowania, przed jej skorygowaniem.

Ocena wiarygodności krzywej skalowania R - X według wzoru (3), w związku z harmonizacją naszych norm z europejskimi procedurami, prawdopodobnie zostanie zastąpiona warunkiem ograniczenia wielkości bezwzględnej zwanej odchyleniem standardowym reszty, obliczanym z wzoru

$$s_{rest} = \sqrt{\frac{\sum (R_{xip} - R_{ip})^2}{n-1}} \leq (0,12 - 0,15) R_{mp} \quad (5)$$

Podobnie zmieniony zostanie sposób obliczania współczynnika C

$$C = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \frac{R_{ip}}{R_{xip}} \quad (6)$$

Skutki zastosowania niezwyfikowanych krzywych skalowania można oszacować na przykład w sposób zaproponowany w pracy [12]. Sposób ten polega na założeniu, że w procedurze oceny wytrzymałości metodami nieniszczącymi należy uwzględnić błąd

określenia R drogą pośredniego pomiaru wielkości X (np. liczb odbicia L w metodzie sklerometrycznej). Uwzględnienie tego błędu może nastąpić przez wprowadzenie łącznego (totalnego) odchylenia standardowego s_{tot} zamiast odchylenia standardowego s według wzoru (1).

Wielkość s_{tot} może być wyznaczona zgodnie z zasadą sumowania wariancji błędów pojedynczych pomiarów, przy czym możliwe są dwa przypadki interpretacji odchylenia standardowego reszty:

a) zakładający s_{rest} jako wartość stałą, stąd

$$s_{tot} = s_{Rx} \sqrt{1 + \frac{s_{rest}^2}{s_{Rx}^2}} \tag{7}$$

b) zakładający s_{rest} jako wartość proporcjonalną do średniej wytrzymałości w badanym zakresie wytrzymałości betonu, czyli:

$$s_{tot} = s_{Rx} \sqrt{1 + \frac{s_{rest}^2 R_{xm}^2}{s_{Rx}^2 R_{mp}^2}} \tag{8}$$

Rola drugiego członu pod pierwiastkami jest bardzo istotna i nieuświadomienie sobie tego przez niektórych badaczy lub rzeczoznawców prowadzi do istotnych błędów oceny betonu wskutek bezkrytycznego korzystania z różnych dostępnych tablic i nomogramów (np. z firmowych nomogramów znajdujących się na obudowie młotka Schmidta albo z tablic zamieszczonych w załączniku do Instrukcji ITB nr 210 [13]), bez wymaganej weryfikacji na próbkach pobranych z konstrukcji. Najlepiej pokazuje to konkretny przykład.

Tablice i nomogramy podane w instrukcji 210 wyznaczone zostały na podstawie pokazanej na rysunku 1 funkcji regresji o równaniu

$$R = 0,041 L^2 - 0,915 L + 7,4 \tag{9}$$

gdzie L – liczba odbicia odczytana na wskaźniku młotka Schmidta.

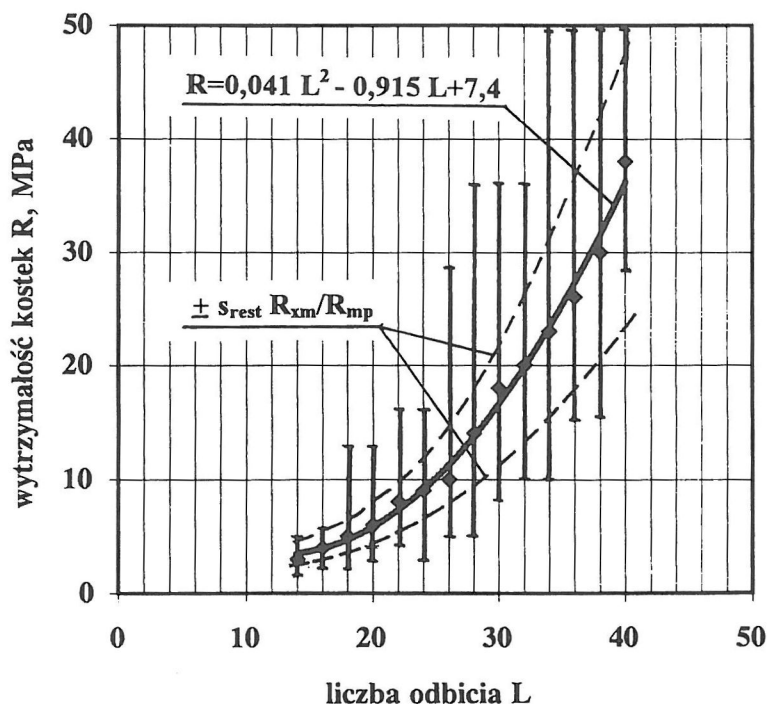
Funkcję tę otrzymano [14] w wyniku analizy korelacyjnej zbioru ponad 700 próbek o średniej wytrzymałości ogólnej zbioru $R_m = 15,3$ MPa i odchyleniu standardowym reszty $s_{rest} = 5,4$ MPa (co stanowi 0,33 średniej wytrzymałości ogólnej R_m). Jeśli więc w trakcie badania diagnostycznego odchylenie standardowe wytrzymałości betonu w badanym elemencie, obliczone z wzoru (1), byłoby na przeciętnym poziomie, a więc na przykład równe $s_{RL} = 0,12 R_m$ (czyli prawie trzykrotnie mniejsze od wartości s_{rest} , stwierdzonej w przypadku krzywej skalowania z instrukcji 210), totalne odchylenie standardowe, obliczone przy założeniu stałego s_{rest} z wzoru (7), wyniosłoby $2,93 s_{RL}$. Stąd przy sprawdzaniu normowego kryterium zgodności wytrzymałości z wymaganą klasą betonu zamiast wartości 1,64 należałoby przyjmować wartość $1,64 \times 2,93 = 4,8$, co z kolei dyskwalifikuje praktycznie każdy badany beton w konstrukcji.

Z tego względu, jeśli na przykład na podstawie badań sklerometrycznych *in situ* otrzymano średnią wartość liczby odbicia $L = 35$ i odchylenie standardowe $s_L = 5$, to korzystając z tablic w Instrukcji ITB nr 210 [13] bez weryfikacji otrzymuje się następujące wyniki: średnią

wytrzymałość betonu $R_{Lm} = 22,3$ MPa, odchylenie standardowe $s_{RL} = 3,0$ MPa oraz kwantyl rozkładu rzędu 0,05, czyli $R_{\min} = 22,3 - 1,64 \times 3 = 17,5$ MPa. Na tej podstawie badany beton można by zaliczyć do klasy B17,5. Przy uwzględnieniu natomiast s_{tot} według wzoru (8) rzeczywista wartość R_{\min} może być znacznie niższa i wynosić

$$R_{\min} = 22,3 - 1,64 \times 3 \sqrt{1 + \frac{5,4^2}{3^2} \frac{22,3^2}{15,4^2}} = 22,3 - 1,64 \times 8,38 = 8,6 \text{ MPa}$$

a tym samym brak jest podstaw do zakwalifikowania danego betonu nawet do klasy B10.



Rys. 1. Rzeczywiste rozstępy wytrzymałości w poszczególnych przedziałach i krzywa skalowania R-L według Instrukcji ITB nr 210

3. Metody bezpośrednie badania wytrzymałości betonu na próbkach-odwiertach

3.1. Sposób pobierania odwiertów oraz przygotowywania i badania próbek

Określanie cech betonu na próbkach pobieranych z konstrukcji istniejących praktykowane jest od dawna. Początkowo próbki te wycinano z odkutych z konstrukcji brył betonowych piłami diamentowymi, stosowanymi przy obróbce kamienia. Przydatność

tych wyników była ograniczona z uwagi na silnie naruszoną strukturę betonu podczas odkuwania brył. Dziś sposób ten stosuje się rzadko, natomiast powszechnie wykorzystuje się możliwość pobierania betonu z konstrukcji za pomocą specjalnych urządzeń tzw. wiertnic z wiertłami koronowymi z nasypem diamentowym.

Wiertła koronowe umożliwiają uzyskanie rdzeni betonowych (zwanymi odwiertami) o średnicach od około 10 do 200 mm. O doborze średnicy koronki decydują wymiary obiektu i uziarnienie grubego kruszywa w betonie. Dotychczas – analogicznie jak w przypadku próbek betonowych wykonywanych w formach – uważa się, że średnica odwiertu nie powinna być mniejsza niż trzykrotny wymiar najgrubszej frakcji kruszywa w betonie. Stąd badacze „tradycyjni” preferują odwierty o średnicy 150 mm. Pogląd ten, szczególnie w odniesieniu do betonów klas powyżej B20, jest podważany w wyniku coraz szerszego stosowania za granicą odwiertów o małych średnicach (70–100 mm) i tzw. mikroodwiertów o średnicach 28, 45 lub 50 mm [15], o czym będzie mowa w dalszej części artykułu.

Z kolei długość wiertła koronowego powinna umożliwić uzyskanie próbki o wysokości równej co najmniej średnicy odwiertu – po odcięciu warstwy brzegowej betonu – która nie powinna być mniejsza niż 1/5 średnicy odwiertu.

Kryteria te nie zawsze mogą być spełnione, uważa się więc, że lepiej wyciąć odwiert o mniejszej średnicy i usunąć warstwy przypowierzchniowe, niż pobrać odwiert o większej średnicy bez możliwości jej usunięcia.

O wyborze i liczbie miejsc pobrania odwiertów decydują: potrzeba zapewnienia statystycznej reprezentatywności i wymaganej dokładności oszacowania, warunek nieosłabiania konstrukcji, a także dążenie do obniżenia kosztu oraz pracochłonności odwiercania i reperacji powstałych ubytków betonu. Z doświadczeń ITB wynika, że zainteresowane strony powinny na wstępie wyznaczyć osobę, która będzie odpowiedzialna za wybór miejsc wykonania odwiertów i będzie decydować, które z nich należy odrzucić.

Nie pobiera się odwiertów z miejsc konstrukcji wyraźnie uszkodzonych lub spękanych, a także z miejsc o zagęszczonym zbrojeniu.

Wymaganą dokładność w próbie ściskania betonu – rzędu około 10% – uzyskuje się przy liczności próbek min. 6. Stąd, zakładając możliwość wycięcia 2 próbek (o wysokości równej średnicy) z jednego odwiertu, należy w danym miejscu ustawienia wiertnicy pobrać 3 odwierty. Liczba takich miejsc nie powinna być mniejsza niż 6 (w wyjątkowych wypadkach – 3).

Próbki wycina się z odwiertów po uprzednim odcięciu partii przypowierzchniowych betonu. Nie należy wycinać próbek z dostarczonych odwiertów z widocznymi uszkodzeniami i pęknięciami.

W niektórych krajach stosunek wysokości do średnicy próbek wycinanych z odwiertów wynosi od 0,95 do 2,0. W Polsce stosuje się próbki o wysokości równej średnicy, z dopuszczalnym odchyleniem 10 mm, po uwzględnieniu ubytków wskutek szlifowania powierzchni czołowych za pomocą tarcz z frezami z nasypem diamentowym. Szlifowanie jest preferowane w PrEN [16]; jeżeli jednak powierzchnie czołowe nie są szlifowane, wyrównuje się je warstwą specjalnej wyprawy lub piasku. Wpływ obróbki powierzchni czołowych na oznaczaną wytrzymałość betonu na ściskanie musi być każdorazowo uwzględniony, o czym będzie mowa w dalszej części artykułu.

W zależności od przyjętej procedury laboratoryjnej próbkę przed badaniem w maszynie wytrzymałościowej przechowuje się w wodzie lub w warunkach powietrzno-suchych.

W praktyce krajowej stosuje się przeważnie drugi sposób przechowywania próbek. Wpływ wilgotności omówiony będzie w następnym punkcie artykułu.

Próbę ściskania w warunkach krajowych przeprowadza się zgodnie z normą [4].

3.2. Wpływ różnych czynników na wynik ściskania próbek-odwiertów

Do podstawowych czynników, od których zależy oznaczona w prasie wytrzymałość na ściskanie próbki betonowej, należą: kierunek jej odwiercania w stosunku do kierunku betonowania elementu betonowego, sposób przygotowania ściskanych powierzchni próbek, warunki przechowywania próbek przed próbą ściskania, średnica próbki i stosunek wysokości próbek do ich średnicy oraz struktura próbki i ewentualne inkluzje.

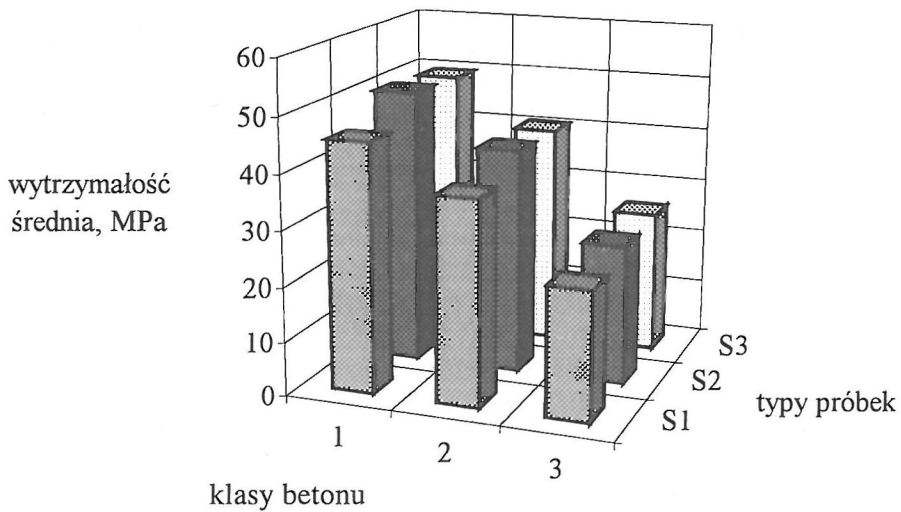
W latach 1992-1997 w ITB przeprowadzono badania dużych zbiorowości próbek wyciętych z odwiertów, w których określono wpływ wymienionych czynników. Ze względu na znaczenie wyników tych badań przy ustalaniu procedur badawczych oraz przy ocenie wytrzymałości betonu w konstrukcji ważniejsze rezultaty zostaną obecnie przedstawione.

3.2.1. Wpływ kierunku odwiercania w stosunku do układania betonu oraz sposobu wykończenia ściskanych powierzchni próbek

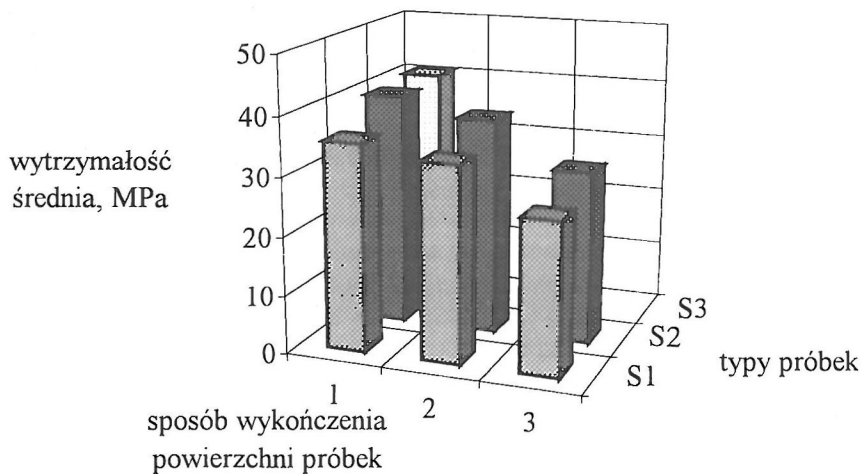
Badania wpływu kierunku odwiercania w stosunku do układania betonu oraz sposobu wykończenia ściskanych powierzchni próbek zrealizowano w ITB w 1997 r. Zakres badań obejmował betony klas B20, B35 i B45, z których wykonano 324 próbki:

- 1) normowe o boku 150 mm,
 - 2) wycięte z odwiertów o średnicach 100 i 50 mm odwiercane w kierunku równoległym,
 - 3) odwiercane w kierunku prostopadłym do kierunku betonowania,
- stosując trzy sposoby wykończenia (przygotowania) obciążanych powierzchni próbek wyciętych z odwiertów:
- a) szlifowanie za pomocą frezów z nasypem diamentowym,
 - b) wyprawianie zaprawą o grubości do 2 mm,
 - c) nałożenie stalowych kapsli z warstwami piasku o grubości 10 mm (metoda sand-box capping).

Na podstawie przeprowadzonych badań stwierdzono, że wpływ kierunku odwiercania na wytrzymałość jest niezależny od sposobu wykończenia próbek i na przykład w przypadku próbek szlifowanych $d = 50$ mm pokazany został na wykresie kolumnowym (rys. 2). Wytrzymałość betonu oznaczana na próbkach-odwiertach ściskanych w kierunku równoległym do kierunku betonowania może być do 10% wyższa od wytrzymałości oznaczanej na próbkach ściskanych w kierunku prostopadłym do kierunku układania betonu. Ponadto stwierdzono, że najwyższe wartości wytrzymałości uzyskuje się na próbkach-odwiertach ze szlifowanymi powierzchniami: o 10–15% wyższe niż na próbkach wyprawianych zaprawą oraz o 20–25% wyższe niż na próbkach ściskanych poprzez warstwy piasku (kapsle piaskowe). Przykładowo zostało to zilustrowane na rysunku 3, przedstawiającym wykres kolumnowy w odniesieniu do próbek $d = 100$ mm z betonu klasy B35. Wyniki potwierdzają więc wiarygodność przyjęcia zarówno w PrEN [16], jak i przez ITB procedury badania próbek-odwiertów z powierzchniami szlifowanymi jako miarodajnej.



Rys. 2. Wykres kolumnowy średniej wytrzymałości próbek-odwiertów $d = 50$ mm szlifowanych. Oznaczenia próbek: S3 – kostki normowe, S2 – odwierty ściskane równoległe do kierunku betonowania, S1 – odwierty ściskane prostopadłe do kierunku betonowania; oznaczenia klas betonu: 1 – B45, 2 – B35, 3 – B20



Rys. 3. Wykres kolumnowy średnich wytrzymałości próbek-odwiertów $d = 100$ mm z betonu klasy B35. Oznaczenia próbek jak na rysunku 2; oznaczenia sposobu wykończenia powierzchni próbek: 1 – szlifowanie, 2 – wyprawa, 3 – warstwa piasku

3.2.2. Wpływ wymiarów próbek-odwiertów

Problem różnicy wytrzymałości w próbach ściskania przeprowadzonych na próbkach o różnym kształcie i wymiarach istnieje od momentu ustalenia normowej kontroli jakości betonu. Literatura na temat współczynników przeliczeniowych jest bardzo bogata w odniesieniu do próbek wykonanych w formach, a sposób przeliczania wytrzymałości określonych na kostkach sześciennych o bokach 10, 15 i 20 cm został podany w normie dotyczącej betonu [4].

Znacznie skromniejsza bibliografia dotyczy wycinanych próbek cylindrycznych, przy czym z uwagi na stale doskonalony sprzęt do pobierania odwiertów oraz postęp w technologii betonu, powodujący znaczny wzrost stosowanej w budownictwie średniej wytrzymałości betonu, wyniki prac sprzed kilku lat są większości bezużyteczne. Na ogół w pracach tych przyjmowano, że nie można otrzymać odwiertu nie naruszając struktury zawartego w nim betonu. Stąd w publikacjach sprzed dziesięciu lat, a także w niektórych zagranicznych normach proponowane są współczynniki zwiększające o 7–20% wytrzymałości określane na odwiertach o takiej samej średnicy jak bok próbki kostkowej. Wyjątek stanowił referat jednego z autorów zagranicznych na I Konferencji MATBUD '96 w Krakowie, w którym zaproponowano współczynnik zwiększający wytrzymałość odwiertów o średnicy 150 mm nawet o 46%. Niestety, autor tego referatu nie poinformował, że swoje badania prowadził na próbkach wycinanych za pomocą dawnych urządzeń ponad dwadzieścia lat temu (w latach 1977-1978), a referat przedstawiony na konferencji w 1996 r. jest dosłownym tłumaczeniem jego starej publikacji z roku 1980 [17].

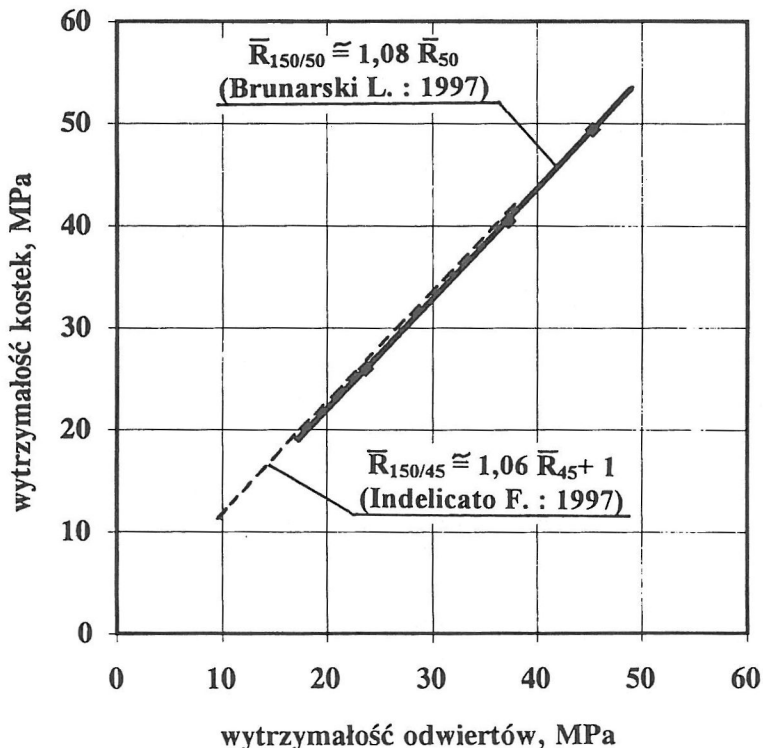
Publikacje zagraniczne z lat ostatnich [15], [18], a także wyniki własnych badań prowadzonych od 1992 r. w ITB nie potwierdzają wartości takich wysokich współczynników do przeliczania wyników badań próbek-odwiertów na normowe próbki kostkowe betonów konstrukcyjnych klas B20 lub wyższych. Wyjątek stanowi załącznik informacyjny do PrEN [16], dotyczącej badań na odwiertach z betonu, w którym między innymi podano, że przy kruszywie do 20 mm wytrzymałość próbek o średnicy 100 mm jest wyższa o 7% od wytrzymałości próbek o średnicy 50 mm. O przeliczaniu wyników na próbki normowe w projekcie tej normy brak jest danych.

Na podstawie analizy korelacyjnej wyników badań wyżej scharakteryzowanych betonów, które przeprowadzono w ITB w 1997 r., stwierdzono że:

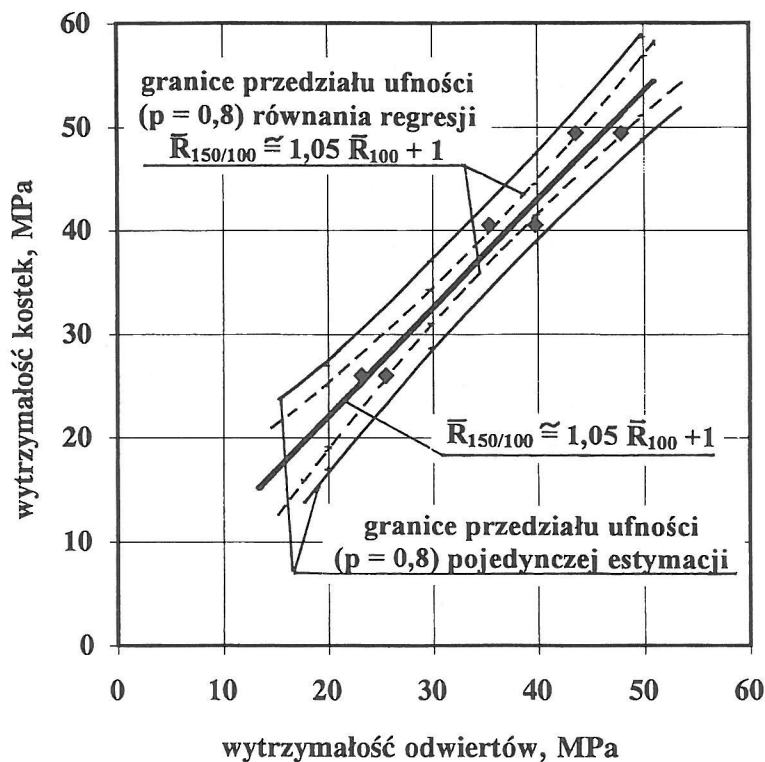
- próbki-odwierty o małych średnicach $d = 50\text{--}100$ mm i wysokościach $h = d$, spełniające warunek polegający na tym, że średnica odwiertu jest większa od 3-krotnego wymiaru max kruszywa, mogą być wykorzystywane do oszacowania wytrzymałości betonu *in situ*; pobieranie odwiertów o większych średnicach nie jest więc konieczne,
- zależności między średnią wytrzymałością betonu, oznaczoną na próbkach normowych o boku 150 mm, oraz wymienionymi próbkami-odwiertami są liniowe i odznaczają się bardzo wysokimi współczynnikami korelacji liniowej, jak to pokazano na przykładzie linii regresji w przypadku próbek $d = 50$ mm (rys. 4); na rysunku tym pokazano prawie identyczną linię regresji otrzymaną na podstawie masowych badań próbek $d = 45$ mm, przeprowadzonych przez F. Indelicato na Politechnice w Turynie [15],

– ze względu na losowy charakter korelacji, ocena końcowa powinna być w zasadzie przeprowadzona z uwzględnieniem przedziałów ufności przyjętej linii regresji oraz estymowanych pojedynczych wartości wytrzymałości betonu; jak to widać na rysunku 5, w przypadku oceny wytrzymałości betonu w konstrukcji na podstawie dolnej granicy przedziału ufności estymowanych wielkości możliwe jest korzystanie z zależności (wykresów) wyznaczonych z populacji próbek bez uwzględniania kierunku wycinania odwiertów.

W podsumowaniu wyników badań ITB z 1997 r. można stwierdzić, że wytrzymałości próbek-odwiertów $d = 100$ mm i $d = 50$ mm, ściskanych równoległe do kierunku betonowania, praktycznie biorąc mało się różnią od wytrzymałości próbek normowych o boku 150 mm; współczynniki korygujące w stosunku do wartości średnich wytrzymałości próbek o średnicy 100 mm wynoszą około 1,05, próbek zaś o średnicy 50 mm około 1,08. Wartości tych współczynników należy traktować jako orientacyjne i w znacznym stopniu zależne od techniki wycinania odwiertów i próbek oraz warunków przeprowadzenia badań.



Rys. 4. Porównanie zależności między wytrzymałością oznaczaną na kostkach o boku 150 mm oraz na odwiertach $d = 50$ mm ściskanych prostopadle do kierunku betonowania



Rys. 5. Zależność między wytrzymałością betonu na próbkach normowych o boku 150 mm i na odwiertach $d = 100$ mm, bez uwzględnienia kierunku ich wycinania

Wyniki te raz jeszcze potwierdzają rezultaty poprzednich badań ITB z lat 1993-1995 populacji 999 próbek o powierzchniach szlifowanych, wykonanych z betonów klas od B15 do B50. W badaniach tych współczynniki przeliczeniowe wytrzymałości betonu ze względu na wymiary próbek-odwiertów typu $d = h$, bez uwzględnienia kierunku wycinania odwiertów, przy średnicach: 150, 100, 80 i 50 mm wynosiły odpowiednio: 1,03, 0,95 (0,89–1,05), 0,96 (0,91–1,06) i 1,00 (0,98–1,05), a więc praktycznie były równe 1,0. Słuszność takiego wniosku potwierdzają dane zawarte w raporcie N. Greiga z brytyjskiego stowarzyszenia betonu [19], według którego stosunki te wynoszą od 0,93 do 1,06, a więc praktycznie oscylują wokół wartości równej 1.

3.2.3. Wpływ kształtu próbek-odwiertów i warunków ich przechowywania (wilgotności próbek)

Badania wpływu kształtu próbek-odwiertów i warunków ich przechowywania na wynik ściskania tych próbek przeprowadzono w ITB w latach 1993-1994 na populacji próbek o liczności $n = 1440$. Zakres badań obejmował betony klas od B15 do B50. Badano próbki-odwierty z powierzchniami szlifowanymi, o średnicach od 50 do 100 mm oraz

stosunkach $h : d$ równych 1 i 2. Na podstawie analizy wyników stwierdzono, że stosunki wytrzymałości betonu oznaczanych na próbkach-odwiertach typu $d = h$ do wytrzymałości oznaczanych na próbkach typu $h = 2 d$, niezależnie od wilgotności (stan nasycenia wodą i powietrzno-suchy), wynoszą od 1,46 do 1,51. Z kolei stosunki wytrzymałości betonu oznaczane na próbkach-odwiertach przechowywanych w warunkach powietrzno-suchych do wytrzymałości oznaczanych na próbkach przechowywanych w wodzie do chwili ściskania w prasie wynoszą od 1,31 do 1,37. Na podstawie uzupełniających badań ITB z 1995 r. populacji o licznosci $n = 261$ próbek-odwiertów o średnicach $d = 150$ mm, badanych w stanie powietrzno-suchym, stwierdzono, że wytrzymałość oznaczana na próbkach typu $h = d$ jest o 20% wyższa od oznaczanej na próbkach typu $h = 2 d$.

W podsumowaniu tych badań, mając na uwadze bardzo niskie współczynniki zmienności wytrzymałości w poszczególnych seriach próbek (wszystkie poniżej 10%), należy stwierdzić, że w pełni uzasadnione jest przyjęcie próbek typu $h = d$, przechowywanych w warunkach powietrzno-suchych, zalecanych w próbie oznaczania wytrzymałości na próbkach-odwiertach pobieranych *in situ*. Próbki tego typu nie wymagają stosowania dodatkowych współczynników korekcyjnych z uwagi na wilgotność betonu, a ponadto pozwalają na uzyskanie zwiększonej liczby próbek z tych samych odwiertów oraz na mniej kłopotliwe ich przechowywanie.

3.2.4. Wpływ inkluzji wewnętrznych i struktury próbki

W próbkach przypadkowo mogą się znajdować przecięte pręty zbrojenia. Jeśli próbka zawiera pręty zbrojenia, oczywiście z wykluczeniem prętów równoległych do osi próbki cylindrycznej, obliczoną wytrzymałość niektórzy badacze korygują. Na przykład według danych brytyjskich [19] rekomendowane są następujące współczynniki:

1) w przypadku jednego pręta

$$k = 1 + 1,5 \frac{d_z a}{d_b h} \quad (10)$$

gdzie: d_z – średnica pręta zbrojenia,

d_b – średnica próbki,

a – odległość osi pręta do najbliższej powierzchni czołowej próbki,

h – wysokość próbki po szlifowaniu lub wyprawieniu;

2) w przypadku dwóch prętów w próbce, rozstawionych w odległości względem siebie nie większej niż ich średnica, bierze się pod uwagę jeden pręt, odpowiadający większej wartości iloczynu $d_z a$; jeśli rozstaw prętów jest większy, współczynnik oblicza się przyjmując sumę wartości $\sum d_{zi} a_i$ we wzorze (10). Na przykład, jeśli w próbce o średnicy 100 mm znajdują się dwa pręty o średnicy 8 mm położone w odległościach 20 mm od powierzchni czołowych, współczynnik k wynosi około 1,05. Z doświadczeń ITB wynika, że jeśli w próbce z jednym prętem uwidacznia się jego wpływ na zniszczenie (np. następuje wyraźne rozłupanie próbki), wynik badania powinien być odrzucony.

Wpływ struktury próbki z betonu, ściślej – wpływ niejednorodności wywołanej układaniem masy betonowej w formie, omówiono wyżej w przypadku analizowania wpływu kierunku odwiercania na oznaczaną wytrzymałość betonu.

Oddzielnym problemem może być badanie próbek o strukturze sandwiczowej, składanych na przykład z dwóch części. Próbki takie mogą być wykorzystywane w przypadku oceny wytrzymałości betonu w cienkich warstwach podłogowych tworzących posadzki, podkłady i podłoża. W związku z tym w ITB w 1992 r. przeprowadzono badania betonów klas od B10 (piaskobeton) do B30 na populacji 480 próbek-odwiertów o średnicach 50 i 80 mm, typu $h = d$, o szlifowanych obciążanych powierzchniach, z których połowa była złożona z dwóch części i sklejana za pomocą cienkiej warstwy kleju winacet. Na podstawie analizy stwierdzono, że dwa zbiory wyników badania próbek o tak różnej strukturze charakteryzują się bardzo niskimi dyspersjami oraz że nie ma istotnej różnicy wytrzymałości próbek jednolitych i sandwiczowych. Stosunki wytrzymałości betonu obu zbiorów wynoszą od 0,97 do 1,02, a więc praktycznie można je przyjąć jako równe 1,0. W podsumowaniu tych badań stwierdzono możliwość oceny wytrzymałości na ściskanie betonu na próbkach typu sandwicz.

Omawiając wpływy różnych czynników, warto na koniec przytoczyć opinie brytyjskiego stowarzyszenia betonu, zawarte w raporcie N. Greiga [19]. Według tego raportu wytrzymałość betonu *in situ* jest przeciętnie z reguły niższa w niektórych przypadkach nawet o 25% od określonej na kostkach normowych. Tłumaczy się to gorszymi warunkami pielęgnacji, większą porowatością, segregacją składników mieszanki betonowej i wpływem temperatury zewnętrznej. Równocześnie autor raportu uważa, że kwestia ta powinna być jeszcze przedmiotem badań i analiz. Doświadczenia krajowe, świadczące o podobnych różnicach wytrzymałości betonu (np. zwiększona wytrzymałość betonu u dołu słupów oraz w środkowej partii elementów wielkopłytowych, wykonywanych w formach bateryjnych), potwierdzają słuszność takiego poglądu.

4. Ogólne zasady postępowania w przypadku otrzymania różniących się wyników badania tego samego betonu

W projekcie europejskiej normy PrEN 206 : 1996-17 (zob. p.1) [7] podano jako obowiązującą zasadę określania wytrzymałości betonu w konstrukcji na podstawie wyników badania wyciętych z niej próbek albo wyników łącznego badania takich próbek i badania konstrukcji metodą nieniszczącą. W praktyce krajowej przy każdorazowym obowiązkowym sprawdzaniu krzywej skalowania zasada ta jest stosowana. Pewnym jej mankamentem jest brak możliwości uwzględnienia wpływu liczby odwiertów pobranych z konstrukcji na wynik końcowej oceny wytrzymałości betonu w tejże konstrukcji. Pozostaje również otwarta kwestia, czy wytrzymałość, określona bezpośrednio z małą liczbą próby ściskania próbek-odwiertów, jest mniej czy bardziej wiarygodna od wytrzymałości oszacowanej na podstawie znacznie większego zbioru wyników badań nieniszczących i oceny na podstawie sprawdzonej krzywej skalowania. Ponieważ najczęściej nie ma możliwości pobrania odwiertów z miejsc, gdzie beton jest wyraźnie słabszy, oraz ze względu na ograniczanie liczby odwiertów, jako miarodajne uznaje się w takich przypadkach wyniki badań nieniszczących. Odpowiedź bardziej jednoznaczna może dać wnioskowanie Bayesowskie, stosowane między innymi w analizach niezawodności obiektów [20]. Przydatność wnioskowania Bayesowskiego do analiz wyników równoczesnych badań nieniszczących betonu *in situ* oraz próbek wyciętych z konstrukcji jest

analizowana w ITB i w przypadku pozytywnych rezultatów będzie rozważana możliwość jej rekomendacji.

5. Podsumowanie

Na wstępie trzeba podkreślić, że w praktyce budownictwa upowszechnia się nie spotykane w innych dyscyplinach (np. nie do pomyslenia w medycynie) przekonanie, że każdy projektant, wykonawca czy nawet rzeczoznawca budowlany może być równocześnie profesjonalnym instrumentalistą, wykonującym badania diagnostyczne. Stąd częste przypadki sprowadzania problemu diagnostyki betonu do opukiwania konstrukcji mniej lub bardziej sprawnym młotkiem Schmidta, bez szlifowania powierzchni badanej betonu, bezkrytyczne korzystanie z krzywych skalowania i współczynników korygujących (m.in. przykładowych krzywych z instrukcji ITB) bez ich obligatoryjnego sprawdzenia. W przypadku badania próbek wycinanych z odwiertów w betonie nie przestrzega się zasady reprezentatywności i uzależnienia wyników próby ściskania od stanu technicznego maszyn do odwiercania, sposobu przygotowania i przechowywania próbek, ich wilgotności oraz od zastosowania różnego typu podkładek, które nie są przewidywane w próbie ściskania według obowiązującej normy [4]. Poniżej przedstawiono podstawowe warunki wiarygodnej procedury badawczej i oceny wytrzymałości betonu w konstrukcji.

W badaniach instrumentalnych konstrukcji z betonu należy odróżniać próby orientacyjno-jakościowe od wiarygodnych badań ilościowych. Próby orientacyjne wykonywane na przykład z zastosowaniem młotka i przecinaka ślusarskiego lub sklerometru Schmidta, bez weryfikacji krzywej skalowania, nie mogą być podstawą określenia klasy betonu, a więc są bezużyteczne dla rzeczoznawcy orzekającego o wytrzymałości czy klasie danego betonu.

Podstawą wiarygodnego oszacowania, zgodnie z obowiązującymi polskimi normami, a także z normą europejską PrEN [7], mogą być tylko wyniki badania próbek wyciętych z odwiertów pobranych z konstrukcji albo wyniki badań nieniszczących pod warunkiem korzystania ze sprawdzonych krzywych skalowania. Praktycznie występuje wtedy łączna ocena na podstawie wyników badań próbek-odwiertów i badań nieniszczących, dzięki którym można ograniczyć liczbę odwiertów i równocześnie zwiększyć poziom ufności końcowego oszacowania.

Praktycznie w warunkach krajowych znajdują zastosowanie metody nieniszczące: najczęściej metoda sklerometryczna oraz rzadko – ultradźwiękowa i pull-out (ekstrakcji lokalnej). Wszystkie te metody – w przypadku wykorzystywania ich przez rzeczoznawców do oceny wytrzymałości betonu w konstrukcji – wymagają profesjonalnego wykonywania i każdorazowego sprawdzania krzywych skalowania na próbkach-odwiertach. Niespełnienie tego wymagania może prowadzić do istotnego błędu (100% i więcej), szczególnie w przypadku betonów z dodatkami i domieszkami.

Należy mieć na uwadze, że zharmonizowanie polskich norm dotyczących badań nieniszczących z normami EC/ISO spowoduje pewne zmiany procedur badawczych, między innymi odnośnie do miary ścisłości krzywych skalowania i uwzględniania błędów

oszacowań wytrzymałości R betonu drogą pomiaru wielkości pośredniej X (liczby odbicia L w metodzie sklerometrycznej lub prędkości V rozprzestrzeniania się impulsów w metodzie ultradźwiękowej).

Miarodajność oszacowania wytrzymałości betonu w konstrukcji na podstawie badań próbek-odwiertów zależy między innymi od liczby i wyboru miejsc pobrania odwiertów, ich wymiarów, sposobu przygotowania powierzchni czołowych i przechowywania próbek. Przytoczone w artykule wyniki dotychczasowych badań prowadzonych w ITB uzasadniają stosowanie próbek o wysokości równej średnicy odwiertu, przechowywanie ich przed badaniem w warunkach powietrzno-suchych, dopuszczalność oceny na próbkach o małych średnicach, a także na próbkach łączonych typu sandwich, oraz świadczą o potrzebie zachowania ostrożności przy stosowaniu współczynników korekcyjnych do przeliczania wytrzymałości próbek-odwiertów na wytrzymałości normowe.

Ponadto zarówno dotychczasowe wyniki badań ITB, jak również doświadczenia zagraniczne (por. publikacje [15], [19]) wskazują na realne możliwości oceny wytrzymałości betonu w konstrukcji na podstawie badania próbek-odwiertów o małych średnicach i mikroodwiertów o średnicach poniżej 50 mm, być może nawet mniejszych niż 3-krotny wymiar max kruszywa w betonie (badania doświadczalne takich próbek prowadzone są w ITB w 1998 r.).

Literatura i dokumenty

- [1] Brunarski L., Pawlikowski J.: Ocena istniejących konstrukcji. Materiały III Konferencji WPRB. Część II, Kielce 1997
- [2] Brunarski L.: Metoda diagnostyki budowlanej. Prace ITB-kwartalnik, nr 1-2, 1992
- [3] PN-88/B-01807 Antykorozyjne zabezpieczenia w budownictwie. Konstrukcje betonowe i żelbetowe. Zasady diagnostyki konstrukcji
- [4] PN-88/B-06250 Beton zwykły
- [5] PN-74/B-06261 Nieniszczące badania konstrukcji z betonu. Metoda ultradźwiękowa badania wytrzymałości betonu na ściskanie
- [6] PN-74/B-06262 Nieniszczące badania konstrukcji z betonu. Metoda sklerometryczna badania wytrzymałości betonu na ściskanie za pomocą młotka Schmidta
- [7] PrEN 206:1996-17 Concrete – Performance, production and conformity
- [8] ISO 7034 Cores of hardened concrete. Taking, examination and testing in compression
- [9] ISO 8045 Concrete hardened. Determination of rebound number using the rebound hammer
- [10] ISO 8046 Concrete hardened. Determination of pull-out strength
- [11] ISO 8047 Concrete hardened. Determination of ultrasonic pulse velocity
- [12] Di Leo A., Pascale G., Viola E.: Core sampling size in NDT, Canmet/ACI Conf. on in situ NDT, Ottawa 1984
- [13] Instrukcja stosowania młotków Schmidta do nieniszczącej kontroli jakości betonu w konstrukcji. ITB, Warszawa 1977
- [14] Brunarski L.: Nieniszczące badania betonu. Część 1. Badania sklerometryczne. Prace ITB nr 283. Arkady, Warszawa 1966
- [15] Indelicato F.: Estimate of concrete cube strength by means of different diameter cores: A statistical approach. Materials and Structures, No 4, 1997

- [16] PrEN 12504:1997 Testing concrete – Cored specimens – Taking, examining and testing in compression
- [17] Šlimak J.: Vztahy medzi valcovou a kočkovou pevnostou betonu v tlaku. TSUS, Bratislava 1980
- [18] Bungey J.H., Millard S.G.: Testing of Concrete in Structures. Blackie Academic and Professional, London 1996
- [19] Greig N.: Concrete Core Strength Testing. Concrete Society Digest No 9, 1988
- [20] Murzewski J.: Niezawodność konstrukcji inżynierskich. Arkady, Warszawa 1989

ESTIMATION OF CONCRETE STRENGTH IN STRUCTURES

Summary

The paper deals with state of the art concerning test on cores and application of non - destructive test methods for estimation of concrete compressive strength. The laws of correlation between the cube strength and the strength obtained on cores with small diameters (100 and 50 mm) as well as strength from NDT methods have been discussed. The relationships expressing the lower confidence limits for future individual observations have been developed and recommendations for the in situ estimation of cube strength have been given.

Praca wpłynęła do Redakcji 16 XI 1998