

# Zmiany w stosowaniu metod nieniszczących do oceny wytrzymałości i jednorodności betonu w konstrukcjach

Prof. dr hab. inż. Leonard Runkiewicz, Instytut Techniki Budowlanej, Politechnika Warszawska,  
mgr inż. Maciej Runkiewicz, Kajima Poland Sp. z o. o.,  
mgr inż. Jan Sieczkowski, Instytut Techniki Budowlanej

## 1. Wprowadzenie

W budownictwie badania wytrzymałości materiałów wykonywane są za pomocą metod niszczących lub specjalistycznych metod nieniszczących i mało niszczących (seminieniszczących). Do ocen bezpieczeństwa elementów i konstrukcji mogą być również stosowane metody obciążeń próbnych. W konstrukcjach żelbetowych ocenom podlegają z reguły betony, których właściwości zależą od wielu zmiennych czynników, takich jak rodzaje składników, technologie wykonania, sposoby transportu, formy układania na budowie, rodzaje pielęgnacji itp. Sytuacje wymagające znajomości parametrów betonów związane są z potrzebami ocen:

- jakości betonów przeznaczonych do wbudowania lub betonów wbudowanych, gdy występują wątpliwości dotyczące spełnienia określonych właściwości (np. projektowych),
- diagnostyki konstrukcji przy przebudowach, rozbudowach, wzmocnieniach obiektów istniejących, w tym także obiektów zabytkowych.

W badaniach nieniszczących konstrukcji żelbetowych najczęściej stosowane są metody radiologiczne, ultradźwiękowe i sklerometryczne. Natomiast badania mało niszczące najczęściej wykonuje się przez wrywanie kotew osadzonych w stwardniałych betonach (metoda *pull-out*) lub umieszczonych w konstrukcjach przed ich zabetonowaniem (metoda *lock-out*), odrywaniem stalowych krążków przyklejonych do powierzchni betonów (metoda *pull-off*), ścinaniem naroży elementów betonowych lub wyłamywaniem walcowych bloków betonowych powstałych po nawiercaniu betonów wiertnicami (metoda *break-out*). Badania niszczące, mające na celu określenie wytrzymałości betonów na ściskanie, wykonuje się na próbkach wyciętych z konstrukcji, z reguły o kształcie walcowym, tzw. odwiertach rdzeniowych [1, 2]. Dotychczas, przez ok. 50 lat, zasady oceny wytrzymałości betonu na ściskanie w Polsce zarówno w konstrukcjach, jak i elementach prefabrykowanych określały najczęściej normy PN-B-06261:1974 [5] i PN-B-06262:1974 [6], które zostały zastąpione normą PN-EN 13791:2008 [3]. Norma [3] była pierwszym unijnym dokumentem ujmującym w sposób kompleksowy zagadnienia oceny betonów w konstrukcjach. W normie tej:

- określono metody i procedury oceny wytrzymałości na

ściskanie w konstrukcjach i prefabrykowanych wyrobach betonowych,

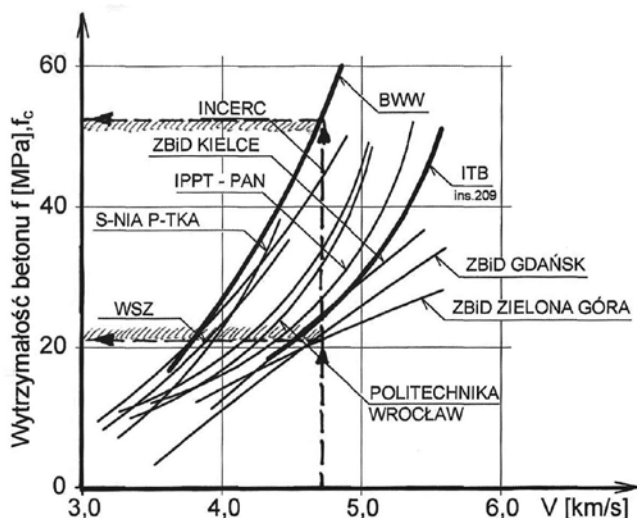
- przedstawiono zasady i wytyczne do określania zależności pomiędzy wynikami badań, uzyskiwanymi za pomocą metod pośrednich, a wytrzymałościami betonów w konstrukcjach oznaczanymi na odwiertach rdzeniowych,
- przedstawiono wytyczne dotyczące sposobu oceny wytrzymałości betonów na ściskanie w konstrukcjach lub prefabrykowanych wyrobach betonowych metodami pośrednimi lub kompleksowymi stosowaniami różnych metod badawczych. Po ponad dziesięcioletnim okresie stosowania norma ta została gruntownie znowelizowana i zastąpiona nową wersją PN-EN 13791:2019-12 [4].

## 2. Krajowe metody nieniszczące dotychczas stosowane do oceny wytrzymałości i jednorodności betonu w konstrukcjach

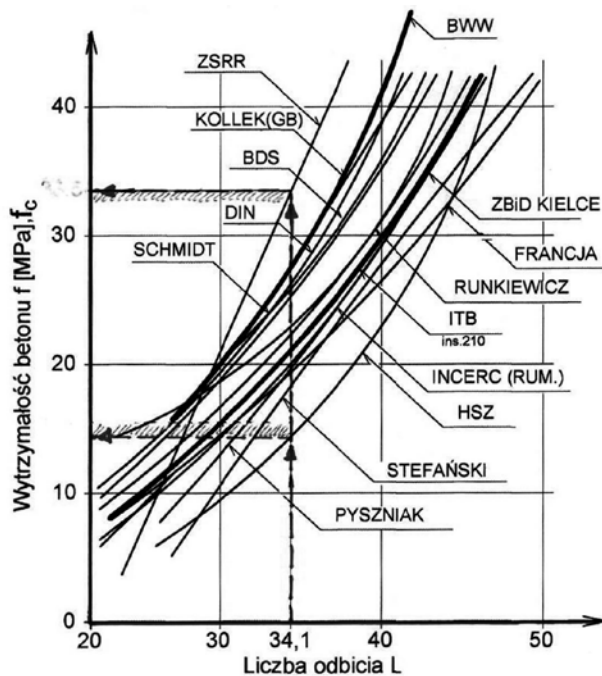
Już w latach 60. ubiegłego wieku w Polsce były prowadzone szerokie prace badawcze i wdrożeniowe nad stosowaniem nieniszczących metod do oceny wytrzymałości betonu na ściskanie w konstrukcjach. W wyniku tych prac opracowano szereg instrukcji, wytycznych, poradników i norm do praktycznego stosowania w budownictwie. Najszerzej stosowano nieniszczące metody sklerometryczne i ultradźwiękowe, które zostały znormalizowane [5] i [6] oraz dla których opracowano także odpowiednie wytyczne i instrukcje stosowania. Rozwój technologii betonów wymagał opracowywania podstawowych zależności korelacyjnych dla różnych rodzajów betonów. Przykładem takim są zależności pokazane na rysunkach 1 i 2.

Po przeprowadzonych szerokich badaniach i analizach, a także przy wieloletniej współpracy międzynarodowej opracowano podstawowe zasady prowadzenia badań konstrukcji (elementów) oraz warunki określania miarodajnych zależności korelacyjnych. Przykładowo dla metody sklerometrycznej za pomocą młotka Schmidta – pomiędzy wytrzymałością betonu  $f_c$  a liczbą odbicia  $L$  oraz dla metody ultradźwiękowej – pomiędzy wytrzymałością betonu  $f_c$  a prędkością rozprzestrzeniania się fali ultradźwiękowej  $V$ .

W normach PN-B [4,5] określono dwie podstawowe zasady wyznaczania takich zależności:



Rys. 1. Przykłady charakterystycznych zależności  $f_c - V$  dla metody ultradźwiękowej ( $V$  – oznaczenie prędkości fal ultradźwiękowych, stosowane do 2008 r.)



Rys. 2. Przykładowe zależności empiryczne  $f_c - L$  dla sklerometrów Schmidta typu N ( $L$  – oznaczenie liczby odbicia dla sklerometru, stosowane do 2008 r.)

- metodę dokładną – przez analizę korelacyjną minimum 30 odwiertów (próbek rdzeniowych), podając warunki wyznaczania tego typu korelacji,
  - metodę przybliżoną – przez analizę porównawczą minimum 6 odwiertów i typowych zależności korelacyjnych dla określonych rodzajów betonów.
- Metody te przez wiele lat były stosowane i udoskonalane. W metodzie pierwszej, w wyniku analiz korelacyjnych,

określano równania zależności korelacyjnych oraz ścisłości tych korelacji. Najlepsze ścisłości korelacji otrzymywano dla zależności parabolicznych. Warunkiem przyjęcia wyznaczonych korelacji były niezbędne ich ścisłości, dla których ustalono, że współczynniki korelacji powinny wynosić nie mniej niż 0,75.

Natomiast w metodzie drugiej, na podstawie badań minimum 6 odwiertów, określano względne współczynniki rozrzutu wyników badań odwiertów, które powinny być mniejsze od 0,12 oraz parametry korygujące przybliżone (hipotetyczne) zależności korelacyjne. Przykładowo dla metody sklerometrycznej do podstawowej zależności hipotetycznej współczynnik ten wynosił od 0,9 do 1,3.

W wyniku przeprowadzanych badań i analiz otrzymywano:

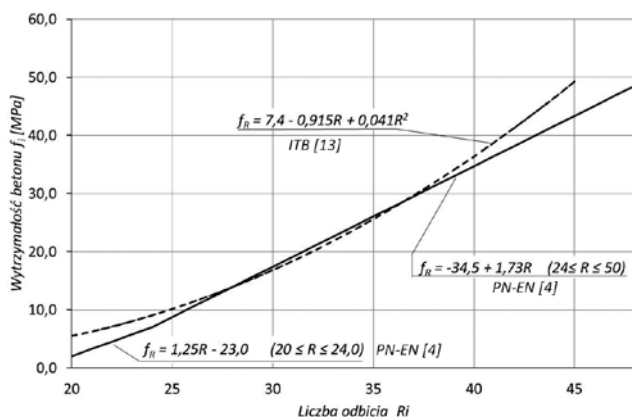
- średnie wytrzymałości betonu w elementach,
- minimalne wytrzymałości betonu w elementach,
- współczynniki zmienności wytrzymałości betonu w elementach,
- współczynniki jednorodności wytrzymałości betonu w elementach.

Wielkości te stanowiły podstawy do oceny klas betonów oraz ich jednorodności.

Przez wiele lat, zgodnie z przyjętym nazewnictwem w budownictwie, zarówno przy projektowaniu, jak i w wykonawstwie, badania przeprowadzano w określonych (wybranych) miejscach na wytypowanej konstrukcji (elemente konstrukcji). Miejsca, w których wykonywano pomiary, powinny być rozmieszczone równomiernie na całym obszarze tak, aby otrzymane wyniki badań pozwalały, w sposób reprezentatywny, oceniać badane betony. Obecnie zalecenia w tym zakresie podaje norma PN-EN 12504-2 [11].

W polskiej wersji językowej normy PN-EN 13791:2008 przyjęto odmienne nazewnictwo, wprowadzając zamiast dotychczas stosowanego miejsca pomiarowego – punkt pomiarowy, a zamiast elementu lub zespołu elementów – miejsce pomiarowe, zdefiniowane następująco:

- punkt pomiarowy (ang. *test location*) jest to ograniczony obszar wybrany do pomiarów, w którym oznacza się pojedynczy wynik pomiaru, wykorzystywany następnie do oszacowania wytrzymałości betonu na ściskanie w konstrukcji,
- miejsce pomiarowe (ang. *test region*) jest to jeden lub kilka elementów konstrukcyjnych albo prefabrykowanych wyrobów betonowych, należących do tej samej populacji; miejsce pomiarowe zawiera szereg punktów pomiarowych. Proponowana terminologia spowodowała dodatkowe utrudnienia przy badaniach konstrukcji szkieletowo-płytowych i prefabrykowanych. Jedynie jest zrozumiała przy ocenie betonów masywnych konstrukcji monolitycznych o dużych objętościach wbudowywanych betonów, wykonywanych w sposób ciągły. To niepotrzebne „zawirowanie” w terminologii należy usunąć przy wprowadzaniu polskiej wersji językowej znowelizowanej ostatnio normy PN-EN 13791:2019-12 [4].



Rys. 3. Krzywe podstawowe (bazowe): proste normowe oraz ITB [14]

W dalszej części artykułu będzie stosowana terminologia dotychczasowa według PN-B [5, 6].

Przykładowe, bazowe zależności empiryczne według PN-EN13791[4] i dotychczas stosowane dla metody sklerometrycznej według PN-B-06262 [6] są do siebie zbliżone, co pokazano na rysunku 3. Ponieważ norma [4] dopuszcza korzystanie z innych równań korelacji niż podane w niej równania liniowe, możliwe jest więc dalsze stosowanie krzywych korelacji wykorzystywanych w dotychczasowej praktyce budowlanej.

### 3. Zakres ustaleń normy PN-EN 13791:2019-12

Nowa wersja normy PN-EN 13791 [4] obejmuje przede wszystkim określanie charakterystycznych wytrzymałości na ściskanie, do zastosowania razem z PN-EN 1990 [7] i PN-EN 1992-1 [8], a także została dostosowana do wymagań PN-EN 206 [9]. Norma ta w zasadzie nie odnosi się do przypadku oceny betonu w konstrukcjach istniejących, a określa ocenę wytrzymałości betonu na ściskanie:

- w miejscach pomiaru lub w poszczególnych obszarach (elementach) istniejących konstrukcji,
- betonów dostarczonych na budowy, przy wątpliwościach dotyczących wartości wytrzymałości na ściskanie uzyskanych za pomocą badań standardowych lub wątpliwościach dotyczących jakości wykonania konstrukcji.

Obszarami pomiarowymi są pojedyncze elementy, kilka podobnych elementów konstrukcji lub prefabrykowanych wyrobów betonowych, które zostały wykonane z betonu o tych samych składnikach i są tej samej klasy wytrzymałości na ściskanie.

Ocenę wytrzymałości betonu na ściskanie w określonych miejscach konstrukcji należy przeprowadzać, dokonując kolejno:

- metody oceny,
- wyboru elementów pomiarowych i miejsc badawczych,
- sprawdzania, czy uzyskane dane odnoszą się do jednej klasy wytrzymałości betonu na ściskanie,
- sprawdzania, czy dane pomiarowe w elementach pomiarowych zawierają dane odstające,

- oszacowania charakterystycznej wytrzymałości betonu na ściskanie.

Natomiast ocenę wytrzymałości dostarczonego betonu na ściskanie w przypadku wątpliwości co do jego jakości dokonuje się, gdy nie spełnia on warunków zgodności wytrzymałości na ściskanie lub w przypadkach błędów wykonawczych.

## 4. Ocena wytrzymałości betonu w konstrukcji

### 4.1. Wybór metody oceny

Metodę oceny dobiera się dla określonych elementów pomiarowych, obejmujących jeden rodzaj betonu, w oparciu o dostępną dokumentację oraz wiedzę inżynierską. Elementy pomiarowe mogą obejmować jeden element, kilka podobnych elementów lub określoną objętość betonu w konstrukcjach masowych.

Miejsca pomiarowe powinny być dobierane w elementach poza:

- strefami, gdzie betony są zarysowane, spękanne, rakowate, skorodowane itp.,
- przekrojami mocno wyężonymi lub przekrojami krytycznymi,
- strefami w pobliżu prętów zbrojeniowych, cięgien sprężających i kanałów.

Po określeniu liczby miejsc pomiarowych dobiera się liczby pomiarów. Przy doborze niezbędnych pomiarów zaleca się wykorzystywanie poniższych zaleceń.

- Badania wytrzymałości na ściskanie odwiertów (próbek rdzeniowych (według PN-EN 12504-1 [10]) – do oszacowania charakterystycznej wytrzymałości betonu na ściskanie w elemencie pomiarowym minimalna liczba ważnych wyników odwiertów rdzeniowych powinna wynosić 8, przy czym zaleca się wykonywanie odwiertów w 10 miejscach pomiarowych, aby możliwe było uwzględnienie wartości odstających. W przypadku małego elementu pomiarowego dopuszczalna liczba wyników wynosi 3.

Minimalna liczba ważnych wyników odwiertów (o średnicy  $\geq 75$  mm) użytych łącznie z badaniami pośrednimi powinna wynosić 3, zalecając wykonywanie odwiertów w 4 punktach pomiarowych, aby można było uwzględnić wartość odstającą.

- Liczba odbicia (według PN-EN 12504-2 [11]) to mediana z minimum dziewięciu prawidłowych odczytów liczby odbicia w miejscu pomiarowym. Rozmieszczone miejsca badania młotkiem sprężynowym (sklerometrem) wskazują różnice w twardości powierzchni betonu w konstrukcji i umożliwiają identyfikację tych części elementu pomiarowego, w których należy pobrać odwierty lub wykonać dalsze badania.

- Metoda ultradźwiękowa (UPV) (według PN-EN 12504-4 [12]) opiera się na wyniku badania pojedynczego pomiaru prędkości fali ultradźwiękowej w przekroju betonowym lub średnia prędkość w przypadku, gdy w miejscu pomiarowym dokonuje się więcej niż jednego pomiaru. Równomiernie rozmieszczone miejsca badań ultradźwiękowych mogą służyć za ocenę zmiany gęstości betonu w konstrukcji i umożliwiać



zidentyfikowanie części elementu pomiarowego, w którym należy pobrać odwierty lub wykonać dalsze badania.

W wyniku badań ultradźwiękowych oraz badań młotkiem sprężynowym (sklerometrem) otrzymuje się właściwości pomiarowe metody (czas przejścia impulsu w przypadku UPV i twardość powierzchni w przypadku sklerometru), które są związane z zależnościami (korelacjami) z wytrzymałościami betonów na ściskanie. Zależności między prędkością fali lub liczbą odbicia a wytrzymałością na ściskanie konkretnego betonu powinny być ustalane zgodnie z [4]. Zależność między liczbą odbicia a wytrzymałością betonu może być inna w przypadku, gdy beton jest powierzchniowo skarbonatyzowany lub skorodowany.

Po wykonaniu badań wyniki należy poddawać analizie w celu stwierdzenia czy:

- dotyczą one betonu jednej klasy wytrzymałości – jeżeli nie, należy ponownie ustalać elementy pomiarowe i wyznaczać miejsca pomiarowe dla dwóch lub więcej odmiennych betonów,
- zawierają statystyczne wartości odstające – jeżeli tak, wyniki te należy odrzucać i ponownie przeprowadzać analizy.

#### 4.2. Przypadek, gdy miejsca pomiarowe obejmują betony nie jednej klasy wytrzymałości

Gdy uzyskane wyniki badań wskazują, że nie są to betony o jednej klasie wytrzymałości na ściskanie (w wyniku błędów wykonawczych, niewłaściwych dostaw betonu, zróżnicowanych sposobów pielęgnacji betonu, niewłaściwej ochrony betonu przed wpływem czynników atmosferycznych itp.), należy:

- podzielić je na dwa elementy pomiarowe, zapewniając minimalną liczbę wyników dla każdego elementu pomiarowego, lub
- podzielić wyniki na dwa zestawy danych i sprawdzić, np. testem t-Studenta, czy wartości średnie są różne; jeżeli różnica jest większa niż trzy klasy wytrzymałości betonu, wyniki należy podzielić na dwa elementy pomiarowe, natomiast gdy różnica jest nie większa niż jedną klasę – zestaw danych można traktować jako pochodzący z jednego betonu. W przypadku, gdy w zestawie wyników badań ( $f_{c, is}$ ) występuje jeden lub więcej wyników wyróżniających się niską ( $f_{c, is, lowest}$ ) lub wysoką ( $f_{c, is, highest}$ ) wartością, należy je sprawdzić, czy są wartościami statystycznie odstającymi. W tym celu można stosować dowolną metodę statystyczną, ale w przypadku gdy wyniki mają charakter rozkładu normalnego, należy posługiwać się testem Grubbsa. Wynik uznaje się za odstający, gdy wartości obliczone według wzoru 1 lub 2 przekraczają wartość krytyczną  $G_p$ :

$$\frac{f_{c, is, highest} - f_{c, m(n)is}}{s} > G_p \quad (1)$$

$$\frac{f_{c, m(n)is} - f_{c, is, lowest}}{s} > G_p \quad (2)$$

gdzie:

$f_{c, m(n)is}$  – średnia wartość wytrzymałości miejsca (dotychczas konstrukcji) betonowego na ściskanie,  
 $s$  – odchylenie standardowe.

Wartości krytyczne  $G_p$  dla poziomu istotności 1% podane są w normie [4] dla liczby wyników od 4 do 250.

Przy ocenie wytrzymałości betonu na ściskanie wyłącznie z wykorzystaniem próbek rdzeniowych (odwiertów rdzeniowych) ocenia się:

- charakterystyczną wytrzymałość betonu na ściskanie ( $f_{c, is, ck}$ ) jako wartość mniejszą obliczoną wg poniższych wzorów:

$$f_{c, is, ck} = f_{c, m(n)is} - k_n s \quad (3)$$

$$f_{c, is, ck} = f_{c, is, lowest} + M \quad (4)$$

gdzie:

$k_n$  – współczynnik z tabeli 1,

$M$  – zapas wytrzymałości z tabeli 2.

**Tabela 1.** Współczynnik  $k_n$

| n     | 8    | 10   | 12   | 14   | 16   | 18   | 20   | 25   | 30   | 50   | 100  | 120 i więcej |
|-------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|--------------|
| $k_n$ | 1,86 | 1,81 | 1,78 | 1,76 | 1,75 | 1,73 | 1,72 | 1,71 | 1,70 | 1,68 | 1,66 | 1,64         |

**Tabela 2.** Wartości zapasu  $M$

| Wartość $f_{c, is, lowest}$ MPa | Zapasy $M$ MPa |
|---------------------------------|----------------|
| $\geq 20$                       | 4              |
| $\geq 16 < 20$                  | 3              |
| $\geq 12 < 16$                  | 2              |
| $< 12$                          | 1              |

We wzorze 3 współczynnik  $s$  oznacza „zwykłe” odchylenie standardowe lub wartość zapewniającą 8-procentowy współczynnik zmienności.

Przy ocenie wytrzymałości betonu na ściskanie na podstawie pośrednich metod pomiarowych i próbek rdzeniowych zalecane są wcześniejsze wzorcowania metod pośrednich. Do wzorcowania metod niezbędne jest uzyskanie 10 par wyników (metoda pośrednia – próbka rdzeniowa), aby po ewentualnym odrzuceniu wyników odstających pozostało co najmniej 8 par wyników. Wyniki tych badań powinny być wykorzystane do ustalania punktów, w których są pobierane próbki rdzeniowe. Wyniki badań próbek rdzeniowych przelicza się na wytrzymałość na ściskanie i umieszcza na wykresie w relacji z wynikami badania metodą pośrednią. Następnie metodą najmniejszych kwadratów ustala się zależność – najlepiej pasującą regresję, z reguły liniową lub drugiego stopnia.

Stosując ustalone równania regresji, wszystkie wyniki pomiarów metodą pośrednią należy przeliczać na ich równoważne wartości wytrzymałości ( $f_{c, is, reg}$ ), łącznie z punktami pomiarowymi, dla których uzyskano wyniki próbek rdzeniowych.

W przypadku równań regresji można je ekstrapolować o nie więcej niż 4 MPa dla każdego końca określonej zależności. Średnią wytrzymałość na ściskanie betonu w konstrukcji oblicza się wg wzoru:

$$f_{c,m(n)is} = \Sigma(f_{c,is,reg})/m \quad (5)$$

a odchylenie standardowe wyników w miejscu pomiarowym podlegającym ocenie określa się według wzoru:

$$s_s = \sqrt{s_c^2 + s_e^2} \quad (6)$$

gdzie  $s_c$  i  $s_e$  obliczane są według wzorów 7 i 8:

$$s_e = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (f_{c,is,reg} - f_{c,m(n)is})^2}{m-1}} \quad (7)$$

$$s_c = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (f_{c,is} - f_{c,is,reg})^2}{n-2}}, \text{ lecz nie mniej niż 2 MPa.} \quad (8)$$

Przy ocenie wytrzymałości betonu na ściskanie w określonych miejscach konstrukcji należy przyjmować wartości wytrzymałości według dolnych krzywych granicznych wyznaczających 5% poziomy istotności. Dla korelacji liniowych będą to zależności:

$$f_{c,is,est} = f_{c,is,reg} - t_{(0,05n-2)} s_c \sqrt{1 + \frac{1}{n} + \frac{(x_0 - \bar{x})^2}{\sum_{i=1}^n (x_{i,cor} - \bar{x})^2}} \quad (9)$$

W przypadku, gdy dla rozpatrywanych miejsc pomiarowych dostępne są wyniki badania próbek rdzeniowych o średnicy równej co najmniej 75 mm, wartości te powinny być przyjęte

zamiast wartości oszacowanych z badań pośrednich. Ocenę wytrzymałości betonu na ściskanie z wykorzystaniem metody pośredniej i badań co najmniej trzech próbek rdzeniowych stosuje się w przypadku obszarów pomiarowych obejmujących nie więcej niż 30 m<sup>3</sup> betonu, gdy nie ma zastrzeżeń dotyczących wytrzymałości na ściskanie dostarczonego betonu. Wytrzymałości na ściskanie betonu w konstrukcji ( $f_{c,is}$ ) szacuje się metodą pośrednią (ultradźwiękową lub sklerometryczną) bez wzorcowania. Miejsca pomiarowe bada się wybranymi metodami pośrednimi w celu określenia zmienności i wybrania miejsc o najniższej wytrzymałości. Z miejsc tych pobierane są co najmniej trzy próbki rdzeniowe o średnicy  $\geq 75$  mm. Jako wartości  $f_{c,is}$  przyjmuje się średnie z co najmniej trzech próbek rdzeniowych pod warunkiem, że rozrzuty wyników nie przekraczają 15% wartości średnich.

### 5. Oceny betonów w przypadkach kwestionowania ich jakości

Przed rozpoczęciem badań kwestionowanego betonu w konstrukcjach konieczne jest ustalenie właściwych metod badań i metod oceny oraz ustalenia miejsc i punktów pomiarowych. Początkowymi czynnościami jest ustalenie, czy nieosiągnięcie przez betony deklarowanych wytrzymałości na ściskanie w konstrukcji wynika z jakości betonu dostarczonego na budowę, czy z innych przyczyn (np. błędów przy wbudowaniu betonu, jego zagęszczaniu, pielęgnacji czy ochronie w trakcie dojrzewania).

Przy wątpliwościach związanych z jakością dostarczonego betonu na budowę producent powinien przekazać informacje umożliwiające określanie zagrożeń dla konstrukcji, w tym oszacowaną charakterystyczną wytrzymałość na

**Tabela 3.** Zależność pomiędzy liczbami odbicia i klasami wytrzymałości na ściskanie według PN-EN 206 dla betonu zwykłego [4]

| Najniższa liczba odbicia ze wszystkich punktów (dotychczas miejsc pomiarowych w obrębie miejsca pomiarowego) | Mediana liczb odbicia dla miejsca pomiarowego (dotychczas elementu) | Klasa wytrzymałości na ściskanie wg EN 206 <sup>a</sup> |
|--|---|---|
| ≥26  | ≥30   | C8/10   |
| ≥30  | ≥33   | C12/15  |
| ≥32  | ≥35   | C16/20  |
| ≥35  | ≥38   | C20/25  |
| ≥37  | ≥40   | C25/30  |
| ≥40  | ≥43   | C30/37  |
| ≥44  | ≥47   | C35/45  |
| ≥46  | ≥49   | C40/50  |
| ≥48  | ≥51   | C45/55  |
| ≥50  | ≥53   | C50/60  |
| ≥53  | ≥57   | C55/67  |
| ≥57  | ≥60   | C60/75  |
| ≥62  | ≥65   | C70/85  |
| ≥66  | ≥69   | C80/95  |

<sup>a</sup> dla poziomu ufności 10. percentyl

**Tabela 4.** Minimalna liczba miejsc pomiarowych dla badań pośrednich w elemencie pomiarowym

| Liczba porcji betonu o objętości około 30 m <sup>3</sup> w elemencie pomiarowym <sup>a</sup> | Minimalna liczba miejsc pomiarowych metodą pośrednią |
|--|--|
| 1 <sup>b</sup>   | 9  |
| 2–4  | 12   |
| 5–6  | 20   |

<sup>a</sup> Jeśli objętość obejmuje duży obszar, należy zwiększyć liczbę badań metodą pośrednią, aby zapewnić reprezentatywność zmienności w obrębie elementu pomiarowego.  
<sup>b</sup> Pod warunkiem, że jest to pojedyncza objętość.

**Tabela 5.** Punkty pobrania próbek rdzeniowych i kryteria oceny [4]

| Liczba porcji betonu o objętości ok. 30 m <sup>3</sup> w obrębie elementu pomiarowego | Minimalna liczba miejsc pomiarowych do odwiertów <sup>a</sup>   | Średnia wartość z wyników badań próbek rdzeniowych w punktach najbliższych mediany liczby odbicia lub średniej wartości prędkości fali ultradźwiękowej w elemencie pomiarowym <sup>b</sup> | Najniższy wynik badania <sup>c,d</sup> |
|---|---|--|--|
| 1 <sup>d</sup>  | Jeden rdzeń dla każdej z dwóch najmniejszych wartości badania metodą pośrednią w elemencie pomiarowym   | -  | $\geq 0,85 (f_{ck,spec} - M)$          |
| 2–4   | Jedna próbka rdzeniowa dla najmniejszej wartości badania metodą pośrednią oraz jedna próbka rdzeniowa w każdym z dwóch miejsc pomiarowych najbliższych mediany liczby odbicia lub średniej wartości prędkości fali ultradźwiękowej w elemencie pomiarowym | $\geq 0,85 (f_{ck,spec} + 1)$  | $\geq 0,85 (f_{ck,spec} - M)$          |
| 5–6   |   | $\geq 0,85 (f_{ck,spec} + 2)$  | $\geq 0,85 (f_{ck,spec} - M)$          |

<sup>a</sup> w celu określenia minimalnej liczby odwiertów dla uzyskania wyniku badania w każdym miejscu pomiarowym należy stosować punkt 6 normy [4].  
<sup>b</sup> Wytrzymałość odwiertu powinna być wyrażona jako  $f_{c, 1:1 \text{ core}}$  lub  $f_{c, 2:1 \text{ core}}$  w zależności od wyrażanej wartości  $f_{ck,spec}$ .  
<sup>c</sup>  $M = 4 \text{ MPa}$  – dla klasy wytrzymałości na ściskanie C20/25 lub wyższej. Dla klasy C16/20, C12/15 i C8/10 zapasu  $M$  powinna być zmniejszana odpowiednio do 3, 2 i 1.  
<sup>d</sup> Zakładając, że jest traktowana jako pojedyncza objętość.  
Oznaczenia:  
 $f_{ck,spec}$  – wytrzymałość betonu na ściskanie określona dla wyspecyfikowanej klasy betonu (na próbkach walcowych lub kostkowych),  
 $f_{c, 1:1 \text{ core}}$  lub  $f_{c, 2:1 \text{ core}}$  – wytrzymałość betonu na ściskanie w konstrukcji określona na próbkach rdzeniowych o stosunku wysokości do średnicy 1:1 lub 2:1 odwiertu może być wyrażona jako w zależności od wybranej wartości.

ściskanie dostarczonego betonu bezpośrednio przed betonowaniem konstrukcji.

Do oceny klas wytrzymałości na ściskanie wbudowanych betonów można stosować:

- badania przesiewowe,
- pośrednie metody pomiarowe wraz z badaniami próbek rdzeniowych,
- badania próbek rdzeniowych.

### 5.1. Badania przesiewowe

Badania te są stosowane do określania zmienności właściwości wbudowywanych betonów, do wskazania miejsc najsłabszych oraz do oszacowania, czy osiągnięto założone klasy wytrzymałości betonów na ściskanie. Polegają one na

zastosowaniu metod pośrednich o ustalonych zależnościach korelacyjnych pomiędzy wynikami badań tymi metodami a wytrzymałościami betonów w konstrukcjach.

Zależności korelacyjne mogą mieć:

- postaci ogólne – ogólne zależności pomiędzy liczbami odbicia lub prędkościami fal ultradźwiękowych a klasami wytrzymałości na ściskanie,
- charakter ścisłych zależności wyznaczonych przez kalibrację metod.

Przykłady ogólnych zależności dla betonów zwykłych, gdy nie stosowano deskowań o kontrolowanych przepuszczalnościach ani utwardzaczach powierzchni oraz gdy głębokości napowietrzenia nie przekraczają 5 mm podano w tabeli 3 (tablica B1 z [4]) dla badań sklerometrem typu N.

**Tabela 6.** Kryteria oceny na podstawie wyników badań próbek rdzeniowych

| Liczba porcji betonu o objętości ok. 30 m <sup>3</sup> w obrębie elementu pomiarowego | Minimalna liczba miejsc pomiarowych w każdej objętości <sup>a</sup> | Wartość średnia z wyników badań próbek rdzeniowych w elemencie pomiarowym | Najniższy wynik badania <sup>b,c</sup> |
|---|---|---|--|
| 1 <sup>d</sup>  | 3   | -   | $\geq 0,85 (f_{ck,spec} - M)$          |
| 2–4   | 2   | $\geq 0,85 (f_{ck,spec} + 1)$   | $\geq 0,85 (f_{ck,spec} - M)$          |
| 5–6   | 2   | $\geq 0,85 (f_{ck,spec} + 2)$   | $\geq 0,85 (f_{ck,spec} - M)$          |

<sup>a</sup> w celu określenia minimalnej liczby odwiertów dla uzyskania wyniku badania w każdym miejscu pomiarowym należy skorzystać z punktu 6 normy [4].  
<sup>b</sup> Wytrzymałość odwiertu może być wyrażona jako  $f_{c,1:1\ core}$  lub  $f_{c,2:1\ core}$  w zależności od wybranej wartości  $f_{ck,spec}$ .  
<sup>c</sup>  $M = 4\ MPa$  – dla klasy wytrzymałości na ściskanie C20/25 lub wyższej. Dla klasy C16/20, C12/15 i C8/10 zapasu  $M$  powinna być zmniejszana odpowiednio do 3, 2 i 1.  
<sup>d</sup> Zakładając, że jest traktowana jako pojedyncza objętość.  
 Oznaczenia – jak w tabeli 5.

## 5.2. Pośrednie metody pomiarowe wraz z badaniami próbek rdzeniowych

Betony objęte badaniami w konstrukcjach masywnych powinny być podzielone na elementy pomiarowe nie przekraczające objętości betonu 180 m<sup>3</sup>, a te z kolei na porcje po około 30 m<sup>3</sup>, które stanowią podstawę do wyznaczenia miejsc pomiarowych. Następnie ustalane są minimalne liczby miejsc pomiarowych według tabeli 4.

W wybranych miejscach przeprowadza się badania metodą pośrednią. Badania te służą także do wyznaczenia miejsc pomiarowych, w których przeprowadzone będą badania próbek rdzeniowych – tabela 5.

Jeśli oba kryteria podane w tabeli 5 są spełnione, można uznać, że istnieje zgodność z wymaganiami projektu wytrzymałości na ściskanie w badanym elemencie pomiarowym.

## 5.3. Badania próbek rdzeniowych

W badaniach, w których za podstawy przyjęto wyłącznie wyniki badań próbek rdzeniowych badane betony – elementy pomiarowe – dzielone są na mniejsze porcje o objętości około 30 m<sup>3</sup>. Z każdej porcji pobierane są próbki rdzeniowe o minimalnej liczbie określonej w tabeli 6. Jeśli oba kryteria podane w tabeli 6 są spełnione, można uznać zgodność z wymaganiami projektu wytrzymałości na ściskanie w badanym elemencie pomiarowym.

## 6. Podsumowanie

Realizacje nowych i modernizacje zarówno budynków, jak i budowli inżynierskich żelbetowych wymagają odpowiednich właściwości wbudowanych betonów, szczególnie ich wytrzymałości na ściskanie oraz jednorodności. W tym celu należy wykonywać oceny betonów za pomocą badania próbek odwiercanych z konstrukcji (próbek rdzeniowych) oraz metod nieniszczących.

Wdrażane metody badań w Unii Europejskiej wymagają jednolitych zasad ich stosowania.

W Polsce od wielu już lat z powodzeniem stosowane są na szeroką skalę metody badań nieniszczących. Do metod tych zaliczane są metody ultradźwiękowe, sklerometryczne,

radiologiczne, elektryczne itp. Wymienione metody stosowane są zarówno przy ocenach obiektów nowo realizowanych, jak i obiektów modernizowanych, zagrożonych i historycznych.

Ujednoclenie w Unii Europejskiej metod badań oraz zasad ich stosowania objęło również ocenę betonów w obiektach budowlanych (normy PN-EN 13791 [4] i PN-EN 12504 [10-12]). Nowa norma [4] dopuszcza korzystanie z innych odpowiednich równań korelacji niż podane w niej równania liniowe. W związku ze zgodnością między tymi korelacjami możliwe jest dalsze stosowanie krzywych korelacji wykorzystywanych w dotychczasowej praktyce budowlanej. Za tym przemawiają także małe różnice w wartościach wytrzymałości betonu, określanych według PN-EN [4] i PN-B [6] oraz instrukcji [13], które pokazano na rysunku 3 [14].

## BIBLIOGRAFIA

- [1] Praca zbiorowa pod redakcją L. Runkiewicza, Diagnostyka obiektów budowlanych, Wydawnictwo Naukowe PWN, Warszawa, 2020
- [2] Drobiec Ł., Jasiński R., Piekarczyk A., Diagnostyka konstrukcji żelbetowych, tom 1, Wydawnictwo Naukowe PWN, Warszawa, 2010
- [3] PN-EN 13791:2008 Ocena wytrzymałości betonu na ściskanie w konstrukcjach i prefabrykowanych wyrobach budowlanych
- [4] PN-EN 13791:2019-12 Ocena wytrzymałości betonu na ściskanie w konstrukcjach i prefabrykowanych wyrobach budowlanych
- [5] PN-B-06261:1974 Nieniszczące badania konstrukcji z betonu. Metoda ultradźwiękowa badania wytrzymałości betonu na ściskanie
- [6] PN-B-06262:1974 Nieniszczące badania konstrukcji z betonu. Metoda sklerometryczna badania wytrzymałości betonu na ściskanie za pomocą młotka Schmidta typu N
- [7] PN-EN 1990 Eurokod. Podstawy projektowania konstrukcji
- [8] PN-EN 1992-1-1 Eurokod 2: Projektowanie konstrukcji z betonu. Część 1-1:Reguły ogólne i reguły dla budynków
- [9] PN-EN 206+A1:2016-12 Beton. Część 1: Wymagania, właściwości, produkcja i zgodność
- [10] PN-EN 12504-1:2019-08 Badania betonu w konstrukcjach. Część 1: Próbk rdzeniowe. Pobieranie, ocena i badanie wytrzymałości na ściskanie
- [11] PN-EN 12504-2:2013-03 Badania betonu w konstrukcjach. Część 2: Badanie nieniszczące. Oznaczanie liczby odbicia
- [12] PN-EN 12504-4:2005 Badania betonu w konstrukcjach. Część 4: Badanie nieniszczące. Oznaczanie prędkości fali ultradźwiękowej
- [13] Runkiewicz L., Brunarski L., Instrukcja stosowania młotków Schmidta do nieniszczącej kontroli jakości betonu w konstrukcji, ITB, Warszawa, 1977
- [14] Brunarski L., Dohojda M., Diagnostyka wytrzymałości betonu w konstrukcji, ITB, Warszawa, 2015