

# Ocena wytrzymałości betonu na podstawie badań sklerometrycznych

**Ocena wytrzymałości betonu na podstawie badań sklerometrycznych zawsze miała swoich zwolenników oraz przeciwników.** Zwolennicy widzieli w niej możliwość łatwego określania wytrzymałości betonu w konstrukcji, przeciwnicy dostrzegali bardzo małą wiarygodność.

Zastosowanie do wyników badań sklerometrycznych reguł rachunku prawdopodobieństwa i statystyki matematycznej powodowało, że oceny były praktycznie bezużyteczne. Stosowane sztuczne zabiegi, np. odrzucanie wyników obciążonych dużymi błędami czy skalowanie (wzorcowanie), tylko w niewielkim stopniu poprawiły reputację metody sklerometrycznej.

Niżej przedstawiono przypadek oceny wytrzymałości betonu na podstawie badań sklerometrycznych bez stosowania zbędnych i budzących wątpliwości zależności.

## Badania nieniszczące

W realizowanym obiekcie o konstrukcji żelbetowej przewidziano w projekcie zastosowanie prefabrykowanych słupów żelbetowych o klasie wytrzymałości betonu C40/50. Dla partii składającej się z 15 słupów wyniki badań próbek kontrolnych betonu wskazywały, że mogą być niespełnione wymagania projektowe. Dodatkowe badania i analizy nie doprowadziły do wyjaśnienia wątpliwości i dlatego zwrócono się do Instytutu Techniki Budowlanej (ITB) o ocenę wytrzymałości betonu w prefabrykowanych słupach.

Na podstawie wyników badań kontrolnych próbek betonu wybrano słupek o najgorszych (najniższych) wynikach wytrzymałości. Słupek ten został zdemontowany z konstrukcji (fot. 1) i służył do pobrania (odwiercenia) próbek do laboratoryjnych badań niszczących betonu. Wzdłuż długości leżącego słupa wytypowano pięć miejsc dla wykonania (pobrania) odwiertów. Dla wytypowanych miejsc – po obu przeciwległych ścianach słupa – wykonano pomiary liczby odbicia młotkiem Schmidta typu N.

Odwierty wykonane były w kierunku prostopadłym do kierunku betonowania. Otrzymano pięć odwiertów o średnicy około 100 mm i długości około 500 mm.

Dla pozostałych słupów wykonano pomiary liczby odbicia na wysokości około 1,5 m ± 0,2 m, na trzech powierzchniach słupa (pomijano powierzchnię zacieraną), wybierając gładkie miejsca. Otrzymane z pomiarów średnie wartości liczby odbicia dla poszczególnych słupów przedstawiono w tabelicy 1.

Badania na budowie wykonano jednego dnia, przy temperaturze powietrza około 3°C. Wszystkie pomiary liczby odbicia wykonano tym samym młotkiem Schmidta typu N.

**Tab. 1 | Średnia liczba odbicia dla słupów**

Miejsce badania	Liczba odbicia
Słupek 1	50,4
Słupek 2	47,7
Słupek 3	48,7
Słupek 4	51,3
Słupek 5	49,3
Słupek 6	46,0
Słupek 7	44,5
Słupek 8	53,6
Słupek 9	50,6
Słupek 10	50,1
Słupek 11	42,7
Słupek 12	44,5
Słupek 13	46,7
Słupek 14	43,0
Słupek 15 (zdemontowany)	43,1

## Badania niszczące

Pobrane z elementu konstrukcyjnego odwierty do badań niszczących zostały dostarczone do ITB i przechowywane przez osiem dni w laboratorium w temperaturze około 18°C. Następnie z każdego z odwiertów wykonanych zostało po dwie próbki o średnicy około 100 mm i wysokości około 100 mm. Probki pochodziły ze środkowej części słupa. Skrajne części odwiertów (przy czołowych powierzchniach) zostały odrzucone ze względu na znajdujące się tam fragmenty prętów zbrojeniowych. Powierzchnie czołowe próbek zostały zeszlifowane.

Badania niszczące próbek zostały wykonane w laboratorium na maszynie wytrzymałościowej przy zakresie siłomierza 1000 kN. Wyniki badań niszczących dziesięciu próbek przedstawiono w tabelicy 2 ( $f_{ci}$  - wytrzymałość betonu).

Ze względu na niesymetryczną postać zniszczenia odrzucono wyniki próbek o numerach 5, 8 i 10 (fot. 2). Dla pozostałych siedmiu próbek wyniki uznano za miarodajne i uwzględniono w zestawieniach statystycznych i analizach. Średnia wytrzymałość z badań niszczących próbek betonu wynosi 50,0 MPa, odchylenie standardowe – 6,5 MPa, minimalna zaś wartość – 41,1 MPa.

Warto zwrócić uwagę na następujące fakty.

Oceny wytrzymałości betonu na podstawie wyników badań niszczących przyjmują założenie, że na całej powierzchni przekroju poprzecznego rozkład naprężeń w badanej próbce jest równomierny. W rzeczywistości nawet niewielkie, niewidoczne zaburzenia i niedokładności powodują, że w próbce występują bardzo zróżnicowane naprężenia. W miejscach występowania dużych naprężeń powstają lokalne pęknięcia, uszkodzenia i zniszczenia dużo wcześniej niż

**Tab. 2** | Wyniki badań niszczących próbek

Lp.	Oznaczenie próbki	Wymiary próbki				Siła F kN	f <sub>ci</sub> MPa	UWAGI
		waga g	Ø mm	h mm	A mm <sup>2</sup>			
1	1.1	1874,0	104,3	100,3	8546,2	485,0	56,8	–
2	1.2	1851,0	104,3	100,6	8534,7	405,0	47,5	–
3	2.1	1846,0	104,3	100,3	8544,5	466,0	54,5	–
4	2.2	1826,0	104,6	100,9	8595,4	353,0	41,1	–
5	3.1	1849,0	104,9	100,8	8636,5	365,0*	42,3*	odrzucono
6	3.2	1842,0	104,4	100,8	8560,9	373,0	43,6	–
7	4.1	1875,0	104,3	99,5	8544,5	493,0	57,7	–
8	4.2	1861,0	104,6	100,8	8580,6	347,0*	40,4*	odrzucono
9	5.1	1908,0	104,6	100,4	8595,4	420,0	48,9	–
10	5.2	1870,0	104,4	100,6	8560,9	280,0*	32,7*	odrzucono
Wytrzymałość średnia f <sub>cm</sub>						[MPa]	50,0	
Odchylenie standardowe						[MPa]	6,5	

\* Odrzucono ze względu na nieprawidłowe zniszczenie próbki wg PN-EN 12390-3:2001.

zniszczenie przy równomiernych naprężeniach. Szczegółowe, specjalistyczne badania próbek betonowych oraz przede wszystkim próbek gruntu w badaniach trójosiowych wskazują, że niedostrzegalne okiem uchybienia mogą w zasadniczy sposób obniżyć wyniki pomiarów. Wszelkie nierówne powierzchnie, nieosiowe ustawienia próbek w maszynie wytrzymałościowej, większe ziarna kruszywa itp. powodują lokalne zaburzenia, zróżnicowanie naprężeń, lokalne przekroczenie nośności, niesymetryczne postacie zniszczenia i zaniżenie wyników w stosunku do rzeczywistej wytrzymałości betonu. Otrzymałą w wyniku badań niszczących średnią wytrzymałość betonu 50,0 MPa należy traktować jako dolne oszacowanie rzeczywistej wytrzymałości.

W tablicy 1 normy PN-EN 13791 Ocena wytrzymałości betonu na ściskanie w konstrukcjach i prefabrykowanych wyrobach betonowych podane jest, że dla klasy wytrzymałości betonu C40/50 minimalne f<sub>ck, is, cube</sub> wynosi 43 MPa. W normie tej (pkt 7.1 oraz A.3.1) stwierdza się, że wytrzymałość z badań na odwierconych próbkach o średnicy i wysokości 100 mm odpowiada wynikom na kostkach sześciennych o boku 150 mm (czyli f<sub>ck, is, cube</sub>).

Korzystając z zależności podanych w pkt 7.3.3 normy PN-EN 13791, wartość charakterystyczna wytrzymałości betonu na ściskanie w konstrukcji wynosi:

$$f_{ck, is} = \min(f_{m(n), is} - k; f_{is, lowest} + 4)$$

W naszym przypadku mamy k = 6 (tablica 2 normy PN-EN 13791) i otrzymujemy:

$$f_{ck, is} = \min(50,0 - 6; 41,1 + 4) = \min(44,0; 45,1) = 44,0 \text{ MPa}$$

Ponieważ f<sub>ck, is</sub> = 44,0 MPa > f<sub>ck, is, cube</sub> = 43 MPa, to spełniony jest warunek dla klasy wytrzymałości betonu C40/50 podany w normie PN-EN 13791.

### Oceny klasy wytrzymałości betonu

W tablicy 1 przedstawiono średnią liczbę odbicia z badań młotkiem Schmitda dla poszczególnych słupów. Dla słupa, z którego zostały pobrane odwierty (słup 15 zdemontowany), średnia

liczba odbicia wynosi 43,1. Na podstawie badań niszczących próbek z odwrtów dla tego słupa oceniono, że klasa wytrzymałości betonu wynosi co najmniej C40/50.

Dla 12 słupów z tabeli 1 średnia wartość odbicia jest większa niż dla słupa zdemontowanego. Wynika z tego, że dla tych słupów klasa wytrzymałości betonu jest większa niż dla słupa zdemontowanego, a więc że wynosi nie mniej niż C40/50.

Dla dwóch słupów średnia liczba odbicia wynosi mniej niż 43,1 (słup 15 zdemontowany). Dla słupa 11 średnia liczba odbicia wynosi 42,7 (różnica 0,4) oraz dla słupa 14 średnia liczba odbicia – 43,0 (różnica 0,1).

Z równania krzywej regresji podanego w normie PN-EN 13791 (pkt 8.3.3) można obliczyć, że dla różnicy w liczbie odbicia 0,1 i 0,4 wytrzymałość zmienia się odpowiednio o:

$$1,73 \times 0,1 = 0,2 \text{ MPa} \quad \text{oraz} \quad 1,73 \times 0,4 = 0,7 \text{ MPa}$$

Mając na uwadze, że dla słupa 15 (zdemontowany) o liczbie odbicia 43,1 wytrzymałość wynosi 44,0 MPa, to dla słupa 11 o liczbie odbicia 42,7 można przyjąć wytrzymałość 44 - 0,7 = 43,3 MPa. Tak więc dla słupa 11 spełniony jest warunek normy PN-EN 13791 dla klasy wytrzymałości betonu C40/50 (f<sub>ck, is</sub> = 43,3 > 43 = f<sub>ck, is, cube</sub>).



**Fot. 1** | Słup zdemontowany dla pobrania próbek



Fot. 2 | Próbkę po badaniach niszczących

Dla słupa 15 z oszacowaną wytrzymałością betonu 44,0 - 0,2 = 43,8 MPa również spełniony jest warunek normy PN-EN 13791 dla klasy wytrzymałości betonu C40/50.

Reasumując, z powyższych analiz wynika, że dla wszystkich 14 przedmiotowych słupów spełnione jest kryterium normy PN-EN 13791 dla klasy wytrzymałości betonu C40/50.

Warto zwrócić uwagę, że wszelkie badania sklerometryczne wytrzymałości betonu wykorzystują fakt dodatniej korelacji między wytrzymałością betonu i liczbą odbicia w badaniach betonu. Oznacza to, że dla betonu tego samego typu (skład, wilgotność, wiek itp.) wraz ze wzrostem wytrzymałości betonu rośnie liczba odbicia. Nie odnotowano nigdy przypadków, aby korelacja była ujemna, tzn. aby ze wzrostem wytrzymałości betonu malała liczba odbicia. Mała wiarygodność metod sklerometrycznych polega na ustaleniu właściwej krzywej regresji. Nie ma uniwersalnej zależności dla wszystkich betonów, lecz dla różnych typów betonu obowiązują różne zależności.

W omawianym przypadku badanych prefabrykatów zamontowanych w konstrukcji nie ma żadnych podstaw, aby przyjmować zróżnicowanie typu betonu i potrzebę stosowania różnych krzywych regresji. Dlatego stwierdzenie, że wyższa średnia liczba odbicia w elemencie prefabrykowanym oznacza wyższą wytrzymałość betonu w tym elemencie, jest fundamentalną zasadą leżącą u podstaw wszelkich dalszych analiz, rozważań i ocen.

Wszystkie pomiary liczby odbicia wykonywano jednym (tym samym) młotkiem Schmidta typu N. Wszystkie badania in situ wykonywano w tych samych warunkach obniżonej temperatury. W efekcie wpływ temperatury był identyczny dla wszystkich pomiarów i nie miał wpływu na relacje między wynikami z tych pomiarów.

W konkluzji opinii ITB stwierdzono, że na podstawie przeprowadzonych badań i analizy, uwzględniając wymagania norm i odpowiednich przepisów oraz biorąc pod uwagę własne doświadczenia z podobnymi zagadnieniami, należy uznać, iż dla wszystkich badanych słupów spełnione są wymagania w zakresie klasy wytrzymałości betonu C40/50.

mgr inż. Jerzy Kowalewski  
Instytut Techniki Budowlanej

Zdjęcia wykonane przez autora w ramach prac realizowanych w ITB.



## OBSZARY ZASTOSOWANIA:

- Przepony poziome przed podciąganiem kapilarnym
- Naprawy rys i spękań
- Iniekcje kurtynowe
- Iniekcje ciśnieniowe
- Uszczelnianie przerw roboczych – węże iniekcyjne

## MATERIAŁY:

- Iniekcyjne żywice poliuretanowe spienialne i ostatej objętości
- Iniekcyjne żywice epoksydowe elastyczne i sztywne
- Żele akrylowe
- Szpachlówka do przerabiania pod wodą
- Środek do gruntowania podłoży mokrych i zaolejonych
- Cement elastyczny
- Gumy pęczniejące
- Iniektory

## WEBAC Sp. z o.o.

ul. Wał Miedzeszyński 646  
03-994 WARSZAWA  
tel./fax. 0 22 514 12 69  
514 12 70  
672 04 76

webac@webac.pl, www.webac.pl