

# Badanie wytrzymałości na ściskanie betonu w konstrukcji

Mgr inż. Jacek Szpetulski, Politechnika Warszawska

## 1. Wprowadzenie

Mieszanki betonowe dostarczane na budowę mają różną konsystencję i zagęszczane są najczęściej przez wibrowanie, którego czas bywa różny. W wyniku wibracji w mieszance betonowej kruszywo grube przemieszcza się ku dołowi, a woda i powietrze ku górze. Zaistniały proces pozwala przypuszczać, że górne warstwy elementów betonowych mogą być o obniżonej wytrzymałości na ściskanie. Problem ten wśród norm jest zauważony tylko w załączniku informacyjnym C normy [N8]. Badania nieniszczące elementu betonowego, np. płyty stropowej, pozwalają określić wytrzymałość na ściskanie tylko od góry lub od dołu elementu. Dlatego właściwe jest przeprowadzenie niszczących badań wytrzymałości na ściskanie betonu w konstrukcji, do których najczęściej wycina się próbki z odwiertów wywierconych z konstrukcji. Pobieranie odwiertów powinno odbywać się w taki sposób, aby w jak najmniejszym stopniu wpływać na mechanikę konstrukcji budowlanej. W tym celu można zastosować wiertła o małej średnicy. Stosując małe średnice wiertel, należy pamiętać o wpływie na wytrzymałość na ściskanie wymiaru ziarna kruszywa, o której wspomina załącznik informacyjny A normy [N7] i zwiększonej sile tarcia wstrzymującej przed zniszczeniem, występującej między podkładką a betonem. Znane książki nt. technologii betonu [1, 2] i normy [N7 i N8] nie przedstawiają szczegółowo różnic wytrzymałości na ściskanie próbek o różnych średnicach i wyciętych z różnych wysokości odwiertów. Przedstawione przesłanki stały się podstawą do przeprowadzenia badań

wytrzymałości na ściskanie próbek pobranych z różnych wysokości odwiertów rdzeniowych o różnych średnicach. Badania te zostały wykonane na Wydziale Budownictwa, Mechaniki i Petrochemii Politechniki Warszawskiej w laboratorium Badawczym Innowacyjnych Technologii i Materiałów, którego budowa była współfinansowana ze środków Europejskiego Funduszu Rozwoju Regionalnego w ramach Regionalnego Programu Operacyjnego Województwa Mazowieckiego 2007–2013.

## 2. Zakres i przebieg badań

Do realizacji badań wytrzymałości na ściskanie betonu w konstrukcji wykonano belki betonowe o różnych sposobach wibrowania z mieszank betonowych z udziałem czystego kruszywa naturalnego o nr serii 1, 2, 3 i z częściowym udziałem kruszywa recyklingowego o nr serii 4, 5, 6 (tab. 1).

Z każdej serii mieszank betonowych w trakcie betonowania belek pobrano dwanaście próbek sześciennych o krawędzi 15 cm zgodnie z normą [N4] do oznaczenia średniej wytrzymałości na ściskanie wg normy [N6] po 28 dniach (6 próbek) i po 90 dniach (6 próbek), w dniu badania odwiertów.

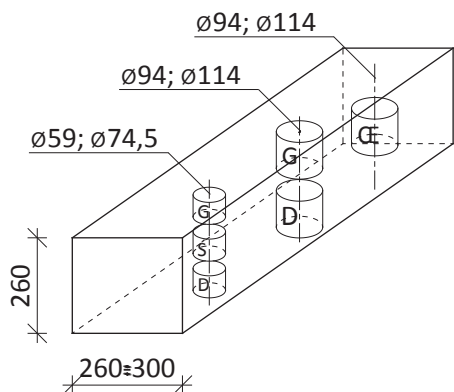
Do wykonania badań wytrzymałości na ściskanie betonu w konstrukcji wycięto odwierty rdzeniowe wiertnicą koronową HILTI DCM 1.5 prostopadle do kierunku betonowania belek serii nr 1–6. Do badań niszczących z pobranych odwiertów rdzeniowych o średnicach: 59 mm; 74,5 mm;

**Tabela 1.** Charakterystyka mieszank betonowych użytych do realizacji badań wytrzymałości na ściskanie betonu w konstrukcji

Nr serii	W/C	Sposoby wibrowania betonowych belek	Klasa konsystencji mieszank betonowych	
			Metoda rozptywu	Metoda opadu stożka
1	0,5	wibrowanie o częstotliwości 40 Hz na stole wibracyjnym w dwóch warstwach po 2 min	F2 (po 9 min)	S1 (po 24 min)
2	0,5	wibrowanie o częstotliwości 40 Hz na stole wibracyjnym w dwóch warstwach po 6 min	F2 (po 13 min)	S1 (po 22 min)
3	0,5	wibrowanie o częstotliwości 300 Hz wibratorem wgłębnym $\varnothing$ 38 mm EnarDINGO	F1 (po 7 min)	S1 (po 12 min)
4	0,5	wibrowanie o częstotliwości 300 Hz wibratorem wgłębnym $\varnothing$ 38 mm EnarDINGO	F1 (po 16 min)	S1 (po 22 min)
5	0,5	wibrowane o częstotliwości 40 Hz na stole wibracyjnym w dwóch warstwach po 2 min	F1 (po 12 min)	S1 (po 18 min)
6	0,5	wibrowanie o częstotliwości 40 Hz na stole wibracyjnym w dwóch warstwach po 6 min	F2 (po 7 min)	S1 (po 13 min)

**Tabela 2.** Wytrzymałość na ściskanie normowych próbek sześciennych o krawędzi 15 cm

Nr serii	Średnia wytrzymałość na ściskanie próbek sześciennych po 28 dniach	Średnia wytrzymałość na ściskanie próbek sześciennych po 90 dniach
1	43,42 MPa	51,0 MPa
2	45,92 MPa	51,48 MPa
3	45,39 MPa	50,45 MPa
4	42,99 MPa	50,13 MPa
5	49,27 MPa	58,99 MPa
6	43,84 MPa	55,76 MPa



**Rys. 1.** Wykonanie próbek: G – górna warstwa odwiertu, Ś – środkowa warstwa odwiertu, D – dolna warstwa odwiertu

94 mm; 114 mm wycięto po sześć próbek z trzech wysokości, jak na rysunku 1. Z każdej betonowej belki serii nr 1–6 wycięto dodatkowo odwiert o średnicy 94 mm do nie niszczących badań wytrzymałości na ściskanie metodą ultradźwiękową.

Powierzchnie dolne i górne próbek pobranych z odwiertów zostały doprowadzone przez szlifowanie szlifierką COMEC RP 330 do płaskości i prostokątności w stosunku do pobocznic walca w celu osiągnięcia ściskania osiowego za pośrednictwem krążków stalowych z podkładkami neoprenowymi (rys. 2) wg normy [N9].

Po sezonowaniu przez 90 dni od dnia betonowania próbki o wilgotności  $2,9 \pm 0,2\%$  z odwiertów rdzeniowych wywierconych z belek betonowych serii nr 1–6 zostały ściśnięte w maszynie wytrzymałościowej (rys. 3). Następnie oznaczono wytrzymałość na ściskanie każdej z badanej próbki, dzieląc wartość maksymalnego obciążenia próbki przez pole przekroju poprzecznego próbki. W oparciu o oznaczone wytrzymałości obliczono średnie wytrzymałości na ściskanie dla próbek wyciętych z trzech warstw odwiertów o średnicach: 59 mm; 74,5 mm; 94 mm; 114 mm dla wszystkich serii betonów.

### 3. Analiza wyników badań

Na poniższych wykresach przedstawiono porównanie wytrzymałości na ściskanie próbek wyciętych z poszczególnych wysokości odwiertów o średnicy 94 mm z średnią wytrzymałością na ściskanie normowych próbek sześciennych



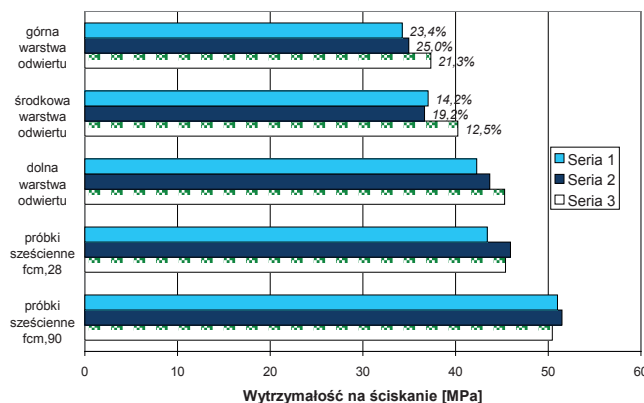
**Rys. 2.** Krążki stalowe z podkładkami neoprenowymi



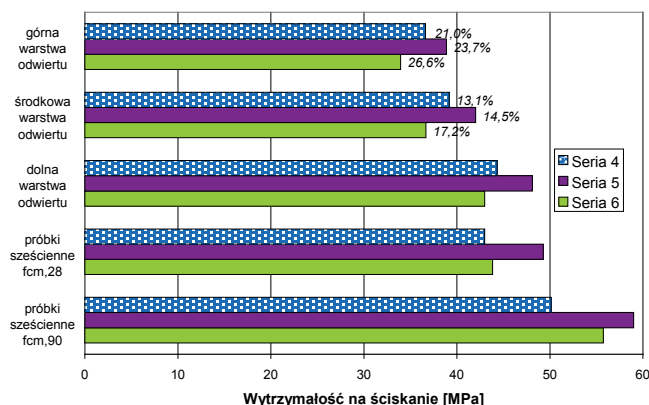
**Rys. 3.** Próбка w czasie badania wytrzymałości na ściskanie w maszynie wytrzymałościowej

zbadanych po 28 dniach –  $f_{cm, 28}$  i po 90 dniach –  $f_{cm, 90}$ . Badania niszczące ukazują duże zróżnicowanie wytrzymałości na ściskanie w zależności od wysokości pobrania próbki z elementów betonowych wykonanych z udziałem czystego kruszywa naturalnego (rys. 4) i z częściowym udziałem kruszywa recyklingowego (rys. 5). Przy wykresach słupkowych zapisano, o ile procent jest mniejsza wytrzymałość na ściskanie próbek pobranych z górnej i środkowej warstwy odwiertu w stosunku do wytrzymałości na ściskanie próbek pobranych z dolnej warstwy odwiertu.

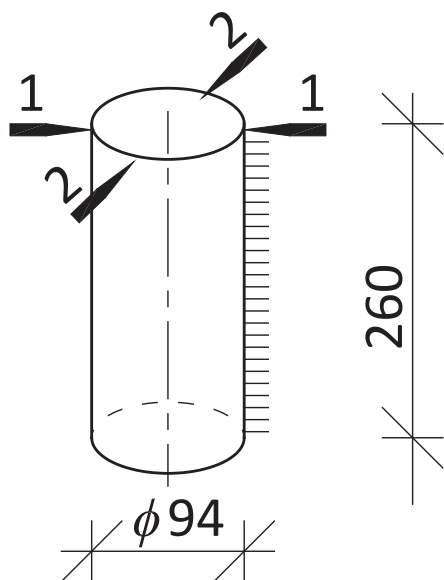
Na pojedynczych odwiertach o średnicy 94 mm z każdej serii betonu 1–6 wykonano pomiar prędkości ultradźwięków



**Rys. 4.** Wykres wytrzymałości na ściskanie próbek sześciennych i próbek z odwiertów wywierconych z betonów z udziałem kruszywa naturalnego



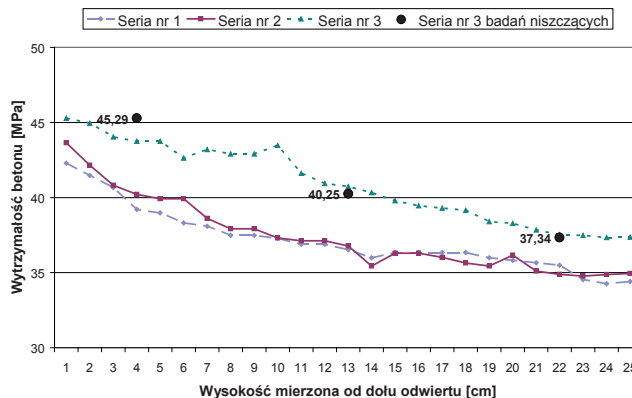
**Rys. 5.** Wykres wytrzymałości na ściskanie próbek sześciennych i próbek z odwiertów wywierconych z betonów z częściowym udziałem kruszywa recyklingowego



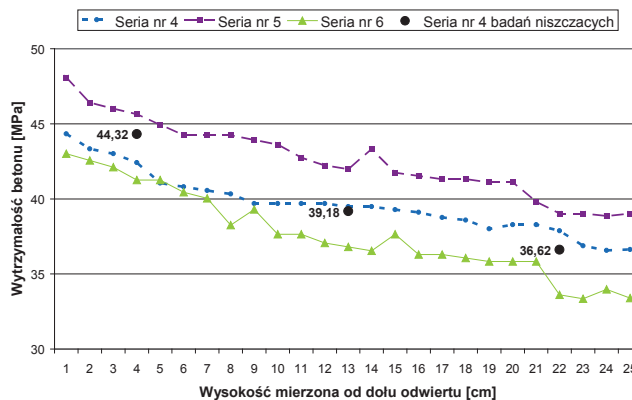
**Rys. 6.** Sposób badania odwiertów głowicami ultradźwiękowymi

przepuszczanych w dwóch kierunkach prostopadłych do osi odwiertu (rys. 6), w płaszczyznach przesuniętych od siebie o 1 cm.

W trakcie pomiaru prędkości fal ultradźwiękowych korzystano z zaprojektowanych w oparciu o literaturę [3] i wykonanych przez prof. B. Stawiskiego głowic ultradźwiękowych z eksponentyjnymi falowodami, których średnica na końcach wynosi 1 mm; daje to punktowy kontakt głowicy z betonem. Dla betonów ustalono krzywe skalowania, gdzie wytrzymałość na ściskanie jest funkcją kwadratową prędkości fal ultradźwiękowych i naniesiono je na wykresy rysunków 7 i 8. Dla wybranych serii betonów o nr 3 i 4 wyniki z nieniszczących badań ultradźwiękowych wytrzymałości na ściskanie zostały porównane z wynikami z niszczących badań wytrzymałości na ściskanie próbek pobranych z górnej, środkowej i dolnej wysokości odwiertów o średnicy 94 mm. Otrzymane wyniki z badań



**Rys. 7.** Wykres badań ultradźwiękowych wytrzymałości betonów z udziałem kruszywa naturalnego



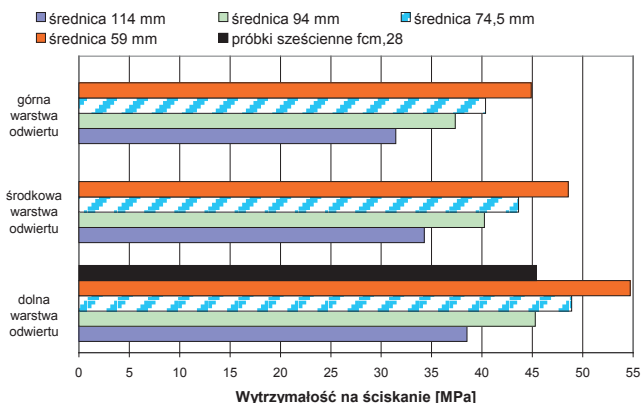
**Rys. 8.** Wykres badań ultradźwiękowych wytrzymałości betonów z częściowym udziałem kruszywa recyklingowego

nieniszczących i niszczących wytrzymałości na ściskanie są podobne i potwierdzają zmianę wytrzymałości w zależności od wysokości elementu.

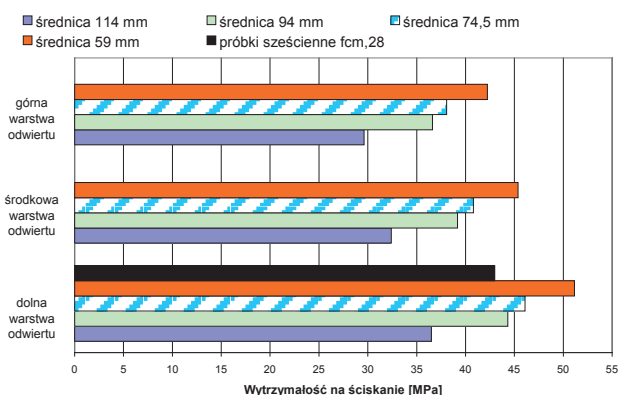
Na podstawie wyników niszczących badań próbek z betonów serii nr 3 i 4 zawiązanych wibratorem w głębinym przeprowadzono analizę wpływu średnicy odwiertu na wartość wytrzymałości na ściskanie oraz porównano z średnią wytrzymałością na ściskanie normowych próbek sześciennych zbadanych po 28 dniach – fcm, 28 (rys. 9 i 10). W wyniku analizy potwierdzono wzrost wytrzymałości na ściskanie, gdy średnica próbki maleje.

#### 4. Podsumowanie

Z zaprezentowanych badań wynika, że wytrzymałość wierzchniej warstwy elementu betonowego jest mniejsza od wytrzymałości warstwy dolnej od 21,0% do 26,6%; należałoby to uwzględnić przy oznaczeniu wytrzymałości betonu w konstrukcji w oparciu o badania niszczące i nieniszczące, które wykonuje się na powierzchni betonu. Wyniki potwierdzają przedstawiony ogólnie w literaturze [1, 2] i normie [N7] wpływ średnicy odwiertu na wytrzymałość na ściskanie dla betonów z czystym kruszywem



Rys. 9. Wykres badań niszczących odwiertów o różnej średnicy pobranych z betonów z udziałem kruszywa naturalnego



Rys. 10. Wykres badań niszczących odwiertów o różnej średnicy pobranych z betonów z częściowym udziałem kruszywa recyklingowego

naturalnym i z częściowym udziałem kruszywa recyklingowego. Przy małych średnicach poniżej 100 mm należy uwzględnić wzrost wytrzymałości na ściskanie, wynikający z efektu skali.

BIBLIOGRAFIA

[1] Jamróży Z., Beton i jego technologie, Wydawnictwo Naukowe PWN, Warszawa 2015  
 [2] Neville A. M., Właściwości betonu, Wydawnictwo Stowarzyszenia Producentów Cementu, Kraków 2012  
 [3] Stawiński B., Ultradźwiękowe badania betonów i zapraw głowicami punktowymi, Oficyna Wydawnicza Politechniki Wrocławskiej, Wrocław 2009  
 [4] Glinicki M. A., Wytrzymałość betonu w konstrukcjach. Metody diagnozowania betonów i betonów wysokowartościowych na podstawie badań strukturalnych, Wydawca IPPT, Warszawa 2003, s. 41–50  
 [5] Jin-Kook S., Young-Shik P., Comparative Study on Compressive Strength of Concrete with New Sand-Cap and Neoprene Pad. International Journal of Concrete Structures and Materials, tom 2, nr 1, s. 15–19, czerwiec 2008  
 [6] Moczko A., Ocena wytrzymałości betonu na ściskanie w konstrukcjach na podstawie badania odwiertów rdzeniowych w świetle nowej normy europejskiej EN 13791:2007, Budownictwo, Technologia, Architektura 1/2008, s. 50–55  
 [7] Stawski B., Badanie jakości betonu na grubości posadzki, Materiały budowlane 10/2000, s. 84  
 [8] Stawski B., Ocena wytrzymałości betonu w płytach monolitycznych. XII Konf. Nauk.-Tech. Warsztaty pracy rzeczoznawcy budowlanego, Kielce 2012  
 [N1] PN-EN 206-1:2003: beton. Część 1: Wymagania, właściwości, produkcja i zgodność  
 [N2] PN-EN 12350-2:2001: Badania mieszanki betonowej. Część 2: Badanie konsystencji metodą opadu stożka  
 [N3] PN-EN 12350-5:2001: Badania mieszanki betonowej. Część 5: Badanie konsystencji metodą stolika rozpliwowego  
 [N4] PN-EN 12390-1:2001: Badania betonu. Część 1: Kształt, wymiary i inne wymagania dotyczące próbek do badania i form  
 [N5] PN-EN 12390-2:2001: Badania betonu. Część 2: Wykonanie i pielęgnacja próbek do badania wytrzymałości  
 [N6] PN-EN 12390-3:2001: Badania betonu. Część 3: Wytrzymałość na ściskanie próbek do badania  
 [N7] PN-EN 12504-1:2001: Badanie betonu w konstrukcji – Część 1: Odwierty rdzeniowe. Wycinanie, ocena i badanie wytrzymałości na ściskanie  
 [N8] PN-EN 13791:2007: Ocena wytrzymałości betonu na ściskanie w konstrukcji i prefabrykowanych wyrobach betonowych  
 [N9] ASTM C 1231/C1231M-00: Standard Practice for Use of Unbonded Caps in Determination of Compressive Strength of Hardened Concrete Cylinders  
 [N10] ASTM C 42/C42M-04: Standard Test Method for Obtaining and Testing Drilled Cores and Sawed Beams of Concrete

# TYLKO!

## Najlepsi w branży budowlanej

www.homezone.pl

Patroni medialni: