



# Deklarowana a rzeczywista wytrzymałość polskich cementów

Dr hab. inż. Janusz Mierzwa, em.prof. nzw. Politechnika Krakowska,  
mgr inż. Rafał Mierzwa

## 1. Wprowadzenie

Spoiwo cementowe jest podstawowym i najważniejszym składnikiem betonu konstrukcyjnego decydującym o możliwości uzyskania przez niego najważniejszej właściwości, jaką jest wytrzymałość.

Producenci cementów dostarczając go, deklarują, jakie własności fizykomechaniczne ma sprzedawany przez nich materiał. Przedstawiana deklaracja własności użytkowych jest dokumentem mającym stanowić dla użytkownika potwierdzenie i gwarancję ich dotrzymania. Niezwykle złożona pod względem technologicznym produkcja cementu, dla którego składnikami wyjściowymi są surowce naturalne o zmieniających w określonych granicach właściwościach, powoduje możliwość wystąpienia również pewnych nieuniknionych wahań własności wyprodukowanego spoiwa.

Z tego względu konieczność dotrzymania warunku jakości zawartego w deklaracji, a w tym przede wszystkim wytrzymałości powoduje, że dostarczone cementy mają pewną rezerwę stanowiącą dla producenta bezpieczny zapas względem deklarowanej klasy.

W artykule podjęta została próba oceny, jak wysoka jest ta rezerwa, będąca różnicą pomiędzy klasą wytrzymałości zadeklarowanej przez producenta a rzeczywistą wytrzymałością dostarczanych cementów wyprodukowanych w Polsce na przestrzeni ostatnich kilkunastu lat (2002 do 2018).

Utrzymywany od lat jakościowo wysoki poziom produkcji polskich cementów pozwala wnosić, że przedstawione dalej wyniki analizy można z określonym prawdopodobieństwem przyjąć jako pewne oszacowanie stanu bliskiego obecnemu.

## 2. Przyjęte założenia i podstawy analizy

Jak wiadomo, norma polska i europejska PN EN 197.1. [2] standaryzuje produkowane cementy powszechnego użytku, przyjmując ich podział według rodzaju cementu na pięć grup (CEM I do CEM V) oraz według wytrzymałości na sześć klas, to jest: 32,5N i 32,5R, 42,5N i 42,5R oraz 52,5N i 52,5R. Różniące się szybkością wzrostu wytrzymałości początkowej (tzw. wytrzymałości wczesnej) oznaczanej w drugim dniu dojrzewania (wyjątkowo dla 32,5N w siódmym dniu) poszczególne klasy 32,5N i R, 42,5 N i R, 52,5 N i R mają taką

samą wytrzymałość jako tzw. wytrzymałość normową w 28 dniu unormowanego dojrzewania, którą oznaczono tu symbolem  $R_{CN}$ .

W dalszej analizie poddano ocenie tylko wyniki dotyczące wytrzymałości normowej  $R_{CN}$  jako podstawowej dla wykonywanych betonów konstrukcyjnych.

Za podstawę analizy przyjęto zbiór wyników badań opublikowanych w czasopismach i drukowanych materiałach (recenzowanych) konferencji naukowo-technicznych, które zostały przeprowadzone w laboratoriach: wyższych uczelni technicznych, instytutów badawczych oraz uznanych centrów badań kontroli jakości. Źródła ich opublikowania podano na końcu niniejszego artykułu.

Wykonywane tam badania przeprowadzone były według procedury zalecanej przez normę PN-EN 196-1. [1], co daje podstawę do porównywania wyników.

Analiza objęła łącznie 146 cementów wyprodukowanych w latach 2002–2018, w tym 12 cementów klasy wytrzymałości 52,5 (8% analizowanego zbioru), 65 cementów klasy 42,5 (44%) i 69 cementów klasy 32,5 (48%).

Wartością odniesienia w przypadku każdego porównywanego cementu była jego klasa wytrzymałości normowej zadeklarowana przez producenta  $R_{CNr}$  dla której przed dalej ukierunkowanymi w każdej cytowanej publikacji badaniami sprawdzana była zgodnie z procedurą normowa rzeczywista wytrzymałość (28-dniowa) oznaczona tutaj jako  $R_{cbad}$ .

W publikacji tej poddano ocenie wartości różnic:

$$\Delta R_C = R_{CN} - R_{cbad} \quad [\text{MPa}]$$

oraz procentowe wartości tych różnic  $\Delta R_C$  względem wartości deklarowanych  $R_{CN}$ :

$$X_{Rc} = \frac{R_{CN} - R_{cbad}}{R_{CN}} \cdot 100 \quad [\%]$$

## 3. Wyniki analizy

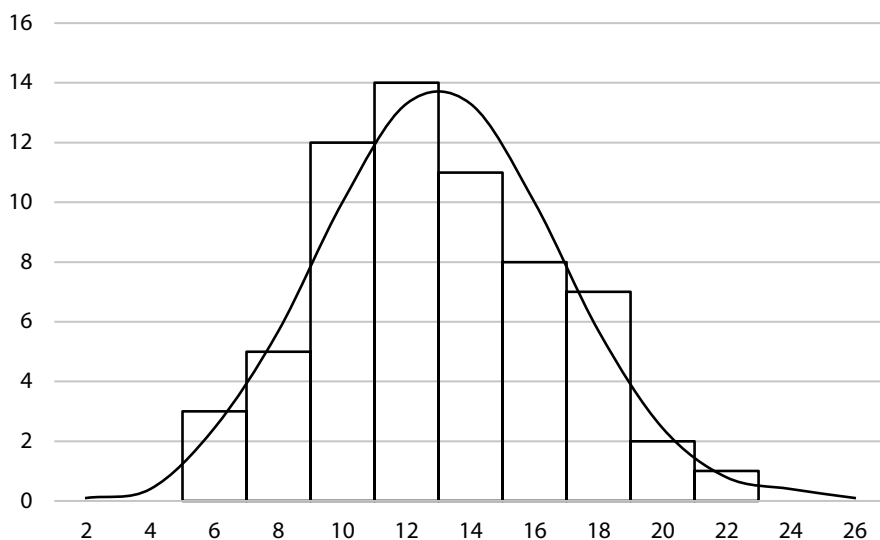
Statystyczne parametry opisowe rozkładów różnic  $\Delta R_C$  oraz średnie procentowe wartości rezerw (zapasu) wytrzymałości  $X\Delta R_C$  dla poszczególnych klas wytrzymałości analizowanych cementów podane zostały w tabeli 1.



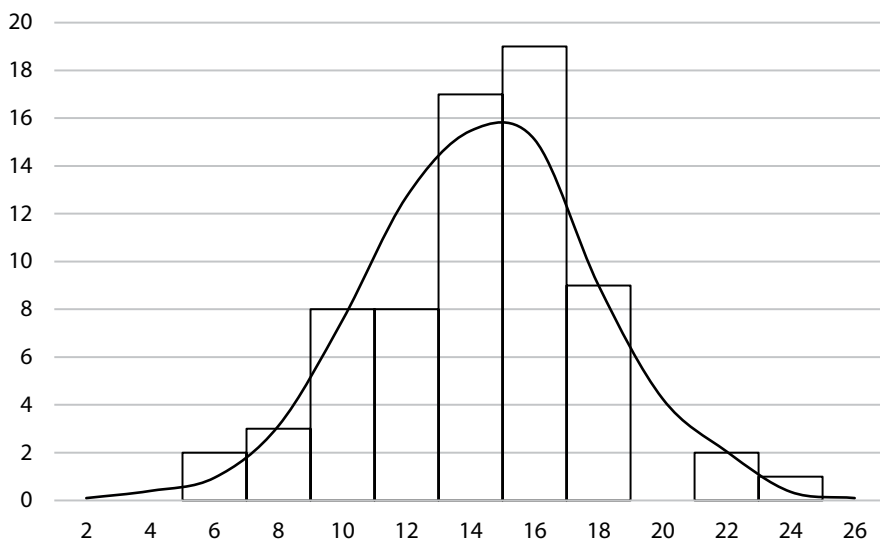
**Tabela 1.** Wartości różnic  $\Delta R_c$  pomiędzy wytrzymałościami deklarowanymi cementów  $R_{CN}$  a wytrzymałościami wyznaczonymi w badaniach  $R_{cbad}$

Deklarowana wytrzymałość cementu $R_{CN}$ [MPa]	Liczba badanych cementów $n$	Różnica wytrzymałości cementów $\Delta R_c = R_{CN} - R_{cbad}$		Średnie wartości procentowych różnic wytrzymałości $X_{\Delta R}$ [%]
		Wartość średnia $\Delta R_{CN}$ [MPa]	Odchylenie standardowe $S_{\Delta R_c}$ [MPa]	
52,5	12	10,40	4,08	19,8
42,5	65	13,05	3,76	31,8
32,5	69	14,30	3,49	44,2

**Rys. 1.** Rozkład  $\Delta R_c$  dla cementów klasy wytrzymałości 42,5 ( $n = 65$ )



**Rys. 2.** Rozkład  $\Delta R_c$  dla cementów klasy wytrzymałości 32,5 ( $n = 69$ )



Zbiór wyników badań dla klasy wytrzymałości 52,5 jest niewielki, zatem daje małe podstawy dla wiarygodnych uogólnień. Natomiast liczniejsze zbiory wyników w klasach wytrzymałości 42,5 i 32,5 (najczęściej stosowanych) pozwalają stwierdzić, że średnie rezerwy wytrzymałości jako  $\Delta R_c$  są wysokie, gdyż wahają się w granicach od ponad 10 MPa do około 15 MPa. Stanowi to od około 20% do około 45% zapas wytrzymałości względem klasy deklarowanej.

Wobec wysokich wartości odchyłeń standardowych  $S_{\Delta R_c}$  wskaźniki zmienności  $Z_{\Delta R_c} \approx 24\%$  do  $39\%$  są jednak bardzo

wysokie, co wskazuje na duże rozpiętości przedziałów zmian  $\Delta R_c$ .

Próba oszacowania odpowiednio wiarygodnych wartości  $\Delta R_c$  na określonym poziomie pewności, np. odpowiadającym kwantylowi rzędu 0,05 prowadzi do aproksymacji rozkładów prawdopodobieństwa tej cechy. Graficzne przebiegi rozkładów prawdopodobieństwa opisane na histogramach częstości  $\Delta R_c$  przykładowo dla cementów klasy wytrzymałości 42,5 i 32,5 przedstawione zostały na rysunkach 1 i 2.



Obliczone na ich podstawie wartości  $\Delta R_{C_{0,01}}$  i  $\Delta R_{C_{0,05}}$  przedstawiają się następująco:

- dla cementów klasy wytrzymałości 42,5

$$\Delta R_{C_{0,01}} = 4,2 \text{ MPa}; \Delta R_{C_{0,05}} = 6,8 \text{ MPa}$$

- dla cementów klasy wytrzymałości 32,5

$$\Delta R_{C_{0,01}} = 6,1 \text{ MPa}; \Delta R_{C_{0,05}} = 8,5 \text{ MPa}$$

Interpretując powyższe, można stwierdzić, że przykładowo dla klasy 42,5, dla której kwantyl rzędu 0,05 wynosi  $\Delta R_{C_{0,05}} = 6,8$  MPa w 5 przypadkach na 100 rzeczywista wytrzymałość normowa jest mniejsza od  $42,5 + 6,8 = 49,3$  MPa, natomiast w 95 przypadkach jest wyższa od 49,3 MPa. W klasie cementów 32,5, w której kwantyl rzędu 0,05 wyniósł  $\Delta R_{C_{0,05}} = 8,6$  MPa faktyczna wytrzymałość normowa w 5 przypadkach na 100 jest mniejsza od  $32,5 + 8,6 = 41,1$  MPa, natomiast w 95 przypadkach może przekraczać 41 MPa.

#### 4. Podsumowanie

Wyniki analizy z jednej strony pozwalają potwierdzić zaufanie do gwarancji jakości udzielanych przez krajowych producentów cementu, gdyż wykazane zapasy wytrzymałości względem zadeklarowanych klas są wysokie. Z drugiej strony mogą też skłonić do wniosku, że w określonych przypadkach warto przeprowadzić własne badania, których wyniki potwierdzające wysoką rezerwę wytrzymałości cementu w stosunku do zadeklarowanej mogą przynieść wymierne korzyści techniczno-ekonomiczne, np. w produkcji prefabrykatów czy betonu towarowego.

Analiza i jej rezultaty oparte zostały na materiale badawczym, który zapewne nie w pełni czyni zadość warunkom statystycznie reprezentatywnej próby, gdyż dla dopełnienia takiej populacji próbna winna być odpowiednio liczna względem ilości krajowej produkcji cementu w poszczególnych klasach, natomiast próbki winny być pobierane losowo.

Fakt konieczności istnienia pewnej rezerwy wytrzymałości w wyprodukowanych cementach jest znany i oczywisty. Mniej znane były natomiast jej rozmiary ilościowe i w związku z tym podjęta w publikacji próba ich oszacowania może w pewnych sytuacjach okazać się użyteczna.

- Produkowane w Polsce cementy, jak wynika z przeprowadzonej analizy charakteryzują się znacznymi nadwyżkami (zapasem) wytrzymałości rzeczywistej względem wytrzymałości deklarowanej przez producentów.

- Próba ilościowej oceny tej rezerwy w świetle wyników przeprowadzonej analizy wykazuje, że różnice pomiędzy wytrzymałością oznaczoną w badaniach dostarczonego produktu a jego wytrzymałością zadeklarowaną mogą wahać się nawet w granicach od 10 do około 14 MPa.

- Analiza zbioru wyników badań 146 cementów wykazała, że na poziomie prawdopodobieństwa  $P \geq 0,95$  jako bliższą rzeczywistej można przyjąć rezerwę wytrzymałości dla klasy 42,5 o wartości 6,9 MPa, a dla klasy 32,5 o wartości 8,6 MPa. Z prawdopodobieństwem 95% można zatem przyjąć, że dostarczony cement klasy wytrzymałości 32,5 może mieć faktyczną wytrzymałość ponad 41 MPa (41,1 MPa) natomiast cement klasy 42,5 wytrzymałość około 50 MPa (49,4 MPa).

#### BIBLIOGRAFIA

- PN-EN 196-1:206 Metodyka badań cementu. Część 1: Oznaczanie wytrzymałości
- PN-EN 197-1:2012 Cement. Część 1: Skład, wymagania i kryteria zgodności dotyczące cementów powszechnego użytku
- Inżynieria i Budownictwo: 5–6/2010 str. 275–279, 3/2015 str. 142–145
- Materiały Budowlane: 4/2002 str. 45–48, 5/2002 str. 75–79, 5/2003 str. 4–10, 5/2004 str. 10–13, 11/2007 str. 26–27, 5/2010 str. 30–31, 6/2011 str. 313–320, 8–9/2013 str. 26–31, 11/2013 str. 93–97, 10/2015 str. 96–99
- Budownictwo, Technologia, Architektura: 1–3/2007 str. 60–62, 7–9/2007 str. 44–48, str. 54–57
- Materiały Konferencji Dni Betonu: R.2002 str. 225–243, R.2004 str. 243–252, R.2004 str. 861–872, R.2012 str. 222–231, str. 464–482, str. 872–880, R.2014 str. 233–240, str. 413–443, R.2016 str. 287–301, str. 526–536, R.2018 str. 179–192, str. 485–489

**Polski Związek Inżynierów i Techników Budownictwa**

przy współudziale

**Ministerstwa Rozwoju**

oraz

**Głównego Urzędu Nadzoru Budowlanego**

ogłaszają:

# Konkurs PZITB BUDOWA ROKU 2020 edycja XXXI

Konkurs organizowany jest od 1989 roku. Promuje on polskie budownictwo oraz firmy budowlane znacząco przyczyniając się do ich rozwoju.

Dzięki bogatej tradycji „Budowa Roku” stała się jednym z najbardziej prestiżowych przeglądów osiągnięć polskiego budownictwa.



Serdecznie zapraszamy do udziału [www.budowaroku.pl](http://www.budowaroku.pl)