

Pojęcie „nadwytrzymałości betonu” w postępowaniu przetargowym na betonowe obiekty infrastruktury komunikacyjnej

„CONCRETE POSTLIMITING BEHAVIOUR” CONCEPT IN TENDERING
PROCEDURE FOR CONCRETE FACILITIES OF COMMUNICATIONS
INFRASTRUCTURE

Streszczenie

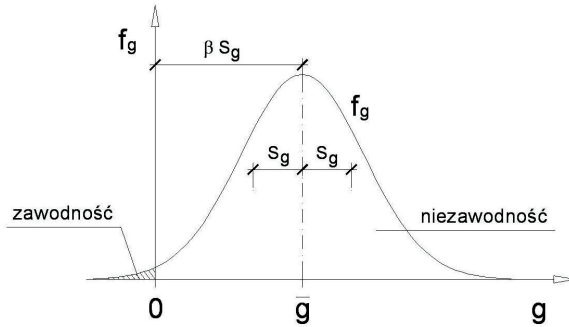
W PFU wprowadza się często wymaganie w stosunku do betonu typu: „...rzeczywista wytrzymałość betonu wbudowanego nie powinna przekraczać o więcej niż 25% wytrzymałości projektowanej...” Pojęcie „nadwytrzymałość betonu” nie pojawia się i tym samym nie jest opisane ani w normie *PN-ISO 2394: 2000 Ogólne zasady niezawodności konstrukcji budowlanych*, ani w normie *PN-EN 1992-1-1:2004 +AC:2008 Projektowanie konstrukcji z betonu* ani w podstawowej, nowej normie betonowej *PN-EN „ 206.1: 2013: Beton. Wymagania, właściwości, produkcja i zgodność*. Autor opracowania przystępując do zdefiniowania „nadwytrzymałości” opisał ją jako zbiór wyników badań próbek 15x15x15 cm, jako odwzorowanie rzeczywistej wytrzymałości betonu z założeniem wystąpienia normalnego rozkładu prawdopodobieństwa, którego dolna wartość graniczna jest szacowana na poziomie istotności $\alpha = 0,05$. Zwykle przyjmuje się tylko dolny limit kontrolny (patrz definicja wytrzymałości charakterystycznej f_{ck}), ale przy nadwytrzymałości wymagane jest także ograniczenie górne (górny limit kontrolny), stąd przyjęcie tolerancji dwustronnej $2\alpha/2 = 2 \times 0,025 = 0,05$ i interpretacja nadwytrzymałości betonu: jest to grupa pojedynczych wyników badań wytrzymałości betonu znajdujących się powyżej linii kontrolnej, którą tworzy, zgodnie z zapisem PFU, rzeczywista wytrzymałość betonu wbudowanego o wartości nie przekraczającej o więcej niż 25% wytrzymałości projektowanej. Opracowano kartę kontrolną z dwustronną granicą tolerancji i naniesiono na niej linię nadwytrzymałości. Podano dwa przykłady obliczeniowe; w pierwszym poza linią nadwytrzymałości znalazło się 10% pojedynczych wyników, w drugim 0.

Abstract

In the Functional Utility Programme (in Polish: PFU), the following type of requirement for concrete is often introduced: „... the actual built-in concrete strength should not exceed by more than 25% of the design strength...” The concept of „concrete postlimiting behaviour” is absent and, therefore, is not described either in the standard ISO 2394:1998 *General principles on reliability for structure* or in the standard PN-EN 1992-1-1:2004 +AC:2008 *Design of concrete structures* or in the basic, new concrete standard PN-EN 206.1: 2013: *Concrete. Part 1: Specification, performance, production and conformity*. The development’s author, while proceeding to define the “postlimit behaviour,” described it as the set of results of 15x15x15 cm samples tests’ results as the representation of the actual concrete strength with assuming the occurrence of normal probability distribution, whose bottom limiting value is estimated at the significance level of $\alpha = 0.05$. Usually, only the bottom control limit is adopted (see the definition of characteristic compressive strength f_{ck}). However, at the postlimit behaviour, top restriction (top control limit) is also required, hence the adoption of the two-sided tolerance of $2x\alpha/2 = 2x0.025 = 0.05$ and the interpretation of the concrete postlimit behaviour: this is the group of single results of concrete strength tests above the control line, which is created, according to the PFU record, by the actual built-in concrete strength with the value not exceeding by more than 25% of the design strength. The control chart with the two-sided tolerance was developed and the postlimit behaviour line was placed on it. Two calculation examples were provided; in the first one, 10% of single results were outside the postlimit behaviour line, and in the second one – zero.

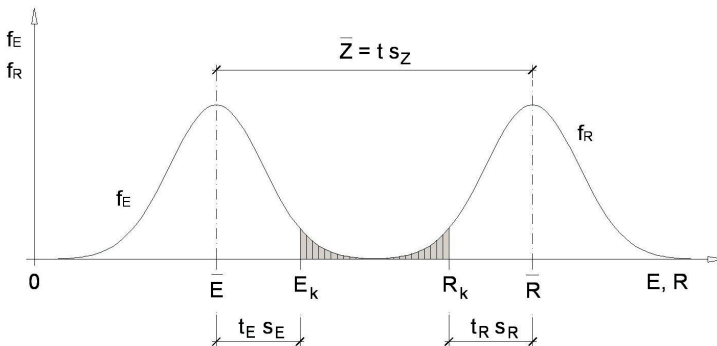
1. Założenia teoretyczne szacowania wartości f_{ck}

Współczesne metody obliczania i wymiarowania konstrukcji betonowych, a także zharmonizowane z nimi normy dotyczące betonu opierają się na metodzie stanów granicznych uwzględniających oszacowanie niezawodności konstrukcji w trakcie jej eksploatacji.



Rys. 1. Rozróżnienie pojęć niezawadność (gwarantowana z 95% prawdopodobieństwem) i zawadność (5% prawdopodobieństwo), opracowanie własne wg [1]

Przyjęto tam formułę probabilistycznego oszacowania skrajnie maksymalnych wartości obciążeń i skrajnie minimalnych nośności konstrukcji, wyrażonych np. wytrzymałością betonu. Przyjęto, że po obu stronach występują zmienne losowe opisane normalnym rozkładem prawdopodobieństwa, a prawdopodobieństwa wystąpienia wartości skrajnych wynoszą odpowiednio 95% i 5%.



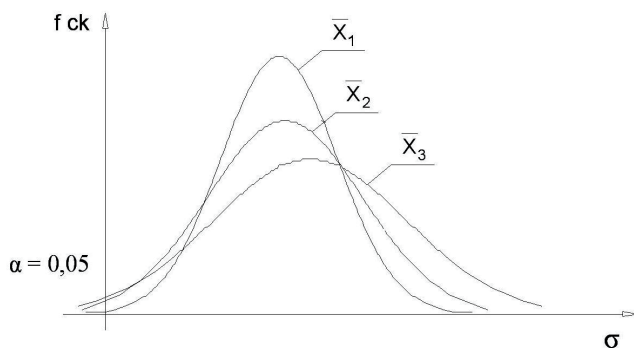
Rys. 2. Szacowanie obciążeń (funkcja f_E) i wytrzymałości (funkcja f_R), opracowanie własne wg [1]

Jak wynika z rysunków 1 i 2 zakładając niezawodną eksploatację konstrukcji przyjęto szacowanie wartości skrajnych przy jednostronnym przedziale tolerancji. Z tego powodu charakterystyczną wytrzymałość betonu określono zależnością:

$$f_{ck} \geq f_{cm} - t \sigma, \text{ MPa.}$$

Z tak przyjętej zależności wynikają następujące wnioski:

- wytrzymałość charakterystyczna f_{ck} musi być większa lub co najwyżej równa prawej stronie równania,
- nie występuje tutaj pojęcie nadwytrzymałości, bowiem szacowane są tylko dolne wartości skrajne bez wartości przeciwnych,
- zapewnienie wartości f_{ck} dokonane ma być za wszelką cenę, bo takie są zasady metody stanów granicznych (bezpieczeństwo jest na pierwszym miejscu, kryteria ekonomiczne na drugim). Ilustruje to rysunek 3 – wytrzymałość charakterystyczna powinna być osiągnięta przy jak najmniejszej średniej i odchyleniu standardowym, ale jeśli rośnie odchylenie standardowe, to musi rosnać średnia. Z punktu widzenia teorii stanów granicznych większe średnie i rozrzuty są dopuszczalne jeśli spełnione są inne wymagania kierowane w stronę betonu, np. mrozoodporność, niska nasiąkliwość, szczelność itp.



Rys. 3. Stała wartość f_{ck} przy różnych rozrzutach wytrzymałości

2. Beton projektowany wg Eurokodu 2 (PN-EN 1992-1-1: Projektowanie konstrukcji z betonu)

Podstawowym parametrem opisującym cechy mechaniczne betonu, interesującym bezwzględnie projektanta jest wytrzymałość charakterystyczna betonu, której wartość z 95% prawdopodobieństwem gwarantuje producent. Obowiązuje tu podstawowa formuła (Tablica 3.1 PN-EN 1992-1-1):

$$f_{ck} \geq f_{cm} - 8, \text{ MPa}$$

a przy wnioskowaniu z dużej próby:

$$f_{ck} \geq f_{cm} - 1,48 \sigma, \text{ MPa}$$

gdzie: f_{ck} – wytrzymałość charakterystyczna betonu,

f_{cm} – wytrzymałość średnia,

σ – odchylenie standardowe z próby,

1,48 – współczynnik statystyczny przyjmowany dla dużej próby (PN-EN:206.1)

Przekształcając zależność mamy:

$$f_{cm} - f_{ck} \leq 1,48 \sigma, \text{ MPa}$$

W Eurokodzie 2 powyższa różnica dla betonów klas C12/15 do C50/60 jest stała i wynosi 8.

Ustalona w Eurodzie 2 wartość normatywna σ wynosi więc:

$$\sigma = 8/1,48 = 5,405 \text{ MPa.}$$

Dla potrzeb niniejszego opracowania istotne są spostrzeżenia:

- dla nośności i bezpieczeństwa projektowanej i wykonanej konstrukcji istotne jest utrzymanie na stałym (lub wyższym poziomie) wytrzymałości charakterystycznej betonu (klasy betonu),
- z tego powodu dla wyznaczania f_{ck} przyjęto jednostronny przedział tolerancji o formule:

$$f_{ck} \geq f_{cm} - 1,48 \sigma, \text{ MPa}$$

przy poziomie istotności $\alpha = 0,05$,

- normatywna wartość odchylenia standardowego wytrzymałości wg Eurokodu 2 = 5,405 MPa,
- jednostka wydająca Eurokod 2 dopuszcza większą wartość odchylenia standardowego wytrzymałości pod warunkiem zwiększenia wartości średniej do poziomu gwarantującego utrzymanie f_{ck} . Z tego udogodnienia korzystają często producenci betonu zwiększając wartość średnią wytrzymałości. Pytanie jest o granicę tego zwiększenia, tzw. nadwytrzymałość oraz sposób jej określenia.

3. Beton projektowany wg PN-EN – 206.1: 2013: Beton. Wymagania, właściwości, produkcja i zgodność

Sformułowanie „beton projektowany” pojawia się w kilku miejscach normy. Definicja (3.1.1.6): Beton, którego wymagane właściwości i ewentualne dodatkowe cechy są podane producentowi, odpowiedzialnemu za dostarczenie betonu zgodnego z wymaganymi właściwościami i dodatkowymi cechami.

Specyfikacja betonu projektowanego obejmuje (6.2):

- wymagania podstawowe: klasa wytrzymałości na ściskanie, klasy ekspozycji, granulacje kruszywa, zawartości chlorków, klasa konsystencji, itp.,
- wymagania dodatkowe: specjalne rodzaje lub klasy cementu, specjalne rodzaje kruszywa, zapewnienie mrozoodporności, rozwój wytrzymałości itp.

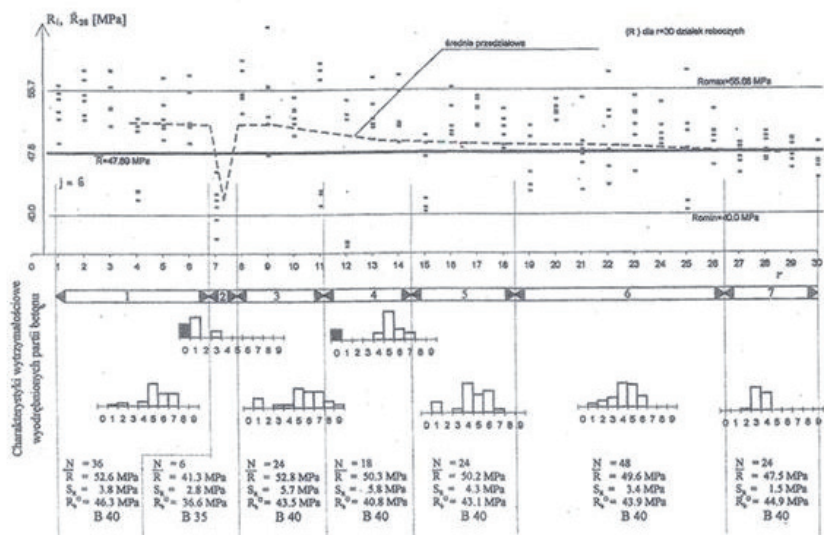
Kontrola zgodności betonu projektowanego (8.2) dotyczy:

- kryteriów pojedynczych wyników,
- kryteriów dotyczących wyników średnich, w tym A – Produkcji początkowej, B – Produkcji ciągłej, C – Stosowania kart kontrolnych, w tym kart Shewharta o zmodyfikowanych granicach.

Dokonując podsumowania danych normowych można powiedzieć, że:

- producent mieszanki musi zapewnić klasę betonu (określoną w projekcie wg Eurokodu 2), przy jednoczesnym spełnieniu pozostałych wymagań odnośnie mrozoodporności, niskiej nasiąkliwości i odporności na wpływy środowiskowe. Ponieważ norma PN-88/B – 06250 *Beton zwykły* uznaje za beton mrozoodporny ten, którego spadek wytrzymałości po 150 cyklach zamrażania-odmrażania nie przekracza 20%, to producent

powinien dla bezpieczeństwa o pewną wartość wytrzymałość zwiększyć (na przykład znana autorowi firma zwiększa tą wartość o około 5%, bo tyle wynoszą z wykonanych licznych doświadczeń jej straty mrozowe). Przy wykonywaniu terminalu towarowych odpraw celnych w Świecku z betonową płytą postojową z betonu B40 autor zauważył, że w ciągu półroczu, od lipca do grudnia, średnia wytrzymałość próbek betonowych dojrzewających w warunkach budowy obniżyła się z 52,6 MPa do 47,7 MPa, tj. o 4,9 MPa. Wykres zmian wytrzymałości wraz z upływem czasu podano na rysunku 4 (jest to wykres z referatu autora [3] wygłoszonego w Krynicy w 1995 roku. To doświadczenie może być także przesłanką do zwiększenia wytrzymałości. Poza tendencja niższą wytrzymałości w artykule zwrócono uwagę na tzw. rodziny betonu (definiowane obecnie w normie PN-EN 206.1) jako statystycznie odrębne zbiory o lokalnych charakterystykach wytrzymałościowych.



Rys. 4. Zmniejszanie się wytrzymałości średniej z tytułu niższych temperatur otoczenia jesienią i zimą [3]

Nie rozpatruje się wówczas całego zbioru wyników, który generuje duże odchylenie standardowe, lecz poszczególne rodziny, które rozpatrywane są oddzielnie mają niższe odchylenia standardowe (patrz rysunek 4 oraz nowsze publikacje autora [4]).

Podobnie zapewnienie niskiej nasiąkliwości wymaga zwiększonej ilości cementu ponad wielkość wynikającą tylko z klasy betonu konstrukcyjnego itp.

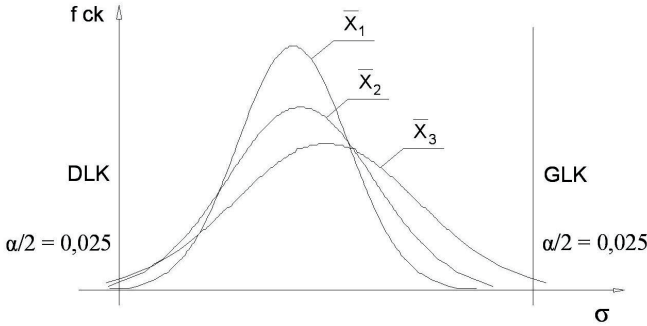
4. Naukowa, zgodna z teorią statystyki, definicja tzw. nadwytrzymałości betonu

4.1. Dane ogólne

W głównych założeniach metody stanów granicznych (rys. 2) wprowadzenie wartości skrajnych, ale przeciwnych do minimalnych z założenia jest niemożliwe (także nadwy-

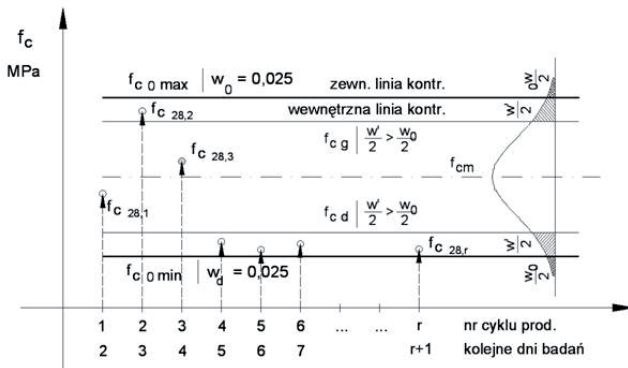
trzymałości betonu i in.), ale jest możliwe oddzielne rozpatrywanie wytrzymałości betonu jako takiej bez związku z bezpieczeństwem ogólnym konstrukcji.

Analizując rysunek 5, na którym pokazano wzrost odchylenia standardowego i średniej dla tej samej wytrzymałości charakterystycznej betonu, trudno oprzeć się wrażeniu, że powinny być wprowadzone pewne ograniczenia odnośnie rozstępu wyników badań. Wspomniany Eurokod 2 wprowadził już ograniczenie wartości odchylenia standardowego do 5,4 MPa, czego nie zrobiono w innych normach.



Rys. 5. Ograniczenie dolne (DLK) i górne (GLK) przy rozpatrywaniu zmiennej losowej wytrzymałości przy poziomie istotności $\alpha = 0,05$ przy tolerancji dwustronnej $2x \alpha/5$

Norma PN-EN 206.1 określa formuły wyznaczania wytrzymałości średniej betonu dopuszczając metodę C – karty Shewharta dla średniej i pojedynczych serii wyników badań. W analizowanym przypadku przydatna będzie karta z dolną i górną granicą tolerancji, bowiem mamy rozpatrywać charakterystyczną wytrzymałość betonu (Dolna Linia Kontrolna), średnią wytrzymałość ($X_{\text{średnie}}$), Górną Linie Kontrolną oraz dodatkowo linię kontrolną nad średnią reprezentującą nadwytrzymałość na tle średniej i górnej granicy kontrolnej GLK. Wzór takiej karty zaproponowano w pracy [2] autora.



Rys. 6. Wzór karty kontrolnej dla zbioru pojedynczych wyników badań wytrzymałości rejestrowanych w efekcie uzyskiwania kolejnych wyników badań wytrzymałości w kolejnych okresach produkcyjnych [2]

Wprowadzenie przez PFU pojęcia nadwytrzymałości – czyli drugiej, górnej, ale wewnętrznej lub w szczególnym przypadku zewnętrznej granicy kontrolnej wymaga następującej procedury szacowania wytrzymałości.

Należy jeszcze raz podkreślić, że poprzednio przy szacowaniu f_{ck} przyjmowano jednostronny przedział tolerancji o formule:

$$f_{ck} \geq f_{cm} - 1,48 \sigma, \text{ MPa}$$

przy poziomie istotności $\alpha = 0,05$.

Przy szacowaniu przedziałów dwustronnych także przyjmuje się poziom istotności $\alpha = 0,05$, ale dwa razy po $\alpha/5 = 0,025$ i formułę $f_{ck} \geq f_{cm} - 1,96 \sigma$.

4.2. Wzór karty kontrolnej dla oszacowania zbioru wyników badań należących do grupy nadwytrzymałości

Do nadwytrzymałości betonu zaliczyć należy grupę pojedynczych wyników badań betonu znajdujących się powyżej linii kontrolnej, którą tworzy, zgodnie z zapisem PFU „Rzeczywista wytrzymałość betonu wbudowanego o wartości nie przekraczającej o więcej niż 25% wytrzymałości projektowanej”. Określenie granic tolerancji na kartach powinno mieć następujący przebieg:

DLK – Dolna linia kontrolna – wartość f_{ck} , wartość ta może być powiększona przez producenta betonu o naddatek z tytułu strat mrozowych (do 5%), spadku wytrzymałości w konstrukcji z tytułu dojrzewania betonu w okresach chłodnych (do 5 MPa), strat z tytułu napowietrzenia (2–3%), strat wytrzymałości przy wysokich temperaturach z tytułu odparowania części wody zarobowej (do 5%), itp. Patrząc kompleksowo na zagadnienie przyjęto naddatek na poziomie 5 MPa jako optymalną wartość kombinacji wszystkich wpływów niezależnie od pory roku. Naddatki wytrzymałości obciążają finansowo bezpośrednio producenta betonu; nie obciążają inwestora, bo producent mieszanki wyłoniony został w postępowaniu przetargowym i ma z góry określoną cenę z 1 m³ betonu; nie można więc stawiać zarzutu niegospodarności inwestorowi,

Średnia, normatywna – określona zgodnie z formułą:

$$f_{cmN} = f_{ck} + 1,96 \sigma, \text{ MPa},$$

wartość σ przyjęta jest zgodnie z Eurokodem 2 na poziomie 5,40 MPa; jest to wartość normowa wskazująca producentowi, do jakich rozrzutów powinien dążyć, a jednocześnie nadająca karcie pewną uniwersalność, niezależną od wyników producenta;

GNW – granica nadwytrzymałości:

$$f_{cmN} \times 1,25, \text{ MPa}$$

GLK – górna linia kontrolna

$$f_{cmN} + 1,96 \sigma, \text{ MPa}.$$

Na tak przygotowane granice kontrolne nanosi się na bieżąco, dla kolejnych dni produkcyjnych, wartości pojedynczych wyników badań od $i + 1$ do ∞ . Nadwytrzymałość tworzy grupa tych wyników, które znajdują się powyżej granicy $f_{cmN} \times 1,25$, MPa. Wyniki te rozpatrywać należy na tle całego zbioru wyników (dla rozpatrywanego przedziału

czasowego) określając prawdopodobieństwo ich wystąpienia. W praktyce, przy zamkniętym zbiorze wyników, wystarczy wykonać histogram częstości względnych i nanieść go na linie kontrolne karty jak zrobiono w przykładach 4.3.

4.3. Przykład kwalifikacji wyników nadwytrzymałości dla betonu klasy C30/37 i C35/45

Beton C30/37

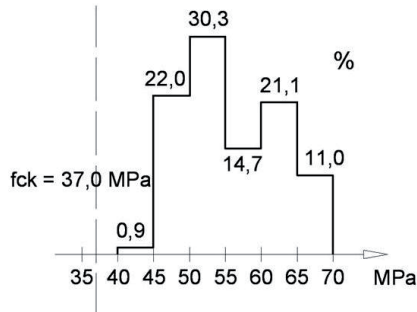
$$\text{DLK } f_{ck} = 37 \text{ MPa} + \text{naddatek } 5 \text{ MPa} = 42 \text{ MPa}$$

$$\text{Średnia } f_{cmN} = 42 + 1,96 \times 5,4 = 52,58 \text{ MPa}$$

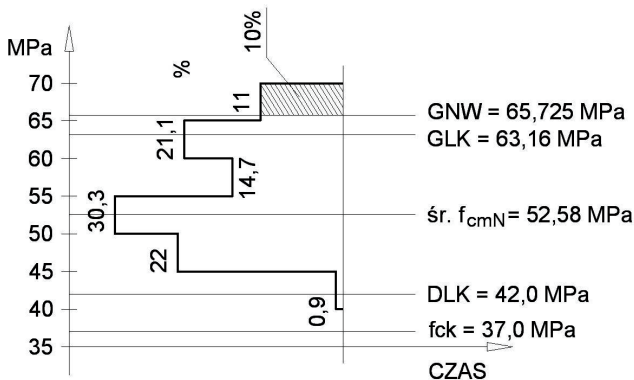
$$\text{GNW - granica nadwytrzymałości} = 52,58 \times 1,25 = 65,725 \text{ MPa}$$

$$\text{GLK} = 52,58 + 1,96 \times 5,4 = 63,16 \text{ MPa}$$

Poniżej przedstawiono histogram częstości względnych dla betonu C30/37 z kartą kontrolną. Wyniki badań w liczbie 109.



Rys. 7. Histogram częstości względnych dla danych j.w. – dane w %

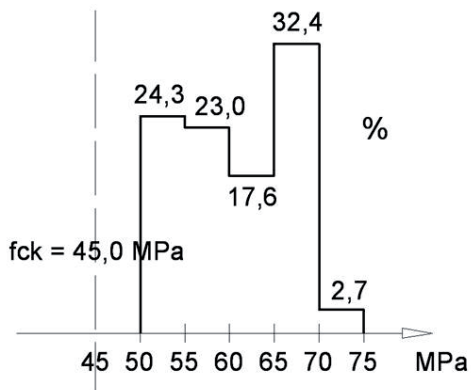


Rys. 8. Karta kontrolna wg opisu z pkt. 4.2. – zakresowano wyniki sklasyfikowane w grupie nadwytrzymałości

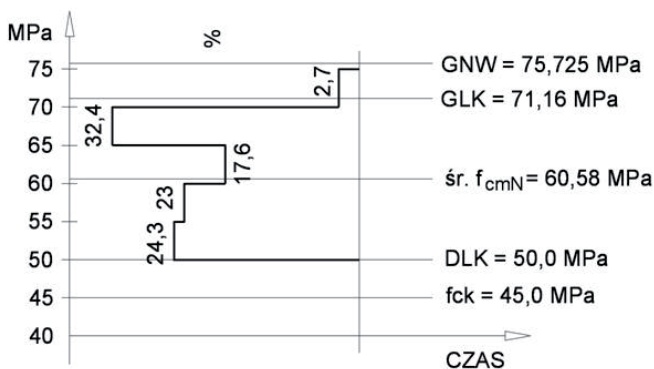
Beton C35/45

- 1) DLK $f_{ck} = 45 \text{ MPa} + \text{naddatek } 5 \text{ MPa} = 50 \text{ MPa}$
- 2) Średnia $f_{cmN} = 50 + 1,96 \times 5,4 = 60,58 \text{ MPa}$
- 3) GNW - granica nadwytrzymałości = $60,58 \times 1,25 = 75,725 \text{ MPa}$
- 4) GLK = $60,58 + 1,96 \times 5,4 = 71,16 \text{ MPa}$

Poniżej przedstawiono histogram częstości względnych dla betonu C35/45. Wyniki badań w liczbie 74.



Rys. 9. Histogram częstości względnych dla danych j.w. – dane w %



Rys. 10. Karta kontrolna wg opisu z pkt. 4.2. – żaden z uzyskanych w ciągu roku wyników nie przekroczył linii nadwytrzymałości GNW

5. Wnioski

5.1. Autor publikacji, zajmujący się od 40 lat właściwościami betonu i jego statystyczną oceną opisał wytrzymałość betonu jako zbiór wyników badań wytrzymałości betonu o normalnym rozkładzie prawdopodobieństwa z poziomem istotności $\alpha = 0,05$, ale z tolerancją dwustronną o $2x\alpha = 0,025$ i zinterpretował nadwytrzymałość betonu jako grupę pojedynczych wyników badań wytrzymałości betonu znajdujących się powyżej linii kontrolnej, którą tworzy, zgodnie z zapisem PFU *Rzeczywista wytrzymałość betonu wbudowanego o wartości nie przekraczającej o więcej niż 25% wytrzymałości projektowanej*. Opracowano kartę kontrolną z dwustronna granicą tolerancji i naniesiono na niej linię nadwytrzymałości. Podano 2 przykłady obliczeniowe ; w pierwszym poza linią nadwytrzymałości znalazło się 10% pojedynczych wyników, w drugim 0. Jest pytanie o granicę odrzucania danej receptury z tytułu zbyt dużej nadwytrzymałości. W teorii stanów granicznych recepturę odrzuca się, jeśli zbiór minimalnych wyników przekracza 5 %. Nie odrzuca się receptury, jeśli wyniki maksymalne przekraczają GLK lub nadwytrzymałość.

Ponieważ nadwytrzymałość nie jest kategorią normową granica odrzuceń powinna być inna. Uważam, że jako granicę odrzuceń można przyjąć 20% lub nawet 25%, bo za tyle nadwytrzymałości jest skłonny zapłacić producent betonu, dla którego najważniejszą sprawą jest akceptacja receptury przez zamawiającego. Sprawą otwartą pozostaje przedział czasu dla, którego określa się nadwytrzymałość. Nowa norma PN-EN 206.1 wprowadza pojęcie rodzin betonów. Podział ciągu wyników badań na rodziny betonów pokazano na przykładzie betonowania miejsc postojowych na terminalu TOC w Świecku. Zamiast jednego zbioru wyników wyodrębniono w ciągu półroczu 7 rodzin betonów o ściśle określonych dla nich charakterystykach wytrzymałościowych. Dla tych zbiorów należałoby oddzielnie określać nadwytrzymałość. Jednakże statystyczna procedura podziału na rodziny betonów jest skomplikowana, ale została przez zespół autora opracowana i znalazła uznanie międzynarodowe [4].

Doraźnie, zanim procedura podziału na rodziny betonów nie zostanie wprowadzona do norm należałoby działać następująco:

- na kartę kontrolną opisaną wyżej należałoby na bieżąco nanosić wyniki badań wytrzymałości betonu na ściskanie, tj. tyle wyników, ile ściśnięto próbek; zawsze otrzymuje się liczbę całkowitą; zawsze liczbą całkowitą są przypadki ponad linią nadwytrzymałości, jeśli wynik znajdzie się na linii górnej – zaliczany jest do przypadku nadwytrzymałości;
- w ustalonych przedziałach czasu (w zależności od częstości pobierania prób, np. co tydzień lub dwa tygodnie albo co miesiąc jak, w starych normach) należałoby sporządzić charakterystykę betonu z zaznaczonymi przypadkami nadwytrzymałości,
- po zakończeniu kontraktu można by podsumować całość.

5.2. Producent, dla spełnienia warunków betonu projektowanego (pkt. 6.2 normy PN-EN 206.1) zawiąza nieco wytrzymałość (o około 5 MPa) by mieć naddatek na spadki wytrzymałości betonu w konstrukcji z tytułu obciążeń klimatycznych, w tym mrozowych. Producent ponosi koszt naddatku wytrzymałości, bowiem cena przetargowa 1 m³ została ustalona na określonym poziomie i została przyjęta przez inwestora. Ryzyko niedotrzymania wytrzymałości betonu i pozostałych parametrów ponosi wyłącznie producent, stąd receptury są optymalne ze względu na jakość jak i koszt wykonania.

5.3. Przedstawione podejście do nadwytrzymałości i procedura jej określania ma charakter uniwersalny i może być zastosowana zarówno do betonów klas C25/30, C30/37, jak i C35/45 i wyższych. Oddzielnie jednak należałoby rozpatrywać betony niższych

i wyższych klas. W betonach wyższych klas, bez dodatku pyłów krzemionkowych trudno o pojedyncze wyniki powyżej 75 MPa, stąd szansa na nadwytrzymałość jest niewielka. W betonach klas niższych, które oprócz kryterium wytrzymałościowego muszą także spełniać kryteria nasiąkliwości $n_w < 4\%$, wod szczelności W10, mrozoodporności F150 i in., należałoby zastanowić się nad wartością nadatku wytrzymałości (zamiast 5 MPa, np. 10 MPa), gdyż zgodnie z normą PN-EN 206.1 beton projektowany musi spełniać wszystkie kryteria.

5.4. W 2013 roku szeroko dyskutowana była w Polsce sprawa kilkudziesięciu wiaduktów drogowych, w których stwierdzono brak tzw. odporności mrozowej F150 [5, 6, 7, 8]. Podobne zjawiska wystąpiły także wcześniej za granicą [9, 10]. Przyczyną zjawiska było kilka, w tym także receptura mieszanki. Zmiana receptury na inną trwała kilka miesięcy, bo procedura badania mrozoodporności jest długotrwała (najpierw na próbkach sześciennych, potem na odwiertach). Jeśli więc receptury danego producenta betonu spełniają wszystkie wymagania to bez znaczenia jest 10% nadwytrzymałość przy ryzyku (przy obniżeniu zużycia cementu o 20 kg) przyjęcia wadliwej, nie sprawdzonej w dłuższym przedziale czasu receptury.

Opracowanie wykonane w ramach DS – 11-861/16

Literatura

- [1] A. Biegus: EUROKOD. Wprowadzenie. Podstawy projektowania konstrukcji wg PN-EN 1990. WOIB, Poznań, 2012.
- [2] J. Jasiczak: Kryteria kontroli stabilizacji wytrzymałości betonu na ściskanie określanym metodami probabilistycznymi. WPP Poznań 1992.
- [3] J. Jasiczak : Ciągła kontrola wytrzymałości betonu na ściskanie na przykładzie budowy Terminalu Towarowych Odpraw Celnych w Świecku. Krynica 1995.
- [4] J. Jasiczak, M. Kanoniczak, M. Smaga M.: Stochastic identity of test result series of the compressive strength of concrete in industrial production conditions. Archives of Civil and Mechanical Engineering, 15 (2015), p. 584–592.
- [5] J. Jasiczak, A. Ślosarczyk: Cases of concretes freeze resistance lack in new viaducts. CCC 2013: Concrete Structures in Urban Areas. Wrocław p. 469–473.
- [6] L. Czarniecki, J. Deja, K. Flaga, J. Jasiczak, W. Kurdowski, J. Małolepszy, W. Radomski, J. Śliwiński: Mrozoodporność betonu w konstrukcjach mostowych. BTA, 1(69)2015.
- [7] K.Flaga: O mrozoodporności betonów mostowych. Inżynieria Budownictwa, 7-8/2013, s. 416–421.
- [8] W. Wołowicki: Przypadek zawodności testu na mrozoodporność betonu. Konferencja Dni Betonu, Wisła 2008, s. 1–5.
- [9] L. Divet, A. Pavoine: Delayed ettringite formation in massive concrete structures: an account of some studies of degraded bridges. International RILEM TC 186-ISA workshop on Internal Sulfate Attack and Delayed Ettringite Formation, 2002, Villars, Switzerland, p. 98–126.
- [10] H.F.W. Taylor, C. Famy, K.L. Scrivener: Delayed ettringite formation. Cement and Concrete Research, No. 31,2001, pp. 683–693.