



WIOLETTA JACKIEWICZ-REK, *w.jackiewicz-rek@il.pw.edu.pl*

Katedra Inżynierii Materiałów Budowlanych

Wydział Inżynierii Lądowej Politechniki Warszawskiej

MAŁGORZATA KONOPSKA, *malgorzata.konopska@tpaqi.com*

TPA Instytut Badań Technicznych Sp z o.o.

ROLA SPECYFIKACJI BETONU W ZAPEWNIENIU BEZPIECZEŃSTWA OBIEKTÓW MOSTOWYCH

THE IMPORTANCE OF CONCRETE SPECIFICATION FOR THE SAFETY OF BRIDGE STRUCTURES

Streszczenie Kluczowe znaczenie dla zapewnienia trwałości i bezpieczeństwa obiektów mostowych, w przewidywanym długim okresie użytkowania, ma specyfikacja betonu, będąca częścią dokumentacji projektowej. Szczególnej uwagi wymaga prawidłowe formułowanie specyfikacji wymagań odnośnie betonu, również przy uwzględnieniu efektywności ekonomicznej przyjętego rozwiązania. Niewłaściwe formułowanie specyfikacji jest sprzeczne z zasadami zrównoważonego rozwoju i prowadzi niejednokrotnie do nieporozumień i kłopotów realizacyjnych oraz marnotrawstwa. Analiza kilkudziesięciu dostępnych autorkom specyfikacji betonu pozwoliła na sformułowanie sugestii zmian dotychczasowej praktyki w zakresie wykonywania specyfikacji betonu.

Abstract Concrete specification, being a part of design specifications, is crucial for assuring durability and safety of bridge structures for the designed long service life of structures. It is particularly important to accurately phrase the requirements concerning concrete, including the economic effectiveness of the adopted solution. Inaccurate phrasing of the specification is inconsistent with the sustainable growth requirements and often results in misunderstandings and implementation problems and mismanagement. The analysis of a few dozens of concrete specifications available to the authors allows to draw up suggestions entraining the modification of the existing practice in the domain of specifying concrete.

1. Wstęp

Zgodnie z Rozporządzeniem MTiGM [7] obiekty inżynierskie powinny być tak zaprojektowane i wykonane, aby w przyjętym okresie użytkowania i poziomie utrzymania była zapewniona ich trwałość (§ 152). Jednocześnie materiały użyte do budowy powinny zapewnić trwałość odpowiednio do przyjętych okresów użytkowania poszczególnych elementów obiektów inżynierskich (§ 154. 1), a przy ocenie trwałości materiałów, powinny być brane pod uwagę nie tylko cechy fizyczne i mechaniczne, określone dla poszczególnych wyrobów w Polskich Normach lub aprobaty technicznych, lecz również odporność na oddziaływanie środowiska uwzględniająca czynniki określone w Polskich Normach (§ 154. 2). Jednocześnie w Rozporządzeniu MI [17] podkreślono, iż warunki bezpieczeństwa konstrukcji, (...), uznaje się za spełnione, jeżeli konstrukcja ta odpowiada Polskim Normom dotyczącym projektowania i obliczania konstrukcji (§ 204.4). W obowiązującej normie [1] sformułowano wymagania materiałowo-technologiczne przy założeniu, że przewidywany czas użytkowania

konstrukcji wynosi, co najmniej 50 lat. Szczególnie celowe w przypadku obiektów mostowych jest projektowanie betonów z uwzględnieniem trwałości, gdyż przewidywany okres ich użytkowania jest znacznie większy od 50 lat i w zależności od elementów obiektu inżynierskiego może on wynosić nawet 200 lat [7]. Ważne jest, zatem zapewnienie właściwej ochrony materiałowo-strukturalnej elementów konstrukcji, polegającej na doborze materiałów konstrukcyjnych lub doborze składu oraz struktury materiałów wykonywanych na budowie i w wytwórniach elementów (§ 155. 1) [7].

Większość powstającego w Polsce betonu, to beton towarowy. Betonem towarowym według PN-EN 206-1 [1] jest beton dostarczany, jako mieszanka betonowa przez osobę lub jednostkę nie będącą wykonawcą, ale również: „beton produkowany przez wykonawcę poza miejscem budowy oraz beton produkowany na miejscu budowy, ale nie przez wykonawcę. Jednocześnie w ostatnim czasie, w wyniku silnego rozwoju infrastruktury komunikacyjnej, wzrosło zapotrzebowanie na beton o podwyższonych wymaganiach, w tym do konstrukcji mostowych. Kluczowe znaczenie dla zapewnienia trwałości konstrukcji w przewidywanym długim okresie użytkowania obiektów mostowych ma specyfikacja betonu, będąca częścią dokumentacji projektowej. W normie [1] określony został minimalny zakres danych zamówienia – specyfikacji, jako niezbędnego zasobu informacji dotyczących oczekiwanych cech betonu, ale również wymagań związanych z transportem mieszanki betonowej, technologii betonowania, zagęszczania, pielęgnacji lub innych związanych z uzyskaniem odpowiedniego efektu końcowego powierzchni betonowej. Jest to dokument ważny, jednak często powstający obok projektu konstrukcyjnego, nawet nie do końca uwzględniający założenia projektowe, a w ogólnej formie i treści zostawiający wiele niedomówień lub nadmiar zbędnych wymagań. Niewłaściwe formułowanie specyfikacji jest sprzeczne z zasadami zrównoważonego rozwoju i prowadzi niejednokrotnie do nieporozumień i trudności realizacyjnych oraz marnotrawstwa. Zdaniem L. Czarneckiego [2] projektując beton powinniśmy kierować się ideą użyteczności, określając cechy minimalne zapewniające wypełnienie funkcji, cechy, które zapewniają odpowiedni komfort użytkowania a także estetykę, czyli bardzo ważne jest prawidłowe określenie wymaganych właściwości kompozytu, ponieważ nadmiar właściwości kosztuje. I mówimy tu nie tylko o nadmiarze cech, ale także o skali wartości poszczególnych cech [2].

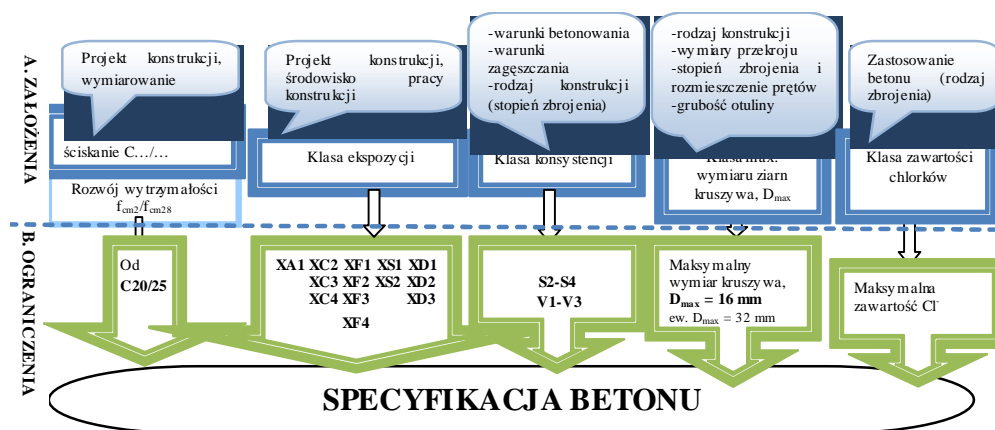
Szczególniej uwagi wymaga prawidłowe formułowanie specyfikacji wymagań odnośnie betonu, z uwzględnieniem przede wszystkim zachowania trwałości i bezpieczeństwa konstrukcji, przy jednoczesnym zapewnieniu efektywności ekonomicznej przyjętego rozwiązania.

2. Pojęcie i rola specyfikacji betonu

Według słownika języka polskiego specyfikacja to wyszczególnienie, bardzo dokładny wykaz przedmiotów, czynności lub informacji, zwykle będący uszczegółwieniem czegoś.

Pojęcie specyfikacji betonu pojawiło się w normie PN-EN 206-1[1] dla określenia zestawienia wszystkich wymaganych cech zamawianego betonu. Istotność tego dokumentu podkreśla fakt, iż ustala on zakres odpowiedzialności i określa relację pomiędzy specyfikującym wymagania dotyczące betonu, a producentem mieszanki betonowej i wykonawcą konstrukcji betonowej [3]. Należy odróżnić beton projektowany zamawiany przez specyfikację wymagań i beton recepturowy – przez podanie składu. W produkcji przemysłowej zdecydowana większość zamawianego betonu jest określana, jako beton projektowany. Specyfikacja betonu projektowanego (rys. 1) powinna zawierać wymaganie zgodności z PN-EN 206-1[1], klasę wytrzymałości na ściskanie, klasę ekspozycji, maksymalny nominalny górny wymiar ziaren kruszywa, klasę zawartości chlorków, (ponadto dla betonu lekkiego: klasę gęstości lub założoną gęstość, a dla betonu ciężkiego – założoną gęstość) oraz klasę lub założoną wartość

konsystencji. Zakres specyfikacji betonu recepturowego, zawiera skład i składniki, jakie powinny być użyte, w celu dostarczenia betonu o ustalonym składzie. Ponadto w [1] określono zakres wymagań dodatkowych zarówno dla betonu projektowanego jak i recepturowego.



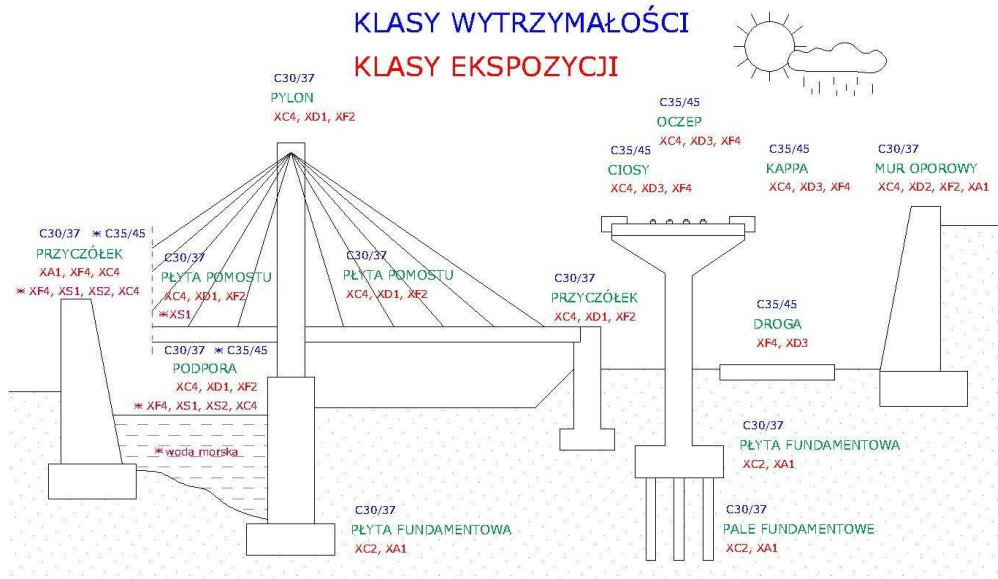
Rys. 1. Zakres specyfikacji betonu do elementów konstrukcji mostowych [15]

3. Zakres specyfikacji betonu do obiektów mostowych

Z praktycznych obserwacji wynika, że zdecydowana większość specyfikacji betonu do obiektów mostowych opracowywanych jest na podstawie Ogólnej Specyfikacji Technicznej (OST) stanowiącej materiał pomocniczy do sporządzania szczegółowej specyfikacji technicznej (SST) stosowanej, jako dokument przetargowy i kontraktowy przy zleceniu i realizacji robót związanych z wykonaniem mostowych konstrukcji betonowych [4] i drogowych [5].

OST będące źródłem wiedzy oraz informacji o poprawnym technicznie sposobie realizacji robót, w tym żelbetowych, stanowią często uniwersalną wyjściową podstawę specyfikacji betonu, jednak bez uwzględnienia różnorodności wymagań związanych z różną ekspozycją projektowanego betonu w elementach obiektu (rys. 2). Należy podkreślić istotną rolę Specyfikującego, którym może być projektant konstrukcji, od którego wiedzy z zakresu technologii betonu, zależy trwałość obiektu.

W trakcie realizacji, możliwa jest, w porozumieniu z autorem specyfikacji, modyfikacja lub uszczegółowienie specyfikacji (będącej częścią projektu konstrukcyjnego), w przypadku wystąpienia specjalnych warunków nieprzewidzianych na etapie projektowania konstrukcji. Przykładowo podczas wykonywania elementu konstrukcji może zaistnieć konieczność zmiany konsystencji mieszanki betonowej na bardziej ciekłą z uwagi na ilość zbrojenia i obawy niewypełnienia deskowania. Wtedy w trakcie realizacji obiektu możliwe jest wprowadzenie wymaganych zmian, w celu bezpiecznego wykonania konstrukcji z betonu zapewniającego jego trwałość. Bieżące korygowanie zaistniałych błędów i przeciwdziałanie możliwym trudnościom, często jest najlepszym sposobem „dopasowania” specyfikacji betonu do specyfiki realizacji. Jest to możliwe przy pełnej współpracy wszystkich stron projektu (inwestor – projektant – wykonawca – wytwórca betonu).



Rys. 2. Przykład prawidłowego wyspecyfikowania klas ekspozycji betonu poszczególnych elementów konstrukcji mostu ([16] opracowane na podstawie materiałów informacyjnych Górażdże Cement i Lafarge)

4. Niezgodności i uchybienia w specyfikacjach betonu

Istniejące dokumenty odniesienia, na które powołują się specyfikacje techniczne na obiekty mostowe np. norma PN-S-10040 [6] oraz Rozporządzenie Ministra [7], zawierają często wymagania odnoszące się do wycofanych norm, niestosowanych obecnie składników i przestarzałych uwarunkowań technicznych.

W tablicy nr 1 i tablicy nr 2 podjęto próbę zestawienia najczęstszych kwestionowanych zapisów występujących w specyfikacjach wraz z ich interpretacją w zakresie składników i właściwości betonu.

Częstym nadużyciem projektowym jest formułowanie wymagań dla betonów niekonstrukcyjnych w oparciu o wymagania stawiane betonom konstrukcyjnym. W efekcie betony podkładowe powstają z drogiego kruszywa łamanego i stawiane są im wymagania w zakresie nasiąkliwości, mrozoodporności i wodoszczelności.

Spotykanym błędem w specyfikacjach jest brak sprecyzowania klas ekspozycji betonu według PN-EN 206-1 [1] pomimo wcześniejszego zaznaczenia, iż norma ta jest podstawą opracowania dokumentu. Klasa ekspozycji jest niezbędna w celu prawidłowego zaprojektowania trwałego betonu w konkretnych warunkach jego pracy. W specyfikacjach formułowane jest wymaganie konsystencji nie rzadszej od plastycznej (K3 według normy nieobjętej nadzorem normalizacyjnym), które często jest nieuzasadnione technologicznie z uwagi na możliwości realizacyjne (np. podawanie pompą). Nie praktykowane jest odwoływanie się do obowiązujących nowych oznaczeń konsystencji zgodnie z [1], wskazujące jednocześnie odpowiednią metodę kontroli ciekłości mieszanki betonowej na miejscu produkcji jak i wbudowania (np. konsystencje S... – badania metodą opadu stożka). Jednocześnie w specyfikacji betonu przewidzieć należy warunki i technologię betonowania w zależności od pory roku i możliwości realizacyjnych. Stąd często pojawiają się ograniczenia temperatur mieszanki betonowej (np. min. temp. +20°C w warunkach zimowych, czy maks. temp. +25°C, w warunkach letnich). W obu przypadkach wiąże się to ze stosowaniem dodatko-

wych zabiegów w czasie produkcji, ale również transportu i wbudowania mieszanki betonowej. Nadmierne ograniczenia mogą spowodować skutek odwrotny do zamierzonego (np. użycie wody o wysokiej temp. do podgrzania mieszanki skutkować będzie skróceniem czasu wiązania lub wysokim skurczem). W takich przypadkach należy wcześniej szczegółowo przeanalizować z producentem betonu możliwości spełnienia założonych wymagań jak również rozważyć ewentualne zagrożenia.

5. Zalecenia do prawidłowego formułowania specyfikacji betonu do obiektów mostowych w celu zapewnienia ich bezpieczeństwa

Analiza kilkudziesięciu dostępnych autorkom specyfikacji betonu pozwoliła na sformułowanie następujących sugestii odnośnie zmian w dotychczasowej praktyce wykonywania specyfikacji betonu:

- Prawidłowe definiowanie pożądanych właściwości betonu powinno wynikać z koncepcji użyteczności, zgodnie z wymaganiami zrównoważonego rozwoju i przy pełnym wykorzystaniu możliwości dostępnych materiałów i ich synergicznej roli w kształtowaniu właściwości kompozytów betonowych.
- Przy założeniach odpowiednio wysokich parametrów trwałości betonów mostowych (np. wymaganej nasiąkliwości, stopnia mrozoodporności F150, odporności na powierzchniowe łuszczenie w obecności chlorków) klasa wytrzymałości betonu jest parametrem drugorzędym (często wyjściowym) i w większości przypadków jest wyższa niż wymagana projektem. Stąd celowym jest precyzyjne ustalenie wymaganych cech betonu w konkretnych realizacjach.
- Każdorazowo należy rozpatrywać i określać wymagania dla konkretnych elementów obiektów mostowych, uwzględniając szczególne warunki oddziaływania środowiska pracy betonu, jak również wymagania konstrukcyjne obiektu (np. wymiary, masowość).
- Należy ograniczyć do niezbędnego minimum zakres informacji formułowanych w specyfikacji. Obecne specyfikacje często są nieczytelne, zawierają dużo informacji powielanych z dostępnych wzorców lub wręcz sprzecznych, a w niektórych przypadkach są przepisnymi fragmentami norm, podczas gdy wystarczającym jest odwołanie do konkretnego zapisu wskazanej normy.

Niestety w praktyce zdarzają się również dokumenty specyfikacji, niedostosowane do przedmiotu zamówienia, niekompletne lub odwołujące się do części specyfikacji nieistniejącej.

- Ujednolicenia i uaktualnienia wymagają obecne uwarunkowania formalne dla obiektów mostowych [6, 7] w zakresie technologii betonu.
- Celowym byłoby stworzenie spójnego dokumentu (na wzór Wymagań Technicznych dla nawierzchni asfaltowych rekomendowanych przez Ministra Infrastruktury) uwzględniającego warunki projektowania, wytwarzania i wykonywania betonu do konstrukcji inżynierskich.

Tablica 1. Najczęściej występujące uchybienia w specyfikacjach betonu dotyczące składników mieszanki betonowej

Kwestionowane zapisy w specyfikacjach		Interpretacja uchybień i niezgodności
CEMENT	Dopuszczenie do stosowania wyłącznie cementu portlandzkiego niskoalkalicznego (NA), CEM I	Projektowanie betonów z uwzględnieniem ich użyteczności pozwoli na zastosowanie innych rodzajów cementów [14] przy uzyskaniu wymaganych właściwości betonu. W przypadku stosowania kruszyw nie reaktywnych alkalicznie, (szczególnie praktykowane w przypadku obiektów mostowych) wymóg stosowania cementów NA nie zawsze konieczny.
	Narzucanie klasy cementu w zależności od klasy wytrzymałości betonu np. do C20/25-CEM I 32,5; do C25/30, C30/37-CEM I 42,5; do C35/45 i wyższej – CEM I 52,5	Odpowiedni dobór jakościowy (rzeczywiste parametry wytrzymałościowe składników) jak i ilościowy składu mieszanki betonowej (w/c) pozwala uzyskać wymaganą klasę wytrzymałości betonu bez ograniczania się do konkretnej klasy cementu.
	Nieaktualne nazewnictwo cementu np. marka 35, 45, 50	Pomimo obowiązującej klasyfikacji cementów nadal spotyka się błędne zapisy, wynikające z korzystania z nieaktualnych dostępnych specyfikacji, jak również z obowiązującej normy PN-S-10040:1999[6] na obiekty mostowe, w której nadal są zapisy dotyczące marek cementu.
KRUSZYWO	Jednoczesne odwoływanie się do niespójnych dokumentów: PN-EN 12620 [8] i Rozporządzenia MTiGM[7]	W konsekwencji zamiennego używania marki[7] i kategorii kruszywa[8] utrudnieniem przy projektowaniu jest dobór odpowiedniego kruszywa, spełniającego jednocześnie różne, niespójne wymagania. Stanowi to również problem dla producentów kruszyw, którzy zmuszeni są do deklarowania właściwości kruszyw w oparciu o dwa dokumenty odniesienia, a zatem większy zakres badań.
	Większość specyfikacji dopuszcza stosowanie wyłącznie grysów granitowych lub bazaltowych	Każdorazowe sprawdzenie przydatności kruszywa do projektowanego betonu, pozwoli rozszerzyć zakres stosowanych kruszyw o inne niż kruszywa granitowe i bazaltowe, bez pogorszenia jakości uzyskanego kompozytu betonowego. Jednocześnie przyczyni się do zrównoważonego rozwoju - zmniejszenie zużycia ograniczonych już złóż.
	Wskazywanie krzywej uziarnienia bez uwzględnienia rodzaju kruszywa i przeznaczenia betonu w konstrukcji	Zalecane jest respektowanie krzywych dobrego uziarnienia. Odpowiednia kompozycja kruszywa do betonu bez wstępnych ograniczeń w postaci krzywej uziarnienia pozwala uzyskać beton o wymaganej trwałości. Uwarunkowane jest to głównie doбором odpowiedniego kruszywa i potwierdzeniem jego przydatności do projektowanej konstrukcji z betonu z uwzględnieniem jej danych projektowych (wymiaru elementu, rozstaw zbrojenia, masywność konstrukcji, technologia betonowania elementów).

Tablica 2. Najczęściej występujące uchybienia w specyfikacjach betonu dotyczące właściwości betonu

Kwestionowane zapisy w specyfikacjach		Interpretacja uchybień i niezgodności
WYTRZYMAŁOŚĆ	Oznaczenie klas wytrzymałości wg normy wycofanej PN-88/B-06250[9] np. B25	Posługiwanie się dotychczas obowiązującymi oznaczeniami klas wytrzymałości betonu wynika z przyzwyczajzeń projektantów, jak również z odwołań do tych oznaczeń w normie na obiekty mostowe[6] i Rozporządzeniu Ministra[7].
	Formułowanie wymagań odnośnie klasy wytrzymałości jednocześnie wg niespójnych dokumentów: PN-88/B-06250[9] i PN-EN206-1[1] lub stosowanie wymagań tych zamiennie	Odwoływanie się do norm posiadających różne oznaczenia klas wytrzymałości, metody badań i inne kryteria zgodności betonu (np. beton spełniający kryteria wg PN-88/B-06250[9] dla danej klasy wytrzymałości może nie spełnić wg PN-EN 2006-1[1] lub odwrotnie).
NASIĄKLIWOŚĆ	Wymaganie nasiąkliwości betonu max. 4%	Nasiąkliwość betonu wywołuje wiele dyskusji dotyczących zarówno interpretacji wyników jak i stawianych wymagań [10, 11, 12]. Ponadto, istnieją wyniki badań potwierdzające, iż możliwe jest uzyskanie betonu o dobrej szczelności i mrozoodporności pomimo nie spełnienia wymogu nasiąkliwości do 4%. Cecha ta nie jest wymagana wg PN-EN 206-1 (spełnienie nasiąkliwości poprzez odpowiednio zaprojektowany beton w danej klasie ekspozycji).
	Podawanie częstotliwości sprawdzania nasiąkliwości, bez metody badania	Zastosowanie różnych metod badawczych; w badaniu nasiąkliwości nadal nie zostały jasno sprecyzowane zagadnienia dotyczące: wielkości badanych próbek i sposobu ich przechowywania, co może prowadzić do różnych wyników badań tego samego betonu.
MROZOODPORNOŚĆ	Ograniczenie mrozoodporności betonu wyłącznie do stopnia mrozoodporność F150	Wymóg stopnia mrozoodporności powinien być zróżnicowany w zależności od oddziaływań różnych czynników destrukcyjnych na poszczególne elementy mostu. W obiektach narażonych na działanie środków odładzających konieczne jest sprawdzanie mrozoodporności zewnętrznej (powierzchniowej).
	Badanie mrozoodporności po 28 dniach dojrzewania	Możliwe jest uzyskanie mrozoodpornych betonów z cementami z dodatkami mineralnymi. Wtedy celem jest sprawdzanie odporności betonu na oddziaływanie cyklicznego zamrażania i rozmrażania po dłuższym okresie dojrzewania np. 56 lub 90 dniach, z uwagi na opóźniony przebieg reakcji pucolanowych.
	Podawanie częstotliwości sprawdzania mrozoodporności, bez wskazania metody badania	Kluczowym jest dobór odpowiedniej metody badania mrozoodporności betonu w zależności od przewidywanych warunków ekspozycji betonu w konstrukcji.
WODOSZCZELNOŚĆ	Odwołanie do dwóch różnych metod badania wodoszczelności: PN-88/B-06250[9] i PN-EN 12390-8[13]	Najczęściej wymagane stopnia wodoszczelności np. W8 wg PN-88/B-06250[9] (wycofanej), gdyż nie ma kryteriów oceny wyników oznaczenia głębokości penetracji wody wg PN-EN 12390-8 [13], a w konsekwencji oceny wodoszczelności betonu.

6. Wnioski

Dokumenty specyfikacji betonu, zarówno te, które stanowią integralną część projektu konstrukcyjnego jak i te uszczegółowione przez wykonawcę robót, są pierwszym etapem w procesie powstawania trwałej konstrukcji z betonu. Prawidłowe sformułowanie tych dokumentów jest warunkiem zapewnienia bezpieczeństwa konstrukcjom szczególnie narażonym na oddziaływanie środowisk agresywnych. Od specyfikacji zależy proces projektowania zamawianego betonu, jak również sposób jego wbudowania i pielęgnacji. Zatem wszystkie następnne procesy technologiczne uwarunkowane są zaleceniami/wymaganiami zawartymi w specyfikacji betonu.

Artykuł przygotowano w ramach realizacji pracy statutowej nr 504G 10807007/2011

Literatura

1. PN-EN 206-1:2003, Beton. Część 1: Wymagania, właściwości, produkcja i zgodność.
2. Żeby dominowała koncepcja użyteczności, prof. L. Czarnecki w rozmowie z A. Karbowskiem, *Budownictwo Technologie Architektura*, 2, 2010.
3. Beton wg normy PN-EN 206-1 – Komentarz, praca zbiorowa pod kierunkiem prof. Lecha Czarneckiego, *Polski Cement*, Kraków 2004.
4. Ogólne Specyfikacje Techniczne. M-13.00.00, Beton.
5. Ogólne Specyfikacje Techniczne, D-05.03.04, Nawierzchnia betonowa, GDDKiA, Warszawa 2003.
6. PN-S-10040:1999 Obiekty mostowe. Konstrukcje betonowe, żelbetowe i sprężone. Wymagania i badania.
7. Rozporządzenie Ministra Transportu i Gospodarki Morskiej w sprawie warunków technicznych, jakim powinny odpowiadać drogowe obiekty inżynierskie i ich usytuowanie (Dz. U.nr 63, poz.735 z dnia 30.V.2000).
8. PN-EN 12620+A1:2008, Kruszywa do betonu.
9. PN-88/B-06250, Beton zwykły.
10. Flaga K., Bogucka M., Maliszewicz P., Cechy trwałościowe betonów mostowych na przykładzie obiektów mostowych autostrady A2 na odcinku Konin-Koło-Dąbie, V Konferencja Naukowo-Techniczna MADBUD, Kraków 2007.
11. Glinicki M., Widmo nasiąkliwości, *Budownictwo Technologie Architektura*, 3, 2007.
12. Gołda A., Kaszuba S., Nasiąkliwość betonu –wymagania a metody badawcze, *Cement Wapno Beton*, 6, 2009.
13. PN-EN 12390-8:2009, Badania betonu. Część 8: Głębokość penetracji wody pod ciśnieniem.
14. PN-B-06265, Krajowe uzupełnienie PN-EN 206-1:2003. Beton. Część 1: Wymagania, właściwości, produkcja i zgodność.
15. Jackiewicz-Rek W., Kształtowanie mrozoodporności betonów wysokopopiołowych, *Oficyna Politechniki Warszawskiej (rozprawa doktorska)*, Warszawa, 2010.
16. Konopska M., Analiza uwarunkowań doboru betonu do obiektu mostowego na przykładzie Mostu Północnego, (praca magisterska), Warszawa, 2010.
17. Rozporządzenie Ministra Infrastruktury sprawie warunków technicznych, jakim powinny odpowiadać budynki i ich usytuowanie (Dz. U. Nr 75, poz. 690 z dnia 12 kwietnia 2002 r.).