

Ocena betonu w wykonywanej konstrukcji w przypadku wątpliwości co do jego jakości

1. Wprowadzenie

Konieczność dokonania oceny betonu w konstrukcji w niedługim czasie po jego wbudowaniu jest zjawiskiem dość częstym. Można nawet stwierdzić, że w okresie kryzysowym tych sytuacji jest więcej. Daleko posunięta optymalizacja procesów produkcyjnych betonu oraz zmagania zmierzające do minimalizacji kosztów produkcji sprawiają, że dostarczany wyrób wykazuje jakość bliską granicy określonej wymogami normowymi, albo niestety jej nie osiąga. Jeśli do tego dochodzą te same aspekty ze strony wykonawcy robót, negatywny efekt pogłębia się. W rezultacie uzyskujemy produkt (element, konstrukcję), wobec której mamy wątpliwości co do zapewnienia parametrów narzuconych przez projektanta. Wątpliwości dotyczące także możliwości akceptacji betonu już wbudowanego: – czy konstrukcja jest bezpieczna, czy trzeba ją zabezpieczać, czy należy ją wzmocnić, czy należy ją naprawiać, czy można rozliczać fakturę wystawioną przez dostawcę betonu, czy można rozliczyć roboty zrealizowane przez wykonawcę robót itp., itd.

Wtedy zachodzi konieczność sprawdzenia rzeczywistych parametrów betonu w konstrukcji. Do prawidłowego przebiegu procesu badania, a później interpretacji uzyskanych wyników można zastosować zasady przedstawione w normie PN-EN 13791 [1]. Sytuacja taka to jedna z trzech możliwości wykorzystania normy do oceny wytrzymałości betonu w konstrukcji (rys. 1) – a trzeba zwrócić uwagę, że mało znana i mało stosowana w praktyce [8, 9, 10].

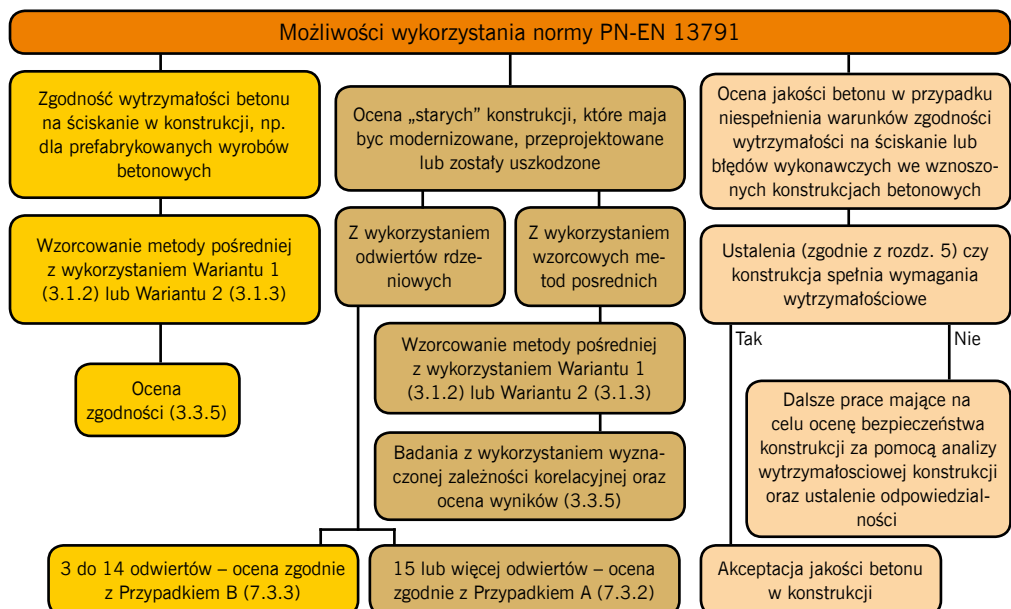
Dotychczasowe przyzwyczajenia związane z koniecznością oceny betonu w konstrukcji dotyczyły najczęściej jej diagnozowania. Z reguły oznaczało to potrzebę informacji o aktualnej jego wytrzymałości, wymaganej do analizy stanu konstrukcji. Norma PN-EN 13791 obejmuje oczywiście także takie przypadki, nazywając to oceną betonu „starego” („ścieżka 2” – środkowa schematu na rys. 1). Dwie pozostałe ścieżki dotyczą, ogólnie mówiąc,

oceny betonu „młodego” i związane są z oceną jego zgodności (oceną właściwości użytkowych).

„Ścieżka 1” (lewa na schemacie na rys. 1) określa dokładnie procedurę wykazania zgodności wytrzymałości betonu na ściskanie w konstrukcji, czyli betonu już wbudowanego w element konstrukcyjny (np. prefabrykat betonowy), ale bez użycia próbek „normowych” (według PN-EN 206-1 [2]). Wykorzystuje się tutaj metody pośrednie, czyli takie, które nie „niszczą” konstrukcji, a jednocześnie są tańsze od tradycyjnego pobierania próbek-świadków. Często dodatkową wadą tych ostatnich jest nieadekwatność spowodowana odmiennym sposobem zastosowanego zagęszczenia betonu w procesie formowania rzeczywistego elementu konstrukcyjnego. Wreszcie „ścieżka 3” (prawa na schemacie na rys. 1) obejmuje ocenę jakości betonu w przypadku niespełnienia warunków zgodności wytrzymałości na ściskanie, którą przeprowadzono z użyciem próbek normowych, albo wtedy, gdy dopatrzono się w trakcie realizacji robót błędów wykonawczych – np. braku zabezpieczeń przy betonowaniu w warunkach obniżonych temperatur, nieprawidłowo prowadzonego procesu zagęszczania, braku prawidłowej pielęgnacji dojrzewającego betonu itp. Ta właśnie „ścieżka” zajmuje się betonem dopiero co wbudowanym w konstrukcję, ale wzbudzającym wątpliwości co do jakości. Wątpliwości mogą być adresowane w stronę producenta betonu – gdy sam zauważył niespełnienie kryteriów zgodności w ramach prowadzonej przez siebie Zakładowej Kontroli Produkcji, lub gdy zostało to wykryte w ramach badań identyczności prowadzonych przez odbiorcę betonu. Wątpliwości mogą być również adresowane do wykonawcy robót – gdy stwierdzono nieprawidłowości związane z procesami wbudowywania i pielęgnacji świeżo wykonanej konstrukcji.

Chodzi wtedy zasadniczo o odpowiedź, czy wbudowany beton można ostatecznie zaakceptować jako zgodny

Rys. 1. Schemat możliwości wykorzystania normy PN-EN 13791 do oceny wytrzymałości betonu w konstrukcji [1]



z zamówieniem, czyli zapewniający spełnienie wymagań bezpieczeństwa realizowanej konstrukcji, czy też nie. Akceptacja oznaczać będzie uspokojenie wzbudzonych wątpliwości, natomiast brak tej akceptacji uruchomi dalsze działania i analizy szacujące rzeczywiste zagrożenie bezpieczeństwa konstrukcji i ewentualne jej poprawienie (poprzez naprawę lub wzmocnienie).

W zależności od objętości betonu poddanego analizie, oraz w zależności od ważności elementu konstrukcyjnego, a w końcu od świadomości poszczególnych uczestników procesu budowlanego (projektant/specyfikujący, kierownik budowy, inspektor nadzoru, rzeczoznawca zaangażowany do oceny), konieczny będzie dobór odpowiednich badań – zarówno co do metody jak i zakresu. Przedstawiono je w rozdz. 9 normy PN-EN 13791, wraz ze sposobem interpretacji wyników.

2. Ocena betonu wbudowanego w konstrukcję w przypadku wątpliwości co do jego jakości

W celu oceny jakości betonu w przypadku niespełnienia warunków zgodności wytrzymałości na ściskanie lub błędów wykonawczych we wznoszonych konstrukcjach betonowych można wybrać jeden z trzech przypadków, uzależniony od ilości ocenianego betonu i od liczby wyników badań sprawdzających – czy to bezpośrednich czy pośrednich:

PRZYPADEK 1:

Dotyczy sytuacji, gdy w danym miejscu pomiarowym, obejmującym wiele wbudowanych w konstrukcję zarobów betonu, możemy dysponować 15 lub więcej wynikami badań odwiertów rdzeniowych [3]. Z praktycznego punktu widzenia sytuacja taka może występować sporadycznie. Po pierwsze dlatego, że dotyczyć ma betonu dla większej ilości dostarczonych zarobów, a po drugie, należy przewidzieć, o czym przypomina norma PN-EN 12504-1 [3], „wszelkie konsekwencje dla konstrukcji wynikające z pobrania rdzeni” (np. osłabienie konstrukcji, przecięcie prętów zbrojeniowych itp.). Aby można było zachować jakieś rozsądne proporcje pomiędzy ilością pobranych rdzeni a ocenianą ilością betonu, przedmiotem badań może być element konstrukcyjny bądź część lub całość obiektu (ewentualnie beton wielu obiektów w obrębie tej samej budowy), na które dostarczone co najmniej od kilkuset do kilku tysięcy metrów sześciennych betonu. Dodatkowo – dotyczyć to powinno dużych objętościowo dostaw, ale zrealizowanych w krótkim czasie. W przeciwnym razie, dla dostaw rozłożonych w długim okresie, nieprawidłowości powinny być wyłapanie znacznie wcześniej (choćby przez producenta betonu w trakcie prawidłowo prowadzonej oceny zgodności), a nie po zakończeniu robót. Zdarzają się także budowy obiektów, na których wykonuje się dużą ilość przewiertów instalacyjnych przez elementy betonowe, a to może stanowić mimochodem źródło pozyskania dużej ilości próbek rdzeniowych do badań wytrzymałościowych. Istotny jest jeszcze trzeci aspekt – ekonomiczny – czyli koszt badań. Każdy odwiert, jego docięcie, doszlifowanie powierzchni, obowiązkowa kilkudniowa pielęgnacja w warunkach laboratoryjnych oraz zgniot w maszynie wytrzymałościowej to wymierne czynności, które przekładają się na konkretny całościowy wymiar finansowy oceny betonu.

Oceniając beton na podstawie co najmniej 15 odwiertów rdzeniowych można uznać, że wytrzyma-



foto: Grzegorz Bajonek

łość w tym miejscu (dużym elemencie, obiekcie...) jest właściwa i spełnia warunki zgodności określone w PN-EN 206-1 [2], jeśli spełnione są dla nich obie poniższe zależności (1) i (2):

$$f_{m(n), is} \geq 0,85 \cdot (f_{ck} + 1,48 \cdot s) \quad (1)$$

oraz

$$f_{is, lowest} \geq 0,85 (f_{ck} - 4) \quad (2)$$

gdzie:

$f_{m(n), is}$ – wytrzymałość średnia z n wyników badań

$f_{is, lowest}$ – najmniejszy wynik badania wytrzymałości wśród n wyników badań

s – odchylenie standardowe (s powinno być wartością wyliczoną, lub równą 2,0 MPa, w zależności od tego, która wartość jest większa)

f_{ck} – oczekiwana wytrzymałość charakterystyczna określona w projekcie (lub dowodzie dostawy betonu)

PRZYPADEK 2:

Stanowi alternatywę dla „przypadku 1” polegającą na ocenie betonu na podstawie badania co najmniej dwóch odwiertów rdzeniowych, ale dodatkowo przy użyciu metody pośredniej (z reguły sklerometrycznej [4], jako najłatwiejszej i najtańszej w stosowaniu), z której uzyskuje się co najmniej 15 wyników badania betonu. Podobnie jak w „przypadku 1”, oceniane miejsce pomiarowe obejmować może wiele wbudowanych w konstrukcję zarobów betonu. Dotyczyć więc może dużego elementu konstrukcyjnego bądź części lub całości obiektu, a nawet betonu wielu obiektów w obrębie tej samej budowy – czyli betonu wbudowanego w dużych ilościach.

Wymogiem normowym jest, by „przypadek 2” – czyli pomieszczenie metody bezpośredniej i pośredniej, stosować w sytuacji „porozumienia pomiędzy stronami”. Można zapytać, dlaczego. Otóż dokładna interpretacja zapisów normowych wskazuje, że metoda pośrednia, a w ślad za tym uzyskane wyniki badania, nie muszą być uwiarygodnione „wzorcowaniem” metody. Te co najmniej 15 uzyskanych z metody pośredniej wyników badań służy do wskazania co najmniej dwóch słabszych miejsc, w których z kolei wykonane zostaną odwierty rdzeniowe – i w zasadzie tylko wyniki badań odwiertów podlegają ocenie według poniższej zależności (3):

$$f_{is, lowest} \geq 0,85 (f_{ck} - 4) \quad (3)$$

gdzie:

$f_{is, lowest}$ f_{ck} – jak we wzorze (2)

Jeśli spełniona dla nich jest powyższa zależność, to można uznać, że wytrzymałość w tym miejscu (dużym elemencie, obiekcie...) jest właściwa i spełnia warunki zgodności określone w PN-EN 206-1 [2]. Trzeba zwrócić uwagę, że polska wersja normy PN-EN 13791 [1] jest w tych zapisach mało precyzyjna, wskazując, że odwierty mają być „wycięte z miejsca o zaniżonej wytrzymałości”. Siegnięcie do angielskiego i niemieckiego oryginału normy precyzuje intencję jej autorów, uściślając, że odwierty mają być „wycięte z miejsca o wskazanej zaniżonej wytrzymałości”. Wskazanie tych miejsc następuje właśnie poprzez użycie metody pośredniej. Jeśli badanie metodą pośrednią służy jedynie do wykrycia miejsc najłabszych, to nie ma konieczności jej „wzorcowania”. Nawet bez wzorcowania jest ona przy tym bardzo dobrym narzędziem do ustalenia jednorodności wbudowanego betonu. Skoro norma wskazuje minimalną liczbę wyników badań bezpośrednich jako 2, a rozmiary konstrukcji spowodują, że wykonanych zostanie znacznie więcej, można wtedy dążyć do wycięcia co najmniej 9 odwiertów rdzeniowych. Pozwoli to na „zawzorcowanie” metody pośredniej – tyle par wyników „odwiert – metoda pośrednia” wystarczy, aby dokonać „wzorcowania przy wykorzystaniu ograniczonej liczby wyników badania odwiertów rdzeniowych oraz podstawowej krzywej regresji”. Posiadane wtedy w pełni wiarygodne wyniki badań wykonanych metodą pośrednią mogą posłużyć do oceny betonu.

PRZYPADEK 3:

Ten przypadek odnosi się do sytuacji, gdy wątpliwości co do jakości betonu dotyczą niewielkiej jego ilości, obejmującej jeden lub kilka zarobów. Mamy do czynienia wtedy z miejscem pomiarowym o niewielkich rozmiarach. Norma dopuszcza, by osoba specyfikująca beton wybrała na podstawie doświadczenia, dwa miejsca pobrania odwiertów rdzeniowych. Wyniki ich badania podlegają ocenie według poniższej zależności (4), która jest identyczna z używaną w „przypadku 2” zależnością (3) i jeśli jest ona spełniona, to można uznać, że wytrzymałość w tym miejscu odpowiada wymaganiom:

$$f_{is, \text{lowest}} \geq 0,85 (f_{ck} - 4) \quad (4)$$

gdzie:

$f_{is, \text{lowest}}$ – jak we wzorze (2)

Wymogiem normowym jest, by „przypadek 3” – czyli oparcie się na wynikach badań bezpośrednich zaledwie dwóch odwiertów rdzeniowych, stosować w sytuacji, gdy „osoba specyfikująca beton

wybiera na podstawie doświadczenia” te miejsca pobrania próbek. Mamy tutaj do czynienia, tak jak w „przypadku 2”, z koniecznością porozumienia pomiędzy stronami. Oczekuje się zwłaszcza, że uczestnik procesu budowlanego – specyfikujący (projektant) – weźmie na siebie odpowiedzialność wyznaczenia miejsca o najbardziej prawdopodobnym zniżeniu wytrzymałości betonu wbudowanego w konstrukcję. Dokonana później ocena betonu na podstawie dwóch odwiertów jest analogiczna do szukania próbki o najniższej wytrzymałości $f_{c, \text{min}}$ w populacji wyników otrzymanych na próbkach normowych w ramach oceny właściwości użytkowych prowadzonej przez producenta betonu – a z kryterium normowego PN-EN 206-1 [2] ($f_{c, \text{min}} \geq f_{ck} - 4 \text{ MPa}$) wynika, że taki pojedynczy wynik może być aż o 4 MPa mniejszy niż wytrzymałość charakterystyczna betonu f_{ck} .

3. Podstawowe zasady wykonywania badań i interpretacji wyników dla metody bezpośredniej (odwiertów rdzeniowych)

Metoda „bezpośrednia” oznacza, że badania przeprowadza się na próbkach wyciętych z konstrukcji poprzez wykonanie odwiertów rdzeniowych. Powinny one mieć średnicę od 50 do 150 mm, przy czym te o średnicy od 100 do 150 mm pozwolą na użycie bezpośredniej relacji uzyskanej w badaniu wytrzymałości w odniesieniu do badań przeprowadzanych na próbkach normowych, te zaś o średnicach mniejszych niż 100 mm będą wymagać współczynników korygujących. W tym miejscu osoba decydująca o wyborze średnicy odwiertu napotyka na pierwszy dylemat – im większa próbka, tym wiarygodniejszy wynik, ale jednocześnie wycięty do badania wałek powinien mieć wysokość co najmniej równą średnicy (częsty problem związany z grubością elementu, z którego pobiera się próbkę – np. warstwa posadzki betonowej). Większy odwiert to także większe uszkodzenie elementu (jest to przecież niszcząca metoda badania konstrukcji). W końcu, w zbrojonych elementach (często bardzo gęsto zbrojonych), trudno znaleźć odpowiednie miejsce na wykonanie odwiertu o dużej średnicy, tak aby nie natrafić i nie przeciąć zbrojenia, a takie próbki praktycznie są dyskwalifikowane. Przy podejmowaniu decyzji co do wymiarów próbek, ich ilości, wyglądu, a później wpływu tych czynników na interpretację wyników, norma [1] ustala szereg dość ważnych zasad:

- Badanie odwiertu o długości równej nominalnej średnicy, wynoszącej 100 mm, daje wartość wytrzymałości, która odpowiada wytrzymałości próbki sześcienniej o boku równym 150 mm, wykonanej i dojrzewającej w tych samych warunkach
- Badanie odwiertu o nominalnej średnicy nie mniejszej niż 100 mm i nie większej niż 150 mm oraz długości równej dwukrotnej średnicy daje wartość wytrzymałości, która odpowiada wytrzymałości próbki walcowej o wymiarach 150 mm na 300 mm, wykonanej i dojrzewającej w tych samych warunkach
- Odwierty rdzeniowe powinny być przechowywane w warunkach laboratoryjnych przez co najmniej 3 dni przed badaniem. Wytrzymałość odwiertu nasyconego wodą jest od 10 do 15% niższa niż wytrzymałość podobnego odwiertu, badanego w stanie powietrzno-suchym



foto: Grzegorz Bajperek

- Podwyższona porowatość obniża wytrzymałość. Szacunkowo 1% porowatości obniża wytrzymałość od 5 do 8%
- Wytrzymałość odwiertu wycinanego pionowo (zgodnie z kierunkiem betonowania) może być wyższa niż wytrzymałość odwiertu, który wycięto poziomo z tego samego betonu. Różnica ta zawiera się zwykle w przedziale od 0 do 8%
- W przypadku odwiertów o średnicy mniejszej niż 100 mm (przy $l/d = 1,0$) zmienność wytrzymałości jest zazwyczaj większa. Z tego powodu dla odwiertów o średnicy 50 mm może być wskazane przeprowadzenie badania na 3 razy większej liczbie odwiertów niż dla odwiertów o średnicy 100 mm. Dla średnic zawierających się pomiędzy 100 a 50 mm ilość próbek określa się za pomocą interpolacji liniowej
- Zmienność mierzonej wartości wzrasta wraz ze zmniejszeniem stosunku średnicy odwiertu do maksymalnego wymiaru ziarna kruszywa
- Odwierty rdzeniowe nie powinny zawierać prętów zbrojeniowych. Jeśli nie da się tego uniknąć, należy oczekiwać, że nastąpi zniżenie mierzonej wartości. Odwierty zawierające pręty zbrojeniowe równoległe do osi odwiertu nie nadają się do oznaczania wytrzymałości betonu
- PN-EN 12504-1 [3] podpowiada (na podstawie przeprowadzonych badań na odwiertach o średnicach 25, 50 i 100 mm oraz wymiarze kruszywa 20 i 40 mm) zależności wytrzymałości próbek rdzeniowych od ich średnicy oraz od wymiaru zastosowanego kruszywa:
 - w przypadku kruszywa o wymiarze 20 mm: wytrzymałość rdzeni o średnicy 100 mm była o około 7% większa niż rdzeni o średnicy 50 mm, wytrzymałość rdzeni o średnicy 50 mm była o około 20% większa niż rdzeni o średnicy 25 mm
 - w przypadku kruszywa o wymiarze 40 mm: wytrzymałość rdzeni o średnicy 100 mm była o około 17% większa niż rdzeni o średnicy 50 mm, wytrzymałość rdzeni o średnicy 50 mm była o około 19% większa niż rdzeni o średnicy 25 mm.
- Bardzo ważny jest sposób przygotowania odwiertów do badań – wg wymogów PN-EN 12504-1 [3] należy „końce rdzeni przygotować do badania na ściskanie zgodnie z Załącznikiem A do PN-EN 12390-3 [7]”, to znaczy „powierzchnie przewidziane do obciążenia przygotować przez szlifowanie lub nałożenie warstwy wyrównującej betonu”.

4. Podsumowanie

Odnosząc się do przedstawionych przypadków „2” i „3” można stwierdzić, że jeśli uzna się, że w danym miejscu pomiarowym wytrzymałość odpowiada wymaganiom, to należy przyjąć, że populacja, z której pochodzi beton, spełnia warunki zgodności określone w normie PN-EN 206-1. Jak widać z ograniczeń podanych dla tych przypadków, decyzja o akceptacji metody oceny betonu oraz wyniku tej oceny powinna być podjęta na zasadzie porozumienia pomiędzy stronami oraz poparta doświadczeniem osoby decydującej o bezpieczeństwie konstrukcji.

Przedstawione powyżej podejście norm europejskich wdrożonych do polskiego systemu normalizacyjnego przeznaczonych do sprawdzenia rzeczywistych parametrów wytrzymałościowych betonu wbudowanego

w konstrukcję uwzględnia zasadę, że projektowanie żelbetonowych i sprężonych konstrukcji związane jest ze świadomością, że beton rozważany jest jako materiał o losowej zmienności swoich cech. Zakłada się, że zmienność ta podlega rozkładowi normalnemu. Oczywiście jest także, że różnice pomiędzy wytrzymałością betonu w konstrukcji i wytrzymałością określoną na znormalizowanych próbkach do badania są nieuniknione. Różnice te jednak w projektowaniu, oprócz innych czynników, są brane pod uwagę poprzez zastosowanie dla wytrzymałości betonu częściowego współczynnika γ_c [9,5,6].

Warto także zwrócić uwagę na fakt, że oceniając beton na podstawie przedstawionych powyżej reguł „europejskich”, akceptujemy go nawet w przypadku uzyskania pojedynczych wyników badania znacznie niższych niż ustalona dla konstrukcji wymagana wartość wytrzymałości charakterystycznej betonu f_{ck} , czyli odmiennie niż dokonalibyśmy tego, opierając się na dotychczasowych doświadczeniach krajowych. Nie oznacza to wcale, że mamy do czynienia z betonem „lepszym”, ale jest to efekt odmiennego sposobu ustalenia wartości współczynnika γ_c .

dr inż. Grzegorz Bajorek
Politechnika Rzeszowska
Centrum Technologiczne Budownictwa
przy Politechnice Rzeszowskiej
mgr inż. Marta Kiernia-Hnat
Centrum Technologiczne Budownictwa
przy Politechnice Rzeszowskiej

Literatura

- 1 PN-EN 13791 Ocena wytrzymałości betonu na ściskanie w konstrukcjach i prefabrykowanych wyrobach betonowych
- 2 PN-EN 206-1 Beton. Część 1: Wymagania, właściwości, produkcja i zgodność
- 3 PN-EN 12504-1:2011 Badania betonu w konstrukcjach. Część 1: Próbkę rdzeniowe. Po-bieranie, ocena i badanie wytrzymałości na ściskanie
- 4 PN-EN 12504-2:2002 Badania betonu w konstrukcjach. Część 2: Badania nieniszczące. Oznaczenie liczby odbicia
- 5 PN-EN 1992 Eurokod 2: Projektowanie konstrukcji z betonu
- 6 PN-EN 1994 Eurokod 4: Projektowanie konstrukcji żelbetonowych stalowo-betonowych
- 7 PN-EN 12390-3 Badania betonu. Część 2: Wytrzymałość na ściskanie próbek do badań
- 8 Bajorek G., Kiernia-Hnat M., Skrzypczak I., Normalizacja europejska w zakresie oceny wytrzymałości betonu w konstrukcji, „Inżynieria i Budownictwo” 4/2013, s. 208-212
- 9 Bajorek G., Kiernia-Hnat M., Skrzypczak I., Zasady oceny betonu w konstrukcji w odniesieniu do aktualnych wymogów normowych, VIII Sympozjum: Budownictwo ogólne – zagadnienia konstrukcyjne, materiałowe i ciepło-wilgotnościowe w budownictwie, „Materiały Budowlane” - Wydawnictwa Uczelniane Uniwersytetu Technologiczno-Przyrodniczego w Bydgoszczy, 2013, s. 107-118
- 10 Bajorek G., Kiernia-Hnat M., Ocena wytrzymałości betonu w konstrukcji według aktualnych wymogów normowych, I Konferencja Naukowo-Techniczna: Problematyka projektowania i wykonawstwa w aspekcie stosowania nowych technologii, materiałów i nowoczesnej techniki w budownictwie – Normy europejskie – teoria a praktyka, „TECH-BUD’2013”- Kraków 23-25 października 2013 r., s. 1-10