

Wpływ warunków przygotowania próbek na ocenę wodoszczelności betonu

INFLUENCE OF SAMPLE PREPARATION FOR EVALUATION OF WATERTIGHT CONCRETE

Streszczenie

W referacie przedstawiono wyniki badań związanych z oceną wodoszczelności betonu. Przedmiotem badań były przede wszystkim warunki przygotowania próbek do badań, czas i warunki dojrzewania oraz czas oddziaływania parcia wody na próbkę. Ich celem jest analiza wpływu powyższych czynników na ocenę wodoszczelności betonu w odniesieniu do procedury badawczej określonej normą PN-EN 12390-8. Z uwagi na brak jednoznaczności wymagań w tym zakresie, różna też może być interpretacja sposobu traktowania próbek przed badaniem – czy próbki mogą dojrzewać w wodzie, czy nie? Czy próbki mają być zabezpieczone powłoką ochronną na czas oddziaływania wody, czy nie? Czy czas parcia wody ma wpływ na wynik? Czy czas dojrzewania próbek ma wpływ na wynik?

Dokonywana ocena tej właściwości betonu dla zastosowań, w których jest wyspecyfikowana, może mieć istotne znaczenie dla akceptacji wbudowanego betonu w konstrukcję. Może być też istotną podstawą do rozliczenia robót lub wstrzymania płatności.

Abstract

The paper presents the results of research related to the evaluation of watertight concrete. The research was primarily the conditions for the preparation of samples for testing, time and curing conditions and the time of impact water pressure on the sample. Their aim is to analyze the impact of these factors on the evaluation of watertight concrete in relation to the test procedure specified PN-EN 12390-8. Due to the lack of ambiguity in its requirements, it can be different interpretation of the treatment of the samples prior to testing - whether the samples can mature in the water or not ?, if the samples are to

dr inż. Grzegorz Bajorek – Politechnika Rzeszowska, Centrum Technologiczne Budownictwa przy Politechnice Rzeszowskiej

mgr inż. Marta Kiernia-Hnat – Centrum Technologiczne Budownictwa przy Politechnice Rzeszowskiej

be protected by a protective coating for the duration of the impact of water? or not ?, if the time pressure of water flow is the result ?, or ripening time sample flow is the result?

An assessment of the properties of concrete for applications in which is specified, it may be important for the acceptance embedded in concrete construction. It can also be an important basis for the settlement works or withhold payment.

1. Wprowadzenie

Po wprowadzeniu do polskiej praktyki inżynierskiej norm europejskich (EN) zmienia się podejście do oceny wodoszczelności betonu. Można nawet stwierdzić, że na przestrzeni ostatnich kilkunastu lat zmniejszyło się zrozumienie tej właściwości betonu zarówno z punktu widzenia badania tej cechy, jak i z punktu widzenia wymogów stawianych szczelności konstrukcji betonowych. Sama nazwa „**wodoszczelność betonu**” w zasadzie przestaje być obecna w określeniach normowych. Ostatni raz pojawiła się w normie PN-EN 206-1:2003 [1] (Rozdz. 5.5.3 Wodoszczelność), natomiast w znowelizowanej jej wersji PN-EN 206:2014-04 [2] zastąpiono ją nazwą „**odporność na penetrację wody**”. Wynika to z wprowadzonej normy narzędziowej PN-EN 12390-8 [3], która określa metodę badania właściwości betonu nazwanej „głębokością penetracji wody pod ciśnieniem”. Nawet poprzednia polska norma dotycząca betonu PN-B-06250:1988 [4] definiowała „stopnie wodoszczelności betonu”, ale samo badanie nazwane jest w niej „badaniem przepuszczalności wody przez beton”. Dopiero cofnięcie się do stosowanych wcześniej w Polsce norm branżowych, a dokładnie do normy BN-62/6738-07 [5] dotyczącej betonu hydrotechnicznego, pozwala na zetknięcie się z definicją tej właściwości – „*wodoszczelność betonu hydrotechnicznego – jest to zdolność przeciwstawiania się przenikaniu wody przez jego masę*”.

Cofnięcie się do tych starych norm krajowych jest też o tyle ważne, że zarówno z Normy Branżowej [5], jak i z Normy Polskiej [4] wynika cel stosowania betonu wodoszczelnego – tzn. do wykonywania elementów konstrukcji narażonych na parcie wody. Określają one także klasyfikację betonu poprzez zdefiniowanie „**stopni wodoszczelności betonu**” określanych badaniem według metod opisanych w tych normach, oraz sposób doboru odpowiedniego stopnia wodoszczelności betonu do warunków oddziaływania wody na konstrukcję. Warunki oddziaływania wody na konstrukcję są z kolei określone w tych normach „**wskaznikiem ciśnienia**”, wyrażającym stosunek wysokości słupa wody do grubości przegrody.

Projektanci zajmujący się problematyką budowli hydrotechnicznych w dalszym ciągu chętnie sięgają po te wytyczne i stare, poparte doświadczeniem metody badawcze. Nie znajdują bowiem wystarczających argumentów merytorycznych w zapisach Norm Europejskich, by przenieść je wprost do reguł projektowania. Choćby sam sposób badania wodoszczelności betonu opisany w PN-EN 12390-8:2011 [3] jest inny i trudny [6] do skorelowania z dotychczasową klasyfikacją stopni wodoszczelności betonu.

Trzeba sobie zdać także sprawę, że wymóg wodoszczelności betonu nie dotyczy wyłącznie budowli hydrotechnicznych. Ważny jest ten parametr również w zbiornikach, silosach oraz w podziemnych częściach budowli sadownionych poniżej poziomu wód gruntowych (np. w stosowanych coraz częściej technologiach „białej wanny”). Tutaj projektanci też sięgają po stare wytyczne [4, 5] doboru betonu o odpowiednim stopniu wodoszczelności w odniesieniu do wskaźnika ciśnienia. Zapominają jednak często, że każda konstrukcja betonowa kurczy się w trakcie dojrzewania betonu, a pozbawiona swobody odkształceń ulega zarysowaniom lub nawet pęknięciom. W efekcie – oparcie się na założeniu zapewnienia szczelności konstrukcji wyłącznie „wodoszczelnością betonu” doprowadza do sytuacji, że jest ona rzeczywiście szczelna, ale tylko pomiędzy rysami.

Wodoszczelność betonu bywa także narzucana pewnym konstrukcjom w sposób niejako automatyczny. Przykładem mogą być tutaj konstrukcje mostowe, dla których określano wymogi na podstawie normy PN-S-10040:1999 [7], gdzie ustalono, że przepuszczalność wody badana wg PN-B 06250 [4], mierzona w stopniach wodoszczelności powinna odpowiadać co najmniej stopniowi W8. Wymóg wodoszczelności betonu podtrzymany jest

w wdrażanych obecnie Ogólnych Specyfikacjach Technicznych GDDKiA [8], w których określono wartości maksymalnej głębokości penetracji wody pod ciśnieniem wg PN-EN 12390-8 [3] w zależności od klasy ekspozycji konstrukcji. Wymogi takie stawia się także betonom nawierzchniowym. Wodoszczelność betonu w tym przypadku ma zapewnić nie szczelność konstrukcji (elementu) jako całości w sensie możliwych przecieków/wycieków, ale ma zapewnić ich szczelność na wnikanie substancji szkodliwych (nie tylko wody) w strukturę materiału konstrukcyjnego. Ma zatem chronić przed możliwą korozją strukturalną, która determinuje **trwałość** konstrukcji.

Projektowanie konstrukcji powinno (choć nie musi) odbywać się w oparciu o aktualne Polskie Normy. Jedynymi w chwili obecnej aktualnymi normami dotyczącymi projektowania są Eurokody (wszystkie „stare” Polskie Normy, sprzeczne z Eurokodami, zostały wycofane z końcem marca 2010 r.). Odnośnie szczelności konstrukcji betonowych wypowiada się w sposób szczegółowy Eurokod 2 – norma dotycząca projektowania silosów i zbiorników na cieczy PN-EN 1992-3:2008 [9]. Projektant, na podstawie przedstawionej tam klasyfikacji szczelności konstrukcji, musi przeanalizować stan zarysowania i dobrać odpowiednie środki zapobiegające ewentualnym przeciekom [10]. Nie stawia ona jednak wymagań w zakresie szczelności dla materiału, który tworzy konstrukcję pomiędzy rysami, pozostawiając to zagadnienie w **gestii projektanta**. Podejście to potwierdza treść rozdz. 5.5.3 normy PN-EN 206 [2] zatytułowanego „*Oporność na penetrację wody*” (we wcześniejszej wersji normy PN-EN 206-1 [1] – „*Wodoszczelność betonu*”). Stwierdzono w nim, że „*w przypadku oznaczania odporności próbek na penetrację wody, metoda badania oraz kryteria zgodności powinny być uzgodnione między specyfikującym (projektantem) i producentem*”. Norma dopuszcza także, że „*odporność na penetrację wody można określić pośrednio, za pomocą wartości granicznych dotyczących składu betonu*” – ale trudno zgodzić się na przyzwalanie, by tak ważna właściwość pozostawała na etapie realizacji obiektu poza kontrolą laboratoryjną.

Pozostawienie projektantowi swobody określania wymogów dla wodoszczelności betonu należy rozumieć w taki sposób, że sprawy te mogą być regulowane przez przepisy krajowe lub mogą bazować na dotychczas wypracowanej dobrej praktyce inżynierskiej – warunek jest tylko jeden zasadniczy – byleby nie były sprzeczne z Eurokodami. Po wprowadzeniu w 2003 roku w życie normy PN-EN 206-1 [1], najczęściej stosowanymi w Polsce wytycznymi dotyczącymi doboru odpowiedniego stopnia wodoszczelności betonu dla określonej konstrukcji były (i praktycznie nadal są) zapisy nieaktualnej już wtedy normy PN-B 06250 [4]. Pomimo opublikowania normy PN-EN 12390-8 [3] będącej narzędziem na poziomie europejskim, normalizującym badanie głębokości penetracji wody pod ciśnieniem nie została ona wprowadzona do powszechnego stosowania. Powodem nieużywania metody badawczej opisanej w tej normie [3] jest brak jednoznacznie określonych kryteriów zgodności – w związku z tym, wyniku uzyskanego za pomocą tej metody badawczej nie można było odnieść do żadnej wartości oczekiwanej (kryterium zgodności), a to powodowało, że była bezużyteczna.

Zarówno sposób przeprowadzenia badania (czas i warunki), jak i uzyskiwany wynik (głębokość penetracji wody w głąb próbki) są odmienne od dotychczasowych polskich doświadczeń. Brak w niej także precyzyjnych ustaleń odnośnie sposobu przygotowania próbek do badania, zabezpieczenie powierzchni szczelną powłoką, czy pozostawienie powierzchni bez powlekania. Te różnice i niejasności prowadzą do wątpliwości w interpretacji uzyskanych wyników badania, a te przecież stanowią podstawę do stwierdzenia zgodności lub niezgodności wbudowanego w konstrukcję materiału. Przedstawione

poniżej badania są próbą rozwiania tych wątpliwości, a dają jednocześnie przesłanki do doprecyzowania wymagań normowych w zakresie przygotowania próbek do badań.

2. Założenia do badań – podstawy przeprowadzenia badań

Po wprowadzeniu europejskiej metody badawczej (PN-EN 12390-8 [3]) określania wodoszczelności betonu, w naszym kraju pojawiło się wiele wątpliwości, spowodowanych przyzwyczajeniem projektantów, producentów i odbiorców betonu do starej procedury badawczej [4]. Powstało szereg artykułów, w których próbowano porównywać obie metody badań [6] i mających na celu ustalenie korelacji między obiema metodami badawczymi. Toczone wiele dyskusji na temat: czy utrzymywanie ciśnienia przez trzy doby to nie za mało? Czy niez izolowanie powierzchni bocznych próbek nie spowoduje uzyskiwania „lepszyc” wyników? Czy badanie próbek w stanie nasycenia wodą (pielęgnowanych w wodzie) ma w ogóle sens?

W związku z powyższymi wątpliwościami przygotowano pierwszą serię badawczą. Przyjęto w niej badanie betonu w wieku wcześniejszym niż założono w normie PN-EN 12390-8 [3] i poddawano go parciu wody przez różny czas. Celem było ustalenie, czy wiek betonu, czas utrzymywania ciśnienia i fakt malowania/bądź niemalowania bocznych ścian próbek żywicą ma wpływ na wartość uzyskiwanego wyniku. Czy konieczne jest czekanie, aż beton osiągnie wiek co najmniej 28 dni, czy ciśnienie trzeba utrzymywać przez trzy doby? Być może możliwe jest zakończenie badania wcześniej albo konieczne byłoby zastanowienie się nad wydłużeniem czasu jego trwania? Takie pytania stawiali sobie autorzy i badacze w tej serii badawczej.



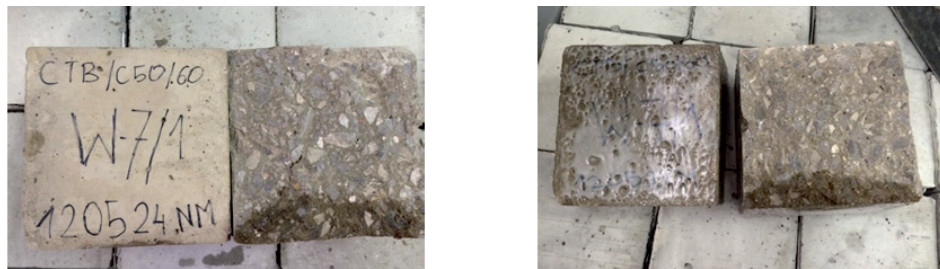
Fot. 1. Badanie głębokości penetracji wody na próbkach z powłoką i bez powłoki [12]

W tym celu badaniu poddano różne składy betonów – beton o parametrach betonu mostowego oraz beton towarowy o zdefiniowanym jedynie parametrze wodoszczelności. Badano próbki w wieku nieprzekraczającym 28 dni i poddawano je różnym czasom parcia wody. Każda z badanych serii zawierała próbki pokryte szczelną powłoką i próbki bez powłoki. Badania wykonywano na pojedynczych próbkach – tak jak to sugerują zapisy normy [3], powołując się w całej treści normy na próbkę (a nie próbki) do badań. W tym etapie badawczym przyjęto pielęgnację próbek w wilgotności powietrza > 95%. Wybór metody pielęgnacji podyktowany był pojawiającymi się wątpliwościami, czy badanie

głębokości penetracji wody na próbkach będących w stanie nasycenia wodą da właściwy obraz faktycznej wartości tego parametru.

Ze względu na wiele niejasności w zapisach normy PN-EN 12390-8 [3] pozwalających na różne interpretacje jej zapisów, a w efekcie skutkujących rozbieżnością realizacji niniejszej metody badawczej w różnych laboratoriach, postanowiono przeprowadzić serię badań porównawczych, których celem jest wykazanie wpływu poszczególnych czynności, związanych z przygotowaniem, pielęgnacją próbek i przeprowadzeniem samego badania, na wartość uzyskiwanego wyniku.

Teoretycznie po lekturze pierwszego punktu normy [3] powinno być jasne, że określono w niej „metodę oznaczania głębokości penetracji wody pod ciśnieniem w betonie, który dojrzał w wodzie”. W jednym z kolejnych punktów normy, trochę na wyrost zatytułowanym „Przygotowanie próbki do badań”, dowiadujemy się wyłącznie, że bezpośrednio po rozformowaniu próbki należy uszorstnić tę jej powierzchnię, na którą ma być przekazywane ciśnienie, za pomocą drucianej szczotki i następnie przechowywać w wodzie zgodnie z metodą opisaną w normie PN-EN 12390-2 [11], która to z kolei zakłada prowadzenie pielęgnacji w wodzie aż do badania. Norma nie wskazuje na konieczność powierzchniowego osuszenia próbki po wyjęciu z wody przed rozpoczęciem badania. Aby przekazać ciśnienie wody na próbkę należy ją umieścić w urządzeniu badawczym i przyłożyć odpowiednie, określone normą, ciśnienie wody tj. 500 ± 50 kPa przez czas 72 ± 2 godziny i w tym czasie obserwować wygląd powierzchni próbki nie poddanych działaniu ciśnienia wody pod względem obecności zawilgocenia. Jeśli założymy do aparatu mokre próbki, prowadzenie tej obserwacji w początkowej fazie badania będzie praktycznie niemożliwe. Zapisy normowe zakładają rozpoczęcie badania, gdy próbka ma co najmniej 28 dni – to kolejny przykład braku precyzji w tej normie, gdyż nie został określony ani precyzyjny wiek próbki, w którym należy rozpocząć badanie, ani graniczny wiek betonu jaki może być poddawany badaniu. Fakt ten znów daje możliwość różnego przeprowadzenia badania, co da w efekcie różne wyniki tej właściwości.



Fot. 2. Widok przelomu próbek po badaniu głębokości penetracji wody [12]

W celu wyjaśnienia powyższych wątpliwości zaproponowano drugą serię badawczą, w której (jak w poprzedniej serii) badaniu podlegał beton mostowy oraz dwa różne składy betonu zwykłego ze zdefiniowanym jedynie parametrem wodoszczelności. W tej serii badawczej próbki umieszczano w aparacie badawczym w wieku wskazanym przez normę (po 28 dniach) oraz w wieku późniejszym. Każda z badanych serii zawierała próbki z naniesioną szczelną powłoką i próbki bez tej powłoki. Po doświadczeniach z pierwszego etapu badań i wielu wątpliwościach co do wartości uzyskiwanych wyników, w tej serii badawczej wykonano po trzy próbki do każdej wersji badania, aby możliwa była identyfikacja ewentualnego wyniku odstającego.

3. Badania

3.1. Pierwsza seria badawcza

W pierwszej serii badawczej badaniu poddano dwa różne składy betonów – beton o parametrach betonu mostowego (W8, F150 i nasiąkliwości do 5%) wykonany na cemencie CEMI 42,5 oraz beton towarowy o zdefiniowanym parametrze wodoszczelności w zakresie stopnia W8, wykonany na cemencie CEM II/A-V 42,5. Badaniu poddano próbki po 7, 14, 21 i 28 dniach dojrzewania, przy utrzymaniu ciśnienia 500 kPa przez 1, 2, 3, 7, 14 i 28 dób. Serie te występowały w dwu wersjach – próbek, których powierzchnie boczne były pokrywane żywicą i nią niepokrywane. Badania wykonywano na pojedynczych próbkach (zgodnie z zapisami normy PN-EN 12390-8 [3]). Pielęgnację próbek prowadzono w komorach klimatycznych w wilgotności względnej powietrza > 95%.

Wyniki badań uzyskane w pierwszej serii badawczej przedstawiono w tabeli 1.

Tabela 1. Głębokość penetracji wody dla próbek pierwszej serii badawczej [12], [13]

| Czas parcia wody [doba] | Głębokość penetracji wody [mm] | | | |
|-------------------------|--------------------------------|------------------------|---------------------|------------------------|
| | Beton mostowy (BM) | | Beton zwykły (BZ) | |
| | Próbki malowane (M) | Próbki niemalowane (N) | Próbki malowane (M) | Próbki niemalowane (N) |
| Próbki 7-dniowe | | | | |
| 1 | 26 | 24 | 44 | 40 |
| 2 | | | 40 | 41 |
| 3 | 39 | 42 | 49 | 45 |
| 7 | | | 57 | 35 |
| 14 | | | 47 | 44 |
| 28 | 36 | 31 | 30 | 35 |
| Próbki 14-dniowe | | | | |
| 2 | 40 | 43 | | |
| 3 | 36 | 31 | 45 | 50 |
| 7 | | | 54 | 61 |
| 14 | | | 53 | 48 |
| 28 | | | 43 | 40 |
| Próbki 21-dniowe | | | | |
| 3 | 32 | 30 | 55 | 48 |
| 5 | 31 | 64 | | |
| 7 | | | 45 | 65 |
| 14 | | | 45 | 42 |
| Próbki 28-dniowe | | | | |
| 3 | 25 | 40 | 41 | 51 |
| 7 | 25 | 40 | 45 | 35 |
| 14 | | | 50 | 55 |

3.2. Druga seria badawcza

W drugiej serii badawczej badaniu podlegał beton mostowy (W8, F150 i nasiąkliwości do 5%) wykonany przy użyciu cementu CEM I 42,5 oraz dwa różne składy betonu zwykłego ze zdefiniowanym parametrem wodoszczelności w zakresie stopnia W8, wykonanymi na mieszaninie cementu CEM I 42,5R i popiołu lotnego krzemionkowego. Próbki betonowe umieszczano w aparacie badawczym w 28, 56 i 90 dniu ich dojrzewania. Połowa z badanych próbek pielęgnowana była w komorach klimatycznych w powietrzu o wilgotności względnej $> 95\%$, a druga połowa w wodzie zgodnie z wymogami PN-EN 12390-2 [11]. Na dwa dni przed rozpoczęciem badania (czyli odpowiednio w 26, 54 i 88 dniu) próbki były wyjmowane z komór klimatycznych i waniennic do pielęgnacji wodnej, w których były przechowywane i przez jedną dobę umieszczano je w warunkach laboratoryjnych (t.j. w temperaturze $20 \pm 2^\circ\text{C}$ i wilgotności względnej powyżej 50%). Po tym czasie połowa za nich malowana była żywicą epoksydową, a drugą połowę próbek pozostawiano bez powłoki. Próbki zostały poddane ciśnieniu wody zgodnie z wymaganiami normy PN-EN 12390-8 [3] i PN-88/B-06250 [4] w zakresie stopnia W8. Z powyższej serii uzyskano osiem różnych wersji badań dla każdego wieku próbek:

- badanie wg PN-EN 12390-8 [3]:
 - próbki pielęgnowane w wodzie z powłoką epoksydową na ścianach bocznych,
 - próbki pielęgnowane w wodzie bez powłoki na ścianach bocznych,
 - próbki pielęgnowane w wilgotnym powietrzu z powłoką epoksydową,
 - próbki pielęgnowane w wilgotnym powietrzu z powłoką epoksydową.
- badanie wg PN-88/B-06250 [4] w zakresie stopnia W8:
 - próbki pielęgnowane w wodzie z powłoką epoksydową na ścianach bocznych,
 - próbki pielęgnowane w wodzie bez powłoki na ścianach bocznych,
 - próbki pielęgnowane w wilgotnym powietrzu z powłoką epoksydową,
 - próbki pielęgnowane w wilgotnym powietrzu z powłoką epoksydową.

Dla każdej wersji badania w tej serii badawczej wykonano po trzy próbki, a za wynik badania przyjęto wartość średnią (po odrzuceniu ewentualnego wyniku odstającego), którą przedstawiono w tabelach 2 i 3.

Tabela 2. Głębokość penetracji wody dla próbek drugiej serii badawczej wg PN-EN 12390-8 [14], [15], [16]

| Rodzaj betonu | Głębokość penetracji wody [mm] | | | |
|------------------|-----------------------------------|------------------------|---|------------------------|
| | Próbki pielęgnowane w wodzie (PW) | | Próbki pielęgnowane w komorze klimatycznej (PP) | |
| | Próbki malowane (M) | Próbki niemalowane (N) | Próbki malowane (M) | Próbki niemalowane (N) |
| Próbki 28-dniowe | | | | |
| zwykły (BZ1) | 40 | 43 | 65 | 52 |
| mostowy (BM) | 18 | 28 | 72 | 28 |
| zwykły (BZ2) | 25 | 23 | 30 | 32 |
| Próbki 56-dniowe | | | | |
| zwykły (BZ1) | 35 | 33 | 52 | 60 |
| mostowy (BM) | 27 | 28 | 53 | 48 |

Tabela 2. Cd. Głębokość penetracji wody dla próbek drugiej serii badawczej wg PN-EN 12390-8 [14], [15], [16]

| Rodzaj betonu | Głębokość penetracji wody [mm] | | | |
|------------------|-----------------------------------|------------------------|---|------------------------|
| | Próbki pielęgnowane w wodzie (PW) | | Próbki pielęgnowane w komorze klimatycznej (PP) | |
| | Próbki malowane (M) | Próbki niemalowane (N) | Próbki malowane (M) | Próbki niemalowane (N) |
| zwykły (BZ2) | 25 | 20 | 23 | 33 |
| Próbki 90-dniowe | | | | |
| zwykły (BZ1) | 30 | 25 | 53 | 43 |
| mostowy (BM) | 20 | 20 | 57 | 48 |
| zwykły (BZ2) | 12 | 22 | 20 | 28 |

Tabela 3. Głębokość penetracji wody dla próbek drugiej serii badawczej wg PN-88/B-06250 w zakresie stopnia W8 [14], [15], [16]

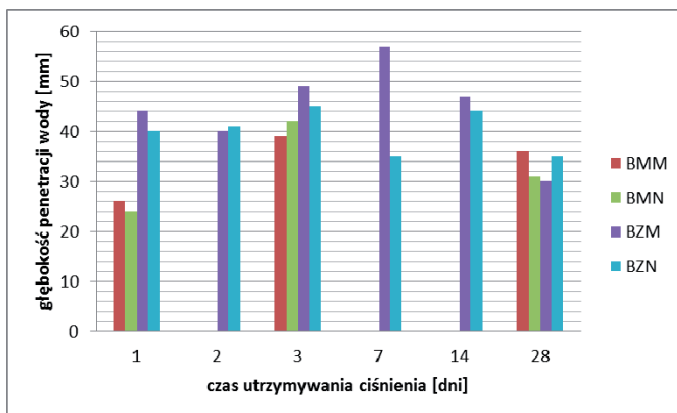
| Rodzaj betonu | Głębokość penetracji wody [mm] | | | |
|------------------|-----------------------------------|------------------------|---|------------------------|
| | Próbki pielęgnowane w wodzie (PW) | | Próbki pielęgnowane w komorze klimatycznej (PP) | |
| | Próbki malowane (M) | Próbki niemalowane (N) | Próbki malowane (M) | Próbki niemalowane (N) |
| Próbki 28-dniowe | | | | |
| zwykły (BZ1) | 25 | 38 | 58 | 53 |
| mostowy (BM) | 28 | 25 | 65 | 40 |
| zwykły (BZ2) | 20 | 48 | 42 | 38 |
| Próbki 56-dniowe | | | | |
| zwykły (BZ1) | 40 | 30 | 63 | 50 |
| mostowy (BM) | 20 | 30 | 68 | 60 |
| zwykły (BZ2) | 15 | 18 | 25 | 25 |
| Próbki 90-dniowe | | | | |
| zwykły (BZ1) | 20 | 25 | 38 | 58 |
| mostowy (BM) | 15 | 10 | 35 | 48 |
| zwykły (BZ2) | 13 | 10 | 15 | 23 |

4. Analiza wyników

4.1. Analiza dla wyników pierwszej serii badawczej

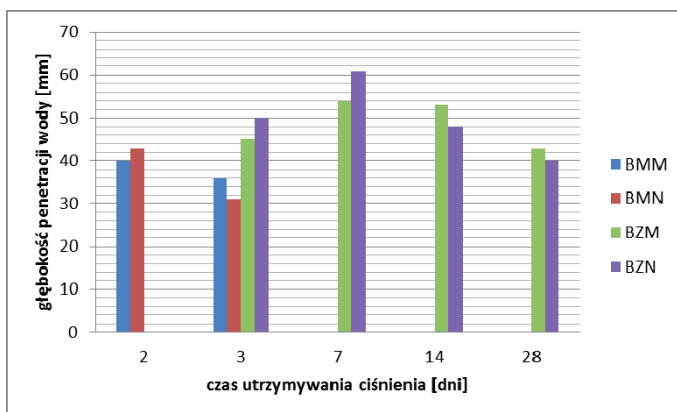
Dla betonu, który poddano parciu wody już w 7 dobie od jego zaformowania przyjęto największe zróżnicowanie czasu parcia wody na próbkę. Jako najmniejszy czas przyjęto jedną dobę, kolejne próbki poddawano odpowiednio ciśnieniu przez 2, 3, 7, 14 i 28 dób.

Analizując wyniki badania betonu mostowego (BM) dla próbek w tym wieku można zaobserwować największą głębokość penetracji wody na próbkach, dla których ciśnienie utrzymywano przez 3 doby. Dotyczy zarówno próbek malowanych (BMM) i tych bez powłoki (BMN). Próbując ustalić jednak pewien trend, można oczekiwać maksymalnej wartości wniknięcia wody pomiędzy 5 a 7 dniem parcia wody na próbkę (patrz rysunek 1). Tendencja ta jest widoczna także dla betonu zwykłego (BZ) i jest niezależna od tego, czy próbki przed badaniem zostały pomalowane żywicą, czy pozostawiono je bez powłoki.



Rys. 1. Głębokość penetracji wody dla betonu 7-dniowego

Na podstawie wyników uzyskanych na próbkach 7-dniowych można stwierdzić, że nie ma uzasadnienia utrzymywania ciśnienia dłużej niż 7 dni, gdyż po tym czasie obserwuje się wyraźny trend spadkowy głębokości penetracji wody w próbkach. Związane jest to prawdopodobnie z uszczelnianiem się struktury betonu będącej efektem trwającego jego dojrzewania.

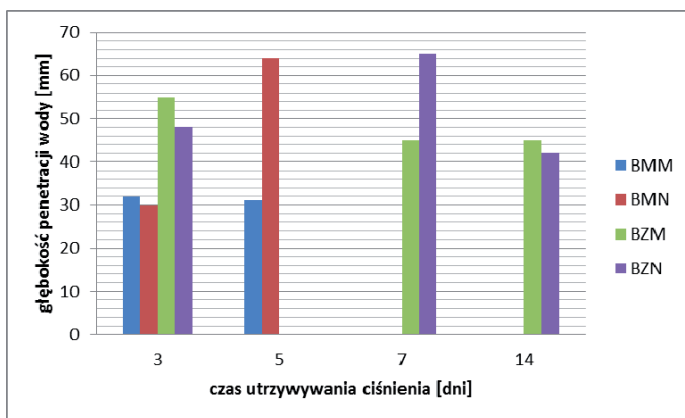


Rys. 2. Głębokość penetracji wody dla betonu 14-dniowego

Analizując wyniki próbek wykonanych z betonu zwykłego, poddanych badaniu w 14 dniu ich dojrzewania (rys. 2) można zaobserwować podobny trend jak w przypadku próbek 7-dniowych, tzn. uzyskiwanie maksymalnej głębokości penetracji ok. 7 dnia, niezależnie od

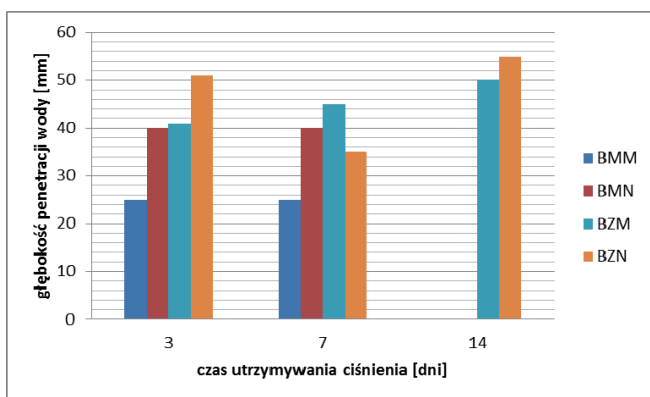
tego, czy ściany boczne próbek pokryte zostały powłoką epoksydową czy też nie. Próbki zaformowane z betonu mostowego badane były tylko przez 1 i 3 doby. Zastanawiająca jest większa głębokość penetracji wody w tych próbkach przy jednej dobie utrzymywania ciśnienia niż w próbkach, dla których parcie wody utrzymywano przez trzy doby.

Badania wykonywane na próbkach dojrzewających 21 dni także potwierdzają wcześniej zaobserwowany trend, wskazujący, że największe głębokości penetracji wody osiąga się gdy ciśnienie utrzymywane jest około 7 dni, ale przedłużanie czasu parcia wody na próbki powyżej tego czasu nie ma wpływu na głębokość penetracji wody.



Rys. 3. Głębokość penetracji wody dla betonu 21-dniowego

Zupełnie inaczej przedstawia się trend w przypadku badania próbek 28-dniowych (rys. 4). W tym przypadku głębokość penetracji wody pod ciśnieniem już po 3 dobach osiąga wartość maksymalną, a dalsze utrzymywanie ciśnienia nie ma znaczącego wpływu na uzyskiwaną wartość (obserwowane różnice są w granicach niepewności pomiaru wartości mierzonych). Przyjęte więc w normie utrzymywanie ciśnienia przez trzy doby jest optymalnym czasem badania i nie ma podstaw merytorycznych, ani tym bardziej ekonomicznych, do jego wydłużania.

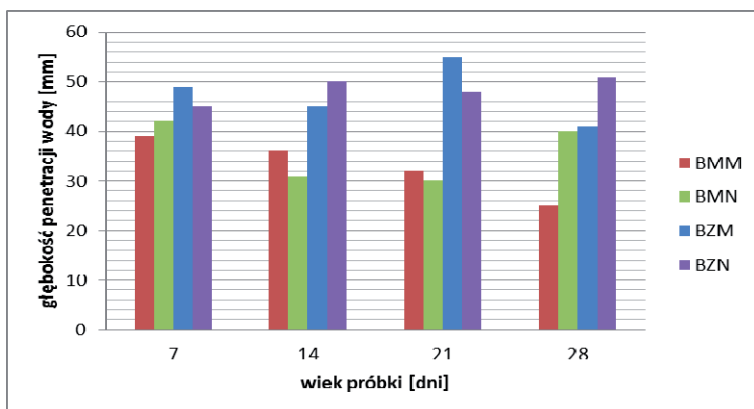


Rys. 4. Głębokość penetracji wody dla betonu 28-dniowego

A jaki wpływ na końcowy wynik ma izolowanie powierzchni bocznych próbek? W większości przypadków, na próbkach których ściany pokryto powłoką, zaobserwować można większą głębokość wniknięcia wody w próbkę, co pozwalałoby sformułować wniosek, że na próbkach malowanych uzyskujemy większą głębokość penetracji wody. Jednak zbyt wiele wyników z dokładnie przeciwną tendencją nie pozwala na przyjęcie tego uogólnienia, więc można przyjąć, że izolowanie bądź nieizolowanie powierzchni bocznych badanych próbek, nie ma jednoznacznego wpływu na uzyskiwany końcowy wynik.

Z zapisów normy [3] wynika, że badaniom należy poddać beton po 28 dniach jego dojrzewania, ale może wcześniej możliwe jest wnioskowanie o maksymalnej głębokości penetracji wody? Najniższe wartości uzyskiwane są na próbkach badanych po 28 dniach ich dojrzewania (rys. 5), jednak wartości uzyskiwane na próbkach badanych po 21 dniach są tylko nieznacznie wyższe i mogą być wykorzystywane jako prognozowanie głębokości penetracji wody po 28 dniach.

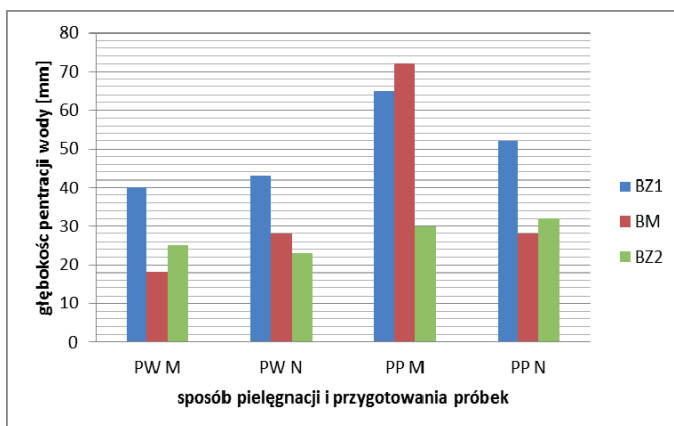
Czy możliwe jest zakończenie badań wcześniej niż po 72 godzinach parcia wody? Ten czynnik sprawdzono tylko w seriach badawczych dla 7- i 14 dniowych próbek, uzyskując wyniki najwyższe po 3 dobach parcia wody, jednak przy tak niewielkiej populacji wyników trudno formułować jednoznaczne wnioski co do ewentualnej niemożliwości zakończenia badania wcześniej niż po 3 dobach.



Rys. 5. Głębokość penetracji wody po 72 h parcia wody dla różnego wielu próbek

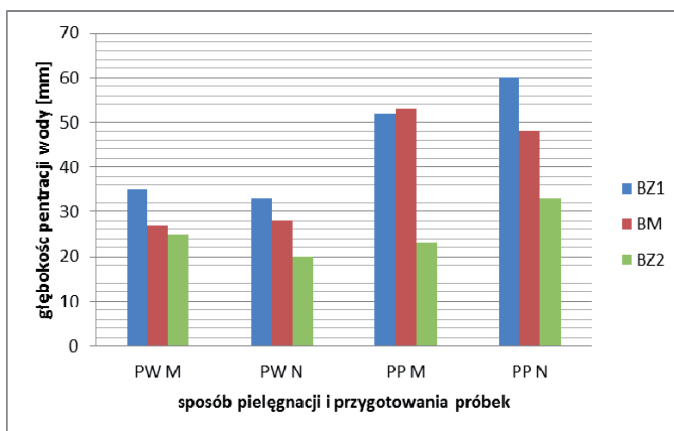
4.2. Analiza wyników drugiej serii badawczej

W drugiej serii badawczej badano próbki betonu po 28 dniach jego dojrzewania poddane różnym metodom pielęgnacji i zabezpieczone powłoką oraz bez powłoki. Próbki, które poddano badaniu w 28 dojrzewania wykazują jednoznaczny trend (rys. 6) wskazujący, że większe wartości głębokości penetracji wody uzyskiwane są na próbkach pielęgnowanych w komorach klimatycznych w wilgotności powietrza > 95%. Dla betonu zwykłego, badanego na próbkach bez szczelnej powłoki, głębokość penetracji wody na próbkach pielęgnowanych w warunkach wilgotnego powietrza osiąga nawet do 40% wyższe wartości od wartości uzyskiwanej na próbkach pielęgnowanych w wodzie.



Rys. 6. Głębokość penetracji wody dla betonu 28-dniowego

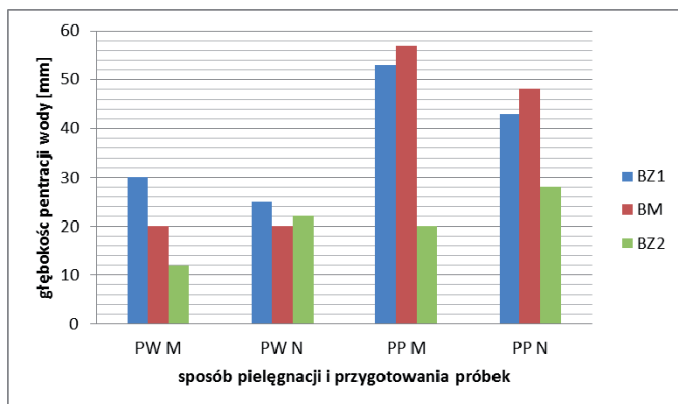
W przypadku próbek, na które naniesiono szczelną powłokę na ścianach bocznych trend ten jest jeszcze wyraźniejszy. W przypadku betonu zwykłego głębokość penetracji wody na próbkach pielęgnowanych w warunkach wilgotnego powietrza jest większa się o około 60%, a w przypadku betonu mostowego osiąga aż trzykrotną wartość wielkości uzyskiwanej na próbkach pielęgnowanych w wodzie. Zwrócić należy także uwagę na większą jednorodność wyników (porównywalne wartości głębokości penetracji wody na próbkach malowanych i niemalowanych) próbek pielęgnowanych w wodzie. Wpływ naniesienia powłoki szczelnej na próbkę na wartość uzyskiwanego wyniku trudno oszacować, gdyż wartości uzyskiwane zarówno w przypadku próbek pielęgnowanych w wodzie, jak i tych pielęgnowanych w wilgotnym powietrzu nie wykazują jednoznacznej tendencji.



Rys. 7. Głębokość penetracji wody dla betonu 56-dniowego

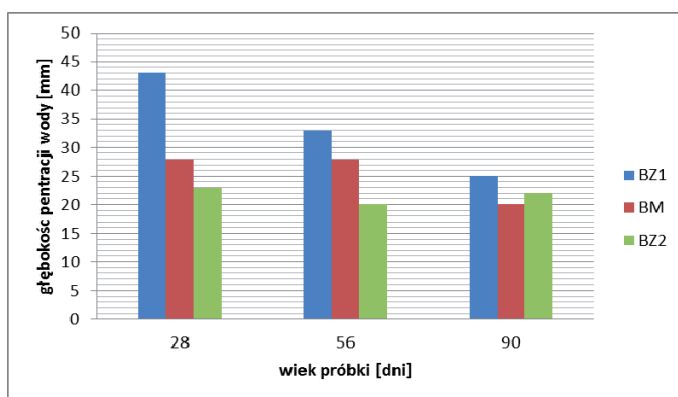
Wartości uzyskiwane na próbkach badanych po 56 dniach dojrzewania potwierdzają trend zaobserwowany przy badaniu próbek 28-dniowych (rys. 7), czyli dużo większe wartości głębokości penetracji wody uzyskiwane na próbkach pielęgnowanych w wilgotnym powietrzu. Wartości uzyskiwane na próbkach pielęgnowanych w wilgotnym powietrzu,

na powierzchni których nie zastosowano szczelnej powłoki, są co najmniej o 65% wyższe od tych jakie są uzyskiwane na próbkach pielęgnowanych w wodzie. Potwierdza się także większa jednorodność wyników próbek pielęgnowanych w wodzie. Zarysowuje się także trend wskazujący, że niższe wartości głębokości penetracji wody uzyskiwane są na próbkach, na których nie naniesiono szczelnej powłoki – ale jest on widoczny wyłącznie na próbkach pielęgnowanych w wodzie.



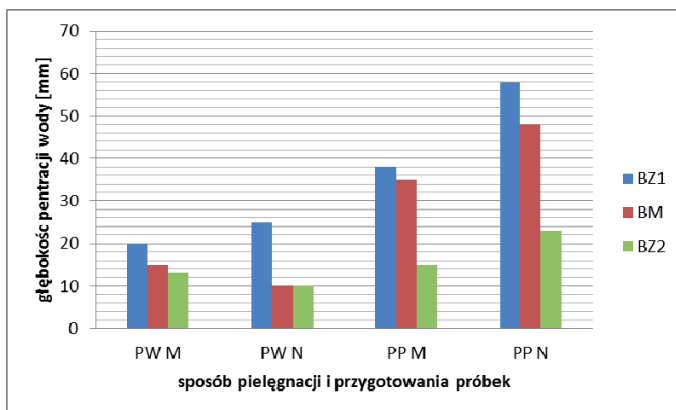
Rys. 8. Głębokość penetracji wody dla betonu 90-dniowego

W przypadku próbek badanych po 90 dniu dojrzewania wartości uzyskiwanych wyników (rys. 8) potwierdzają trend widoczny przy badaniu próbek 28- i 56-dniowych – większe wartości uzyskiwane są na próbkach pielęgnowanych w wilgotnym powietrzu. Dla betonu mostowego różnica ta, to co najmniej 1,5-krotność wartości uzyskiwanych na próbkach pielęgnowanych w wodzie. Widać także tendencję do uzyskiwania wyższych wartości wyników na próbkach z naniesioną szczelną powłoką i większą jednorodność wyników uzyskiwanych na próbkach pielęgnowanych w wodzie.



Rys. 9. Głębokość penetracji wody dla próbek bez powłoki, pielęgnowanych w wodzie dla różnego wieku badania

Wraz z wiekiem badanych próbek zmniejsza się głębokość penetracji wody. Tendencja ta jest widoczna niezależnie od przyjętego sposobu pielęgnacji próbek i wynika z doszczelniania się struktury betonu wraz z upływem czasu. Proces ten przebiega pod warunkiem, że nie zostanie zaprzestana pielęgnacja betonu. W przypadku próbek pielęgnowanych w wodzie, na które nie naniesiono powłoki, głębokość penetracji wody badana na próbkach 90-dniowych zmniejszyła się o ok. 40% (18 mm) w stosunku do tego samego betonu badanego po 28 dniach. Zmniejszenie głębokości penetracji wody miało miejsce także w przypadku betonu mostowego, wykonanego na cemencie CEM I 42,5 R, gdzie głębokość penetracji wody zmniejszyła się o ok. 28% (8 mm).



Rys. 10. Głębokość penetracji wody dla betonu 90-dniowego badanego wg PN-88/B-06250

Wyraźny trend związany z mniejszą głębokością penetracji wody betonu badanego na próbkach dojrzewających w wodzie widoczny jest także przy badaniach prowadzonych według metody zgodnej z normą PN-88/B-06250, z dodatkowym rozłupaniem próbek w celu sprawdzenia głębokości penetracji wody (rys. 10). Ponadto wartości uzyskiwane na próbkach pielęgnowanych w wodzie, z naniesioną powłoką i badanych według metody PN-88/B-06250 w zakresie stopnia W8 i według metody PN-EN 12390-8 dają porównywalne wyniki, różniące się jedynie o wartości mieszczące się w granicach niepewności pomiaru.

Zwrócić należy uwagę na fakt, że w przypadku próbek pielęgnowanych w wilgotnym powietrzu, dużym problemem mogłoby być spełnienie wymagania głębokości penetracji wody do 50 mm, podczas, gdy wyniki uzyskiwane na próbkach pielęgnowanych w wodzie pozwalają spełnić to wymaganie z dużym zapasem.

5. Podsumowanie

Celem niniejszego programu badawczego było sprawdzenie prawidłowości założeń metody badawczej opisanej w normie PN-EN 12390-8 [3], sprawdzenie czynników niesprecyzowanych lub niejednoznacznie określonych w normie i ustalenie ich wpływu na wartość ostateczną wyniku badania.

Na podstawie przeprowadzonych badań sformułowano następujące wnioski:

- a) przyjęty w metodzie badawczej czas utrzymywania ciśnienia 500 kPa jest czasem optymalnym dla próbek, które osiągnęły wiek 28 dni i przy takim czasie parcia wody daje maksymalne głębokości penetracji wody; utrzymywanie parcia wody przez dłuższy czas jest nieuzasadnione z merytorycznego i ekonomicznego punktu widzenia; w przypadku badania próbek dojrzewających krócej niż 28 dni czas utrzymywania ciśnienia powinien być wydłużany do przynajmniej 5 dób,
- b) niniejsza metoda badawcza nie powinna być stosowana przy badaniu próbek pielęgnowanych w warunkach wilgotnego powietrza, gdyż uzyskiwane wówczas wyniki są znacząco zawyżone; w związku z powyższym w laboratoriach należy zwrócić szczególną uwagę na właściwą pielęgnację próbek do niniejszego badania, aby nie zawyżać uzyskiwanego wyniku,
- c) badanie powinno być przeprowadzane na co najmniej 3 próbkach, aby możliwe było zidentyfikowanie i odrzucenie ewentualnego wyniku odstającego (badanie zgodnie z normą na pojedynczej próbce nie daje takich możliwości i może doprowadzić do ewentualnej dyskwalifikacji partii betonu, która spełnia wymagania),
- d) badanie wykonywane na próbkach pielęgnowanych w wodzie bez zastosowania szczelnej powłoki daje niższe wartości niż na próbkach, w których powłokę zastosowano; w związku z tym należy zwrócić uwagę na warunki w jakich prowadzone jest badanie, aby dodatkowo nie przesuszać próbek badanych bez powłoki (norma nie podaje w jakich warunkach temperaturowych i wilgotnościowych należy przeprowadzać badanie – zalecane jest przeprowadzenie badania w warunkach laboratoryjnych, tzn. w temperaturze ok. 20°C i wilgotności powyżej 50%),
- e) wraz z wiekiem próbek zmniejsza się głębokość penetracji wody wewnątrz próbki, co oznacza, że w przypadku niespełnienia tego parametru w określonym czasie możliwe jest, że zostanie on spełniony w terminie późniejszym (nawet gdy jako spoiwo zastosowano cement portlandzki jednoskładnikowy).

Z powyższego jawią się pewne przesłanki by w normie PN-EN 12390-8 [3] precyzyjniej ustalić jednoznaczne warunki przygotowania i prowadzenia badania głębokości penetracji wody. Przede wszystkim należy ustalić, że badanie wykonuje się na **3 próbkach**, a wynikiem badania jest wartość **maksymalnej głębokości** wniknięcia wody, po odrzuceniu zdefiniowanego wyniku odstającego. Mają one do rozpoczęcia badania dojrzewać **28 dni**, a dla cementów portlandzkich wieloskładnikowych (CEM II) czy hutniczych (CEM III) przez czas równoważny odpowiednio **56** lub **90 dni**. Próbki w trakcie badania mają pozostać **bez jakiegokolwiek powłoki zewnętrznej**, a samo badanie ma być prowadzone w **warunkach laboratoryjnych** przy temperaturze $20\pm 2^{\circ}\text{C}$ oraz wilgotności powietrza większej od 50%. Konieczne jest również uszczegółowienie **czynności bezpośrednio poprzedzających rozpoczęcie badania** – to znaczy czas i warunki przetrzymywania próbek od momentu wyjęcia ich z wody do momentu umieszczenia w aparacie do badań.

Literatura

- [1] PN-EN 206-1:2003 Beton. Część 1: Wymagania, właściwości, produkcja i zgodność
- [2] PN-EN 206:2014-04 Beton. Wymagania, właściwości, produkcja i zgodność
- [3] PN-EN 12390-8:2011 Badania betonu. Część 8: Głębokość penetracji wody pod ciśnieniem
- [4] PN-B-06250:1988 Beton zwykły
- [5] BN-62/6738-07 Beton hydrotechniczny. Wymagania techniczne
- [6] Kledyński Z., Kon E., Ocena wodoszczelności betonu studium porównawcze norm polskich i euro-

- pejskich,, Cement Wapno Beton 4/2005, s.215–227
- [7] PN-S 10040:1999 Obiekty mostowe. Konstrukcje betonowe, żelbetowe i sprężone. Wymagania i badania
 - [8] Ogólne Specyfikacje Techniczne OST M-13.01.00 Beton konstrukcyjny w drogowym obiekcie inżynierskim. Generalna Dyrekcja Dróg Krajowych i Autostrad 2014.
 - [9] PN-EN 1992-3:2008 Eurokod 2. Projektowanie konstrukcji z betonu. Część 3: Silosy i zbiorniki na ciecz
 - [10] Bajorek G., Kiernia-Hnat M., Świerczyński W., Po co beton ma być wodoszczelny?, *Budownictwo Technologie Architektura* 1/2015, s. 76–78
 - [11] PN-EN 12390-2:2011 Badania betonu. Część 2: Wykonywanie i pielęgnacja próbek do badań wytrzymałościowych
 - [12] Hendzel A., Wpływ czasu parcia wody na głębokość penetracji w badaniu wodoszczelności betonu wysokiej klasy. Politechnika Rzeszowska, Praca dyplomowa inżynierska – Promotor: Bajorek G., Rzeszów 2016
 - [13] Bachowska M., Wpływ czasu parcia wody na głębokość penetracji w badaniu wodoszczelności betonu przeciętnej klasy. Politechnika Rzeszowska, Praca dyplomowa inżynierska – Promotor: Bajorek G., Rzeszów 2016
 - [14] Czyżowicz E., Wpływ warunków badania na wodoszczelność betonu. Politechnika Rzeszowska, Praca dyplomowa inżynierska - Promotor: Bajorek G., Rzeszów 2014
 - [15] Gwizdak M., Badanie wodoszczelności betonu – porównanie metod badawczych. Politechnika Rzeszowska, Praca dyplomowa inżynierska – Promotor: Bajorek G., Rzeszów 2015
 - [16] Szczepański K., Porównanie metod badawczych wodoszczelności betonu. Politechnika Rzeszowska, Praca dyplomowa magisterska – Promotor: Bajorek G., Rzeszów 2015