

Po co beton ma być wodoszczelny?

Wprowadzanie do praktyki budowlanej norm europejskich (EN) na przestrzeni ostatnich kilkunastu lat spowodowało zmniejszenie zrozumienia **wodoszczelności** betonu, zarówno z punktu widzenia badania tej właściwości betonu jako materiału konstrukcyjnego, 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 wprowadzenia w międzyczasie, w roku 2011, normy narzędziowej PN-EN 12390-8:2011 [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. 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 sadowionych 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 często jednak, 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” kończy się smutnym stwierdzeniem, 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-S10040:1999 [7], gdzie ustalono, że przepuszczalność wody badana wg PN-B 06250 [4], mierzona w stopniach wodoszczelności, powinna odpowiadać co najmniej W8. Wymóg wodoszczelności betonu podtrzymany jest we 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.

Celem bliższego przedstawienia zapisów normatywnych dotyczących tej jednak **specjalnej** właściwości betonu, jest potrzeba bardziej rozsądnego dobierania konkretnych parametrów betonu w odniesieniu do wymogów stawianych całej konstrukcji – w zakresie zarówno jej funkcji, jak i trwałości.

Wymóg wodoszczelności konstrukcji

Projektowanie konstrukcji powinno (choć nie musi) odbywać się w oparciu o aktualne Polskie Normy. Jedynymi w chwili obecnej aktualnymi normami



foto: Michał Braszczyński

dotyczącymi projektowania są Eurokody (wszystkie „stare” Polskie Normy, sprzeczne z Eurokodami, zostały wycofane z końcem marca 2010 r.).

Odnosnie szczelności konstrukcji betonowych wypowiada się w sposób szczegółowy Eurokod 2 – norma dotycząca projektowania silosów i zbiorników na cieczy PN-EN 1992-3:2008 [8]. Jej tytuł sugeruje dość wąski zakres stosowania do elementów silosów i zbiorników, ale w rozdziale dotyczącym zakresu stosowania normy wyraźnie określono, że „rozdziały dotyczące projektowania na szczelność mogą być także odpowiednie dla innych typów konstrukcji, od których wymaga się szczelności”. W zależności od możliwego do zaakceptowania stopnia zabezpieczenia przeciwko przeciekom ustala ona czterostopniową klasyfikację szczelności konstrukcji (tablica 1).

Przedstawione dla klasy szczelności konstrukcji 1 ograniczenie dotyczące maksymalnej wartości zarysowań w_{kl} uzależnione jest od „ilorazu parcia hydrostatycznego na ścianę zbiornika h_p [m] i grubości ściany zbiornika h [m]” (w normie PN-B 06250 [1] iloraz ten nazwany jest wskaźnikiem ciśnienia). Podane w normie wartości w_{kl} – „powinny prowadzić do efektywnego samuszczelnienia rys w względnie krótkim czasie”. Zestawiono je w tablicy 2.

Wytyczne projektowania zawarte w Eurokodach odnośnie zapewnienia szczelności konstrukcji w zasadzie ograniczają się do zapisów przedstawionych powyżej, czyli analizują stan zarysowania konstrukcji. Jeśli nastąpi możliwość wystąpienia rys (rozszczerzenie konstrukcji), to zaleca się zastosowanie specjalnych rozwiązań doszczelniających (np. okładziny, taśmy uszczelniające, sprężenie konstrukcji). Nie stawiają natomiast 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 „Odporność 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”.

Wytyczne doboru wodoszczelności betonu

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.

Stąd w Polsce najczęściej stosowanymi wytycznymi doboru odpowiedniego stopnia wodoszczelności betonu dla określonej konstrukcji są zapisy nieaktualnej normy PN-B 06250 [1]. Ustala się ją w zależności od wskaźnika ciśnienia obrazującego intensywność oddziaływania warunków wodnych na elementy konstrukcji (tablica 3). Wskaźnik ciśnienia oblicza się jako stosunek wysokości słupa wody [m] do grubości przegrody [m]. Kwalifikację

Tablica 1. Klasyfikacja szczelności konstrukcji wg PN-EN 1992-3:2008 [9]

Klasa szczelności	Wymagania w stosunku do przecieków	Wymagania dotyczące ograniczenia stanu zarysowania lub zabezpieczenia konstrukcji
0	Dopuszcza się pewien stopień przecieków lub przecieki cieczy nie mają znaczenia	Przyjmuje się wymagania maksymalnego rozwarcia rys w_{max} według PN-EN 1992-1-1:1988 [10]: – dla klas ekspozycji X0, XC1 – 0,4 mm, – dla klas ekspozycji XC2, XC3, XC4, XD1, XD2, XS1, XS2, XS3 – 0,3 mm
1	Przecieki ogranicza się do pewnej niewielkiej ilości. Powierzchniowe przemakanie lub miejsca zawilgocenia są dopuszczalne	Ograniczenie zarysowań do wartości w_{kl} (tablica 2)
2	Przecieki powinny być minimalne. Przemakanie nie powinno pogarszać wyglądu powierzchni	Należy eliminować możliwość powstania rys, chyba że zostaną zastosowane specjalne rozwiązania (np. okładziny lub taśmy uszczelniające) ^{a/b}
3	Przecieki są niedopuszczalne	Wymaga się zastosowania specjalnych rozwiązań (np. okładzin lub sprężenia) ^{a/b}

^{a/} w celu zapobiegnięcia zarysowaniu od odkształceń wywołanych skurczem i zmianami temperatury, w klasie szczelności konstrukcji 2 i 3 należy zapewnić, że cały przekrój betonu pozostaje ściskany, co można osiągnąć poprzez:
– ograniczenie wzrostu temperatury spowodowanej hydratacją cementu
– zlikwidowanie lub ograniczenie oporów
– redukcję skurczu betonu
– zastosowanie sprężenia

^{b/} w celu zabezpieczenia konstrukcji w klasie szczelności 2 i 3 tak, aby rysy nie przecinały całej wysokości przekroju, należy ograniczyć obliczeniowy zasięg strefy ściskanej do wartości x_{min} , która ma być nie mniejsza niż 50 mm lub 0,2h (gdzie h oznacza wysokość przekroju elementu)

betonu do danego stopnia wodoszczelności przeprowadza się natomiast na podstawie badań laboratoryjnych. Wykonywane są na próbkach normowych przygotowanych z mieszanki betonowej bądź na próbkach przygotowanych z odwiertów rdzeniowych z gotowej konstrukcji. Samo badanie polega na ciśnieniowym oddziaływaniu wody na ściankę próbki. Ciśnienie zmieniane jest co 24 godziny o wartość 0,2 MPa, a stopień wodoszczelności wyrażony jest dziesięciokrotną wartością maksymalnego ciśnienia. Dany stopień wodoszczelności jest osiągnięty, gdy w co najmniej czterech próbkach z sześciu badanych nie nastąpi przeciek przez całą grubość próbek.

Procedura powyższa wywodzi się z norm branżowych dotyczących betonu hydrotechnicznego [5], ale nie należy jej z nimi utożsamiać. Zasada doboru stopnia wodoszczelności na podstawie tak samo określonego „wskaźnika ciśnienia” jest taka sama. Oznaczenie stopni wodoszczelności (W2, W4, W6 i W8) też jest takie samo – ale..., to nie są te same stopnie wodoszczelności! Badanie przebiega w innych warunkach (ciśnienie jest zmieniane o 0,1 MPa co każde 8 godzin), więc wynik badania jest inny.

W 2011 wprowadzono normę europejską PN-EN 12390-8 [3] opisującą metodę badania głębokości penetracji wody pod ciśnieniem. Jest ona odmienna od przedstawionej powyżej, powszechnej do tej pory w Polsce metody wyznaczania stopnia wodoszczelności W2-W10. Polega ona na oddziaływaniu na próbkę betonową wody pod stałym ciśnieniem 0,5 MPa przez okres 72 godzin. Miarą odporności betonu na penetrację wody jest głębokość jej wnikięcia w strukturę próbki. Oczywiście jest, że istnieją powiązania tej miary penetracji z wytycznymi stawiającymi wymogi dla betonu w zakresie wodoszczelności w odpowiednich konstrukcjach. Norma ta [3] jest efektem przede wszystkim doświadczeń niemieckich, stąd wytyczne takie najczytelniej zostały opracowane

Tablica 2. Ograniczenie szerokości rys $w_{k,i}$ w klasie szczelności konstrukcji 1

Wskaźnik ciśnienia h_p/h [-]	≤5	10	15	20	25	30	≥35
Maksymalna szerokość rys $w_{k,i}$ [mm]	0,20	0,175	0,15	0,125	0,10	0,075	0,05

Tablica 3. Dobór stopnia wodoszczelności betonu według PN-B 06250 [4]

Wskaźnik ciśnienia	Stopień wodoszczelności betonu przy jednostronnym parciu wody	
	stałym	okresowym
0,5 ÷ 5	W2	W2
6 ÷ 10	W4	W2
11 ÷ 15	W6	W4
16 ÷ 20	W8	W6
21 ÷ 40	W10	W8
> 40	W12	W10

i wdrożone w niemieckiej praktyce inżynierskiej. Wymagają one, aby w konstrukcjach betonowych głębokość penetracji wody, określana jako średnia wartość dla trzech próbek, nie była większa niż 50 mm [12]. Dla konstrukcji wodoszczelnych i betonów zdefiniowanych jako wodoszczelne wartość ta nie powinna przekraczać 30 mm [12], [13]. Odporność betonu na penetrację wody badana według normy PN-EN 12390-8 [3] jest wykorzystywana w celu zapewnienia trwałości konstrukcji. Na przykład, Ogólne Specyfikacje Techniczne GDDKiA [8] dotyczące betonu konstrukcyjnego w drogowych obiektach inżynierskich wymagają dla betonu narażonego na oddziaływanie środowiska chemicznie agresywnego, aby głębokość penetracji wody nie była większa niż:

- 60 mm w klasie ekspozycji XA1,
- 50 mm w klasie ekspozycji XA2,
- 40 mm w klasie ekspozycji XA3.

Z kolei dla betonu narażonego na korozję spowodowaną chlorkami w klasach ekspozycji XD3 i XS3 wymaga się, aby głębokość penetracji wody nie była większa niż 40 mm.

Tę samą metodę [3] w celu określenia odporności betonu na wnikanie benzyny, oleju i innych chemicznych substancji wykorzystuje norma PN-EN 13877-2:2007 [11] dotycząca nawierzchni betonowych. W badaniu stosuje się wodę jako środek przenikający, a wymaga się, aby głębokość pene-

tracji wody nie była większa niż 30 mm. Norma wyjaśnia przy tym, że w „badaniach porównawczych dowiedziono, iż nie istnieje różnica w wynikach, gdy do badania jako środka przenikającego użyje się wody zamiast paliwa”.

Podsumowanie

Tendencje w projektowaniu zmierzają, choć ciążę małymi krokami, w kierunku coraz szerszego stosowania Eurokodów i związanych z nimi Norm Europejskich. Skoro tak, to coraz rzadziej będzie się sięgać do lokalnych, krajowych doświadczeń, chyba że przewidują to Załączniki Krajowe.

Zagadnienia obejmujące problematykę wodoszczelności betonu zostały w pewnym sensie unormowane na poziomie europejskim, bo jest norma narzędziowa EN 12390-8 [3] przedstawiająca metodę badania tej właściwości betonu. To ona prawdopodobnie stanie się źródłem ostatecznej integracji europejskiego środowiska projektanckiego w ujednotoleniu wymagań stawianych betonom pracującym w tych specjalnych warunkach. Norma PN-EN 206 [2] wprawdzie ustala, że odporność na penetrację wody można, oprócz zbadania ustaloną ze specyfikującym metodą, określić także pośrednio, za pomocą wartości granicznych dotyczących składu betonu – ale trudno zgodzić się na przyzwolenie, by tak ważna właściwość pozostawała na etapie realizacji obiektu poza kontrolą laboratoryjną. Pozostaje tylko oczekiwać, że sformułowane i rozpowszechnione zostaną wytyczne w zakresie zasad doboru betonu o odporności na penetrację wody wyrażonej głębokością penetracji określonej wg PN-EN 12390-8 w odniesieniu do konkretnych oddziaływań ciśnieniowych w przypadku betonów hydrotechnicznych, w zbiornikach, silosach, fundamentach w technologii „białej wanny” itp.

dr inż. Grzegorz Bajorek
Politechnika Rzeszowska
Centrum Technologiczne Budownictwa
przy Politechnice Rzeszowskiej
mgr inż. Marta Kiernia-Hnat
Centrum Technologiczne Budownictwa
przy Politechnice Rzeszowskiej
mgr inż. Wojciech ŚWIERCZYŃSKI
konsultant firmy Sika Poland

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 Kłedyński Z., Kon E., Ocena wodoszczelności betonu, studium porównawcze norm polskich i europejskich, „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 ciecze
- 10 PN-EN 1992-1-1:2008 Eurokod 2. Projektowanie konstrukcji z betonu. Część 1-1: Reguły ogólne i reguły dla budynków
- 11 PN-EN 13877-2:2007 Nawierzchnie betonowe. Część 2: Wymagania funkcjonalne dla nawierzchni betonowych
- 12 Wasserundurchlässige Betonbauwerke, Zement-Merkblatt Hochbau, Nr. H10 3.2012
- 13 Zusätzliche Technische Vertragsbedingungen - Wasserbau (ZTV-W) für Wasserbauwerke aus Beton und Stahlbeton (Leistungsbereich 215) Nr. 2012/491/D vom 17.08.2012



ft. Michał Braszczowski