

Stanisław Klin, Wojciech Kilian, Robert Świerzko, Jan Winnicki

**ANALIZA PROBLEMU TRWAŁOŚCI BETONÓW
HYDROTECHNICZNYCH NA PRZYKŁADZIE JAZÓW
ZBUDOWANYCH PO 1975 R. NA RZECE ODRZE**

***ANALYSIS OF DURABILITY PROBLEMS
OF HYDROTECHNICAL CONCRETE ON EXAMPLE
OF WEIRS BUILT SINCE 1975 ON THE ODRA RIVER***

Streszczenie

Praca zawiera analizę istotnych problemów, determinujących trwałość betonów hydrotechnicznych w budowlach wodnych. Omówiono rezultaty dokonań międzynarodowych zespołów badawczych w zakresie podstaw projektowania budowli na okres użytkowania. Na podstawie wytycznych normy europejskiej EN 1990 autorzy przeprowadzili analityczne oszacowanie charakterystycznego (przewidywanego) okresu trwałości budowli wodnych typu jazów na rz. Odrze. Omówiono w pracy także konieczność zmian wymogów stawianych dla betonów hydrotechnicznych, wbudowanych w gwarantowanie trwalsze betonowe budowle wodne. Na tle tych analiz podano w pracy ocenę trwałości betonów jazów sektorowych i klapowych, wybudowanych na rzece Odrze po 1975 roku.

Słowa kluczowe: budownictwo wodne, beton hydrotechniczny, wytrzymałość, trwałość

Summary

The paper comprises analysis of significant problems that determine durability of hydrotechnical concrete in structures and comments on activity of international research teams working on design fundamentals of structures duration. Authors on the basis of the EN 1990 standard have computed the characteristic predicted lifetime of the weir structures on the Odra river. Necessity of changes in design requirements for hydrotechnical concrete has been underlined, attempting to gain considerably more durable structures. On the basis of the analysis an evaluation of durability of concrete structures in weirs built since 1975 on the Odra river has been made.

Key words: hydraulic engineering structures, hydrotechnical concrete, strength, durability

WSTĘP

Termin „beton hydrotechniczny” w powojennej normie [BN-62/6738-07 1962] i literaturze specjalistycznej [Balcerski i in. 1969], dotyczącej hydrotechniki był selektywnie rezerwowany do nazwy betonów, stosowanych do wykonywania masywnych budowli hydrotechnicznych typu: zapory, jazy, śluzy, nabrzeża morskie i rzeczne. Intensywny rozwój budownictwa obiektów oczyszczalni ścieków sprawił, że termin ten w projekcie normy branżowej [Beton hydrotechniczny. Projekt normy branżowej 1988], z 1980 r. został uogólniony do grupy betonów stosowanych do wykonywania obiektów budownictwa wodnego, które posiadają co najmniej jedną powierzchnię narażoną na stałe lub czasowe oddziaływanie wód stojących lub płynących.

Przeniesienie terminu „beton hydrotechniczny” na przypadki konstrukcji obiektów oczyszczalni ścieków i zbiorników na wodę, wymusza konieczność uwzględnienia dodatkowych czynników determinujących trwałość konstrukcji żelbetonowych, dotyczących oddzielnie trwałości otuliny betonowej (wpływ karbonatyzacji, oddziaływań gruntowych i wodnych środowisk agresywnych) i oddzielnie korozji wkładek zbrojeniowych (wywołanej między innymi chlorkami). Jakość betonów w przypadku konstrukcji zbiorników żelbetonowych ma istotny wpływ na ich stany graniczne nośności i użytkowania [PN-B-03264 2002]. Projekt normy [Beton hydrotechniczny. Projekt normy branżowej 1988], nie uwzględniał powyższych czynników, co sprawiało że w tym aspekcie dokument ten był niepełny.

Stan normalizacji w zakresie betonów hydrotechnicznych jest następujący: norma branżowa „Beton hydrotechniczny” [BN-62/6738-07 1962], z 1962 r. jest nieaktualna, projekt normy [Beton hydrotechniczny. Projekt normy branżowej 1988], nie został zatwierdzony, a ogólna norma europejska dotycząca betonów konstrukcyjnych EN 206-1 [PN-EN 206-1 2003], nie w pełni uwzględnia parametry specyficzne dla betonów hydrotechnicznych.

W tym stanie rzeczy dla potrzeb hydrotechniki występuje potrzeba opracowania resortowych standardów technicznych dotyczących betonów hydrotechnicznych

PROJEKTOWANIE TRWAŁOŚCI BUDOWLI NA OKRES UŻYTKOWANIA

Już w 1978 r. Europejski Komitet Betonu CEB powołał grupę roboczą „Trwałość”, do opracowania podstaw projektowania konstrukcji betonowych na określony okres użytkowania. Chronologia dokonań międzynarodowych zespołów badawczych w tym temacie podana jest w pracach Andrzejewskiego [Ajdukiewicz 2006a,b], i Brandta [Brandt 2006], według stanu wiedzy na 2006 r. Wynika z nich, że poczyniono postęp w zakresie opracowania ogólnych modeli projektowania na okres użytkowania, opracowano wiele wytycznych dla eta-

pów: projektowania, wykonawstwa, konserwacji i kontroli warunków w okresie użytkowania konstrukcji. Jednak złożoność opisu procesów determinujących trwałość konstrukcji w funkcji czasu sprawia, że trwałość betonu nie jest dotychczas ujmowana wprost w normach budowlanych.

W istniejących normach europejskich EN 206-1 [PN-EN 206-1 2003] wprowadzono zalecenia dotyczące zapewnienia trwałości betonów, poddawanych działaniom zespołu czynników określonych klasami ekspozycji, a w normie EUROCODE 2 [PN-B-03264 2002], podano dodatkowe wytyczne dotyczące niezbędnej otuliny wkładek zbrojeniowych w konstrukcjach żelbetowych.

Deklarowany okres użytkowania konstrukcji t_d – traktowany jako kolejny stan graniczny (obok wprowadzonych już stanów granicznych nośności i użytkowalności) – Brandt [2006] proponuje zapisać w postaci ogólnego związku półprobabilistycznego:

$$t_d = \frac{t_k}{\gamma_t} \quad (1)$$

gdzie:

- t_k – charakterystyczny (przewidywany) okres trwałości budowli,
- γ_t – współczynnik, zwykle większy od jedności, będący iloczynem częściowych współczynników według relacji:

$$\gamma_t = \gamma_{t1} \cdot \gamma_{t2} \cdot \gamma_{t3} \cdot \gamma_{t4} \cdot \gamma_{t5} \cdot \gamma_{t6} \cdot \gamma_{t7} \dots \quad (2)$$

Częściowe współczynniki określają wpływ różnych warunków, mających wpływ na trwałość budowli. Przykładowo współczynniki mogą uwzględniać następujące okoliczności:

- γ_{t1} – zniszczenie budowli i konsekwencje wystąpienia stanu granicznego,
- γ_{t2} – jakość projektowania i wymiarowania (niepewność przyjętych modeli),
- γ_{t3} – jakość wykonawstwa i kontroli na budowie,
- γ_{t4} – właściwości warunków wewnątrz budowli,
- γ_{t5} – właściwości warunków zewnętrznych,
- γ_{t6} – sposób użytkowania (np. możliwość wystąpienia innych obciążeń),
- γ_{t7} – przewidywana jakość utrzymywania i konserwacji budowli.

Obecna wiedza w dziedzinie materiałów i technologii budownictwa jest wystarczająca, aby w znaczący sposób poprawić trwałość konstrukcji budowlanych [Brandt 2006]. Należy jednak stwierdzić, że opracowanie ilościowych związków do projektowania deklaracyjnych okresów trwałości konstrukcji betonowych możliwe jest dopiero w przyszłości, po zebraniu statystycznych zbiorów wyników badań, dotyczących relacji między parametrami zaleceń i efektami trwałości konstrukcji *in situ*, dla różnych klas ekspozycji.

PROJEKTOWANY OKRES TRWAŁOŚCI BUDOWLI HYDROTECHNICZNYCH TYPÓW JAZÓW

Europejska norma EN 1990 [EN 1990 2002] zawiera wskazania dotyczące projektowanego okresu użytkowania t_d dla różnych budowli (tab. 1).

Tabela 1. Podstawowe wskazania EN 1990 [EN 1990 2002] dla projektowanego okresu użytkowania

Table 1. EN 1990 basic guidelines for assumed object lifetime

| Kategoria okresu użytkowania Lifetime category | Projektowany okres użytkowania [lata] Assumed lifetime [year] | Przykładowe grupy obiektów /Exemplary objects |
|---|--|---|
| 1 | 10 | konstrukcje tymczasowe |
| 2 | 10–25 | wymienne elementy konstrukcyjne, np. belki podsuwnicowe, łożyska |
| 3 | 15–30 | obiekty rolnicze i pokrewne |
| 4 | 50 | konstrukcje budynków i innych obiektów budownictwa powszechnego |
| 5 | 100 | monumentalne konstrukcje budowlane, mosty i inne konstrukcje inżynierskie |

Budowle hydrotechniczne mieszczą się w 5 klasie kategorii użytkowania, z projektowanym okresem użytkowania $t_d = 100$ lat. Przy czym przez projektowany okres użytkowania nie należy rozumieć okresu żywotności obiektu, a jedynie okres w którym nie wystąpi potrzeba poważnych remontów.

Brak jest oszacowań częściowych współczynników bezpieczeństwa $\gamma_{t1} - \gamma_{t7}$ dla różnych obiektów hydrotechnicznych, dla analizowanego stanu granicznego „trwałości konstrukcji”. Dla ważnych obiektów hydrotechnicznych typu jazów na rz. Odrze autorzy oszacowują następujące wartości częściowych współczynników bezpieczeństwa: $\gamma_{t1} = 1,4$; $\gamma_{t2} = 1,05$; $\gamma_{t3} = 1,1$; $\gamma_{t4} = 1,0$; $\gamma_{t5} = 1,10$; $\gamma_{t6} = 1,0$; i $\gamma_{t7} = 1,0$. Stąd wartość współczynnika bezpieczeństwa γ_t – obliczona według [Balcerski i in. 1969] – wynosi $\gamma_t = 1,778$, a wartość charakterystyczna projektowanego okresu użytkowania dla jazów wynosi $t_k = 177,8$ lat.

Dla różnych betonowych obiektów hydrotechnicznych występuje potrzeba szczegółowego określenia projektowanych okresów użytkowania, gdyż na tej podstawie będzie można określić wymogi dotyczące deklarowanej trwałości betonów.

**CHARAKTERYSTYKA WYMOGÓW STAWIANYCH
BETONOM HYDROTECHNICZNYM ANALIZOWANYCH JAZÓW
NA RZECE ODRZE**

Jazy sektorowe na rz. Odrze Różanka i Opatowice we Wrocławiu oraz Janowice, realizowane w latach 1977–1987 (tab. 2), były budowane z betonów hydrotechnicznych o cechach: $R_w = 170 \text{ kG}\cdot\text{cm}^{-2}$ (17,0 MPa), W-6, M-100, co odpowiada betonom klasy wytrzymałościowej poniżej B-15. Przy projektowaniu mieszanek betonowych przyjęto klasyczny wymóg Waltza w odniesieniu do betonów trwałych i wodoszczelnych, w postaci warunku $W/C \leq 0,55$. Betony wykonane z użyciem stosowanych wówczas cementów hydrotechnicznych CH25 uzyskiwały wytrzymałość w stanie stwardniałym $f_{c,90} = 23 \text{ MPa}$, co w przybliżeniu odpowiada z niedomiarem betonom klasy BH-20 [Beton hydrotechniczny. Projekt normy branżowej 1988]. Zaprojektowane betony spełniły wymogi: wodoszczelności W-6 i stopnia odporności na działanie mrozu M-100.

Realizowany później jaz klapowy Ratowice był już zaprojektowany z betonów klasy BH-17,5 i BH-20 na płytę wypadową i progi.

Aktualna norma europejska PN-EN 206-1 [PN-EN 206-1 2003], dla klasy ekspozycji na działanie mrozu XF3 – co odpowiada narażeniu betonów w budowlach hydrotechnicznych – zaleca stosowanie betonów klasy C30/37 (B-37), przy zastosowaniu dodatkowych warunków: $W/C \leq 0,5$ i dawki cementu $C_{\min} = 320 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$.

Tabela 2. Zestawienie danych dotyczących analizowanych jazów na rz. Odrze
Table 2. Technical data of investigated weirs on the Odra river

| Nazwa jazu Name of weir | Typ jazu Weir type | Lata budowy Years of construction | Wymogi stawiane betonom w projekcie budowlanym Concrete demands in construction project |
|----------------------------|-----------------------|--------------------------------------|--|
| jaz Janowice | sektorowy | 1979–1986 | $R_w = 170 \text{ kG}\cdot\text{cm}^{-2}$, W-6, M-100 |
| jaz Opatowice | sektorowy | 1977–1985 | $R_w = 170 \text{ kG}\cdot\text{cm}^{-2}$, W-6, M-100 |
| jaz Różanka | sektorowy | 1976–1981 | $R_w = 170 \text{ kG}\cdot\text{cm}^{-2}$, W-6, M-100 |
| jaz Ratowice | klapowy | 1987–1993 | BH-17,5 i BH-20 |

OCENA TRWAŁOŚCI BETONÓW ANALIZOWANYCH JAZÓW

W latach 2005–2006 zostały przeprowadzone wizje lokalne i ocena stanu technicznego konstrukcji jazów wyszczególnionych w tabeli 2, a także analiza potrzeb remontowych tych obiektów [Winnicki 2006]. Okres użytkowania składowych sektorów jazów był w czasie przeprowadzonego przeglądu relatywnie nieduży i wynosił: od 28 lat (w przypadku jazu Różanka) do 17 lat w przypadku jazu Ratowice.

Celem przeprowadzonych wizji lokalnych (przy akceptacji i współpracy RZGW we Wrocławiu) była ocena trwałości betonów na powierzchniach zewnętrznych oraz analiza defektów w zakresie: spękań skurczowych, nieszczelności w strefie zarysowań i styków dylatacyjnych elementów konstrukcyjnych: przyczółków, podciągów i filarów.

Ogólnie można ocenić, że betony analizowanych jazów są relatywnie w dobrym stanie. Wysokie stany wody w czasie powodzi w lipcu 1997 r. nie wyrządziły istotnych szkód w otoczeniu obiektów. Prowadzone wcześniej prace doszczelniające betony progów jazowych (prowadzone w galerii) zlikwidowały przecieki i galerie są suche. Każde z przęsła jazu ma dwie dylatacje. Są to miejsca szczególnie narażone na przeciekanie wody do wnętrza galerii. Wykonano w tych miejscach specjalne prace uszczelniające taśmami elastycznymi i przeziniekcję. Przecieki wody w strefie dylatacji oraz w strefie zarysowań betonów powodują powolną filtrację wody przez masyw betonowy, wywołując widoczne objawy ługowania wodorotlenku wapnia i tworzenia się wykwitów CaCO_3 na powierzchni betonów. W analizowanych obiektach obserwuje się niewielkie przyrosty przemieszczeń pionowych i poziomych, co świadczy o stabilnych właściwościach podłoża gruntowego. Stwierdzono, że oddziaływania hydrodynamiczne wód powodują widoczne objawy abrazji i kawitacji betonów na przyczółkach jazów Opatowice i Ratowice.

Nieniszczące badania betonów metodą sklerometryczną wewnątrz galerii jazów wykazały, że betony badanych jazów można klasyfikować w klasie powyżej B-20.



Rysunek 1. Jaz Janowice. Taśma elastyczna i doszczelnienie betonów metodą iniekcji ciśnieniowej (stan 2006 r.)

Figure 1. Janowice weir. Concrete leakproofing with flexible band and pressure injection (state in 2006)



Rysunek 2. Jaz Opatowice. Odslonięte grube kruszywo na przyczółku (stan 2006 r.)
Figure 2. Opatowice weir. Washed out concrete with uncovered coarse aggregate on the abutment of the weir (state in 2006)

PODSUMOWANIE

Betony hydrotechniczne w Polsce powinny być projektowane i testowane według standardów europejskich. Artykuł zwraca uwagę na fakt, że pojęcie betonu hydrotechnicznego zostało rozszerzone na zakres zastosowań w budownictwie obiektów oczyszczalni ścieków i zbiorników wodnych [Beton hydrotechniczny. Projekt normy branżowej 1988]. W odniesieniu do masywnych obiektów hydrotechniki śródlądowej, typu jazy, zapory, śluzy, nabrzeża – narażenia typu zamrażanie/odmrażanie w klasie ekspozycji XF1 i XF3 narzucają wymóg stosowania betonów klasy C30/37, a wymagany wskaźnik $W/C \leq 0,50$ kooperuje ze spełnieniem nasiąkliwości betonów poniżej 5%.

Hydrotechnicy muszą zadeklarować na jaki okres użytkowania mają być projektowane obiekty hydrotechniczne różnej rangi. Przyjęcie, że projektowany okres trwałości jazów t_d powinien wynosić co najmniej 100 lat sprawia, że szacowany charakterystyczny okres trwałości t_k powinien przekraczać 150 lat. Postulowany okres żywotności obiektów hydrotechnicznych tego typu powinien wynosić 200–300 lat. Oznacza to, że świeże betony postulowanej klasy C30/37 powinny być dodatkowo napowietrzane, z ilością powietrza przynajmniej 4%, aby charakteryzowały się klasą odporności mrozowej powyżej F-150.

Europejskie zalecenia stosowania betonów klasy C35/45 – jako odpornych na abrazję i kawitację – także powinny być wzięte pod uwagę. Występuje potrzeba opracowania szczegółowych specyfikacji technicznych w tym zakresie, ważnych specjalistycznie dla hydrotechniki, tak jak to w dokumentacjach projektowych jest czynione w przypadku projektów mostów i dróg.

Betony analizowanych jazów na rz. Odrze, wykonane w latach minionych z niższych klas wytrzymałościowych B-15 – B-20, po upływie średnio 20 lat eksploatacji nie wykazują jeszcze objawów destrukcji mrozowej. Wystąpiły lokalne defekty wywołane abrazją i kawitacją. Procesy te należy wziąć bacznie pod uwagę przy ustalaniu standardów determinujących trwałość betonów w obiektach hydrotechnicznych. Stwierdzone objawy przecieków w galeriach jazów sektorowych w strefie styków dylatacyjnych wskazują na potrzebę bardziej niezawodnego projektowania i wykonawstwa tych fragmentów budowli wodnych. Widoczne w galeriach jazów sektorowych rysy skurczowe świadczą o tym, że problem skurczu w masywach betonowych typu jazów jest zagadnieniem do wnikliwego rozwiązania.

BIBLIOGRAFIA

- Ajdukiewicz A. *Projektowanie konstrukcji betonowych z uwzględnieniem okresu użytkowania*. XX Konferencja Naukowo-Techniczna „Beton i Prefabrykacja – Jadwisin 2006”, Serock 11–22.
- Ajdukiewicz A. *Wyzwanie dla projektantów – projektowanie konstrukcji betonowych na okres użytkowania*. Inżynier Budownictwa, Wydawnictwo PIIB Sp. z o.o., Warszawa 2006, s. 10–16.
- Balcerski W. i in. *Budowle wodne śródlądowe*. Budownictwo betonowe tom XVII, Arkady, Warszawa 1969.
- Beton hydrotechniczny. Projekt normy branżowej*. IMGW, Warszawa 1988.
- BN-62/6738-07 *Beton hydrotechniczny*.
- Brandt A. M. *O trwałości konstrukcji inżynierskich*. Materiały Międzynarodowej Konferencji EKO MOST 2006 „Trwałe obiekty mostowe w środowisku”, Kielce 16–17.05.2006, Wydaw. IBDiM, Warszawa 2006, s. 31–43.
- EN 1990:2002 *Basis of structural design* (Polskie tłumaczenie PN-EN 1990 Podstawy projektowania konstrukcji).
- PN-EN 206-1:2003 *Beton. Część I: Wymagania, właściwości, produkcja i zgodność*.
- Winnicki J. *Analiza stanu technicznego i potrzeb remontowych betonowych konstrukcji jazów na rzece Odrze: Różanka, Opatowice, Janowice i Ratowice*. Praca magisterska dyplomowa wykonana w Instytucie Inżynierii Środowiska AR Wrocław pod kierunkiem dr inż. Stanisława Klina, Wrocław 2006.

Dr hab. inż. Stanisław Klin
Dr inż. Wojciech Kilian
Mgr inż. Robert Świerzko
Instytut Inżynierii Środowiska
Uniwersytet Przyrodniczy we Wrocławiu
50-363 Wrocław
Pl. Grunwaldzki 24
tel.: (071) 320-55-06, (071)320-55-70
e-mail: klin@iis.ar.wroc.pl

Mgr inż. Jan Winnicki
SANBET Fabryka Betonu Maciej Jucha
51-168 Wrocław
ul. Sołtysowicka 27d

Recenzent: Prof. dr hab. inż. Tadeusz Bednarczyk