

dr inż. Andrzej Kmita\*  
dr inż. Wojciech Pawlak\*

# Badania betonu w masywnej konstrukcji hydrotechnicznej

*Tests of concrete in massive construction of hydrotechnical*

**Streszczenie.** Artykuł opisuje kompleksowe badania betonu w konstrukcji jednej z największych elektrowni wodnych w Polsce. W ramach kompleksowej oceny obiektu wykonano szczegółowe badania właściwości fizyko mechanicznych betonu i stali zbrojeniowej.

**Słowa kluczowe:** badanie betonu, budowie hydrotechniczne, diagnostyka konstrukcji, konstrukcje masywne.

**Abstract.** Describes a comprehensive study concrete construction hydroelectric power. As part of comprehensive expertise on the entire property (construction materials) made a detailed study physico-mechanical properties of concrete and reinforcing steel.

**Keywords:** concrete testing, hydraulic structures, diagnostics construction, massive structures.

**P** przedmiotem badań była betonowa konstrukcja jednej z największych elektrowni wodnych w Polsce. Obiekt długości 162 m, szerokości fundamentu 60 m i wysokości 33,9 m wybudowano w latach 1962 – 1970. Badania miały na celu wyjaśnienie przyczyn zarysowania, spękania i przecieków pojawiających się w przegrodach komór elektrowni.

Przed wyborem metod i technik badawczych oraz określenia obszaru badań:

- dokonano analizy dokumentacji projektowej;
- dokonano analizy norm, wytycznych wymogów odbioru oraz badań kontrolnych obowiązujących w okresie projektowania i realizacji;
- zapoznano się z uwarunkowaniami historycznymi związanymi z metodą realizacji elektrowni, w zakresie stosowanych betonów konstrukcyjnych i sposobów ich układania, zagęszczania i pielęgnacji oraz kontroli jakości;
- określono charakterystyczne rozwiązania konstrukcyjne i materiałowe obiektów wybudowanych w analogicznym okresie jak badana elektrownia;
- zebrano informacje o historii eksploatacji elektrowni (kontrola obciążeń eksploatacyjnych, przemieszczeń, osiadań, temperatury wewnątrz i na zewnątrz obiektu, ewentualne zalewanie, podtopienia, powodzie, zmiany poziomu wody, warunki geotechniczne itp.);
- dokonano wizualnej oceny uszkodzeń obiektu (zarysowania, pęknięcia, ubytki, korozja, uszkodzenia mechaniczne);

\* Politechnika Wroclawska, Wydział Budownictwa Lądowego i Wodnego

- ustalono obszary wymagające bardziej wnikliwych badań doświadczalnych i analiz;

- zapoznano się z aktualnymi wymaganiami dotyczącymi eksploatacji;

- określono zakres badań materiałowych zgodnie z aktualnie obowiązującymi przepisami;

- zebrano podstawowe dane o elektrowni (geometria konstrukcji, charakterystyka materiałowa, ocena struktury betonu, obraz morfologii rys, spękań, ubytków, korozji, charakterystyka obciążeń), umożliwiające zamodelowanie numeryczne obiektu pod względem geometrii oraz cech materiałowych.

## Określenie wytrzymałości i innych parametrów betonu

W celu zamodelowania pracy konstrukcji elektrowni wodnej wykonano badania materiałowe w zakresie:

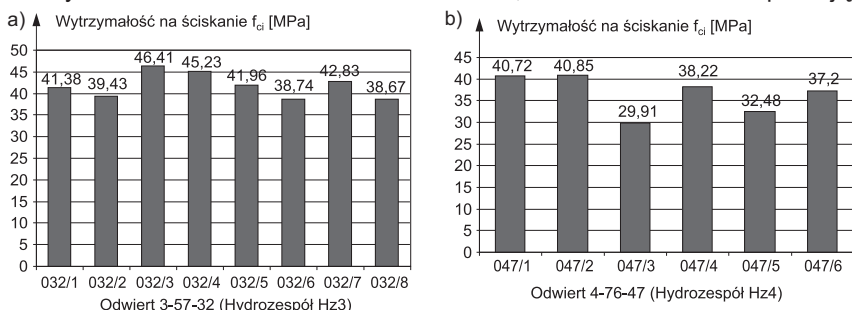
- wytrzymałości na ściskanie betonu  $f_c$ ;
- cech fizycznych betonu  $E_{cm}$ ,  $v_c$  (odpowiednio: sieczny moduł sprężystości i współczynnik odkształcenia poprzecznego betonu);
- składu betonu (w tym petrograficznej analizy składu kruszywa);
- obecności chlorków, siarczanów, azotanów itp. w betonie oraz dodatkowo badania wody;
- nasiąkliwości betonu  $n_w$ ;
- stopnia karbonatyzacji otuliny betonowej;
- gatunku, średnic i rozmieszczenia stali zbrojeniowej;
- oceny grubości warstwy otuliny zbrojenia;
- oceny stopnia skorodowania stali zbrojeniowej;

- kompleksowej oceny jakości betonu.

Przy złożonej konstrukcji i dużej kubaturze (ok. 100 tys. m<sup>3</sup> betonu ze ścianami grubości 2 ÷ 6 m) problemem był wybór miejsc badania oraz liczba pobranych próbek. Do wyboru miejsc badań zastosowano kryterium najsłabszych miejsc, gdzie występowały największe zarysowania, spękania lub brak otuliny zbrojenia oraz takich, które znajdowały się w najtrudniejszych warunkach eksploatacyjnych. W sumie pobrano sto kilkadziesiąt odwiertów rdzeniowych średnicy 100 i 150 mm. W celu określenia zmian wytrzymałości betonu na grubości ściany pobrano próbki do głębokości 1,0 m. Pobieranie, przygotowanie i badanie próbek betonowych przeprowadzono w akredytowanym Laboratorium Badawczym Instytutu Budownictwa Politechniki Wrocławskiej zgodnie z wymaganiami norm [1 ÷ 4].

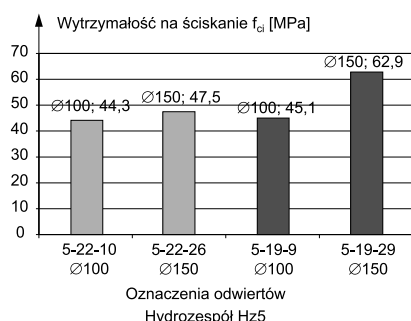
Przebadano ponad 120 próbek. Określono klasę betonu jako C25/30 ÷ C30/37 w zależności od miejsca pobrania próbek. Średnia charakterystyczna wytrzymałość betonu na ściskanie wszystkich próbek wyniosła  $f_{ck,m} = 32,8$  MPa, a minimalna  $f_{c,min} = 27,4$  MPa. Odchylenie standardowe wyniosło  $s = 7,4$  MPa. Współczynnik zmienności  $v$  wytrzymałości betonu w poszczególnych komorach (hydrozespołach) wahał się od 8,5% do 15%, co zgodnie z [5] świadczy o bardzo dobrej i dobrej jakości betonu. Beton w poszczególnych etapach betonowania (kolejnych hydrozespołach) był w miarę jednorodny. Badania wytrzymałości na ściskanie betonu wykonano na różnej głębokości wzglę-

dem lica ściany. Wyniki badań z dwóch wybranych punktów pomiarowych przedstawiono na rysunku 1. Oznaczenie 032/1, 047/1 dotyczy próbek tuż przy powierzchni ściany. Kolejne próbki pochodzą z większej głębokości. Nie stwierdzono dużej zmiany wytrzymałości betonu w zależności od głębokości ściany.



Rys. 1. Porównanie wytrzymałości na ściskanie betonu w zależności od grubości ściany komór hydrozespołu Hz3 (a) i Hz4 (b)

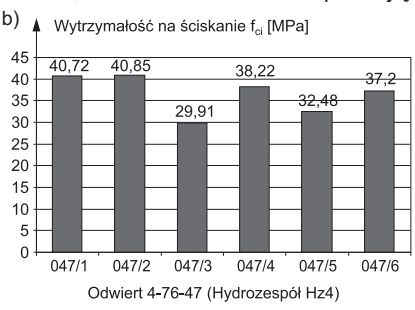
Ze względu na wymiary maksymalnego ziarna kruszywa w betonie (często >32 mm), aby sprawdzić wpływ średnicy odwiertów na wyniki wytrzymałości betonu, konieczne stało się wykonanie odwiertów średnicy 150 mm i porównanie ich wyników z wykonanymi wcześniej badaniami odwiertów  $\varnothing 100$  mm. Przykładowe porównanie przedstawiono na rysunku 2. Nie stwierdzono wyraźnych różnic, dlatego uznano, że można oceniać wytrzymałość betonu na podstawie odwiertów średnicy 100 mm.



Rys. 2. Porównanie wytrzymałości na ściskanie betonu próbek  $\varnothing 100$  mm i  $\varnothing 150$  mm hydrozespołu Hz5

Konstrukcja elektrowni była projektowana z betonu marki  $R_w = 170$  kG/cm<sup>2</sup>,  $R_w = 200$  kG/cm<sup>2</sup>, co obecnie odpowiada (w przybliżeniu) klasom C12/15, C16/20. Stwierdzono, że wytrzymałość betonu na ściskanie w badanej konstrukcji jest większa niż założona w projekcie i odpowiada wytrzymałości betonu o 2 klasy wyższej.

Średnia nasiąkliwość betonu w badanych próbkach (badania przeprowadzono zgodnie z [6]) wyniosła  $n_w = 5,07\%$ . Wyniki badań poszczególnych próbek i całych partii są do siebie zbliżone. W przypadku tego typu obiektów, zgodnie z normą [6] nasiąkliwość betonu nie powinna być większa niż 5%. Wartość 5,07% można uznać za spełniającą



całą warunki normowe. Najczęściej beton charakteryzuje się nasiąkliwością  $n_w = 4 \div 7\%$ . Uzyskanie niższej nasiąkliwości wymaga szczególnych zabiegów. Nasiąkliwość  $n_w > 7\%$  świadczy o złym stanie technicznym betonu. Zbadano również przepuszczalność wody przez beton zgodnie z procedurą normową [8]. Wszystkie badane próbki wytrzymały ciśnienie 1,0 MPa. Przy tym poziomie ciśnienia zadany przez 24 h nie następowały przesiąkania przez dolną powierzchnię próbek, co oznacza, że wszystkie charakteryzują się stopniem wodoszczelności W10. Taki stopień wodoszczelności betonu jest wystarczający dla konstrukcji tego typu obiektów.

Zasięg karbonatyzacji badano za pomocą fenoloftaleiny. Zasięg karbonatyzacji większości próbek wynosił < 20 mm. Pręty w zdecydowanej większości znajdują się na głębokości nie mniejszej niż 50 ÷ 60 mm od lica ściany i w związku z tym są dobrze chronione przez beton. Zważywszy na czterdziestoletni okres eksploatacji, można stwierdzić, że w najbliższych 40 ÷ 50 latach eksploatacji obiektu proces karbonatyzacji nie zagraża prętom zbrojeniowym.

Próbki stali zbrojeniowej długości 30 średnic zbadano w maszynie wytrzymałościowej. Klasę stali określono jako A-I ( $f_{ym} = 280$  MPa,  $f_{tm} = 426$  MPa). Pręty miały średnicę 12 ÷ 40 mm, z otuliną 50 ÷ 90 mm. Stal przeważnie była w dobrym stanie, a jedynie pręty pozabawione otuliny były powierzchniowo

skorodowane. W silnie zawilgoconych miejscach korozja dochodziła do 5 mm na średnicy. Ze względu na duże wymiary konstrukcji, pojedyncze przypadki skorodowanych prętów nie mają wpływu na jej nośność.

Przeprowadzono badania dynamiczne pracy bloków (hydrozespołów), a także wykonano za pomocą tomografu ultradźwiękowego, badania niszczące wytrzymałości betonu, grubości otuliny, jakości betonu na głębokości oraz zinwentaryzowano morfologię rys i pęknięć konstrukcji obiektu.

Wyniki

Przy tak złożonej i olbrzymiej kubaturze obiektu niezbędna jest jego wstępna analiza numeryczna oraz ocena wizualna, która pozwoli na wytypowanie właściwych obszarów badań materiałowych. W porównaniu z założonymi parametrami w projekcie wytrzymałość na ściskanie betonu w badanej konstrukcji elektrowni jest o dwie, miejscami nawet trzy klasy wyższa od projektowanej. Nasiąkliwość betonu wynosi 5%, natomiast wodoprzepuszczalność W10 (miejscami W12). W przypadku tego typu obiektu są to wyniki zadowalające.

Zwykle konstrukcje realizowane w latach sześćdziesiątych charakteryzują się gorszymi parametrami wytrzymałościowymi i fizycznymi. W omawianym przypadku zaobserwowano, że wstępna ocena wizualna betonu była zdecydowanie gorsza niż z otrzymane wyniki badań. Na podstawie przeprowadzonych bardzo obszernych badań betonu stwierdzono, że jego jakość spełnia wymagania stawiane konstrukcjom hydrotechnicznym.

Literatura

[1] PN-EN 12504-1:2001. Badania betonu w konstrukcjach. Część 1: Odwierty rdzeniowe. Wycinanie, ocena i badanie wytrzymałości na ściskanie.  
 [2] PN-EN 12390-3:2002. Badania betonu. Część 3: Wytrzymałość na ściskanie próbek do badania.  
 [3] PN-EN 13791:2008. Ocena wytrzymałości betonu na ściskanie w konstrukcjach i prefabrykowanych wyrobach budowlanych.  
 [4] PN-EN ISO 15630-1:2004. Stal do zbrojenia i sprężania betonu. Metody badań. Część 1: Pręty, walcówka i drut do zbrojenia  
 [5] Budownictwo betonowe T. VIII. Badanie materiałów, elementów i konstrukcji. Arkady, Warszawa 1970.  
 [6] PN-B-06250:1988. Beton zwykły.