

dr inż. Andrzej Kmita\*  
dr inż. Maciej Minch\*

# Korozja żelbetowego kolektora ściekowego

*Corrosion of reinforced concrete sewage collector*

**Streszczenie.** W artykule przedstawiono wyniki badań strukturalnych betonu w prefabrykowanym kolektorze ściekowym po 30 latach eksploatacji. Omówiono wybrane problemy eksploatacyjne występujące w żelbetowych kolektorach ściekowych. Sformułowano wnioski i zalecenia dotyczące zasad prognozowania prac renowacyjnych w tego typu obiektach.

**Słowa kluczowe:** badanie betonu, karbonatyzacja, badania strukturalne, kolektor ściekowy.

**Abstract.** The article presents the results of research in the field of structural damage in prefabricated concrete collector drain after 30 years of service. Discusses some operational problems occurring in the concrete sewage collectors. Formulated conclusions and recommendations on the principles of forecasting renovation work in this type of objects.

**Keywords:** concrete tests, carbonation, concrete structural tests, collector sewer.

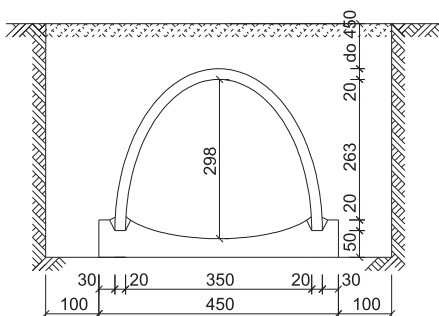
**B**etonowa konstrukcja przewodów kanalizacyjnych podlega oddziaływaniu wielu czynników o charakterze destrukcyjnym. Od strony wewnętrznej są to czynniki chemiczne, pochodzące ze ścieków bytowo-gospodarczych, a od strony zewnętrznej agresywne wody gruntowe, obciążenia zewnętrzne od parcia gruntu oraz wymuszone przemieszczenia, które mogą prowadzić do uszkodzenia betonu (rysy, pęknięcia, rozszczelnienia). W artykule omówimy przede wszystkim chemiczne czynniki wewnętrzne agresywnie działające na beton.

Typowe ścieki bytowo-gospodarcze charakteryzują się odczynem lekko zasadowym o  $\text{pH} = 6,5 \div 7,0$  [1] wywołanym siarczanami ( $100 \div 250 \text{ mg/l}$ ), chlorkami ( $20 \div 150 \text{ mg/l}$ ) i azotanami ( $30 \div 200 \text{ mg/l}$ ). W wyniku procesów gnilnych zachodzących w kolektorach ściekowych powstaje siarkowodor (mogący powodować korozję siarczanową betonu) oraz dwutlenek węgla (powodujący karbonatyzację betonu [2, 3]). Destrukcję betonu w kolektorze przyspiesza płynący w ściekach piasek (ścieranie w kanalizacji ogólnospławnej), kawitacja, pęknięcia oraz rysy w betonie. Tempo procesu korozji betonu zależy też od szczelności i porowatości betonu, rodzaju użytego cementu (odporny bądź nieodporny na korozję siarczanową) oraz grubości otuliny.

\* Politechnika Wroclawska, Wydział Budownictwa Lądowego i Wodnego

## Badania konstrukcji kolektora

Badania przeprowadzono na odcinku długości 1000 m 30-letniego kolektora ściekowego, wykonanego z parabolicznych łupin prefabrykowanych długości 2000 mm z betonu o  $R_w = 200 \text{ kG/cm}^2$  (klasa C15/18), wodoszczelności W4, osadzonych w monolitycznym dnie (rysunek 1).



Rys. 1. Przekrój poprzeczny kolektora ściekowego

Badania cech betonu pobranego ze ścian prefabrykowanych łupin konstrukcji kolektora pozwoliły określić:

- wytrzymałość betonu na ściskanie (odwierty rdzeniowe  $\varnothing 100 \text{ mm}$ );
- wodoprzepuszczalność betonu (odwierty rdzeniowe  $\varnothing 150 \text{ mm}$ );
- zasięg strefy skarbonatyzowanej betonu (Rainbow Indikator);
- otulinę i rozstaw prętów zbrojenio-  
wych;
- stopień skorodowania stali zbrojenio-  
wej;

- grubość ściany kolektora przez perforację odwiertami rdzeniowymi;
- zmianę struktury betonu (tomografia komputerowa);

Wybrane wyniki badań betonu 30-letniego kolektora ściekowego zestawiono w tabeli.

Ocenę wizualną struktury betonu przeprowadzono na długości 1000 m kolektora. Na jej podstawie wybrano miejsca do badań strukturalnych betonu. Wykonano je na podstawie pobranych odwiertów rdzeniowych. Największy stopień degradacji betonu stwierdzono w obszarze komór rozprężnych (gazowych) po zdjęciu płyt stropowych (fotografia 1), w studzienkach oraz

## Wybrane wyniki badań betonu 30-letniego kolektora ściekowego

Wytrzymałość betonu $f_{cm}$ [MPa]	Wodoprzepuszczalność [MPa]	Wartość skarbonatyzowana [mm]	Otulina zbrojenia [mm]	Głębokość wypłukania spoiwa [mm]
58, 96	1,0 – 1,2 (W10 – W12)	5	40 – 50	2 – 3



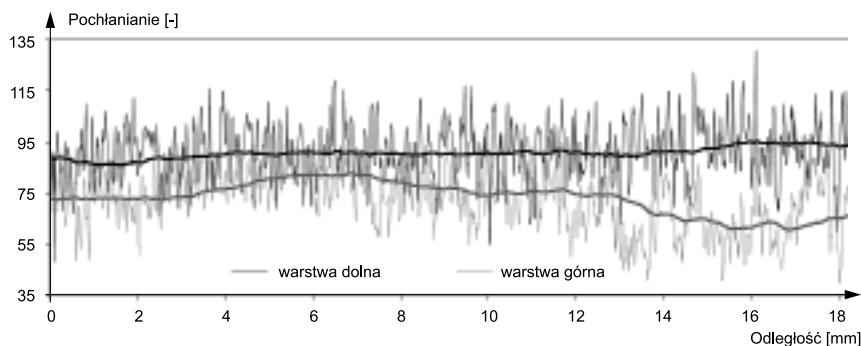
Fot. 1. Widok odkrytej komory rozprężnej

w łupinach kolektora w bezpośrednim ich sąsiedztwie.

W celu uzyskania informacji o zmianach strukturalnych betonu zachodzących na grubości łupin kolektora, pobrane próbki rdzeniowe przebadano za pomocą rentgenowskiej mikrotomografii komputerowej. Metoda polega na rekonstrukcji trójwymiarowego obrazu badanego elementu na podstawie dwuwymiarowych projekcji uzyskanych podczas skanowania próbki wiązką promieni rentgenowskich [4, 5]. W mikrotomografie badano próbki rdzeniowe o średnicy 5 cm i wysokości ok. 5 cm. Na rysunku 2 przedstawiono schemat próbki z zaznaczonymi fragmentami, które były skanowane. Ze względu na ograniczoną wielkość pola skanowania zdecydowano się na zeskanowanie dwóch przekrojów szerokości ok. 14 ÷ 17 mm, które obejmują skorodowaną powierzchnię wewnętrzną ściany łupiny kolektora (przekrój 1) oraz środkową część betonu łupiny (przekrój 2).

Rekonstrukcja 3D próbki potwierdziła, że istnieją różnice pomiędzy środkową warstwą betonu oraz skorodowaną warstwą wewnętrzną (rysunek 3). Warstwa środkowa jest bardziej jednorodna. Wyróżnić w niej można matrycę cementową oraz pory w strukturze betonu. Natomiast warstwa wewnętrzna okazała się niejednorodna. Występują w niej mikrorysy i mikropęknięcia, które są wynikiem procesów korozji betonu oraz ścierania, kawitacji czy wypłukiwania materiału. Matryca cementowa formuje wyraźnie widoczne klastry. Wypłukiwanie zaczynu cementowego powoduje ponadto eksponowanie ziaren kruszywa.

W celu analizy zmian mikrostrukturalnych w badanym betonie zastosowano funkcję pochłaniania promieniowania rentgenowskiego. Każdy materiał w inny sposób pochłania promieniowanie, co wyraża się przez odpowiedni współ-



Rys. 3. Funkcja pochłaniania w przypadku górnej oraz dolnej warstwy materiału próbki betonowej

czynnik pochłaniania  $\mu$ . Miara ta jest proporcjonalna do gęstości materiału. Ciemne elementy obrazu z mikrotomografii komputerowej mają mniejszą gęstość, natomiast obiekty jaśniejsze większą, gdyż bardziej pochłaniają promieniowanie [4, 5]. Procesy korozyjne w betonie prowadzą do wymywania matrycy cementowej, a w efekcie obniżenia gęstości betonu.

Funkcję pochłaniania promieniowania w zależności od średnicy przekroju dla betonu wewnętrznych i środkowych warstw ścianki łupiny kolektora przedstawiono na rysunku 3. Można zauważyć, że w przypadku skorodowanej wewnętrznej warstwy ściany kolektora średnia gęstość betonu jest mniejsza niż dla środkowej.

Metoda mikrotomografii komputerowej stanowi dobre narzędzie pozwalające na określenie zasięgu strefy skorodowanej betonu, a także obszaru występowania mikropęknięć. Pozwala na prognozowanie trwałości obiektu T na podstawie badanego wieku konstrukcji  $t_1$ , grubości otuliny zbrojenia X i pomierzonej warstwy zubożonej  $X_1$  ze wzoru Aleksiejewa [3]:  $T = t_1 \cdot (X/X_1)^2$ . Wyniki badań strukturalnych można również wykorzystać w analizie wytrzymałościowej konstrukcji przy modelowaniu MES i ustalaniu obszarów o zredukowanej nośności.

### Podsumowanie

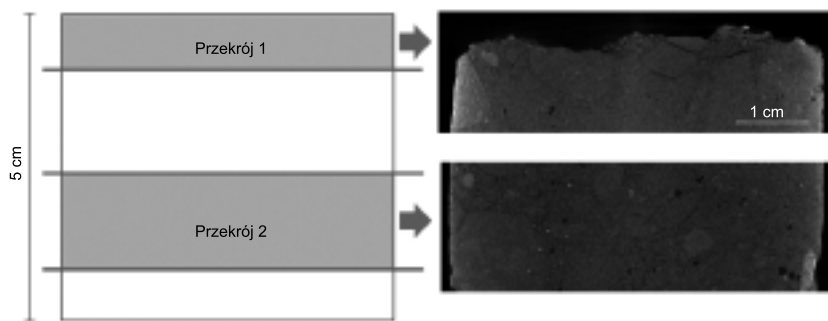
Badania strukturalne betonu z zastosowaniem mikrotomografii komputerowej pozwalają na ocenę grubości warstw o zmienionej strukturze w wyniku korozji, wypłukiwania zaczynu, kawitacji i innych czynników ługujących zaczyn cementowy. Otwiera to nowe możliwości analizy konstrukcji z uwzględnieniem zmian strukturalnych pod kątem oceny trwałości przewodów kanalizacyjnych.

Ocena trwałości konstrukcji kolektorów ściekowych jest niezwykle istotna z punktu widzenia prognozowania remontu i odnowy przewodów kanalizacyjnych. Przesunięcie w czasie remontu konstrukcji oznacza wymierne korzyści ekonomiczne przedsiębiorstw komunalnych zarządzających sieciami kanalizacyjnymi i zmniejsza ryzyko wystąpienia stanów awaryjnych kolektora.

Z przeprowadzonych badań wynika, że wstępna wizualna ocena konstrukcji może być obarczona dużym błędem i bez oceny stanu technicznego popartego badaniami strukturalnymi betonu może prowadzić do wykonania niepotrzebnych i bardzo kosztownych prac renowacyjnych.

### Literatura

- [1] Madryas C., Przybyła B., Wysocki L.: Badania i ocena stanu technicznego przewodów kanalizacyjnych, DWE, Wrocław 2010.
- [2] Zybura A., Jaśniok M., Jaśniok T.: Diagnostyka konstrukcji żelbetowych. Badania korozji zbrojenia i właściwości ochronnych betonu. PWN, Warszawa 2011.
- [3] Wieczorek G.: Korozja zbrojenia inicjowana przez chlorki lub karbonatyzację otuliny, DWN, Wrocław 2002.
- [4] Epstein C. L.: Introduction to Mathematics of Medical Imaging, Chapter 3, A basic model for tomography, SIAM, USA, 2003.
- [5] Łydźba D., Rajczakowska M., Stefaniuk D., Kmita A.: Identification of the carbonation zone in concrete using X-ray microtomography. Studia geotechnica et mechanica. No. 1 (2014)



Rys. 2. Schemat próbki betonowej poddanej skanowaniu