

# Ocena stanu betonu w konstrukcji ściany kolektora ściekowego po 50 latach użytkowania

Dr inż. Tomasz Piotrowski, mgr inż. Kamil Załęgowski, mgr Rafał Kuszyk,  
dr hab. inż. Andrzej Garbacz, Politechnika Warszawska

## 1. Wprowadzenie

Zewnętrzna powierzchnia betonu w obiektach kanalizacji ściekowej podobnie jak i fundamentów poddana jest działaniu środowiska gruntowego [1], którego agresywność, w zależności od stężenia poszczególnych substancji zawartych głównie w wodach gruntowych, opisują klasy ekspozycji XA wg PN-EN 206. Agresywność gruntu wobec betonu należy kwalifikować na podstawie badań geotechnicznych. Wody gruntowe wykazują zwykle słabą, najczęściej węglanową [2], agresywność w stosunku do betonu (klasa XA1). Ponadto beton w obiektach kanalizacji ściekowej jest silnie zawilgocony, a nawet mokry i w związku z tym karbonatyzacja przebiega bardzo wolno. Rzadko zdarzają się przypadki wyższej agresywności np. grunty torfowe. Kolektor jest także narażony na oddziaływanie przenoszonych wewnątrz ścieków deszczowych i sanitarnych bytowo-gospodarczych. Ich agresywność w stosunku do betonu jest jednak nieznaczna. Ich wskaźnik pH wynosi 6,5–7,5, a zawartość szkodliwych soli (siarczanów, chlorków i azotanów) nie przekracza zazwyczaj 0,05%. Zgodnie z PN-EN 206 środowisko takie należy klasyfikować jako słabo agresywne w stosunku do betonu (XA1). Bardziej niebezpieczne w tego typu obiektach jest powstawanie siarkowodoru w wyniku rozkładu zawartych w ściekach substancji organicznych, w tym białkowych. Stosunkowo wysoką agresywnością charakteryzują się także przefermentowane osady, które przyklejają się do ścian na tzw. „strefie pływów”.

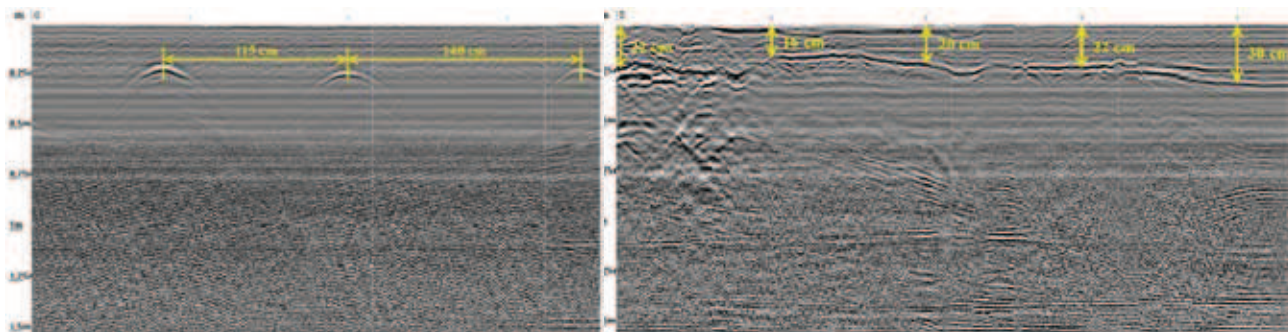
## 2. Charakterystyka obiektu

Kolektor budowano metodą górniczą, bez naruszania wyżej położonych warstw gruntu. Grunt urabiano odcinkami, a stateczność wyrobiska zapewniała konstrukcja, na którą składały się: żelbetowe spągnice o kształcie łamanym i oparte na nich żelbetowe ramy, dostosowane do projektowanego kształtu przekroju kolektora. Na ramach układano żelbetowe klepki rozpierane do gruntu za pomocą klinów opartych na ramach. Opisana konstrukcja stanowiła obudowę tymczasową wyrobiska,

a dopiero pod jej osłoną zabetonowywano obudowę kolektora. Odbywało się to w przynajmniej 2 fazach – najpierw spąg (kinetę), później w deskowaniu pozostała część. Betonowanie części spągowej wykonywano prawdopodobnie ręcznie zaś część położoną wyżej, a zwłaszcza część stropową, również prawdopodobnie, pompując beton w deskowanie. Kinetę kolektora wyłożono dodatkowo warstwą klinkieru o grubości 7 cm.

## 3. Badanie integralności betonu

W wyniku wizji lokalnej stwierdzono, że powierzchnia poszycia betonowego wewnątrz kolektora jest bardzo zróżnicowana. Występowały obszary mniej i bardziej zdegradowane. Częściowo powierzchnia została dodatkowo zabezpieczona powłoką grubowarstwową na bazie cementu (tzw. torkret). Dodatkowo zaobserwowano spękania podłużne i poprzeczne w części kolektora bezpośrednio przylegającej do komory. W oparciu o te obserwacje wytypowano trzy przekroje (sekcje), w których zdecydowano pobrać odwierty rdzeniowe o średnicy 10 cm: sekcja 1 – 9 odwiertów, sekcja 2 – 6 odwiertów, sekcja 3 – 4 odwierty. Ponieważ nie było pewności co do konstrukcji kolektora (betonowa czy żelbetowa) i jej geometrii (grubości ścian), wykonano pomiary metodą GPR (*Ground Penetrating Radar*). Przedstawiony na rysunku 1 skalogram podłużny GPR z sekcji 1 wskazuje usytuowanie żelbetowych ram poprzecznych, między którymi odległość wynosi 115–150 cm. Głębokość usytuowania zbrojenia tych ram w miejscu badania wynosi ok. 20–25 cm. Jednocześnie widać, że całkowita grubość kolektora wynosi powyżej 50 cm. Z kolei na skalogramie obwodowym GPR można wyróżnić z lewej strony dolną część kolektora z kinetą klinkierową i od około 90 cm poszycie betonowe o grubości ok. 50 cm. Pod kinetą klinkierową widać wyraźne rozwarstwienie struktury na głębokości ok. 22 cm. Skalogram ten otrzymano dla najbardziej spękanej sekcji 3 i po prawej stronie widoczne jest ewidentne rozwarstwienie podłużne zlokalizowane na głębokości 16–30 cm, kierując się ku górze kolektora.



Rys. 1. Skalogram podłużny i obwodowy GPR z zaznaczonymi charakterystycznymi elementami

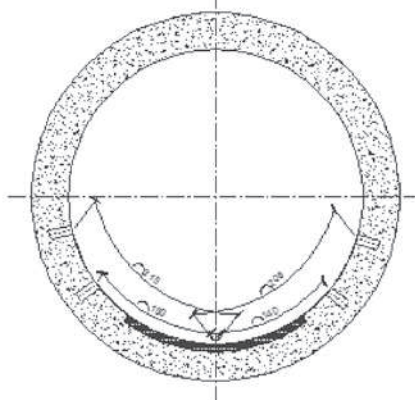
Odwiert 16  
Lokalizacja: 215L  
 $f_{ci} = 47,65 \text{ MPa}$



Odwiert 17  
Lokalizacja: 150L  
 $f_{ci} = 35,61 \text{ MPa}$



sekcja 3



Odwiert 18  
Lokalizacja: 205P  
 $f_{ci} = 51,18 \text{ MPa}$



Odwiert 19  
Lokalizacja: 140L  
 $f_{ci} = 28,81 \text{ MPa}$



Rys. 2. Przykłady odwiertów sekcji 3: wszystkie z części kolektora powyżej „strefy pływów”

Na podstawie pomiarów GPR ustalono lokalizację odwiertów w przekroju, którą oznaczono długością łuku obwodowego rozpoczynającego się na osi pionowej na dnie kolektora oraz oznaczeniem literowym: P – strona prawa patrząc od najbliższej komory, L – strona lewa patrząc od najbliższej komory. Przykład oznaczeń dla sekcji 3 przedstawia rysunek 2. Odwierty rdzeniowe docięto do odpowiednich wymiarów oraz przygotowano ich powierzchnie do oznaczenia wytrzymałości na ściskanie zgodnie z PN-EN 12504-1. Z rdzeni 1, 5, 6, 8, 10, 13, które miały dostateczne długości przygotowano po dwie próbki o wysokości 100 mm, gdzie oznaczenie: wew (D) – opisuje próbkę od strony wnętrza obudowy kolektora, zew (G) – opisuje próbkę od strony zewnętrznej obudowy kolektora. Z pozostałych przygotowano po jednej próbce do tego badania. W przypadku próbek 7 i 9 przygotowano także próbki z cegły klinkierowej stanowiącej kinetę kanału i oznaczono je jako „klinkier”.

Na podstawie uzyskanych wyników  $f_{ck, is}$  z górnej części kolektora (z wyłączeniem wyników zaznaczonych pogrubieniem w tabeli 1) określono dla poszczególnych sekcji klasę wytrzymałości betonu na ściskanie zgodnie z PN-EN 13791.

#### 4. Badania właściwości fizycznych i analizy chemiczne

Dodatkowo dla próbek 4, 6, 11, 14 wycięto krążki o grubości 1 cm na wysokości 2 i 5 cm od powierzchni zewnętrznej (oznaczone 4-2; 4-5; 6-2; 6-5 itd.) w celu przygotowania sproszkowanych próbek do szczegółowych badań chemicznych i fizycznych: pH, zawartości chlorków i siarczanów oraz gęstości ( $\rho$ ) i gęstości objętościowej ( $\rho_{obj}$ ) w celu obliczenia szczelności (S) i porowatości (P). Dobór metod badawczych przeprowadzono z uwzględnieniem norm i literatury [3].

Pomiary pH roztworu odwzorowującego ciecz porową betonu przeprowadzono pH-metrem, który mierzy różnicę potencjału pomiędzy elektrodą wskaźnikową (szklaną) zanurzoną w roztworze badanym i elektrodą porównawczą (o stałym i znanym potencjale) zanurzoną w roztworze wzorcowym o znanym pH. Z rozdrobnionego betonu do cząstek średnicy około 0,2 mm sporządzono modelowe roztwory odwzorowujące ciecz porową. Wykonano je jako wyciąg wodny, który uzyskuje się mieszając rozdrobniony beton z wodą destylowaną w proporcjach 1:1. Po 24 godzinach tęgowania odsączono

**Tabela 1.** Szczegółowe wyniki pomiarów wytrzymałości na ściskanie i ocena klasy wytrzymałości

| Rdzeń           | Położenie | Próbka | Oznaczenie | $f_c$ [MPa] | Ocena klasy wytrzymałości i zdjęcia wybranych próbek  |   |
|-----------------|-----------|--------|------------|-------------|---|---|
| <b>Sekcja 1</b> |           |        |            |             |   |   |
| 1               | 295P      | 1      | wew (D)    | 48,50       | liczba próbek $n = 11$ ,<br>wartość zmiennej $k = 5$<br>$f_{m(n),is} = 45,1$ MPa;<br>$f_{ic,lowest} = 33,9$ MPa;<br>$f_{ck,is,min} = 37,9$ MPa<br>klasa wytrzymałości na ściskanie<br>wg PN-EN 206<br><b>C30/37</b> |   |
|                 |           | 2      | zew (G)    | 44,41       |   |   |
| 2               | 372P      | 1      | -          | 37,79       |   |   |
| 3               | 270L      | 1      | -          | 33,94       |   |   |
| 4               | 346L      | 1      | -          | 44,94       |   |   |
| 5               | 156P      | 1      | wew (D)    | 44,30       |   |   |
|                 |           | 2      | zew (G)    | 51,57       |   |   |
| 6               | 150P      | 1      | wew (D)    | 54,48       |   |   |
|                 |           | 2      | zew (G)    | 53,63       |   |   |
| 7               | 85P       | 1      | klinkier   | 55,34       |   |   |
|                 |           | 2      | zew (G)    | 8,42        |   |   |
| 8               | 150L      | 1      | wew (D)    | 44,71       |   |   |
|                 |           | 2      | zew (G)    | 37,54       |   |   |
| 9               | 77L       | 1      | klinkier   | 31,80       |   |   |
|                 |           | 2      | zew (G)    | 10,07       |   |   |
| <b>Sekcja 2</b> |           |        |            |             |   |   |
| 10              | 330P      | 1      | wew (D)    | 54,59       | liczba próbek $n = 6$ ,<br>wartość zmiennej $k = 7$<br>$f_{m(n),is} = 51,5$ MPa;<br>$f_{ic,lowest} = 46,0$ MPa;<br>$f_{ck,is,min} = 44,5$ MPa<br>klasa wytrzymałości na ściskanie<br>wg PN-EN 206<br><b>C40/50</b>  |   |
|                 |           | 2      | zew (G)    | 45,98       |   |   |
| 11              | 265P      | 1      | -          | 56,37       |   |   |
| 12              | 330L      | 1      | -          | 57,50       |   |   |
| 13              | 250L      | 1      | wew (D)    | 47,62       |   |   |
|                 |           | 2      | zew (G)    | 46,68       |   |   |
| 14              | 107L      | 1      | -          | 0,96        |   |   |
| 15              | 73L       | 1      | -          | 2,30        |   |   |
| <b>Sekcja 3</b> |           |        |            |             |   |   |
| 16              | 215L      | 1      | -          | 47,65       |   | liczba próbek $n = 6$ , wartość zmiennej $k = 7$<br>$f_{m(n),is} = 40,0$ MPa; $f_{ic,lowest} = 28,8$ MPa; $f_{ck,is,min} = 32,8$ MPa<br>klasa wytrzymałości na ściskanie wg PN-EN 206 – <b>C30/37</b> |
| 17              | 150L      | 1      | -          | 35,61       |   |   |
| 18              | 205P      | 1      | -          | 51,18       |   |   |
| 19              | 140P      | 1      | -          | 28,81       |   |   |



rdzeń 7



rdzeń 9



rdzeń 14

fazę stałą. Pozostała faza ciekła w przybliżeniu odwzorowuje ciecz zawartą w porach betonu.

Oznaczenie zawartości siarczanu w próbkach betonowych wykonano zgodnie z normą PN-EN 196-2. Zawartość siarczanu wyrażono jako zawartość jonów siarczanowych (VI) ( $SO_4^{2-}$ ) oraz w przeliczeniu na tritlenek siarki ( $SO_3$ ) w stosunku do masy betonu i cementu, przyjmując do obliczeń zawartość cementu w betonie wynoszącą 14% masy.

Dla rdzeni 6 i 14 przygotowano także po dwie próbki analityczne do oznaczenia porowatości na podstawie pomiarów gęstości objętościowej i gęstości (właściwej). Próbki powstały z odcięcia z rdzeni krążków o grubości 1 cm na głębokości 2 i 5 cm – jest to zatem beton z głębokości 2,5–4,5 cm. Gęstość objętościową wyznaczono na podstawie pomiaru masy próbek wysuszonych do stałej masy i pomiaru objętości metoda hydrostatyczną. Gęstość (właściwą) wyznaczono na podstawie pomiaru w kolbie Le'Chatelier'a.

Szczegółowe wyniki badań cech fizycznych i analiz chemicznych przedstawiono w tabeli 2. Wyniki oznaczenia pH są zbieżne z wcześniejszymi wynikami testu

chemicznego tzw. Rainbow-test, kiedy to wierzchnia warstwa o grubości do ok. 3-5 mm barwiła się na kolor pomarańczowy (pH 7), głębiej znajdowała się warstwa do ok. 5 mm o zabarwieniu zielonym (pH 9), a pozostała grubość barwiła się na kolor fioletowy (pH 11). Wynikało z nich, że warstwa skarbonatyzowanego betonu wynosiła do 5 mm.

Wartość pH dla próbek z głębokości 2 i 5 cm wynoszą powyżej 11,5 dla próbki 14 oraz powyżej 13,3 dla pozostałych próbek. Świadczy to o nieco większej karbonatacji próbki 14 pobranej z tzw. „strefy pływów”. Jednakże nadal wartość ta jest stosunkowo wysoka. Próbka ta miała także większą porowatość. Z kolei zawartość jonów chlorkowych w próbkach 14-2 i 14-5 przekraczała dopuszczalną wartość dla klasy C1 0,40 (0,4% w stosunku do masy cementu), czyli mniej rygorystycznej dla betonu ze zbrojeniem stalowym lub z innymi elementami metalowymi wg PN EN 206. Jest to jednak wartość poniżej 1%, czyli wymagań klasy C1 1,00 dla betonu bez zbrojenia stalowego lub innych elementów metalowych. Należy więc uznać, że chlorki nie są główną przyczyną destrukcji betonu w w tym przypadku. Jako

**Tabela 2.** Szczegółowe wyniki badań cech fizycznych i analiz chemicznych

| Ozn. | Masa, g | Cl <sup>-</sup> %m <sub>próbk</sub> | Cl <sup>-</sup> %m <sub>cem</sub> * | pH    | SO <sub>3</sub> %m <sub>bet</sub> | SO <sub>3</sub> %m <sub>cem</sub> * | SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> %m <sub>bet</sub> | SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> %m <sub>cem</sub> * | ρ <sub>obj</sub> g/cm <sup>3</sup> | ρ g/cm <sup>3</sup> | S %  | P %  |
|------|---------|-------------------------------------|-------------------------------------|-------|-----------------------------------|-------------------------------------|---|---|------------------------------------|---------------------|------|------|
| 4-2  | 4,98    | 0,01                                | 0,08                                | 13,32 | 0,67                              | 4,8                                 | 0,81  | 5,8   | -                                  | -                   | -    | -    |
| 4-5  | 4,92    | 0,01                                | 0,08                                | 13,38 | 0,95                              | 6,8                                 | 1,14  | 8,1   | -                                  | -                   | -    | -    |
| 6-2  | 5,16    | 0,02                                | 0,12                                | 13,34 | 0,64                              | 4,6                                 | 0,77  | 5,5   | 2,14                               | 2,42                | 88,3 | 11,7 |
| 6-5  | 4,97    | 0,01                                | 0,10                                | 13,37 | 0,62                              | 4,4                                 | 0,74  | 5,3   | 2,14                               | 2,41                | 89,0 | 11,0 |
| 11-2 | 5,20    | 0,01                                | 0,07                                | 13,36 | 0,52                              | 3,7                                 | 0,62  | 4,5   | -                                  | -                   | -    | -    |
| 11-5 | 4,97    | 0,01                                | 0,10                                | 13,37 | 1,07                              | 7,7                                 | 1,29  | 9,2   | -                                  | -                   | -    | -    |
| 14-2 | 4,92    | 0,09                                | 0,64                                | 11,51 | 0,78                              | 5,6                                 | 0,93  | 6,7   | 1,78                               | 2,56                | 69,6 | 30,4 |
| 14-5 | 4,99    | 0,06                                | 0,43                                | 11,63 | 0,87                              | 6,2                                 | 1,05  | 7,5   | 1,74                               | 2,55                | 68,1 | 31,9 |

\* Zawartość chlorków i siarczanów w stosunku do masy cementu oszacowano przyjmując do obliczeń zawartość cementu w betonie wynoszącą 14% masy [5]

dopuszczalną zawartość siarczanów SO<sub>4</sub><sup>2-</sup> można przyjmując wartość 0,5% [4]. Większa ilość siarczanów stanowi zagrożenie dla stali i w betonie może powodować korozję siarczanową. Zmierzona zawartość siarczanów we wszystkich próbkach pobranych z rdzeni na głębokościach 2 i 5 cm wskazuje na postępującą korozję siarczanową betonu. W niektórych przypadkach wartość graniczna jest przekroczona nawet 2–2,5 krotnie.

## 5. Podsumowanie

Na podstawie przeprowadzonych badań i przeprowadzonych oznaczeń na próbkach pobranych z kolektora ściekowego można go podzielić z uwagi na jakość betonu na dwie części o następujących charakterystykach:

- w dolnej części (mniej więcej do wysokości kinety klinkierowej) znajduje się beton drobnoziarnisty słabej jakości (wytrzymałość poniżej 10MPa w sekcji 1 i zaledwie kilka MPa w sekcji 2, porowatość ponad 30%, niskie pH < 11,5, zawartość Cl<sup>-</sup> > 0,4% masy cementu, zawartość SO<sub>4</sub><sup>2-</sup> ok. 1% masy betonu;

- w górnej części beton jest dużo lepszej jakości (wytrzymałość powyżej 25–30MPa, klasa wytrzymałości min. C30/37, porowatość ok. 10%, wysokie pH > 13,3, zawartość Cl<sup>-</sup> < 0,2% masy cementu, zawartość SO<sub>4</sub><sup>2-</sup> ok. 1% masy betonu).

Mając na uwadze powyższe, należy stwierdzić, że beton w dolnej części kolektora jest niedostatecznej jakości i należy bezwzględnie rozważyć jego całkowitą wymianę podczas planowanych prac remontowych/adaptacyjnych kolektora.

Artykuł powstał w ramach pracy statutowej Wydziału Inżynierii Lądowej Politechniki Warszawskiej na rok 2016.

### BIBLIOGRAFIA

- [1] Czarniecki L., Piotrowski T., Oddziaływania środowiskowe na żelbetowe pale fundamentowe, Inżynieria i Budownictwo, 7, 2010, 351–355
- [2] Czarniecki L., Chemia w budownictwie, Arkady Warszawa 2006
- [3] Zybura A., Jasniok M., Jasniok T., Diagnostyka konstrukcji żelbetowych: Badania korozji zbrojenia i właściwości ochronnych betonu, PWN, Warszawa 2011
- [4] Owsiak Z., Ocena stanu betonu w elementach wiaduktu drogowego, Przegląd Budowlany 5, 2007, 24–27
- [5] Zych T., Trwałość współczesnego betonu w ujęciu norm europejskich, CzT Architektura 108 2A/2, 2011, 317–326

# TYLKO!

## Najlepsi w branży budowlanej

www.homezone.pl

Patroni medialni:

Weranda PRZEGLĄD budowlany

GAZETA MIESZKANIOWA

budnet.pl portal budownictwa

obud.pl

budowa.org Portal branży budowlanej

budownictwo.org Portal branży budowlanej