



Mgr inż. Piotr WANECKI, p.wanecki@bbr.pl
BBR Polska Sp. z o.o.

WYMIANA SYSTEMU SPRĘŻENIA W ZBIORNIKU WODY PITNEJ

REPLACEMENT OF POST-TENSIONING SYSTEM IN DRINKABLE WATER TANK

Streszczenie Latem 2006 r. Miejskie Przedsiębiorstwo Wodociągów i Kanalizacji w Warszawie ogłosiło przetarg na wymianę systemu sprężenia i instalację systemu kontroli sił sprężających w zbiorniku wody pitnej. Inwestycja miała usunąć niebezpieczeństwo awarii, spowodowanej niespodziewanym zerwaniem istniejących w zbiorniku, mocno skorodowanych kabli sprężających. Zakres zleconych prac obejmował opracowanie dokumentacji projektowej i wykonanie robót. Kontrakt zrealizowała firma ASIS Sp. z o.o., współpracując z firmą BBR Polska Sp. z o.o. W projekcie zastosowano kable sprężające o wysokim stopniu ochrony antykorozyjnej, wyposażone w czujniki siły sprężającej. Artykuł przybliży konstrukcję tych kabli.

Abstract During the summer 2006, the Municipal Water Supply and Sewerage Enterprise from Warsaw issued a competition for replacing post-tensioning system and installing a stressing forces monitoring system in drinkable water tank. The project was launched to omit danger of disaster, caused by unexpected cracking of existing, strongly corroded stressing tendons. Scope of ordered works covered designing and execution. The company ASIS ltd. won the contract and did the job in collaboration with BBR Polska ltd., using highly protected against corrosion post-tensioning tendons, equipped with stressing force sensors. The paper glossed construction details of the tendons.

1. Wstęp

W sierpniu 2006 Miejskie Przedsiębiorstwo Wodociągów i Kanalizacji w Warszawie ogłosiło przetarg na wykonanie wymiany systemu sprężenia oraz instalację systemu monitoringu sprężenia w zbiorniku wody czystej, który znajduje się na terenie Zakładu Wodociągu Praskiego przedsiębiorstwa. Przyczyną ogłoszenia przetargu był zły stan techniczny kabli sprężających wbudowanych w konstrukcję.

Przetarg wygrała firma ASIS Sp. z o.o., która zrealizowała kontrakt wspólnie z BBR Polska Sp. z o.o. Roboty zakończono w grudniu 2006.

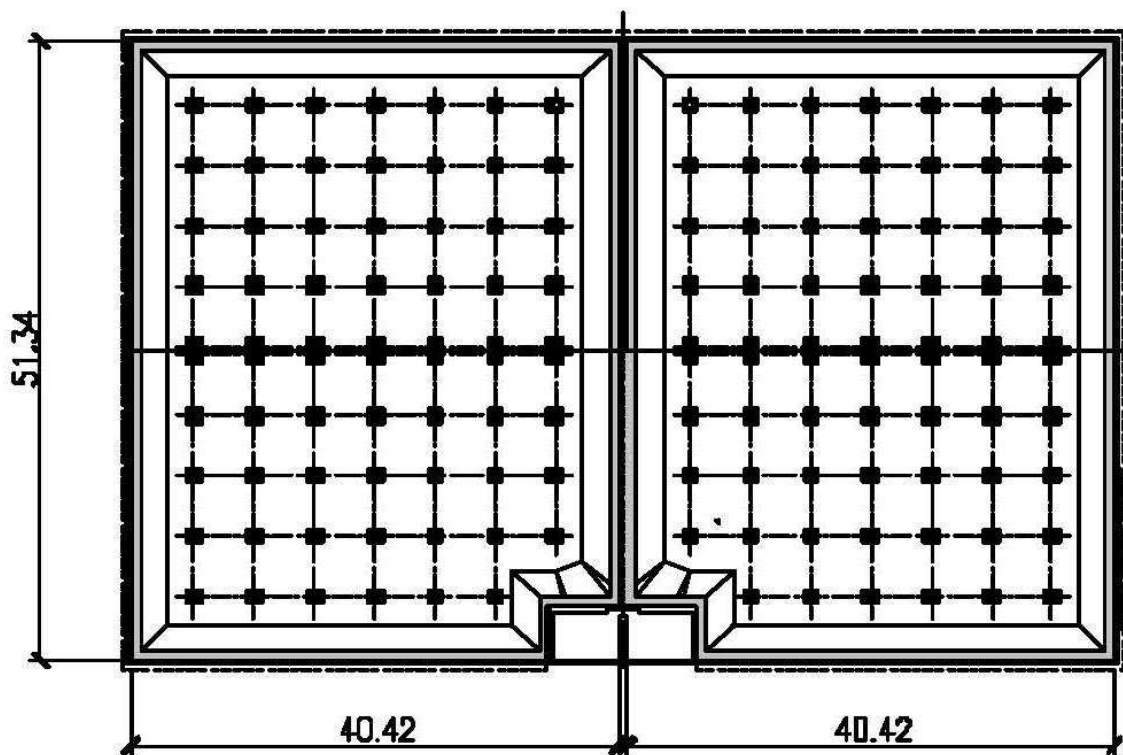
2. Opis techniczny zbiornika

Zbiornik został zaprojektowany na przełomie lat 1960 i 1961, a wybudowany w połowie lat sześćdziesiątych. Projekt powstał w warszawskim Biurze Projektów Budownictwa Komunalnego „Stolica”.

Zbiornik jest prostokątny, ma dwie symetryczne komory o wymiarach 40.4 x 51.3 m. Jego dno jest zagłębione na 2.5 m poniżej poziomu terenu, a korona w szczycie wznosi się na 5.5 m powyżej niego. Może być wypełniony wodą do poziomu 6.3 m powyżej dna.

Komory zbiornika są przekryte dachem z płyt panwiowych. Konstrukcja dachu wspiera się na ścianach i na słupach wzniesionych wewnątrz komór. Rzut i przekrój podłużny zbiornika przedstawiono na rys.1 i rys 2. Dno zbiornika i jego ściany są monolityczną konstrukcją z betonu zbrojonego. Słupy i konstrukcja dachu są także żelbetowe, lecz prefabrykowane. W górnej części ścian, na poziomie 6.7 m powyżej dna, zainstalowano (co 5 m w planie) zakotwienia zewnętrznych cięgien sprężających. Cięgna te, biegnąc w otwartej przestrzeni nad dnem zbiornika prostopadle do ścian, spinają przeciwległe brzegi komór. Stanowią rodzaj wstępnie napiętych ściągnięć. Zgodnie z projektem, wykonano je z prostych drutów o średnicy 5 mm i naciągnięto siłą 300 kN - w przypadku cięgien o długości 51.3 m - oraz 125 kN - w przypadku cięgien o długości 40.4 m.

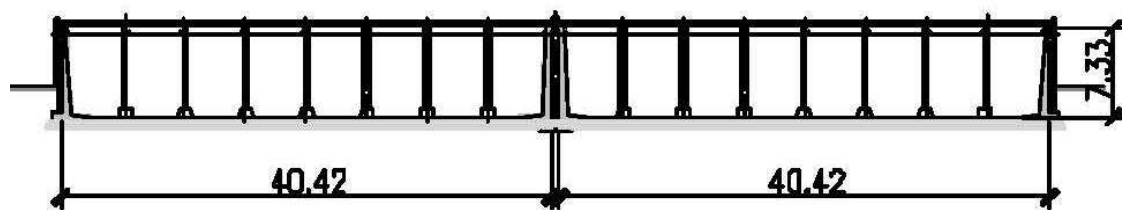
Zaprojektowane cięgna okazały się być niewystarczająco odporne na korozję, która, w agresywnej atmosferze nad zwierciadłem chlorowanej wody, przebiegała szybciej, niż się spodziewano. Dlatego też w latach od 1972 do 2003 niektóre kable (14 sztuk) wymieniono na pręty ze stali 18G2. Doprowadziło to do stanu, w którym układ sił w powłoce zbiornika był poza wszelką kontrolą, a warunki pracy konstrukcji były trudne do określenia. Skłoniło to MPWiK do radykalnej wymiany wszystkich kabli sprężających i wyposażenia budowli w system czujników, który pozwala na kontrolować siły w kablach w dowolnym momencie.



Rys.1 Rzut zbiornika

3. Założenia projektowe

Podstawowym celem remontu było usunięcie niebezpieczeństwa niespodziewanej i groźnej w skutkach awarii, spowodowanej zerwaniem skorodowanych cięgien sprężających. Dalej - doprowadzenie konstrukcji zbiornika do stanu, który można kontrolować, oraz maksymalne wydłużenie okresu bezobsługowej pracy kabli sprężających.



Rys.2 Przekrój podłużny

Do opracowania projektu remontu przystąpiono bez wiedzy na temat zbrojenia ścian zbiornika. Nie znano również oryginalnych obliczeń statycznych ani rysunków konstrukcyjnych. Dokumentacja zbiornika była fragmentaryczna i pochodziła z różnych opracowań. Nie były znane dokładne wymiary konstrukcji we wnętrzu komór.

Wobec powyższego cały projekt, a szczególnie obliczenia sprawdzające bezpieczeństwo zbiornika, (ich wykonanie było konieczne przy zleconym zakresie prac), oparto na domysłach. Przyjęto, że konstrukcja jest wykonana z betonu klasy B 25 i zbrojona stalą gatunku ST0S. Założono, że przy wewnętrznej powierzchni ściany wbudowano pręty $\varnothing 32$ mm co 25.0 cm, a przy zewnętrznej $\varnothing 18$ mm co 12.5 cm. Przyjęte założenia zweryfikowano później, w trakcie remontu, wykonując odkrywki zbrojenia i sklerometryczne badania betonu.

Obliczenia statyczne i sprawdzenie bezpieczeństwa zbiornika przeprowadzono wykorzystując aktualne Polskie Normy:

- PN-82/B-02001 Obciążenia budowli. Obciążenia stałe.
- PN-82/B-02003 Obciążenia budowli. Obciążenia zmienne technologiczne. Podstawowe obciążenia technologiczne i montażowe.
- PN-B-03264:2002 Konstrukcje betonowe, żelbetowe i sprężone. Projektowanie.

Wstępnie przyjęto, że nowe kable sprężające zostaną wbudowane w miejscu zdemontowanych, starych, a siły naciągu będą odpowiadały siłom przewidzianym w pierwotnym projekcie zbiornika.

4. Konstrukcja kabli

W projekcie wymiany kabli sprężających położono szczególny nacisk na trwałość przyszłego rozwiązania, wzięto przy tym pod uwagę fakt, że kable będą się znajdowały w atmosferze oparów silnie chlorowanej wody pitnej. Uwzględniono wymagania higieniczne (wszystkie elementy kabli, które mogą mieć kontakt z wodą, mają atesty Państwowego Zakładu Higieny), przewidziano możliwość pomiaru siły sprężającej w dowolnej chwili eksploatacji zbiornika oraz zaprojektowano możliwość kontroli stanu osłony antykorozyjnej kabli, bez potrzeby wchodzenia do wnętrza zbiornika.

Aktualnie w budownictwie stosuje się trzy poziomy zabezpieczeń antykorozyjnych kabli, które można opisać następująco [1]:

- PL1 (Protection Level 1, poziom zabezpieczenia 1)
- PL2 (Protection Level 2, poziom zabezpieczenia 2)
- PL3 (Protection Level 3, poziom zabezpieczenia 3)

Kable zabezpieczone zgodnie z wymaganiami pierwszego poziomu zabezpieczeń są chronione osłonką o wystarczającej odporności mechanicznej, która nie reaguje chemicznie z betonem, ze stalą sprężającą ani z materiałem iniekcyjnym. Materiał iniekcyjny w takich kablach jest chemicznie stabilny i trudno reaguje ze stalą sprężającą, a iniekt szczelnie

wypełnia kanał kablowy. Przykładem może tu być kabel sprężający ze splotów pozbawionych dodatkowych zabezpieczeń antykorozyjnych, które są poprowadzone w osłonce z karbowanej blachy stalowej, starannie wypełnionej zaczynem cementowym [1].

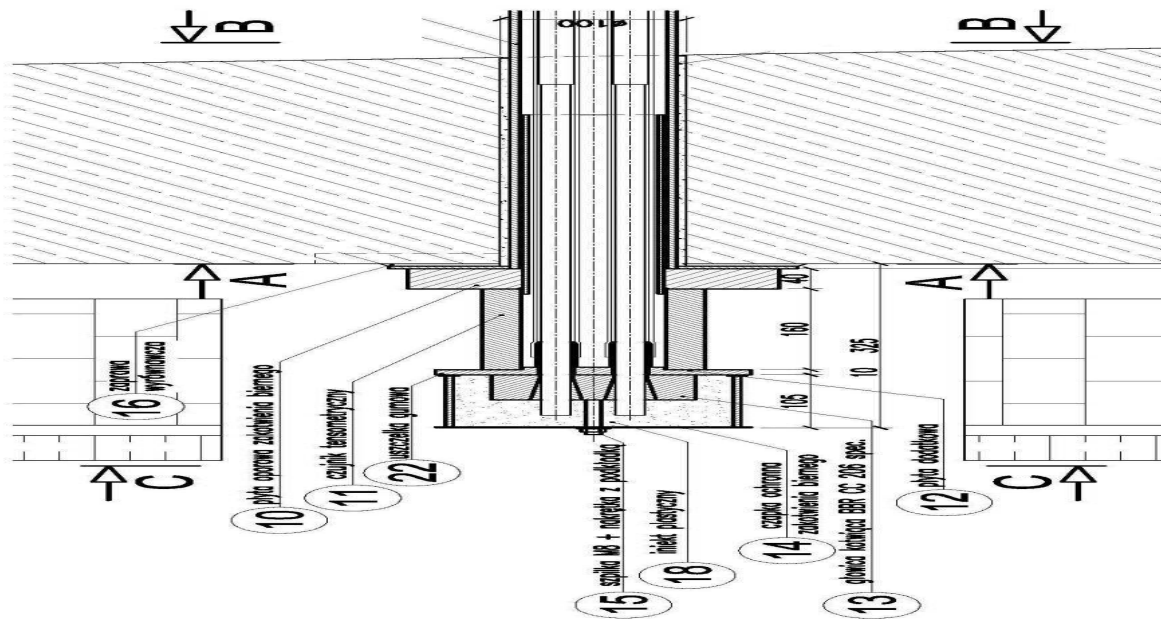
Kable zabezpieczone w sposób odpowiadający drugiemu poziomowi zabezpieczeń przez cały okres eksploatacji mają osłonki całkowicie szczelne; są one odporne na odkształcenia konstrukcji. Materiał osłonek jest chemicznie stabilny, nie zmienia właściwości mechanicznych w eksploatacyjnym zakresie temperatur oraz nie wydziela wolnych jonów chloru. Przykładem może być kabel taki jak opisany wyżej, lecz poprowadzony w osłonce z karbowanego polietylenu [1].

W przypadku trzeciego poziomu zabezpieczeń, oprócz spełnienia wymagań stawianych dla drugiego poziomu, żąda się pełnego uszczelnienia zakotwień kabla oraz umożliwienia kontroli szczelności jego osłon w dowolnym czasie. Przykładem może być kabel izolowany elektrycznie od konstrukcji. Pomiar oporu elektrycznego pomiędzy ciągniami kabla a konstrukcją, w którą go wbudowano, umożliwia ocenę szczelności osłon – spadek oporu elektrycznego sygnalizuje nieszczelność [1].

W projekcie remontu zbiornika założono, że nowe kable będą zabezpieczone zgodnie, co najmniej, z wymaganiami PL2. Żeby to osiągnąć, zaprojektowano je tak, jak pokazano na rys. 3. Zastosowano ocynkowane sploty siedmiodrutowe, o średnicy 0.6", fabrycznie pokryte powłoką HDPE o grubości 1.8 mm. Ze względu na wymagania higieniczne wykluczono stosowanie smaru. Sploty poprowadzono w osłonach z rur HDPE, przeznaczonych zwykle do budowy instalacji wodociągowych. Żeby osłony były szczelne, wszelkie połączenia montażowe zaprojektowano jako zgrzewane. Stalową płytę oporową zakotwienia odizolowano od betonu płytą z twardego polipropylenu, zespawaną z polietylenową rurą, wklejoną w otwór wywiercony w ścianie zbiornika. Rurę tą zgrzano z osłoną kabla. Przewidziano tu zastosowanie mufy elektrooporowej. O płytę oporową oparto czujnik tensometryczny, pozwalający mierzyć siłę w kablu w dowolnej chwili. Na czujniku umieszczono głowicę kotwiącą, przykrytą stalową czapką wypełnioną plastycznym smarem. Zadbano o to, by połączenie czapki z głowicą było szczelne, przewidując zastosowanie gumowej uszczelki. Wszystkie elementy stalowe zakotwienia ocynkowano.

5. Inwentaryzacja

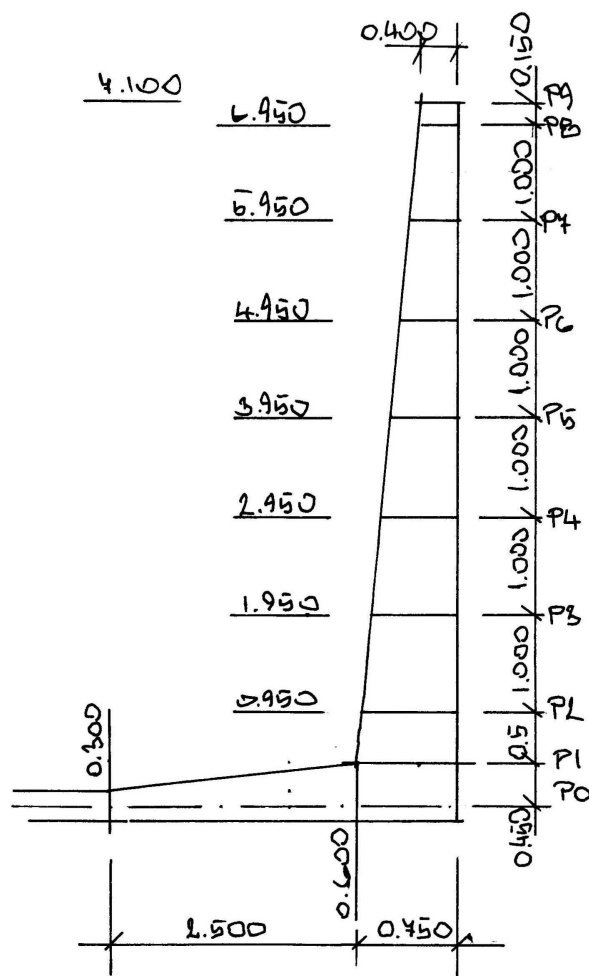
Po wejściu do zbiornika odkryto zbrojenie przyległe do wewnętrznej powierzchni ścian – pokazano je na rys. 4. Już wcześniej wykonano odkrywki za zewnątrz. Stwierdzono, że intensywność zbrojenia różni się od założonej, a ściany przy obu powierzchniach są zbrojone prętami o średnicy 16 mm w przeciętnym rozstawie co 12.5 cm. W związku z tym przeprowadzono obliczenia wykorzystując dwa modele statyczne. Wstępne obliczenia wykonano ręcznie, sprawdzając siły wewnętrzne i naprężenia w prostym wsporniku, pokazanym na rys. 5. Później obliczenia uściślono, posługując się przestrzennym modelem powłokowym MES. Wyniki, uzyskane z zastosowaniem obu modeli, w świetle rezultatów inwentaryzacji zbrojenia, wskazywały na to, że naciągnięcie kabli założonymi w pierwotnym projekcie siłami, w czasie, kiedy zbiornik jest pusty, może być niebezpieczne. Jednocześnie dowodziły, że do zbrojenia ścian użyto stali gatunku St3SX. Naprężenia powstające w zbrojeniu, powstałe pod wpływem obciążeń eksploatacyjnych, bezpiecznie mogła przenieść tylko taka stal, a zbiornik bezawaryjnie zniósł ponad trzydziestoletnią eksploatację. Rezultaty obliczeń, oprócz inwentaryzacji, stały się podstawą do rewizji założeń. Ostatecznie, metodą prób, dobrano takie siły naciągu kabli, które gwarantują normowy poziom bezpieczeństwa, tak w czasie naciągania kabli, jak i w późniejszym okresie eksploatacji.



Rys. 3 Konstrukcja głowicy kabla



Rys.4. Zbrojenie przy wewnętrznych powierzchniach ścian zbiornika



Rys. 5. Schemat statyczny do obliczeń ręcznych

6. Uwagi końcowe

Prace remontowe przeprowadzono podczas planowego opróżnienia zbiornika, rozpoczynając je bez dokładnego rozpoznania konstrukcji. Działano pod silną presją czasu, zważając na duże konsekwencje niedotrzymania terminu zakończenia robót (brak wody pitnej w Warszawie!). W okresie prowadzenia prac uzupełniono dane do projektowania i zakończono projekt. Wprowadzono do eksploatacji kable sprężające o wysokim stopniu ochrony antykorozyjnej, wyposażone w system monitoringu siły sprężającej i w system kontroli sprawności ochrony antykorozyjnej.

Literatura

1. Fuzier J., Ganz H., Matt P.: Durability of post-tensioning tendons. *Fib* recommendation, bulletin 33. Lusanne 2006