

XXV Konferencja Naukowo-Techniczna, Międzyzdroje 24-27 maja 2011

awarie budowlane 2011

ANDRZEJ KMITA, andrzej.kmita@pwr.wroc.pl ROMAN WRÓBLEWSKI, Roman.wroblewski@pwr.wroc.pl Instytut Budownictwa Politechniki Wrocławskiej

ANALIZA PRZYCZYN USZKODZENIA ŻELBETOWEGO KOLEKTORA REALIZOWANEGO TECHNIKĄ MIKROTUNELINGU

CAUSES OF DAMAGE ANALYSIS IN A PIPELINE CONSTRUCTED WITH USE OF MICROTUNNELING TECHNIQUE

Streszczenie Żelbetowy kolektor o średnicy wewnętrznej DN 2000 mm realizowany na terenie Górnego Śląska uległ uszkodzeniu w obszarach styku prefabrykatów. W tych obszarach doszło również do rozszczelnienia kolektora. Uszkodzenia były na tyle istotne, że uniemożliwiły eksploatację omawianego odcinka kolektora. W pracy przedstawiono analizę przyczyn wystąpienia uszkodzeń o takim charakterze. Wykazano, że jedną z głównych przyczyn były błędy realizacyjne związane z brakiem dostatecznego rozeznania warunków gruntowych.

Abstract Reinforced concrete pipeline of internal diameter DN 2000 mm was constructed in the area of Upper Silesia. It was damged in areas of contact of prefabricated pipes. In this areas the pipeline lost its tightness. The damges were so extensive that a certain part of the pipeline was not operated. Analysis of causes of such damages is presented in this paper. It is demonstrated that one of the major causes of the damage is construction error conected with not satisfactory soil examination results.

1. Wprowadzenie

Kolektory żelbetowe realizowane techniką mikrotunelingu to rozwiązanie techniczne często stosowane w warunkach zwartej infrastruktury. Umożliwia ono przejście kolektora o średnicy wewnętrznej nawet do 3000 mm. Zaletą tej metody jest dosyć szybki proces realizacji przy stosunkowo małym placu budowy. Kolektory realizowane tą techniką mogą być zakrzywiane w planie. Promień krzywizny warunkowany jest długością elementu i wartością maksymalnego kąta załamania linii trasy na styku dwóch sąsiednich elementów.

W referacie przedstawiono przykład realizacji odcinka kolektora o średnicy wewnętrznej DN 2000 mm wykonanego z elementów żelbetowych o długości roboczej 3,00 m. Długość realizowanego odcinka wynosiła ~280 m. Realizacja była zlokalizowana obszarze Górnego Śląska. Kolektor przechodził pod hałdą o wysokości 12 m, maksymalna głębokość posadowienia wynosiła około 25 m.

2. Konstrukcja kolektora

Podstawowymi elementami konstrukcyjnymi kolektora są prefabrykowane rury żelbetowe o średnicy wewnętrznej DN 2000 mm i grubości ścianki 200 mm. Na rys. 1, 2 pokazano ich przekrój poprzeczny i podłużny. Na rys. 3 przedstawiono fragment niwelety realizowanego kolektora. Zgodnie z wymogami normowymi [1] elementy prefabrykowane zostały wykona-

ne z betonu C40/50, zbrojenie główne rur stanowi stal St3-b-500 o średnicy 8 mm i rozstawie około 50 mm (wewnętrzne) i 100 mm (zewnętrzne). Kołnierz rury stanowi stalowy pierścień o grubości 10 mm i długości około 150 mm.

Do realizacji zadania zakupiono elementy o najuboższej wersji uszczelnienia, czyli uszczelce zakładanej na bosą część rury bez specjalnego wyprofilowania. Jako przekładki pomiędzy rurami zastosowano płytę wiórową o grubości około 19 mm.



Rys. 1. Fragment przekroju poprzecznego rury z widocznym zbrojeniem





Rys. 3. Fragment niwelety kolektora na uszkodzonym odcinku

3. Uszkodzenia i deformacje kolektora

Uszkodzenia kolektora można podzielić na dwie grupy. Pierwsza wiąże się bezpośrednio z uszkodzeniami w obszarze styku prefabrykatów, druga grupa nie dotyczy natomiast bezpośrednio żelbetowych rur prefabrykowanych, ale uszczelnienia kolektora jako całości.

Na rys. 4 i 5 przedstawiono typowe uszkodzenia betonu rur od strony wewnętrznej w obszarze styku. Widoczne jest uszkodzenie otuliny, zarysowanie, a w kilu miejscach deformacja odsłoniętego zbrojenia. Zasięg uszkodzeń, mimo że jest niewielki w stosunku do całego elementu, występuje w obszarze newralgicznym kolektora (szczególnie w fazie realizacji). Maksymalny zasięg stwierdzonych uszkodzeń nie przekracza 50 cm (licząc od czoła rury w kierunku kielicha). Biorąc pod uwagę transportowane kolektorem media ten rodzaj uszkodzeń może stać się ogniskiem korozji i poważniejszych uszkodzeń.



Rys. 4. Uszkodzenia rur w obszarze styków – odspojenie otuliny i deformacja odsłoniętego zbrojenia



Rys. 5. Uszkodzenia rur w obszarze styków - zarysowanie inicjowane w styku rur



Rys. 6. Uszkodzenia uszczelek – wepchnięte uszczelki: zewnętrzna i wewnętrzna

Druga grupa uszkodzeń to rozszczelnienie kolektora w kilkunastu miejscach. Jak przedstawiono to na rys. 6 uszczelki zewnętrzne zapewniające szczelność kolektora jako całości zostały wepchnięte do wewnątrz (lewa fotografia), a w kilku miejscach pozostały po nich tylko fragmenty (prawa fotografia).

4. Analiza przyczyn uszkodzenia kolektora

Na podstawie przeprowadzonych oględzin obiektu, pomierzonych rozwartości styków, charakterystyki zinwentaryzowanych uszkodzeń oraz informacji uzyskanych odnośnie procesu realizacji stwierdzono, że podstawowe przyczyny wyżej wymienionych uszkodzeń są związane z realizacją kolektora po trasie zakrzywionej w planie i lokalnym uskoku w gruncie.

W systemie mikrotunelingu istnieje możliwość realizacji trasy kolektora po linii krzywej, a promień krzywizny jest ograniczony parametrami rur w styku. Bardzo istotnym elementem przy realizacji trasy zakrzywionej w planie jest analiza wartości dopuszczalnej siły przepychu, która ulega redukcji wraz ze wzrostem kąta załamania na styku dwóch sąsiednich rur (rys. 7). Przy analizowanym przypadku przejście z trasy prostoliniowej do trasy, gdzie kąt załamania realizowano poza granicami na jakie pozwala styk, siła pchania powinna być zredukowana o 80÷90%. Przy przekroczeniu tej wartości w strefie lokalnego docisku doprowadzono do zarysowania a nawet lokalnego zmiażdżenia betonu.



Rys. 7. Schemat styku rur



Rys. 8. Rozkład naprężeń normalnych do powierzchni styku rur σ_z w zależności od odległość od powierzchni styku rur w kierunku podłużnym *z* (*e*-mimośród działania siły przepychającej)

Maksymalny, wynikający z geometrii rur, kąt skręcenia (kolektora) lub odchylenie w styku pomiędzy sąsiednimi rurami wynosi orientacyjnie 0,04% i zależy od grubości zastosowanej przekładki. Takie odchylenie gwarantuje brak uszkodzeń betonu i pierścienia stalowego. Nie gwarantuje ono jednakże, że przyłożona siła przeciskowa nie spowoduje zniszczenia elementu poprzez przekroczenie wytrzymałości betonu na ściskanie, gdyż maksymalna siła przeciskowa zależy od klasy betonu, grubości i deformacji przekładki oraz od średnicy zewnętrznej i wewnętrznej rury. Siłę taką dla konkretnych warunków wykonawczych określa się obliczeniowo na podstawie [5] przy założeniu, że na krawędzi ściskanej betonu naprężenia nie przekraczają $0,6 f_{ck}$. W rozpatrywanym przypadku, wg pomiarów geodezyjnych wzajemne odchylenia rur w złączach sięgały 0,1% co mogło doprowadzić do rozszczelnienia złącz rur poprzez nadmierną deformację pierścienia stalowego.

Dodatkową przyczyną takiego stanu było tu natrafienie na trasie kolektora na szyb górniczy, który spowodował lokalne wymuszone deformacje trasy kolektora jako całości. Wprowadziło to dodatkowe siły pionowe w stykach, które łącznie z lokalnym dociskiem doprowadziły do znacznych przeciążeń w ich obszarze.

Przeprowadzone obliczenia numeryczne metodą elementów skończonych wykazały, iż nawet przy umiarkowanych wartościach mimośrodu działania siły przepychającej – e, naprężenia w styku rur mogą sięgać wartości zbliżonych do wytrzymałości betonu na ściskanie (rys. 8). Podane na rys. 8 wartości mimośrodu działania siły przepychającej zmieniają się od e = 0 (osiowe ściskanie) do wartości e = 0,78 m (siła na krawędzi rdzenia przekroju). Naprężenia dla z = 0 to naprężenia w betonie na powierzchni styku (wg rys. 7). Wykresy naprężeń przedstawione na rys. 8 wykonano w miejscu występowania największych naprężeń ściskających w ściance rury.

Odrębnym problemem jest zagadnienie szczelności kolektora. Wiąże się to oczywiście z trudnymi warunkami realizacji nieprzewidzianymi w projekcie. Przede wszystkim przy tak trudnych warunkach realizacyjnych należało zastosować rury ze zintegrowaną lub wklejaną uszczelką a nie uszczelnieniem zakładanym na budowie. Przy zastosowaniu iniekcji bentonitowej doprowadzono do wciśnięcia tych uszczelek do wewnątrz kolektora (rys. 6).

5. Wnioski

Przy projektowaniu trasy kolektora w technice mikrotunelingu należy zwrócić uwagę na: 1) Uwarunkowania geotechniczne na trasie kolektora nie tylko w zakresie niezbędnym do ze-

- brania obciążeń gruntem, ale również w zakresie możliwych deformacji (np. uskoków).
 2) Przy obliczeniach wytrzymałościowych rur nie zawsze obciążenie gruntem, plus dodatkowe obciążenia zewnętrzne, decydują o warunkach realizacji obiektu. Bardzo ważnym punktem w projektowaniu kolektora, szczególnie o trasie zakrzywionej w planie jest analiza maksymalnego kąta załamania trasy na styku elementów oraz związanej z tym dopuszczalnej siły pchania.
- 3) W tak trudnych warunkach realizacji kolektora należy zweryfikować podstawowe kryterium doboru prefabrykatów jakim jest z reguły cena produktu i wybierać elementy, które ze względu na rozwiązanie styku gwarantują bezpieczne zachowanie.

Literatura

- 1. ATV_A 161 E. 1990. Structural Calculation of Driven Pipes. GFA.
- Beckmann D. et al. 2007. Co Jack A new statics method of computing and controlling pipe jacking. In Tunneling and Underground Space Technology 22. Elsevier.
- Chapmann D. N. & Jchioka Y. 1999. Prediction of jacking forces for microtunneling operations. In Trenchless Technology Research vol. 14, No. 1. Elsevier Science.
- 4. Kmita, A. & Wróblewski, R. 2006. High Perfomance Concrete in Pipes-Case studies. European Symposium on Service Life and Servicability of Concrete Structures ESCS 2006 Espoo, Finland.
- 5. PN-EN-1916. 2005. Concrete pipes and fittings unreinforced steel fibre and reinforced. Warsaw: PKN.
- 6. Scherle M. 1977. Rohrvortrieb. Sattik, Plannung, Ausfuhrung. Band 2. Wiesbaden und Berlin: Bauverlag Gmbh.
- Venckevičius, V. 2005. About the calculation of concrete elements subjected to local compression. Journal of Civil Engineering and Management International research and Achievements. Vilnius: Technika, 2005, Vol. 11, No. 3.