

ANALIZA ZASTOSOWANIA PANELI GRP DO MODERNIZACJI WIELKOŚREDNICOWYCH KOLEKTORÓW ŚCIEKOWYCH

Błażej SMOLIŃSKI*

Wydział Instalacji Budowlanych, Hydrotechniki i Inżynierii Środowiska,
Politechnika Warszawska, ul. Nowowiejska 20, 00-653 Warszawa

Streszczenie: Jednym z podstawowych zadań władz samorządowych jest zaspokajanie podstawowych potrzeb mieszkańców, w tym świadczenie usług komunalnych. W związku z trwającym wciąż dynamicznym rozwojem ośrodków miejskich, pilnym zagadnieniem jest przeprowadzenie efektywnej modernizacji sieci kanalizacyjnych w celu zapewnienia odpowiedniej przepustowości i bezproblemowej eksploatacji. W kontekście modernizacji kolektorów ściekowych na uwagę zasługuje metoda reliningu z wykorzystaniem paneli GRP, wykonywanych z kompozytu włókna szklanego i żywicy poliestrowych lub winyloestrowych. W artykule analizowano metodą modelowania numerycznego efektywność zastosowania technologii paneli GRP do modernizacji wielkośrednicowych kolektorów ściekowych, z uwzględnieniem procesu doboru wymaganej grubości ścianki paneli GRP.

Słowa kluczowe: sieci kanalizacyjne, kolektory ściekowe, GRP, modelowanie numeryczne.

1. Wprowadzenie

W ostatnich latach nastąpił w Polsce dynamiczny rozwój ośrodków miejskich. Uwarunkowania społeczno-ekonomiczne powodują nieustanny wzrost liczby mieszkańców metropolii, co nie jest obojętne dla obecnie istniejącej i eksploatowanej sanitarnej infrastruktury podziemnej (Bolt i in., 2012). Niestety rozwijając intensywnie budownictwo mieszkaniowe i komunikacyjne „zapomniano” o wyprzedzającej modernizacji sieci kanalizacyjnych, których dobry stan techniczny jest niezbędnym elementem prawidłowego funkcjonowania każdego ośrodka miejskiego (Madryas i in., 2002). Praktyka inżynierska oraz wzrastająca liczba postępowań przetargowych pokazują, że większość obecnie wykorzystywanych wielkośrednicowych kolektorów ściekowych to obiekty stare, znajdujące się w niezadowolającym lub awaryjnym stanie technicznym, wymagające pilnej modernizacji (Popielski i in., 2017). Inwestorzy oczekują od projektantów metod modernizacji gwarantujących skuteczną i szybką realizację inwestycji, przy jednoczesnej optymalizacji poniesionych kosztów. Należy także podkreślić, że budowa nowych kolektorów jest najczęściej niemożliwa z braku odpowiednich środków finansowych. Istotnym argumentem są również koszty społeczne ewentualnych prac budowlanych wynikające z lokalizacji większości obiektów wzdłuż głównych ciągów komunikacyjnych. Powyższe uwarunkowania zmuszają osoby zaangażowane w proces projektowy do poszukiwania coraz bardziej efektywnych

rozwiązań, z czego wynika obserwowany w ostatnich latach rozwój metod bezwykopowych. W kontekście modernizacji kolektorów ściekowych na uwagę zasługuje metoda reliningu z wykorzystaniem paneli GRP. Panele GRP (ang. *Glass Reinforced Plastic*), zwane też modułami, wykonywane są z kompozytu włókna szklanego i żywicy poliestrowych lub winyloestrowych. Uzyskany w ten sposób materiał charakteryzuje się niską wagą, wysokimi właściwościami wytrzymałościowymi oraz odpornością na ścieranie mechaniczne i korozję chemiczną. W zależności od uwarunkowań i wymagań technicznych, panele GRP mogą być formowane w dowolne kształty odpowiednie dla kanałów o określonych przekrojach (rys. 1).



Rys. 1. Panele GRP (www.blejkan.pl)

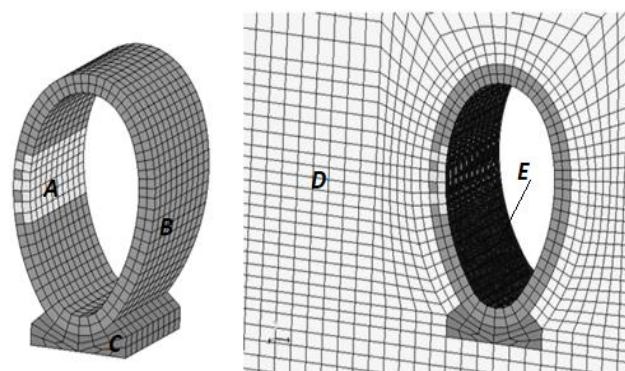
* Autor odpowiedzialny za korespondencję. E-mail: blazej.smolinski@is.pw.edu.pl

Moduły GRP wprowadza się do modernizowanego kanału najczęściej za pośrednictwem wykopów punktowych. Następnie są one ze sobą łączone w sposób zapewniający szczelność połączeń. W celu zapewnienia sztywności całego układu, przestrzeń pomiędzy panelami GRP a istniejącą ścianą kolektora wypełnia się wysoko wytrzymałościowymi masami iniekcyjnymi. W rezultacie wewnątrz starego kolektora uzyskuje się nowy kanał o niskim współczynniku szorstkości hydraulicznej i dużej przepustowości, zabezpieczony przed infiltracją wód gruntowych. Istotnym zagadnieniem projektowym dotyczącym praktycznego wykorzystania modułów GRP jest określenie wymaganej grubości ścianki panelu w kontekście spełnienia założonych dla danego kompozytu warunków wytrzymałościowych. W artykule zweryfikowano efektywność zastosowania technologii paneli GRP do modernizacji wielkośrednicowych kolektorów ściekowych, z uwzględnieniem procesu doboru wymaganej grubości ścianki panelu GRP. Zaprezentowano wygenerowane numeryczne modele obciążeniowe przykładowego obiektu oraz wybrane wyniki przeprowadzonych analiz, na podstawie których sformułowano zalecenia i wnioski końcowe.

2. Obliczenia numeryczne

Efektywność zastosowania paneli GRP przeanalizowano na przykładzie modelu hipotetycznego kolektora murowanego o przekroju jajowym podwyższonym o wymiarach 1400×800 mm (rys. 2). Analizie poddano wyłącznie kryterium odkształceniowo-przemieszczeniowe. Obliczenia wymaganej grubości ścianki panelu GRP przeprowadzono wykorzystując pakiet ZSoil (ZSOIL.PC, 2014), bazujący na Metodzie Elementów Skończonych (MES). Analizę przeprowadzono na trójwymiarowych modelach numerycznych, zdyskretyzowanych strukturalną siatką elementów skończonych. W analizie uwzględniono przemieszczeniowe warunki brzegowe zgodne z przewidywanym charakterem pracy konstrukcji. W celu odzwierciedlenia rzeczywistych stanów naprężenia i odkształcenia, a przez to rzeczywistych warunków pracy konstrukcji, w obliczeniach uwzględniono współpracę konstrukcji z ośrodkiem gruntowym (Truty i Obrzud, 2013). Zastosowano model sprężysto plastyczny z warunkiem plastyczności Coulomba-Mohra dla elementów *continuum* przyporządkowanych do ośrodka gruntowego oraz elementy powłokowe 3D *Shell* (panel GRP). Elementy konstrukcyjne obudowy kolektora zostały

zamodelowane przy pomocy dedykowanych elementów typu *continuum for structures*.



Rys. 2. Geometria modelu numerycznego analizowanego kolektora ściekowego. A – osłabione cegły, B – murowana obudowa kolektora, C – betonowa kineta, D – ośrodek gruntowy, E – panel GRP we wnętrzu kolektora

Uwzględnione w analizach parametry geotechniczne zostały wyznaczone na podstawie danych zawartych w PN-B-03020:1981 *Grunty budowlane. Posadowienie bezpośrednie budowli. Obliczenia statyczne i projektowanie*, które zmodyfikowano ze względu na możliwość występowania zjawisk sufozyjnych (Wiłun, 2000). Przyjęte w odniesieniu do obudowy kolektora wartości współczynników filtracji odzwierciedlają możliwość infiltracji wód gruntowych do wnętrza kanału wskutek wypłukania zaprawy murarskiej. Przyjęto charakterystyczną wytrzymałość obudowy kolektora $f_k = 1,5$ MPa, co odpowiada murowanemu ustrojowi konstrukcyjnemu o słabej wytrzymałości (Zarenkow, 2000). Długookresowy moduł sprężystości murowanej obudowy kolektora wyznaczono na podstawie zależności (Jarmontowicz i Sieczkowski, 2015):

$$E_{Longterm} = \frac{E}{1 + \phi} \quad (1)$$

gdzie: E jest doraźnym modułem sprężystości określanym z zależności $E = 600f_k$, ϕ jest końcowym współczynnikiem pełzania przyjętym jako 1,5.

Lokalne ubytki cegieł zamodelowano wprowadzając elementy *continuum* o obniżonej wartości modułu sprężystości. Zestawienie wszystkich parametrów materiałowych uwzględnionych w analizach numerycznych i w poszczególnych wariantach zamieszczono w tabeli 1.

Tab. 1. Zestawienie parametrów materiałowych (opracowanie własne)

Nr	Materiał	E [kPa]	ν [-]	γ [kN/m ³]	k [m/d]	ϕ [°]	c [kPa]
1	Beton	20000000	0,20	25,00	-	-	-
2	Murowana obudowa	360000	0,20	19,00	10	-	-
3	Grunt (piasek luźny)	70000	0,30	18,00	100	30	0
4	GRP	8000000	0,30	-	-	-	-
5	Oslabione cegły	1500	0,30	19,00	100	-	-

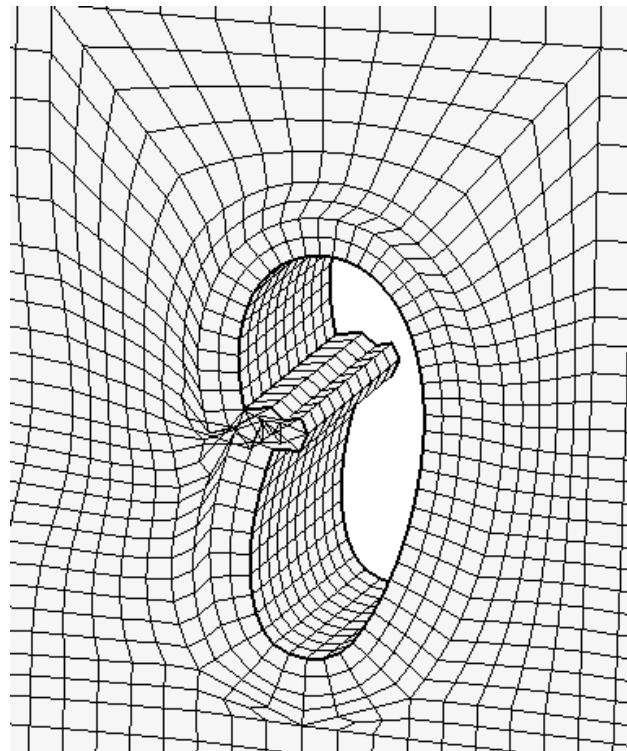
W pierwszym etapie przeanalizowano stan techniczny rozpatrywanego kolektora po długotrwałym okresie eksploatacji. Uwzględniono osłabienie parametrów materiałowych ceglanej obudowy, w tym ubytek cegieł oraz rozluźnienie gruntu w rejonie kolektora wynikające z występowania zjawisk sufozyjnych. W kolejnych etapach zasymulowano modernizację rozpatrywanego kolektora ściekowego w oparciu o technologie paneli GRP. Rozpatrzono dwie grubości ścianek paneli, to jest 5 i 10 mm. Obliczenia przeprowadzono dla analogicznych warunków gruntowych oraz parametrów materiałowych jak w pierwszym etapie. Jedyną różnicą było umieszczenie we wnętrzu kolektora dodatkowych elementów powłokowych o zadanej sztywności odpowiadającej panelom GRP.

3. Omówienie wyników

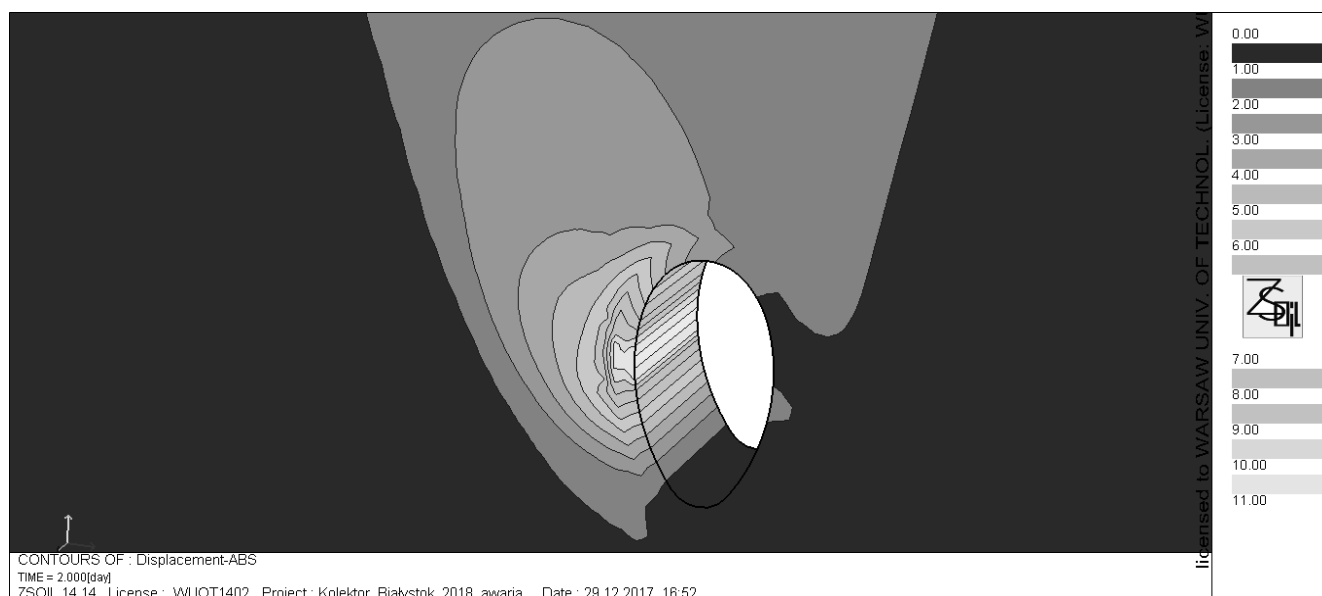
Analizując stan techniczny kolektora po długotrwałym okresie eksploatacji, na podstawie wykonanych obliczeń, zaobserwowano lokalne przemieszczenia w miejscu występowania uszkodzenia obudowy kolektora obrazowane deformacją siatki elementów skończonych (rys. 3). Wartości przemieszczeń całkowitych w rejonie symulowanej awarii wynoszą około 10 mm (rys. 4). Można przypuszczać, że wraz ze zwiększaniem zasięgu uszkodzeń (dalsza eksploatacja), wartości przemieszczeń będą również wzrastać. Sytuacja taka może prowadzić do utraty nośności konstrukcji i jej zniszczenia, z uszkodzeniem infrastruktury naziemnej włącznie (zapadlisko). W przypadku zastosowania paneli GRP o grubości ścianki 5 mm, maksymalne wartości przemieszczeń całkowitych są znacząco mniejsze w porównaniu do pierwotnego wariantu obliczeń i wynoszą w miejscu awarii około 1,5 mm (rys. 5).

Dla ścianki panelu GRP o grubości 10 mm zaobserwowano poprawę stanu technicznego kolektora

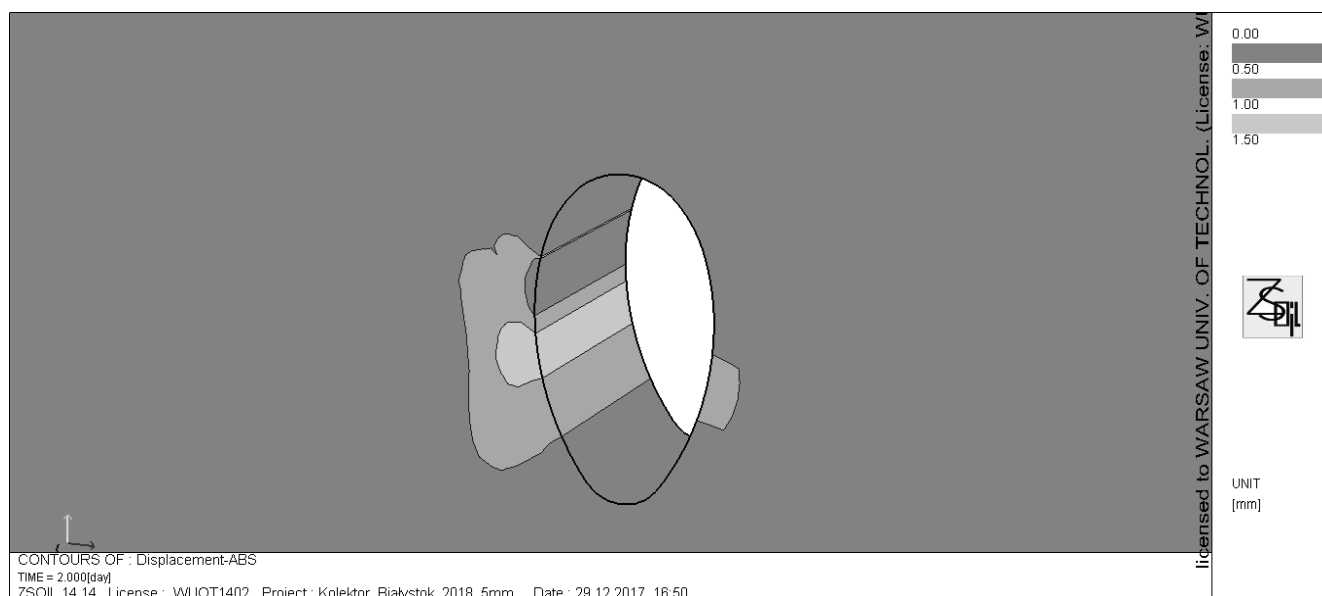
obrazowaną dalszym spadkiem wartości przemieszczeń całkowitych w miejscu uszkodzenia obudowy do poziomu około 0,9 mm. Na podstawie rozkładu izolinii przemieszczeń oraz oszacowania ich wartości (poniżej 1 mm) (rys. 6), można przypuszczać, że zastosowanie do modernizacji rozpatrywanego kolektora panelu GRP o grubości ścianki 10 mm powinno być wystarczające.



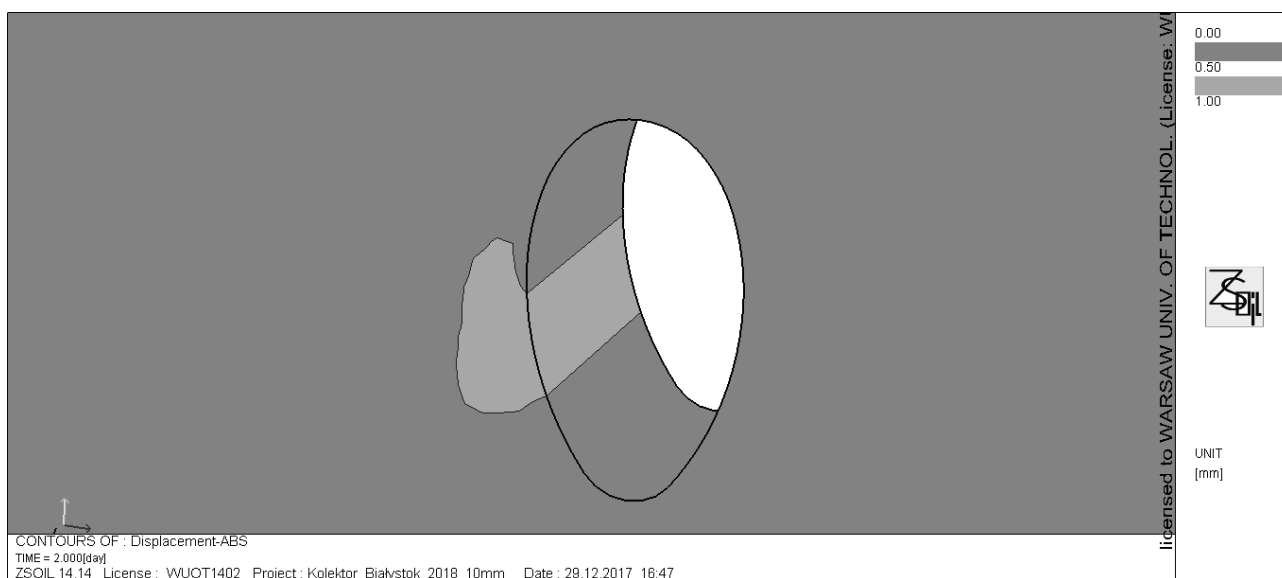
Rys. 3. Wyniki obliczeń numerycznych kolektora w stanie awaryjnym. Deformacja siatki elementów skończonych. Skażona skala rysunku



Rys. 4. Wyniki obliczeń numerycznych kolektora w stanie awaryjnym. Izolinie przemieszczeń całkowitych w mm



Rys. 5. Wyniki obliczeń numerycznych dla panelu GRP o grubości ścianki 5 mm. Izolinie przemieszczeń całkowitych w mm



Rys. 6. Wyniki obliczeń numerycznych dla panelu GRP o grubości ścianki 10 mm. Izolinie przemieszczeń całkowitych w mm

Dla analizowanego charakteru uszkodzeń murowanej obudowy kolektora, dominujące w wyznaczonych wartościach przemieszczeń całkowitych są przemieszczenia poziome. Wynikające z wartości przemieszczeń poziomych zwężenie przekroju w najbardziej niekorzystnym przypadku (stan awaryjny po długotrwałej eksploatacji) wynosi około 1,3%, co daje współczynnik bezpieczeństwa według ATV-DVWK-A127P na poziomie $\gamma = 4,7$. Spełnione są zatem wymagania określone w wytycznych ATV-DVWK-A127P, to jest $\gamma \geq 2,0$. Systematyczne powiększanie się strefy uszkodzeń w obudowie kolektora w związku z jego dalszą eksploatacją skutkowałoby jednak wzrostem wartości przemieszczeń i dalszym zwężeniem przekroju oraz spadkiem wartości współczynnika bezpieczeństwa. Stanowi to jasną przesłankę do przeprowadzenia

modernizacji kanału. Warto w tym miejscu zauważyć duży stopień skomplikowania toku obliczeniowego zawartego we wspomnianych wytycznych ATV-DVWK związany z mnogością specyficznych parametrów pośrednich oraz uproszczonym zestawem współczynników opisujących warunki gruntowo-wodne. W opinii autora zastosowanie modelowania numerycznego umożliwia znacznie wierniejsze odzwierciedlenie rzeczywistych warunków pracy analizowanej konstrukcji.

W odniesieniu do wykonanych obliczeń numerycznych trzeba podkreślić, że nie zostały w nich wzięte pod uwagę obciążenia transportowo-montażowe. Ich uwzględnienie w postaci dodatkowych współczynników bezpieczeństwa mogłoby dodatkowo wpłynąć na zwiększenie końcowej wartości grubości ścianki panelu GRP.

4. Wnioski

Na podstawie przeprowadzonych analiz i obliczeń numerycznych sformułowano następujące wnioski:

- Zastosowanie paneli GRP umożliwia skuteczną modernizację wielkośrednicowych kolektorów ściekowych poprzez poprawę nośności konstrukcji skutkującą redukcją przemieszczeń w miejscu występowania awarii. W analizowanym przypadku uzyskano redukcję przemieszczeń odpowiednio o 85% (panel o grubości 5 mm) i 91% (panel o grubości 10 mm) w stosunku do stanu odniesienia, to jest stanu awaryjnego po długotrwałej eksploatacji.
- Wpływ na dodatkowe zmniejszenie wymaganej grubości ścianki panelu GRP mógłby mieć nieuwzględniony w obliczeniach numerycznych iniekt wypełniający przestrzeń pomiędzy panelem GRP, a ścianą kolektora.
- Rzeczywista wymagana grubość ścianki panelu GRP powinna być wyznaczana przy uwzględnieniu czynników transportowo-wykonawczych, które mogą spowodować zwiększenie wymaganej grubości ścianki panelu GRP.
- Zastosowanie modelowania numerycznego w kontekście projektowania i oceny skuteczności metod modernizacji kolektorów ściekowych stanowi alternatywę dla obliczeń statyczno-wytrzymałościowych wykonywanych w oparciu o wytyczne ATV-DVWK.
- Dokładność wyników uzyskanych na podstawie obliczeń numerycznych uzależniona jest od przyjętych parametrów materiałowych. W przypadku obiektów rzeczywistych konieczne byłoby wykonanie badań wytrzymałościowych próbek pobranych z konstrukcji kolektora oraz wyznaczenie parametrów geotechnicznych gruntów na podstawie badań polowych i laboratoryjnych.
- W trakcie realizacji inwestycji zalecane jest przeprowadzenie monitoringu rzeczywistych wartości przemieszczeń panelu w trakcie jego instalacji, jak również późniejszej eksploatacji. Przeprowadzona na ich podstawie weryfikacja obliczeń numerycznych pozwoli na optymalizację przyjętych rozwiązań technicznych w przyszłości.

Literatura

- Bolt A., Burszta-Adamiak E., Gudelis-Taraszkiewicz K., Suligowski Z., Tuszyńska A. (2012). *Kanalizacja. Projektowanie, wykonanie, eksploatacja. Wydawnictwo Seidel-Przywecki.*
- Madryas C., Kolonko A., Wysocki L. (2002). *Konstrukcje przewodów kanalizacyjnych. Oficyna wydawnicza Politechniki Wrocławskiej, Wrocław.*
- Jarmontowicz R., Sieczkowski J. (2015). Odształcalność muru pod wpływem obciążeń. *Przegląd budowlany*, 7-8, 45-48.
- Popielski P., Kodura A., Smoliński B. (2017). Analysis of the technical condition of the sewage collector with the use of numerical simulation. *Technical Transactions*, Vol. 3, 139-151.
- Truty A., Obrzud R. (2013). Komputerowa analiza współdziałania konstrukcji budowlanych z Podłożem przy zastosowaniu modeli konstytutywnych gruntów kalibrowanych na podstawie wyników badań laboratoryjnych i polowych. W: *materiały XXVIII Ogólnopolskie warsztaty pracy projektanta konstrukcji*, Wiśła.
- Wiłun Z. (2000). *Zarys geotechniki. Wydawnictwa Komunikacji i Łączności*, Warszawa.
- Zarenkow W.A. (2000). *Sowriemiennyje metody technicheskoy diagnostyki stroitelnykh konstruktsii, zdaniy i sooruzheniy*, Sankt Petersburg.
- ZSOIL.PC. (2013). *Getting started. Elmepress International, Zace services Ltd.*
- ATV-DVWK_A127P: *Obliczenia statyczno-wytrzymałościowe kanałów i przewodów kanalizacyjnych.*

ANALYSIS OF THE APPLICATION OF GRP PANEL TECHNOLOGIES FOR MODERNISATION OF LARGE-DIAMETER SEWAGE COLLECTORS

Abstract: One of the basic tasks of local authorities is to provide the needs of the inhabitants, including the provision of communal services. Due to dynamic development of urban centers, it is urgent to carry out an effective modernisation of the sewerage systems to ensure their adequate capacity and effective operation. In the context of the modernisation of sewage collectors, the relining method using GRP panels made of fiberglass composite and polyester or vinyl ester resins is desirable. In the paper the effectiveness of using GRP panels technology for modernisation of large-diameter sewage collectors has been verified, taking into consideration the process of selection of required wall thickness of GRP panels. In the analyses the numerical modelling was used and co-operation of the structure with the soil has been taken into account.

Praca powstała pod opieką naukową dr hab. inż. Pawła Popielskiego, prof. PW.