

Porównanie wybranych technologii bezwykopowych w renowacji i rekonstrukcji sieci wodociągowej tranzytowej DN600

Comparison of selected trenchless technologies in renovation and reconstruction of transit water supply network DN600

WOJCIECH GORCZOWSKI, FLORIAN PIECHURSKI

DOI 10.36119/15.2021.4.5

Przedmiotem pracy jest porównanie technologii dla zadania w zakresie modernizacji stalowego wodociągu DN600. Do analizy przyjęto do porównania cztery warianty wykonania modernizacji wodociągu: I – Swagelining, II – Relining długi, III – Cementowanie oraz IV – Rękaw elastyczny. Dokonany wybór technologii dla przedmiotowego zadania, został podjęty z uwzględnieniem parametrów charakteryzujących każdą z metod: kosztów wykonania, terminu realizacji, ingerencji w otoczenie. Jako najbardziej optymalną spośród porównywanych technologii wybrano technologię zabezpieczenia wodociągu poprzez cementowanie. Technologia polega na pokryciu wewnętrznej powierzchni istniejącego wodociągu stalowego zaprawą cementową. Wybrana technologia wydaje się być najlepszą spośród porównywanych w zakresie modernizacji analizowanego wodociągu z uwagi na stan techniczny wodociągu i jego możliwości wytrzymałościowe w okresie planowanej eksploatacji. Metoda ta pozwala na osiągnięcie wszystkich z założonych celów przeprowadzenia modernizacji. Zapewnia szczelność, poprawę hydrauliki, zabezpiecza wodociąg antykorozyjnie. Jest metodą najtańszą spośród porównywanych i jednocześnie najmniej skomplikowaną. Metoda ta charakteryzuje się również najkrótszym czasem realizacji.

Słowa kluczowe: sieć wodociągowa, bezwykopowe metody naprawy, analiza kosztów modernizacji, czas trwania robót.

The aim of this work is the technology comparison for the modernization of the DN600 steel water supply. In the analysis, four variants were adopted to modernize the water supply system: I – Swagelining, II – Long relining, III – Cementing and IV – Flexible sleeve. The choice of technology was made taking into account the parameters characterizing each of the methods: execution costs, completion date, interference with the environment. The most optimal of all compared technologies, securing the water supply through cementing technology was selected. The technology is based on covering the inner surface of the existing steel water supply with cement mortar. The selected technology seems to be the best among those compared in the modernization of the analyzed water supply system due to the technical condition of the water supply and its endurance capabilities in the period of planned operation. This method allows to achieve all assumed modernization goals. It ensures tightness, improvement of hydraulics, protects the water supply against corrosion. It is the cheapest and the least complicated method. It also has the shortest implementation time.

Keywords: water supply network, trenchless repair methods, modernization cost analysis, duration of works

Wstęp

Technologie bezwykopowe pozwalają na znaczące obniżenie kosztów i nakładów prac koniecznych do wykonania modernizacji sieci wodociągowych. Metody bezwykopowe pozwalają także na skrócenie czasu trwania prac oraz ograniczenie ingerencji w otoczenie podczas wykonywanych robót budowlanych.

Dobór odpowiedniej technologii renowacji, rekonstrukcji czy odbudowy sieci wodociągowej jest bardzo istotny, ma bowiem duży wpływ na każdy z etapów in-

westycji od projektowania, poprzez budowę, aż po eksploatację sieci wodociągowej. Istnieje wiele dostępnych na rynku technologii, a każda z nich charakteryzuje się innymi parametrami. Każda z inwestycji różni się od siebie na przykład warunkami terenowymi, możliwościami technologicznymi, założeniami dla modernizowanego wodociągu etc. Dlatego nie istnieje jedna uniwersalna metoda, która byłaby najlepsza w zakresie renowacji sieci wodociągowej. Wybór technologii powinien opierać się na przeprowadzonej wcześniej analizie dla konkretnego przy-

padku oraz uwzględnić szereg czynników. Algorytm wyboru najbardziej korzystnej metody dla rozpatrywanego przypadku powinien zawierać wszystkie możliwe informacje o istniejącym obiekcie (sieci wodociągowej), jego stanie technicznym, usytuowaniu, roli jaką pełni (np. w zakresie zapewnienia wydajności – przepływu) oraz celów jakie mają zostać osiągnięte w wyniku przeprowadzonej modernizacji w tym założonego okresu planowanej eksploatacji. Nieprawidłowy dobór technologii powoduje wiele konsekwencji, takich jak na przykład bezzasadne zwiększenie

mgr inż. Wojciech Gorczowski, dr inż. Florian Piechurski, <https://orcid.org/0000-0001-8065-962X> – Katedra Inżynierii Wody i Ścieków, Wydział Inżynierii Środowiska i Energetyki, Politechnika Śląska Gliwice.
Adres do korespondencji/ Corresponding author: Florian.Piechurski@polsl.pl

kosztów inwestycji, niezapewnienie prawidłowej eksploatacji wodociągu w określonym czasie, czy też nie zapewnia odpowiednich właściwości wytrzymałościowych i hydraulicznych poddanego modernizacji wodociągu.

W pracy porównane zostaną następujące metody: Swagelining, Relining długi, Cementowanie, Rękaw elastyczny.

Przedmiot analizy

Porównano każdą z wybranych do analizy metod pod względem parametrów, jakimi one charakteryzują się. Porównania dokonano na przykładzie istniejącego wodociągu stalowego DN600. Analiza przeprowadzona została z uwzględnieniem następujących elementów, na podstawie których dokonano wyboru technologii:

- czas realizacji inwestycji,
- całkowity koszt wykonania robót budowlanych,
- ingerencja w otoczenie podczas wykonywania robót budowlanych,
- wady i zalety poszczególnych metod w zakresie technologii wykonania robót.

Na podstawie przeprowadzonej analizy porównawczej wybrano technologię, z wykorzystaniem której może zostać wykonana modernizacja analizowanego odcinka sieci wodociągowej. Dokonano wyboru najbardziej przydatnej metody dla analizowanego zadania. Analiza obejmowała cztery warianty wykonania modernizacji: I – Swagelining, II – Relining długi, III – Cementowanie, IV – Rękaw elastyczny.

Opis obiektu, trasa, charakterystyka terenu

Przedmiotem analizy pod względem wyboru najbardziej korzystnej technologii jest remont wodociągu stalowego DN 600. Całkowita długość odcinka modernizowanego w ramach tego zadania wynosi 2600 m (rys.1). Teren, na którym zlokalizowany jest wodociąg uzbrojony jest w sieci wodociągowe, kanalizacyjne, gazowe, energetyczne i telekomunikacyjne. Część wodociągu znajduje się w terenie silnie zalesionym. Na trasie wodociągu występują powierzchnie utwardzone w postaci dróg osiedlowych oraz dróg leśnych utwardzonych tłuczniem. Trasa wodociągu przebiega niestety również pod liniami kolejowymi.

Stan istniejący wodociągu

Stan techniczny modernizowanego rurociągu jest zły z uwagi na:

1. nieszczelności,
2. korozję wewnętrzną,
3. pęknięcia,

Rys. 1. Plansza orientacyjna lokalizacji wodociągu – skala 1 : 10 000 (podkład mapowy: www.geoportal.gov.pl)
Fig. 1. General chart presenting water supply location – scale 1: 10,000 (map background: www.geoportal.gov.pl)



4. występujące awarie,
5. odkładanie się osadu, nacieki.

Obecny stan techniczny wodociągu powoduje szkody generujące dodatkowe koszty eksploatacyjne dla użytkownika w postaci: konieczności usuwania awarii powstałych na sieci, strat wody (wycieki), pogorszenia właściwości hydraulicznych wodociągu (wzrost zużycia energii elektrycznej), wtórnego zanieczyszczenia wody w sieci.

Celem przeprowadzenia prac modernizacyjnych wodociągu jest zapewnienie bezawaryjnej eksploatacji, wyeliminowanie wycieków, a także poprawa warunków hydraulicznych.

Zakres robót budowlanych

W zakresie robót budowlanych, dla każdego z analizowanych wariantów modernizacji, uwzględnione zostały roboty podstawowe, do których zaliczają się roboty montażowe. W robotach podstawowych uwzględniono także wymianę armatury we wszystkich komorach technologicznych na remontowanym odcinku (przepustnice, zasowy, odpowietzniki, odwodnienia) wraz z remontem komór technologicznych (wymiana włączów, schodków żłazowych, uzupełnienie ubytków i zabezpieczenie wnętrza betonowych komór). Wymiana armatury

Fot. 1. Wykonanie renowacji w technologii Swageliningu (źródło: PW Trenchless Construction Inc.)
Pic. 1. Renovation using Swagelining technology (source: PW Trenchless Construction Inc.)



i odnowienie komór technologicznych nie były uwzględniane w analizowanym zakresie i kosztach robót. Poza podstawowymi robotami budowlanymi renowacji wodociągu przeanalizowane zostaną konieczne do wykonania prace towarzyszące, które różnią się dla poszczególnych technologii. Roboty towarzyszące mają istotny wpływ na ocenę i wybór najbardziej korzystnej technologii dla analizowanego zadania. Do robót towarzyszących należy między innymi wykonanie wykopów startowych i końcowych, które po zakończeniu prac zostaną zlikwidowane, a po wykonanych robotach montażowych w wykopach teren przywrócony zostanie do stanu pierwotnego. Z uwagi na specyfikę poszczególnych technologii, liczba oraz lokalizacja wykopów w każdym z rozpatrywanych wariantów jest inna. W zakresie prac towarzyszących uwzględnione zostaną także roboty w miejscach wykopów startowych i końcowych, takie jak: wycinka zieleni, rozbiórka i odtworzenie utwardzonych nawierzchni.

Analiza poszczególnych wariantów

Wariant I – Swagelining

W wariantcie I przyjęto wykonanie remontu wodociągu w technologii Swagelining poprzez wprowadzenie do

istniejącego przewodu stalowego DN600, rurociągu Dz560 SDR 17.

Łączna długość konieczna do wprowadzenia przewodu PE100RC Dz560 SDR17 to 2600 m. Koszty wykonania modernizacji technologią Swagelining zestawiono w tab.1.

Łączna wartość przeznaczona na wykonanie robót w tym wariancie to 6 131 880 zł. W tab. 2 przedstawiono analizę SWOT dla technologii Swagelining.

Z analizy SWOT wynika, że największym zagrożeniem dla wykonania remontu w wariancie dla technologii Swagelining

nie będzie wykonanie dodatkowych wykopów w celu rozcięcia istniejącego przewodu stalowego, a następnie zabudowania nowego przewodu PE100 RC w wykopie otwartym. Dodatkowe wykopy nieuwzględnione na etapie projektowym mogą znacząco wydłużyć czas prowadzonych robót budowlanych. Wymagają ponadto uzgodnienia z właścicielem lub zarządcą gruntu, ewentualnej zgody na wycinkę zieleni, uzgodnienia z zarządcą drogi (w przypadku kiedy wykop występuje w pasie drogowym) etc.

Największą zaletą tego rozwiązania jest niewielka redukcja przekroju przewodu.

Do wad tej technologii należy zaliczyć niską dostępność na rynku firm wykonujących remonty w technologii Swagelining. Ze względu na brak dostępności oraz poziom skomplikowania metody, charakteryzuje się ona wysokimi kosztami realizacji.

Wariant II – Relining długi

W wariacie II przyjęto wykonanie modernizacji w technologii Reliningu długiego wprowadzając do istniejącego przewodu nowy rurociąg PE 100 RC DN/OD 500 SDR 17 wraz z wypełnieniem przestrzeni międzyrurowej. Wariant zakłada, że istnieje możliwość redukcji przekroju poprzecznego przewodu, a tym samym może nastąpić spadek przepustowości wodociągu.



Fot. 2. Wykonanie renowacji w technologii Reliningu (źródło: Simona)

Pic. 2. Renovation in the Relining technology (source: Simona)

Koszty wykonania modernizacji w technologii Relingu przedstawiono w tab. 3.

Modernizacja analizowanego wodociągu w technologii Reliningu długiego kosztować będzie 4 026 300 zł. Największą kwotę stanowią roboty montażowe polegające na wciągnięciu do istniejącego przewodu, nowego przewodu PE 100 RC. Wartości robót montażowych to 3 250 000 zł. Czyszczenie rurociągu, to kwota 342 000,00 zł. Koszty przeglądu kamerą przed i po wykonanych pracach to blisko 120 000,00 zł. W tab. 4 przedstawiono analizę SWOT dla technologii Reliningu.

Z przeprowadzonej analizy SWOT wynika, że największym problemem w wariantcie II, czyli wykonania remontu

Tabela 1. Zestawienie kosztów – Swagelining
Table 1. Cost breakdown – Swagelining

| Zakres | jednostka | ilość | cena jednostkowa | suma |
|---|----------------|-------|------------------|--------------|
| Inspekcja kamerą telewizyjną CCTV wraz z dokumentacją na płycie CD – inspekcja przed robotami renowacyjnymi | m | 2600 | 22,58 | 58 708,00 |
| Czyszczenie wewnętrznej strony rurociągu stalowego o średnicy 600 mm przez mechaniczne szczotkowanie, usunięcie przerosłów, korzeni, usuwanie z kanału przeszkód t.j. stwardniały osad, narośla wody gruntowej oraz inne miejsca przewężeń – czyszczenie wstępne oraz końcowe za pomocą metody hydrodynamicznej | m | 2600 | 131,76 | 342 576,00 |
| Wykopy oraz przekopy o głęb. do 3,0 m wyk. na odkład koparkami podsiębiernymi o poj. łyżki 0,25 – 0,60 m ³ w gr. kat. III-IV – wykop pod komory rewizyjne pośrednie | m ³ | 1329 | 16,86 | 22 406,94 |
| Ażurowe umocnienie ścian wykopów wraz z rozbiórką palami szalunkowymi stalowymi (wypraskami) w gruntach suchych; wyk. o głęb. do 3,0 m | m ² | 1100 | 27 | 27 000,00 |
| Sieci wodociągowe – montaż rurociągów z rur polietylenowych (PE100RC SDR17) o śr. zewnętrznej 560 mm – wykopy umocnione (na łukach) | m | 216,1 | 1 200,71 | 259 473,43 |
| Renowacja rurociągu stalowego o śr 600mm za pomocą technik ciasnopasowanych – Swagelining – rury PE100RC SDR17 o średnicy 560 mm wraz z pracami towarzyszącymi: pomiary, obróbka, transport i montaż urządzeń do renowacji (wciągarka, pierścien redukcyjny), wykonanie stabilizacji podłoża pod urządzenia, inne | m | 2600 | 2 014,16 | 5 236 816,00 |
| Sieci wodociągowe – połączenie rur polietylenowych ciśnieniowych PE, PEHD metodą zgrzewania czolowego o śr. zewn. 560 mm – wykopy umocnione | złącz. | 44 | 476 | 58 072,00 |
| Sieci wodociągowe – kształtki żeliwne ciśnieniowe kołnierzone o śr. 500 mm – wykopy umocnione – kształtka demontażowo-montażowa d=500 mm | szt. | 2 | 11 147,14 | 22 294,28 |
| Manszeta na połączeniu rurociągu stalowego d=600 mm z PE d=560 mm | szt. | 44 | 267,95 | 10 718,00 |
| Inspekcja kamerą telewizyjną CCTV wraz z dokumentacją na płycie CD – inspekcja po robotach renowacyjnych | m | 2600 | 22,58 | 58 708,00 |
| Łącznie: | | | | 6 131 880,81 |

Tabela 2. Analiza SWOT – Swagelining
Table 2. SWOT analysis – Swagelining

| Mocne strony | Słabe strony |
|---|--|
| – minimalna redukcja przekroju, – stosunkowo krótki czasokres wykonania robót, | – wysoka cena wykonania technologii, – technologia mniej popularna na rynku niż pozostałe (mniejsza konkurencyjność wpływa na wyższą cenę), |
| Szanse (osiągnięte cele) | Zagrożenia |
| – poprawienie właściwości wytrzymałościowych oraz hydraulicznych w perspektywie kilkudziesięciu lat (zastosowano wykładzinę strukturalną), – wyeliminowanie korozji, wtórnego zanieczyszczenia wody w sieci, – wyeliminowanie wycieków. | – jeżeli podczas przeglądu kamerą przewodu okaże się, że wodociąg punktowo jest silnie zdeformowany będzie konieczne wykonanie dodatkowych komór, co w znaczący sposób utrudni realizację zadania. |

W wariantcie I najwyższe koszty wykonania modernizacji stanowią materiał wraz z robotami montażowymi polegającymi na wprowadzeniu nowego przewodu PE100 RC Dz560 mm SDR17 do istniejącego rurociągu stalowego przy zastosowaniu technologii Swagelining. Kolejnym elementem pod względem kosztowności inwestycji jest czyszczenie rurociągu. Blisko 120 000 złotych to koszty monitoringu przy użyciu kamery przed i po renowacji.

W wariantcie I możliwość wystąpienia deformacji na trasie istniejącego wodociągu. Przegląd kamerą przewodu można wykonać dopiero po czasowym wyłączeniu wodociągu z eksploatacji, a więc tuż przed przystąpieniem do prac wykonawczych. W przypadku wystąpienia deformacji nie będzie możliwe wciągnięcie przewodu PE100 RC do remontowanego wodociągu stalowego na długości, na której wodociąg będzie zdeformowany. Wówczas koniecz-

Tabela 3. Zestawienie kosztów – Relining
Table 3. Cost breakdown – Relining

| Zakres | jednostka | ilość | cena jednostkowa | suma |
|---|----------------|-------|------------------|---------------------|
| Inspekcja kamerą telewizyjną CCTV wraz z dokumentacją na płycie CD – inspekcja przed robotami renowacyjnymi | m | 2600 | 22,58 | 58 708,00 |
| Czyszczenie wewnętrznej strony rurociągu stalowego o średnicy 600 mm przez mechaniczne szczotkowanie, usunięcie przerosztów, korzeni, usuwanie z kanału przeszkód tj. stwardniały osad, narosty wody gruntowej oraz inne miejsca przewężeń – czyszczenie wstępne oraz końcowe za pomocą metody hydrodynamicznej | m | 2600 | 131,76 | 342 576,00 |
| Wykopy oraz przekopy o głęb. do 3,0 m wyk. na odkład koparkami podsiębiernymi o poj. łyżki 0,25 – 0,60 m ³ w gr. kat. III-IV – wykop pod komory rewizyjne pośrednie | m ³ | 980 | 16,86 | 16 522,80 |
| Ażurowe umocnienie ścian wykopów wraz z rozbiórką palami szalunkowymi stalowymi (wypraskami) w gruntach suchych; wyk. o głęb. do 3,0 m | m ² | 740 | 27 | 19 980,00 |
| Sieci wodociągowe – montaż rurociągów z rur polietylenowych (PE100RC SDR17) o śr. zewnętrznej 500 mm – wykopy umocnione (w wykopach otwartych na zmianie kierunku wodociągu, łuki 11°) | m | 160 | 1 100,20 | 176 032,00 |
| Renowacja rurociągu stalowego o śr. 600mm za pomocą techniki Relingu długiego – rury PE100RC SDR17 o średnicy zewnętrznej 500 mm wraz z pracami towarzyszącymi: pomiary, obróbka, transport i montaż urządzeń do renowacji (wciągarka, pierścień redukcijny), wykonanie stabilizacji podłoża pod urządzenia, inne | m | 2600 | 1 250,00 | 3 250 000,00 |
| Sieci wodociągowe – połączenie rur polietylenowych ciśnieniowych PE100 RC metodą zgrzewania czolowego o śr. zewn. 500 mm – wykopy umocnione | złęcz. | 122 | 350 | 42 700,00 |
| Sieci wodociągowe – kształtki żeliwne ciśnieniowe kołnierzone o śr. 500 mm – wykopy umocnione – kształtka demontażowo-montażowa d=500 mm | szt | 2 | 9 850,00 | 19 700,00 |
| Manszeta na połączeniu rurociągu stalowego d=600 mm z PE 100 RC d=500 mm | szt | 28 | 267,95 | 10 718,00 |
| Inspekcja kamerą telewizyjną CCTV wraz z dokumentacją na płycie CD – inspekcja po robotach renowacyjnych | m | 2600 | 22,58 | 58 708,00 |
| łącznie: | | | | 4 026 285,30 |

Tabela 4. Analiza SWOT– Relining
Table 4. SWOT analysis – Relining

| Mocne strony | Słabe strony |
|--|---|
| <ul style="list-style-type: none"> – stosunkowo niska cena wykonania technologii – technologia powszechnie dostępna na rynku, duża konkurencyjność, – nowy przewód stanowi samonośną konstrukcję o parametrach wytrzymałościowych jak dla nowego przewodu polietylenowego, – krótki okres wykonania robót, – minimalny zakres robót ziemnych, | <ul style="list-style-type: none"> – redukcja przekroju rurociągu |
| Szanse (osiągnięte cele) | Zagrożenia |
| <ul style="list-style-type: none"> – poprawienie właściwości wytrzymałościowych oraz hydraulicznych w perspektywie kilkudziesięciu lat, – wyeliminowanie korozji, wtórnego zanieczyszczenia wody w sieci, – wyeliminowanie wycieków. | <ul style="list-style-type: none"> – zmniejszenie przepustowości przewodu może powodować problemy eksploatacyjne. Konieczne uzyskanie informacji od zarządzającego siecią, czy jest możliwe zmniejszenie przepustowości wodociągu w wyniku przeprowadzonej modernizacji. |

w technologii Relingu długiego jest redukcja przekroju wodociągu, a w konsekwencji obniżenie jego przepustowości. Konieczne jest w związku z tym pozyskanie informacji od gestora sieci, czy zmniejszenie przepustowości po przeprowadzeniu modernizacji nie wpłynie na nieprawidłową eksploatację wodociągu. Niewątpliwą zaletą tej technologii jest jej powszechność oraz duża konkurencyjność na rynku. Metoda pozwala na ograniczenie zakresu robót ziemnych.

Wariant III – Cementowanie

W wariantcie III przyjęto zabezpieczenie wodociągów metodą cementowania od wewnątrz. Technologia wykonania robót polega na wyłożeniu wnętrza rur cienką warstwą zaprawy cementowej,



Fot.3.

Cementownie rury stalowej (źródło: Przedsiębiorstwo Budowlane ABM Sp. z o.o.)
Pic. 3. Steel pipe cementing (source: Przedsiębiorstwo Budowlane ABM Sp.z o.o.)

nakładanej przy użyciu urządzenia z ruchomą głowicą natryskową.

Przed cementowaniem wnętrza rurociągu należy oczyścić z nalotów i osadów. Przed przystąpieniem do czyszczenia należy wybrane odcinki wyłączyć z eksploatacji. W celu uzyskania dostępu do wnętrza rurociągu należy wyciąć półcylindryczną powłokę o długości od 1,5 do 2,0 m. Powłokę wewnętrzną z zaprawy cementowej wykonuje się dla rur o średnicach od 160 do 2000 mm wg warunków określonych normami: DIN 2614, DIN 2880, PN-EN 10298. Grubość warstwy wykładziny cementowej na rurach stalowych wg PN 92/H-74108 dla rur o średnicy 600 mm wynosi:

- minimalna wartość pojedyncza 6 mm,
- maksymalna wartość pojedyncza 9 mm.

Koszty wykonania modernizacji w wariantcie technologii cementowania przedstawiono w tab. 5.

W technologii cementowania wartość wykonania natrysku zaprawą cementową,

Tabela 5. Zestawienie kosztów – Cementowanie
Table 5. Cost breakdown – Cementing

| Zakres | jednostka | ilość | cena jednostkowa | suma |
|---|----------------|-------|------------------|---------------------|
| Inspekcja kamerą telewizyjną CCTV wraz z dokumentacją na płycie CD – inspekcja przed robotami renowacyjnymi | m | 2600 | 22,58 | 58 708,00 |
| Czyszczenie wewnętrznej powierzchni rurociągu stalowego o średnicy 600 mm przez mechaniczne szczotkowanie, usuwanie z rurociągu przeszkód tj. stwardniały osad, narostów wody gruntowej oraz innych miejsc przewężeń – czyszczenie wstępne oraz końcowe za pomocą metody hydrodynamicznej | m | 2600 | 131,76 | 342 576,00 |
| Wykopy oraz przekopy o głęb. do 3,0 m wyk. na odkład koparkami podsiębiernymi o poj. łyżki 0,25 – 0,60 m ³ w gr. kat. III-IV – wykop pod komory rewizyjne pośrednie | m ³ | 600 | 16,86 | 10 160,00 |
| Ażurowe umocnienie ścian wykopów wraz z rozbiórką palami szalunkowymi stalowymi (wypraskami) w gruntach suchych; wyk. o głęb. do 3,0 m | m ² | 550 | 27 | 14 850,00 |
| Renowacja rurociągu stalowego DN600 poprzez wykonanie natrysku zaprawą cementową o gr. 7 mm | m | 2600 | 1 200,00 | 3 120 000,00 |
| Inspekcja kamerą telewizyjną CCTV wraz z dokumentacją na płycie CD – inspekcja po robotach renowacyjnych | m | 2600 | 22,58 | 58 708,00 |
| łącznie: | | | | 3 643 476,00 |

to kwota 3 120 000 zł. Niewątpliwie jest to najtańsza metoda spośród rozpatrywanych wariantów. Łączny koszt modernizacji w technologii cementowania dla analizowanego odcinka wraz z czyszczeniem i przeglądami kamerą oraz wykonaniem robót ziemnych, to 3 643 500 zł. W tabeli 6 przedstawiono analizę SWOT – Cementowanie.

Z analizy SWOT dla wariantu III – modernizacji wodociągu w technologii Cementowania wynika, że największym ryzykiem dla wyboru tej technologii jest niewłaściwa ocena stanu technicznego istniejącego przewodu stalowego. Przed podjęciem decyzji

Tabela 6. Analiza SWOT– Cementowanie
Table 6. SWOT analysis – Cementing

| Mocne strony | Słabe strony |
|--|--|
| <ul style="list-style-type: none"> – minimalna redukcja przekroju, – urządzenie do cementowania może pokonywać łuki, – długie odcinki pomiędzy wykopami, – skuteczność zaprawy, – niskie koszty inwestycyjne. | <ul style="list-style-type: none"> – technologia nie pozwala na poprawienie właściwości wytrzymałościowych istniejącego przewodu |
| Szanse (osiągnięte cele) | Zagrożenia |
| <ul style="list-style-type: none"> – poprawienie właściwości hydraulicznych w perspektywie kilkudziesięciu lat, – odporność na ścieranie, – wyeliminowanie korozji, wtórnego zanieczyszczenia wody w sieci, – wyeliminowanie wycieków. | <ul style="list-style-type: none"> – błąd przy ocenie stanu wytrzymałościowego przewodu poddawanego renowacji skutkować będzie wieloma awariami pomimo przeprowadzenia prac modernizacyjnych. |

o wyborze tego wariantu należy jednoznacznie wykazać, że istniejący przewód zdolny jest przenosić obciążenia w zakresie wytrzymałościowym. Przewód musi zapewniać trwałość w zakresie wytrzymałościowym przez cały okres planowanej eksploatacji po przeprowadzonej modernizacji. Wariant ten charakteryzuje się szeregiem zalet, takich jak: krótki czas realizacji modernizacji, niskie koszty inwestycji, niewielka ingerencja robót budowlanych w otoczenie, minimalna zmiana przekroju przewodu i poprawienie właściwości hydraulicznych odnowionego przewodu.

Wariant IV – Rękaw elastyczny

W wariantcie IV założono renowację poprzez wprowadzenie do istniejącego rurociągu stalowego (uprzednio dokonano przeglądu kamerą i oczyszczenia) rękawa elastycznego.

W tej technologii do rurociągu wprowadzony zostanie rękaw o wytrzymałości pozwalającej na samodzielne przeniesienie wszelkich obciążeń statycznych, tworząc jednocześnie samodzielny przewód o nowych właściwościach. Metoda polega na zaimpregnowaniu rękawa elastycznego wysoko jakościową dwuskładnikową żywicą epoksydową, wprowadzeniu go do regenerowanego rurociągu (wcześniej wyczyszczonego hydrodynamicznie) i zakończeniu procesu przez wygrzewanie za pomocą pary.



Fot.4.
Wykonanie renowacji w technologii Rękawa elastycznego przez firmę Preuss Pipe Rehabilitation Sp. z o.o. (źródło: zbiory własne)
Pic. 4. Renovation using Flexible Sleeve technology by the company Preuss Pipe Rehabilitation Sp. z o.o. (source: own collections)

Rękaw jest wykonany z wykładziny filcowej wzmocnionej włóknem szklanym z wewnętrzną powłoką polietylenową. Rękaw i klej powinny posiadać atest higieniczny PZH dopuszczający do kontaktu z wodą przeznaczoną do spożycia. Koszty wykonania modernizacji w technologii Rękawa elastycznego przedstawiono w tabeli 7.

Koszt wprowadzenia rękawa do modernizowanego odcinka wodociągu, to kwota 5 460 000 zł. Łączny koszt robót w tym wariantcie wynosi niespełna 6 000 000 zł i stanowi jedną z droższych spośród porównywanych metod. Niewielka konkurencyjność i duży stopień skomplikowania technologii wpływają na wysoki koszt wykonania. W tabeli 8 przedstawiono analizę SWOT – Rękaw elastyczny.

Z przeprowadzonej dla wariantu IV analizy SWOT wynika, że technologia należy do kosztownych i skomplikowanych. Technologia rękawa elastycznego posiada jednak szereg zalet. Pozwala na wprowadzenie rękawa na długich odcinkach i pokonanie zmian kierunku przebiegu trasy (możliwość pokonania łuków nawet do 90°). Zaletą jest także określana

Tabela 7. Zestawienie kosztów – Rękaw elastyczny
Table 7. Cost breakdown – Flexible sleeve

| zakres | Jednostka | ilość | cena jednostkowa | suma |
|--|----------------|-------|------------------|--------------|
| Inspekcja kamerą telewizyjną CCTV wraz z dokumentacją na płycie CD – inspekcja przed robotami renowacyjnymi | m | 2600 | 22,58 | 58 708,00 |
| Czyszczenie wewnętrznej powierzchni rurociągu stalowego o średnicy 600 mm przez mechaniczne szczotkowanie, usunięcie przerosłów, korzeni, usuwanie z rurociągu przeszkód tj. stwardniałego osadu, narostów wody gruntowej oraz inne miejsca przewężeń – czyszczenie wstępne oraz końcowe za pomocą metody hydrodynamicznej | m | 2600 | 131,76 | 342 576,00 |
| Wykopy oraz przekopy o głęb. do 3,0 m wyk. na odkład koparkami podsiębiernymi o poj. łyżki 0,25 – 0,60 m ³ w gr. kat. III-IV – wykop pod komory rewizyjne pośrednie | m ³ | 700 | 16,86 | 11 802,00 |
| Ażurowe umocnienie ścian wykopów wraz z rozbiórką palami szalunkowymi stalowymi (wypraskami) w gruntach suchych; wyk. o głęb. do 3,0 m | m ² | 980 | 27 | 26 460,00 |
| Renowacja rurociągu stalowego DN600 poprzez zainstalowanie rękawa elastycznego wygrzewanego parą wodną | m | 2600 | 2 100,00 | 5 460 000,00 |
| Sieci wodociągowe – kształtki żeliwne ciśnieniowe kołnierzowe o śr. 600 mm – wykopy umocnione – kształtka demontażowo-montażowa d=600 mm | szt | 2 | 9 850,00 | 19 700,00 |
| Inspekcja kamerą telewizyjną CCTV wraz z dokumentacją na płycie CD – inspekcja po robotach renowacyjnych | m | 2600 | 22,58 | 58 708,00 |
| łącznie: | | | | 5 988 672,00 |

Tabela 8. Analiza SWOT– Rękaw elastyczny
Table 8. SWOT analysis – Flexible sleeve

| Mocne strony | Słabe strony |
|---|--|
| <ul style="list-style-type: none"> – minimalna redukcja przekroju, – przewód elastyczny, może być wprowadzony do łuków do 90° i na długich odcinkach, – żywotność rękawa określa się na 50 lat, | <ul style="list-style-type: none"> – wysoka cena technologii, – technologia skomplikowana, – mała konkurencyjność firm wykonujących tę technologię, |
| Szanse (osiągnięte cele) | Zagrożenia |
| <ul style="list-style-type: none"> – poprawienie właściwości hydraulicznych w perspektywie kilkudziesięciu lat, – wyeliminowanie korozji, wtórnego zanieczyszczenia wody w sieci, – wyeliminowanie wycieków. | <ul style="list-style-type: none"> – czas realizacji inwestycji jest silnie zależny od warunków atmosferycznych. Prace ze względów technologicznych mogą być wykonywane wyłącznie w zakresie temperatur 5-25°C. |

na 50 lat żywotność rękawa. Technologia wymaga prowadzenia prac w odpowiednich warunkach atmosferycznych.

Wybór technologii

Przeprowadzana analiza pozwala na dokonanie wyboru technologii, która będzie technologią najbardziej korzystną spośród porównywanych przy realizacji dla rozpatrywanego zadania – modernizacji stalowego wodociągu DN600 o długości 2600 m. Przy wyborze uwzględniono właściwości charakteryzujące każdą z poszczególnych technologii, takie jak: koszty inwestycji, czas trwania robót budowlanych oraz ingerencja robót budowlanych w istniejące zagospodarowanie terenu.

Koszty wykonania modernizacji

W celu porównania kosztów wykonania modernizacji sporządzono uproszczony kosztorys inwestorski dla każdego z rodzajów wybranych technologii. Na podstawie wykonanej kalkulacji całkowitych nakładów przeznaczonych na wykonanie modernizacji, porównane zostały technologie w zakresie różnic w kosztach wykonania modernizacji. Na sumę kosztów modernizacji wodociągu składają się: koszty wykonania robót montażowych, koszty materiału, koszty wykonania prac ziemnych wraz z robotami towarzyszącymi (wycinka zieleni, rozbiórka i odtworzenie nawierzchni utwardzonych). Uproszczone kosztorysy przedstawione zostały

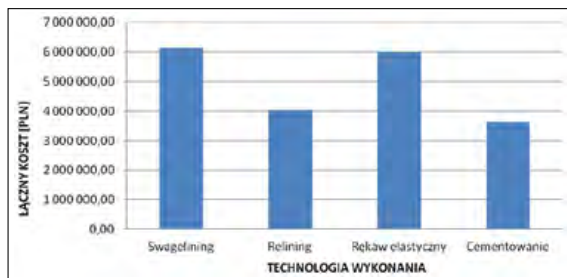
Kwota nakładów koniecznych do wykonania remontu w najtańszej technologii stanowi 60% kwoty koniecznej do wykonania modernizacji wodociągu w technologii najdroższej. Tak istotna różnica w kosztach wykonania inwestycji ma duży wpływ przy wyborze najbardziej optymalnej technologii. Analizując jednostkowe koszty wykonania każdego 100 m modernizacji przy wykorzystaniu nakładów koniecznych do wykonania modernizacji w technologiach Swageliningu i Cementowania pozwala na dodatkowe wykonanie modernizacji wodociągu na odcinku o długości 1400 m. Reasumując, przy przeznaczeniu tej samej kwoty przez inwestora na realizację modernizacji, w technologii Swageliningu można byłoby zrealizować odcinek 2600 m (jak analizowany), a w technologii Cementowania można byłoby zrealizować modernizację na odcinku 4000 m (przy założeniu tych samych nakładów inwestycyjnych).

Czas wykonania robót

Dla wszystkich z wybranych technologii przyjęto jednostkowy czas wykonania robót dla każdego 100 m modernizacji przewodu. Podane wartości uwzględniają wyłącznie dni robocze. W czasie wykonania uwzględnione zostały prace przygotowawcze, wykonanie robót ziemnych, robót montażowych i prac towarzyszących. Jednostkowe wartości przyjęto na podstawie informacji przekazanych przez wykonawców wynikających z ich do-

świadczenia w realizacji podobnych inwestycji. W zakresie prac ziemnych przyjęto wartości uśrednione. Zakres – długość koniecznych wykopów w poszczególnych technologiach jest zróżnicowany. Podane jednostkowe wartości w tabeli 9 dla każdego 100 m wykonania robót ziemnych uwzględniają różnicę w liczbie wykopów dla poszczególnych technologii. Nie odnoszą się wprost do wykonania remontu na odcinku A-B o długości 100 m i koniecznych do wykonania na tym odcinku wykopów startowych i końcowych, a średniego czasu potrzebnego do wykonania robót ziemnych dla całego remontowanego wodociągu w poszczególnych technologiach z uwzględnieniem zróżnicowania w długości wykopów koniecznych do wykonania dla danej technologii. W przyjętej wartości czasu uwzględniono także czas konieczny do wykonania prac dodatkowych, takich jak m.in.: rozbiórka i odtworzenie nawierzchni utwardzonych, wycinka zieleni i wykonanie nasadzeń zastępczych etc. Zagospodarowanie terenu na trasie lokalizacji wodociągu jest zróżnicowane. Większość komór zlokalizowana będzie w terenach zielonych. Część wykopów zlokalizowana jest w terenie utwardzonym i wymaga rozbiórki oraz odtworzenia nawierzchni, a część wymaga wykonania wycinki zieleni i nasadzeń zastępczych. Przyjęte wartości czasu koniecznego do wykonania robót w poszczególnych technologiach są uśrednione. Czas wykonania robót budowlanych zależy od wielu czynników w tym warunków atmosferycznych, liczby pracowników i sprzętu na budowie, mocy przerobowych, czasu oczekiwania na zamówione materiały etc. Podane wartości mogą się zatem różnić w zakresie od 20 do nawet 30%. Czas realizacji modernizacji przedstawia tabela 9.

Z przeprowadzonego porównania wynika, że technologia Cementowania jest metodą zapewniającą najkrótszy czas



Rys. 2. Łączne koszty wykonania modernizacji dla poszczególnych technologii
Fig. 2. The total cost of modernization for various technologies

w opisie dla każdej z technologii. Sumę kosztów dla poszczególnych technologii przedstawia rys. 2.

Koszty inwestycji w poszczególnych technologiach są bardzo zróżnicowane i wynoszą od 3 648 000 zł dla modernizacji w technologii Cementowania, aż do 6 132 000 zł dla Swageliningu. Kwotę zbliżoną wykonania remontu w technologii Swageliningu stanowi kwota potrzebna na realizację modernizacji przy wykorzystaniu technologii Rękawa elastycznego – 5 989 000 zł. Koszt wykonania Reliningu długiego przy średnicy wprowadzanej rury PE 100 RC Dz 560mm SDR17 jest zbliżony do wykonania Cementowania.

Tabela 9. Czas wykonania modernizacji dla poszczególnych technologii
Table 9. Time of modernization for various technologies

| lp. | Zakres Prac | Swagelining [dni robocze] | Relining [dni robocze] | Cementowanie [dni robocze] | Rękaw elastyczny [dni robocze] |
|---|--|------------------------------|---------------------------|-------------------------------|-----------------------------------|
| 1 | Wykonanie wykopów wraz z pracami przygotowawczymi i przywróceniem terenu do stanu pierwotnego (wycinka zieleni, rozbiórka i odtworzenie nawierzchni utwardzonych etc.) | 3,5 | 2 | 1 | 1,5 |
| 2 | Inspekcja – kamerą CTV | 0,5 | 0,5 | 0,5 | 0,5 |
| 3 | Czyszczenie rurociągu | 1 | 1 | 1 | 1 |
| 4 | Inspekcja po czyszczeniu – kamera CTV | 0,5 | 0,5 | 0,5 | 0,5 |
| 5 | Roboty montażowe (instalacja przewodu PE/instalacja rękawa/wykonanie natrysku zaprawą cementową) | 2 | 2 | 1 | 1 |
| 6 | Inspekcja po wykonanych robotach montażowych – kamera CTV | 0,5 | 0,5 | 0,5 | 0,5 |
| łącznie [dni/100 m] | | 8 | 6,5 | 4,5 | 5 |
| łącznie dla realizacji Inwestycji na całej długości [dni] | | 206 | 169 | 117 | 130 |

realizacji modernizacji (117 dni roboczych). Czas konieczny do wykonania robót budowlanych dla cementowania jest znacznie krótszy niż w przypadku Swageliningu (206 dni roboczych). W przypadku modernizacji w technologii Swageliningu termin realizacji robót jest blisko dwukrotnie dłuższy. Kolejną technologią pod względem krótkiego czasu realizacji jest montaż rękawa elastycznego (130 dni roboczych). Termin realizacji modernizacji w technologii rękawa elastycznego jest bardzo zbliżony do cementowania. Relining jest metodą, która reprezentuje średni czas wykonania robót spośród wybranych technologii (169 dni roboczych). Podane wartości są wartościami uśrednionymi, które wyznaczone zostały na podstawie informacji przekazanych przez wykonawców, a które wynikają z ich doświadczeń w realizacji robót budowlanych o zbliżonym zakresie. Wartości mogą różnić się od podanych w zestawieniu. Rozbieżności mogą wynikać z różnic w zakresie niezbędnego sprzętu, liczby pracowników na budowie, dostępności i czasu oczekiwania na dostawę materiałów, warunków atmosferycznych etc.

Ingerencja w istniejące zagospodarowanie terenu podczas wykonywanych robót budowlanych

Zakres ingerencji inwestycji w otoczenie uwarunkowany jest głównie zakresem robót ziemnych koniecznych do wykonania remontu wodociągu, czyli długością wykopów realizowanych w danej technologii. W mniejszym stopniu na ingerencję w otoczenie składa się rodzaj sprzętu, który wykorzystywany jest przy robotach budowlanych (np. emisja hałasu, spalin etc.). Na ingerencję w otoczenie spowodowaną przez prowadzone roboty ziemne wpływ ma nie tylko liczba komór, ale także ich wymiar i lokalizacja. Na przykład w technologii Swageliningu na załamaniach trasy powyżej 8° nie ma możliwości wykonania renowacji bez wykonania wykopu otwartego w miejscu łuku. Jeżeli załamanie występuje w niekorzystnym miejscu (np. w pasie drogowym) wpływ na istniejące zagospodarowanie terenu jest duży. Łuki występujące na trasie wodociągu w terenie silnie zadrzewionym w przypadku Swageliningu wymagają wycinki nie tylko w zakresie samego wykopu, ale także obszaru koniecznego na dojazd oraz rozstawienie sprzętu budowlanego. Technologia cementowania pozwala na wyznaczenie lokalizacji wykopów ze znacznie większą swobodą (nie determinują jej łuki) i umożliwia wyeliminowanie wykopów w niekorzystnych miejscach

oraz rozmieszczenie wykopów w taki sposób, aby powodowały znacznie mniejsze oddziaływanie na otoczenie. Do prac związanych z przygotowaniem wykopu startowego i końcowego (nadawczego i odbiorczego) zalicza się wykonanie wykopu, jego zasypanie oraz przywrócenie terenu do stanu pierwotnego.

Technologie cementowania oraz rękawa elastycznego spośród porównywanych technologii powodują najmniejszą ingerencję w otoczenie. W przypadku wykonywania modernizacji w tych technologiach w znacznym stopniu redukuje się liczbę wykopów. Ponieważ cementowanie oraz instalacja rękawa elastycznego ze względu na technologiczne możliwości umożliwiają pokonywanie łuków na trasie wodociągu (dla których w przypadku Swageliningu i Reliningu konieczne jest wykonanie wykopu otwartego), to wykopy mogą być lokalizowane w miejscach, w których ingerencja w otoczenie oraz zakres nakładów pracy i dodatkowych kosztów będą możliwe najmniejsze. W technologiach Swageliningu i Reliningu lokalizacja oraz liczba wykopów wymuszona jest układem trasy remontowanego wodociągu.

Podsumowując, spośród porównywanych technologii, technologia Cementowania oraz Rękawa elastycznego są technologiami najmniej ingerującymi w otoczenie podczas prowadzenia robót budowlanych.

Strona formalno-prawna, a czas realizacji inwestycji

Istotny wpływ na czas realizacji inwestycji mają prace przygotowawcze, pozyskanie szeregu dokumentów formalno-prawnych umożliwiających rozpoczęcie robót budowlanych. Tak naprawdę proces inwestycji rozpoczyna się już na etapie jej planowania przez inwestora.

Dla analizowanych technologii zakres, a tym samym czas konieczny na pozyskiwanie dokumentów formalno-prawnych jest zróżnicowany. Zgodnie z obowiązującą ustawą Prawo budowlane z dnia 7 lipca 1994 r z późn. zmianami (Dz. U. poz. 1333 z rok 2020), roboty budowlane klasyfikuje się jako: budowa, przebudowa, rozbudowa lub remont. Kwalifikacja rodzaju przedsięwzięcia ma wpływ na rodzaj i zakres pozyskania wspomnianych dokumentów formalno-prawnych dla potrzeb przeprowadzenia inwestycji. W zakresie modernizacji istniejących sieci wodociągowych mamy do czynienia z robotami budowlanymi, remontem lub przebudową. O kwalifikacji rodzaju zamierzenia budowlanego (czy jest to remont, czy przebudowa), decyduje zakres prowadzo-

nych prac. W przypadku zmiany parametrów charakterystycznych obiektu (w przypadku budynku jest to np. jego wysokość, powierzchnia zabudowy) jest to przebudowa. W wariancie, kiedy parametry te nie zostaną zmienione wówczas mamy do czynienia z remontem. W przypadku obiektów liniowych, do których zaliczany jest wodociąg, parametrem charakterystycznym jest długość, która w każdej z porównywanych technologii jest stała w odniesieniu do istniejącego wodociągu, a także średnica. Jeżeli w wyniku modernizacji zmieniamy średnice wodociągu, wówczas roboty kwalifikowane są jako przebudowa. W naszym przypadku wyłącznie dla technologii reliningu średnica przewodu zostaje zmniejszona.

Zmiana charakteru robót budowlanych ma bardzo istotny wpływ na czas przygotowania dokumentacji pozwalającej na przystąpienie do rozpoczęcia robót. Remont nie podlega decyzji administracyjnej w postaci Zgłoszenia Robót Budowlanych nie wymagających pozwolenia na budowę, ani pozyskania pozwolenia na budowę. Natomiast przebudowa sieci wodociągowej wymaga pozyskania tzw. „skutecznego” Zgłoszenia robót budowlanych lub prawomocnego Pozwolenia na budowę (o sposobie zgłoszenia pracy decyduje inwestor). Rzuca to znacząco na czas trwania prac przygotowawczych i projektowych.

W zakresie remontu inwestor musi pozyskać:

- prawo do dysponowania nieruchomością na cele budowlane (w zakresie gruntów, na których wykonywane są wykopy startowe i końcowe),
- uzgodnienia branżowe, jeżeli wykopy kolidują z istniejącą infrastrukturą,
- uzgodnienia z zarządcą drogi (jeżeli wykop startowy zlokalizowany jest w pasie drogowym).

Łączny czas trwania przygotowania dokumentów formalno-prawnych w trybie remontu to około 2 miesiące.

W przypadku przebudowy inwestor poza wymienionymi powyżej punktami musi uzyskać:

- zgłoszenie Robót Budowlanych nie wymagających Pozwolenia na Budowę – zależnie od lokalizacji inwestycji w Starostwie Powiatowym lub Urzędzie Wojewódzkim (w zakresie terenów zamkniętych i dróg wojewódzkich),
- prawo do dysponowania nieruchomością na cele budowlane (nie tylko w zakresie gruntów, na których wykonywane są wykopy startowe i końcowe, ale na całej długości inwestycji),

- protokół z Narady Koordynacyjnej w zakresie sieci uzbrojenia terenu,
- Mapę do Celów Projektowych.

Łączny czas trwania przygotowania dokumentów formalno-prawnych w trybie przebudowy, to około 8 mieniący.

Z powyższego porównania wynika, że różnica w czasie realizacji inwestycji może wynosić 6 miesięcy.

Podsumowanie

Spośród analizowanych technologii: Swagelining, Relining długi, Cementowanie oraz Rękaw elastyczny dla analizowanego zadania pn. „Modernizacja wodociągu stalowego DN600” jako najbardziej korzystną technologię wybrano Cementowanie.

Z uwagi na dobry stan wodociągu w zakresie możliwości wytrzymałościowych nie ma konieczności stosowania wykładziny strukturalnej zdolnej do przeniesienia obciążeń o parametrach takich, jak dla nowego przewodu polietylenowego. Ze względu na koszty, które odbiegają od siebie w znaczący sposób dla poszczególnych technologii od technologii cemen-

towania wybór którejkolwiek z trzech pozostałych wydaje się bezzasadny i narażający inwestora na niepotrzebne zwiększenie kosztów inwestycji.

Istotny wpływ na wybór technologii ma także czas realizacji, który w przypadku cementowania jest najkrótszy, a więc pozwala na szybkie i sprawne przeprowadzenie modernizacji. Ingerencja w otoczenie w przypadku technologii cementowania też jest mniejsza w stosunku do porównywanych technologii: Reliningu długiego oraz Swageliningu.

Wykorzystanie technologii cementowania pozwala na uniknięcie wielu prac ziemnych, ponieważ nie wymusza lokalizacji wykopów w niekorzystnych miejscach, w których wykonanie prac ziemnych jest uciążliwe, wymaga dodatkowych nakładów pracy i poniesienia dodatkowych kosztów (np. wykopu w pasie drogowym, terenie silnie zalesionym, terenie trudnodostępnym).

Wybrana technologia – Cementowanie pozwala na osiągnięcie założonych celów modernizacji przy najniższych kosztach i najkrótszym czasie realizacji spośród wybranych do analizy technologii.

Pozwala na szybkie, sprawne wykonanie modernizacji przy najniższym budżecie przeznaczonym na modernizację.

Na podstawie przedstawionej oceny wybór ten z punktu widzenia inwestora wydaje się zasadny i najbardziej optymalny spośród porównywanych.

BIBLIOGRAFIA

- [1] Kuliczkowski A. (praca zbiorowa), Technologie bezwykopowe w Inżynierii Środowiska. Seidel-Przywecki Sp. z o.o., 2019
- [2] Sosiński P. Bezwykopowa renowacja sieci podziemnych”, wyd. KaBe, 2014
- [3] Richard w. Bonds. Horizontal directional drilling with ductile iron pipe”, Ductile iron pipe research association, 2010
- [4] Onkar K. Chothe 1, V.S. Kadam. Comparative Study of traditional method and innovative method for Trenchless Technology. A Review 2016
- [5] Nathan J.Ward. TRENCHLESS TECHNOLOGY – AN OVERVIEW. International Conference on Underground Space Technology in Bangalore. India 2011
- [6] Lindsay Ivey Burden. Synthesis of Trenchless Technologies. virginia center for transportation innovation and research. 2015
- [7] Piechurski F. Efekty modernizacji i wdrożenia monitoringu sieci wodociągowej. INSTAL 11 (400)/2018 s.52-56. ISSN 1640-8160

