

Analiza ekonomiczna budowy rurociągów z wykorzystaniem metod bezwykopowych na przykładzie przebudowy gazociągu wzdłuż drogi wojewódzkiej

Economic analysis of pipeline construction using trenchless methods based on the reconstruction of a gas pipeline along a provincial road

DAWID BANDZIERZ

DOI 10.36119/15.2025.12.9

Celem pracy jest ocena korzyści wynikających z zastosowania technologii bezwykopowych w budowie rurociągów, na przykładzie przebudowy istniejącego gazociągu niskiego ciśnienia zlokalizowanego wzdłuż drogi wojewódzkiej. Współcześnie dostępnych jest wiele metod bezwykopowych, różniących się sposobem realizacji, zakresem zastosowania oraz parametrami technicznymi. W artykule przedstawiono najczęściej stosowane rozwiązania, takie jak przewiertki sterowane, przeciski oraz mikrotunelowanie, a także metody wykorzystywane do renowacji istniejących sieci rurociągowych. Analizy tego typu są prowadzone dla gazociągów niskiego i średniego ciśnienia [1] jak i również dla gazociągów wysokiego ciśnienia [2].

Na potrzeby analizy opracowano projekt zagospodarowania terenu obejmujący przebudowę stalowego gazociągu na nowy, wykonany w technologii polietylenowej, w dwóch wariantach: tradycyjnym – z zastosowaniem wykopu otwartego, oraz alternatywnym – z wykorzystaniem metod bezwykopowych. Na podstawie przygotowanych projektów przeprowadzono analizę porównawczą, obejmującą aspekty ekonomiczne, techniczne, społeczne, środowiskowe oraz czas realizacji inwestycji.

Słowa kluczowe: technologie bezwykopowe, wykop otwarty, gazociągi, analiza

The aim of this study is to evaluate the benefits of using trenchless technologies in pipeline construction, based on a case study of reconstructing an existing gas pipeline located along a provincial road. Currently, numerous trenchless methods are available, differing in construction approach, application range, and technical characteristics. This paper presents the most commonly applied solutions such as horizontal directional drilling, pipe jacking, and microtunneling, as well as techniques used for pipeline rehabilitation.

To conduct a comprehensive analysis, a land development project was prepared for the reconstruction of a steel gas pipeline into a new one made of polyethylene, considering two implementation variants: a traditional open-trench method and a trenchless approach. Based on both designs, a comparative assessment was performed, addressing economic, technical, social, environmental, and time-related factors.

Keywords: trenchless technologies, open trench, gas pipelines, analysis

Wstęp

Celem niniejszego artykułu jest analiza korzyści, głównie ekonomicznych wynikających z zastosowania metod bezwykopowych w budowie i przebudowie rurociągów. Jako studium przypadku przedstawiono przebudowę gazociągu zlokalizowanego wzdłuż drogi wojewódzkiej, gdzie warunki terenowe i komunikacyjne uniemożliwiały w praktyce zastosowanie tradycyjnych metod wykopowych. Analiza ta ma na celu wykazanie, że technologie bezwykopowe stanowią nie tylko alternatywę, ale w wielu sytuacjach – najbardziej racjonalne rozwiązanie inżynierskie, pozwalające na opty-

malne połączenie efektywności technicznej, trwałości oraz minimalizacji kosztów społecznych i środowiskowych.

Charakterystyka analizowanego obszaru

Analizę przeprowadzono na przykładzie przebudowy stalowego gazociągu niskiego ciśnienia, przebiegającego wzdłuż drogi wojewódzkiej. Obszar objęty opracowaniem zlokalizowany jest w centralnej części województwa łódzkiego. Teren ten cechuje się zwartą zabudową mieszkaniową jednorodziną, a rozpatrywany odcinek gazociągu znajduje się w najbardziej zurba-

nizowanej części miejscowości, co dodatkowo uzasadniało zastosowanie technologii o minimalnym stopniu ingerencji w istniejącą infrastrukturę i otoczenie.

Przez teren gminy przebiega droga wojewódzka, wzdłuż której zlokalizowany jest gazociąg poddany przebudowie. Trakt ten posiada klasę techniczną G (droga główna) i charakteryzuje się wysokim natężeniem ruchu lokalnego.

Pas drogowy na analizowanym odcinku obejmuje jednojezdniową drogę dwukierunkową o nawierzchni asfaltowej, chodnik z kostki brukowej po jednej stronie jezdni oraz rów przydrożny pełniący funkcję odwodnienia. Dodatkowo w pasie drogowym

poprowadzona jest linia tramwajowa, co zwiększa złożoność układu komunikacyjnego.

Obszar objęty opracowaniem stanowi teren o korzystnych parametrach dla budownictwa. Pod warstwą gruntów nasypowych o miąższości 0,6-1,0m występują grunty spoiste: gliny zwalowe – gliny piaszczyste, piaski gliniaste. Poziom wód gruntowych występuje poniżej 2m p.p.t. (gazociąg zaprojektowano powyżej poziomu zwierciadła wód gruntowych).

Istniejące uzbrojenie podziemne na rozpatrywanym obszarze, oprócz gazociągu niskiego ciśnienia poddane analizie stanowią:

- sieć wodociągowa wraz z przyłączami;
- kanalizacja sanitarna grawitacyjna wraz z przykanalikami;
- kanalizacja sanitarna tłoczna;
- kanał technologiczny na potrzeby drogi;
- kanalizacja telekomunikacyjna kablowa;
- sieć gazowa niskiego ciśnienia wraz z przyłączami;
- sieć elektroenergetyczna kablowa niskiego napięcia;
- sieć elektroenergetyczna niskiego napięcia napowietrzna.

Charakterystyka istniejącego gazociągu

Istniejący stalowy gazociąg niskiego ciśnienia DN200, o maksymalnym ciśnieniu pracy do 10kPa, oddany do użytku w 1985 roku [3], ze względu na długi okres eksploatacji, niezadawalający stan techniczny oraz miejscowe ulatnianie gazu przewidziany został do przebudowy. Modernizacja ma obejmować odcinek o długości około 1 kilometra.

Istniejący gazociąg stalowy jest gazociągiem rozdzielczo-zasilającym, będący zasilaniem zarówno dla znajdujących się bezpośrednio wzdłuż jego przebiegu posesji, jak również dla gazociągów znajdujących się w innych ulicach.

Przebieg nowoprojektowanego gazociągu

Ze względów ekonomicznych, technicznych oraz eksploatacyjnych założono wyniesienie nowoprojektowanego gazociągu w możliwie jak największym zakresie w pas drogowy drogi wojewódzkiej.

Projekt zagospodarowania terenu, ze względu na konieczność przebudowy istniejącego gazociągu stalowego, będącego w złym stanie technicznym obejmuje budowę nowego gazociągu w nowym śladzie z rur polietylenowych. W celu zachowania wymaganej przepustowości wymienianego gazociągu założono wymianę gazociągu

stalowego o średnicy $\varnothing 200\text{mm}$ na nowy $\varnothing 225\text{ PE SDR } 17,6\text{ PE}100\text{ RC}$ [3]. Zakres prac obejmuje:

- 1) budowę nowej sieci gazowej niskiego ciśnienia o parametrach $\varnothing 225\text{ PE SDR } 17,6\text{ PE}100\text{ RC}$ o łącznej długości 992,3m,
- 2) budowę sięgaczy oraz odcinków spinających na odcinku od nowobudowanego gazociągu $\varnothing 225\text{ PE}$ do po połączeniu z istniejącymi gazociągami w ulicach bocznych:
- 3) likwidację poprzez odcięcie i wyłączenie z eksploatacji istniejącego gazociągu stalowego DN200 poprzez jego zamulanie na odcinku gazociągu objętego przebudową.

Wariant I – wykonanie gazociągu metodą tradycyjną w wykopie otwartym

Wariant I obejmuje wykonanie sieci gazowej w przeważającej części, w wykopie otwartym. Wykopy zaleca się wykonywać mechanicznie, a w przypadku miejsc kolizji z inną infrastrukturą podziemną lub przy zbliżeniach do niej, wykopy należy wykonywać ręcznie. W miejscach kolizji zaleca się wykonać przekopy kontrolne w celu ustalenia rzeczywistego położenia infrastruktury podziemnej.

Wykopy należy wykonywać jako wąskoprzestrzenne, o ścianach pionowych zabezpieczonych obudowami. Na opracowywanym obszarze przyjęta głębokość posadowienia sieci gazowej wynika z istniejącego zagospodarowania terenu, w tym istniejącej infrastruktury podziemnej, przepustów podziemnych, a także wymagań co do minimalnego nakrycia rurociągów gazowych określonych w: „Zasadach projektowania gazociągów stalowych niskiego i średniego ciśnienia oraz gazociągów polietylenowych”, wydanych przez PSG sp. z o.o [4].

W założeniu projektowym przyjęto, że ze względu na warunki techniczne nakrycie projektowanej sieci będzie wynosiło minimum 1,1 m, przy lokalizacji sieci w chodniku. Największe nakrycie sieci będzie wynosić 1,6m, przy skrzyżowaniach z przepustami drogowymi.

Szerokość wykopów dla posadowienia sieci gazowej zależna jest od głębokości

posadowienia oraz średnicy nominalnej układanego rurociągu i przestrzeni roboczej między ścianą wykopu a przewodem. Według normy PN-EN 1610:2015 [5] minimalna szerokość wykopu, ze względu na wymaganą przestrzeń roboczą powinna być wyrażona za pomocą wzoru $OD + x$, gdzie:

- OD jest zewnętrzną średnicą przewodu [m],
 - $x/2$ jest minimalną przestrzeń roboczą między ścianą wykopu lub jego szalunkiem w rurociągiem [m].
- Dla przyjętych w projekcie średnic gazociągu $DN \leq 225$ i przy założeniu, że wykop będzie szalowany, minimalna szerokość wykopu powinna wynosić $OD + 0,4\text{m}$. Zalecana szerokość wykopów, zgodnie z wyżej wymienioną normą dla przewodów wykonanych z PE o średnicy $DN \leq 200$ powinna wynosić 0,8m.

W przypadku szerokości wykopu w zależności od jego głębokości, należy posłużyć się tabelą 4 biorąc pod uwagę przyjętą głębokość posadowienia sieci gazowej.

Tabela 1. Minimalna szerokość wykopu w zależności od jego głębokości [6]

Głębokość wykopu G [m]	Minimalna szerokość wykopu [m]
$G < 1,00$	Nie jest wymagana
$1,00 \leq G \leq 1,75$	0,80
$1,75 < G \leq 4,00$	0,90
$G > 4,00$	1,00

W opracowaniu, na podstawie wyżej przedstawionych danych oraz parametrów technicznych założono szerokość wykopu wynoszącą 0,8m.

Obszar niezbędny do zajęcia na czas prowadzenia prac ziemnych

Prowadzenie prac ziemnych dla rozpatrywanego przypadku, głównie metodą tradycyjną, wiąże się z dużymi ograniczeniami w ruchu pieszym jak i drogowym. Na okres budowy kolejnych odcinków i związanych z tym prac ziemnych, zajęty zostanie chodnik na całej szerokości pod wykop i jego zabezpieczenie. Zajęcie całego chodnika ograniczy ruch pieszy oraz uniemożliwi dojazd do nich. Należy wziąć również pod uwagę, że po drugiej stronie jezdni nie ma chodnika, co

Tabela 2. Całkowity obszar niezbędny do zajęcia na czas prowadzenia prac – Wariant I

Rodzaj terenu	Typ nawierzchni	Obszar zajętej powierzchni [m ²]	Całkowity obszar niezbędny do zajęcia [m ²]
Pas drogi wojewódzkiej	asfalt	70	1870
	chodnik	1560	
	tereny nieutwardzone	240	
Pas drogi gminnej	asfalt	85	190
	tereny nieutwardzone	105	
Tereny prywatne	tereny utwardzone	15	165
	tereny nieutwardzone	150	

skutkuje koniecznością stworzenia alternatywnej drogi dla pieszych.

Do wyżej przedstawionego obszaru należy również doliczyć obszar około 20m² niezbędny do ruchu samochodu ciężarowego, transportującego grunt oraz szalunki. Dodatkowo należy również doliczyć obszar około 25m², który jest wymagany do zajęcia dla wiertnicy oraz zbiornika z płuczką wiertniczą. Obszar ten występować będzie w pobliżu komory nadawczej przewiertu sterowanego (w tej technologii przewidziano przekroczenie drogi wojewódzkiej oraz torowiska tramwajowego).

Całkowity obszar niezbędny do zajęcia na czas prowadzenia prac związanych z wykopami, zastawami oraz zabezpieczeniem, a także ruchu maszyn, w tym wywrotek i koparek zgodnie z wyżej przyjętymi danymi dla wariantu I wynosi około 2270 m².

Wariant II – wykonanie metodą bezwykopową

Wariant II wykonania sieci gazowej zakłada wykonanie jej przy użyciu technologii bezwykopowych. W rozpatrywanym przypadku optymalnymi metodami do wykorzystania jest technologia przewiertu sterowanego, technologia przecisków pneumatycznych tak zwanym kretem oraz przecisków hydraulicznych z wierceniem pilotowym.

Technologią bezywykopową, którą przyjęto do realizacji przedstawionego zakresu jest technika przewiertu sterowanego [7]. Technologia ta pozwala na wbudowywanie długich odcinków rurociągu, przy małej powierzchni zajętego terenu. Przyjęta w opracowaniu trasa projektowanego gazociągu, w zdecydowanej większości przebiega w odcinkach prostych, równoległe do pasa drogowego, przez co zalety technologii HDD mogą być wykorzystane do jej realizacji. Jednakże całej sieci nie się wykonać przy wykorzystaniu przewiertów sterowanych. Minimalna długość, techniczne i ekonomicznie uzasadniona, wbudowana przy pomocy przewiertów sterowanych nie powinna być krótsza niż 20m. Odcinki poniżej tej długości powinny być w wykopie otwartym lub przy zastosowaniu technik bezwykopowych takich jak przecisk pneumatyczny lub hydrauliczny.

Krótkie odcinki sięgaczy i łączników od nowoprojektowanego gazociągu do istniejących, wykonywane będą tradycyjnie w wykopie otwartym, zgodnie z technologią przedstawioną w poprzednim punkcie.

Przy wbudowywaniu rurociągów przewiertem sterowanym przewody powinny charakteryzować się odpowiednią warstwą zabezpieczającą rurę przed nadmiernym zarysowaniem czy zniszczeniem. Dla rur

polietylenowych wykorzystywanych do budowy sieci gazowej w technologiach bezwykopowych, muszą być one wyposażone w płaszcz ochronny RC zabezpieczający przewód przed propagacją pęknięć.

Obszar niezbędny do zajęcia na czas prowadzenia prac bezwykopowych

Obszar niezbędny do zajęcia na czas prowadzenia prac związanych z budową rurociągu gazowego, z wykorzystaniem metod bezwykopowych jest o wiele mniejszy niż w przypadku prac wykopowych. Obejmuje on tylko obszar niezbędny pod wykopy punktowe – początkowe oraz końcowe, a także odcinki wykonywane w wykopie otwartym. Punktowe zajęcia chodnika nie ograniczy całkowicie ruchu pieszego, jak w przypadku wykonania gazociągu metodą tradycyjną. Należy również uwzględnić obszar niezbędny na posadowienie wiertnicy na chodniku, przy czym obszar ten będzie zajęty na czas prowadzenia prac wiertniczych. Konieczne jest również krótkotrwałe i zmienne, w zależności od miejsca komory startowej, zajęcia pasa drogowego, w celu ustawienia samochodu z płuczką wiertniczą. Podobne ograniczenia wiążą się również z koniecznością ewentualnego wywozu i wymiany gruntu w wykopach punktowych. Krótkotrwałe i zmienne zajęcia części chodnika powodujące utrudnienia komunikacyjne, dotyczące dojścia lub dojazdu do poszczególnych posesji, związane będzie z montażem oraz wciąganiem rurociągu.

Podobnie jak w przypadku wariantu I, do wyżej przedstawionego obszaru należy dodać obszar około 25m², niezbędny dla wiertnicy oraz samochodu ze zbiornikiem, z płuczką wiertniczą, które każdorazowo zajmować będą obszar przy komorze nadania przewiertu, przy której prowadzone będą prace. Podobnie jak w przypadku technologii wykonania w wykopie otwartym, należy również założyć obszar około 30m² niezbędny dla ruchu samochodu ciężarowego transportującego grunt oraz szalunki. Jednakże obszar ten należy doliczyć do obszaru dróg gminnych, gdyż to na ich terenie prowadzona jest większość prac w wykopie otwartym.

Tabela 3. Całkowity obszar niezbędny do zajęcia na czas prowadzenia prac – Wariant II

Rodzaj terenu	Typ nawierzchni	Obszar zajętej powierzchni [m ²]	Całkowity obszar niezbędny do zajęcia [m ²]
Pas drogi wojewódzkiej	asfalt	35	335
	chodnik	270	
	tereny nieutwardzone	30	
Pas drogi gminnej	asfalt	75	160
	tereny nieutwardzone	85	
Tereny prywatne	tereny utwardzone	10	20
	tereny nieutwardzone	10	

Całkowity obszar niezbędny do zajęcia na czas prowadzenia prac, związany głównie z pracami z wykorzystaniem technik bezwykopowych oraz odcinkowo wykopowych, zgodnie z przyjętymi danymi wynosi około 570m².

Analiza korzyści zastosowania metod bezwykopowych

Przedstawione oba warianty wykonania budowy gazociągu niskiego ciśnienia o średnicy 225mm z rur PE, w pasie drogi wojewódzkiej mają zarówno korzyści jak i ograniczenia. Rodzaj wybranej technologii wykonania inwestycji powinien cechować się przede wszystkim ograniczonym wpływem zarówno na ruch drogowy jak i pieszy oraz na otoczenie, powodować jak najmniejsze uciążliwości dla życia mieszkańców na terenie objętym inwestycją, a także zminimalizować koszty przedsięwzięcia oraz społeczne. Zastosowanie metod bezwykopowych wydaje się bardziej korzystne dla przedstawionego zadania niż tradycyjna metoda wykonania w wykopie otwartym. Jednakże, aby to potwierdzić, została przeprowadzona analiza korzyści wykorzystania metod bezwykopowych w porównaniu do możliwości wykonania zadania metodą tradycyjną w wykopie otwartym.

Analiza uwzględni aspekty techniczne, ekonomiczne, społeczne, ekologiczne oraz czas realizacji. Każdy z wymienionych czynników ma istotne znaczenie nie tylko przy wyborze technologii wykonania ale również dla wykonawcy, inwestora oraz mieszkańców terenu objętego inwestycją. Korzyści oraz ograniczenia techniczne przy realizacji zadania są bardzo ważne dla wykonawcy. Określają bowiem wymagany teren niezbędny do realizacji zadania, konieczność zabezpieczeń, a także możliwości i opłacalność wykonania danych odcinków. Aspekt ekonomiczny jest szczególnie istotny dla inwestora, natomiast czynniki społeczne oraz ekologiczne określają wpływ na życie codzienne mieszkańców.

Analiza korzyści zastosowania metod bezwykopowych dla przedstawionego przedsięwzięcia została przygotowana w oparciu o:

- wizję lokalną w terenie,

- projekt zagospodarowania terenu dla dwóch wariantów wykonania inwestycji,
- rzeczywistych danych dotyczących korzyści i ograniczeń przy wykorzystaniu metod bezwykopowych oraz metody tradycyjnej dla konkretnego zadania wraz z przewidywanym czasem realizacji oraz kosztem wykonania otrzymanych od grupy wykonawców, specjalizujących się w budowie sieci gazowych.

Analiza korzyści pod względem czasu realizacji

Czas realizacji inwestycji jest jednym z najważniejszych czynników, który ma szczególne znaczenie dla wykonawcy, inwestora, a także mieszkańców terenów, przy których przewidziana jest inwestycja. Na jego długość wpływają takie czynniki jak rodzaj prowadzonych prac, technologia prac, zagospodarowanie terenu, liczba pracowników czy dostępny sprzęt. W przedstawionym projekcie zagospodarowania terenu decydującym czynnikiem mającym wpływ na szybkość realizacji będzie istniejące zagospodarowanie terenu.

Okres realizacji wariantu I zakłada wykonanie gazociągu w przeważającej większości w wykopie otwartym i wynosi on około 40-45 dni. W przypadku wariantu II uwzględniającego wykonanie gazociągu w wykorzystanie technologii bezwykopowych czas realizacji wynosi około 18-22 dni. Można zauważyć, że wykorzystanie technik bezwykopowych do przedstawionego zadania skraca czas inwestycji w znacznym stopniu. Wymienione wartości zostaną uwzględnione przy analizowaniu pozostałych aspektów, przy czym do obliczeń założone zostaną wartości maksymalne.

Analiza korzyści pod względem ekonomicznym

Aspekt ekonomiczny inwestycji jest najistotniejszym czynnikiem determinującym opłacalność inwestycji dla inwestora oraz dla wykonawcy. Zarówno w technologii tradycyjnej jak i przy wykorzystaniu metod bezwykopowych analiza całkowitych kosztów inwestycji powinna uwzględniać nie tylko koszty związane z samą budową sieci oraz prac związanych z tym przedsięwzięciem, ale również koszty społeczne oraz środowiskowe.

Koszty społeczne oraz środowiskowe są trudne do oszacowania pod względem pieniężnym jednak mają one bezpośredni związek z technologią prowadzenia prac, a przede wszystkim czasem realizacji. Można założyć, że im dłuższy okres prac tym te koszty społeczne oraz środowiskowe są wyższe.

Analiza kosztów związanych bezpośrednio z samą budową sieci gazowej zależy od czynników takich jak rodzaj przyjętej technol-

ogii budowy, rodzaju nawierzchni, dostępności danego terenu, istniejącego uzbrojenia podziemnego, średnicy i materiału rurociągu oraz głębokości posadowienia. Poddając analizie technologię wykonania infrastruktury podziemnej jaką jest sieć gazowa należy wziąć pod uwagę między innymi koszty związane z:

- montażem rurociągów,
- kupnem materiałów, w tym rur i kształtek oraz armatury,
- pracami ziemnymi,
- wytyczeniem trasy i zinwentaryzowaniem gazociągu,
- zasypką i podsypką lub wymianą gruntu,
- demontażem i odtworzeniem nawierzchni,
- zabezpieczeniem wykopów,

Wyżej wymienione koszty są to tak zwane koszty bezpośrednio związane z budową rurociągu. W kosztów pośrednich można do nich zaliczyć:

- koszty związane z pracą maszyn,
- koszty transportu materiałów,
- koszty związane z projektem organizacji ruchu,
- koszty zajęcia terenu,
- koszty związane z zniszczeniem infrastruktury podziemnej,
- koszty związane z pracami niezwiązanymi bezpośrednio z budową.

Analiza kosztów ekonomicznych dla wariantu I oraz II została wykonana w oparciu o trzy czynniki ekonomiczne:

- koszty związane z budową sieci gazowej, w której uwzględnione zostaną wszystkie prace montażowe, ziemne,

nawców, dotyczące całkowitych kosztów realizacji 1 mb odcinka sieci gazowej, w zależności od średnicy i technologii wykonania. Ceny te uwzględniają koszt materiału, koszt prac ziemnych i zabezpieczenia wykopu, koszt prac montażowych, koszt prac przygotowawczych.

Tabela 4. Jednorazowy koszt wykonania sieci gazowej w zależności od technologii wykonania

Technologia wykonania	Średnica wbudowywanego przewodu/materiał	Jednostkowy koszt budowy
	[mm]	[zł/mb]
Tradycyjna – wykop otwarty	225 PE	280
	160 PE	210
	125 PE	175
	110 PE	150
Bezwykopowa	225 PE	320
	160 PE	240
	125 PE	190
	110 PE	170

W powyższej tabeli zestawiono średnie jednostkowe ceny wykonania 1 mb sieci gazowej w zależności od technologii oraz średnicy. Zgodnie z założeniami określonymi dla wariantu I, praktycznie cała sieć zostanie wykonana metodą tradycyjną w wykopie otwartym, jedynie dwa odcinki ze względów technicznych wykonane zostaną przy wykorzystaniu technologii bezwykopowej przewiertu sterowanego. Całkowite koszty związane z budową sieci gazowej objętej opracowaniem zgodnie z założeniami wariantu I zestawiono w poniższej tabeli.

Biorąc pod uwagę założenia sieć gazowa dla wariantu II wykonana zostanie z wy-

Tabela 5. Całkowite koszty wykonania sieci gazowej dla wariantu I

Technologia wykonania	Średnica/materiał	Długość odcinka	Jednostkowy koszt budowy	Koszt budowy
	[mm]	[m]	[zł/m]	[zł]
Tradycyjna – wykop otwarty	225 PE	934	280	261 520
	160 PE	11	210	2 310
	125 PE	11	175	1 925
	110 PE	35	150	5 250
Bezwykopowa	225 PE	59	320	18 880
	160 PE (225 PE)*	32	320	10 240
Całkowita koszt budowy				300 125

* Koszt wykonania liczony jest w stosunku do rury osłonowej

materiału, prac przygotowawczych zabezpieczeniem wykopów:

- koszty związane z demontażem nawierzchni oraz odtworzeniem,
- koszty związane z zajęciem terenu na czas budowy.

Analiza ekonomiczna czynników związanych z budową sieci gazowej dla założeń wariantu I oraz II

Analiza kosztów związanych z budową sieci gazowej zgodnie z założeniami wariantu I oraz II została przeprowadzona w oparciu o dane uzyskane od grupy wyko-

rzystaniem technologii bezwykopowej – przewiertu sterowanego. Tą technologią wykonane zostanie większość projektowanej sieci gazowej wzdłuż pasa drogi wojewódzkiej.

W przypadku odcinków łączących główny odcinek sieci $\varnothing 225$ PE z istniejącymi gazociągami w poszczególnych uliczkach, większość z nich wykonana zostanie z technologią wykopu otwartego, podobnie również jak odcinki wzdłuż drogi wojewódzkiej, których ze względów technicznych nie da się wykonać technologią bezwykopową. Całkowite koszty związane z budową sieci gazowej objętej opracowaniem zgodnie z założeniami wariantu II zestawiono w tabeli 9.

Tabela 6. Całkowite koszty wykonania sieci gazowej dla wariantu II

Technologia wykonania	Średnica/materiał	Długość odcinka	Jednostkowy koszt budowy	Koszt budowy
	[mm]	[m]	[zł/m]	[zł]
Bezwykopowa	225 PE	914	320	292 480
	160 PE (225 PE)*	32	320	10 240
	110 PE	15	170	2 550
Tradycyjna – wykop otwarty	225 PE	79	280	22 120
	160 PE	11	210	2 310
	125 PE	11	175	1 925
	110 PE	21	150	3 150
Całkowita koszt budowy				334 775
* Koszt wykonania liczony jest w stosunku do rury osłonowej				

Na podstawie tabeli 8 oraz tabeli 9 można zauważyć, że koszty jednostkowe budowy 1 metra sieci gazowej są wyższe w przypadku wykorzystania metod bezwykopowych. Wiąże się to z wyższymi kosztami montażowymi rurociągów w technologii bezwykopowych, koniecznością zastosowania płuczki wiertniczej i jej późniejszej utylizacji, a także wykorzystania bardzo specjalistycznego sprzętu. Jednakże przekłada się to na szybszy czas realizacji, przez co technologie bezwykopowe są bardziej opłacalne.

Analiza ekonomiczna czynników związanych demontażem i odtworzeniem nawierzchni

Analiza kosztów związana z demontażem i odtworzeniem nawierzchni w miejscach prowadzenia wykopów pod budowę sieci gazowej przeprowadzona została w oparciu o założenia projektowe oraz projekt zagospodarowania terenu dla wariantu I oraz II. Koszty jednostkowe odtworzenia nawierzchni przyjęto w oparciu o dane uzyskane od grupy wykonawców. Koszty związane z demontażem i odtworzeniem nawierzchni dla obu wariantów przedstawiono w poniższej tabeli. Koszt jednostkowy demontażu i odtworzenia 1m² danej powierzchni uwzględnia koszty związane z demontażem oraz odbudową nawierzchni oraz podbudowy.

Wyższe koszty odtworzenia nawierzchni dla wariantu I są adekwatne do większej ilości wykopów w terenach utwardzonych, głównie chodnikach. Zastosowanie technik bezwykopowych pozwoli ograniczyć powierzchnię chodnika niezbędną do odtworzenia z 769 m² do 107m². Wynika to

Tabela 7. Koszty związane z odtworzeniem nawierzchni dla wariantu I oraz II

Wariant	Rodzaj nawierzchni	Obszar powierzchni do odtworzenia	Jednostkowy koszt związany z odtworzeniem	Całkowity koszt związany z odtworzeniem
		[m ²]	[zł/m ²]	[zł]
I	Asfalt	41	500	20 500
	Chodnik – kostka brukowa	769	150	115 350
	Tereny wolne – nieutwardzone	190	20	3 800
Suma				139 650
II	Asfalt	31	500	15 500
	Chodnik – kostka brukowa	107	150	16 050
	Tereny wolne – nieutwardzone	63	20	1 260
Suma				32 810

Tabela 8. Koszty związane z zajęciem pasa drogowego dla wariantu I

Rodzaj terenu	Rodzaj zajmowanej nawierzchni	Obszar zajmowanej nawierzchni	Liczba dni zajęcia nawierzchni	Koszt jednostkowy zajęcia nawierzchni	Całkowity koszt zajęcia nawierzchni
		[m ²]		[zł/(m ² -dni)]	[zł]
Pas drogi wojewódzkiej	Jezdnia asfaltowa	70	45	3,00	9 450
	chodniki	1560		2,00	140 400
	Poboczne	240		2,00	21 600
Pas drogi gminnej	Jezdnia asfaltowa	85		1,00	3 825
	Poboczne	105		1,00	4 725
Suma					180 000

Tabela 9. Koszty związane z zajęciem pasa drogowego dla wariantu II

Rodzaj terenu	Rodzaj zajmowanej nawierzchni	Obszar zajmowanej nawierzchni	Liczba dni zajęcia nawierzchni	Koszt jednostkowy zajęcia nawierzchni	Całkowity koszt zajęcia nawierzchni
		[m ²]		[zł/(m ² -dni)]	[zł]
Pas drogi wojewódzkiej	Jezdnia asfaltowa	35	22	3,00	2 310
	chodniki	270		2,00	11 880
	Poboczne	30		2,00	1 320
Pas drogi gminnej	Jezdnia asfaltowa	75		1,00	1 650
	Poboczne	85		1,00	1 870
Suma					19 030

z faktu, iż wykopy liniowe zastąpione zostały wykopami punktowymi. Wykorzystanie technik bezwykopowych pozwoliło ograniczyć koszty odtworzenia nawierzchni z kostki brukowej o ponad 85%.

Analiza ekonomiczna czynników związanych zajęciem powierzchni na czas budowy

Analiza kosztów związanych z zajęciem powierzchni na czas budowy zależy od rodzaju nawierzchni, a także klasy pasa drogowego. W przypadku pasa drogi wojewódzkiej koszty zajęcia pasa drogowego są wyższe niż w przypadku pasa drogi gminnej. W przypadku jezdni asfaltowej zależy również od stopnia zajęcia drogi. Koszty

związane z zajęciem terenu obliczone zostaną dla maksymalnego czasu realizacji inwestycji zarówno dla wariantu I oraz II, przy czym wynosi on odpowiednio 45 i 22 dni.

Koszt zajęcia pasa drogi wojewódzkiej przyjęty został zgodnie lokalnymi przepisami w sprawie ustalenia wysokości stawek opłaty za zajęcie pasa drogowego. Opłata dotycząca zajęcia pasa drogi na potrzeby prowadzenia robót wynosi:

- 3,00 zł za 1m² i dobę dla zajęcia do 20% szerokości jezdni;

- 2,00 zł za 1m² i dobę dla zajęcia m.in. chodników, poboczny.

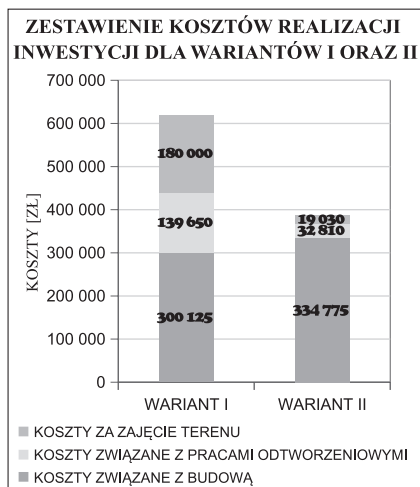
W poniższej tabeli 11 zestawiono koszty zajęcia terenu związane z budową sieci gazowej przy wykorzystaniu technologii tradycyjnej w wykopie otwartym, natomiast w tabeli 12 zestawiono koszt zajęcia terenu związane z budową sieci gazowej przy wykorzystaniu technik bezwykopowych.

W przypadku dróg gminnych, koszty zajęcia pasa drogowego wynoszą:

- 1,00 zł za 1m² i dobę dla zajęcia do 20% szerokości jezdni;
- 2,00 zł za 1m² i dobę dla zajęcia od 20% do 50% szerokości jezdni;
- 1,00 zł za 1m² i dobę dla zajęcia m.in. chodników, poboczny.

Na podstawie powyższych tabel można zauważyć dużą różnicę w kosztach zajęcia terenu. Największą różnicę widać w przypadku chodnika drogi wojewódzkiej. W przypadku prac bezwykopowych koszty zajęcia terenu zostały zredukowane o prawie 90%. Wynika to z krótszego czasu prowadzenia prac oraz mniejszego terenu niezbędnego do zajęcia.

W przypadku zajęcia terenów prywatnych każdorazowo kwotę zajęcia i wejścia w teren należy ustalić z właścicielami prywatnymi na etapie uzyskiwania zgody na posadowienie gazociągu. Koszty takie trudno oszacować ze względu na indywidualne



Rysunek 1.
Porównanie kosztów realizacji inwestycji dla wariantu I oraz II

żądania każdego z właścicieli. Należy jednak przyjąć, że w przypadku prowadzenia prac bezwykopowo na terenie działek prywatnych koszty te można ograniczyć lub całkowicie wyeliminować, ze względu na fakt braku konieczności prowadzenia prac zmiennych na tych działkach.

Podsumowanie

Przeprowadzona analiza przemawia na korzyść wykorzystania technologii bezwykopowych dla realizacji przedstawionego zadania polegającego na budowie sieci gazowej niskiego ciśnienia w terenie mocno zurbanizowanym. Dla przedstawionej inwestycji, w każdym rozpatrywanym aspekcie zalety metod bezwykopowych przewyższyły nad tradycyjną technologią wykonania w wykopie otwartym. Należy jednak pamiętać, iż nie da się całkowicie zastąpić metody tradycyjnej w przedstawionym konkretnym zadaniu, ze względu na ograniczenia techniczne oraz opłacalność technik bezwykopowych.

W przypadku kosztów związanych bezpośrednio z budową sieci gazowej, wybór technologii również ma ogromne znaczenie. W toku analizy można zauważyć, że koszty związane z montażem gazociągu są wyższe w przypadku użycia technik bezwykopowych gdzie wynoszą około 335 tys. zł, w porównaniu do około 300 tys. zł przy technologii tradycyjnej w wykopie otwartym. Wynika to z faktu, iż koszt budowy 1 metra bieżącego rurociągu jest wyższy przy wykorzystaniu technologii bezwykopowych. Wiąże się to z koniecznością wykorzystania specjalistycznego sprzętu, obsługą i konserwacją maszyn, a także kosztami utylizacji płuczki wiertniczej. Należy jednak wziąć pod uwagę tempo prac, które jest zdecydowanie wyższe w przypadku prac bezwykopowych, poprzez co mimo wyższych kosztów montażowych techniki bezwykopowe są korzystniejsze od wykopu otwartego.

Bardzo duże korzyści finansowe można zauważyć w przypadku kosztów związa-

nych z odtworzeniem nawierzchni utwardzonych oraz zajęciem terenu. Ze względu na przyjętą lokalizację gazociągu w przeważającej części w chodniku, podczas prowadzenia prac ziemnych w wykopie otwartym konieczne byłoby odtworzenie nawierzchni na całej długości wykopu. W przypadku wykorzystania technik bezwykopowych obszary do odtworzenia ograniczają się wyłącznie do wykopów punktowych oraz krótkich odcinków realizowanych w wykopie otwartym, przez co koszty związane z odtworzeniem nawierzchni można ograniczyć z 140 tys. zł w wariantcie I, do zaledwie 33 tys. zł w przypadku wariantu II. Wykorzystanie technik bezwykopowych pozwala obniżyć koszty związane z odtworzeniem nawierzchni o prawie 80%. Dużą różnicę pod względem kosztów można również zauważyć w przypadku opłat za zajęcie terenu na czas budowy. W przypadku wariantu II koszty te wynoszą około 19 tys. zł, gdzie w przypadku wariantu I sięgają one aż 180 tys. zł. Tak duża różnica wynika z krótszego czasu realizacji zadania oraz ograniczenia powierzchni zajętej na czas prac. Największą różnicę w zajęciu terenu mającą bardzo duże znaczenie w wysokości kosztów, jest obszar dotyczący chodnika, niezbędny do prowadzenia prac. W przypadku wariantu I wynosi on aż około 1560 m² gdzie w przypadku wariantu II zaledwie około 270 m².

Wybór odpowiedniej technologii wykonania sieci gazowej ma bardzo duże znaczenie pod kątem ekonomicznym, technicznym, społecznym oraz środowiskowym. W przedstawionej analizie można zauważyć, iż wykorzystanie technik bezwykopowych do realizacji zadania przedstawionego w niniejszym opracowaniu niesie ze sobą wiele korzyści, w każdym przedstawionym aspekcie. Wykonanie przedstawionej inwestycji w wykopie otwartym również jest możliwe, jednak jest zdeterminowane poważnymi ograniczeniami na tle technicznym oraz wyższymi kosztami społecznymi czy ekonomicznymi. Zastosowanie metod bezwykopowych, mimo wielu korzyści ma również pewne ograniczenia związane głównie z koniecznością inwestycji w specjalistyczny sprzęt. Zgodnie z przedstawioną analizą można zauważyć, że posiadanie maszyn do prac bezwykopowych może być bardzo pomocne przy realizacji inwestycji, na obszarach silnie zurbanizowanych.

Metody bezwykopowe, takie jak przewiertki HDD, odgrywają coraz większą rolę w budowie i renowacji sieci podziemnych ze względu na ich znacznie mniejszy wpływ środowiskowy w porównaniu z metodami tradycyjnymi. Kluczowym aspektem tej przewagi jest ograniczenie śladu węglowego — całkowitej emisji gazów cieplarnianych powstających podczas realizacji inwestycji.

W technologiach wykopowych znaczna część emisji pochodzi z prac ziemnych, trans-

portu urobku i materiałów oraz rekultywacji terenu. W metodach bezwykopowych emisje te są istotnie niższe dzięki ograniczeniu robót ziemnych i skróceniu czasu realizacji. Badania wykazały, że ślad węglowy metod bezwykopowych może być nawet o 60–80% niższy w porównaniu z metodami tradycyjnymi, w zależności od długości i średnicy przewodu oraz warunków terenowych. Dodatkową zaletą jest redukcja pośrednich emisji wynikających z mniejszego zakłócenia ruchu drogowego oraz niższej eksploatacji maszyn ciężkich, co przekłada się na mniejsze zużycie paliw kopalnych [8].

Dodatkową zaletą jest redukcja pośrednich emisji wynikających z mniejszego zakłócenia ruchu drogowego oraz niższej eksploatacji maszyn ciężkich, co przekłada się na mniejsze zużycie paliw kopalnych. Ponadto, analiza cyklu życia (LCA) wskazuje, że metody bezwykopowe charakteryzują się korzystniejszym bilansem energetycznym i niższym zużyciem surowców pierwotnych, co czyni je bardziej zrównoważonymi w długiej perspektywie [9].

W kontekście strategii dekarbonizacji sektora budowlanego, technologie bezwykopowe stanowią więc ważny element ograniczania emisji gazów cieplarnianych w infrastrukturze komunalnej, wspierając cele polityki klimatycznej i gospodarki o obiegu zamkniętym.

BIBLIOGRAFIA

- [1] Piechurski F., Spierewka M. Porównanie kosztów budowy sieci gazowych niskiego i średniego ciśnienia różnymi metodami, *Instal*, 2023, nr 5, 5-11, DOI 10.36119/15.2023.5.1
- [2] Kramża A., Piechurska F. Analiza budowy sieci gazowej wysokiego ciśnienia metodą wykopową i bezwykopową w aspekcie ekonomicznym, *Instal*, 2021, nr nr 5, 28-37, DOI 10.36119/15.2021.5.4
- [3] Warunki techniczne przebudowy gazociągu i przyłączy gazu niskiego ciśnienia nr PSGLO/ZMDZ/ZMSM/ wydane przez Polską Spółkę Gazownictwa sp. z o.o. Oddział Zakład Gazowniczy w Łodzi;
- [4] Załącznik nr 1 do Zarządzenia Prezesa Zarządu w sprawie Zbioru zasad projektowania i budowy gazociągów oraz technologii spajania i napraw sieci gazowych, Zarządzenie nr 56/2019 Prezesa Zarządu PSG sp. z o.o. z dnia 27.06.2019 r.
- [5] PN-EN 1610:2015 Budowa i badanie przewodów kanalizacyjnych;
- [6] Pluciennik S., Wilbik J., Warunki techniczne wykonania i odbioru sieci kanalizacyjnych, CORBTI INSTAL, Zeszyt 9, Warszawa 2003;
- [7] Kuliczkowski A., Technologie Bezwykopowe w Inżynierii Środowiska; Seidel-Przywecki Sp. z o.o., 2019.
- [8] Chorazy T. i inni Comparison of Trenchless and Excavation Technologies in the Restoration of a Sewage Network and Their Carbon Footprints, *Resources* 2024, 13 (1), 12; <https://doi.org/10.3390/resources13010012>
- [9] Thakre G. i inni A Data-Driven Visualization Approach for Life-Cycle Cost Analysis of Open-Cut and Trenchless CIPP Methods for Sanitary Sewers: A PRISMA Systematic Review, *Applied Sciences*, 2025, 15 (4), 1765; <https://doi.org/10.3390/app15041765>