

Analiza porównawcza budowy sieci kanalizacyjnej metodami: bezwykopową (mikrotuneling) i wykopu otwartego

Comparative analysis of sewage network construction using the following methods: trenchless (microtunneling) and open excavation

Robert Zembruski^{*}

Słowa kluczowe: kanalizacja, sieci kanalizacyjne, metody budowy, analiza techniczna, analiza ekonomiczna

Streszczenie

W artykule przeprowadzono analizę porównawczą budowy sieci kanalizacyjnych, z wykorzystaniem dwóch różnych metod: bezwykopowej (technika mikrotunelowania) i wykopu otwartego.

Keywords: sewerage, sewage networks, construction methods, technical analysis, economic analysis

Abstract

The article presents a comparative analysis of the construction of sewage networks using two different methods: trenchless (microtunneling technique) and open excavation.

1. Wstęp

Mikrotuneling jest ciekawą i nowoczesną dziedziną inżynierii bezwykopowej. Gdy inne metody wykonawcze zawodzą, tam z powodzeniem znajduje zastosowanie mikrotunelowanie. Z podziwem można obserwować wielkogabarytowe tarcze przy tunelowaniu trasy metra lub drążenie w skałach głowicami „specjalnie do tego przystosowanymi. Ponadto w.w. metoda pozwala wykonawcom wybudować rurociągi sprawniej w gęstej zabudowie miejskiej. Istnieją sytuacje, że jedynym rozwiązaniem dla inwestycji jest technologia bezwykopowa, np. budowa rurociągu pod torami lub rzeką. Czas jest bardzo cenny w dobie inwestycji, gdzie umowy zawierają kary umowne za brak terminowości. Dlatego też Wykonawcy chętniej wybierają technologie bezwykopowe, z uwagi na oszczędność czasu. Jednakże może się okazać, że technologie te są dużo droższe od tradycyjnej metody wykopu otwartego i wymagają zlecenia prac wykwalifikowanej jednostce wiertniczej. Dlatego tak bardzo istotną sprawą jest inżynierska wycena inwestycji przed podpisaniem kontraktu. W niniejszej pracy temat wyceny zostanie poddany analizie na przykładzie konkretnej inwestycji w terenie zurbanizowanym oraz terenie zielonym.

Jednakże statystyki wskazują, że w pewnych okolicznościach częściej wybierane są technologie bezwykopowe niż metoda wykopu otwartego. Są to przypadki, gdzie roboty toczą się na dużych głębokościach, a także przy występowaniu wody podziemnej. Przy takich warunkach gruntowo – wodnych, z reguły Wykonawcy nie wybierają tradycyjnej metody budowy sieci, z uwagi na jej wysoką uciążliwość i niskie tempo robót (budowa rurociągu maksymalnie 6 metrów dziennie).

Mikrotuneling to nowoczesna budowa sieci, z powodzeniem stosowana również w Polsce. Przykładem takich inwestycji jest budowa kolektora ogólnospławnego w Poznaniu, przebudowa magistrali wodociągowej pod dnem Wisły w Krakowie, budowa kolektora Wiślanego w Warszawie.

W inwestycjach budowlanych wciąż największą rolę odgrywa „najniższa cena”. Trend ten możemy zaobserwować przeglądając przetargi publiczne, gdzie przy ocenie oferty najniższa cena to kryterium minimum 60%. Inne pojawiające się kryteria, jakimi kieruje się Zamawiający to: doświadczenie kierownika budowy, długość gwarancji jakości. Wciąż wzrasta znaczenie innych czynników takich jak: aspekty ekologiczne, społeczne.

2. Technologia prac – metoda wykopu otwartego

Wykopy otwarte należy prowadzić zgodnie z normami:

- PN-B-10736 Roboty ziemne: Wykopy otwarte dla przewodów wodociągowych i kanalizacyjnych;
- PN-C-89224:2018 Systemy przewodów rurowych z termoplastycznych tworzyw sztucznych – Warunki techniczne wykonania i odbioru robót.

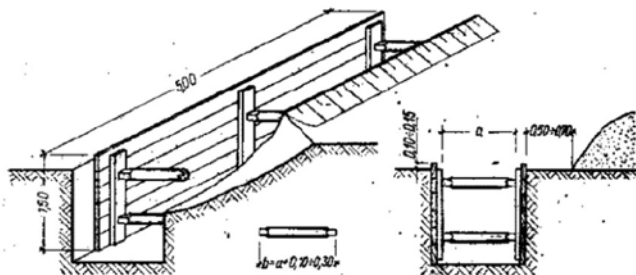
W zależności od sytuacji i warunków gruntowych, wykopy mogą być oszalowane lub bez szalunków, można też wykopy skarpować. Gdy teren nie jest wyposażony w sieci podziemne, wykopy wykonuje się mechanicznie koparką. W przypadku terenu wysoce uzbrojonego w przewody podziemne, należy roboty prowadzić ręcznie.

^{*} Robert Zembruski, inż., Polimex Infrastruktura sp. z o. o., e-mail: zembruskirob@gmail.com

Przy robotach ziemnych, urobek może być składowany na odkład, gdy jest odpowiednia przestrzeń przy wykopie. W innych przypadkach (gdy nie ma na to miejsca) nadmiar ziemi wywozi się na odpowiednie składowisko.

W momencie gdy wykop osiągnie głębokość ponad 1 metr, istnieje konieczność montażu drabin żłazowych.

W toku robót ważną sprawą jest uchronić wykop przed zalaniem deszczem np. folią budowlaną. Szalunki powinny wystawać około 15 cm ponad poziom terenu.



Rys. 1. Szczelna obudowa wykopu [1]

Fig. 1 Tight trench shoring

Istnieją wytyczne, które wskazują w jakich przypadkach należy szalować wykop a kiedy można z tego zrezygnować. Odpowiedzi na to pytanie udziela norma PN-86/B-02480. Możliwy jest wykop bez szalowania w przypadku:

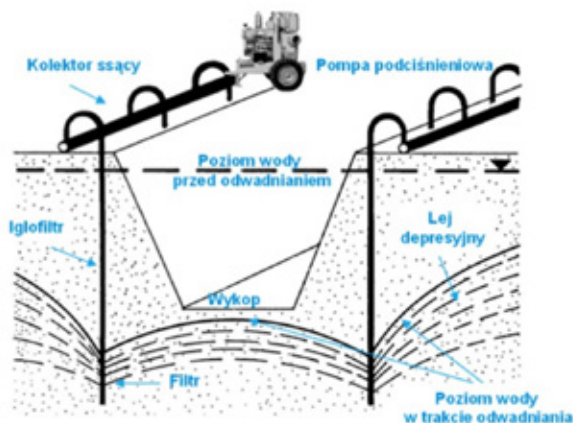
- gdy występuje grunt skalisty (dopuszczalna głębokość 4,0 m),
- gdy występuje grunt spoisty, zwarty (dopuszczalna głębokość 2,0 m);
- w przypadku innych gruntów (dopuszczalna głębokość 1,0 m).

Inna norma PN-B-10736 pozwala nie stosować szalunków w dowolnych gruntach, z tym, że w tym przypadku wykop musi być oskarpowany. Rodzaj występującego gruntu determinuje jaki należy dobrać kąt nachylenia skarpy. W przypadku gruntów niespoistych można zastosować 1:1,50, a w przypadku gruntów spoistych dopuszcza się kąt 2:1.

Odwodnienie wykopu jest wykonywane za pomocą:

- drenażu poziomego,
- drenażu pionowego,
- instalacji igłofiltrowej,
- pompowanie ze studni depresyjnej głębokiej,
- pompowanie wody bezpośrednio z wykopu.

Najpowszechniej stosowane odwodnienie wykopów to igłofiltr lub drenaż poziomy. Odwodnienie prowadzi się do momentu aż rury zostaną ułożone, wykop zostanie zasypany do pożądanej wysokości.



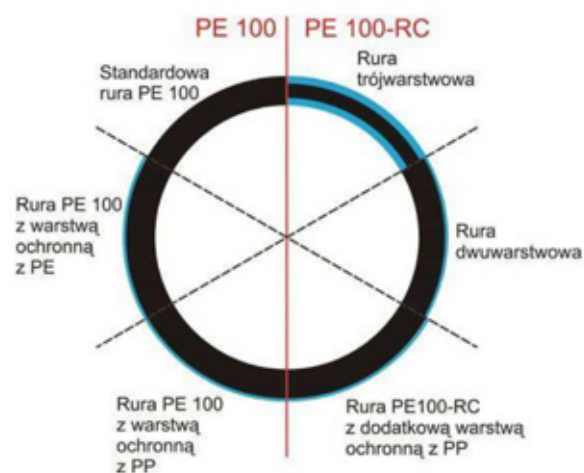
Rys. 2. Instalacja igłofiltrów. [4]

Fig. 2. installation of needlefilters

Podłoże na którym mamy posadzić rurociąg powinno mieć formę:

- naturalnego bez podsypki z przewodami ułożonymi bezpośrednio na odpowiednio wyprofilowanym dnie wykopu w jednolitym drobno uziarnionym gruncie,
- z podsypką o grubości do 50mm w jednolitym drobnoziarnistym gruncie oraz od 100mm do 150mm w przypadku gruntu skalistego i twardego.

Przy realizacji budowy, prowadzonej w wykopie otwartym i przy zastosowaniu rur polietylenowych typu PE100RC, mogą one być układane w gruncie bez zastosowania piaskowej podsypki i obsypki. Strefą ochronną wokół rury staje się grunt rodzimy, czyli grunt każdej klasy pochodzenia naturalnego, który w trakcie wykopu został częściowo usunięty. Budowa strefy ochronnej rurociągu powinna zapewnić rurze jak największe wsparcie na obwodzie. Kontakt z większym kamieniem nie grozi powstaniem pęknięcia w wyniku nacisku punktowego przy rurach typu PE100RC.



Rys. 3. Rury PE100 i PE100RC oferowane na polskim rynku. [5]

Fig. 3. PE100 and PE100RC pipes offered on the Polish market

Materiał na podsypkę powinien być ziarnisty, taki jak żwir, piasek lub kruszywo pozbawione ostrych krawędzi oraz dużych kamieni i innych twardych obiektów.

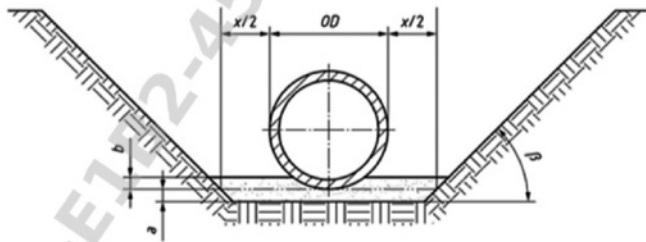
Materiał podsypki powinien być równomiernie rozprowadzony w poprzek całej szerokości wykopu i wyprofilowany aby osiągnąć spadek (w przypadku kanalizacji grawitacyjnej), a tym samym zapewnić jednolite podparcie rur na całej ich długości, tak aby podczas montażu mogły swobodnie zagłębić się w niej spodnie elementy konstrukcyjne rur (kielichy, karby i ożebrowania) oraz dna studzienek (zwykle podwójne dno lub uźebrowanie wzmacniające).

Nie należy stosować zbyt szerokich wykopów. Każdorazowo szerokość wykopu powinna być dostosowana do jego głębokości, zabezpieczenia oraz używanego sprzętu mechanicznego. Minimalna szerokość wykopu powinna wynosić jak w poniższej tabeli, ale nie mniej jak podaje norma PN-EN 1610.

Tabela 1. Minimalna szerokość wykopu (OD + x) w zależności od zewnętrznej średnicy rury
Table 1. Minimum trench width (OD + x) depending on the outer diameter of the pipe

Zewnętrzna średnica rury „OD”	Minimalna szerokość wykopu		
	Wykop zabezpieczony	Wykop niezabezpieczony	
		$\beta > 60^\circ$	$\beta \leq 60^\circ$
$OD \leq 225\text{mm}$	OD + 400mm	OD + 400mm	
$225\text{mm} < OD \leq 275\text{mm}$	OD + 500mm	OD + 500mm	OD + 400mm
$355\text{mm} < OD \leq 710\text{mm}$	OD + 700	OD + 700mm	OD + 400mm
$710\text{mm} < OD \leq 1200\text{mm}$	OD + 850	OD + 850mm	OD + 400mm
$OD > 1200\text{mm}$	OD + 1000	OD + 1000mm	OD + 400mm

Źródło – [2]



Opis:
a – grubość podsypki dolnej
b – grubość podsypki górnej

Rys. 4. Minimalna przestrzeń robocza obok rury ($x/20$ i kąt β nachylenia ściany wykopu niezabezpieczonego [2]

Fig. 4. Minimum working space next to the pipe ($x/20$ and angle β of the wall slope of the unprotected excavation

W wyjątkowych sytuacjach dopuszcza się wykopy szersze, np. w stosunkowo głębokich wykopach lub w przypadku niestabilnych gruntów rodzimych. Węższe wykopy można zastosować wówczas, gdy określa to projekt lub tam, gdzie nie jest wymagany dostęp ludzi.

Wykonując pracę polegającą na zasypaniu wykopu, należy zachować szczególną ostrożność, aby nie zniszczyć ułożonego rurociągu lub warstw, mających zapewnić izolację przeciwwodną lub cieplną. Zgodnie z polską normą grubość obsypki – którą układa się na wierzch rurociągu – wynosi minimalnie 30 cm. Kolejną istotną kwestią jest zasypka powinna składać się z kruszywa frakcji drobno albo średnioziarnistej. Niedopuszczalne jest zasypywanie materiałem z kamieniami, szczególnie w strefie zbliżonej do przewodu.

Tabela 2. Maksymalna wielkość ziaren gruntu w strefie rury dla rur o średnicy nominalnej DN

Table 2. Maximum soil grain size in the pipe zone for pipes with a nominal diameter of DN

Średnica nominalna „DN”	Maksymalna wielkość ziaren
DN < 110 mm	15
110mm ≤ DN < 315mm	20
315mm ≤ DN < 600mm	30
600mm ≤ DN	60

Źródło [2]

Zasypkę zagęszcza się wibratorami lub ubijakami zwykle do stopnia zagęszczenia wynoszącego 1 – szczególnie dotyczy to pasów drogowych.

W przypadku trudności w osiągnięciu zagęszczenia o stopniu o którym mowa powyżej, należy wzmocnić wierzchnią warstwę zasypki np. warstwą kruszywa łamanego (tłuczeń).



Rys. 5. Rura kanalizacyjna ułożona pod jezdnią. [1]

Fig. 5. Sewage pipe laid under the road

Doprowadzanie zasypki do pożądanego stopnia zagęszczenia wykonuje się warstwowo.

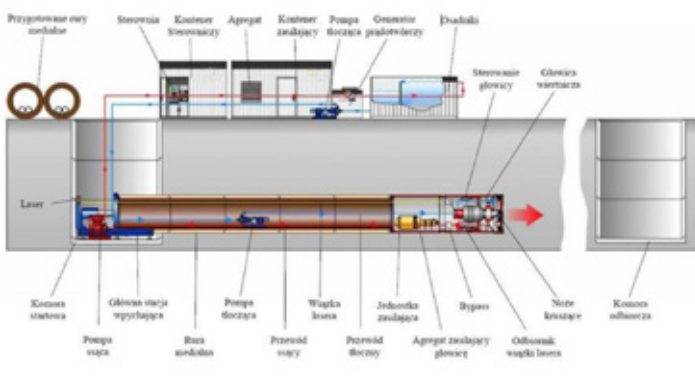
Maksymalna wysokość zagęszczanej zasypki:

- 15cm – prace ręczne,
- 30cm – prace mechaniczne.

3. Technologia prac przy metodzie mikrotunelingu

Mikrotunelingu rozpoczyna się od budowy komory startowej i końcowej. Komora startowa wyposażona jest w betonowy blok oporowy, do przenoszenia na górotwór generowanych naprężeń oraz stacją przeciskową, ze stosownym uzbrojeniem (hydrauliczne siłowniki, pierścien wiskowy i zakotwienie w formie płyty). Kompletny zestaw do mikrotunelowania ma możliwość poruszania się ruchem posuwisto zwrotnym na prowadnicach (tzw. sanie) w komorze. To właśnie blok oporowy odbiera siły generowane przez siłowniki hydrauliczne i przekazuje je na grunt. Płyta kotwiąca łączy blok oporowy z stacją przeciskową. Gdy mamy do czynienia z niewielkimi siłami przecisku, funkcję bloku oporowego może przejść sztywna obudowa komory startowej.

W ślad za wpychaną w grunt głowicą mikrotunelingu są wciskane również odpowiednie rury przeciskowe, np. żelbetowe, GRP, kamionkowe lub polimerobetonowe. Wewnątrz rur znajdują się wszystkie elementy towarzyszące procesowi mikrotunelowemu typu: układy zasilające i płuczkowe, przesył danych itp. Układy te muszą zostać chwilowo odłączone, aby była możliwość wmontowania kolejnej rury przeciskowej.



Rys. 6. Wbudowywanie rury metodą mikrotunelowania [6]

Fig. 6. Installing the pipe using the microtunneling method

Proces mikrotunelowania składa się z pewnych etapów. Tarcza ma za zadanie urabiać grunt, który dalej się przedostaje do specjalnego zbiornika, gdzie grudy ziemne ulegają zmniejszeniu. Kolejny krok to przeniesienie urobku wykorzystując do tego różne systemy np. płuczkę lub przenośniki.

„Elementy systemu mikrotunelowania to:

- Urządzenie do mikrotunelowania posiadające trzy segmenty oraz tarczę wiertniczą,
- Główna stacja przeciskowa;
- System sterowania i kontroli składający się z: lasera kierunkowego, elektronicznego odbiornika wiązki laserowej, siłowników hydraulicznych służących do sterowania głowicą mikrotunelingu oraz stanowiska wiertacza;
- System smarowania zewnętrznych powierzchni przeciskanych rur w którego skład wchodzi: mieszalnik cieczy smarującej, zbiornik węże tłoczące, pompa, rozdzielacze i dysze;
- Kontener sterowniczy, zlokalizowany niedaleko wykopu początkowego;
- System przygotowania i oczyszczania płynu wiertniczego z wbudowanymi sitami do separacji grawitacyjnej urobku, wirówkami, hydrocyklonami oraz sitami wibracyjnymi;

- *Pompy płuczkowe: pompa tłocząca zamontowana w komorze startowej, pompa zasilająca dozująca czystą płuczkę, ustawiona na powierzchni terenu oraz pompa tłocząca zamontowana w urządzeniu do mikrotunelowania;*
- *Agregaty hydrauliczne i prądotwórcze umożliwiające zasilenie pomp płuczkowych, stacji pośrednich, stacji siłowników oraz silników hydraulicznych;*
- *Wypozażenie pomocnicze typu: przewody zasilające, rurowe przewody płuczkowe, urządzenia do pomiaru wydatku płuczki, przewody przesyłowe.*¹⁾

Funkcjonowanie wzajemnie powiązanych elementów maszyny mikrotunelowej jest możliwe dzięki silnikowi, który uruchamia tarczę, a ona z kolei drąży tunel podziemny. Następnie uzyskany grunt jest kruszony i przenoszony za pośrednictwem płuczki lub przenośników ślimakowych. Płuczka może spełniać funkcję czyszczenia przewodów a także połączeniu z urobkiem pełni funkcję transportującą.

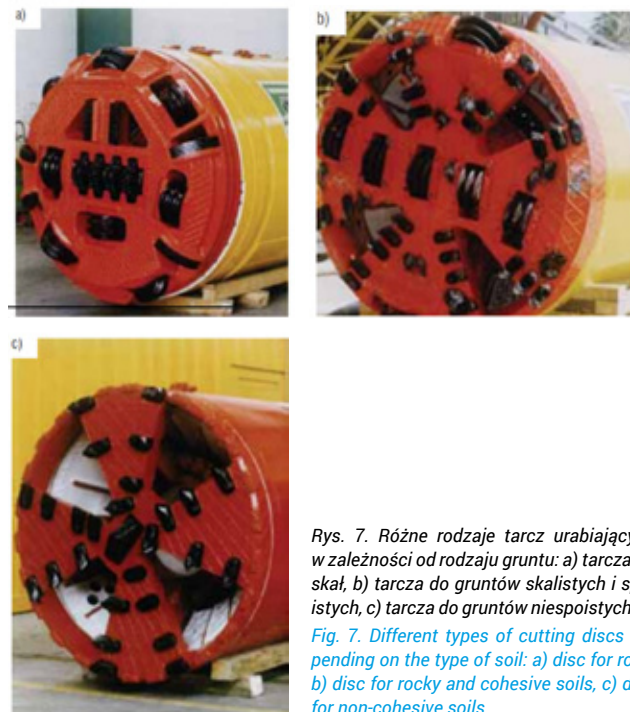
Niektórzy producenci głowic, wyposażają swoje urządzenia w specjalne włazy, które pozwalają ocenić stan tarczy urabiającej, a także dokonać wymianę zużytych lub zniszczonych materiałów.

Ciekawą propozycją techniczną są głowice, które wyposażone są w system równoważenia parcia gruntu oraz wody gruntowej (EPB – Earth Pressure Balance). Mają one zapobiec takim wydarzeniom jak: osuwanie się materiału gruntowego przed tarczą lub powstawanie kawern. Przedmiotowy system funkcjonuje dzięki czynności dozowania bentonitu w miejsce gdzie drąży się tunel. Aplikowanie bentonitu musi być poprzedzone prawidłowym dobraniem ciśnienia.

Nakładka poszerzająca to rozwiązanie, które umożliwia zamontowanie przewodu o średnicy wyższej niż fabryczna destynacja głowicy.

Na rynku produktów technicznych możemy spotkać różne modele **tarcz urabiających**:

- tarcze wyposażone w zęby skrawające,
- tarcze wyposażone w specjalne rolki tnące,
- tarcze posiadające duże wejścia do zbiornika kruszenia, które mają zastosowanie szczególnie w gruntach niespoistych.



Rys. 7. Różne rodzaje tarcz urabiających w zależności od rodzaju gruntu: a) tarcza do skał, b) tarcza do gruntów skalistych i spoistych, c) tarcza do gruntów niespoistych [6]
Fig. 7. Different types of cutting discs depending on the type of soil: a) disc for rock, b) disc for rocky and cohesive soils, c) disc for non-cohesive soils

Głowica mikrotunelowa jest wyposażona w rolki lub zęby skrawające, które mają za zadanie drążyć tunel w gruncie, podczas gdy

pracuje tarcza. Komponenty te wykonane są z wyjątkowo twardych materiałów, które mogą wytrzymać duże temperatury.

Stacja główna jest miejscem, gdzie rozpoczyna się proces mikrotunelowy. Siłowniki, za pomocą pierścienia, wypychają głowicę. Inżynier powinien – dla konkretnej inwestycji, a także uwzględniając występujący grunt – obliczyć zapotrzebowanie na ilość i wielkość siłowników. Dobra kalkulacja pozwoli uzyskać optymalne siły przecisku. W zależności od wielkości głównej stacji, można ją umocować do płyt lub bloków oporowych. Małe stacje mogą działać w kręgach żelbetonowych, na które przenoszone są siły generowane przez siłowniki. Spotyka się różne miejsca montażu siłownika hydraulicznego: przy wciskanej rurze lub za nią.

„Mikrotuneling może wykorzystywać różne systemy usuwania urobku:

- *system płuczkowy;*
- *system próżniowy;*
- *system przenośników ślimakowych.*”[6]

Pierwszy z w/w systemów używa specjalnego płynu (bentonit) celem transportu urobku z komory kruszenia, w której mieszają się obie substancje. Czasem zamiast bentonitu można zastosować wodę, ale tylko w przypadku określonych gruntów np. ilów. Z zbiornika zmieszany materiał jest wyprowadzany na powierzchnię terenu. Potem istnieje konieczność odseparowania płuczki od urobku za pomocą specjalnych maszyn np. sit, hydrocyklonów.

Przenośniki ślimakowe wykorzystują moment gdy przerwana jest praca głowicy mikrotunelowej i można nagromadzony w zasobniku urobek wynieść ponad teren i opróżnić.

Ostatni system, który możemy wykorzystać w mikrotunelowaniu to system próżniowy. Siła pomp próżniowych zaciąga z zbiornika kruszenia nagromadzoną ziemię i podaje do góry. Z reguły w tym przypadku nie stosuje się płuczki, ale od czasu do czasu można ją zastosować, aby zredukować opory które występują podczas przesuwania nagromadzonego urobku.

Technika mikrotunelowa posiada systemy, które służą do sterowania i kontrolowania kierunkiem przewiertu podziemnego. Elementy systemu montowane są w głowicy i mowa tu o siłownikach, które mają wpływ na zmianę kierunku montowania rurociągu.

Jednym z tego typu systemów jest laserowy system, który posiada dedykowany laser nakierowujący oraz elektroniczny odbiornik, który ma specjalną tarczę ułatwiającą określenie docelowego miejsca przewiertu.

Operator posiada monitor, dzięki któremu orientuje się w jakim kierunku zmierza przewiert i czy jest on zgodny z założeniami projektowymi. Mając na uwadze, że głowica ma możliwość ruchu, operator zadając zmianę jej kąta nachylenia, ma możliwość wprowadzenia korekty do wyznaczonej linii mikrotunelowania.

W wyniku tych działań, zbierane są dane, które porównuje się z punktem odniesienia w tunelu i możliwe jest wyznaczenie nowego punktu, który posłuży do wytyczenia punktu kierunkowego. Specjalny program komputerowy przetwarza i porównuje dane. W przypadku wystąpienia większych rozbieżności, należy rzeczywistą lokalizację osi rurociągu wprowadzić do komputera.

System żyrokompasowy posiada identyczne elementy sterujące procesem wbudowania rurociągu jak system laserowy. Odmienne są natomiast elementy mające zadanie kontrolować poprawność wbudowanego rurociągu. Są to:

- czujniki ciśnieniowe,
- żyrokompas,
- poziomica wodna.

Powyższe urządzenia zapewniają możliwość określenia położenia osi przecisku w trójwymiarowych współrzędnych, w porównaniu z osią projektowaną. Żyrokompas mierzy z dokładnością do 1 miliradiana. Urządzenie to mierzy kąt zawarty między kierunkiem północnym a osią urządzenia do mikrotunelowania (azymut). Pomiar są dokonywane wyłącznie w momencie, gdy urządzenie do mikrotunelowania ma przerwę w pracy.

1) Źródło nr 6



Rys. 8. Sterowanie procesem mikrotunelowania po łuku [10]
 Fig. 8. Controlling the microtunneling process along a curve

Poziomica wodna ma przewody, pompy, wskaźnik wysokości (czujki ciśnienia) oraz zbiornik wody. W wykopie początkowym znajdują się: pompa i zbiornik wody, natomiast przewody układa się wzdłuż wbudowanego rurociągu.

W rezultacie elementy żyrokompasu i poziomicy wodnej przesyłają dane do komputera, który ma odpowiednie oprogramowanie, porównujące otrzymane dane z projektowanymi.

Opisując technologię mikrotunelowania należy także wspomnieć o podstawowym z **plynów wiertniczych (tzw. płuczka)**, który pełni wiele funkcji. Spośród kilku rodzajów plynów wiertniczych (np. do uszczelniania ługowania, hydrofobizacji górotworu, trawienia formacji węglanowych i in.) najczęściej używane są płuczki. Wyróżnia się płuczki ilowe (najczęściej w oparciu o bentonit lub montmorillonit), ilowo-polimerowe lub beziłowe. Podstawowe zadania, które spełnia płuczka wiertnicza:

- wspomaganie hydrodynamiczne urabiania gruntu,
- transport urobku w systemach płuczkowych,
- stabilizacja gruntu,
- oczyszczanie tarczy urabiającej ze zwiercin,
- chłodzenie elementów skrawających,
- smarowanie i redukcja tarcia pomiędzy rurociągiem a gruntem.

Każdy plyn wiertniczy (w tym płuczka) jest przygotowywany wstępnie w mieszalniku, a potem pompowany przewodem, który znajduje się wewnątrz rurociągu. Miejscem do którego płynie bentonit to dysze znajdujące się na przodku.



Rys. 9. Wnętrze wbudowanego rurociągu z dyszami rozmieszczonymi po obwodzie rury oraz przewodami prowadzącymi płuczkę bentonitową do smarowania zewnętrznej powierzchni rur [6]

Fig. 9. The interior of the embedded pipeline with nozzles arranged around the perimeter of the pipe and conduits to guide the bentonite scrubber to lubricate the outer surface of the pipes

Wykonawca zawsze chce obniżyć koszty budowy, dlatego z pomocą przychodzą systemy separacji płynu i urobku. Dzięki specjalnym urządzeniom jest możliwość ponownego użycia bentonitu.

„Najpopularniejsze urządzenia systemu separacji to:

- hydrocyklony;
- sita wibracyjne;
- stacje flokulacyjne;
- wirówki dekantacyjne”.

Sita wibracyjne oddzielają cząstki o różnych rozmiarach w zależności od zastosowanych oczek w sitach.

Hydrocyklony wykorzystują siły odśrodkowe aby oddzielić płuczkę od cząstek stałych. Płyn i urobek wirują w zbiorniku hydrocyklona a grudy ziemi uderzają o ściany i zlatują na dno zbiornika.

W rezultacie tych działań następuje odseparowanie dwóch różnych substancji i każda z nich jest usuwana odrębnym otworem wylotowym. Zadania stawiane hydrocyklonom nie kończą się na oddzieleniu jednej substancji od drugiej, ale może on pełnić również rolę odpiaszczacza i odmulacza.

Podobnie działają wirówki dekantacyjne, które posiadają komorę w której również za pośrednictwem siły odśrodkowej oddziela się płyn od urobku. W całym procesie wspomagającym elementem jest przenośnik ślimakowy ułatwiający przemieszczanie zwiercin.

W mikrotunelingu używa się stacji flokulacyjnych, gdzie oddziela się substancje o bardzo drobnych frakcjach. W tych urządzeniach możemy odseparować fazę płynną od fazy stałej w płuczce. Proces który zachodzi w stacji wykorzystuje flokulant selektywny, który wlewa się do płuczki, a on z kolei łączy drobinki zwiercin.

Niekiedy inwestycja wymaga montowania pośredniej stacji przeciskowej. Stacje pośrednie są budowane w miarę wbudowywania rurociągu, co sprawia, że mikrotunelingu jest podzielony na pewne etapy (sekcje). Pośrednie stacje przeciskowe można stosować dla rurociągów przelazowych jak i nieprzelazowych. Jednakże w przypadku rurociągów nieprzelazowych zachodzi konieczność, aby po wbudowaniu danego odcinka rurociągu wykonać wykop w miejscu stacji pośredniej oraz zdemontować stację i wybudować studnię rewizyjną.

Istotną trudnością z jaką można się spotkać w trakcie mikrotunelowania jest natrafienie na trasie wiercenia na przeszkodę, której nie można pokonać np. duży głaz, fragment konstrukcji żelbetowej. W takich przypadkach nie można wycofać głowicy i należy wykonać tzw. wykop ratunkowy i wyjąć uwieczoną głowicę. Są to działania niezwykle czasochłonne i kosztowne, szczególnie w przypadku gdy mikrotunelowanie odbywa się pod dnem rzeki. Rozwiązaniem tego problemu jest głowica Shuttlemole, mająca nowatorską funkcję retrakcję. W praktyce wiertniczej wygląda to tak, że w sytuacji napotkania na obiekt podziemny, operator przerywa pracę głowicy i następnie powraca ona do swojej bazy początkowej. To umożliwia wykonanie komory ratunkowej i likwidację obiektu blokującego przecisk. Gdy nie ma już przeszkody na trasie tunelowania, głowica powraca na swoje miejsce i rozpoczyna dalsze urabianie gruntu.

Technologia Shuttlemole umożliwia:

- wymianę zużytych rolek tnących w czasie przecisku,
- stabilizację gruntu zamontowanym urządzeniem iniekcyjnym,
- wbudować rurociąg jako dochodzący do już istniejącego,
- utworzyć tunel ratunkowy dla uwieczonej w gruncie standardowej głowicy mikrotunelowej,
- wbudować rurociąg do istniejącej studni przelotowej,
- wykonanie przewodu ślepego.

4. Zestawienie cen rur do mikrotunelowania

Celem wykonania zestawienia cenowego rur do mikrotunelowania zwrócono się z zapytaniami do następujących firm:

- ceny rur polimerobetonowych: Wojak Ficenes Sp. K, ul. Partyzantów 11, 41-200 Sosnowiec,

Tabela 3. Porównanie cen różnych rur typu przewiertowego

Table 3. Price comparison of various drilled pipes

Material rury	DN 250mm	DN 300mm	DN 400mm	DN 500mm	DN 600mm	DN 700mm	DN 800mm
Polimero – beton	rura 1m – 1169,94	Rura 1m – 1195,27	Rura 1m – 1580,19	Rura 1m – 2557,67	Rura 2m – 2000,55	Rura 2m – 2208,21	Rura 2m – 2380,41
	Rura 2m – 876,19	Rura 2m – 916,71	Rura 2m – 1261,11	Rura 2m – 1833,42	Rura 3m – 1777,71	-----	Rura 3m – 2066,40
Żelbet	-----	Rura 2m – 895,00	Rura 2m – 955,00	Rura 2m – 998,00	Rura 2m – 1195,00	Rura 2m – 1225,00	Rura 3m – 1395,00
Kamionka	-----	Rura 2m – 1219,60	Rura 2m – 2517,10	Rura 2m – 3136,40	Rura 2m – 4158,70	Rura 2m – 3766,60	-----
GRP	-----	-----	Rura 2m – 972,44	Rura 2m – 1161,82	Rura 2m – 1465,46	Rura 2m – 1565,98	Rura 2m – 1799,86
Bazalt	Rura 1m – 1167,00	Rura 1m – 1245,00	Rura 1m – 2911,00	-----	-----	-----	-----

Źródło [opracowanie własne].

- ceny rur żelbetowych: HABA – Beton Johann Bartlechner Sp. z o.o., ul. Niemiecka 1/Olszowa, 47-143 Ujazd,
- ceny rur kamionkowych: Steinzeug – Keramo Sp. z o.o., ul. Karola Miarki 20, 41-940 Piekary Śląskie,
- ceny rur GRP: Amiblu Poland Sp. z o.o., ul. Koksownicza 11, 41 – 300 Dąbrowa Górnicza,
- ceny rur przeciskowych bazaltowych: EUTIT POLSKA Sp. z o.o., ul. Cementowa 8, Wrocław.

Tabela zawiera ceny rury netto dla 1 metra bieżącego. Koszt rur przeliczany jest z waluty Euro na PLN – według notowań Narodowego Banku Polskiego na dzień 22.12.2023r.

Powyższe zestawienie cenowe wskazuje, że najtańsze rury przeciskowe to rury żelbetowe i GRP. Najdroższe rury to bazalt i kamionka.

5. Porównanie kosztów budowy kanalizacji sanitarnej metodą wykopu otwartego oraz mikrotunelingu

W niniejszym rozdziale zostanie przedstawione porównanie kosztów budowy kanalizacji sanitarnej dwoma metodami technicznymi, dodatkowo w dwóch wariantach: na terenie zielonym oraz w jezdni o nawierzchni asfaltowej.

W opracowaniu dla celów porównania zostaną ujęte główne koszty budowy takie jak wykopy, roboty rozbiórkowe i odtworzenie nawierzchni, usługa wykonania mikrotunelingu, koszt odpowiedniej rury, komór technologicznych i studni rewizyjnych.

Koszty pominięte to usługi geodezyjne, koszt zajęcia pasa drogowego, koszty prób szczelności.

Czynniki cenotwórcze przyjęte do kalkulacji kosztorysowej według informatora SEKOCENBUD III kwartał 2023r. wydanego przez OWEOB PROMOCJA Sp. z o.o.:

Koszt roboczogodziny dla robót inżynierskich (dla regionu mazowieckiego (poza stolicą) stawka średnia – 27,28 zł/r-g

Koszty pośrednie dla robót inżynierskich (Kp od (R+S)) stawka średnia – 66,90%

Zysk Z obliczony wskaźnikowo od (R+S+Kp(R+S)) dla robót inżynierskich – stawka średnia – 11,40%

Założenia do kalkulacji kosztorysowej:

- budowa odcinka z rur żelbetowych o długości L-300 metrów,
- głębokość posadowienia rurociągu 4,00 – 3,50m,
- komora startowa o wymiarach 4,30 x 4,30 m,
- komora pośrednia o wymiarach 3,80 x 3,80 m,
- komora odbiorcza o wymiarach 3,30 x 3,30 m,
- studnie rewizyjne DN 1200mm.

Cenę za usługę mikrotunelingu pozyskano od firmy: Przedsiębiorstwo Robót Inżynierskich „INKOP” Sp. z o.o., ul. Komuny Paryskiej 5, 30-389 Kraków.

5.1. Porównanie kosztu budowy kanalizacji sanitarnej w terenie zielonym, bez infrastruktury podziemnej

Tabela 4. Koszt budowy kanalizacji sanitarnej metodą wykopową

Table 4. Cost of building a sanitary sewage system using the excavation method

L.p.	Opis robót	Jednostka Obmiaru	Ilość	Cena jednostkowa	Wartość netto
1.	Roboty ziemne z transportem urobku na odległość 5 km oraz umocnieniem wykopu.	m ³	1 381,18	141,83	195 892,76
2.	Montaż studni rewizyjnych żelbetowych DN 1200mm.	szt.	3	10 600,82	31 802,46
3.	Podsypka piaskowa na dnie wykopu gr. 10cm	m ³	33,44	56,48	1 888,69
4.	Ława betonowa pod rury żelbetowe.	m ³	39,00	742,44	28 955,16
5.	Zakup i montaż rur żelbetowych zwykłych DN 300mm	mb	300	316,80	95 040,00
6.	Zasypanie piaskiem przy studniach rewizyjnych.	m ³	1 203,87	52,05	62 661,43
7.	Rozsypanie ziemi urodzajnej gr. 10cm	m ³	34,60	180,90	6 259,14
8.	Ręczny wysiew nasion trawy.	m ²	346	10,54	3 646,84
RAZEM NETTO:				426 146,48	

Źródło [opracowanie własne].

Tabela 5. Koszt budowy kanalizacji sanitarnej metodą mikrotunelingu w terenie zielonym

Table 5. Cost of building a sanitary sewage system using the microtunneling method in a green area.

L.p.	Opis robót	Jednostka Obmiaru	Ilość	Cena jednostkowa	Wartość netto
1.	Roboty ziemne z transportem urobku na odległość 5 km oraz umocnieniem wykopu.	m ³	183,76	127,20	23 374,27
2.	Montaż studni rewizyjnych żelbetowych DN 1200mm.	szt.	3	10 600,82	31 802,46
3.	Zakup rur żelbetowych przewiertowych DN 300mm	mb	300	895,00	268 500,00
4.	Usługa mikrotunelingu	mb.	300	3 300	990 000,00
5.	Zasypanie piaskiem przy studniach rewizyjnych.	m ³	157,15	52,05	8 179,66
6.	Rozsypanie ziemi urodzajnej gr. 10cm	m ³	4,38	180,90	792,34
7.	Ręczny wysiew nasion trawy.	m ²	43,82	10,54	461,86
RAZEM NETTO:					1 323 110,59

Źródło [opracowanie własne].

WNIOSKI:

Z kalkulacji kosztorysowej wynika, że w zakładanych warunkach, mikrotunelingu jest 3,10 razy droższy od metody tradycyjnej (wykopu otwartego). Koszt budowy 1 metra kanalizacji metodą mikrotunelingu to: 4 410, 37 zł netto. Koszt budowy 1 metra kanalizacji metodą wykopu otwartego to: 1 420,49 zł netto.

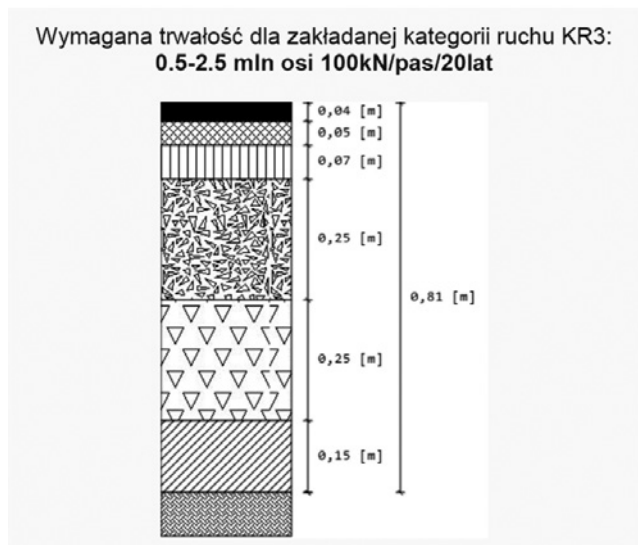
Istotne założenia do kalkulacji kosztorysowej.:

- nawierzchnia jest trawiasta,
 - nie występuje woda gruntowa,
 - nie występuje sieć infrastruktury podziemnej.
- Wnioski po porównaniu kalkulacji:
- koszt usługi mikrotunelowej wraz z mobilizacją sprzętu jest bardzo wysoki bo 3 300 zł netto za 1 metr kanalizacji,
 - rura żelbetowa przeciskowa jest 3,81 razy droższa od zwykłej rury żelbetowej tej samej średnicy,
 - w metodzie wykopu otwartego wystąpiły dodatkowe roboty, które nie występują w mikrotunelingu tj. wykonanie podsypki piaskowej i ławy betonowej pod rurociągiem,
 - wykopy były wykonywane w 100% mechanicznie z uwagi na brak istniejącej infrastruktury podziemnej,
 - kalkulacja uwzględniała pełną wymianę gruntu,
 - robót ziemnych w metodzie wykopu otwartego było 7,52 razy więcej w porównaniu z metodą mikrotunelową.

5.2. Porównanie kosztu budowy kanalizacji sanitarnej w terenie o nawierzchni asfaltowej z infrastrukturą podziemną

Dodatkowe założenia do kalkulacji kosztorysowej:

- 85% robót ziemnych wykonane mechanicznie,
- 15% robót ziemnych wykonane ręcznie,
- pas drogowy składa się z następujących warstw:



Rys. 10. Warstwy pasa drogowego przyjęte do kalkulacji [25]
Figure 10: Road lane layers adopted for calculation

Od góry:

- warstwa ścierna z mieszanki mineralno – asfaltowej AC 11S ,
- warstwa wiążąca z mieszanki mineralno – asfaltowej AC 11S ,
- warstwa podbudowy zasadniczej z mieszanki mineralno – asfaltowej AC 11S,
- warstwa podbudowy zasadniczej z kruszywa łamanego C90/3,
- warstwa mrozoochronna z mieszanki niezwiązanej,
- podbudowa pomocnicza z mieszanki związanej spoiwem hydraulicznym C3/4,
- grunt rodzimy.

Tabela 6. Koszt budowy kanalizacji sanitarnej metodą mikrotunelingu w terenie o nawierzchni asfaltowej

Table 6. Cost of building a sanitary sewage system using the microtunneling method in an area with an asphalt surface

L.p.	Opis robót	Jednostka Obmiaru	Ilość	Cena jednostkowa	Wartość netto
1.	Roboty rozbiórkowe wraz z wywozem gruzu na odl. 5 km	m ²	69,62	124,64	8 677,44
2.	Roboty ziemne z transportem urobku na odległość 5 km oraz umocnieniem wykopu.	m ³	176,74	143,46	25 355,12
3.	Montaż i demontaż konstrukcji podwieszki dla istniejącej infrastruktury podziemnej.	kpl.	3	298,81	896,43
4.	Montaż studni rewizyjnych żelbetowych DN 1200mm.	szt.	3	10 600,82	31 802,46
5.	Zakup rur żelbetowych przewiertowych DN 300mm	mb	300	895,00	268 500,00
6.	Usługa mikrotunelingu	mb.	300	3 300	990 000,00
7.	Zasypanie piaskiem przy studniach rewizyjnych.	m ³	99,52	52,05	5 180,02
8.	Odtworzenie warstw dolnych podbudów.	m ²	43,82	142,97	6 264,95
9.	Odtworzenie warstw z mieszanki mineralno asfaltowej.	m ²	69,62	496,64	34 576,08
10.	Regulacja istniejących włazów, zaworów i studni telekomunikacyjnych.	szt.	9	445,42	4 008,78
RAZEM NETTO:					1 375 261,28

Źródło [opracowanie własne].

Tabela 7. Koszt budowy kanalizacji sanitarnej metodą wykopu otwartego w terenie o nawierzchni asfaltowej

Table 7. Cost of building a sanitary sewage system using the open excavation method in an area with an asphalt surface

L.p.	Opis robót	Jednostka Obmiaru	Ilość	Cena jednostkowa	Wartość netto
1.	Roboty rozbiórkowe wraz z wywozem gruzu na odl. 5 km	m ²	643,50	126,92	81 673,02
2.	Roboty ziemne z transportem urobku na odległość 5 km oraz umocnieniem wykopu.	m ³	1 326,00	158,73	210 475,98
3.	Montaż i demontaż konstrukcji podwieszki dla istniejącej infrastruktury podziemnej.	kpl.	32	336,57	10 770,24
4.	Montaż studni rewizyjnych żelbetowych DN 1200mm.	szt.	3	10 600,82	31 802,46
5.	Podsypka piaskowa na dnie wykopu gr. 10cm	m ³	33,44	56,48	1 888,69
6.	Ława betonowa pod rury żelbetowe.	m ³	39,00	742,44	28 955,16
7.	Zakup i montaż rur żelbetowych zwykłych DN 300mm	mb	300	316,80	95 040,00
8.	Zasypanie piaskiem przy studniach rewizyjnych.	m ³	949,79	52,05	49 436,57
9.	Odtworzenie warstw dolnych podbudów.	m ²	346,00	142,97	49 467,62
10.	Odtworzenie warstw z mieszanki mineralno asfaltowej.	m ²	643,50	496,64	319 587,84
11.	Regulacja istniejących włazów, zaworów i studni telekomunikacyjnych.	szt.	64	527,95	33 788,80
RAZEM NETTO:					912 886,38

Źródło [opracowanie własne].

Wnioski:

Z kalkulacji kosztorysowej wynika, że w zakładanych warunkach, mikrotunelingu jest 1,51 razy droższy od metody tradycyjnej (wykopu otwartego). Koszt budowy 1 metra kanalizacji metodą mikrotunelingu to: 4 584,20 zł netto. Koszt budowy 1 metra kanalizacji metodą wykopu otwartego to: 3 042,95 zł netto.

Istotne założenia do kalkulacji kosztorysowej:

- występuje nawierzchnia asfaltowa,
- występuje gęsta sieć infrastruktury podziemnej.

Wnioski po porównaniu kalkulacji:

- przy zmianie warunków terenowych koszt robót w metodzie mikrotunelowania nie podniósł się znacznie – wzrósł o 3,9%. Inaczej stało się w przypadku robót metodą wykopu otwartego, tu koszt robót wzrósł o 114,20%. Dlatego można przypuszczać, że gdyby kolektor sanitarny był dłuższy koszt jego wykonania (w trudnych warunkach) metodą wykopu otwartego, byłyby podobny do kosztu budowy metodą mikrotunelingu.

6. Wnioski końcowe

Technologia mikrotunelingu ma szereg zalet:

- Niewielkie zapotrzebowanie na zajęcie terenu pasa drogowego z koniecznością rozbiórki i ponownego odtworzenia nawierzchni i podbudów pasa drogowego. To prowadzi także do zmniejszenia obszaru nawierzchni zagrożonej w przyszłości ryzykiem osiadania oraz wystąpienia innych uszkodzeń.
- Minimalizacja robót ziemnych. Gdy budowane są nowe przewody, usuwana jest jedynie objętość gruntu równa kubaturze wbudowanych bezwykopowo rur. Porównanie budowy kanalizacji sanitarnej (rozdział 8) metodą tradycyjną i metodą mikrotunelingu, wykazało, że metoda wykopu otwartego generuje 7,52 razy więcej robót ziemnych.
- Bezwykopowa technologia powoduje, że nie ma potrzeby wykonywać czynności, które są niezbędne przy wykopowej budowie lub wymianie przewodów takich jak:
 - umocnienie (deskowanie) ścian wykopów i późniejsza rozbiórka;
 - wykonywanie podsypki piaskowej, żwirowej lub betonowej pod przewodami;
 - wykonywanie obsypki i zasypki nad przewodem wraz z zagęszczeniem gruntu do wymaganego wskaźnika.
- Metoda mikrotunelowa nie jest zagrożeniem dla zieleni. Często korzenie uszkodzane są podczas wykopów, co prowadzi do usychania drzew lub krzewów.
- Wody gruntowe nie są zanieczyszczane w obrębie stosowania tej technologii.
- Nie ma potrzeby stosowania robót odwodnieniowych, jeżeli przewiert jest poniżej zwierciadła wody gruntowej. Tego typu roboty są bardzo kosztowne i czasochłonne, szczególnie jeżeli występują grunty o niskim współczynniku filtracji.
- Mając na uwadze, że w metodzie bezwykopowej nie wykonuje się czynności opisanych w pkt. c), to dzięki temu powstają istotne oszczędności finansowe w dziedzinie transportu, ale również pojawia się ograniczenie ilości wytwarzania spalin, kurzu i hałasu oraz zanieczyszczeń, które mają miejsce w przypadku stosowania robót wykopowych.
- W obrębie wykonywanych robót metodą mikrotunelową nie niszczy się jakości urbanistycznej obszarów.
- Metoda bezwykopowa redukuje do minimum uciążliwość związaną z budową objazdów dla pojazdów, które przemieszczają się w czasie trwania robót. Korzystanie z objazdów nie jest krótkotrwałe w przypadku metody wykopu otwartego i generuje:
 - wzrost kosztów eksploatacyjnych pojazdów na skutek wydłużenia się trasy przejazdu,
 - zwiększoną emisję spalin,
 - stratę czasu u podróżnych i kierowców, opóźnienia zamówień,
 - wzrost kosztów budowy czasowej organizacji ruchu drogowego (nowe znaki drogowe pionowe i poziome) a także koszty budowy dróg tymczasowych,
 - możliwe zwiększenie liczby wypadków.
 - dodatkowe zagrożenia i ryzyka w sytuacjach kryzysowych np. dla dojazdu karetka czy straży pożarnej,

- w przypadku zajęcia torowisk – wyłączenia transportu szynowego na większych odcinkach lub na ich całej trasie.
- Bezwykopowa technologia wyklucza możliwość uszkodzeń obiektów budowlanych znajdujących się w sąsiedztwie budowanych rurociągów.
 - Bezwykopowa technologia zmniejsza możliwość uszkodzenia innych przewodów lub kabli znajdujących się w bliskim sąsiedztwie wykopów, szczególnie tych nie zinwentaryzowanych lub ułożonych inaczej niż zaznaczono na mapach do celów projektowych.
 - Mikrotunelingu sprawia, że nie występują uciążliwości w pobliżu wykonywanych robót dla mieszkańców oraz klientów sklepów, biur, urzędów itd. Ponadto wykonawca nie musi budować kładek z barierkami dla pieszych i pojazdów, umieszczanych w poprzek wykopów.
 - Technologia bezwykopowa powoduje, że roboty wykonywane są sprawniej technologicznie i czasowo w porównaniu z metodą wykopu otwartego.
 - Mając na uwadze pkt. m), inwestor dysponuje większą ilością czasu i może wykonać więcej robót w danym sezonie budowlanym,
 - Przedmiotowa technologia pozwala wyeliminować ewentualne wnioski odszkodowawcze od przedsiębiorstw z tytułu zmniejszonych dochodów z prowadzonej przez nich działalności gospodarczej. Roszczenia mogą wynikać z faktu, że budowa rurociągów wpływa na zmniejszony ruch klientów, brak miejsc parkingowych itd.
 - Metoda bezwykopowa redukuje wpływ warunków atmosferycznych oraz pór roku na proces wykonywania robót budowlanych.
 - Mikrotunelingu jest dużo bardziej efektywny od metody wykopów otwartych w przypadku:

- budowy rurociągów głęboko posadowionych w gruncie
- budowy rurociągów pod ulepszonymi nawierzchniami ulicznymi;
- budowy rurociągów poniżej zwierciadła wód gruntowych.

Technologia mikrotunelingu ma również wady, które należy wymienić:

- Mikrotunelingu jest kosztowną technologią w porównaniu z metodą wykopu otwartego. Technologia ta wykorzystuje sprzęt, który wymaga specjalistycznej konserwacji, drogiej napraw, wymiany części oraz zatrudnienia wykwalifikowanej obsługi.
- Koszt rur użyty do technologii bezwykopowej jest dużo wyższy w porównaniu do metody wykopu otwartego. W przypadku metody wykopu otwartego można zastosować zwykłe rury, natomiast w mikrotunelingu stosuje się rury o trwalszej konstrukcji typu przewiertowego. W rozdziale 8 wykazano, że żelbetowa rura przewiertowa jest 3,81 razy droższa od zwykłej rury żelbetowej.
- Mikrotunelingu wymaga umiejętności i odpowiednich maszyn, firmy wykonawcze zlecają tego typu roboty firmom podwykonawczym specjalizującym się w wykonywaniu tego typu robót.
- Mikrotunelingu może generować duże ilości płuczki, którą należy usunąć z miejsca budowy i poddać utylizacji. Jest to dodatkowy koszt, który nie występuje w przypadku metody otwartego wykopu. Koszt tego typu usług w regionie mazowieckim wynosi: cena za przyjazd i wywóz płuczki wraz z utylizacją za 1m³ – od 230 – 350 zł netto, przestoje beczkowozu ponad 1 godzinę są płatne dodatkowo.

Omówione powyżej zalety i wady technologii mikrotunelingu pozwalają poprzez analogię stwierdzić jakie są wady i zalety metody wykopu otwartego. Dlatego nie ma potrzeby, aby dość szczegółowo omawiać plusy i minusy tej drugiej technologii. Jednakże dla usystematyzowania zawartych informacji, zalety i wady metody otwartego wykopu zostaną wyliczone w krótkich punktach.

Zalety metody otwartego wykopu:

- Niższe koszty obsługi związane z obsługą sprzętu.
- Niższy koszt budowy sieci przy dobrych warunkach terenowych i gruntowo – wodnych. W rozdziale 8 wykazano, że w dobrych

warunkach, mikrotunelingu jest 3,10 razy droższy od metody tradycyjnej (wykopu otwartego).

- c) Koszt materiałów (np. rury) użyty do tej technologii jest niższy w porównaniu z mikrotunelinguem.
- d) Metoda wykopu otwartego to prosta technologia, która w przypadku budowy wodociągów i kanalizacji może być wykonana samodzielnie przez firmę wykonawczą.
- e) Zaletą może być też brak kosztu wywozu i utylizacji płuczki.

Wady metody otwartego wykopu:

- a) Płatne zajęcie terenu pasa drogowego z koniecznością rozbiórki i ponownego odtworzenia nawierzchni i podbudowy. Zwiększone ryzyko osiadania gruntu w przypadku złego zagęszczenia gruntu.
- b) Konieczność wykonywania dużej ilości robót ziemnych, rosnące dodatkowo koszty budowy gdy grunt rodzimy nie nadaje się do zasypki wykopu.
- c) Konieczność wykonania czynności, które nie są wykonywane przy mikrotunelingu na całej długości budowy sieci:
 - umocnienie (deskowanie) ścian wykopów i późniejsza rozbiórka;
 - wykonywanie podsypki piaskowej, żwirowej lub betonowej pod przewodami;
 - wykonywanie obsypki i zasypki nad przewodem wraz z zagęszczeniem gruntu do wymaganego wskaźnika.
- a) Wykopy otwarte są zagrożeniem dla zieleni, jeżeli posadzenie rurociągu jest planowane blisko drzew i krzewów.
- b) Wody gruntowe mogą zostać zanieczyszczone.
- c) W przypadku wysokiego poziomu wód gruntowych kosztowne roboty odwodnieniowe.
- d) Metoda wykopu otwartego generuje znaczne ilości spalin, kurzu, hałasu i zanieczyszczeń.
- e) Wysoka uciążliwość związana z budową objazdów dla pojazdów, a co za tym idzie:
 - wzrost kosztów eksploatacyjnych pojazdów na skutek wydłużenia się trasy przejazdu;
 - stratę czasu jaka powstaje u podróżnych i kierowców;
 - wzrost kosztów budowy czasowej organizacji ruchu drogowego (nowe znaki drogowe pionowe i poziome) a także koszty budowy dróg tymczasowych;
 - możliwe zwiększenie liczby wypadków z powodu utrudnień w ruchu drogowym.
- f) Wysoka możliwość uszkodzeń obiektów budowlanych znajdujących się w sąsiedztwie budowanych rurociągu.
- g) Wysoka możliwość uszkodzenia innych przewodów lub kabli znajdujących się w bliskim sąsiedztwie wykopów.
- h) Wysoka uciążliwość dla mieszkańców oraz klientów sklepów, biur i urzędów. Wykonawca musi budować kładki z barierkami, które montuje się w poprzek wykopu.
- i) Wykopy otwarte są zagrożeniem dla ludzi (dzieci, osoby niepełnosprawne) i pułapką dla zwierząt
- j) Metoda wykopu otwartego jest mniej sprawna technologicznie i bardziej czasochłonna w porównaniu z technologią mikrotunelingu.
- k) W przypadku przedłużających się robót budowlanych mogą wpłynąć wnioski odszkodowawcze z tytułu zmniejszonych dochodów z prowadzonej działalności gospodarczej.
- l) Na wykonawstwo metody wykopu otwartego mają wpływ warunki atmosferyczne oraz pory roku.
- m) Metoda wykopu otwartego jest mniej efektywna od metody mikrotunelingu w przypadku:
 - budowy rurociągu głęboko posadowionych w gruncie
 - budowy rurociągu pod ulepszonymi nawierzchniami ulicznymi;
 - budowy rurociągu poniżej zwierciadła wód gruntowych.

- [1] Materiały zaczerpnięte ze strony internetowej – na dzień 22.12.2022r.: <https://instsani.pl/technik-inzynierii-sanitarnej/vademecum-instalacji-sanitarnych/instalacje-kanalizacyjne/montaz-instalacji-kanalizacyjnych/zasady-montazu-przewodow-grawitacyjnych/montaz-przylaczy-kanalizacyjnych/zasady-wykonywania-wykopow/>
- [2] Norma PN-C-89224:2018.
- [3] Materiały zaczerpnięte ze strony internetowej – na dzień 26.11.2023r.: https://www.wodkaneko.pl/artykuly/przeciski-pneumatyczne-oraz-wbijanie-rur-stalowych-w-technologiach-bezwykopowych--60238-6#_
- [4] Materiały zaczerpnięte ze strony internetowej – na dzień 24.12.2022r.: <http://www.klaudia.eu/iglofiltry/>
- [5] Materiały zaczerpnięte ze strony internetowej – na dzień 24.12.2022r.: <https://inzynieria.com/inzbezwkopowa/artykuly/22279,rury-rc-nowa-jakosc-i-bezpieczenstwo-w-budowie-rurociagow-polietylenowych>
- [6] Andrzej Kuliczkowski, Emilia Kuliczowska, Agata Zwierchowska, Dariusz Zwierchowski, Piotr Kuliczowski, Justyna Lisowska. 2010. „Technologie bezwykopowe w inżynierii środowiska”. Wydawnictwo Seidel – Przywecki Sp. z o.o.
- [7] Materiały zaczerpnięte ze strony internetowej – na dzień 25.12.2022r.: https://www.nawitel.pl/pl/horyzontalne_przewiertny_sterowane.html
- [8] Materiały zaczerpnięte ze strony internetowej – na dzień 11.12.2023r.: Inzynieria.com - Portal inżynieryjny
- [9] Agata Zwierchowska. 2006. „Mikrotunelowanie i przeciski hydrauliczne”. Nowoczesne Budownictwo Inżynieryjne.
- [10] Angelika Druzgała. 2014. „Systemy sterowania i kontroli w technologiach bezwykopowych”. Nowoczesne Budownictwo Inżynieryjne.
- [11] Materiały zaczerpnięte ze strony internetowej – na dzień 24.12.2023r.: <https://pl.aliexpress.com/i/1005002104452524.html>
- [12] Materiały zaczerpnięte ze strony internetowej – na dzień 24.12.2023r.: <https://www.flottweg.com/pl/linie-produktow/wirowki/>
- [13] Materiały zaczerpnięte ze strony internetowej – na dzień 25.12.2023r.: <https://inzynieria.com/artykul/szczegoly/18229,bazalt-nowosc-i-nowe-oblicze-trwalosci>
- [14] Materiały zaczerpnięte ze strony internetowej – na dzień 25.12.2023r.: <https://www.steinzeug-keramo.com/pl-pl/produkty/technologie-bezwykopowa/rury-przeciskowe/>
- [15] Materiały zaczerpnięte ze strony internetowej – na dzień 25.12.2023r.: <http://www.polimerobeton.pl/images/oferta2.pdf>
- [16] Materiały zaczerpnięte ze strony internetowej – na dzień 25.12.2023r.: <https://inzynieria.com/inzbezwkopowa/artykuly/18058,zelbetowe-rury-przeciskowe-do-mikrotunelowania>
- [17] Materiały zaczerpnięte ze strony internetowej – na dzień 25.12.2023r.: <https://www.amiblu.com/wp-content/uploads/Amiblu-Systemy-rur-przeciskowych.pdf>
- [18] Materiały zaczerpnięte ze strony internetowej – na dzień 02.01.2023r.: <https://pomorska.pl/korzenie-razem-z-rurami/ga/6676527/zd/10829795>
- [19] Materiały zaczerpnięte ze strony internetowej – na dzień 02.01.2023r.: <https://pixers.pl/koce-pluszowe/koparka-wywrotka-zaladunku-pojazdow-18493970>
- [20] Materiały zaczerpnięte ze strony internetowej – na dzień 02.01.2023r.: <https://www.topbudowa.pl/schody-tymczasowe-przenosne/kladka-tymczasowa-tas-6-stopni.html>
- [21] Radosław Czarny – Kropiwnicki, Marcin Śmietana. 2007. „2,9m średnicy – największy mikrotunel kanalizacyjny w Polsce”. Inżynieria Bezwykopowa.
- [22] Anna Biedrzycka. 2020. „Magistrala wodociągowa DN 800 pod dnem Wisły w Krakowie”. Nowoczesne Budownictwo Inżynieryjne.
- [23] Materiały zaczerpnięte ze strony internetowej – na dzień 27.12.2023r.: <https://www.mpwik.com.pl/view/finisz-prac-mikrotunelinguowych-na-ii-etapie-budowy-kolektora-wislanego>
- [24] Materiały zaczerpnięte ze strony internetowej – na dzień 27.12.2023r.: <https://www.kierunekwodkan.pl/artykul,90443,kolejny-odcinek-kolektora-wislanego-w-budowie.html>
- [25] Stanisław Styk. 2023. „Raport z obliczeń trwałości zmęczeniowej konstrukcji nawierzchni metodą mechaniczno – empiryczną”.