

UNIWERSYTET ROLNICZY
im. Hugona Kołłątaja w Krakowie
WYDZIAŁ INŻYNIERII ŚRODOWISKA I GEODEZJI
Kierunek Inżynieria Środowiska

Jacek Janicki

**Projekt przekroczenia rzeki i szlaku komunikacyjnego
siecią wodociągową z wykorzystaniem technologii
bezwykopowych**

Praca inżynierska wykonana
w Katedrze Inżynierii Sanitarnej i Gospodarki Wodnej
pod kierownictwem dr inż. Tomasza Bergela

Kraków 2012

Spis treści

I. Wstęp.....	3
I.1. Cel pracy	3
I.2. Opis stanu istniejącego.....	3
II. Wybór technologii.....	5
II.1. Przyjęte rozwiązanie usunięcia stanu awaryjnego sieci wodociągowej	5
II.2. Kryteria wyboru metody budowy rurociągu.....	5
III. Bezwykopowe sterowalne metody budowy rurociągów.....	6
III.1. Mikrotunelowanie	7
III.2. Horyzontalne przewiertki kierunkowe HDD	10
III.3. Sterowany przecisk hydrauliczny	13
III.4. Metoda Direct Pipe	15
IV. Wybór metody budowy rurociągu pod przeszkodą terenową	17
V. Projekt przekroczenia rzeki Wisły i ul. Podgórskiej w Krakowie.....	18
V.1. Część opisowa	18
V.2. Część obliczeniowa.....	22
VI. Część rysunkowa	34
Bibliografia	35

I. Wstęp

I.1. Cel pracy

Celem opracowania jest wybór technologii wykonania prac związanych z usunięciem stanu awaryjnego magistralnej sieci wodociągowej o średnicy DN 300 przebiegającej pod dnem rzeki oraz pod szlakiem komunikacyjnym. Magistrala wodociągowa zaopatruje w wodę ludność miasta, zakłady usługowe oraz produkcyjne.

I.2. Opis stanu istniejącego

Na odcinku magistralnej sieci wodociągowej przebiegającej pod dnem rzeki oraz pod szlakiem komunikacyjnym, stwierdzono straty wody oraz znaczny spadek ciśnienia. Aktualnie w celu zminimalizowania wycieku wody wodociągowej do rzeki, obniżono ciśnienie robocze rurociągu o 0.2 MPa. W wyniku zmniejszenia ciśnienia roboczego w odcinku rurociągu, straty wody uległy obniżeniu do poziomu $100.00 \text{ m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$. Teren zaopatrywany w wodę, przez przewód magistralny, który uległ awarii, pozbawiony jest alternatywnego źródła zasilania. Istnieje możliwość czasowego zamknięcia przepływu wody w porze nocnej na okres nie dłuższy niż 2 godziny. Dokładne określenie miejsca awarii jest niemożliwe, ponieważ nie można stwierdzić wypływu wody wodociągowej w dnie rzeki. Próba przeprowadzenia inspekcji telewizyjnej rurociągu zakończyła się niepowodzeniem, gdyż osad wewnątrz rurociągu uniemożliwił prowadzenie penetracji (zwężenie średnicy wewnętrznej rurociągu do 150 mm).



Ryc. 1. Przykład przewężenia przewodu wodociągowego uniemożliwiającej inspekcję (źródło własne)

Tab. 1. Charakterystyka magistralnego przewodu wodociągowego

Parametr	Wartość parametru
rok budowy	1982
materiał	stal
wymiar	DN 300 (323,7 mm x 6,3 mm)
projektowe ciśnienie robocze	0,7 MPa
przepływ projektowy	1400,00 m ³ · h ⁻¹
przepływ rzeczywisty	700,00 m ³ · h ⁻¹
długość rurociągu pod dnem rzeki	180 m

II. Wybór technologii

II.1. Przyjęte rozwiązanie usunięcia stanu awaryjnego sieci wodociągowej

Po analizie dostępnych informacji została podjęta decyzja o budowie równoległego przekroczenia rzeki rurociągiem magistralnym przy wykorzystaniu technologii bezwykopowych. Po zakończeniu budowy nowego rurociągu, odcinek sieci który uległ awarii, zostanie oczyszczony, a następnie poddany renowacji. Odcinek poddany renowacji zostanie podłączony do sieci i będzie służył jako zasilanie awaryjne lub dodatkowe w przypadku zwiększonego zapotrzebowania na wodę wodociągową. W celu zapewnienia jednorodności materiału sieci magistralnej, zdecydowano o zastosowaniu rur z polietylenu odpornych na instalację technologiami bezwykopowymi.

II.2. Kryteria wyboru metody budowy rurociągu

W celu dokonania wyboru optymalnej metody budowy rurociągu, należy przeprowadzić dokładną analizę wykonalności zadania przy zastosowaniu poszczególnych technologii, biorąc pod uwagę następujące wymagania:

- instalowany materiał - PE,
- średnica instalowanego rurociągu 400 mm,
- długość przekroczenia 300 m,
- wymagana sterowalność - ograniczona przestrzeń na wykonanie przekroczenia infrastrukturą podziemną,
- nie wymagana rura osłonowa,
- IV kategoria gruntu,
- ciśnieniowy charakter pracy rurociągu.

III. Bezwykopowe sterowalne metody budowy rurociągów

Międzynarodowe Stowarzyszenie Technologii Bezwykopowych (International Society for Trenchless Technology - ISTT) wprowadziło podział bezwykopowych metod budowy na [Kulickowski i in. 2010]:

- przeciski pneumatyczne przebijakiem, tzw. kretem (*Impact Molding*),
- pneumatyczne wbijanie rur stalowych (*Impact Ramming*),
- przewiertki sterowane (*Guided Boring*), wiercenia kierunkowe (*Directional Drilling*),
- przeciski hydrauliczne (*Pipe Jacking*),
- mikrotunelowanie (*Microtunnelling*).

Dla potrzeb pracy dyplomowej został zastosowany bardziej rozbudowany podział na metody sterowalne i niesterowalne.

Sterowalne bezwykopowe metody budowy rurociągów to:

- mikrotunelowanie,
- horyzontalne przewiertki sterowane,
- sterowane przeciski hydrauliczne,
- metoda Direct Pipe.

Niesterowalne bezwykopowe metody budowy rurociągów to:

- przeciski pneumatyczne przebijakiem,
- przeciski hydrauliczne,
- pneumatyczne wbijanie rur stalowych.

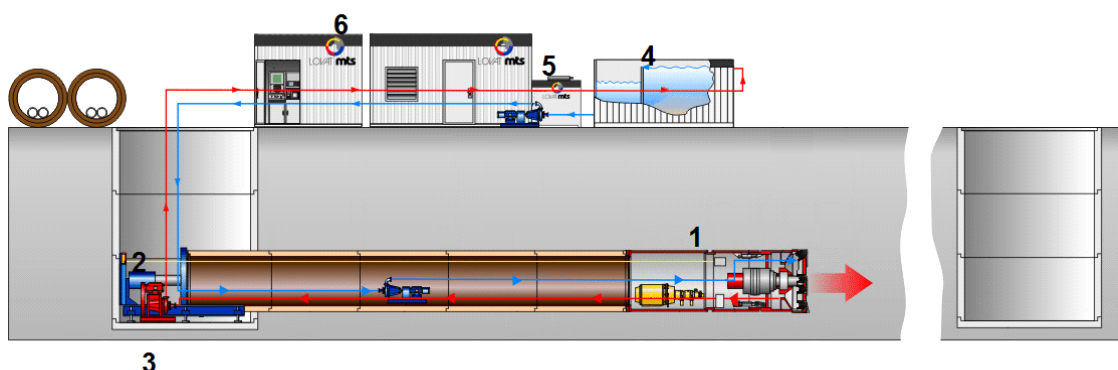
Wykonanie przekroczenia rzeki wymaga dokładnego zinventaryzowania oraz niesie niebezpieczeństwo uszkodzenia wcześniej wykonanych instalacji. Dlatego podjęto decyzję o wyborze technologii z grupy sterowalnych bezwykopowych metod budowy rurociągów.

III.1. Mikrotunelowanie

Technologia mikrotunelowania polega na drążeniu poziomego, o wymaganym spadku lub o krzywiznie, zarówno poziomej jak i pionowej, po łuku o założonym promieniu, otworu - tunelu pomiędzy dwoma uprzednio wykonanymi komorami (startową i końcową). Przekroje poprzeczne komór nazywanych często szybami mogą mieć kształt prostokątny, okrągły lub owalny w zależności od sposobu zabezpieczenia ich ścian. Wymiary komór zależą od wymiarów urządzeń do mikrotunelowania i prefabrykatów stanowiących konstrukcję tunelu. Najczęściej stosowanymi sposobami zabezpieczenia ścian wykopów są ścianki szczelne zabijane. W zwartej zabudowie lub przy głębokich komorach, obudowa wykopu może być zrealizowana jako studnia zapuszczana, studnia z tubingów albo ze ścian szczelinowych lub z pali wierconych [Madryas i in. 2006].

Zespół urządzeń do mikrotunelowania składa się z sześciu podstawowych elementów (ryc. 2):

- 1 - głowicy wiertniczej,
- 2 - stacji siłowników,
- 3 - systemu smarowania,
- 4 - systemu usuwania urobku - separacji fazy stałej,
- 5 - systemu gospodarki płuczką,
- 6 - systemu sterującego wraz z stacją zasilającą.



Ryc. 2. Schemat zespołu do mikrotunelowania (źródło - MTS Perforator)

Po wykonaniu komór i instalacji urządzeń w komorze startowej rozpoczyna się proces polegający na wierceniu tunelu i instalacji rury produktowej. Tarcza głowicy mikrotunelowej, napędzana za pomocą zespołu silników hydraulicznych zespolonych z przekładnią planetarną, obraca się powodując urabianie gruntu. Za tarczą znajduje się komora o kształcie stożka, w której następuje rozdrobnienie urobku na cząstki, które mogą zostać przetransportowane systemem rurociągów płuczkowych. Rozdrobniony grunt trafia do komory płuczkowej, gdzie miesza się z płuczką i systemem rurociągów umieszczonych wewnątrz tunelu trafia do systemu oczyszczania płuczki - system separacji fazy stałej. Głowica mikrotunelowa przemieszcza się od komory startowej do komory końcowej dzięki naporowi stacji siłowników, które za pośrednictwem pierścienia dociskowego o dużej sztywności, a następnie za pośrednictwem rur produktowych (stanowiących finalną obudowę tunelu) wywiera nacisk na głowicę. Wszystkie przewody zasilające, transportowe i sterownicze przebiegają wewnątrz tunelu i są sukcesywnie przedłużane wraz ze zwiększaniem się długości tunelu. W celu obniżenia tarcia na styku rura-grunt stosowany jest układ smarowania z wykorzystaniem suspensji bentonitowej z polimerami smarnymi. Suspensja bentonitowa jest podawana pod ciśnieniem przez dysze iniekcyjne instalowane w rurach produktowych. Płuczka bentonitowo - polimerowa nie tylko redukuje siły tarcia, lecz stabilizuje również ściany górotworu, nie dopuszczając do ich deformacji. Proces wiercenia jest sterowany i kontrolowany ze stanowiska operatora znajdującego się na powierzchni terenu. Dzięki użyciu siłowników zainstalowanych wewnątrz głowicy, operator ma możliwość korygowania trasy mikrotunelu. Proces tunelowania jest zakończony w momencie wyjścia głowicy w komorze końcowej. Po zakończeniu prac wiertniczych głowica jest demontowana w komorze końcowej [Madryas i in, 2006, 2002].

Tab. 2. Parametry techniczne technologii mikrotunelowania

Parametr	Wartość parametru
instalowany materiał	bazalt, kamionka, polimerobeton, żelbet, żeliwo sferoidalne, żywice wzmacniane włóknem szklanym
średnica zewnętrzna instalowanego rurociągu	250-4000 [mm]
maksymalna długość przekroczenia	uzależniona od średnicy i materiału rury 100 - 1500 [m]
rekordowa odległości budowa : Pringle Hill lokalizacja : Australia stan Queensland średnica - Materiał : ID 2100 [mm] - Żelbet długość : 1032 [m] źródło - czasopismo <i>ISTT - Tranchless Technology</i> 24.02.2011r. www.trenchlessonline.com	
sterowalność	tak
wymagana rura osłonowa	nie
kategoria gruntu	I -VII
charakter pracy rurociągu	grawitacyjny, bezciśnieniowy

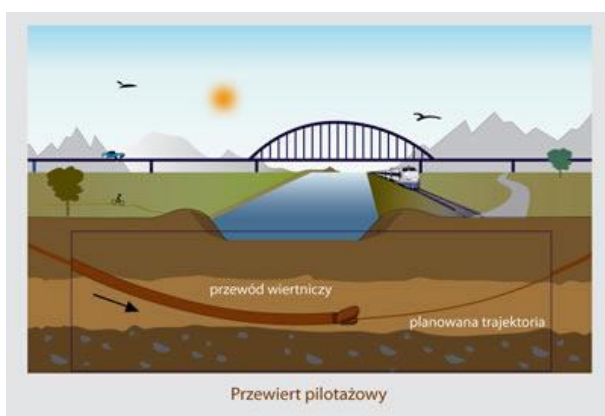
III.2. Horyzontalne przewiertki kierunkowe HDD

Horyzontalny przewiert kierunkowy jest technologią bezwykopową służącą instalowaniu rurociągów oraz kabli przy użyciu wiertnic horyzontalnych pod przeszkodami terenowymi takimi jak: szlaki komunikacyjne, rzeki, jeziora oraz obszary przyrodniczo cenne. Proces wykonywania przewiertu składa się z kilku etapów [Bayer 2005]:

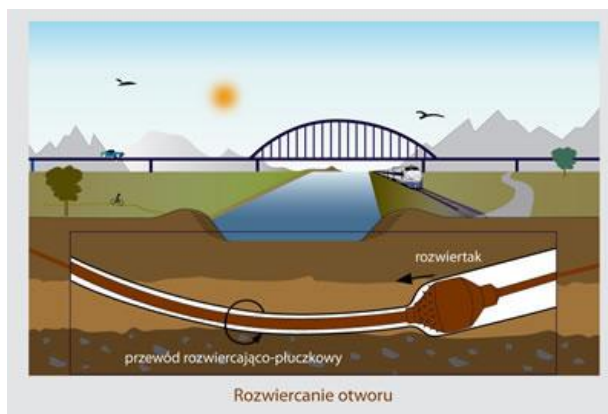
- wiercenia pilotowego,
- poszerzania otworu,
- czyszczenia i kalibracji otworu,
- instalacji rurociągu,
- przywrócenia terenu do stanu pierwotnego.

Po wykonaniu projektu i przygotowaniu stanowiska wiertnicy (ryc.11), rozpoczyna się wykonywanie wiercenia pilotowego, a następnie jego poszerzanie do odpowiedniej średnicy i instalacja rurociągu lub kabla. Jedynie na etapie wiercenia pilotowego istnieje możliwość sterowania głowicą wierzącą. Sterowanie jest możliwe dzięki specjalnie skonstruowanej głowicy wierzącej i elektronicznym sensorom umieszczonym w obudowie sondy. Element ten umieszczony jest pomiędzy żerdziami wiertniczymi a narzędziem urabiającym - głowicą wierzącą. Informacje pozyskiwane przez sensory są stale przekazywane na stanowisko operatora wiertnicy, dzięki czemu można na bieżąco kontrolować i korygować kierunek i głębokość wiercenia. Korekty mogą okazać się konieczne w przypadku wystąpienia kolizji z instalacjami podziemnymi lub innymi przeszkodami terenowymi. Po osiągnięciu punktu zakończenia przewiertu (punkt wyjścia), zostaje zdemontowana obudowa sondy wraz z narzędziem wierzącym, a zamontowane w jej miejsce zostaje narzędzie służące do poszerzania otworu. W procesie poszerzania narzędzie, urabia grunt tworząc przestrzeń dla instalowanego rurociągu. Po poszerzeniu otworu do wymaganej średnicy następuje instalacja. W przypadku instalacji rurociągów o małej średnicy lub na krótkim dystansie proces poszerzania i instalacji rurociągu często zostaje wykonywany w tym samym czasie, co pozwala skrócić czas operacji

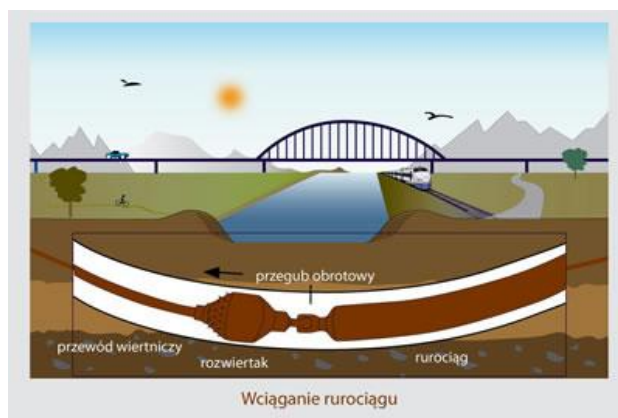
wiertniczych. Na każdym etapie prac wiertniczych, przez żerdzie wiertnicze tłoczona jest płuczka na bazie bentonitu lub polimeru, która wypływając przez dysze umieszczone w narzędziach wiertniczych urabia grunt, transportuje urobek, stabilizuje ściany otworu wiertniczego, jak również zapobiega przegrzewaniu się narzędzi, a podczas instalacji zmniejsza tarcie powierzchniowe na styku grunt - instalowany materiał [Willoughby 2005].



Ryc. 3. Prace wiertnicze - wiercenie pilotowe (źródło www.nawitel.pl)



Ryc. 4. Prace wiertnicze - rozwiercanie otworu (źródło www.nawitel.pl)



Ryc. 5. Prace wiertnicze - instalacja rurociągu (źródło www.nawitel.pl)

Tab. 3. Parametry techniczne horyzontalnych przewiertów kierunkowych HDD

Parametr	Wartość parametru
instalowany materiał	żeliwo sferoidalne, PE, zgrzewalne PVC, stal
średnica instalowanego rurociągu	25- 1400[mm]
rekordowa średnica budowa : Gazociąg OPAL przekroczenie rzeki Dahme lokalizacja : Dahmetal Niemcy średnica - Materiał : 1422 [mm] - [56``] - Stal długość : 970 [m] źródło - <i>czasopismo Inżynieria Bezwykopowa 1/2011 [37]</i>	
maksymalna długość przekroczenia	uzależniona od średnicy do 4000 [m]
rekordowa odległości budowa : Tranzyt gazu przez cieśninę Solent lokalizacja : Wyspa Wight, Południowa Anglia średnica - Materiał : DN 300 - 324 [mm] - Stal długość : 3932 [m] źródło - <i>czasopismo Inżynieria Bezwykopowa 4/2011 [40]</i>	
sterowalność	tak
wymagana rura osłonowa	nie
kategoria gruntu	I -VII
charakter pracy rurociągu	grawitacyjny, bezciśnieniowy, ciśnieniowy

III.3. Sterowany przecisk hydrauliczny

W tej metodzie prace wykonywane są przy użyciu hydraulicznych wiertnic poziomych wyposażonych w system pomiarowy, umożliwiający ciągłą kontrolę trajektorii przewiertu. Wiercenie odbywa się pomiędzy dwoma komorami, a instalowany odcinek przebiega prostoliniowo z założonym spadkiem.

Prace rozpoczynają się od zaplanowania rozmieszczenia komory startowej i odbiorczej, które umieszcza się najczęściej w miejscach planowanych studni kanalizacyjnych. Wykonywanie przewiertu przebiega trój etapowo [Kulickowski i in. 2010]:

- etap I - wiercenie pilotowe,
- etap II - przecisk hydrauliczny stalowych rur okładzinowych,
- etap III - przecisk hydrauliczny rur przewodowych.

Etap I - wykonanie przewiertu pilotowego - na tym etapie możliwe jest sterowanie. Żerdź pilotowa jest wciskana w grunt, który zostaje przez nią zagęszczony. W ciężkich warunkach gruntowych, podczas wciskania żerdzi podawana jest suspensja bentonitowa ułatwiająca wykonywanie wiercenia pilotowego.

Etap II - poszerzanie otworu z zastosowaniem stalowych rur okładzinowych - które są wielokrotnie używane. Urobek z przestrzeni pierścieniowej (żerdź - rura okładzinowa) zostaje usunięty z wnętrza rury przy pomocy ślimakowego przenośnika do komory startowej. Żerdzie natomiast są wypychane do komory końcowej, gdzie zostają demontowane. Proces poszerzania otworu zostaje zakończony, gdy rury okładzinowe znajdą się w komorze końcowej.

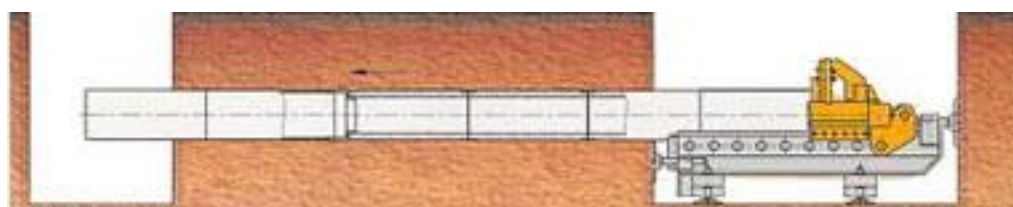
Etap III - polega na przeciskaniu rur przewodowych (najczęściej kamionkowych, GRP, polimerobetonowych) przy jednoczesnym wypychaniu stalowych rur okładzinowych do komory końcowej.



Ryc. 6. Etap I - Wiercenie pilotowe (źródło www.wamet.pl)



Ryc. 7. Etap II - przecisk hydrauliczny stalowych rur okładzinowych (źródło www.wamet.pl)



Ryc. 8. Etap III - przecisk hydrauliczny rur przewodowych (źródło www.wamet.pl)

Tab. 4. Parametry techniczne sterowanych przecisków hydraulicznych

Parametr	Wartość parametru
instalowany materiał	bazalt, kamionka, polimerobeton, żelbet, żywice wzmacniane włóknem szklanym, PE
średnica instalowanego rurociągu	200-800 [mm]
maksymalna długość przekroczenia	uzależniona od średnicy do 100 [m]
sterowalność	tak
wymagana rura osłonowa	nie
kategoria gruntu	I -VII
charakter pracy rurociągu	grawitacyjny, bezciśnieniowy, ciśnieniowy

III.4. Metoda Direct Pipe

Technologia Direct Pipe łączy elementy technologii mikrotunelingu i horyzontalnych przewiertów kierunkowych. Urabianie gruntu odbywa się poprzez standartową głowicę mikrotunelową. Znajdująca się na powierzchni terenu stacja pchająca (Pipe Truster) wywiera nacisk na głowicę mikrotunelową za pośrednictwem rurociągu stalowego. Transport urobku odbywa się za pomocą systemu płuczkowego, którego przewody umieszczone są wewnątrz stalowego rurociągu. Płuczka wraz z urobkiem zostaje oczyszczona w systemie separacji fazy stałej i wielokrotnie wykorzystana. Instalowany rurociąg stalowy jest przygotowywany - zespawany w jednym kawałku po stronie maszynowej [Kuliczkowski i in. 2010].



Ryc. 9. Metoda Direct Pipe - widok głowicy mikrotunelowej (źródło *Herrenknecht*)



Ryc. 10. Metoda Direct Pipe - urządzenie pchające zainstalowane w komorze
(źródło Herrenknecht)

Tab. 5. Parametry techniczne technologii Direct Pipe

Parametr	Wartość parametru
instalowany materiał	stal
średnica instalowanego rurociągu	500-1200 [mm]
maksymalna długość przekroczenia	uzależniona od średnicy 800 [m]
sterowalność	tak
wymagana rura osłonowa	nie
kategoria gruntu	I -VII
charakter pracy rurociągu	ciśnieniowy

IV. Wybór metody budowy rurociągu pod przeszkodą terenową

Przy wyborze technologii wykonania przekroczenia rzeki i szlaku komunikacyjnego, porównano poszczególne metody wg kryteriów założonych na początku opracowania. Ocena kryteriów została dokonana za pomocą kryteriów: spełnia "1" lub nie spełnia "0". Metoda, która po zsumowaniu punktów za poszczególne kryteria otrzyma najwyższą liczbę punktów zostanie zastosowana do budowy nowego przekroczenia.

Tab. 6. Ocena metod budowy rurociągu

L.p.	Kryterium	Cecha	Mikrotuneling	Horyzontalny przewiert kierunkowy	Sterowany przecisk hydrauliczny	Direct Pipe
1	instalowany materiał	PE	0	1	1	0
2	średnica instalowanego rurociągu	DN 400	1	1	1	0
3	długość przekroczenia	300 [m]	1	1	0	1
4	wymagana sterowalność	tak	1	1	1	1
5	wymagana rura osłonowa	nie	1	1	1	1
6	kategoria gruntu	IV	1	1	1	1
7	charakter pracy rurociągu	ciśnieniowy	1	1	1	1
	SUMA		6	7	6	5

Jako metodę budowy rurociągu wodociągowego wybrano horyzontalny przewiert kierunkowy, ponieważ spełnia wszystkie kryteria stawiane metodzie budowy rurociągu i uzyskał największą ilość punktów spośród wszystkich rozpatrywanych sterowalnych technologii bezwykopowej budowy rurociągów (Tab. 6.).

V. Projekt przekroczenia rzeki Wisły i ul. Podgórskiej w Krakowie

V.1. Część opisowa

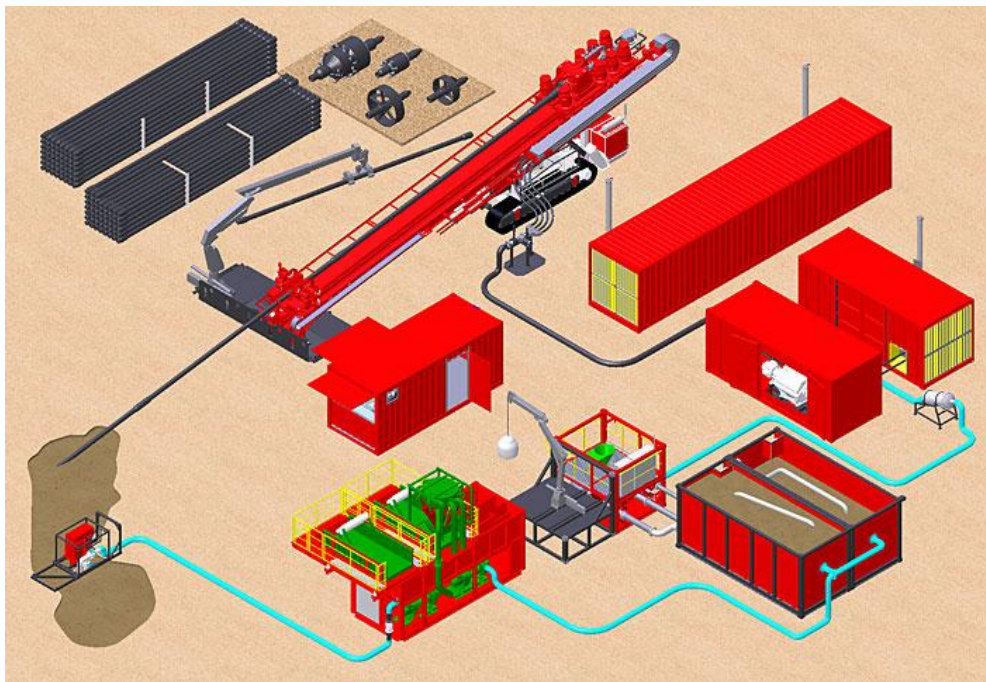
Przekroczenie rzeki Wisły i ul. Podgórskiej w Krakowie w okolicy mostu Kotlarskiego, zostanie wykonane przy wykorzystaniu technologii horyzontalnego przewiertu sterowanego. Jako rury przewodowe zostaną zainstalowane rury wielowarstwowe z polietylenu - odporne na prognację pęknięć i przystosowane do instalacji z wykorzystaniem technologii bezwykopowych. Długość przekroczenia wynosi 296 m, z czego 140 m pod korytem Wisły.

Założenia:

- instalowany materiał - rury Wavin TS - wielowarstwowe Ø 400 PE 100 SDR 11 - grubość ścianki 36,4 mm,
- strona maszynowa będzie znajdowała się pomiędzy ul. Gustawa Herlinga Grudzińskiego i ul. Zabłocie, ponieważ jest lepiej skomunikowana oraz dostępna jest większa powierzchnia na instalację wszystkich niezbędnych urządzeń (plac należy utwardzić płytami drogowymi),
- strona rurowa będzie znajdowała się u zbiegu ul. Kotlarskiej i Podgórskiej rury PE będą dostarczane partiami po 10 szt. (120 m) na stronę rurową samochodami wyposażonymi w żurawie pomocne przy wykonywaniu połączeń rurociągu przy pomocy zgrzewarki doczołowej (plac montażowy należy utwardzić płytami drogowymi),
- po stronie maszynowej zostanie zainstalowany system separacji fazy stałej wraz ze zbiornikami buforowymi, a transport płuczki wiertniczej wraz z urobkiem ze strony rurowej na maszynową, będzie się odbywał za pomocą beczkowsów,
- aby ograniczyć uciążliwość prac pobliskich mieszkańców, prace będą prowadzone w godzinach od 6⁰⁰ do 22⁰⁰ z zachowaniem ciszy nocnej,

- w celu ograniczenia oddziaływania na środowisko naturalne woda do wykonywania prac zostanie pobierana z rzeki Wisły, a zrzut zużytej płuczki na bazie bentonitów po obróbce w systemie separacji fazy stałej i wirówce dekantacyjnej, będzie dokonywany przy stanach wezbraniowych, natomiast w przypadku stanów niskich płuczka wiertnicza zostanie przetransportowana wozami asenizacyjnymi do oczyszczalni ścieków,
- do wykonywania prac zostanie użyta maszyna klasy 300 kN, a krzywizna będzie prowadzona po łukach o promieniu min 150 m,
- prace będą prowadzone z wykorzystaniem tzw. zamkniętego obiegu płuczki wiertniczej z wykorzystaniem systemu separacji fazy stałej i kondycjonowania płuczki,
- urobek z separacji fazy stałej zostanie przetransportowany samochodami samowładowczymi na składowisko odpadów komunalnych,
- w celu optymalizacji trajektorii otworu zostanie wykorzystany magnetyczny system kontroli trajektorii przewiertu,
- z uwagi na długość przekroczenia założono wykonanie otworu wiertniczego o 30 % większego od średnicy instalowanego rurociągu, a planowany otwór będzie miał średnicę 650 mm,
- prace wiertnicze będą przebiegały w 4 etapach :
 - I - wiercenie pilotowe,
 - II - poszerzanie narzędziem typu Fly - Cutter do średnicy 650 mm,
 - III - kalibracja otworu narzędziem baryłkowym o średnicy 550 mm,
 - IV - instalacja rurociągu za narzędziem baryłkowym 550 mm,
- z uwagi na ograniczony przekrój wewnętrzny żerdzi wiertniczych założono pompowanie płuczki wiertniczej z wydatkiem do $800 \text{ dm}^3 \cdot \text{min}^{-1}$,
- program płuczkowy zoptymalizowano pod kątem warstw aluwialnych określonych na podstawie dokumentacji geologicznej,

- prowadzenie prac nie może utrudniać ruchu na ulicach przyległych,
- prowadzenie prac nie może zakłócić żeglugi na rzece Wiśle,
- wykonanie przewiertu musi zostać skoordynowane z pracami przełączeniowymi na sieci magistralnej,
- aby zapobiec niekontrolowanej migracji płuczki, założono minimalne przykrycie przewiertu ok. 8 [m] pod dnem rzeki,
- przestrzeń pierścieniowa powstałą pomiędzy rurociągami a ścianą otworu zostanie wypełniona płuczka bentonitową.



Ryc. 11. Schemat placu maszynowego (źródło *Prime Drilling*)

Profil przekroczenia:

- długość w planie: 296 m
- długość rzeczywista otworu: 301 m
- głębokość posadowienia rurociągu: 20 m
- głębokość pod dnem: 8 m

Profil zgodnie z rys. 1. załączonym na końcu pracy składa się z trzech odcinków liniowych o długościach $l_1 = 62$ m, $l_2 = 100$ m, $l_3 = 58$ m oraz ndwóch odcinków prowadzonych po łuku o promieniu 160 m i długości odpowiednio $l_{r1} = 40$ m i $l_{r2} = 41$ m.

Właściwości materiału stosowanego do wykonania bezwykopowego przekroczenia (Tab. 7.)

Tab. 7. Właściwości charakteryzujące materiał HDPE - PE 100

Parametr	Jednostka	Wartość parametru
odporność na naprężenia rozciągające		zależna od temperatury i zmienna w czasie
typ materiału		elastyczny
odporność na korozję		wysoka
wrażliwość na głębokość instalacji		tak
podatność na deformację		tak
gęstość materiału	$g \times cm^{-3}$	0,96
bezpieczne naprężenia rozciągające 1 h	MPa	10
bezpieczne naprężenia rozciągające 12 h	MPa	9
graniczna wytrzymałość na rozciąganie	MPa	23
dopuszczalne ciśnienie wewnętrzne	MPa	1.6
moduł YOUNGA (moduł sprężystości podłużnej 10 h)	MPa	500
rekomendowany minimalny promień krzywizny	m	≥ 200 średnic instalowanego materiału

V.2. Część obliczeniowa

Obliczenie wytrzymałości na rozciąganie instalowanego rurociągu

Maksymalne obciążenie osiowe rurociągu PE 100 Ø 400 SDR 11 - 400 mm x 36,4 mm - przy założeniu dopuszczalnego naprężania rozciągającego na poziomie 10 MPa:

$$F_{MAX} = P_R \cdot R_{R1h} \cdot 10^{-3} \quad [kN] \quad (1)$$

gdzie:

F_{MAX} - wytrzymałość na rozciąganie rurociągu,

P_R - powierzchnia przekroju rurociągu (2),

R_{R1h} - bezpieczne naprężenia rozciągające 1 h,

$$P_R = \pi \cdot \frac{(D_z^2 - D_w^2)}{4} \quad [mm^2] \quad (2)$$

gdzie:

D_z - średnica zewnętrzna rurociągu,

D_w - średnica wewnętrzna rurociągu,

$$F_{MAX} = \pi \cdot \frac{(D_z^2 - D_w^2)}{4} \cdot R_{R1h} \cdot 10^{-3} \quad [kN]$$

$$F_{MAX} = \pi \cdot \frac{(400^2 - 327,2^2)}{4} \cdot 10 \cdot 10^{-3} = 415 \text{ kN}$$

Obliczenie sił instalacyjnych

Przewidując siły instalacyjne w otworze wiertniczym wierconym technologią HDD założono, że trajektoria otworu wiertniczego składać się będzie z odcinków prostych i łuków wykonywanych w jednej płaszczyźnie. Siły instalacyjne składają się więc z sił tarcia na odcinkach prostych i odcinkach zakrzywionych (Polyethylene Pipe For Horizontal Directional Drilling - Plastics Pipe Institute - Division of the Society of the Plastics Industry 1998).

Siły wymagane do pokonania tarcia na odcinkach prostych

$$F_p = \mu \cdot P \cdot L + F_{fluid} \quad [\text{kN}] \quad (3)$$

gdzie:

F_p - siła tarcia na odcinku prostym [N],

μ - współczynnik tarcia pomiędzy ścianą rurociągu a otoczeniem zależny od jakości otworu wiertniczego:

0,3 - 0,5 - otwory dobrej jakości wiercone w ilach lub litej formacji,

0,5 - 0,7 - otwory średniej jakości,

0,7 - 1,0 - otwory złej jakości,

0,15 - 0,3 - rurociąg ułożony na rolkach,

P - wypadkowa sił - siła kontaktowa pomiędzy rurą a jej otoczeniem [$\text{N} \cdot \text{m}^{-1}$],

L - długość odcinka [m],

F_{fluid} - tarcie pochodzące od ruchu w ośrodku lepkim (płuczka wiertnicza),

$3 \cdot 10^{-2} \div 5 \cdot 10^{-2}$ [kN] na 1 m^2 powierzchni bocznej rury.

$$P = \pi \frac{D_z^2}{4} \cdot \gamma_{płuczki} - \pi \frac{(D_z^2 - D_w^2)}{4} \cdot \gamma_{rury} - \pi \frac{D_w^2}{4} \cdot \gamma_{cieczy\ balastujacej} \quad [\text{kN}] \quad (4)$$

gdzie:

D_z - średnica zewnętrzna rurociągu,

D_w - średnica wewnętrzna rurociągu,

$\gamma_{płuczki}$ - ciężar właściwy płuczki,

γ_{rury} - ciężar właściwy rurociągu,

$\gamma_{cieczy\ balastuj\ acej}$ - ciężar właściwy cieczy balastującej,

Siły wymagane do pokonywania tarcia na odcinkach krzywoliniowych

Siła wymagana na pokonanie tarcia na odcinkach krzywoliniowych (efekt Capstana):

$$F_c = e^{\mu\alpha} (\mu \cdot P \cdot L) + F_{fluid} \quad [\text{kN}] \quad (5)$$

gdzie:

F_p - siła tarcia na odcinku zakrzywionym [N],

e - podstawa logarytmu naturalnego,

α - kąt krzywizny otworu (rad),

μ - współczynnik tarcia pomiędzy ścianą rurociągu a otoczeniem zależny od jakości otworu wiertniczego (-)

P - wypadkowa sił - siła kontaktowa pomiędzy rurą a jej otoczeniem
[N·m⁻¹],

L - długość odcinka [m],

F_{fluid} - tarcie pochodzące od ruchu w ośrodku lepkim (płuczka wiertnicza).

Obliczenie siły wymaganej do instalacji rurociągu

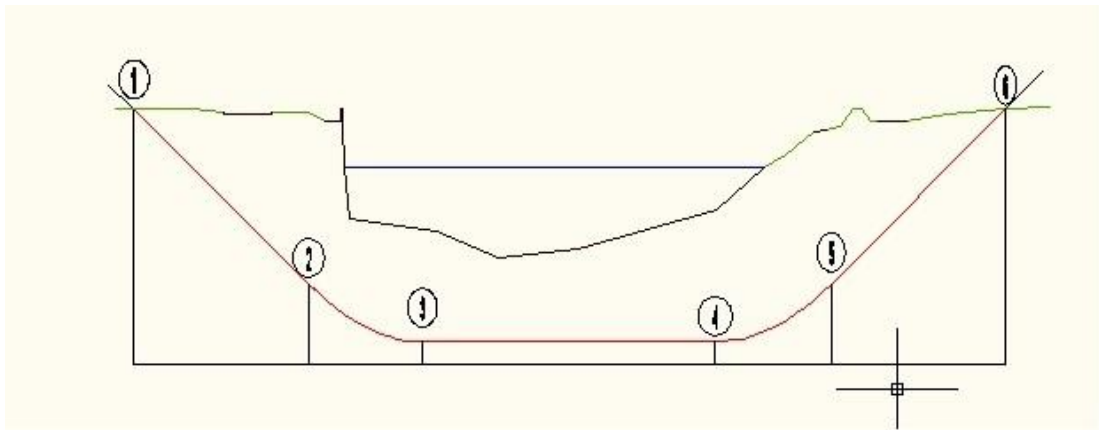
W projekcie sprawdzono siły instalacyjne dla 3 wariantów:

W I - bez balastowania,

W II - balastowanie wodą wodociągową,

W III - balastowanie płuczką wiertniczą.

Siły instalacyjne sprawdzono w 6 punktach charakterystycznych przedstawionych na rys. 1. oraz na poniższym schemacie (ryc.12).



Ryc.12. Schemat przewiertu z zaznaczonymi punktami charakterystycznymi

Obliczenie sił wariant W I - instalacja rurociągu bez balastowania

Dane:

$$\alpha = \beta = 14^\circ = 0,24 \text{ rad}$$

Założenia :

- rurociąg przygotowany do wciągnięcia w całości zgrzany i umieszczony na rolkach podrutowych,
- siły instalacyjne dla tego przypadku - rurociąg pusty - głowica ciągnąca szczelna uniemożliwiająca przedostanie się płuczki z przestrzeni pierścieniowej do wnętrza rurociągu.

Masa 1 mb rurociągu na powierzchni terenu (4)

$$P = \pi \frac{(D_Z^2 - D_W^2)}{4} \cdot \gamma_{PEHD} = \pi \frac{(400^2 - 327.2^2)}{4} \cdot 0.96 \cdot 10^{-3} = 39.92 \text{ [kg]}$$

Wariant W I - w punkcie charakterystycznym nr 1 (3) (4)

$$F_{I1} = e^{\mu\alpha} (\mu \cdot P \cdot L_c) = e^{0.2 \cdot 0.24} (0.2 \cdot 39.92 \cdot 301) \cdot g \cdot 10^{-3} = \\ e^{0.2 \cdot 0.24} \cdot 2403.18 \cdot 9.81 \cdot 10^{-3} = 24.73 \text{ [kN]}$$

Wariant W I - w punkcie charakterystycznym nr 2 (3) (4)

$$P = \pi \frac{D_Z^2}{4} \cdot \gamma_{płuczki} - \pi \frac{(D_Z^2 - D_W^2)}{4} \cdot \gamma_{PEHD} \\ P = \left[\pi \frac{400^2}{4} \cdot 1.30 - \pi \frac{(400^2 - 327.2^2)}{4} \cdot 0.96 \right] \cdot 10^{-3} = 123.44 \text{ kg}$$

$$F_{I2} = (e^{\mu\alpha} (\mu \cdot P \cdot [L_2 + L_3 + L_{R1} + L_{R2}]) + (\mu \cdot P \cdot L_1) + F_{fluid}) \cdot 9.81 \cdot 10^{-3} = \\ (e^{0.2 \cdot 0.24} (0.2 \cdot 39.92 \cdot 239) + (0.7 \cdot 123.44 \cdot 62) \\ + (4 \cdot (2 \cdot \pi \cdot 200 \cdot 10^{-3} \cdot 62))) \cdot 9.81 \cdot 10^{-3} = 65.50 \text{ kN}$$

Wariant W I - w punkcie charakterystycznym nr 3 (3) (4) (5)

$$\begin{aligned} F_{I3} &= (e^{\mu\alpha} (\mu \cdot P \cdot [L_2 + L_3 + L_{R2}]) + (e^{\mu\alpha} (\mu \cdot P \cdot L_{R1}) + (\mu \cdot P \cdot L_1) \\ &\quad + F_{fluid}) \cdot 9.81 \cdot 10^{-3} = \\ &\quad \left(e^{0.2 \cdot 0.24} (0.2 \cdot 39.92 \cdot 199) + (0.7 \cdot 123.44 \cdot 62) \right. \\ &\quad \left. + (e^{0.7 \cdot 0.24} (0.7 \cdot 123.44 \cdot 40)) + (4 \cdot (2 \cdot \pi \cdot 200 \cdot 10^{-3} \cdot 102)) \right) \\ &\quad \cdot 9.81 \cdot 10^{-3} = 105.93 \text{ kN} \end{aligned}$$

Wariant W I - w punkcie charakterystycznym nr 4 (3) (4) (5)

$$\begin{aligned} F_{I4} &= (e^{\mu\alpha} (\mu \cdot P \cdot (L_3 + L_{R2})) + (e^{\mu\alpha} (\mu \cdot P \cdot L_{R1}) + (\mu \cdot P \cdot (L_1 + L_2) \\ &\quad + F_{fluid}) \cdot 9.81 \cdot 10^{-3} = \\ &\quad \left(e^{0.2 \cdot 0.24} (0.2 \cdot 39.92 \cdot 99) + (0.7 \cdot 123.44 \cdot 162) + (e^{0.7 \cdot 0.24} (0.7 \cdot 123.44 \cdot \right. \\ &\quad \left. 40 + 4 \cdot 2 \cdot \pi \cdot 200 \cdot 10^{-3} \cdot 202) \cdot 9.81 \cdot 10^{-3} = 191.49 \text{ kN} \end{aligned}$$

Wariant W I - w punkcie charakterystycznym nr 5 (3) (4) (5)

$$\begin{aligned} F_{I5} &= (e^{\mu\alpha} (\mu \cdot P \cdot (L_3)) + (e^{\mu\alpha} (\mu \cdot P \cdot (L_{R1} + L_{R2})) + (\mu \cdot P \cdot (L_1 + L_2) \\ &\quad + F_{fluid}) \cdot 9.81 \cdot 10^{-3} = \\ &\quad \left(e^{0.2 \cdot 0.24} (0.2 \cdot 39.92 \cdot 58) + (0.7 \cdot 123.44 \cdot 162) \right. \\ &\quad \left. + (e^{0.7 \cdot 0.24} (0.7 \cdot 123.44 \cdot 81)) + (4 \cdot (2 \cdot \pi \cdot 200 \cdot 10^{-3} \cdot 243)) \right) \\ &\quad \cdot 9.81 \cdot 10^{-3} = 232.93 \text{ kN} \end{aligned}$$

Wariant W I - w punkcie charakterystycznym nr 6 (3) (4) (5)

$$\begin{aligned} F_{I6} &= (e^{\mu\alpha} (\mu \cdot P \cdot (L_{R1} + L_{R2})) + (\mu \cdot P \cdot (L_1 + L_2 + L_3) + F_{fluid}) \cdot 9.81 \cdot 10^{-3} \\ &= \\ &\quad \left((0.7 \cdot 123.44 \cdot 220) + (e^{0.7 \cdot 0.24} (0.7 \cdot 123.44 \cdot 81)) \right. \\ &\quad \left. + (4 \cdot (2 \cdot \pi \cdot 200 \cdot 10^{-3} \cdot 301)) \right) \cdot \\ &\quad 9.81 \cdot 10^{-3} = 269.16 \text{ kN} \end{aligned}$$

Obliczenie sił wariant W II - instalacja rurociągu balastowanego wodą wodociągową

Siły instalacyjne dla tego przypadku - balastowanie wodą wodociągową rurociągu znajdującego się w otworze wiertniczym

Masa 1 mb rurociągu na powierzchni terenu (4)

$$P = \pi \frac{(D_Z^2 - D_W^2)}{4} \cdot \gamma_{PEHD} = \pi \frac{(400^2 - 327.2^2)}{4} \cdot 0.96 \cdot 10^{-3} = 39.92 \text{ kg}$$

Wariant W II - w punkcie charakterystycznym nr 1 (3) (4)

$$F_{II1} = e^{\mu\alpha} (\mu \cdot P \cdot L_c) = e^{0.2 \cdot 0.24} (0.2 \cdot 39.92 \cdot 301) \cdot g \cdot 10^{-3} = \\ e^{0.2 \cdot 0.24} \cdot 2403.18 \cdot 9.81 \cdot 10^{-3} = 24.73 \text{ kN}$$

Wariant W II - w punkcie charakterystycznym nr 2 (3) (4)

$$P = \pi \frac{D_Z^2}{4} \cdot \gamma_{płuczki} - \pi \frac{(D_Z^2 - D_W^2)}{4} \cdot \gamma_{PEHD} - \pi \frac{D_W^2}{4} \cdot \gamma_{cięży balastującej}$$

$$P = \left[\pi \frac{400^2}{4} \cdot 1.30 - \pi \frac{(400^2 - 327.2^2)}{4} \cdot 0.96 - \pi \frac{(327.2^2)}{4} \cdot 1.00 \right] \cdot 10^{-3} \\ = 39.36 \text{ [kg]}$$

$$F_{II2} = (e^{\mu\alpha} (\mu \cdot P \cdot [L_2 + L_3 + L_{R1} + L_{R2}]) + (\mu \cdot P \cdot L_1) + F_{fluid}) \cdot 9.81 \cdot 10^{-3} \\ = \\ (e^{0.2 \cdot 0.24} (0.2 \cdot 39.92 \cdot 239) + (0.7 \cdot 39.36 \cdot 62) \\ + (4 \cdot (2 \cdot \pi \cdot 200 \cdot 10^{-3} \cdot 62))) \cdot 9.81 \cdot 10^{-3} = 39.45 \text{ kN}$$

Wariant W II - w punkcie charakterystycznym nr 3 (3) (4) (5)

$$F_{II3} = (e^{\mu\alpha} (\mu \cdot P \cdot [L_2 + L_3 + L_{R2}]) + (e^{\mu\alpha} (\mu \cdot P \cdot L_{R1}) + (\mu \cdot P \cdot L_1) + F_{fluid}) \cdot 9.81 \cdot 10^{-3} =$$

$$\left(e^{0.2 \cdot 0.24} (0.2 \cdot 39.92 \cdot 199) + (0.7 \cdot 39.36 \cdot 62) \right. \\ \left. + (e^{0.7 \cdot 0.24} (0.7 \cdot 39.36 \cdot 40)) + (4 \cdot (2 \cdot \pi \cdot 200 \cdot 10^{-3} \cdot 102)) \right) \\ \cdot 9.81 \cdot 10^{-3} = 50.93 \text{ kN}$$

Wariant W II - w punkcie charakterystycznym nr 4 (3) (4) (5)

$$F_{II4} = (e^{\mu\alpha} (\mu \cdot P \cdot (L_3 + L_{R2})) + (e^{\mu\alpha} (\mu \cdot P \cdot L_{R1}) + (\mu \cdot P \cdot (L_1 + L_2) + F_{fluid}) \cdot 9.81 \cdot 10^{-3} =$$

$$\left(e^{0.2 \cdot 0.24} (0.2 \cdot 39.92 \cdot 99) + (0.7 \cdot 39.36 \cdot 162) + (e^{0.7 \cdot 0.24} (0.7 \cdot 39.36 \cdot 40)) \right. \\ \left. + (4 \cdot (2 \cdot \pi \cdot 200 \cdot 10^{-3} \cdot 202)) \right) \cdot 9.81 \cdot 10^{-3} = 74.67 \text{ kN}$$

Wariant W II - w punkcie charakterystycznym nr 5 (3) (4) (5)

$$F_{II5} = (e^{\mu\alpha} (\mu \cdot P \cdot (L_3)) + (e^{\mu\alpha} (\mu \cdot P \cdot (L_{R1} + L_{R2})) + (\mu \cdot P \cdot (L_1 + L_2) + F_{fluid}) \cdot 9.81 \cdot 10^{-3} =$$

$$\left(e^{0.2 \cdot 0.24} (0.2 \cdot 39.92 \cdot 58) + (0.7 \cdot 39.36 \cdot 162) \right. \\ \left. + (e^{0.7 \cdot 0.24} (0.7 \cdot 39.36 \cdot 81)) + (4 \cdot (2 \cdot \pi \cdot 200 \cdot 10^{-3} \cdot 243)) \right) \\ \cdot 9.81 \cdot 10^{-3} = 86.60 \text{ kN}$$

Wariant W II - w punkcie charakterystycznym nr 6 (3) (4) (5)

$$\begin{aligned} F_{II6} &= (e^{\mu\alpha} (\mu \cdot P \cdot (L_{R1} + L_{R2})) + (\mu \cdot P \cdot (L_1 + L_2 + L_3) + F_{fluid})) \cdot 9.81 \cdot 10^{-3} \\ &= \left((0.7 \cdot 39.36 \cdot 220) + (e^{0.7 \cdot 0.24} (0.7 \cdot 39.36 \cdot 81)) \right. \\ &\quad \left. + (4 \cdot (2 \cdot \pi \cdot 200 \cdot 10^{-3} \cdot 301)) \right) \cdot 9.81 \cdot 10^{-3} = 100.20 \text{ kN} \end{aligned}$$

Obliczenie sił wariant W III - instalacja rurociągu balastowanego płuczką wiertniczą

Siły instalacyjne dla tego przypadku - balastowanie płuczką wiertniczą rurociągu znajdującego się w otworze wiertniczym - głowica ciągnąca typu otwartego.

Masa 1 mb rurociągu na powierzchni terenu (4)

$$P = \pi \frac{(D_Z^2 - D_W^2)}{4} \cdot \gamma_{PEHD} = \pi \frac{(400^2 - 327.2^2)}{4} \cdot 0.96 \cdot 10^{-3} = 39.92 \text{ kg}$$

Wariant W III - w punkcie charakterystycznym nr 1 (3) (4)

$$\begin{aligned} F_{III1} &= e^{\mu\alpha} (\mu \cdot P \cdot L_c) = e^{0.2 \cdot 0.24} (0.2 \cdot 39.92 \cdot 301) \cdot g \cdot 10^{-3} = \\ &= e^{0.2 \cdot 0.24} \cdot 2403.18 \cdot 9.81 \cdot 10^{-3} = 24.73 \text{ kN} \end{aligned}$$

Wariant W III - w punkcie charakterystycznym nr 2 (3) (4)

$$\begin{aligned} P &= \pi \frac{D_Z^2}{4} \cdot \gamma_{płuczki} - \pi \frac{(D_Z^2 - D_W^2)}{4} \cdot \gamma_{PEHD} - \pi \frac{D_W^2}{4} \cdot \gamma_{cieczy balastującej} \\ P &= \left[\pi \frac{400^2}{4} \cdot 1.30 - \pi \frac{(400^2 - 327.2^2)}{4} \cdot 0.96 - \pi \frac{(327.2^2)}{4} \cdot 1.30 \right] \cdot 10^{-3} \\ &= 14.14 \text{ kg} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
F_{III2} &= (e^{\mu\alpha} (\mu \cdot P \cdot [L_2 + L_3 + L_{R1} + L_{R2}]) + (\mu \cdot P \cdot L_1) + F_{fluid}) \cdot 9.81 \cdot 10^{-3} \\
&= \left(e^{0.2 \cdot 0.24} (0.2 \cdot 39.92 \cdot 239) + (0.7 \cdot 14.14 \cdot 62) \right. \\
&\quad \left. + (4 \cdot (2 \cdot \pi \cdot 200 \cdot 10^{-3} \cdot 62)) \right) \cdot 9.81 \cdot 10^{-3} = 28.72 \text{ kN}
\end{aligned}$$

Wariant W III - w punkcie charakterystycznym nr 3 (3) (4) (5)

$$\begin{aligned}
F_{III3} &= (e^{\mu\alpha} (\mu \cdot P \cdot [L_2 + L_3 + L_{R2}]) + (e^{\mu\alpha} (\mu \cdot P \cdot L_{R1}) + (\mu \cdot P \cdot L_1) \\
&\quad + F_{fluid}) \cdot 9.81 \cdot 10^{-3} = \\
&\left(e^{0.2 \cdot 0.24} (0.2 \cdot 39.92 \cdot 199) + (0.7 \cdot 14.14 \cdot 62) \right. \\
&\quad \left. + (e^{0.7 \cdot 0.24} (0.7 \cdot 14.14 \cdot 40)) + (4 \cdot (2 \cdot \pi \cdot 200 \cdot 10^{-3} \cdot 102)) \right) \\
&\quad \cdot 9.81 \cdot 10^{-3} = 32.00 \text{ kN}
\end{aligned}$$

Wariant W III - w punkcie charakterystycznym nr 4 (3) (4) (5)

$$\begin{aligned}
F_{III4} &= (e^{\mu\alpha} (\mu \cdot P \cdot (L_3 + L_{R2})) + (e^{\mu\alpha} (\mu \cdot P \cdot L_{R1}) + (\mu \cdot P \cdot (L_1 + L_2) \\
&\quad + F_{fluid}) \cdot 9.81 \cdot 10^{-3} = \\
&\left(e^{0.2 \cdot 0.24} (0.2 \cdot 39.92 \cdot 99) + (0.7 \cdot 14.14 \cdot 162) \right. \\
&\quad \left. + (e^{0.7 \cdot 0.24} (0.7 \cdot 14.14 \cdot 40)) + (4 \cdot (2 \cdot \pi \cdot 200 \cdot 10^{-3} \cdot 202)) \right) \\
&\quad \cdot 9.81 \cdot 10^{-3} = 38.45 \text{ kN}
\end{aligned}$$

Wariant W III - w punkcie charakterystycznym nr 5 (3) (4) (5)

$$\begin{aligned}
F_{III5} &= (e^{\mu\alpha} (\mu \cdot P \cdot (L_3)) + (e^{\mu\alpha} (\mu \cdot P \cdot (L_{R1} + L_{R2})) + (\mu \cdot P \cdot (L_1 + L_2) \\
&\quad + F_{fluid}) \cdot 9.81 \cdot 10^{-3} = \\
&\left(e^{0.2 \cdot 0.24} (0.2 \cdot 39.92 \cdot 58) + (0.7 \cdot 14.14 \cdot 162) \right. \\
&\quad \left. + (e^{0.7 \cdot 0.24} (0.7 \cdot 14.14 \cdot 81)) + (4 \cdot (2 \cdot \pi \cdot 200 \cdot 10^{-3} \cdot 243)) \right) \\
&\quad \cdot 9.81 \cdot 10^{-3} = 41.78 \text{ kN}
\end{aligned}$$

Wariant W III - w punkcie charakterystycznym nr 6 (3) (4) (5)

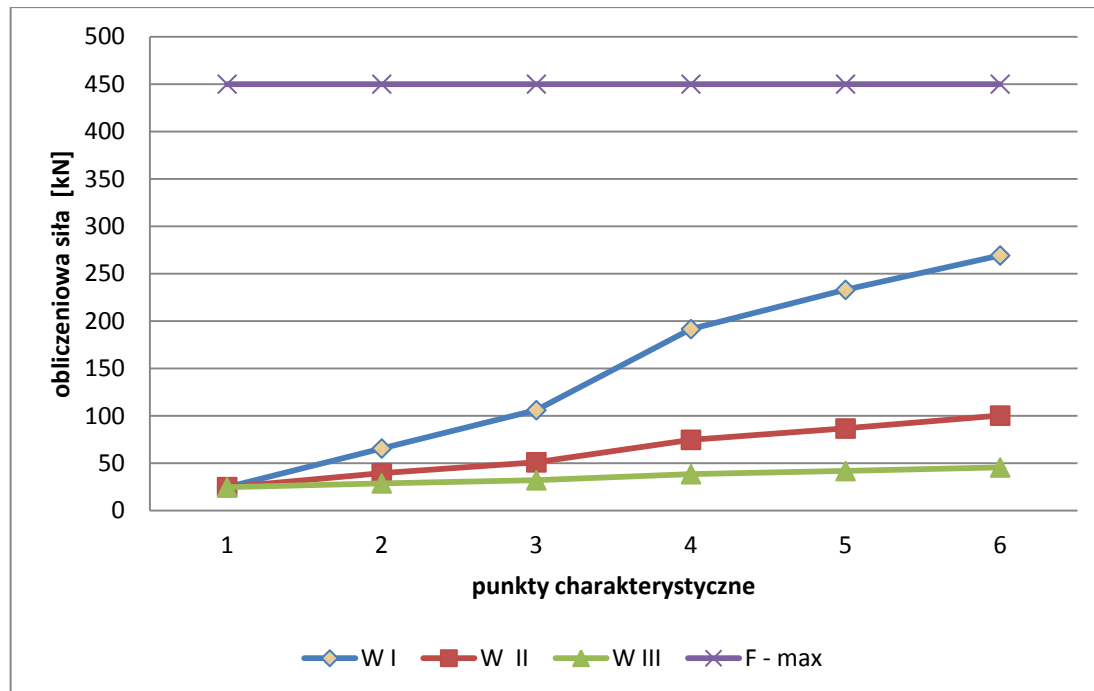
$$\begin{aligned} F_{II6} &= (e^{\mu\alpha} (\mu \cdot P \cdot (L_{R1} + L_{R2})) + (\mu \cdot P \cdot (L_1 + L_2 + L_3) + F_{fluid})) \cdot 9.81 \cdot 10^{-3} \\ &= \\ & \left((0.7 \cdot 14.14 \cdot 220) + (e^{0.7 \cdot 0.24} (0.7 \cdot 14.14 \cdot 81)) \right. \\ & \quad \left. + (4 \cdot (2 \cdot \pi \cdot 200 \cdot 10^{-3} \cdot 301)) \right) \cdot \\ & \quad 9.81 \cdot 10^{-3} = 45.51 kN \end{aligned}$$

Podsumowanie - siły instalacyjne

Uzyskane wyniki obliczeniowe (Tab. 8.) potwierdziły, że w każdym z trzech wariantów instalacji rurociągu, obliczeniowe siły instalacyjne nie przekraczają wytrzymałości na rozciąganie rurociągu wykonanego z PE100 o średnicy 400 mm i grubości ścianki 33,4 mm. W celu ograniczenia siły instalacyjnej i zwiększenia bezpieczeństwa instalacji rurociąg zostanie balastowany. Do balastowania zostanie wykorzystana woda wodociągowa z uwagi na fakt, że rurociąg ma być przeznaczony do transportu wody zdatnej do picia a balastowanie płuczką wiertniczą mogłoby spowodować ciężkie do usunięcia zanieczyszczenie fizyczno-chemiczne, mechaniczne jak i bakteriologiczne rurociągu.

Tab.8. Zestawienie obliczeniowych sił instalacyjnych, [kN]

Wariant instalacji	Nr punktu	1	2	3	4	5	6	F_{\max}
	W I - instalacja bez balastowania		24,73	65,50	105,93	191,49	232,93	
W II - instalacja rurociągu balastowanego wodą wodociągową		24,73	39,45	50,93	74,67	86,60	100,20	
W III - Instalacja rurociągu balastowanego płuczką wiertniczą		24,73	28,74	32,00	38,45	41,78	45,51	



Ryc. 13. Zestawienie obliczeniowych sił instalacyjnych

VI. Część rysunkowa

Bibliografia

- Bayer H.-J. 2005. HDD Practice Handbook - Vulkan - Verlag GmbH.
- Kuliczkowski A., Kuliczowska E., Zwierzchowska A., Zwierzchowski D., Dańczuk P., Kubicka U., Kuliczkowski P., Lisowska J. 2010. Technologie Bezwykopowe w Inżynierii Środowiska - Wydawnictwo Seidel - Przywecki Sp. z o.o.
- Madryas C., Kolonko A., Szot A., Wysocki L. 2006. Mikrotunelowanie - Dolnośląskie Wydawnictwo Edukacyjne Wrocław.
- Madryas C., Kolonko A., Wysocki L. 2002. Konstrukcje przewodów kanalizacyjnych - Oficyna Wydawnicza Politechniki Wrocławskiej, Wrocław.
- Najafi M., Gokhale S. 2004. Trenchless Technology - McGraw-Hill.
- Willoughby D. A. 2005. Horizontal Directional Drilling - . McGraw-Hill.
- Polyethylene Pipe For Horizontal Directional Drilling - Plastics Pipe Institute - Division of the Society of the Plastics Industry 1998.

Czasopisma :

- Inżynieria Bezwykopowa
- Trenchless Technology

Strony Internetowe :

- www.inzynieria.com
- www.prime-drilling.de
- www.herrenknecht.com
- www.istt.com
- www.nodig-construction.com

Fotografie :

- www.nawitel.pl
- www.wamet.pl

Materiały promocyjne firm:

- Herrenknecht,
- Prime Driling,
- MTS Perforator.