

**POLITECHNIKA
ŚWIĘTOKRZYSKA**

SKRYPTY
441

**WYDZIAŁ BUDOWNICTWA
i INŻYNIERII ŚRODOWISKA**

PL ISSN 0239-6386

Agata Zwierzchowska

**TECHNOLOGIE BEZWYKOPOWEJ BUDOWY
SIECI GAZOWYCH, WODOCIĄGOWYCH
I KANALIZACYJNYCH**

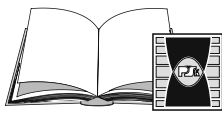


POLITECHNIKA
ŚWIĘTOKRZYSKA
KIELCE 2009



Agata Zwierzchowska

TECHNOLOGIE BEZWYKOPWEJ BUDOWY SIECI GAZOWYCH, WODOCIĄGOWYCH I KANALIZACYJNYCH



WYDAWNICTWO
POLITECHNIKI ŚWIĘTOKRZYSKIEJ
W KIELCACH

Kielce 2009

SKRYPTY NR 441

Redaktor Naukowy serii NAUKI TECHNICZNE: Inżynieria Środowiska

prof. dr hab. inż. Andrzej KULICZKOWSKI

Recenzenci

dr hab. inż. Adam BOLT, prof. PG

dr hab. inż. Rafał WIŚNIEWSKI, prof. AGH

Redaktor

Elżbieta WIKŁO

Redakcja techniczna i formatowanie

Irena PRZEORSKA-IMIOŁEK

Pomysł okładki

Dariusz ZWIERZCHOWSKI

Na okładce zdjęcia firm:

DRILLTO TRENCHLESS, EGEPLAST, GILDEMEISTER,

HERRENKNECHT, JT - ZAKŁAD BUDOWY GAZOCIĄGÓW,

KERAMO STEINZEUG, MEYER ROHR SCHACHT,

PERFORATOR MIKROTUNELOWANIE, PRZEDSIĘBIORSTWO BETA

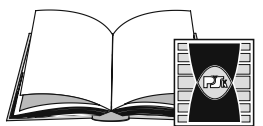
© Copyright by Wydawnictwo Politechniki Świętokrzyskiej, 2009

Wszelkie prawa zastrzeżone. Żadna część tej pracy nie może być powielana czy rozpowszechniana w jakiegokolwiek formie, w jakikolwiek sposób: elektroniczny bądź mechaniczny, włącznie z fotokopiowaniem, nagrywaniem na taśmy lub przy użyciu innych systemów, bez pisemnej zgody wydawcy.

Wyd. III

Nakład 230 egz.

PL ISSN 0239-6386



WYDAWNICTWO
POLITECHNIKI ŚWIĘTOKRZYSKIEJ
W KIELCACH

25-314 Kielce, Al. 1000-lecia Państwa Polskiego 7, tel. (0-41) 34 24 581

www.tu.kielce.pl/organizacja/wydawnictwo

SPIS TREŚCI

| | |
|---|----|
| Przedmowa | 7 |
| 1. RYS HISTORYCZNY | 9 |
| 2. PRZEGLĄD I CHARAKTERYSTYKA TECHNOLOGII BEZWYKOPOWEJ BUDOWY SIECI PODZIEMNYCH | 11 |
| 2.1. Uwagi wstępne | 11 |
| 2.2. Przeciski pneumatyczne | 12 |
| 2.2.1. Uwagi wstępne | 12 |
| 2.2.2. Niesterowany przecisk pneumatyczny przebijakiem, tzw. kretem | 12 |
| 2.2.3. Przecisk sterowany przebijakiem pneumatycznym, tzw. kretem | 19 |
| 2.3. Wbijanie rur stalowych | 21 |
| 2.4. Przewierthy sterowane i wiercenia kierunkowe | 25 |
| 2.4.1. Uwagi wstępne | 25 |
| 2.4.2. Technologia przewiertu sterowanego | 26 |
| 2.4.3. Płuczka wiertnicza | 34 |
| 2.4.4. Przewierthy sterowane wykonywane na sucho | 37 |
| 2.4.5. Urządzenia wiertnicze | 38 |
| 2.4.6. Systemy sterowania i kontroli wykorzystywane w technologii przewiertu sterowanego | 42 |
| 2.5. Przeciski hydrauliczne | 44 |
| 2.5.1. Uwagi wstępne | 44 |
| 2.5.2. Przeciski hydrauliczne niesterowane | 44 |
| 2.5.3. Przeciski hydrauliczne z wierceniem pilotowym | 47 |
| 2.5.4. Przeciski hydrauliczne sterowane (dwuetapowe) | 54 |
| 2.5.5. Wbudowywanie przykanalików metodą przecisków hydraulicznych | 57 |
| 2.6. Mikrotunelowanie | 61 |
| 2.6.1. Technologia mikrotunelowania | 61 |
| 2.6.2. Części składowe systemu do mikrotunelowania | 64 |
| 2.6.3. Urządzenia do mikrotunelowania | 65 |
| 2.6.4. Tarcze urabiające | 68 |
| 2.6.5. Główne stacje przeciskowe | 70 |
| 2.6.6. Systemy usuwania urobku | 73 |
| 2.6.7. Systemy sterowania i kontroli | 74 |
| 2.6.8. Płuczka wiertnicza | 75 |
| 2.6.9. Pośrednie stacje przeciskowe | 77 |

| | |
|--|-----|
| 3. ROZWIĄZANIA MATERIAŁOWO-KONSTRUKCYJNE RUR STOSOWANYCH W BEZWYKOPOWEJ BUDOWIE SIECI PODZIEMNYCH | 80 |
| 3.1. Uwagi wstępne | 80 |
| 3.2. Rury wciągane | 80 |
| 3.2.1. Rury polietylenowe z płaszczem ochronnym | 80 |
| 3.2.2. Rury stalowe | 85 |
| 3.2.3. Rury z żeliwa sferoidalnego | 87 |
| 3.3. Rury przeciskowe | 88 |
| 3.3.1. Rury bazaltowe | 88 |
| 3.3.2. Rury kamionkowe | 90 |
| 3.3.3. Rury z polimerobetonu | 93 |
| 3.3.4. Rury żelbetowe | 96 |
| 3.3.5. Rury żelbetowo-kamionkowe, żelbetowe z wewnętrzną wykładziną kamionkową | 100 |
| 3.3.6. Rury żywiczne wzmacniane włóknem szklanym | 103 |
| 3.3.7. Rury przeciskowe z innych materiałów | 106 |
| | |
| 4. SYSTEMY STEROWANIA I KONTROLI STOSOWANE W METODACH BEZWYKOPOWEJ BUDOWY SIECI PODZIEMNYCH | 109 |
| 4.1. Uwagi wstępne | 109 |
| 4.2. System radiolokacji | 109 |
| 4.3. System magnetyczny i elektromagnetyczny | 114 |
| 4.4. System teleoptyczny | 116 |
| 4.5. System laserowy | 119 |
| 4.6. System żyrokompasowy | 123 |
| | |
| 5. ZASADY PROJEKTOWANIA PRZEWIERTÓW STEROWANYCH | 125 |
| 5.1. Uwagi wstępne | 125 |
| 5.2. Typy trajektorii przewiertu sterowanego | 125 |
| 5.3. Liczba etapów poszerzania (liczba marszy) | 128 |
| 5.4. Minimalny promień gięcia przewodu wiertniczego, rurociągu | 129 |
| 5.5. Średnica rozwiercanego otworu | 130 |
| 5.6. Minimalna głębokość posadowienia rurociągu względem jego osi | 130 |
| 5.7. Obliczenie parametrów trajektorii przewiertu sterowanego | 131 |
| 5.8. Lokalizacja i wymiary placu maszynowego i montażowego | 133 |
| | |
| 6. ZASADY PROJEKTOWANIA PRZECISKÓW HYDRAULICZNYCH I MIKROTUNELOWANIA | 134 |
| 6.1. Uwagi wstępne | 134 |
| 6.2. Siła przecisku | 134 |

| | |
|--|-----|
| 7. WYBÓR OPTIMALNEJ METODY BEZWYKOPOWEJ BUDOWY SIECI PODZIEMNYCH | 145 |
| 7.1. Uwagi wstępne | 145 |
| 7.2. Wybrane parametry techniczne mające wpływ na dobór metod bezwykopowej budowy sieci podziemnych | 146 |
| 7.2.1. Uwagi wstępne | 146 |
| 7.2.2. Kategoria gruntu, w której możliwe jest wykonanie rurociągu daną metodą bezwykopową | 147 |
| 7.2.3. Zakres średnic rurociągu, jaki można wykonać daną metodą bezwykopową | 148 |
| 7.2.4. Długości wbudowywanych jednorazowo odcinków sieci podziemnych | 150 |
| 7.2.5. Możliwość wbudowania rurociągu w gruncie nawodnionym, poniżej poziomu zwierciadła wody gruntowej | 153 |
| 7.2.6. Materiał wbudowywanej sieci | 154 |
| 7.2.7. Dokładność wbudowania sieci podziemnych metodami bezwykopowymi | 155 |
| 7.2.8. Minimalna wysokość przykrycia gruntem nad wierzchołkiem rurociągu oraz średnica wykonywanego otworu | 157 |
| 7.2.9. Maksymalna możliwa wysokość zwierciadła wody gruntowej powyżej dna wykonywanego rurociągu | 158 |
| 7.3. Wybór metod bezwykopowej budowy rurociągów podziemnych ze względu na możliwości techniczne wykonania (model AZ-01) | 158 |
| 7.3.1. Uwagi wstępne | 158 |
| 7.3.2. Założenia | 159 |
| 7.3.3. Warunki ograniczające | 160 |
| 7.3.3.1. Uwagi wstępne | 160 |
| 7.3.3.2. Kategoria gruntu, w którym możliwe jest wbudowanie rurociągu daną metodą bezwykopową | 160 |
| 7.3.3.3. Średnice rurociągu wbudowywanego daną metodą bezwykopową | 160 |
| 7.3.3.4. Długości wykonywanych jednorazowo rurociągów | 162 |
| 7.3.3.5. Możliwość wykonania rurociągu w gruncie nawodnionym, poniżej poziomu zwierciadła wody gruntowej | 163 |
| 7.3.3.6. Materiał wbudowywanych rur | 163 |
| 7.3.3.7. Odchylenie spadku oraz odchylenie w planie osi wbudowanego rurociągu od przewidzianego w dokumentacji | 164 |
| 7.3.3.8. Minimalna wysokość przykrycia gruntem nad wierzchołkiem rurociągu | 164 |
| 7.3.3.9. Maksymalna możliwa wysokość zwierciadła wody gruntowej powyżej dna wykonywanego rurociągu | 165 |

| | |
|--|------------|
| 7.3.4. Wielkości wejściowe | 166 |
| 7.3.5. Algorytm modelu matematycznego AZ-01 | 168 |
| 7.3.6. Wielkość wyjściowa | 170 |
| 7.3.7. Analiza numeryczna zagadnienia wyboru optymalnej metody bezwykopowej budowy sieci podziemnych ze względu na możliwości techniczne wykonania, przy wykorzystaniu modelu AZ-01 | 171 |
| 7.3.7.1. Uwagi wstępne | 171 |
| 7.3.7.2. Przyjęcie oznaczeń metod bezwykopowej budowy rurociągów podziemnych | 171 |
| 7.3.7.3. Postacie numeryczne wybranych warunków ograniczających | 171 |
| 7.3.8. Przykład obliczeniowy | 174 |
| Literatura | 177 |

Przedmowa

W Polsce pomimo upływu kilkunastu lat stosowania nowoczesnych technologii bezwykopowej budowy sieci podziemnych, znajomość tych metod przez inwestorów, projektantów oraz wykonawców sieci uzbrojenia podziemnego nadal jest dość znikoma. Ogranicza się ona przede wszystkim do wbijania rur stalowych, kretowania i ogólnie pojętych przewiertów. Niektóre metody, np.: przewiert sterowany i przecisk hydrauliczny z wierceniem pilotowym, są często ze sobą mylone, być może ze względu na fakt, iż technologia wbudowywania sieci w każdej z tych metod składa się z trzech etapów. Oprócz liczby etapów, cechy wspólnej tych metod, sama technologia budowy, jak również parametry techniczne wbudowywanych sieci, są zupełnie odmienne.

Książka ta przeznaczona jest głównie dla studentów Inżynierii Środowiska, ale również może stanowić praktyczny poradnik dla inwestorów, projektantów, wykonawców robót w zakresie technologii bezwykopowej budowy.

Publikacja ta obejmuje szczegółową charakterystykę pięciu grup metod bezwykopowej budowy sieci podziemnych, a mianowicie: przecisków pneumatycznych, wbijania rur stalowych, przewiertów sterowanych, przecisków hydraulicznych oraz mikrotunelowania.

Przedstawiono również rozwiązania materiałowo-konstrukcyjne rur stosowanych w technologiach bezwykopowej budowy. Omówiono nie tylko rozwiązania rur stosowane powszechnie, ale również rzadziej stosowane lub od niedawna, np.: bazaltowe rury przeciskowe, rury przeciskowe polipropylenowe oraz z polichlorku winylu.

Scharakteryzowano systemy sterowania i kontroli stosowane w metodach bezwykopowej budowy sieci podziemnych, m.in. systemy: radiolokacji, magnetyczny i elektromagnetyczny, teleoptyczny, laserowy oraz wdrażany dopiero w technologiach bezwykopowych system żyrokompasowy.

W dalszej części książki przedstawiono zasady projektowania przewiertów sterowanych oraz przecisków hydraulicznych i mikrotunelowania. Omówiono również dobór optymalnej metody bezwykopowej budowy sieci podziemnych, przedstawiając opracowany przez autorkę model matematyczny.

RYS HISTORYCZNY

Bezwykopowe metody budowy sieci podziemnych stosowano na świecie już od początku wieku XX. Były to oczywiście bardzo proste metody, np.: wpychanie rur stalowych dragami i młotami lub przewiercanie gruntu świdrem ręcznym. Stosowano je przede wszystkim w przypadkach przejść pod przeszkodami terenowymi, takimi jak: tory kolejowe, drogi i inne. W tym czasie do budowy sieci podziemnych pod przeszkodami terenowymi stosowano również metody tunelowe, górnicze.

Pierwszy przebijak pneumatyczny (kret) został opracowany i opatentowany w 1916 r. przez brytyjskiego inżyniera Thomasa Thomsona. Przebijak ten był przeznaczony jednak nie do budowy sieci podziemnych, tak jak wykorzystuje się go w chwili obecnej, ale do podkładania ładunków wybuchowych za linią wroga. Żaden jednak z prototypów tego urządzenia nie przetrwał próby i nie zachował się do dnia dzisiejszego. W 1955 r. polski inżynier Zinkiewicz, specjalizujący się w budowie okrętów, opatentował przebijak nieco innej konstrukcji. Urządzenie to miało służyć do przeciągania lin pod zatopionymi statkami. Prace nad tym prototypem przebijaka kontynuowali profesorzy Gerlach i Zygmunt z Politechniki Gdańskiej. Dopracowali oni konstrukcję urządzenia i opatentowali go jako urządzenie do układania sieci podziemnych. W latach 50. i 60. wyprodukowano w Polsce około 4000 tych urządzeń. Niestety, w 1964 r. ZSRR zainteresował się przebijakami polskiej produkcji i przejął ich produkcję, wytwarzając w latach 1970-1980 około 26 000 sztuk. W latach 60. firma TRACTO-TECHNIK opracowała również przebijak pneumatyczny o nieco innej budowie i służący do przebijania się do zasypanych górników w kopalniach i podawania im tlenu.

Początki metody przewiertów sterowanych (HDD) datują się również na lata 60., kiedy to jednostka badawczo-rozwojowa AT&T Bell Laboratories w USA opracowała pierwszą wiertnicę udarową napędzaną sprężonym powietrzem. Technologię tę zastosowano do wbudowania gazociągu stalowego o średnicy 100 mm i długości 182 m pod rzeką Pajero w Kalifornii. Była to wówczas jeszcze metoda niesterowalna. Electric Power Research Institute i Gas Research Institute udoskonaliły tę technologię wdrażając płuczkę wiertniczą, świdry hydromonitorowe, system kontroli oraz udar w systemach sterowanych.

Stosowanie do budowy sieci podziemnych, na szerszą skalę, przecisków hydraulicznych datuje się na rok 1948 w Japonii.

Mikrotunelowanie – metoda najbardziej zautomatyzowana i skomputeryzowana, najnowocześniejsza spośród metod bezwykopowej budowy – narodziła się w Japonii. Tam najwcześniej zaadaptowano tunelowanie do budowy sieci kanalizacyjnych w centrach miast gęsto zabudowanych z rozwiniętą już infrastrukturą podziemną. Początek tej metody datuje się na połowę lat siedemdziesiątych. W 1975 r. japońska firma KOMATSU skonstruowała pierwszą głowicę do mikrotunelowania, a pięć lat później inna japońska firma SANWA wyprodukowała własną głowicę i aż do połowy lat osiemdziesiątych była liderem w produkcji urządzeń do mikrotunelowania. Pierwsze urządzenie do mikrotunelowania, obecnego lidera na rynku japońskim, firmy ISEKI, opracowano już w 1976 r., nie miało jednak możliwości sterowania, było dość dużej średnicy i nadawało się tylko do drążenia w gruntach łatwo urabialnych. W 1981 r. ISEKI stworzyła maszynę o nazwie Crunchingmole – pierwszą głowicę z możliwością kruszenia otoczek o średnicy sięgającej nawet 20% zewnętrznej średnicy urządzenia. W 1984 r. firma ta opracowała bardzo nowoczesne urządzenie pod nazwą Unclemole – zdalnie sterowane, z możliwością kruszenia otoczek o wymiarach do 30% średnicy urządzenia oraz wykorzystujące ciśnienie sprężonego powietrza do utrzymania stateczności gruntu w strefie jego urabiania i do zabezpieczenia drążonego otworu przed zalaniem wodą gruntową. Pierwsze urządzenia do mikrotunelowania w Europie opracowano w Niemczech na początku lat osiemdziesiątych.

PRZEGLĄD I CHARAKTERYSTYKA TECHNOLOGII BEZWYKOPOWEJ BUDOWY SIECI PODZIEMNYCH

2.1. UWAGI WSTĘPNE

Jednym z podstawowych zagadnień związanych z bezwykopową budową rurociągów podziemnych jest podział metod. W Polsce brak jest nie tylko powszechnie używanego podziału, ale również ujednoliconego nazewnictwa związanego z technologiami bezwykopowymi.

Istnieje wiele różnych podziałów i klasyfikacji metod bezwykopowej budowy sieci podziemnych [86]. Najstarszy z podziałów stosowanych w Polsce obejmuje metody tunelowe: górniczą, tarczową oraz szybów tunelowych [8, 69]. Metody te wymagają obecności człowieka w rurociągu w trakcie jego budowy. W pozycjach literaturowych dotyczących m.in. budowy sieci wodociągowych, kanalizacyjnych i gazowych [5, 17, 22] wymienia się tylko przeciskanie rur stalowych, przewiercanie oraz przebijanie przebijakiem pneumatycznym jako metody stosowane w Polsce do bezwykopowego wbudowywania rurociągów.

Obecnie na świecie stosowany jest dość powszechnie podział według ISTT (International Society for Trenchless Technology – Międzynarodowe Stowarzyszenie Technologii Bezwykopowych). Obejmuje on następujące grupy metod bezwykopowej budowy [74]:

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

Inny podział, stosowany w Niemczech, obejmuje podstawową klasyfikację na metody niesterowalne i metody sterowalne [3]. Wśród metod sterowalnych wymienia się: przecisk hydrauliczny z wierceniem pilotowym, przecisk hydrauliczny z transportem urobku przenośnikiem ślimakowym, przewiert sterowany oraz meto-

dę tarczową. Natomiast do metod niesterowalnych zalicza się metody bez usuwania urobku, w których grunt jest tylko zagęszczany, i metody z usuwaniem urobku.

W niniejszej publikacji metody bezwykopowej budowy zostaną omówione według podziału ISTT.

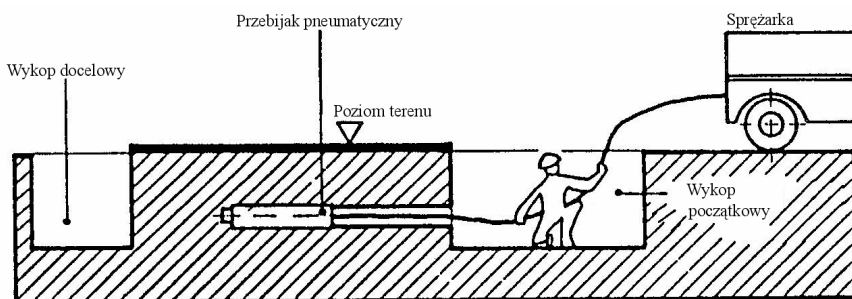
2.2. PRZECISKI PNEUMATYCZNE

2.2.1. Uwagi wstępne

Użycie przecisków pneumatycznych jest jedną z najwcześniej stosowanych metod bezwykopowej budowy sieci podziemnych. Początki jej przypadają na lata 60. ubiegłego wieku, a za twórców urządzenia zwanego przebijakiem, stosowanego w pneumatycznym przeciskaniu, uważa się Polaków. Do początku lat 90. metoda ta była niesterowalna, dopiero prace prowadzone przez Instytut Badawczy Gazu Stanów Zjednoczonych (US – Gas Research Institute) doprowadziły do opracowania sterowalnego przebijaka pneumatycznego, umożliwiającego sterowanie procesem wbudowywania sieci tą metodą.

2.2.2. Niesterowany przecisk pneumatyczny przebijakiem, tzw. kretem

W metodzie tej grunt jest rozpychany i zagęszczany poprzez przemieszczający się w nim przebijak pneumatyczny (tzw. kret), napędzany sprężonym powietrzem (rys. 2.1 i 2.2). Przebijak pokonuje drogę poprzez grunt wciągając jednocześnie rury z PVC, PE lub rury stalowe. Jeden ze sposobów mocowania wciąganych rur do przebijaka przedstawiono na rysunku 2.3. Możliwe jest również wciąganie rur po wykonaniu przecisku, z wykopu docelowego jednocześnie z wyciąganiem kabli zasilających przebijak. W pierwszej fazie przecisku przebijak ustawiany jest w wykopie początkowym na tzw. łożu (ławecie startowej) pod zadaniem kąta przecisku oraz w planowanej osi rurociągu (rys. 2.4). Do poprawnego ustawienia przebijaka często stosuje się tzw. celownik optyczny (rys. 2.5).

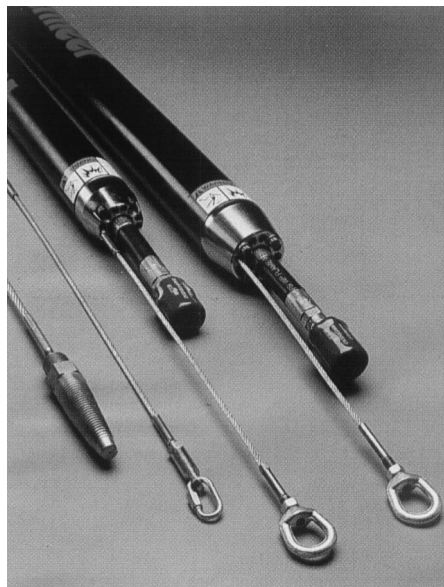


Rys. 2.1. Wbudowywanie sieci metodą przecisku pneumatycznego przebijakiem, tzw. kretem, [70]

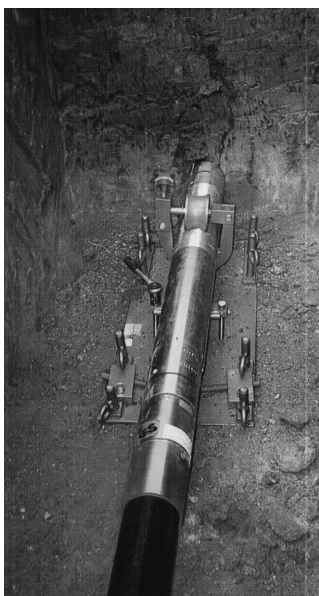
Fig. 2.1. Pipeline installation by impact moling, [70]



Rys. 2.2. Przebijaki pneumatyczne (zdjęcie własne dzięki uprzejmości firmy TRACTO-TECHNIK)
Fig. 2.2. Impact moles (photo courtesy of TRACTO-TECHNIK firm)



Rys. 2.3. Zaczepy do mocowania wciąganych rur, [75]
Fig. 2.3. Catches for pulled in pipes fixing, [75]



Rys. 2.4. Przebijak pneumatyczny umieszczony w łożu, [73]

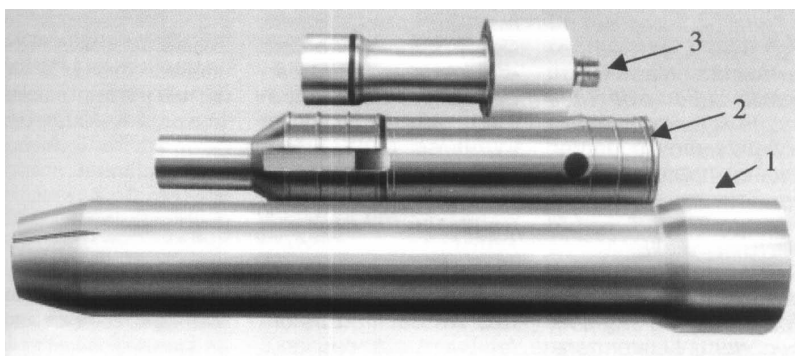
Fig. 2.4. An impact mole placed in a cradle, [73]



Rys. 2.5. Ustawienie przebijaka w łożu przy pomocy celownika optycznego, [73]

Fig. 2.5. Alignment of an impact mole in a cradle by using optical target positioner, [73]

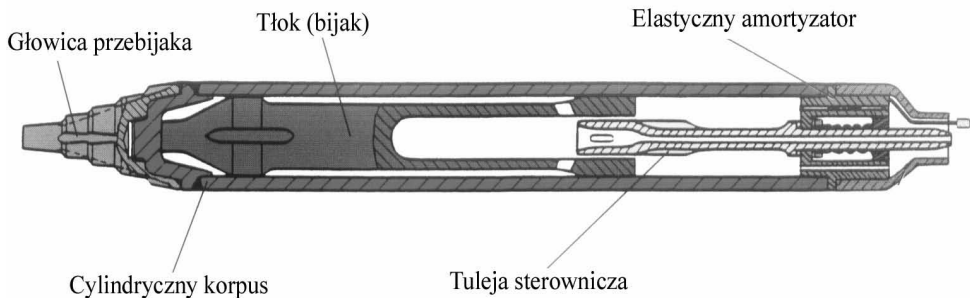
Przebijak pneumatyczny składa się z trzech zasadniczych części: cylindrycznego korpusu, tłoka (bijaka) oraz tulei sterowniczej wraz z elastycznym amortyzatorem (rys. 2.6).



Rys. 2.6. Główne elementy przebijaka: 1 – cylindryczny korpus, 2 – tłok, 3 – tuleja sterownicza wraz z elastycznym amortyzatorem, [54]

Fig. 2.6. The main elements of an impact mole: 1 – casing, 2 – piston, 3 – steering sleeve with an elastic shock absorber, [54]

Na rysunku 2.7 przedstawiono przekrój przez przebijak pneumatyczny. Zarówno tłok, jak i tuleja sterownicza wraz z amortyzatorem umieszczone są w cylindrycznym korpusie urządzenia. Wewnątrz korpusu znajduje się cylindryczna gładź, po której porusza się tłok. Przednia, wewnętrzna część korpusu jest ukształtowana w tzw. kowadło, w które uderza tłok. Natomiast w tylnej części gładzi cylindrycznej wykonany jest rowek, w którym osadzone są pierścienie zabezpieczające elastyczny amortyzator przed wysunięciem się na zewnątrz korpusu. Tłok posiada wewnątrz również cylindryczną gładź, w której znajduje się tuleja sterownicza. W tylnej części tłoka wykonane są otwory. Poruszający się wewnątrz tłok zasłania je i odsłania, regulując w ten sposób przepływ sprężonego powietrza. Zewnętrzna część tłoka posiada wyfrezowane rowki, które umożliwiają przepływ powietrza wewnątrz korpusu urządzenia. Sprężone powietrze doprowadzane jest do tłoka poprzez tuleję sterowniczą, która pełni również funkcję przesłony otworów tłoka. Tuleja ustawiona jest centralnie w bloku elastycznym, absorbującym energię tłoka podczas ruchu powrotnego. Blok elastyczny wykonany jest z tworzywa sztucznego, odpornego na uderzenia, posiada otwory, przez które odprowadzane jest powietrze na zewnątrz urządzenia [54].



Rys. 2.7. Przekrój przez przebijak pneumatyczny, [72]

Fig. 2.7. The cross – section of an impact mole, [72]

Sprężone powietrze doprowadzone przez tuleję sterowniczą wypełnia wnętrze tłoka i powoduje ruch tłoka do przodu, który uderza w kowadło korpusu. Wraz z przesuwem tłoka odsłonięte zostają otwory i sprężone powietrze przedostaje się do komory w okolicie kowadła, wspomagając w ten sposób ruch tłoka do tyłu. Przy podejściu tłoka do skrajnego tylnego położenia uderza on w elastyczny amortyzator tłumiący uderzenie i jednocześnie następuje wydmuch powietrza do atmosfery poprzez otwory w amortyzatorze.

Niektóre przebijaki posiadają możliwość poruszania się do tyłu, tzw. rewers (tryb „retrakcji”). Realizowane jest to poprzez przestawienie tulei sterowniczej maksymalnie w tylnym położeniu. Wówczas otwory w tłoku odsłanianie są wcześniej i przepływ powietrza do komory, w okolicach kowadła, następuje wcześniej i dlatego tłok

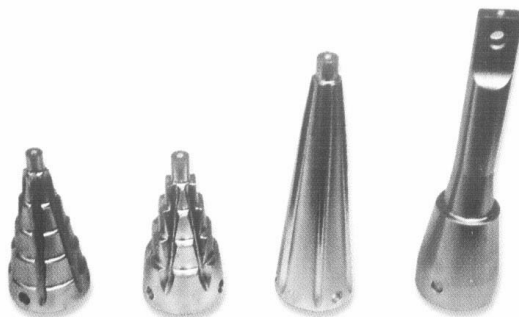
nie uderza w kowadło. Uderza zaś w amortyzator z większą siłą, powodując wsteczny ruch urządzenia. Zmiana kierunku posuwu przebijaka dokonywana jest zazwyczaj poprzez zawór sterujący, znajdujący się w olejjarce (olejaczu), która zapewnia przede wszystkim smarowanie wewnętrznych elementów przebijaka (rys. 2.8).

W zależności od rodzaju gruntu stosuje się różne rodzaje głowic przebijaków (rys. 2.9). Głowice mogą być nieruchome względem korpusu przebijaka lub ruchome, generujące dodatkowe uderzenia niezależnie od korpusu (rys. 2.10).



Rys. 2.8. Olejarka, [73]

Fig. 2.8. A lubricator, [73]

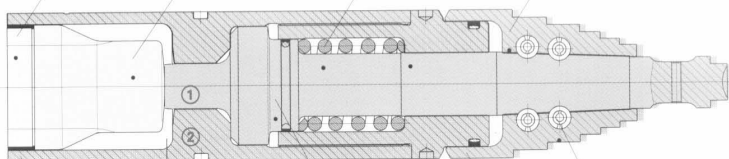


Rys. 2.9. Rodzaje głowic przebijaków pneumatycznych, [72]

Fig. 2.9. Various kinds of an impact mole heads, [72]



Teflonowa powierzchnia ślizgowa Tłok (bijak) Sprężyna Ruchoma głowica przebijaka



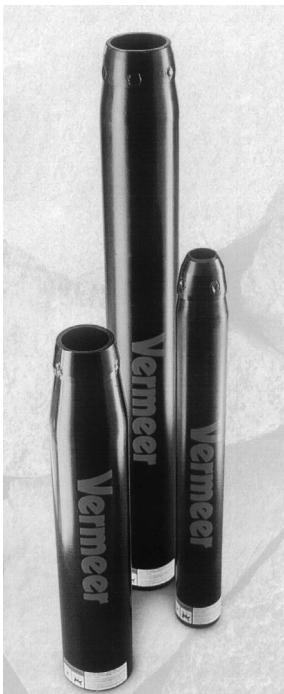
Korpus Kolejność uderzeń Tuleja głowicy Łożysko łożyskowe
 ① Tuleja głowicy
 ② Kowadło korpusu

Rys. 2.10. Przekrój przez ruchomą głowicę przebijaka pneumatycznego, [73]

Fig. 2.10. The cross – section of an impact mole movable head, [73]

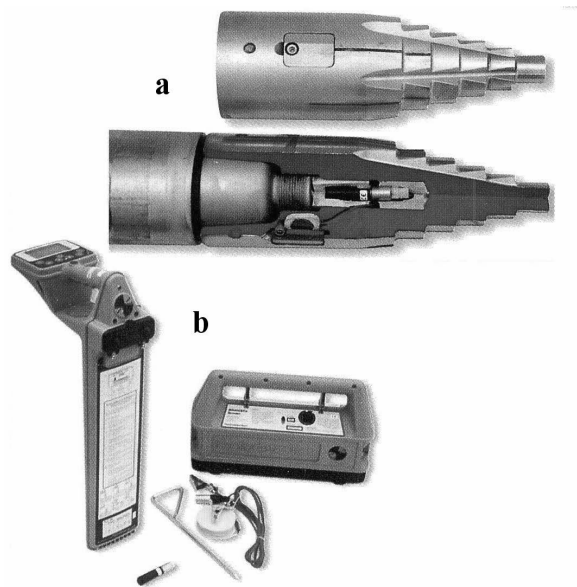
W metodzie tej grunt nie jest usuwany na zewnątrz, a tylko zagęszczany, dlatego też można nią wbudowywać rurociągi o średnicy zewnętrznej maksymalnie tylko do 200 mm. W celu zwiększenia średnicy wykonywanego otworu względem średnicy przebijaka możliwe jest zastosowanie specjalnych poszerzaczy, które nasuwa się na przebijak (rys. 2.11). Z powodu małego tarcia powierzchniowego gruntu o przebijak, metoda ta może być nieefektywna w gruntach nawodnionych.

Prędkość przesuwu przebijaka zależy od rodzaju gruntu oraz jego zagęszczalności i waha się od 3 do 30 m/h. Dokładność wbudowania sieci tą metodą zależy, w dużej mierze, od prawidłowego ustawienia przebijaka w wykopie początkowym, warunków gruntowych, a przede wszystkim od długości przecisku. Przyjmuje się, iż dokładność wbudowania zarówno w pionie, jak i w poziomie wynosi 1-2% długości przecisku, przy czym przez dokładność wbudowania sieci w pionie rozumie się odchylenie spadku wbudowanej sieci od projektowanej (różnicę pomiędzy rzędnymi sieci wbudowanej a projektowanej), natomiast dokładność wbudowania sieci w poziomie jest to odchylenie w planie osi wbudowanej sieci od projektowanej.



Rys. 2.11. Poszerzacze przebijaków pneumatycznych, [75]

Fig. 2.11. Impact mole expanders, [75]



Rys. 2.12. Głowica przebijaka pneumatycznego (a), z zestawem urządzeń umożliwiających śledzenie jej położenia z powierzchni terenu (b), [72]

Fig. 2.12. An impact mole head (a), with the set of devices for its monitoring (b), [72]

Przebijaki pneumatyczne stosowane do końca ubiegłego wieku to urządzenia niesterowalne. Możliwe jest jednak śledzenie przebijaka z powierzchni terenu poprzez zastosowanie popularnego systemu lokalizacji radiowej. W rozwiązaniu tym w głowicy przebijaka umieszczona jest sonda nadawcza emitująca sygnał radiowy odbierany przez lokalizator, który znajduje się na powierzchni terenu nad głowicą przebijaka. Lokalizator przemieszczany jest przez operatora w miarę postępu przecisku. Na rysunku 2.12 przedstawiono głowicę przebijaka pneumatycznego z zestawem urządzeń umożliwiającą śledzenie jej położenia z powierzchni terenu.

Parametry techniczne przebijaków pneumatycznych firmy TERRA zestawiono w tabeli 2.1.

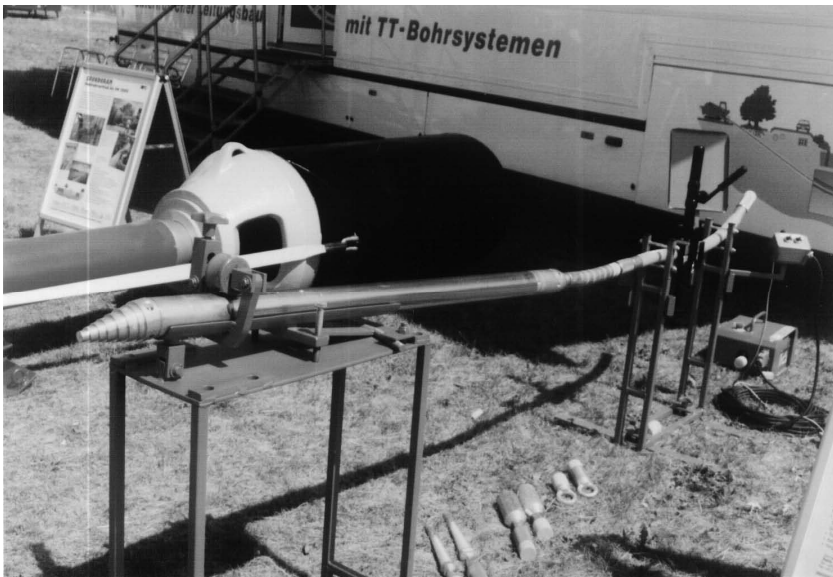
Tabela 2.1. Parametry techniczne przebijaków pneumatycznych, [72]

Table 2.1. The technical parameters of impact moles, [72]

| Typ przebijaka | Średnica, mm | Długość, m | Masa przebijaka, kg | Liczba uderzeń, 1/min | Zużycie sprężonego powietrza, m ³ /min | Ciśnienie robocze, bar | Możliwość zastosowania poszerzacza, mm |
|----------------|--------------|------------|---------------------|-----------------------|---|------------------------|--|
| T 045 S | 45 | 0,90 | 8 | 500 | 0,6 | 6-7 | – |
| TU 055 S | 55 | 1,05 | 13 | 520 | 0,9 | 6-7 | – |
| TU 065 mini S | 68 | 1,00 | 20 | 480 | 1,1 | 6-7 | – |
| TU 065 plus S | 68 | 1,20 | 24 | 420 | 1,3 | 6-7 | 85 |
| TU 065 plus XS | 68 | 1,30 | 30 | 360 | 1,3 | 6-7 | 85 |
| TU 080 mini S | 80 | 1,00 | 26 | 550 | 1,8 | 6-7 | – |
| TU 080 plus S | 80 | 1,30 | 36 | 395 | 1,8 | 6-7 | 100/120/133 |
| TU 090 mini S | 90 | 1,00 | 32 | 550 | 1,8 | 6-7 | – |
| Tu 090 plus S | 90 | 1,30 | 46 | 395 | 1,8 | 6-7 | 120/133 |
| TU 105 mini S | 105 | 1,10 | 46 | 540 | 2,4 | 6-7 | – |
| TU 105 S/F | 105 | 1,40 | 56 | 360 | 2,4 | 6-7 | 133/150/170 |
| TU 135 S/F | 135 | 1,60 | 109 | 350 | 2,4 | 6-7 | 150/170/190 |
| TU 155 F | 155 | 2,00 | 182 | 285 | 4,0 | 6-7 | 190/245 |
| TU 190 F | 190 | 2,00 | 227 | 275 | 6,0 | 6-7 | 245/300 |

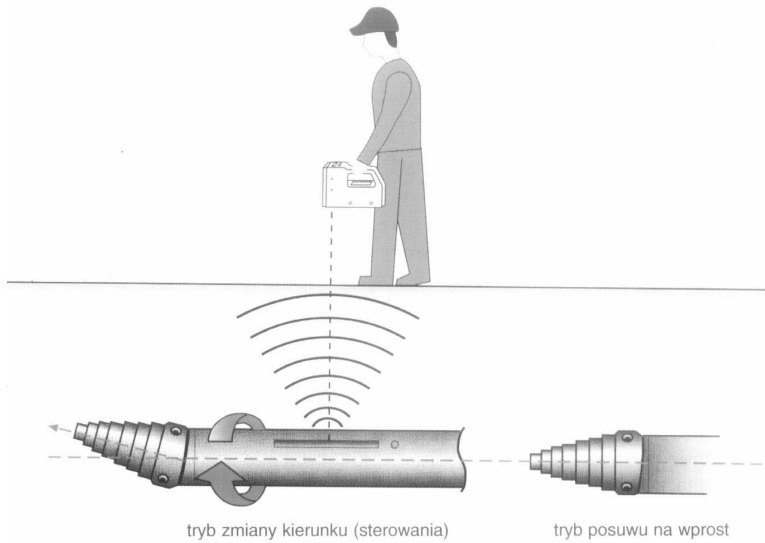
2.2.3. Przecisk sterowany przebijakiem pneumatycznym, tzw. kretem

Podobnie jak w poprzedniej metodzie, grunt jest rozpychany i zagęszczany poprzez przemieszczający się w gruncie przebijak pneumatyczny, napędzany sprężonym powietrzem. W korpusie przebijaka znajduje się nadajnik (sonda), który służy do lokalizowania położenia przebijaka za pomocą standardowego systemu lokalizacji radiowej. Sonda ta emituje sygnał radiowy odbierany na powierzchni terenu przez lokalizator. Na ekranie lokalizatora wyświetlane są informacje dotyczące między innymi: pochylenia i obrotu głowicy sterującej oraz głębokości, na której znajduje się przebijak. Sterowanie procesem przecisku zapewnia nastawna głowica przebijaka oraz wąż sterujący, będący jednocześnie przewodem zasilającym (rys. 2.13). Jeżeli głowica przebijaka ustawiona jest współosiowo do korpusu (tryb „na wprost”), uzyskiwana jest prostoliniowa trajektoria przecisku (rys. 2.14). Dopiero po przekręceniu korpusu przebijaka w prawą stronę o 180° , za pomocą węża sterującego, można zmieniać ustawienie głowicy. Od tego momentu dalsze obracanie głowicy i korpusu jest synchroniczne. Powrót do współosiowego ustawienia głowicy i korpusu przebijaka następuje po przekręceniu korpusu o 180° w lewo. Sterowanie głowicą realizowane jest przez operatora przebijaka za pomocą ręcznego napinacza zainstalowanego na węży zasilającym (rys. 2.15). Moment obrotowy przenoszony jest na przebijak dzięki dużej sztywności obwodowej węża [89].



Rys. 2.13. Sterowany przebijak pneumatyczny umieszczony w łożu (urządzenie na pierwszym planie) (zdjęcie własne dzięki uprzejmości firmy TRACTO-TECHNIK)

Fig. 2.13. A steerable impact mole placed in a cradle (the device placed in the foreground) (photo courtesy of TRACTO-TECHNIK firm)



Rys. 2.14. Lokalizacja przebijaka oraz zasada zmiany kierunku, [73]

Fig. 2.14. Monitoring of an impact mole and the rule of changing direction, [73]



Rys. 2.15. Wąż zasilająco-sterujący umożliwiający sterowanie przeciskiem, [73]

Fig. 2.15. Air supplying and steering hose, [73]

Minimalny promień skrętu urządzenia wynosi 30 m. Długości jednorazowo wykonywanych przecisków dochodzą nawet do 70 m. Wbudowywanie rur odbywa się tak, jak w poprzednio opisanej metodzie, poprzez ich wciąganie za przebija-kiem lub po wykonaniu przecisku, jednocześnie z wyciąganiem kabli zasilających przebija-ki. Stosując tę metodę można wbudowywać sieci uzbrojenia podziemnego o średnicy do 63 mm.

2.3. WBIJANIE RUR STALOWYCH

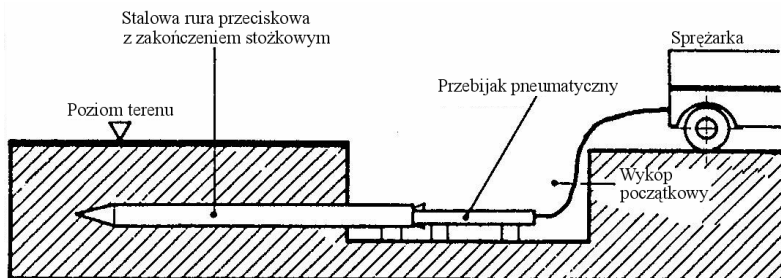
Metoda ta polega na wbijaniu w grunt rur stalowych przy pomocy przebija-ków pneumatycznych. W technologii tej wykorzystuje się takie same przebija-ki, jak w poprzednio omawianej, lub o większych wymiarach i większej mocy, lecz o takiej samej budowie. Parametry techniczne przebija-ków pneumatycznych wykorzystywan-ych tylko w metodzie wbijania rur stalowych zestawiono w tabeli 2.2. Przebija-ki umieszczony jest cały czas w wykopie początkowym, w specjalnym łożu (zwanym również kołyską lub lawetą) i nie przemieszcza się w gruncie.

Tabela 2.2. Parametry techniczne przebija-ków pneumatycznych stosowanych do wbijania rur stalowych, [72]

Table 2.2. The technical parameters of impact moles used for pipe ramming, [72]

| Typ przebija-ki | Średnica, mm | Długość, m | Masa przebija-ki, kg | Liczba uderzeń, 1/min | Zużycie sprężonego powietrza, m ³ /min | Ciśnienie robocze, bar |
|-----------------|--------------|------------|----------------------|-----------------------|---|------------------------|
| TR 190 mini | 190 | 0,90 | 110 | 550 | 4,0 | 6-7 |
| TR 210 | 210 | 1,60 | 298 | 320 | 7 | 6-7 |
| TR 360 | 360 | 1,75 | 663 | 280 | 12 | 6-7 |
| TR 510 Twin | 510/540 | 1,85 | 1625 | 250 | 27 | 6-7 |
| TR 540 XL | 540 | 2,30 | 2385 | 195 | 34 | 6-7 |

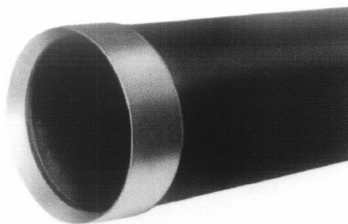
Dla rur stalowych o średnicy zewnętrznej nie większej niż 200 mm, wbijane ru-ry są zamknięte od czoła głowicą stożkową (zazwyczaj jest to dospawany na po-czątku pierwszej rury stalowy element w kształcie stożka). Grunt jest rozpychany i zagęszczany wokół wbijanej w grunt rury (rys. 2.16); urobek nie jest usuwany.



Rys. 2.16. Wbijanie rur stalowych zamkniętych od czola, [70]

Fig. 2.16. Ramming of pipes closed at the face with cone head, [70]

Rury stalowe o średnicy zewnętrznej większej od 200 mm wbijane są jako otwarte od czola, przy czym na początek pierwszej rury nakłada się tuleję tnącą, zwaną również nożem tnącym (rys. 2.17), ewentualnie rura w tym miejscu jest specjalnie sfrezowana.



Rys. 2.17. Tuleja tnąca, [73]

Fig. 2.17. A cutting edge, [73]



Rys. 2.18. Wbijanie rur stalowych. Na pierwszym planie przebijak pneumatyczny umieszczony w łożu, na drugim planie pierścienie pośrednie (stożki redukcyjne), adapter, wbijana rura stalowa, [73]

Fig. 2.18. Pipe ramming. An impact mole placed in a cradle (in the foreground), in the background there are ram cones, a soil removing cone, an adapter and a rammed steel pipe. [73]

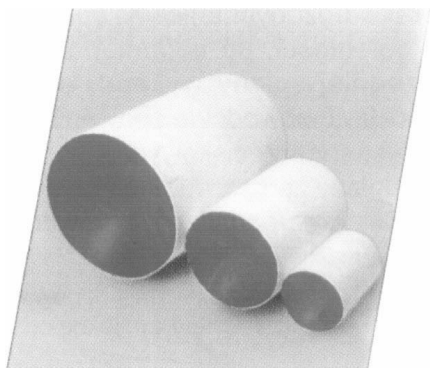
Przebijak pneumatyczny ustawiany jest w wykopie początkowym, w łożu, tak jak w przypadku wbijania rur stalowych zamkniętych od czoła. Należy dodać, że prawidłowe ustawienie przebijaka wspomagane jest często, przy większych średnicach wbijanych rur i tym samym przy zastosowaniu cięższych przebijaków o większej mocy, przy pomocy poduszek pneumatycznych. Siła uderowa przekazywana jest na wbijane rury poprzez specjalne pierścienie pośrednie, zwane również stożkami redukcyjnymi, dzięki czemu nie następuje deformacja ścianek rur. Przy dużej różnicy pomiędzy średnicą przebijaka a średnicą wbijanej rury, między tymi elementami stosuje się adapter, zwany również kołnierzem (rys. 2.18).

Poszczególne odcinki rur łączy się ze sobą zazwyczaj poprzez spawanie. Po wbiciu w grunt rur na całą długość odcinka, wewnątrz rur pozostaje rdzeń gruntowy. Usuwanie rdzenia gruntowego z wbijanych rur może odbywać się przykładowo przy pomocy sprężonego powietrza, wody pod ciśnieniem, wiertnicy ślimakowej lub mini ładowarki (rys. 2.19). Przy usuwaniu rdzenia gruntowego przy pomocy sprężonego powietrza, do wnętrza rury od strony wykopu początkowego wkłada się korek poliuretanowy odpowiedniej średnicy (rys. 2.20). Koniec rury zabezpiecza się stalową płytą (w kształcie koła o średnicy nieco mniejszej od średnicy wewnętrznej rury stalowej) (rys. 2.21) z uszczelką umieszczoną na jej obwodzie. Płytę zabezpiecza się przed wypchnięciem prętami stalowymi. W przestrzeń pomiędzy korkiem a płytą stalową wprowadza się sprężone powietrze, które naciskając na korek powoduje przemieszczanie się go do przodu rury i jednoczesne wypychanie rdzenia gruntowego do wykopu docelowego (rys. 2.22). W przestrzeń pomiędzy korkiem a płytą stalową można również podawać wodę pod ciśnieniem. Należy jednak liczyć się z wypływem wody nie tylko do wykopu docelowego, ale również do wykopu początkowego, co powoduje utrudnienia wykonawcze.



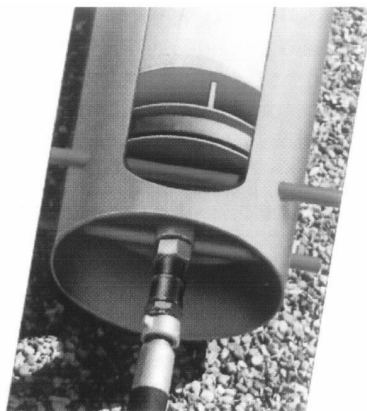
Rys. 2.19. Usuwanie urobku z wnętrza rury mini ładowarką, [73]

Fig. 2.19. Soil removal from the rammed pipe by a mini loader, [73]



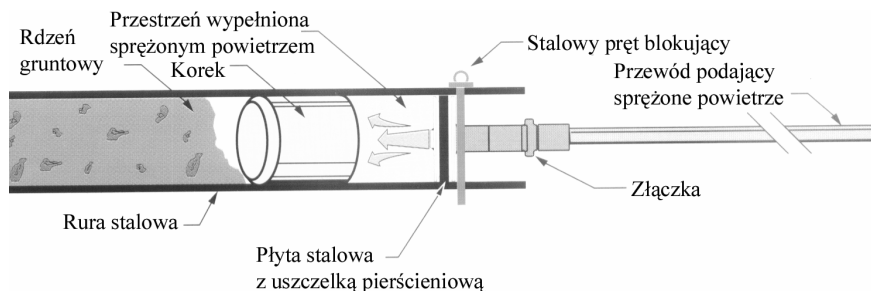
Rys. 2.20. Korki poliuretanowe o różnych średnicach, [73]

Fig. 2.20. Polyurethane plugs of various diameters, [73]



Rys. 2.21. Przekrój przez koniec rury stalowej z widocznym korkiem poliuretanowym, płytą stalową wraz z uszczelką pierścieniową oraz blokującymi prętami stalowymi, [73]

Fig. 2.21. The cross-section of a steel pipe rear with a polyurethane plug inside, a pressure plate with a sealing ring and security rods, [73]

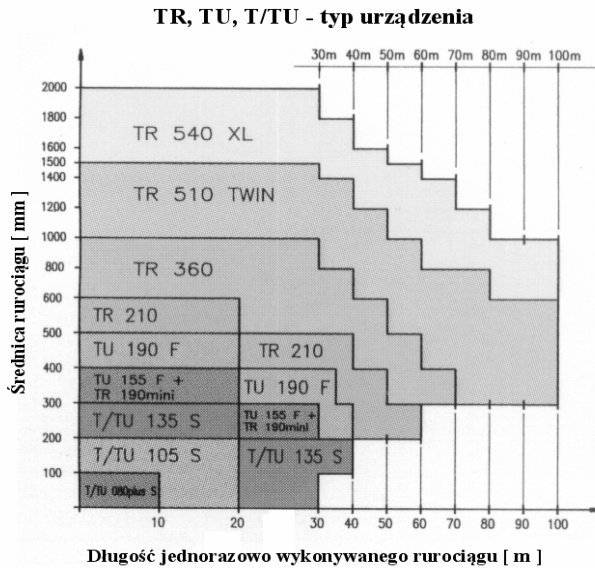


Rys. 2.22. Schemat usuwania urobku przy pomocy sprężonego powietrza, [73]

Fig. 2.22. The scheme of soil removal by compressed air, [73]

Długości wbudowywanych jednorazowo rurociągów tą metodą wynoszą od 20 do 50 m, w zależności od ich średnicy (przy czym w sprzyjających warunkach gruntowych oraz dla wybranych średnic możliwe jest wbudowanie jednorazowo rurociągu o długości nawet do 100 m [72]). Zakres średnic wbudowywanych rurociągów wynosi od 110 do 2000 mm [72]. Długości jednorazowo wbudowywanego rurociągu w zależności od jego średnicy, charakterystyczne dla danego typu przebijaka pneumatycznego, przedstawiono na rysunku 2.23. Metoda ta należy do niesterowalnych, toteż dokładność wykonania rurociągu maleje wraz z długością

wbudowywanych odcinków. Przyjmuje się, że dokładność wykonania rurociągu w pionie i w poziomie wynosi od 1 do 2% długości wykonywanych jednorazowo rurociągów.



Rys. 2.23. Długości jednorazowo wbudowywanego rurociągu w zależności od jego średnicy, charakterystyczne dla danego typu przebijaka pneumatycznego, [72]

Fig. 2.23. The driving lengths of installed pipelines, subject to its diameter, characteristic for an impact mole type, [72]

2.4. PRZEWIERTY STEROWANE I WIERCENIA KIERUNKOWE

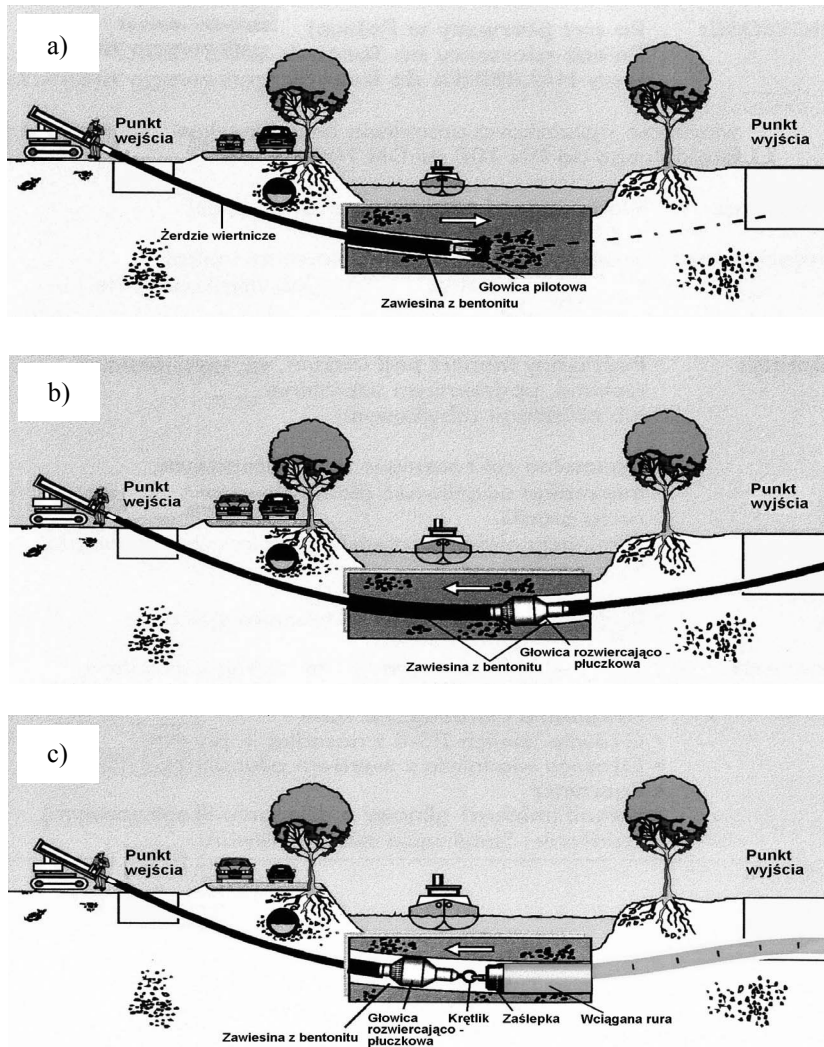
2.4.1. Uwagi wstępne

Według ISTT [74] wiercenie kierunkowe jest technologią stosowaną do przekroczeń większych rzek, kanałów, autostrad i tym podobnych przeszkód terenowych niż przewiert sterowany. Zazwyczaj również długości jednorazowo wbudowywanych rurociągów i ich średnice są większe niż wykonywane przy pomocy przewiertu sterowanego. Jednakże nie podaje się granicznych wartości: średnicy, długości wbudowywanego rurociągu lub ewentualnie maksymalnej siły uciągu wiertnicy, dla których określa się, iż dana technologia to przewiert sterowany lub wiercenie kierunkowe. Sama technologia wbudowania rurociągu tymi metodami jest identyczna, toteż coraz częściej na świecie pojęcia te stosuje się wymiennie. Często dodaje się słowo „horyzontalne” przewiertu sterowanego, gdyż płaszczyzną odniesienia dla projektowanych i wykonywanych otworów wiertniczych jest płaszczyzna pozioma. W niniejszej pracy zastosowano określenie przewiertu sterowanego.

2.4.2. Technologia przewiertu sterowanego

Technologia przewiertu sterowanego obejmuje trzy etapy (rys. 2.24):

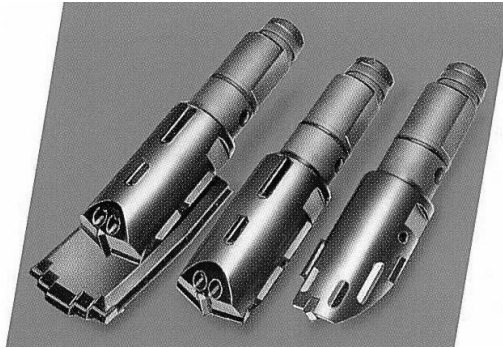
- wiercenie pilotowe,
- rozwieranie gruntu,
- wciąganie rurociągu.



Rys. 2.24. Wbudowywanie rurociągu metodą przewiertu sterowanego: a) etap I – wiercenie pilotowe, b) etap II – rozwieranie, c) etap III – wciąganie, [26]

Fig. 2.24. Pipeline installation by horizontal directional drilling: a) stage I – pilot boring, b) stage II – reaming, c) stage III – pulling in the pipeline, [26]

W etapie pierwszym w zaplanowanej osi rurociągu wykonuje się otwór pilotowy. Otwór ten zaczyna się drażyć ukośnie w dół pod kątem mniejszym niż 20° , zwanym kątem wejścia, następnie na projektowanej głębokości zmienia się kierunek na poziomy. Drażenie otworu pilotowego polega na wciskaniu w grunt żerdzi wiertniczych z jednoczesnym ich obracaniem. Żerdzie wiertnicze (połączone ze sobą na połączenia gwintowane), wciskane w grunt tworzą przewód wiertniczy. Na początku przewodu wiertniczego znajduje się głowica pilotowa (rys. 2.25), skośnie ścięta (ukształtowana ekscentrycznie), a bezpośrednio za nią w specjalnej obudowie umieszczona jest sonda nadawcza (rys. 2.26).



Rys. 2.25. Głowice pilotowe z dyszami do podawania płuczki bentonitowej, [73]

Fig. 2.25. Pilot drill heads with jets for drilling fluid, [73]



Rys. 2.26. Główne elementy składowe przewodu wiertniczego, [73]

Fig. 2.26. The main elements of a drilling conduit, [73]

Tylko w pierwszym etapie robót możliwe jest sterowanie przewierciem. Przy jednoczesnym wciskaniu w grunt i obracaniu głowicy pilotowej oraz przewodu wiertniczego, trajektoria przewiertu jest prostoliniowa. Jeśli natomiast głowica pilotowa wraz z przewodem wiertniczym jest tylko wciskana w grunt, bez obracania, następuje skręt w kierunku zależnym od położenia głowicy pilotowej. Średnica otworu pilotowego jest uzależniona od wielu czynników, m.in.: mocy i momentu obrotowego urządzenia wiertniczego, rodzaju głowicy, średnicy i odmiany wytrzymałościowej żerdzi wiertniczych, technologii urabiania gruntów i skał, stosowanego systemu oczyszczania otworu, właściwości przewiercanych gruntów i skał.

Urabianie gruntu głowicą pilotową wspomagane jest zazwyczaj płuczką wiertniczą (w większości przypadków na bazie bentonitu), podawaną przewodem wiertniczym do głowicy pilotowej.

W gruntach skalistych, skałach, wiercenie pilotowe odbywa się zazwyczaj przy pomocy zestawu silnika wgłębnego typu naporowego oraz świdra trójgryzowego z zębami frezowanymi lub słupkowymi z węglików spiekanych (TC). Jednak zastosowanie silnika wgłębnego wiąże się z koniecznością zapewnienia odpowiednich hydraulicznych parametrów technologii wiercenia (strumienia objętości przepływu i ciśnienia płuczki), gdyż silnik ten napędzany jest płuczką. W gruntach średniozwięzłych stosuje się pośrednie rozwiązanie, a mianowicie świder trójgryzowy w kombinacji z krzywym łącznikiem (rys. 2.27).



Rys. 2.27. Świder trójgryzowy z krzywym łącznikiem, [73]

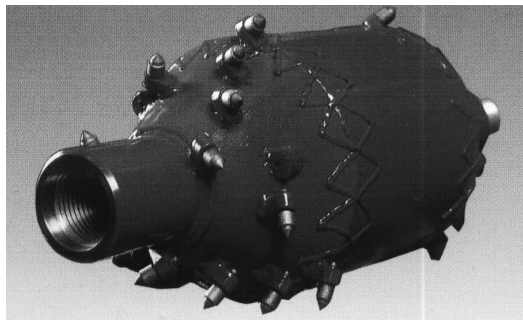
Fig. 2.27. A sawtooth bit, [73]

W technologii przewiertu sterowanego zazwyczaj nie wykonuje się wykopów początkowych ani docelowych. Urządzenie do wbudowywania rurociągów tą metodą – wiertnicę – umieszcza się na poziomie terenu. Punkt, w którym głowica pilotowa wraz z przewodem wiertniczym wprowadzana jest w grunt nazywa się punktem wejścia. Analogicznie punkt, w którym głowica pilotowa wychodzi z gruntu na powierzchnię terenu, nazywa się punktem wyjścia. W celu skrócenia długości przewiertu możliwe jest wykonanie wykopu docelowego, w którym odbierana jest głowica pilotowa oraz wykopu początkowego dla umieszczenia w nim wiertnicy.

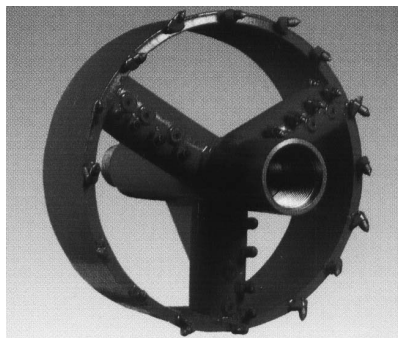
Po osiągnięciu punktu wyjścia przez głowicę pilotową rozpoczyna się drugi etap prac – rozwiercanie (rys. 2.24b). Głowicę pilotową wymienia się wówczas na odpowiedniej wielkości głowicę rozwiercającą, zwaną rozwiercakiem lub poszerzaczem. Na rysunkach 2.28-2.31 przedstawiono różne rodzaje głowic rozwiercających, dobierane w zależności od rodzaju gruntu na trasie rozwiercanego otworu.



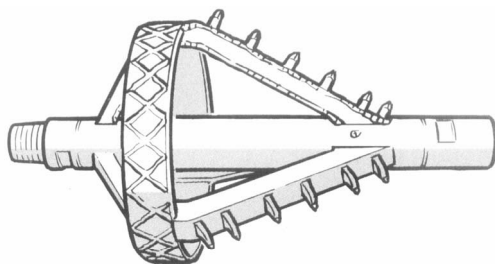
Rys. 2.28. Głowice rozwierająco-płuczkowe typu zamkniętego (rozwiertaki kompaktowe), [73]
Fig. 2.28. Reaming and flushing heads (compact reamers), [73]



Rys. 2.29. Głowica rozwierająco-płuczkowa typu zamkniętego z wymiennymi zębami urabiającymi (rozwiertak barylkowy), [30]
Fig. 2.29. Reaming and flushing head with replaceable teeth (a barrel reamer), [30]



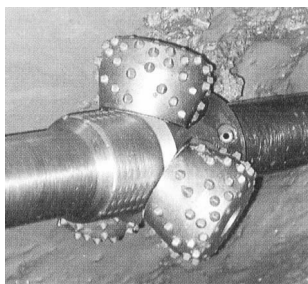
Rys. 2.30. Głowica rozwierająca typu otwartego, [30]
Fig. 2.30. An open type reamer (a fly cutter), [30]



Rys. 2.31. Głowica rozwiercająca typu otwartego (rozwiertak wyporowy), [30]

Fig. 2.31. An open type reamer, [30]

Do poszerzania otworu w gruntach skalistych, kamienistych lub zwartych o dużej wytrzymałości mechanicznej stosuje się poszerzacze rolkowe (tzw. hole opener) – rysunek 2.32.



Rys. 2.32. Poszerzacz rolkowy, [73]

Fig. 2.32. A roller reamer, [73]

Bezpośrednio do głowicy rozwiercającej, od strony punktu wyjścia mocuje się żerdzie wiertnicze. Następnie, rozwiertak wraz z przewodem wiertniczym przeciąga się w kierunku do wiertnicy. W czasie rozwiercania otworu pilotowego poprzez żerdzie wiertnicze do rozwiertaka podaje się płuczkę wiertniczą, która wspomaga urabianie gruntu. Od strony punktu wyjścia, systematycznie dokłada się żerdzie wiertnicze, tak aby na całej długości rozwierconego otworu znajdował się zawsze przewód wiertniczy. Jednocześnie wyciągane żerdzie wiertnicze odbierane są w punkcie wejścia, w wiertnicy. Po osiągnięciu przez rozwiertak punktu wejścia (rys. 2.33) jest on demontowany, żerdzie wiertnicze są ze sobą łączone, a w punkcie wyjścia montuje się rozwiertak o większej średnicy. W zależności od wymaganej średnicy rozwierconego otworu, rozwiercanie może być jednokrotne lub wielokrotne.

Bezpośrednio za rozwiertakiem, który wykonuje ostatnie poszerzenie lub tzw. marsz czyszczący, montuje się zespawany lub zgrzany w całości rurociąg. Podczas rozwiercania i przeciągania rozwiertaka w kierunku do wiertnicy, następuje równoczesne wciąganie rurociągu. Jest to ostatni, trzeci etap robót (rys. 2.24c). W celu zmniejszenia oporów wciągania rurociągu, poprzez przewód wiertniczy do rozwiertaka podaje się płuczkę bentonitową. W przypadku rurociągów o większych średnicach, dodatkowo w celu zmniejszenia oporów wciągania, układa się je na specjalnych prowadnicach – rolkach (rys. 2.34). Na rysunku 2.35 przedstawiono przygotowany w całości rurociąg do wciągania, oparty na specjalnej konstrukcji wsporczej zmniejszającej opory wciągania, zaopatrzonej w prowadnice rolkowe, ułatwiające prowadzenie rurociągu. Natomiast na rysunku 2.36 przedstawiono rurociąg przygotowany do wciągania, podwieszony na samojezdnym dźwigach podających rurociąg.



Rys. 2.33. Wyjście rozwiertaka po kolejnym marszu rozwiercającym (zdjęcie własne dzięki uprzejmości firm B.D.C. Poland oraz JT – Zakład Budowy Gazociągów)

Fig. 2.33. A reamer after a succeeding drilling cycle (photo courtesy of B.D.C. Poland firm and JT – Zakład Budowy Gazociągów)



Rys. 2.34. Prowadnice rolkowe (zdjęcie własne dzięki uprzejmości firm B.D.C. Poland oraz JT – Zakład Budowy Gazociągów)

Fig. 2.34. Roller guides (photo courtesy of B.D.C. Poland firm and JT – Zakład Budowy Gazociągów)



Rys. 2.35. Rurociąg przygotowany do wciągania, ułożony na specjalnej konstrukcji wsporczej, [1]
Fig. 2.35. A pipeline ready to pull in, placed on a special supporting construction, [1]



Rys. 2.36. Konstrukcja rurociągu podwieszona na samojezdnych dźwigach w czasie jego wciągania (zdjęcie własne dzięki uprzejmości firm B.D.C. Poland oraz JT – Zakład Budowy Gazociągów)
Fig. 2.36. A pipeline underslung to cranes during its pulling in (photo courtesy of B.D.C. Poland firm and JT – Zakład Budowy Gazociągów)

Rurociąg mocuje się do głowicy rozwiercającej za pomocą łącznika obrotowego, tzw. krętlika (rys. 2.37), który zapobiega obracaniu się wciąganego rurociągu. Rurociągi polietylenowe mocuje się do krętlika poprzez specjalne uchwyty rozprężne (rys. 2.38, 2.39). W trzecim etapie robót można wciągać jeden przewód lub wiele. Na rysunku 2.40 przedstawiono wciąganie kilkunastu przewodów kablowych za rozwiertakiem.



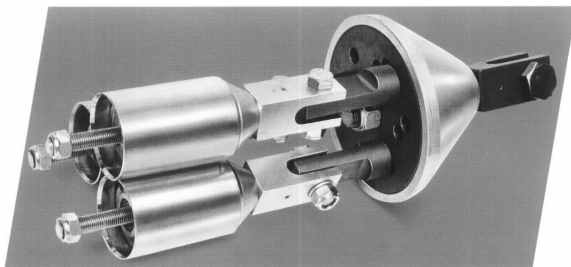
Rys. 2.37. Łączniki obrotowe, tzw. krętliki, [74]

Fig. 2.37. Towing heads, [74]



Rys. 2.38. Uchwyty rozprężne do wciągania rur polietylenowych, [73]

Fig. 2.38. Grips for pulling in polyethylene pipes, [73]



Rys. 2.39. Przyrząd do wciągania wielu przewodów, [73]

Fig. 2.39. A grip for pulling in a few pipelines, [73]



Rys. 2.40. Wciąganie kilkunastu przewodów kablowych za rozwiertakiem, [49]

Fig. 2.40. Pulling in several conductors behind a reamer, [49]

W celu zmniejszenia sił tarcia wciąganego rurociągu o wewnętrzne powierzchnie rozwierzonego otworu, oprócz działań omówionych wcześniej, a mianowicie: podawania płuczki bentonitowej, podwieszenia rurociągu, umieszczenia go na prowadnicach rolkowych, stosuje się również balastowanie wciąganego rurociągu. Balastowanie zalecane jest zazwyczaj dla rurociągów wykonanych z polietylenu ze względu na jego mniejszą gęstość w stosunku do płuczki wiertniczej. Natomiast dla rurociągów wykonanych z innych materiałów, takich jak: stal oraz żeliwo sferoidalne o gęstości większej niż gęstość płuczki wiertniczej, decyzja o balastowaniu zależy od ich geometrii oraz od gęstości płuczki obciążonej urobkiem w rozwierconym otworze [51].

2.4.3. Płuczka wiertnicza

Istotne zadania technologii przewiertu sterowanego pełni płuczka wiertnicza, która podawana jest zarówno podczas wykonywania wiercenia pilotowego, rozwiercania (rys. 2.41) jak również w trakcie wciągania rurociągu. Jej zadaniem jest: rozmywanie i urabianie gruntu, transport urobku, chłodzenie i smarowanie głowicy, umacnianie wykonanego odwiertu, redukcja tarcia gruntu o zewnętrzną powierzchnię rurociągu, zabezpieczenie wciąganego rurociągu, a także napędzanie wgłębnych silników płuczkowych.



Rys. 2.41. Płuczka bentonitowa wypływająca pod ciśnieniem z dysz rozwiertaka – rozpoczęcie II etapu robót rozwiercania (zdjęcie własne dzięki uprzejmości firmy ERGOTEL)

Fig. 2.41. Bentonite drilling fluid jetting from the reamer nozzles – the start of reaming (photo courtesy of ERGOTEL firm)

Zazwyczaj w przewiertach sterowanych jako płuczkę wiertniczą stosuje się płuczkę bentonitową czystą lub modyfikowaną syntetycznymi polimerami.

Płuczkę wiertniczą przygotowuje się w polietylenowych lub stalowych zbiornikach wyposażonych w lej strumieniowy ze zwężką Venturiego oraz pompy wirowe. Podawanie płuczki do wiertnicy następuje w małych urządzeniach za pomocą pomp nurnikowych, natomiast w urządzeniach średnich i dużych za pomocą pomp typu tłokowego. Na rysunku 2.42 przedstawiono urządzenie służące do przygotowania płuczki bentonitowej, natomiast na rysunku 2.43 – przygotowanie płuczki.



Rys. 2.42. Urządzenie do przygotowania płuczki bentonitowej. [75]

Fig. 2.42. The system for preparation of drilling fluid, [75]



Rys. 2.43. Przygotowywanie płuczki bentonitowej (zdjęcie własne dzięki uprzejmości firmy ERGOTEL)
Fig. 2.43. Preparation of drilling fluid (photo courtesy of ERGOTEL firm)

Płuczki bentonitowe są nietoksyczne wobec środowiska. Przy małych ilościach używanej płuczki i jednocześnie małych ilościach urobku zmieszanego z płuczką, na terenach pól, łąk i innych niezainwestowanych obszarach nie stosuje się separacji płuczki od urobionego gruntu. Natomiast przy większych ilościach użytej płuczki, urobku oraz na terenach zurbanizowanych stosuje się specjalne urządzenia do odzysku płuczki od urobku (zwiercin). Urządzenia te są zróżnicowane wielkością w zależności od ilości urobku poddawanego separacji (rys. 2.44, 2.45).



Rys. 2.44. Urządzenie służące do separacji płuczki na podwoziu kołowym, [73]
Fig. 2.44. A plant for separation of drilling fluid from soil, [73]

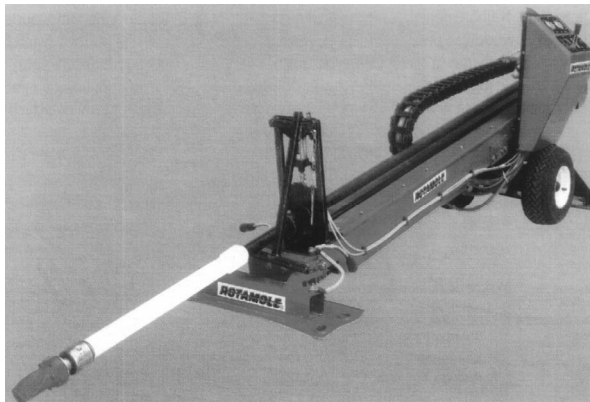


Rys. 2.45. Zespół urządzeń służących do separacji płuczki, [66]

Fig. 2.45. A system for separation of drilling fluid from soil, [66]

2.4.4. Przewierthy sterowane wykonywane na sucho

Niektóre urządzenia do przewiertów sterowanych projektowane są do wiercenia na sucho bez użycia płuczki wiertniczej. Wiertnice do pracy na sucho są prostsze i mniejsze niż urządzenia pracujące z płuczka (rys. 2.46).



Rys. 2.46. Wiertnica do przewiertów sterowanych na sucho, [71]

Fig. 2.46. A drilling rig for dry boring, [71]

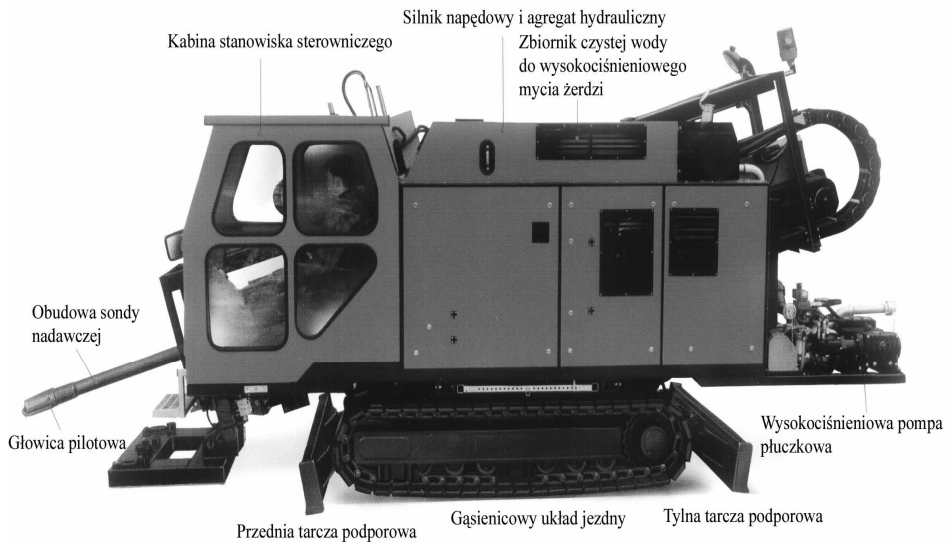
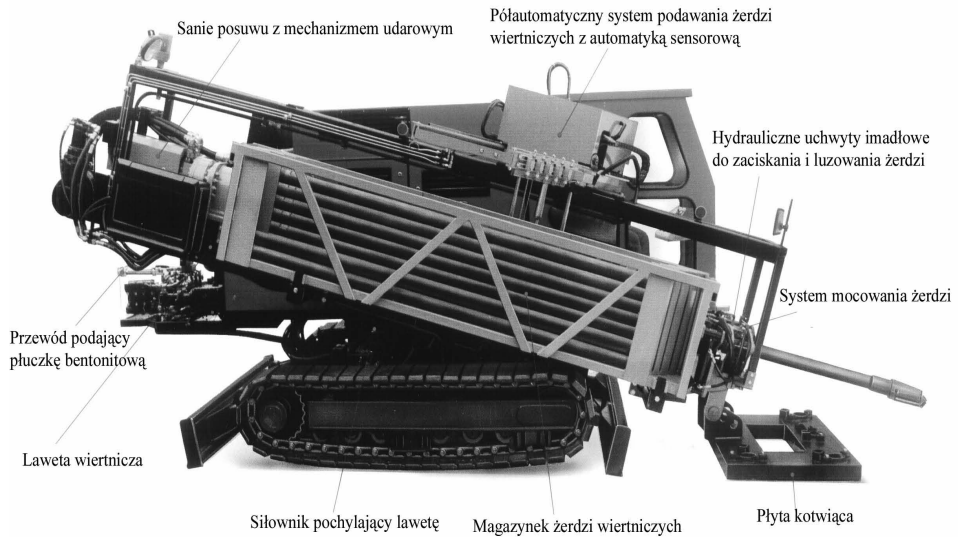
W przedniej części przewodu wiertniczego posiadają młot pneumatyczny, wysokiej częstotliwości, który wspomaga urabianie gruntu. Poszerzacze stosowane w wierceniach na sucho posiadają dysze powietrzne, zasilanie sprężonym powietrzem podawanym poprzez żerdzie wiertnicze. Sprężone powietrze wspomaga oczyszczanie otworu z urobku. Do wbudowywania rurociągów o średnicach powyżej 250 mm metodą przewiertu sterowanego na sucho stosuje się dodatkowo młot poszerzający o napędzie pneumatycznym, zamocowany do żerdzi wiertniczych. Urabianie gruntu oraz poszerzanie otworu czasami wspomaga się podawaniem mgły wodnej lub specjalnej pianki poprzez żerdzie wiertnicze. Technika wiercenia na sucho stosowana jest w gruntach dających się zagęszczać.

2.4.5. Urządzenia wiertnicze

Do wbudowywania rurociągów metodą przewiertów sterowanych używa się urządzeń zwanych wiertnicami. Stanowią one zwarte konstrukcje, w skład których zazwyczaj wchodzi [55]: samobieżny mechanizm gaśienicowy lub kołowy, laweta wiertnicza, agregat prądowórczy, zespół hydrauliczny (m.in. agregat hydrauliczny, szczęki, zaciski, imadła do skręcania i rozkręcania żerdzi wiertniczych) oraz pompa płuczkowa. Większość lawet wiertniczych składa się z następujących modułów (rys. 2.47): stalowej konstrukcji ramowej, kotwionej w celu przejmowania powstających obciążeń, w tym momentów obrotowych; ruchomych sań, które wraz z silnikami hydraulicznymi wytwarzają niezbędne momenty obrotowe i siły osiowe do wciskania i obracania przewodu wiertniczego; oraz pulpitu lub kabiny sterowniczej. Laweta wiertnicza ma możliwość ustawienia jej pod kątem do poziomu (w pewnym zakresie zmiany kąta zależnym od producenta wiertnicy), odpowiadającym projektowanemu kątowi wejścia żerdzi wiertniczych. Podawanie żerdzi wiertniczych w małych wiertnicach odbywa się zazwyczaj ręcznie z wymiennych magazynków żerdzi wiertniczych, natomiast w wiertnicach dużych stosowane są automatyczne układy podawania żerdzi wiertniczych, np. typu karuzelowego (bębnowego) – rysunek 2.48. W wiertnicach bardzo dużych, dla których długości żerdzi dochodzą do 10 m, a ich średnica może osiągać nawet 168 mm podawanie żerdzi wiertniczych może odbywać się przy pomocy dźwigu (rys. 2.49).

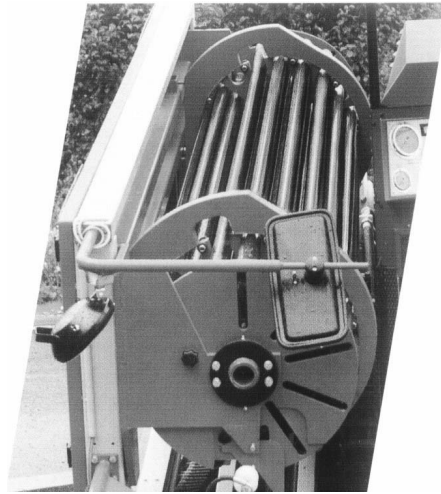
Niektóre wiertnice wyposażone są w mechanizm udarowy, wspomagający wiercenie w trudnych warunkach gruntowych. Udarowe żerdzie wiertnicze napędzane są z częstotliwością dochodzącą do 1000 uderzeń na minutę, przy czym liczba uderzeń może być dostosowana do warunków gruntowych [73].

Najmniejsze wiertnice mogą być umieszczane w kanalizacyjnych studniach rezyzyjnych, w celu wbudowania przyłączy kanalizacyjnych (rys. 2.50, 2.51), posiadają krótsze i sztywniejsze żerdzie wiertnicze.

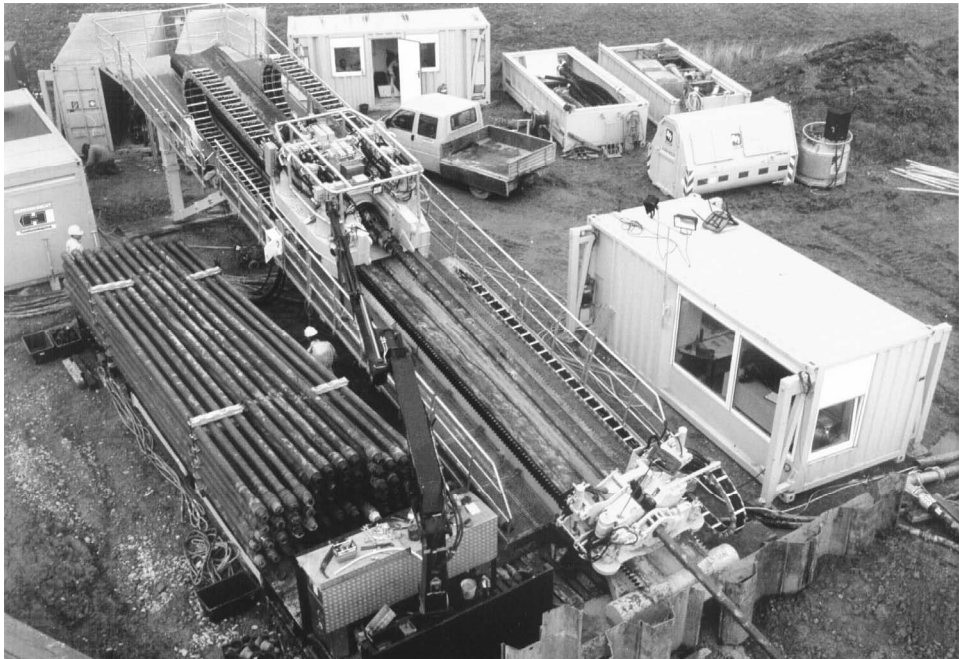


Rys. 2.47. Budowa wiertnicy do przewiertów sterowanych, [73]

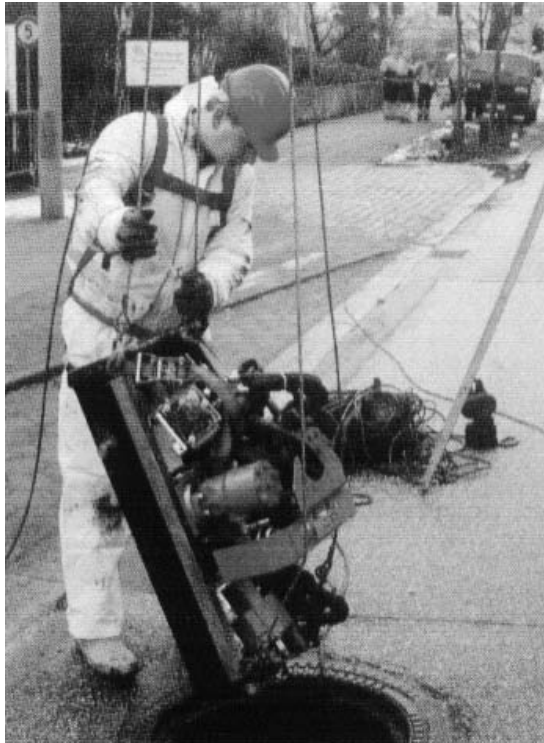
Fig. 2.47. The main elements of a drilling rig for HDD, [73]



Rys. 2.48. Magazynek bębnowy żerdzi wiertniczych służący do ich automatycznego podawania, [73]
Fig. 2.48. An automatic drill pipe carousel, [73]



Rys. 2.49. Duża wiertnica z podawaniem żerdzi dźwigiem, [28]
Fig. 2.49. A big drilling rig in which drill pipes are carried and placed on the rig by a crane, [28]



Rys. 2.50. Wprowadzanie wiertnicy do studni rewizyjnej, [73]
Fig. 2.50. Putting a small rig into an inspection chamber, [73]



Rys. 2.51. Mała wiertnica umieszczona w studni rewizyjnej, [73]
Fig. 2.51. A small rig placed in an inspection chamber, [73]

Podstawowe parametry techniczne wiertnic służących do wbudowywania rurociągów metodą przewiertów sterowanych to: siła uciągu, siła pchania, maksymalny moment obrotowy, długość, średnica, promień gięcia żerdzi wiertniczych, rodzaj napędu, prędkość obrotowa wrzeciona, wartość strumienia objętości pompy płuczkowej.

Tabela 2.3. Podział wiertnic do przewiertów sterowanych, [55]

Table 2.3. The division of drilling rigs for HDD, [55]

| Rodzaj wiertnicy | Siła uciągu, kN | Moment obrotowy, Nm | Wydatek pompy płuczkowej, l/min | Średnica żerdzi wiertniczych, mm |
|------------------|-----------------|---------------------|---------------------------------|----------------------------------|
| Bardzo małe | < 100 | < 2500 | < 100 | < 48 |
| Małe | 100 – 200 | 2500 – 6000 | 100 – 250 | 48 – 69 |
| Średnie | 200 – 400 | 6000 – 15000 | 250 – 600 | 60 – 92 |
| Duże | > 400 | > 15000 | > 600 | > 92 |

Nieco inny podział wiertnic zaprezentowano w pracy [58], uwzględniono w nim średnicę wbudowywanego rurociągu oraz długość przewiertu w rzucie poziomym.

Klasyfikacja wiertnic według pracy [58] obejmuje:

- a) wiertnice małe – wykorzystywane do wbudowywania rurociągów o średnicy do 200 mm oraz na dystansie do 120 m,
- b) wiertnice średnie – wykorzystywane do wbudowywania rurociągów o średnicy do 500 mm oraz na dystansie do 300 m,
- c) wiertnice duże – wykorzystywane do wbudowywania rurociągów o średnicy do 1200 mm, a zakres wiercenia dochodzi do 2000 m.

2.4.6. Systemy sterowania i kontroli wykorzystywane w technologii przewiertu sterowanego

Sterowanie procesem wbudowywania rurociągu, w technologii przewiertu sterowanego, jest możliwe tylko w czasie pierwszego etapu robót. Zasadniczym elementem systemu sterowania jest specjalnie ukształtowana (skośnie ścięta) głowica pilotowa. Jeśli przewód wiertniczy wraz z głowicą pilotową jest wciskany w grunt i jednocześnie obracany dookoła jego osi, to otrzymuje się prostoliniową trajektorię otworu pilotowego. Natomiast jeśli przewód jest wciskany w grunt bez obrotu, to trajektoria otworu odchyła się w kierunku ścięcia głowicy pilotowej. Do określenia ustawienia głowicy pilotowej często używa się określenia godzinowego na tarczy zegara, np. głowica pilotowa ustawiona na godzinę 12, tzn., że głowica ustawiona jest w taki sposób, iż po jej wciśnięciu bez obrotu nastąpi odchylenie trajektorii otworu pilotowego w górę.

Do kontroli parametrów wykonywanego otworu pilotowego stosuje się najczęściej systemy: radiolokacji, magnetyczny i elektromagnetyczny. Sporadycznie wykorzystuje się systemy oparte na śledzeniu wypływu płuczki bentonitowej z głowicy pilotowej. W fazie prac badawczych i wdrożeniowych jest wykorzystanie systemu żyroskopowego do kontroli wykonania otworu pilotowego w technologii przewiertów sterowanych.

Zasadnicze elementy systemu radiolokacji to: sonda (nadajnik), przenośny lokalizator, monitor dla operatora wiertnicy. Sonda, emitująca sygnał radiowy, umieszczona jest bezpośrednio za głowicą pilotową. Sygnał ten jest odbierany przez przenośny lokalizator, który musi znajdować się nad nadajnikiem. Lokalizator odbiera informacje dotyczące m.in.: położenia sondy, głębokości, kąta pochylenia i kąta obrotu głowicy pilotowej. Informacje te wyświetlane są na monitorze lokalizatora, a następnie przekazywane na stanowisko operatora wiertnicy. Najnowsze rozwiązania systemów radiolokacji, a w szczególności lokalizatorów pozwalają na odbieranie sygnału z nadajnika i przetwarzanie informacji bez konieczności bezpośredniego usytuowania lokalizatora nad nadajnikiem. Jest to szczególnie ważne przy przekroczeniach żeglownych rzek, węzłów kolejowych, autostrad, lotnisk, gdzie lokalizator nie zawsze może znajdować się bezpośrednio nad nadajnikiem. Jednakże uzyskane informacje obciążone są większym błędem odczytu.

W przypadku znacznych zakłóceń magnetycznych, bądź elektromagnetycznych jako systemy sterowania i kontroli w przewiertach sterowanych stosuje się systemy magnetyczne i elektromagnetyczne. Zasadą działania systemu magnetycznego jest wykorzystanie naturalnego ziemskiego pola magnetycznego. Układ czujników magnetycznych i grawitacyjnych wbudowanych w sondę pomiarową, znajdującą się również bezpośrednio za głowicą pilotową, umożliwia orientację sondy pod powierzchnią ziemi. System elektromagnetyczny natomiast działa na zasadzie lokalizacji sondy w polu magnetycznym wytworzonym przez przepływ prądu stałego w odpowiednio ułożonej na powierzchni terenu i umiejscowionej względem osi przewiertu pętli z przewodu elektrycznego.

Szczegółową charakterystykę systemów: radiolokacji, magnetycznego i elektromagnetycznego stosowanych w technologii przewiertów sterowanych przedstawiono w rozdziale 4 niniejszej publikacji.

Sporadycznie w przewiertach sterowanych wykorzystuje się systemy tzw. MWD oraz EMWD stosowane dość powszechnie w wierceniach naftowych. W systemach tych stosuje się podobne układy czujników magnetycznych i grawitacyjnych wbudowanych w sondę pomiarową, jak w systemach magnetycznych i elektromagnetycznych. Inny jest natomiast sposób przesyłania uzyskanych danych. Do transmisji danych, systemy te wykorzystują stałą obecność płuczki wiertniczej w otworze pilotowym. Należy dodać, że dane te przesyłane są przy pomocy krótkich różnic ciśnienia, wytwarzanych w otworze przez urządzenie hydrauliczne. Różnice ciśnień odczytywane są na powierzchni przez specjalny czujnik ciśnienia, a następnie przetwarzane [21].

Systemy żyroskopowe mierzą prędkość obrotową ziemi na danej szerokości geograficznej i na tej podstawie określany jest bieżący kierunek wiercenia. Natomiast wartość inklinacji określana jest przy pomocy czujników grawitacyjnych (mierzących siłę grawitacji) [21].

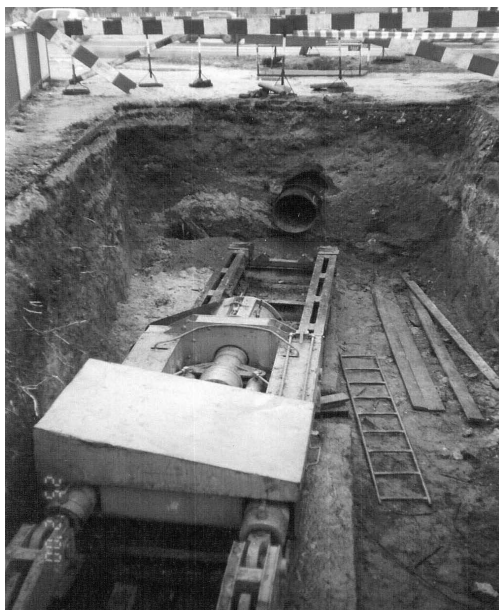
2.5. PRZECISKI HYDRAULICZNE

2.5.1. Uwagi wstępne

Przeciski hydrauliczne można podzielić ogólnie na dwie grupy: przeciski hydrauliczne niesterowane oraz przeciski hydrauliczne sterowane. W grupie przecisków sterowanych wyróżnia się przeciski hydrauliczne z wierceniem pilotowym oraz przeciski hydrauliczne sterowane (dwuetapowe).

2.5.2. Przeciski hydrauliczne niesterowane

Metoda ta stosowana jest do wbudowywania rurociągów pod przeszkodami terenowymi na odcinkach do 60 m i o średnicach od 100 do 1500 mm. Polega ona na wciskaniu w grunt stalowych rur osłonowych przy pomocy siłowników hydraulicznych, zamocowanych w ramie przeciskowej (rys. 2.52).



Rys. 2.52. Wykop początkowy z ustawionym urządzeniem do przecisku (zdjęcie własne dzięki uprzejmości firmy ZRUG Tarnów)

Fig. 2.52. A starting pit and a jacking station placed in it (photo courtesy of ZRUG Tarnów firm)

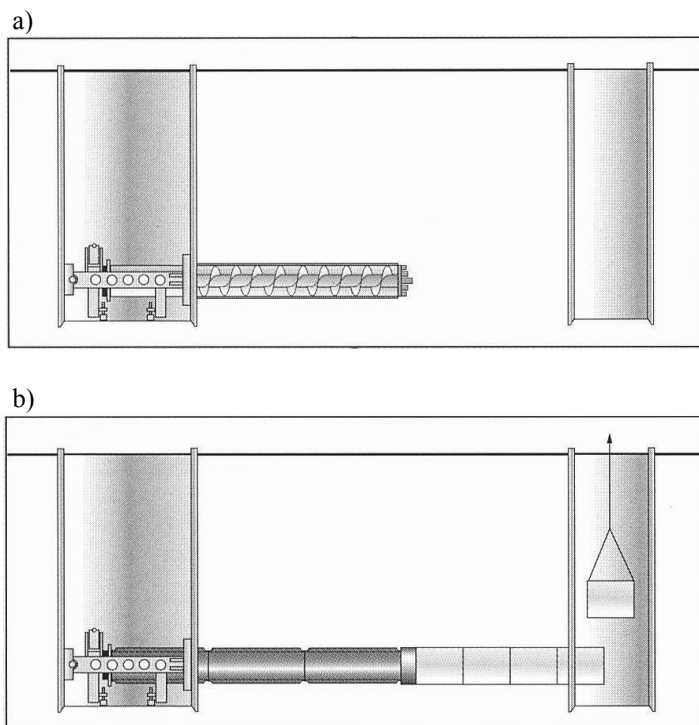
Dla rur o niewielkich średnicach, a mianowicie do 200 mm (średnica zewnętrzna), w grunt wciska się rury zaślepione od czoła głowicą stożkową. Grunt jest wówczas zagęszczany wokół wprowadzanych rur i nie występuje usuwanie urobku. Dla rur o średnicy zewnętrznej powyżej 200 mm konieczne jest usuwanie urobku, może ono się odbywać bezpośrednio podczas przecisku, przy pomocy przenośnika ślimakowego, z jednoczesnym urabianiem gruntu na przodku wiertłem ślimakowym (rys. 2.54a) lub też po wbudowaniu rur stalowych na całej długości odcinka poprzez wprowadzenie do środka rur wiertnicy ślimakowej. Grunt transportowany jest do wykopu początkowego, gdzie odbierany jest do specjalnych pojemników. Rdzeń gruntowy wewnątrz wbudowanych rur może być również usunięty przy pomocy sprężonego powietrza i specjalnego korka lub wody pod ciśnieniem, tak jak to ma miejsce przy pneumatycznym wbijaniu rur stalowych. W najprostszych metodach tej grupy rury stalowe pozostają w gruncie jako tzw. rury osłonowe tracone. Do ich wnętrza wprowadza się rury przewodowe w postaci zwykłych rur, takich jak używa się w metodach tradycyjnych, wykopowych (rys. 2.53).



Rys. 2.53. Wciąganie rur przewodowych (zdjęcie własne dzięki uprzejmości firmy ZRUG Tarnów)

Fig. 2.53. Pulling in product pipes (photo courtesy of ZRUG Tarnów firm)

W bardziej zaawansowanych metodach tej grupy, po zakończeniu przecisku hydraulicznego stalowych rur osłonowych następuje drugi etap robót, czyli przecisk hydrauliczny rur przewodowych z jednoczesnym wypychaniem rur stalowych do wykopu docelowego (rys. 2.54b). Metodę tę można stosować w gruntach nawodnionych. Przy urabianiu gruntu w trakcie wykonywania przecisku nie stosuje się żadnej płuczki, co pozwala uniknąć kłopotów z jej utylizacją. Urabianie gruntu wiertłem ślimakowym oraz przecisk hydrauliczny rur zapobiega możliwości naruszenia struktury gruntu na powierzchni terenu podczas budowy rurociągu. Dzięki temu możliwe jest wykonanie rurociągu płytko pod powierzchnią terenu. Jest to prosta i tania metoda bezwykopowego układania rur. Ponieważ jest to metoda niesterowalna, to dokładność wbudowania rurociągu w pionie i w poziomie zależy od długości wbudowywanego odcinka i wynosi (podobnie jak we wcześniej omówionych metodach) niesterowalnych od 1 do 2% długości wbudowanego rurociągu.



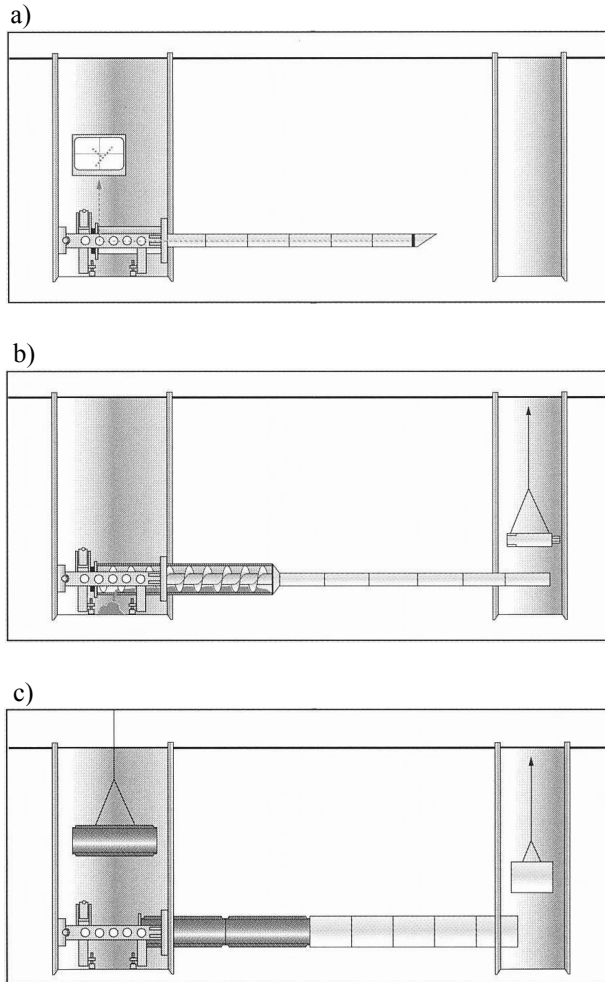
Rys. 2.54. Wbudowywanie rurociągu metodą przecisku hydraulicznego, niesterowanego z transportem urobku przenośnikiem ślimakowym: a) etap I – wiercenie niesterowane z jednoczesnym przeciskiem hydraulicznym stalowych rur osłonowych, b) etap II – przecisk hydrauliczny rur przewodowych, [9]

Fig. 2.54. Pipeline installation by nonsteerable pipejacking with soil removal by a screw conveyor: a) stage I – nonsteerable boring and jacking of steel casing pipes, b) stage II – jacking of product pipes, [9]

2.5.3. Przeciski hydrauliczne z wierceniem pilotowym

W technologii tej można wyróżnić trzy etapy (rys. 2.55):

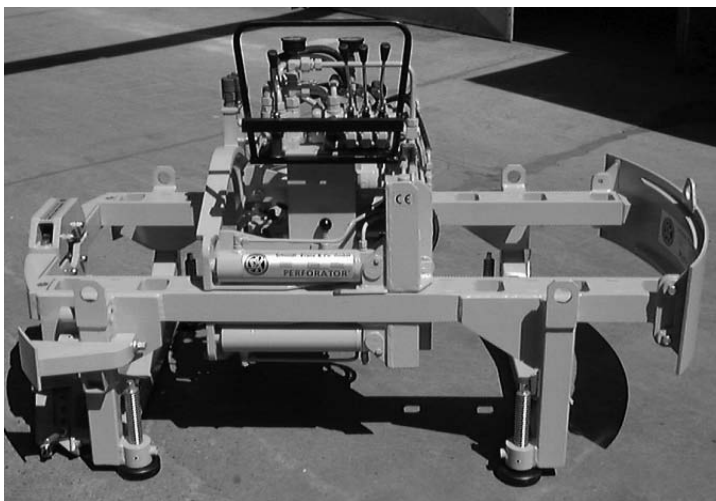
- wiercenie pilotowe,
- przecisk hydrauliczny stalowych rur osłonowych,
- przecisk hydrauliczny rur przewodowych.



Rys. 2.55. Wbudowywanie rurociągu metodą przecisku hydraulicznego z wierceniem pilotowym: a) etap I – wiercenie pilotowe, b) etap II – rozwiercanie z jednoczesnym przeciskiem stalowych rur osłonowych, c) etap III – przecisk hydrauliczny rur przewodowych, [9]

Fig. 2.55. Pipeline installation by pipejacking with pilot boring and soil removal by a screw conveyor: a) stage I – pilot boring, b) stage II – reaming of soil with simultaneous jacking of steel casing pipes, c) stage III – jacking of product pipes, [9]

W czasie pierwszego etapu (rys. 2.55a) w zaplanowanej osi rurociągu odbywa się przecisk hydrauliczny żerdzi pilotowych. Żerdzie pilotowe wciskane są w grunt za pomocą siłowników hydraulicznych umieszczonych w ramie przeciskowej, która wraz z instalacją hydrauliczną i siłownikami tworzy wiertnicę (rys. 2.56). Na początku pierwszej żerdzi pilotowej znajduje się głowica pilotowa, skośnie ścięta. W etapie tym grunt jest zagęszczany wokół żerdzi i nie ma potrzeby usuwania urobku. Kierunek przecisku podlega stałej kontroli i może być korygowany w trakcie pierwszego etapu robót. Sterowanie przeciskiem, zmiana kierunku wbudowywania żerdzi odbywa się przy pomocy ekscentrycznie ukształtowanej głowicy pilotowej. Jeżeli żerdzie wiertnicze (rys. 2.57) są wciskane w grunt i jednocześnie obracane, to uzyskiwana jest prostoliniowa trajektoria otworu pilotowego, tak jak ma to miejsce w przypadku przewiertów sterowanych. Jeśli natomiast żerdzie są tylko wciskane w grunt bez obrotu, to trajektoria odchyła się w stronę ścięcia głowicy pilotowej. Do kontroli prawidłowości wykonania otworu pilotowego stosuje się w tej metodzie system teleoptyczny. Do elementów tego systemu należą: diodowa tablica celownicza (rys. 2.58), umieszczona bezpośrednio za głowicą pilotową; teodolit z wbudowaną kamerą cyfrową (rys. 2.59) oraz monitor (rys. 2.60). Kamera rejestruje obraz diodowej tablicy celowniczej poprzez żerdzie wiertnicze i przekazuje go na monitor. Zarówno teodolit z wbudowaną kamerą cyfrową, jak i monitor znajdują się w wykopie początkowym. Tak uzyskany obraz diodowej tablicy celowniczej analizowany jest przez operatora, który w każdej chwili może wprowadzić zmianę kierunku wbudowywania przewodu wiertniczego. Ze względu na fakt, iż kamera cyfrowa rejestruje obraz diodowej tablicy celowniczej poprzez wydrążone żerdzie wiertnicze, w technologii tej możliwe jest wykonanie prawidłowego otworu pilotowego tylko prostoliniowego.



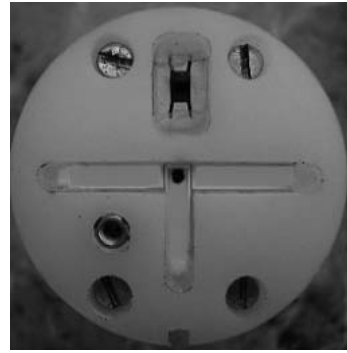
Rys. 2.56. Wiertnica do przecisków hydraulicznych z wierceniem pilotowym, [57]

Fig. 2.56. A rig for pipejacking with pilot boring, [57]



Rys. 2.57. Żerdzie wiertnicze przygotowane do przecisku (zdjęcie własne dzięki uprzejmości firmy PERFORATOR)

Fig. 2.57. Drilling rods for pipejacking with pilot boring (photo courtesy of PERFORATOR firm)



Rys. 2.58. Diodowa tablica celownicza, [57]

Fig. 2.58. A diode target panel, [57]



Rys. 2.59. Teodolit z wbudowaną kamerą cyfrową (zdjęcie własne dzięki uprzejmości firmy INKOP)

Fig. 2.59. A theodolite with a digital camera (photo courtesy of INKOP firm)



Rys. 2.60. Monitor, na którym wyświetlany jest obraz diodowej tablicy celowniczej (zdjęcie własne dzięki uprzejmości firmy INKOP)

Fig. 2.60. A monitor on which the picture of diode target panel is shown (photo courtesy of INKOP firm)

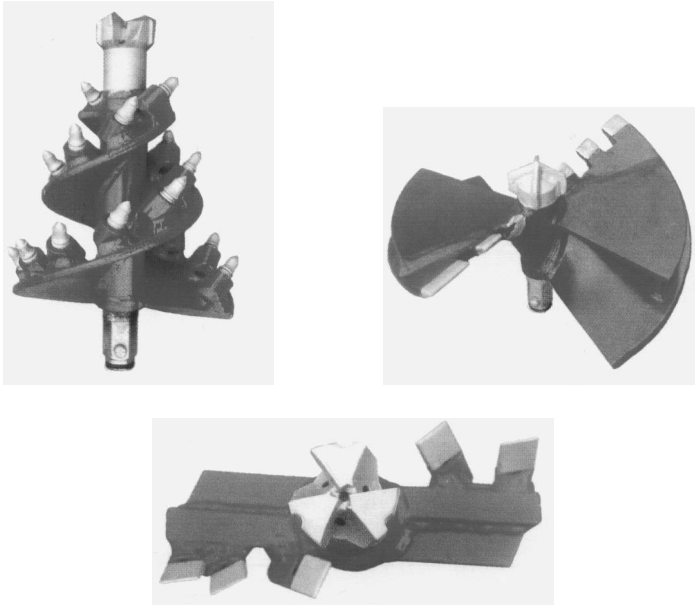
W czasie wykonywania wiercenia pilotowego w gruntach miękkich, poniżej poziomu wody gruntowej, szczególnie w gruntach kurzawkowych, torfach, bardzo często dochodzi do znacznego przemieszczenia gruntu wokół obracającego się przewodu wiertniczego, zarówno wokół głowicy pilotowej, jak i żerdzi. Przemieszczenie takie może spowodować obniżenie przewodu wiertniczego lub zakrzywienie jego trasy, a w konsekwencji znaczną rozbieżność pomiędzy rzędnymi uzyskanego przecisku a projektowanego. W sytuacji takiej może również zaistnieć brak możliwości sterowania przeciskiem w czasie wiercenia pilotowego. W celu zapobieżenia znacznym przemieszczeniom gruntu i ich następstwom opracowano tzw. „podwójny przewód wiertniczy” [9]. W rozwiązaniu tym standardowe żerdzie wiertnicze o średnicy zewnętrznej 81,5 mm umieszczone są w przewodzie ze stalowych rur osłonowych o średnicy zewnętrznej 114 mm. Wewnętrzny przewód wiertniczy jest używany do obracania głowicy pilotowej, natomiast zewnętrzny nie obraca się, służy do przenoszenia siły osiowej wciskającej przewód w grunt. Głowica pilotowa to jedyny w tym rozwiązaniu obracający się element mający kontakt z gruntem.

Po osiągnięciu przez głowicę pilotową wykopu docelowego rozpoczyna się drugi etap prac, tj. rozwiercanie otworu z jednoczesnym przeciskiem stalowych rur osłonowych (rys. 2.55b). Do ostatniej żerdzi pilotowej mocuje się rozwiertak, zwany również poszerzaczem (rys. 2.61) lub głowicę wielonożową (rys. 2.62), a za nim przeciskane są stalowe rury osłonowe z wbudowanymi elementami systemu przenośników ślimakowych (rys. 2.63). Należy dodać, że poszerzacz stosuje się w gruntach niespoistych (rys. 2.64), a głowicę wielonożową w gruntach spoistych (rys. 2.65). Wraz z przeciskiem rur osłonowych do wykopu docelowego wypychane są żerdzie wiertnicze. Urobek usuwany jest poprzez system przenośników ślimakowych do wykopu początkowego, a tam odbierany do zasobnika. Transport urobku może również odbywać się systemem płuczkowym, jednak transport ten stosowany jest bardzo rzadko.



Rys. 2.61. Rozwiertak (poszerzacz) z elementem przenośnika ślimakowego (zdjęcie własne dzięki uprzejmości firmy PERFORATOR)

Fig. 2.61. A reamer (an expander) with the element of screw conveyor (photo courtesy of PERFORATOR firm)



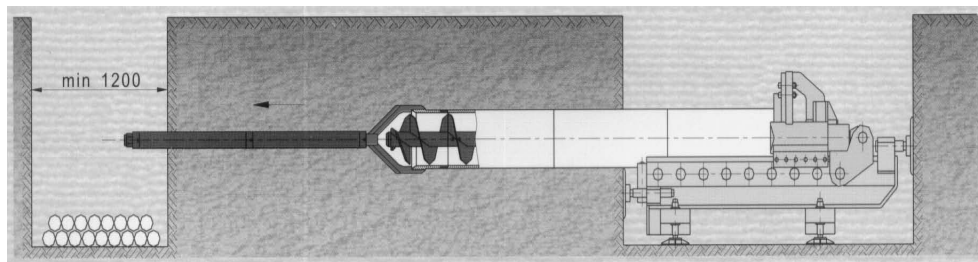
Rys. 2.62. Głowice wielonożowe, [57]

Fig. 2.62. Multi – cut heads, [57]



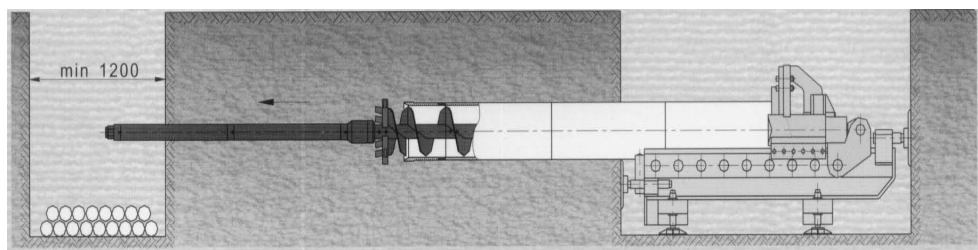
Rys. 2.63. Stalowe rury osłonowe z założonymi elementami przenośnika ślimakowego (zdjęcie własne dzięki uprzejmości firmy PERFORATOR)

Fig. 2.63. Steel casing pipes with the elements of screw conveyor (photo courtesy of PERFORATOR firm)



Rys. 2.64. II etap – rozwiercanie gruntu niespoistego za pomocą poszerzacza z wiertłem ślimakowym, [78]

Fig. 2.64. The stage II – reaming of non-cohesive soil using a reamer with a gimlet bit, [78]



Rys. 2.65. II etap – rozwiercanie gruntu spoistego za pomocą głowicy wielonożowej, [78]

Fig. 2.65. The stage II – reaming of cohesive soil using a reamer with a multi-cut head, [78]

W czasie wykonywania przecisku hydraulicznego poniżej poziomu wody gruntuwej bardzo istotne jest, aby podczas II etapu robót, tj. rozwiercania nie następowało obniżenie poziomu wody gruntuwej. W tym celu opracowany został system specjalnych grodzi (przegród) umieszczonych w stalowych rurach osłonowych i elementach przenośnika ślimakowego, zarówno w początkowej, jak i końcowej ich części [9]. Rura i przenośnik są tak skonstruowane, że element systemu transportu urobku, który tworzą razem jest zawsze zamknięty, jak nie na początku, to na końcu (rys. 2.66). Jeśli jest zamknięty z jednej strony, to otwarty jest z drugiej. Po obróceniu przenośnika ślimakowego o pewien kąt otwarty koniec elementu zamyka się, a zamknięty otwiera, tak aby można było przetransportować urobek do następnego elementu układu. Tak skonstruowane rury osłonowe i przenośniki ślimakowe zapobiegają obniżaniu zwierciadła wody gruntuwej w czasie urabiania gruntu i jego transportu.

Po rozwiercieniu otworu do żądanej średnicy i umieszczeniu w nim stalowych rur osłonowych następuje ostatni etap prac, czyli przecisk hydrauliczny rur przewodowych (rys. 2.55c), a jednocześnie stalowe rury osłonowe wypchane są do wykopu docelowego i tam odbierane. Jako rury przewodowe stosuje się wszystkie rury tzw. przeciskowe; najczęściej są to rury kamionkowe, z betonu polimerowego, żelbetowe lub żywic poliestrowych wzmocnionych włóknem szklanym.

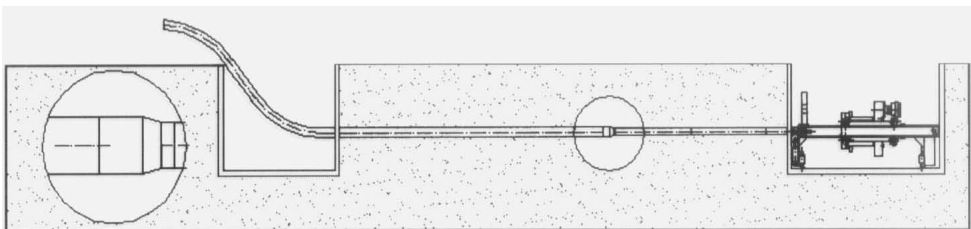


Rys. 2.66. Rura osłonowa i przenośnik ślimakowy z systemem specjalnych grodzi, [9]

Fig. 2.66. A casing pipe and a screw conveyor with the system of cofferdams, [9]

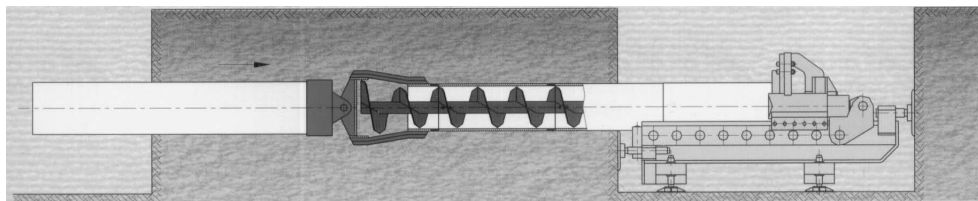
Metodą tą możliwe jest również wbudowywanie rur polietylenowych oraz rur z polichloru winyłu. Wbudowywanie rur z PE odbywa się po osiągnięciu przez głowicę pilotową wykopu docelowego. Głowicę pilotową wymienia się wówczas na głowicę wciągającą i następuje wciąganie rur polietylenowych (rys. 2.67). Operacja ta odbywa się z wykopu docelowego w kierunku do wykopu początkowego z jednoczesnym cofaniem żerdzi wiertniczych. Dla większych średnic wciąganie rur polietylenowych odbywa się po zakończeniu II etapu (rys. 2.68). Wciąganie rur z PVC możliwe jest po wykonaniu drugiego etapu robót i odbywa się ono również z wykopu docelowego w kierunku wykopu początkowego, poprzez specjalną głowicę łączącą (rys. 2.69). Jednocześnie rury osłonowe zostają wyciągane do wykopu początkowego.

Długości wykonywanych jednorazowo rurociągów tą metodą dochodzą do 80 m dla urządzeń z transportem urobku przenośnikiem ślimakowym i do 50 m dla systemów płuczkowych. Zakres wykonywanych średnic wynosi od 150 do 600 mm zarówno dla systemów płuczkowych, jak i dla urządzeń z transportem przenośnikiem ślimakowym.



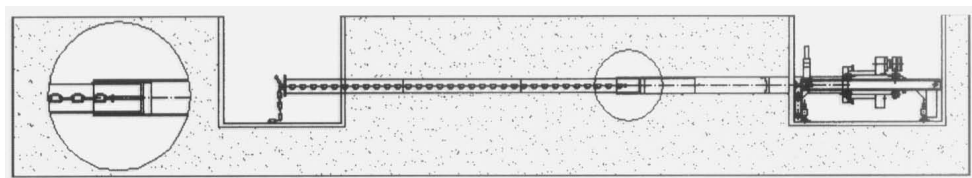
Rys. 2.67. Wciąganie rur polietylenowych po zakończeniu wiercenia pilotowego (I etapu robót), [57]

Fig. 2.67. Pulling in a polyethylene pipeline after pilot boring, [57]



Rys. 2.68. Wciąganie rur polietylenowych po zakończeniu II etapu robót, [78]

Fig. 2.68. Pulling in a polyethylene pipeline after the second stage (reaming of soil), [78]



Rys. 2.69. Wciąganie rur z PVC po zakończeniu II etapu robót, [57]

Fig. 2.69. Pulling in PVC pipeline after the second stage (reaming of soil), [57]

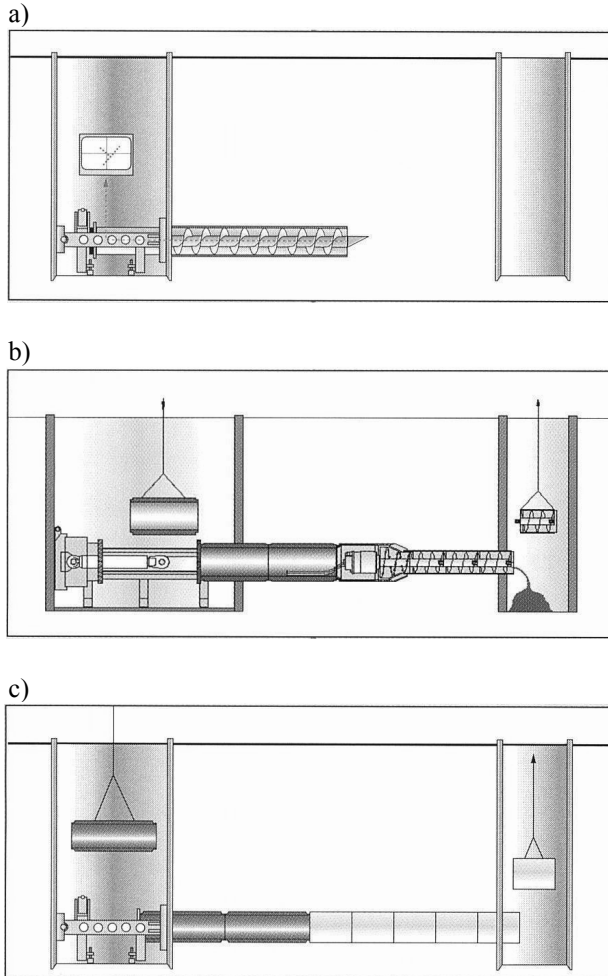
Metoda ta charakteryzuje się wysokim tempem robót, niskimi kosztami realizacji, prostą obsługą urządzeń, możliwością wykonania stosunkowo długich odcinków rurociągu oraz możliwością budowy rurociągu poniżej zwierciadła wody gruntowej. Najczęściej stosowana jest do budowy kanałów grawitacyjnych ze względu na fakt, iż jest to metoda sterowalna, zapewniająca wysoką dokładność wbudowania rurociągu.

2.5.4. Przeciski hydrauliczne sterowane (dwuetapowe)

W metodzie tej można wyróżnić dwa etapy (rys. 2.70). Pierwszy etap to wiercenie pilotowe wiertłem ślimakowym z jednoczesnym przeciskiem hydraulicznym stalowych rur osłonowych. Urabianie gruntu odbywa się wiertłem ślimakowym, a transport urobku – systemem przenośników ślimakowych. Urobek odbierany jest w wykopie początkowym do zasobników, a następnie za pomocą dźwigu jest przenoszony na powierzchnię terenu (na odkład lub na inne środki transportu).

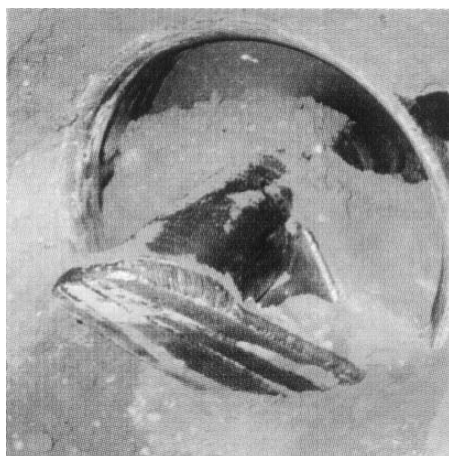
Sterowanie procesem przecisku odbywać się może tylko w czasie pierwszego etapu pracy. Korektę kierunku wiercenia uzyskuje się przy pomocy specjalnie ukształtowanego wiertła ślimakowego, na kształt skośnej głowicy pilotowej (rys. 2.71). Bezpośrednio za wiertłem ślimakowym znajduje się diodowa tablica celownicza. System przenośników ślimakowych posiada specjalnie wydrążoną tuleję, poprzez którą przy pomocy kamery cyfrowej umieszczonej w teodolicie, można obserwować diodową tablicę celowniczą. Podobnie jak w technologii przecisku hydraulicznego z wierceniem

pilotowym obraz diodowej tablicy celowniczej przekazywany jest na monitor i obserwowany przez operatora. Tak przekazywany obraz jest porównywany i weryfikowany z zadanym kierunkiem oraz spadkiem projektowanego rurociągu.



Rys. 2.70. Wbudowywanie rurociągu metodą przecisku hydraulicznego sterowanego z transportem urobku przenośnikiem ślimakowym: a) etap I – wiercenie pilotowe wiertłem ślimakowym z jednoczesnym przeciskiem hydraulicznym stalowych rur osłonowych, b) etap II – rozwieranie z jednoczesnym przeciskiem rur przewodowych, c) etap II – przecisk rur przewodowych bez dodatkowego rozwierania, [9]

Fig. 2.70. Pipeline installation by steering pipejacking with soil removal by a screw conveyor: a) stage I – pilot boring with a gimlet bit and simultaneous jacking of steel casing pipes, b) stage II – reaming of soil with simultaneous jacking of product pipes, c) stage II – pipejacking of product pipes without additional reaming of soil, [9]



Rys. 2.71. Wiertło ślimakowe specjalnie ukształtowane, zakończone skośną płytką sterującą, [9]
Fig. 2.71. A special shaped gimlet bit ended with a skew steering plate, [9]

Po ukończeniu wiercenia pilotowego rozpoczyna się drugi etap – przecisk rur przewodowych lub ewentualne dodatkowe rozwiercanie z jednoczesnym przeciskiem rur przewodowych. W tym drugim przypadku po osiągnięciu wykopu docelowego przez głowicę pilotową, w wykopie początkowym na końcu rur osłonowych montuje się głowicę poszerzającą, a bezpośrednio za nią rury przewodowe. Jednocześnie zmienia się kierunek obrotu przenośników ślimakowych, tak aby od tej chwili urobek był transportowany do wykopu docelowego (rys. 2.70b).

Długości wbudowywanych jednorazowo rurociągów tą metodą wynoszą do 60 m, a średnice od 300 do 800 mm.

W tabeli 2.4 przedstawiono wybrane parametry techniczne metod z grupy przecisków hydraulicznych.

Tabela 2.4. Parametry techniczne metod z grupy przecisków hydraulicznych

Table 2.4. The technical parameters of pipejacking methods

| Wybrane parametry techniczne | Przecisk hydrauliczny niesterowany | Przecisk hydrauliczny z wierceniem pilotowym | Przecisk hydrauliczny sterowany |
|---|------------------------------------|--|---------------------------------|
| Maksymalne długości wbudowywanych jednorazowo rurociągów, m | 60 | 80 | 60 |
| Zakres średnic wbudowywanych rurociągów, mm | 100 – 1500 | 100 – 600 | 300 – 800 |

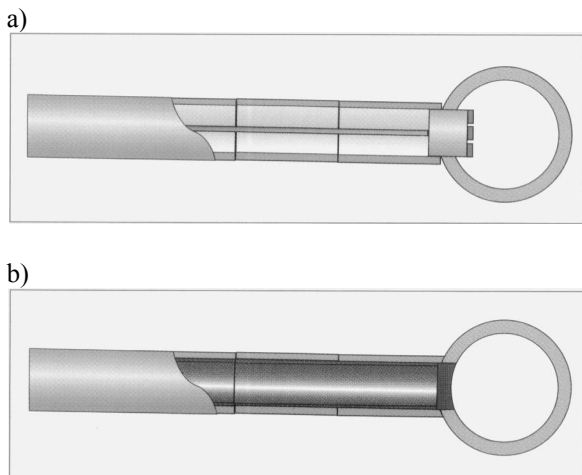
cd. tabeli 2.4

| Wybrane parametry techniczne | Przecisk hydrauliczny niesterowany | Przecisk hydrauliczny z wierceniem pilotowym | Przecisk hydrauliczny sterowany |
|--|---|--|---------------------------------|
| Rodzaj gruntu, w którym możliwa jest budowa daną metodą | 1 – 6 | 1 – 6 | 3 – 6 |
| Możliwość wykonania rurociągu w gruncie nawodnionym, maksymalna wysokość zwierciadła wody gruntowej, m | tak 3 | tak 3 | nie |
| Materiał wbudowywanych rur | wszystkie przeciskowe | wszystkie przeciskowe oraz PVC i PE | wszystkie przeciskowe |
| Możliwe odchylenie spadku oraz odchylenie osi przewodu w planie od przewidzianego w dokumentacji | 1-2% długości wbudowywanego odcinka rurociągu | ± 20 mm w pionie ± 25 mm w poziomie | brak danych |

2.5.5. Wbudowywanie przykanalików metodą przecisków hydraulicznych

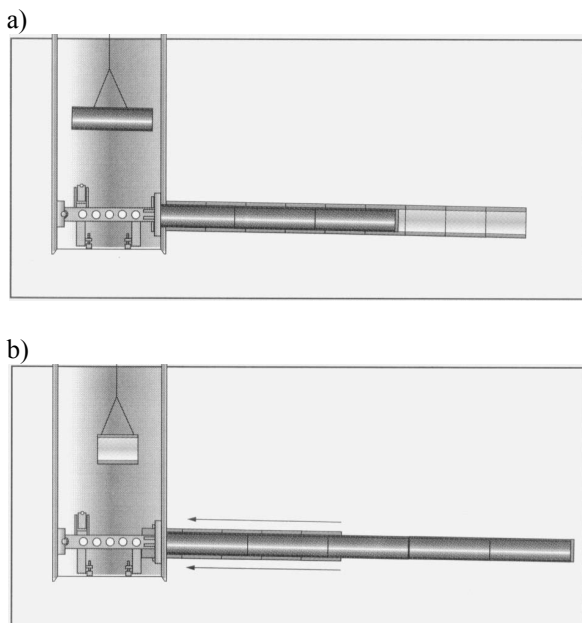
Stosując metodę przecisku hydraulicznego możliwe jest wbudowanie przyłączy kanalizacji grawitacyjnej (przykanalików) bez konieczności wykonania wykopu docelowego. Jest to wiercenie do sieci kanalizacji zewnętrznej, tzw. wiercenie do ślepej studni. W pierwszym etapie robót realizowany jest przecisk hydrauliczny stalowych rur osłonowych z jednoczesnym urabianiem gruntu wiertłem ślimakowym i transportem urobku przenośnikiem ślimakowym. Po osiągnięciu przewodu kanalizacyjnego przez rury osłonowe wiertło ślimakowe oraz system przenośników ślimakowych zostaje wycofany, a do wnętrza rur osłonowych wprowadzone zostaje wiertło z diamentową koronką wiertniczą. Wiertło to nawierca otwór w ścianie kanału (rys. 2.72a, 2.74). Po wycofaniu wiertła następuje wprowadzenie rur przewodowych (w postaci rur przeciskowych) do wnętrza stalowych rur osłonowych (rys. 2.72b, 2.73a), przy czym pierwsza rura przeciskowa zaopatrzona jest w specjalne uszczelnienie (rys. 2.75). Ostatnim etapem jest wycofanie (retrakcja) stalowych rur osłonowych do wykopu początkowego (rys. 2.73b).

Możliwe jest również wykorzystanie przecisku hydraulicznego z wierceniem pilotowym do budowy przykanalików wbudowywanych w kierunku do kanału. Po zakończeniu wiercenia pilotowego żerdzie wiertnicze są chowane we wnętrzu tulei przenośnika ślimakowego (rys. 2.76).



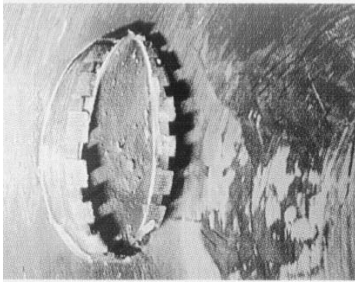
Rys. 2.72a) Nawiercanie otworu koronką wiertniczą w kanale, b) wprowadzanie rur przewodowych do wnętrza stalowych rur osłonowych oraz do nawierconego otworu w kanale, [9]

Fig. 2.72a) Drilling of a hole in a sewer by a drill bit, b) insertion of product pipes into steel casing pipes and to the drilling hole in the sewer, [9]



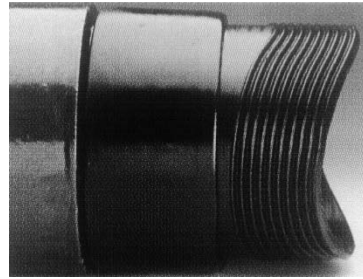
Rys. 2.73a) Wprowadzanie rur przewodowych do wnętrza stalowych rur osłonowych, b) retrakcja stalowych rur osłonowych, [9]

Fig. 2.73a) Insertion of product pipes into steel casing pipes, b) retraction of steel casing pipes, [9]



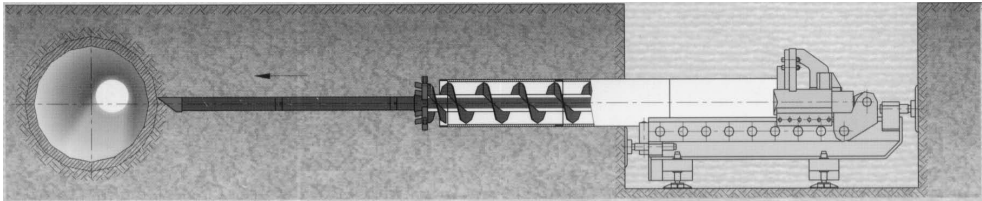
Rys. 2.74. Nawiercanie otworu w kanale za pomocą koronki wiertniczej, [9]

Fig. 2.74. Drilling of a hole in a sewer by a drill bit, [9]



Rys. 2.75. Uszczelnienie pierwszej rury przeciwskowej, wprowadzane do wnętrza istniejącego kanału, [9]

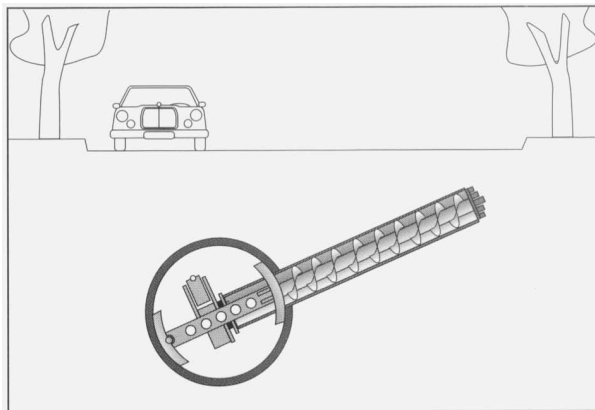
Fig. 2.75. Sealing of a product pipe, [9]



Rys. 2.76. Wbudowywanie przykanalika w kierunku do kanału z wykorzystaniem przecisku hydraulicznego z wierceniem pilotowym, [78]

Fig. 2.76. Building in a sewer lateral towards a sewer, using pipejacking with pilot boring, [78]

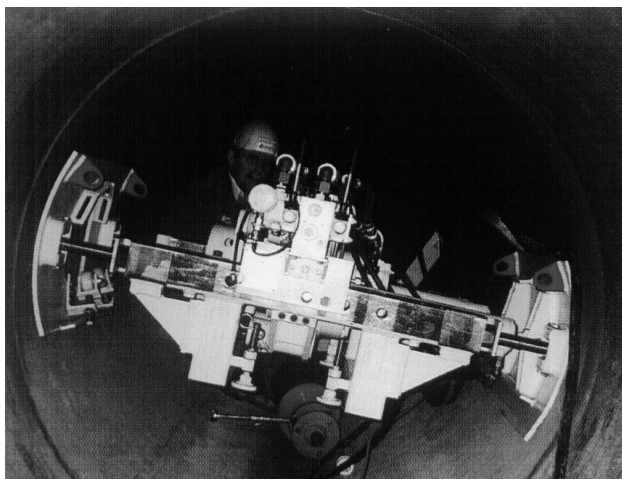
Dla kanałów o średnicy wewnętrznej wynoszącej co najmniej 1200 mm możliwe jest wbudowanie przykanalików z wnętrza kanału (rys. 2.77).



Rys. 2.77. Schemat budowy przykanalika z wnętrza kanału, [9]

Fig. 2.77. The scheme of sewer lateral building from the inside of a sewer, [9]

Na rysunku 2.78 przedstawiono urządzenia do przecisku hydraulicznego rur zamontowane we wnętrzu kanału.



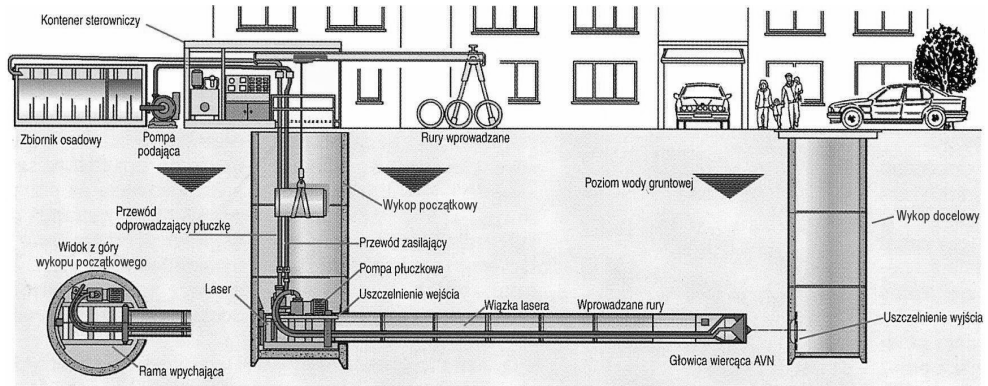
Rys. 2.78. Ramy przeciskowe służące do wbudowywania przykanalików z wnętrza kanału, [9]

Fig. 2.78. Jacking frames for sewer lateral building from the inside of a sewer, [9]

2.6. MIKROTUNELOWANIE

2.6.1. Technologia mikrotunelowania

Mikrotunelowanie jest to jednoetapowy przecisk hydrauliczny, wysoce zautomatyzowany i skomputeryzowany. Metoda mikrotunelowania polega na drażeniu tunelu przy pomocy tarczy skrawającej z jednoczesnym przeciskiem rur przewodowych (rys. 2.79). Tarcza ta umieszczona jest na czole urządzenia do mikrotunelowania, zwanego również głowicą (rys. 2.80).



Rys. 2.79. Wbudowywanie rurociągu metodą mikrotunelowania, [28]

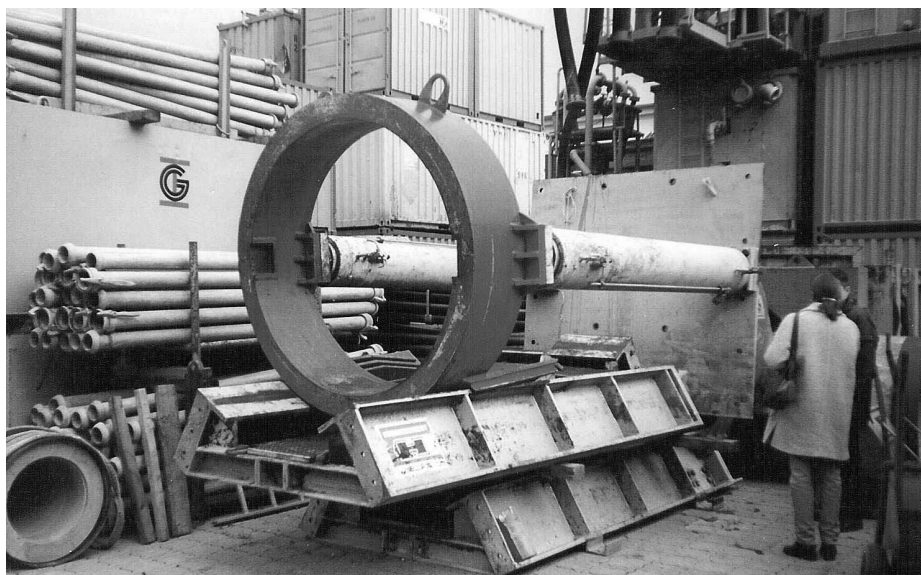
Fig. 2.79. Pipeline installation by microtunnelling, [28]



Rys. 2.80. Głowica do mikrotunelowania, [52]

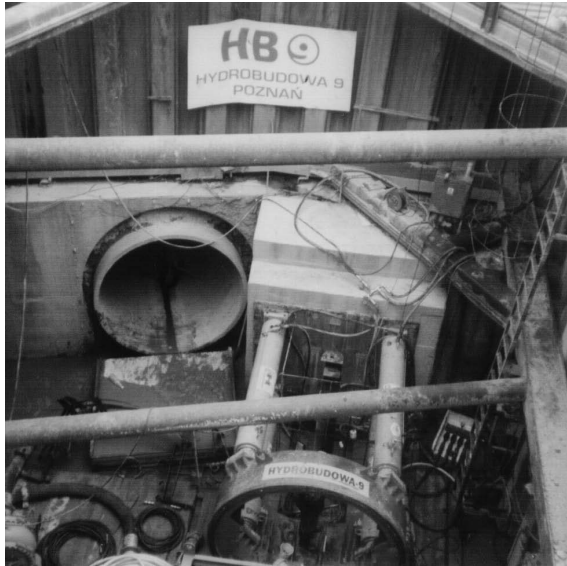
Fig. 2.80. A microtunnelling machine, [52]

Wbudowywanie rurociągu w tej technologii odbywa się od wykopu początkowego do docelowego. W wykopie początkowym, zwanym również komorą startową lub szybem startowym, umieszczona jest główna stacja przeciskowa, składająca się z siłowników hydraulicznych oraz pierścienia wciskającego (rys. 2.81). Na specjalnych prowadnicach, zwanych łożem, ułożonych również w wykopie początkowym, umieszcza się urządzenie do mikrotunelowania. Urządzenie to jest wciskane w grunt przy pomocy głównej stacji przeciskowej. W tylnej części wykopu początkowego wbudowana jest żelbetowa płyta oporowa (rys. 2.82), o którą rozpierają się siłowniki hydrauliczne. Jej zadaniem jest rozłożenie sił reakcji od siłowników hydraulicznych i przekazanie ich na grunt. Bezpośrednio za wciskaną w grunt głowicą do mikrotunelowania przeciskane są rury przewodowe, w postaci rur przeciskowych. Jako rury przeciskowe stosowane są najczęściej: rury kamionkowe, z polimerobetonu, żelbetowe oraz z żywicy poliestrowych wzmacnianych włóknem szklanym. W trakcie przecisku dokładane są kolejne rury przewodowe. Wewnątrz wbudowywanego rurociągu prowadzonych jest wiele przewodów, m.in. przewody płuczkowe zasilające, przewody transportujące urobek, kable zasilające, przewody transmisji danych, przewody systemu smarowania, przewody hydrauliczne oraz inne (rys. 2.83). Przy każdorazowym dokładaniu kolejnego odcinka rury, przewody te muszą być rozłączone, przeciągnięte przez dokładaną rurę, a następnie połączone.



Rys. 2.81. Główna stacja siłowników hydraulicznych z dwoma cylindrycznymi siłownikami hydraulicznymi, płytą kotwiącą oraz pierścieniem wciskającym opartym na prowadnicach (zdjęcie własne dzięki uprzejmości firm GILDEMEISTER oraz HERRENKNECHT)

Fig. 2.81. A main jacking station with two hydraulic jacks and an anchor plate and a pushing in ring (photo courtesy of GILDEMEISTER and HERRENKNECHT firms)



Rys. 2.82. Widok wykopu początkowego z główną stacją przeciskową oraz blokiem oporowym (zdjęcie własne dzięki uprzejmości firmy HYDROBUDOWA 9 – Poznań)

Fig. 2.82. A starting pit with a main jacking station and a resistance block (photo courtesy of HYDROBUDOWA 9 – Poznań)

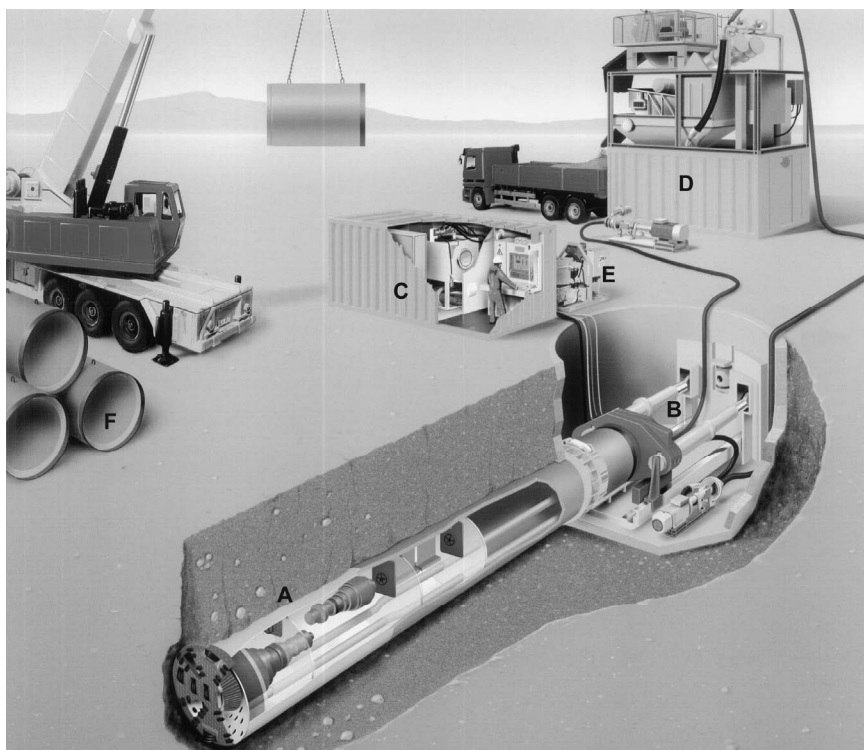


Rys. 2.83. Wnętrze wbudowywanego rurociągu, [80]

Fig. 2.83. The interior of an installed pipeline, [80]

W czasie przecisku głowicy oraz ciągu rur, tarcza skrawająca urabia grunt na przodku. Odspojony grunt dostaje się do komory kruszenia, w której przy pomocy kruszarki stożkowej jest rozdrabniany, a większe kamienie kruszone. Urobek transportowany jest przy pomocy przenośników ślimakowych, podciśnienia (system pneumatyczny) lub po zmieszaniu z wodą przewodami tzw. systemem płuczkowym zamkniętym.

2.6.2. Części składowe systemu do mikrotunelowania



Rys. 2.84. Elementy systemu mikrotunelowania: A – urządzenie do mikrotunelowania, B – główna stacja siłowników hydraulicznych, C – kontener sterowniczy, D – separatory płuczki, E – mieszalnik cieczy smarującej, F – rury przeciskowe, [28]

Fig. 2.84. The elements of microtunnelling system: A – a microtunnelling machine, B – a main jacking station, C – a steering container, D – a slurry separation plant, E – a lubricant mixer, F – jacking pipes, [28]

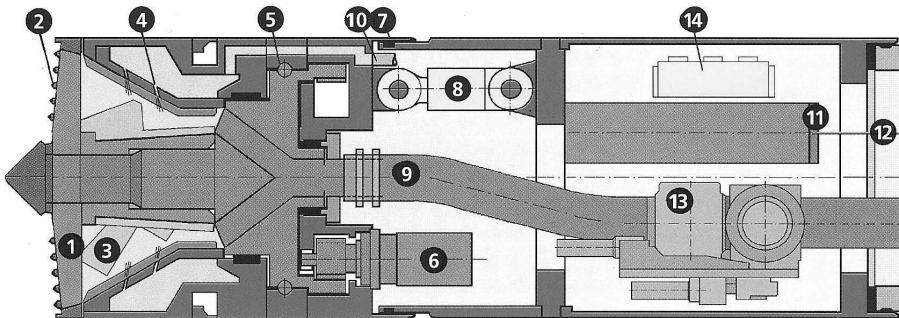
W skład systemu do mikrotunelowania wchodzi (rys. 2.84):

- urządzenie do mikrotunelowania, składające się z trzech segmentów oraz tarczy wiertniczej,
- główna stacja siłowników hydraulicznych,

- agregat hydrauliczny zabudowany najczęściej w kontenerze, służący do zasilania głównej stacji siłowników hydraulicznych oraz stacji pośrednich,
- pompy płuczkowe (pompa zasilająca podająca czystą płuczkę, zamontowana na powierzchni terenu, pompa tłocząca umieszczona w urządzeniu do mikrotunelowania oraz pompa tłocząca zamontowana w wykopie początkowym),
- system przygotowania i oczyszczania płuczki (najczęściej o budowie kontenerowej) z sitami do separacji grawitacyjnej urobku, sitami wibracyjnymi oraz hydrocyklonami,
- system smarowania, obejmujący mieszalnik cieczy smarującej, zbiornik, pompę, węże tłoczące, rozdzielacze i dysze,
- system sterowania i kontroli, w którego skład wchodzi: kontener sterowniczy ze stanowiskiem operatora (wiertacza), teodolit laserowy, elektroniczny odbiornik wiązki laserowej, siłowniki hydrauliczne, służące do sterowania tarczą urabiającą, oraz komputer,
- wyposażenie pomocnicze, takie jak: rurowe przewody płuczkowe z szybkozłączkami, urządzenia do pomiaru wydatku płuczki, agregaty prądotwórcze, kable zasilające, przesyłowe i inne.

2.6.3. Urządzenia do mikrotunelowania

Głównym elementem systemu do mikrotunelowania jest urządzenie do mikrotunelowania, zwane również głowicą. Składa się zazwyczaj z trzech segmentów (modułów) – rysunek 2.85.



1 – tarcza wiertnicza, 2 – zęby skrawające, 3 – komora kruszenia, 4 – dysze podające płuczkę bentonitową, 5 – łożysko główne, 6 – silnik, 7 – uszczelnienie modułu, 8 – siłownik hydrauliczny sterujący tarczą, 9 – przewód płuczkowy powrotny, 10 – przewód płuczkowy zasilający, 11 – elektroniczny odbiornik wiązki laserowej, 12 – wiązka laserowa, 13 – obejście (bajpas), 14 – zespół zaworów

Rys. 2.85. Przekrój przez urządzenie do mikrotunelowania z płuczkowym systemem usuwania urobku, [28]

Fig. 2.85. The cross-section of a microtunnelling machine with hydraulic conveying of spoil, [28]

W pierwszym module znajduje się tarcza urabiająca grunt, komora kruszenia z kruszarką stożkową, łożysko główne wraz z silnikiem napędzającym je. W pozostałych modułach znajdują się m.in. siłowniki hydrauliczne służące do sterowania głowicą oraz elektroniczny odbiornik wiązki laserowej.

Tarcza urabiająca grunt napędzana jest silnikiem hydraulicznym lub elektrycznym poprzez łożysko główne, które obracając się skrawa grunt. Odspojony grunt przedostaje się do komory kruszenia, gdzie jest rozdrabniany. Głowice mikrotunelowe przeznaczone do urabiania gruntów skalistych i kamienistych wyposażone są w kruszarkę stożkową, znajdującą się w komorze kruszenia. Kruszarka taka pozwala na rozdrabnianie kamieni o wielkości nawet do 30% średnicy urządzenia. W systemach, w których urobek transportowany jest przy pomocy płuczki, do komory kruszenia podawana jest poprzez specjalne dysze płuczka bentonitowa. Płuczka ta miesza się z urobkiem i jest zasysana z komory poprzez przewody transportujące urobek. W tylnej części urządzenia pomiędzy przewodem podającym płuczkę bentonitową do komory kruszenia a przewodem transportującym urobek znajduje się obejście, tzw. bajpas. Po zakończeniu wiercenia obejście to otwiera się, zamykając jednocześnie przepływ płuczki do komory kruszenia. Przepływ płuczki lub wody następuje wówczas przez przewody płuczkowe, następnie bajpas, bezpośrednio do przewodów transportujących urobek, w celu wyczyszczenia przewodów z urobku.

W miejscu połączenia pierwszego modułu z drugim na obwodzie urządzenia rozmieszczone są siłowniki hydrauliczne. Poprzez ich wysunięcie (skrócenie lub wydłużenie) możliwe jest sterowanie urządzeniem, bowiem pierwszy moduł głowicy zamontowany jest przegubowo względem pozostałych.

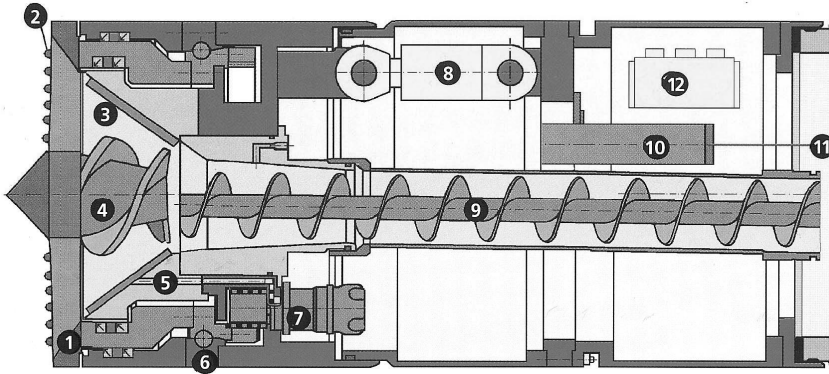
W urządzeniach do mikrotunelowania z transportem urobku przenośnikami ślimakowymi urobek rozdrabniany jest w komorze kruszenia wiertłem ślimakowym i dalej przekazywany na przenośnik ślimakowy (rys. 2.86).

Na rysunku 2.87 przedstawiono wnętrze urządzenia do mikrotunelowania.

W urządzeniach do mikrotunelowania o średnicy od 1200 mm możliwy jest dostęp do tarczy urządzenia poprzez właz i służbę powietrzną, w celu ewentualnej wymiany elementów skrawających.

Niektóre głowice, o większych średnicach, wyposażone są w systemy równoważenia parcia gruntu oraz wody gruntowej, w celu zapobieżenia tworzenia się kawern w gruncie oraz osuwania się gruntu w strefie przodka, a w dalszej konsekwencji naruszenia struktury powierzchni terenu. Systemy równoważenia parcia gruntu działają na zasadzie podawania do strefy urabiania gruntu płuczki bentonitowej pod odpowiednio dobranym ciśnieniem lub sprężonego powietrza (systemy EPB – Earth Pressure Balance).

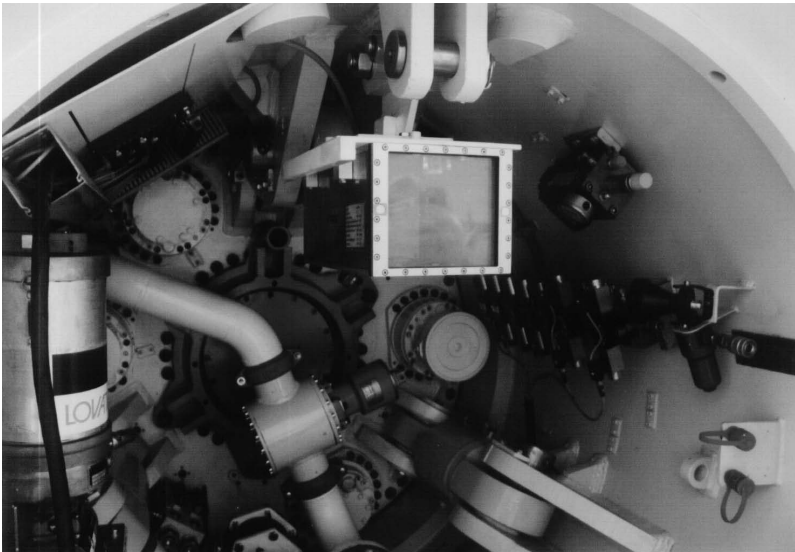
Każde z produkowanych urządzeń do mikrotunelowania można użyć do wbudowania rurociągu o jednej średnicy, ewentualnie poprzez zastosowanie nakładki poszerzającej możliwe jest wbudowanie rurociągu o średnicy nieco większej.



1 – tarcza wiertnicza, 2 – zęby skrawające, 3 – komora kruszenia, 4 – wiertło ślimakowe, 5 – dysza, 6 – łożysko, 7 – silnik, 8 – siłownik hydrauliczny sterujący tarczą, 9 – przenośnik ślimakowy, 10 – elektroniczny odbiornik wiązki laserowej, 11 – wiązka laserowa, 12 – zespół zaworów

Rys. 2.86. Przekrój przez urządzenie do mikrotunelowania z systemem usuwania urobku przenośnikiem ślimakowym, [28]

Fig. 2.86. The cross-section of a microtunnelling machine with soil removal by a screw conveyor, [28]



Rys. 2.87. Wnętrze urządzenia do mikrotunelowania z widocznymi siłownikami hydraulicznymi do sterowania głowicą oraz elektronicznym odbiornikiem wiązki laserowej (zdjęcie własne dzięki uprzejmości firmy LOVAT)

Fig. 2.87. The interior of a microtunnelling machine with steering jacks and an electronic target for a laser beam (photo courtesy of LOVAT firm)

W tabeli 2.5 zestawiono parametry techniczne wybranych głowic do mikrotunelowania firmy HERRENKNECHT.

Tabela 2.5. Parametry techniczne wybranych głowic do mikrotunelowania, [28]

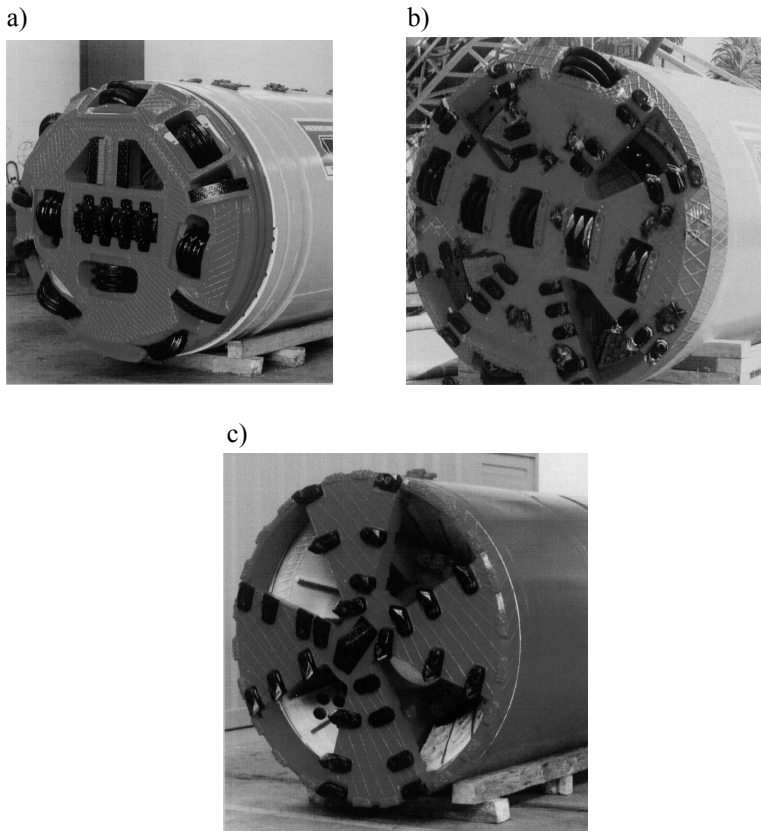
Table 2.5. The technical parameters of chosen microtunnelling machines, [28]

| Parametry techniczne | AVN-250 | AVN-300 | AVN-500 | AVN-700 | AVN-1000C | AVN-1200S |
|--|---------|---------|---------|---------|-----------|-----------|
| Średnica zewnętrzna, mm | 368 | 410 | 665 | 875 | 1295 | 1505 |
| Maksymalna średnica nakładki poszerzającej, mm | 415 | 565 | 780 | 975 | 1540 | 1960 |
| Długość głowicy z wyposażeniem „standard”, mm | 2265 | 2025 | 2010 | 2070 | 2906 | 3025 |
| Maksymalny moment obrotowy, Nm | 6000 | 9450 | 22600 | 41000 | 120000 | 300000 |
| Liczba obrotów tarczy na minutę, 1/min | 0-37 | 0-27 | 0-15 | 0-11 | 0-4 | 0-6,4 |
| Liczba siłowników sterujących, szt. | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 2x3 |
| Średnica rur zasilających, mm | 50 | 80 | 100 | 100 | 100 | 100/125 |
| Masa, t | 0,7 | 1,0 | 2,2 | 3,5 | 8,2 | 10,5 |
| Standardowa długość wbudowanego jednorazowo odcinka rurociągu, m | 80 | 100 | 120 | 140 | >150 | >200 |

2.6.4. Tarcze urabiające

W zależności od warunków gruntowych stosowane są różne rodzaje tarcz urabiających: tarcze z rolkami tnącymi do skał i gruntów skalistych (rys. 2.88a), tarcze do gruntów spoistych zaopatrzone dodatkowo w zęby skrawające (rys. 2.88b) oraz tarcze o dużych powierzchniach wlotowych do komory kruszenia dla gruntów sypkich (rys. 2.88c).

Proces urabiania gruntu podczas ruchu tarczy urabiającej odbywa się dzięki elementom tnącym: rolkom bądź zębom skrawającym stałym lub wymiennym. Profile te wykonuje się z bardzo twardych i odpornych na wysoką temperaturę materiałów. Oprócz stali oraz stopów metali często stosowane są węgliki spiekane – ceramiczno-metalowe materiały narzędziowe wytwarzane przez prasowanie i spiekanie twardych, trudnotopliwych węglików metali. Do wiercenia w skałach stosowane mogą być rolki diamentowe. Zarówno rolki, jak i zęby skrawające występują w dużym zakresie kształtów i rozmiarów, w wersji pojedynczej, w zestawach, w wielu typach profili tnących, w obudowach bocznych i przednich. Na rysunku 2.89 przedstawiono rolki tnące w wersji złożonej, natomiast na rysunku 2.90 zęby skrawające.



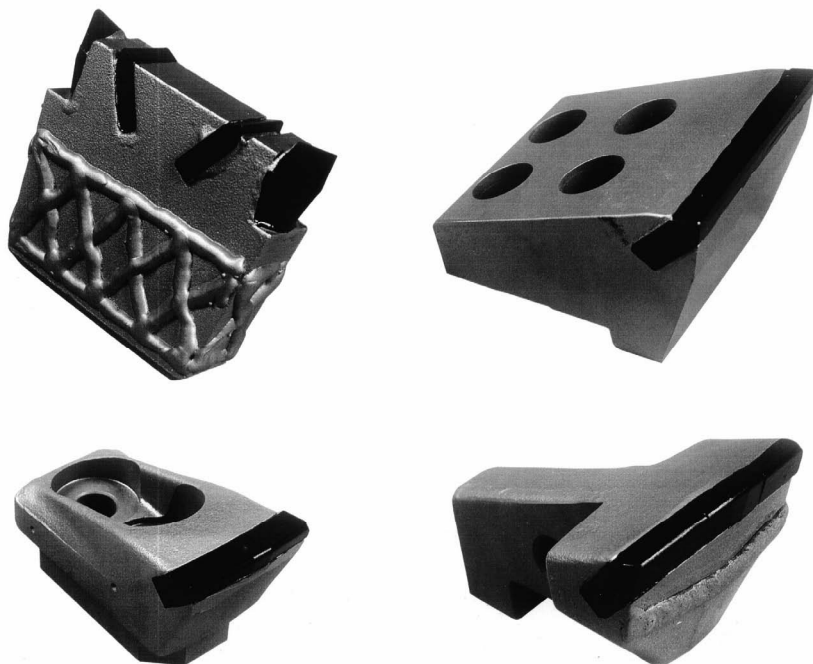
Rys. 2.88. Różne rodzaje tarcz urabiających w zależności od rodzaju gruntu, [28]: a) tarcza do skał, b) tarcza do gruntów skalistych i spoiстых, c) tarcza do gruntów sypkich

Fig. 2.88. Various kinds of cutting heads, [28]: a) a cutting head for rock, b) a cutting head for rocky and cohesive soil, c) a cutting head for non-cohesive soil



Rys. 2.89. Rolki tnące w wersji złożonej (wielodyskowe), [56]

Fig. 2.89. Cutting discs in multi discs version, [56]

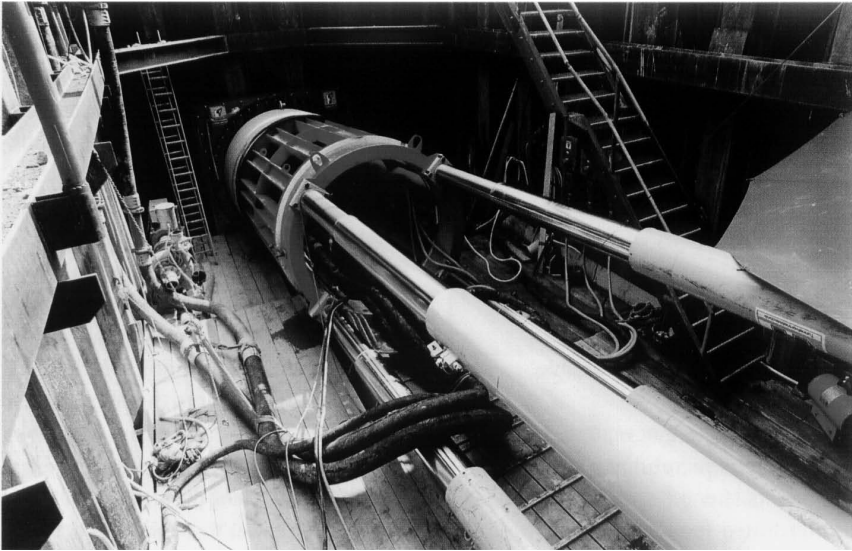


Rys. 2.90. Zęby skrawające, [56]

Fig. 2.90. Cutting teeth, [56]

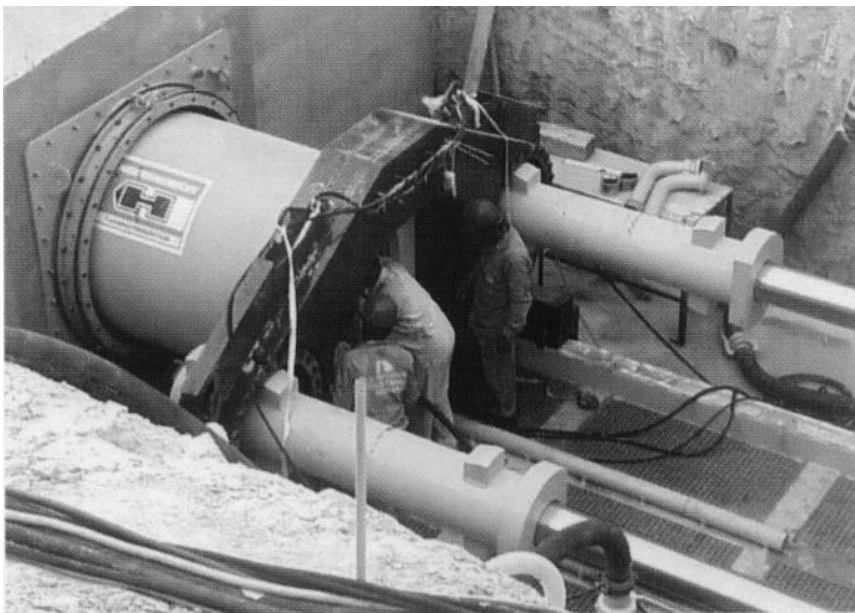
2.6.5. Główne stacje przeciskowe

Główna stacja przeciskowa składa się z: siłowników hydraulicznych, pierścienia wciskającego, płyty oporowej (płyty kotwiącej) oraz prowadnic, zwanych również łożem. Siłowniki hydrauliczne, za pomocą pierścienia, wciskają w grunt głowicę mikrotunelową, a bezpośrednio za nią ciąg rur. Liczba siłowników i ich wielkość dobrana jest tak, aby zapewnić odpowiednie siły przecisku. Zarówno głowica, jak i rury wciskane są wzdłuż ułożonych w wykopie początkowym prowadnic. Główna stacja przeciskowa jest kotwiona do płyty lub bloku oporowego za pomocą stalowej płyty kotwiącej. W mniejszych stacjach przeciskowych, przystosowanych do pracy w wykopie o przekroju kołowym, obudowanym kręgami betonowymi, stosowane są płyty rozporowe przenoszące siły reakcji od siłowników na obudowę wykopu. Siłowniki hydrauliczne mogą być różnie umieszczone w stosunku do przeciskanych rur, bezpośrednio za wciskanymi rurami lub po bokach. Na rysunkach 2.91-2.94 przedstawiono różne rodzaje stacji przeciskowych.



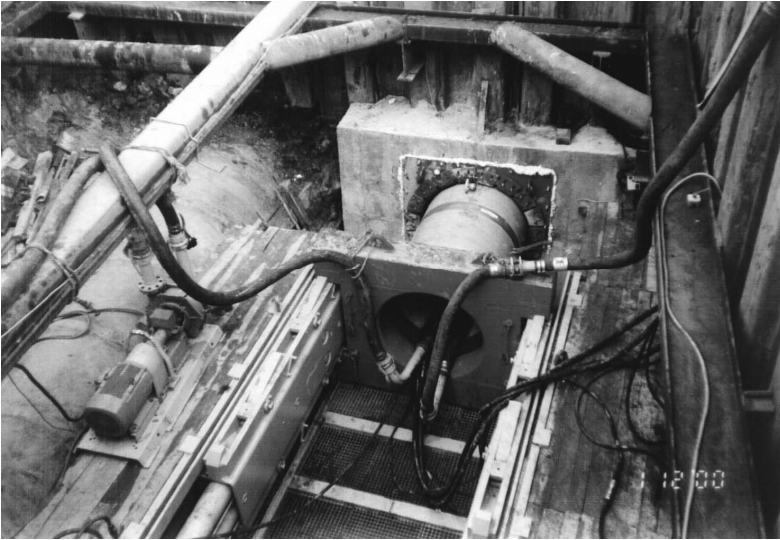
Rys. 2.91. Główna stacja przeciskowa z czterema siłownikami hydraulicznymi ustawionymi bezpośrednio za przeciskaną rurą, [28]

Fig. 2.91. A main jacking station with four hydraulic jacks placed just behind the jacked pipe, [28]



Rys. 2.92. Główna stacja przeciskowa, [28]

Fig. 2.92. A main jacking station, [28]



Rys. 2.93. Główna stacja przeciskowa z siłownikami płytowymi (zdjęcie własne dzięki uprzejmości firmy HYDROBUDOWA 9 – Poznań)

Fig. 2.93. A main jacking station with plate jacks (photo courtesy of HYDROBUDOWA 9 – Poznań)



Rys. 2.94. Główna stacja przeciskowa z siłownikami ułożonymi po bokach rury przeciskowej, [68]

Fig. 2.94. A main jacking station with jacks placed on both sides of a jacked pipe, [68]

2.6.6. Systemy usuwania urobku

W technologii mikrotunelowania stosowane są następujące systemy usuwania urobku: system przenośników ślimakowych, system płuczkowy oraz próżniowy.

System przenośników ślimakowych stosuje się w urządzeniach do mikrotunelowania o maksymalnej średnicy do 1000 mm. Przenośniki ślimakowe umieszczone są w stalowych rurach osłonowych i prowadzone wzdłuż urządzenia do mikrotunelowania i dalej wzdłuż wbudowanego rurociągu. Urobek transportowany jest przenośnikami ślimakowymi do wykopu początkowego, gdzie jest odbierany przez specjalny zasobnik, umieszczony pomiędzy ramą przeciskową. Napęczniony zasobnik musi być podniesiony na powierzchnię terenu i opróżniony, co powoduje przerwę w procesie wbudowywania rurociągu.

W systemie płuczkowym do usuwania urobku stosuje się płuczkę wiertniczą, zazwyczaj jest to płuczka bentonitowa, ale sporadycznie w pewnych rodzajach gruntów stosowana może być również woda. Urobek, zmieszany z płuczką w komorze kruszenia, jest zasysany i transportowany przewodami (rys. 2.95) na powierzchnię terenu. Następnie oddzielany jest od płuczki w specjalnych urządzeniach za pomocą sedymentacji grawitacyjnej, sit oraz hydrocyklonów wykorzystujących siłę odśrodkową (rys 2.96).



Rys. 2.95. Przewody płuczkowe składowane na stojaku (zdjęcie własne dzięki uprzejmości firmy GILDEMEISTER)

Fig. 2.95. Slurry pipes stored on a stand (photo courtesy of GILDEMEISTER firm)



Rys. 2.96. System separacji płuczki (zdjęcie własne dzięki uprzejmości firmy HYDROBUDOWA – 9 Poznań)

Fig. 2.96. A slurry separation plant (photo courtesy of HYDROBUDOWA – 9 Poznań)

W systemie próżniowym urobek jest zasysany z komory kruszenia i transportowany przewodami na powierzchnię terenu przy pomocy pomp próżniowych. W tym przypadku nie jest konieczne stosowanie systemów separacji płuczki. W niektórych urządzeniach z próżniowym systemem transportu urobku dodaje się niewielkie ilości płuczki dla zmniejszenia oporów transportu urobku.

2.6.7. Systemy sterowania i kontroli

W mikrotunelowaniu stosuje się najczęściej laserowy system sterowania i kontroli, aczkolwiek od niedawna wykorzystuje się również system żyrokompasowy. Zasadniczym elementem sterowania w obu systemach jest zespół siłowników hydraulicznych (co najmniej trzy siłowniki), umieszczonych obwodowo w głowicy mikrotunelowej, bezpośrednio za pierwszym module. Poprzez działanie na odpowiednie siłowniki hydrauliczne (skracanie i wydłużanie siłowników) możliwa jest zmiana kierunku wbudowywanego rurociągu.

Do elementów systemu kontroli w laserowym systemie sterowania należą: teodolit laserowy, elektroniczny odbiornik wiązki laserowej z tarczą celowniczą, umieszczony w drugim segmencie urządzenia do mikrotunelowania. Należy dodać, że teodolit laserowy umieszczony jest w wykopie początkowym, natomiast odbiornik wiązki laserowej w drugim module głowicy. Promień lasera, wyznaczający oś wbudowywanego rurociągu oraz jego spadek, przechodzi przez całą długość wbu-

dowywanego rurociągu i pada na tarczę celowniczą. Współrzędne plamki lasera są odczytywane i przekazywane przewodem transmisji danych do stanowiska operatora w kontenerze sterowniczym, gdzie są przetwarzane i porównywane z projektowanymi przy pomocy specjalnego programu komputerowego.

W systemie żyrokompasowym podstawowymi elementami systemu kontroli wbudowania rurociągu są: żyrokompas oraz poziomnica wodna. Przy pomocy żyrokompasu dokonuje się kontroli odchylenia osi wbudowywanego rurociągu w planie od projektowanego, natomiast przy pomocy poziomnicy wodnej – odchylenia rzędnych w profilu. Szczegółowe charakterystyki obu systemów przedstawiono w rozdziale 4 niniejszej publikacji.

2.6.8. Płuczka wiertnicza

Płuczka wiertnicza w postaci płuczki bentonitowej lub bentonitowo-polimerowej pełni w technologii mikrotunelowania wiele funkcji. Między innymi służy do transportu urobku w systemach płuczkowych, może wspomagać urabianie gruntu, oczyszczać tarczę urabiającą grunt, stabilizować grunt w strefie urabiania, służy do smarowania zewnętrznych powierzchni rur przeciskowych, zmniejszając w ten sposób tarcie powierzchniowe pomiędzy gruntem a przeciskany rurociągiem.

Płuczka służąca do smarowania zewnętrznych powierzchni rurociągu pompowana jest przewodem prowadzonym wewnątrz wbudowywanego rurociągu (rys. 2.97).



Rys. 2.97. Wnętrze wbudowywanego rurociągu z dyszami rozmieszczonymi na obwodzie rury oraz przewodami prowadzącymi płuczkę bentonitową do smarowania zewnętrznej powierzchni rur, [2]

Fig. 2.97. The interior of an installed pipeline with jets and conduits for the lubrication of an exterior pipe surface, [2]

Z przewodów zasilających podawana jest następnie do rozdzielaczy, a potem do dysz umieszczonych w rurach przeciskowych. Rury z wbudowanymi dyszami do podawania płuczki potocznie nazywa się rurami bentonitowymi (rys. 2.98 i 2.99) i umieszcza się we wbudowywanym rurociągu pomiędzy zwykłymi rurami przeciskowymi. Rozmieszczenie rur bentonitowych oraz liczba dysz uzależnione są m.in. od warunków gruntowych, długości jednorazowo wbudowywanego odcinka rurociągu, średnicy rurociągu, maksymalnej siły przecisku, nośności użytych rur oraz innych czynników. Zazwyczaj stosuje się trzy dysze rozmieszczone na obwodzie rury w rozstawie 120° .



Rys. 2.98. Widok rury bentonitowej od zewnątrz, [2]

Fig. 2.98. A „bentonite” pipe, [2]

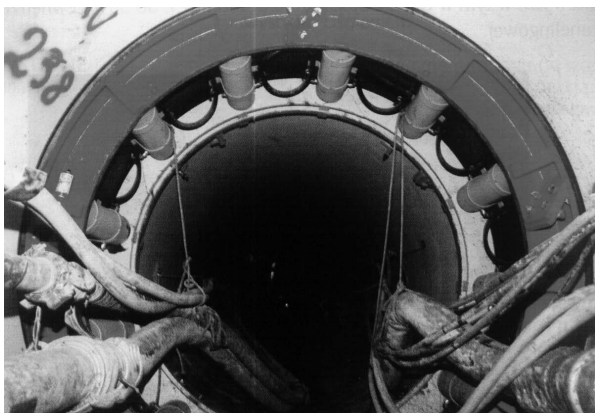


Rys. 2.99. Składowanie rur bentonitowych z widoczną instalacją do podawania płuczki bentonitowej, [2]

Fig. 2.99. The storage of pipes with an installation for its lubrication, [2]

2.6.9. Pośrednie stacje przeciskowe

Pośrednia stacja przeciskowa to zespół siłowników hydraulicznych, umieszczonych zazwyczaj w obudowie stalowej o średnicy wewnętrznej nieco większej od średnicy zewnętrznej wbudowywanego rurociągu. Siłowniki te rozpierają się o stalowy pierścień umieszczony wewnątrz stacji (rys. 2.100, 2.101).



Rys. 2.100. Widok pośredniej stacji przeciskowej od wewnątrz rurociągu, [14]

Fig. 2.100. An intermediate jacking station (the view from the interior of a pipeline), [14]

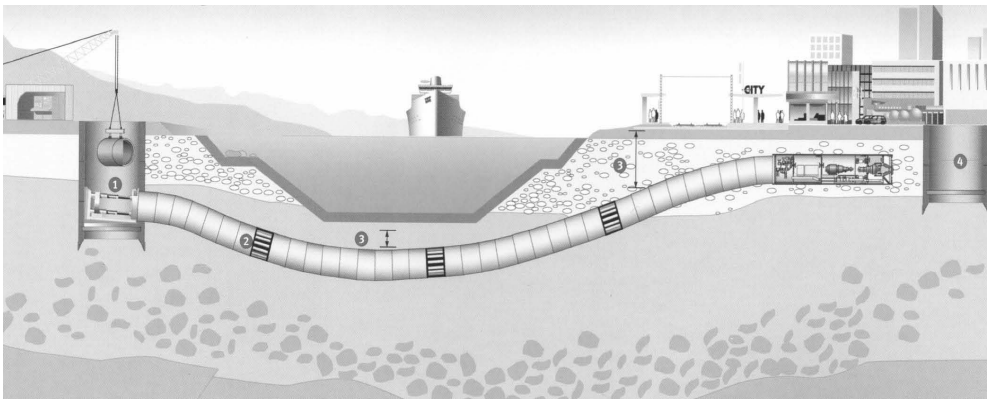


Rys. 2.101. Pośrednia stacja przeciskowa (zdjęcie własne dzięki uprzejmości firmy HYDROBUDOWA – 9 Poznań)

Fig. 2.101. An intermediate jacking station (photo courtesy of HYDROBUDOWA – 9 Poznań)

Stosując pośrednie stacje przeciskowe cała długość wbudowywanego jednorożowo rurociągu podzielona jest na sekcje, przedzielone tymi stacjami, dokładanymi w miarę wbudowywania rurociągu. Poszczególne sekcje są przeciskane jedna po drugiej za pomocą odpowiednich stacji pośrednich. Ostatnia sekcja przeciskana jest przy pomocy głównej stacji przeciskowej.

Na rysunku 2.102 przedstawiono rozmieszczenie pośrednich stacji przeciskowych na długości wbudowywanego rurociągu. Pośrednie stacje przeciskowe stosuje się właściwie tylko dla rurociągów przełazowych, ze względu na możliwość późniejszego demontażu siłowników oraz pierścieni oporowych i dosunięcia rur przewodowych w miejscu stacji pośrednich przy pomocy kolejnych stacji jeszcze nie rozmontowanych. Możliwe jest zastosowanie pośrednich stacji przeciskowych dla rurociągów nieprzełazowych, jednakże konieczne jest, po wbudowaniu danego odcinka, wykonanie wykopu w miejscu stacji pośredniej celem jej demontażu i wykonania w tym miejscu na przykład studni rewizyjnej.



Rys. 2.102. Rozmieszczenie pośrednich stacji przeciskowych na długości wbudowywanego rurociągu: 1 – główna stacja siłowników hydraulicznych, 2 – pośrednia stacja przeciskowa, 3 – wbudowywany rurociąg, 4 – wykop docelowy, [28]

Fig. 2.102. The lay-out of intermediate jacking stations on the length of an installed pipeline: 1 – a main jacking station, 2 – an intermediate jacking station, 3 – an installed pipeline, 4 – a reception pit, [28]

Wybrane parametry techniczne metod mikrotunelowania przedstawiono w tabeli 2.6.

Tabela 2.6. Wybrane parametry techniczne metod mikrotunelowania

Table 2.6. The technical parameters of microtunnelling methods

| Parametry techniczne | Mikrotunelowanie z transportem urobku przenośnikiem ślimakowym | Mikrotunelowanie z płuczkowym transportem urobku | Mikrotunelowanie z próżniowym transportem urobku |
|--|--|--|--|
| Maksymalne długości wbudowywanych jednorazowo rurociągów, m | 80 | 500 | 200 |
| Zakres średnic wykonywanych rurociągów, mm | 250 – 1000 | 250 – 3000 | 400 – 1400 |
| Rodzaj gruntu, w którym możliwa jest budowa daną metodą | 2 – 5 | 2 – 7 | 2 – 7 |
| Możliwość wykonania rurociągu w gruncie nawodnionym, maksymalna wysokość zwierciadła wody, m | tak 3 | tak 30 | tak 8 |
| Materiał wbudowywanych rur | wszystkie precyzyjne | wszystkie precyzyjne i PVC | wszystkie precyzyjne |
| Możliwe odchylenie spadku oraz odchylenie osi przewodu w planie od przewidzianego w dokumentacji | ± 20 mm w pionie ± 25 mm w poziomie | ± 20 mm w pionie ± 25 mm w poziomie | ± 20 mm w pionie ± 25 mm w poziomie |

ROZWIĄZANIA MATERIAŁOWO-KONSTRUKCYJNE RUR STOSOWANYCH W BEZWYKOPOWEJ BUDOWIE SIECI PODZIEMNYCH

3.1. UWAGI WSTĘPNE

Rury wykorzystywane w bezwykopowej budowie sieci podziemnych można podzielić na dwie grupy: rury przeciskowe oraz rury wciągane. Do materiałów, z których wykonuje się rury przeciskowe należą: bazalt, beton polimerowy, kamionka, stal, żelbet, żywice poliestrowe wzmocnione włóknem szklanym. Od niedawna i w ograniczonym zakresie możliwe jest również stosowanie tworzyw sztucznych, takich jak polichlorek winylu (PVC) [20] oraz polipropylenu (PP) jako materiału rur przeciskowych. W pracy [3] wymienia się również materiały rur przeciskowych, takie jak: beton niezbrojony, beton zbrojony rozproszonym włóknem stalowym oraz innymi włóknami. We Francji wykonano również kilka projektów z rurami przeciskowymi z żeliwa sferoidalnego [27]. Ze względu na bardzo rzadkie stosowanie tych materiałów pominięto je w rozważaniach. Natomiast do materiałów rur wciąganych należą: stal, żeliwo sferoidalne, polietylen, polichlorek winylu.

3.2. RURY WCIĄGANE

3.2.1. Rury polietylenowe z płaszczem ochronnym

Rury polietylenowe stosowane w bezwykopowej budowie rurociągów podziemnych powinny być wykonane z dodatkową specjalną warstwą zewnętrzną odporną na zarysowanie, ze względu na możliwość zaistnienia zjawiska powolnego wzrostu pęknięć SCG (ang. *Slow Crack Growth*) [45]. Płaszcz ochronny chroni rurę nie tylko, jak już wspomniano, przed zarysowaniem, ale również przed obciążeniami punktowymi. Zastosowanie zewnętrznej warstwy powoduje zmniejszenie koncentracji naprężeń pochodzących od obciążeń punktowych, np. od kamieni (rozłożenie obciążenia na większą powierzchnię). Jednakże rury PE z płaszczem ochronnym produkowane są

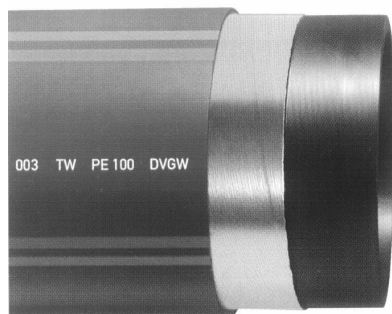
w ograniczonym zakresie średnic. Zwykle rury polietylenowe (takie jak stosuje się w metodach tradycyjnych, wykopowych) mogą być stosowane w bezwykopowej budowie jako rury ochronne (osłonowe). Jednakże należy liczyć się wówczas ze zwiększonymi kosztami związanymi m.in. z użyciem podwójnych rur (rury osłonowej i rury przewodowej), wykonawstwem większego otworu, zazwyczaj większej liczby marszy, mniejszym tempem robót. Na rysunku 3.1 przedstawiono rury polietylenowe z zewnętrzną warstwą polipropylenową o podwyższonej odporności na zarysowanie i barwioną w kolorze charakterystycznym dla danego rodzaju sieci.



Rys. 3.1. Rury polietylenowe z zewnętrzną warstwą ochronną wykonaną z polipropylenu, [18]

Fig. 3.1. Polyethylene pipes with an external protective polypropylene layer, [18]

Rury polietylenowe do wody pitnej mogą posiadać specjalną warstwę aluminiową [18], umieszczoną pomiędzy warstwą z PE a zewnętrzną warstwą polipropylenową (rys. 3.2). Ta dodatkowa warstwa aluminiowa stanowi ochronę przeciwdyfuzyjną. Rury takie można układać w gruntach z możliwością kontaminacji, np. w bezpośrednim sąsiedztwie stacji paliwowych lub jednocześnie w jednej trasie z przewodami kanalizacyjnymi (rys. 3.3).



Rys. 3.2. Rura polietylenowa z warstwą wewnętrzną z folii aluminiowej, [18]

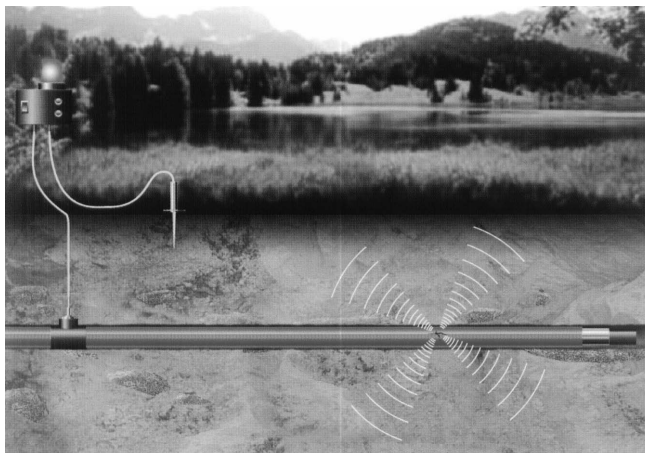
Fig. 3.2. A polyethylene pipe with an internal aluminium foil layer, [18]



Rys. 3.3. Wciąganie przewodów w jednej wiązce: wodociągowych, kanalizacyjnych i innych zabezpieczonych powłokami antydyfuzyjnymi, [18]

Fig. 3.3. Pulling in a few pipelines in one bundle (sewer and water conduits), [18]

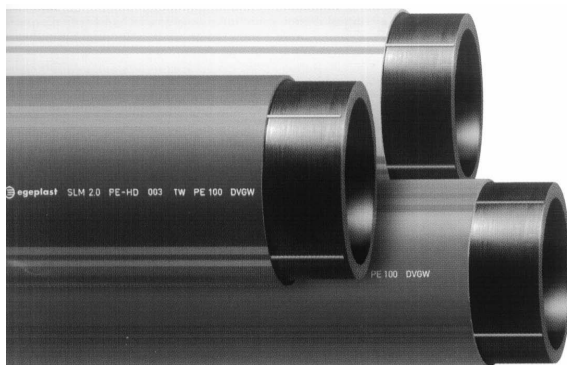
Do trójwarstwowych rur polietylenowych z wewnętrzną powłoką aluminiową można zastosować system ciągłego nadzorowania i lokalizacji uszkodzeń [18]. Bazę systemu stanowią rury trójwarstwowe połączone przewodem dwużyłowym z powłoką aluminiową za pomocą oddzielnego elementu przyłączeniowego, wyprowadzonego na powierzchnię ziemi. W ten sposób istnieje możliwość czasowego lub stałego podłączenia napięcia do powłoki aluminiowej rury. W przypadku uszkodzenia rury taśma aluminiowa uzyskuje styk elektryczny z gruntem, wywołując jednocześnie impuls w urządzeniu kontrolnym (rys. 3.4).



Rys. 3.4. System lokalizacji uszkodzeń rur polietylenowych, [18]

Fig. 3.4. The system of polyethylene pipe damage monitoring, [18]

Umieszczenie w płaszczu ochronnym przewodów miedzianych umożliwia lokalizację sieci po jej wbudowaniu. Na rysunku 3.5 przedstawiono rurę polietylenową z zatopionymi przewodami miedzianymi.



Rys. 3.5. Rury polietylenowe z zatopionymi przewodami miedzianymi w zewnętrznej warstwie ochronnej, [18]

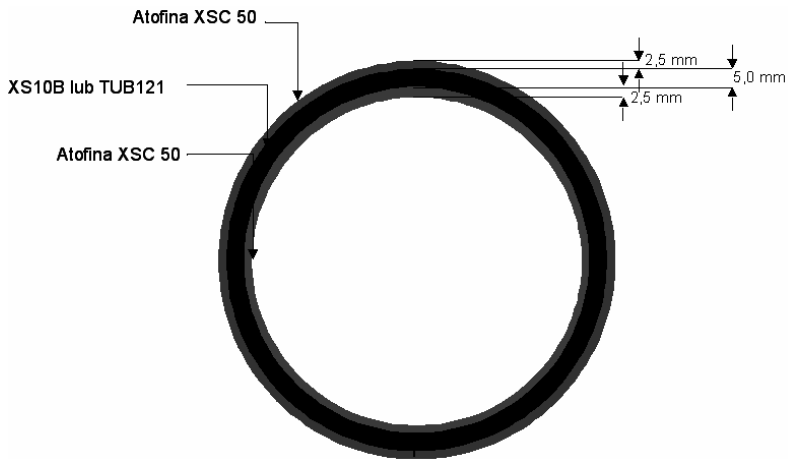
Fig. 3.5. Polyethylene pipes with copper wires placed in an external protective layer, [18]

Rury polietylenowe z warstwą ochronną produkowane są również jako trójwarstwowe (rys. 3.6). Wszystkie warstwy rury połączone są molekularnie, a grubość warstwy ochronnej stanowi 25% grubości ścianki rury. Układ warstw w rurach polietylenowych TS przedstawiono na rysunku 3.7.



Rys. 3.6. Rury polietylenowe TS trójwarstwowe, [79]

Fig. 3.6. Trilayer polyethylene pipes (TS), [79]



Rys. 3.7. Układ warstw w rurach Wavin TS o średnicy DN 110 oraz SDR 11, [79]

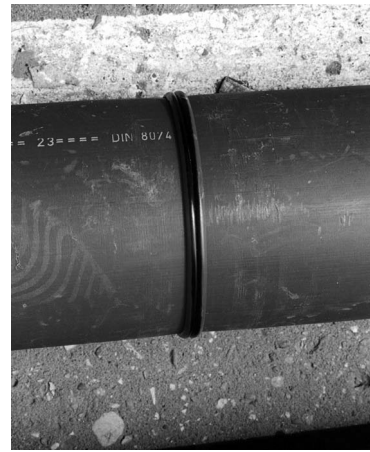
Fig. 3.7. The lay-out of layers in Wavin TS pipe (DN 110 and SDR 11), [79]

Łączenie rur polietylenowych z płaszczem ochronnym odbywa się przez zgrzewanie doczołowe (rys. 3.8 oraz 3.9).



Rys. 3.8. Zgrzewanie rur polietylenowych TS, [79]

Fig. 3.8. Welding of TS polyethylene pipes, [79]



Rys. 3.9. Połączenie rur TS wykonane za pomocą zgrzewania doczołowego, [79]

Fig. 3.9. The connection of TS polyethylene pipe made by butt welding, [79]

Wybrane parametry techniczne rur polietylenowych TS przeznaczonych do przesyłania wody, produkowanych w sztangach, zestawiono w tabeli 3.1.

Tabela 3.1. Wybrane parametry techniczne rur polietylenowych TS przeznaczonych do przesyłania wody, produkowanych w sztangach, [79]

Table 3.1. The chosen technical parameters of TS polyethylene pipes for water, [79]

| Średnica zewnętrzna, mm | Grubość ścianki, mm | Masa rury, kg/m | Długość rury, m |
|-------------------------|---------------------|-----------------|-----------------|
| 32 | 2,9 | 0,272 | 12 |
| 40 | 3,7 | 0,430 | 12 |
| 50 | 4,6 | 0,666 | 12 |
| 63 | 5,8 | 1,050 | 12 |
| 75 | 6,8 | 1,470 | 12 |
| 90 | 8,2 | 2,120 | 12 |
| 110 | 10,0 | 3,140 | 12 |
| 125 | 11,4 | 4,080 | 12 |
| 140 | 12,7 | 5,080 | 12 |
| 160 | 14,6 | 6,670 | 12 |
| 180 | 16,4 | 8,420 | 12 |
| 200 | 18,4 | 10,400 | 12 |
| 225 | 20,5 | 13,100 | 12 |
| 250 | 22,7 | 16,200 | 12 |
| 280 | 25,4 | 20,300 | 12 |
| 315 | 28,6 | 35,600 | 12 |
| 355 | 32,2 | 32,500 | 12 |
| 400 | 36,3 | 41,300 | 12 |
| 450 | 40,9 | 52,300 | 12 |

3.2.2. Rury stalowe

Rury stalowe produkowane są w największym zakresie średnic spośród wszystkich rur wciąganych, począwszy od niewielkich średnic rur, które wciąga się za przebijakiem pneumatycznym w metodzie „kretowania”, aż do największej produkowanej średnicy nominalnej 3000 mm (rys. 3.10). Rury stalowe charakteryzują się bardzo dobrymi parametrami wytrzymałościowymi, zarówno wytrzymałością na ściskanie, jak i rozciąganie.

Wadą tych rur jest wysoka podatność na korozję. W celu ochrony rur stalowych przed oddziaływaniem agresywnych czynników stosuje się wyprawy powierzchni zarówno wewnętrznych, jak i zewnętrznych, które mogą być wykonane zarówno

w zakładzie produkującym rury, jak i na miejscu budowy. Jako wyprawy zewnętrzne stosuje się: wyprawy bitumiczne, wyprawy z polietylenu, polipropylenu, żywic epoksydowych oraz inne. Natomiast jako wyprawy wewnętrzne stosuje się wyprawy cementowe, cementowe wzmacniane włóknem szklanym oraz wyprawy z wymienionych wcześniej poliolefinów. Nakładanie wyprawy zewnętrznej w zakładzie produkującym rury pokazano na rysunku 3.11.



Rys. 3.10. Rury stalowe, [32]

Fig. 3.10. Steel pipes, [32]

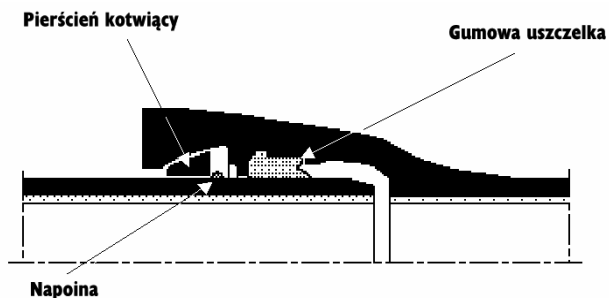


Rys. 3.11. Nakładanie wyprawy zewnętrznej na rurę stalową w zakładzie produkującym rury, [64]

Fig. 3.11. Steel pipe coating, [64]

3.2.3. Rury z żeliwa sferoidalnego

Rury z żeliwa sferoidalnego, jako jedyne stosowane w bezwykopowej budowie sieci podziemnych, posiadają połączenia kielichowe. Są to specjalne połączenia kielichowe kotwione (rys. 3.12).



Rys. 3.12. Połączenie rur z żeliwa sferoidalnego – kielichowe kotwione, [65]

Fig. 3.12. The anchored faucet connection of ductile cast iron pipes, [65]

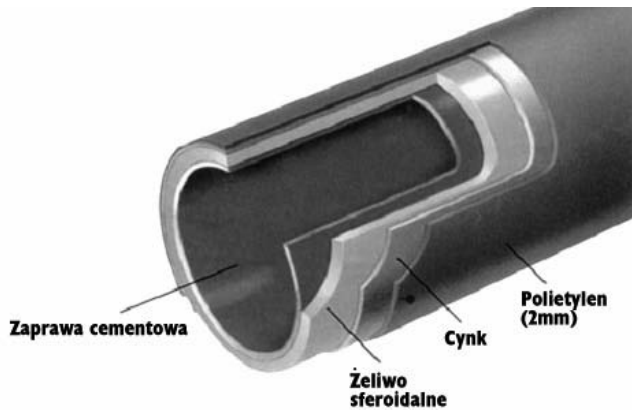
Złącza te charakteryzują się wysoką wytrzymałością na siły osiowe pojawiające się podczas wciągania rur oraz posiadają możliwość odchyłeń kątowych na każdym złączu. W kielichu złącza umieszczone są uszczelki gumowe, zapewniające szczelność połączenia nawet w przypadku odchyłeń kątowych. Na bosym końcu rury znajduje się napoina, stanowiąca element oporowy dla pierścienia kotwiącego, który to element umieszcza się w kielichu rury podczas montażu. Wartości maksymalnych sił wciągania przenoszonych przez połączenia rur, maksymalnych odchyłeń kątowych rur w złączu oraz minimalny promień gięcia rurociągu z żeliwa sferoidalnego przedstawiono w tabeli 3.2.

Tabela 3.2. Wybrane parametry techniczne rur z żeliwa sferoidalnego, [65]

Table 3.2. The chosen technical parameters of ductile cast iron pipes, [65]

| Średnica rury DN, mm | Maksymalna siła wciągania, t | Maksymalne odchylenie kątowe rur w złączu, ° | Długość rur, m | Minimalny promień gięcia przewodu, m |
|-------------------------|---------------------------------|---|-------------------|---|
| 100 | 4 | 3 | 6,0 | 115 |
| 150 | 8 | 3 | 6,0 | 115 |
| 200 | 11 | 3 | 6,0 | 115 |
| 250 | 16 | 3 | 6,0 | 115 |
| 300 | 20 | 3 | 6,0 | 115 |
| 400 | 30 | 3 | 6,0 | 115 |
| 500 | 46 | 3 | 6,0 | 115 |
| 600 | 70 | 2 | 6,0 | 172 |

Podczas wbudowywania rur wodociągowych są one narażone na uszkodzenie, zarysowanie zewnętrznej powierzchni, a w dalszej konsekwencji na korozję, nawet przy wierceniach na mokro z użyciem płuczki bentonitowej. Dlatego też zewnętrzna powierzchnia rur z żeliwa sferoidalnego zabezpieczona jest powłokami zewnętrznymi: powłoką cynkową oraz polietylenową (rys. 3.13).



Rys. 3.13. Powłoki rur z żeliwa sferoidalnego, [65]

Fig. 3.13. The coats of ductile cast iron pipes, [65]

Ze względu na możliwość szybkiego łączenia rur, rurociąg z żeliwa sferoidalnego – jako jedyny – nie musi być przygotowany w całości przed jego wbudowaniem. Jest to niewątpliwie zaletą w przypadku niewielkiego placu montażowego.

3.3. RURY PRZECISKOWE

3.3.1. Rury bazaltowe

Rury bazaltowe produkowane są od roku 2001 przez czeską firmę EUTIT, która jest jedynym producentem tych rur w Europie (rys. 3.14). Są one produkowane z naturalnego surowca, jakim jest bazalt, który poddawany jest procesowi topnienia w piecu, w temperaturze 1280°C. Dalej, roztopiony bazalt zalewany jest w formy i tam następuje jego rekrytalizacja. Po uzyskaniu odpowiedniej wytrzymałości na rozformowanie, odlewy są wyjmowane z formy i transportowane do chłodni na około 18-21 godzin, aż do całkowitego ostygnięcia.

Przetopiony bazalt charakteryzuje się bardzo wysoką odpornością chemiczną, niskim współczynnikiem chropowatości $k = 0,04$ mm, dobrą odpornością na ścieranie oraz wysoką wytrzymałością na ściskanie 300 – 450 MPa.

Wybrane parametry techniczne rur bazaltowych zestawiono w tabeli 3.3.



Rys. 3.14. Bazaltowe rury przeciskowe, [19]

Fig. 3.14. Basalt jacking pipes, [19]

Tabela 3.3. Wybrane parametry techniczne bazaltowych rur przeciskowych, [19]

Table 3.3. The chosen technical parameters of basalt jacking pipes, [19]

| Średnica, mm | Długość, mm | Masa rury, kg | Klasa nośności | Maksymalna siła przecisku, kN |
|-----------------|----------------|------------------|-------------------|----------------------------------|
| 100 | 996 | 22 | 320 | 830 |
| 150 | 996 | 30 | 280 | 1200 |
| 200 | 996 | 39 | 160 | 1500 |
| 250 | 996 | 51 | 120 | 1900 |
| 300 | 996 | 73 | 120 | 3000 |
| 350 | 996 | 99 | 120 | 4300 |
| 400 | 996 | 128 | 120 | 5800 |
| 500 | 996 | 205 | 120 | 9900 |
| 600 | 996 | 254 | 95 | 11600 |

Należy dodać, że produkowane są również żelbetowe rury przeciskowe z wewnętrzną wykładziną z płytek bazaltowych (rys. 3.15).



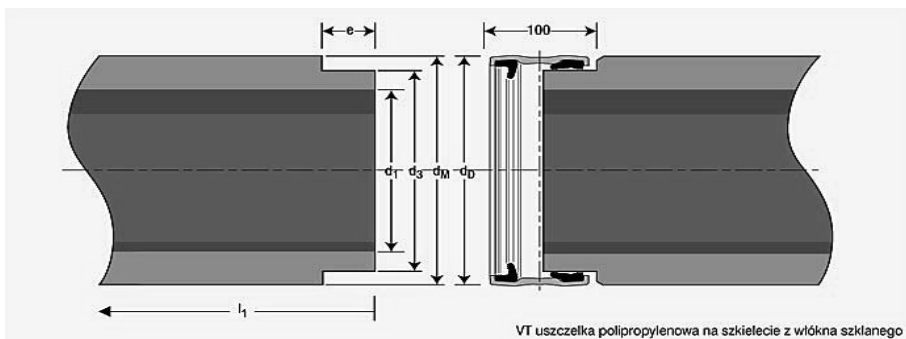
Rys. 3.15. Żelbetowe rury przeciskowe z wewnętrzną wykładziną z płytek bazaltowych, [19]

Fig. 3.15. Reinforced concrete jacking pipes with an internal lining of basalt tiles, [19]

3.3.2. Rury kamionkowe

Kamionkowe rury przeciskowe charakteryzują się bardzo wysoką odpornością na korozyjne oddziaływanie ścieków oraz zewnętrznych czynników gruntowo-wodnych. Są odporne na działanie kwasów i zasad w zakresie pH równego od 1 do 14, a także na wiele innych substancji, m.in. takich jak: woda królewska, wodny roztwór nasycony wody chlorowej, kwasu dwuchlorowego, chlorku metylowego, kwasu siarkowego o stężeniu 98%, ksyłenu i innych [37]. Rury kamionkowe posiadają również wysoką odporność na ścieranie, co odgrywa bardzo ważną rolę w czasie eksploatacji. Współczynnik chropowatości rur kamionkowych waha się w granicach $k = 0,02-0,05$.

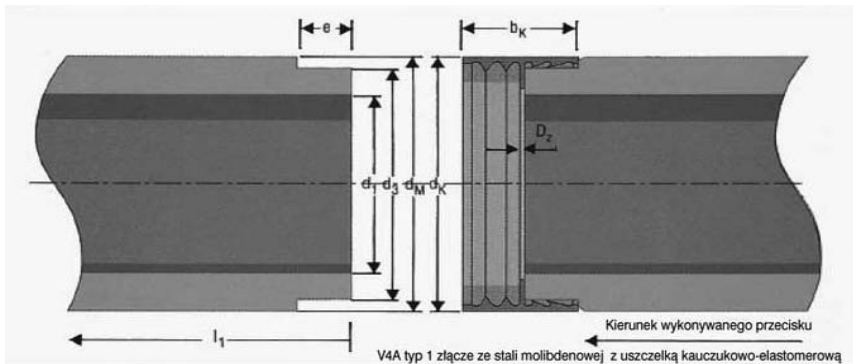
Rury przeciskowe kamionkowe posiadają różne rodzaje złączy w zależności od ich średnicy [34]. Rury o średnicy DN 150 posiadają uszczelkę polipropylenową na szkielecie z włókna szklanego, pełniącą również funkcję pierścienia prowadzącego (rys. 3.16).



Rys. 3.16. Połączenie kamionkowych rur przeciskowych o średnicy DN 150, [34]

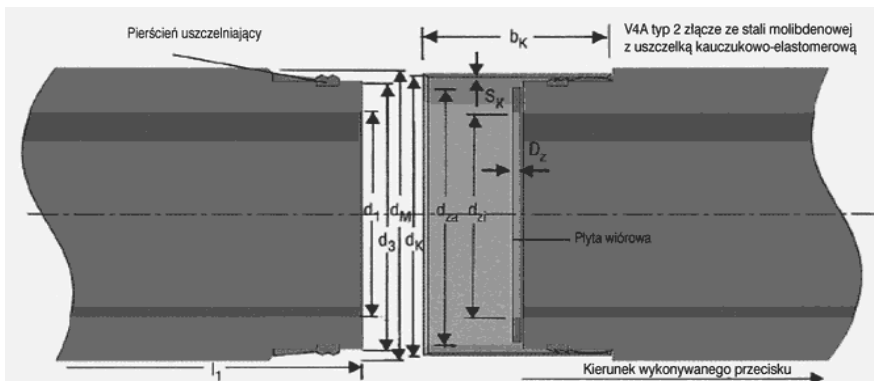
Fig. 3.16. The connection of stoneware jacking pipes (DN 150), [34]

Rury o średnicach nominalnych począwszy od 200 mm posiadają pierścienie wykonane ze stali molibdenowej z uszczelką kauczukowo-elastomerową. Połączenie rur kamionkowych przeciskowych w zakresie średnic 200-500 (rys. 3.17) różni się nieco budową od połączenia rur w zakresie średnic 600-1200 (rys. 3.18).



Rys. 3.17. Połączenie kamionkowych rur przeciskowych o średnicy DN od 200 do 500, [34]

Fig. 3.17. The connection of stoneware jacking pipes (DN 200 – 500), [34]

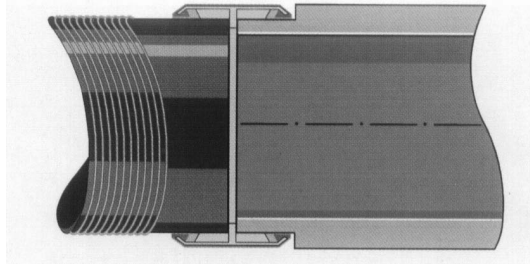


Rys. 3.18. Połączenie kamionkowych rur przeciskowych o średnicy DN od 600 do 1200, [34]

Fig. 3.18. The connection of stoneware jacking pipes (DN 600 – 1200), [34]

Kamionkowe rury przeciskowe o średnicy nominalnej 150 stosuje się do bezwykopowej budowy przyłączy kanalizacyjnych wbudowywanych np. przeciskiem hydraulicznym, zarówno w czasie budowy nowego kanału głównego, jak i w przypadku istniejącego kanału, poprzez zastosowanie specjalnej kształtki przyłączeniowej (rys. 3.19).

Wybrane parametry techniczne kamionkowych rur przeciskowych przedstawiono w tabeli 3.4.



Rys. 3.19. Kształtka przyłączeniowa (siodło) służąca do połączenia przykanalika wbudowywanego bezwykopowo z kanałem głównym, [34]

Fig. 3.19. A pipe fitting used for connection of a sewer lateral with a sewer (where the sewer lateral is built by trenchless technique), [34]

Tabela 3.4. Wybrane parametry techniczne kamionkowych rur przeciskowych, [53]

Table 3.4. The chosen technical parameters of stoneware jacking pipes, [53]

| Średnica wewnętrzna nominalna DN, mm | Średnica zewnętrzna, mm | Długość rury, m | Obliczeniowa siła przecisku P, kN | Dopuszczalna siła przecisku, kN | | Masa rury, kg/m |
|--------------------------------------|-------------------------|------------------|-----------------------------------|---------------------------------|------|-----------------|
| | | | | A | B | |
| 150 | 208,0 | 0,75; 1,00; 1,25 | 365 | 183 | 228 | 40 |
| 150 | 215,0 | 0,75; 1,00; 1,25 | 400 | 200 | 250 | 40 |
| 200 | 270,0 | 0,75; 1,00; 1,25 | 700 | 350 | 438 | 60 |
| 225 | 293,0 | 0,75; 1,00; 1,25 | 715 | 358 | 447 | 60 |
| 250 | 357,0 | 0,75; 1,00; 1,25 | 1630 | 815 | 1019 | 100 |
| 300 | 412,0 | 1,00; 1,25; 2,00 | 1875 | 938 | 1172 | 120 |
| 350 | 470,0 | 1,00; 1,25; 2,00 | 2429 | 1215 | 1518 | 130 |
| 400 | 552,0 | 1,00; 1,25; 2,00 | 3150 | 1575 | 1969 | 170 |
| 500 | 639,0 | 1,00; 1,25; 2,00 | 3400 | 1700 | 2125 | 250 |
| 600 | 758,0 | 1,00; 1,25; 2,00 | 4520 | 2260 | 2825 | 280 |
| 700 | 855,0 | 1,00; 2,00; 3,00 | 5000 | 2500 | 3125 | 430 |
| 800 | 950,0 | 1,00; 2,00; 3,00 | 6153 | 3077 | 3846 | 508 |
| 900 | 1080,0 | 1,00; 2,00; 3,00 | 8699 | 4350 | 5437 | 680 |
| 1000 | 1193,0 | 1,00; 2,00; 3,00 | 10419 | 5210 | 6512 | 800 |
| 1100 | 1307,0 | 1,00; 2,00; 3,00 | 12473 | 6237 | 7796 | 967 |
| 1200 | 1430,0 | 1,00; 2,00; 3,00 | 15051 | 7526 | 9407 | 1170 |

A – przy sterowaniu ręcznym (współczynnik bezpieczeństwa $n = 2$)

B – przy sterowaniu automatycznym (współczynnik bezpieczeństwa $n = 1,6$)

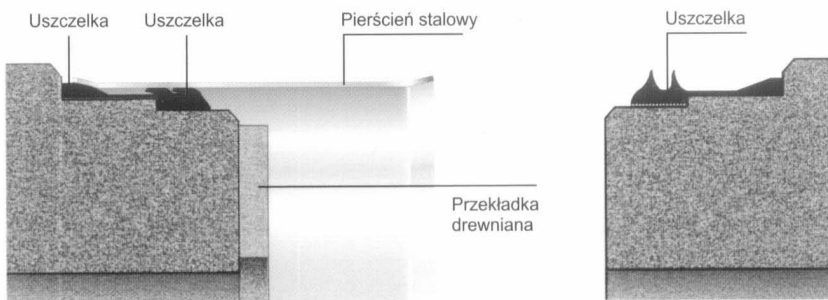
3.3.3. Rury z polimerobetonu

Główny składnik polimerobetonu, zwanego inaczej betonem żywicznym, stanowią kwarcytowe suche materiały wypełniające, takie jak: piaski i żwiry mineralne. Udział procentowy tego składnika w materiale wynosi około 90%. Pozostałą część stanowi żywica pełniąca funkcję środka wiążącego – spoiwa, bowiem w polimerobetonie (wbrew temu, co sugeruje nazwa) nie stosuje się cementu. W zależności od rodzaju zastosowanej żywicy rozróżnia się kilka rodzajów betonów żywicznych, m.in. są to betony: epoksydowe, poliestrowe, winyloestrowe [37].

Rury przeciskowe z polimerobetonu produkowane są w różnych technologiach, najczęściej stosowaną technologią jest proces formowania poprzez wibrowanie. Przygotowany w sterowanym komputerowo procesie polimerobeton wprowadzany jest do pionowych form stalowych składających się z rdzenia i płaszcza [2]. Po zagęszczeniu, rura utwardza się w formie aż do osiągnięcia wymaganej wytrzymałości na rozformowanie. Dalszy proces utwardzania przebiega pod wpływem odpowiedniej temperatury w specjalnym tunelu wygrzewającym.

Rury z polimerobetonu charakteryzują się bardzo dobrą odpornością chemiczną w zakresie pH 1-10, wysoką wytrzymałością na ściskanie od 50 do 200 MPa, niską chropowatością powierzchni wewnętrznych $\leq 0,02$ mm oraz wysoką odpornością na ścieranie (poniżej 0,2 mm/100 000 cykli w próbie darmsztadzkiej [2]).

Złącza rur przeciskowych polimerobetonowych składają się, podobnie jak złącza innych rur przeciskowych, z zewnętrznej tulei wykonanej ze stali nierdzewnej, uszczelki montowanej w zakładzie produkcyjnym rur oraz przekładki drewnianej lub wykonanej z płyty wiórowej. Budowa złącza zależy od średnicy rury oraz wymagań projektowych w zakresie ich odporności chemicznej. Przykładowe złącze rur przeciskowych polimerobetonowych pokazano na rysunku 3.20.



Rys. 3.20. Przykładowe złącze rur przeciskowych polimerobetonowych, [50]

Fig. 3.20. The connection of polymer concrete jacking pipes, [50]

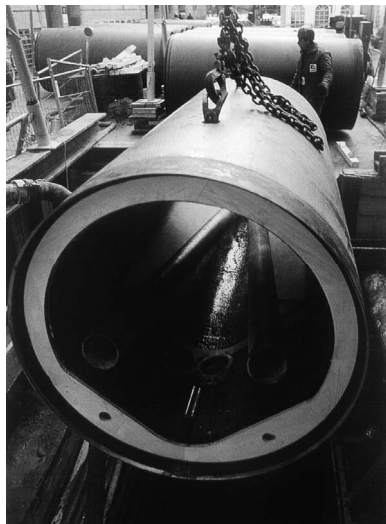
Przeciskowe rury polimerobetonowe produkowane są jako kołowe (rys. 3.21), jak również o przekroju specjalnym (rys. 3.22), w których kineta rury ukształtowana jest

na kształt litery v (przekrój v-kształtny, hamburski). Rury o przekroju specjalnym posiadają tzw. trzpień centrujący, zapobiegające niepożądanemu obrotowi wokół osi poszczególnych rur. Fabrycznie produkowane są tzw. „rury bentonitowe” – rury przeciskowe zaopatrzone w dysze do podawania bentonitu. Produkowane są również rury przeciskowe dostosowane do współpracy z pośrednią stacją przeciskową (rys. 3.23).



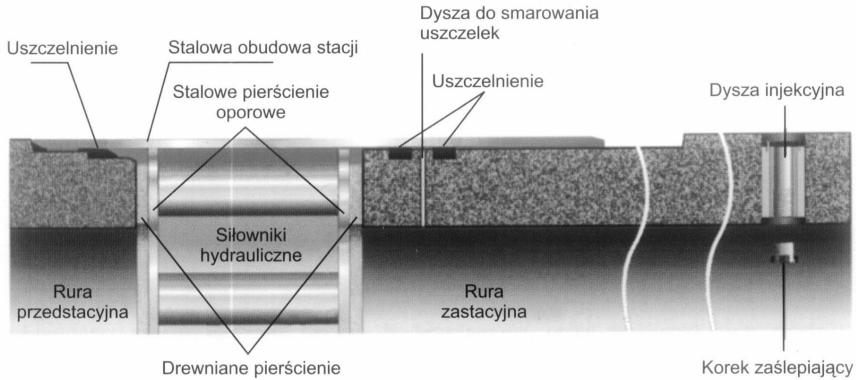
Rys. 3.21. Przeciskowe rury polimerobetonowe – POLYCRETE, [50]

Fig. 3.21. POLYCRETE – polymer concrete jacking pipes, [50]



Rys. 3.22. Rura przeciskowa z polimerobetonu o przekroju specjalnym, [50]

Fig. 3.22. Polymer concrete jacking pipes of a kite-shaped profile, [50]



Rys. 3.23. Przekrój przez połączenie rur przeciskowych polimerobetonowych w stacji pośredniej siłowników hydraulicznych, [50]

Fig. 3.23. The cross-section of polymer concrete jacking pipe connection within an intermediate jacking station, [50]

Wybrane parametry techniczne rur przeciskowych z polimerobetonu przedstawiono w tabeli 3.5.

Tabela 3.5. Wybrane parametry techniczne rur przeciskowych z polimerobetonu, [50]

Table 3.5. The chosen technical parameters of polymer concrete jacking pipes, [50]

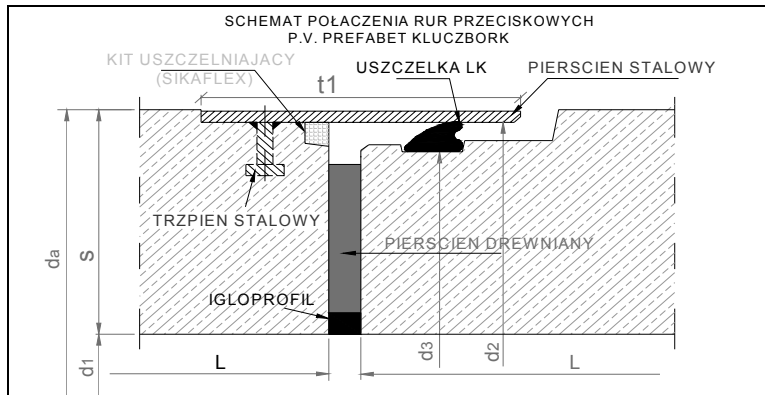
| Średnica wewnętrzna DN, mm | Grubość ścianki S, mm | Średnica zewnętrzna, mm | Długość rury, m | Dopuszczalna siła przecisku P, kN | Masa rury, kg/m |
|----------------------------|-----------------------|-------------------------|-----------------|-----------------------------------|-----------------|
| 150 | 29 | 208 | 1 | 190 | 37,5 |
| 200 | 37,5 | 275 | 1 | 210 | 62 |
| 250 | 55 | 360 | 1;2 | 530 | 117 |
| 300 | 50 | 400 | 1;2 | 510 | 122 |
| 400 | 75 | 550 | 1;2 | 1500 | 249 |
| 482 | 70 | 622 | 2,44 | 1500 | 269 |
| 500 | 80 | 660 | 2 | 1900 | 324 |
| 534 | 70 | 674 | 2,44 | 1670 | 300 |
| 600 | 80 | 760 | 2 | 2240 | 380 |
| 700 | 80 | 860 | 2 | 2400 | 435 |
| 762 | 90 | 942 | 2,44 | 3505 | 535 |
| 800 | 80 | 960 | 2 | 2720 | 490 |

cd. tabeli 3.5

| Średnica wewnętrzna DN, mm | Grubość ścianki S, mm | Średnica zewnętrzna, mm | Długość rury, m | Dopuszczalna siła przecisku P, kN | Masa rury, kg/m |
|----------------------------|-----------------------|-------------------------|-----------------|-----------------------------------|-----------------|
| 900 | 100 | 1100 | 2 | 4480 | 700 |
| 932 | 94 | 1120 | 2,44 | 4045 | 680 |
| 1000 | 92 | 1184 | 3 | 4140 | 700 |
| 1067 | 114 | 1295 | 2,44 | 6480 | 950 |
| 1067 | 127 | 1321 | 2,44 | 7440 | 1070 |
| 1143 | 130 | 1403 | 2,44 | 8410 | 1175 |
| 1200 | 141 | 1482 | 3 | 5700 | 1327 |
| 1400 | 160 | 1720 | 3 | 7400 | 1750 |
| 1600 | 170 | 1940 | 3 | 8950 | 2100 |
| 1800 | 180 | 2160 | 3 | 10720 | 2500 |
| 2000 | 195 | 2390 | 3 | 13300 | 3000 |
| 2200 | 215 | 2630 | 3 | 16700 | 3700 |
| 2400 | 235 | 2870 | 3 | 20600 | 4450 |
| 2600 | 250 | 3100 | 3 | 24150 | 5200 |

3.3.4. Rury żelbetowe

Żelbetowe rury przeciskowe produkowane są z wysokiej jakości betonu klasy B50 i wyższej, najczęściej metodą odlewania [62]. Zbrojenie składa się z prętów podłużnych przenoszących w głównej mierze siłę przecisku oraz prętów poprzecznych w formie okręgów lub podwójnej spirali [7], przenoszących siły wewnętrzne działające w przekroju poprzecznym rury. W zwykłych warunkach gruntowych pierścien stalowy, pełniący rolę kołnierza w połączeniu między kolejnymi rurami przeciskowymi, wykonywany jest ze stali St3S zabezpieczonej antykorozyjnie [7]. Natomiast w przypadkach wbudowywania rurociągów w gruntach agresywnych pierścien ten wykonuje się ze stali nierdzewnej, kwasoodpornej. Wewnątrz złącza rur znajduje się przekładka drewniana lub z materiałów drewnopochodnych, umożliwiająca równomierne rozłożenie siły przecisku na całą powierzchnię „roboczą” połączenia oraz wbudowywanie rurociągów po łuku. Na rysunku 3.24 przedstawiono schemat połączenia żelbetowych rur przeciskowych.



Rys. 3.24. Schemat połączenia żelbetowych rur przeciskowych, [62]

Fig. 3.24. The scheme of reinforced concrete jacking pipe connection, [62]

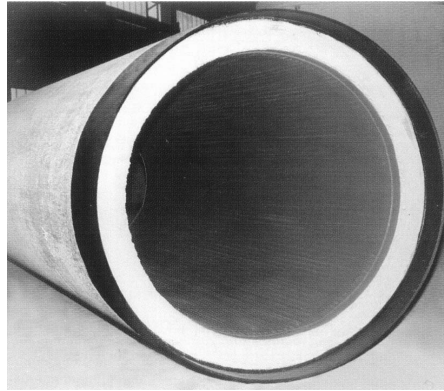
W zależności od funkcji, jaką pełnią wbudowywane rury w przecisku oraz ze względu na miejsce wbudowania, rury żelbetowe mogą się różnić konstrukcją oraz nieznacznie kształtem. Wyróżnia się następujące typy rur [7]:

- zwykle stanowiące segmenty przecisku,
- czołowe o wzmocnionym zbrojeniu, umieszczane bezpośrednio za urządzeniem do mikrotunelowania,
- międzystacyjne z przedłużoną płaszczyzną styku pierścieniem stalowym, umieszczane pomiędzy pośrednimi stacjami przeciskowymi,
- zwykle z otworami do podawania bentonitu pomiędzy ścianki rury a grunt (tzw. rury bentonitowe).

Rury żelbetowe charakteryzują się bardzo wysokimi parametrami wytrzymałościowymi oraz bardzo dobrymi parametrami materiałowymi. Wśród nich wymienia się [7]:

- wytrzymałość betonu na ściskanie powyżej 50 MPa,
- ścieranie poniżej 2,5 mm przy 440 obrotach tarczy Behmego,
- mrozoodporność $F \geq 150$,
- nasiąkliwość nie więcej niż 3%,
- wodoszczelność $W \geq 10$,
- zakres pH płynu od 2 do 12,
- chropowatość ścian wewnętrznych rur $k = 0,15$ mm.

Szczelność połączeń rur przeciskowych zapewniają uszczelki gumowe, odporne na działanie agresywnych mediów, wytrzymujące ciśnienie 2 barów. Wewnętrzna powierzchnia rur może być powlekana kompozytami żywicznymi, powłoką z PE, PP lub PVC w celu zwiększenia odporności chemicznej rur oraz poprawy parametrów hydraulicznych wbudowywanego rurociągu. Na rysunku 3.25 przedstawiono żelbetową rurę przeciskową z wewnętrzną powłoką wykonaną z PEHD.



Rys. 3.25. Żelbetowa rura przeciskowa z wewnętrzną powłoką z PEHD, [25]

Fig. 3.25. A reinforced concrete jacking pipe with an internal PEHD lining, [25]

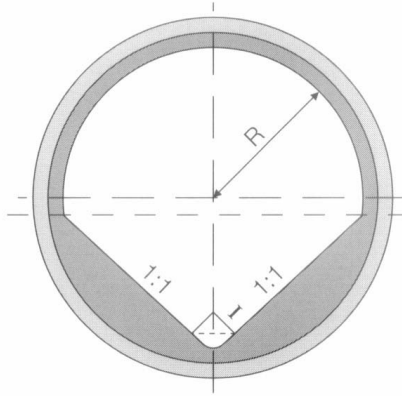
Produkowane są również rury żelbetowe przeciskowe o podwyższonej odporności na korozję i podwyższonej wytrzymałości z betonu klasy B85 z dodatkiem mikrokrzemionki [62]. Dodanie mikrokrzemionki sprawia, że struktura betonu jest na tyle szczelna, że pozwala transportować media silnie agresywne.

Żelbetowe rury przeciskowe produkowane są również o przekrojach specjalnych (przekrój v-kształtny) (rys. 3.26), np. o nachyleniu ścian kinety 1:1 (rys. 3.27), w celu uzyskania lepszych parametrów hydraulicznych kanału. Aby uchronić wbudowywany rurociąg od wzajemnego skręcania się rur podczas przecisku, każdy element o przekroju specjalnym zaopatrzonej jest w części czołowej w trzy stalowe trzpienie, a w części końcowej rury w trzy stalowe tuleje tworzące blokadę zabezpieczającą.



Rys. 3.26. Żelbetowe rury przeciskowe o przekroju specjalnym, [25]

Fig. 3.26. Reinforced concrete jacking pipes of a kite-shaped profile, [25]



Rys. 3.27. Przekrój poprzeczny żelbetowej rury przeciskowej o przekroju specjalnym, [25]

Fig. 3.27. The cross-section of a reinforced concrete jacking pipe of a kite – shaped profile, [25]

W trudnych warunkach geologicznych oraz w miejscach narażonych na ruchy górotworu, np. na terenach objętych uszkodzami górniczymi, stosuje się żelbetowe rury przeciskowe o specjalnej konstrukcji złącza z wydłużonym pierścieniem stalowym i podwójnej uszczelce.

Wybrane parametry techniczne żelbetowych rur przeciskowych przedstawiono w tabeli 3.6.

Tabela 3.6. Wybrane parametry techniczne żelbetowych rur przeciskowych, [25]

Table 3.6. The chosen technical parameters of reinforced concrete jacking pipes, [25]

| Średnica wewnętrzna DN, mm | Grubość ścianki S, mm | Średnica zewnętrzna, mm | Długość rury, m | Dopuszczalna siła przecisku P, kN | Masa rury G, kg/m |
|----------------------------|-----------------------|-------------------------|-----------------|-----------------------------------|-------------------|
| 300 | 124,5 | 553 | 2 | 1000 | 425 |
| 400 | 127 | 656 | 2 | 1350 | 530 |
| 500 | 126,5 | 757 | 2 | 1600 | 635 |
| 600 | 130 | 862 | 2 | 1900 | 750 |
| 700 | 130 | 965 | 2 | 2200 | 865 |
| 800 | 147,5 | 1100 | 3 | 2800 | 1120 |
| 1000 | 137,5 | 1280 | 3 | 3300 | 1280 |
| 1000 | 153 | 1310 | 3 | 3600 | 1410 |
| 1200 | 145 | 1494 | 3 | 4100 | 1535 |
| 1200 | 170 | 1544 | 3 | 4900 | 1855 |

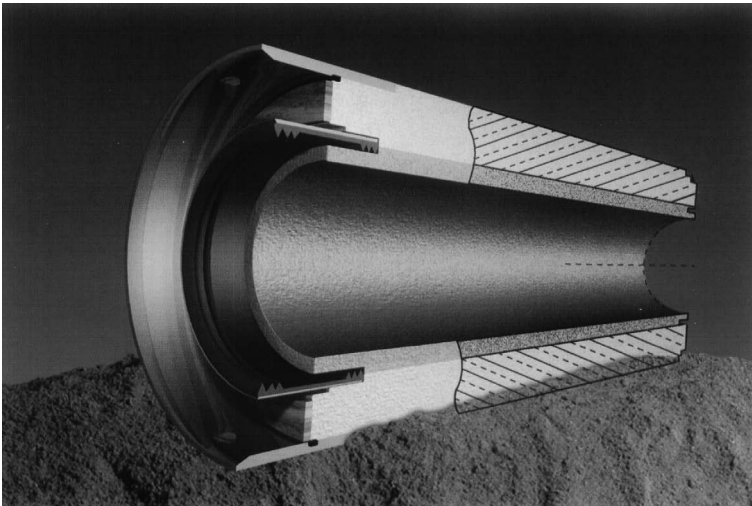
cd. tabeli 3.6

| Średnica wewnętrzna DN, mm | Grubość ścianki S, mm | Średnica zewnętrzna, mm | Długość rury, m | Dopuszczalna siła przecisku P, kN | Masa rury G, kg/m |
|----------------------------|-----------------------|-------------------------|-----------------|-----------------------------------|-------------------|
| 1400 | 160 | 1722 | 3 | 5400 | 2000 |
| 1500 | 170 | 1842 | 3 | 6200 | 2250 |
| 1600 | 180 | 1963 | 3 | 7000 | 2550 |
| 1800 | 200 | 2203 | 3 | 8700 | 3165 |
| 2000 | 200 | 2403 | 3 | 9700 | 3500 |
| 2200 | 220 | 2640 | 3 | 11500 | 4180 |
| 2200 | 250 | 2702 | 3 | 13500 | 4830 |
| 2400 | 250 | 2900 | * | * | 5200 |
| 2500 | 250 | 3001 | * | * | 5400 |
| 2500 | 300 | 3100 | * | * | 6600 |
| 2600 | 250 | 3100 | * | * | 5600 |
| 2800 | 300 | 3400 | * | * | 7300 |
| 2800 | 400 | 3600 | * | * | 10050 |
| 3000 | 300 | 3600 | * | * | 7770 |
| 3200 | 300 | 3800 | * | * | 8240 |
| 3400 | 400 | 4200 | * | * | 11940 |

* parametry według specyfikacji projektowej

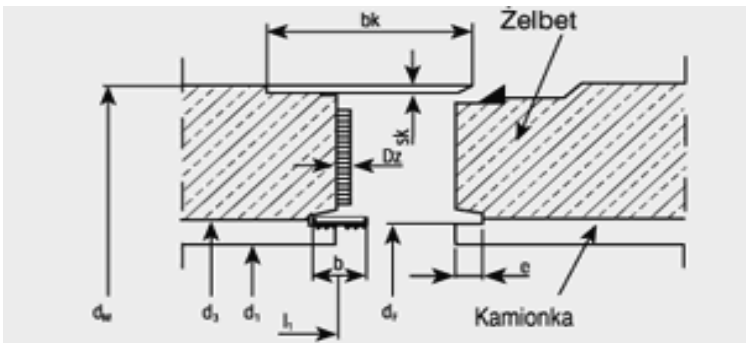
3.3.5. Rury żelbetowo-kamionkowe, żelbetowe z wewnętrzną wykładziną kamionkową

Ciekawym rozwiązaniem są rury żelbetowo-kamionkowe, łączące w sobie zalety rur kamionkowych i żelbetowych (rys. 3.28), charakteryzujące się dużą odpornością na destrukcyjne działanie agresywnego środowiska ścieków oraz wysoką wartością dopuszczalnej siły przecisku. Zewnętrzna powłoka żelbetowa przejmuje obciążenia zarówno statyczne, jak i dynamiczne, natomiast wewnętrzna część kamionkowa zapewnia m.in.: wysoką gładkość hydrauliczną oraz odporność na ścieranie, odporność chemiczną na wszelkiego rodzaju ścieki o wartości pH 1-13. Połączenie rur żelbetowo-kamionkowych obejmuje zewnętrzny i wewnętrzny pierścień uszczelniający (rys. 3.29). Pierścień wewnętrzny, wykonany ze stali szlachetnej z elastomerowo-kauczukowym uszczelnieniem, gwarantuje zabezpieczenie antykorozyjne warstwy żelbetowej. Pierścień zewnętrzny, wykonany również ze stali szlachetnej, zapewnia prostoliniowe prowadzenie rur.



Rys. 3.28. Rura przeciskowa żelbetowo-kamionkowa, [34]

Fig. 3.28. Reinforced concrete – stoneware jacking pipe, [34]

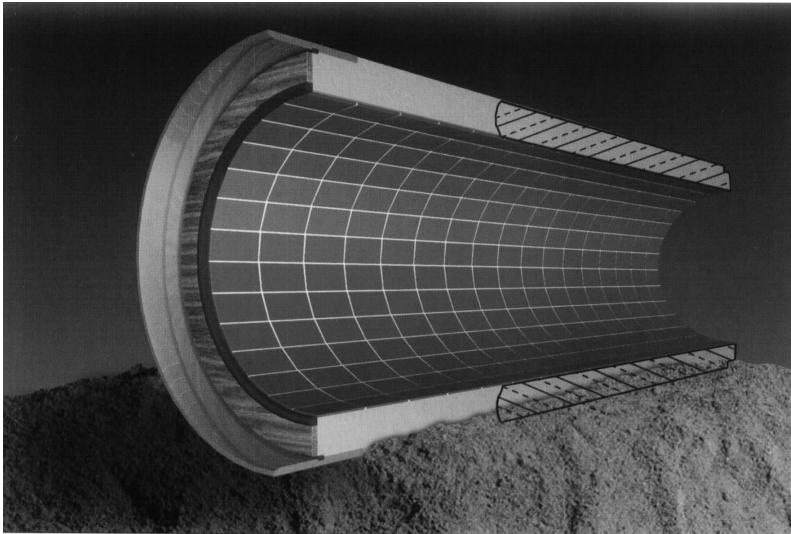


Rys. 3.29. Połączenie przeciskowych rur żelbetowo-kamionkowych, [34]

Fig. 3.29. The connection of reinforced concrete-stoneware jacking pipes, [34]

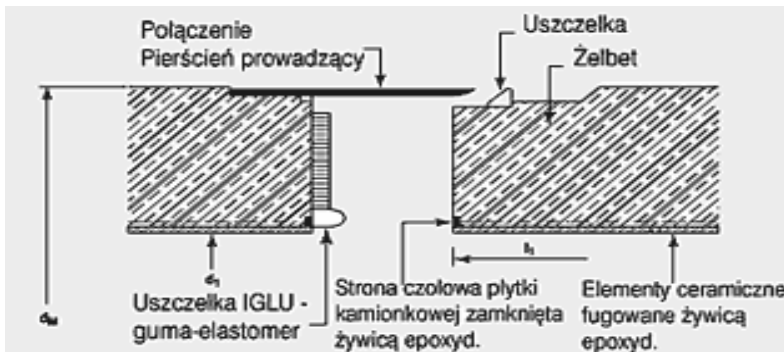
Nieco innym rozwiązaniem są rury żelbetowe z wewnętrzną wykładziną kamionkową w postaci płytek (rys. 3.30). Podobnie jak w poprzednio omówionym rozwiązaniu część żelbetowa przenosi obciążenia, natomiast wewnętrzna wykładzina kamionkowa zapewnia prawidłową eksploatację. Rury te są również wyposażone w system podwójnego uszczelnienia (rys. 3.31). Uszczelnienie wewnętrzne w postaci uszczelki elastomerowej zabezpiecza część żelbetową przed kontaktem ze ściekami. Uszczelnienie zewnętrzne składa się ze stalowego pierścienia oraz uszczelki. Wewnętrzna wykładzina kamionkowa wykonywana jest z płytek ka-

mionkowych, łączonych w powłoki o wymiarach podstawowych: szerokość 50 cm, długość 100, 200, 300 cm (rys. 3.32). Fugi pomiędzy elementami kamionkowymi wypełniane są w zakładzie prefabrykacji żywicą epoksydową. Możliwe są również do wykonania profile specjalne, takie jak: profil jajowy, gardzielowy, romboidalny.



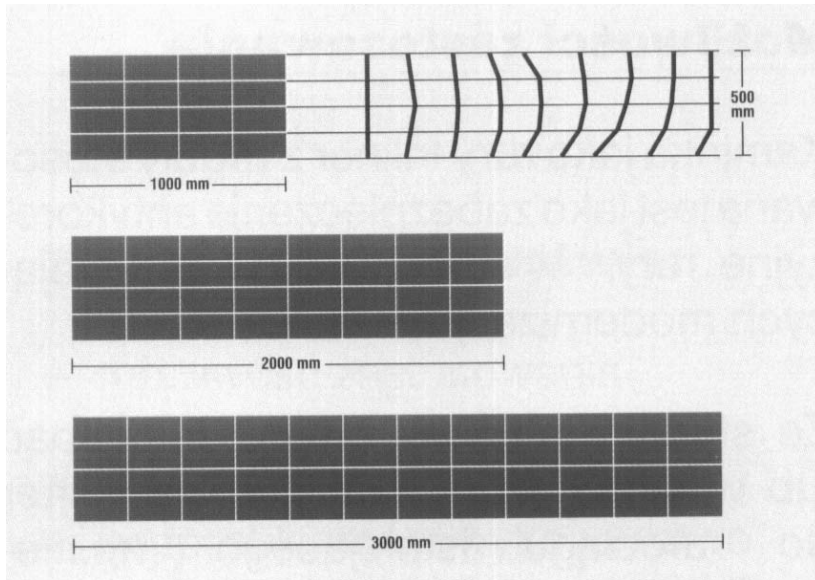
Rys. 3.30. Przewodząca rura żelbetowa z wykładziną kamionkową, [34]

Fig. 3.30. A reinforced concrete jacking pipe with stoneware tiles lining, [34]



Rys. 3.31. Połączenie żelbetowych rur przewodzących posiadających wykładzinę kamionkową, [34]

Fig. 3.31. The connection of reinforced concrete pipes with stoneware tiles lining, [34]



Rys. 3.32. Kamionkowe elementy wykładziny rur żelbetowych, [34]

Fig. 3.32. Stoneware tile elements of the lining of reinforced concrete jacking pipes, [34]

3.3.6. Rury żywiczne wzmocnione włóknem szklanym

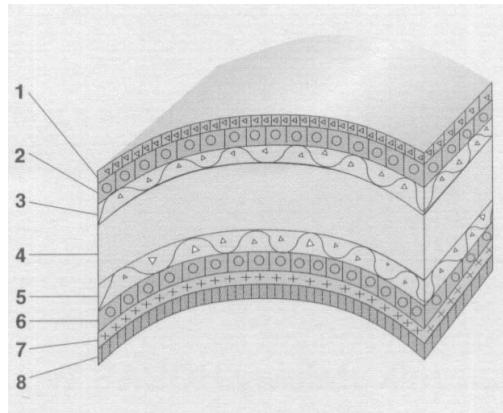
Rury żywiczne wzmocnione włóknem szklanym są to rury kompozytowe, składające się z włókien szklanych stanowiących zbrojenie, żywicy – spoiwa oraz piasku kwarcowego, który stanowi wypełniacz. Wykorzystywane są różne rodzaje żywic, najczęściej poliestrowe, epoksydowe lub winylowe.

W produkcji rur żywicznych stosuje się różne technologie, wśród nich można wymienić: technologie ręcznego nakładania, natryskiwania włókien, technologie nawojową oraz odlewania odśrodkowego [37]. Do produkcji żywicznych rur przeciskowych stosuje się tylko technologię odlewania odśrodkowego. W technologii tej składniki, tj. żywica poliestrowa, cięte włókno szklane i piasek szklarski, umieszczone zostają warstwowo w formie, która wiruje z prędkością zapewniającą ich sprasowanie, odgazowanie i utwardzenie. Forma może wirować z prędkością obrotową taką, która powoduje, iż składniki w niej umieszczone są poddawane przeciążeniu równemu nawet 70 g (70 razy większe niż przyciąganie ziemskie) [2]. Na rysunku 3.33 przedstawiono budowę warstwową ścianki rur żywicznych wzmocnianych włóknem szklanym.

Proces utwardzania rur przebiega w podwyższonej temperaturze, np. poprzez podawanie gorącej wody na zewnętrzną powierzchnię formy [2].

Rury przeciskowe żywiczne (rys. 3.34) łączone są łącznikami zlicowanymi z zewnętrzną powierzchnią rury (tak jak dla wszystkich rur przeciskowych). Rury

Hobas, jako przykładowe rury żywiczne wzmocnione włóknem szklanym, posiadają dla rur beczciśnieniowych w zakresie średnic DN150 – DN2600 łączniki ze stali nierdzewnej (rys. 3.35) lub żywicy poliestrowej (rys. 3.36).



1 – zewnętrzna warstwa ochronna, 2 – zewnętrzna warstwa zbrojona (włókna szklane, żywica poliestrowa), 3 – warstwa pośrednia (włókna szklane, żywica poliestrowa, piasek), 4 – warstwa usztywniająca (piasek, żywica poliestrowa, włókna szklane), 5 – warstwa pośrednia (włókna szklane, żywica poliestrowa, piasek), 6 – wewnętrzna warstwa zbrojona (włókna szklane, żywica poliestrowa), 7 – warstwa izolacyjna, 8 – bogata w żywicę warstwa wewnętrzna

Rys. 3.33. Warstwowa budowa ścianki rur żywicznych wzmocnianych włóknem szklanym, [29]

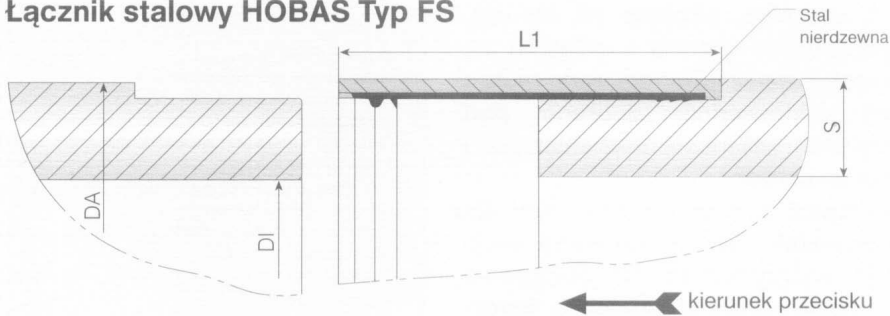
Fig. 3.33. The lay-out of layers in GRP jacking pipes, [29]



Rys. 3.34. Rury przeciskowe żywiczne wzmocniane włóknem szklanym, [2]

Fig. 3.34. GRP jacking pipes, [2]

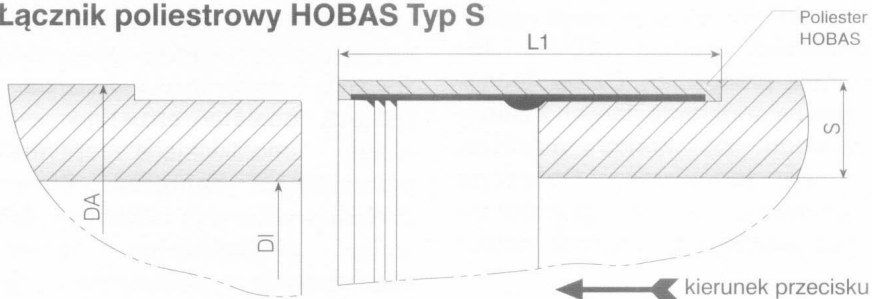
Łącznik stalowy HOBAS Typ FS



Rys. 3.35. Połączenie rur przeciskowych żywicznych wzmocnianych włóknem szklanym przy użyciu łącznika stalowego, [29]

Fig. 3.35. The connection of GRP jacking pipe using steel pipe fitting, [29]

Łącznik poliestrowy HOBAS Typ S



Rys. 3.36. Połączenie rur przeciskowych żywicznych wzmocnianych włóknem szklanym przy użyciu łącznika poliestrowego, [29]

Fig. 3.36. The connection of GRP jacking pipe using polyester pipe fitting, [29]

Dopuszczalna siła przecisku dla rur żywicznych wzmocnianych włóknem szklanym zależy od ich klasy nośności, a ta z kolei od grubości ścianki i średnicy rury.

W tabeli 3.7 zestawiono dopuszczalne siły przecisku rur żywicznych wzmocnianych włóknem szklanym dla wybranych średnic oraz typów łączników.

Tabela 3.7. Dopuszczalne siły przecisku rur żywicznych wzmocnianych włóknem szklanym dla wybranych średnic oraz typów łączników, [29]

Table 3.7. Maximum jacking forces for GRP jacking pipes for chosen pipe diameters and pipe fittings, [29]

| Średnica zewnętrzna, mm | Typ łącznika | SN 32000, N/m ² | | SN 50000, N/m ² | | SN 200000, N/m ² | | SN 640000, N/m ² | |
|-------------------------|--------------|----------------------------|-----------------------|----------------------------|-----------------------|-----------------------------|-----------------------|-----------------------------|-----------------------|
| | | S, mm | F _{dop} , kN | S, mm | F _{dop} , kN | S, mm | F _{dop} , kN | S, mm | F _{dop} , kN |
| 220 | S | * | * | * | * | 15 | 105 | 20 | 180 |
| 401 | S | * | * | * | * | 24 | 463 | 34 | 739 |
| 550 | FS | * | * | 21 | 505 | 33 | 1006 | 47 | 1537 |
| 820 | FS | 25 | 964 | 29 | 1211 | 49 | 2410 | 67 | 3433 |
| 1026 | L | 34 | 1585 | 38 | 1893 | 61 | 3612 | * | * |
| 1280 | FS | 41 | 2968 | 47 | 3545 | * | * | * | * |
| 1499 | L | 48 | 3476 | 56 | 4376 | * | * | * | * |
| 2047 | XL | 65 | 6549 | 75 | 8086 | * | * | * | * |
| 2740 | XL | 86 | 12278 | * | * | * | * | * | * |

* – rury o danej klasie nośności nie są produkowane dla danej średnicy,

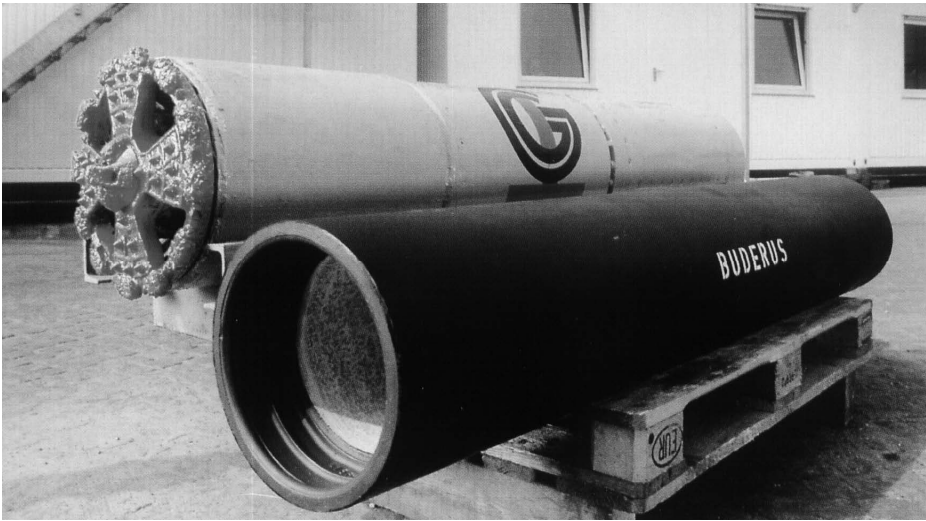
S – grubość ścianki,

F_{dop} – dopuszczalna siła przecisku.

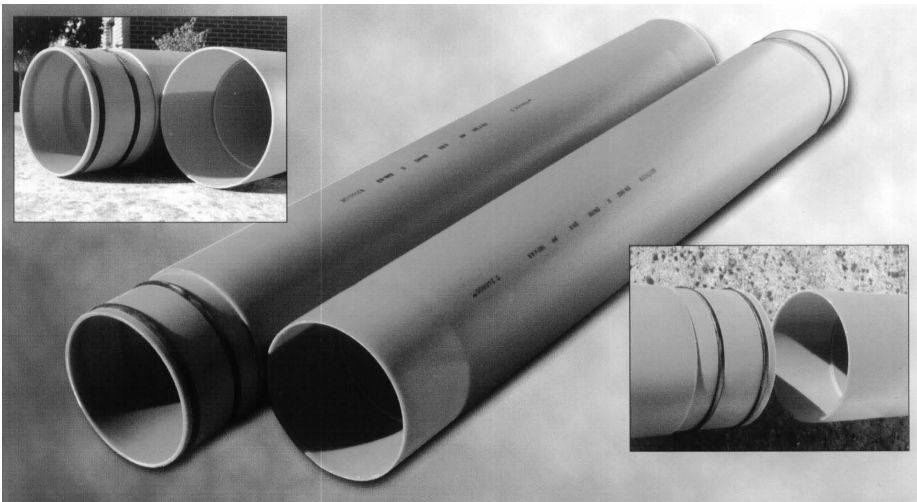
3.3.7. Rury przeciskowe z innych materiałów

Do pozostałych materiałów rur przeciskowych należą: polichlorek winylu, polipropylen, żeliwo sferoidalne oraz stal. W Polsce rury przeciskowe z tych materiałów, oprócz rur stalowych, nie są jeszcze stosowane, a i w Europie Zachodniej stosowane są dość rzadko. Rury przeciskowe z żeliwa sferoidalnego (rys. 3.37) wdrażane były i produkowane we Francji w latach 90. ubiegłego wieku [27]. Wszystkie rury z wymienionych wcześniej materiałów posiadają połączenia bezkielichowe. Na rysunku 3.38 przedstawiono rury przeciskowe polipropylenowe, natomiast na rysunku 3.39 – przecisk tych rur. Stalowe rury przeciskowe pełnią zazwyczaj funkcję rur osłonowych do których wprowadza się rury przewodowe.

Wybrane parametry techniczne rur przeciskowych z polichlorku winylu przedstawiono w tabeli 3.8.



Rys. 3.37. Rura przeciskowa z żeliwa sferoidalnego na tle głowicy do mikrotunelowania, [23]
Fig. 3.37. A ductile cast iron jacking pipe, [23]



Rys. 3.38. Rury przeciskowe polipropylenowe, [67]
Fig. 3.38. Polypropylene jacking pipes, [67]



Rys. 3.39. Przecisk rur polipropylenowych, [67]

Fig. 3.39. The jacking of polypropylene pipes, [67]

Tabela 3.8. Wybrane parametry techniczne rur przeciskowych z polichlorku winylu, [67]

Table 3.8. The chosen technical parameters of a polyvinyl chloride jacking pipes, [67]

| Średnica zewnętrzna, mm | Grubość ścianki S, mm | Dopuszczalna siła przecisku P, kN | Masa rury G, kg/m |
|----------------------------|--------------------------|--------------------------------------|----------------------|
| 110 | 6,2 | 40 | 3,0 |
| 125 | 10,5 | 65 | 5,6 |
| 140 | 6,7 | 56 | 4,2 |
| 148 | 10,5 | 77 | 6,4 |
| 160 | 6,9 | 60 | 4,7 |
| 170 | 10,0 | 70 | 7,4 |
| 220 | 10,0 | 80 | 10 |
| 220 | 12,8 | 150 | 12,3 |
| 280 | 12,5 | 200 | 15,6 |
| 330 | 14,5 | 310 | 21,2 |
| 370 | 12,5 | 249 | 20,8 |
| 450 | 19,5 | 527 | 38,9 |
| 540 | 20,0 | 653 | 48,2 |

SYSTEMY STEROWANIA I KONTROLI STOSOWANE W METODACH BEZWYKOPOWEJ BUDOWY SIECI PODZIEMNYCH

4.1. UWAGI WSTĘPNE

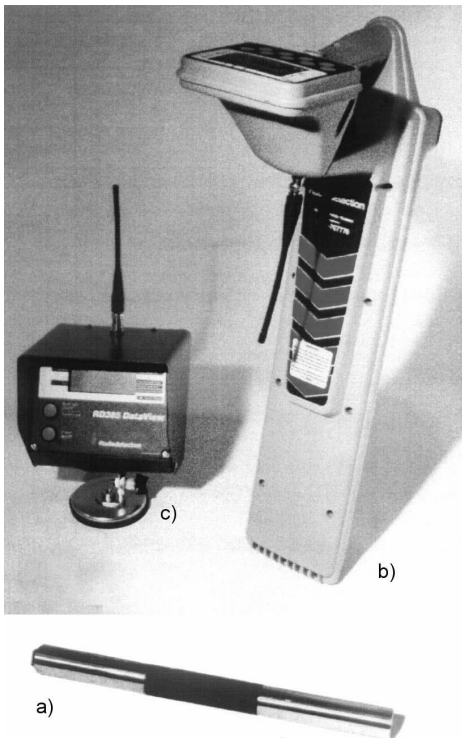
Systemy sterowania i kontroli stosowane są w metodach sterowalnych. Dla metod niesterowalnych czasami używa się systemu kontroli (monitorowania) do śledzenia procesu wbudowywania rurociągu, nie mając możliwości wpływu na zmianę kierunku jego wbudowania. Systemy sterowania i kontroli są bardzo istotnym elementem technologii bezwykopowej budowy sieci podziemnych. Od nich bowiem zależy dokładność wbudowania tychże sieci (wartość odchylenia spadku oraz odchylenie w planie osi wbudowanego rurociągu od przewidzianego w dokumentacji). Należy dodać, że różne systemy charakteryzują się różnymi dokładnościami wbudowania rurociągu.

Do najczęściej stosowanych systemów sterowania i kontroli zalicza się: system radiolokacji, magnetyczny, elektromagnetyczny, teleoptyczny oraz laserowy. Od niedawna w metodach mikrotunelowania stosowany jest system żyrokompasowy. Trwają również prace nad wdrożeniem systemu żyroskopowego dla metod przewiertów sterowanych.

4.2. SYSTEM RADIOLOKACJI

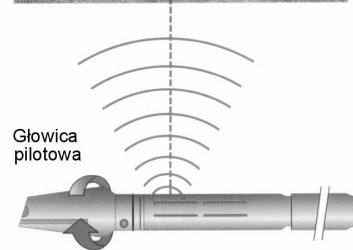
System radiolokacji znany jest również pod innymi nazwami: radiometryczny, lokalizacji radiowej, radiodetekcji. System ten stosuje się przede wszystkim w metodzie horyzontalnych przewiertów sterowanych (HDD), ale również wykorzystywany jest w metodzie przecisków pneumatycznych przebijakiem (tzw. kretem), zarówno sterowalnej, jak i niesterowalnej. W metodzie niesterowalnej przecisków pneumatycznych system ten stosuje się tylko do kontroli (monitorowania) trasy przecisku. Jest to system łatwy w obsłudze, wyniki pomiarów są jednak obar-

czone sporym błędem, zwłaszcza podczas wiercenia na głębokościach większych niż 20 m. W skład systemu radiolokacji wchodzi: sonda (rys. 4.1a), przenośny lokalizator (rys. 4.1b), monitor dla operatora wiertnicy (rys. 4.1c) i dodatkowo indukcyjny generator sygnału, wspomagający lokalizowanie sieci podziemnych. Sonda umieszczona jest w specjalnej obudowie, znajdującej się bezpośrednio za głowicą pilotową. Emituje ona sygnał radiowy, który jest odbierany przez lokalizator (odbiorcę sygnału) znajdujący się na powierzchni terenu (rys. 4.2).



Rys. 4.1. Zestaw systemu radiolokacji do lokalizacji głowicy pilotowej, [63]: a) sonda, b) przenośny lokalizator, c) monitor dla operatora wiertnicy

Fig. 4.1. A radio detection set for localization of a pilot drill head, [63]: a) sonde, b) portable locator (receiver), c) monitor for a rig operator



Rys. 4.2. Namierzanie sondy i odczyt parametrów przewiertu, [73]

Fig. 4.2. Locating of a sonde and the read out of bore parameters, [73]

Niedogodnością systemu jest fakt, iż lokalizator musi się zawsze znajdować nad sondą nadawczą (dotyczy to systemów „walk over”). Jest to poważne utrudnienie w przypadku przekroczeń większych rzek, dróg szybkiego ruchu, węzłów kolejowych (rys. 4.3). Lokalizator odbiera informacje dotyczące położenia sondy; głębo-

kości, inklinacji¹ (kąta pochylenia) i kąta obrotu głowicy pilotowej, azymutu², a także dane o stanie naładowania baterii sondy i temperaturze sondy. Informacje te wyświetlane są na monitorze lokalizatora (rys. 4.4). Dane uzyskiwane w ten sposób są z kolei przekazywane na monitor umieszczony na stanowisku operatora wiertnicy, najczęściej drogą radiową.

Sterowanie procesem wbudowywania rurociągu, przy zastosowaniu tego systemu, odbywa się podczas pierwszego etapu robót, tzn. w czasie wiercenia pilotowego. Głowica pilotowa jest specjalnie ukształtowana: skośnie ścięta lub zaopatrzona w płytkę sterującą odchyloną od osi głowicy o 15-20% (rys. 4.5). W przypadku wierceń w gruntach skalistych przy użyciu świrdrów gryzowych funkcję sterowania przejmuje tzw. krzywy łącznik (rys. 2.27). Jeśli głowica pilotowa wraz z przewodem wiertniczym jest obracana i jednocześnie wciskana w grunt, to uzyskiwana jest prostoliniowa trajektoria przewiertu. Jeśli natomiast głowica pilotowa jest tylko wciskana w grunt, to trajektoria wiercenia pilotowego jest krzywoliniowa i zostaje odchylna w stronę ścięcia głowicy pilotowej. Wprowadzenie korekty kierunku polega więc na zatrzymaniu obrotu głowicy, a wraz z nią żerdzi wiertniczych, ustawieniu głowicy w odpowiednim położeniu kątowym i wciskaniu w grunt głowicy pilotowej wraz z żerdziami bez obrotu.

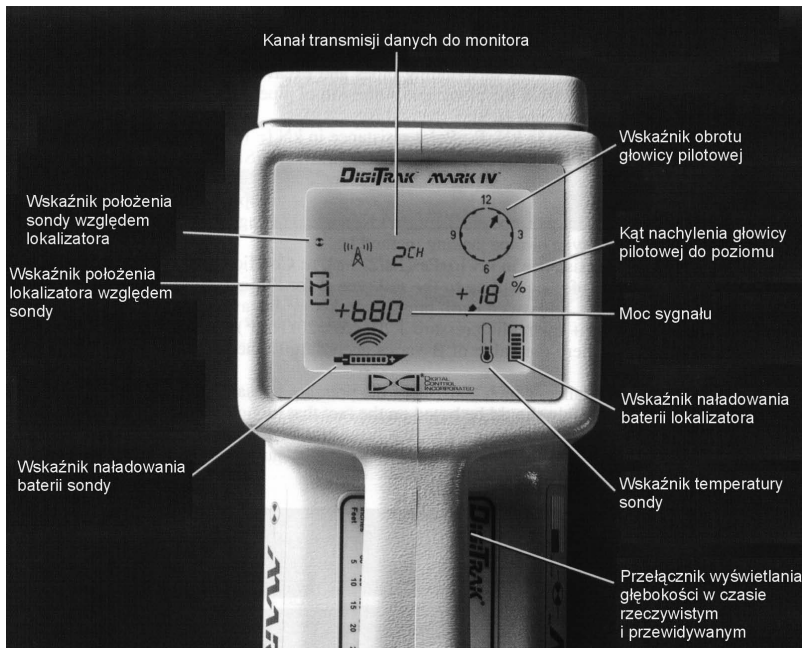


Rys. 4.3. Kontrola przebiegu trasy wiercenia pilotowego podczas przejścia głowicy pilotowej pod dnem kanału (zdjęcie własne dzięki uprzejmości firmy ERGOTEL)

Fig. 4.3. Tracking of a pilot boring route (photo courtesy of ERGOTEL firm)

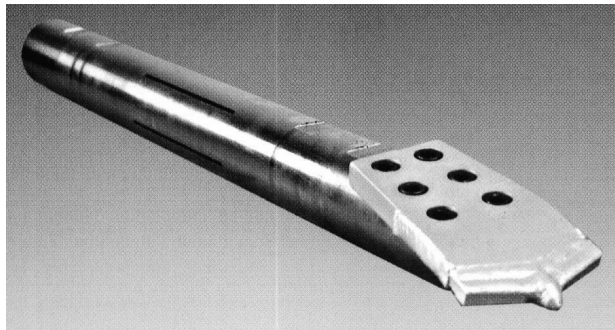
¹ Nachylenie narzędzia względem osi pionowej.

² Kąt zawarty pomiędzy kierunkiem północnym a rzutem stycznej do osi otworu wiertniczego w punkcie pomiarowym na płaszczyznę poziomą.



Rys. 4.4. Ciekłokrystaliczny ekran lokalizatora, [15]

Fig. 4.4. LCD of a locator, [15]



Rys. 4.5. Głowica pilotowa z płytą sterującą, [30]

Fig. 4.5. A pilot drill head with a skew steering plate, [30]

W zależności od przewidywanej głębokości wiercenia stosuje się odpowiednie sondy (nadajniki), które przesyłają sygnał z głębokości 10 m dla sondy standardowej lub 20 m dla sondy wzmocnionej. Pomiarów dokonuje się punktowo w odstępach 3-9 m. Informacje te mogą być przesyłane dalej w czasie rzeczywistym do stanowiska operatora – wiertacza na monitor, będącego w odległości nawet do 500 metrów.

Sonda posiada zasilanie bateryjne, co stanowi poważne ograniczenie dla czasu przewiertu pilotowego, bowiem w trakcie wykonywania tego etapu prac nie ma możliwości wymiany baterii lub jej doładowania. Czas pracy systemu można wydłużyć stosując w miejsce zasilania baterijnego zasilanie prądem stałym przez łączony na bieżąco kabel, prowadzony we wnętrzu żerdzi wiertniczych, przewlekany przez kolejno dokładane i wciskane żerdzie. Jednakże jest to czynność czasochłonna i dodatkowo istnieje możliwość uszkodzenia kabla w czasie skręcania żerdzi wiertniczych.

Lokalizator charakteryzuje się możliwością płynnej regulacji wzmocnienia odbieranego sygnału oraz przedstawiania wyników pomiaru w sposób wizualny i dźwiękowy. Odczyt może być podawany w stopniach lub w procentach. W standardowym wyposażeniu ma funkcję wykrywania i namierzania sieci uzbrojenia podziemnego. W terenach silnie uzbrojonych, gdzie praca lokalizatora staje się nieprecyzyjna, istnieje możliwość zastosowania indukcyjnego generatora sygnału. Przy jego pomocy można w miarę jednoznacznie określić położenie wybranych sieci podziemnych. Możliwość wykorzystania dwóch częstotliwości pracy sond, np. 8,4 i 33,6 kHz [63], zwiększa skutecznie zasięg i dokładność lokalizacji, szczególnie w warunkach zewnętrznych zakłóceń elektromagnetycznych. Zastosowanie wewnętrznego rejestratora danych umożliwi zapis wykonywanych pomiarów w pamięci przyrządu i transfer danych do komputera klasy PC w celu tworzenia tabelarycznych i graficznych raportów profilu przewiertu [63].

Cechy sondy nadawczej [63]:

- pomiar kąta nachylenia do 45° (100%) z rozdzielczością 0,5° (lub 0,5%),
- pomiar kąta obrotu,
- zasilanie bateryjne, dwa tryby oszczędności zużycia baterii,
- stan czuwania (ang. *standby*) po 10 minutach pozostawania sondy bez ruchu: oszczędność 50%,
- stan parkowania po 10 minutach od ustawienia kąta obrotu sondy na pozycji P: oszczędność 65%,
- temperatura pracy od -10 do +75°C,
- sygnały alarmowe co 5°C po osiągnięciu temperatury +40°C i automatyczne zawieszenie pracy sondy po osiągnięciu +75°C,
- optyczny wskaźnik przegrzania sondy,
- dla sond dwuczęstotliwościowych zmiana częstotliwości pracy zdalnie z odbiornika.

Cechy lokalizatora [63]:

- monitorowanie pozycji sondy i parametrów przewiertu z powierzchni ziemi (kąąt nachylenia, pozycja obrotowa głowicy, temperatura sondy, stan baterii sondy i odbiornika, alarmy),
- pełna informacja podawana w sposób ciągły na dużym wyświetlaczu ciekłokrystalicznym,

- automatyczny system naprowadzania na sondę za pośrednictwem strzałek kierujących, operatora do przodu, do tyłu, w prawo, w lewo,
- kontrola kierunku postępu głowicy za pośrednictwem wskaźnika w formie kompasu,
- eliminacja tzw. sygnałów widmowych,
- kąt obrotowy głowicy wyświetlany na szesnastopozycyjnej tarczy zegarowej,
- kąt nachylenia głowicy względem poziomu podawany w stopniach lub procentach,
- automatyczny odczyt głębokości w momencie punktowej lokalizacji sondy,
- kompensacja wpływu nachylenia głowicy na lokalizację sondy i błąd pomiaru głębokości,
- filtracja zewnętrznych zakłóceń elektromagnetycznych,
- zmiana częstotliwości pracy sondy znajdującej się pod ziemią z odbiornika,
- wewnętrzny rejestrator danych do zapisu bieżących parametrów przewiertu,
- podświetlenie ekranu do prac nocnych,
- ergonomiczna wysokość odbiornika zwiększająca komfort pracy,
- przekazywanie danych z lokalizatora do monitora drogą radiową na odległość do 500 m.

Cechy monitora [63]:

- parametry przewiertu przekazywane są z odbiornika do monitora drogą radiową na odległość do 500 metrów w czasie rzeczywistym,
- monitor jest w pełni automatyczny, bez zbędnych przycisków funkcyjnych,
- głębokość położenia głowicy przekazywana jest z odbiornika na życzenie,
- automatyczna kontrola poziomego odchylenia głowicy od zamierzonego kierunku wiercenia realizowana jest za pośrednictwem rzędu diod świecących umieszczonych nad ekranem.

4.3. SYSTEM MAGNETYCZNY I ELEKTROMAGNETYCZNY

System ten stosuje się dla horyzontalnych przewiertów sterowanych w sytuacji silnych zakłóceń magnetycznych, np. w sąsiedztwie linii energetycznych i trakcji zasilanych prądem (kolej, komunikacja miejska) oraz przy dużych głębokościach przewiertu, kiedy to odbiór sygnału z sondy nadawczej przez lokalizator jest nieprecyzyjny lub zupełnie niemożliwy. Zasadą działania systemu magnetycznego jest wykorzystanie naturalnego ziemskiego pola magnetycznego. Układ czujników magnetycznych i grawitacyjnych umożliwia orientację sondy pomiarowej pod powierzchnią ziemi. W skład systemu magnetycznego, poza sondą, wchodzi także układ sprzęgający, konsola wiertacza, komputer, drukarka oraz przewody łączące poszczególne elementy zestawu (rys. 4.6).

Sterowanie procesem wykonywania przewiertu pilotowego oraz elementy systemu sterowania są takie same jak w systemie radiolokacji, nieco inny natomiast jest

system kontroli oraz przesyłania danych. Sonda, tak jak w systemie radiolokacji, jest umieszczona na początku przewodu wiertniczego wewnątrz niemagnetycznego obciążnika, jak najbliższej narzędzia wiertącego. Wewnątrz sondy umieszczony jest czujnik z akcelerometrami i magnetometrami. Zasilanie i transmisja danych pomiarowych odbywa się pojedynczym przewodem zasilająco-transmisyjnym, połączonym z układem sprzęgającym. Pozostałe elementy systemu znajdują się w kabinie sterowniczej. Na ekranie komputera i konsoli wiertacza wyświetlane są wszystkie dane, a przede wszystkim azymut, inklinacja, odległość, głębokość oraz odchylenie od osi przewiertu z dokładnością do 0,1 stopnia [6].



Rys. 4.6. Elementy magnetycznego systemu pomiarowego, [31]

Fig. 4.6. The elements of a magnetic measuring system, [31]

System elektromagnetyczny działa na zasadzie lokalizacji sondy w polu magnetycznym wytworzonym przez przepływ prądu stałego w odpowiednio ułożonej na powierzchni terenu i umiejscowionej względem osi przewiertu pętli z przewodu elektrycznego (rys. 4.7).



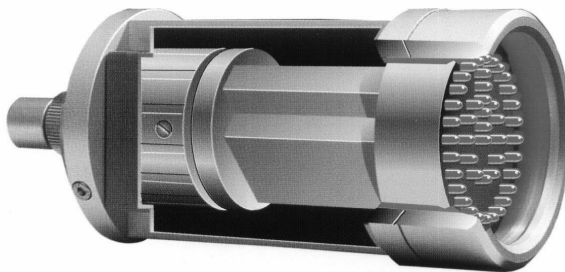
Rys. 4.7. Lokalizacja sondy w polu magnetycznym wytworzonym przez pętlę przewodową, [31]

Fig. 4.7. Locating of a sonde in magnetic field generated by a loop of conductor, [31]

System ten jest praktycznie niewrażliwy na zakłócenia i stosuje się go w celu korygowania wskazań systemu magnetycznego, w przypadku wystąpienia zagrożenia jakichkolwiek zakłóceń pola magnetycznego. Poważnym utrudnieniem w przypadku stosowania systemu elektromagnetycznego jest rozłożenie oraz stabilizacja pętli; szczególnie dotyczy to przejść pod żeglownymi rzekami, kanałami, drogami i trakcjami kolejowymi. Dokładność tych systemów określa się na 2% głębokości położenia sondy.

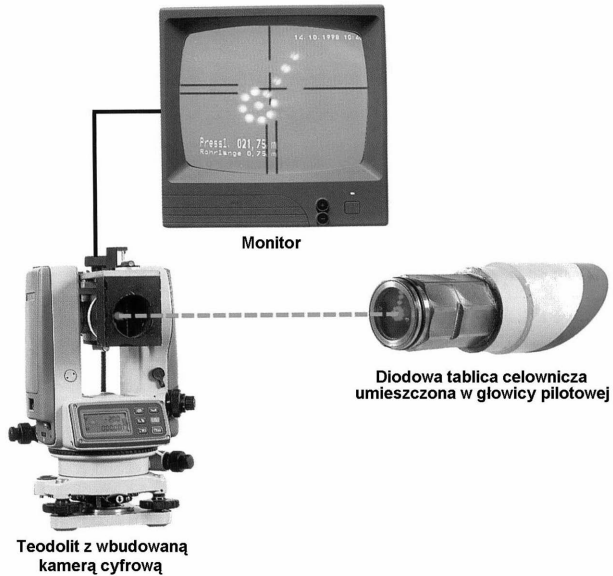
4.4. SYSTEM TELEOPTYCZNY

System teleoptyczny jest stosowany przede wszystkim w metodzie przecisku hydraulicznego z wierceniem pilotowym. Teleoptyczny system sterowania i kontroli, którego zadaniem jest zapewnienie odpowiedniej dokładności przecisku pilotowego, składa się z pięciu zasadniczych elementów: głowicy pilotowej, diodowej tablicy celowniczej (rys. 4.8), umieszczonej bezpośrednio za głowicą pilotową (często zintegrowanej z głowicą pilotową); teodolitu z wbudowaną kamerą cyfrową, monitora oraz zestawu dźwigni sterujących. Na rysunku 4.9 przedstawiono elementy teleoptycznego systemu sterowania i kontroli. Zarówno monitor, teodolit jak i zestaw dźwigni sterujących umieszczone są w wykopie początkowym (rys. 4.10). Sterowanie procesem wbudowywania rurociągu, przy zastosowaniu tego systemu, może się odbywać, tak jak w przypadku systemu radiolokacji, tylko podczas pierwszego etapu robót, tzn. wiercenia pilotowego. Przy pomocy skośnej głowicy pilotowej możliwa jest zmiana kierunku wbudowywania rurociągu zarówno w pionie, jak i w poziomie. Wykorzystywana jest tu ta sama zasada jak w przewiercie sterowanym. Wciskając w grunt głowicę pilotową i jednocześnie obracając ją, uzyskiwana jest prostoliniowa trajektoria przecisku. Jeśli głowica pilotowa będzie tylko wciskana w grunt, to trajektoria wiercenia pilotowego odchyli się w stronę ścięcia głowicy pilotowej. Wprowadzenie korekty kierunku polega więc na zatrzymaniu obrotu głowicy, a wraz z nią żerdzi pilotowych (wiertniczych), ustawieniu głowicy w odpowiednim położeniu kątowym i wciskaniu w grunt głowicy pilotowej wraz z żerdziami bez obrotu.



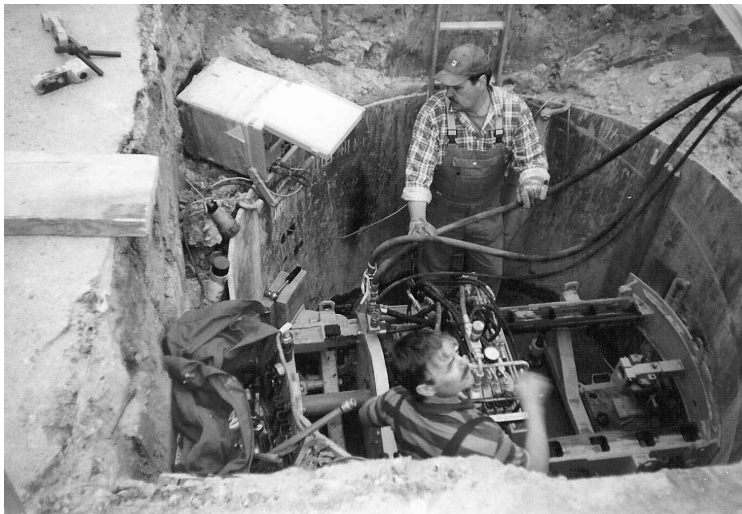
Rys. 4.8. Diodowa tablica celownicza, [68]

Fig. 4.8. A diode target panel, [68]



Rys. 4.9. Elementy teoptycznego systemu sterowania i kontroli, [9]

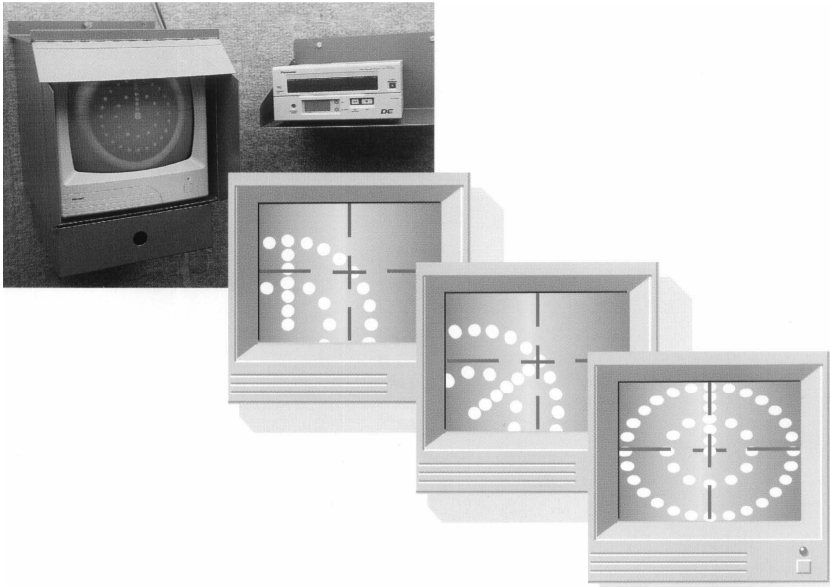
Fig. 4.9. The elements of teleoptical steering and monitoring system, [9]



Rys. 4.10. Monitor, teodolit z wbudowaną kamerą cyfrową oraz wiertnica z zestawem dźwigni sterujących umieszczone w wykopie początkowym (zdjęcie własne dzięki uprzejmości firmy PERFORATOR)

Fig. 4.10. A monitor, a theodolite with digital camera and a pipejacking rig placed in a starting pit (photo courtesy of PERFORATOR firm)

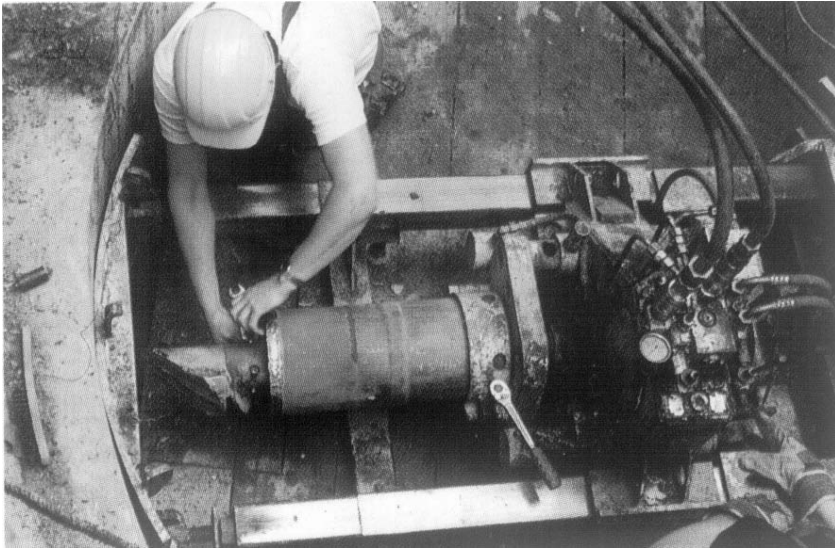
W specjalnej obudowie, bezpośrednio za głowicą pilotową, znajduje się diodowa tablica celownicza, która wskazuje m.in. kierunek ścięcia głowicy. Jest to element systemu kontroli. Teodolit z wbudowaną kamerą cyfrową, umieszczony w wykopie początkowym, wskazuje kierunek przecisku. Jednocześnie poprzez puste w środku żerdzie pilotowe, kamera rejestruje obraz diodowej tablicy celowniczej. Następnie obraz ten jest przekazywany na monitor (rys. 4.11).



Rys. 4.11. Obraz diodowej tablicy celowniczej na monitorze, [68]

Fig. 4.11. A diode target panel picture on a monitor, [68]

System teleoptyczny wykorzystywany jest również w metodzie przecisku hydraulicznego sterowanego (dwuetapowego). W metodzie tej nie ma wiercenia pilotowego, a pierwszym etapem robót jest rozwiercanie gruntu za pomocą wiertła ślimakowego. Jedynie w tym etapie robót możliwe jest sterowanie przeciskiem. Wiertło ślimakowe jest specjalnie ukształtowane i zakończone skośną płytką sterującą (rys. 2.71 oraz rys. 4.12). Sterowanie odbywa się w ten sam sposób jak w poprzednio omówionej metodzie. Bezpośrednio za wiertłem ślimakowym znajduje się diodowa tablica celownicza. Przenośnik ślimakowy, połączony bezpośrednio z wiertłem ślimakowym, jest w środku wydrążony, tak aby obraz diodowej tablicy celowniczej mógł być przekazywany za pomocą kamery (wbudowanej w teodolit) na monitor i analizowany przez operatora. Zarówno teodolit, jak i monitor umieszczone są w wykopie początkowym, tak jak to ma miejsce w przypadku przecisków hydraulicznych z wierceniem pilotowym.



Rys. 4.12. Montaż wiertła ślimakowego skośnie ściętego do systemu przenośników ślimakowych oraz stalowych rur osłonowych, [9]

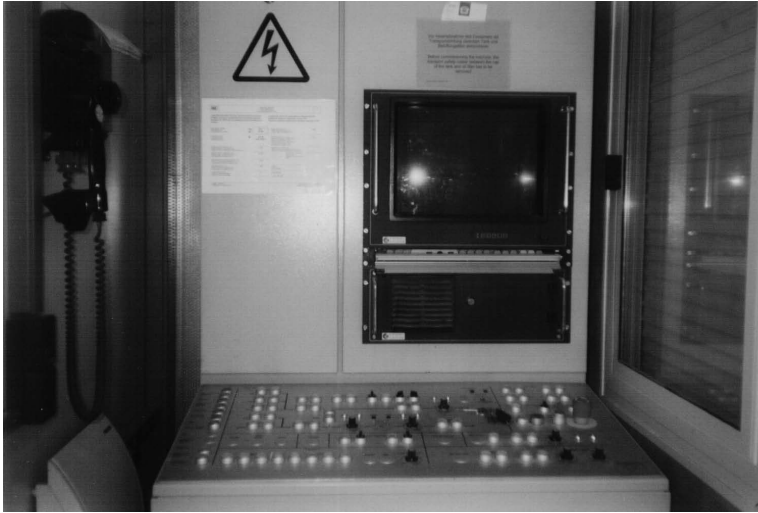
Fig. 4.12. Assembly of a gimlet bit to a screw conveyor and to steel casing pipes, [9]

4.5. SYSTEM LASEROWY

System ten stosowany jest w metodach mikrotunelowania. Charakteryzuje się najwyższymi dokładnościami wbudowania rurociągu, czyli najmniejszymi wartościami odchyień zarówno spadku, jak i osi w planie pomiędzy wbudowanym rurociągiem a projektowanym. Cały proces wbudowywania rurociągu sterowany jest i kontrolowany ze stanowiska operatora (rys. 4.13), umieszczonego w kontenerze sterowniczym. Kontener sterowniczy umieszcza się przy wykopie początkowym, tak aby operator miał w polu widzenia główną stację przeciskową (rys. 4.14).

Operator nadzoruje pracę wszystkich podzespołów i steruje poszczególnymi funkcjami maszyny, a przebieg procesu wiercenia zapisywany jest w pamięci komputera.

Głównym elementem sterowania są siłowniki hydrauliczne umieszczone w drugim segmencie głowicy do mikrotunelowania (rys. 4.15). Proces zmiany kierunku wbudowywania rurociągu następuje poprzez odchylenie kątowe pierwszego segmentu głowicy, właśnie za pomocą siłowników hydraulicznych, poprzez ich odpowiednie wydłużanie i skracanie. Należy dodać, że pierwszy segment głowicy jest połączony z drugim przegubowo. Główny komputer, umieszczony w kontenerze sterowniczym, rejestruje i analizuje dane przesyłane z systemu kontroli.



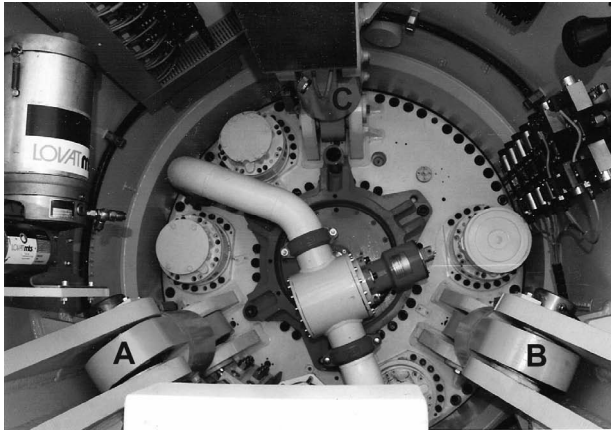
Rys. 4.13. Pulpit sterowniczy umieszczony w kontenerze (zdjęcie własne dzięki uprzejmości firm HERRENKNECHT oraz HYDROBUDOWA – 9 Poznań)

Fig. 4.13. A control desk placed in a steering container (photo courtesy of HERRENKNECHT and HYDROBUDOWA – 9 Poznań)



Rys. 4.14. Kontener sterowniczy umieszczony przy wykopie początkowym (zdjęcie własne dzięki uprzejmości firm HERRENKNECHT oraz HYDROBUDOWA – 9 Poznań)

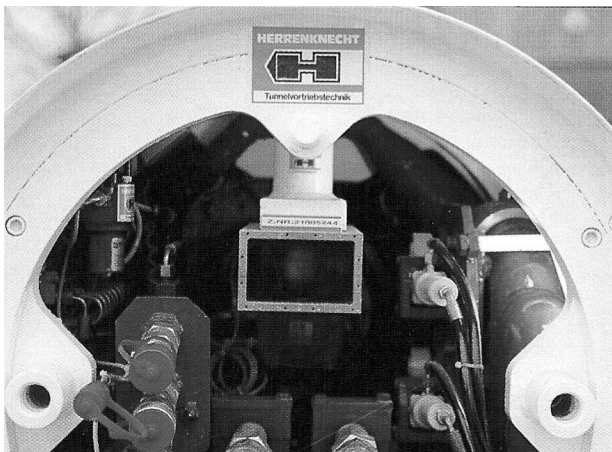
Fig. 4.14. A steering container placed near the starting pit (photo courtesy of HERRENKNECHT and HYDROBUDOWA – 9 Poznań)



Rys. 4.15. A, B, C – Silowniki hydrauliczne umieszczone w drugim segmencie głowicy do mikrotunelowania (zdjęcie własne dzięki uprzejmości firmy LOVAT)

Fig. 4.15. A, B, C – hydraulic jacks placed in the second module of a microtunnelling machine (photo courtesy of LOVAT firm)

Do kontroli przebiegu osi wbudowanego rurociągu służą m.in. następujące urządzenia: tarcza celownicza aktywna (elektroniczny odbiornik wiązki laserowej z tarczą celowniczą aktywną) bądź pasywna, umieszczona w drugim segmencie urządzenia do mikrotunelowania (rys. 4.16) oraz teodolit laserowy, umieszczony w wykopie początkowym. Promień lasera przechodzi przez całą długość wbudowywanego rurociągu, wyznaczając zadany spadek i oś rurociągu w planie, i pada na tarczę celowniczą.



Rys. 4.16. Aktywna tarcza celownicza elektronicznego odbiornika wiązki laserowej, umieszczonego w głowicy mikrotunelowej. [28]

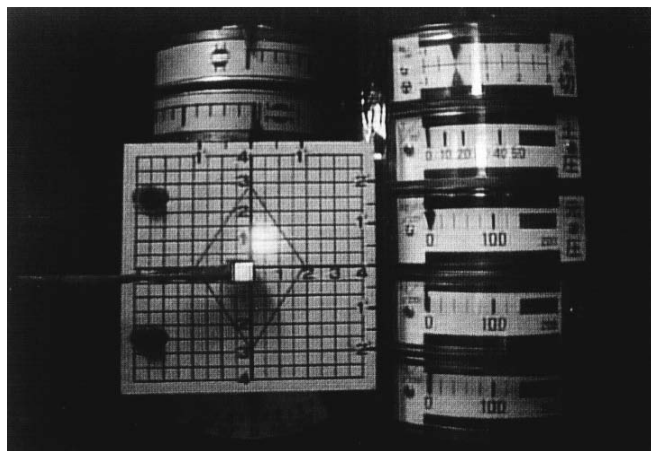
Fig. 4.16. The active target of an electronic receiver of a laser beam. [28]

Tarcza aktywna (rys. 4.17) to zespół fotokomórek, rejestrujących położenie punktu wiązki laserowej w kierunkach X i Y oraz kąty odchylenia w poziomie i w pionie mierzone po osiach tarczy. W przypadku tego rodzaju tarczy, współrzędne plamki świetlnej oraz inklinacja wiązki lasera są szczytywane z tarczy celowniczej i przekazywane przewodem transmisyjnym do stanowiska operatora. Tarcza pasywna (rys. 4.18), stosowana obecnie coraz rzadziej, pracuje natomiast w połączeniu z cyfrową kamerą telewizyjną, umieszczoną bezpośrednio nad tarczą celowniczą. Kamera ta przekazuje do stanowiska operatora obraz plamki świetlnej wiązki lasera, odwzorowany na tarczy celowniczej.



Rys. 4.17. Elektroniczny odbiornik wiązki laserowej z aktywną tarczą celowniczą, [76]

Fig. 4.17. The electronic receiver of a laser beam with an active target, [76]

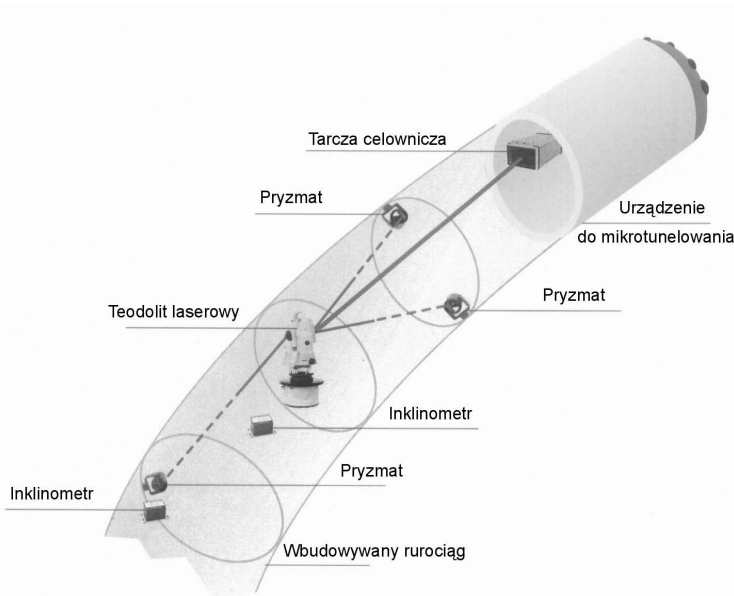


Rys. 4.18. Pasywna tarcza celownicza, [33]

Fig. 4.18. A passive target, [33]

Przy pomocy systemu laserowego możliwe jest wbudowanie rurociągu, którego trasa przebiega po łuku (rys. 4.19). Wówczas stacja lasera przemieszcza się wzdłuż punktów odniesienia, lokalizowanych w obrębie wbudowywanego rurociągu.

Przemieszczanie stacji lasera powoduje samoczynne lub ręczne włączenie cyklu pomiarowego. Częstotliwość cyklu pomiarowego ustala się na stanowisku nadzoru. System zbiera dane odniesienia, porównuje je z punktem odniesienia w mikrotunelu i wyznacza nowy punkt odniesienia oraz punkt kierunkowy. Przesunięcie punktu kierunkowego mierzy się za pomocą innego czujnika i przelicza wstecz. Uzyskane wartości są porównywane. Jeśli występują większe rozbieżności, wprowadza się do komputera rzeczywiste położenie osi rurociągu i dalszy tor przecisku jest oparty na nowym punkcie odniesienia [6].



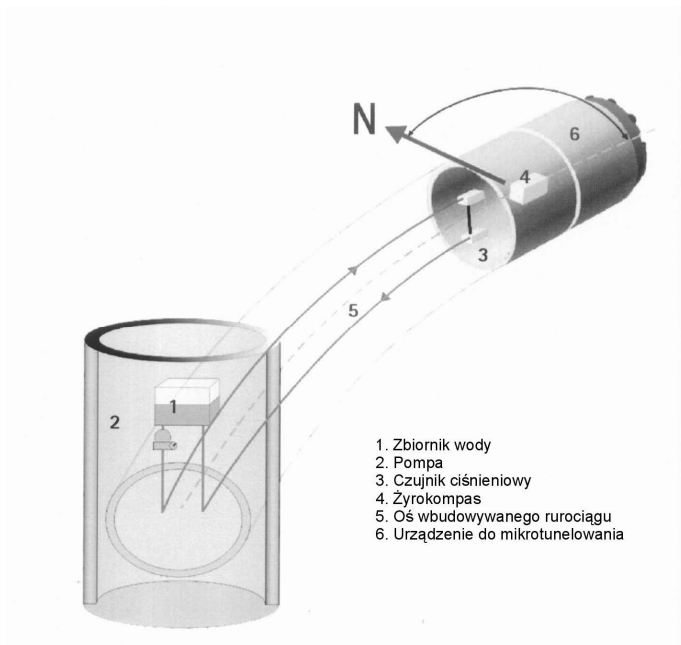
Rys. 4.19. Sterowanie procesem mikrotunelowania po łuku, [76]

Fig. 4.19. Steering process of curved microtunnelling routs, [76]

4.6. SYSTEM ŻYROKOMPASOWY

Elementy służące do sterowania procesem wbudowywania rurociągu w tym systemie są takie same jak dla systemu laserowego, inne natomiast są elementy służące do kontroli poprawności wbudowywania rurociągu. Do elementów tych należą: żyrokompas, poziomnica wodna oraz czujniki ciśnieniowe (rys. 4.20). Elementy te umożliwiają określenie położenia osi przecisku w trójwymiarowych współrzędnych względem projektowanej. Żyrokompas umieszczony jest w urządzeniu do tunelowania bądź mikrotunelowania i mierzy kąt zawarty pomiędzy kierunkiem północy a osią wbudowywanego rurociągu z dokładnością do 1 mrad. Pomiary mogą być dokonywane tylko wówczas, gdy urządzenie do mikrotunelowania jest w spoczynku.

Konieczne jest dokonywanie pomiarów kontrolnych w regularnych odstępach. Drugi z zastosowanych elementów systemu – poziomnica wodna – składa się z następujących elementów: pompy, zbiornika wody, wskaźników wysokości oraz przewodów. Zarówno zbiornik wody, jak i pompa znajdują się w wykopie początkowym. Wzdłuż wbudowywanego rurociągu ułożone są dwa przewody poziomnicy wodnej. Obwód ten łączy pompę, poziom odniesienia oraz wskaźnik wysokości. Zarówno żyrokompas, jak i wskaźniki poziomnicy wodnej połączone są przewodami przesyłającymi dane do komputera klasy PC z odpowiednim oprogramowaniem, umożliwiającym porównanie otrzymanych danych z projektowanymi.



Rys. 4.20. Elementy systemu żyrokompasowego, [76]

Fig. 4.20. The elements of gyro-compass steering system, [76]

ZASADY PROJEKTOWANIA PRZEWIERTÓW STEROWANYCH

5.1. UWAGI WSTĘPNE

Projekt przewiertu sterowanego powinien obejmować następujące zagadnienia:

- analizę warunków geologicznych, hydrogeologicznych, morfologicznych, obecność i rodzaj istniejącej na trasie planowanego przewiertu infrastruktury technicznej naziemnej i podziemnej [82],
- określenie lokalizacji punktu wejścia,
- przyjęcie typu trajektorii przewiertu oraz obliczenie jej parametrów geometrycznych,
- określenie liczby etapów poszerzania (liczba marszy),
- dobór wiertnicy, narzędzi urabiających grunt, narzędzi do poszerzania (głowica pilotowa, świdry gryzowe, rozwiertaki, poszerzacze) i wciągania rurociągu,
- przyjęcie systemu sterowania i kontroli,
- dobór płuczki wiertniczej,
- określenie wielkości sił działających na przewód wiertniczy i rurociąg podczas wbudowywania,
- ustalenie miejsca i wielkości placu maszynowego i montażowego.

Z uwagi na fakt, iż projektowanie przewiertu sterowanego obejmuje wiele zagadnień i aspektów interdyscyplinarnych, dlatego też w niniejszym opracowaniu omówiono tylko wybrane.

5.2. TYPY TRAJEKTORII PRZEWIERTU STEROWANEGO

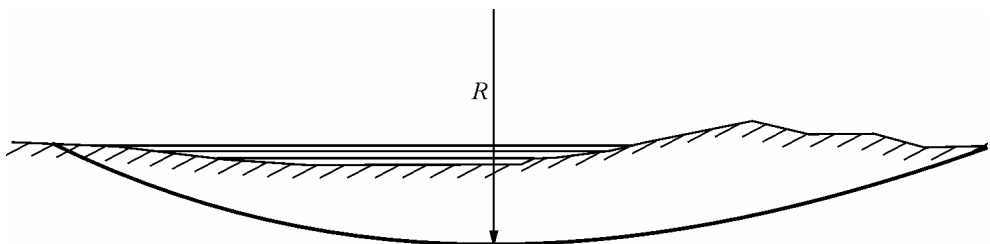
Trajektoria przewiertu sterowanego (punkty wyznaczające oś otworu pilotowego) jest w większości przypadków krzywoliniowa. Łączy punkt wejścia z punktem wyjścia. Określają ją następujące parametry geometryczne: kąt wejścia oraz kąt wyjścia, kształt trajektorii, długości i promienie krzywizny odcinków krzywoliniowych, długości i kąty odchylenia od poziomych odcinków prostoliniowych [82].

Kąt wejścia jest to kąt, pod którym wprowadzany jest w grunt przewód wiertniczy. Wielkość tego kąta zależy przede wszystkim od charakterystyki technicznej stosowanych wiertnic. Jego wartość przyjmuje się zazwyczaj w zakresie $8^\circ - 20^\circ$. Kąt wyjścia jest to kąt, pod jakim wyprowadzany jest z gruntu na powierzchnię terenu przewód wiertniczy. Jego wartość waha się w granicach $5^\circ - 12^\circ$.

Kształt trajektorii przewiertu sterowanego przyjmuje się zazwyczaj jako jeden z trzech omówionych poniżej typów [82]:

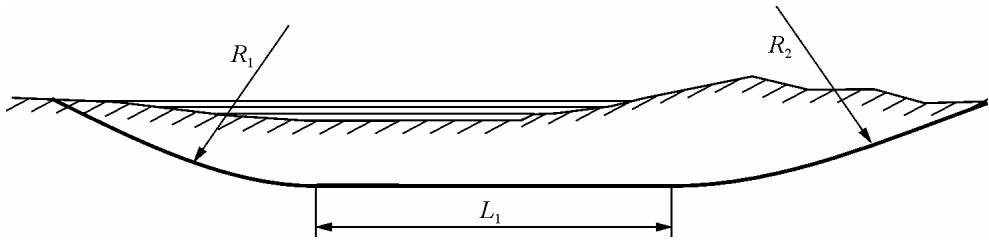
- trajektoria składająca się z jednego odcinka krzywoliniowego, najczęściej o stałym promieniu krzywizny (rys. 5.1),
- trajektoria składająca się z trzech odcinków: krzywoliniowego, prostoliniowego oraz krzywoliniowego (rys. 5.2),
- trajektoria składająca się z pięciu odcinków na przemian prosto- i krzywoliniowych (rys. 5.3).

Pierwszy typ trajektorii przewiertu sterowanego (trajektoria krzywoliniowa o stałym promieniu krzywizny) jest najmniej korzystny, bowiem na całej długości wykonywanego przewiertu musi być używany system sterowania i kontroli. W przypadkach przekroczeń większych rzek, żeglownych kanałów, węzłów kolejowych, dróg szybkiego ruchu, autostrad, użycie systemu sterowania i kontroli (zarówno radiometrycznego, jak i magnetycznego lub elektromagnetycznego) może być utrudnione, bądź nawet niemożliwe. W przypadku trajektorii drugiego i trzeciego typu obecność prostoliniowego odcinka poziomego umożliwia przewiert bez stosowania systemu sterowania i kontroli na tym odcinku, bądź znaczne wydłużenie odcinków pomiarowych przy stosowaniu systemu kontroli. W przypadku występowania na trasie rurociągu gruntów trudno urabialnych przyjęcie w projekcie trajektorii składającej się z pięciu odcinków, na przemian prosto- i krzywoliniowych, umożliwia zaprojektowanie przebiegu trasy rurociągu w ten sposób, że odcinki prostoliniowe (pierwszy i piąty) będą przechodzić przez grunty trudno urabialne. Zaprojektowanie odcinków prostoliniowych trajektorii, przebiegających przez grunty trudno urabialne umożliwia użycie udaru jako wspomaganie wiercenia. Natomiast w przypadku odcinków krzywoliniowych przebiegających przez grunty trudno urabialne zastosowanie udaru jest utrudnione.



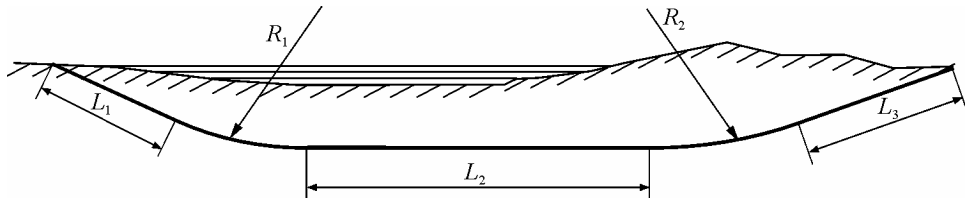
Rys. 5.1. Trajektoria przewiertu sterowanego o stałym promieniu krzywizny, [82]

Fig. 5.1. The directional drilling trajectory of a constant curvature radius, [82]



Rys. 5.2. Trajektorja przewiertu sterowanego składająca się z dwóch odcinków krzywoliniowych oddzielonych odcinkiem prostoliniowym, [82]

Fig. 5.2. The directional drilling trajectory consisted of two curvilinear sections separated by a rectilinear section, [82]

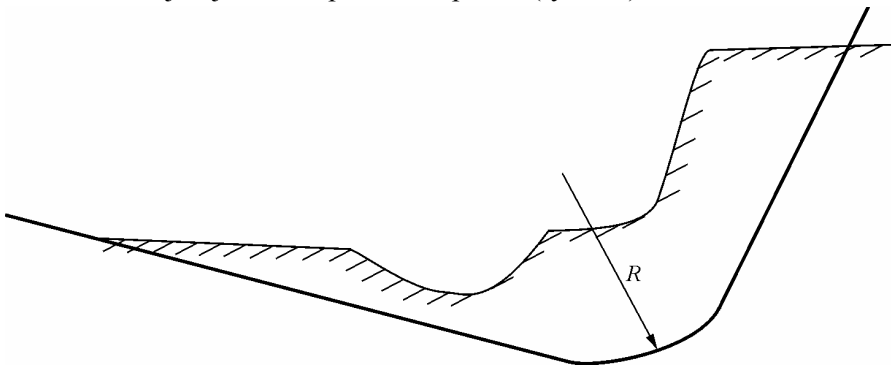


Rys. 5.3. Trajektorja przewiertu sterowanego składająca się z pięciu odcinków na przemian prosto- i krzywoliniowych, [82]

Fig. 5.3. The directional drilling trajectory consisted of five sections by turns rectilinear and curvilinear, [82]

Trzeci typ trajektorii jest zazwyczaj dłuższy od pozostałych, ale czas i koszty jego wykonania są znacznie mniejsze [82].

W przypadkach szczególnego ukształtowania terenu możliwe jest zastosowanie rzadko stosowanej trajektorii – prosta łuk prosta (rys. 5.4).



Rys. 5.4. Trajektorja przewiertu sterowanego składająca się z odcinków: prostoliniowego, krzywoliniowego i prostoliniowego

Fig. 5.4. The directional drilling trajectory consisted of a rectilinear section, a curvilinear section and a rectilinear section

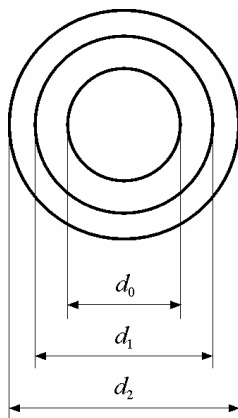
5.3. LICZBA ETAPÓW POSZERZANIA (LICZBA MARSZY)

Liczba etapów poszerzania zależy od wymaganej średnicy rozwiercanego otworu po ostatnim poszerzeniu, rodzaju gruntu oraz parametrów technicznych zastosowanych urządzeń wiertniczych. Wielkość tę można obliczyć przy założeniu jednakowego zużycia energii w poszczególnych etapach rozwiercania (marszach) oraz jednakowej długości otworu w każdym etapie poszerzania [82]. Zużycie energii jest wówczas wprost proporcjonalne do objętości urabianego gruntu. Wykorzystując założenie jednakowej długości otworu, powyższy wniosek można nieco uprościć do stwierdzenia, że zużycie energii jest wprost proporcjonalne do pól powierzchni przekrojów poprzecznych otworów w każdym etapie poszerzania [82].

Dla otworu pilotowego o średnicy d_0 i pierwszego poszerzenia o średnicy d_1 uzyskuje się zależność [82]:

$$\frac{\pi d_0^2}{4} = \frac{\pi d_1^2}{4} - \frac{\pi d_0^2}{4}, \quad (5.1)$$

pole powierzchni otworu pilotowego jest równe polu powierzchni pierwszego etapu poszerzania (rys. 5.5).



Rys. 5.5. Porównanie pól powierzchni otworu pilotowego z polem powierzchni pierwszego i drugiego poszerzenia

Fig. 5.5. The areas comparison of pilot bore and the first and the second enlarging

Należy dodać, że średnica otworu pilotowego zależy od rodzaju gruntu, a co za tym idzie użytej głowicy pilotowej. Wielkość tę przyjmuje się od 70 do 180 mm.

Dla pierwszego i drugiego etapu poszerzania analogicznie otrzymujemy zależność [82]:

$$\frac{\pi d_1^2}{4} - \frac{\pi d_0^2}{4} = \frac{\pi d_2^2}{4} - \frac{\pi d_1^2}{4} \quad (5.2)$$

Uogólniając powyższe wzory do n poszerzeń otrzymujemy [79]:

$$\frac{\pi d_{n-1}^2}{4} - \frac{\pi d_{n-2}^2}{4} = \frac{\pi d_n^2}{4} - \frac{\pi d_{n-1}^2}{4}. \quad (5.3)$$

Z powyższych zależności można określić średnice otworów poszczególnych etapów poszerzania [82]:

$$d_i = d_0 \sqrt{i+1}. \quad (5.4)$$

Obliczone z powyższego wzoru średnice poszczególnych etapów poszerzania należy zweryfikować biorąc pod uwagę typoszeregi narzędzi urabiających i poszerzających.

5.4. MINIMALNY PROMIĘŃ GIĘCIA PRZEWODU WIERTNICZEGO, RUROCIĄGU

Minimalny promień gięcia przewodu wiertniczego oraz wciągane rurociągu jest bardzo ważnym zagadnieniem projektowania trajektorii przewiertu sterowanego. Żaden spośród promieni odcinków trajektorii, przebiegających po łuku, nie może być mniejszy od minimalnego promienia gięcia przewodu wiertniczego lub rurociągu. Miarodajnym do obliczeń minimalnym promieniem gięcia jest promień przewodu wiertniczego w przypadku wbudowywania rurociągu wykonanego z polietylenu, natomiast w przypadku rurociągu stalowego miarodajnym jest minimalny promień gięcia rurociągu i wynosi on 1000 x DZ rurociągu. Minimalny promień gięcia żerdzi wiertniczych w przewodzie wiertniczym zależy od średnicy żerdzi, grubości ścianki, rodzaju połączeń pomiędzy żerdziami oraz producenta żerdzi.

Wybrane parametry techniczne żerdzi wiertniczych wraz z minimalnym promieniem gięcia zestawiono w tabeli 5.1.

Tabela 5.1. Wybrane parametry techniczne żerdzi wiertniczych, [58]

Table 5.1. The chosen technical parameters of drilling rods, [58]

| Producent | Średnica, mm | Długość, m | Minimalny promień gięcia, m |
|-------------|--------------|------------|-----------------------------|
| Case | 48 | 3 | 31 |
| | 55 | 3 | 36 |
| Ditch Witch | 28 | 1,5 | 21 |
| | 52 | 3 | 40 |
| | 65 | 4,5 | 46 |
| | 70 | 4,5 | 70 |
| Terra | 35 | 3 | 12 |
| | 45 | 1,5 | 25 |
| | 45 | 3 | 25 |
| | 55 | 3 | 35 |

cd. tabeli 5.1

| Producent | Średnica, mm | Długość, m | Minimalny promień gięcia, m |
|----------------|--------------|------------|-----------------------------|
| Tracto-Technik | 48 | 1,25 | 38 |
| | 54 | 3 | 42 |
| | 55 | 3 | 38 |
| | 82 | 3 | 75 |
| Vermeer | 42 | 1,8 | 29 |
| | 48 | 3 | 30 |
| | 52 | 3 | 31 |
| | 60 | 3 | 33 |
| | 73 | 4,5 | 51 |
| | 89 | 4,5 | 60 |

5.5. ŚREDNICA ROZWIERCANEGO OTWORU

W przypadku przewiertów sterowanych średnica otworu po ostatnim rozwiercaniu zależy od materiału rurociągu oraz długości wykonywanego odcinka. Dla rurociągów wykonywanych z polietylenu, średnica rozwiercanego otworu jest większa od średnicy zewnętrznej wprowadzanej rury odpowiednio o [58]:

- ok. 20% dla długości przewiertów do 100 m,
- ok. 30% dla długości przewiertów do 200 m,
- ok. 40% dla długości przewiertów do 300 m,
- ok. 50% dla długości przewiertów powyżej 300 m.

Dla rurociągów stalowych, średnica rozwiercanego otworu powinna być większa o około 50% od średnicy zewnętrznej wprowadzanej rury [58], niezależnie od długości przewiertu.

5.6. MINIMALNA GŁĘBOKOŚĆ POSADOWIENIA RUROCIĄGU WZGLĘDEM JEGO OSI

Na terenach, gdzie planowana trasa rurociągu wbudowanego za pomocą przewiertu sterowanego przebiega pod drogami, ulicami, lotniskami i innymi obiektami, pod którymi nie może zaistnieć naruszenie struktury gruntu, należy rozważyć minimalną głębokość posadowienia rurociągu. Minimalna wysokość przykrycia gruntem nad wierzchołkiem wbudowywanego rurociągu przyjmuje się równą ośmiu średnicom rozwiercanego otworu. Należy dodać do tej wartości jeszcze połowę średnicy rozwiercanego otworu, gdyż trajektoria przewiertu oraz oś wbudowywanego rurociągu przyjmowana jest w osi rozwiercanego otworu, ta z kolei w osi wiercenia pilotowego. Minimalną wysokość przykrycia gruntem rozważa się tylko dla odcinków trajektorii prostoliniowych, poziomych oraz w przypadku tra-

jektorii o stałym promieniu krzywizny dla najniżej położonego punktu, z uwagi na najbardziej niekorzystny rozkład sił mogących powodować naruszenie struktury gruntu na powierzchni terenu.

Nieco innym zagadnieniem jest minimalna głębokość posadowienia rurociągu pod korytem rzeki lub dnem innych zbiorników wodnych (również względem jego osi). Aspekt ten jest niezwykle istotny, w projektowaniu przewiertów sterowanych, ze względu na możliwość penetracji płuczki wiertniczej w gruncie oraz przenikanie jej do zbiorników wodnych, co jest oczywiście zjawiskiem niepożądanym. Aby wykluczyć taką możliwość, minimalną głębokość posadowienia rurociągu pod korytem rzeki lub dnem zbiornika wodnego projektuje się jako równą dwóm i pół średnicy rozwiercanego otworu. Należy dodać, że w gruntach bardzo przepuszczalnych lub spękanych należy tę wartość odpowiednio zwiększyć lub odpowiednio zaprojektować płuczkę wiertniczą.

5.7. OBLICZENIE PARAMETRÓW TRAJEKTORII PRZEWIERTU STEROWANEGO

Wśród parametrów trajektorii przewiertu sterowanego rozróżnia się: odległość od punktu wejścia, zagłębienie osi przewodu wiertniczego względem poziomego porównawczego, zagłębienie osi przewodu wiertniczego względem poziomu terenu oraz kąt nachylenia przewodu wiertniczego względem poziomu. Aby móc określić te i inne jeszcze parametry trajektorii, konieczna jest znajomość ukształtowania terenu w obrębie trajektorii (rzędne terenu) oraz znajomość zasad obliczania przyrostów głębokości dla poszczególnych odcinków trajektorii lub żerdzi wiertniczych.

Obliczanie przyrostów głębokości dla poszczególnych żerdzi wiertniczych lub odcinków przewodu wiertniczego może odbywać się dwoma sposobami:

- przyjmując stały krok pomiarowy na długości przewiertu w rzucie poziomym lub
- dla każdej żerdzi wiertniczej.

Zazwyczaj stosuje się pierwszy sposób obliczania parametrów trajektorii przewiertu sterowanego, z uwagi na fakt, iż odczyt systemu sterowania i kontroli przeprowadza się w stałych odstępach równych krokowi pomiarowemu lub jego wielokrotności, i jest to wartość całkowita równa np. 3, 5 m. W przypadku drugiego sposobu, przyjęcie w projekcie danej długości żerdzi wiertniczych sugerowałoby konieczność wykonania przewiertu sterowanego wiertnicą zadanej z góry firmy, o charakterystycznej długości żerdzi. Powodowałoby również konieczność odczytu i weryfikacji danych z systemu sterowania i kontroli dla różnych długości odcinków pomiarowych, różniących się między sobą o kilka centymetrów np. 4,25; 4,29.

W przypadku odcinków trajektorii prostoliniowych poziomych, dla których nie stosuje się systemu sterowania, a tylko system kontroli, można przyjąć wielokrotność stałego kroku pomiarowego. Zagłębienie osi przewodu wiertniczego w i -tym punkcie względem rzędnej poziomu terenu w punkcie wejścia (poziom porównawczy), dla stałego kroku pomiarowego (rys. 5.6), określa się według wzoru:

$$G_i = \sum_{i=1}^n g_i = L_p \cdot \sum_{i=1}^n \operatorname{tg} \frac{\alpha_i + \alpha'_i}{2}. \quad (5.5)$$

Natomiast zagłębienie i -tej żerdzi wiertniczej, mierzone dla jej dolnego końca względem rzędnej poziomu terenu w punkcie wejścia, obliczane jest ze wzoru:

$$G_i = \sum_{i=1}^n g_i = L_z \cdot \sum_{i=1}^n \sin \frac{\alpha_i + \alpha'_i}{2}, \quad (5.6)$$

g_i – przyrost głębokości dla danego i -tego stałego kroku pomiarowego lub i -tej żerdzi wiertniczej, m,

L_p – długość stałego odcinka pomiarowego, m,

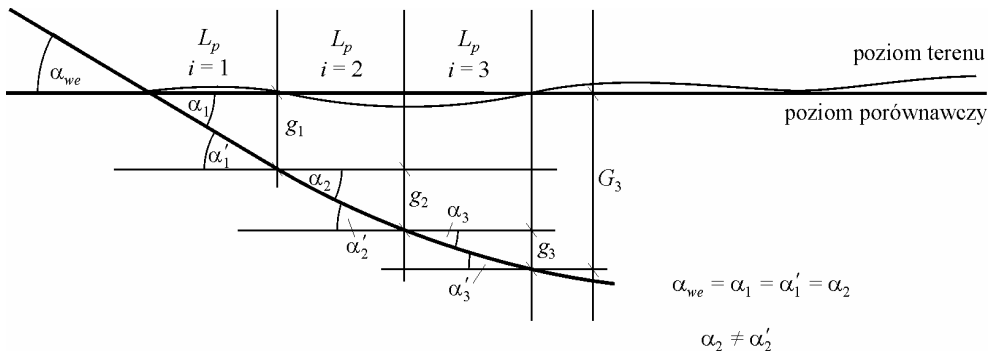
L_z – przyjęta długość żerdzi wiertniczych, m,

α_i – kąt nachylenia i -tej żerdzi wiertniczej lub i -tego odcinka przewodu wiertniczego (w przypadku stałego kroku pomiarowego) do poziomu w górnej ich części, °,

α'_i – kąt nachylenia i -tej żerdzi wiertniczej lub i -tego odcinka przewodu wiertniczego (w przypadku stałego kroku pomiarowego) do poziomu w dolnej ich części, °,

α_{we} – kąt wejścia żerdzi wiertniczych,

α_{wy} – kąt wyjścia żerdzi wiertniczych.



Rys. 5.6. Obliczenie przyrostów głębokości oraz zagłębienia względem rzędnej poziomu terenu w punkcie wejścia dla i -tego odcinka przewodu wiertniczego

Fig. 5.6. Calculation of depth increments and cover considering the ordinate of ground level in the starting point of drilling for i -section of a drilling conduit

Kąty α_1 , α_1' oraz α_2 są równe kątowi wejścia, ponieważ pierwszą żerdź lub pierwszy odcinek przewodu wiertniczego wprowadza się w grunt bez tzw. sterowania, czyli nie następuje zmiana kąta na długości żerdzi względem poziomu. Dzieje się tak dlatego, ponieważ pierwsza żerdź jest centralnie zamocowana w automatycznych imadłach do skręcania i rozkręcania żerdzi w wiertnicy. Zmiana kąta może nastąpić dopiero w obrębie drugiej żerdzi wiertniczej lub drugiego stałego kroku pomiarowego. Należy dodać, że zmiana kąta na długości żerdzi nie powinna przekraczać 4-5° (przy czym 4° – dla żerdzi o większej średnicy, natomiast 5° – dla żerdzi o mniejszej średnicy).

W celu zmniejszenia oporów przy wciąganiu rurociągu projektowana trajektoria przewiertu powinna się całkowicie zawierać w jednej płaszczyźnie pionowej. Projektowanie trajektorii w przestrzeni trójwymiarowej przedstawiono w pracy [81].

5.8. LOKALIZACJA I WYMIARY PLACU MASZYNOWEGO I MONTAŻOWEGO

Do ustawienia wiertnicy na stanowisku roboczym potrzebny jest teren o długości od 4 do 10 m w osi przewiertu i szerokości od 2 do 6 m, w zależności od klasy wiertnicy. Plac maszynowy powinien również obejmować miejsce na zapasowe magazynki z żerdziami wiertniczymi, stanowisko przygotowania płuczki wiertniczej oraz ewentualnie stanowisko separacji płuczki i inne urządzenia dodatkowe. Od strony punktu wyjścia należy przewidzieć miejsce na rurociąg zespawany lub zgrzany w całości oraz miejsce na żerdzie wiertnicze i narzędzia rozwiercające używane do kolejnych poszerzeń. Zarówno plac maszynowy, jak i montażowy powinien posiadać drogi dojazdowe. Dla większych przewiertów, od strony placu maszynowego należy przewidzieć miejsce poboru wody, niezbędne do przygotowania płuczki bentonitowej. Wielkość placu maszynowego w zależności od długości przewiertu zestawiono w tabeli 5.2.

Tabela 5.2. Wielkość placu maszynowego w zależności od długości przewiertu, [12]

Table 5.2. The area of rig site subject to the length of drilling, [12]

| Rodzaj przewiertu | Długość przewiertu, m | Wielkość placu maszynowego, m |
|-------------------|-----------------------|-------------------------------|
| krótki | < 300 | 18 x 30 |
| średni | 300 – 900 | 30 x 45 |
| długi | 900 – 1350 | 60 x 90 |

ZASADY PROJEKTOWANIA PRZECISKÓW HYDRAULICZNYCH I MIKROTUNELOWANIA

6.1. UWAGI WSTĘPNE

Rurociągi wbudowywane metodami przecisków hydraulicznych i mikrotunelowania projektowane są pod względem statyki odmiennie niż rurociągi wbudowywane metodami tradycyjnymi, wykopowymi. Rurociągi te muszą, w trakcie ich wbudowywania, zapewnić przeniesienie siły przecisku, działającej wzdłuż osi rurociągu. Natomiast rurociągi wbudowywane metodami tradycyjnymi są projektowane na przeniesienie sił wewnętrznych wywołanych obciążeniem pionowym stałym i zmiennym (w tym obciążeniem od ciężaru gruntu znajdującego się nad rurociągiem, obciążeń użytkowych od pojazdów i innymi) w trakcie ich eksploatacji. Obciążenia te działają w kierunku poprzecznym do osi rurociągu (prostopadłym do osi rurociągu). Projektując rurociągi wbudowywane metodami przecisków hydraulicznych i mikrotunelowania również należy sprawdzić czy przeniosą obciążenia pionowe działające w kierunku poprzecznym do ich osi. Obciążenia te są jednak znacznie mniejsze niż obciążenia siłą przecisku.

6.2. SIŁA PRZECISKU

Siła przecisku jest równa oporom przy wbudowywaniu rurociągu. Jej wielkość zależy od wielu czynników, m.in. od:

- rodzaju gruntu (ciężar objętościowy gruntu, wielkość współczynnika tarcia powierzchniowego gruntu o zewnętrzną powierzchnię wbudowywanego rurociągu),
- wysokości warstwy gruntu powyżej wierzchołka wbudowywanego rurociągu,
- ciężaru własnego wbudowywanego rurociągu (rodzaj materiału, grubość ścianki rury, średnica rurociągu, długość jednorazowo wbudowywanego odcinka),
- rodzaju i jakości złączy,
- sposobu urabiania gruntu,

- wpływu obciążenia zmiennego, np. od pojazdów kołowych,
- od przeszkód na trasie przecisku.

Najczęściej siła przecisku określana jest za pomocą wzoru:

$$P_p = \sum_{i=1}^n f_{ti} \cdot L_i [2(P_{vpi} + P_{hpi}) + g_k] + G_p, \quad (6.1)$$

P_p – siła przecisku, kN,

f_{ti} – współczynnik tarcia powierzchniowego gruntu o zewnętrzną powierzchnię wbudowywanego rurociągu, charakterystyczny dla poszczególnych i -tych odcinków przecisku, zróżnicowanych wielkością obciążeń oraz rodzajem gruntu, [-],

L_i – długości poszczególnych i -tych odcinków przecisku, m,

P_{vpi} – obciążenie pionowe (stałe od gruntu, zmienne od taboru samochodowego, kolejowego i inne), przypadające na jeden metr długości wbudowywanego rurociągu, kN/m,

P_{hpi} – obciążenie poziome (stałe od gruntu-parcie poziome gruntu, zmienne od taboru samochodowego, kolejowego i inne), przypadające na jeden metr długości wbudowywanego rurociągu, kN/m,

g_k – ciężar konstrukcji rurociągu, kN/m,

G_p – opór wciskania części czołowej lub opór skrawania (urabiania gruntu), kN.

W przypadku mikrotunelowania wzór ten należałoby uzupełnić dodając ciężar urządzenia do mikrotunelowania.

Cała długość przecisku L dzielona jest na odcinki cząstkowe L_i , zróżnicowane wielkością obciążeń oraz rodzajem gruntu. W praktyce dąży się do ograniczenia liczby odcinków, uśredniając często wielkości obciążeń i rodzaj gruntu oraz przyjmując warunki mniej korzystne.

Wartość współczynnika tarcia powierzchniowego gruntu o zewnętrzną powierzchnię wbudowywanego rurociągu zależy przede wszystkim od rodzaju gruntu, materiału wbudowywanego rurociągu oraz zastosowania płuczki bentonitowej i jej własności (zastosowanie płuczki bentonitowej istotnie zmniejsza wartość tego współczynnika). Wartości współczynnika tarcia powierzchniowego gruntu o zewnętrzną powierzchnię wbudowywanego rurociągu stalowego zestawiono w tabeli 6.1.

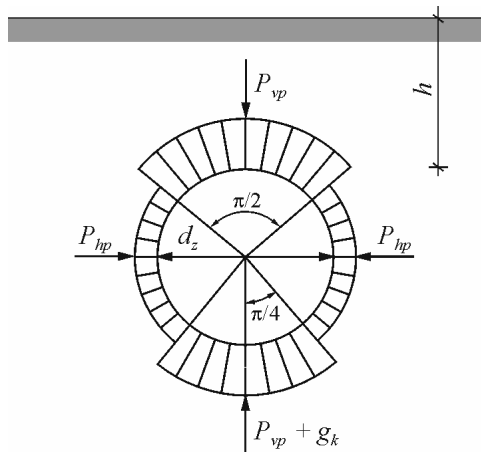
Istotnym zagadnieniem w podanym wzorze (6.1) jest obliczenie obciążeń pionowych i poziomych działających na wbudowywany rurociąg. W praktyce korzysta się z kilku metod.

Dla $h/d_z \leq 1$ można wykorzystać metodę aktywnego parcia gruntu [36] (rys. 6.1).

Tabela 6.1. Wartości współczynnika tarcia powierzchniowego gruntu o zewnętrzną powierzchnię wbudowywanego rurociągu stalowego, [36]

Table 6.1. The values of surface friction factor for soil and the external surface of built in steel pipeline, [36]

| Rodzaj gruntu | f_i |
|--------------------------|-------------|
| II | 0,51 – 0,56 |
| Gлина ilasta | 0,45 – 0,55 |
| Gliny ilasto-piaszczyste | 0,48 – 0,83 |
| Glina | 0,47 – 0,71 |
| Glina piaszczysta | 0,51 – 0,55 |
| Piasek gliniasty | 0,59 – 0,67 |
| Piasek | 0,53 – 0,55 |



Rys. 6.1. Rozkład obciążeń działających na rurociąg w metodzie aktywnego parcia gruntu, [36]

Fig. 6.1. Load distribution in a pipeline in active earth pressure method, [36]

Obciążenie pionowe od gruntu oblicza się według wzoru:

$$P_{vp} = \frac{\pi}{4} d_z \cdot h \cdot \gamma_g \quad (6.2)$$

Obciążenie poziome od gruntu (parcie poziome gruntu) oblicza się według wzoru:

$$P_{hp} = \frac{\pi}{4} d_z \left(h + \frac{d_z}{2} \right) \cdot \gamma_g \cdot \operatorname{tg}^2 \left(\frac{\pi}{4} - \frac{\varphi'}{2} \right), \quad (6.3)$$

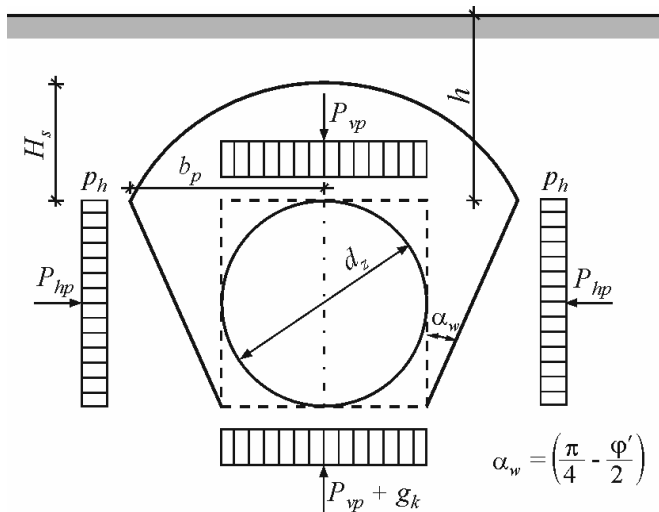
P_{vp} – obciążenie pionowe od gruntu, kN/m,
 P_{hp} – obciążenie poziome od gruntu (parcie poziome gruntu), kN/m,
 d_z – średnica zewnętrzna wbudowywanego rurociągu, m,
 h – wysokość warstwy gruntu powyżej wierzchołka rurociągu, m,
 γ_g – ciężar objętościowy gruntu, kN/m³,
 φ' – kąt tarcia wewnętrzny gruntu, °.

Wzory (6.2) i (6.3) wykorzystuje się jednak bardzo rzadko ze względu na warunek $h/d_z \leq 1$, w rzeczywistości rurociągi posadowione są znacznie głębiej.

Dla $h/d_z > 2$ można zastosować metodę Protodiakonowa [36] (rys. 6.2), w której zakłada się powstawanie nad wbudowywanym rurociągiem sklepienia gruntowego przenoszącego obciążenia od gruntu znajdującego się powyżej sklepienia. W metodzie tej obciążenie pionowe od gruntu oblicza się według wzoru:

$$P_{vp} = 0,7 \cdot \gamma_g \cdot H_s \cdot d_z, \quad (6.4)$$

P_{vp} – pionowe obciążenie od gruntu, kN/m,
 γ_g – ciężar objętościowy gruntu, kN/m³,
 H_s – wysokość sklepienia gruntowego, m,
 d_z – średnica zewnętrzna wbudowywanego rurociągu, m.



Rys. 6.2. Rozkład obciążeń działających na rurociąg w metodzie Protodiakonowa, [36]

Fig. 6.2. Load distribution in a pipeline in Protodiakonov method, [36]

Natomiast obciążenie poziome od gruntu (parcie poziome gruntu) oblicza się według wzoru (6.5) lub (6.6):

$$P_{hp} = 0,6 \cdot P_{vp}, \quad (6.5)$$

$$P_{hp} = 0,8 \cdot P_{vp}. \quad (6.6)$$

Należy dodać, że wzór (6.5) stosuje się dla gruntów niespoistych, natomiast wzór (6.6) dla gruntów spoistych.

Wysokość sklepienia gruntowego oblicza się ze wzoru:

$$H_s = \frac{b_p}{f_{pd}}, \quad (6.7)$$

H_s – wysokość sklepienia gruntowego, m,

b_p – połowa rozpiętości sklepienia, m,

f_{pd} – współczynnik wytrzymałości według Protodiakonowa, zależny od rodzaju gruntu (tab. 6.2), [-].

Tabela 6.2. Współczynniki wytrzymałości według Protodiakonowa, [24]

Table 6.2. Strength coefficient according to Protodiakonov, [24]

| Rodzaj gruntu | f_{pd} |
|---|----------|
| Łupki ilaste średniej twardości, piaskowce miękkie, wapienie, zlepińce miękkie | 4,0 |
| Łupki średniej zwartości, margle zwarte, gliny zwarte | 3,0 |
| Łupki miękkie, wapienie miękkie, kredy, grunty zmarznięte, otoczaki scementowane, grunty kamieniste | 2,0 |
| Iły zwarte, rumosze skalne, otoczaki zleżałe, łupki zwietrzałe | 1,5 |
| Grunty gliniaste i żwirowe | 1,0 |
| Grunt spoisty półzwarty, less, żwir | 0,8 |
| Grunty próchniczne, torfy, piaski wilgotne, gliny piaszczyste w stanie plastycznym | 0,6 |
| Ospiska piasku i żwiru, grunty nasypowe | 0,5 |
| Pyły i iły nawodnione | 0,3 |

Wartość połowy rozpiętości sklepienia jest określana według wzoru:

$$b_p = \frac{d_z}{2} + d_z \cdot \operatorname{tg}^2 \left(\frac{\pi}{4} - \frac{\varphi'}{2} \right), \quad (6.8)$$

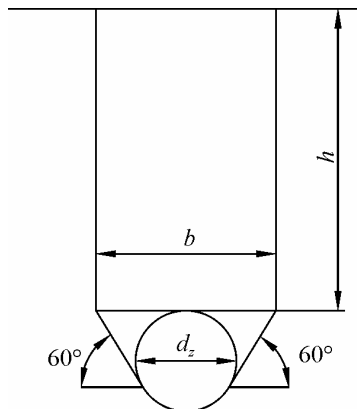
d_z – średnica zewnętrzna wbudowywanego rurociągu, m,

φ' – kąt tarcia wewnętrznego gruntu, °.

Obliczenie obciążenia pionowego i poziomego od gruntu można również przeprowadzić według wytycznych niemieckich ATV A 161. Metoda ta zakłada, że w trakcie wykonywania przecisku zostaje zmieniony stan naprężeń w obszarze gruntu wokół wbudowywanego rurociągu. Następuje wówczas zmniejszenie obciążenia gruntem, gdyż spulchnienie gruntu w obszarze wierzchołka rurociągu oraz szczelina pierścieniowa wokół rurociągu wywołują przemieszczanie się obciążeń z obszaru nad rurociągiem na obszar poza nim. Obok wbudowywanego rurociągu w gruncie wskutek rozluźnienia gruntu powstają płaszczyzny poślizgu usytuowane pod kątem 60° , przechodzące wyżej w płaszczyznę pionową [38]. Szerokość rozluźnionego obszaru gruntu nad wbudowywanym rurociągiem określana jest jako szerokość strefy wpływu rozluźnienia i wynosi:

$$b = d_z \cdot \sqrt{3}, \quad (6.9)$$

b – szerokość strefy wpływu rozluźnienia gruntu nad wbudowywanym rurociągiem, m,
 d_z – średnica zewnętrzna wbudowywanego rurociągu, m.



Rys. 6.3. Szerokość strefy wpływu rozluźnienia b , [38]

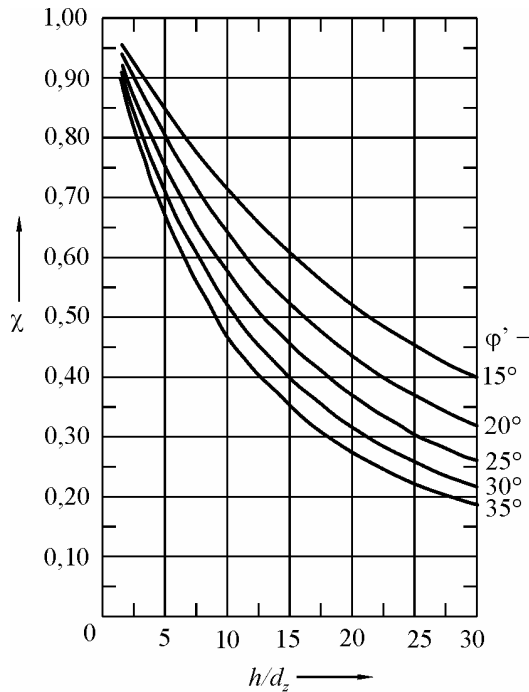
Fig. 6.3. The width of ravelling zone b , [38]

Współczynnik odciażający χ uwzględnia występowanie tarcia gruntu spulchnionego o grunt nienaruszony w płaszczyznach ścinania (rys. 6.3) i jest wyrażony wzorem [38]:

$$\chi = \frac{1 - e^{-2K_1 \cdot \operatorname{tg}\left(\frac{\varphi'}{2}\right) \cdot \frac{h}{b}}}{2K_1 \cdot \operatorname{tg}\left(\frac{\varphi'}{2}\right) \cdot \frac{h}{b}}, \quad (6.10)$$

- χ – współczynnik odciażający, uwzględniający tarcie gruntu spulchnionego o grunt nienaruszony w płaszczyznach ścinania, [-],
 K_1 – współczynnik parcia poziomego gruntu nad wierzchołkiem wbudowywanego rurociągu, [-],
 φ' – kąt tarcia wewnętrzznego gruntu, $^\circ$,
 h – wysokość warstwy gruntu nad wbudowywanym rurociągiem, m,
 b – szerokość strefy wpływu rozluźnienia gruntu nad wbudowywanym rurociągiem, m.

Współczynnik zmniejszający χ można również odczytać z wykresu (rys. 6.4) dla $K_1 = 0,5$.



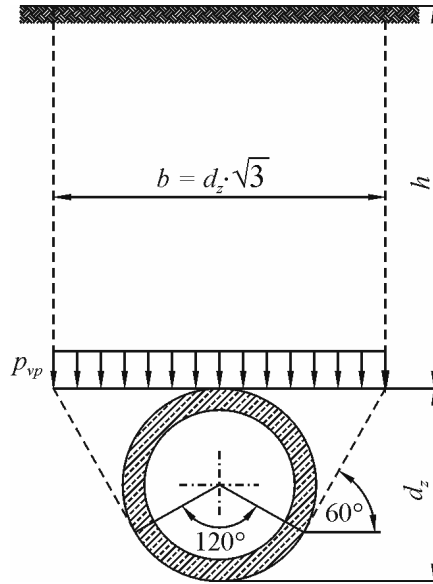
Rys. 6.4. Zależność współczynnika zmniejszającego χ od stosunku wielkości h/d_z oraz φ' dla $K_1 = 0,5$, [38]

Fig. 6.4. The relationship between the decreasing coefficient χ and the ratio h/d_z and φ' for $K_1 = 0,5$, [38]

Pionowe obciążenie rurociągu od gruntu przyjmuje się jako równomiernie rozłożone (rys. 6.5) i oblicza się ze wzoru:

$$P_{vp} = \chi \cdot \gamma_g \cdot h, \quad (6.11)$$

- P_{vp} – pionowe obciążenie od gruntu, kN/m^2 ,
 χ – współczynnik odciążający, uwzględniający tarcie gruntu spulchnionego o grunt nienaruszony w płaszczyznach ścinania, [-],
 γ_g – ciężar objętościowy gruntu, kN/m^3 ,
 h – wysokość warstwy gruntu nad wbudowywanym rurociągiem, m.



Rys. 6.5. Obciążenie pionowe rurociągu, [38]

Fig. 6.5. The vertical load of a pipeline, [38]

Parcie poziome gruntu oblicza się ze wzoru:

$$P_{hp} = \chi \cdot \gamma_g \cdot h \cdot K_2, \quad (6.12)$$

- P_{hp} – parcie poziome gruntu, kN/m^2 ,
 χ – współczynnik odciążający, uwzględniający tarcie gruntu spulchnionego o grunt nienaruszony w płaszczyznach ścinania, [-],
 γ_g – ciężar objętościowy gruntu, kN/m^3 ,
 h – wysokość warstwy gruntu nad wbudowywanym rurociągiem, m,
 K_2 – współczynnik parcia poziomego gruntu poniżej wierzchołka rurociągu, [-].

Parcie poziome gruntu, w środku wysokości rurociągu, oblicza się ze wzoru:

$$P_{hp} = \left(P_{vp} + \frac{d_z}{2} \cdot \gamma_g \right) \cdot K_2. \quad (6.13)$$

W rzeczywistości bardzo często zdarza się, że nad wbudowywanym rurociągiem występują różne rodzaje gruntu, o różnych współczynnikach tarcia wewnętrznych oraz różnych ciężarach objętościowych. Wówczas przyjmuje się do obliczeń uśrednione wartości tych parametrów, natomiast współczynnik parcia poziomego gruntu przyjmuje się dla tego gruntu, który znajduje się wokół konstrukcji rurociągu [38].

Oprócz podanego wzoru (6.1) na obliczenie siły przecisku w praktyce stosuje się również inne [24, 35], np.:

$$P_p = S + \sum R, \quad (6.14)$$

P_p – siła przecisku, kN,

S – opór wciskania, kN,

$\sum R$ – opory tarcia wciskanego rurociągu, kN.

Należy dodać, że opór wciskania składa się z oporu skrawania i oporu czoła przodka [24]:

$$S = P_s + P_b. \quad (6.15)$$

Opór skrawania zależy przede wszystkim od rodzaju gruntu, ale również od narzędzi urabiających grunt. Jego wartość może być określana według Herzoga, Webera [24], bądź też Stieglera [35].

Opór skrawania według Herzoga określa się za pomocą wzoru:

$$P_s = \pi \cdot D_m \cdot t \cdot p_s, \quad (6.16)$$

P_s – opór skrawania, kN,

D_m – średnica skrawania, m,

t – grubość skrawania, m,

p_s – jednostkowy opór skrawania gruntu, kPa.

Jednostkowy opór skrawania zależy od rodzaju gruntu i jest przyjmowany na podstawie tabeli 6.3.

Opór skrawania według Stieglera [35] określa się wzorem:

$$P_s = \frac{1}{4} \pi \cdot D_a^2 \cdot B, \quad (6.17)$$

P_s – opór skrawania (opór czołowy tarczy), kN,

D_a – zewnętrzna średnica tarczy, m,

B – właściwy opór czołowy przodka, kN/m².

Tabela 6.3. Jednostkowy opór skrawania gruntu, [24]

Table 6.3. The unitary resistance of soil cutting, [24]

| Rodzaj gruntu (podłoża) | Jednostkowy opór skrawania, kPa |
|----------------------------|---------------------------------|
| Podłoże skaliste | 12000 |
| Żwir | 7000 |
| Piasek zagęszczony | 6000 |
| Piasek średnio zagęszczony | 4000 |
| Piasek luźny | 2000 |
| Margiel | 3000 |
| Il trzeciorzędowy | 1000 |
| Pył, il czwartorzędowy | 400 |

Właściwy opór czołowy przodka jest zależny od warunków geologicznych. Przyjmuje się następujące wartości [35]: $B = 50 \text{ kN/m}^2$ dla warunków normalnych, $B = 10\text{-}20 \text{ kN/m}^2$ w przypadku użycia zawiesziny bentonitowej, $B = 5\text{-}15 \text{ kN/m}^2$ w przypadku przecisku poniżej poziomu wody gruntowej.

Opór czoła przodka uwzględnia siłę docisku głowicy wiertniczej oraz siłę hydrauliczną, podporową. Zazwyczaj wartość jednostkowej siły docisku głowicy wiertniczej jest podawana w dokumentacji technicznej zastosowanego urządzenia.

Opory tarcia wciskanego rurociągu wyraża się wzorem:

$$R = \pi \cdot d_z \cdot M \cdot L, \quad (6.18)$$

R – opory tarcia wciskanego rurociągu, kN,

d_z – średnica zewnętrzna wbudowywanego rurociągu, m,

M – tarcie powierzchniowe rurociągu o otaczający grunt, kPa,

L – długość przecisku, m.

Tarcie powierzchniowe rurociągu o otaczający grunt określane jest wzorem:

$$M = f_t \left[\gamma_g \left(h + \frac{d_z}{2} \right) \cdot \left(\frac{2 + K_1 + K_2}{4} \right) + \frac{g_k}{4d_z} \right], \quad (6.19)$$

f_t – współczynnik tarcia powierzchniowego gruntu o zewnętrzną powierzchnię wbudowywanego rurociągu, [-],

γ_g – ciężar objętościowy gruntu, kN/m^3 ,

h – wysokość warstwy gruntu powyżej wierzchołka rurociągu, m,

d_z – średnica zewnętrzna wbudowywanego rurociągu, m,

K_1 – współczynnik parcia czynnego gruntu, $K_1 = \operatorname{tg}^2\left(45^\circ - \frac{\phi'}{2}\right)$,

K_2 – współczynnik parcia biernego gruntu, $K_2 = \operatorname{tg}^2\left(45^\circ + \frac{\phi'}{2}\right)$,

g_k – ciężar konstrukcji rurociągu, kN/m.

Obliczenie sił wewnętrznych w konstrukcji rurociągu w czasie jego eksploatacji, wywołanych obciążeniem pionowym stałym i zmiennym, działających w przekroju poprzecznym do osi rurociągu przedstawiono bardzo dokładnie w pracy [38].

WYBÓR OPTYMALNEJ METODY BEZWYKOPOWEJ BUDOWY SIECI PODZIEMNYCH

7.1. UWAGI WSTĘPNE

W Polsce technologie bezwykopowej budowy są stosowane na szerszą skalę i przy zastosowaniu nowoczesnych technologii od początku lat 90. ubiegłego wieku. Pomimo upływu kilkunastu lat w Polsce nadal nie istnieją jakiegokolwiek opracowania, normy, wytyczne związane z doбором optymalnych metod bezwykopowej budowy sieci podziemnych. Nadal również zdarzają się przypadki stosowania niewłaściwych metod dla danej inwestycji, np. stosowanie metod niesterowalnych do wbudowania sieci kanalizacyjnych grawitacyjnych lub metod sterowalnych, ale nie zapewniających wymaganej dokładności wbudowania, w tym metody przewiertów sterowanych (HDD). W celu wykluczenia intuicyjnego doboru metod opracowano model AZ-01 umożliwiający dobór metod bezwykopowej budowy rurociągów podziemnych ze względu na możliwości techniczne wykonania. Został on szczegółowo omówiony w rozdziale 7.3.

W Polsce nie tylko brak jest opracowań, wytycznych związanych z doбором optymalnych metod bezwykopowej budowy, ale również występuje brak ujednoczonego, spójnego nazewnictwa tych metod. Przykładowo, nazwę „przewiert sterowany” stosuje się do określenia technologii horyzontalnego przewiertu sterowanego (metody HDD), jak również przecisku hydraulicznego sterowanego. Uniemożliwia to precyzyjną identyfikację technologii. Podane wcześniej metody różnią się diametralnie nie tylko technologią budowy, ale również osiąganymi parametrami technicznymi. W opracowanym modelu matematycznym AZ-01 przyjęto własny, bardziej szczegółowy podział, a analizie technicznej poddano 13 metod [42]. Są to:

- M1 – przecisk niesterowany poprzez zagęszczanie gruntu przebijakiem pneumatycznym, tzw. kretem,
- M2 – przecisk sterowany poprzez zagęszczanie gruntu przebijakiem pneumatycznym, tzw. kretem,
- M3 – przecisk poprzez zagęszczanie gruntu rurą z zakończeniem stożkowym,

- M4 – przecisk hydrauliczny poprzez zagęszczanie gruntu,
- M5 – wiercenie kierunkowe, przewiert sterowany (Directional Drilling and Guided Boring),
- M6 – pneumatyczne wbijanie rur stalowych (Impact Ramming),
- M7 – przecisk hydrauliczny niesterowany z transportem urobku przenośnikiem ślimakowym (Nonsteerable Auger Method),
- M8 – przecisk hydrauliczny sterowany z transportem urobku przenośnikiem ślimakowym (Steerable Auger Method),
- M9 – przecisk hydrauliczny z wierceniem pilotowym (Pilot Boring) oraz z transportem urobku przenośnikiem ślimakowym,
- M10 – przecisk hydrauliczny z wierceniem pilotowym (Pilot Boring) i płuczковым transportem urobku,
- M11 – mikrotunelowanie z transportem urobku przenośnikiem ślimakowym (Microtunnelling),
- M12 – mikrotunelowanie z płuczkowym transportem urobku (Microtunnelling),
- M13 – mikrotunelowanie z pneumatycznym transportem urobku (Microtunnelling).

Przyjęty podział obejmuje tylko te metody, które nie wymagają pracy człowieka w wykonywanym rurociągu, nie zawiera on zatem metod należących do grupy tunelowania. Wymienione metody można sklasyfikować w pięciu grupach omówionych szczegółowo w rozdziale 2.

7.2. WYBRANE PARAMETRY TECHNICZNE MAJĄCE WPŁYW NA DOBÓR METOD BEZWYKOPOWEJ BUDOWY SIECI PODZIEMNYCH

7.2.1. Uwagi wstępne

Każda z metod bezwykopowej budowy sieci podziemnych jest scharakteryzowana poprzez pewne parametry techniczne, takie jak: maksymalne długości jednorazowo wbudowywanych odcinków sieci; maksymalne, a w niektórych przypadkach również minimalne średnice wbudowywanych daną metodą rurociągów; kategorie gruntu, w których możliwe jest wbudowanie sieci daną metodą; możliwość wbudowania sieci poniżej poziomu wody gruntowej; materiał rurociągu; wartość odchylenia spadku oraz odchylenia w planie osi wbudowywanego rurociągu od projektowanego (dokładność wbudowania); minimalna wysokość warstwy gruntu nad wierzchołkiem rurociągu oraz maksymalna wysokość zwierciadła wody gruntowej ponad rzędną dna rurociągu. Każdy z tych parametrów technicznych może przyjmować różne wartości dla różnych metod. Wartości poszczególnych parametrów technicznych nawet danej metody mogą przyjąć

mować różne wartości w zależności od wielu czynników. Wymienione parametry techniczne stanowią główne czynniki, które mają wpływ na dobór bezwykopowej metody budowy sieci dla danego przedsięwzięcia.

7.2.2. Kategoria gruntu, w której możliwe jest wykonanie rurociągu daną metodą bezwykopową

Nie wszystkimi metodami bezwykopowej budowy można wbudować rurociągi w dowolnym gruncie, np.: metody M1, M2, M3, M4 można stosować tylko w gruntach dających się zagęszczać, czyli do kategorii gruntu 5¹ włącznie. Pozostałe metody, czyli te, w których grunt jest urabiany i transportowany na zewnątrz można stosować, przy wykorzystaniu standardowych narzędzi urabiających grunt, do kategorii 6 włącznie. Natomiast przy zastosowaniu specjalnych narzędzi, np. świdrów gryzowych, tarcz urabiających do skał, głowic wielonożowych można urabiać grunty kategorii 7. Metodą M12, stosując odpowiednie tarcze urabiające, możliwe jest wbudowanie rurociągu nawet w litych skałach. Należy przy tym pamiętać, że użycie narzędzi specjalistycznych, np. świdrów gryzowych diamentowych, jest bardzo kosztowne. Problemy w stosowaniu metod bezwykopowej budowy nie stanowią tylko grunty kategorii urabialności powyżej 6, ale również kategorii 1 i 2. Kategorie te obejmują m.in. grunty torfowe, niestabilne, grunty w stanie płynnym (kurzawkowe). Szczególnie zastosowanie metod mikrotunelowania w tych kategoriach gruntów może stwarzać pewne problemy. Niemniej jednak stosując specjalistyczne rozwiązania, np. zamrażanie gruntu, iniekcję zaprawą cementową lub innymi substancjami, możliwe jest zastosowanie ich do budowy rurociągów w tak trudnych warunkach gruntowych. Grunty kurzawkowe stwarzają również problemy dla metody M8 i M9, ale przy zastosowaniu specjalnych żerdzi pilotowych o podwójnym płaszczu możliwe jest użycie metody M9 w kategorii gruntu zarówno 1, jak i 2. W tabeli 7.1 zestawiono zakres kategorii gruntów, w jakim można stosować poszczególne metody bezwykopowej budowy.

¹ Kategorie urabialności gruntu według PN-B-06050:1999; kategoria 1 – gleba – wierzchnia warstwa gruntu; kategoria 2 – grunty płynne – grunty w stanie płynnym, trudno oddające wodę; kategoria 3 – grunty łatwo urabialne – grunty niespoiste i mało spoiste oraz grunty organiczne o małej zawartości wody, dobrze rozłożone, słabo skonsolidowane; kategoria 4 – grunty średnio urabialne – mieszaniny frakcji żwirowej, piaskowej, pyłowej i ilowej oraz grunty organiczne skonsolidowane ze szczątkami drzew; kategoria 5 – grunty trudno urabialne – grunty jak wyżej, lecz zawierające kamienie i głązy; kategoria 6 – skały łatwo urabialne i porównywalne rodzaje gruntów; kategoria 7 – skały o słabych właściwościach urabiania.

Tabela 7.1. Zakres kategorii gruntów, w jakim można stosować poszczególne metody bezwykopowej budowy, [88]

Table 7.1. The range of soil categories in which there is the possibility of using the given method of trenchless pipe laying, [88]

| Metoda budowy | Zakres kategorii gruntów, w których można stosować dane metody |
|--|--|
| Przecisk niesterowany poprzez zagęszczanie gruntu przebijaikiem pneumatycznym, tzw. kretem M1 | 1, 3, 4, 5 |
| Przecisk sterowany poprzez zagęszczanie gruntu przebijaikiem pneumatycznym, tzw. kretem M2 | 1, 3, 4, 5 |
| Przecisk poprzez zagęszczanie gruntu rurą z zakończeniem stożkowym M3 | 1 – 5 |
| Przecisk hydrauliczny poprzez zagęszczanie gruntu M4 | 1 – 5 |
| Przewiert sterowany, wiercenie kierunkowe M5 | 1 – 7 |
| Pneumatyczne wbijanie rur stalowych M6 | 1 – 6 |
| Przecisk hydrauliczny niesterowany z transportem urobku przenośnikiem ślimakowym M7 | 1 – 6 |
| Przecisk hydrauliczny sterowany z transportem urobku przenośnikiem ślimakowym M8 | 3 – 6 |
| Przecisk hydrauliczny z wierceniem pilotowym oraz z transportem urobku przenośnikiem ślimakowym M9 | 1 – 6 |
| Przecisk hydrauliczny z wierceniem pilotowym i płuczkowym transportem urobku M10 | 1 – 6 |
| Mikrotunelowanie z transportem urobku przenośnikiem ślimakowym M11 | 2 – 6 |
| Mikrotunelowanie z płuczkowym transportem urobku M12 | 2 – 7 |
| Mikrotunelowanie z pneumatycznym transportem urobku M13 | 2 – 7 |

7.2.3. Zakres średnic rurociągu, jaki można wykonać daną metodą bezwykopową

Zakres średnic wbudowywanych rurociągów metodami bezwykopowymi wynosi od 45 do 3000 mm. Oczywiście, nie ma uniwersalnej metody, przy pomocy której można wbudować rurociąg o średnicy zarówno 45, jak i 3000 mm. Maksymalna średnica rurociągu wbudowanego metodami bezwykopowymi zależy przede wszystkim od sposobu urabiania gruntu oraz systemu transportu urobku. I tak dla metod, w których grunt jest tylko zagęszczany wokół przebijaika lub wprowadzanej rury (M1, M2, M3, M4) maksymalna średnica zewnętrzna rurociągu wbudowywanego tymi metodami wynosi 200 mm, ze względu na fakt, że nie ma usuwania urobku, grunt jest tylko zagęszczany. Dla metod, w których usuwanie urobku odbywa się za pomocą przenośnika

ślimakowego (M8, M9, M11) maksymalna średnica wbudowywanego rurociągu wynosi do 1000 mm. Ograniczenie to wynika z faktu, iż moment obrotowy napędzający głowicę wielonożową lub wiertło ślimakowe (urabiające grunt) jest przekazywany poprzez system przenośników ślimakowych. Toteż czym większa jest średnica rurociągu, tym większe są wymiary ślimaka i tym większy wymagany moment obrotowy do wprowadzenia w ruch przenośnika ślimakowego i głowicy urabiającej. Dla metod z grupy mikrotunelowania (M11, M12, M13) istnieje również dolna granica zakresu średnic wbudowywanych rurociągów. Spowodowane jest to faktem, iż wbudowywany rurociąg musi pomieścić system do usuwania urobku (w przypadku systemów płuczkowych i pneumatycznych są to rury transportujące urobek, podające płuczkę i inne; a w przypadku systemów ślimakowych – przenośniki ślimakowe prowadzone w rurach osłonowych), przewody hydrauliczne, przewody zasilające i inne. Zakres średnic wbudowywanych rurociągów metodami bezwykopowymi podano w tabeli 7.2.

Tabela 7.2. Zakres średnic wbudowywanych rurociągów dla poszczególnych metod bezwykopowej budowy, [88]

Table 7.2. The range of diameters of installed pipes for each trenchless pipe laying method, [88]

| Metoda budowy | Zakres średnic wbudowywanych rurociągów |
|--|---|
| Przecisk niesterowany poprzez zagęszczanie gruntu przebijakiem pneumatycznym, tzw. kretem M1 | 25 – 200 |
| Przecisk sterowany poprzez zagęszczanie gruntu przebijakiem pneumatycznym tzw. kretem M2 | 25 – 60 |
| Przecisk poprzez zagęszczanie gruntu rurą z zakończeniem stożkowym M3 | 45 – 200 |
| Przecisk hydrauliczny poprzez zagęszczanie gruntu M4 | 70 – 200 |
| Przewiert sterowany, wiercenie kierunkowe M5 | 100 – 1500 |
| Pneumatyczne wbijanie rur stalowych M6 | 200 – 2000 |
| Przecisk hydrauliczny niesterowany z transportem urobku przenośnikiem ślimakowym M7 | 200 – 1500 |
| Przecisk hydrauliczny sterowany z transportem urobku przenośnikiem ślimakowym M8 | 300 – 800 |
| Przecisk hydrauliczny z wierceniem pilotowym oraz z transportem urobku przenośnikiem ślimakowym M9 | 100 – 600 |
| Przecisk hydrauliczny z wierceniem pilotowym i płuczkowym transportem urobku M10 | 100 – 600 |
| Mikrotunelowanie z transportem urobku przenośnikiem ślimakowym M11 | 250 – 1000 |
| Mikrotunelowanie z płuczkowym transportem urobku M12 | 250 – 3000 |
| Mikrotunelowanie z pneumatycznym transportem urobku M13 | 400 – 1400 |

7.2.4. Długości wbudowywanych jednorazowo odcinków sieci podziemnych

Istotnym parametrem charakteryzującym metody bezwykopowej budowy jest długość jednorazowo wbudowywanych odcinków sieci przy użyciu danej metody. Długości te wynoszą od 20 do 2000 m w zależności od zastosowanej metody, warunków gruntowych oraz średnicy wbudowywanego rurociągu.

Dla metod z grupy mikrotunelowania, istotnym czynnikiem mającym wpływ na długość wbudowywanych odcinków jest zastosowany system transportu urobku. Długości przecisków wynoszą do 80 m dla urządzeń z transportem urobku przenośnikiem ślimakowym i do około 150 m dla systemów płuczkowych i próżniowych. Dość znaczna różnica w długości wbudowywanych rurociągów pomiędzy metodami mikrotunelowania z systemem usuwania urobku przenośnikiem ślimakowym a płuczkowym i próżniowym wynika z faktu, iż opory (straty spowodowane tarcie) przy transportowaniu urobku przy pomocy płuczki lub sposobem próżniowym są znacznie mniejsze niż przy zastosowaniu przenośników ślimakowych.

Kolejne ograniczenie długości wbudowywanych rurociągów w przypadku metod mikrotunelowania jest spowodowane dopuszczalną siłą przecisku rur. Jednakże w przypadku mikrotunelowania z płuczkowym i próżniowym systemem usuwania urobku możliwe jest zastosowanie pośrednich stacji przeciskowych. Wówczas długości te znacznie się wydłużają i osiągają do 200 m dla mikrotunelowania z próżniowym transportem urobku oraz do 500 m dla mikrotunelowania z płuczkowym transportem urobku. Teoretycznie poprzez zastosowanie pośrednich stacji przeciskowych długość jednorazowo wbudowywanych odcinków rurociągu jest nieograniczona, problemem jednak jest transport urobku, a w szczególności dobór pompy, o dostatecznej mocy, zapewniającej transport urobionego gruntu, zarówno dla systemu próżniowego, jak i płuczkowego. Praktycznie jednak pośrednie stacje przeciskowe stosuje się tylko dla rurociągów przełazowych, ze względu na możliwość późniejszego demontażu siłowników oraz pierścieni oporowych i dosunięcia rur przewodowych w miejscu stacji pośrednich przy pomocy kolejnych stacji jeszcze nierozmontowanych. Możliwe jest również zastosowanie pośrednich stacji przeciskowych dla rurociągów nieprzełazowych, jednakże konieczne jest, po wbudowaniu danego odcinka, wykonanie wykopu w miejscu stacji pośredniej celem jej demontażu i wykonania w tym miejscu na przykład studni rewizyjnej.

Dla metod mikrotunelowania wykorzystujących w sterowaniu laser, istotnym czynnikiem mającym wpływ na długość wykonywanych jednorazowo rurociągów jest rozproszenie wiązki laserowej poprzez unoszące się w powietrzu cząstki stałe (zapylenie). W tabeli 7.3 przedstawiono wielkość średnicy wiązki laserowej w zależności od długości wiązki. Dla małych średnic (szczególnie poniżej 400 mm) dodatkowym czynnikiem zwiększającym rozproszenie promienia lasera jest podwyższona temperatura panująca w rurociągu i związane z tym zjawisko unoszenia i falowania podgrzanego powietrza (konwekcja). Dodatkowo wiązka lasera może ulegać załamaniu na granicy warstw powietrza o różnej temperaturze. Różnice w temperaturze

mogą powstawać na przykład na granicy wykopu początkowego i wbudowywanego rurociągu. Dla rurociągów o małych średnicach istotne są również problemy z chłodzeniem (pojawiające się przy większych długościach wykonywanych jednorazowo rurociągów), m.in.: hydraulicznych cylindrów siłowników i innych elementów urządzenia, w związku z utrudnioną wymianą powietrza w rurociągu. Istotnym problemem w sterowaniu, szczególnie przy jednorazowo wykonywanych długościach rurociągu przekraczających 150 m oraz dla średnic poniżej 400 mm jest wielkość obrazu wiązki lasera uzyskiwanego na tablicy celowniczej. Czym większa jest odległość pomiędzy laserem a tablicą celowniczą, tym większy jest obraz wiązki na tablicy celowniczej (zjawisko to spowodowane jest rozproszeniem wiązki lasera). Utrudnia to odczyt i interpretację rzeczywistych parametrów położenia głowicy, a w konsekwencji stanowi istotny problem w sterowaniu przeciskiem.

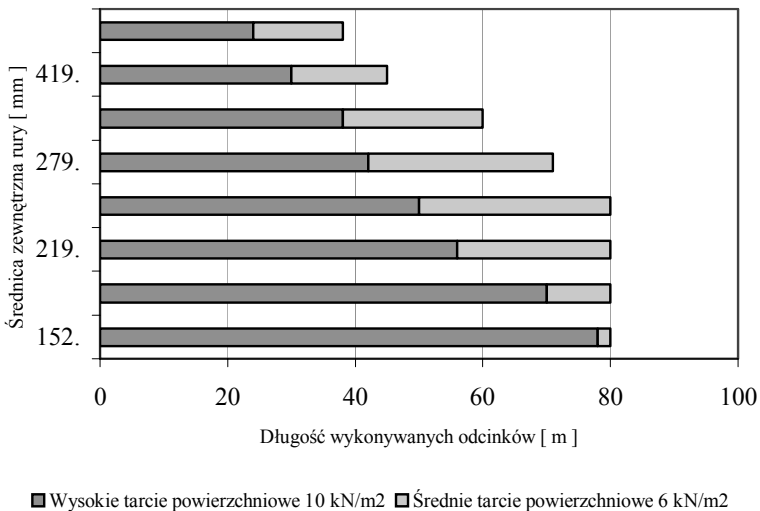
Tabela 7.3. Średnica wiązki laserowej w zależności od długości wiązki, [52]

Table 7.3. The diameter of a laser beam subject to the length of the beam, [52]

| | | | | | | | |
|-------------------------------|----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
| Długość wiązki laserowej, m | 0 | 100 | 200 | 300 | 400 | 500 | 600 |
| Średnica wiązki laserowej, mm | 24 | 8 | 13 | 18 | 23 | 31 | 40 |

Długości wbudowywanych jednorazowo odcinków rurociągów dla metod z grupy przecisków hydraulicznych M7, M8, M9, M10 osiągają maksymalnie 80 m. Ograniczenie to spowodowane jest stosowanym systemem urabiania i transportu gruntu. W większości tych metod (oprócz metody M10) do transportu urobku stosuje się system przenośników ślimakowych, natomiast do urabiania gruntu – wiertło ślimakowe lub głowicę wielonożową. Tak jak dla metod mikrotunelowania z tym transportem urobku, opory transportowania urobionego gruntu są dość znaczne. W metodach tych istotny jest również fakt, iż moment obrotowy przenoszony jest na wiertło ślimakowe lub głowicę wielonożową poprzez przenośnik ślimakowy z głównej stacji przeciskowej, umieszczonej w wykopie początkowym.

Ważnym czynnikiem mającym wpływ na długość wbudowywanych jednorazowo rurociągów jest rodzaj gruntu, a w szczególności: wielkość tarcia powierzchniowego gruntu o wprowadzany rurociąg (średnia wartość naprężenia stycznego na granicy zewnętrznej powierzchni przesuwanego rurociągu i gruntu) oraz zjawisko kohezji występujące między gruntem a rurociągiem. Przykładowo zależności te, dla metody przecisku hydraulicznego sterowanego M9, przedstawiono na rysunku 7.1. Na wykresie można zaobserwować, iż wielkość tarcia powierzchniowego gruntu o wprowadzane rury (przypadająca na jeden metr kwadratowy zewnętrznej powierzchni rurociągu) ma istotny wpływ na długość wykonywanych jednorazowo rurociągów. I tak dla średnicy zewnętrznej rurociągu 244 mm, możliwa długość wykonywanego odcinka przy średnim tarciu powierzchniowym osiąga 80 m, jest o 30 m większa (o 60%) niż przy wysokim tarciu powierzchniowym.



Rys. 7.1. Typowe długości wykonywanych jednorazowo rurociągów w zależności od średnicy zewnętrznej rury dla urządzenia PBA 85, [57]

Fig. 7.1. The typical driving lengths of pipelines laid by pipejacking with pilot boring method subject to the external diameter of the pipeline for PBA 85 rig, [57]

Najmniejsze długości jednorazowo wbudowywanych rurociągów nie przekraczają 20 m i osiągnięte są przy zastosowaniu metod przecisków poprzez zagęszczanie gruntu, czyli M1, M3 i M4. Są to metody niesterowalne, bez usuwania urobku, grunt jest przemieszczany na boki wbudowywanego rurociągu i zagęszczany.

Maksymalne długości wbudowywanych rurociągów, osiągnięte spośród wszystkich metod bezwykopowej budowy, są charakterystyczne dla metody M5 i dochodzą nawet do 2000 m. W tabeli 7.4 zestawiono maksymalne długości wbudowywanych jednorazowo rurociągów metodami bezwykopowymi.

Tabela 7.4. Maksymalne długości wbudowywanych jednorazowo rurociągów metodami bezwykopowymi, [88]

Table 7.4. The maximum driving lengths of pipelines laid by trenchless methods, [88]

| Metoda budowy | Maksymalne długości wbudowywanych jednorazowo rurociągów |
|---|--|
| Przecisk niesterowany poprzez zagęszczanie gruntu przebijaikiem pneumatycznym, tzw. kretem M1 | 35 |
| Przecisk sterowany poprzez zagęszczanie gruntu przebijaikiem pneumatycznym, tzw. kretem M2 | 70 |
| Przecisk poprzez zagęszczanie gruntu rurą z zakończeniem stożkowym M3 | 35 |

cd. tabeli 7.4

| Metoda budowy | Maksymalne długości wbudowywanych jednorazowo rurociągów |
|--|--|
| Przecisk hydrauliczny poprzez zagęszczanie gruntu M4 | 30 |
| Przewiert sterowany, wiercenie kierunkowe M5 | 2000 |
| Pneumatyczne wbijanie rur stalowych M6 | 120 |
| Przecisk hydrauliczny niesterowany z transportem urobku przenośnikiem ślimakowym M7 | 60 |
| Przecisk hydrauliczny sterowany z transportem urobku przenośnikiem ślimakowym M8 | 60 |
| Przecisk hydrauliczny z wierceniem pilotowym oraz z transportem urobku przenośnikiem ślimakowym M9 | 80 |
| Przecisk hydrauliczny z wierceniem pilotowym i płuczkowym transportem urobku M10 | 50 |
| Mikrotunelowanie z transportem urobku przenośnikiem ślimakowym M11 | 120 |
| Mikrotunelowanie z płuczkowym transportem urobku M12 | 500 |
| Mikrotunelowanie z pneumatycznym transportem urobku M13 | 200 |

7.2.5. Możliwość wbudowania rurociągu w gruncie nawodnionym, poniżej poziomu zwierciadła wody gruntowej

Nie wszystkie metody bezwykopowej budowy można stosować w gruntach poniżej poziomu wody gruntowej. Dotyczy to przede wszystkim metod M1 i M2, przy użyciu których budowa sieci uzbrojenia podziemnego w gruncie nawodnionym może być wysoce nieefektywna. Dlatego też przyjmuje się, że metody te nie są stosowane w gruntach nawodnionych. Wiąże się to z faktem, iż przebijak pneumatyczny porusza się w gruncie wykorzystując zjawisko tarcia powierzchniowego gruntu o zewnętrzną powierzchnię przebijaka. W gruntach nawodnionych wielkość tego tarcia jest niewielka i co za tym idzie – efektywność przemieszczania się przebijaka w gruncie jest również niewielka.

Metody bezwykopowej budowy, które wykorzystują transport urobku systemem przenośników ślimakowych mogą posiadać specjalnie zaprojektowane elementy rur osłonowych, przenośników ślimakowych oraz żerdzi wiertniczych do pracy w warunkach poniżej poziomu wody gruntowej (rozwiązania te szerzej omówiono w rozdziale 2.5).

7.2.6. Materiał wbudowywanej sieci

Prawie wszystkie metody bezwykopowej budowy sieci (oprócz metod z grupy mikrotunelowania) pozwalają na użycie stali jako materiału wbudowywanych rur. Rury stalowe mogą służyć jako rury osłonowe dla rur wykonanych z innych materiałów, np. rur z PE. Jednakże należy liczyć się wówczas ze zwiększoną średnicą wykonywanego otworu w stosunku do średnicy projektowanych rur przewodowych, zmniejszonym tempem robót oraz ze zwiększonymi kosztami m.in.: podwójnych rur oraz wypełnienia między rurami. Polietylen jako materiał tzw. rur wciąganych może być wbudowywany przy pomocy tylko nielicznych metod bezwykopowej budowy, tj.: M1, M2, M5, M7 i M9. W przypadku PVC liczba metod ogranicza się jeszcze bardziej do: M1, M2, M7 i M9. Materiały takie jak: beton polimerowy, kamionka, żelbet, żywice poliestrowe wzmocnione włóknem szklanym, a nawet mało jeszcze znany w Polsce bazalt używane są do produkcji rur tzw. przeciskowych. Rury te można wbudowywać metodami wykorzystującymi przecisk hydrauliczny, tzn.: M4, M7, M8, M9, M10, M11, M12, M13. Możliwe jest również stosowanie PVC jako materiału rur przeciskowych, ale tylko dla mikrotunelowania z hydraulicznym usuwaniem urobku i tylko w niektórych warunkach gruntowych. W metodach, w których wykorzystuje się przecisk pneumatyczny (M3, M6) możliwe jest użycie tylko jednego materiału rur – stali, gdyż siła przecisku przyłożona jest na rurę w sposób dynamiczny. W tabeli 7.5 zestawiono materiały rur stosowane dla poszczególnych metod bezwykopowej budowy

Tabela 7.5. Materiały rur stosowane dla poszczególnych metod bezwykopowej budowy, [88]

Table 7.5. The materials of pipes used for each trenchless pipe laying method, [88]

| Metoda budowy | Materiał wbudowywanych rur |
|--|--------------------------------|
| Przecisk niesterowany poprzez zagęszczanie gruntu przebijakiem pneumatycznym, tzw. kretem M1 | stal, PVC, PE |
| Przecisk sterowany poprzez zagęszczanie gruntu przebijakiem pneumatycznym, tzw. kretem M2 | stal, PVC, PE |
| Przecisk poprzez zagęszczanie gruntu rurą z zakończeniem stożkowym M3 | stal |
| Przecisk hydrauliczny poprzez zagęszczanie gruntu M4 | wszystkie przeciskowe* |
| Przewiert sterowany, wiercenie kierunkowe M5 | PE, stal, żeliwo sferoidalne |
| Pneumatyczne wbijanie rur stalowych M6 | stal |
| Przecisk hydrauliczny niesterowany z transportem urobku przenośnikiem ślimakowym M7 | wszystkie przeciskowe, PVC, PE |
| Przecisk hydrauliczny sterowany z transportem urobku przenośnikiem ślimakowym M8 | wszystkie przeciskowe |

cd. tabeli 7.5

| Metoda budowy | Materiał wbudowywanych rur |
|--|--------------------------------|
| Przecisk hydrauliczny z wierceniem pilotowym oraz z transportem urobku przenośnikiem ślimakowym M9 | wszystkie przeciskowe, PVC, PE |
| Przecisk hydrauliczny z wierceniem pilotowym i płuczkowym transportem urobku M10 | wszystkie przeciskowe, PVC, PE |
| Mikrotunelowanie z transportem urobku przenośnikiem ślimakowym M11 | wszystkie przeciskowe |
| Mikrotunelowanie z płuczkowym transportem urobku M12 | wszystkie przeciskowe, PVC |
| Mikrotunelowanie z pneumatycznym transportem urobku M13 | wszystkie przeciskowe |

* – do materiałów rur przeciskowych należą: bazalt, kamionka, żelbet, polimerobeton, żywice poliestrowe wzmocnione włóknem szklanym

7.2.7. Dokładność wbudowania sieci podziemnych metodami bezwykopowymi

Jako dokładność wbudowania sieci podziemnych rozumie się odchylenie spadku (różnice rzędnych w profilu) oraz odchylenie w planie osi wbudowanego rurociągu od przewidzianego w dokumentacji. Wartości tychże odchyleń zależą przede wszystkim od zastosowanego systemu kontroli i sterowania procesem wbudowywania rurociągu. Najwyższe dokładności wbudowania rurociągu (czyli najmniejsze wartości odchyleń zarówno spadku, jak i osi w planie) osiąga się metodami, w których stosuje się laserowe systemy sterowania i kontroli, o wysokim stopniu automatyzacji procesu wbudowywania rurociągu [87]. Systemy te stosuje się w metodach mikrotunelowania (M11, M12, M13). Nieco niższe dokładności wbudowania rurociągu osiąga się metodami, z teleoptycznymi systemami sterowania i kontroli (M8, M9, M10). Jeszcze niższe dokładności wbudowania rurociągu, zarówno w pionie, jak i w poziomie, uzyskuje się metodami, w których do kontroli i sterowania wykorzystywane są systemy radiometryczne, zwane również systemami radiolokacji, stosowane w metodach M2 oraz M5. Dla systemów tych według pracy [75] dokładność wykonania otworu pilotowego przyjmuje się jako: odchylenie rzędnych profilu w danym jego punkcie równe 5% zagłębienia danego punktu, inklinację $\pm 0,1-1\%$ oraz ustawienie kątowe głowicy pilotowej $\pm 30^\circ$. Należy pamiętać, że dokładność wykonania otworu pilotowego nie jest równa dokładności wbudowania rurociągu. Najniższe dokładności wbudowania rurociągu uzyskuje się metodami niesterowanymi, czyli M1, M3, M4, M6 oraz M7. W tych metodach wartości odchyleń zarówno spadku, jak i osi w planie, zależą od długości jednorazowo wbudowywanego rurociągu i wynoszą od 1 do 2% długości wbudowywanego odcinka rurociągu. W tabeli 7.6 zestawiono maksymalne wartości odchylenia spadku oraz odchylenia w planie osi wbudowanego rurociągu od przewidzianego w dokumentacji charakterystyczne dla poszczególnych systemów sterowania i kontroli.

Tabela 7.6. Maksymalne wartości odchylenia spadku oraz odchylenia w planie osi wbudowanego rurociągu od przewidzianego w dokumentacji, charakterystyczne dla poszczególnych systemów sterowania i kontroli, [88]

Table 7.6. The accuracy of installed pipeline in vertical and horizontal direction characteristic for each steering and monitoring systems, [88]

| Rodzaj systemu sterowania i kontroli | Odchylenie spadku | Odchylenie w planie osi |
|--------------------------------------|--|--|
| Laserowy | ± 20 mm | ± 25 mm |
| Teleoptyczny | ± 20 mm | ± 25 mm |
| Radiolokacji | brak danych | brak danych |
| Bez sterowania | 1 – 2% długości wbudowywanego odcinka | 1 – 2% długości wbudowywanego odcinka |

W Polsce brak jest przepisu określającego wymagane dokładności wbudowania rurociągu metodami bezwykopowymi. Według wytycznych niemieckich [3] najwyższe wymagania odnośnie odchylen spadku oraz osi w planie pomiędzy projektowanym a wbudowanym rurociągiem stawia się przewodom kanalizacyjnym grawitacyjnym, z uwagi na zapewnienie odpowiedniego spadku. Dlatego też do ich budowy stosuje się metody sterowalne zapewniające najmniejsze odchylenia rzędnych. Metody niesterowalne stosować można do budowy innych rodzajów sieci, gdzie nie jest wymagana tak wysoka dokładność wbudowania, m.in. dla sieci wodociągowych. Metody niesterowalne dopuszczone są według wytycznych niemieckich [3] do budowy przykanalików o średnicach do DN 150 i długościach nieprzekraczających 20 m. Wymagania według pracy [3] odnośnie dopuszczalnego odchylenia spadku oraz odchylenia osi przewodu w planie dla rurociągów grawitacyjnych wbudowywanych metodami bezwykopowymi zestawiono w tabeli 7.7.

Tabela 7.7. Dopuszczalne odchylenie spadku oraz odchylenie osi przewodu w planie dla rurociągów grawitacyjnych wbudowywanych metodami bezwykopowymi, [3]

Table 7.7. The acceptable accuracy of installed pipeline in vertical and horizontal direction for gravity sewers laid by trenchless pipe laying methods, [3]

| Średnica nominalna, DN, mm | Dopuszczalne odchylenie spadku przewodu, mm | Dopuszczalne odchylenie w planie osi przewodu, mm |
|--------------------------------|---|---|
| DN < 600 | ± 20 | ± 25 |
| $600 \leq \text{DN} \leq 1000$ | ± 25 | ± 40 |
| $1000 < \text{DN} < 1400$ | ± 30 | ± 100 |
| DN ≥ 1400 | ± 50 | ± 200 |

Wartości dopuszczalnego odchylenia spadku (różnice rzędnych w profilu) oraz odchylenia w planie osi wbudowanego rurociągu od przewidzianego w dokumentacji według [3] dla metod bezwykopowych są wyższe niż dla metod tradycyjnych [59]; należy to uwzględnić na etapie projektowania spadków rurociągów grawitacyjnych.

7.2.8. Minimalna wysokość przykrycia gruntem nad wierzchołkiem rurociągu oraz średnica wykonywanego otworu

Minimalna wysokość przykrycia gruntem nad wierzchołkiem wbudowywanego rurociągu, dla metod M1, M2, M3, M4, M5 i M6 zależy od średnicy zewnętrznej wykonywanego w gruncie otworu. Dla metod M1, M2, M3 oraz M6 minimalna wysokość przykrycia gruntem wynosi 10 średnic otworu [75]. Tak znaczna wartość tego parametru wiąże się przede wszystkim z faktem, iż siła przyłożona jest na wbijane w grunt rury w sposób dynamiczny (metody M3 i M6), toteż może dojść do naruszenia struktury gruntu na powierzchni terenu. W metodach M1 i M2 przebijak pneumatyczny przemieszcza się w gruncie również dynamicznie. Minimalna wysokość przykrycia gruntem dla metody M4 oraz M5 wynosi 8 średnic rozwiercanego otworu [70, 58]. Mniejsza wartość tego parametru w stosunku do wcześniej omówionej grupy metod wynika z faktu, iż siły w metodzie M4, przyłożone są w sposób statyczny (wciskanie rur za pomocą siłowników hydraulicznych), natomiast w M5 rurociąg jest wciągany, siły dynamiczne nie występują. Zakłada się, że dla metod M1, M2, M3, M4 oraz M6 średnica wykonywanego otworu jest o około 10% większa od średnicy zewnętrznej wbudowywanego rurociągu [70], natomiast dla metody M5, średnica rozwiercanego otworu zależy od materiału rurociągu oraz długości odcinka wykonywanego jednorazowo. Dla rurociągów z polietylenu, średnica rozwiercanego otworu jest większa od średnicy zewnętrznej wprowadzanej rury odpowiednio o [58]:

- ok. 20% dla długości przewiertów do 100 m,
- ok. 30% dla długości przewiertów do 200 m,
- ok. 40% dla długości przewiertów do 300 m,
- ok. 50% dla długości przewiertów powyżej 300 m.

Dla rur stalowych średnica rozwiercanego otworu dla tej metody powinna być większa o około 50% od średnicy zewnętrznej wprowadzanej rury [58], niezależnie od długości przewiertu.

Dla metod M7, M8, M9, M11 minimalna wartość wysokości przykrycia gruntem jest najmniejsza ze wszystkich przyjmowanych, ponieważ urabianie gruntu wiertłem ślimakowym z jednoczesnym przeciskiem hydraulicznym rur oraz bez użycia płuczki wiertniczej nie powoduje naruszenia struktury gruntu na powierzchni terenu podczas budowy rurociągu. Zazwyczaj przyjmuje się wartość tego parametru równą dwóm średnicom (średnica zewnętrzna) wbudowywanego rurociągu. Dzięki temu możliwe jest wykonanie rurociągu płytko pod powierzchnią

terenu. Według niektórych źródeł literaturowych [9, 57] wartość tego parametru przyjmowana jest jako 1 m niezależnie od średnicy wbudowywanego rurociągu.

Pomimo faktu, iż w metodach M10 i M12 używana jest płuczka wiertnicza, a w metodzie M13 urabianie gruntu i jego transport mogą być wspomagane płuczką, również dla tych metod przyjmuje się minimalną wysokość przykrycia gruntem 2 średnice wbudowywanego rurociągu. Jednakże na etapie projektowania uwzględnia się możliwość penetracji płuczki w gruncie w zależności od warunków gruntowych.

7.2.9. Maksymalna możliwa wysokość zwierciadła wody gruntowej powyżej dna wykonywanego rurociągu

Istotnym parametrem technicznym urządzeń stosowanych do bezwykopowej budowy rurociągów podziemnych, szczególnie ze względu na zapewnienie prawidłowej pracy uszczelnień oraz śluz, jest maksymalna wysokość zwierciadła wody gruntowej powyżej dna wbudowywanego rurociągu. Parametr ten zależy przede wszystkim od systemu usuwania urobku stosowanego w danej metodzie. W metodach, w których transport urobku odbywa się przy pomocy przenośnika ślimakowego, maksymalna wysokość zwierciadła wody gruntowej powyżej dna wykonywanego rurociągu wynosi tylko około 3 m, ze względu na podwyższone wymagania odnośnie szczelności hydraulicznej uszczelnień wokół głowicy wierzącej lub wiertła ślimakowego oraz wokół przenośnika ślimakowego. Dla metod, w których transport urobku odbywa się w sposób hydrauliczny M5, M10 i M12 maksymalna możliwa wysokość zwierciadła wody gruntowej ponad dnem wykonywanego rurociągu dochodzi nawet do 30 m [28]; natomiast dla metody M13 z transportem pneumatycznym urobku, wartość tego parametru wynosi 8 m. Są również metody, dla których wartość tego parametru jest teoretycznie nieograniczona. Są to metody, w których nie usuwa się urobku, jest on zagęszczany wokół wbudowywanego rurociągu i jedynym ograniczeniem jest szczelność samych połączeń pomiędzy wbudowywanymi rurami, lub tak jak dla metody M6 w grunt wbijana jest rura stalowa spawana na złączach poszczególnych elementów i zapewniająca pełną szczelność podczas usuwania urobku z jej wnętrza po wbudowaniu całego odcinka rurociągu.

7.3. WYBÓR METOD BEZWYKOPEJ BUDOWY RUROCIĄGÓW PODZIEMNYCH ZE WZGLĘDU NA MOŻLIWOŚCI TECHNICZNE WYKONANIA (MODEL AZ-01)

7.3.1. Uwagi wstępne

Pomimo faktu, iż z roku na rok realizowanych jest coraz więcej projektów budowy sieci podziemnych metodami bezwykopowymi, do tej pory w Polsce brak było jakichkolwiek norm, opracowań, wytycznych dotyczących zasad doboru tychże me-

to dla danej inwestycji, jak również warunków ich stosowania. Fakt ten skłonił autorkę publikacji do opracowania modelu matematycznego optymalnego doboru bezwykopowej technologii budowy rurociągów podziemnych (model AZ-01). Na podstawie opracowanego algorytmu oraz bazy danych parametrów technicznych metod (przedstawionych w postaci tablic), inwestor lub inna osoba (decydent) może samodzielnie dobrać lub zweryfikować dobór technologii bezwykopowej budowy. Pozwoli to uniknąć wyboru niewłaściwych metod, a w dalszej konsekwencji: komplikacji w czasie budowy, powtórnego wbudowywania rurociągu lub zwiększonych kosztów jego eksploatacji.

7.3.2. Założenia

W modelu AZ-01 przyjęto następujące założenia:

- żadna z metod nie wymaga obecności człowieka w rurociągu w trakcie jego budowy,
- projektowany rurociąg składa się z j odcinków; w obrębie danego odcinka nie występuje zmiana średnicy i grubości ścian rurociągu,
- cały projektowany rurociąg wykonuje się jedną metodą, ale dla odcinków o parametrach znacznie odbiegających od pozostałych dopuszcza się możliwość wykonania danego odcinka inną metodą,
- cały rurociąg składający się z j odcinków wykonany jest z jednego materiału i obejmuje jeden rodzaj sieci,
- wyróżniono następujące rodzaje sieci: rurociągi ciśnieniowe, rurociągi grawitacyjne, przyłącza ciśnieniowe, przyłącza grawitacyjne,
- nie uwzględniono rurociągów ciepłowniczych,
- nie uwzględniono polipropylenu jako materiału, z którego wykonuje się rurociąg, ze względu na bardzo rzadkie stosowanie go w budowie rurociągów metodami bezwykopowymi,
- założono 7 rodzajów gruntu według pracy [60],
- model opracowano dla przekroju poprzecznego kołowego rurociągu, maksymalnej głębokości ułożenia 40 m i średnicy rurociągu nie większej niż 3 m 600 mm,
- jeśli rurociąg projektowany jest w rurze osłonowej, to metodę bezwykopową dobiera się dla parametrów rury osłonowej,
- przyjęto, że gdy $h_j < h_{wgj}$ – grunt jest nienawodniony, a gdy $h_j \geq h_{wgj}$ – grunt jest nawodniony, gdzie: h_j – głębokość ułożenia j -tego odcinka rurociągu, odpowiadająca punktowi, gdzie występuje maksymalny poziom wody gruntowej, a h_{wgj} – maksymalny poziom wody gruntowej dla j -tego odcinka rurociągu.

7.3.3. Warunki ograniczające

7.3.3.1. Uwagi wstępne

W modelu AZ-01 przyjęto warunki ograniczające dotyczące: długości jednorazowo wbudowywanych odcinków rurociągu; zakresu średnic wbudowywanego rurociągu; kategorii gruntu, w którym możliwa jest budowa daną metodą; możliwości wykonania rurociągu w gruncie nawodnionym; materiału rurociągu; możliwego odchylenia spadku oraz odchylenia osi przewodu w planie od przewidzianego w dokumentacji; minimalnej wysokości przykrycia gruntem nad wierzchołkiem rurociągu oraz maksymalnej wysokości zwierciadła wody gruntowej powyżej dna rurociągu. Jak nie trudno zauważyć, zbiór warunków ograniczających obejmuje parametry techniczne charakteryzujące metody bezwykopowej budowy. Poszczególne warunki ograniczające zostały zapisane w modelu w postaci macierzy.

7.3.3.2. Kategoria gruntu, w którym możliwe jest wbudowanie rurociągu daną metodą bezwykopową

Większość producentów maszyn i urządzeń do bezwykopowej budowy rurociągów podziemnych stosuje normę niemiecką [16] do określenia gruntów, w których może być użyte dane urządzenie. Polska norma [60] jest odpowiednikiem normy niemieckiej i według niej przyjęto w pracy podział gruntów. Kategorię gruntu, w której możliwe jest wykonanie rurociągu daną metodą bezwykopową jako parametr ograniczający zapisano w macierzy:

$$\mathbf{B} = [b_{ik_1}]_{m \times n_1} \quad \text{dla } i = 1, 2, \dots, m; \quad (7.1)$$

$$k_1 = 1, 2, \dots, n_1;$$

- \mathbf{B} – macierz określająca możliwość wykonania rurociągu daną i -tą metodą w k_1 -tej kategorii gruntu,
 k_1 – kategoria gruntu, wg pracy [60],
 i – kolejne metody bezwykopowej budowy rurociągów podziemnych,
 b_{ik_1} – elementy, którym przypisano wartości $\{0,1\}$, gdzie: $b_{ik_1} = 1$ określa możliwość wykonania rurociągu daną i -tą metodą w k_1 -tej kategorii gruntu, $b_{ik_1} = 0$ określa brak możliwości wykonania rurociągu daną i -tą metodą w k_1 -tej kategorii gruntu.

7.3.3.3. Średnice rurociągu wbudowywanego daną metodą bezwykopową

Średnice rurociągu wbudowywanego daną metodą bezwykopową jako warunek ograniczający zapisano w postaci macierzy (7.2), (7.3) oraz (7.4) odpowiednio dla

omówionych poniżej grup rur, z uwagi na fakt, iż rury wykonane z różnych materiałów charakteryzują się różnie przyjmowaną średnicą.

Dla rurociągów wykonywanych z betonu polimerowego, kamionki, stali, żelbetu, żeliwa sferoidalnego, średnice rurociągu wbudowywanego daną metodą bezwykopową przyjęto według pracy [61]; w tym przypadku jest to średnica wewnętrzna rury. Dla rurociągów wykonywanych z tworzyw sztucznych, tj.: PVC oraz PE, średnicę przyjęto według pracy [10], przy czym zbiór ten poszerzono o kilka dodatkowych elementów wykonywanych przez producentów rur z tworzyw sztucznych. W tym przypadku średnice rurociągu wbudowywanego daną metodą bezwykopową są średnicami zewnętrznymi rury. W przypadku rur przeciskowych produkowanych z żywic poliestrowych wzmacnianych włóknem szklanym, odlewanych odśrodkowo, średnicę rur przyjęto według katalogu producenta [29], gdyż nie można ich zaklasyfikować do żadnej z omówionych poprzednio grup. Jest to średnica zewnętrzna.

$$\mathbf{D1} = [d_{1ik_2}]_{m \times n_2} \quad \text{dla } i = 1, 2, \dots, m; \quad (7.2)$$

$$k_2 = 1, 2, \dots, n_2;$$

$\mathbf{D1}$ – macierz k_2 -tych średnic rurociągu wbudowywanego daną i -tą metodą,
 k_2 – średnica wewnętrzna rurociągu (dla rurociągów wykonywanych z betonu polimerowego, kamionki, stali, żelbetu, żeliwa sferoidalnego),
 i – kolejne metody bezwykopowej budowy rurociągów podziemnych,
 d_{ik_2} – elementy, którym przypisano wartości $\{0,1\}$, przy czym: $d_{ik_2} = 1$ określa możliwość wykonania rurociągu o k_2 -tej średnicy daną i -tą metodą, $d_{ik_2} = 0$ określa brak możliwości wykonania rurociągu o k_2 -tej średnicy daną i -tą metodą.

$$\mathbf{D2} = [d_{2ik_3}]_{m \times n_3} \quad \text{dla } i = 1, 2, \dots, m; \quad (7.3)$$

$$k_3 = 1, 2, \dots, n_3;$$

$\mathbf{D2}$ – macierz k_3 -tych średnic rurociągu wbudowywanego daną i -tą metodą,
 k_3 – średnica zewnętrzna rurociągu (dla rurociągów wykonywanych z PVC oraz PE),
 i – kolejne metody bezwykopowej budowy rurociągów podziemnych,
 d_{ik_3} – elementy, którym przypisano wartości $\{0,1\}$, gdzie: $d_{ik_3} = 1$ określa możliwość wykonania rurociągu o k_3 -tej średnicy daną i -tą metodą, $d_{ik_3} = 0$ określa brak możliwości wykonania rurociągu o k_3 -tej średnicy daną i -tą metodą.

$$D3 = [d3_{ik_4}]_{m \times n_4} \quad \text{dla } i = 1, 2, \dots, m; \quad (7.4)$$

$$k_4 = 1, 2, \dots, n_4;$$

- D3 – macierz k_4 -tych średnic rurociągu wbudowywanego daną i -tą metodą,
 k_4 – średnica zewnętrzna rurociągu (dla rurociągów wykonywanych z żywic poliestrowych wzmacnianych włóknem szklanym),
 i – kolejne metody bezwykopowej budowy rurociągów podziemnych,
 d_{ik_4} – elementy, którym przypisano wartości $\{0,1\}$, gdzie: $d_{ik_4} = 1$ określa możliwość wykonania rurociągu o k_4 -tej średnicy daną i -tą metodą, $d_{ik_4} = 0$ określa brak możliwości wykonania rurociągu o k_4 -tej średnicy daną i -tą metodą.

7.3.3.4. Długości wykonywanych jednorazowo rurociągów

Typowe długości wykonywanych jednorazowo rurociągów, jako warunek ograniczający, zapisano za pomocą macierzy trójwymiarowych (7.5)-(7.7):

$$C1 = [c1_{ik_2k_5}]_{m \times n_2 \times n_5} \quad \text{dla } i = 1, 2, \dots, m; \quad (7.5)$$

$$k_2 = 1, 2, \dots, n_2;$$

$$k_5 = 1, 2, \dots, n_5;$$

- C1 – macierz typowych długości wykonywanych jednorazowo rurociągów daną i -tą metodą w zależności od k_2 -tej średnicy rurociągu oraz k_5 -tej wielkości tarcia powierzchniowego gruntu o wbudowywany rurociąg,
 $c_{ik_2k_5}$ – typowa długość wykonywanych jednorazowo rurociągów, m,
 k_2 – średnica rurociągu (dla rurociągów wykonywanych z betonu polimerowego, kamionki, stali, żelbetu, żeliwa sferoidalnego),
 k_5 – wielkość tarcia powierzchniowego gruntu o wbudowywany rurociąg,
 i – kolejne metody bezwykopowej budowy rurociągów podziemnych.

$$C2 = [c2_{ik_3k_5}]_{m \times n_3 \times n_5} \quad \text{dla } i = 1, 2, \dots, m; \quad (7.6)$$

$$k_3 = 1, 2, \dots, n_3;$$

$$k_5 = 1, 2, \dots, n_5;$$

- C2 – macierz typowych długości wykonywanych jednorazowo rurociągów daną i -tą metodą w zależności od k_3 -tej średnicy rurociągu oraz k_5 -tej wielkości tarcia powierzchniowego gruntu o wbudowywany rurociąg,
 $c_{ik_3k_5}$ – typowa długość wykonywanych jednorazowo rurociągów, m,

- k_3 – średnica rurociągu (dla rurociągów wykonywanych z PE oraz PVC),
 k_5 – wielkość tarcia powierzchniowego gruntu o wbudowywany rurociąg,
 i – kolejne metody bezwykopowej budowy rurociągów podziemnych.

$$\mathbf{C3} = [c_{3_{ik_4k_5}}]_{m \times n_4 \times n_5} \quad \text{dla } i = 1, 2, \dots, m; \quad (7.7)$$

$$k_4 = 1, 2, \dots, n_4;$$

$$k_5 = 1, 2, \dots, n_5.$$

- $\mathbf{C3}$ – macierz typowych długości wykonywanych jednorazowo rurociągów daną i -tą metodą w zależności od k_4 -tej średnicy rurociągu oraz k_5 -tej wielkości tarcia powierzchniowego gruntu o wbudowywany rurociąg,
 $c_{3_{ik_4k_5}}$ – typowa długość wykonywanych jednorazowo rurociągów, m,
 k_4 – średnica rurociągu (dla rurociągów wykonywanych z żywic poliestrowych wzmacnianych włóknem szklanym),
 k_5 – wielkość tarcia powierzchniowego gruntu o wbudowywany rurociąg,
 i – kolejne metody bezwykopowej budowy rurociągów podziemnych.

7.3.3.5. Możliwość wykonania rurociągu w gruncie nawodnionym, poniżej poziomu zwierciadła wody gruntowej

Ten warunek ograniczający zapisano za pomocą macierzy:

$$\mathbf{E} = [e_i]_{m \times 1} \quad \text{dla } i = 1, 2, \dots, m; \quad (7.8)$$

- \mathbf{E} – macierz kolumnowa określająca możliwość wykonania rurociągu w gruncie nawodnionym daną i -tą metodą,
 i – kolejne metody bezwykopowej budowy rurociągów podziemnych,
 e_i – elementy, którym przypisano wartości $\{0,1\}$, gdzie: $e_i = 1$ określa możliwość wykonania rurociągu w gruncie nawodnionym daną i -tą metodą, $e_i = 0$ określa brak możliwości wykonania rurociągu w gruncie nawodnionym daną i -tą metodą.

7.3.3.6. Materiał wbudowywanych rur

Materiał wbudowywanych rur, jako warunek ograniczający, zapisano za pomocą macierzy:

$$\mathbf{F} = [f_{ik_6}]_{m \times n_6} \quad \text{dla } i = 1, 2, \dots, m; \quad (7.9)$$

$$k_6 = 1, 2, \dots, n_6;$$

- F – macierz k_6 -tych materiałów stosowanych dla i -tej metody,
 k_6 – materiał rur,
 i – kolejne metody bezwykopowej budowy rurociągów podziemnych,
 f_{ik_6} – elementy, którym przypisano wartości $\{0,1\}$, gdzie: $f_{ik_6} = 1$ określa możliwość stosowania k_6 -tego materiału rurociągu dla i -tej metody, $f_{ik_6} = 0$ określa brak możliwości stosowania k_6 -tego materiału rurociągu dla i -tej metody.

7.3.3.7. Odchylenie spadku oraz odchylenie w planie osi wbudowanego rurociągu od przewidzianego w dokumentacji

Odchylenia spadku oraz odchylenia w planie osi wbudowanego rurociągu od przewidzianego w dokumentacji jako warunek ograniczający zapisano w postaci macierzy:

$$\mathbf{G}^1 = \left[\mathbf{g}_i^1 \right]_{m \times 1} \quad \text{dla } i = 1, 2, \dots, m; \quad (7.10)$$

$$\mathbf{G}^2 = \left[\mathbf{g}_i^2 \right]_{m \times 1} \quad \text{dla } i = 1, 2, \dots, m; \quad (7.11)$$

- \mathbf{G}^1 – macierz kolumnowa określająca odchylenie spadku wbudowanego rurociągu, charakterystyczne dla i -tej metody,
 \mathbf{G}^2 – macierz kolumnowa określająca odchylenie w planie osi wbudowanego rurociągu charakterystyczne dla i -tej metody,
 g_i^1 – odchylenie spadku wbudowanego rurociągu, charakterystyczne dla i -tej metody, mm,
 g_i^2 – odchylenie w planie osi wbudowanego rurociągu charakterystyczne dla i -tej metody, mm,
 i – kolejne metody bezwykopowej budowy rurociągów podziemnych.

7.3.3.8. Minimalna wysokość przykrycia gruntem nad wierzchołkiem rurociągu

Minimalna wysokość przykrycia gruntem, jako warunek ograniczający zapisano w postaci macierzy:

$$\mathbf{H} = \left[\mathbf{h}_i \right]_{m \times 1} \quad \text{dla } i = 1, 2, \dots, m \quad (7.12)$$

- \mathbf{H} – macierz kolumnowa określająca minimalną wysokość przykrycia gruntem nad wierzchołkiem rurociągu dla i -tej metody,
 h_i – minimalna wysokość przykrycia gruntem nad wierzchołkiem rurociągu dla i -tej metody, m,
 i – kolejne metody bezwykopowej budowy rurociągów podziemnych.

7.3. Wybór metod bezwykopowej budowy rurociągów podziemnych ze względu na możliwości techniczne wykonania (model AZ-01)

Należy dodać, że minimalną wysokość przykrycia gruntem nad wierzchołkiem rurociągu dla poszczególnych metod oblicza się ze wzorów:

- dla metody M1, M2, M3, M6:

$$h = 10(DZ + 10\%DZ), \quad (7.13)$$

- dla metody M4:

$$h_4 = 8(DZ + 10\%DZ), \quad (7.14)$$

- dla metody M5 oraz rurociągu wykonanego z PE:

$$h_5 = 8(DZ + xDZ), \quad (7.15)$$

- dla metody M5 oraz rurociągu wykonanego ze stali:

$$h_5' = 8(DZ + 50\%DZ), \quad (7.16)$$

- dla pozostałych metod M7, M8, M9, M10, M11, M12, M13 przyjmuje się:

$$h = 2DZ, \quad (7.17)$$

x – procent powiększenia rozwiercanego otworu, zależny od długości wykonywanego odcinka, %,

DZ – średnica zewnętrzna rurociągu, m,

h, h_4, h_5, h_5' – minimalne wysokości przykrycia gruntem nad wierzchołkiem rurociągu, m.

7.3.3.9. Maksymalna możliwa wysokość zwierciadła wody gruntowej powyżej dna wykonywanego rurociągu

Parametr ten, jako warunek ograniczający, zapisano w postaci macierzy:

$$\mathbf{J} = [\mathbf{j}_i]_{m \times 1} \quad \text{dla } i = 1, 2, \dots, m; \quad (7.18)$$

\mathbf{J} – macierz kolumnowa określająca maksymalną możliwą wysokość zwierciadła wody gruntowej powyżej dna wykonywanego rurociągu dla i -tej metody,

j_i – maksymalna możliwa wysokość zwierciadła wody gruntowej powyżej dna wykonywanego rurociągu dla i -tej metody, m,

i – kolejne metody bezwykopowej budowy rurociągów podziemnych.

7.3.4. Wielkości wejściowe

W modelu przyjęto następujące wielkości wejściowe:

$\mathbf{a} = [a_1, a_2, \dots, a_{k_7}, \dots, a_{n_7}]$ – wektor określający rodzaj wykonywanego rurociągu, gdzie $k_7 = 1, 2, \dots, n_7, n_7 = 4$; [-], elementom a_{k_7} przypisano wartości $\{0,1\}$, gdzie: $a_{k_7} = 1$ określa, że rozpatrywany rurociąg jest typu k_7 , $a_{k_7} = 0$ określa, że rozpatrywany rurociąg nie jest typu k_7 .

$\mathbf{b}_j = [b_{j1}, b_{j2}, \dots, b_{jk_1}, \dots, b_{jn_1}]$ – wektor określający rodzaje gruntu, występujące w j -tym odcinku rozpatrywanego rurociągu, zawartym pomiędzy wykopem początkowym a docelowym, gdzie $k_1 = 1, 2, \dots, n_1, n_1 = 7$; [-], elementom b_{jk_1} przypisano wartości $\{0,1\}$, gdzie: $b_{jk_1} = 1$ określa, że dany k_1 -ty rodzaj gruntu występuje w j -tym odcinku rozpatrywanego rurociągu; $b_{jk_1} = 0$ określa, że dany k_1 -ty rodzaj gruntu nie występuje w j -tym odcinku rozpatrywanego rurociągu.

$\mathbf{dn} = [dn_1, dn_2, \dots, dn_j, \dots, dn_n]$ – wektor określający średnicę nominalną rurociągu dla j -tego odcinka, gdzie $j = 1, 2, \dots, n$, mm.

$\mathbf{dz} = [dz_1, dz_2, \dots, dz_j, \dots, dz_n]$ – wektor określający średnicę zewnętrzną rurociągu dla j -tego odcinka, gdzie $j = 1, 2, \dots, n$, mm.

$\mathbf{d1} = [d1_1, d1_2, \dots, d1_{k_2}, \dots, d1_{n_2}]$ – wektor średnic wewnętrznych (dla rurociągów wykonywanych z betonu polimerowego, kamionki, stali, żelbetu, żeliwa sferoidalnego), projektowanych w rozpatrywanym rurociągu, gdzie $k_2 = 1, 2, \dots, n_2, n_2 = 37$; [-], elementom $d1_{k_2}$ przypisano wartości $\{0,1\}$, gdzie: $d1_{k_2} = 1$ określa, że dana k_2 -ta średnica jest projektowana w rozpatrywanym rurociągu; $d1_{k_2} = 0$ określa, że dana k_2 -ta średnica nie jest projektowana w rozpatrywanym rurociągu.

$\mathbf{d2} = [d2_1, d2_2, \dots, d2_{k_3}, \dots, d2_{n_3}]$ – wektor średnic zewnętrznych (dla rurociągów wykonywanych z PVC oraz PE) projektowanych w rozpatrywanym rurociągu, gdzie $k_3 = 1, 2, \dots, n_3, n_3 = 31$; [-], elementom $d2_{k_3}$ przypisano wartości $\{0,1\}$, gdzie: $d2_{k_3} = 1$ określa, że dana k_3 -ta średnica jest projektowana w rozpatrywanym rurociągu; $d2_{k_3} = 0$ określa, że dana k_3 -ta średnica nie jest projektowana w rozpatrywanym rurociągu.

$\mathbf{d3} = [d3_1, d3_2, \dots, d3_{k_4}, \dots, d3_{n_4}]$ – wektor średnic zewnętrznych (dla rurociągów wykonywanych z żywicy poliestrowych wzmocnianych włóknem szklanym) projektowanych w rozpatrywanym rurociągu, gdzie $k_4 = 1, 2, \dots, n_4, n_4 = 20$; [-],

elementom d_{3k_4} przypisano wartości $\{0,1\}$, gdzie: $d_{k_4} = 1$ określa, że dana k_4 -ta średnica jest projektowana w rozpatrywanym rurociągu; $d_{k_4} = 0$ określa, że dana k_4 -ta średnica nie jest projektowana w rozpatrywanym rurociągu.

$f = [f_1, f_2, \dots, f_{k_6}, \dots, f_{n_6}]$ – wektor określający materiał rur projektowany dla wykonywanego rurociągu, $f_{k_6} = 1, 2, \dots, n_6, n_6 = 8; [-]$, elementom f_{k_6} przypisano wartości $\{0,1\}$, gdzie: $f_{k_6} = 1$ określa, że dany k_6 -ty materiał jest projektowany w wykonywanym rurociągu; $f_{k_6} = 0$ określa, że dany k_6 -ty materiał nie jest projektowany w wykonywanym rurociągu.

$g^1 = [g_1^1, g_2^1, \dots, g_j^1, \dots, g_n^1]$ – wektor określający dopuszczalne odchylenie spadku rurociągu od przewidzianego w dokumentacji dla j -tego odcinka rurociągu, mm.

$g^2 = [g_1^2, g_2^2, \dots, g_j^2, \dots, g_n^2]$ – wektor określający dopuszczalne odchylenie osi rurociągu w planie od przewidzianego w dokumentacji dla j -tego odcinka rurociągu, mm.

$h = [h_1, h_2, \dots, h_j, \dots, h_n]$ – wektor określający głębokości ułożenia rurociągu, odpowiadającą punktowi, gdzie występuje maksymalny poziom wody gruntowej, dla j -tego odcinka, gdzie $j = 1, 2, \dots, n, m$.

$h_{\min} = [h_{\min 1}, h_{\min 2}, \dots, h_{\min j}, \dots, h_{\min n}]$ – wektor określający minimalną głębokość ułożenia rurociągu dla j -tego odcinka, gdzie $j = 1, 2, \dots, n, m$.

$h_{wg} = [h_{wg 1}, h_{wg 2}, \dots, h_{wg j}, \dots, h_{wg n}]$ – wektor określający maksymalny poziom wody gruntowej dla j -tego odcinka rurociągu, gdzie $j = 1, 2, \dots, n, m$.

$h_{\max wg} = [h_{\max wg 1}, h_{\max wg 2}, \dots, h_{\max wg j}, \dots, h_{\max wg n}]$ – wektor określający maksymalną wysokość zwierciadła wody gruntowej powyżej dna rurociągu, dla j -tego odcinka rurociągu, gdzie $j = 1, 2, \dots, n, m$.

$h_{n \min} = [h_{n \min 1}, h_{n \min 2}, \dots, h_{n \min j}, \dots, h_{n \min n}]$ – wektor określający minimalną wysokość przykrycia gruntem nad wierzchołkiem rurociągu dla j -tego odcinka, gdzie $j = 1, 2, \dots, n, m$.

$L = [L_1, L_2, \dots, L_j, \dots, L_n]$ – wektor określający długość j -tego odcinka rurociągu, gdzie $j = 1, 2, \dots, n, m$.

7.3.5. Algorytm modelu matematycznego AZ-01

W modelu AZ-01 zastosowano metodę systematycznego przeszukiwania rozwiązań. Opracowany algorytm składa się z następujących kroków:

Krok 1. Wybór metody bezwykopowej ze względu na możliwość wykonania rurociągu o projektowanych średnicach, daną i -tą metodą. Jest on realizowany w zależności od projektowanego materiału rurociągu:

1. Dla rurociągów wykonanych z betonu polimerowego, kamionki, stali, żelbetu, żeliwa sferoidalnego, czyli dla takich projektowanych rurociągów, dla których element f_{k6} wektora f określający jeden z wyżej wymienionych materiałów jest równy 1, poprzez wybranie wektorów $d1_i$, będących i -tymi wierszami macierzy D1, takich że:
jeśli $d1_{k2} = 1$, to i $d1_{ik2} = 1$,
gdzie: $d1_{k2}$ – elementy wektora $d1$, $d1_{ik2}$ – elementy wektora $d1_i$.
2. Dla rurociągów wykonanych z PVC oraz PE, dla których element f_{k6} wektora f określający jeden z wyżej wymienionych materiałów jest równy 1, poprzez wybranie wektorów $d2_i$, będących i -tymi wierszami macierzy D2, takich że:
jeśli $d2_{k3} = 1$, to i $d2_{ik3} = 1$,
gdzie: $d2_{k3}$ – elementy wektora $d2$, $d2_{ik3}$ – elementy wektora $d2_i$.
3. Dla rurociągów wykonywanych z żywic poliestrowych wzmocnianych włóknem szklanym, dla których element f_{k6} wektora f określający ten materiał jest równy 1, poprzez wybranie wektorów $d3_i$, będących i -tymi wierszami macierzy D3, takich że:
jeśli $d3_{k4} = 1$, to i $d3_{ik4} = 1$,
gdzie: $d3_{k4}$ – elementy wektora $d3$, $d3_{ik4}$ – elementy wektora $d3_i$.

Krok 2. Wybór metody ze względu na typowe długości wykonywanych odcinków daną i -tą metodą. W zależności od projektowanego materiału rurociągu (procedura omówiona wcześniej) dla odpowiedniej wielkości tarcia powierzchniowego gruntu, wybiera się $c1_{ik2k5}$, lub $c2_{ik3k5}$, lub $c3_{ik4k5}$, takie że:

$$L_j \leq c1_{ik2k5},$$

$$L_j \leq c2_{ik3k5},$$

$$L_j \leq c3_{ik4k5}.$$

Krok 3. Wybór metody, ze względu na rodzaj gruntu, w którym możliwa jest budowa rurociągu daną i -tą metodą. Wybiera się te wektory b_i , będące i -tymi wierszami macierzy B, takie że:

jeśli $b_{jk1} = 1$, to i $b_{ik1} = 1$,

gdzie: b_{jk1} – elementy wektora b_j , b_{ik1} elementy wektora b_i .

Krok 4. Wybór metody ze względu na możliwość wykonania rurociągu w gruncie nawodnionym. Jeśli dla wszystkich odcinków rurociągu spełniona jest nierówność $h_j < h_{wgj}$, to przyjmuje się $p = 0$ – grunt nienawodniony i wówczas wybiera się wszystkie elementy e_i macierzy E, i jednocześnie przypisuje im się wartości 1; jeśli dla jakiegokolwiek j -tego odcinka rurociągu zachodzi nierówność $h_j \geq h_{wgj}$, to przyjmuje się $p = 1$ – grunt nawodniony, jeśli $p = 1$, to wybiera się e_i , takie że:

$$e_i = 1.$$

Krok 5. Wybór metody ze względu na projektowany materiał rurociągu. Wybiera się te wektory f_i , będące i -tymi wierszami macierzy F, takie że:

jeśli $f_{k6} = 1$, to i $f_{ik6} = 1$,

gdzie: f_{k6} elementy wektora f , f_{ik6} elementy wektora f_i .

Krok 6. Wybór metody ze względu na minimalną wysokość przykrycia gruntem nad wierzchołkiem rurociągu: wybiera się najmniejszą wartość $\min h$ spośród wartości $h_{\min j} - 0,001dz_j$, następnie wybiera się elementy h_i macierzy H, takie że zachowana jest nierówność:

$$\min h \geq h_i, \text{ przy czym elementy } h_i \text{ oblicza się ze wzorów (7.13) – (7.17).}$$

Krok 7. Wybór metody ze względu na maksymalną wysokość zwierciadła wody gruntowej powyżej dna rurociągu. Spośród wartości $h_{\max wgj} = h_j - h_{wgj}$ wybiera się największą wartość ($\max h_{\max wgj}$), a następnie wybiera się j_i , takie że:

$$\max h_{\max wgj} \leq j_i.$$

Jeśli dla wszystkich odcinków rurociągu spełniona jest nierówność $h_j < h_{wgj}$, to przyjmuje się $p = 0$ – grunt nienawodniony i wówczas wybiera się wszystkie elementy j_i macierzy J, i jednocześnie przypisuje im się wartości 1.

Krok 8. Wybór metody lub metod ze względu na dopuszczalne odchylenie spadku oraz odchylenie w planie osi wbudowanego rurociągu od przewidzianego w dokumentacji. Spośród elementów wektora dn (tylko dla rurociągów grawitacyjnych, oraz przyłączy grawitacyjnych o długości odcinka L_j większej niż 20 m lub o średnicy nominalnej d_{nj} większej niż 150 mm) wybiera się element o najmniejszej wartości liczbowej, czyli najmniejszą średnicę nominalną dn_j , pro-

jektowaną w rozpatrywanym rurociągu. Czym mniejsza średnica wykonywanego rurociągu, tym mniejsze wartości dopuszczalnego odchylenia spadku oraz odchylenia w planie osi wbudowanego rurociągu od przewidzianego w dokumentacji (większa wymagana dokładność wbudowania) [2], a ponieważ zakłada się, że rurociąg będzie wykonywany jedną metodą, to dokładność dla najmniejszej średnicy nominalnej będzie determinowała wybór metody dla całego rurociągu.

Następnie wybiera się g_i^1 takie, że:

$g_i^1 \geq g_i^1$ dla odchylenia spadku wbudowanego rurociągu od przewidzianego w dokumentacji

oraz wybiera się g_i^2 takie, że:

$g_i^2 \geq g_i^2$ dla odchylenia w planie osi wbudowanego rurociągu od przewidzianego w dokumentacji,

gdzie: g^1, g^2 – dopuszczalne odchylenie spadku oraz odchylenie w planie osi wbudowanego rurociągu od przewidzianego w dokumentacji, według pracy [2] dla wybranej najmniejszej średnicy rurociągu d , mm,

g_i^1, g_i^2 – elementy macierzy G^1, G^2 – określające odchylenie spadku oraz odchylenie w planie osi wbudowanego rurociągu od przewidzianego w dokumentacji, charakterystyczne dla i -tej metody, mm.

Krok 9. Ostateczny wybór metody realizowany jest poprzez przypisanie wartości:

$c1_{ik2} = u_{i1}$ lub $c2_{ik3} = u_{i1}$ lub $c3_{ik4} = u_{i1}$ w zależności od materiału rurociągu

$e_i = u_{i2}$,

$g_i^1 = u_{i3}$,

$g_i^2 = u_{i4}$,

$h_i = u_{i5}$,

$j_i = u_{i6}$,

i wybranie tych wektorów u_i , gdzie $u_i = [u_{i1}, u_{i2}, \dots, u_{i6}]$ i $l = 6$, dla których żaden z elementów nie jest równy zero, a następnie wybranie tych wektorów b_i, d_i, f_i, u_i , które mają jednakowe wskaźniki i .

7.3.6. Wielkość wyjściowa

Wielkością wyjściową modelu jest wskaźnik i identyfikujący metodę lub kilka potencjalnie możliwych do zastosowania metod bezwykopowej budowy rurociągów podziemnych.

7.3.7. Analiza numeryczna zagadnienia wyboru optymalnej metody bezwykopowej budowy sieci podziemnych ze względu na możliwości techniczne wykonania, przy wykorzystaniu modelu AZ-01

7.3.7.1. Uwagi wstępne

Elementom macierzy oraz wektorów przedstawionych w postaci ogólnej w rozdziałach 7.3.3 oraz 7.3.4 przypisano wartości liczbowe (postać numeryczna macierzy i wektorów). Ze względu na duże rozmiary macierzy oraz znaczną liczbę ich elementów, w rozdziale tym przedstawiono tylko wybrane macierze w postaci numerycznej oraz jeden przykład obliczeniowy. Wszystkie macierze i wektory w postaci numerycznej oraz kilkanaście przykładów wyboru optymalnej technologii bezwykopowej budowy przy użyciu modelu AZ-01 przedstawiono w monografii [86].

7.3.7.2. Przyjęcie oznaczeń metod bezwykopowej budowy rurociągów podziemnych

W modelu AZ-01 przyjęto następujące oznaczenia metod:

- $i = 1$ – przecisk niesterowany poprzez zagęszczanie gruntu przebijakiem pneumatycznym, tzw. kretem,
- $i = 2$ – przecisk sterowany poprzez zagęszczanie gruntu przebijakiem pneumatycznym, tzw. kretem,
- $i = 3$ – przecisk poprzez zagęszczanie gruntu rurą z zakończeniem stożkowym,
- $i = 4$ – przecisk hydrauliczny poprzez zagęszczanie gruntu,
- $i = 5$ – wiercenie kierunkowe oraz przewiert sterowany,
- $i = 6$ – pneumatyczne wbijanie rur stalowych,
- $i = 7$ – przecisk hydrauliczny niesterowany z transportem urobku przenośnikiem ślimakowym,
- $i = 8$ – przecisk hydrauliczny sterowany z transportem urobku przenośnikiem ślimakowym,
- $i = 9$ – przecisk hydrauliczny z wierceniem pilotowym oraz z transportem urobku przenośnikiem ślimakowym,
- $i = 10$ – przecisk hydrauliczny z wierceniem pilotowym i płuczkowym transportem urobku,
- $i = 11$ – mikrotunelowanie z transportem urobku przenośnikiem ślimakowym,
- $i = 12$ – mikrotunelowanie z płuczkowym transportem urobku,
- $i = 13$ – mikrotunelowanie z pneumatycznym transportem urobku.

7.3.7.3. Postacie numeryczne wybranych warunków ograniczających

Warunek ograniczający dotyczący materiału rurociągu, jaki można wbudować daną metodą bezwykopową zapisano w macierzy, gdzie wierszom przypisano po-

szczególne metody bezwykopowej budowy, w kolejności podanej wcześniej, natomiast kolumnom poszczególne materiały.

Przyjęto następujące oznaczenia:

- f_{i1} – elementy macierzy F określające możliwość stosowania betonu polimerowego jako materiału rurociągu dla i -tej metody,
- f_{i2} – elementy macierzy F określające możliwość stosowania kamionki jako materiału rurociągu dla i -tej metody,
- f_{i3} – elementy macierzy F określające możliwość stosowania PE jako materiału rurociągu dla i -tej metody,
- f_{i4} – elementy macierzy F określające możliwość stosowania PVC jako materiału rurociągu dla i -tej metody,
- f_{i5} – elementy macierzy F określające możliwość stosowania stali jako materiału rurociągu dla i -tej metody,
- f_{i6} – elementy macierzy F określające możliwość stosowania żelbetu jako materiału rurociągu dla i -tej metody,
- f_{i7} – elementy macierzy F określające możliwość stosowania żeliwa sferoidalnego jako materiału rurociągu dla i -tej metody,
- f_{i8} – elementy macierzy F określające możliwość stosowania żywic poliestrowych wzmocnianych włóknem szklanym jako materiału rurociągu dla i -tej metody.

$$F = \begin{pmatrix} 0 & 0 & 1 & 1 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 1 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ 1 & 1 & 0 & 0 & 1 & 1 & 1 & 1 \\ 0 & 0 & 1 & 0 & 1 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ 1 & 1 & 0 & 0 & 1 & 1 & 1 & 1 \\ 1 & 1 & 0 & 0 & 1 & 1 & 1 & 1 \\ 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 \\ 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 \\ 1 & 1 & 0 & 0 & 0 & 1 & 1 & 1 \\ 1 & 1 & 0 & 0 & 0 & 1 & 1 & 1 \\ 1 & 1 & 0 & 0 & 0 & 1 & 1 & 1 \end{pmatrix} \quad (7.19)$$

Poszczególnym elementom macierzy F przypisano wartości ze zbioru $\{0,1\}$, takie że przypisanie wartości 1 oznacza, że jest możliwość wbudowania rurociągu z dane-

go materiału daną metodą bezwykopową, natomiast 0 oznacza, że takiej możliwości nie ma. Analizując wartości elementów macierzy F można zauważyć, że stal, jako materiał rurociągu, może być użyta prawie w każdej metodzie bezwykopowej budowy oprócz metod z grupy mikrotunelowania (piąta kolumna macierzy). Wszystkie rozważane materiały mogą być użyte do bezwykopowej budowy sieci przy zastosowaniu przecisku hydraulicznego z wierceniem pilotowym oraz z transportem urobku zarówno przenośnikiem ślimakowym, jak i systemem płuczkowym (wiersz 9. oraz 10. wartości wszystkich elementów są równe 1).

Odchylenie spadku wbudowanego rurociągu od przewidzianego w dokumentacji zapisano w macierzy kolumnowej, w której elementom przypisano wartości liczbowe określające maksymalne odchylenie spadku wbudowanego rurociągu, charakterystyczne dla i -tej metody. Wartości podane są w milimetrach.

$$G^1 = \begin{array}{|c} 51 \\ 51 \\ 51 \\ 51 \\ 51 \\ 51 \\ 51 \\ 20 \\ 20 \\ 20 \\ 20 \\ 20 \\ 20 \\ 20 \end{array} \quad (7.20)$$

Dla metod niesterowalnych, dla których możliwe odchylenia zarówno spadku, jak i odchylenie w planie osi wbudowanego rurociągu waha się od 1 do 2% długości wykonywanych odcinków przyjęto wartość odchylenia spadku wbudowanego rurociągu od przewidzianego w dokumentacji ± 51 mm, jest to wartość większa od największego dopuszczalnego odchylenia spadku dla budowy rurociągów grawitacyjnych według pracy [3]. Wartość taką przyjęto ze względu na fakt, że metody niesterowalne nie są dopuszczone do budowy rurociągów grawitacyjnych oraz przyłączy grawitacyjnych o średnicy większej od 150 mm lub długości większej niż 20 m. Można je stosować jedynie do budowy rurociągów ciśnieniowych, przyłączy rurociągów ciśnieniowych oraz przyłączy rurociągów grawitacyjnych o średnicy do 150 mm oraz długości nieprzekraczającej 20 m.

Elementy macierzy G^2 określają wartości maksymalnego odchylenia w planie osi wbudowanego rurociągu charakterystycznego dla i -tej metody. Poszczególne wartości podano również w milimetrach.

$$G^2 = \begin{array}{|c} 201 \\ 201 \\ 201 \\ 201 \\ 201 \\ 201 \\ 201 \\ 25 \\ 20 \\ 20 \\ 25 \\ 25 \\ 25 \end{array} \quad (7.21)$$

Dla metod niesterowalnych przyjęto wartość możliwego odchylenia w planie rurociągu ± 201 mm z tego samego powodu co dla odchylenia spadku.

7.3.8. Przykład obliczeniowy

W dalszej części tekstu przedstawiono przykład wyboru technologii bezwykopowej budowy przy zastosowaniu modelu AZ-01. Przyjęto następujące dane wejściowe:

- a) rodzaj wbudowywanego rurociągu – kanalizacja sanitarna grawitacyjna,
- b) rodzaje gruntu występujące na trasie projektowanego odcinka kanału – 4, 5,
- c) średnica nominalna projektowanego kanału – 400 mm,
- d) średnica zewnętrzna projektowanego kanału – 556 mm,
- e) projektowany materiał rur – kamionka,
- f) dopuszczalne odchylenie spadku kanału – 20 mm,
- g) dopuszczalne odchylenie osi kanału w planie – 25 mm,
- h) minimalna głębokość ułożenia kanału – 6 m,
- i) maksymalna wysokość zwierciadła wody gruntowej, powyżej dna kanału – 2,5 m,
- j) długość jednorazowo wbudowanego odcinka 62 m.

5. Wybór metody ze względu na projektowany materiał kanału:
 - wybrano następujące wektory: $f_4, f_7, f_8, f_9, f_{10}, f_{11}, f_{12}, f_{13}$.
6. Wybór metody ze względu na minimalną wysokość przykrycia gruntem nad wierzchołkiem kanału:
 - wybrano następujące elementy macierzy H: $h_7, h_8, h_9, h_{10}, h_{11}, h_{12}, h_{13}$.
7. Wybór metody ze względu na maksymalną wysokość zwierciadła wody gruntowej powyżej dna kanału:
 - ponieważ $p = 1$, $h_{\max w g} = 2,5$ wybrano elementy $j_i \geq 2,5$, tzn.: $j_5, j_7, j_9, j_{10}, j_{11}, j_{12}, j_{13}$.
8. Wybór metody ze względu dopuszczalne odchylenie spadku oraz odchylenie w planie osi wbudowanego kanału od przewidzianego w dokumentacji:
 - wybrano następujące elementy dla dopuszczalnego odchylenia spadku kanału: $g_8^1, g_9^1, g_{10}^1, g_{11}^1, g_{12}^1, g_{13}^1$,
 - wybrano następujące elementy dla dopuszczalnego odchylenia osi kanału w planie: $g_8^2, g_9^2, g_{10}^2, g_{11}^2, g_{12}^2, g_{13}^2$.
9. Ostateczny wybór metody:
 - wybrano wektory: $b_9, d_{19}, f_9, u_9; b_{11}, d_{11}, f_{11}, u_{11}; b_{12}, d_{12}, f_{12}, u_{12}$ oraz $b_{13}, d_{13}, f_{13}, u_{13}$.

Wielkością wyjściową są wskaźniki $i = 9, i = 11, i = 12$, oraz $i = 13$ identyfikujące metody M9, M11, M12, oraz M13 bezwykopowej budowy rurociągów podziemnych.

W przypadku kiedy (w oparciu o algorytm modelu AZ-01), otrzymuje się kilka potencjalnie możliwych do zastosowania metod bezwykopowej budowy, tak jak miało to miejsce w zaprezentowanym przykładzie, dalszego wyboru można dokonać stosując model AZ-02 opisany szczegółowo w pracy [86]. Model ten pozwala prowadzić analizy ekonomiczne stosowania rozważanych metod. Często również stajemy przed decyzją czy zastosować metodę bezwykopową, czy też metodę tradycyjną. W oparciu o opracowane przez autorkę wykresy [86] jest możliwe określenie czy dla danych warunków (głębokość ułożenia rurociągu, jego średnica, rodzaj nawierzchni, pod którą budowany jest rurociąg) bardziej efektywna ekonomicznie jest metoda bezwykopowa czy też metoda tradycyjna w wykopie.

LITERATURA

1. A – HAK – materiały informacyjne.
2. AMITECH – materiały informacyjne.
3. ATV – A125 Pipe Driving. German ATV Standards. Wastewater, Waste. September 1996.
4. BARTUSIAK W., KULCZYCKI B., Żelbetowe rury przeciskowe do mikrotunelowania P.V. Prefabet Kluczbork. IV Ogólnopolska i I Międzynarodowa Konferencja Naukowo-Szkoleniowa: Nowe materiały, urządzenia oraz technologie bezwykopowe w wodociągach i kanalizacji. Kielce – Cedzyna 2005.
5. BAŁKOWSKI K., Gazyfikacja. Wydawnictwa Naukowo-Techniczne, Warszawa 1996.
6. BETA – materiały informacyjne.
7. BETRAS – materiały informacyjne.
8. BŁASZCZYK W., STAMATELLO H., Kanalizacja. Sieci i pompownie, T. 1. Arkady, Warszawa 1983.
9. BOHRTEC – materiały informacyjne.
10. BS EN 12 889:2000 Trenchless Construction and Testing of Drains and Sewers.
11. BUDERUS – materiały informacyjne.
12. CIEŚLIK A., Podstawy projektowania horyzontalnych przewiertów sterowanych. NTTB 4/99, s. 52-54.
13. CIEŚLIK A., Przegląd technik mikrotunelowania – podstawy projektowania. NTTB, 3/2000, s. 26-31.
14. CZARNY-KROPIWICKI R., TAMBORSKI Sz., Mistrzostwo świata. Technologie Bezwykopowe 2/3 2000, s. 42-44.
15. DCI – materiały informacyjne.
16. DIN 18 300 – VOB Tendering Rules for Construction Work, General Technical provisions for Earthworks.
17. DYŻEWSKI A., Technologia i organizacja budowy. Tom I. Arkady, Warszawa 1989.
18. EGEPLAST – materiały informacyjne.
19. EUTIT – materiały informacyjne.
20. First PVC Pipe Installed by Microtunnelling in United States. Soltau News, June 1997.
21. FRANTZEN S., Metody kierowania trajektorią otworu wiertniczego. „Inżynieria Bezwykopowa”, maj 2003.
22. GABRYSZEWSKI T., Wodociągi. Arkady, Warszawa 1983.
23. GILDEMEISTER – materiały informacyjne.
24. GLINICKI St. P., Budowle podziemne. Skrypt Politechniki Białostockiej. Białystok 1994, s. 183.
25. HABA BETON – materiały informacyjne.
26. HALBERG – materiały informacyjne.
27. HENRI Ph., Pipes for Microtunnels: Suitability of Use. No Trenches in Town. NO – DIG'92 Paris.
28. HERRENKNECHT – materiały informacyjne.

29. HOBAS – materiały informacyjne.
30. IDS – materiały informacyjne.
31. INROCK – materiały informacyjne.
32. IRON SPA – materiały informacyjne.
33. ISEKI – materiały informacyjne.
34. KERAMO STEINZEUG – materiały informacyjne.
35. KĘDRACKI M., Ustalenie sił przecisku w technologiach tunelowania przeciskowego oraz mikrotunelowania. TTB 2/2003, s. 16-19.
36. KULICZKOWSKI A., Projektowanie konstrukcji przewodów kanalizacyjnych. Wydawnictwo Politechniki Świętokrzyskiej, Kielce 1990.
37. KULICZKOWSKI A., Rury kanalizacyjne. Własności materiałowe. Monografie, Studia, Rozprawy nr 38, Wydawnictwo Politechniki Świętokrzyskiej, Kielce 2001, s. 261.
38. KULICZKOWSKI A., Rury kanalizacyjne. Tom II. Projektowanie konstrukcji. Monografie, Studia, Rozprawy nr 42, Wydawnictwo Politechniki Świętokrzyskiej, Kielce 2004, s. 507.
39. KULICZKOWSKI A., ZWIERZCHOWSKA A., Ekonomiczne aspekty bezwykopowej budowy przewodów kanalizacyjnych. „Nowoczesne Techniki i Technologie Bezwykopowe”, 1999, nr 1, s. 26-30.
40. KULICZKOWSKI A., ZWIERZCHOWSKA A., Wybrane problemy optymalnego doboru metod bezwykopowej budowy rurociągów podziemnych. Prace Naukowe Instytutu Inżynierii Lądowej Politechniki Wrocławskiej nr 48. Wrocław 1999, s. 182-189.
41. KULICZKOWSKI A., ZWIERZCHOWSKA A., Zastosowanie technologii bezwykopowych do budowy przewodów kanalizacyjnych w warunkach miejskich. IV Kongres Kanalizatorów Polskich POLKAN 1999, Łódź, s. 185-193
42. KULICZKOWSKI A., ZWIERZCHOWSKA A., Propozycja podziału metod bezwykopowej budowy rurociągów podziemnych. „Technologie Bezwykopowe” 1/2 /2000.
43. KULICZKOWSKI A., ZWIERZCHOWSKA A., Koncepcja optymalnego doboru metod bezwykopowej budowy rurociągów podziemnych. „Nowoczesne Techniki i Technologie Bezwykopowe”, 2/2000.
44. KULICZKOWSKI A., ZWIERZCHOWSKA A., Kryteria doboru metod bezwykopowej budowy rurociągów. Zeszyty Naukowe nr 40, seria Budownictwo, Wydawnictwo Politechniki Świętokrzyskiej, Kielce 2001, s. 131-137.
45. KULICZKOWSKI A., ZWIERZCHOWSKA A., Specyfika rozwiązań materiałowo-konstrukcyjnych rur stosowanych w bezwykopowej budowie rurociągów podziemnych, IV Konferencja Naukowo-Techniczna: Nowe technologie w sieciach i instalacjach wodociągowych i kanalizacyjnych, Ustroń 2002.
46. KULICZKOWSKI A., ZWIERZCHOWSKA A., ZWIERZCHOWSKI D., The Optimisation of Trenchless Pipe Laying Technologies and the Specificity of Pipe Laying in Urban Conditions. EFUC – European Forum on Underground Construction, Suderburg 2-4 June 2003.
47. MADRYAS C., Przewierty sterowane w budowie sieci wodociągowych i kanalizacyjnych. II Konferencja Naukowo-Techniczna: Nowe materiały i urządzenia w wodociągach i kanalizacji. Kielce 2001, s. 121-129.

48. MADRYAS C., KOLONKO A., WYSOCKI L., Konstrukcje przewodów kanalizacyjnych. Oficyna Wydawnicza PWR, Wrocław 2002, s. 378.
49. MELFRED BORZALL – materiały informacyjne.
50. MEYER – materiały informacyjne.
51. MROZIK M., Kilka słów o balastowaniu. „Inżynieria Bezwykopowa” 4/2004, s. 70-72.
52. MTS Perforator – materiały informacyjne.
53. NAYLOR – materiały informacyjne.
54. NOWOTKA R., ZIAJA J., Budowa, zasada działania oraz dobór maszyn przeciskowych typu Grundoram. TTB 2/2003, s. 24-33.
55. OSIKOWICZ R., ZIAJA J., Rozwój kierunkowych wierceń horyzontalnych w Polsce. NTTB 2/2000, s. 46-54.
56. PALMIERI – materiały informacyjne.
57. PERFORATOR – materiały informacyjne.
58. PETROW-GANEW D., Horyzontalne przewiertki sterowane – technologia. „Technologie Bezwykopowe” 2/1998, s. 33-35.
59. PN-92/B-10 735 Kanalizacja. Przewody kanalizacyjne. Wymagania i badania przy odbiorze.
60. PN-B-06050: 1999 Geotechnika. Roboty ziemne. Wymagania ogólne.
61. PN – EN ISO 6708: 1998. Elementy rurociągów. Definicja i dobór DN (wymiaru nominalnego).
62. P.V. PREFABET KLUCZBORK – materiały informacyjne.
63. RADIODETECTION – materiały informacyjne.
64. RIVICO – materiały informacyjne.
65. SAINT GOBAIN – materiały informacyjne.
66. SCHAUBURG MAB – materiały informacyjne.
67. SCHÖNGEN KUNSTOFF ROHRSYSTEME – materiały informacyjne.
68. SOLTAU – materiały informacyjne.
69. STAMATELLO H., Tunele i miejskie budowle podziemne. Arkady, Warszawa 1970.
70. STEIN D., MÖLERS K., BIELECKI R., Microtunnelling. Verlag für Architektur und technische Wissenschaften. Berlin 1989.
71. STEVE VICK – materiały informacyjne.
72. TERRA – materiały informacyjne.
73. TRACTO TECHNIK – materiały informacyjne.
74. TRENCHLESS TECHNOLOGY GUIDELINES.
75. VERMEER – materiały konferencyjne.
76. VMT – materiały informacyjne.
77. WALCZAK R., Systemy rur GRP – optymalizacja i właściwy wybór systemu w aspekcie technik bezwykopowych. IV Ogólnopolska i I Międzynarodowa Konferencja Naukowo-Szkoleniowa: Nowe materiały, urządzenia oraz technologie bezwykopowe w wodociągach i kanalizacji. Kielce – Cezdyna 2005.
78. WAMET – materiały informacyjne.

79. WAVIN – materiały informacyjne,
80. WÜWA BAU – materiały informacyjne.
81. WIŚNIEWSKI R., Projektowanie trajektorii osi horyzontalnego przewiertu sterowanego w przestrzeni R^2 , będącej kombinacją odcinków prosto- i krzywoliniowych. IV Ogólnopolska i I Międzynarodowa Konferencja Naukowo-Szkoleniowa: Nowe materiały, urządzenia oraz technologie bezwykopowe w wodociągach i kanalizacji. Kielce – Cezdyna 2005.
82. WIŚNIEWSKI R., STRYCZEK St., ZIAJA J., Wybrane aspekty projektowania i wykonywania horyzontalnych przewiertów sterowanych. III Konferencja Naukowo-Techniczna: Nowe materiały i urządzenia w wodociągach i kanalizacji. Kielce 2003, s. 233-241.
83. ZWIERZCHOWSKA A., Wykorzystanie metody przecisku hydraulicznego z wierceniem pilotażowym do budowy sieci kanalizacyjnych na przykładzie urządzeń firmy Schmidt, Kranz-Perforator. Prace Naukowe Instytutu Inżynierii Łądowej Politechniki Wrocławskiej nr 48. Wrocław 1999, s. 272-279.
84. ZWIERZCHOWSKA A., Zastosowanie metod bezwykopowej budowy sieci podziemnych w aspekcie ochrony środowiska. Polsko-Duńska Konferencja Naukowo-Techniczna: Woda – Człowiek – Środowisko – Współczesność – Wyzwanie XXI wieku. Kołobrzeg – Kopenhaga, 25-28 września 2000.
85. ZWIERZCHOWSKA A., Optymalny dobór metod bezwykopowej budowy sieci kanalizacyjnych i wodociągowych. III Konferencja Naukowo-Techniczna: Nowe materiały i urządzenia w wodociągach i kanalizacji. Kielce 2003, s. 197-205.
86. ZWIERZCHOWSKA A., Optymalizacja doboru metod bezwykopowej budowy rurociągów podziemnych. Monografia nr 38, Wydawnictwo Politechniki Świętokrzyskiej, Kielce 2003, s. 223.
87. ZWIERZCHOWSKA A., Systemy sterowania i kontroli wykorzystywane w metodach bezwykopowej budowy sieci podziemnych. „Inżynieria Bezwykopowa” 1/2004, s. 31-37.
88. ZWIERZCHOWSKA A., Parametry techniczne metod bezwykopowej budowy sieci podziemnych w kontekście wyboru optymalnej technologii. IV Ogólnopolska i I Międzynarodowa Konferencja Naukowo-Szkoleniowa: Nowe materiały, urządzenia oraz technologie bezwykopowe w wodociągach i kanalizacji. Kielce – Cezdyna 2005
89. ŻERKOWSKI Z., Pierwszy kret, który wie dokąd zmierza. NTTB 4/2001, s. 54-55.
90. ŻUCHOWSKI D., Rury z żeliwa sferoidalnego w technologiach bezwykopowych. IV Ogólnopolska i I Międzynarodowa Konferencja Naukowo-Szkoleniowa: Nowe materiały, urządzenia oraz technologie bezwykopowe w wodociągach i kanalizacji. Kielce – Cezdyna 2005.