



Fundusze Europejskie  
dla Rozwoju Społecznego



Rzeczpospolita  
Polska

Dofinansowane przez  
Unię Europejską



Politechnika Świętokrzyska  
Wydział Inżynierii Środowiska  
Geodezji i Energetyki

Kierunek studiów:  
**Inżynieria Środowiska**

**Urszula Kubicka**

Materiały dydaktyczne do przedmiotu

## **INFRASTRUKTURA PODZIEMNA MIAST**

opracowane w ramach realizacji Projektu  
**„Dostosowanie kształcenia  
w Politechnice Świętokrzyskiej do potrzeb  
współczesnej gospodarki”**  
FERS.01.05-IP.08-0234/23

Kielce, 2025



Politechnika Świętokrzyska  
Kielce University of Technology

*Projekt „Dostosowanie kształcenia w Politechnice Świętokrzyskiej do potrzeb współczesnej gospodarki”  
nr FERS.01.05-IP.08-0234/23*



## Spis treści

|                                                                                                                             |    |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| 1. Wprowadzenie .....                                                                                                       | 3  |
| 2. Kable w infrastrukturze podziemnej .....                                                                                 | 3  |
| 2.1. Podział metod układania kabli światłowodowych w zależności od sposobu mocowania i typu infrastruktury podziemnej ..... | 3  |
| 2.2. Wdmuchiwanie kabli światłowodowych .....                                                                               | 6  |
| 3. Przepusty drogowe .....                                                                                                  | 11 |
| 3.1. Rozwiązania materiałowo – konstrukcyjne .....                                                                          | 11 |
| 3.2. Odnowa przepustów drogowych .....                                                                                      | 12 |
| 3.2.1. Wprowadzenie .....                                                                                                   | 12 |
| 3.2.2. Odnowa przepustów z wykorzystaniem zbrojenia wzmacniającego .....                                                    | 12 |
| 3.2.3. Odnowa przepustów z zastosowaniem włókien FRP .....                                                                  | 14 |



Materiały dydaktyczne objęte licencją Creative Commons BY 4.0.

Licencja dostępna pod adresem: <https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



## 1. Wprowadzenie

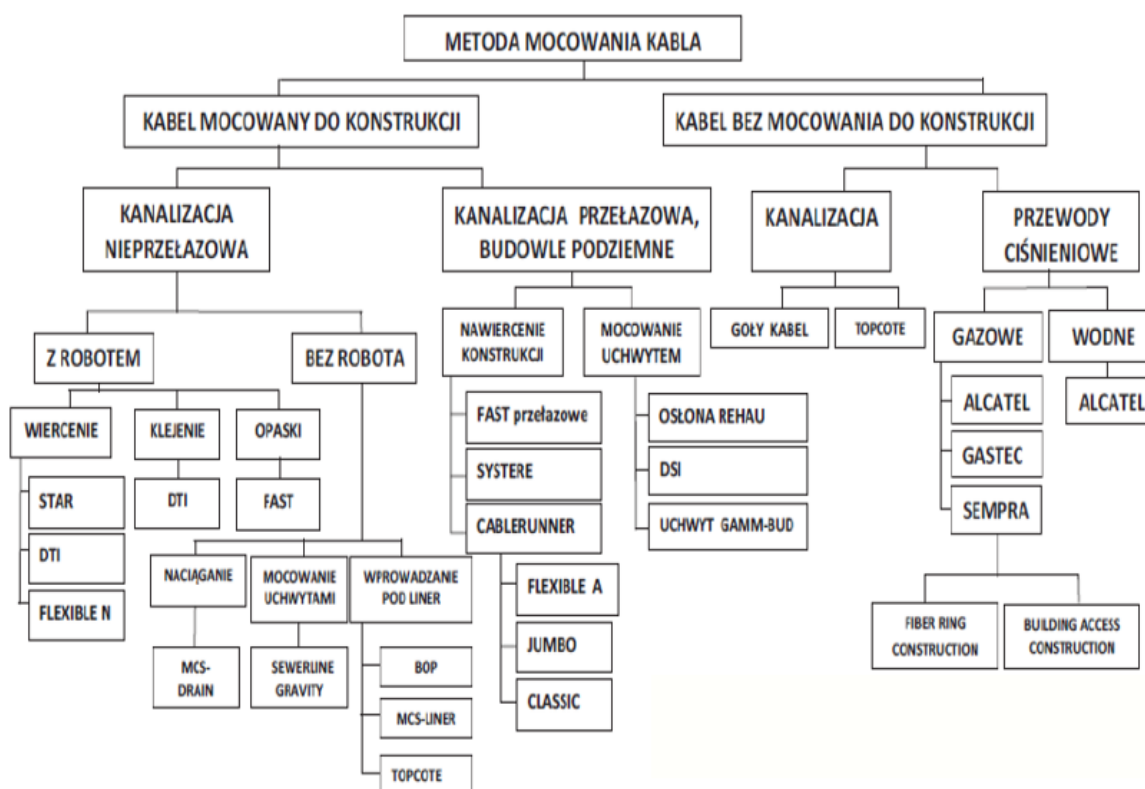
Intensywny rozwój infrastruktury miejskiej i dynamiczna rozbudowa miejskich jednostek osadniczych wymuszają jednoczesny rozwój infrastruktury podziemnej w związku z koniecznością uzbrojenia terenu, ewentualną podziemną komunikacją pieszą lub samochodową, czy też dostosowaniem infrastruktury istniejącej do współczesnych wymogów technicznych lub poprawą jej stanu technicznego.

## 2. Kable w infrastrukturze podziemnej miast

### 2.1 Podział metod układania kabli światłowodowych w zależności od sposobu mocowania i typu infrastruktury podziemnej

Kable w infrastrukturze podziemnej należy w sposób trwały przymocować do struktury ścianki obiektu. Miejsce mocowania nie powinno zakłócać poprawnej pracy obiektu, w którym zostały zainstalowane kable. W związku z tym, w zależności od rodzaju infrastruktury, średnicy/ przekroju, grubości ścianki obiektu kable mocowane są przy wykorzystaniu określonych metod i w optymalnie wybranych miejscach. Na rysunku nr 1 przedstawiono podział ww. metod ze względu na sposób montażu kabla (Andrzejewski, 2011)

[Tekst alternatywny: na rysunku znajduje się diagram dzielący metody mocowania kabla na dwie podgrupy: pierwsza -kabel mocowany do konstrukcji i druga -kabel bez mocowania do konstrukcji. Poziom niżej podgrupa pierwsza dzieli się na kanalizację nieprzełazową, gdzie dalej następuje rozdział na opcje: z robotem i bez robota oraz przełazową, z dalszym podziałem na: nawiercanie konstrukcji i mocowanie uchwytem. Grupa druga natomiast rozdziela się na kanalizację oraz na przewody ciśnieniowe z podziałem na wodne i gazowe. Niższe poziomy na diagramie to nazwy własne metod układania kabli]



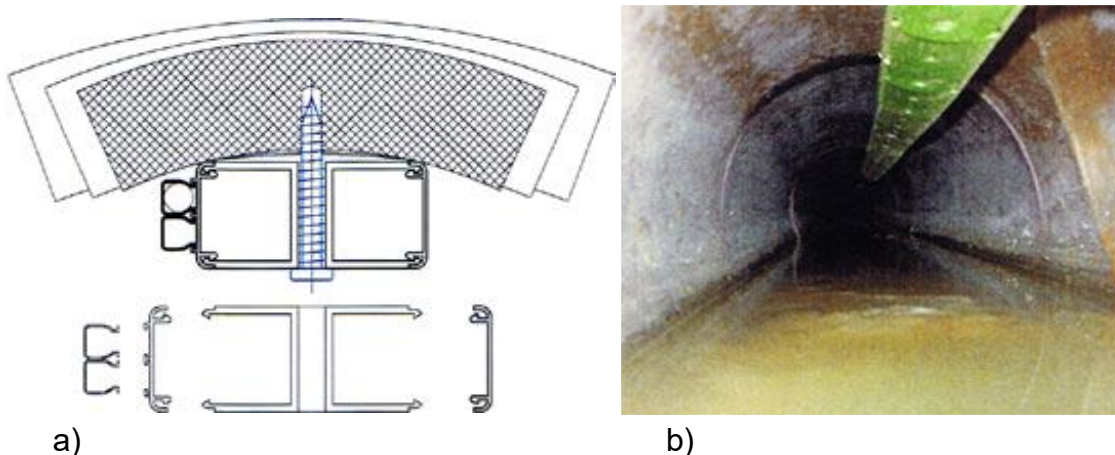
Rys. 1. Podział metod układania kabli w zależności od sposobu mocowania i miejsca lokalizacji w infrastrukturze podziemnej (Andrzejewski, 2011)

Przykładem uniwersalnej metody układania kabli w infrastrukturze jest metoda CableRunner. W systemie tym rozróżnia się dwie odmiany z odpowiednio dostosowanymi sposobami montażu:

- Sewerline Flexible – stosowana jest tu przegubowa konstrukcja z tworzywa, która pozwala dopasować się do łuków, przy średnicy instalowanych kabli do 25mm
- Sewerline Gravity- to jedna z niewielu metod montażu pozwalająca na układanie kabli na dnie kanału, bez konieczności ich mocowania na długości. Stosowane są w tej odmianie osłony - rynny ze stali kwasoodpornej, które łączy się przegubowo (Kulickowski et al., 2010)

Na rysunku numer 2 przedstawiono zasadę montażu w odmianie typu Sewerline Flexible stosowaną dla kanałów nie przelazowych. W odmianie tej obudowa z tworzywa sztucznego mocowana jest w wierzchołku kanału do jego ścianki. W zależności od potrzeb obudowy mogą być dostosowane do osłony nawet kilku kabli światłowodowych, co przedstawia schemat na rysunku 2a).

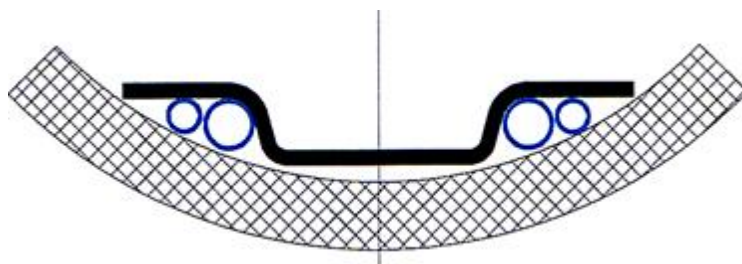
[Tekst alternatywny: rysunek składa się z części a i b. Na pierwszym – część a- przedstawiony jest fragment wierzchołka rury kanalizacyjnej, do której centralnie przymocowana jest obudowa składająca się z dwóch komór. Poniżej przedstawiona obudowa rozłożona na elementy składowe. W części b znajduje się zdjęcie przedstawiające wnętrze kanału z zamocowaną w wierzchołu obudową]



Rys. 2. Schemat montażu kabli światłowodowych w kanałach nie przełazowych przy zastosowaniu metody Sewerline Flexible; a) szczegół zamocowania obudowy do kabli w przewodzie kanalizacyjnym- schemat, b) zamocowane kable w systemie Sewerline Flexible (Kulickowski et al., 2010)

Na rysunku 3 przedstawiono rozmieszczenie kabli w systemie Sewerline Gravity pod stalową kinetą. Kinetą ta dostarczana jest na miejsce montażu na specjalnych bębnach. Niewątpliwą zaletą jest mocowanie tej osłony dyblami jedynie w studniach kanalizacyjnych. Nie ma konieczności dodatkowych mocowań na długości kanału, pomiędzy studzienkami, co pozwala na brak ingerencji w strukturę ścianki kanału. . kanale. Rysunek 4 ilustruje sposób wprowadzania stalowej tacy do wnętrza przewodu kanalizacyjnego poprzez studzienkę kanalizacyjną (rys. 4a) oraz widok gotowej instalacji z wnętrza kanału (rys 4b).

[Tekst alternatywny: na rysunku znajduje się schemat fragmentu kinety rury kanalizacyjnej, w której osiowo ułożona jest osłona ze stali nierdzewnej i pod którą po każdej stronie znajdują się dwie rury osłonowe, służące do umieszczenia w nich kabli światłowodowych.]

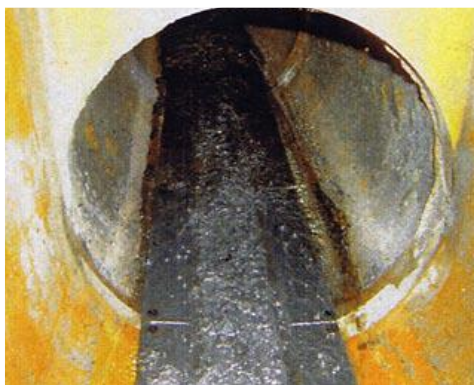


Rys.3. Rozmieszczanie kabli pod kinetą ze stali nierdzewnej w systemie Sewerline Gravity (Kuliczkowski et al., 2010)

[Tekst alternatywny: rysunek składa się z części a i b. Na pierwszym – część a- znajduje się zdjęcie przedstawiające dwóch mężczyzn stojących nad studzienką kanalizacyjną oraz bęben, na którym znajduje się osłona. Mężczyźni wprowadzają osłonę przez studzienkę do wnętrza kanału. W części b znajduje się zdjęcie wnętrza kanału z zainstalowaną na dnie kanału stalową kinetą ochronną]



a)



b)

Rys. 4. Montaż osłony w kinecie kanału; a) sposób wprowadzenia stalowej osłony dla kabli w systemie Sewerline Gravity przez studzienkę kanalizacyjną, b) zainstalowana na dnie kanału stalowa kineta ochronna wraz z umieszczonymi pod nią kablami światłowodowymi (Kuliczkowski et al., 2010)

## 2.2. Wdmuchiwanie kabli światłowodowych

W związku z intensywnym rozwojem technologii przesyłu sygnału / danych kable światłowodowe wypierają tradycyjne okablowanie (np. z miedzi). Zalecane jest aby kabel światłowodowy nie był układany bezpośrednio w gruncie czy kanalizacji pierwotnej. Powinien być odizolowany od wpływu warunków zewnętrznych poprzez

umieszczenie go w rurze ochronnej (osłonowej), najczęściej wykonanej polietylenu wysokiej gęstości, o średnicy odpowiednio większej od żyły kabla światłowodowego, najczęściej 32 do 40 mm. Zachodzi więc potrzeba bezpiecznego wprowadzenia kabla do wnętrza rury osłonowej. Czynność tę można wykonać poprzez wciąganie ręczne lub wykorzystując wciągarkę, jednak istnieje wówczas duże prawdopodobieństwo uszkodzenia kabla – przerwania włókien światłowodowych. Upowszechniła się wobec tego inna technika, a mianowicie technika tzw. „wdmuchiwanie”, gdzie przy użyciu sprężonego powietrza i dodatkowych podajników podających kabel bezpiecznie wprowadza się go do wnętrza rury osłonowej. Zasada wdmuchiwania została zobrazowana na rysunku 5. Aby kabel zaczął poruszać się wewnątrz rury wtórnej należy działać na niego siłami pchającą i ciągnącą o takich wartościach, aby były one odpowiednio większe od ciężaru kabla i siły tarcia kabla o dno rury ochronnej.

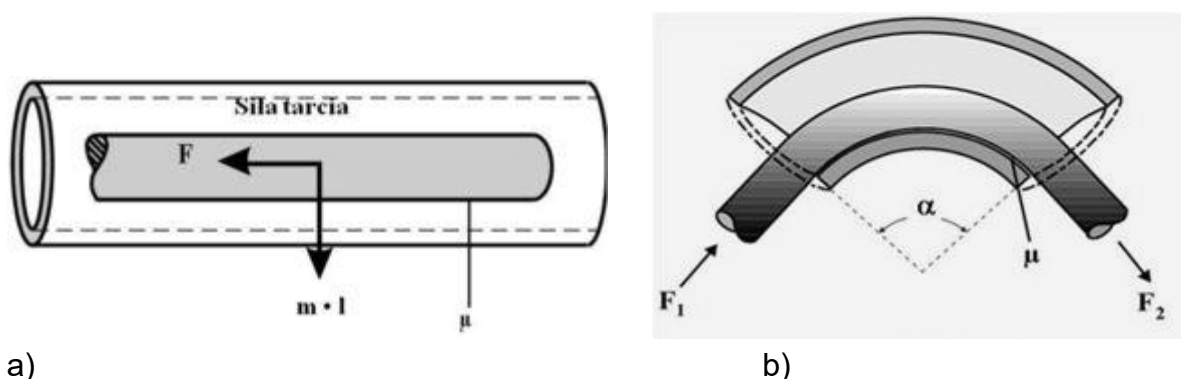
[Tekst alternatywny: rysunek przedstawia schemat fragmentu przekroju podłużnego przez rurę osłonową z umieszczonym wewnątrz kablem światłowodowym. Na schemacie umieszczono wektory sił pchającej i ciągnącej – kierunek poziomy, zwrot w prawą stronę oraz siły tarcia – kierunek poziomy, zwrot w lewą stronę]



Rys. 5. Schemat sił działających na kabel (Andrzejewski, 2008)

Kabel światłowodowy podczas procesu wdmuchiwania tak długo będzie przemieszczał się w rurze, dopóki siła tarcia nie zrównoważy sumy sił ciągnącej i pchającej. Rysunek nr 6 ilustruje schematyczny rozkład sił działających na wdmuchiwany do rury wtórej kabel światłowodowy.

[Tekst alternatywny: rysunek składa się z części a i b. Na pierwszym – część a- znajduje się prosty odcinek rury osłonowej z kablem światłowodowym wewnątrz, z wrysowaną siłą tarcia  $F$ , oznaczeniem  $\mu$  oraz  $m \cdot l$ . W części b przedstawiono analogiczny układ rury osłonowej z kablem, ale zakrzywiony (kąt  $\alpha$ ) z wrysowaną siłą tarcia  $F_1$  i  $F_2$ , oznaczeniem  $\mu$ .]



a)

b)

Rys. 6. Schemat rozkładu sił w rurze wtórnej podczas procesu wdmuchiwania gdzie:  
m – masa właściwa kabla [kg/m], l – długość kabla [m], g- stała grawitacyjna [m/s<sup>2</sup>],  
μ - współczynnik tarcia, F, F1, F2 – siły działające na kabel światłowodowy: a) odcinek prosty, b) odcinek zakrzywiony (Andrzejewski, 2008)

Siłę tarcia działającą na kabel w przypadku wprowadzania go na odcinku prosty, można wyrazić wzorem (1):

$$F_1 = m \cdot l \cdot g \cdot \mu \quad | \quad (1)$$

Natomiast w przypadku wystąpienia zmiany kierunku, siłę działającą na kabel za łukiem opisuje wzór nr 2.

$$F_2 = F_1 \cdot e^{\mu \alpha} \quad | \quad (2)$$

gdzie:

e - podstawa logarytmu naturalnego [-],

F<sub>1</sub> – siła dla odcinka prostego [N],

α – kąt wygięcia łuku [°].

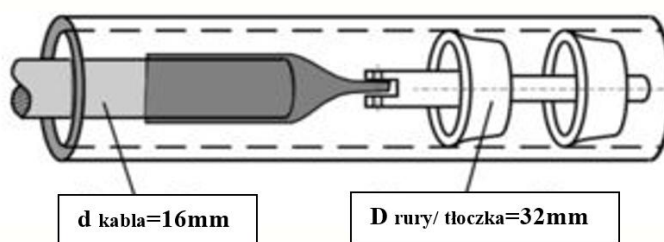
Znając wartości sił konieczne do przemieszczania się kabla wewnątrz rury osłonowej oraz geometrię układu (średnicę wewnętrzną rury osłonowej i zewnętrzną kabla światłowodowego) dobiera się odpowiednią metodę wdmuchiwania. W procesie tym stosowane mogą być:

- metoda tłoczkowa
- metoda strumieniowa

Metoda tłoczkowa została schematycznie zaprezentowana na rysunku 7. W metodzie tej do czoła kabla światłowodowego mocuje się tzw. tłoczki, które powinny dość szczelnie przylegać do ścianek rury osłonowej. Następnie aplikowane sprężone powietrze, które napotykając na element tłoczka, napiera na jego powierzchnię

powodując przesuw. W ten sposób napór sprężonego powietrza powoduje powstanie siły ciągnącej kabel.

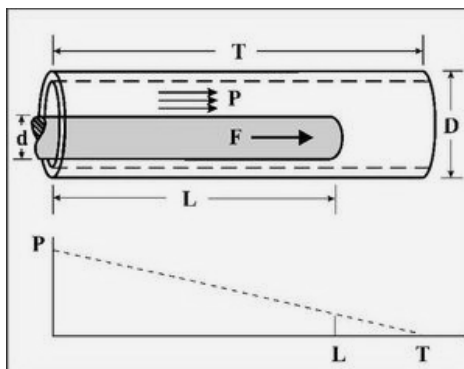
[Tekst alternatywny: na rysunku znajduje się odcinek prosty rury osłonowej z kablem światłowodowym wewnątrz, uzbrojony w końcówkę, do której zamocowane są szeregowo dwa tłoczki o przekroju kołowym, jeden za drugim. Po lewej stronie na dole opisano średnicę kabla (16mm), a po prawej średnicę rury/ tłoczka (32mm)]



Rys.7. Schemat wdmuchiwania kabli w metodzie tłoczkowej, po lewej stronie kabel światłowodowy uzbrojony w klamrę, do której przymocowane są tłoczki, po prawej stronie dwa tłoczki (Andrzejewski, 2008)

Metoda strumieniowa, wraz ze schematycznym rozkładem sił przedstawiona została na rysunku 8. W metodzie tej nie ma tłoczków, ani innych dodatkowych elementów stawiających opór wdmuchiwanemu powietrzu. W tym przypadku siła ciągnąca pochodzi od tarcia przepływającego powietrza o powierzchnię zewnętrzną kabla światłowodowego.

[Tekst alternatywny: rysunek przedstawia schemat prostego odcinka rury osłonowej z kablem światłowodowym wewnątrz. Podano na rysunku wymiary: długość rury –  $T$ , średnica rury  $D$ , długość kabla –  $L$ , średnica kabla –  $d$ . Wewnątrz rury oznaczono schemat działania sił pochodzących od nadciśnienia powietrza -  $P$  oraz od siły ciągnącej –  $F$ . Poniżej rury wrysowana jest oś pionowa, na której oznaczono początkowy poziom wartości siły  $P$  oraz oś pozioma, na której zaznaczono długości  $L$  i  $T$ . Linia przerywaną wrysowano na osiach spadek wartości siły  $P$  wraz ze zwiększającą się długością instalacji]



Rys. 8. Rozkład sił w metodzie strumieniowej, gdzie :F - siła działająca na kabel [N], P - nadciśnienie na kompresorze [N/m<sup>2</sup>], d - średnica zewnętrzna kabla [m], D - średnica wewnętrzna rury wtórnej [m], T - długość trasy [m], L - długość kabla [m] (Andrzejewski, 2008)

Wybór metody wdmuchiwania uzależniony jest od średnicy kabla, średnicy rury osłonowej oraz wielkości przestrzeni powstałej pomiędzy kablem a rurą osłonową. Siłę powstającą na tłoczku (siłę ciągnącą kabel) można obliczyć z zależności, wg wzoru nr 3

$$F = (D^2 - d^2) \cdot \pi/4 \cdot P \quad (3)$$

gdzie:

F – siła ciągnąca [N],

D – średnica wewnętrzna rury [mm],

d – średnica zewnętrzna kabla [mm],

P – ciśnienie powietrza (nadciśnienie) [bar]

Wobec powyższego, przy doborze metod wdmuchiwania kabli należy wziąć pod uwagę fakt, że wartość siły na tłoczku będzie tym mniejsza, im mniejsza jest różnica między średnicą wewnętrzną rury, a średnicą kabla. Stąd też z reguły przy rurach o niewielkich średnicach i kablach o dużej grubości lepiej stosować jest metodę strumieniową. Niezależnie od zastosowanej metody wdmuchiwania, oprócz sił ciągnących należy uwzględnić też siłę pchającą kabel, pochodzącą od mechanicznego podajnika wdmuchiarki. Wartość tej siły zależy od modelu maszyny i sztywności kabla, z reguły wynosi od 500 do 2000 N.



Na przebieg procesu wdmuchiwania mają także wpływ inne parametry, które można zestawić w trzech grupach:

- grupa 1.- czynniki zależne od materiałów: kabla, rur wtórnych, złączek, rodzaju płynu poślizgowego itp. Na przykład kable do wdmuchiwania powinny charakteryzować się dużą sztywnością umożliwiającą przenoszenie siły wypychającej od podajnika, a powłoka zewnętrzna kabla powinna mieć jak najmniejszy współczynnik tarcia w zetknięciu z rurą osłonową. Rury osłonowe powinny mieć niski współczynnik tarcia i dużą sztywność obwodową, aby nie ulegały deformacji na łukach i nie zmieniały przekroju poprzecznego pod naporem gruntu. Obecnie często stosuje się rury osłonowe wykonane z PE-HD z dodatkową wewnętrzną warstwą poślizgową oraz wzdłużnymi rowkami zmniejszającymi powierzchnię styku z kablem. Poleca się też rury z rowkami spiralnymi (drogie i trudno dostępne). Bardzo ważnym elementem są złączki. Muszą zapewniać pełną szczelność i gwarantować idealne połączenie rur, bez karbów, uskoków czy deformacji.
- grupa 2. – czynniki zależne od rodzaju i parametrów sprzętu i urządzeń zastosowanych w procesie wdmuchiwania, czyli typ wdmuchiwarki, sprężarki, przewodów powietrznych, odwijaków kabla, dodatkowych głowic itp.
- grupa 3. – czynniki zależne od warunków zewnętrznych, czyli od przebiegu trasy kabla, sposobu ułożenia rur wtórnych, pogody, temperatury, wilgotności powietrza itp. Czynniki z tej grupy mają duży wpływ na przebieg procesu wdmuchiwania. Zasięg wdmuchiwania ze względu na przebieg trasy kabla jest różny (ilość łuków, spadek/ przeciwspadek). Każdy łuk czy wdmuchiwanie „pod górę” zmniejsza zasięg. Wysoka temperatura otoczenia, szczególnie jeśli kompresor nie jest wyposażony w chłodnicę powietrza powoduje podgrzanie kabla, a w konsekwencji zmniejszenie jego sztywności co zmniejsza wydajność dopychania. Także mniejsza gęstość gorącego powietrza obniża wartość siły ciągnącej kabel i skuteczność działania płynu poślizgowego. (Andrzejewski, 2008)

### 3. Przepusty drogowe

#### 3.1. Rozwiązania materiałowo – konstrukcyjne

Przepusty są wykorzystywane w bardzo wielu celach, na przykład w pracach drogowych oraz melioracyjnych pozwalają przeprowadzić pod drogą różnego rodzaju cieki wodne, strumienie i odpływy, a także instalacje i urządzenia techniczne. Celem budowy przepustów jest również stworzenie bezpiecznych tras dla dzikich zwierząt, wykorzystuje się je powszechnie przy budowie konstrukcji hydrotechnicznych oraz w



kanalizacji deszczowej. Znajdują zastosowanie wszędzie, gdzie konieczne jest poprowadzenie pod drogą wody lub jakiegokolwiek innego, stosunkowo niewielkiego obiektu. (Rozporządzenie, 2022)

Przepusty są obiektami o bardzo szerokim zakresie średnic. Aby konstrukcja została uznana za przepust drogowy, jej wewnętrzna średnica musi wynosić nie mniej niż 60 cm. W przypadku przepustów o średnicy do 150 cm uznaje się, że stanowią one integralną część drogi, a ich stan jest sprawdzany podczas przeglądu stanu technicznego dróg. Natomiast przepusty drogowe o średnicy powyżej 150 cm traktowane są jako samodzielne obiekty inżynierskie i podlegają zasadom kontroli obiektów mostowych (poradnikinżyniera.pl, 2025)

Przepusty wykonywane są z różnych materiałów, między innymi z :

- betonu/ żelbetu,
- blach,
- tworzyw sztucznych , przede wszystkim z polietylenu wysokiej gęstości (PEHD), GRP, FRP.

Mogą mieć różną konstrukcję i przekroje, na przykład:

- kołowe,
- prostokątne ramowe,
- skrzynkowe,
- jajowe pionowe i poziome czy o przekroju gardzielowym.

## **3.2. Odnowa przepustów drogowych**

### **3.2.1.Wprowadzenie**

Przepusty stosowane są w infrastrukturze od wielu lat. Dlatego też w wielu przypadkach zachodzi konieczność poprawy ich stanu technicznego, a co jest z tym związane, zastosowania odpowiednich technologii odnowy, dostosowanej do każdorazowo indywidualnie do parametrów przepustu, w tym przede wszystkim do materiału, z którego został wykonany. Starsze przepusty były w dużej mierze budowane z betonu czy żelbetu (prefabrykatów) i po często kilkudziesięciu latach eksploatacji wymagają działań naprawczych. (Wysokowski, 2019)

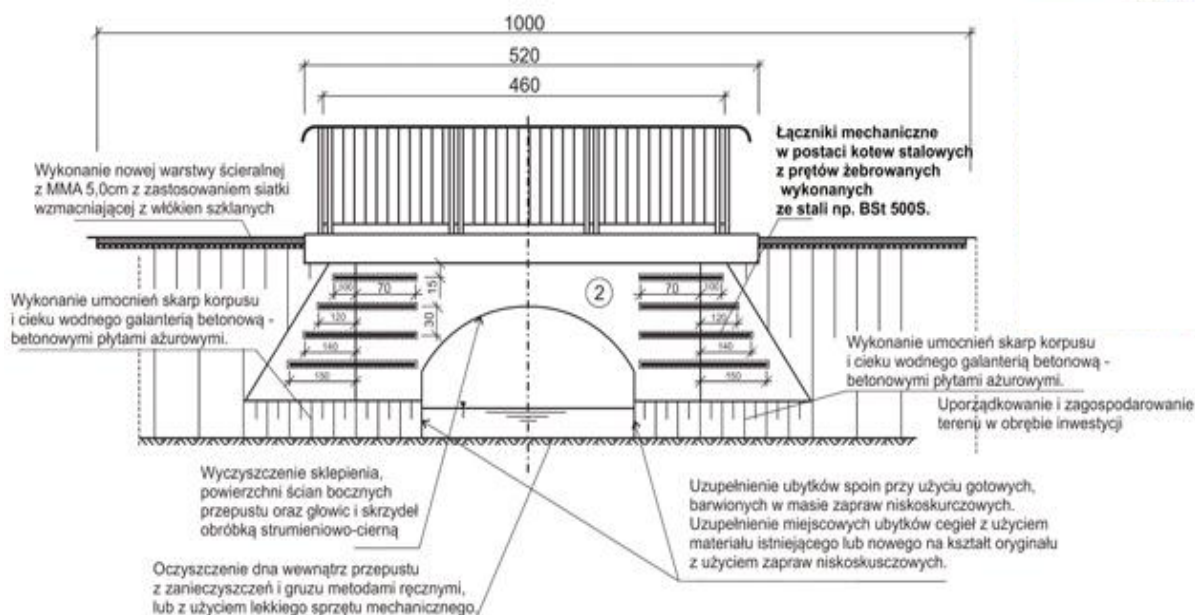
### **3.2.2.Odnowa przepustu z wykorzystaniem zbrojenia wzmacniającego**

Do częstych uszkodzeń przepustów można zaliczyć deformacje geometryczne głównych elementów konstrukcyjnych przepustów. W takim przypadku stosuje się często zespolenia tych elementów z wykorzystaniem dodatkowego zbrojenia

zewnątrznego wysokiej wytrzymałości. Rozwiązanie polega tu na zastosowaniu zbrojenia wzmacniającego i zespalającego elementy konstrukcyjne w postaci kotew stalowych, np. z wykorzystaniem prętów żebrowanych o średnicy 16 mm i większej. Zbrojenie to wklejane jest wtedy prostopadle do osi rys i spękań (Wysokowski 2017), (Wysokowski, 2019)

Na rysunku 9 przedstawiono przykład renowacji przepustu drogowego autorstwa A. Wysokowskiego, gdzie zastosowano powyższy sposób odnowy.

[Tekst alternatywny: rysunek ilustruje schemat wzmocnienia przepustu drogowego. Środkową część rysunku stanowi przekrój poprzeczny przez przepust pod mostem, o sklepieniu półkolistym, z opisem sposobu czyszczenia poprzez obróbkę strumieniowo – cierną. Po bokach przepustu, na konstrukcji wysowane są poziome elementy wzmacniające, w postaci łączników mechanicznych z prętów żebrowanych. Pod bocznymi elementami konstrukcyjnymi oznaczono liniami pionowymi umocnienie skarpy korpusu i cieku wodnego galanterią betonową. Nad przepustem wysowano poziomą linię oznaczającą poziom drogi oraz barierkę ochronną o długości 520 mm. Opisano po lewej stronie sposób wzmocnienia powierzchni drogi poprzez wykonanie warstwy wzmacniającej z włókien szklanych oraz położenie nowej warstwy ściernej]



Rys. 9. Przykład wzmocnienia przepustu drogowego z wykorzystaniem dodatkowego zbrojenia wzmacniającego (Wysokowski, 2019)



### 3.2.3. Odnowa przepustu z zastosowaniem włókien FRP

Do renowacji przepustów coraz częściej stosuje się materiały na bazie z różnego rodzaju włókien FRP, najczęściej włókien węglowych CFRP. Są one stosowane do wzmocnienia konstrukcji nośnej, na przykład sklepienia lub płyty konstrukcyjnej. Taśmy FRP, mogą również być wklejane w spoiny przepustów ceglanych, a siatki ze zbrojonymi włóknami węglowymi mogą służyć jako wzmocnienie sklepień betonowych. (Wysokowski, 2019)

Jednymi z systemów, stosowanych do odnowy i modernizacji infrastruktury są systemy PileMedic oraz PipeMedic, wykorzystujące technologię FRP. Wśród wielu zastosowań, tkanin tych używa się m. in. do wzmacniania ścian budynków, belek stropowych, dachów, słupów, pali, mostów, kominów, tuneli (PileMedic) oraz przepustów i rur (PipeMedic). (Kubicka, 2017), (Kubicka, 2018)

Tkanina FRP składa się z polimeru (np. żywicy epoksydowej, winyloestru lub poliestru), który jest wzmocniony włóknem (np. szklanym, bazaltowym, Kevlar). Tkaniny mają różne właściwości. W zależności od zorientowania włókien w określonym kierunku, można na przykład uzyskać żądaną wytrzymałość. Arkusze z tkanin węglowych lub szklanych o szerokości do 1500mm, nasycane są żywicą i przepuszczane przez prasę, która przy podwyższonej temperaturze i określonym nacisku powoduje ich zespolenie, uzyskując w ten sposób trwały laminat. W tym przypadku, stosując jednokierunkowe lub dwukierunkowe ułożenie włókien tkaniny, można zapewnić przenoszenie obciążeń zarówno w kierunku podłużnym jak i poprzecznym. Ponadto, arkusze są znacznie cieńsze niż tradycyjne arkusze laminatu – typowa grubość to 0,66 mm. Dzięki temu mogą być zwijane w rolkę o średnicy 300 mm. Liczba i układ warstw tkanin są dostosowywane w zależności od wymagań. (Kubicka, 2017)

Jedną z technologii, wykorzystujących włókna FRP jest technologia StifPipe™. Technologia ta opiera się na zastosowaniu materiału o strukturze plastra miodu, który znany był już wcześniej i z powodzeniem stosowany, jednakże w innych dziedzinach na przykład w przemyśle stoczniowym i lotnictwie (kadłuby, drzwi, podłogi). Na powłokę o strukturze plastra miodu nakładana jest dodatkowo, jako wzmocnienie, warstwa FRP. W ten sposób tworzy się struktura o dużej sztywności obwodowej.

Technologia ta może zostać zastosowana do odnowy:

- przewodów grawitacyjnych, posadowionych pod drogami,
- przewodów ciśnieniowych,
- przepustów z blachy falistej (CMP),
- zapadniętych przewodów kanalizacyjnych,

- przeciekających złączy w rurociągach i przepustach.

W swej najprostszej postaci, konstruowanie StifPipe™ rozpoczyna się od budowy specjalnego trzpieńca o takim samym wymiarze i przekroju poprzecznym jak rura odnawiana. Trzpień ten pokrywany jest materiałem adhezyjnym. Następnie jedna lub więcej warstw tkaniny węglowej nasyczonej żywicą, zostają nawinięte wokół trzpieńca. W przypadku rur, w których odbywa się przepływ grawitacyjny, zamiast tkanin węglowych, których ceny są wysokie, mogą być stosowane tkaniny szklane. W dalszej kolejności, materiał o strukturze plastra miodu jest pokrywany żywicą epoksydową i nakładany na warstwę tkaniny węglowej. Grubość tego materiału wynosi zazwyczaj od 13 do 38 mm. Jeśli istnieje konieczność zwiększenia sztywności struktury, można dodatkowo nawinąć na nią kolejne warstwy tkaniny węglowej lub szklanej nasyczonej żywicą epoksydową. Przed usunięciem trzpieńca powstały w ten sposób odcinek rury jest utwardzany, w razie potrzeby, proces utwardzania można przyspieszyć poprzez ogrzanie elementu do temperatury około 65 °C.

Stosunkowo prosta, lekka i odporna na korozję konstrukcja pozwala na produkowanie segmentów rur o praktycznie dowolnej wielkości i przekroju poprzecznym. Jest to szczególnie ważne w przypadku prowadzenia odnowy przepustów lub przewodów kanalizacyjnych o przekrojach niekołowych. Na rysunku 10 przedstawiono sposób produkcji konstrukcji przeznaczonej do odnowy przepustów. (Kubicka, 2017)

[Tekst alternatywny: na rysunku znajdują się obok siebie trzy zdjęcia oznaczone jako a, b, c. Na zdjęciu oznaczonym jako a widoczny jest trzpień rury od strony zewnętrznej, znajdujący się na hali produkcyjnej, na który nawinięta jest czarna włóknina zawierająca włókna węglowe. Zdjęcie b przedstawia tę samą rurę, na której widoczna jest nałożona kolejna warstwa, o strukturze plastra miodu. Zdjęcie c ilustruje nałożone kolejne warstwy tkaniny węglowej.]





Rys. 10. Etapy konstruowania StifPipe™: a) nawinięcie na rurę tkaniny węglowej nasyconej żywicą, b) nałożenie materiału o strukturze plastra miodu, c) zainstalowanie dodatkowych warstw tkaniny węglowej na powierzchni zewnętrznej (Kubicka, 2017)

Stosowane są trzy podstawowe metody instalowania StifPipe™. Opisane poniżej, pierwsze dwa sposoby wykorzystywane są w przypadku montowania powłok w przewodach przełączowych. Trzeci sposób jest uniwersalny.

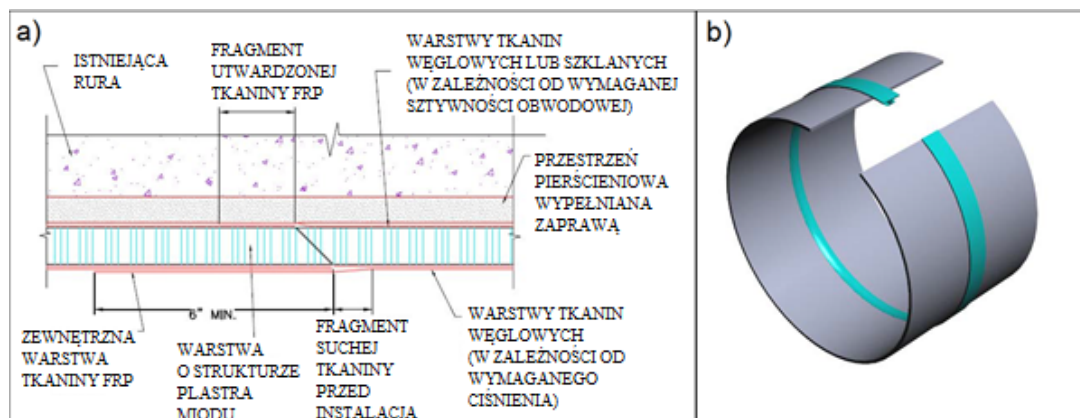
- Metoda A – Cast in place – powłoka StifPipe™ wykonywana jest na miejscu budowy. Wariant ten jest przeznaczony do odnowy rur o gładkiej powierzchni wewnętrznej. Etapy instalacji po wyczyszczeniu i przygotowaniu przewodu:
  1. nałożenie pierwszej warstwy tkaniny węglowej lub szklanej na powierzchnię odnawianej rury,
  2. aplikacja materiału o strukturze plastra miodu na uprzednio nałożoną warstwę tkaniny węglowej lub szklanej (grubość wynosi zazwyczaj około 7mm i jest zależna od średnicy rury odnawianej i wielkości obciążeń na nią działających),
  3. w razie potrzeby – nałożenie kolejnych warstw tkaniny węglowej;
- Metoda B – Precast segmental construction – segmenty rur są wykonywane w fabryce, poza miejscem budowy, zgodnie z opisem powyżej. Metoda ta jest przeznaczona do odnowy kanałów i rurociągów przełączowych, korodowanych oraz zapadniętych przepustów, wykonanych z blachy falistej (ang. corrugated metal pipe - CMP). Prefabrykowane segmenty mają najczęściej kilkadziesiąt centymetrów długości, a ich przekrój poprzeczny jest nieco mniejszy od przekroju odnawianej rury. Etapy ich wykonania i instalacji ograniczają się więc do:
  1. dostarczenia na budowę segmentów StifPipe™,
  2. umieszczenia i wypożyczonowania segmentów StifPipe™ w rurociągu poddawany odnowie,
  3. połączenia segmentów,
  4. wypełnienia żywicą lub zaprawą przestrzeni pomiędzy odnawianą rurą a powłoką;
- Metoda C – Continuous Precast – w tym przypadku, podobnie jak w metodzie A, powłoka StifPipe™ przygotowana jest na placu budowy. Metoda jest stosowana, gdy istnieje stosunkowo duża przestrzeń umożliwiająca dostęp przynajmniej na jednym końcu odnawianej rury, np. w przypadku przepustów pod drogami. Etapy instalacji:



1. przygotowanie specjalnego rdzenia o długości kilku stóp i przekroju poprzecznym zgodnym z przekrojem odnawianego przewodu, lecz o mniejszej średnicy,
2. nakładanie StifPipe™ na rdzeń partiami i jego utwardzanie,
3. stopniowe zsuwanie z rdzenia utwardzonych odcinków i wprowadzanie do wnętrza odnawianego przewodu ,
4. powtarzanie czynności 2 i 3 do momentu powstania nowej wewnętrznej powłoki na całej długości odnawianego rurociągu,
5. wypełnianie wolnej przestrzeni pomiędzy nową rurą a przewodem odnawianym żywicą lub zaprawą cementową (Kubicka, 2017)

Łączenie segmentów odbywa się na dwa sposoby. W przypadku przewodów przełączowych na jednym końcu rury, po stronie zewnętrznej, pozostawia się około 50 mm utwardzoną zakładkę FRP oraz około 18 cm, nieutwardzoną tkaninę węglową od wewnątrz. Następnie dwa przycięte pod odpowiednim kątem końce rury wzajemnie się dopasowuje, a suchy fragment tkaniny nasącza żywicą i łączy z sąsiednią sekcją. Powstaje w ten sposób zazębiające się połączenie. Utwardzona zakładka FRP od strony zewnętrznej zapobiega przedostawaniu się zaprawy do wnętrza rury. Dla przewodów o mniejszych średnicach, zwykle stosowane są połączenia na uszczelki. Rysunek 11 przedstawia omówione sposoby połączeń.

[Tekst alternatywny: rysunek składa się z części a i części b. Część a zawiera schemat przekroju poprzecznego przez ściankę rury wzmocnionej przy użyciu technologii StifPipe. W przekroju kolejno od góry znajdują się: istniejąca rura, przestrzeń wypełniona zaprawą, tkanina FRP, warstwa o strukturze plastra miodu, tkanina FRP. W ostatniej warstwie tkaniny FRP, na dole schematu widać nałożone na siebie na zakładkę włókny (czerwona linia). Rysunek b przedstawia niepełny pierścień rury StifPipe, składający się z połączonych uszczelką (kolor zielony na rysunku) dwóch fragmentów rur.]



Rys. 11 Sposoby połączeń segmentów rur: a) połączenie na zakładkę typowe dla rur przełączowych, b) połączenie za pomocą uszczelki, stosowane w rurach nieprzełączowych (Kubicka, 2017)

## Literatura

Andrzejewski M. (2008) Wdmuchiwanie światłowodów, *Inżynieria Bezwykopowa*, 1-3, 48-51

Andrzejewski M. (2011) Kable telekomunikacyjne w obiektach podziemnej infrastruktury miejskiej, *Inżynieria Bezwykopowa*, 4, 42-48

Kubicka U., Bąba K. (2017) Tkaniny węglowe w bezwykopowej odnowie przewodów wodociągowych i kanalizacyjnych, *Instal. Teoria i praktyka w instalacjach*, 1, 51-55

Kubicka U., Bąba K. (2018): Tkaniny węglowe stosowane do budowy przewodów wodociągowych i kanalizacyjnych, *Instal. Teoria i praktyka w instalacjach*, 4 Poradnik inżyniera, <https://poradnikinzyniera.pl/jakie-rury-na-przepust-drogowy-porady-specjalistow/>, dostępny 07.07.2025

Praca zbiorowa pod redakcją A. Kuliczewskiego (2010). Technologie bezwykopowe w inżynierii środowiska, Wydawnictwo Seidel – Przywecki, Warszawa

Rozporządzenie Ministra Infrastruktury z dnia 24 czerwca 2022 w sprawie przepisów technicznobudowlanych dotyczących dróg publicznych (Dz.U. z 2022 r. poz. 1518)

Wysokowski A. (2017) Przepusty i przejścia dla zwierząt w infrastrukturze komunikacyjnej, *Vademecum Infrastruktura*, Wydawnictwo PIIB, Warszawa

Wysokowski A., (2019). Remonty i renowacje przepustów drogowych cz. II, *Inżynier budownictwa*, 03, [<https://inzynierbudownictwa.pl/remonty-i-renowacje-przepustow-drogowych-cz-ii/>], dostępny 07.07.2025